



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

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**CIVATALI BAĞLANTILARDA EMNİYETLİ TORK DEĞERİNİN
TEORİK VE DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tayfun GÜNEŞ

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Hakan ADATEPE**

**ŞUBAT 2012
AKSARAY
Her hakkı saklıdır**

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KABUL ve ONAY BELGESİ

Tayfun GÜNEŞ tarafından hazırlanan “Cıvatalı Bağlantılarda Emniyetli Tork Değerinin Teorik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi” başlıklı Lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 11.01.2012 tarih ve 2012/02-3 sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan ADATEPE (Aksaray Üniversitesi)

İmza

1. Jüri : Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN (Aksaray Üniversitesi)

2. Jüri : Doç. Dr. Hüseyin İMREK (Selçuk Üniversitesi)

Tezin Savunulduğu Tarih: 08.02.2012

ONAY

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ~~11.01.2012~~ 14.02.2012 tarih ve ~~2012/02-11~~ sayılı kararı ile Tayfun GÜNEŞ’in Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** derecesi alması onaylanmıştır.



Doç. Dr. Selçuk REİS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Cıvatalı bağlantılarda emniyetli tork değeri, montaj sırasında oluşan ön gerilme kuvveti nedeni ile sıkılan parçaların yüzeylerine, cıvata başı ve somun aracılığı ile aşırı baskı kuvveti oluşturarak zarar vermeyen tork değeridir. Bununla beraber montaj sonrası kullanım sırasında da isteğimiz dışında, titreşim yahut çevre şartları nedeni ile kendiliğinden çözülecek kadar düşük olmayan tork değeridir.

Cıvatalı bağlantılarda emniyetli tork değeri hesaplanırken, hesaplama yöntemlerinin genelinde Çizelge değerleri ve bazı kabullerden faydalanılır. Otomotiv sektöründe, özellikle emniyet kapsamında yer alan parçaların tasarım aşamalarında, cıvata bağlantılarına özgü belirlediğimiz tork değerleri için hesaplama yöntemine ne kadar güvenebileceğimizi sorgulayarak bu yola çıkmıştır.

Yapılan çalışmalar ve bu güne kadar elde edilen tecrübeler sayesinde, teknolojinin de yardımı ile artık bağlantının yapıldığı parçaların özelliklerini, kullanılacağı ortam koşullarını ve kullanılan bağlantı elemanlarını dikkate alarak o bağlantıya özgü emniyetli tork değerlerini deneysel yöntemler ile tespit edilebilmektedir.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, deneysel olarak elde edilen gerçek veriler ile hesaplama yönteminden elde edilen teorik veriler karşılaştırılmış ve sonuç olarak hesaplama yönteminin gerçeğe ne kadar yaklaştığı tespit edilmiştir.

Bu konu insan hayatını ilgilendirdiği ve büyük sorumlulukları üzerimize yüklediği için yaptığımız çalışmanın önemli olduğunu düşünüyor ve ileride yapılacak çalışmalara da ışık tutmasını ümit ediyoruz.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın başlangıcından bitimine kadar her aşamada çalışmayı yönlendiren, özverili yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Hakan ADATEPE' ye teşekkürü bir borç biliyorum.

Teknik destek ve imkânların sağlanması konusunda değerli katkılarını göz ardı edemeyeceğim Mercedes Benz Ar-Ge-Deneme müdürü Sn. Levent BİÇER' e yol göstericiliği ve anlayışını benden esirgemeyen Ar-Ge Grup şefi Sn. Mikail DÖĞER' e teşekkür ediyorum.

Bilgi birikimlerini bana aktaran Daimler Stuttgart Ar-Ge Cıvatalı bağlantı tekniği konusunda cıvatalama tekniği uzmanları Sn. Ditmar HESS'e, sn. Werner BRONNER'e ve sn. Nils HOFMANN'a teşekkür ediyorum.

Bu çalışma süresince daima yanımda olan ve çalışmalarına sevgisi ile katkıda bulunan sevgili eşime, öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen, bu tez çalışması süresince ambarlarını atölyeye çevirmeme müsaade eden ve desteklerini her an hissettiren sevgili anneme ve babama teşekkür ediyorum.

Tayfun GÜNEŞ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	SAYFA NO
ÖNSÖZ.....	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	5
3.1. Malzeme.....	5
3.2. Yöntem.....	5
3.3. Hesaplama Yöntemi.....	6
3.3.1. Genel bakış.....	6
3.3.2. Açıklamalar.....	7
3.3.3. Sayısal hesaplamanın temeli.....	9
3.3.3.1. Anma çapı d' nin belirlenmesi ve sınır ölçüsü G' nin ölçülmesi.....	10
3.3.3.2. Sıkma faktörünün tespit edilmesi α_A	11
3.3.3.3. En küçük sıkma kuvvetinin belirlenmesi F_{Kerf}	13
3.3.3.4. Çalışma kuvvetinin parça ve cıvata dağılımının tespiti.....	14
3.3.3.5. Ön gerilme kuvveti değişimleri F_Z ve $\Delta F'_{vth}$	14
3.3.3.6. En küçük montaj ön gerilme kuvvetinin tespiti F_{Mmin}	16
3.3.3.7. En büyük montaj ön gerilme kuvveti F_{Mmax}	16
3.3.3.8. Montaj gerilmesinin tespiti ve cıvata ebadının kontrol edilmesi.....	17
3.3.3.9. İşletme gerilmelerinin elde edilmesi $\sigma_{red.B}$	22
3.3.3.10. Titreşim gerilmesinin belirlenmesi.....	23
3.3.3.11. Yüzey baskısının belirlenmesi p_{max}	24
3.3.3.12. Gerekli en küçük vidalama derinliğinin bulunması $m_{eff min}$	25
3.3.3.13. Kayma ve kesme yüklemelerine karşı emniyet katsayısının belirlenmesi.....	26
3.3.3.14. Sıkma torkunun (MA) belirlenmesi.....	27

4. BULGULAR.....	28
4.1. Teorik Yöntemle Emniyetli Tork Değerinin Hesaplanması.....	30
4.1.1. M5 cıvata - somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin HEXAGON SR1 programı ile hesaplanması.....	31
4.1.2. M6 cıvata - somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin HEXAGON SR1 programı ile hesaplanması	44
4.1.3. M8 cıvata - somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin HEXAGON SR1 programı ile hesaplanması	45
4.1.4. M5 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin HEXAGON SR1 programı ile hesaplanması	46
4.1.5. M6 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin HEXAGON SR1 programı ile hesaplanması	47
4.1.6. M8 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin HEXAGON SR1 programı ile hesaplanması	48
4.2. Deneysel Yöntem ile Emniyetli Tork Değerinin Belirlenmesi.....	49
4.2.1. M5 cıvata - somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi.....	52
4.2.2. M6 cıvata - somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi.....	54
4.2.3. M8 cıvata - somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi.....	55
4.2.4. M5 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi.....	56
4.2.5. M6 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi.....	57
4.2.6. M8 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi.....	58
5. SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER.....	62
EK 1. M5 Cıvata – Somun Bağlantısı için Hesaplama Sonuçları.....	63
EK 2. M5 Cıvata – Vidalı Delik Bağlantısı için Hesaplama Sonuçları.....	66
EK 3. M6 Cıvata – Somun Bağlantısı için Hesaplama Sonuçları.....	69

EK 4. M6 Cıvata – Vidalı Delik Bağlantısı için Hesaplama Sonuçları.....	72
EK 5. M8 Cıvata – Somun Bağlantısı için Hesaplama Sonuçları.....	75
EK 6. M8 Cıvata – Vidalı Delik Bağlantısı için Hesaplama Sonuçları.....	78
EK 7. Laboratuar Test Sonuçları Deneylerde Kullanılan Cıvataların Vickers Sertlik Değerleri.....	81
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CIVATALI BAĞLANTILARDA EMNİYETLİ TORK DEĞERİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Tayfun GÜNEŞ

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan ADATEPE

Cıvatalı bağlantıların emniyetle kullanılabilmesi ve bunun yanı sıra kullanıldığı yerde bir arada tuttuğu parçalara zarar vermemesi için o bağlantıya özgü, hesaplanabilir bir emniyetli tork değeri vardır.

Bu tezin amacı, hesaplama yolu ile elde edilen sıkma tork değerinin, gerçek koşullar altında uygunluğunun deneylerle test edilmesi ve sonuçların kıyaslanmasıdır.

Bu çalışmadaki teorik hesaplar, VDI 2230 standardından yola çıkarak yapılmıştır. Birinci aşamada karşılaştırma yapılacak olan bağlantı için gerekli hesaplamalar bu standardı kullanarak hesaplama yapan ve elde ettiği sonuçları çizelge ve grafikler ile görselleştiren HEXAGON SR1 programı yardımıyla insan hatasına mahal vermeden yapılmıştır.

İkinci aşamada, hesaplama yapılırken varlığı kabul edilen: malzeme, oda sıcaklığı sac kalınlıkları, sürtünmeler gibi tüm şartlar aynen oluşturulmuştur. Deneysel olarak bağlantının sıkılabileceği emniyetli sıkma tork değeri tespiti için ise bilgisayar kontrollü sıkma üniteleri, içerdiği Transducer ve hissediciler yardımı ile bağlantı sıkılırken elde edilen torkun dönme açısına göre değişimini gösteren grafikleri elde etmiştir. Bu grafikler, en uygun tork değerini ve bu tork değerinin alt ve üst toleranslarını yorumlayarak tespit etme imkânı vermiştir.

Sonuç olarak teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve teorik hesaplama ile gerçekte olması gereken değere ne kadar yaklaşıldığı tespit edilmiştir.

2012, 83 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Cıvatalı bağlantılar, Emniyetli tork değeri, Tork değeri toleransları, Tork değeri hesabı,

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINING THE SAFETY TORQUE VALUE IN BOLTED JOINTS THEORETICALLY AND EXPERIMENTALLY

Tayfun GÜNEŞ

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan ADATEPE

In order for bolted connections to lead a safe life and furthermore, to ensure that they do not damage the parts that they hold together in the structure which they are used in; a safety torque value is calculated specifically for each particular connection.

The purpose of this thesis is to test the appropriateness of the calculated tightening torque value under realistic conditions, via experiments and to compare results.

In this study, the calculation method will be based on VDI 2230 standards. In the first stage, the calculations which are required for the connection conditions to be compared shall be made via HEXAGON SR1 program, which uses VDI 2230 for its calculations and visualizes the results via tables and graphics, so as to eliminate human error.

In the second stage, all conditions which are assumed to have existed when performing the calculations, be created in exactly the same way. As for experimental determination of the safe tightening torque for tightening the connection; with the help of computer-controlled tightening units, transducers and sensors brought to us by advanced technology, we obtain graphics of the tightening torque -which is obtained when the connection is tightened- versus time and rotation angle. The graphics which obtain and provide us the most appropriate torque values as well as the opportunity to determine lower – upper tolerances of this torque value by interpretation.

As a result, we compare our theoretical and experimental results, and we determine how close our theoretical calculation is, to the real value it should be.

2012, 83 Pages

Key Words: Bolted Joints, Safety tightening torque value, Torque value tolerances, Torque value calculation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Cıvatanın temel gösterimi.....	2
Şekil 2.2. Cıvatanın temel boyutsal terminolojisi.....	2
Şekil 3.1. Tork kuvvet ön gerilme ve sıkma kuvveti arasındaki ilişkinin şekilsel gösterimi	6
Şekil 3.2. Ana ölçülendirme ve diğer bazı önemli büyüklüklerin gösterildiği gerilme diyagramı.....	9
Şekil 3.3. Ön görülen tork ile hedeflenen ön gerilme kuvvetine ulaşmayı etkileyen faktörlerin balık kılçığı diyagramı şeklinde gösterimi.....	16
Şekil 3.4. Gerekli en küçük cıvatalama derinliği değeri.....	26
Şekil 4.1. Sıkma işlemi sırasında bağlantı elemanına etkiyen torkun açısı ile değişimi grafiğinin sembolik gösterimi.....	28
Şekil 4.2. Hesaplama için baz alınan cıvata – somun bağlantısının sembolik gösterimi....	30
Şekil 4.3. Hesaplama için baz alınan cıvata – vidalı delik bağlantısının sembolik gösterimi.....	30
Şekil 4.4. HEXAGON programının lisans beyanı.....	31
Şekil 4.5. Yapılacak hesaplama sonucu çizilecek teknik resme isim vermek.....	32
Şekil 4.6. Yükleme özelliklerinin, sıkma yönteminin seçimi ve eksenel kuvvet ile kesme kuvvetlerinin belirlenmesi.....	32
Şekil 4.7. Kullanılacak metrik vida ebadının veri bankasından seçimi.....	33
Şekil 4.8. Cıvata ve somun arasındaki boşluk toleransının seçimi.....	33
Şekil 4.9. Kullanılacak cıvata tipinin seçimi.....	34
Şekil 4.10. Kullanılacak cıvata normunun veri bankasından seçimi.....	34
Şekil 4.11. Kullanılacak cıvata uzunluğunun belirlenmesi.....	35
Şekil 4.12. Kullanılacak cıvata kalitesinin veri bankasından seçimi.....	35
Şekil 4.13. Kullanılacak cıvatanın üretim yönteminin seçimi (haddelenmiş).....	36
Şekil 4.14. Birleştirilecek olan sac plakaların veri bankasından malzeme seçimlerinin Yapılması (St37 (1.0037)).....	36
Şekil 4.15. Birleştirilecek olan sac plakaların adetlerinin belirlenmesi.....	37
Şekil 4.16. Birinci plakanın özelliklerinin ve ebatlarının belirlenmesi.....	37
Şekil 4.17. İkinci plakanın özelliklerinin ve ebatlarının belirlenmesi.....	38
Şekil 4.18. Üçüncü plakanın özelliklerinin ve ebatlarının belirlenmesi.....	38

Şekil 4.19. Somun görevi yapacak parçanın cinsine göre bağlantı tipinin seçilmesi.....	39
Şekil 4.20. Somun tipinin seçilmesi (Altıgen somun).....	39
Şekil 4.21. Somun için norm seçimi.....	40
Şekil 4.22. σ katsayısının seçimi için yardımcı bilgilendirme tablosu.....	40
Şekil 4.23. Vida dişlerinde, Cıvata başı altında ve plakaların ayırma yüzeylerindeki sürtünme katsayılarının belirlenmesi ve Sigma katsayısının seçimi.....	41
Şekil 4.24. Etkiyecek işletme kuvvetleri ve bağlantıda meydana gelecek oturma büyüklüğü ile ilgili parametrelerin seçimi.....	41
Şekil 4.25. Hesaplama ve sıkma yöntemlerinin seçimi ve üst alt tork değerleri için gerekli parametrelerin belirlenmesi.....	42
Şekil 4.26. M5 cıvata – somun bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı.....	43
Şekil 4.27. M5 cıvata – somun bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen Şekil değiştirme diyagramı.....	43
Şekil 4.28. M6 cıvata – somun bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı.....	44
Şekil 4.29. M6 cıvata – somun bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen Şekil değiştirme diyagramı.....	44
Şekil 4.30. M8 cıvata – somun bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı.....	45
Şekil 4.31. M8 cıvata – somun bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen şekil değiştirme diyagramı.....	45
Şekil 4.32. M5 cıvata – vidalı delik bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı.....	46
Şekil 4.33. M5 cıvata – vidalı delik bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen şekil değiştirme diyagramı.....	46
Şekil 4.34. M6 cıvata – vidalı delik bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı.....	47
Şekil 4.35. M6 cıvata – vidalı delik bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen şekil değiştirme diyagramı.....	47
Şekil 4.36. M8 cıvata – vidalı delik bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı.....	48

Şekil 4.37. M8 cıvata – vidalı delik bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen şekil değiştirme diyagramı.....	48
Şekil 4.38. Deneysel çalışmanın yapıldığı 100Nm kapasiteli açılı ve tork kontrollü, %3 hassasiyete sahip sıkıcı ve test numuneleri.....	49
Şekil 4.39. Cıvata somun bağlantıları için bazı numuneler.....	50
Şekil 4.40. Cıvata – Vidalı delik bağlantısı için bazı numuneler.....	51
Şekil 4.41. Cıvata – Vidalı delik bağlantıları için yapılan “kopana kadar sıkma” deneyleri neticesinde kopan cıvatalar.....	51
Şekil 4.42. M5 Cıvata – Somun bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen tork – açılı grafiği ve grafik üzerinde akma noktası tespiti.....	52
Şekil 4.43. Laboratuvarda uç alın yüzeyleri parlatılarak Vickers sertlik değerleri ölçülmüş bazı cıvatalar.....	53
Şekil 4.44. M6 Cıvata – Somun bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açılı grafiği.....	54
Şekil 4.45. M8 Cıvata – Somun bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açılı grafiği.....	55
Şekil 4.46. M5 Cıvata – vidalı delik bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açılı grafiği.....	56
Şekil 4.47. M6 Cıvata – vidalı delik bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açılı grafiği.....	57
Şekil 4.48. M8 Cıvata – vidalı delik bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açılı grafiği.....	58
Şekil 5.1. Cıvata – somun bağlantılarında teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak tespit edilen tork değerlerinin karşılaştırılması	60
Şekil 5.2. Cıvata – vidalı delik bağlantılarında teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak tespit edilen tork değerlerinin karşılaştırılması.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Uygulanacak yüke göre kullanılacak cıvatanın yaklaşık anma çapı tespiti (VDI 2230).....	10
Çizelge 3.2. Cıvatalı bağlantılarda farklı malzeme, yüzey ve yağlayıcılara göre sürtünme katsayısı aralığı seçimi.....	11
Çizelge 3.3. Cıvatalı bağlantılarda sıkma faktörü α_A 'nın sıkma yöntemine göre seçim aralıkları. (VDI 2230).....	12
Çizelge 3.4. Oturma büyüklüğü referans verisi f_Z nin yüzey pürüzlülüğüne bağlı değişimi.....	15
Çizelge 3.5. DIN ISO 262'ye göre metrik normal vida dişlerine sahip şaftlı cıvatalar, DIN EN ISO 4014'den 4018'e kadar olan standartlara uygun baş ölçüsü, DIN 34800'e ve ya DIN EN ISO 4762 standardına uygun baş ölçüsüne sahip cıvatalar ve DIN EN 20273'e göre delikler için $v=0,9$ olduğu durumda Montaj ön gerilme kuvveti F_{MTab} ve sıkma torku MA	18
Çizelge 3.6. DIN ISO 262'ye göre metrik normal vida dişlerine sahip parçalı cıvatalar, DIN EN ISO 4014'den 4018'e kadar olan standartlara uygun baş ölçüsü, DIN 34800'e ve ya DIN EN ISO 4762 standardına uygun baş ölçüsüne sahip cıvatalar ve DIN EN 20273'e göre delikler için $v = 0,9$ olduğu durumda Montaj ön gerilme kuvveti F_{MTab} ve sıkma torku MA	19
Çizelge 3.7. DIN ISO 262'ye göre metrik hassas vida dişlerine sahip şaftlı cıvatalar, DIN EN ISO 4014'den 4018'e kadar olan standartlara uygun baş ölçüsü, DIN 34800'e ve ya DIN EN ISO 4762 standardına uygun baş ölçüsüne sahip cıvatalar ve DIN EN 20273'e göre delikler için $v = 0,9$ olduğu durumda Montaj ön gerilme kuvveti F_{MTab} ve sıkma torku MA	20

Çizelge 3.8. DIN ISO 262'ye göre metrik hassas vida dişlerine sahip parçalı cıvatalar, DIN EN ISO 4014'den 4018'e kadar olan standartlara uygun baş ölçüsü, DIN 34800'e ve ya DIN EN ISO 4762 standardına uygun baş ölçüsüne sahip cıvatalar ve DIN EN 20273'e göre delikler için $v = 0,9$ olduğu durumda Montaj ön gerilme kuvveti F_{MTab} ve sıkma torku MA	21
Çizelge 3.9 Farklı malzemeler için kesme kuvvet oranı referans değerleri.....	27
Çizelge 4.1. Malzeme sertlik değerlerine karşılık gelen çekme dayanımları (R_m) (DIN EN ISO 18265 – Çizelge B.2).....	29
Çizelge 5.1. M5, M6 ve M8 Cıvata – somun bağlantıları için deneysel çalışma neticesinde belirlenen emniyetli tork değerleri ile teorik hesaplama neticesinde elde edilen tork değerlerinin sayısal karşılaştırılması.....	59
Çizelge 5.2. M5, M6 ve M8 Cıvata – vidalı delik bağlantıları için deneysel çalışma neticesinde belirlenen emniyetli tork değerleri ile teorik hesaplama neticesinde elde edilen tork değerlerinin sayısal karşılaştırılması.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Genel Kesit alanı
A_D	Sızdırmazlık yüzeyi alanı (ayırma yüzeyinden delik alanının çıkarılmış hali)
A_0	En küçük cıvata kesit alanı
A_P	Cıvata başı ve somun oturma yüzey alanı
A_{Pmin}	Minimum cıvata başı ve somun oturma yüzey alanı
A_τ	Enine yüklemde enine kesit alanı
$C_1; C_3$	Cıvatalama derinliği düzeltme faktörleri
D	Somun vidası anma çapı
D_K	Şekil değiştirme konisinin maksimum dış çapı
D_{Km}	Sürtünme momentinin cıvata başı yada somun oturma yüzeyinde etkin olduğu çap
D_{Ki}	Baş oturma yüzeyi seviyesinde delik iç çapı
D_I	Somun vidası dış dibi çapı
D_2	Somun vidası hatve çapı (ortalama çap)
DSV	Cıvata somun bağlantısı
E	Elastisite modülü
E_{BI}	Vida dişi açılmış yapı parçasının elastisite modülü
E_M	Somunun elastisite modülü
E_P	Sıkılan parçaların elastisite modülü
E_{PRT}	Oda sıcaklığında sıkılan parçaların elastisite modülü
E_{PT}	Sıkılan parçaların oda sıcaklığı dışında herhangi bir sıcaklıktaki elastisite modülü
E_S	Cıvata malzemesinin elastisite modülü
E_{SRT}	Cıvata malzemesinin oda sıcaklığındaki elastisite modülü
E_{ST}	Oda sıcaklığı dışındaki herhangi bir sıcaklıkta cıvata malzemesinin elastisite modülü
E_T	Oda sıcaklığı dışındaki herhangi bir sıcaklıkta genel elastisite modülü
ESV	Sıkılan parçalardan biri somun görevi görür
F	Kuvvet
F_A	Eksenel kuvvet; cıvata ekseninde cıvatanın bağlı bulunduğu komponente etkileyen herhangi bir işletme kuvvetinin F_B bir kısmı
F_{Amax}	Maksimum eksenel kuvvet
F_B	Bağlantıya uygulanan herhangi bir işletme kuvveti
F_K	Sıkma kuvveti

F_{KA}	Çekme sınırına etki eden en küçük sıkma kuvveti
F_{Kab}	Çekme sınırına etki eden sıkma kuvveti
F_{Kerf}	Sıkma kuvveti; gerekli sızdırmazlık fonksiyonunu sağlayacak ya da ayırma yüzeyinden tek taraflı açılmayı engelleyecek kuvvet.
F_{KP}	Sızdırmazlık fonksiyonunu garanti altına alacak en küçük sıkma kuvveti
F_{KQ}	Enine etkiyen kesme kuvvetlerini taşıyacak en küçük sıkma kuvveti
F_{KR}	Ayırma yüzeyinde oturmadan sonra kalan sıkma kuvveti
F_M	Montaj ön gerilme kuvveti
F_{Mm}	Ortalama montaj ön gerilme kuvveti
F_{Mmax}	En yüksek montaj ön gerilme kuvveti; Bir cıvatalı bağlantı uygun olmayan sıkma yöntemi yada beklenen bir oturma durumundan sonra gerekli sıkma kuvvetini muhafaza etmesi gerekecek şekilde tasarlanmalıdır
F_{Mmin}	Gerekli en küçük montaj ön gerilme kuvveti; F_{Mmax} dan uygun olmayan sıkma yöntemi ve mümkün olan en yüksek sürtünmeden sonra bağlantı üzerinde kalması gereken en küçük montaj ön gerilme kuvveti
F_{Mzul}	İzin verilen montaj ön gerilme kuvveti
F_{Mtab}	Montaj ön gerilme kuvveti için Çizelge değeri ($v=0.9$)
$F_{M0,2}$	Cıvatanın %0,2 akma sınırında montaj ön gerilme kuvveti
F_{mGM}	Somun veya iç vida sıyrma kuvveti
F_{mS}	Serbest yüklenmiş cıvata vidalarının kırılma kuvveti
ΔF_M	Montaj ön gerilme kuvveti F_M in en küçük ön gerilme kuvveti F_{Mmin} ile farkı
F_{PA}	Eksenel kuvvetin, sıkılan parçalara gelen yükü değiştiren kısmı (Plaka ek kuvveti)
F_Q	Kesme kuvveti; Cıvata eksenine dik etkiyen işletme kuvveti
F_{QzulL}	İzin verilen delik üst eşik kuvveti
F_{QzulS}	İzin verilen cıvata kesme kuvveti
$F_{Qzul\mu}$	Sınır kayma kuvveti
F_S	Cıvata kuvveti
F_{SA}	Eksenel cıvata ek kuvveti
F_{SAO}	Üst (max.) eksenel cıvata ek kuvveti
F_{SAu}	Alt (min.) eksenel cıvata ek kuvveti
F_{Sm}	Ortalama cıvata kuvveti
F_V	Ön gerilme kuvveti (genel)

F_{Vab}	Ayrılma sınırındaki ön gerilme kuvveti
F_{VRT}	Oda sıcaklığındaki ön gerilme kuvveti
F_{VT}	Oda sıcaklığından farklı bir sıcaklıktaki ön gerilme kuvveti
ΔF_{Vth}	Oda sıcaklığından farklı bir sıcaklık nedeni ile oluşan ön gerilme kuvveti değişimi; termik ek kuvvet
$\Delta F'_{Vth}$	Oda sıcaklığından farklı bir sıcaklık nedeni ile oluşan ön gerilme kuvveti değişimi (basitleştirilmiş); yaklaşık termik ek kuvvet
F_Z	Oturmadan kaynaklanan ön gerilme kuvveti kaybı (N)
$F_{0,2}$	Minimum akma sınırındaki (%0,2 uzama sınırındaki) cıvata kuvveti (N)
G	Cıvata somun bağlantılarında ayırma yüzeyi ölçüleri için sınır değerler
G'	Cıvata parça bağlantılarında ayırma yüzeyi ölçüleri için sınır değerler
G''	Cıvata kör vida delikli parça bağlantılarında ayırma yüzeyi ölçüleri için düzeltilmiş sınır değer
H	Vida yüksekliği
H_1	Vida temas eden yanak yüksekliği
HB	Brinell-sertliği
$H_{v0,3}$	Vickers-sertliği
I	Yüzey atalet momenti (genel)
I_B	büküm gövdesinin yüzey atalet momenti
I_{BT}	Ayrırma yüzeyinin yüzey atalet momenti
M	Moment (genel)
MA	Sıkma momenti (tork); Montaj sırasında cıvatada F_M ön gerilmesini oluşturur
MA_{max}	Sıkma torku maksimum değeri (üst tolerans)
MA_{min}	Sıkma torku minimum değeri (alt tolerans)
MA_{Nom}	Sıkma torku nominal değeri
$MA_{Rp0,2}$	Akma sınırı tork değeri.
$MA-$	Çözülme sınırı tork değeri
M_B	Sıkılan parçalarda cıvatalama yerine etki eden işletme kuvveti (eğme momenti)
M_G	Sıkma momentinin vida dişlerine etkiyen kısmı
M_K	Cıvata başı yada somun oturma yüzeyindeki sürtünme momenti
M_{KZu}	Cıvata başı ek momenti
M_{OG}	Üst sınır momenti

M_{UG}	Alt sınır momenti
M_T	Torsiyon momenti (Burma momenti)
M_Y	Cıvata eksenine göre döndürme momenti
N	Döngü sayısı
N_D	Sürekli yüklemde döngü sayısı
N_G	Enine yükleme döngü sayısı
N_Z	Zaman dayanım aralığında yükleme döngü sayısı
P	Vida adımı
R	Radyus
R_m	Cıvatanın çekme dayanımı (DIN EN ISO 898-1)
R_{mmin}	Somunun çekme dayanımı
$R_{p0,2}$	Cıvatanın %0,2 uzama sınırı(DIN EN ISO 898-1)
$R_{p0,2P}$	Plakanın %0,2 uzama sınırı
R_z	Ortalama pürüzlülük
S	Güvenlik katsayısı
T	Sıcaklık
ΔT	Sıcaklık farkı
ΔT_P	Plakaların sıcaklık farkı (sıkılan parçaların)
ΔT_S	Cıvatanın sıcaklık farkı
U	Ayırma yüzeyi içerisinde açılmanın başladığı bölge
W_P	Cıvata enine kesit alanının direnç momenti
W_S	Cıvata vidalarının gerilme kesit alanının direnç momenti
a	Eksenel kuvvet F_A nın etki hattının var sayılan simetrik şekil değişim hacmi eksenine uzaklığı
d	Cıvata anma çapı, vida dışı çapı
d_P	Şaft çapı
d_S	Gerilme kesit alanı A_S nin çapı
d_T	Parçalı cıvatalarda şaft çapı
d_a	Baş oturma yüzeyi seviyesindeki iç çap (şaft geçiş radiusunun başlangıcından itibaren)
d_i	Sıkma bölgesinde cıvatanın silindirik bir kısmının çapı
d_h	Sıkılan parçanın delik çapı
d_{ha}	Cıvata başının oturma yüzeyi tarafındaki iç çap

d_W	Cıvatanın baş oturma yüzeyi hizasında dış çapı
d_{Wa}	Sıkılan parçalar ile temas halindeki bir rondelanın otuma yüzeyi hizasında dış çapı
d_0	Cıvata üzerindeki en küçük kesitin yarıçapı
d_2	Cıvata adım ortalama çapı (hatve ortalama çapı)
d_3	Cıvata dış dibi çapı
d_τ	Kesme kuvveti seviyesinde kesit alanının yarı çapı
f_Z	Oturma nedeni ile plastik şekil değiştirme (μm)
h	Yükseklik (genel)
h_{min}	iki sıkılan parçadan dar olanın yüksekliği
k_τ	Düşürüm katsayısı
l	Uzunluk (genel)
l_K	Sıkılan parçaların toplam kalınlığı
m_{eff}	Etkili somun yüksekliği, vidalama derinliği (iç ve dış vidaların örtüşmesi)
m_{kr}	kritik somun yüksekliği, vidalama derinliği
n	Kuvvet iletim faktörü
n^e	Eksantrik gerilmede kuvvet iletim faktörü
n_G	Ana gövdenin kuvvet iletim faktörü
n_0	Üst plakanın kuvvet iletim faktörü
p	Yüzey basıncı
p_B	Çalışma durumunda yüzey basıncı
p_G	Sınır yüzey basıncı, cıvata başı ve somun oturma yüzeyleri altında izin verilen maksimum yüzey basıncı.
p_M	Montaj durumunda yüzey basıncı
p_i	Sızdırmazlık sağlanacak iç basınç
q_F	Kuvvet taşıyan (F_Q) ayırma yüzeyi sayısı
q_M	Moment taşıyan (M_Y) iç ayırma yüzeyi sayısı
r	Radyus
r_a	Sıkılan parçaların üzerinde M_Y etkisinde oluşan Sürtünme kuvveti
s	Anahtar ağız genişliği
s_{sym}	Cıvata ekseninin hayali simetrik gerilme hacmi eksenine uzaklığı
t	Çok cıvatalı bağlantılarda cıvata dağılımı
u	Ayırma yüzeyinde açılmanın başladığı noktanın cıvata eksenine mesafesi

t_S	Parça üzerindeki vidalı oyuk derinliği
α	Vida adım açısı
α_A	Sıkma faktörü
α_P	Plakanın doğrusal sıcaklık uzama katsayısı
α_S	Cıvatanın doğrusal sıcaklık uzama katsayısı
α_T	Termik veya lineer ısı uzama katsayısı (genel)
α_{VA}	F_A Kuvveti nedeni ile cıvata başının cıvata eksenine karşı eğriliği
δ	Elastik süneklik (genel)
δ^z_A	F_A ile eksenel gerilmeye cıvata başının eksen yönünde kayması
δ_G	Vidalanan dişlerin elastik sünekliği
δ_{Gew}	Vidalanmadan yüklenen dişlerin elastik sünekliği
δ_M	Somun dişlerinin elastik sünekliği
δ_K	Cıvata başının elastik sünekliği
δ_P	Eksenel gerilme ve yüklemede sıkılan parçaların elastik sünekliği
δ^H_P	Bir şekil değiştirme kabuğunun elastik sünekliği
δ^V_P	Bir şekil değiştirme konisinin elastik sünekliği
δ^Z_P	Eksenel yüklenen plakaların elastik sünekliği
δ^*_P	Eksantrik gerilmeye tabi plakaların elastik sünekliği
δ^{**}_P	Eksantrik gerilmeye ve yüklemeye tabi plakaların elastik sünekliği
δ_{PM}	M_B tarafından eksantrik gerilmeye ve yüklemeye tabi plakaların elastik sünekliği
δ_{PO}	Üst plakanın elastik sünekliği
δ_{PRT}	Plakaların oda sıcaklığında elastik sünekliği
δ_{PU}	Alt plakanın elastik sünekliği
δ_S	Cıvatanın elastik sünekliği
δ_{SRT}	Cıvatanın oda sıcaklığında elastik sünekliği
δ_i	Cıvatanın herhangi bir kısmının elastik sünekliği
ϑ	Cıvata sıkılırken uygulanan döndürme açısı
μ_G	Vida dişlerinde sürtünme katsayısı
μ'_G	μ_G karşısında büyütülmüş sivri vida sürtünme katsayısı
μ_K	Cıvata başı oturma yüzeyi sürtünme katsayısı
μ_T	Ayrırma yüzeyinde sürtünme katsayısı

ν	Sıkma için akma sınırı gerilmesi kullanım oranı
σ_{AS}	Dayanıklılık gerilim mukavemeti (A_S kesit alanında)
σ_{ASG}	Haddelenmiş cıvatalar için dayanım gerilme mukavemeti
σ_{ASV}	Su verilmiş cıvatalar için dayanım gerilme mukavemeti
σ_{AZSG}	Haddelenmiş cıvatalar ömür gerilme mukavemeti
σ_{AZSV}	Su verilmiş cıvatalar ömür gerilme mukavemeti
σ_a	Cıvatanın titreşim yüklemesi dayanımı
σ_{ab}	Eksantrik yüklemde cıvatanın titreşim dayanımı
σ_b	Bükme gerilmesi
σ_M	F_M momenti nedeni ile cıvatada oluşan çekme gerilmesi
σ_{red}	Düşürülmüş gerilme (karşılaştırma gerilmesi)
$\sigma_{red,B}$	Çalışma durumunda karşılaştırma gerilmesi
$\sigma_{red,M}$	Montaj durumunda karşılaştırma gerilmesi
σ_{SA}	Cıvatada ek çekme kuvveti , (F_{SA} sebebi ile)
σ_{SAb}	F_{SA} ve eğme momenti M_b nin eksantrik olarak etkimesi ile cıvata vidalarında oluşan gerilme
σ_z	Cıvatada çalışma sırasında oluşan çekme gerilmesi
τ	Torsiyon (burulma)
τ_a	Değişken kesme gerilmesi
τ_B	Kesme dayanımı
τ_{BM}	Somunun kesme dayanımı
τ_{BS}	Cıvatanın kesme dayanımı
τ_M	Montaj durumunda vida da oluşan torsiyon (burulma) gerilmesi
τ_Q	Yatay kuvvet F_Q sebebi ile oluşan kesme gerilmesi
Φ	Kuvvet oranı (bağıl süneklik oranı)
Φ_e	F_A Eksenel kuvvetinin eksantrik tesirinde kuvvet oranı
Φ_{eK}	Cıvata başı ve somun oturma yüzeyleri seviyesinde eksenden gerilme ve eksantrik kuvvet iletimi için kuvvet oranı
Φ_{eK}^*	Cıvata başı ve somun oturma yüzeyleri seviyesinde eksantrik gerilme ve eksantrik kuvvet iletimi için kuvvet oranı

Φ_{en}	Sıkılan parçalar üzerinden eksenden gerilme ve eksantrik kuvvet iletimi için kuvvet oranı
Φ_{en}^*	Sıkılan parçalar üzerinden eksantrik gerilme ve eksantrik kuvvet iletimi için kuvvet oranı
Φ_K	Cıvata başı ve somun oturma yüzeyleri seviyesinde eksenden gerilme ve eksenden kuvvet iletimi için kuvvet oranı
Φ_K^*	Cıvata başı ve somun oturma yüzeyleri seviyesinde eksantrik gerilme ve eksenden kuvvet iletimi için kuvvet oranı
Φ_m	Saf moment yükü (M_B) ve eksenden gerilme durumunda kuvvet oranı
Φ_m^*	Saf moment yükü (M_B) ve eksantrik gerilme durumunda kuvvet oranı
Φ_n	Sıkılan parçalar üzerinden eksenden gerilme ve eksenden kuvvet iletimi durumunda kuvvet oranı
Φ_n^*	Sıkılan parçalar üzerinden eksantrik gerilme ve eksenden kuvvet iletimi durumunda kuvvet oranı
φ	Cıvata vida eğim açısı

1. GİRİŞ

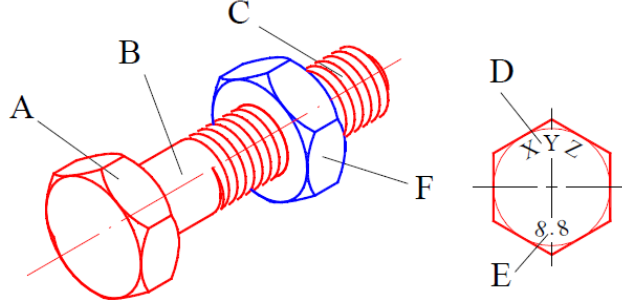
Cıvatalı bağlantılar, otomotiv sektörü başta olmak üzere, en yaygın kullanım alanına sahip olan makine elemanlarıdır. Otomotivdeki önemli yerini; kolay montaj, dayanıklılık, süneklik, sökülebilir olma vs. gibi özelliklerine borçludur. Kolay montaj ve sökülebilir olmak imalat sürecinde ve tamir esnasında parçalar, sistemler ve araçlar için aranan şart olsa da, bazı kapsamlarda isteğimiz dışında bağlantının gevşemesi veya çözülmesi büyük risk oluşturur.

Olması gerekenden düşük tork ile sıkılan bağlantılar, titreşimler nedeni ile çözülebilirler. Tork değeri, izin verilebilir sınırların üzerinde olursa, oluşan ön gerilme kuvveti bağlantının yapıldığı parçalara zarar verebilir ve aynı zamanda cıvata ve somun dişlerinde meydana getirdiği deformasyon nedeni ile bağlantıyı çözülemez ya da kendiliğinden çözülebilir bir bağlantı haline dönüştürebilir. Bu nedenle her bağlantıya özgü bir emniyetli tork değeri vardır. Bu emniyetli tork değeri, kullandığımız cıvata normuna ve yüzey kaplamasına göre değiştiği gibi her bağlantıda görev alan parçaların malzeme özelliğine ve sıkılan parçaların tasarımına göre de farklılık gösterir. Uygun başka bir deyişle “emniyetli” torkta sıkılan bir cıvata, bağlandığı parçalara zarar vermez ve kullanıcı istemeden gevşeyip çözülemez.

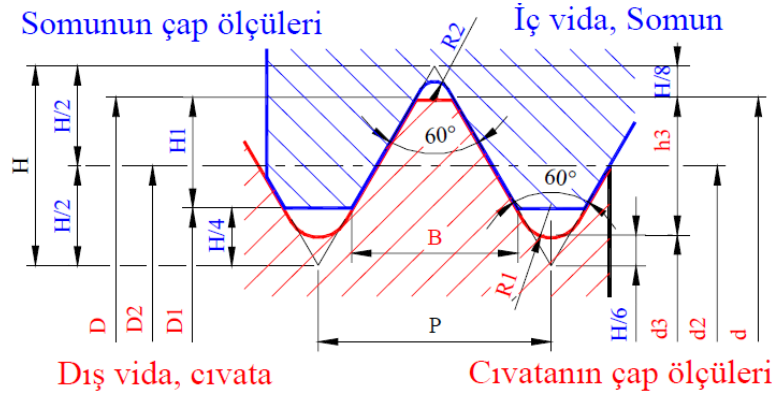
Montaj alanındaki şartlar göz önüne alındığında klasik yaklaşıma göre uygun ön gerilmenin verilmesi için cıvataya uygulanacak en pratik sıkma yöntemi tork anahtarı kullanımıdır. Ancak, emniyetli tork değeri hesabında kullanılan sürtünme katsayısının, sıkma esnasında sürtünme yüzeylerinin sahip olduğu yüzey pürüzlülüğüne uygun olup olmadığı konusu şüphe oluşturur. Örneğin: Yüzeylerde yağ kalıntısı var ise, cıvata sıkılması gerektiğinden daha fazla, yüzeyler paslı ise, sıkılması gerektiğinden daha az sıkılmış olacaktır.

Bu çalışmada, uygun tork değerinin hesaplanmasında kullanılan VDI 2230 standardına göre bir hesap yapılmış, hesaplamada kullanılan tüm parametreleri aynen sağlayacak ortam ve numuneler ile, Tool-Station olarak adlandırılan sıkma ve kontrol sisteminde yapılan deneylerden elde edilen değerler hesaplama sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede hesaplamanın gerçekleşen durum ile ne kadar uyumlu olduğu ortaya koyulmuştur.

Cıvatarlar, çözülebilen bağlantı elemanları dendiğinde ilk akla gelen makine elemanlarıdır. Cıvata ve somunlar kuvvet bağlantısı prensibi ile çalışırlar. Genelde bozulmadan ve hasarlanmadan çözülebilirler. Cıvatarları; bağlantı cıvatarları, transmisyon (hareket ileten) cıvatarlar, ölçü cıvatarları, sıkıştırma ve germe cıvatarları, ayarlama cıvatarları olarak sınıflandırabiliriz (Kutay M. G., 2005, Cıvatarlar).



Şekil 1.1. Cıvatanın temel gösterimi (Kutay M. G., 2005, Cıvatarlar)
A: Cıvata başı, B: şaft kısmı, C: Vidalı şaft kısmı, D: Firma işareti, E: Cıvata kalitesi, F: Somun



Şekil 1.2. Cıvatanın temel boyutsal terminolojisi (Kutay M. G., 2005, Cıvatarlar)

$$d_2 = D_2 = d \cdot 0,64953 P$$

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

$$D_1 = d - P$$

$$H = \cos 30^\circ P$$

$$H_1 = 0,54127 P$$

$$h_3 = 0,61343 P$$

$$R_1 = (H/6) = 0,14434 P$$

$$R_2 = (H/12) = 0,07217 P$$

Cıvata sistemi; cıvata, somun ve birleştirilen parçalar olmak üzere üç elemandan meydana gelir. Bazen somun ayrı bir parçadır, bazen de sıkılan parçalardan birisi somun olarak görev yapar.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde, cıvata bağlantıları, uygulanan tork değerleri, süreç etkileri, hesap yöntemleri ile ilgili hem genel hem de sektörsel temelde çok az çalışma bulunmaktadır. Bağlantıyı oluşturan parçaların özelliklerinden sıkma yöntemlerine ve ortam şartlarına kadar birçok parametre değiştirilerek, farklı hesaplama yöntemleri ve uygulamalar ile bu uygulamaların sonuçları araştırmacılar tarafından incelenmiştir.

Bu alanda yararlanılan bazı araştırmalar şöyle özetlenebilir:

R.A. İbrahim ve C.L. Pettit (2003), kesin ve lineer karakteristiklere sahip olmayan cıvatalı bağlantıları incelemişlerdir. Tamamen ve kısmen sabitlenmiş bağlantıların parametrelerini değiştirerek hassasiyet analizleri yapmış, titreşim ya da dinamik yüke maruz kalan cıvata bağlantılarını fuzzy parametreleri yöntemini kullanarak incelemiş ve bu tip bağlantılarda dinamik karakteristiğe bağlı olarak ön yük değişimlerinin meydana geldiği sonucuna varmışlardır.

Toth (2006), torklama ve açılı kontrollü sıkma için elastik ideal-plastik ve elastik plastik olmak üzere iki teorik model geliştirerek üzerinde çalışmıştır. Bu iki teorik model arasındaki en belirgin farklılık, cıvatanın plastik bölgeye ulaşması ile birlikte, bağlantının farklı davranış göstermesidir. Her iki model de, anlık ve kalıcı uzamalar, son ön yük ve tork değerlerinin ortaya konmasında Monte Carlo benzetimleri ve Taylor serileri kullanılarak elde edilen deneysel bulgularla birebir örtüşen sonuçlar vermiştir.

Marshall ve arkadaşları (2006), cıvata bağlantılarında temas yüzeyinde oluşan gerilme dağılımını incelemişlerdir. Araştırmalarında gerçek durumu ortaya koyabilmek için ultrasonik yöntem kullanmışlar, bu yöntemde bağlantı ara yüzeyine ultrasonik bir dalga göndererek, yansıtılan ses sinyallerini kayıt altına almışlardır. Gerilmenin fazla olduğu yüzeylerde ultrasonun emilerek yansıtılan ses sinyallerinin zayıf kaldığını, gerilmenin az olduğu yüzeylerde ise ultrasonun büyük bir kısmının yansıtıldığını tespit etmişlerdir. Ses sinyalleri ile gerilmeler arasındaki bağlantıyı kurabilmek için paralel bir deneysel kalibrasyon yöntemi uygulamış, bu yöntemle farklı tork değerleri için gerilme dağılım sonuçlarını elde etmişlerdir.

Olsson ve Sandlund (2008), cıvatalı bağlantılarda tork değerlerinin hesaplanması için kıstasları belirlemiş ve Scania firmasına ait iki farklı fabrikada farklı yöntemlerle sıkılan

eşdeğer noktaları örnekleme yaparak incelemişlerdir. Çalışma kapsamında sıkma hızı, malzeme özellikleri, ortam sıcaklığı, açılı sıkımlar için uygulanan ön tork değerleri vb. parametreler değiştirilerek ölçümler yapılmış ve süreçler arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

Shritama (2008), DC tork cihazı ile sıkılan civatalı bağlantılarda ergonomi etkileşimlerini incelemiştir. Bu etkiyi ortaya koyabilmek amacıyla gerçek bağlantıyı simüle edebilecek bir test bankosu yapılmış, sıkma algoritması, bağlantı katılığı, operatör kol kütlesi ve yumuşak tork kesme (kol etkisi) gibi farklı parametrelerin etkileri ile elde edilen sonuçların ergonomi konusunda yapılan önceki çalışmalar ile farklılıklar ihtiva ettiğini tespit etmiştir.

Yarkın (2010), araçlardaki şasi bağlantılarının alt ve üst toleranslarını bir yöntem dâhilinde hesaplayıp üst tolerans limitine kadar sıkılmış bağlantıları, 30.000km yol testi sonrasında tekrar ölçerek, tork değerindeki değişimleri incelemiş ve hesap yönteminin doğruluğunu araştırmıştır. Elde ettiği veriler neticesinde tork değişimlerinin sebepleri üzerine bir yorum getirmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

Hesaplanan değerlerin doğruluk derecesini görebilmek için, deneysel çalışma aşamasında “Tool station” olarak tabir edilen bir cihaz kullanılacaktır. Bu cihaz, istenilen döndürme momentini (torku) bağlantıya uygulayan ve tork değerini uygularken aynı anda bağlantıdaki gerilme değişimini ölçen elektronik tork tabancalarını, bu tabancalara gerekli torku uygulattırarak bir yazılımı ve tork uygulanırken bağlantıdaki torkun döndürme açısına karşı değişim grafiğini çizen bilgisayar programlarını içerir. Bu sayede, bağlantı elemanlarının plastik şekil değiştirme bölgesine girdiği ve koptuğu değerler göz önünde bulundurularak uygun tork değeri ve tolerans değerlerini belirleme imkânı vermektedir.

3.2. Yöntem

Tez kapsamındaki bu çalışmada, cıvata-somun bağlantılarında birleştirme süreçlerinin temelini oluşturan tork değerleri ve her imalat sürecinde olduğu gibi bu değerlerin uygulamadaki sapmalarını sınırlamak için kullanılan toleransları ifade eden alt ve üst limitler sayısal yöntemlere ve normlara göre hesaplanmıştır.

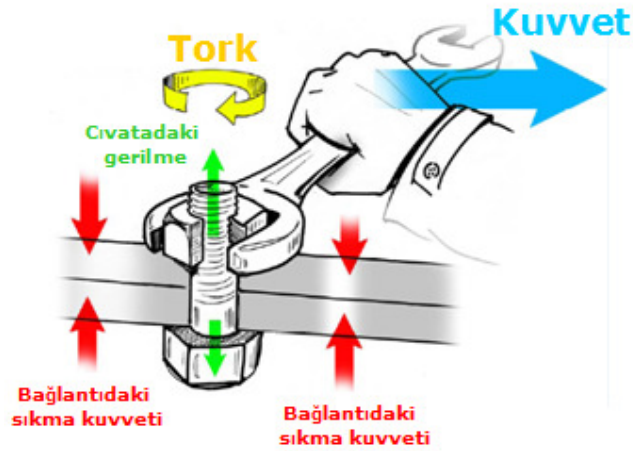
Bu yüksek lisans tezi çalışması; literatür inceleme, sayısal çözümleme ve deneysel araştırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

Literatür inceleme aşamasında, cıvata bağlantılarında kullanılan tork değerleri üzerine yapılan araştırmalar ve türetilen formüller ele alınmış; Sayısal çözümleme aşamasında, farklı yapı parçalarında, farklı cıvata boyutları için en uygun tork değeri ve toleransları teorik hesaplama yöntemleri ile belirlenmiş; Deneysel araştırma aşamasında ise hesaplama aşamasında ön gördüğümüz temel parametreleri (yapı parçalarının boyutları, malzemesi, yüzey pürüzlülükleri, kullanılan cıvata ve somun tipi vs.) tamamen sağlayacak numuneler hazırlanmış ve bağlantının dayanabileceği sınırların çok üzerinde bir torkta sıkılarak deforme olması sağlanmıştır. Bağlantının sıkılmaya başlamasından deformasyonuna kadar olan süreç, ileri teknoloji ürünü sistemler ve bilgisayar programları yardımı ile grafik olarak alınmış, bağlantının hangi torkta akma noktasına ulaştığı ve ne zaman koptuğu tespit edilmiştir.

Son olarak teori ve pratiğin karşılaştırılması yapılmış ve teorik hesaplamaların ne kadar gerçeği yansıttığı ortaya koyulmuştur.

3.3. Hesaplama Yöntemi

Tork değerleri bilindiği gibi birbirine sabitlenecek parçaların üzerinde oluşturulan sıkma kuvvetinin, müdahale edilebilen ve seri üretim şartlarında kolaylıkla ölçülmesine ve kontrol edilmesine olanak veren bir yansımasıdır.



Şekil 3.1. Tork kuvvet ön gerilme ve sıkma kuvveti arasındaki ilişkinin şekilsel gösterimi (Atlas Copco, 2011, tork tanımı)

Bir cıvatalı bağlantı belirli bir tork ile sıkılırken asıl ulaşılmak istenen, birleştirilen parçaların birbirine bir kuvvet ile bastırılmasıdır. Bu kuvvetin cıvata üzerine etkisi ön gerilme kuvvetidir ki bu gerilme kuvveti Şekil 3.1 de gösterildiği gibi somunun sıkma yönünde döndürülmesi ile sağlanır. Ancak bir bağlantıda gerekli ön gerilme kuvvetini oluşturmak üzere öngördüğümüz tork değerinin, ayarlanmış bir tork aleti ile bağlantıya uygulanması sırasında öngörülen değere ulaşmamızı engelleyen bir çok faktörler vardır.

3.3.1. Genel bakış

Cıvatalı bağlantının yapıldığı parçanın işlevi, kuvvetin yükleme şekli, geometri, malzeme, cıvata ve somunun kalite sınıfı, yüzey özellikleri, sıkma momentinin uygulanma şekli, sıkmanın yapıldığı alet veya cihaz yapacağımız hesaplamada sınır şartlarımızdır.

1. Girdiler:

- Anma çapı, sınır ölçüleri d, G
- Sıkma faktörü α_A
- En küçük sıkma kuvveti F_{Kerf}

2. Gerilme üçgeni:

- İşletme kuvveti/Kuvvet faktörü dağılımı F_{SA}, F_{PA}, Φ
- Ön gerilme kuvveti değişimi $F_Z, \Delta F'_{Vth}$
- En küçük montaj ön gerilme kuvveti $F_{M \min}$
- En büyük montaj ön gerilme kuvveti $F_{M \max}$

3. Zorlama durumu ve rijitliğin kanıtlanması:

- Montaj zorlaması (gerilmesi) $\sigma_{red,M}, F_{Mzul}$
- Çalışma (işletme) zorlaması $\sigma_{red,B}, S_F$
- Titreşim zorlaması $\sigma_a, \sigma_{ab}, S_D$
- Yüzey baskısı p_{max}, S_P
- En küçük vida derinliği $m_{eff \min}$
- Kayma, kesme $S_G, \tau_{Q \max}$
- Tork değeri MA

3.3.2. Açıklamalar

Bir cıvatalı bağlantı için yapılacak hesaplamalar, o bağlantıya dışarıdan etkiyecek işletme kuvveti (F_B) göz önüne alınarak yapılır. İşletme kuvvetinin etkisi altında, bu kuvvetten kaynaklanan elastik form değişiklikleri ile montaj parçaları üzerinde oluşan eksenel işletme kuvveti F_A , enine işletme kuvveti F_Q , eğilme momenti M_b ve bazı durumlarda döndürme momenti M_T oluşur bazı özel durumlarda ise cıvatalama bölgesinde “saf” yani kuvvet etkisi altında olmayan işletme momenti M_B etkir.

Cıvatalı bağlantıların ve bu bağlantılar ile birbirine sabitlenen parçaların tasarım çeşitliliği, çıktı değerlerinin tespitinde zor ve zahmetli kuvvet ve şekil değiştirme analizlerini gerekli kılar. Bu hesaplamalar elastomekanik yöntemler ile yapılmalıdır. Sadece basit ve rijit bağlantılar için işletme kuvveti çıktı değerleri basit çözümleme ile

elde edilebilir. Bu çözümlemede F_A , F_Q , M_T ve bazı durumlarda M_B bilinen değer olarak alınır.

Gerekli hesaplamalarda, önceden bilinen yükleme koşullarının göz önünde bulundurulmasının bir diğer önemi de, ön gerilme kaybı ($F_Z + \Delta F'_{vth}$) oturma süreci veya sıcaklık değişimi gibi unsurların bağlantıyı olumsuz yönde etkilemesini önlemektir.

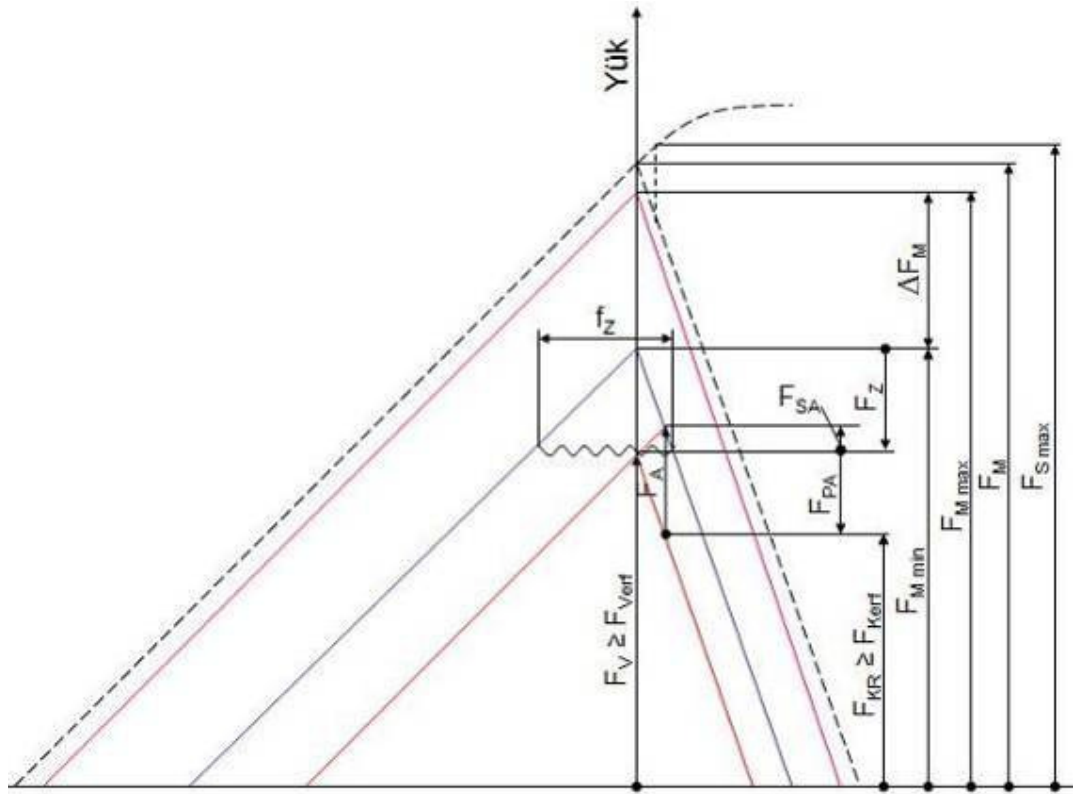
Bunun yanında dikkat edilmesi gereken diğer bir husus, montaj parçalarının ayırma yüzeylerine çalışma şartlarında etkiyen kuvvet, montaj ön gerilme kuvvetinin karşısında ise ($F_A > 0$) parça üzerine etkiyen eksenel cıvata kuvveti ($F_{PA} = (1 - \Phi)F_A$) azalır. Bu durumda sistemin kendinden beklenen sızdırmazlık, ayırma yüzeyinde tek taraflı açılmanın engellenmesi veya kendi kendine çözülme gibi işlevleri yerine getirebilmesi için hesaplanmış en küçük sıkma kuvvetine (F_{Kerf}) ihtiyaç vardır.

Son olarak dikkat edilmesi gereken bir nokta da, seçilen montaj yöntemine ve sürtünme koşullarına bağlı olarak montaj ön gerilme kuvvetinin dar ya da geniş tolerans sınırları içerisinde dağılabileceğini göz ardı etmemektir.

Bütün bu faktörler ana ölçülendirme formülünün unsurlarıdır ve bu formül cıvata hesaplamasının temelini oluşturur (bkz. Şekil 3.2.).

$$F_{M \max} = \alpha_A \cdot F_{M \min} \quad (3.1)$$

$$F_{M \max} = \alpha_A \cdot [F_{Kerf} + (1 - \Phi)F_A + F_Z + \Delta F_{vth}] \quad (3.2)$$



Şekil 3.2. Ana ölçülendirme ve diğer bazı önemli büyüklüklerin gösterildiği gerilme diyagramı (VDI 2230)

Cıvatanın ön gerilme kuvveti F_M cıvatanın anma çapı için bir ölçü kıstası olarak görev yapar ve sıkma sırasında meydana gelen vida momenti ile cıvata malzemesinin normunda belirtilen akma sınırının %100'üne kadar ya da daha fazlasından (Akma sınırını aşan sıkmalarda) faydalanır.

3.3.3. Sayısal hesaplamanın temeli

Sıklıkla kullanılan tork kontrollü sıkma için yaygın olarak minimum akma sınırının %90'ının kullanılması temel teşkil eder.

Eğer çalışma durumunda bağlantı titreşim ile zorlamaya maruz kalıyor ise oluşan titreşim gerilmesi cıvatanın dayanım sınırını geçmemelidir.

Hesaplama adımları, cıvata başı ya da somun altında oluşan yüzey basıncı incelemesini de içerir. Malzemeye ait sınır yüzey basıncı sınırı aşılmamalıdır. Bu sayede sürünme oluşumundan kaynaklanan ön gerilme kuvveti kaybindan da kaçınılmış olur. Tasarım ve montaj şartları genelde önceden seçilebilir ya da bu şartlara sonradan müdahale

edilebilirdir. Üstelik bu şartlar oturma ve ön gerilme dağılımını etkileyen değerleri belirler.

3.3.3.1. Anma çapı d' nin belirlenmesi ve sınır ölçüsü G' nin incelenmesi

Anma çapının yaklaşık olarak tespiti için Çizelge 3.1. kullanılabilir. Eksantrik yüklemeye maruz kalan ve eksantrik yüklenen bağlantılarda hesaplama ilişkilerinin geçerliliği incelenmelidir. Cıvata eksen ve eksenel işletme kuvvetinin etki çizgisi seviyesindeki ayırma yüzeyi boyutları aşağıdaki boyut sınırlarını geçmemelidir.

$$DSV : G=h_{min} + d_w \quad (3.3)$$

$$ESW : G' \cong (1,5...2) \cdot d_w \quad (3.4)$$

Aşılan sınır değerleri arkasından daha büyük hesaplama hatalarını getirir.

Çizelge 3.1. Uygulanacak yüke göre kullanılacak cıvatanın yaklaşık anma çapı tespiti (VDI 2230)

Kuvvet (N)	Anma Çapı (mm)		
	Cıvata kalitesi		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1000	3	3	3
1600	3	3	3
2500	3	3	4
4000	4	4	5
6300	4	5	6
10000	5	6	8
16000	6	8	10
25000	8	10	12
40000	10	12	14
63000	12	14	16
100000	16	18	20
160000	20	22	24
250000	24	27	30
400000	30	33	36
630000	36	39	

3.3.3.2. Sıkma faktörünün tespit edilmesi α_A

Sıkma faktörü α_A F_{Mmin} ve F_{Mmax} arasındaki ulaşılabilir ön gerilme kuvvetlerinin dağılımını göz önüne alır. Bu değer, ancak sıkma yöntemlerine ve gerektiği durumlarda da sürtünme katsayısı sınıflarına dikkat edilerek belirlenebilir. Sürtünme katsayısı sınıfları Çizelge 3.2 den tespit edilebilir.

$$\alpha_A = \frac{F_{M \max}}{F_{M \min}} \quad (3.5)$$

Akma sınırı kontrollü ya da dönme açısı kontrollü sıkmalarda, sıkma faktörü $\alpha_A = 1$ olarak alınır. Diğer durumlar için α_A değeri Çizelge 3.3 yardımı ile seçilebilir.

Çizelge 3.2. Cıvatalı bağlantılarda farklı malzeme, yüzey ve yağlayıcılara göre sürtünme katsayısı aralığı seçimi (VDI 2230)

Sürtünme Katsayısı sınıfı	μ_s ve μ_k için değer aralığı	Tipik örnekler arasından seçim	
		Malzeme / Dış yüzey	Yağlayıcı
A	0,04 - 0,10	Metalik parlak Siyah oksit Fosfatlanmış Çinko lamel katmanlı Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Çinko lamel katmanlı	Katı yağlayıcılar MoS ₂ , Grafit, PTFE, PA, PE, PI Son katman olarak sürtünme giderici veya macun Mum eriyiği Mum dispersiyonları
		Metalik parlak Siyah oksit Fosfatlanmış Galvaniz katmanlı Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Çinko lamel katmanlı Al. ve Mg. Alaşımli	Katı yağlayıcılar MoS ₂ , Grafit, PTFE, PA, PE, PI Son katman olarak sürtünme giderici veya macun Mum eriyiği Mum dispersiyonlu yağlar
B	0,08 - 0,16	Galvanize	MoS ₂ ; Grafit; Mum dispersiyonları
		Organik yüzey kaplama	İçeriğinde katı yağlayıcı yada mum dispersiyonları olan yağlayıcılar
C	0,14 - 0,24	Östenitik çelik	Katı yağlayıcı yada mum macunları
	0,14 - 0,24	Metalik parlak Fosfatlanmış Galvanize katman Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Çinko lamel katman Yapışkan madde	Mum dispersionu macunu Teslim öncesi az yağlama durumu
D	0,20 - 0,35	Östenitik çelik	Sıvı yağlayıcı
	0,20 - 0,35	Galvanize katman Zn, Zn/Fe Galvanize	-
E	$\geq 0,30$	Galvanize katman Zn/Fe, Zn/Ni Östenitik çelik Al, Mg Alaşımli	-

Çizelge 3.3. Cıvatalı bağlantılarda sıkma faktörü α_A 'nın sıkma yöntemine göre seçim aralıkları. (VDI 2230)

Sıkma Faktörü α_A	Dağılım $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{\alpha_A - 1}{\alpha_A + 1}$	Sıkma yöntemi	Ayarlama yöntemi	Açıklama	
1,05 - 1,2	$\pm 2 \% - \pm 10 \%$	Ultrasonik ölçüm cihazı ile uzunluk kontrollü sıkma	Ses gidiş dönüş süresi	• Kalibrasyon değeri gerekli • $l_K/d < 2$ durumunda ilerleyen hatalara dikkat edin • Direkt mekanik arayüzlerde küçük hatalar, indirekt arayüzlerde ise büyük hatalar oluşur.	
1,1 - 1,5	$\pm 5 \% - \pm 20 \%$	Mekanik uzunluk ölçümü	Uzunluk ölçümü üzerine ayarlama	• cıvatanın eksenel elastik sünekliliği tam olarak belirlenmelidir. • Dağılım önemli ölçüde ölçüm yönteminin kesinliğine bağlıdır. • $l_K/d < 2$ durumunda ilerleyen hatalara dikkat edin	
1,2 - 1,4	$\pm 9 \% - \pm 17 \%$	Motorlu yada manuel olarak akma sınırı kontrollü sıkma	Bağıl tork - dönme açısı sabitlerinin önceden verilmesi	Montajı yapılmış olan cıvata çeperi içerisinde ön gerilme dağılımı akma sınırı dağılımı tarafından belirlenir. cıvatalar burada F_{Mmin} için boyutlandırılır; Bu sıkma metodunda F_{Mmax} ile α_A elemine edilir	
1,2 - 1,4	$\pm 9 \% - \pm 17 \%$	Motorlu yada manuel olarak döndürme açısı kontrollü sıkma	Ön tork ve döndürme açısının (kademeleri) deneysel olarak belirlenmesi		
1,2 - 1,6	$\pm 9 \% - \pm 23 \%$	Hidrolik sıkma	Uzunluk veya basınç ölçümü üzerine ayarlama	• Uzun cıvatalar için düşük değerler ($l_K/d \geq 5$) • Kısa cıvatalar için yüksek değerler ($l_K/d \leq 2$)	
1,4 - 1,6	$\pm 17 \% - \pm 23 \%$	Tork anahtarı ile tork kontrollü sıkma, Sinyal verebilen tork anahtarı veya dinamik tork ölçebilen tork tabancaları	Hedeflenen tork değerinin orijinal bağlantı parçaları ile deneysel olarak belirlenmesi. Ör.: Cıvatanın uzama ölçümü yardımı ile	Düşük değerler: Ayar veya kontrol denemelerinde çok sayıda denemelere (örn: 20) ihtiyaç vardır. Verilen momentin düşük dağılımlı olması gerekir.(Örn: $\pm 5\%$)	Düşük değerler: • Nispeten sert bağlantılarda küçük döndürme açıları için, • Nispeten daha az sert olan karşı yüzeyler için • paslanma eğiliminde olmayan yüzeyler için (örn. Fosfatlanmış veya yeterli derecede yağlanmış)
1,6 - 2,0 (Sürtünme katsayısı sınıfı B)	$\pm 23 \% - \pm 33 \%$	Tork anahtarı ile tork kontrollü sıkma, Sinyal verebilen tork anahtarı veya dinamik tork ölçebilen tork tabancaları	Hedeflenen tork değerinin sürtünme katsayısı tahmini ile belirlenmesi. Ör.: Cıvatanın uzama ölçümü yardımı ile (Yüzey ve yağlama oranı ile)	Düşük değerler: Aynı ayar da sıkımlar, hassas tork tabancaları ve ölçülmüş tork anahtarları için	Yüksek değerler: • hassas dişli vidalama gibi yumuşak davranan bağlantılar için büyük değerler • yüksek sertlikteki yüzey, kaba yüzey
1,7 - 2,5 Sürtünme katsayısı sınıfı A)	$\pm 26 \% - \pm 43 \%$			Yüksek değerler: sinyal veren yada kırmalı tork anahtarları için	
2,5 - 4	$\pm 43 \% - \pm 60 \%$	Darbeli sıkıcılar ile sıkma	Tork tabancaları uygulanacak torka ayarlanır (tahmin edilen sürtünme kuvveti baz alınarak)	Düşük değerler: • ayar denemelerinden yüksek sayılar (uygulanan tork) • yatay tork tabancası özelliği • Boşluklu darbe iletimi	

3.3.3.3. En küçük sıkma kuvvetinin belirlenmesi F_{Kerf}

Gerekli en küçük sıkma kuvvetinin belirlenmesinde sıkılacak parçanın kullanım amacı dikkate alınır. Bu amaçları şu şekilde sıralayabiliriz:

a). Cıvata eksenine dik kuvvetleri F_Q ve/veya cıvata eksenini etrafında bir döndürme momentini (M_Y) taşıyacak en küçük sıkma kuvveti F_{KQ} için:

$$F_{KQ} = \frac{F_{Q \max}}{q_F \cdot \mu_{T \min}} + \frac{M_{Y \max}}{q_M \cdot r_a \cdot \mu_{T \min}} \quad (3.6)$$

b) Sızdırmazlık sağlanması için en küçük sıkma kuvveti

$$F_{KP} = A_D \cdot p_{i, \max} \quad (3.7)$$

c) Esneyerek ayırma yüzeyinden açılmanın önlenmesi için gerekli en küçük kuvvet:

$$F_{KA} = F_{Kab} = F_{A \max} \frac{A_D \cdot (a \cdot u - s_{sym} \cdot u)}{I_{BT} + s_{sym} \cdot u \cdot A_D} + M_{B \max} \frac{u \cdot A_D}{I_{BT} + s_{sym} \cdot u \cdot A_D} \quad (3.8)$$

Bu üç koşulun sağlanması için ilişki şu şekilde düzenlenebilir:

$$F_{Kerf} \geq \max(F_{KQ}; F_{KP} + F_{KA})$$

Dışarıdan etkiyen çalışma kuvveti diye adlandırılan kuvvetin dışında, cıvatalı konstrüksiyonlarda her zaman birbirleri ile cıvata ile bağlanan parçaları birbirine bastırmak için kullanılan bir minimum sıkma kuvveti F_{Kerf} vardır. Bu kuvvet, yüzeylerin birbirinden ayrılmasını önler ve gerektiğinde sızdırmazlığı sağlar.

Bu en küçük sıkma kuvveti uzun çalışma sürelerinden sonra veya birbirine bastırılan parçaların kalıcı deformasyonu nedeni ile cıvatalı bağlantının oturmasından sonra bağlantıda kalması gereken kuvvettir ki bu kuvvet, özellikle hesaplamadan önce bilinmesi gereken önemli bir çıkış değeridir.

Gerekli en küçük sıkma kuvvetinin tahmin edilmesinde göz önünde bulundurulması gerekenler:

- Sızdırmazlık basınç kuvveti
- Cıvata ve somun aracılığı ile birbirine bastırılan parçaların ayırma yüzeyinde Enine kuvvetin sürtünme katsayısına oranının kabulü

$$F_{Kerf} = \frac{F_Q}{\mu_Q} \quad (3.9)$$

- Tüm cıvatalı bağlantının yeteri kadar rijit olmasını garanti altına almak için ayırma yüzeyinde oluşan baskı kuvveti
- Eksenden kaçık uygulanan kuvvetin, cıvatalanmış parçaları ayırma yüzeyinden açmaması gerektiği
- Yeterli bir emniyet katsayısı seçilmesi

3.3.3.4. Çalışma kuvvetinin parça ve cıvataya dağılımının tespiti

Kuvvet oranı Φ cıvata üzerine ek olarak gelen çalışma kuvvet F_{SA} nın eksenel çalışma kuvvetine F_A bölümü ile elde edilir.

$$\Phi = \frac{F_{SA}}{F_A} \quad (3.10)$$

Sıkılan parçalara etkiyen kuvvet ise şu şekildedir:

$$F_{PA} = (1 - \Phi)F_A \quad (3.11)$$

Kuvvet oranı Φ nin tespiti için parçanın elastik sünekliği δ_P , cıvatanın elastik sünekliği δ_S ve kuvvet iletim faktörü n gereklidir. Tipik yükleme ve gerilme durumlarında şunlar geçerlidir:

- a) Eksenel yükleme ve gerilme ($s_{sym} = 0$ ve $a = 0$)

$$\Phi_n = n \cdot \frac{\delta_P}{\delta_S + \delta_P} \quad (3.12)$$

- b) Eksantrik gerilme ve yükleme durumu en sık meydana gelen durumdur.

$$s_{sym} \neq 0$$

$$a > 0$$

$$\Phi_{en}^* = n \cdot \frac{\delta_P^{**}}{\delta_S + \delta_P^*} \quad (3.13)$$

3.3.3.5. Ön gerilme kuvveti değişimleri $F_Z, \Delta F'_{vth}$

Bir cıvatanın ön gerilme kuvveti kaybı F_Z aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$F_Z = \frac{f_Z}{(\delta_S + \delta_P)} \quad (3.14)$$

Cıvata somun ve çelik malzemeden üretilmiş kompakt birleştirme parçalarında oturma büyüklüğü için referans f_z verisi, Çizelge 3.4 den elde edilebilir.

Çizelge 3.4. Oturma büyüklüğü referans verisi f_z nin yüzey pürüzlülüğüne bağlı değişimi

Ortalama Pürüz yüksekliği Rz (DIN 4768)	Yükleme	Oturma büyüklüğü referans verisi f_z (μm)		
		Vida kısmında	Cıvata başı ya da somun altı yüzeyinde	Parçalar arası ayırma yüzeyinde
<10 μm	Çekme/basma	3	2,5	1,5
	Kesme	3	3	2
10 μm - 40 μm	Çekme/basma	3	3	2
	Kesme	3	4,5	2,5
40 μm - 160 μm	Çekme/basma	3	4	3
	Kesme	3	6,5	3,5

Termik olarak gerilmeye tabi tutulan cıvatalı bağlantılarda cıvata ve parçaların farklı sıcaklık genleşme katsayıları ve ısınma nedeni ile ön gerilme kuvveti değişimleri meydana gelir.

$$\Delta F'_{vih} = \frac{l_K \cdot (\alpha_S \cdot \Delta T_S - \alpha_P \cdot \Delta T_P)}{\delta_S \frac{E_{SRT}}{E_{ST}} + \delta_P \frac{E_{PRT}}{E_{PT}}} \quad (3.15)$$

Bu formül kritik işletme yüklemelerinde kalıcı deformasyon olup olmayacağını kontrol etmek içindir.

Bir cıvatanın ön gerilme kuvveti, aşağıdaki sebeplerden dolayı montaj ön gerilme kuvveti karşısında değişebilir:

- Etrafındaki diğer yakın cıvataların sıkılması
- Temas yüzeylerinin oturması
- Kendi kendine çözülme
- Malzemenin relaksasyonu
- Sıcaklık değişimi
- Bağlantının aşırı yüklenmesi

Bu ön gerilme unsurlarının oluşmasına etki eden asıl sebepleri ise Şekil 3.3. de verilen balık kılçığı diyagramında daha ayrıntılı görebiliriz.



Şekil 3.3. Ön görülen tork ile hedeflenen ön gerilme kuvvetine ulaşmayı etkileyen faktörlerin balık kılçığı diyagramı şeklinde

3.3.3.6. En küçük montaj ön gerilme kuvvetinin tespiti F_{Mmin}

Gerekli en küçük montaj ön gerilmesi, bağlantının mümkün olan en büyük stres boşalması altında oluşacak ön gerilme değişimi göz önüne alınarak elde edilir.

$$F_{Mmin} = F_{Kerf} + (1 - \Phi_{en}^*) F_{Amax} + F_Z + \Delta F'_{Vth} \quad (3.16)$$

Eğer tam anlamı ile garanti altına alınamıyor ise ki yükleme her zaman ilk olarak çalışma yani süreklilik sıcaklığına ulaştıktan sonra meydana gelir, $\Delta F'_{Vth} < 0$ olduğunda $\Delta F'_{Vth} = 0$ olarak değiştirmek unutulmamalıdır.

3.3.3.7. En büyük montaj ön gerilme kuvveti F_{Mmax}

$$\alpha_A = \frac{F_{Mmax}}{F_{Mmin}} \quad (3.17)$$

denkleme dikkate alınarak gerekli en büyük montaj ön gerilmesi şu şekilde hesaplanır.

$$F_{Mmax} = \alpha_A \cdot F_{Mmin} \quad (3.18)$$

3.3.3.8. Montaj gerilmesinin tespiti ve cıvata ebadının kontrol edilmesi

Amaç, cıvatalı bağlantıların sağlamlığından çok uzun süreler faydalanmaktır. Bu nedenle, eş değer gerilmenin olduğu durumlar için ($\sigma_{red,M}$) cıvatalı bağlantının DIN EN ISO 898-1 de standartlaştırılmış olan en küçük akma dayanımının ($R_{p0,2,min}$) sadece bir kısmının kullanılması (genellikle %90) uygundur ki bu kullanım derecesi “v” ile mümkün olur.

$$\sigma_{red,Mzul} = v \cdot R_{p0,2,min} \quad (3.19)$$

Seçilen cıvata için izin verilen montaj ön gerilme kuvveti şu şekilde hesaplanır.

$$F_{Mzul} = A_0 \cdot \frac{v \cdot R_{p0,2,min}}{\sqrt{1 + 3 \left[\frac{3}{2} \frac{d_2}{d_0} \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1,155 \cdot \mu_{Gmin} \right) \right]^2}} \quad (3.20)$$

Minimum akma dayanımının %90 lık kullanımında montaj ön gerilme kuvveti $F_{Mzul}=F_{MTab}$ Çizelge 3.5’den Çizelge 3.8’e kadar olan Çizelgelerden seçilebilir.

Vida üzerinde (μ_G) ve cıvata başının ya da somunun oturma yüzeylerinde (μ_K) sağlanan sürtünme katsayıları bilinemediğinde Çizelge 3.2. karar vermede yardımcı olarak kullanılabilir.

Çizelge 3.5. DIN ISO 262' ye göre metrik normal vida dişlerine sahip şaftlı cıvatalar,
DIN EN ISO 4014 den 4018' e kadar olan standartlara uygun baş ölçüsü,
DIN 34800 e ve ya DIN EN ISO 4762 standardına uygun baş ölçüsüne
sahip cıvatalar ve DIN EN 20273'e göre delikler için $\nu = 0,9$ olduğu
durumda montaj ön gerilme kuvveti F_{MTab} ve sıkma torku M_A (VDI 2230)

Boyut	Cıvata kalitesi	Montaj ön gerilme kuvveti μ_E 'ye göre F_{MTab} (kN)							Sıkma Torku (Momenti) μ_E 'ye göre M_A (Nm)						
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M4	8.8	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2	3,9	3,7	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6	4,1	4,5
	10.9	6,8	6,7	6,5	6,3	6,1	5,7	5,4	3,3	3,9	4,6	4,8	5,3	6,0	6,6
	12.9	8,0	7,8	7,6	7,4	7,1	6,7	6,3	3,9	4,5	5,1	5,6	6,2	7,0	7,8
M5	8.8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,4	6,0	4,4	5,2	5,9	6,5	7,1	8,1	9,0
	10.9	11,1	10,8	10,6	10,3	10,0	9,4	8,8	6,5	7,6	8,6	9,5	10,4	11,9	13,2
	12.9	13,0	12,7	12,4	12,0	11,7	11,0	10,3	7,6	8,9	10,0	11,2	12,2	14,0	15,5
M6	8.8	10,7	10,4	10,2	9,9	9,6	9,0	8,4	7,7	9,0	10,1	11,3	12,3	14,1	15,6
	10.9	15,7	15,3	14,9	14,5	14,1	13,2	12,4	11,3	13,2	14,9	16,5	18,0	20,7	22,9
	12.9	18,4	17,9	17,5	17,0	16,5	15,5	14,5	13,2	15,4	17,4	19,3	21,1	24,2	26,8
M7	8.8	15,5	15,1	14,8	14,4	14,0	13,1	12,3	12,6	14,8	16,8	18,7	20,5	23,6	26,2
	10.9	22,7	22,5	21,7	21,1	20,5	19,3	18,1	18,5	21,7	24,7	27,5	30,1	34,7	38,5
	12.9	26,6	26,0	25,4	24,7	24,0	22,6	21,2	21,6	25,4	28,9	32,2	35,2	40,6	45,1
M8	8.8	19,5	19,1	18,6	18,1	17,6	16,5	15,5	18,5	21,6	24,6	27,3	29,8	34,3	38,0
	10.9	28,7	28,0	27,3	26,6	25,8	24,3	22,7	27,2	31,8	36,1	40,1	43,8	50,3	55,8
	12.9	33,6	32,8	32,0	31,1	30,2	28,4	26,6	31,8	37,2	42,2	46,9	51,2	58,9	65,3
M10	8.8	31,0	30,3	29,6	28,8	27,9	26,3	24,7	36	43	48	54	59	68	75
	10.9	45,6	44,5	43,4	42,2	41,0	38,6	36,2	53	63	71	79	87	100	110
	12.9	53,3	52,1	50,8	49,4	48,0	45,2	42,4	62	73	83	93	101	116	129
M12	8.8	45,2	44,1	43,0	41,9	40,7	38,3	35,9	63	73	84	93	102	117	130
	10.9	66,3	64,8	63,2	61,5	59,8	56,3	52,8	92	108	123	137	149	172	191
	12.9	77,6	75,9	74,0	72,0	70,0	65,8	61,8	108	126	144	160	175	201	223
M14	8.8	62,0	60,6	59,1	57,5	55,9	52,6	49,3	100	117	133	148	162	187	207
	10.9	91,0	88,9	86,7	84,4	82,1	77,2	72,5	146	172	195	218	238	274	304
	12.9	106,5	104,1	101,5	98,8	96,0	90,4	84,8	171	201	229	255	279	321	356
M16	8.8	84,7	82,9	80,9	78,8	76,6	72,2	67,8	153	180	206	230	252	291	325
	10.9	124,4	121,7	118,8	115,7	112,6	106,1	99,6	224	264	302	338	370	428	477
	12.9	145,5	142,4	139,0	135,4	131,7	124,1	116,6	262	309	354	395	433	501	558
M18	8.8	107	104	102	99	96	91	85	220	259	295	329	360	415	462
	10.9	152	149	145	141	137	129	121	314	369	421	469	513	592	657
	12.9	178	174	170	165	160	151	142	367	432	492	549	601	692	769
M20	8.8	136	134	130	127	123	116	109	308	363	415	464	509	588	655
	10.9	194	190	186	181	176	166	156	438	517	592	661	725	838	933
	12.9	227	223	217	212	206	194	182	513	605	692	773	848	980	1092
M22	8.8	170	166	162	158	154	145	137	417	495	567	634	697	808	901
	10.9	242	237	231	225	219	207	194	595	704	807	904	993	1151	1284
	12.9	283	277	271	264	257	242	228	696	824	945	1057	1162	1347	1502
M24	8.8	196	192	188	183	178	168	157	529	625	714	798	875	1011	1126
	10.9	280	274	267	260	253	239	224	754	890	1017	1136	1246	1440	1604
	12.9	327	320	313	305	296	279	262	882	1041	1190	1329	1458	1685	1877

Çizelge 3.6. DIN ISO 262’ ye göre metrik normal vida dişlerine sahip faturalı cıvatalar,
DIN EN ISO 4014 den 4018’ e kadar olan standartlara uygun baş ölçüsü,
DIN 34800 e ve ya DIN EN ISO 4762 standardına uygun baş ölçüsüne
sahip cıvatalar ve DIN EN 20273’e göre delikler için $\nu = 0,9$ olduğu
durumda montaj ön gerilme kuvveti F_{MTab} ve sıkma torku M_A (VDI 2230)

Boyut	Civata kalitesi	Montaj ön gerilme kuvveti μ_G 'ye göre F_{MTab} (kN)							Sıkma Torku (Momenti) μ_G 'ye göre M_A (Nm)						
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M4	8.8														
	10.9														
	12.9														
M5	8.8														
	10.9														
	12.9														
M6	8.8	7,5	7,3	7,0	6,8	6,5	6,0	5,6	5,4	6,2	7,0	7,7	8,3	9,4	10,3
	10.9	11,0	10,7	10,3	9,9	9,6	8,9	8,2	7,9	9,1	10,3	11,3	12,3	13,9	15,2
	12.9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	10,4	9,6	9,2	10,7	12,0	13,2	14,3	16,2	17,7
M7	8.8	11,1	10,8	10,5	10,1	9,8	9,1	8,4	9,0	10,5	11,9	13,2	14,3	16,3	17,9
	10.9	16,3	15,9	15,4	14,8	14,3	13,3	12,3	13,3	15,5	17,5	19,3	21,0	23,9	26,2
	12.9	19,1	18,6	18,0	17,4	16,8	15,6	14,4	15,5	18,1	20,5	22,6	24,6	28,0	30,7
M8	8.8	13,8	13,4	13,0	12,5	12,1	11,2	10,4	13,1	15,2	17,1	18,9	20,5	23,3	25,5
	10.9	20,3	19,7	19,1	18,4	17,8	16,5	15,3	19,2	22,3	25,2	27,8	30,1	34,2	37,4
	12.9	23,8	23,1	22,3	21,5	20,8	19,3	17,9	22,5	26,1	29,5	32,5	35,3	40,0	43,8
M10	8.8	22,1	21,5	20,8	20,1	19,4	18,0	16,7	26	30	34	38	41	46	51
	10.9	32,5	31,5	30,5	29,5	28,4	26,4	24,5	38	44	50	55	60	68	75
	12.9	38,0	36,9	35,7	34,5	33,3	30,9	28,6	45	52	59	65	70	80	87
M12	8.8	32,3	31,4	30,4	29,4	28,3	26,3	24,4	45	52	59	65	71	80	88
	10.9	47,5	46,1	44,6	43,1	41,6	38,7	35,8	66	77	87	96	104	118	130
	12.9	55,6	53,9	52,2	50,5	48,7	45,2	41,9	77	90	101	112	122	138	152
M14	8.8	44,5	43,2	41,8	40,4	39,0	36,3	33,6	71	83	94	104	113	129	141
	10.9	65,3	63,4	61,4	59,4	57,3	53,2	49,4	105	122	138	153	166	189	207
	12.9	76,4	74,2	71,9	69,5	67,1	62,3	57,8	123	143	162	179	195	221	243
M16	8.8	61,8	60,1	58,3	56,5	54,6	50,8	47,2	111	131	148	165	179	205	226
	10.9	90,8	88,3	85,7	82,9	80,1	74,6	69,3	164	192	218	242	264	301	331
	12.9	106,3	103,4	100,3	97,0	93,8	87,3	81,1	191	225	255	283	308	352	388
M18	8.8	77	75	72	70	68	63	58	159	186	210	232	253	288	316
	10.9	110	106	103	100	96	89	83	226	264	299	331	360	410	450
	12.9	128	124	121	117	113	105	97	265	309	350	387	421	480	527
M20	8.8	100	97	94	91	88	82	76	225	264	300	332	362	414	455
	10.9	142	138	134	130	125	117	108	320	376	427	473	516	589	649
	12.9	166	162	157	152	147	136	127	375	440	499	554	604	689	759
M22	8.8	125	122	118	115	111	103	96	308	363	413	460	502	575	634
	10.9	179	174	169	163	158	147	137	439	517	589	655	715	819	903
	12.9	209	203	197	191	185	172	160	514	605	689	766	837	958	1057
M24	8.8	143	140	135	131	127	118	109	387	454	515	572	623	711	783
	10.9	204	199	193	187	180	168	156	551	646	734	814	887	1013	1115
	12.9	239	233	226	218	211	196	182	644	756	859	953	1038	1185	1305

Çizelge 3.7. DIN ISO 262' ye göre metrik hassas vida dişlerine sahip şaftlı cıvatalar,
DIN EN ISO 4014 den 4018' e kadar olan standartlara uygun baş ölçüsü,
DIN 34800 e ve ya DIN EN ISO 4762 standardına uygun baş ölçüsüne
sahip cıvatalar ve DIN EN 20273'e göre delikler için $\nu = 0,9$ olduğu
durumda montaj ön gerilme kuvveti F_{MTab} ve sıkma torku M_A (VDI 2230)

Boyut	Cıvata kalitesi	Montaj ön gerilme kuvveti μ_0 'ye göre F_{MTab} (kN)							Sıkma Torku (Momenti) μ_0 'ye göre M_A (Nm)						
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M8 x 1	8.8	21,2	20,7	20,2	19,7	19,2	18,1	17,0	19,3	22,8	26,1	29,2	32,0	37,0	41,2
	10.9	31,1	30,4	29,7	28,9	28,1	26,5	24,9	28,4	33,5	38,3	42,8	47,0	54,3	60,5
	12.9	36,4	35,6	34,7	33,9	32,9	31,0	29,1	33,2	39,2	44,9	50,1	55,0	63,6	70,8
M9 x 1	8.8	27,7	27,2	26,5	25,9	25,2	23,7	22,3	28,0	33,2	38,1	42,6	46,9	54,4	60,7
	10.9	40,7	39,9	39,0	38,0	37,0	34,9	32,8	41,1	48,8	55,9	62,6	68,8	79,8	89,1
	12.9	47,7	46,7	45,6	44,4	43,3	40,8	38,4	48,1	57,0	65,4	73,3	80,6	93,4	104,3
M10 x 1	8.8	35,2	34,5	33,7	32,9	32,0	30,2	28,4	39	46	53	60	66	76	85
	10.9	51,7	50,6	49,5	48,3	47,0	44,4	41,7	57	68	78	88	97	112	125
	12.9	60,4	59,2	57,9	56,5	55,0	51,9	48,8	67	80	91	103	113	131	147
M10 x 1,25	8.8	33,1	32,4	31,6	30,8	29,9	28,2	26,5	38	44	51	57	62	72	80
	10.9	48,6	47,5	46,4	45,2	44,0	41,4	38,9	55	65	75	83	92	106	118
	12.9	56,8	55,6	54,3	52,9	51,4	48,5	45,5	65	76	87	98	107	124	138
M12 x 1,25	8.8	50,1	49,1	48,0	46,8	45,6	43,0	40,4	66	79	90	101	111	129	145
	10.9	73,6	72,1	70,5	68,7	66,9	63,2	59,4	97	116	133	149	164	190	212
	12.9	86,2	84,4	82,5	80,4	78,3	73,9	69,5	114	135	155	174	192	222	249
M12 x 1,5	8.8	47,6	46,6	45,5	44,3	43,1	40,6	38,2	64	76	87	97	107	123	137
	10.9	70,0	68,5	66,8	65,1	63,3	59,7	56,0	95	112	128	143	157	181	202
	12.9	81,9	80,1	78,2	76,2	74,1	69,8	65,6	111	131	150	167	183	212	236
M14 x 1,5	8.8	67,8	66,4	64,8	63,2	61,5	58,1	54,6	104	124	142	159	175	203	227
	10.9	99,5	97,5	95,2	92,9	90,4	85,3	80,2	153	182	209	234	257	299	333
	12.9	116,5	114,1	111,4	108,7	105,8	99,8	93,9	179	213	244	274	301	349	390
M16 x 1,5	8.8	91,4	89,6	87,6	85,5	83,2	78,6	74,0	159	189	218	244	269	314	351
	10.9	134,2	131,6	128,7	125,5	122,3	115,5	108,7	233	278	320	359	396	461	515
	12.9	157,1	154,0	150,6	146,9	143,1	135,1	127,2	273	325	374	420	463	539	603
M18 x 1,5	8.8	122	120	117	115	112	105	99	237	283	327	368	406	473	530
	10.9	174	171	167	163	159	150	141	337	403	465	523	578	674	755
	12.9	204	200	196	191	186	176	166	394	472	544	613	676	789	884
M18 x 2	8.8	114	112	109	107	104	98	92	229	271	311	348	383	444	495
	10.9	163	160	156	152	148	139	131	326	386	443	496	545	632	706
	12.9	191	187	182	178	173	163	153	381	452	519	581	638	740	826
M20 x 1,5	8.8	154	151	148	144	141	133	125	327	392	454	511	565	660	741
	10.9	219	215	211	206	200	190	179	466	558	646	728	804	940	1055
	12.9	257	252	246	241	234	222	209	545	653	756	852	941	1100	1234
M22 x 1,5	8.8	189	186	182	178	173	164	154	440	529	613	692	765	896	1006
	10.9	269	264	259	253	247	233	220	627	754	873	985	1090	1276	1433
	12.9	315	309	303	296	289	273	257	734	882	1022	1153	1275	1493	1677
M24 x 1,5	8.8	228	224	219	214	209	198	187	570	686	796	899	995	1166	1311
	10.9	325	319	312	305	298	282	266	811	977	1133	1280	1417	1661	1867
	12.9	380	373	366	357	347	330	311	949	1143	1326	1498	1658	1943	2185
M24 x 2	8.8	217	213	209	204	198	187	177	557	666	769	865	955	1114	1248
	10.9	310	304	297	290	282	267	251	793	949	1095	1232	1360	1586	1777
	12.9	362	355	348	339	331	312	294	928	1110	1282	1442	1591	1856	2080

Çizelge 3.8. DIN ISO 262' ye göre metrik hassas vida dişlerine sahip faturalı cıvatalar,
DIN EN ISO 4014 den 4018' e kadar olan standartlara uygun baş ölçüsü,
DIN 34800 e ve ya DIN EN ISO 4762 standardına uygun baş ölçüsüne
sahip cıvatalar ve DIN EN 20273'e göre delikler için $\nu = 0,9$ olduğu
durumda montaj ön gerilme kuvveti F_{MTab} ve sıkma torku M_A (VDI 2230)

Boyut	Cıvata kalitesi	Montaj ön gerilme kuvveti μ_0 'ye göre F_{MTab} (kN)								Sıkma Torku (Momenti) μ_0 'ye göre M_A (Nm)							
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10
M8 x 1	8.8	15,5	15,0	14,6	14,1	13,6	12,7	11,8	14,1	16,6	18,8	20,9	22,8	26,0	28,6		
	10.9	22,7	22,1	21,4	20,7	20,0	18,6	17,3	20,7	24,3	27,7	30,7	33,5	38,2	42,1		
	12.9	26,6	25,8	25,1	24,3	23,4	21,8	20,3	24,3	28,5	32,4	35,9	39,2	44,7	49,2		
M9 x 1	8.8	20,5	20,0	19,4	18,8	18,2	16,9	15,7	20,7	24,4	27,8	31,0	33,8	38,8	42,8		
	10.9	30,1	29,3	28,5	27,6	26,7	24,9	23,1	30,4	35,9	40,9	45,5	49,7	57,0	62,9		
	12.9	35,3	34,3	33,3	32,3	31,2	29,1	27,1	35,6	42,0	47,8	53,2	58,2	66,7	73,6		
M10 x 1	8.8	26,3	25,6	24,9	24,1	23,3	21,8	20,3	29	34	39	44	48	55	61		
	10.9	38,6	37,6	36,5	35,4	34,3	32,0	29,8	43	50	58	64	70	81	90		
	12.9	45,2	44,0	42,8	41,5	40,1	37,4	34,9	50	59	68	75	82	95	105		
M10 x 1,25	8.8	24,2	23,5	22,8	22,1	21,3	19,8	18,4	28	32	37	41	44	51	56		
	10.9	35,5	34,5	33,5	32,4	31,3	29,1	27,1	40	47	54	60	65	74	82		
	12.9	41,5	40,4	39,2	37,9	36,6	34,1	31,7	47	55	63	70	76	87	96		
M12 x 1,25	8.8	37,3	36,4	35,3	34,2	33,1	30,9	28,7	49	58	67	74	81	93	103		
	10.9	54,8	53,4	51,9	50,3	48,6	45,4	42,2	72	86	98	109	119	137	151		
	12.9	64,1	62,5	60,7	58,8	56,9	53,1	49,4	85	100	114	127	139	160	177		
M12 x 1,5	8.8	34,8	33,8	32,8	31,8	30,7	28,6	26,5	47	55	63	70	76	87	95		
	10.9	51,1	49,7	48,2	46,6	45,1	42,0	39,0	69	81	92	102	111	127	140		
	12.9	59,8	58,1	56,4	54,6	52,8	49,1	45,6	81	95	108	120	130	149	164		
M14 x 1,5	8.8	50,3	49,0	47,6	46,1	44,6	41,6	38,7	78	91	104	116	127	146	161		
	10.9	73,9	72,0	69,9	67,7	65,5	61,1	56,8	114	134	153	171	187	214	236		
	12.9	86,5	84,2	81,8	79,3	76,7	71,5	66,5	133	157	179	200	218	250	276		
M16 x 1,5	8.8	68,6	66,9	65,1	63,1	61,1	57,1	53,1	119	141	162	181	198	228	252		
	10.9	100,8	98,3	95,6	92,7	89,8	83,8	78,0	175	207	238	265	290	334	370		
	12.9	118,0	115,0	111,8	108,5	105,0	98,1	91,3	205	243	278	310	340	391	433		
M18 x 1,5	8.8	93	90	88	85	83	77	72	179	213	245	274	301	347	385		
	10.9	132	129	125	122	118	110	103	255	304	349	390	428	494	548		
	12.9	154	151	147	142	138	129	120	299	355	408	457	501	578	641		
M18 x 2	8.8	85	82	80	77	75	70	65	169	200	227	253	276	317	350		
	10.9	121	117	114	110	107	99	93	241	284	324	360	394	451	498		
	12.9	141	137	133	129	125	116	108	282	333	379	422	461	528	583		
M20 x 1,5	8.8	117	115	112	108	105	98	92	249	298	342	384	422	488	542		
	10.9	167	163	159	154	150	140	131	355	424	488	547	601	694	771		
	12.9	196	191	186	181	175	164	153	416	496	571	640	703	813	903		
M22 x 1,5	8.8	145	142	138	134	130	122	114	338	404	466	523	575	666	741		
	10.9	207	202	197	191	185	173	162	481	575	663	744	819	948	1055		
	12.9	242	236	230	224	217	203	189	563	673	776	871	958	1110	1234		
M24 x 1,5	8.8	176	172	167	163	158	148	138	439	526	607	682	751	871	970		
	10.9	250	245	238	232	225	211	197	625	749	865	972	1070	1241	1381		
	12.9	293	286	279	271	263	246	230	731	876	1012	1137	1252	1452	1616		
M24 x 2	8.8	165	161	156	152	147	137	128	422	502	576	645	708	816	905		
	10.9	235	229	223	216	209	196	182	601	715	821	919	1008	1163	1290		
	12.9	274	268	261	253	245	229	213	703	837	961	1075	1179	1361	1509		

Eğer Çizelge 3.1. den kabaca elde edilen cıvata büyüklüğü hala kullanılabilir ise, şu bağıntı geçerli olmalıdır:

$$F_{Mzul} \geq F_{M \max} \text{ dolayısı ile } F_{MTab} \geq F_{M \max}$$

Eğer talep karşılanamıyor ise daha büyük bir cıvata seçilmeli ve hesaplama adımları 3.3.3.3 den itibaren tekrarlanmalıdır. Eğer daha büyük bir cıvata seçmek mümkün değil ise cıvatanın kalitesini artırmak, farklı bir montaj yöntemi seçmek, sürtünme katsayısını düşürmek veya harici yükleme yapmak ya da farklı bir tasarımı ele almak düşünülebilir.

3.3.3.9. İşletme gerilmelerinin elde edilmesi $\sigma_{red,B}$

Elastiklik sınırını aşacak şekilde sıkılan bağlantılarda bilinçli olarak akma dayanımının aşıldığı kabul edilir. Böylelikle çalışma gerilmesini ön gerilme kuvvetinden artan kalıntılar azaltılabilir. Bu bazı durumlarda gerekli en küçük montaj ön gerilmesi için bir kontrol sağlar. Bağlantılar için yük altında akma dayanımı aşılmamalıdır. İşletme durumunda toplam cıvata kuvveti $F_{S \max}$ için şu bağıntı geçerlidir:

$$F_{S \max} = F_{Mzul} + \Phi_{en}^* \cdot F_{A \max} - \Delta F_{Vth} \quad (3.21)$$

Termik olarak indüklenen ön gerilme kuvveti değişiminde sıcaklığın etkisinin tamamen tespit edilmesi için aşağıdaki denklem geçerlidir ve şuna dikkat edilmelidir ki $\Delta F'_{Vth} < 0$ olduğunda $\Delta F'_{Vth} = 0$ olarak alınmalıdır.

$$\Delta F_{Vth} = F_{VRT} \left(1 - \frac{\delta_s + \delta_p}{\delta_s \frac{E_{SRT}}{E_{ST}} + \delta_p \frac{E_{PRT}}{E_{PT}}} \right) + \frac{l_K \cdot (\alpha_s \cdot \Delta T_s - \alpha_p \cdot \Delta T_p)}{\delta_s \frac{E_{SRT}}{E_{ST}} + \delta_p \frac{E_{PRT}}{E_{PT}}} \quad (3.22)$$

Maksimum çekme gerilmesi şu bağıntıdan elde edilir:

$$\sigma_{Z \max} = F_{S \max} / A_0 \quad (3.23)$$

ve maksimum torsiyon gerilmesi $\tau_{\max}$ için kullanılacak bağıntı:

$$\tau_{\max} = M_G / W_P \quad (3.24)$$

Aşağıdaki eşitlikler yerine yazıldığında $\tau_{\max}$ hesaplanabilir.

$$M_G = F_{Mzul} \cdot \frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1,155 \cdot \mu_{G\min} \right) \quad (3.25)$$

$$W_P = \frac{\pi}{16} d_0^3 \quad (3.26)$$

Rijit cıvatalarda $d_0 = d_s$ veya $d_0 = d_{i\min}$ ve sünek şaftlı cıvatalarda $d_0 = d_T$ olarak alınır.

Çalışma sırasında düşen yada k_τ düşürüm katsayısı ile azaltılan torsiyon yüklemesi için:

(k_τ için tavsiye edilen değer = 0,5)

$$\sigma_{red,B} = \sqrt{\sigma_{Z\max}^2 + 3(k_\tau \cdot \tau_{\max})^2} \quad (3.27)$$

Bu denklemin sonucu aşağıdaki durumu sağlamalıdır:

$$\sigma_{red,B} < R_{p0,2\min}$$

Ya da akma gerilmesinin aşılmaması için alternatif bir emniyet olarak şu bağıntı da düşünülebilir

$$S_F = R_{p0,2\min} / \sigma_{red,B} \geq 1,0$$

Burulma gerilmesinin tamamen kaybedilmesi durumunda ve burulmasız sıkma işlemi için:

$$R_{p0,2\min} \cdot A_0 \geq F_{S\max}$$

$$S_F = R_{p0,2\min} / \sigma_{z\max} \geq 1,0 \quad (3.28)$$

3.3.3.10. Titreşim gerilmesinin belirlenmesi

Titreşim dayanımının incelenmesi:

$$\text{Genel olarak: } \sigma_a = \frac{F_{SAo} - F_{SAu}}{2A_s} \quad (3.29)$$

$$\text{Eksantrik: } \sigma_{ab} = \frac{\sigma_{SAbo} - \sigma_{SAbu}}{2} \quad (3.30)$$

σ_{SAb} nin hesaplanması için aşağıda yer alan denklem (3.31) den faydalanılır.

$$\sigma_{SAb} = \left[1 + \left(\frac{1}{\Phi_{en}^*} - \frac{s_{sym}}{a} \right) \frac{l_K}{l_{ers}} \cdot \frac{E_S}{E_P} \cdot \frac{\pi \cdot a \cdot d_s^3}{8 \cdot I_{bers}} \right] \frac{\Phi_{en}^3 \cdot F_A}{A_S} \quad (3.31)$$

Bunun için aşağıdaki durum sağlanmalıdır:

$$\sigma_{a/ab} \leq \sigma_{ab}$$

$$S_D = \frac{\sigma_{AD}}{\sigma_{a/ab}} \geq 1,0 \quad (3.32)$$

Emniyet katsayısı kullanıcı tarafından belirlenir. Bazı kaynaklarda $S_D \geq 1,2$ şeklinde önerilmektedir.

$N_D \geq 2 \cdot 10^6$ devir sayısında yüksek sağlamlıktaki cıvataların A_S gerilme kesitindeki dayanımın referans değeri için:

Su verilmiş çelik:

$$\sigma_{ASV} = 0,85 \cdot \left(\frac{150}{d} + 45 \right) \quad (3.33)$$

Haddelenmiş çelik:

$$\sigma_{ASG} = \left(2 - \frac{F_{Sm}}{F_{0,2 \min}} \right) \cdot \sigma_{ASV} \quad (3.34)$$

elde edilen dayanıklılık gerilmesi σ_{AS} den büyük olan gerilme genlikleri sadece birkaç bin salınımda ortaya çıkar ($N_Z \geq 10^4$). Bu nedenle zamana karşı dayanıklı bir bağlantı tasarımı aşağıdaki salınım dayanımı değerlerinin kullanımı ile mümkün olur.

Su verilmiş çelik:

$$\sigma_{AZSV} = \sigma_{ASV} (N_D / N_Z)^{1/3} \quad (3.35)$$

Haddelenmiş çelik:

$$\sigma_{AZSG} = \sigma_{ASG} (N_D / N_Z)^{1/6} \quad (3.36)$$

3.3.3.11. Yüzey baskısının belirlenmesi $P_{\max}$

Cıvata başının ve somunun oturma yüzeyleri ve sıkılan parçaların üzerinde cıvata ve somunun bastığı yüzeyler, gerek montaj ön gerilmesi tarafından gerekse maksimum kuvvet tarafından oluşturulan yüzey basıncının etkisi ile cıvata veya sıkılan parçaların malzemelerinde sürünme (zamana bağlı plastik deformasyon) ile bağlantılı olarak bir ön montaj kuvveti kaybına neden olur. yüzey basıncı hesaplamalarında pahlar dikkate alınmalı ve sıkılan parçaların sınır yüzey basıncı değerleri aşılmamalıdır.

Montaj durumunda:

$$P_{M \max} = \frac{F_{Mzul}}{A_{p \min}} \leq P_G \quad (3.37)$$

Çalışma durumunda:

$$F_{B \max} = \frac{(F_{V \max} + F_{SA \max} - \Delta F_{Vth})}{A_{p \min}} \leq P_G \quad (3.38)$$

Eğer $\Delta F_{Vth} > 0$ ise $\Delta F_{Vth} = 0$ olarak alınmalıdır.

F_{MTab} değerinin Çizelge 3.5 den 3.8'ye kadarki çizelgelerden seçilmesi ile akma dayanımı kontrolü, akma dayanımı yada dönme açısı kontrollü sıkmalarda maksimum yüzey basıncını bulmak için gereklidir.

$$P_{\max} = \frac{F_{MTab}}{A_{p \min}} \cdot 1,4 \quad (3.39)$$

Alternatif güvenlik sağlaması:

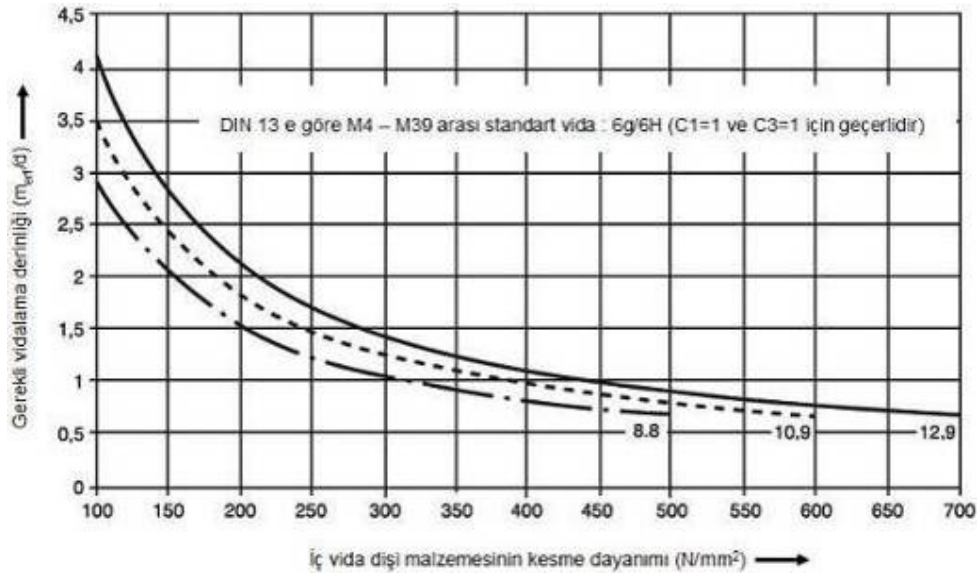
$$S_p = \frac{P_G}{P_{M / B \max}} \geq 1,0 \quad (3.40)$$

3.3.3.12. Gerekli en küçük vidalama derinliğinin belirlenmesi $m_{\text{eff min}}$

Bir cıvatalı bağlantıda birbirine tutunan dişlerin üzerlerine binen kuvvetin etkisinde birbirlerini kazıyarak sıyırmasını engellemek için cıvata ve somunda yeterli sayıda vida dişinin birbirleri ile yeterli sayıda örtüşmesine ihtiyaç vardır. Burada cıvatanın en yüksek çekme kuvveti tamamı cıvata vidaları ile örtüşmüş olan somun vida dişlerinin en yüksek çekme kuvvetinden daha düşük olmalıdır.

$$F_{mS} \leq F_{mGM}$$

Bu şartı sağlamak için M4 den M39 a kadar bağlantılarda gerekli en küçük cıvatalama derinliği ($m_{\text{eff min}}$) Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.4 Gerekli en küçük cıvatalama derinliği değeri

3.3.3.13. Kayma ve kesme yüklemelerine karşı güvenlik katsayısının belirlenmesi

Cıvatalı bağlantılarda yanal yönde kesme kuvvetleri sürtünme aracılığı ile taşınır. Aşırı yüklemelerde bağlantının kesilmesi veya izin verilenden fazla delik gerilmesi bağlantının başarısızlığıdır.

Bir çok parçanın birbiri ile birleştiği ve birbirleri üzerinde kayabilen parçalar için ayırma yüzeyi adedi q_F ve q_M , ayırma yüzeyindeki sürtünme katsayısı μ_T , bağlantı üzerinde kalması gereken en küçük sıkma kuvveti F_{KRmin} ve yanal kuvvetlerin taşınması için gereken sıkma kuvveti F_{KQerf} için gereklidir.

$$F_{KRmin} = \frac{F_{Mzul}}{\alpha_A} - (1 - \Phi_{en}^*) F_{Amax} - F_z - \Delta F_{Vth} \quad (3.41)$$

Eğer $\Delta F_{Vth} < 0$ ise $\Delta F_{Vth} = 0$ olarak alınmalıdır.

$$F_{KQerf} = \frac{F_{Qmax}}{q_M \cdot \mu_{Tmin}} + \frac{M_{Ymax}}{q_M \cdot r_a \cdot \mu_{Tmin}} \quad (3.42)$$

Bu hesaplamalar şu şartı sağlamalıdır:

$$F_{KRmin} > F_{KQerf}$$

Bir başka deyişle S_G güvenlik sayısı:

$$S_G = \frac{F_{KRmin}}{F_{KQerf}} > 1,0 \quad (3.43)$$

Statik yüklemelerde S_G için genelde kullanılan değer $S_G \geq 1,2$ dir. FQ ve MY ile oluşan değişken yüklemelerde bu der $S_G \geq 1,8$ dir.

Aşırı yükleme nedeni ile ayırma yüzeyindeki sürtünme kuvvetinin aşılması neticesinde cıvata yada delik kesilmesi meydana gelir. Ayırma yüzeyine tekabül eden cıvata kesitindeki (A_τ) kesme gerilmesi için şu bağıntılar geçerlidir.

$$\tau_{Q\max} = \frac{F_{Q\max}}{A_\tau} \quad (3.44)$$

Hedef cıvatada oluşacak bir kesilmeyi önlemektir bu nedenle:

$$\tau_{Q\max} < \tau_B$$

olmalıdır veya

$$F_{Q\max} < \tau_B \cdot A_\tau = A_\tau \cdot R_m \cdot \left(\frac{\tau_B}{R_m} \right) \quad (3.45)$$

Kesme dayanımı katsayısı τ_B/R_m için referans değerleri Çizelge 3.9'e bakınız.

Kesmeye karşı güvenlik için alternatif olarak şu şart sağlanmalıdır:

$$S_A = \frac{\tau_B}{\tau_{Q\max}} = \frac{\tau_B \cdot A_\tau}{F_{Q\max}} \geq 1,1 \quad (3.46)$$

Çizelge 3.9 Farklı malzemeler için kesme kuvvet oranı referans değerleri. (VDI 2230)

Malzeme	Kesme dayanımı oranı	
	τ_B/R_m	τ_B/HB
Oksit çeliği	0,60 - 0,65	2
Östenit (çözeltili)	0,80	3
Östenit F60/90	0,65 - 0,75	2,0 - 2,5
GJL demir döküm GJS	1,1	1,5
	0,9	2,0
Alüminyum alaşımı	0,7	1,5
Titanyum alaşımı (sertleştirilmiş)	0,6	2

3.3.3.14 Sıkma torkunun (MA) belirlenmesi

Tork kontrollü sıkmalarda gereken tork Çizelge 3.5 den 3.8'e kadar olan Çizelgelerden $v=0,9$ için alınabilir. Bununla beraber sıkma torku aşağıdaki gibi de hesaplanabilir.

$$MA = F_{Mzul} \left[0,16 \cdot P + 0,58 \cdot d_2 \cdot \mu_{G\min} + \frac{D_{Km}}{2} \mu_{K\min} \right] \quad (3.47)$$

Çözölmeye ve gevşemeye karşı emniyetli bağlantı elemanlarının kullanılması durumunda üst sıkma momenti M_{OG} ve ek cıvata başı momenti M_{KZu} dikkate alınmalıdır.

$$MA_s = MA + M_{OG} + M_{KZu} \quad (3.48)$$

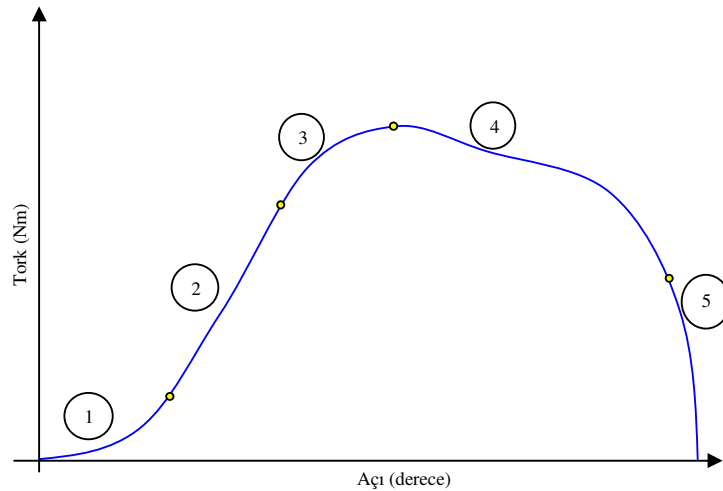
4. BULGULAR

Bu çalışmada, hesaplama yöntemi VDI 2230 standardından yola çıkarak yapılacaktır. Birinci aşamada, karşılaştırma yapılacak olan bağlantı için gerekli hesaplamalar VDI 2230 standardını kullanarak hesaplama yapan ve elde ettiği sonuçları Çizelge ve grafikler ile görselleştiren HEXAGON SR1 programı ile insan hatasına imkan vermeden yapılmıştır.

İkinci aşamada, hesaplama yapılırken varlığı kabul edilen tüm şartlar aynen oluşturulmuştur. Deneysel olarak bağlantının sıkılabileceği emniyetli sıkma tork değeri tespiti için ise gelişmiş teknolojinin bize sunduğu bilgisayar kontrollü sıkma üniteleri, Transducer ve hissediciler yardımları ile bağlantı sıkılırken elde edilen sıkma torkunun zamana ve dönme açısına göre grafikleri elde edilmiştir. Elde ettiğimiz grafikler bize en uygun tork değerini ve bu tork değerinin alt – üst toleranslarını yorumlayarak tespit etme imkânı vermiştir.

Örnek olarak M5, M6, M8 olmak üzere üç farklı cıvatalı bağlantı için hesap yapılmış ve daha sonra bu bağlantıların akma dayanımları deneysel olarak tespit edilmiştir.

Sıkma işlemi neticesinde elde edilen grafik genel olarak Şekil 4.1. deki gibi bir seyir izler. Tork önce hızlanarak artar (1), ardından artış doğrusal olarak devam eder (2) ve sonra doğrusallıktan uzaklaşarak yavaşlayan bir artış izlenir (3). Bundan sonra cıvata ya da somunun dönmeye devam etmesine rağmen tork düşer (4) ve nihayetinde ya cıvata kopar ya da somun dişleri sıyrılır (5).



Şekil 4.1. Sıkma işlemi sırasında bağlantı elemanına etkiyen torkun açı ile değişimi grafiğinin sembolik gösterimi

Deneysel incelemede akma dayanımları grafik yorumlaması ile elde edilen bağlantıların emniyetli tork değerini bulmak için denklem 4.1 den faydalanılmaktadır.

$$MA_{Nom} = \frac{R_{P0,2} \cdot R_{m.min} \cdot 0.95}{R_{m.ist}} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1 de $R_{P0,2}$ grafik yorumlama ile elde edilen akma tork değeridir. (Nm) $R_{m.min}$ cıvatanın kalitesi için öngörölmüş çekme dayanımıdır. Örneğin 8.8 kalitede bir cıvata için bu değer 800 N/mm^2 dir. $R_{m.ist}$ ise deney sırasında kullanılan cıvatanın uç kısmından ölçülen sertlik değerine karşılık gelen çekme dayanımıdır. $R_{m.ist}$ değeri için cıvatanın Vickers sertlik değeri ölçölüp DIN EN ISO 18265 standardında yer alan B.2 çizelgesinde bu değere karşılık gelen R_m değeri alınır. (bkz. Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1. Malzeme sertlik değerlerine karşılık gelen çekme dayanımları (R_m) (DIN EN ISO 18265 – Çizelge B.2)

HV	HBW	HRC	HRA	HR45N	HR30N	HR15N	HRB	HRF	HR45T	HR30T	HR15T	Rm
210	205	15,3	57,2	13,4	36,1	65,2	94,8	110,4	65,4	76,8	89,2	651
220	215	17,4	58,4	15,9	38,1	66,5	96,7	111,4	67,6	78,5	90	683
230	225	19,3	59,6	18,2	40,4	67,8	98,4	112,4	69,6	80	90,8	716
240	235	21,2	60,6	20,4	41,8	68,9	100	113,3	71,4	81,4	91,4	748
250	245	22,9	61,6	22,5	43,4	70	101,4	114,1	73	82,5	92	781
260	255	24,6	62,5	24,4	45	71	102,7	114,9	74,4	83,6	92,5	813
270	266	26,2	63,4	26,3	46,5	72	103,9	115,6	75,7	84,5	93	845
280	276	27,7	64,3	28,1	47,9	72,9	105	116,2	76,9	85,4	93,4	877
290	286	29,1	65	29,8	49,3	73,7	106	116,8	77,9	86,1	93,7	909
300	296	30,5	65,8	31,4	50,5	74,5	106,9	117,3	78,9	86,8	94	940
310	306	31,8	66,5	32,9	51,8	75,3	107,7	117,8	79,7	87,4	-94,3	972
320	316	33,1	67,2	34,4	52,9	76	108,5	118,3	80,5	88	-94,6	1003
330	326	34,3	67,8	35,8	54	76,7	109,2	118,8	81,2	88,4	-94,8	1035
340	336	35,4	68,5	37,2	55,1	77,3	109,9	119,2	81,9	88,9	-95	1070
350	345	36,5	69,1	38,4	56,1	78	110,5	119,6	82,5	89,3	-95,2	1097
360	355	37,6	69,6	39,7	57,1	78,6	111,1	119,9	83	89,6	-95,4	1128
370	365	38,6	70,2	40,9	58	79,1	111,7	120,3	83,5	89,9	-95,5	1159
380	375	39,6	70,7	42	58,9	79,7	112,2	120,6	84	90,2	-95,6	1189
390	385	40,6	71,2	43,2	59,8	80,2	112,7	120,9	84,4	90,5	-95,7	1220
400	395	41,5	71,7	44,2	60,6	80,7	113,1	121,2	84,8	90,7	-95,8	1250
410	405	42,4	72,2	45,3	61,4	81,2	113,6	121,5	85,1	90,9	-95,9	1281

Denklem 4.1 ile elde edilen sonuç 1. sınıf hassasiyete sahip tork anahtarı için uygulanması gereken emniyetli tork değeridir (Sınıf 1). Sınıf seçimi kullanılan tork anahtarının kesinlik derecesine göre seçilir.

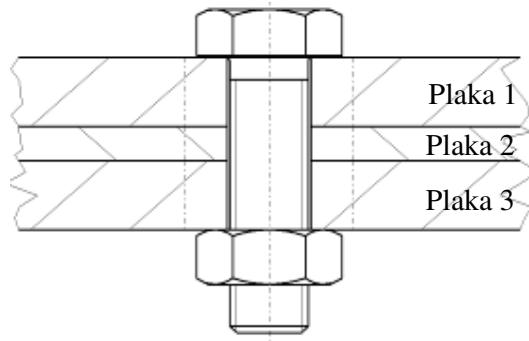
Sınıf 1 : $MA_{Sınıf 1}$	Örn $100 \text{ Nm} \pm \%3$	$= 100 \text{ Nm} \pm 3 \text{ Nm}$
Sınıf 2 : $MA_{Sınıf 1} - \%5$	Örn $95 \text{ Nm} \pm \%8$	$= 95 \text{ Nm} \pm 7,6 \text{ Nm}$
Sınıf 3 : $MA_{Sınıf 1} - \%20$	Örn $80 \text{ Nm} \pm \%20$	$= 80 \text{ Nm} \pm 16 \text{ Nm}$

4.1. Teorik Yöntemle Emniyetli Tork Değerinin Hesaplanması

M5x0,8, M6x1 ve M8x1,25 (DxP) ebatlarının her biri için, cıvata - somun bağlantısı ve cıvata – diş açılmış delik bağlantısı olmak üzere toplam altı adet hesaplama yapılacaktır.

Bu hesaplamalarda kullanılan cıvata, somun ve birleştirilen plakalara ait özellikler şu şekildedir:

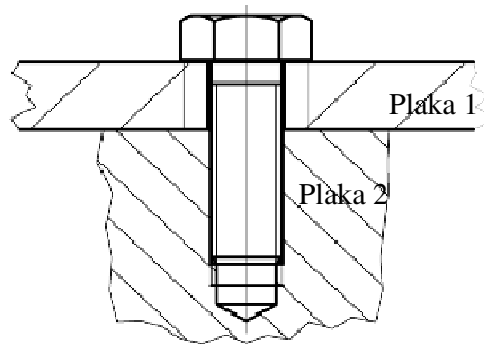
Cıvata – Somun bağlantısı için:



Şekil 4.2. Hesaplama için baz alınan Cıvata – Somun bağlantısının sembolik gösterimi

Cıvata	:DIN 933 (ISO 4017) – Altı köşe başlı cıvata (Galvanizlenmiş)
Somun	:DIN 934 – Altı köşeli somun (Galvanizlenmiş)
Plaka1	:St37 – 5mm kalınlığında plaka
Plaka2	St37 – 2,5mm kalınlığında plaka
Plaka3	St37 – 5mm kalınlığında plaka

Cıvata – Vidalı delik bağlantısı için:

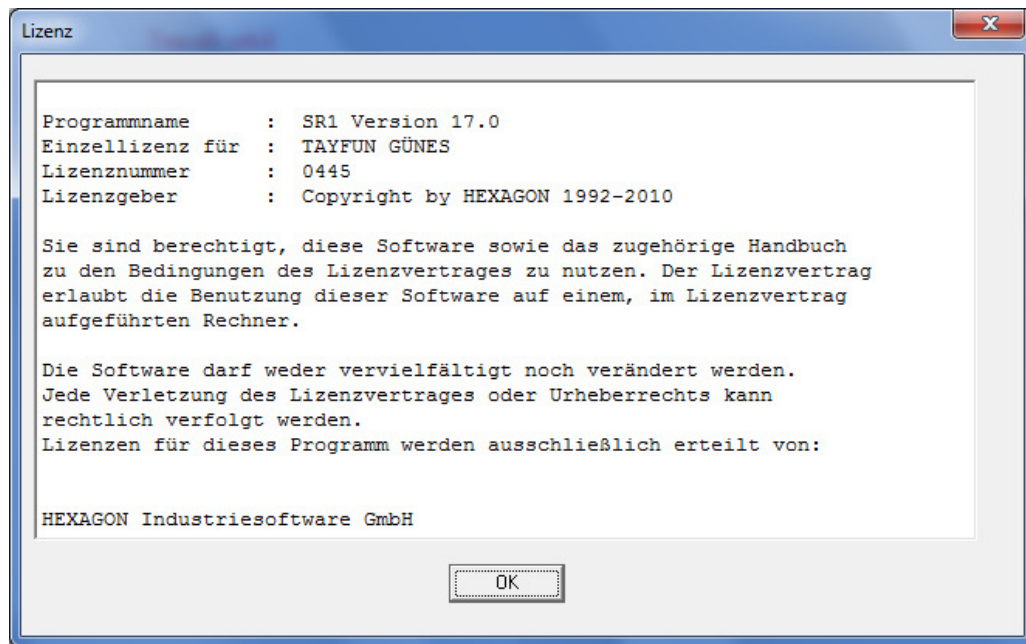


Şekil 4.3. Hesaplama için baz alınan Cıvata – Vidalı delik bağlantısı sembolik gösterimi

Cıvata :DIN 933 (ISO 4017) – Altı köşe başlı cıvata (galvanizlenmiş)
Plaka1 :St37 – 5mm kalınlığında plaka
Plaka2 :St37 – 10mm kalınlığında plaka (deliklerine vida dişi açılmış)

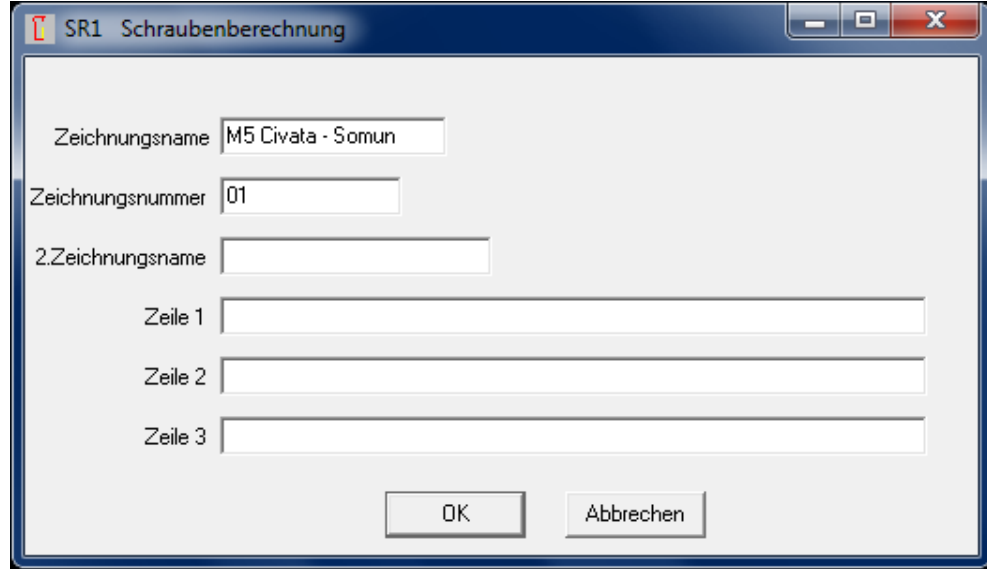
4.1.1. M5 cıvata – somun bağlantısı için emniyetli tork değerin Hexagon SR1 programı ile hesaplanması

Bu hesaplamada kullanılacak olan HEXAGON SR1 programına, hesaplama için gerekli tüm parametreler önceden tasarlanmış ve aşağıdaki gibi programa girilmiştir.



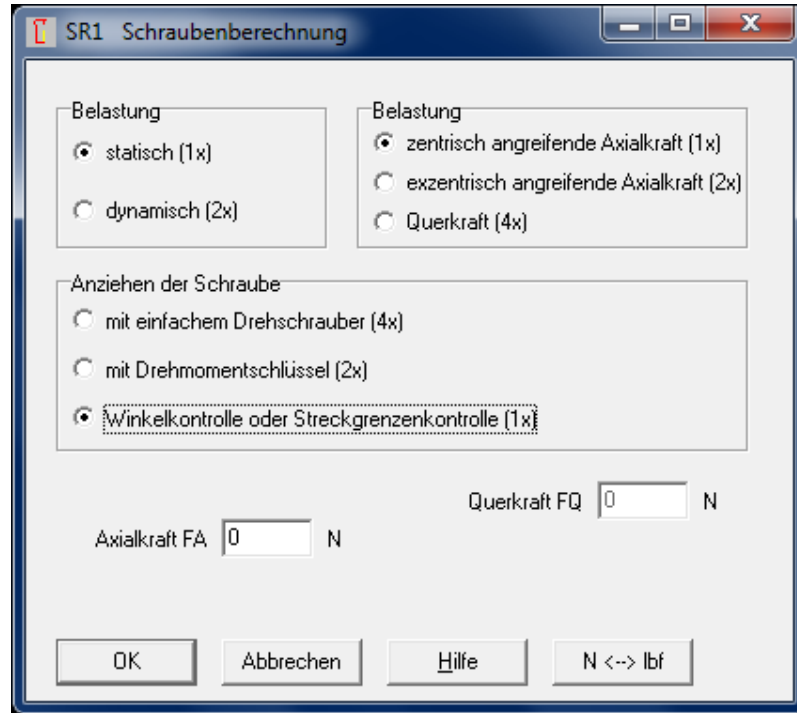
Şekil 4.4. HEXAGON programının lisans beyanı

Üretilecek sonuçlar ve teknik resim için isim verme:



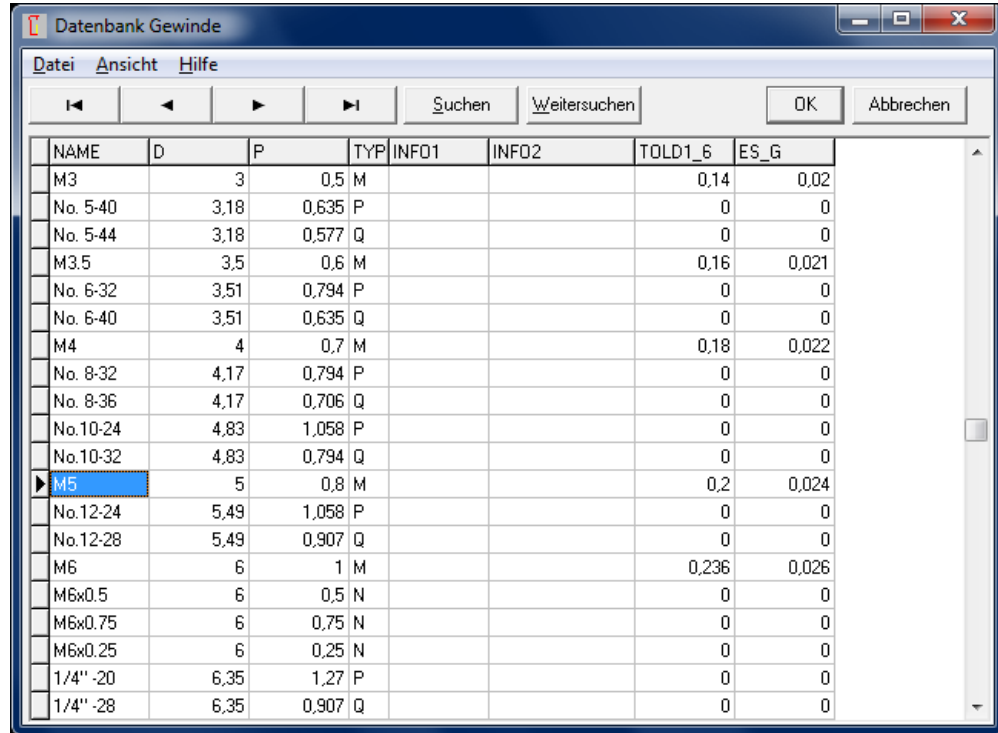
Şekil 4.5. Yapılacak hesaplama sonucu çizilecek teknik resime isim verme penceresi

Yükleme özelliklerinin ve bağlantının torklanma biçiminin seçimi:



Şekil 4.6. Yüklem özelliklerinin, sıkma yönteminin seçimi ve eksenel kuvvet ile kesme kuvvetlerinin belirlenmesi

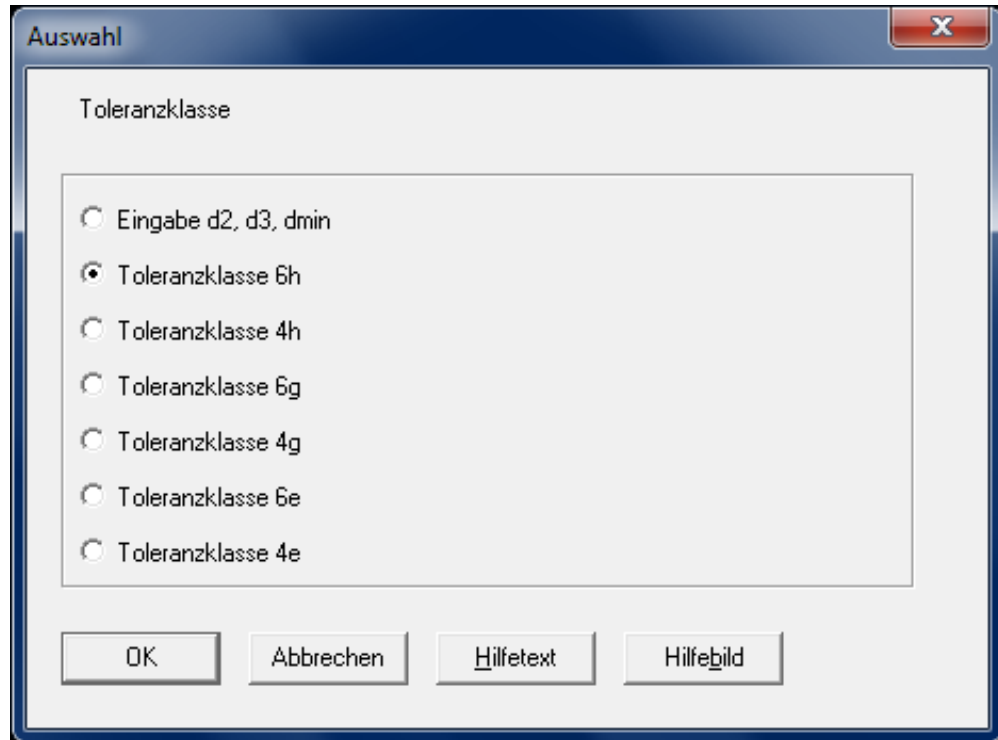
Cıvata Seçimi: M5



NAME	D	P	TYP	INFO1	INFO2	TOLD1_6	ES_G
M3	3	0,5	M			0,14	0,02
No. 5-40	3,18	0,635	P			0	0
No. 5-44	3,18	0,577	Q			0	0
M3.5	3,5	0,6	M			0,16	0,021
No. 6-32	3,51	0,794	P			0	0
No. 6-40	3,51	0,635	Q			0	0
M4	4	0,7	M			0,18	0,022
No. 8-32	4,17	0,794	P			0	0
No. 8-36	4,17	0,706	Q			0	0
No.10-24	4,83	1,058	P			0	0
No.10-32	4,83	0,794	Q			0	0
M5	5	0,8	M			0,2	0,024
No.12-24	5,49	1,058	P			0	0
No.12-28	5,49	0,907	Q			0	0
M6	6	1	M			0,236	0,026
M6x0.5	6	0,5	N			0	0
M6x0.75	6	0,75	N			0	0
M6x0.25	6	0,25	N			0	0
1/4" -20	6,35	1,27	P			0	0
1/4" -28	6,35	0,907	Q			0	0

Şekil 4.7. Kullanılacak metrik vida ebadının veri bankasından seçimi

Tolerans sınıfı seçimi: 6h



Auswahl

Toleranzklasse

☐ Eingabe d2, d3, dmin

☒ Toleranzklasse 6h

☐ Toleranzklasse 4h

☐ Toleranzklasse 6g

☐ Toleranzklasse 4g

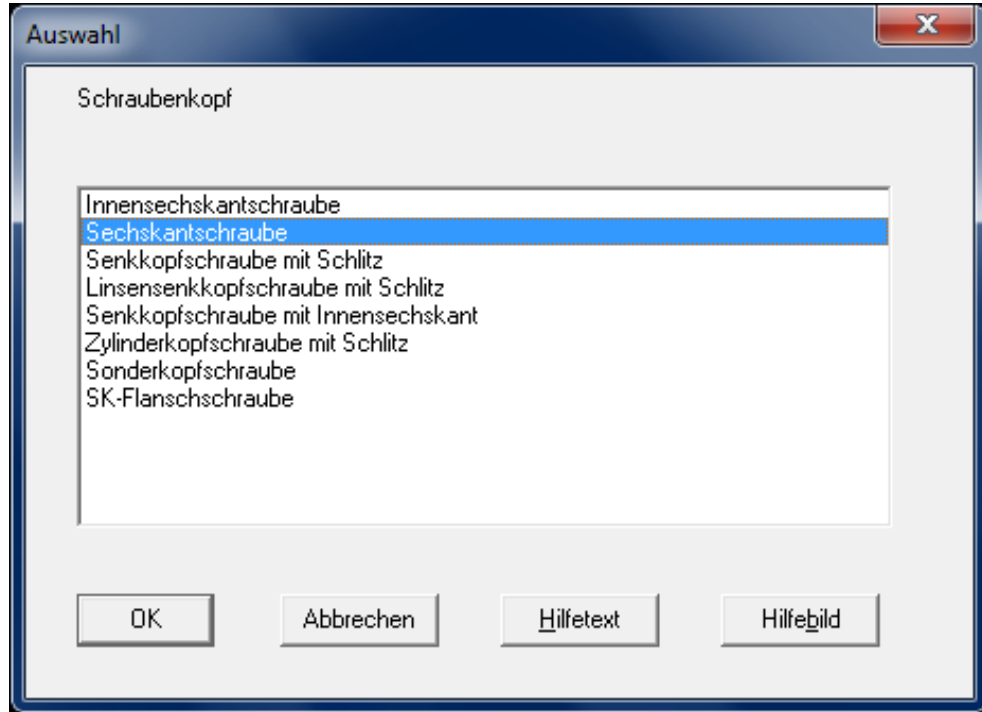
☐ Toleranzklasse 6e

☐ Toleranzklasse 4e

OK Abbrechen Hilfetext Hilfebild

Şekil 4.8. Cıvata ve somun arasındaki boşluk toleransının seçimi

Cıvata tipi seçimi : Altı köşe başlı cıvata



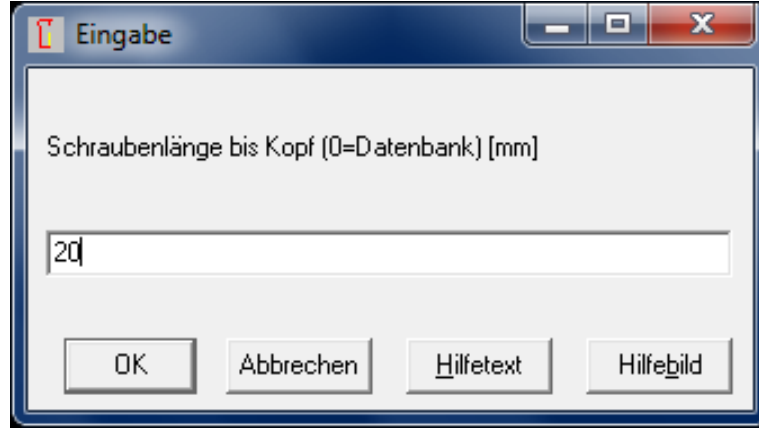
Şekil 4.9. Kullanılacak cıvata tipinin seçimi

Cıvata normu seçimi: ISO 4017 (DIN 933)

D	INFO1	L_THREAD	W_FLATS	H_HEAD	H_BEARING	DW	R_SHANK	L_MIN	L_M
5	ISO 4014	16	8	3,5	0,15	6,9	0,2	25	
5	ISO 4017	0	8	3,5	0,15	6,9	0,2	10	
6	ISO 4014	18	10	4	0,15	8,9	0,25	30	
6	ISO 4017	0	10	4	0,15	8,9	0,25	12	
6,35	ANSI HEX	19,05	11,13	4,78	0	10,79	0,76	0	
7		20	11	4,8	0,15	9,6	0,25	30	
7,94	ANSI HEX	22,23	12,7	5,97	0,4	12,29	0,76	0	
8	ISO 4014	22	13	5,5	0,15	11,6	0,4	35	
8	ISO 4017	0	13	5,5	0,15	11,6	0,4	16	
9,53	ANSI HEX	25,4	14,27	6,81	0,4	13,82	0,76	0	
10	DIN 931	32	17	7	0,15	15,6	0,4	40	
10	ISO 4014	32	16	6,4	0,15	14,5	0,4	40	
10		32	15	6,4	0,45	13,6	0,4	0	
10	ISO 4017	0	16	6,4	0,15	14,5	0,4	20	
11,11	ANSI HEX	28,57	15,88	8,03	0,4	15,32	0,76	0	
12	DIN 931	36	19	8	0,15	17,4	0,6	45	
12	ISO 4014	36	18	7,5	0,45	16,6	0,6	45	
12	ISO 4017	0	18	7,5	0,45	16,6	0,6	25	
12,7	ANSI HEAVY	31,75	22,22	8,2	0,4	20	0	0	

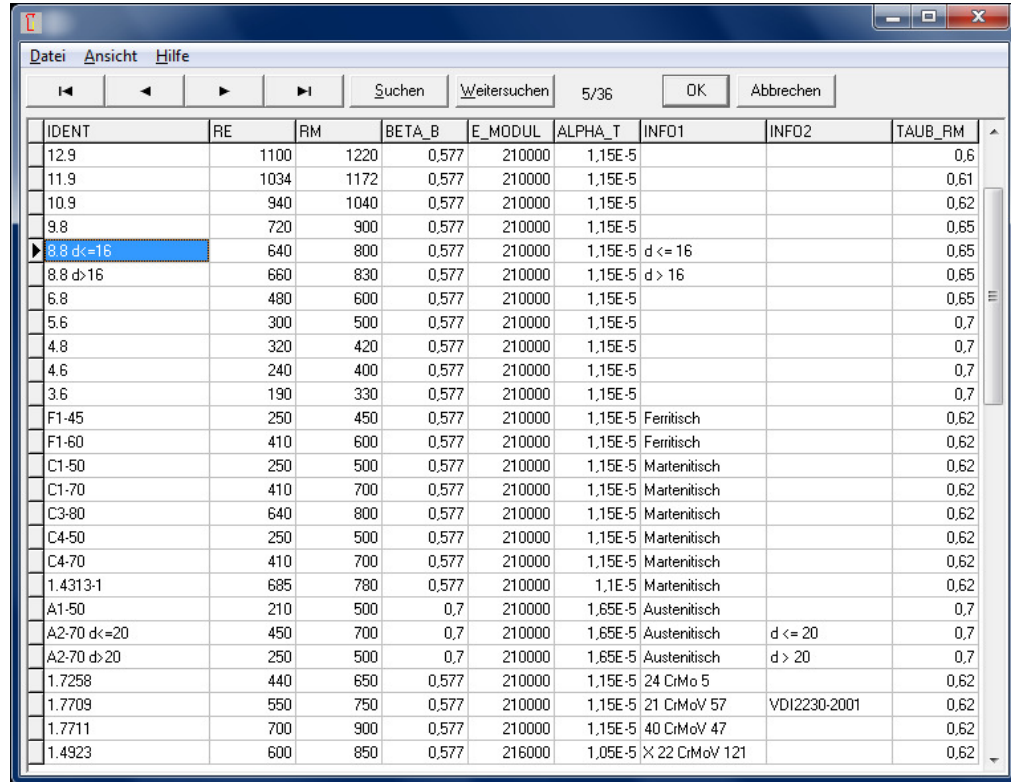
Şekil 4.10. Kullanılacak cıvata normunun veri bankasından seçimi

Cıvata boyu seçimi:



Şekil 4.11. Kullanılacak cıvata uzunluğunun belirlenmesi

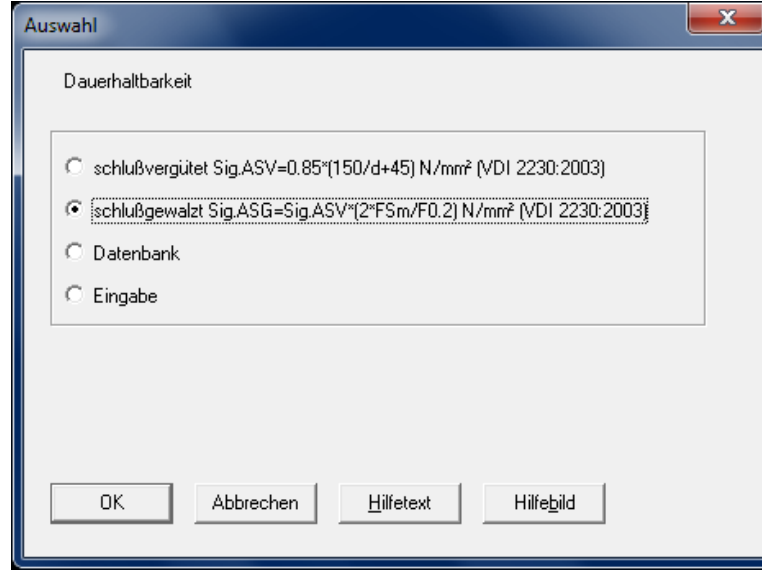
Cıvata kalitesi seçimi:



IDENT	RE	RM	BETA_B	E_MODUL	ALPHA_T	INFO1	INFO2	TAUB_RM
12.9	1100	1220	0,577	210000	1,15E-5			0,6
11.9	1034	1172	0,577	210000	1,15E-5			0,61
10.9	940	1040	0,577	210000	1,15E-5			0,62
9.8	720	900	0,577	210000	1,15E-5			0,65
► 8.8 d<=16	640	800	0,577	210000	1,15E-5	d <= 16		0,65
8.8 d>16	660	830	0,577	210000	1,15E-5	d > 16		0,65
6.8	480	600	0,577	210000	1,15E-5			0,65
5.6	300	500	0,577	210000	1,15E-5			0,7
4.8	320	420	0,577	210000	1,15E-5			0,7
4.6	240	400	0,577	210000	1,15E-5			0,7
3.6	190	330	0,577	210000	1,15E-5			0,7
F1-45	250	450	0,577	210000	1,15E-5	Feritisch		0,62
F1-60	410	600	0,577	210000	1,15E-5	Feritisch		0,62
C1-50	250	500	0,577	210000	1,15E-5	Martenitisch		0,62
C1-70	410	700	0,577	210000	1,15E-5	Martenitisch		0,62
C3-80	640	800	0,577	210000	1,15E-5	Martenitisch		0,62
C4-50	250	500	0,577	210000	1,15E-5	Martenitisch		0,62
C4-70	410	700	0,577	210000	1,15E-5	Martenitisch		0,62
1.4313-1	685	780	0,577	210000	1,1E-5	Martenitisch		0,62
A1-50	210	500	0,7	210000	1,65E-5	Austenitisch		0,7
A2-70 d<=20	450	700	0,7	210000	1,65E-5	Austenitisch	d <= 20	0,7
A2-70 d>20	250	500	0,7	210000	1,65E-5	Austenitisch	d > 20	0,7
1.7258	440	650	0,577	210000	1,15E-5	24 CrMo 5		0,62
1.7709	550	750	0,577	210000	1,15E-5	21 CrMoV 57	VDI2230-2001	0,62
1.7711	700	900	0,577	210000	1,15E-5	40 CrMoV 47		0,62
1.4923	600	850	0,577	216000	1,05E-5	X 22 CrMoV 121		0,62

Şekil 4.12. Kullanılacak cıvata kalitesinin veri bankasından seçimi

Cıvata malzemesinin ısıt işlemleri:



Şekil 4.13. Kullanılacak cıvatanın üretim yönteminin seçimi (haddelenmiş)

Sıkılan 3 plaka için ebat ve malzeme seçimleri:

Wähle Werkstoff für Klemmstück 1

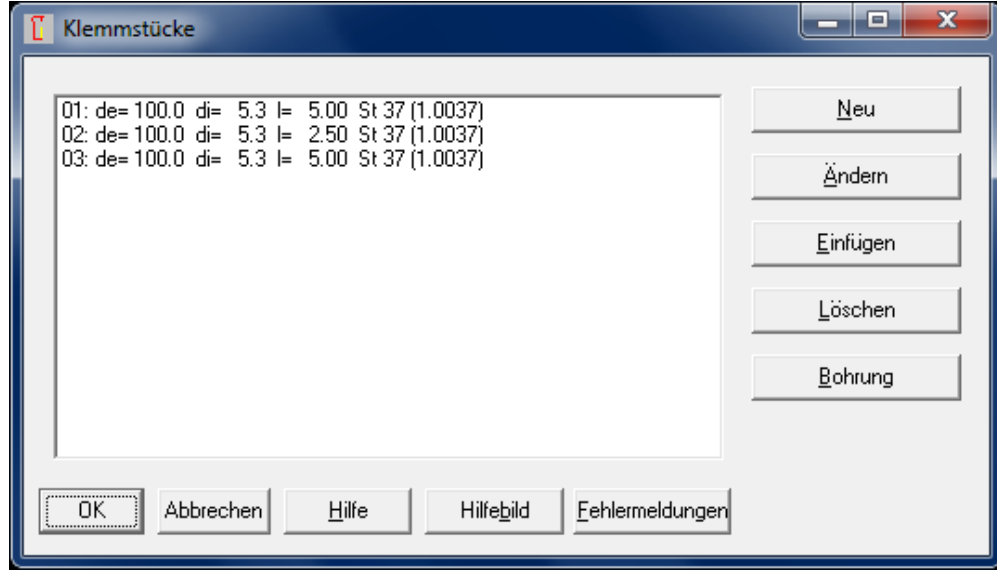
Datei Ansicht Hilfe

Suchen Weitersuchen 1/216 OK Abbrechen

MATERIAL	RE	RM	PG	BETA_M	E_MODUL	ALPHA_T	INFO	TAUB_RM
HM-2471 Kunstst rot	50	80	50	0	5000	4E-5	KS08-01	0
MP 35N (Ni-Base)	1480	1580	1500	0,577	235000	1,12E-5	VDI 2230-2001	0,61
PFCP 201 Hartpapier/Pheno	50	80	50	0	5000	4E-5	KS08-01	0
QUAL 3	190	330	330	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 4	300	500	500	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 5	380	580	580	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 6	480	680	680	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 8	640	850	850	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 9	720	900	900	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 04	250	380	380	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 05	300	500	500	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 10	940	1040	1040	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 11	1020	1100	1100	0,577	210000	1,15E-5		0,577
QUAL 12	1100	1150	1150	0,577	210000	1,15E-5		0,577
SF Cu F24	120	240	96	0,4	123000	1,7E-5	KS 02.00	0,4
SINT-D-10 (Sinterstahl)	210	300	250	0,577	155500	1,15E-5		0,577
SINT-D-30	370	510	450	0,577	130000	1,2E-5	VDI2230-2003	0,58
St 2 K50	320	500	420	0,577	210000	1,15E-5		0,577
St 37 (1.0037)	240	370	260	0,577	210000	1,15E-5	VDI2230-1986	0,577
St 50 (1.0050)	320	500	420	0,577	210000	1,15E-5	VDI2230-1986	0,577
St 52-3 (1.0570)	340	490	450	0,577	210000	1,15E-5	Rm 600 auf 490	0,577
St,rostfrei,aussch.gehaer	1100	1200	1000	0,577	205000	1,15E-5	VDI2230-1986	0,577
Ti-6Al-4V	1000	1100	1000	0,577	116000	8,6E-6	VDI2230-1986	0,577
Titan,unlegiert	200	390	300	0,577	105000	8,6E-6	VDI2230-1986	0,577
X10CrNiMo18-9	195	500	220	0,577	203000	1,6E-5	VDI2230-1986	0,577
X2CrNiMo22-5-3 1.4462	460	650	460	0,7	206000	1,6E-5	KS 02.00	0,7
X5CrNiMo18-10	195	500	210	0,577	203000	1,6E-5	VDI2230-1986	0,577

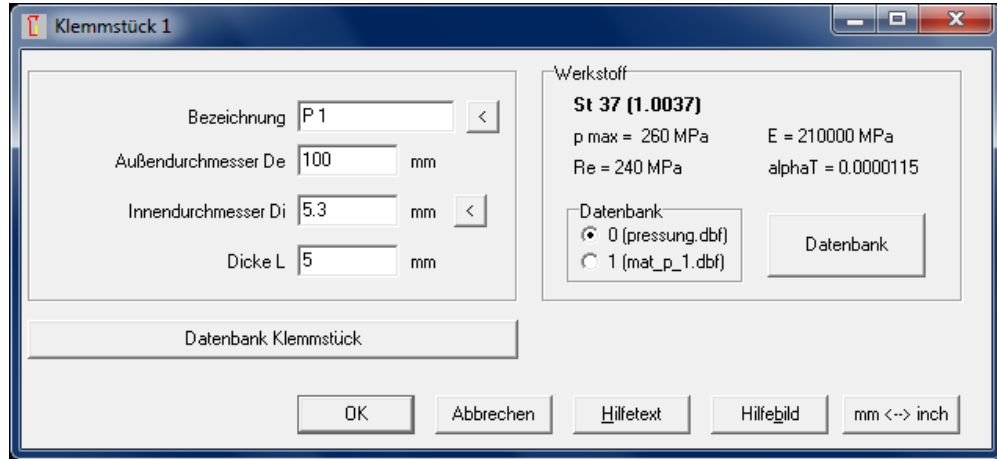
Şekil 4.14. Birleştirilecek olan sac plakaların veri bankasından malzeme seçimlerinin yapılması (St37 (1.0037))

Üç plakanın kayıt edilmiş özellikleri:



Şekil 4.15. Birleştirilecek olan sac plakaların adetlerinin belirlenmesi

1= Malzeme: St37 / kalınlık: 5mm / delik çapı: 5,3mm



Şekil 4.16. 1. plakanın özelliklerinin ve ebatlarının belirlenmesi

2= Malzeme: St37 / kalınlık: 2,5mm / delik çapı: 5,3mm

Klemmstück 2

Bezeichnung P 2

Außendurchmesser De 100 mm

Innendurchmesser Di 5.3 mm

Dicke L 2.5 mm

Datenbank Klemmstück

OK Abbrechen Hilfetext Hilfebild mm <-> inch

Werkstoff

St 37 (1.0037)

p max = 260 MPa E = 210000 MPa

Re = 240 MPa alphaT = 0.0000115

Datenbank

☒ 0 (pressung.dbf)

☐ 1 (mat_p_1.dbf)

Datenbank

Şekil 4.17. 2. plakanın özelliklerinin ve ebatlarının belirlenmesi

3= Malzeme: St37 / kalınlık: 5mm / delik çapı: 5,3mm

Klemmstück 3

Bezeichnung P 3

Außendurchmesser De 100 mm

Innendurchmesser Di 5.3 mm

Dicke L 5 mm

Datenbank Klemmstück

OK Abbrechen Hilfetext Hilfebild mm <-> inch

Werkstoff

St 37 (1.0037)

p max = 260 MPa E = 210000 MPa

Re = 240 MPa alphaT = 0.0000115

Datenbank

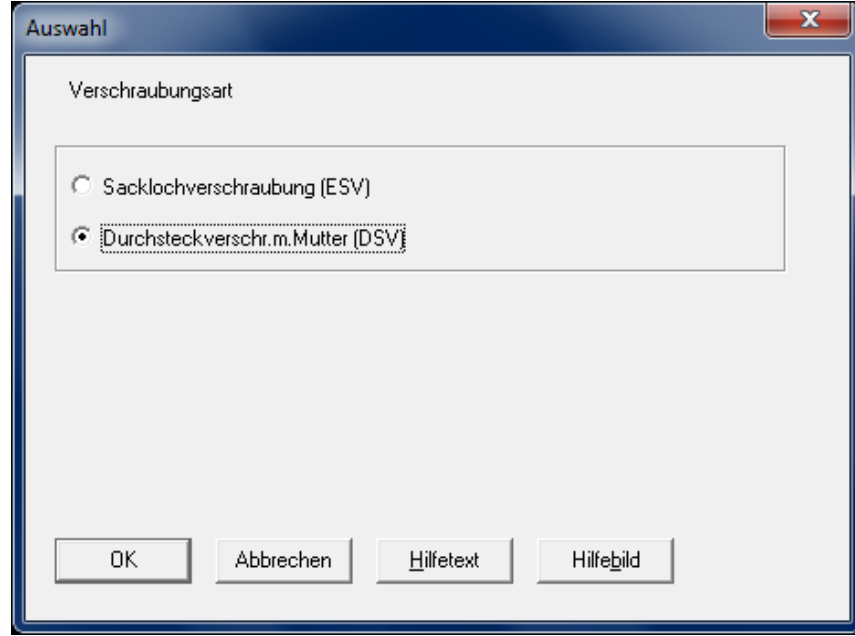
☒ 0 (pressung.dbf)

☐ 1 (mat_p_1.dbf)

Datenbank

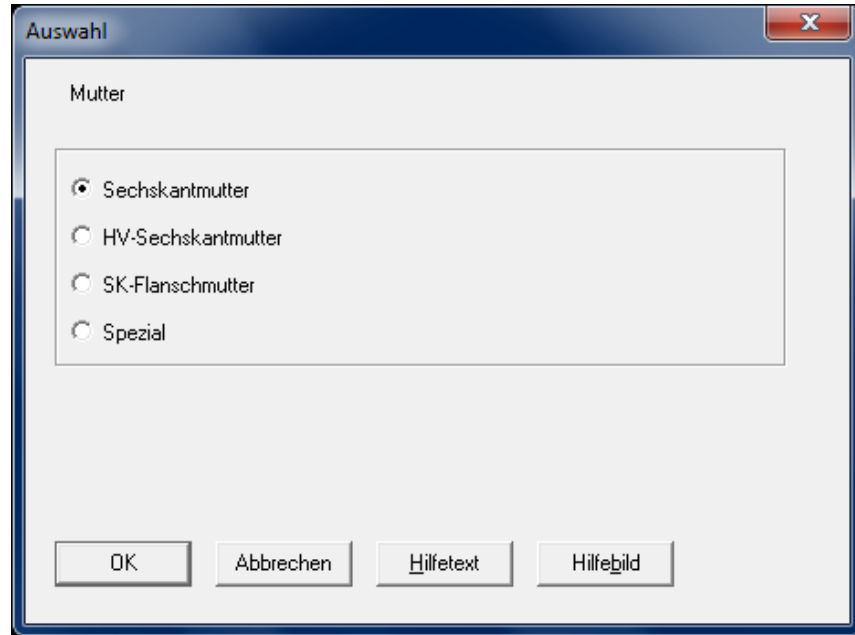
Şekil 4.18. 3. plakanın özelliklerinin ve ebatlarının belirlenmesi

Bağlantı şekli: Cıvata somun bağlantısı



Şekil 4.19. Somun görevi yapacak parçanın cinsine göre bağlantı tipinin seçilmesi

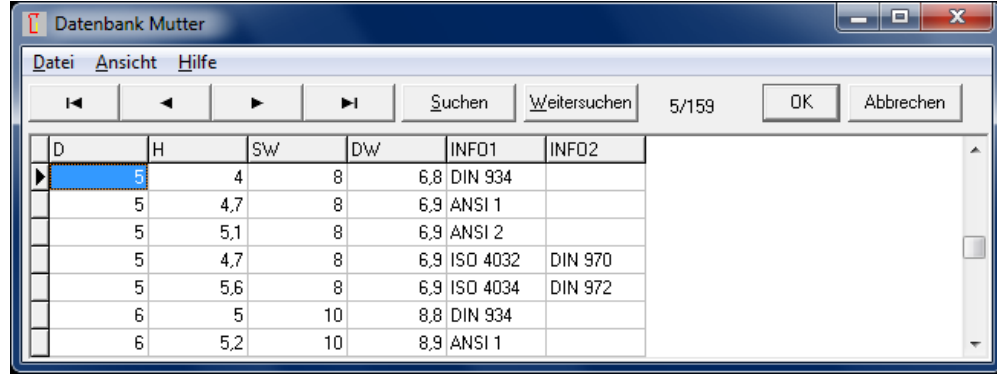
Somun tipi seçimi:



Şekil 4.20. Somun tipinin seçilmesi (Altıgen somun)

Somun normu seçimi:

Hesaplayacağımız bağlantıda kullandığımız somunun şekli hangi norma uygun ise Çizelgeden seçerek programın ölçüsel bilgileri otomatik olarak kullanması sağlanır.

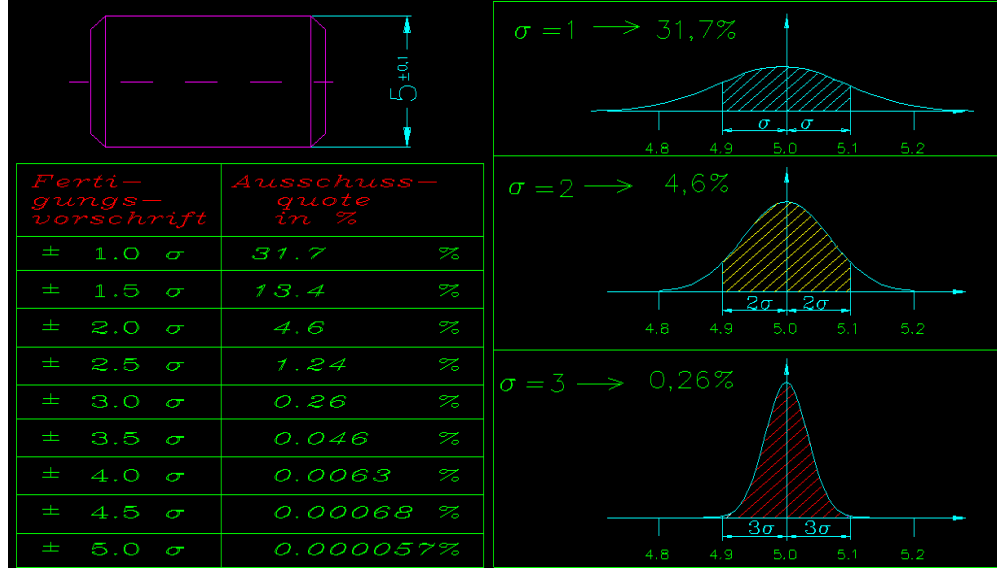


D	H	SW	DW	INFO1	INFO2
5	4	8	6.8	DIN 934	
5	4.7	8	6.9	ANSI 1	
5	5.1	8	6.9	ANSI 2	
5	4.7	8	6.9	ISO 4032	DIN 970
5	5.6	8	6.9	ISO 4034	DIN 972
6	5	10	8.8	DIN 934	
6	5.2	10	8.9	ANSI 1	

Şekil 4.21. Somun için norm seçimi (DIN 934)

Sürtünme katsayılarının ve emniyet katsayısı Sigma' nın belirlenmesi:

Şekil 4.22. de verilen değerler ve gösterimler kullanıcının bağlantı için en uygun σ katsayısını seçebilmesi için program tarafından sunulmaktadır.



Şekil 4.22. Sigma katsayısının seçimi için yardımcı bilgilendirme Çizelgesi

Vida dişleri arası, baş oturma yüzeyi ve plakalar arası sürtünme katsayılarının yazılması

SR1 Reibung

Min. Max.

μ G Reibungszahl im Gewinde μG 0.14 μG min 0.14 < +10% +25% +50%

μ K Reibungszahl in der Kopfaufgabe μK 0.1 μK min 0.1 < +10% +25% +50%

Reibungszahl in der Trennfuge μTr 0.12 μTr min

Sigma 3 < Hilfebild

OK Abbrechen Hilfetext

Şekil 4.23. Vida dişlerinde, Cıvata başı altında ve plakaların ayırma yüzeylerindeki sürtünme katsayılarının belirlenmesi ve Sigma katsayısının seçimi

Montajı yapılan parçalara etkiyecek işletme kuvvetleri için parametrelerin seçimi:

SR1 Belastung

Axialkraft FA

FA max 0 N

FA min 0 N statisch

Querkraft FQ

FQ 0 N

Einschraubtiefe m geo = 0.0

- Fase, Kuppe 1.6 mm

m tr = 4 · 1.6 = 2.4

Krafteinleitung, Krafteinleitungsfaktor

FA --> Klemmstück 1 (l= 5.0, de= 100.0, di= 5.3 mm) n 1 0.3 unten 0 mitte 0.5 oben 1

FA <-- Klemmstück 2 (l= 2.5, de= 100.0, di= 5.3 mm) n 2 0.3 oben 0 mitte 0.5 unten 1

Vorspannkraftverlust durch Setzen

VDI 2230 (Rel.2003) - Vorschlagswerte für Stahlwerkstoffe

Setzbetrag 0 mm

0.011 Rz < 10 μm 0.004 VDI 2230 (Release 1986)

0.013 10 ≤ Rz < 40 μm 0.014 Vademecum (Trennfugenfläche geschliffen)

0.017 40 ≤ Rz < 160 μm 0.02 Vademecum (Trennfugenfläche gedreht)

Erforderl. Restklemmkraft

FKerf. 1000 N

4381 max=4381 N (FM max = FM)

OK

Hilfebilder Abbrechen

N <--> psi Hilfetext

Şekil 4.24. İşletme kuvvetleri ve oturma büyüklüğü ile ilgili parametrelerin seçimi.

Hesaplama metodu, sıkma yöntemi, akma sınırı kullanım oranı ve tolerans yüzdesinin seçimi:

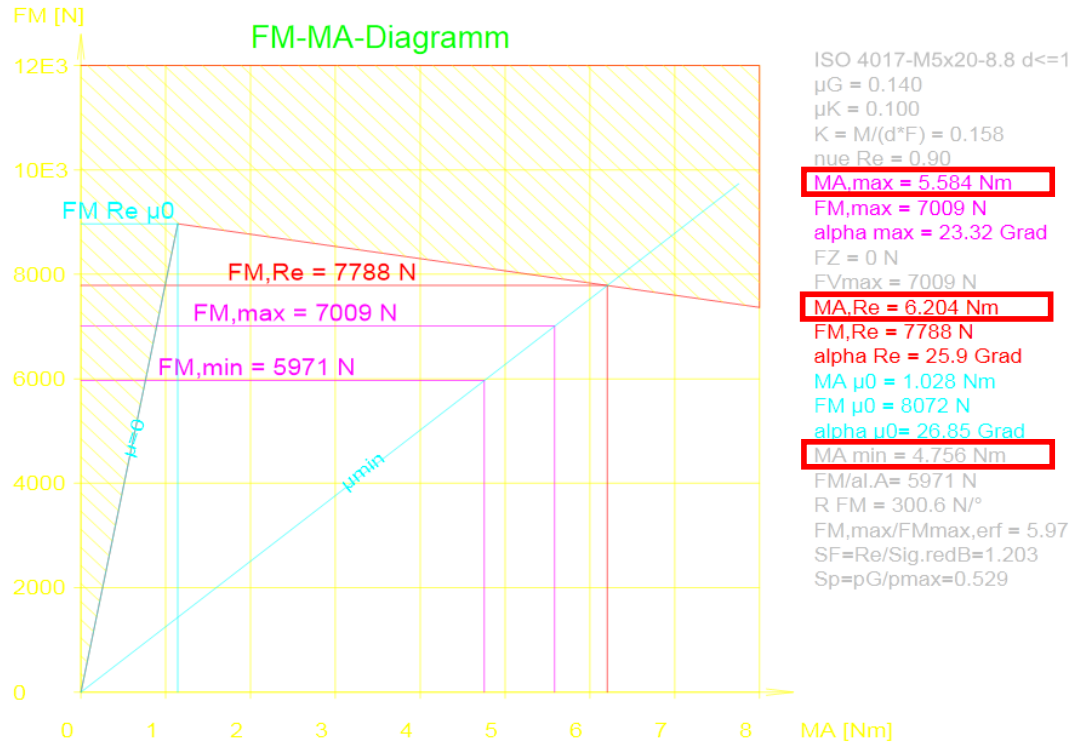
The screenshot shows the 'SR1 Anziehverfahren' window with the following settings and results:

- Berechnungsgrundlage FM, MA:** ☒ VDI 2230 - 2003
- Anziehverfahren:** [Empty field]
- Einstellverfahren:** [Empty field]
- Reduktionskoeffizient k tau:** 0.5
- MA max:**
 - ☒ σ_{Re}
 - ☐ MA_{max}
 - ☐ FM_{max}
- Faktor für Ausnutzung der Streckgrenze beim Anziehen:** 0.9
- Anziehdrehmoment MA_{max} (5.223=max.):** 5.583572 Nm
- Montagevorspannkraft FM_{max} (7788=max.):** 7009.218 N
- MA min:**
 - ☐ alpha A
 - ☒ Tol MA %
 - ☐ MA_{min}
 - ☐ FM_{min}
- Anziehfaktor alpha A:** 1.173913
- Toleranz Drehmoment MA_{tol}/MA_{nom}:** 8 %
- min. Anziehdrehmoment MA_{min}:** 4.756376 Nm
- min. Montagevorspannkraft FM_{min}:** 5970.816 N
- Sigma:** 3
- Results:**
 - $\mu G = 0.14 \pm 0\%$
 - $\mu K = 0.1 \pm 0\%$
 - MA = 5.17 Nm $\pm 8.0\%$
 - FM = 6490 $\pm 8\%$
 - alpha = 21.59 $\pm 8\%$
- Buttons:** N <-> psi, Hilfetext, Abbrechen, OK

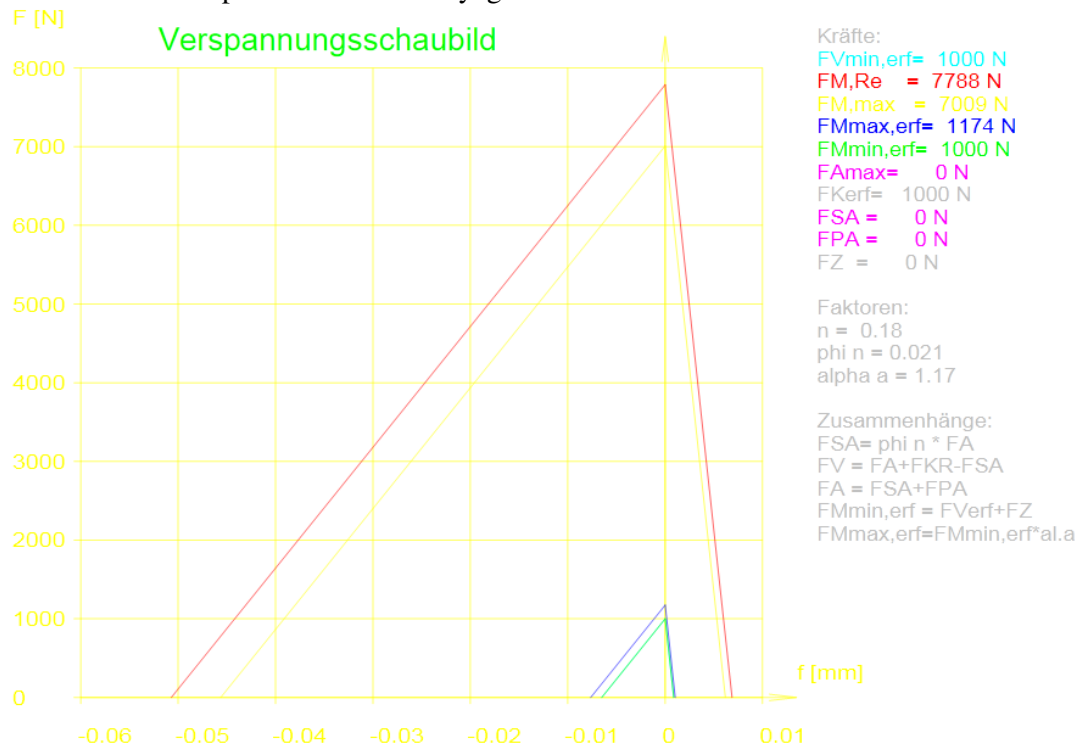
Şekil 4.25. Hesaplama ve sıkma yöntemlerinin seçimi ve üst alt tork değerleri için gerekli parametrelerin belirlenmesi

Programa girilen bu veriler doğrultusunda her bağlantı için hesaplanan tüm kuvvetler, momentler gerek grafiklerle, gerek teknik resim ile ve gerekse liste halinde elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ekler kısmında verilmiştir. Ancak konu içerisinde hesaplanan sonuçlar, Şekil 4.26. da ve Şekil 4.27 görüldüğü gibi FM-MA grafiği ve şekil değiştirme diyagramı şeklinde eklenmiştir.

Tüm veriler girildikten sonra hesaplama sonucu aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

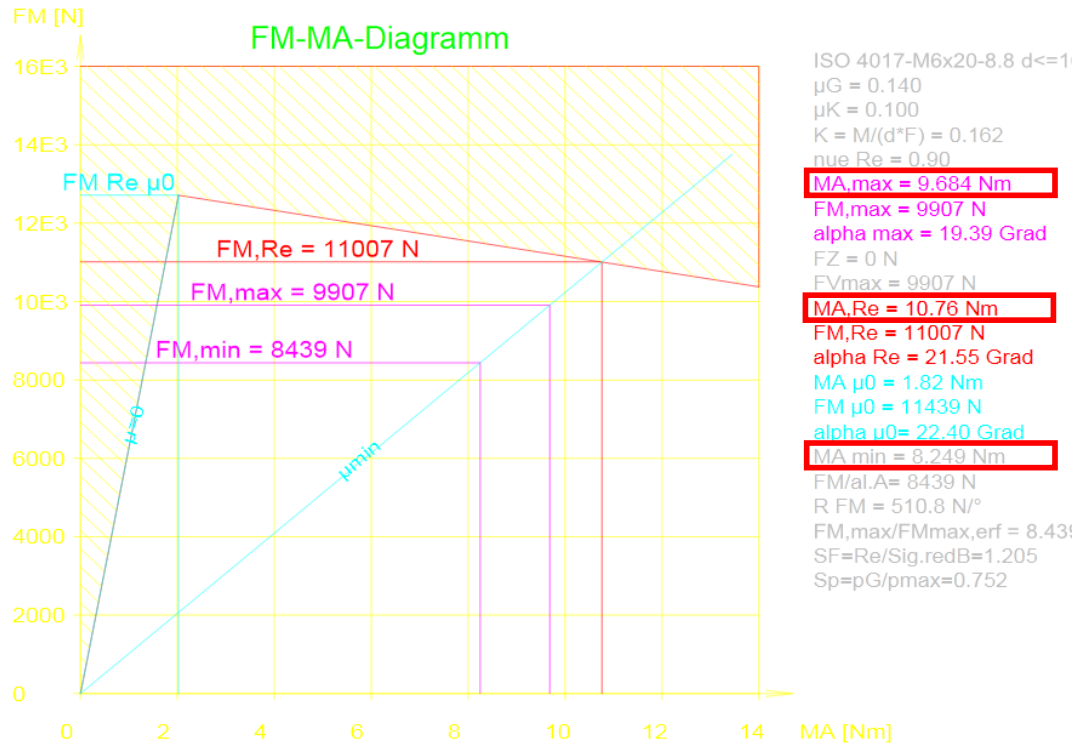


Şekil 4.26. M5 cıvata – somun bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı

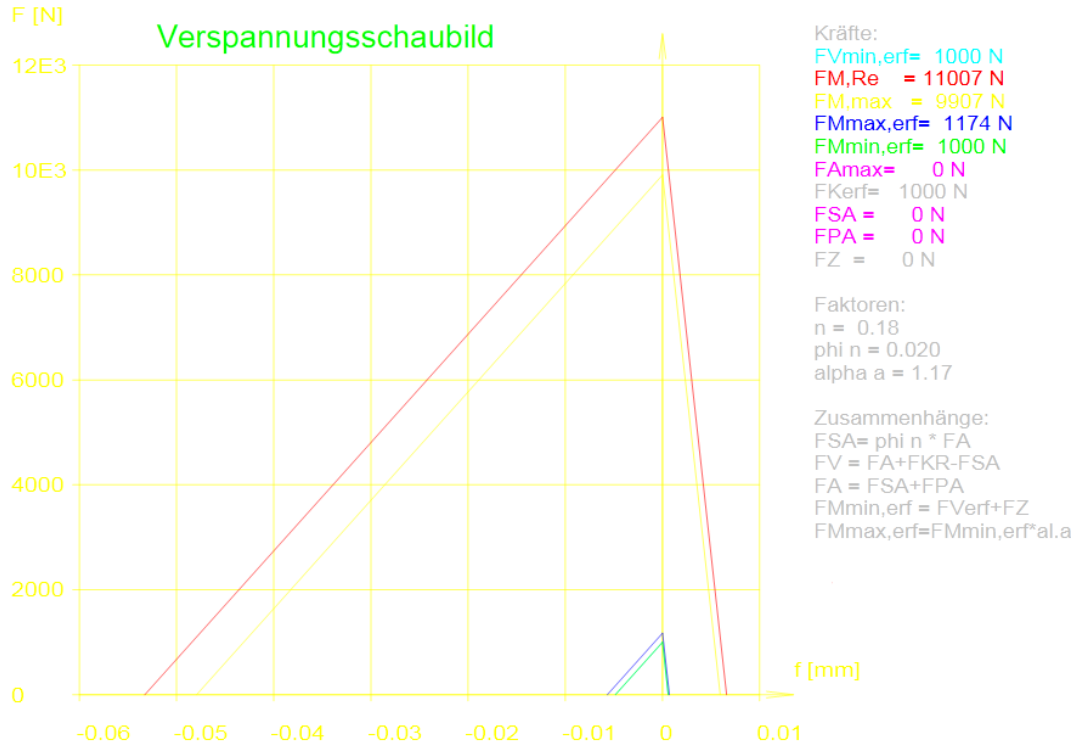


Şekil 4.27. M5 cıvata – somun bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen Şekil değiştirme diyagramı

4.1.2. M6 cıvata – somun bağlantısına ait emniyetli tork değerinin Hexagon SR1 programı ile hesaplanması

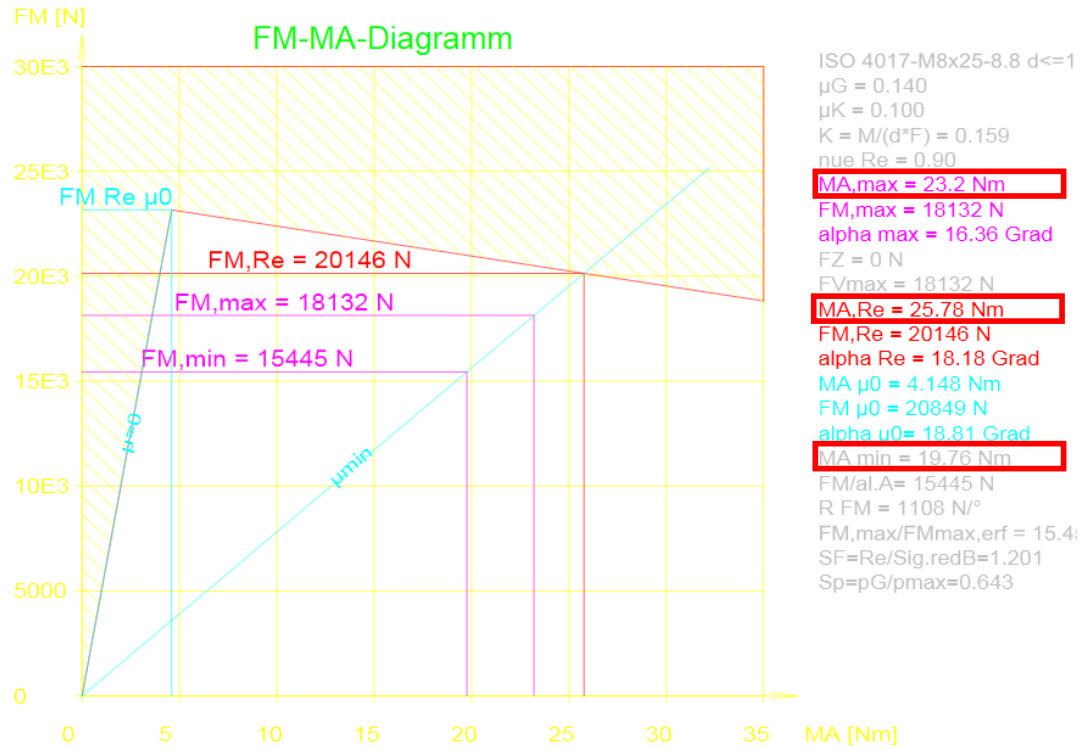


Şekil 4.28. M6 cıvata – somun bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı

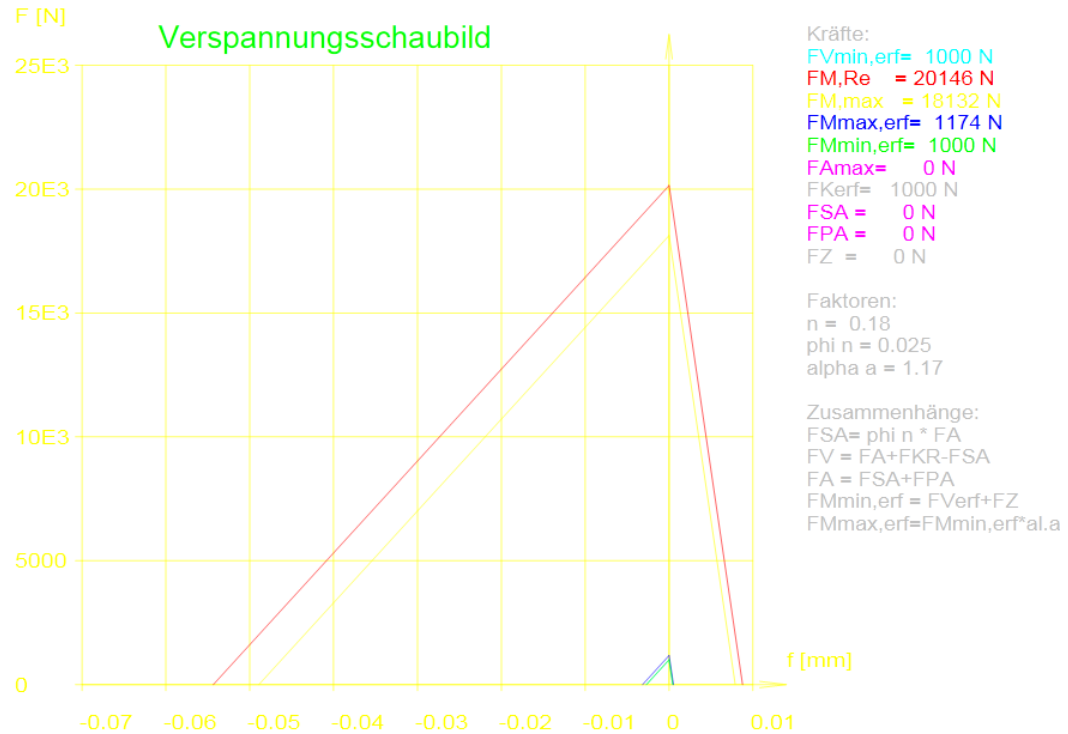


Şekil 4.29. M6 cıvata – somun bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen Şekil değiştirme diyagramı

4.1.3. M8 cıvata – somun bağlantısına ait emniyetli tork değerinin Hexagon SR1 programı ile hesaplanması

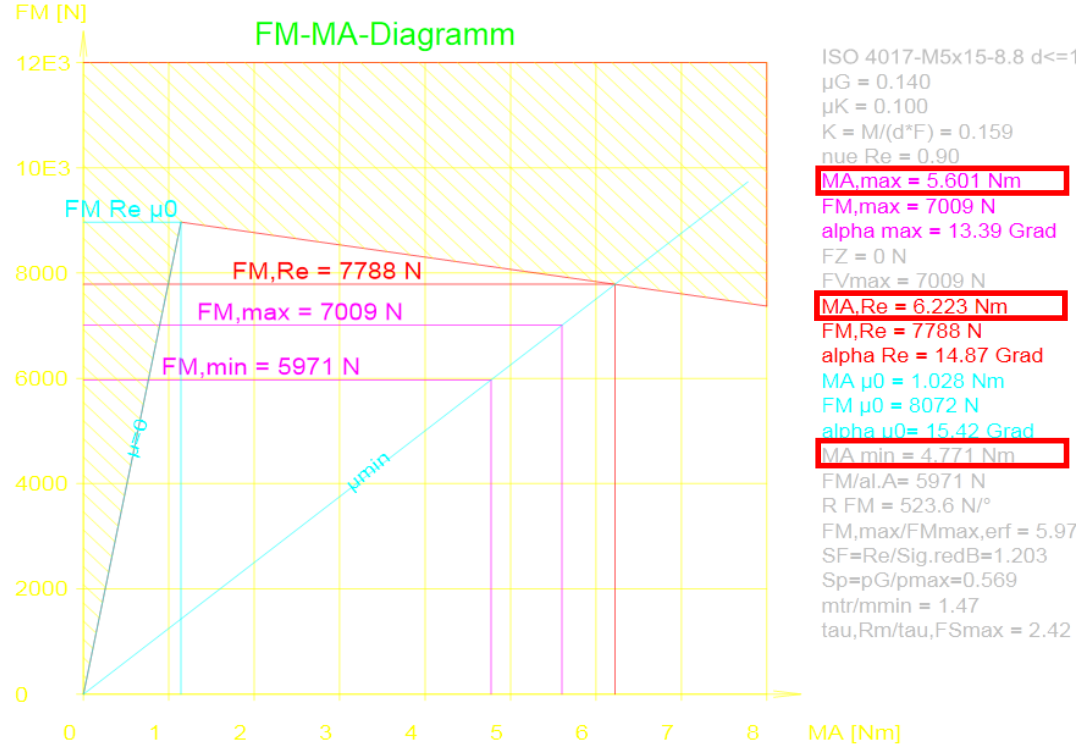


Şekil 4.30. M8 cıvata – somun bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı

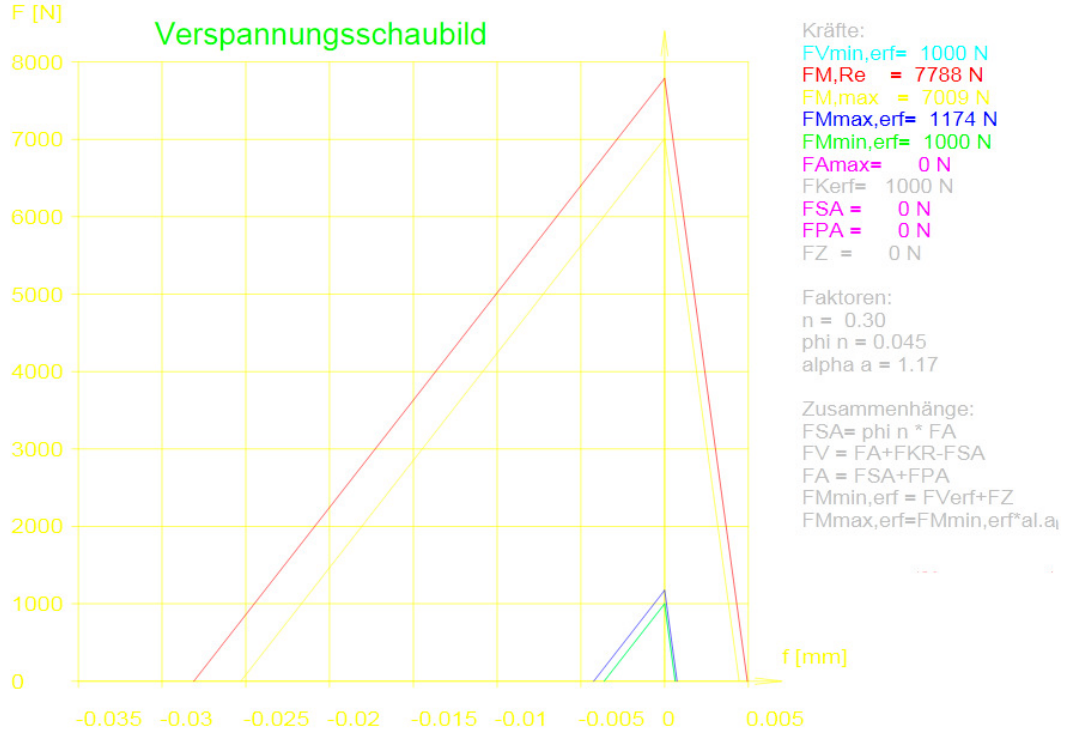


Şekil 4.31. M8 cıvata – somun bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen şekil değiştirme diyagramı

4.1.4. M5 cıvata – vidalı delik bağlantısına ait emniyetli tork değerinin Hexagon SR1 programı ile hesaplanması

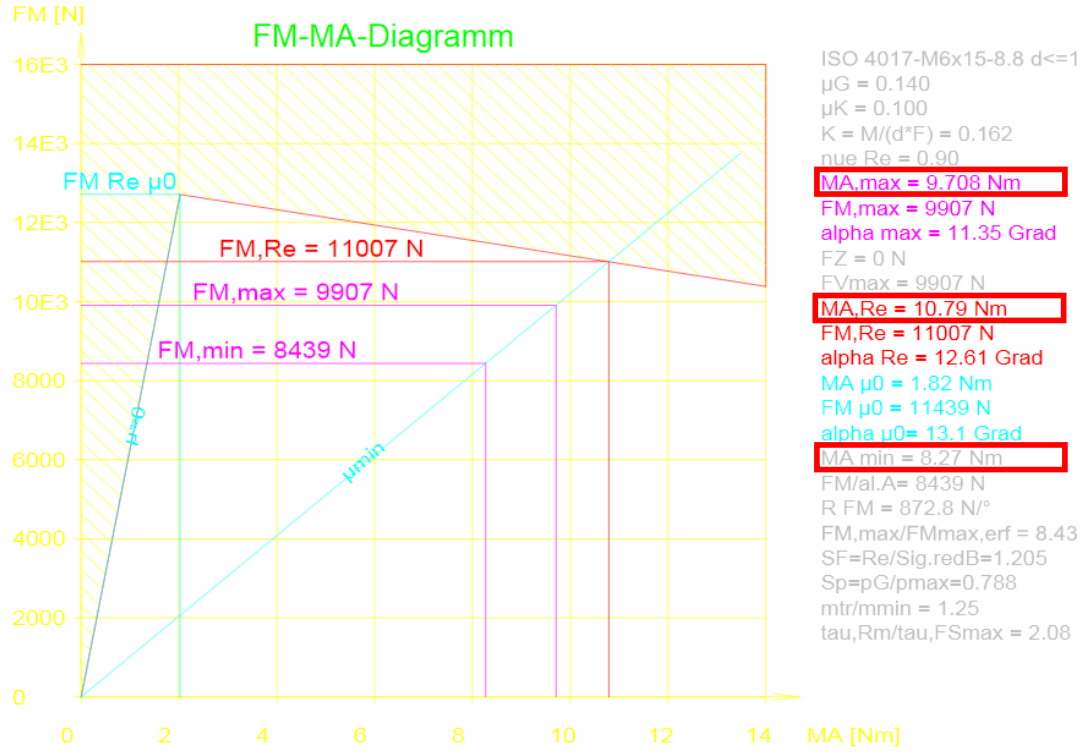


Şekil 4.32. M5 cıvata – vidalı delik bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı

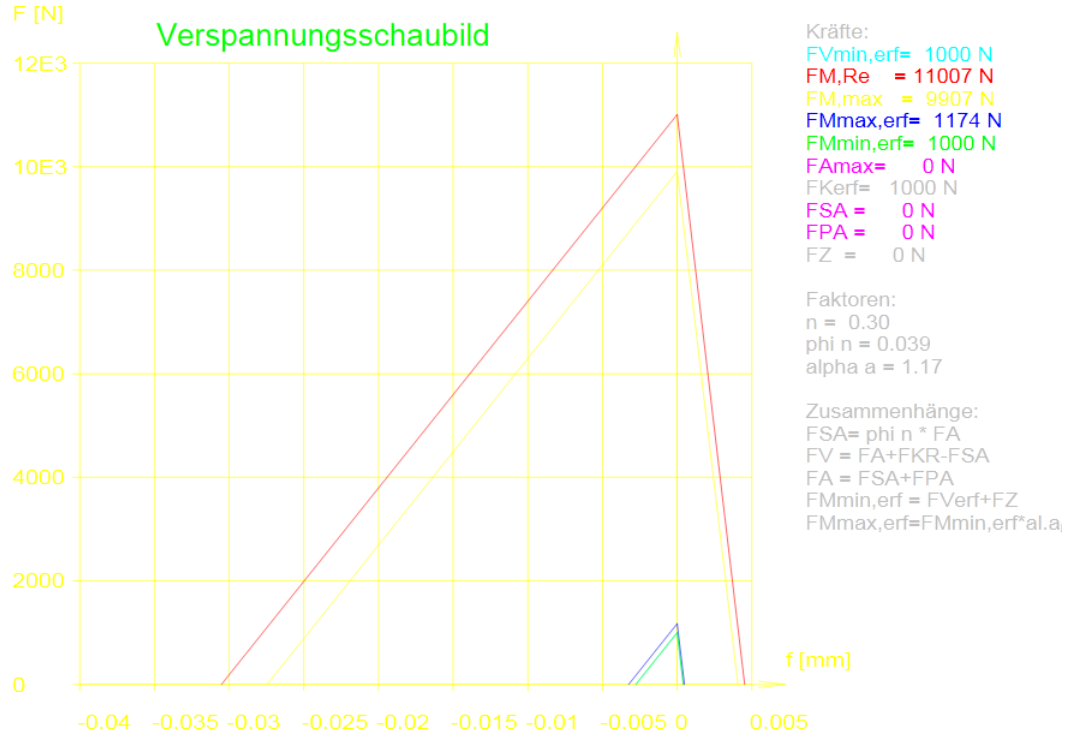


Şekil 4.33. M5 cıvata – vidalı delik bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen şekil değiştirme diyagramı

4.1.5. M6 cıvata – vidalı delik bağlantısına ait emniyetli tork değerinin Hexagon SR1 programı ile hesaplanması

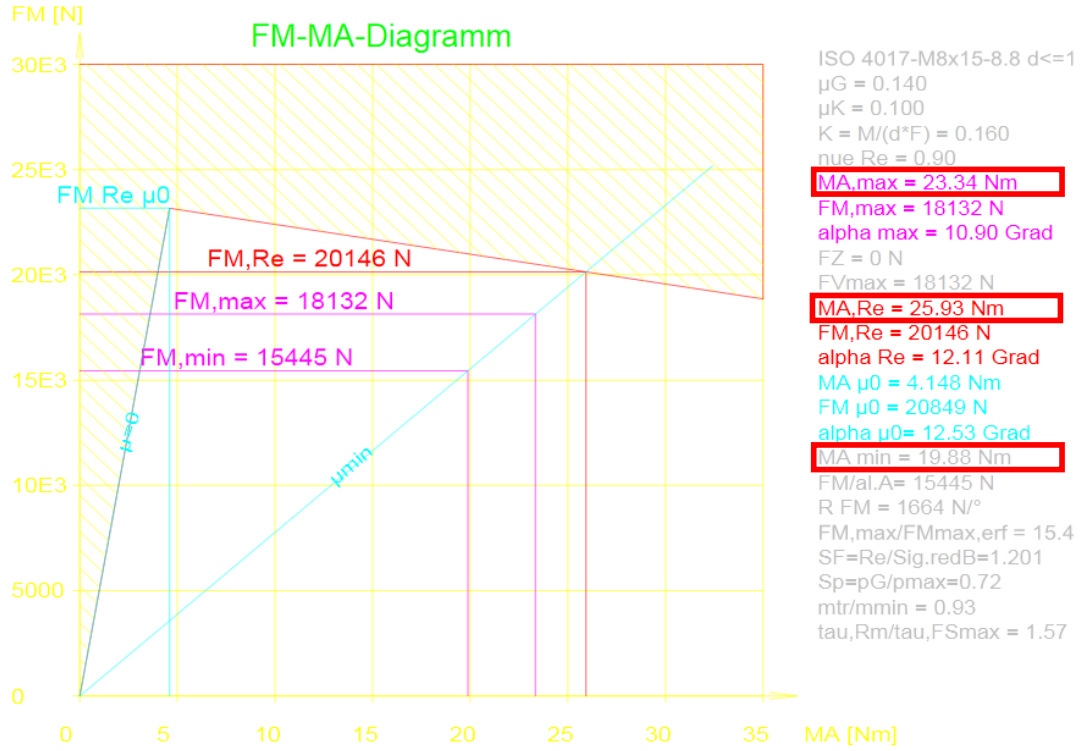


Şekil 4.34. M6 cıvata – vidalı delik bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı

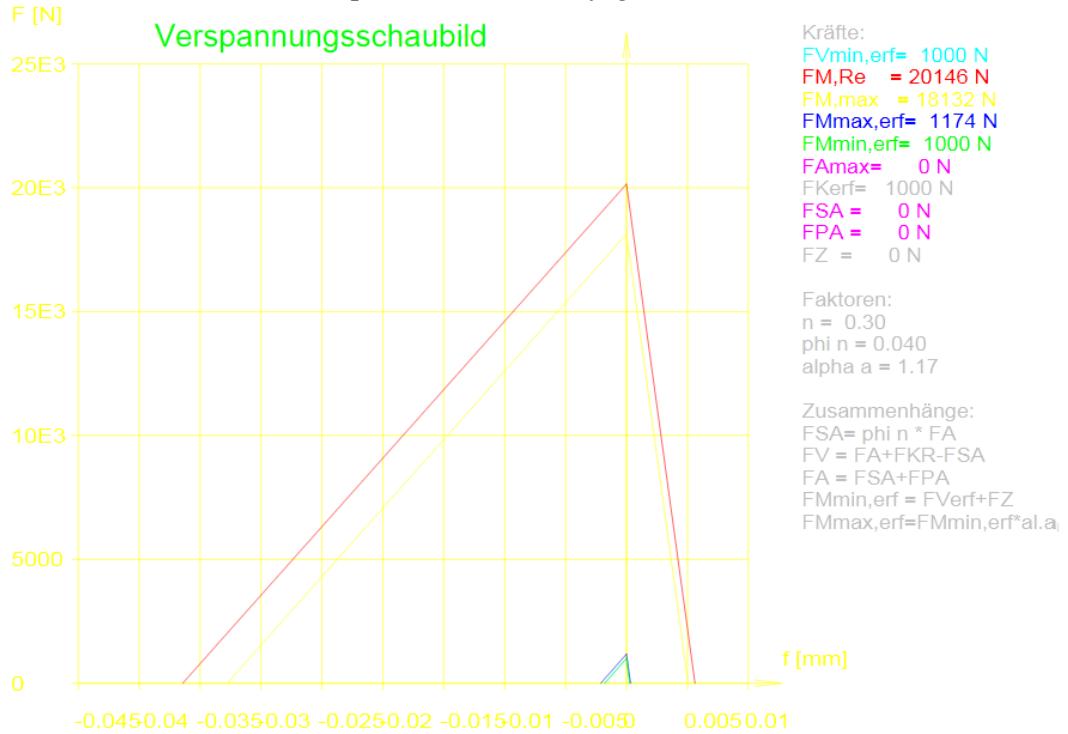


Şekil 4.35. M6 cıvata – vidalı delik bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen şekil değiştirme diyagramı

4.1.6. M8 cıvata – vidalı delik bağlantısına ait emniyetli tork değerinin Hexagon SR1 programı ile hesaplanması



Şekil 4.36. M8 cıvata – vidalı delik bağlantısı için, HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen FM-MA diyagramı



Şekil 4.37. M8 cıvata – vidalı delik bağlantısı için HEXAGON SR1 programı tarafından hesap edilen şekil değiştirme diyagramı

4.2. Deneysel Yöntemle Emniyetli Tork Değerinin Belirlenmesi

Çalışmamızın deneysel kısmında, sayısal olarak yapmış olduğumuz hesaplamada kabul ettiğimiz değerler ile bire bir uyumlu olacak şekilde, bağlantı parçaları ve plakaları kullanıldı. Deney ortamı sıcaklığı da yine hesaplamalarda kabul edildiği şekilde 20 °C de tutulmuştur.

M5, M6 ve M8 ebatlarının her biri için, cıvata somun bağlantısı ve cıvata – diş açılmış delik bağlantısı olmak üzere toplam altı adet deney yapılmıştır.



Şekil 4.38. Deneysel çalışmanın yapıldığı 100Nm kapasiteli açıcı ve tork kontrollü, %3 hassasiyete sahip sıkıcı ve test numuneleri

Deneysel çalışma için elektronik kontrollü sıkma tabancaları, bu tabancaları yöneten işlemci aygıtı ve işlemciye sıkma parametrelerini gönderen bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Kullanılan bilgisayar programı, sıkma işlemi boyunca sıkma tabancasına entegre olan hissedicilerden aldığı verileri işleyerek, o işlem için tork – açıcı grafiklerini oluşturur. Bu grafikler bize bağlantının akma sınırını bulma imkanı verir.

Akma noktası tespitinde yapılan deneyler, bağlantı sistemi içinde yer alan en zayıf elemanın zarar görmesi ile otomatik olarak sonlandırılır. Bu eleman cıvata somun yada sıkılan parçalardan herhangi biri olabilir.

Cıvata – Somun bağlantısı için:



Sekil 4.39. Cıvata somun bağlantıları için bazı numuneler

Cıvatalar	:DIN 933 (ISO 4017) – Altı köşe başlı cıvata (Menevişlenmiş martenzit)
Somun lar	:DIN 934 – Altı köşeli somun (Menevişlenmiş martenzit)
Plaka 1	:St37 – 5mm kalınlığında plaka
Plaka 2	St37 – 2,5mm kalınlığında plaka
Plaka 3	St37 – 5mm kalınlığında plaka

Yapılan deneylerde olası hatalardan kaynaklanan sıyırma veya doğru değer alamama gibi durumlara karşı önlem olarak her bir cıvata boyutu için (M5, M6, M8) 4'er adet deney hazırlandı. Yapılan en hatasız deneyin verileri kullanılarak hesaplama yapıldı.

Cıvata – somun bağlantıları için akma noktasını tespit ettiğimiz deneyler sırasında, ilk önce somun içi vidalar yalama oldu. Bu nedenle elde edilen akma noktası, somuna ait akma noktasıdır.

Cıvata – Vidalı delik bağlantısı için:

- Cıvatalar :DIN 933 (ISO 4017) – Altı köşe başlı cıvata (Menevişlenmiş martenzit)
Plaka 1 :St37 – 5mm kalınlığında plaka
Plaka 2 :St37 – 10mm kalınlığında plaka (deliklerine vida dişi açılmış)



Şekil 4.40. Cıvata – Vidalı delik bağlantısı için bazı numuneler

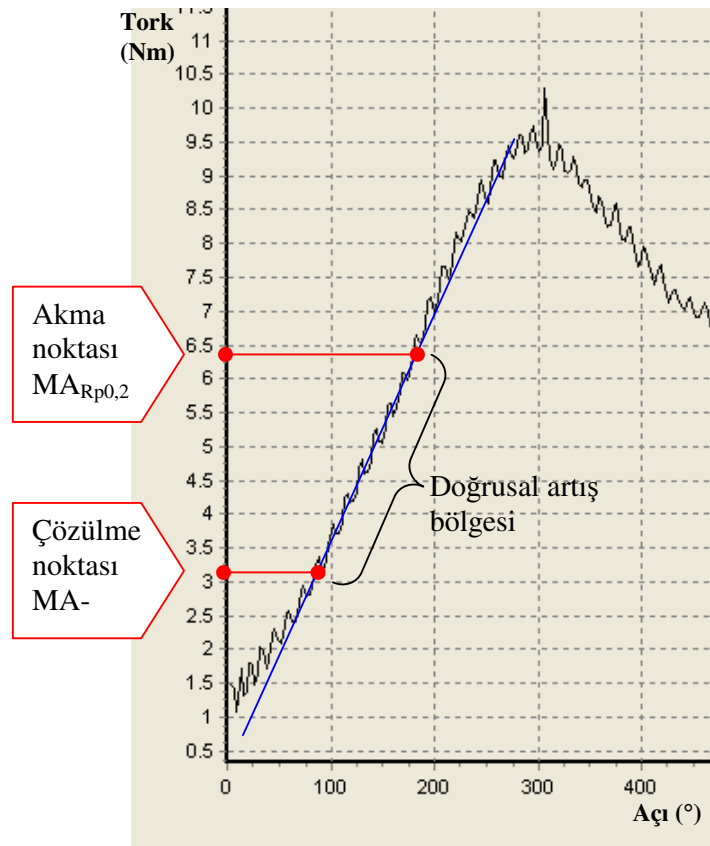


Şekil 4.41. Cıvata – Vidalı delik bağlantıları için yapılan “kopana kadar sıkma” deneyleri neticesinde kopan cıvatalar

4.2.1. M5 cıvata – somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi

Emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi için Denklem 4.1 de yer alan akma noktasının deneysel olarak ve cıvatanın çekme dayanımının ise laboratuvar ölçümleri ile bulunması gerekir.

Bağlantı elemanlarından herhangi biri zarar görene kadar yapılan işlem sonrasında elde edilen tork – aç ı grafiğ i Şekil 4.42 de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.42. M5 Cıvata – Somun bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen tork – aç ı grafiğ i ve grafik üzerinde akma noktası tespiti.

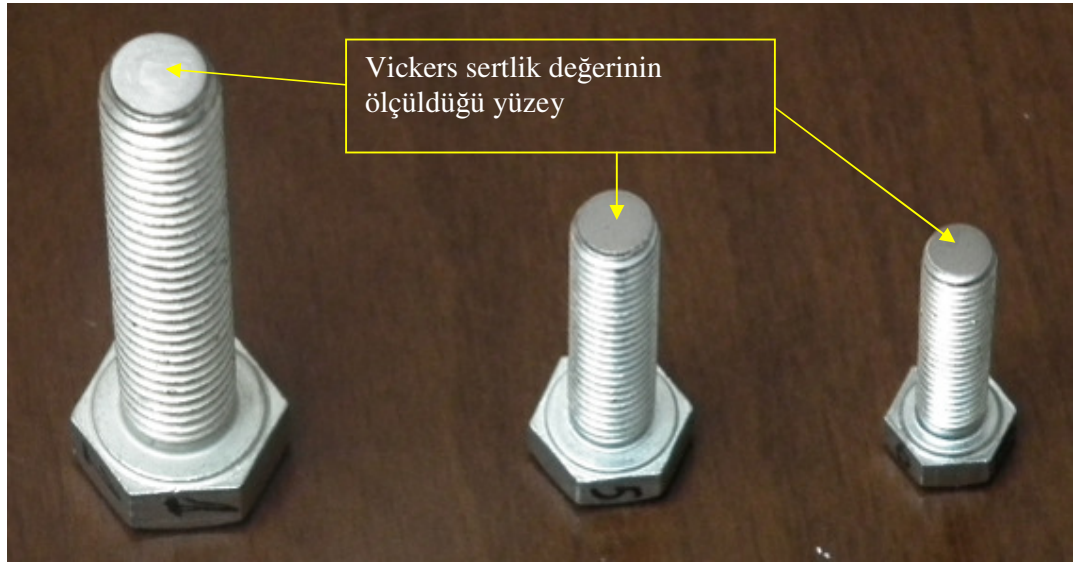
Elde edilen tork – aç ı grafiğ inde torkun doğrusal artış bölgesine teğet olan bir doğru çizersek doğrusallığın başladığı ve bittiği noktaları daha kolay tespit edebiliriz. Bu doğrusal artış bölgesi bağlantıyı güvenle sıkabileceğimiz tork değerleri aralığını ifade eder. Bu bölge MA- noktasından başlar ve $MA_{Rp0,2}$ yani akma noktasına kadar devam eder. MA- bağlantının güvenle torklanabileceği en düşük tork değerini temsil eder.

Teorik olarak bu noktanın altındaki torklarda bağlantı titreşimlerle kendi kendine çözülebilir. Yukarıdaki grafikten elde ettiğimiz değerler şu şekildedir:

$MA_{Rp0,2}$:6,4Nm

$MA-$:3,2Nm

Çekme testine tabi tutulan cıvatanın daha sonra kullanılması mümkün olmadığından, Cıvatanın uç alın yüzeyleri laboratuarda parlatılarak Vickers sertlik değeri ölçülmüş ve Çizelge 4.1 den bu değerlere karşılık gelen çekme dayanımı değeri R_m bulunmuştur.



Şekil 4.43. Laboratuarda uç alın yüzeyleri parlatılarak Vickers sertlik değerleri ölçülmüş bazı cıvatalar.

Deney sırasında kullandığımız cıvatanın uç yüzeyi parlatılarak ölçülen Vickers sertlik değeri:

$H_{V0,3}$:287 (bkz. Ek 7 Laboratuar ölçüm sonuçları)

Bu değere karşılık gelen çekme dayanımı : (bkz. Çizelge 4.1)

$R_{M.ist}$:899,4N/mm²

Bu değerleri denklem 4.1 de yerine koyarsak:

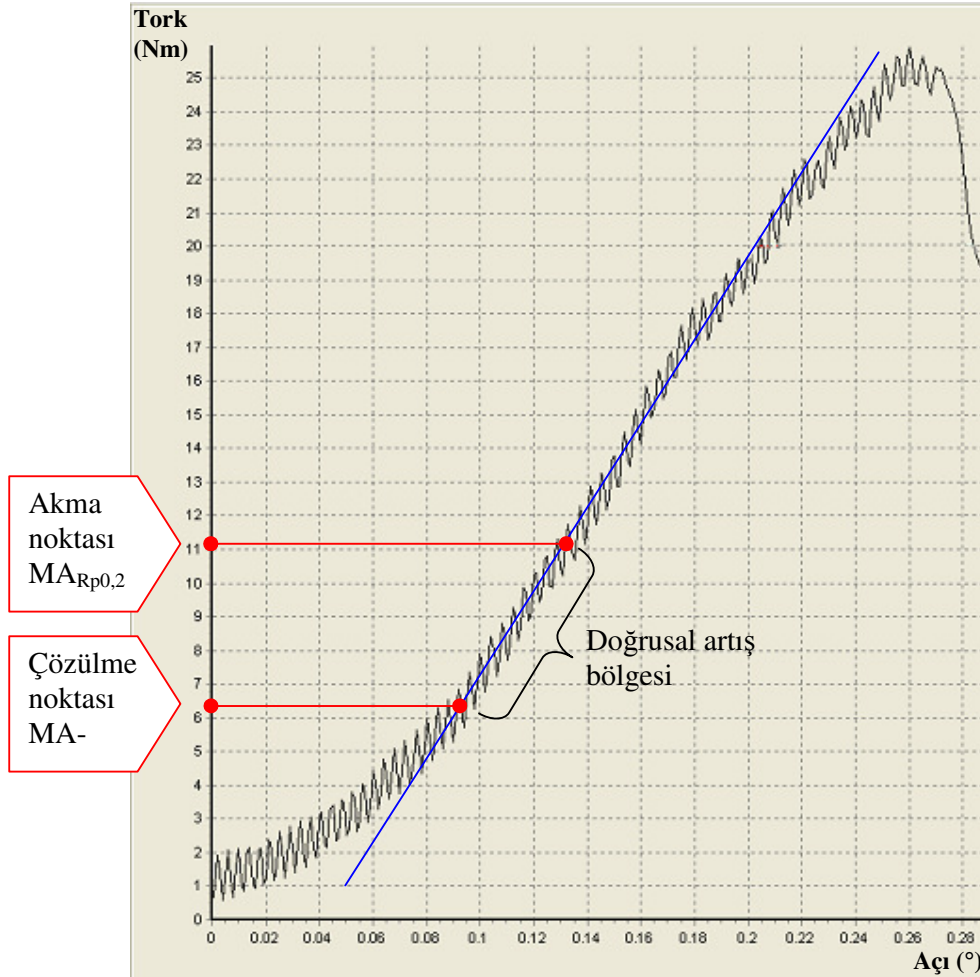
$$MA_{Nom} = \frac{MA_{Rp0,2} \cdot R_{m.min} \cdot 0.95}{R_{m.ist}} = \frac{6,4Nm \cdot 800N / mm^2 \cdot 0.95}{899,4N / mm^2} = 5,4Nm$$

Sınıf 1 = $MA_{Sınıf 1}$ 5,40Nm ± %3 =5,40Nm ± 0,16Nm

Sınıf 2 = $MA_{Sınıf 1} - \%5$ 5,13Nm ± %8 =5,13Nm ± 0,41Nm

Sınıf 3 = $MA_{Sınıf 1} - \%20$ 4,32Nm ± %20 =4,32Nm ± 0,86Nm

4.2.2. M6 cıvata – somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi



Şekil 4.44. M6 Cıvata – Somun bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açılma grafiği

Grafikten ve Laboratuvar ölçümlerinden elde ettiğimiz değerler:

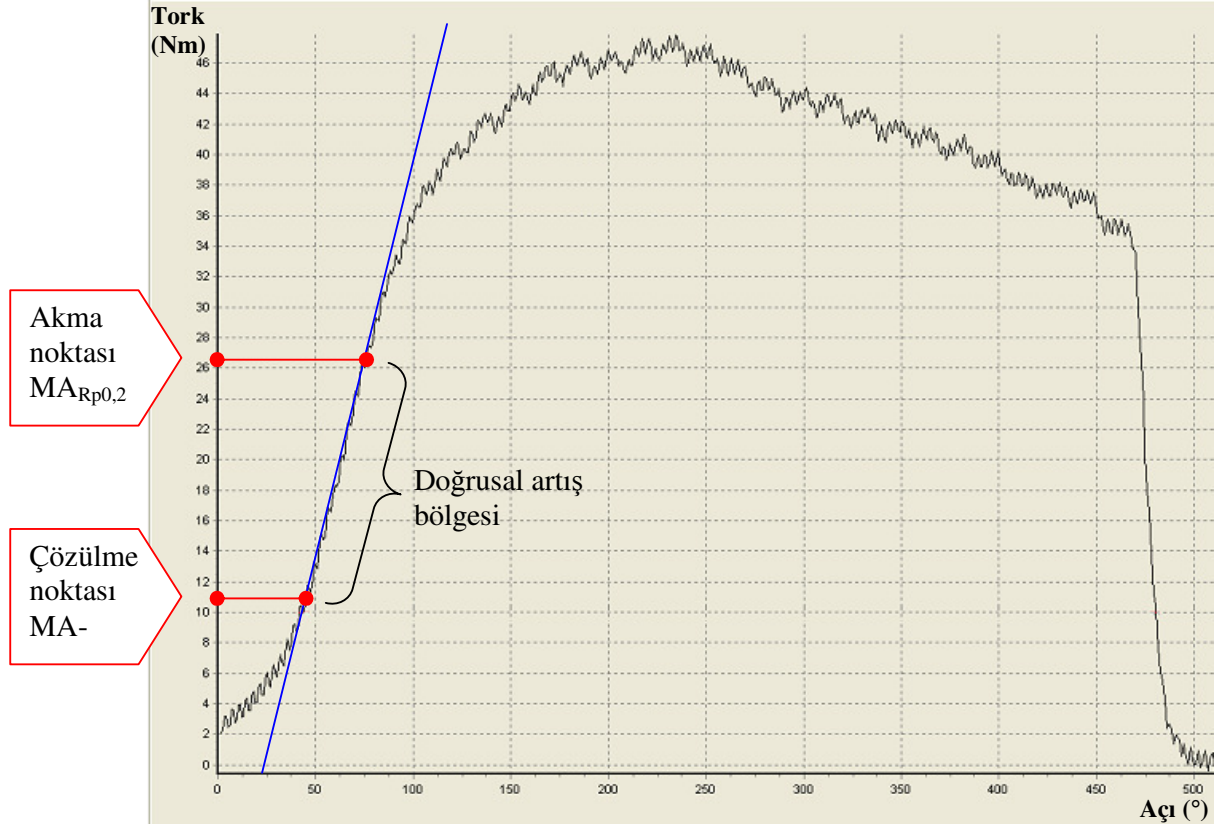
$MA_{Rp0,2}$	:11,1Nm
$MA-$	:6,2Nm
$H_{V0,3}$	:263 (Bkz. Ek 7 Laboratuvar ölçüm sonuçları)
$R_{M,ist}$	:836,27N/mm ² (bkz. Çizelge 4.1)

Bu değerleri denklem 4.1 de yerine koyarsak:

$$MA_{Nom} = \frac{MA_{Rp0,2} \cdot R_{m,min} \cdot 0.95}{R_{m,ist}} = \frac{11,1Nm \cdot 800N/mm^2 \cdot 0.95}{836,27N/mm^2} = 10,08Nm$$

Sınıf 1 = $MA_{Sınıf 1}$	$10,08Nm \pm \%3$	$=10,08Nm \pm 0,30Nm$
Sınıf 2 = $MA_{Sınıf 1} - \%5$	$9,57Nm \pm \%8$	$=9,57Nm \pm 0,76Nm$
Sınıf 3 = $MA_{Sınıf 1} - \%20$	$8,06Nm \pm \%20$	$=8,06Nm \pm 1,61Nm$

4.2.3. M8 cıvata – somun bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi



Şekil 4.45. M8 Cıvata – Somun bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açı grafiği

Grafikten ve Laboratuar ölçümlerinden elde ettiğimiz değerler:

$MA_{Rp0,2}$:26,4Nm

$MA-$:10,9Nm

$H_{V0,3}$:275 (Bkz. Ek 7 Laboratuar ölçüm sonuçları)

$R_{M.ist}$:873,8N/mm² (bkz. Çizelge 4.1)

Bu değerleri denklem 4.1 de yerine koyarsak:

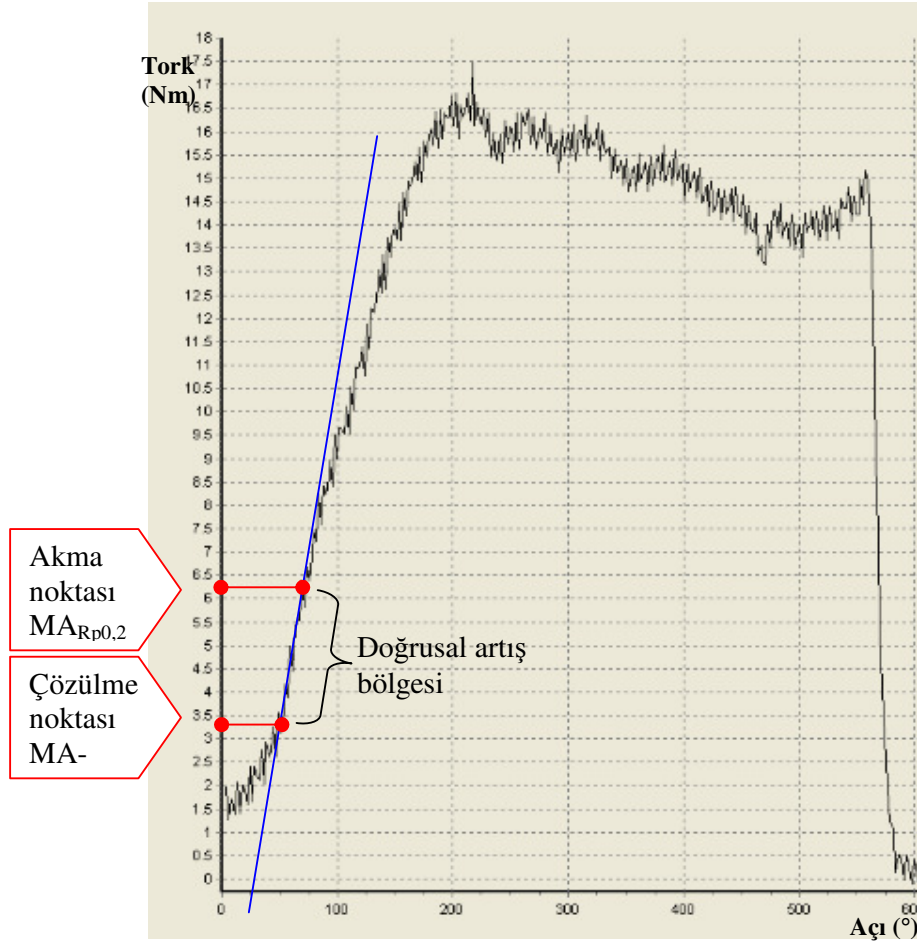
$$MA_{Nom} = \frac{MA_{Rp0,2} \cdot R_{m.min} \cdot 0.95}{R_{m.ist}} = \frac{26,4Nm \cdot 800N/mm^2 \cdot 0.95}{873,8N/mm^2} = 22,96Nm$$

$$Sınıf 1 = MA_{Sınıf 1} \quad 22,96Nm \pm \%3 \quad =22,96Nm \pm 0,68Nm$$

$$Sınıf 2 = MA_{Sınıf 1} - \%5 \quad 21,81Nm \pm \%8 \quad =21,81Nm \pm 1,74Nm$$

$$Sınıf 3 = MA_{Sınıf 1} - \%20 \quad 18,36Nm \pm \%20 \quad =18,36Nm \pm 3,67Nm$$

4.2.4. M5 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi



Şekil 4.46. M5 Cıvata – vidalı delik bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açı grafiği

Grafikten ve Laboratuar ölçümlerinden elde ettiğimiz değerler:

MA_{Rp0,2} :6,3Nm

MA- :3,4Nm

H_{V0,3} :287 (Bkz. Ek 7 Laboratuar ölçüm sonuçları)

R_{M,ist} :899,4N/mm² (bkz. Çizelge 4.1)

Bu değerleri denklem 4.1 de yerine koyarsak:

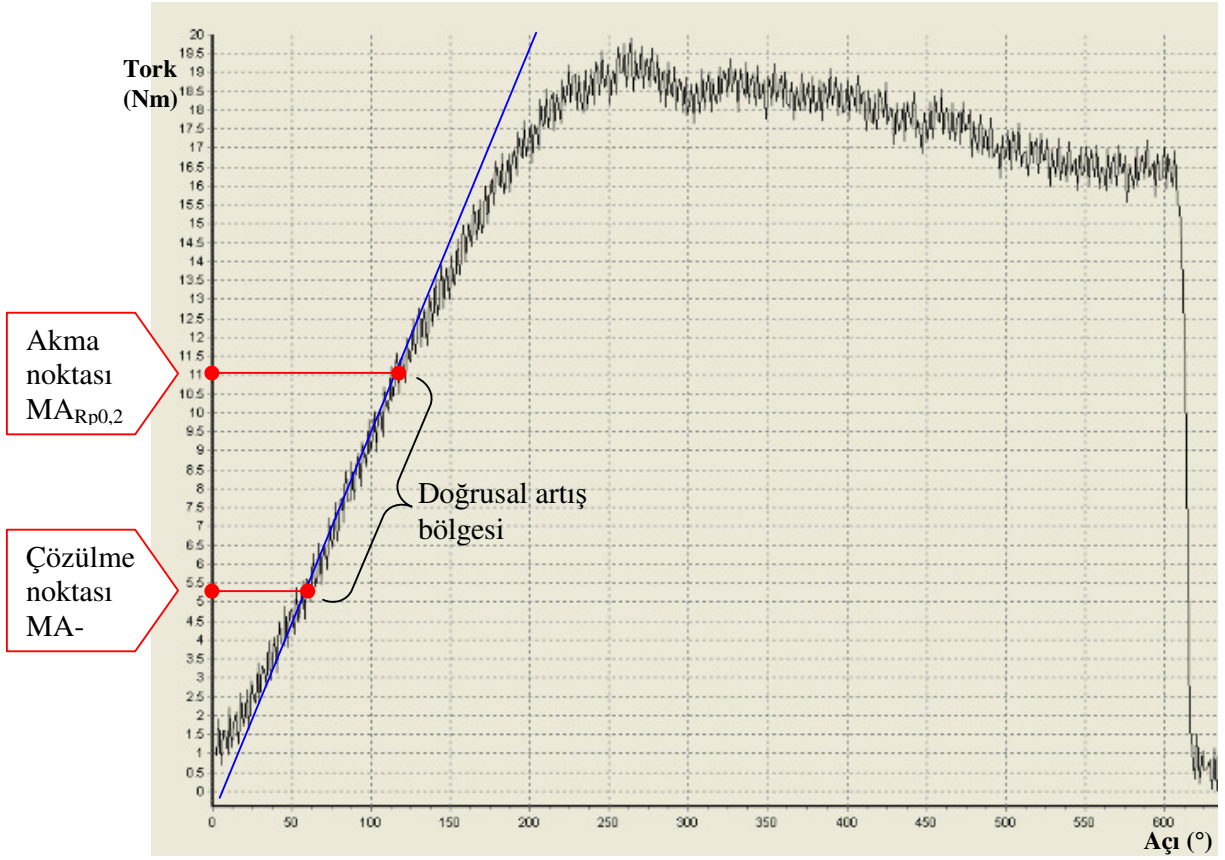
$$MA_{Nom} = \frac{MA_{Rp0,2} \cdot R_{m,min} \cdot 0.95}{R_{m,ist}} = \frac{6,3Nm \cdot 800N/mm^2 \cdot 0.95}{899,4N/mm^2} = 5,32Nm$$

Sınıf 1 = MA_{Sınıf 1} 5,32Nm ± %3 =5,32Nm ± 0,16Nm

Sınıf 2 = MA_{Sınıf 1} - %5 5,05Nm ± %8 =5,05Nm ± 0,40Nm

Sınıf 3 = MA_{Sınıf 1} - %20 4,25Nm ± %20 =4,25Nm ± 0,85Nm

4.2.5. M6 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi



Şekil 4.47. M6 Cıvata – vidalı delik bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açı grafiği

Grafikten ve Laboratuar ölçümlerinden elde ettiğimiz değerler:

$MA_{Rp0,2}$: 11 Nm

$MA-$: 5,3 Nm

$H_{V0,3}$: 263 (Bkz. Ek 7 Laboratuar ölçüm sonuçları)

$R_{M.ist}$: 836,27 N/mm² (bkz. Çizelge 4.1)

Bu değerleri denklem 4.1 de yerine koyarsak:

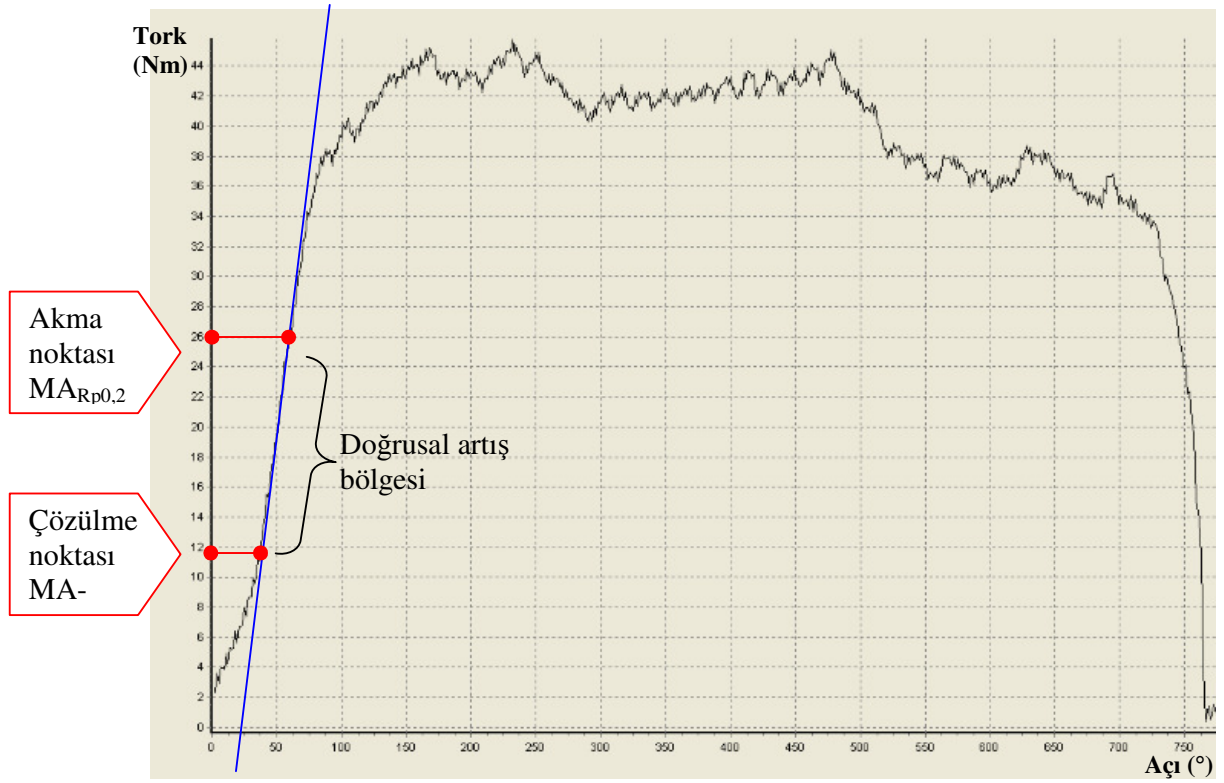
$$MA_{Nom} = \frac{MA_{Rp0,2} \cdot R_{m.min} \cdot 0.95}{R_{m.ist}} = \frac{11 Nm \cdot 800 N / mm^2 \cdot 0.95}{836,27 N / mm^2} = 9,99 Nm$$

Sınıf 1 = $MA_{Sınıf 1}$ 9,99 Nm ± %3 = 9,99 Nm ± 0,29 Nm

Sınıf 2 = $MA_{Sınıf 1} - \%5$ 9,49 Nm ± %8 = 9,49 Nm ± 0,75 Nm

Sınıf 3 = $MA_{Sınıf 1} - \%20$ 4,25 Nm ± %20 = 4,25 Nm ± 0,85 Nm

4.2.6. M8 cıvata – vidalı delik bağlantısı için emniyetli tork değerinin deneysel olarak belirlenmesi



Şekil 4.48. M8 Cıvata – vidalı delik bağlantısının akma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen Tork – Açı grafiği

Grafikten ve Laboratuar ölçümlerinden elde ettiğimiz değerler:

$MA_{Rp0,2}$	: 26Nm
$MA-$	: 11,8Nm
$H_{V0,3}$	: 275 (Bkz. Ek 7 Laboratuar ölçüm sonuçları)
$R_{M.ist}$	: 873,8N/mm ² (bkz. Çizelge 4.1)

Bu değerleri denklem 4.1 de yerine koyarsak:

$$MA_{Nom} = \frac{MA_{Rp0,2} \cdot R_{m.min} \cdot 0.95}{R_{m.ist}} = \frac{26Nm \cdot 800N/mm^2 \cdot 0.95}{873,8N/mm^2} = 22,61Nm$$

Sınıf 1 = $MA_{Sınıf 1}$	22,61Nm ± %3	=22,61Nm ± 0,67Nm
Sınıf 2 = $MA_{Sınıf 1} - \%5$	21,48Nm ± %8	=21,48Nm ± 1,71Nm
Sınıf 3 = $MA_{Sınıf 1} - \%20$	18,09Nm ± %20	=18,09Nm ± 3,60Nm

5. SONUÇLAR

Teorik hesaplama ile elde ettiğimiz sonuçlar, deneysel olarak belirlediğimiz emniyetli tork değerleri, akma ve çözülme sınırları ile Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 da verilmiştir.

Çizelge 5.1. M5, M6 ve M8 Cıvata – somun bağlantıları için deneysel çalışma neticesinde belirlenen emniyetli tork değerleri ile teorik hesaplama neticesinde elde edilen tork değerlerinin karşılaştırılması

Tork Değeri (Nm)	Cıvata – Somun bağlantısı					
	M5		M6		M8	
	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel
$MA_{Rp0,2}$	6,20	6,40	10,76	11,1	25,78	26,40
MA_{max}	5,58	5,55	9,68	10,33	23,20	23,56
MA_{nom}	5,17	5,13	8,97	9,57	21,48	21,81
MA_{min}	4,76	4,73	8,25	8,81	19,76	20,07
$MA-$	3,75	3,20	6,45	6,2	15,80	10,90

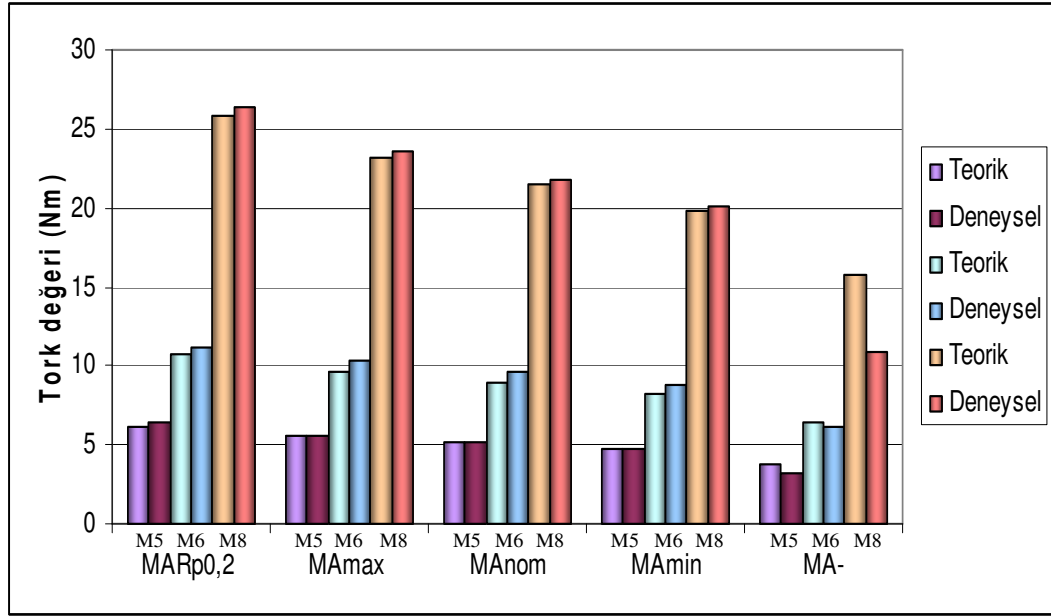
Çizelge 5.2. M5, M6 ve M8 Cıvata – vidalı delik bağlantıları için deneysel çalışma neticesinde belirlenen emniyetli tork değerleri ile teorik hesaplama neticesinde elde edilen tork değerlerinin karşılaştırılması

Tork Değeri (Nm)	Cıvata – Vidalı delik bağlantısı					
	M5		M6		M8	
	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel
$MA_{Rp0,2}$	6,22	6,30	10,79	11,00	25,93	26,00
MA_{max}	5,60	5,46	9,71	10,26	23,34	23,20
MA_{nom}	5,19	5,05	8,99	9,49	21,60	21,48
MA_{min}	4,77	4,65	8,27	8,74	19,88	19,76
$MA-$	3,77	3,40	6,47	5,30	15,93	11,80

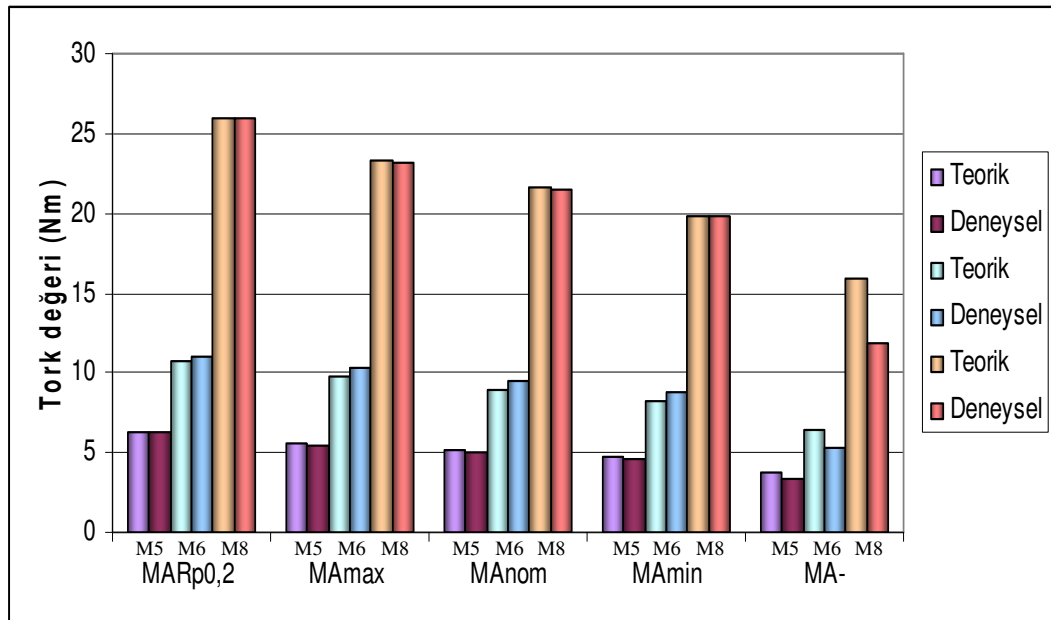
- $MA_{Rp0,2}$:Akma tork değeri
 MA_{max} :Tork değerinin %8 tolerans varsayımına göre üst tolerans değeri
 MA_{nom} :Hesaplanan nominal tork değeri (Tork anahtarının ayarlanacağı değer)
 MA_{min} :%8 tolerans varsayımına göre izin verilen en düşük tork değeri
 $MA-$:Bağlantının kendi kendine çözülebileceği tork değeri

Bu durumda görülmektedir ki akma sınırı hesaplamalarda elde edilen değer, gerçeğe nazaran ortalama %2 sapma göstermiştir. Deneylerde kullanılan cihazların hassasiyetinin %3 olduğu düşünülürse bu sapma kabul edilebilir ve Teorik hesaplamada elde edilen akma ve gevşeme sınırı değerleri deneysel olarak tespit edilen değer

aralığının içinde kalmaktadır (bkz. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Bu nedenle hesaplama ile elde edilen değerler güvenilirdir.



Şekil 5.1. Cıvata – somun bağlantılarında teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak tespit edilen tork değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.2. Cıvata – vidalı delik bağlantılarında teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak tespit edilen tork değerlerinin karşılaştırılması

KAYNAKLAR

- Adatepe H. ve Güneş T., 2011, Cıvatalı bağlantılarda emniyetli tork değerinin teorik ve deneysel olarak belirlenmesi, VI. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya, Bildiriler kitabı, sayfa 97-107
- Atlas Copco, 2002, Tightening Technique, Pocket Guide, Sweden, , p. 26.
- Atlas Copco, 2011, tork tanımı
- DIN EN ISO 898-1, 2009, Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl, Berlin
- DIN EN ISO 18265, 2003, Metallische Werkstoffe. Umwertung von Härtewerten, Berlin
- DIN 933, M1,6 to M52 Hexagon Cap Screws Fully Threaded - Product grades A and B, Deutsches Institut für Normung
- DIN 934 Hexagon nuts with metric coarse and fine pitch thread - Product classes A and B, Deutsches Institut für Normung
- İbrahim, R.A. ve Pettit, C.L., 2003, Uncertainties and Dynamic Problems of Bolted Joints and Other Fasteners, Wayne State University, Department of Mechanical Engineering, Detroit, MI, p. 80
- Kutay M. G., 2005, Cıvatalar, Birsen Yayınevi, 1. Baskı, İstanbul,
- Marshall, M.B., Lewis, R. ve Dwyer-Joyce, 2006, Characterisation of Contact Pressure Distribution in Bolted Joints, Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield, United Kingdom, p. 42
- Olsson, J. and Sandlund, P., 2008, Form The Design Basis For Screw Joints, p.17-30
- Shritama M.B.E., 2008, Exploring Torque and Deflection Response Characteristics to Evaluate The Ergonomics of DC Torque Tools Via A Tool Test Rig, p. 32-67
- Toth, Göran R., 2006, Torque and Angle Controlled Tightening of Bolted Joints, Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Chalmers University of Technology, Sweden, p. 104
- VDI 2230, 2003, Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schrauben-Verbindungen Zylindrische Einschraubenverbindungen, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf
- Yarkın T., 2010, Şasi bağlantılarında Sıkma momenti (Tork) değerlerinin ve alt-üst sınırlarının belirlenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, İzmir.

EKLER

EK 1

M5 CIVATA – SOMUN BAĞLANTISI İÇİN HESAPLAMA SONUÇLARI

EK 1. M5_Cıvata - somun.sr1

SR1 V17.0 VDI 2230 'e göre Cıvata hesaplaması
TAYFUN GÜNES

Altıgen başlı cıvata ISO 4017 - M5 x 20 - 8.8 d<=16 SW8

i	de [mm]	di [mm]	l [mm]	A [mm ²]	x [mm]	delta mm/N
1	5.00	0.00	1.60	19.6	1.60	0.388E-6
G3	4.02	0.00	10.90	12.7	12.50	4.092E-6
G2	4.48	0.00	7.50	15.8	20.00	

Anma çapı	d	mm	5.00
Tolerans sınıfı			6h
Maksimum vida çapı	d _{max}	mm	5.000
Minimum vida çapı	d _{min}	mm	4.850
Hatve	P	mm	0.80
Gerilme kesit alanı	A _s	mm ²	14.2
As için çap	d _s	mm	4.249
Diş dibi çapı	d ₃	mm	4.019
Ortalama çap	d ₂	mm	4.480
Ortalama çap nom.	d ₂ nom	mm	4.480
Ortalama çap max.	d ₂ max	mm	4.480
Ortalama çap min.	d ₂ min	mm	4.386
En küçük kesit alanı	A ₀	mm ²	14.2
Akma sınırı	Re,Rp0,2	MPa	640
Minimum çekme dayanımı	R _m	MPa	800
Maksimum çekme dayanımı	R _{m,max}	MPa	960
E-Modülü	ES	MPa	210000
Kesme gerilmesi faktörü	betaB		0.577
Cıvata boyu	l	mm	20.00
Vidalı kısmın boyu	l _G	mm	18.40
Anahtar ağız genişliği	SW	mm	8.00
Minimum baş oturma yüzeyi çapı	d _w	mm	6.90
Sıkılan kalınlık	l _k	mm	12.50

CIVATALI BAĞLANTI Cıvata - somun bağlantısı (DSV)

Altıgen somun DIN 934 - SW 8

Minimum somun basma yüzey çapı	d _w M	mm	6.80
Somun yüksekliği	h M	mm	4.0
Vida derinliği	m geo	mm	4.0
Yük taşıyan vidalı kısmın boyu	m tr	mm	2.4

EK 1. devamı

ŞEKİL DEĞİŞTİRME

FM,max etkisi ile cıvata uzama	fSM	mm	0.046
FM,max etkisi ile plakalarda ezilme	fPM	mm	0.006

SÜRTÜNME

Vidalar arası sürtünme	μG		0.140
Baş oturma yüzeyinde sürtünme	μK		0.100
Plakalar arası yüzeyde sürtünme	μTr min		0.120
Toplam sürtünme katsayısı	$K=M/(d*F)$		0.158

MONTAJ (Sıkma torku)

Akma sınırın-Sıkma faktörü	nue Re		0.90
Sıkma faktörü	alpha A		1.17
Montaj kuvveti toleransı	Tol FM	%	8.0
Sıkma yöntemi	Somundan sıkma		
Sıkma torku MA	MA,max	Nm	5.584
Sıkma torku	MA,min	Nm	4.756
Sıkma torku	MA,nom	Nm	5.17
Sıkma torku toleransı	Tol MA	%	8.0
Açılma momenti	MA-	Nm	3.752
Sıkma torku (Akma sınırı)	MA Re	Nm	6.204
Sıkma dönme açısı	al.max	Grad	23.3
Sıkma dönme açısı	al.min	Grad	19.9

GERİLMELER

FM+FSA ile maks. çekme gerilmesi	Sigma 0	MPa	494
Maks. kayma gerilmesi	tau max	MPa	228

EK 2

M5 CIVATA – VİDALI DELİK BAĞLANTISI İÇİN HESAPLAMA SONUÇLARI

EK 2. M5_Vidalı delik.sr1

SR1 V17.0 VDI 2230'a göre Cıvata hesaplaması
TAYFUN GÜNES

Altıgen cıvata ISO 4017 - M5 x 15 - 8.8 d<=16 SW8

i	de [mm]	di [mm]	l [mm]	A [mm ²]	x [mm]	delta mm/N
1	5.00	0.00	1.60	19.6	1.60	0.388E-6
G3	4.02	0.00	3.40	12.7	5.00	1.277E-6
G2	4.48	0.00	10.00	15.8	15.00	

Anma çapı	d	mm	5.00
Tolerans sınıfı			6h
Maksimum vida çapı	dmax	mm	5.000
Minimum vida çapı	dmin	mm	4.850
Hatve	P	mm	0.80
Gerilme kesit alanı	As	mm ²	14.2
As için çap	ds	mm	4.249
Diş dibi çapı	d3	mm	4.019
Ortalama çap	d2	mm	4.480
En küçük kesit alanı	A0	mm ²	14.2
Akma sınırı	Re,Rp0,2	MPa	640
Minimum çekme dayanımı	Rm	MPa	800
Maksimum çekme dayanımı	Rm,max	MPa	960
E-Modülü	ES	MPa	210000
Kesme gerilmesi faktörü	betaB		0.577
Cıvata boyu	l	mm	15.00
Vidalı kısmın boyu	lG	mm	13.40
Anahtar ağız genişliği	SW	mm	8.00
Minimum baş oturma yüzeyi çapı	dw	mm	6.90
Sıkılan kalınlık	lk	mm	5.00

CIVATALI BAĞLANTI Cıvata - Vidalı delik bağlantısı (ESV)

Malzeme	St 37 (1.0037)		
Çekme dayanımı	Rm	MPa	370
Akma sınırı	Re	MPa	240
Elastisite modülü	E M	MPa	210000
Delik derinliği	tB	mm	13.0
Vidalı kısmın derinliği	tG	mm	11.6
Örtüşen vida uzunluğu	m geo	mm	10.0
tragende Vidalı kısmın boyu	m tr	mm	10.0
Tolerans sınıfı			6H
Ortalama çap nom.	D2 nom	mm	4.480

EK 2. devamı

Ortalama ap min.	D2 min	mm	4.480
Ortalama ap max.	D2 max	mm	4.608
Diş dibi çapı nom.	D1 nom	mm	4.134
Diş dibi çapı min.	D1 min	mm	4.134
Diş dibi çapı max.	D1 max	mm	4.336
Kesme gerilmesi faktörü VDI2230	taub/Rm		0.577
Kesme gerilmesi faktörü	beta M		0.577
Min.Vida derinliği Rm VDI	meffmin	mm	6.7
Min. Vida derinliği Rm Dose	m min	mm	6.8
Min. Vida derinliği FS VDI	m min FS	mm	4.1
Min. Vida derinliği FS Dose	m min FS	mm	4.2

şEKİL DEğİşTİRME

FM,max etkisi ile cıvata da uzama	fSM	mm	0.025
FM,max etkisi ile plakalarda ezilme	fPM	mm	0.004

SÜRTÜNME

Vidalar arası sürtünme	μG		0.140
Baş oturma yüzeyinde sürtünme	μK		0.100
Plakalar arası yüzeyde sürtünme	μTr min		0.120
Toplam sürtünme katsayısı	K=M/(d*F)		0.159

MONTAJ (Sıkma torku)

Akma sınırın-Sıkma faktörü	nue Re		0.90
Sıkma faktörü	alpha A		1.17
Montaj kuvveti toleransı	Tol FM	%	8.0
Sıkma yöntemi	Cıvata dan sıkma		
Sıkma torku MA	MA,max	Nm	5.601
Sıkma torku	MA,min	Nm	4.771
Sıkma torku	MA,nom	Nm	5.186
Sıkma torku toleransı	Tol MA	%	8.0
Açılma momenti	MA-	Nm	3.769
Sıkma torku (Akma sınırı)	MA Re	Nm	6.223
Sıkma dönme açısı	al.max	Grad	13.4
Sıkma dönme açısı	al.min	Grad	11.4

GERİLMELER

FM+FSA ile maks. Çekme gerilmesi	Sigma 0	Mpa	494
Maks. Kayma gerilmesi	tau max	MPa	228
Cıvata da FM kaynaklı kesme gerilmesi	tau B	MPa	168
Somunda FM kaynaklı kesme gerilmesi	tau M	MPa	65
Kesme gerilmesi faktörü Somun	beta M		0.58

EK 3

M6 CIVATA – SOMUN BAĞLANTISI İÇİN HESAPLAMA SONUÇLARI

EK 3. M6_Cıvata - somun.sr1

SR1 V17.0 VDI 2230'a göre Cıvata hesaplaması
TAYFUN GÜNES

Altıgen cıvata ISO 4017 - M6 x 20 - 12.9 SW10

i	de [mm]	di [mm]	l [mm]	A [mm ²]	x [mm]	delta mm/N
1	6.00	0.00	2.00	28.3	2.00	0.337E-6
G3	4.77	0.00	10.50	17.9	12.50	2.794E-6
G2	5.35	0.00	7.50	22.5	20.00	

Anma çapı	d	mm	6.00
Tolerans sınıfı			6h
Maksimum vida çapı	dmax	mm	6.000
Minimum vida çapı	dmin	mm	5.820
Hatve	P	mm	1.00
Gerilme kesit alanı	As	mm ²	20.1
As için çap	ds	mm	5.062
Diş dibi çapı	d3	mm	4.773
Ortalama çap	d2	mm	5.350
En küçük kesit alanı	A0	mm ²	20.1
Akma sınırı	Re,Rp0,2	MPa	640
Minimum çekme dayanımı	Rm	MPa	800
Maksimum çekme dayanımı	Rm,max	MPa	960
E-Modülü	ES	MPa	210000
Kesme gerilmesi faktörü	betaB		0.577
Cıvata boyu	l	mm	20.00
Vidalı kısmın boyu	lG	mm	18.00
Anahtar ağzı genişliği	SW	mm	10.00
Minimum baş oturma yüzeyi çapı	dw	mm	8.90
Sıkılan kalınlık	lk	mm	12.50

CIVATALI BAĞLANTI Cıvata - somun bağlantısı (DSV)

Altıgen somun DIN 934 - SW 10

Minimum somun basma yüzey çapı	dw M	mm	8.80
Somun yüksekliği	h M	mm	5.0
Vida derinliği	m geo	mm	5.0
tragende Vidalı kısmın boyu	m tr	mm	3.4

EK 3. devamı

ŞEKİL DEĞİŞTİRME

FM,max etkisi ile cıvata da uzama	fSM	mm	0.048
FM,max etkisi ile plakalarda ezilme	fPM	mm	0.006

SÜRTÜNME

Vidalar arası sürtünme	μG		0.140
Baş oturma yüzeyinde sürtünme	μK		0.100
Plakalar arası yüzeyde sürtünme	μTr min		0.120
Toplam sürtünme katsayısı	$K=M/(d*F)$		0.162

MONTAJ (Sıkma torku)

Akma sınırın-Sıkma faktörü	nue Re		0.90
Sıkma faktörü	alpha A		1.17
Montaj kuvveti toleransı	Tol FM	%	8.0
Sıkma yöntemi	Somundan sıkma		
Sıkma torku MA	MA,max	Nm	9.684
Sıkma torku	MA,min	Nm	8.249
Sıkma torku	MA,nom	Nm	8.966
Sıkma torku toleransı	Tol MA	%	8.0
Açılma momenti	MA-	Nm	6.447
Sıkma torku (Akma sınırı)	MA Re	Nm	10.76
Sıkma dönme açısı	al.max	Grad	19.4
Sıkma dönme açısı	al.min	Grad	16.5
Sıkma torkurate	R MA	Nm/Grad	0.499
Vorspannkraftrate	R FM	N/Grad	510.8

GERİLMELER

FM+FSA ile maks. çekme gerilmesi	Sigma 0	MPa	492
Maks. Kayma gerilmesi	tau max	MPa	230

EK 4

M6 CIVATA – VİDALI DELİK BAĞLANTISI İÇİN HESAPLAMA SONUÇLARI

EK 4. M6_Vidalı delik.sr1

SR1 V17.0 VDI 2230'a göre Cıvata hesaplaması
TAYFUN GÜNES

Altıgen cıvata ISO 4017 - M6 x 15 - 8.8 d<=16 SW10

i	de [mm]	di [mm]	l [mm]	A [mm ²]	x [mm]	delta mm/N
1	6.00	0.00	2.00	28.3	2.00	0.337E-6
G3	4.77	0.00	3.00	17.9	5.00	0.798E-6
G2	5.35	0.00	10.00	22.5	15.00	

Anma çapı	d	mm	6.00
Tolerans sınıfı			6h
Maksimum vida çapı	dmax	mm	6.000
Minimum vida çapı	dmin	mm	5.820
Hatve	P	mm	1.00
Gerilme kesit alanı	As	mm ²	20.1
As için çap	ds	mm	5.062
Diş dibi çapı	d3	mm	4.773
Ortalama çap	d2	mm	5.350
En küçük kesit alanı	A0	mm ²	20.1
Akma sınırı	Re,Rp0,2	MPa	640
Minimum çekme dayanımı	Rm	MPa	800
Maksimum çekme dayanımı	Rm,max	MPa	960
E-Modülü	ES	MPa	210000
Kesme gerilmesi faktörü	betaB		0.577
Cıvata boyu	l	mm	15.00
Vidalı kısmın boyu	lG	mm	13.00
Anahtar ağız genişliği	SW	mm	10.00
Minimum baş oturma yüzeyi çapı	dw	mm	8.90
Sıkılan kalınlık	lk	mm	5.00

CIVATALI BAĞLANTI Cıvata - Vidalı delik bağlantısı (ESV)

Malzeme	St 37 (1.0037)		
Çekme dayanımı	Rm	MPa	370
Akma sınırı	Re	MPa	240
Elastisite modülü	E M	MPa	210000
Delik derinliği	tB	mm	13.0
Vidalı kısmın derinliği	tG	mm	12.0
Vida derinliği	m geo	mm	10.0
Taşıyıcı vidalı kısmın boyu	m tr	mm	10.0
Tolerans sınıfı			6H
Ortalama çap nom.	D2 nom	mm	5.350

EK 4. devamı

Ortalama ap min.	D2 min	mm	5.350
Ortalama ap max.	D2 max	mm	5.493
Diş dibi çapı nom.	D1 nom	mm	4.917
Diş dibi çapı min.	D1 min	mm	4.917
Diş dibi çapı max.	D1 max	mm	5.147
Kesme gerilmesi faktörü VDI2230	taub/Rm		0.577
Kesme gerilmesi faktörü	beta M		0.577
Min. Vida derinliği Rm VDI	meffmin	mm	7.8
Min. Vida derinliği Rm Dose	m min	mm	8.0
Min. Vida derinliği FS VDI	m min FS	mm	4.8
Min. Vida derinliği FS Dose	m min FS	mm	4.9

şEKİL DEğİşTİRME

FM,max etkisi ile cıvatada uzama	fSM	mm	0.027
FM,max etkisi ile plakalarda ezilme	fPM	mm	0.004

SÜRTÜNME

Vidalar arası sürtünme	μG		0.140
Baş oturma yüzeyinde sürtünme	μK		0.100
Plakalar arası yüzeyde sürtünme	μTr min		0.120
Toplam sürtünme katsayısı	K=M/(d*F)		0.162

MONTAJ (Sıkma torku)

Akma sınırın-Sıkma faktörü	nue Re		0.90
Sıkma faktörü	alpha A		1.17
Montaj kuvveti toleransı	Tol FM	%	8.0
Sıkma yöntemi	Cıvatadan sıkma		
Sıkma torku MA	MA,max	Nm	9.708
Sıkma torku	MA,min	Nm	8.27
Sıkma torku	MA,nom	Nm	8.989
Sıkma torku toleransı	Tol MA	%	8.0
Açılma momenti	MA-	Nm	6.472
Sıkma torku (Akma sınırı)	MA Re	Nm	10.79
Sıkma dönme açısı	al.max	Grad	11.4
Sıkma dönme açısı	al.min	Grad	9.7
Sıkma torkurate	R MA	Nm/Grad	0.855
Vorspannkraftrate	R FM	N/Grad	872.8

GERİLMELER

FM+FSA ile maks. Çekme gerilmesi	Sigma 0	MPa	492
Maks. Kayma gerilmesi	tau max	MPa	230
Max.Vergleichsspannung(k tau=0.5)	Sig.redB	MPa	531
Cıvatada FM kaynaklı kesme gerilmesi	tau B	MPa	198
Somunda FM kaynaklı kesme gerilmesi	tau M	MPa	76
Kesme gerilmesi faktörü Somun	beta M		0.58

EK 5

M8 CIVATA – SOMUN BAĞLANTISI İÇİN HESAPLAMA SONUÇLARI

EK 5. M8_Cıvata - somun.sr1

SR1 V17.0 VDI 2230'a göre Cıvata hesaplaması
TAYFUN GÜNES

Altıgen cıvata ISO 4017 - M8 x 25 - 8.8 d<=16 SW13

i	de [mm]	di [mm]	l [mm]	A [mm ²]	x [mm]	delta mm/N
1	8.00	0.00	7.50	50.3	7.50	0.71E-6
G3	6.47	0.00	5.00	32.8	12.50	0.725E-6
G2	7.19	0.00	12.50	40.6	25.00	

Anma çapı	d	mm	8.00
Tolerans sınıfı			6h
Maksimum vida çapı	dmax	mm	8.000
Minimum vida çapı	dmin	mm	7.788
Hatve	P	mm	1.25
Gerilme kesit alanı	As	mm ²	36.6
As için çap	ds	mm	6.827
Diş dibi çapı	d3	mm	6.466
Ortalama çap	d2	mm	7.188
En küçük kesit alanı	A0	mm ²	36.6
Akma sınırı	Re,Rp0,2	MPa	640
Minimum çekme dayanımı	Rm	MPa	800
Maksimum çekme dayanımı	Rm,max	MPa	960
E-Modul	ES	MPa	210000
Kesme gerilmesi faktörü	betaB		0.577
Cıvata boyu	l	mm	25.00
Vidalı kısmın boyu	lG	mm	17.50
Anahtar ağız genişliği	SW	mm	13.00
Minimum baş oturma yüzeyi çapı	dw	mm	11.60
Sıkılan kalınlık	lk	mm	12.50

CIVATALI BAĞLANTI Cıvata - somun bağlantısı (DSV)

Altıgen somun DIN 934 - SW 13

Minimum somun basma yüzey çapı	dw M	mm	11.30
Somun yüksekliği	h M	mm	6.5
Vida derinliği	m geo	mm	6.5
tragende Vidalı kısmın boyu	m tr	mm	4.9

ŞEKİL DEĞİŞTİRME

FM,max etkisi ile cıvatada uzama	fSM	mm	0.049
FM,max etkisi ile plakalarda ezilme	fPM	mm	0.008

EK 5. devamı

SÜRTÜNME

Vidalar arası sürtünme	μG	0.140
Baş oturma yüzeyinde sürtünme	μK	0.100
Plakalar arası yüzeyde sürtünme	$\mu Tr \text{ min}$	0.120
Toplam sürtünme katsayısı	$K=M/(d*F)$	0.159

MONTAJ (Sıkma torku)

Akma sınırın-Sıkma faktörü	nue Re	0.90
Sıkma faktörü	alpha A	1.17
Montaj kuvveti toleransı	Tol FM %	8.0
Sıkma yöntemi	Somundan sıkma	
Sıkma torku MA	MA,max Nm	23.2
Sıkma torku	MA,min Nm	19.76
Sıkma torku	MA,nom Nm	21.48
Sıkma torku toleransı	Tol MA %	8.0
Açılma momenti	MA- Nm	15.80
Sıkma torku (Akma sınırı)	MA Re Nm	25.78
Sıkma dönme açısı	al.max Grad	16.4
Sıkma dönme açısı	al.min Grad	13.9
Sıkma torkurate	R MA Nm/Grad	1.418
Vorspannkraftrate	R FM N/Grad	1108

GERİLMELER

FM+FSA ile maks. çekme gerilmesi	Sigma 0	MPa	495
Maks. Kayma gerilmesi	tau max	MPa	226
Max.Vergleichsspannung(k tau=0.5)	Sig.redB	MPa	533

EK 6

M8 CIVATA – VİDALI DELİK BAĞLANTISI İÇİN HESAPLAMA SONUÇLARI

EK. 6 M8_vidalı delik.sr1

SR1 V17.0 VDI 2230'a göre Cıvata hesaplaması
TAYFUN GÜNES

Altıgen cıvata ISO 4017 - M8 x 15 - 8.8 d<=16 SW13

i	de [mm]	di [mm]	l [mm]	A [mm ²]	x [mm]	delta mm/N
1	8.00	0.00	2.50	50.3	2.50	0.237E-6
G3	6.47	0.00	2.50	32.8	5.00	0.362E-6
G2	7.19	0.00	10.00	40.6	15.00	

Anma çapı	d	mm	8.00
Tolerans sınıfı			6h
Maksimum vida çapı	dmax	mm	8.000
Minimum vida çapı	dmin	mm	7.788
Hatve	P	mm	1.25
Gerilme kesit alanı	As	mm ²	36.6
As için çap	ds	mm	6.827
Diş dibi çapı	d3	mm	6.466
Diş dibi çapı nom.	d3 nom	mm	6.466
Diş dibi çapı max.	d3 max	mm	6.466
Diş dibi çapı min.	d3 min	mm	6.297
Ortalama çap	d2	mm	7.188
Ortalama çap nom.	d2 nom	mm	7.188
Ortalama çap max.	d2 max	mm	7.188
Ortalama çap min.	d2 min	mm	7.067
En küçük kesit alanı	A0	mm ²	36.6
Akma sınırı	Re,Rp0,2	MPa	640
Minimum çekme dayanımı	Rm	MPa	800
Maksimum çekme dayanımı	Rm,max	MPa	960
E-Modül	ES	MPa	210000
Kesme gerilmesi faktörü	betaB		0.577
Cıvata boyu	l	mm	15.00
Vidalı kısmın boyu	lG	mm	12.50
Anahtar ağız genişliği	SW	mm	13.00
Minimum baş oturma yüzeyi çapı	dw	mm	11.60
Sıkılan kalınlık	lk	mm	5.00

CIVATALI BAĞLANTI Cıvata - Vidalı delik bağlantısı (ESV)

Malzeme	St 37 (1.0037)		
Çekme dayanımı	Rm	MPa	370
Akma sınırı	Re	MPa	240
Elastisite modülü	E M	MPa	210000
Delik derinliği	tB	mm	13.0
Vidalı kısmın derinliği	tG	mm	12.5
Örtüşen vida derinliği	m geo	mm	10.0
tragende Vidalı kısmın boyu	m tr	mm	10.0
Tolerans sınıfı			6H

EK 6. Devamı

Ortalama ap nom.	D2 nom	mm	7.188
Ortalama ap min.	D2 min	mm	7.188
Ortalama ap max.	D2 max	mm	7.348
Diş dibi çapı nom.	D1 nom	mm	6.647
Diş dibi çapı min.	D1 min	mm	6.647
Diş dibi çapı max.	D1 max	mm	6.916
Kesme gerilmesi faktörü VDI2230	taub/Rm		0.577
Kesme gerilmesi faktörü	beta M		0.577
Min. Vida derinliği Rm VDI	meffmin	mm	10.3
Min. Vida derinliği Rm Dose	m min	mm	10.7
Min. Vida derinliği FS VDI	m min FS	mm	6.4
Min. Vida derinliği FS Dose	m min FS	mm	6.6

şEKİL DEğİşTİRME

FM,max etkisi ile cıvata da uzama	fSM	mm	0.033
FM,max etkisi ile plakalarda ezilme	fPM	mm	0.005

SÜRTÜNME

Vidalar arası sürtünme	μG		0.140
Baş oturma yüzeyinde sürtünme	μK		0.100
Plakalar arası yüzeyde sürtünme	μTr min		0.120
Toplam sürtünme katsayısı	K=M/(d*F)		0.160

MONTAJ (Sıkma torku)

Akma sınırın-Sıkma faktörü	nue Re		0.90
Sıkma faktörü	alpha A		1.17
Montaj kuvveti toleransı	Tol FM	%	8.0
Sıkma yöntemi	Cıvata dan sıkma		
Sıkma torku MA	MA,max	Nm	23.34
Sıkma torku	MA,min	Nm	19.88
Sıkma torku	MA,nom	Nm	21.6
Sıkma torku toleransı	Tol MA	%	8.0
Açılma momenti	MA-	Nm	15.93
Sıkma torku (Akma sınırı)	MA Re	Nm	25.93
Sıkma dönme açısı	al.max	Grad	10.9
Sıkma dönme açısı	al.min	Grad	9.3
Sıkma torkurate	R MA	Nm/Grad	2.141
Vorspannkraft rate	R FM	N/Grad	1664

GERİLMELER

FM+FSA ile maks. Çekme gerilmesi	Sigma 0	MPa	495
Maks. Kayma gerilmesi	tau max	MPa	226
Max.Vergleichsspannung(k tau=0.5)	Sig.redB	MPa	533
Cıvata da FM kaynaklı kesme gerilmesi	tau B	MPa	271
Somunda FM kaynaklı kesme gerilmesi	tau M	MPa	104
Kesme gerilmesi faktörü Somun	beta M		0.58

EK 7

**LABORATUVAR TEST SONUÇLARI
DENEYLERDE KULLANILAN CİVATALARIN VICKERS SERTLİK
DEĞERLERİ**

 Mercedes-Benz Türk A.Ş.		TE/DAQ-METAL LABORATUVARI TEST RAPORU TE/DAQ-METAL LABOR PROFBERICHT	
--	--	---	--

Gön. / Auftraggeber	Taglın Güneş TP/ERT	Rapor No / Bericht-Nr.	1225/2011
İmalatçı / Fa.	Mutlülü	Tarih / Datum	09.12.2011
Parça Adı / Teil.	Schraube	Grafik No / Gr.-Nr.	
Parça No / Teil-Nr.	Musterid	ZGS Nr.	0
Malzeme / Werkstoff	8.8 Kalite	Resim Nr.	Normblatt
İnceleme Nedeni / Prüfungsgrund	Ar-Ge Çalışması / Ovalakların uç alın yüzeyinden Vickers sertlik değeri ölçülecek.	DIN / DBL	DIN 933, EN ISO 898-1/10 / .

☐ Kimyevi Analiz
☒ Fiziksel Özellikler
☐ Mikroskobik İnceleme

KİMYASAL ANALİZ / CHEM. ANALYSE Ağırlık [%]'si olarak / Chem. Zusammensetzung, Gew. [%]

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Ti
Üngörülen / Soll										
Bulunan / Ist										
Üngörülen / Soll	Mg	Zn	Fe	Cu	Sn	Pb	V	W	Ag	Nb
Bulunan / Ist										
Üngörülen / Soll	Co	As	Bi	Ta	Zr	Bi	Ca	Sb	Cd	N
Bulunan / Ist										

FİZİKSEL ÖZELLİKLER / MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

	Üngörülen / Soll	Bulunan / Ist
Çekme Direnci / Zugprüfung		
Rel N/mm²		
Rm N/mm²		
A % [Uzunluk]		
Sertlik / Härteprüfung	260 - 320 Hv 0.3	1 Nolu ovalak : 287 Hv 0.3 2 Nolu ovalak : 275 Hv 0.3 3 Nolu ovalak : 263 Hv 0.3 4 Nolu ovalak : 267 Hv 0.3 5 Nolu ovalak : 263 Hv 0.3 6 Nolu ovalak : 287 Hv 0.3 7 Nolu ovalak : 287 Hv 0.3 [Kritik vidalı bölge] 8 Nolu ovalak : 301 Hv 0.3 [Kritik kalite bölgesi]
Sertlik derinliği / Härte-tiefe		
Kallama testi / Fallversuch		
Çukurlatma / Tiefung		
Dekarbürizasyon / Entkohlung	Max. 0.015 mm / 15 µm	

MIKROSKOBİK İNCELEME / MIKROSCOPISCHE

	Üngörülen / Soll	Bulunan / Ist
Çatlak / Riss		
Altıyapı / Grundgefüge	Menesizlemliç matrisli	

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyad :Tayfun GÜNEŞ
Doğum Yılı :1980

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lisans :1999-2003 Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü

Haberleşme Bilgileri
Adres :Mercedes Benz Türk A.Ş. Kamyon Fabrikası. Konya yolu üzeri, Karasu mevkii, PK19, 68100 Aksaray
Telefon :0 (382) 215 16 39 (dahili numara:5464 ve 5597)
E-posta :tayfun.gunes@daimler.com