

Otomobillerin Şasi Montajlarında Cıvata Sıkma Limitlerinin Saptanması

K. Turgut Gürsel^{1*}, Tuncay Yarkın²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, 35340, İzmir.

² Tuncay Yarkın, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., 16100, Bursa.

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, araç şasi komponentlerinde bağlantı noktalarını oluşturan cıvata ve somunların, mekanik montaj sürecinde sıkılması gereken tork değerlerinin ve bu değerlere tolerans teşkil eden alt ve üst limitlerinin hesaplanmasında uygulanacak yöntemin teorik olarak belirlenmesi ve deneysel bakımdan da doğrulanmasıdır.

Bu çalışmada; bağlantı elemanlarına gelen kuvvetler, bu kuvvetlerin etkileri ve hesaplamalarda dikkate alınacak kritik bağlantı bölgeleri gözden geçirilerek bir hesap yöntemi oluşturulmuş ve Excel formatında geliştirilerek her bağlantıya uygulanabilir hale getirilmiştir. Bu hesap yöntemi kullanılarak bir araçta örnek şasi bağlantı noktalarındaki tork değerleri ve limitleri hesaplanmış, ortaya çıkan sonuçlar uzun yol testine gönderilen bir araç üzerinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda araç üzerinde iyileştirmeler yapılarak tüm bağlantılar sorunsuz hale getirilmiştir.

Böylece, araç tasarım sürecinde önceki araç modellerinden örneklenerek saptanan ve yol testleri ile doğrulanan tork değerleri aracılığıyla uygulanmak zorunda olunan yol testleri ve dolayısıyla maliyetler önemli oranda azaltılmış ve tasarım süreci hızlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Tork değeri, araç şasi bağlantısı, yol testi, alt ve üst sıkma tork limiti

Determining Limits of the Bolts Tightening in Chassis Components Mounting of the Automobiles

ABSTRACT

The aim of this research is to determine and to verify theoretically and experimentally a calculation method for bringing up the torque values and their lower & higher limits as well as forming the tolerances, those to be applied on chassis component joints during mechanical assembly process.

In this study, a calculation method is generated and simply presented in an Excel format for all joint types by scrutinizing the forces acting on the joints, effects of these forces and the critical joint segments to be considered on calculations. Making use of this calculation method, the torque values and limits of several example joints of a vehicle are calculated and the results are examined on a vehicle applied to the long way road test. Considering the results obtained, all improvements have been performed to eliminate the possibility of arising problems on the vehicle.

Consequently, it is provided to advance quickly in design process by means of torque values which were determined by originating previous vehicles and verified with necessary road tests, and thus all costs related to road tests and manufacturing process were decreased considerably.

Keywords: Torque value, vehicle chassis joint, road test, lower and higher tightening torque limit

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen teknoloji ile birlikte otomotiv sektöründe kalite anlayışı değişmiş, müşteri memnuniyeti ve buna bağlı olarak ürün ömrü en önemli kriterler haline gelmiştir. Tüm bu kriterler, maliyetlerin artmasına neden olmuş, yüksek rekabet ortamında bu maliyetlerin azaltılması ise önemli hedefler arasına girmiştir. Araçlarda yapısal olarak sürücü ve yolcu emniyetini en önemli unsur olarak içinde barındıran, yatırım ve bakım/onarım maliyetlerinin büyük kısmını oluşturan mekanik ekipmanların tasarım sürecinde, montaj proses şartları da önemli etkenlerden biridir.

Literatürde, cıvata bağlantıları, uygulanan tork değerleri, proses etkileri, hesap yöntemleri ile ilgili hem genel hem de sektörel bazda birçok çalışma bulunmaktadır: İbrahim ve Pettit (2003), kesin ve lineer karakteristiklere

sahip olmayan cıvatalı bağlantıları incelemişlerdir [1]. Tamamen ve kısmen sabitlenmiş bağlantıların belirli parametrelerini değiştirerek hassasiyet analizleri yapmışlar ve titreşim ya da dinamik yüke maruz kalan cıvata bağlantılarını "fuzzy parametreleri yöntemini" kullanarak incelemişler ve bu tip bağlantılarda dinamik karakteristiğe bağlı olarak ön yük değişimlerini ortaya koymuşlardır.

Toth (2006), torklama ve açı kontrollü sıkma için elastik ideal-plastik ve elastik plastik olmak üzere iki teorik model geliştirerek bu konu üzerinde çalışmıştır [2]. Bu iki teorik model arasındaki 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 simülasyonlar"ı ve Taylor serileri kullanılarak elde edilen deneysel bulgularla birebir örtüşen sonuçlar vermiştir [2].

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta:turgut.gursel@deu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2014.17.4, 193-202

Marshall ve arkadaşları (2006), cıvata bağlantılarında temas yüzeyinde oluşan gerilme dağılımlarını incelemiştir [3]. 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 ultrasonik ses dalgasının emilerek yansıtılan ses sinyallerinin zayıfladığını, gerilmenin az olduğu yüzeylerde ise ultrasonik ses dalgasının 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.

Shritama (2008), doğru akımla (DC) çalışan tork cihazı ile sıkılan cıvatalı bağlantılarda ergonomik özellikleri incelemiştir [4]. Bu etkiyi ortaya koyabilmek amacıyla gerçek bağlantıyı simüle edebilecek bir test düzeneği 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 saptamışlardır.

Olsson ve Sandlund (2008), cıvatalı bağlantılarda tork değerlerinin hesaplanması için kriterleri belirlemiş ve Scania firmasına ait iki farklı fabrikada farklı yöntemlerle sıkılan eşdeğer noktaları örnekleme yaparak incelemiştir [5]. Çalışma kapsamında sıkma hızı, malzeme özellikleri, ortam sıcaklığı, açılı sıkımlar için uygulanan ön tork değerleri vb. parametreler değiştirilerek ölçümler yapılmış ve prosesler arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

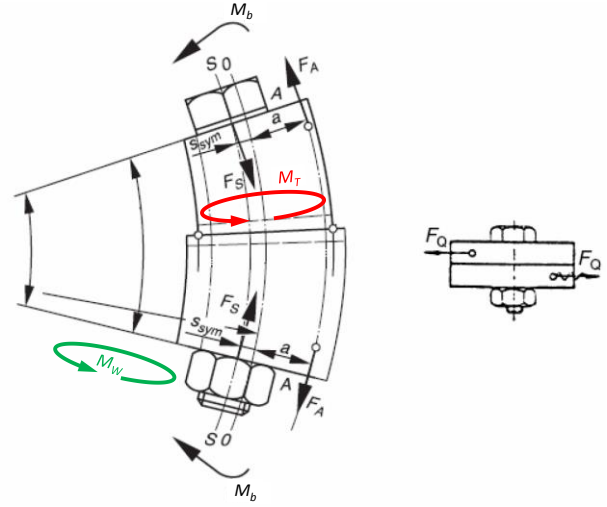
Bu çalışmada, şasi bağlantılarındaki birleştirme proseslerinin temelini oluşturan sıkma tork değerleri ve bu değerlerin uygulanmasında ele alınacak toleransları ifade eden alt ve üst limitleri bir yöntem dâhilinde hesaplanarak, yöntem ve hesaplanan değerlerin doğruluk derecesini görebilmek için her türlü yol şartında ve güzergâh üzerinde 30.000 km'lik uzun yol testine gönderilmiş bir araç üzerindeki kritik bağlantılar incelenmiştir. Böylece bağlantıların sınıflandırılıp tork değerlerinin ve uygun aralıklarının tespitinde izlenecek yolun standartlaştırılması ile, mevcut ve yeni projelerde mühendislik çalışmalarına önemli katkılar sağlanarak yol testi maliyetlerinin azaltılması hedeflenmektedir.

2. CIVATALI BAĞLANTILAR (BOLTED JOINTS)

Cıvatalı bağlantılarda hesaplamaların temelini, bağlantı üzerine dışarıdan etki eden bir F_B dış çalışma yükü oluşturur. Bu çalışma yükü, bir F_A eksenel yükü ile birlikte bir F_Q transvers yükü, bir M_b eğilme momenti ve bazı durumlarda da tekil bağlantı üzerine etki eden bir M_T torku meydana getirir (Şekil 1). Özel durumlarda cıvata bağlantı noktası üzerine M_w çalışma momenti etki eder. Bilinen yük değerleri ve hesaplamalar yardımıyla cıvata ölçüsü tespit edilir. Sıcaklık değişimleri ile bağlantı parçalarındaki çökmeler (settlement) neticesinde ortaya çıkan ve $F_z + \Delta F_{pth}$ olarak tanımlanabilecek ön yük kaybı da bu hesaplamalarda dikkate alınır.

Cıvata çapı için temel ölçü kriteri, cıvatanın montaj ön yüküdür (F_M). Sıkma esnasında oluşan tork değeri, F_M ile birlikte standart minimum akma noktasının %100'ne ulaşabilir ve hatta daha yüksek değerlere kadar çıkabilir. Çoğunlukla tercih edilen, tork kontrollü sıkım tekniğinde, genel olarak minimum akma noktasının % 90'ına kadar çir-

kılmasıdır [5]. Eğer σ_{ab} olarak tanımlayabileceğimiz alternatif bir gerilme söz konusu ise, cıvatanın yorulma sınırına kadar ulaşılmamalıdır [6]. Ayrıca cıvata başı ve somun altındaki ezilme gerilmeleri de önemli bir parametredir [6,7].



Şekil 1. Cıvatalı bağlantıda oluşan kuvvet ve momentler

2.1. Gerekli Minimum Bağlantı Yükünün Saptanması (Determination of Minimum Required Clamping Load)

Gerekli minimum bağlantı yükünün (F_C) belirlenmesinde aşağıdaki koşullar dikkate alınır [7-10].

i) Bir M_S torkunu ve/veya bir F_Q transvers yükünü cıvata eksenli boyunca sürtünme yoluyla iletebilecek bağlama kuvveti:

$$F_{KQ} = \frac{F_{Qmax}}{q_F \cdot \mu_{imin}} + \frac{M_{Smax}}{q_M \cdot r_a \cdot \mu_{imin}} \quad (1)$$

ii) Sızdırmazlık gerektiğinde, sızdırmazlık fonksiyonunu sağlayabilecek minimum bağlantı kuvveti :

$$F_{KP} = A_D \cdot p_{imax} \quad (2)$$

iii) Çözölmeyi önlemek amacıyla gerekli minimum bağlantı kuvveti :

$$F_{KA} = F_{Kab} = F_{Amax} \cdot \frac{A_D(a \cdot u - s_{sym} \cdot u)}{I_{BT} + s_{sym} \cdot u \cdot A_D} + M_{Bmax} \cdot \frac{u \cdot A_D}{I_{BT} + s_{sym} \cdot u \cdot A_D} \quad (3)$$

Yukarıdaki üç koşul Denklem 4 yardımıyla bir araya getirilir.

$$F_C \geq \max(F_{KQ}; F_{KP} + F_{KA}) \quad (4)$$

2.2. Efektif Gerilme (Effective Stress)

Bir cıvata bağlantısını sıkarken, cıvata, sadece çekme gerilmesinden değil, aynı zamanda dişlerdeki sürtünmenin bir sonucu olarak burulmadan kaynaklanan kayma gerilmesinden de etkilenir. İzin verilen maksimum ön yük, çekme ve burulmadan kaynaklanan kayma gerilmelerinin her ikisi ile de bağımlı olduğundan, dişler üzerindeki sürtünme katsayısının artması ile gerekli çekme kuvveti ve dolayısıyla ön yük azalır.

Von Mises kriterine göre çekme ve burulma gerilmeleri arasındaki ilişki Denklem (5), (6) ve (7) ile

hesaplanır.

$$\sigma_{red} = \sigma_{red,M} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \cdot \tau_M^2} \quad (5)$$

$$\sigma_M = \frac{F_M}{A_O} \quad (6)$$

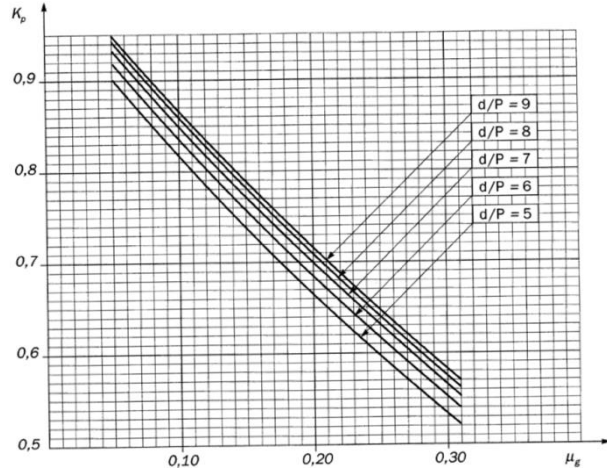
$$\tau_M = \frac{M_G}{W_P} \quad (7)$$

$$\sigma_d = K_p \cdot \nu \cdot R_{eL} \quad \text{ve} \quad (8)$$

$$A_T = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2 \quad \text{iken} \quad (9)$$

Maksimum izin verilen ön yük kuvveti (Şekil 2):

$$F_F = \sigma_d \cdot A_T \quad (10)$$



Şekil 2. Diş sürtünmesine bağlı Kp değerleri

Akma sınırının, sıkma neticesinde ya da yüksek yükleme sonrasında aşıldığı durumlarda plastik deformasyonun sonucu olarak montaj ön yükü azalır. Bununla birlikte kaynaklanan kayma gerilmeleri azaldıkça civata malzemesi sertleşir. Bu da, civatanın kendi akma sınırını yeniden belirlemesi ve yeni akma sınırına uygun elastik davranışlar göstermesi ile sonuçlanır.

2.3. Sıkma (Tightening)

Sık kullanılan sıkma yöntemlerinden biri tork kontrollü sıkma, bir diğeri ise açı kontrollü sıkmadır [7]. İlkinde kontrol unsuru olarak tork değeri alınır. Bu yöntem, her ne kadar basit ve genellikle düşük maliyetli olsa da, sürtünmeden yüksek derecede etkilenir. Açı kontrollü yöntem ile sürtünmenin etkisi azaltılmış ve dolayısıyla bağlantı kuvveti için muhtemel aralık daraltılmış olur. Açı ölçümü öncesinde bir ön tork uygulanır. Bu uygulama ile, bağlantı parçaları arasındaki ara yüzeylerin olması gerektiği gibi birbirleri ile birleşmesi, tam yüzey temasının sağlanması amaçlanır. Bu yöntem, genellikle civataların plastik bölgeye kadar sıkılmak istendiği durumlarda uygulanır.

2.4. Sıkma Torkunun Hesaplanması (Calculation of Tightening Torque)

Bir bağlantıda, izin verilen minimum ve maksimum bağlantı kuvvetleri hesaplandıktan sonra, bağlantı kuvvetinin sağlanması için gerekli sıkma torku belirlenir. İstenen ön yük değerinin elde edilebilmesi için gerekli olan M_A sıkma torku; dişler üzerine etki eden tork miktarı ile civata başı / somun yüzeyine etki eden tork miktarının toplamı olarak Denklem 11 yardımıyla elde edilir:

$$M_A = F_M \left[\frac{d_2}{2} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2 - p \cdot \mu_c \cdot \cos(\alpha/2)} + \frac{\pi \cdot d_2 \cdot \mu_c \cdot \cos(\alpha/2)}{\cos \varphi \cdot \cos(\alpha/2)} \right) + \mu_c \frac{D_{Km}}{2} \right] \quad (11)$$

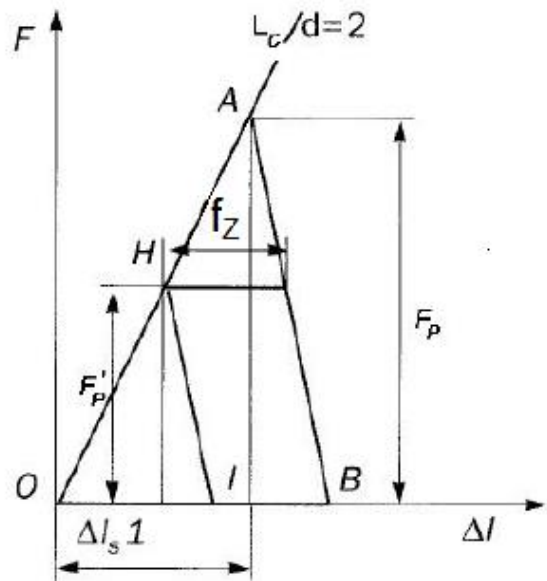
Burada D_{Km} ortalama sürtünme çapı olup, Denklem 12 aracılığıyla hesaplanır :

$$D_{Km} = \frac{d + d_1}{2} \quad (12)$$

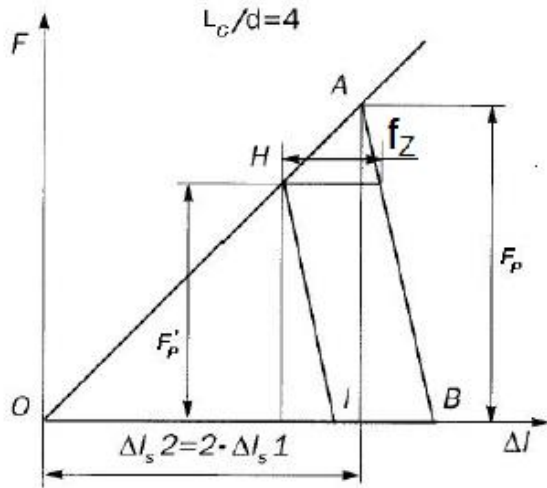
2.5. Çökme (Settlement)

Cıvatalı bir bağlantı sıkıldığında, uygulanan bağlantı yükünün büyük bir kısmı bağlanan parçaların kalıcı olarak sıkıştırılmasına ve civatada kalıcı uzamaya neden olur. Bu etkiye çökme denir ve ortaya çıkan deformasyonlar hem sıkma hem de çalışma esnasında oluşur.

Çökme, ön yükte bir düşüşe neden olacağı için tasarım aşamasında dikkate alınması çok önemlidir. Şekil 3 ve 4'deki OAB üçgeni, bir cıvatalı bağlantıdaki ön yükü göstermektedir. f_z çökmesi ön yükte bir düşüşe neden olur ve başlangıçtaki OAB üçgeni OHI olarak değişir. Böylece F_p önyükü F_p' 'ye dönüşür. Civata için doğrunun eğimi, civatanın bağlanma uzunluğu ile çapı arasındaki ilişkiye (L_c/d) bağlıdır. L_c/d değerinin büyük olması, civatanın çökmeye daha dirençli olması ve dolayısıyla önyükteki azalmanın daha düşük olması ile sonuçlanır. Bir başka deyişle uzun ve ince bir civata, çökmeyi kendi üzerine daha fazla alır (Şekil 3-4)



Şekil 3. Kalın ve kısa bir civatada çökme (f_z)



Şekil 4. İnce ve uzun bir civatada çökme (fz)

A. Temas yüzeylerindeki çökme (Settlement on contactsurfaces)

Temas yüzeylerindeki çökme, malzeme sertliği ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. İki yüzeyin birbirlerine baskı uygulaması sağlandığında, başlangıçta yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ilk temas belirli bölgelerde gerçekleşir. Yüzeyler arasındaki temas basıncı, plastik deformasyona neden olacak büyüklükte ise, yüzey te-

verilenden daha yüksek ezilme gerilmelerine maruz bırakılmamaları önem taşır.

Belirli bir civata montaj ön yükü ile sağlanan ezilme gerilmesi Denklem 13 yardımıyla hesaplanır.

$$P_h = \frac{4 \cdot F_s}{\pi(D_s^2 - D_{Ch}^2)} \quad (13)$$

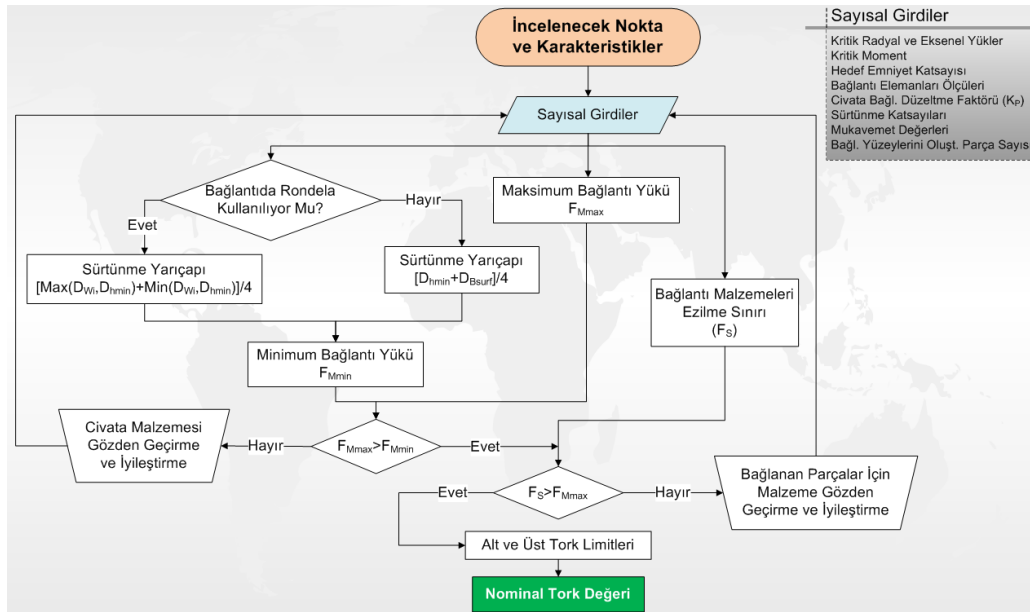
Sonuç olarak elde edilen ezilme gerilmesi değeri, bağlantıyı oluşturan malzemelerin minimum akma dayanımının %95'ini geçmemelidir [13].

C. Dişlerdeki çökmeler (Settlement on threads)

Dişler, bir temas yüzeyi olarak görülebilir. Dişler üzerindeki çökme, yüzey pürüzlülüğü, malzeme özellikleri ve temas basıncı ile ilişkilidir. Düzensiz yüke bağlı olarak kayma dayanımının aşılması durumunda, dişlerde plastik deformasyon oluşma riski ortaya çıkar. Dişler arasındaki talaş parçacıkları ve diğer partiküller de çökmeye katkıda bulunabilirler.

D. Bağlantı parçalarında oturma sonucu oluşan ön yük kaybı (Preload loss on joining parts due to settlement)

Hem oturma hem de gevşeme ön yük kaybının nedenlerindedir. Gevşeme zamana bağlıdır ve malze-



Şekil 5. Hesap Algoritması

ması artar ve akabinde ezilme gerilmesi azalır. Buradan, temas yüzeylerindeki çökmenin temel olarak yüzey pürüzlülüğü, malzeme özellikleri ve bağlama kuvveti ile bağlantılı olduğu sonucu çıkarılabilir [8-12].

B. Ezilme gerilmesi sınırı (Limit of crushing stress)

Ön yük düşümünün mümkün mertebe engellenmesi için, mevcut malzemelerin ezilme gerilmesi sınır değerlerini aşmamak gerekir. Bu nedenle civatanın malzeme sınıfı belirlenirken bağlanan parçaların izin

menin deformasyonu ile gerçekleşir. Oturma ise bağlantının sıkılması ve bağlanan parçaların çalışması esnasında meydana gelir. Çökme, hem oturma hem de gevşemenin birlikte olduğu haller için kullanılan bir tanımdır. Oturma miktarı, çalışma yükünün türüne, ara yüzey sayısına ve yüzey pürüzlülüğünün mutlak miktarına göre değişir [5]. Oturma, yüzey pürüzlülüğünün, oturan dişlerdeki yan yüzeylerin ve diğer ara yüzeylerin düzlemselleşmesi neticesinde ortaya çıkar. Yüzey pürüzlülüğü eğer sıkma operasyonu esnasında düzlemselleşmez ise, oturma miktarı büyük değerlerde olabilir. Sıkma es-

nasında gerçekleşen oturma, ön yük kaybına sebebiyet vermez. Oda sıcaklığında montaj ön yükünün % 10 kadar düşmesi ortak sonuçtur [5].

2.6. Ön Tork (Snug Torque)

Tork ve açı kontrollü sıkmalarda ilk uygulanan, ön tork ($M_{\text{ön}}$) adı verilen ilk torktur. Ön tork, bütün boşlukları ve bağlantı ara yüzeylerini kapatıp, düzensizlikleri/pürüzleri düzlemselleştirdiğinden emin olunacak şekilde minimum değer temel alınarak belirlenir. Ön torkun doğru olmaması durumunda, civatayı tam olarak sıkarak doğru pozisyona getirecek olan açı, bağlantı parçalarındaki sürtünmeye harcanmış olur. Ayrıca ön tork değerinin, civatayı akma sınırının üzerine taşıyacak ön yüklerle neden olmaması önemlidir.

Cıvata bağlantıları üzerinde yapılan Monte Carlo simülasyonları neticesinde ön tork değeri için verilebilecek aralığın çok geniş olduğu saptanmış; bu nedenle bir değer belirlemek için pratik deneyler yapılması tavsiye edilmiştir.

3. TORK DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ VE TESTLER (DETERMINATION OF TORQUE VALUES AND TESTS)

Çalışmanın bu bölümünde, deneyde kullanılan aracın komple ön süspansiyonu üzerinde bazı örnek noktalar tespit edilmiş ve bunlar için tasarım aşamasında belirlenen dış yük değerleri temel alınarak uygulanması gereken tork değerleri ve bu değerlerin limitleri saptanmıştır. Hesaplarla elde edilen değerler, 30.000 km uzun yol testi öncesi ve sonrasında bir aracın aynı bağlantılarında elde edilen tork değerleriyle ve bağlantı parçalarının boylarının ölçülmesi suretiyle karşılaştırılmıştır.

3.1. Yöntem (Method)

İlgili bağlantılardaki tork değerlerinin ve bağlantı parçalarının uzunluklarının araç üzerinde belirlenmesi, "C metodu"¹ + ultrasonik kalınlık ölçümü olarak tanımlanan ve aşağıdaki aşamalardan oluşan yöntemle gerçekleştirilmiştir.

- Yol testi öncesinde bağlantı civatalarının işaretlenmesi,
- İşaretlenen civataların gevşetildikten sonra BLM marka 20 – 340 Nm kapasiteli dijital torkmetre yardımıyla yeniden işaretli noktalara kadar sıkılması ve dijital torkmetre üzerinden tork değerlerinin okunarak kayıt altına alınması (C metodu),
- Cıvatalar ve bağlantı parçalarının ultrasonik cihaz yardımıyla uzunluklarının ve dolayısıyla uzama / çökme miktarlarının belirlenmesi,
- Aracın her türlü yol şartında ve güzergâh üzerinde 30.000 km yol testine tâbi tutulması,
- Yol testinden gelen araç üzerinden, yine C metodu ve ultrasonik ölçüm cihazı yardımıyla verilerin alınarak kaydedilmesi ve incelenmesi.

¹ "C metodu", sıkım operasyonu gerçekleştirilmiş bir civatanın belirli bir noktasının işaretlenip, civata gevşetildikten sonra,tekrar aynı noktaya kadar sıkıldığında, BLM cihazında okunan "Yeniden SıkımTorku" değerinin incelemeye alınması esasına dayanır.

Ultrasonik kalınlık ölçüm cihazı yardımıyla ölçümler, hassas şekilde taşlanmış yüzeyler üzerine transducer (CFL5 tipi / 1,52 mm – 254 mm) yardımıyla dokunarak ses dalgalarının gönderilmesi ve geri dönen ses dalgalarının ölçülerek uzunluk değerlerine dönüştürülmesiyle gerçekleştirilir.

Ölçüm öncesinde tüm civatalar ön yüzey hazırlama işlemine tâbi tutulmuşlardır. Çünkü transducer'ın dokunduğu yüzeylerdeki hassasiyet önemlidir, bu yüzeylerin taşlanmış ve tozdan arındırılmış olması şarttır. Ölçümlerde doğru sonuç alınabilmesi için her bir uzunluk ölçümü beş kez tekrarlanmış ve her seferinde aynı değerler ölçülmüştür.

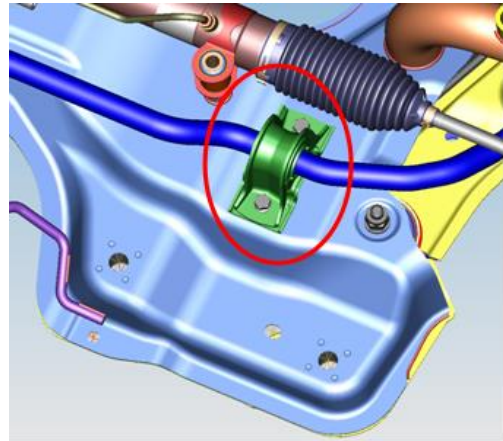
İncelenecek şasi bağlantılarına uygulanacak tork değerlerinin ve limitlerinin belirlenmesi için çok sayıda tekrarlı hesaplama yapma gereği ortaya çıkmış ve bu nedenle bütün bu hesaplamalar için ortak kullanılacak Excel formatında tablolar hazırlanmıştır (Şekil 5).

Örnek bağlantı noktaları için değişik şartlarda etkiyen dış kuvvetler ele alınarak her bir şart için tork değerleri ve limitleri belirlenerek, kritik olmayan aralık tespiti yapılmış, nominal ve sınır değerler ortaya konulmuştur. Kritik olmayan aralık tespiti, değişik şartlarda elde edilen minimum tork değerlerinin en büyüğü, maksimum tork değerlerinin ise en küçüğü temel alınarak yapılmış, böylece belirlenen aralıkta sıkma yapıldığında her tür şart için yeterlilik sağlanmıştır.

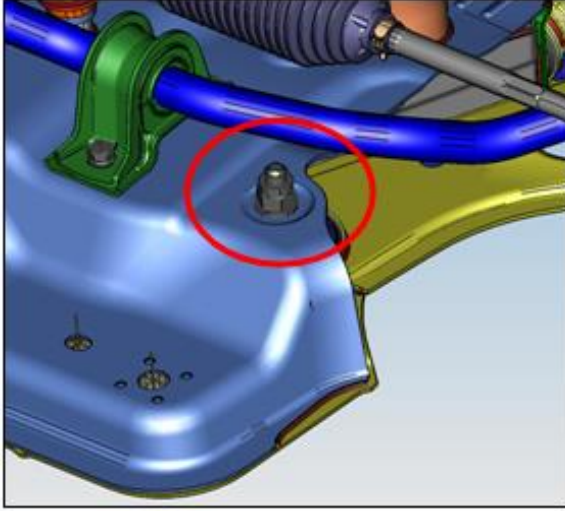
3.2. İnceleme Yapılan Bağlantılar (Analysed Joints)

A. Denge çubuğunun ön süspansiyon traversine bağlantısı (Stabilizer bar tightening point on front cross member)

Denge çubuğu, 2 adet sağ ve 2 adet sol olmak üzere toplam 4 adet bağlantı ile ön süspansiyon traversine tespit edilir (Şekil 6). Bu bağlantıların her biri 18 farklı yükleme durumuna göre analiz edilmiş olup alt, üst ve nominal tork değerleri belirlenmiştir [11-14]. Bu bağlantılar için yol testi öncesinde üst limit tork değerine yakın tork uygulanmış ve yol testi sonrasında ölçümler yapılmıştır. 30.000 km yol testine ilişkin tüm sonuçlar Çizelge 1'de verilmektedir.



Şekil 6. Denge çubuğunun ön süspansiyon traversine bağlantısı



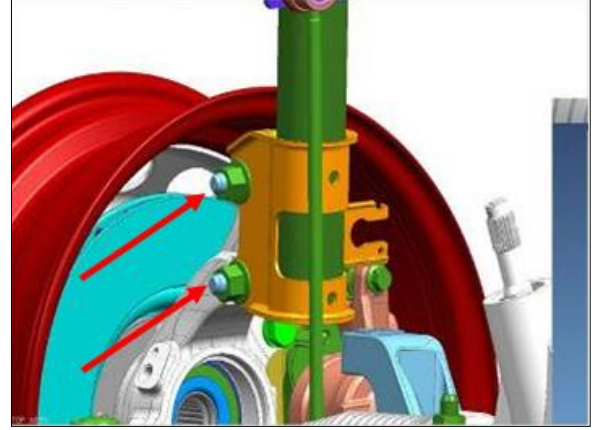
Şekil 7. Ön salıncak kolunun ön süspansiyon traversine arka bağlantısı

B. Ön salıncak kolunun ön süspansiyon traversine arka bağlantısı (Front control arm rear tightening point on front cross member)

Ön salıncak kolu, 1 adet sağ ve 1 adet sol olmak üzere toplam 2 adet arka bağlantı noktası ile ön süspansiyon traversine tespit edilir (Şekil 7). Bu bağlantıların her biri 18 farklı yüklemeye göre analiz edilmiş olup alt, üst ve nominal tork değerleri belirlenmiştir [11-14]. 30.000 km yol testine ilişkin tüm sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir. Alt limit için belirlenen tork değerinin, bağlantıya etki eden radyal yüklerin çok fazla olması nedeniyle üst limit tork değerinden fazla olduğu görülmüş ve bu bağlantı için malzemenin mekanik özelliklerinin yeniden gözden geçirilmesi gerekliliği tespit edilmiştir. Bu bağlantılar için yol testi öncesinde 45 Nm ve + 45°'lik tork uygulanmış ve yol testi sonrasında ölçümler Çizelge 1’deki gibi saptanmıştır.

C. Aksonun ön amortisöre bağlantıları (Knuckle tightening point on front semicorner)

Akson, 1 adet sağ ve sol üst ve 1 adet sağ ve sol alt olmak üzere 4 adet bağlantı noktası ile ön amortisör grubuna tespit edilir (Şekil 8). Bu bağlantıların her biri 18 farklı yük durumuna göre analiz edilmiş, alt, üst ve nominal tork değerleri belirlenmiştir [11-14]. 30.000 km yol testine ilişkin sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir.

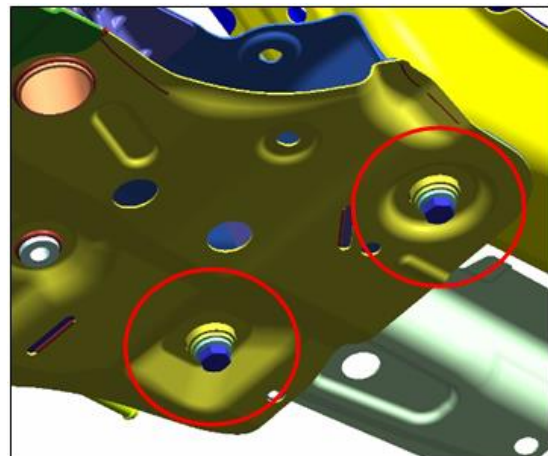


Şekil 8. Aksonun ön amortisör grubuna bağlantısı

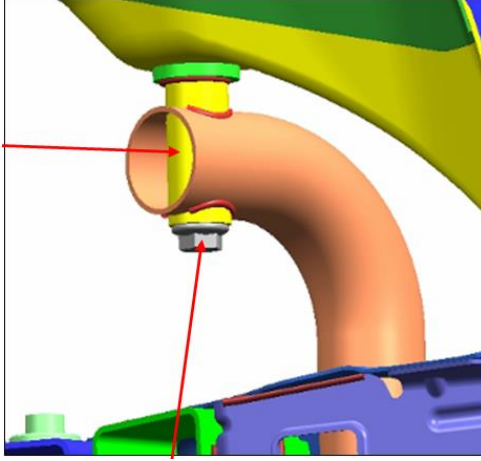
Alt limit için belirlenen tork değerinin, bağlantıya etki eden radyal yüklerin fazla olması nedeniyle üst limit tork değerinden biraz fazla olduğu görülmüş, bu durumun fizikî emniyet katsayısını 1,5’a düşürdüğü saptanmıştır. Aksonun söz konusu dört bağlantısı için yol testi öncesinde 25 Nm ve +45°'lik tork uygulanmış ve yol testi sonrasında gerekli ölçümler Çizelge 1’deki gibi elde edilmiştir.

D. Aksonun ön amortisöre bağlantıları (Underbody tightening points of front cross member)

Ön süspansiyon traversi, sağda ve solda birer adet ön (dış) ve birer adet arka (iç) olmak üzere toplam dört adet bağlantı noktası ile taban altına tespit edilir (Şekil 9). Bu bağlantıların her biri 3 farklı yüklemeye göre analiz edilmiş olup alt, üst ve nominal tork değerleri belirlenmiştir [11-14]. Ön süspansiyon traversinin söz konusu dört bağlantısı için, yol testi öncesinde üst limit tork değerinin biraz üstünde (125 Nm) tork uygulanmış ve 30.000 km yol testi sonrasında gerekli ölçümler Çizelge 1’deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 9. Ön süspansiyon traversinin tabanaltı bağlantısı



Şekil 10. Ön süspansiyon traversinin ön şasi kolu bağlantıları

E. Ön süspansiyon traversinin ön şasi koluna bağlantıları (Front cross member tightening point under lateral chassis arms)

Ön süspansiyon traversi, sağda ve solda birer adet olmak üzere toplam iki adet bağlantı noktası ile ön şasi kollarına Şekil 10'daki gibi tespit edilir. Bu bağlantıların her biri 3 farklı yükleme durumuna göre analiz edilmiş olup alt, üst ve nominal tork değerleri belirlenmiştir [11-14]. Ön süspansiyon traversinin söz konusu dört bağlantısı için yol testi öncesinde alt limit tork değerinin biraz altında (125 Nm) tork uygulanmış ve 30.000 km yol testi sonrasında gerekli ölçümler Çizelge 1'deki gibi elde edilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

Bu araştırmanın amacı, araç şasi ekipmanlarında bağlantı noktalarını oluşturan civata ve somunların, mekanik montaj sürecinde sıkılması gereken tork değerlerinin ve bu değerlere tolerans teşkil eden alt ve üst limitlerinin hesaplanmasında uygulanacak yöntemin teorik olarak belirlenmesi ve deneysel bakımdan da doğrulanmasıdır. Çalışmada, hesaplanan tork değerleri ile, yol testi öncesinde ve sonrasında yapılan ölçümlerden elde edilen veriler;

- İlk sıkım değerleri ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması,
- Tork kayıpları,
- Bağlanan parçalar ve civatalardaki kalıcı deformasyonlar,
- Öngörülen yük değerleri,
- Malzeme özellikleri vb. açılardan incelenerek değerlendirilmiş ve tüm veriler ilgili kısımlarda ve aşağıda verildiği gibi elde edilmiştir.

i) Denge çubuğunun ön süspansiyon traversine bağlantısı

İlk sıkımları hesaplarda belirlenen üst limit sınır değerine (27,2 Nm) yakın olarak 25 Nm'lik tork ile yapılan bu bağlantıda 30.000 km yol testi sonrasında tork değerlerinde kayda değer bir düşüş görülmüştür. Değerlendirmede maksimum % 30'luk bir düşüş, FIAT

Çizelge 1. Veriler – Sonuçlar

		Hesaplanan Alt Limit Tork Değeri (Nm)	Hesaplanan Üst Limit Tork Değeri (Nm)	Hesaplanan Nominal Tork Değeri (Nm)	Yol Testi Öncesi Tork Değeri (Nm)	Yol Testi Sonrası Tork Değeri (Nm)	Tork Değerinde Değişim	Yol Testi Öncesi Serbest Bağlantı Yükekliliği (mm)	Yol Testi Öncesi Sıkılmış Bağlantı Yükekliliği (mm)	Yol Testi Sonrası Serbest Bağlantı Yükekliliği (mm)	Yol Testi Sonrası Sıkılmış Bağlantı Yükekliliği (mm)
Denge Çubuğunun Ön Süspansiyon Traversine Bağlantıları	Sağ Arka Bağlantı	11,5	27,2	19,35	25,4	22	-13,39%	31,03	31,16	31,04	31,16
	Sol Ön Bağlantı				25,1	15,2	-39,44%	31,34	31,45	31,36	31,45
	Sağ Ön Bağlantı				25,2	17,8	-29,37%	31,62	31,75	31,64	31,75
	Sol Arka Bağlantı				25	18,2	-27,20%	31,34	31,46	31,36	31,47
Ön Salıncak Kolunun Süspansiyon Traversine Arka Bağlantıları	Sağ Arka Bağlantı	233,8	121		105,1	90,5	-13,89%	106,78	107,63	106,79	107,51
	Sol Ön Bağlantı				105,7	70,9	-32,92%	106,58	107,38	106,58	107,23
Aksonun Ön Amortisöre Bağlantıları	Sağ Alt Bağlantı	122	115,7		87,9	103,3	17,52%	71,73	72,15	71,73	72,15
	Sol Üst Bağlantı				88,2	98,7	11,90%	71,91	72,3	71,93	72,3
	Sağ Üst Bağlantı				88	104,6	18,86%	71,62	72,05	71,62	72,06
	Sol Alt Bağlantı				88,5	98,6	11,41%	71,7	72,01	71,7	72
Ön Süspansiyon Traversinin Tabanaltı Bağlantıları	Sağ İç Bağlantı	103,1	121	112,05	120	103,3	-13,92%	71,92	72,31	71,91	72,25
	Sol Dış Bağlantı				126	101,5	-19,44%	71,61	72,03	71,61	72
	Sağ Dış Bağlantı				125	86,4	-30,88%	71,66	71,98	71,66	71,91
	Sol İç Bağlantı				125,2	109	-12,94%	71,52	71,91	71,52	71,89
Ön Süspansiyon Traversinin Ön Şasi Koluna Bağlantıları	Sol Bağlantı	130,8	159,6	145,2	125,5	110,8	-11,71%	120,89	121,57	120,87	121,44
	Sağ Bağlantı				125	118,2	-5,44%	120,83	121,54	120,82	121,51

7.G0112 nolu normunda belirlendiği üzere sınır olarak kabul edilmiştir. Bağlanan parçaların ölçülerinde herhangi bir kalıcı değişim olmamasına rağmen civataların bir miktar kalıcı uzama göstermesi, bağlantı üzerine etkimesi öngörülen kuvvetlerin yeniden değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Yeniden yapılan değerlendirmelerde daha yüksek yük değerleri saptanmış ve buna bağlı olarak bağlantıyı oluşturan parçaların boyut ve malzeme özelliklerinde yeni yük değerlerine uygun olarak iyileştirme çalışmaları yapılarak bağlantılardaki bu zayıflamanın tamamen önüne geçilmiştir.

ii) Ön salıncak kolunun ön süspansiyon traversine arka bağlantısı

45 Nm ve + 45° olarak uygulanan ilk sıkımların yaklaşık olarak 105 Nm tork değerine ulaşabilmiş olması nedeniyle, bağlanan parçalarda herhangi bir çökme beklenmemesine rağmen, sıkılmış haldeki parçaların bir miktar çöktüğü görülmektedir; fakat civatalarda kalıcı uzama tespit edilmemiştir. Bu nedenle burç malzeme özellikleri yeniden incelenerek ezilme gerilmesini iyileştirecek çalışmalar yapılmıştır.

Aynı zamanda bağlantının istenen alt limit torkundan çok daha düşük bir değerde sıkılmış olması ve burçtaki ezilme nedeniyle 30.000 km sonrasında bağlantıda kayda değer tork düşüşleri görülmüştür. Bu bağlantı için daha yüksek tork değerleri belirlenmiş ve buna bağlı olarak ilgili malzemelerin ezilme dayanım özellikleri yeniden ele alınarak tasarım değişiklikleri yapılmış ve yeni burç malzemesi ile bağlantı, alt limit tork değerlerinde sıkılmaya başlanmıştır.

iii) Aksonun ön amortisöre bağlantıları

25 Nm ve + 45° olarak uygulanan ilk sıkımların yaklaşık olarak 88 Nm tork değerine ulaşabilmiş olması nedeniyle bağlanan parçalarda ve civatalarda herhangi bir kalıcı deformasyon oluşmadığı görülmüştür.

30.000 km yol testinde belirlenemeyen 2,5g ile çarpma anındaki yük etkileşimleri dışında, bu bağlantıda herhangi bir problem saptanmamıştır. Ancak 2,5g ile çarpma anında bağlantılarda kayma ve az miktarda tork düşümü beklendiği için minimum alt limit tork değerini düşürebilmek amacıyla, sıkma prosesi öncesinde bağlantı noktaları için solventle yağ temizleme operasyonu ilâve edilmiştir. Böylelikle bağlantı yüzeyinde oluşması muhtemel yağ tabakasının önüne geçilerek, minimum bağlantı yükü hesaplamasında kullanılan minimum sürtünme katsayısını 0,12 yerine 0,20 civarında tutmak ve dolayısıyla bağlantının bloke olması için gerekli minimum tork değerini düşürmek mümkün olmuştur.

iv) Ön süspansiyon traversinin tabanaltı bağlantıları

Civatalarda herhangi bir kalıcı uzama meydana gelmemiş, ancak bağlantının üst limit tork değerinin üzerinde sıkılmış olması nedeniyle, yol testi sonrasında bağlantı parçalarında meydana gelen çökmenin sonucu olarak bir miktar tork kaybının ortaya çıktığı tespit

edilmiştir. Tork değerlerinin hesaplanan değerlerde uygulanmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

v) Ön süspansiyon traversinin ön şasi koluna bağlantıları

Uygulanan tork değerinin bağlantıda çökmeye neden olacak değerlerde olmamasına, aksine alt limitin dahi bir miktar altında olmasına rağmen, bağlantı parçalarında ve civatada kalıcı çökme meydana gelmiştir. Süspansiyon traversi üzerindeki bağlantı burcunun yeterli ezilme dayanımını sağlamadığı saptanmış ve gerekli tasarım değişikliklerine gidilerek bağlantı sağlanmıştır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada; şasi bağlantı elemanlarına gelen kuvvetler, bu kuvvetlerin etkileri ve hesaplamalarda dikkate alınacak kritik bağlantı bölgeleri gözden geçirilerek bir hesap yöntemi oluşturulmuş ve her bağlantıya uygulanabilir hale getirilmiştir. Bu hesap yöntemi kullanılarak, bir araçta örnek şasi bağlantı noktalarındaki tork değerleri ve limitleri hesaplanmış, ortaya çıkan sonuçlar uzun yol testine gönderilen bir araç üzerinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda araç üzerinde iyileştirmeler yapılarak tüm bağlantılar sorunsuz hale getirilmiştir.

Sonuç olarak, araç tasarım sürecinde önceki araç modellerinden örneklenerek tespit edilen ve yol testleri ile doğrulanan tork değerleri için genel doğru sonuçlara yaklaşım açısından önemli ilerlemeler sağlanmış ve uygulanmak zorunda olunan yol testleri, dolayısıyla maliyetler önemli oranda azaltılmıştır.

SİMGELER – KISALTMALAR (ABBR.)

Simge Açıklama

A_D	Sızdırmazlık alanı (m ²)
A_O	Diş dibi kesit alanı (m ²)
A_T	Çekme kesit alanı (m ²)
a	Bkz. Şekil 2 (m)
d	Nominal civata çapı (m)
d_1	Civata diş dibi çapı (m)
d_m, d_2	Ortalama civata diş çapı (m)
d_h, D_{Ch}	Bağlanan parçaların delik çapı (m)
D_S	Civata temas çapı (m)
D_{K_m}	Civata kafası ya da somun oturma yüzeyine etkiyen sürtünme momenti efektif çapı (ortalama sürtünme çapı) (m)
f_z	Çökme (oturma) miktarı (m)
F_A	Bağlantı üzerine etki eden aksel yük (N)
$F_{A_{max}}$	Bağlantıya etkiyen maksimum aksel yük (N)
F_b	Çekme yükü (N)
F_B	Bağlantı üzerine etki eden dış çalışma yükü (N)
F_C	Gerekli minimum bağlantı yükü (clampload) (N)
F_F	Maksimum izin verilen ön yük kuvveti (N)

F_{KA}, F_{Kab}	Çözülme sınırındaki minimum bağlama kuvveti (N)	W_P	Cıvata kesitinin mukavemet momenti (m^3)
F_{KP}	Sızdırmazlık fonksiyonu sağlayabilecek minimum bağlama kuvveti (N)	α	Diş profil açısı
F_{KQ}	Sürtünme yoluyla bir tork ya da transvers yükü iletmek için gerekli minimum bağlama kuvveti (N)	α_A	Sıkma faktörü
F_M	Montaj ön yükü (N)	μ	Sürtünme katsayısı
$F_{M_{max}}, F_{M_{min}}$	Maksimum / Minimum montaj ön yükü (N)	$\mu_{i_{min}}$	Ara yüzeydeki minimum sürtünme katsayısı
F_P	Ön yük (N)	μ_G	Dişlerdeki sürtünme katsayısı
F_Q	Bağlantı üzerine etki eden transvers yük (N)	μ_K	Cıvata kafası oturma yüzeyindeki sürtünme katsayısı
$F_{Q_{max}}$	Bağlantıya etki eden maksimum transvers yük (N)	φ	Cıvata helis açısı
f_{SM}	Cıvata uzama miktarı (m)	ν	Cıvata akma noktasının ne kadarının kullanıldığını gösteren kullanım faktörü
F_S	Toplam cıvata yükü (N)	σ_M	F_M neticesinde cıvatada oluşan çekme gerilmesi (N/m^2)
F_Z	Çökme nedeniyle bağlantıda oluşan yük kaybı (N)	σ_{red}	İndirgenmiş gerilme (N/m^2)
I_{BT}	Ara yüzey alanının atalet momenti (m^4)	σ_d	Çekme gerilmesi (N/m^2)
L, L_C	Bağlantı uzunluğu (m)	τ_M	Montaj halinde dişler üzerindeki burulma gerilmesi (N/m^2)
K_P	Düzeltilme faktörü (Şekil 2)	Δl	Cıvata uzunluğundaki değişim (m)
M_A	FM montaj ön yükü oluşturabilmek için gerekli sıkma torku (Nm)	6. KAYNAKLAR (REFEFENCES)	
$M_B / M_{B_{max}}$	Bağlantı üzerine etki eden eğilme momenti/ maksimum eğilme momenti (Nm)	1. İbrahim R.A. and Pettit C.L., "Uncertainties and Dynamic Problems of Bolted Joints and Other Fasteners", Wayne State University, Department of Mechanical Engineering, Detroit, MI, 80p. www.sciencedirect.com (Erişimtarihi : 25 Şubat 2010), (2003).	
M_G	Sıkma torkunun dişler üzerine etkiyen kısmı (Nm)	2. Toth G. R., "Torque and Angle Controlled Tightening of Bolted Joints", <i>Ph.D. Thesis</i> , Chalmers University of Technology, Sweden, 104p., (2006).	
$M_{\text{ön}}$	Ön tork(sıkma açısından önce uygulanan ilk tork) (Nm)	3. Marshall M.B., Lewis R. and Dwyer-Joyce R.S., "Characterisation of Contact Pressure Distribution in Bolted Joints", Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield, United Kingdom, 42p., (2006).	
$M_{S_{max}}$	Cıvata eksenindeki maksimum tork (Nm)	4. Shritama M.B.E., "Exploring Torque and Deflection Response Characteristics to Evaluate The Ergonomics of DC Torque Tools Via a Tool Test Rig", <i>Ohio State University</i> , USA, 175p., (2008).	
M_T	Tekil bağlantı üzerine etki eden tork (Nm)	5. Olsson J. and Sandlund P., "Form The Design Basis For Screw Joints", <i>MSc Thesis</i> , Lulea University of Technology, Södertälje, Sweden, 66p., (2008).	
M_W	Bağlantı üzerine etki eden çalışma momenti (Nm)	6. Eker A. A., "Yorulma Deneyi (DIN 50100, TS 1487)", http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzemeseci_m/Surunme_Yorulma_Deneyleri.pdf , (Erişim tarihi : 20 Şubat 2010).	
R_{eL}	Akma noktası (N/m^2)	7. Atlas Copco, "Tightening Technique", Pocket Guide, Sweden, 26p., (2002).	
p	Vida hatvesi (m)	8. Bickford J.H., "An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints", <i>Marcel Dekker</i> , Inc., NY., (1990).	
P_h	Ezilme gerilmesi (N/m^2)	9. Culpepper M., "Bolted Joints, Lecture Notes", <i>Massachusetts Institute of Technology</i> , MA, USA, 30p., (2009).	
$p_{i_{max}}$	Sızdırmazlık sağlanacak maksimum iç basınç (N/m^2)	10. Bozkaya K., 2006, "A Study on the Reliability Analysis During Preliminary Design - A Rocket Motor Example", MS Tez, ODTÜ http://tr.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_simulasyonu , (Erişimtarihi : 25 Şubat	
q_F	Transvers yükü (F_Q) iletmekle görevli ve cıvatada kaymaların gerçekleşmesi muhtemel iç ara yüzey sayısı		
q_M	İlave momenti (M_S) iletmekle görevli ve cıvatada kaymaların gerçekleşmesi muhtemel iç ara yüzey sayısı		
r_a	Cıvata eksenine M_S torku etkinken bağlanan parçalardaki sürtünme yarıçapı (m)		
S_{sym}	Bkz. Şekil 1		

- 2010)
11. Torqueleader Co., “Mechanical Properties of Fasteners”, <http://www.torqueleader.com>, (Erişimtarihi : 10 Haziran 2009)
 12. Road A., “Technical Data Recommendations for Bolted Joints”, *Know How Report, Hydrostatic Extrusions Limited*, Scotland, 1p., (2009).
 13. Duni E., Urbinati F., Scaratti M., Valenzano E., and Torelli A., “Numerical Methodology for Evaluation of Bolted Joint Connections in the Automotive Industry”, *12. ABAQUS Users' Conference*, Newport, Rhode Island, USA, (2000).
 14. Salzgitter Flachstahl GmbH, “Hot Rolled Products / Fine - grain Structural Steels, thermomechanically - rolled”, http://www.salzgitterflachstahl.de/en/Produkte/warmgewalzte_produkte/stahlsorten/Feinkornbaustaehle_thermo_mechanisch_gewalzt/(Erişim tarihi : 20 Şubat 2010)