

# CIVATALI BAĞLANTILARDA EMNİYETLİ TORK DEĞERİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

**Hakan Adatepe**

Yrd.Doç.Dr., Giresun Üniversitesi,  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,  
Giresun  
adatepehakan@yahoo.com

**Tayfun Güneş\***

Makine Yüksek Mühendisi,  
Mercedes Benz Türk AŞ., Karasu mevki,  
Aksaray  
tayfun.gunes@daimler.com

## ÖZET

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 çalışmanın amacı, hesaplama yoluyla 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 grafiklerle 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 yardımıyla bağlantı sıkılırken elde edilen torkun dönme açısına göre değişimini gösteren grafikleri elde edilmiştir. 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 hesaplamayla gerçekte olması gereken değere ne kadar yaklaşıldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Cıvatalı bağlantılar, emniyetli tork değeri, tork değeri toleransları, tork değeri hesabı

## Determining the Safety Torque Value in Bolted Joints Theoretically and Experimentally

### ABSTRACT

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 study 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.

**Keywords:** Bolted joints, safety tightening torque value, torque value tolerances, torque value calculation

\* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 01.11.2012

Kabul tarihi : 26.11.2012

22-23 Ekim 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Konya’da düzenlenen VI. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi’nde sunulan bildiri, yazarlarınca güncellenerek ve genişletilerek bu makale hazırlanmıştır.

**Adatepe, H., Güneş, T.** 2012. “Cıvatalı Bağlantılarda Emniyetli Tork Değerinin Teorik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi,” TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 633, s. 43-51

## 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.

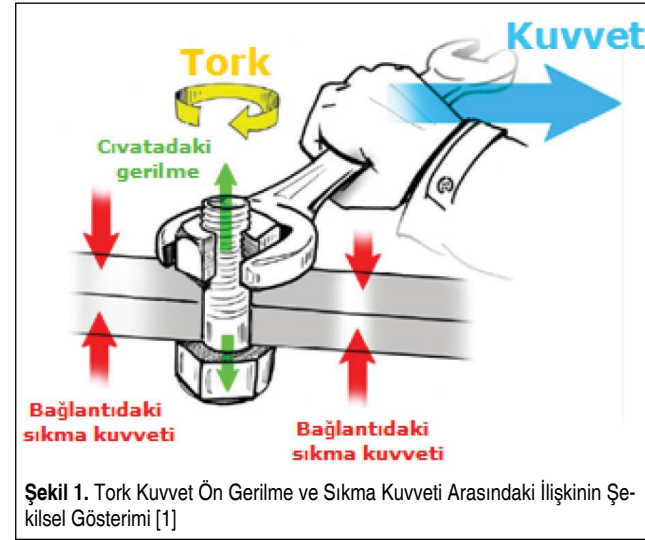
Olması gerekenden düşük tork ile sıkılan bağlantılar, titreşimler nedeniyle çözülebilirler. Tork değeri, izin verilebilir sınırların üzerinde olursa, oluşan ön gerilme kuvveti bağlantının yapıldığı parçalara zarar verebilir ve aynı zamanda cıvata ve somun dişlerinde meydana getirdiği deformasyon nedeniyle 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 anahtar kullanımınıdır. 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 numunelerle, Tool-Station olarak adlandırılan sıkma ve kontrol sisteminde yapılan deneylerden elde edilen değerler, hesaplama sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu sayede hesaplamının gerçekleşen durumla ne kadar uyumlu olduğu ortaya koyulmuştur.

Cıvatalar, çözülebilen bağlantı elemanları dendiğinde ilk akla gelen makine elemanlarıdır. Cıvata ve somunlar kuvvet bağlantısı prensibiyle çalışırlar. Genelde bozulmadan ve hasarlanmadan çözülebilirler. Cıvataları; bağlantı cıvataları, transmisyon (hareket ileten) cıvatalar, ölçü cıvataları, sıkıştırma ve germe cıvataları, ayarlama cıvataları olarak sınıflandırabiliriz [8].

Tork değerleri bilindiği gibi birbirine sabitlenecek parçaların üzerinde oluşturulan sıkma kuvvetinin, müdahale edilebilen



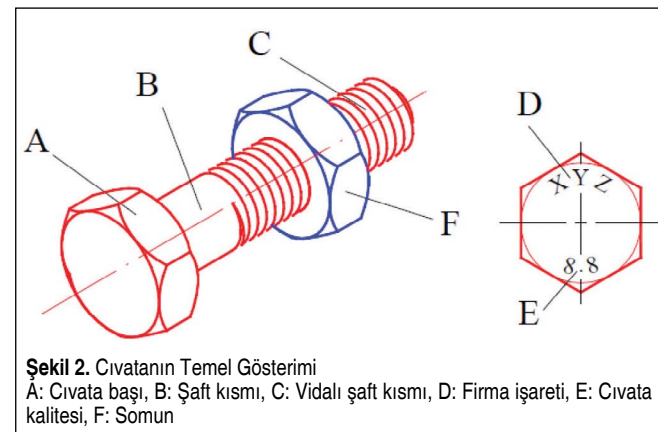
ve seri üretim şartlarında kolaylıkla ölçülmesine ve kontrol edilmesine olanak veren bir yansımasıdır.

Bağlantıya özgü emniyetli tork değeri için gerekli formüller ve hesaplama yöntemi VDI 2230 standardında, özetle aşağıda ki şekilde verilmiştir.

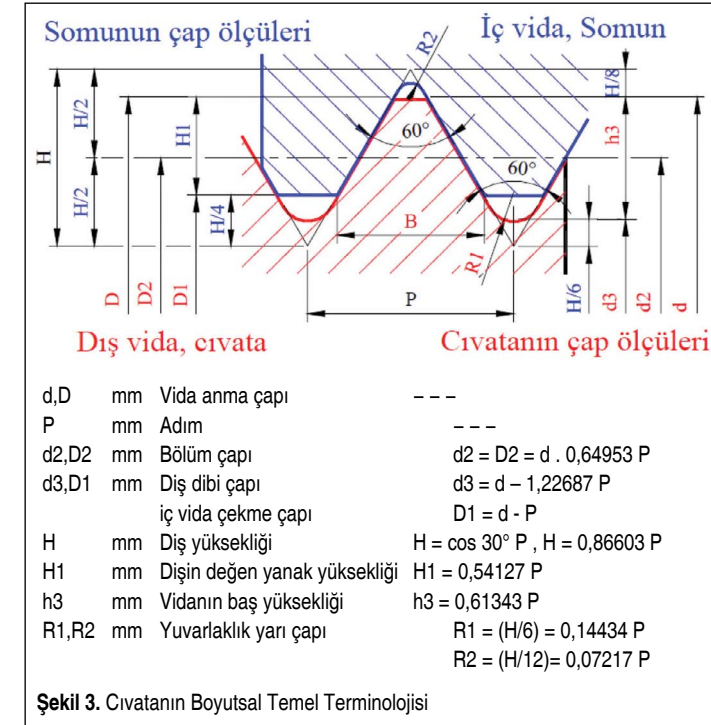
Bir cıvatalı bağlantı belirli bir tork ile sıkılırken asıl ulaşılmak istenen, birleştirilen parçaların birbirine bir kuvvetiyle bastırılmasıdır. Bu kuvvetin cıvata üzerine etkisi ön gerilme kuvvetidir ki, bu gerilme kuvveti Şekil 1’de gösterildiği gibi somunun sıkma yönünde döndürülmesiyle sağlanır. Ancak bir bağlantıda gerekli ön gerilme kuvvetini oluşturmak üzere öngördüğümüz tork değerinin, ayarlanmış bir tork aletiyle bağlantıya uygulanması sırasında öngörülen değere ulaşmamızı engelleyen birçok faktör vardır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Cıvatalar, çözülebilen bağlantı elemanları dendiğinde ilk akla gelen makine elemanıdır. Cıvata ve somunlar kuvvet bağlantısı prensibiyle çalışırlar. Genelde bozulmadan ve hasarlanmadan çözülebilirler. Cıvataları, bağlantı cıvataları, transmisyon



Şekil 2. Cıvatanın Temel Gösterimi  
A: Cıvata başı, B: Şaft kısmı, C: Vidalı şaft kısmı, D: Firma işareti, E: Cıvata kalitesi, F: Somun



Şekil 3. Cıvatanın Boyutsal Temel Terminolojisi

(hareket ileten) cıvatalar, ölçü cıvataları, sıkıştırma ve germe cıvataları ve ayarlama cıvataları olarak sınıflandırabiliriz.

Cıvata sistemi, cıvata-somun ve birleştirilen parçalar olmak üzere Şekil 2’de görüldüğü gibi üç elemandan meydana gelir. Bazen somun ayrı bir parçadır, bazen de sıkılan parçalardan birisi somun olarak görev yapar.

Literatürde, cıvata bağlantıları, uygulanan tork değerleri, süreç etkileri, hesap yöntemleriyle ilgili hem genel hem de sektörel temelde birçok çalışma bulunmaktadır. Bağlantıyı oluşturan parçaların özelliklerinden sıkım yöntemlerine ve ortam şartlarına kadar birçok parametre değiştirilerek, farklı hesaplama yöntemleri ve uygulamalarıyla bu uygulamaların sonuçları, birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Bu alanda yararlanılan bazı araştırmalar şöyle özetlenebilir:

İbrahim ve Pettit [2], kesin ve lineer karakteristiklere sahip olmayan cıvatalı bağlantıları incelemişlerdir. Tamamen ve kısmen sabitlenmiş bağlantıların parametrelerini değiştirerek hassasiyet analizleri yapmışlar ve titreşim ya da dinamik yüke maruz kalan cıvata bağlantılarını fuzzy parametreleri yöntemi kullanarak incelemişler ve bu tip bağlantılarda dinamik karakteristiğe bağlı olarak ön yük değişimlerinin meydana geldiği sonucuna varmışlardır.

Toth [3], torklama ve açı 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 ulaşmasıyla 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 [4], cıvata bağlantılarında temas yüzeyinde oluşan gerilme dağılımını incelemişlerdir. Araştırmalarında gerçek durumu ortaya koyabilmek için ultrasonik yöntem kullanmışlar, bu yöntemde bağlantı ara yüzüne 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 [5], 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 [6], DC tork cihazıyla sıkılan cıvatalı 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 etkileriyle elde edilen sonuçların ergonomi konusunda yapılan önceki çalışmalarla farklılıklar ihtiva ettiğini tespit etmiştir.

Yarkin [7], araçlardaki şasi bağlantılarının alt ve üst toleranslarını bir yöntem dâhilinde hesaplamış ve üst tolerans limitine kadar sıkılmış bağlantıları, 30.000 km yol testi sonrasında tekrar ölçerek, tork değerindeki değişimleri incelemiş ve hesap yönteminin doğruluğunu araştırmıştır. Tork değişimlerinin sebepleri üzerine yorum getirmiştir.

## 3. EMNİYETLİ TORK DEĞERİNİN TEORİK OLARAK BELİRLENMESİ

Bir cıvatanın sıkma momenti ( $M_{SI}$ ), vida dişlerindeki sürtünme momenti ile cıvata başının altında oluşan sürtünme momentinin toplamı kadardır.

$$M_{SI} = M_{SV} + M_{SK} \quad (1)$$

$M_{SV}$	Nm	Vidadaki sürtünme momenti
$M_{SK}$	Nm	Cıvata başının sürtünme momenti

Burada vidadaki sürtünme momenti ile cıvata başı altında oluşan sürtünme momentini yerine yazarsak şu formülü elde ederiz:

$$M_{SI} = F_{ÖNM} \cdot \left[ \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho_V) + \mu_K \cdot r_K \right] \quad (2)$$

$F_{ÖNM}$  N Montaj ön gerilme kuvveti

$d_2$  mm Ortalama kesit çapı

$\varphi$  ° Vidanın helis açısı

$\rho_V$  ° Vida sürtünme açısı  $\tan \rho_V = \mu^* \nu = \mu_V / \cos(\beta/2)$

$\mu_K$  Cıvata başının sürtünme katsayısı

$r_K$  mm Cıvata başı sürtünme kuvveti eksen mesafesi

Metrik ISO standardına uygun cıvatalar için sıkma momenti, şu şekilde yazılabilir.

Vida sürtünme momenti  $M_{SV} = F_{ÖNM} \cdot (0,159 \cdot P + 0,577 \cdot \mu_V \cdot d_2)$  ve

Cıvata kafasının sürtünme momenti  $M_{SK} = F_{ÖNM} \cdot \mu_K \cdot d_K / 2$  formülde yerleştirilirse

$\mu_K = \mu_V$  ve  $\frac{d_K}{2} = \frac{d_D + d_G}{4}$  ise ( $d_K = 2r_K$ ), sıkma momenti denklemi-mizi şu şekilde yazabiliriz.

$$M_{SI} = F_{ÖNM} \cdot [0,159 \cdot P + 0,577 \cdot \mu_V \cdot d_2 + \mu_K \cdot r_K] \quad (3)$$

Tablo 1. Bauer ve Schaurte Karcher'a Göre Sürtünme Katsayıları

Mat siyah veya fosfatlanmış yüzeyler		Çinko ile galvanize edilmiş beyaz mavi renkli yüzeyler	Kadmiyum ile galvanize edilmiş sarı renkli yüzeyler	Yapıştırma maddesi ile sıvanmış yüzeyler
Hafif yağlı	MoS <sub>2</sub> ile yağlanmış	6 – 12 µm	6 – 10 µm	Mikro kapsüllü
0,12 – 0,18	0,08 – 0,12	0,12 – 0,18	0,08 – 0,12	0,14 – 0,30

$P$  mm Vida adımı (hatvesi)

$d_K$  mm Cıvata başı altındaki sürtünme kuvvetinin etki çapı

$d_2$  mm Profil çapı

$\mu_V$  Vidanın sürtünme katsayısı

$d_D$  mm Cıvata başının dönerken taradığı dairesel alanın çapı

$d_G$  mm Cıvatanın geçtiği deliğin çapı

Bu formülü kullanarak sıkma momentini hesaplayabilmemiz için bilmemiz gereken montaj ön gerilme kuvvetini ise şu şekilde hesaplarız:

$$F_{ÖNM} = \frac{0,9 \cdot R_{p0,2} \cdot A_{GE}}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[ \frac{4}{d_0} \cdot (0,159 \cdot P + 1,155 \cdot \mu_V \cdot d_2) \right]^2}} \quad (4)$$

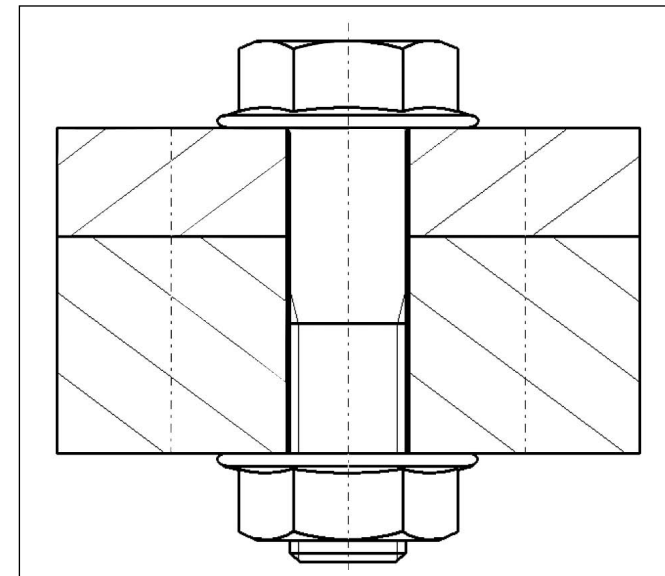
$R_{p0,2}$  N/mm<sup>2</sup> Cıvatanın % 0,2 akma mukavemeti

$A_{GE}$  mm<sup>2</sup> Cıvatanın gerilim kesit alanı  $[(\pi d_0^2)/4]$   
 $d_0$  mm Hesaplama için geçerli kesit çapı  $[(d_2 + d_3)/2]$   
 $P$  mm Vida adımı (hatve)  
 $\mu_V$  Vidanın sürtünme katsayısı  
 $d_2$  mm Profil çapı

$R_{p0,2}$  kullanılan cıvatanın kalitesini belirten sayıların çarpımının 10 katı olarak hesaplanır. Örn: 8.8 kalitesinde bir cıvatanın % 0,2 akma mukavemeti:  $8 \times 8 \times 10 = 640$  daN/mm<sup>2</sup> dir.

Hesaplamamızda kullandığımız sürtünme katsayıları, kullandığımız cıvata somun çiftinin yüzey kaplamalarının ve varsa kullanılan yapıştırıcı türüne göre farklılıklar gösterir. Bauer ve Schaurte Karcher, hesaplama kolaylığı sağlaması açısından bazı yüzey kaplamaları için sürtünme katsayılarını Tablo 1'deki gibi tespit etmişlerdir.

Günümüzde makine elemanlarının hesaplama işlemleri için, hata riskini en aza indirmek, zamandan tasarruf etmek, hesaba etkiyen parametreleri kolayca değiştirebilmek vs. gibi nedenlerden dolayı ayrıca bilgisayarların mühendislik hesaplamalarında yaygın bir şekilde kullanılması nedeniyle, bir çok makine elemanı hesaplama programı geliştirilmiştir. Biz burada VDI 2230 standardına göre cıvata hesabı yapan Hexagon SR1 programı kullandık. Bu programda programa giriş verileri ne kadar gerçeğe yakın olarak girilirse o kadar doğru sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 4. 10 ve 20 mm'lik İki Adet St37 Plakanın M8x1.25x40-8.8 Çinko Kaplamalı, Flanşlı Cıvata ve Somun ile Montajı

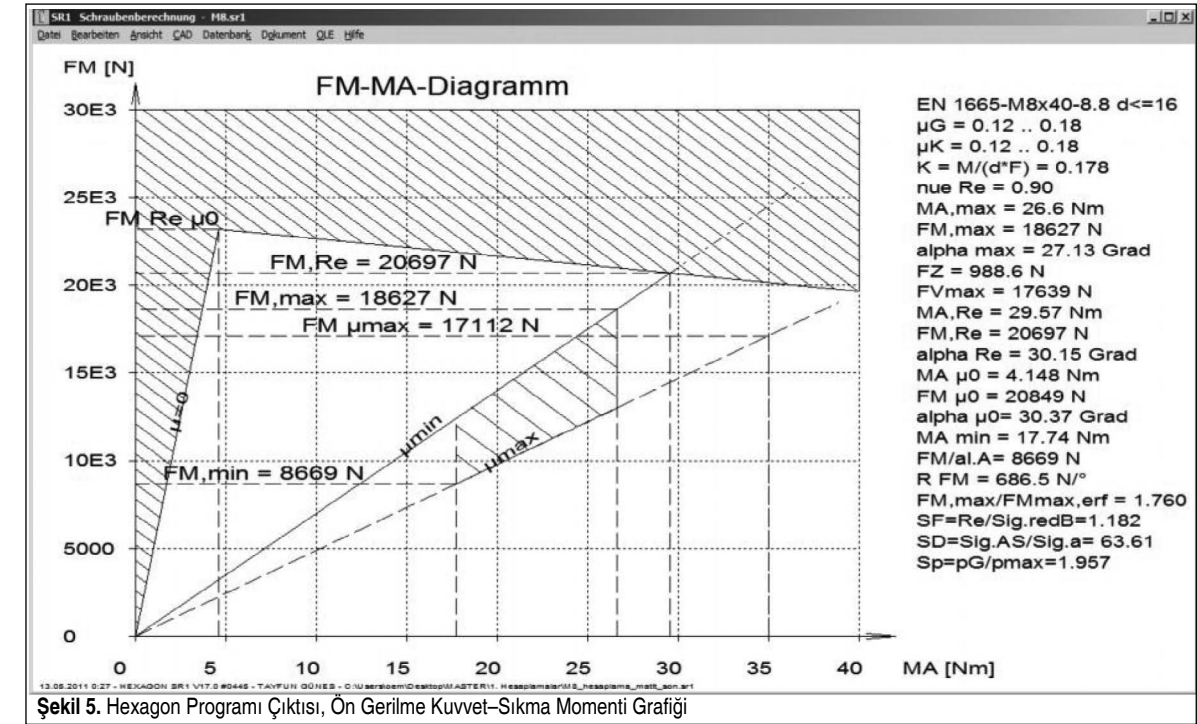
Tablo 2. Montaj İçin Hesaplama Sonucu Elde Edilen Bazı Veriler

Veri	Gösterim	Birim	Değer
Akma noktası – Sıkma faktörü	nue Re		0.90
Sıkma yöntemi:	Somundan sıkma		
Sıkma momenti MA	MA,max	Nm	26.39
Sıkma momenti	MA,min	Nm	17.59
Sıkma momenti	MA,nom	Nm	21.99
Çözme momenti	MA-	Nm	19.21
Akma noktası için sıkma momenti	MA Re	Nm	29.32

Bu çalışmamızda, Hexagon SR1 programı ile flanşlı M8x1,25x40 -8.8 kalitesinde çinko kaplamalı cıvata ve M8 flanşlı somun ile 10mm'lik ve 20mm'lik iki adet St 37 plakayı birbirine bağlamak için gerekli olan en uygun tork değerini hesapladık.

Programıyla yapılan hesaplama sonucunda elde edilen ve bağlantının yapılmasında kullanılması gereken emniyetli tork değeri bilgileri Tablo 2'de verilmiştir.

Bu verilerde, emniyetli tork değerinin sürtünme katsayısı ve bağlantıda torkun yol açtığı ön gerilme kuvveti ile ilişkisinin grafiksel olarak gösterildiği program çıktısı Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Hexagon Programı Çıktısı, Ön Gerilme Kuvvet-Sıkma Momenti Grafiği



Şekil 6. Ön Görülen Tork ile Hedeflenen Ön Gerilme Kuvvetine Ulaşmayı Etkileyen Faktörlerin Balık Kılçığı Diyagramı Şeklinde Gösterimi

Vida sürtünmesi için tanımladığımız minimum ve maksimum sürtünme katsayılarını gösteren  $\mu_{min}$  ve  $\mu_{max}$  doğrularının Vidanın akma kuvveti doğrusu  $FM Re^2$ 'yi kestiği noktanın Tork eksenine izdüşümü alındığında cıvatanın hangi torka ulaştığında akmaya başlayacağını bulmuş oluruz. Bu değer Tablo 2'de verildiği gibi 29,32Nm dir. Bu sonuçtan hareketle grafikten de görüldüğü üzere sürtünme katsayısı sıfır olsaydı, cıvatayı akma noktasına ulaştırmak için yaklaşık 4Nm büyüklüğünde bir tork yeterli olacaktı, çünkü döndürme momentinin tamamı cıvatanın çekme kuvvetine maruz kalmasında kullanılacak, sürtünme kayıpları olmayacaktı.

Hesaplama ile elde ettiğimiz ve hedeflediğimiz tork değerine gerçek hayatta ulaşmamızı etkileyen faktörleri, Şekil 6 da verilen balık kılıçlı diyagramında görebilirsiniz.

#### 4. DENEYSEL OLARAK ELDE EDİLEN DEĞERLER

Çalışmamızın deneysel kısmında, sayısal olarak yapmış olduğumuz hesaplamada verdiğimiz değerleriyle birebir uyumlu olacak şekilde, bağlantı parçaları ve plakaları kullandık. Plakaları ve bağlantı elemanlarını, Şekil 6'da görüldüğü gibi bir mengene yardımıyla sabitledik.

Test parçası üzerinde, cıvata somun bağlantısının kopma noktasının üzerinde ön gerilme kuvveti oluşturacak bir sıkma momenti uyguladık ve bağlantı üzerine gelen sıkma momentinin zaman ve açı ile değişim grafiğini elde ettik. Bunun için cıvata kopana kadar sıkma işlemi uyguladık ve Tool-Station cihazı tarafından test ettiğimiz bağlantıya özgü olarak aldığımız grafikler yardımıyla bağlantımızın hangi tork değerleri arasında sıkılabileceği, hangi tork değerinde akma noktasına ulaşıldığını ve nerede kopmanın gerçekleştiğini deneysel olarak belirledik.

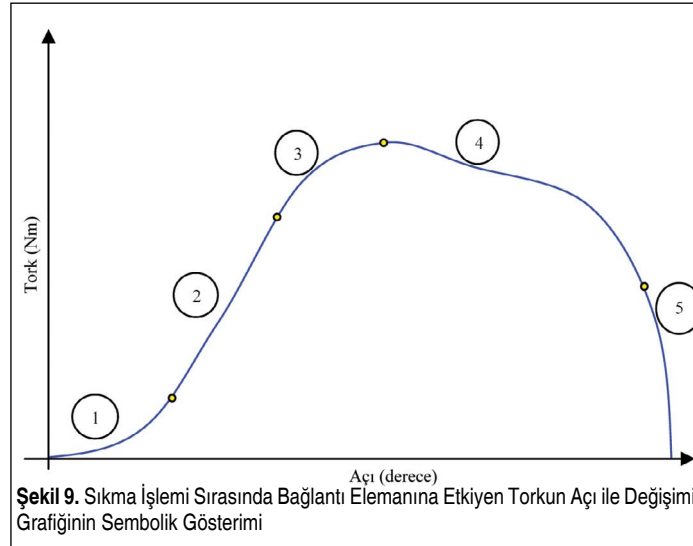
Deneysel olarak elde edilen grafik, Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 7. Mengene ile Sabitlenen Test Parçası



Şekil 8. Sıkma Momenti Karşısında Akma ve Kopma Noktasının Tespitinde Kullanılan Bağlantı Elemanları



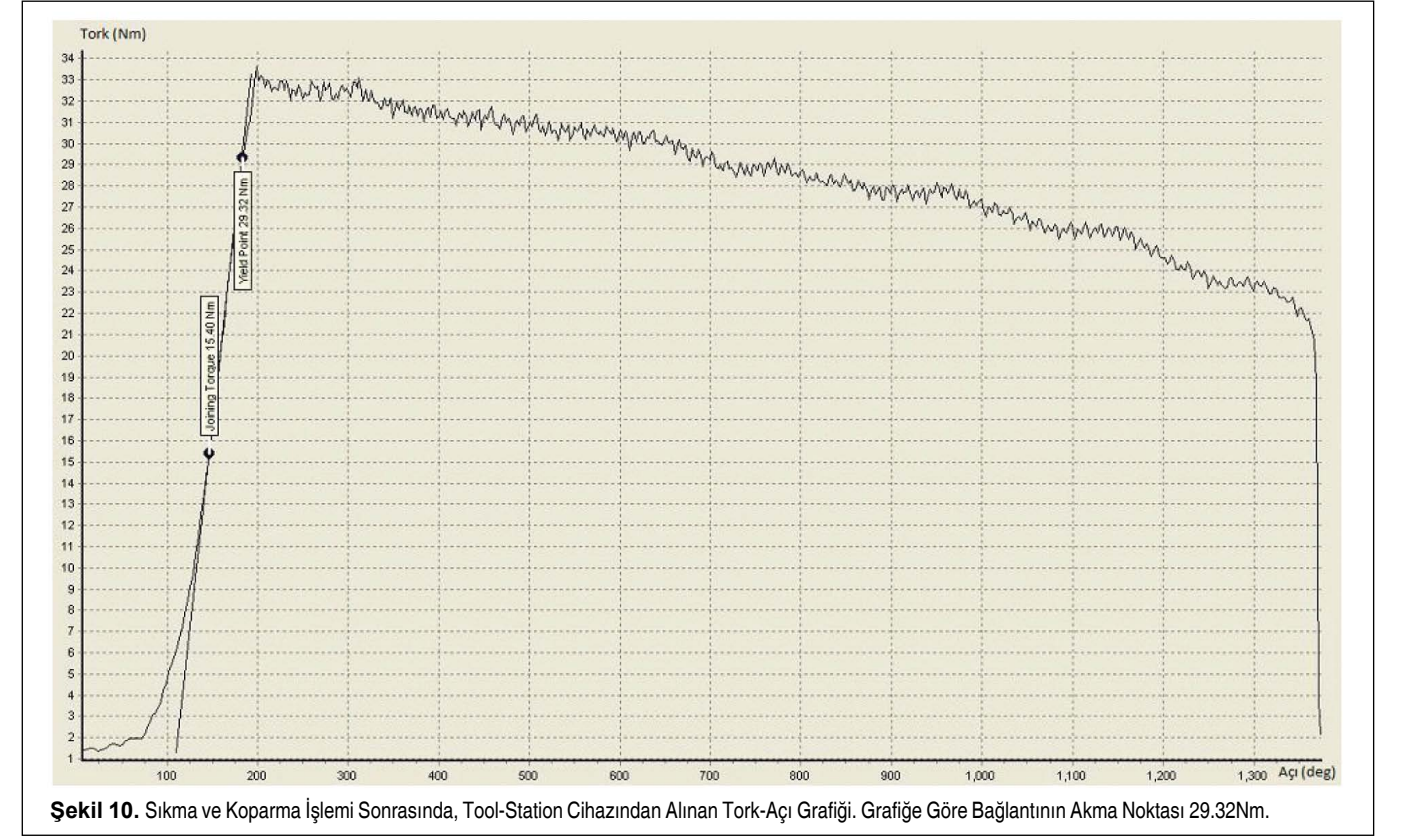
Şekil 9. Sıkma İşlemi Sırasında Bağlantı Elemanına Etkiyen Torkun Açı ile Değişimi Grafiğinin Sembolik Gösterimi

Sıkma işlemi neticesinde elde edilen grafik genel hatlarıyla Şekil 9'daki 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 sıkılan malzeme ezilip parçalanır ya da somun dişleri sıyrılır (5).

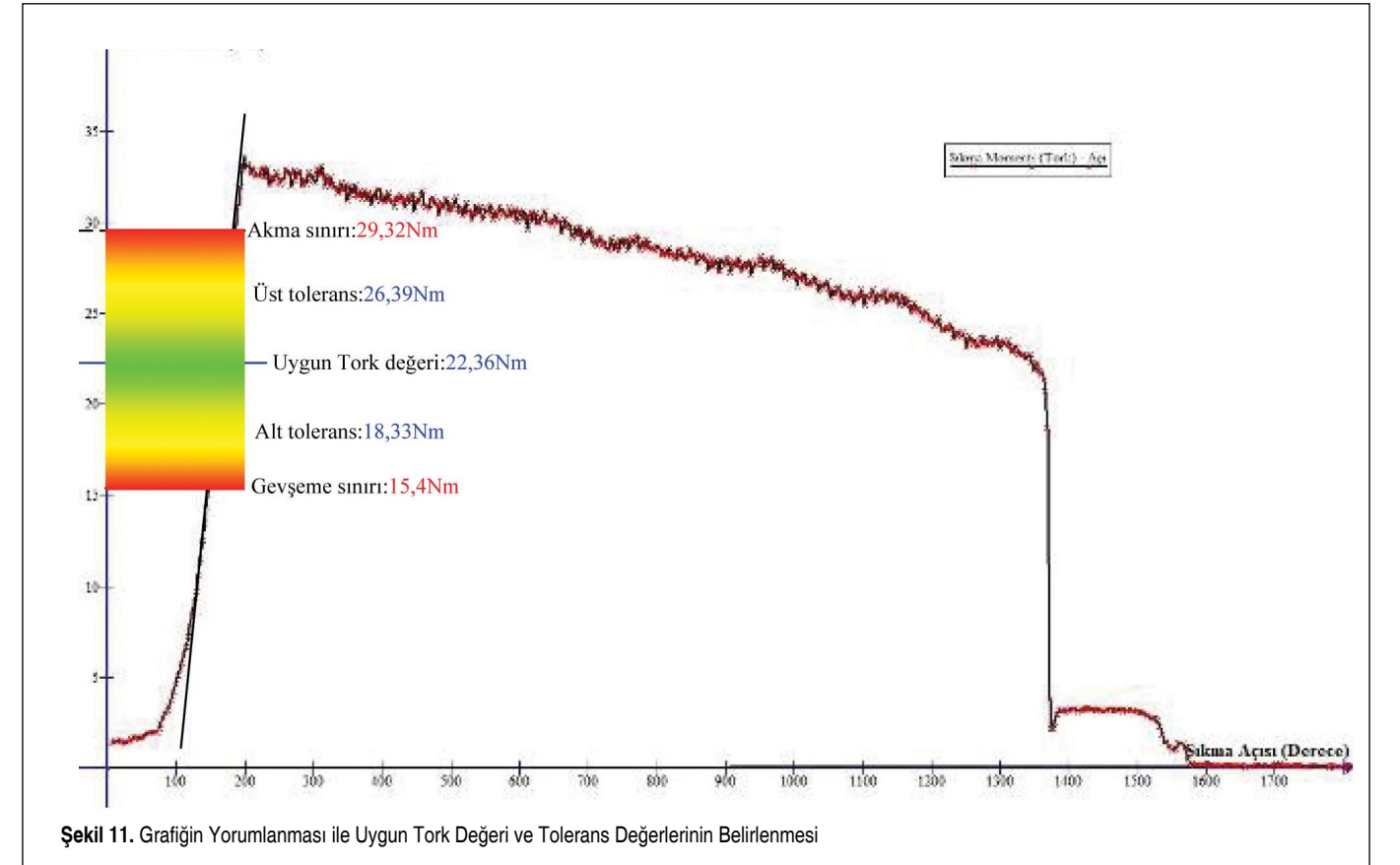
Şekil 10 incelendiğinde, flanşlı cıvata ve somun bağlantısı için akmanın gerçekleştiği tork değerinin 29,32 Nm olduğu görülmektedir.

Şekil 11'de deneysel olarak elde edilen grafiğin yorumlanması neticesinde elde edilen verilerin grafik üzerindeki gösterimi yer almaktadır.

Sıkma işlemi başladıktan sonra, sıkıştırılan metal plakaların rijitliği nedeniyle tork hızla yükselmeye başlamıştır. 15,40 Nm değerine ulaştıktan sonra 29,32 Nm'ye kadar doğrusal bir



Şekil 10. Sıkma ve Koparma İşlemi Sonrasında, Tool-Station Cihazından Alınan Tork-Açı Grafiği. Grafiğe Göre Bağlantının Akma Noktası 29,32Nm.



Şekil 11. Grafiğin Yorumlanması ile Uygun Tork Değeri ve Tolerans Değerlerinin Belirlenmesi

**Tablo 3.** Deneysel Çalışmayla Elde Edilen Veriler, Belirlenen Tork Değeri ve Toleransları

Akma Torku	Çözülme Torku	Üst Tolerans	Nominal Tork	Alt Tolerans
29,32Nm	15,40Nm	26,39Nm	22,36Nm	18,33Nm

**Tablo 4.** Teorik ve Deneysel Olarak Bulunan Emniyetli Tork Değerlerinin Karşılaştırılması

Bulgular	Teorik Hesaplama	Deneysel Çalışma	Fark
Akma Torku	29,32Nm	29,32Nm	0 Nm
Üst Tolerans ( $MA_{MAX}$ )	26,39Nm	26,39Nm	0 Nm
Nominal Tork ( $MA_{NOM}$ )	21,99Nm	22,36Nm	0,37Nm
Alt Tolerans ( $MA_{MIN}$ )	17,59Nm	18,33Nm	0,74Nm

artış göstermiştir. Bu doğrusal artış bölgesi sıkma işleminin (torklamanın) emniyetle yapılabileceği bölgedir. Sabit hızla sıkma işlemi devam ederken, grafiğin doğrusallıktan uzaklaşmaya başlamasından anlaşıldığı üzere, aynı hızda devam eden dönmeye karşın tork artış hızı, 29,32 Nm'den itibaren düşmeye başlamıştır. Bu durum bağlantı elemanının akma noktasını bulduğu anlamına gelir. Doğrusal bölgeden uzaklaşmanın daha net fark edilebilmesi için bu bölgeye teğet olarak çizilen bir doğrudan yardım alınmıştır. Yaklaşık 33,5 Nm'ye kadar tork artış göstermiş ve sonrasında sıkmanın devam etmesine rağmen tork dalgalanarak düşmeye başlamıştır. Bu demektir ki tork tabancasının sağladığı tork karşısında, bu torka gösterilen direnç düşmeye başlamıştır; yani cıvata artık plastik deformasyona uğramış ve somun döndükçe sünmektedir. Somunun 1375 dereceye kadar dönmesi sonucunda torkun birden düşmesi, kopmanın gerçekleştiği anlamına gelir.

Her 360 derece dönüş, cıvata için bir adım uzama demektir. Bu da M8 cıvata için 1,25mm uzama anlamına gelir. Kopma gerçekleşene kadar somun yaklaşık 3,8 tur dönmüştür. Bu durumda cıvata  $3,8 \times 1,25 = 4,7$ mm uzamıştır.

Grafik üzerinden okunan tork değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, flanşlı cıvata ve somun bağlantısı için yaptığımız teorik ve deneysel araştırma sonuçları Tablo 4'te işlenmiştir.

Teorik hesaplama ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen yukarıdaki tablo incelendiğinde teorik ve deneysel sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Akma torku ve nominal tork değerleri kıyaslandığında teorik hesabın gerçek durumdan sadece %0,85 saptığı tespit edilmiştir. İhmal edile-

bilecek kadar küçük olan bu sapma hesaplamamızın güvenilirliğini kanıtlamıştır.

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$M_{SV}$	Nm	Vidadaki sürtünme momenti
$M_{SK}$	Nm	Cıvata başının sürtünme momenti
$F_{ONM}$	N	Montaj ön gerilme kuvveti
$d_2$	mm	Ortalama kesit çapı
$\varphi$	°	Vidanın helis açısı
$\rho_V$	°	Vida sürtünme açısı $\tan \rho_V = \mu'_V = \mu_V / \cos(\beta/2)$
$\mu_K$		Cıvata başının sürtünme katsayısı
$r_K$	mm	Cıvata başı sürtünme kuvveti eksen mesafesi
$P$	mm	Vida adımı (hatvesi)
$d_K$	mm	Cıvata başı altındaki sürtünme kuvvetinin etki çapı
$d_2$	mm	Profil çapı
$\mu_V$		Vidanın sürtünme katsayısı
$d_D$	mm	Cıvata başının dönerken taradığı dairesel alanın çapı
$d_G$	mm	Cıvatanın geçtiği deliğin çapı
$R_{p0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	Cıvatanın 0,2% akma mukavemeti
$A_{GE}$	mm <sup>2</sup>	Cıvatanın gerilim kesit alanı $[(\pi d_0^2)/4]$
$d_0$	mm	Hesaplama için geçerli kesit çapı $[(d_2+d_3)/2]$

$P$	mm	Vida adımı (hatve)
$\mu_V$		Vidanın sürtünme katsayısı
$d_2$	mm	Profil çapı
$nue Re$		Akma noktası, sıkma faktörü
$MA, max Nm$		Maksimum sıkma momenti
$MA, min Nm$		Minimum sıkma momenti
$MA, nom Nm$		Nominal sıkma momenti
$MA-$	Nm	Çözme Momenti
$MA Re$	Nm	Akma noktası için sıkma momenti

## KAYNAKÇA

1. Atlas, Copco. 2002. Tightening Technique, Pocket Guide, Sweden.
2. İbrahim, R.A., Pettit, C.L. 2003. "Uncertainties and Dynamic Problems of Bolted Joints and Other Fasteners, Wayne State University," Department of Mechanical Engineering, Detroit, MI
3. Toth, G. R. 2006. "Torque and Angle Controlled Tightening

of Bolted Joints, Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy," Chalmers University of Technology, Sweden.

4. Marshall, M.B., Lewis, R., Dwyer-Joyce. 2006. Characterisation of Contact Pressure Distribution in Bolted Joints, Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield, United Kingdom,
5. Olsson, J., Sandlund, P. 2008. Form The Design Basis For Screw Joints, Sweden.
6. Shritama, M. 2008. Exploring Torque and Deflection Response Characteristics to Evaluate The Ergonomics of DC Torque Tools Via A Tool Test Rig, Ohio State University, U.S.
7. Yarkın, T. 2010. "Şasi Bağlantılarında Sıkma Momenti (Tork) Değerlerinin ve Alt-Üst Sınırlarının Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
8. Kutay, M. G. 2005. Cıvatalar, 1. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
9. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2230 Standardı, 1. Parça, 2003-02, Germany
10. Tool Station Manuel, 2010, Sweden

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi

YAZAR HAKEM EDITÖR

ANA SAYFA (GİRİŞ SAYFASI)

HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ

e-Posta :

Şifre :

Giriş

Yeni Kullanıcı | Şifremi Unuttum

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [Yeni Kullanıcı] bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [Şifremi Unuttum] bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı [yayin@mmo.org.tr](mailto:yayin@mmo.org.tr) e-posta adresine gönderebilirsiniz.

makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz