

VIDALI BAĞLANTILARDA KULLANILAN OTOMATİK TORK ALETLERİNİN DOĞRULANMASI

Osman AKKOYUNLU*
Çetin DOĞAN

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü PK. 54 41470 Gebze/KOCAELİ
Tel: 0262 679 50 00
E-Mail*: osman.akkoyunlu@tubitak.gov.tr

ÖZET

Günümüzde artan piyasa taleplerini karşılamak ve kontrol edilebilir düzeyde kalite seviyesini yakalamak için montaj hatlarında vidalı bağlantılarda havalı, elektrikli ve şarj edilebilir tork cihazları kullanılmaktadır. Montaj hatlarında kullanılan bu cihazların üretim kalitesinde olumlu yönde etkili olabilmesi için düzenli olarak kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Söz konusu durum göz önünde bulundurularak bu çalışmada, üretim bantlarında vidalı bağlantıların yapılmasında kullanılan otomatik tork aletlerinin doğrulanmasına yönelik yöntemlere yer verilmiş ve bu amaçla ISO 5393 nolu standardın gerekleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tork ölçümü, Otomatik tork aletleri.

ABSTRACT

Today, air, electric and chargeable torque devices are used on screwed joints on assembly lines to meet the increasing market demands and to achieve controllable quality level. These devices that are used on the assembly lines should be checked regularly to be positively effective on production quality. Taking this situation into account, the methods for verification of power torque tools used in the making of screwed joints on production lines are included and for this purpose the requirements of the ISO 5393 standard have been discussed.

Key Words: Torque measurement, Power torque tools.

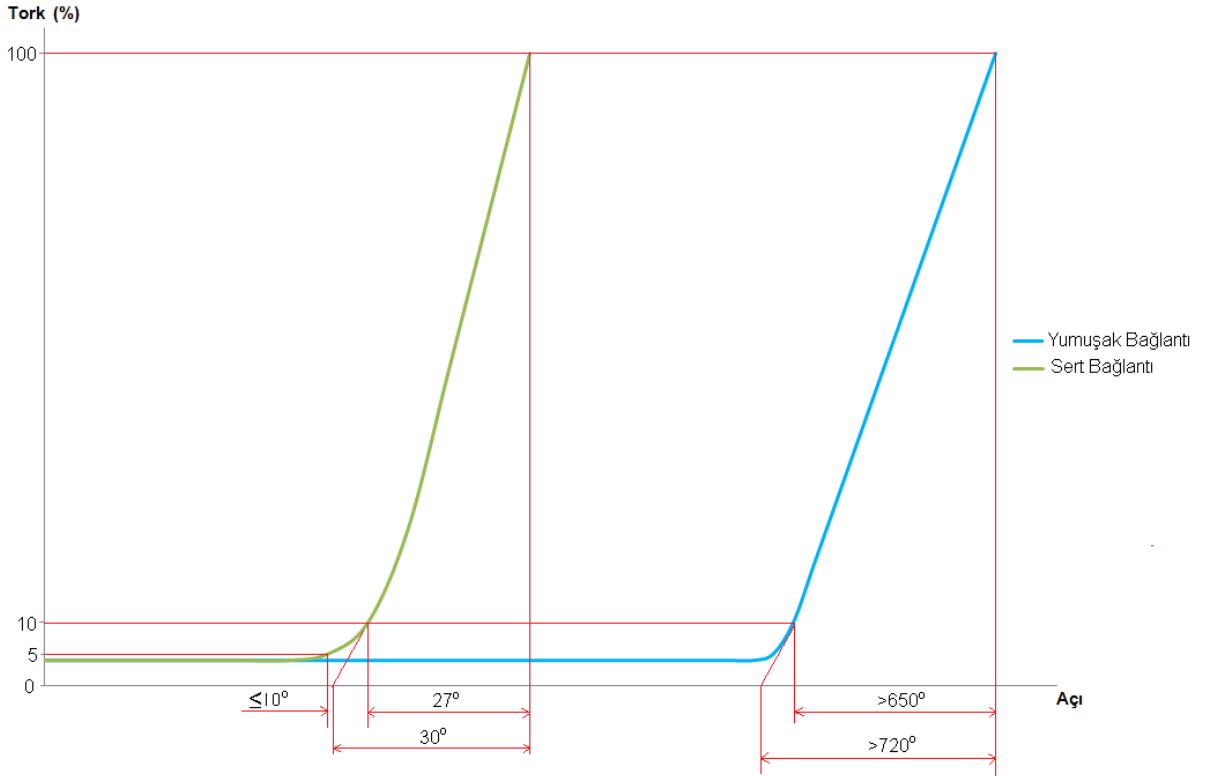
1. GİRİŞ

Vidalı bağlantılarda kullanılan havalı, elektrikli ve şarj edilebilir tork cihazları otomatik tork aletleri olarak adlandırılmaktadır. Bu aletler, kontrollü vidalı bağlantıların önem arz ettiği seri üretim bantlarında ve teknolojik olarak üst düzey cihazların imalat hatlarında kullanılmaktadır. Otomatik tork aletleri 1980'li yıllarda hızlı bir şekilde geliştirildiler [1]. Cihazların performansı da cihazların gelişme hızına paralel olarak gelişme göstermiştir. Bu aletler ile yapılan bağlantılarda tork saçılımı %15'in altına indirilmiştir. Bu durum otomatik tork aletlerinin performansının doğru olarak belirlenmesine yönelik yöntemlerin geliştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Geliştirilen standartlar, VDI/VDE 2647 ve ISO 5393 dür. Bu çalışmada, söz konusu standartlar çerçevesinde cihazların doğrulanmasına yönelik yöntemler ele alınmaktadır. Standartlardaki yöntemler, dişli bağlantı elamanları ile bağlantıların gerçekleştirilmesinde kullanılan, torku kesintisiz uygulayan, otomatik tork aletlerinin laboratuvar ortamında doğrulanmasına yöneliktir. Burada tanımlanan yöntemler, mandallı aletlere, darbeli anahtarlara, torku sürekli uygulamayan aletlere, her bir aşamada statik sürtünmenin olduğu aletlere uygulanmaz. Ayrıca, bu yöntemler, fabrikalarda gerçekleştirilen günlük kontroller için uygun değildir.

Vidalı bağlantılarda elde edilmek istenen yüksek doğruluk, bu tipteki bağlantılarda doğrusallığın elde edilmesinin zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Söz konusu doğrusallığın elde edilebilmesi için iyi tanımlanmış bir tork ölçüm sistemine gerek duyulmaktadır. Tork ölçme sisteminde yer alan tork dönüştürücüsü ve göstergesinin frekans cevabı, buradan alınan verilerin doğru olarak alınmasına uygun olması gerekmektedir. Ayrıca bağlantıyı simüle etmede kullanılacak bağlantı aparatının sert bağlantı tipinde de doğrusallığı sağlaması gerekmektedir. Bağlantı aparatının doğrusallığı sağlama zorunluluğunun olması, yapılacak testin laboratuvar ortamında gerçekleştirilecek olmasından kaynaklanmaktadır.

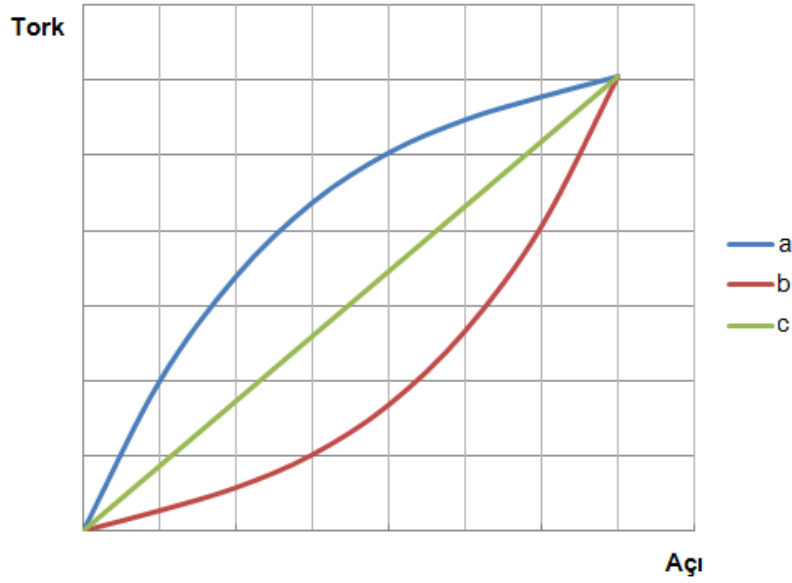
2. TEST BAĞLANTISI ve ÖLÇÜM SİSTEMİ

Vidalı bir bağlantı, sert ve yumuşak bağlantı olarak iki tipten oluşmaktadır. Gerçek bir bağlantıda iki bağlantının nasıl gerçekleştiğini ayırt etmek oldukça zor bir iştir. Fakat laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar ile bu bağlantı tipleri kesin çizgilerle bir birlerinden ayrılmıştır. Sert bir bağlantı gerçekleştirilmek isteniyorsa hedef tork değerinin %10'undan %100'ne 27°'lik açısal bir yer değiştirme ile ulaşılmalıdır. Hedef tork değerinin %5'den %100'ne ulaşınca kadar ise 30°'lik bir açısal yer değiştirme olmalıdır. Başlangıç statik sürtünme katsayısının aşılması için gerekli olan tork değeri, hedef tork değerinin %5'den daha fazla olmamalı ve buranın geçilmesi için yapılan açısal yer değiştirme 10°'yi aşmamalıdır [1,2]. Buna karşın yumuşak bir bağlantıyı gerçekleştirme için daha büyük açısal yer değiştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bir yumuşak bağlantının elde edilmesi için, hedef tork değerinin %10'undan %100'ne ulaşmak için 650°'den daha büyük bir açısal yer değiştirme olmalıdır. Buna ilaveten hedef tork değerinin %5'den %100'ne ulaşmak için ise 720°'den daha büyük bir açısal yer değiştirme olması gerekmektedir. Söz konusu değerlerin grafiksel gösterimi şekil 1'de verilmiştir.

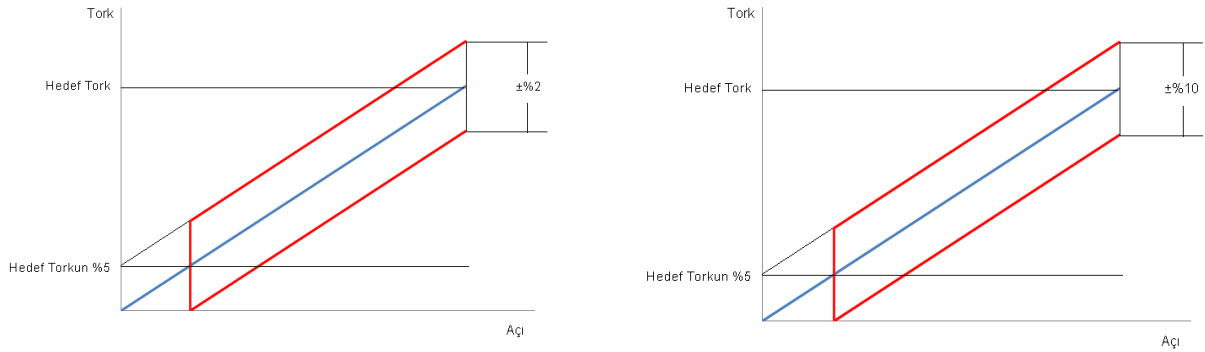


Şekil 1. Sert ve yumuşak bağlantı tiplerinde tork-açı değişim diyagramı [1].

Test bağlantı aparatı, otomatik bağlantı aletlerinin performansının her iki vidalı bağlantı tipinin elde edilmesi için önemlidir. Bağlantı aparatının doğrusallığı, bağlanma işleminin başından bağlanma işlem sonuna kadar etkilemektedir. Şekil 2'de a ile gösterilen eğri vidalı bağlantının sıkma yönün başlangıcını göstermektedir. Buda bize aletin dönen kısmına yüklenen kinetik enerjinin, test tork seviyesine ulaşıncaya kadar azalmakta olduğunu göstermektedir. Bunun anlamı bağlantıda aşırı tork yüklemesinin olmadığıdır. Şekil 2'de b ile gösterilen eğri, a'daki durumun tersidir. Test tork seviyesine ulaşıldığında, aletin dönen kısmının hızı yüksektir. Bu durumda kinetik enerji dönüşümü nedeniyle aşırı tork yüklemesi gerçekleşmektedir. Şekil 2'de c ile gösterilen eğri ise ideal bağlanma eğrisini göstermektedir. Sert bağlantının matematiksel simülasyonu, test tork değerinin %5'nin üzerindeki değerlerde, test tork değerinin $\pm\%2$ 'si kadar bir doğrusallığın yeterli olacağını, yumuşak bağlantı için ise test tork değerinin $\pm\%10$ 'nu kadar bir doğrusallığın yeterli olacağını göstermiştir [1]. Söz konusu durumun grafiksel gösterimi şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Vidalı bağlantılarda açı-tork değişimi [1].



Şekil 3. Vidalı bağlantılarda açı-tork değişiminde doğrusallık tolerans aralığı, sert ve yumuşak bağlantı için [1].

Burada tanımlanan düzeydeki doğrusallığı çelikten yapılmış bağlantı aparatları sağlamaktadır. Ayrıca test bağlantı aparatlarındaki sürtünme nedeniyle, şekil 3'de tanımlanan doğrusallık test tork seviyesinin %5'den itibaren istenmektedir. Burada bahsedilen düzeyde doğrusallığı sağlayabilecek tipteki bağlantı aparatlarına örnek teşkil edecek bir bağlantı aparatının şematik diyagramı şekil 4'de verilmiştir.

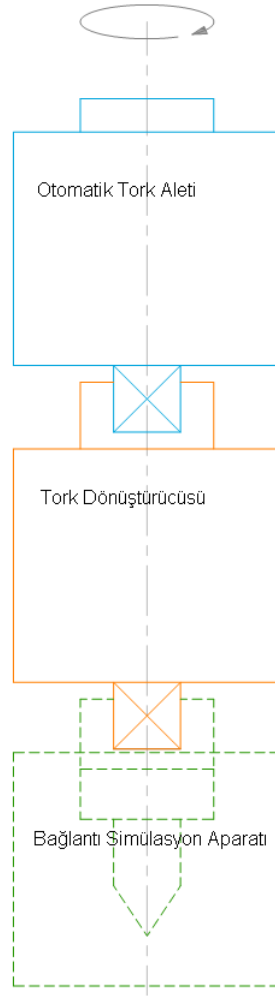


Şekil 4.Bağlantı simülasyon aparatı.

Test bağlantısındaki tork oranı ölçülürken, dinamik etkilerden etkilenmemek için sürekli bir sıkma gerçekleştirilmelidir. Bu ölçümü gerçekleştirebilmek için tork-açı değişimini ölçen bir enkoder ile ölçülmelidir. Kullanılacak enkoderin çözünürlüğü $0,5^\circ$ ($0,5^\circ$, 60 örnekleme noktasında test seviyesine ulaşmak demek) veya daha iyi olmalıdır. Bunun anlamı %1,7 çözünürlük demektir. Eğer burada kullanılacak enkoderin çözünürlüğü 1° olur ise, bu çözünürlük yeterli olmayacaktır. Bunun anlamı ise %3,3 çözünürlük demektir. Buda matematiksel simülasyon sonunda elde edilen $\pm 2\%$ lik tolerans sınırının dışında kalması demektir.

Test bağlantısındaki dönen kısımların eylemsizlik momenti, otomatik tork aletinin dönen kısmının eylemsizlik momentinden küçük olmalıdır. Ayrıca bu kısmın ölçülen ortalama tork üzerinde her hangi bir etkisi olmamalıdır.

Test sisteminde kullanılacak tork dönüştürücüsü şekil 5'de verildiği gibi bağlantı simülasyon aparatı ile otomatik tork aleti arasında olmalıdır. Ayrıca bu ölçümü gerçekleştirmek için kullanılacak tork dönüştürücüsü dönel tipte olan bir tork dönüştürücü olmalıdır. Tork dönüştürücü ile gösterge sisteminin sınıfı DIN 51309 standardına göre 0,2 (yada belirsizliği $\pm 0,2\%$) olmalıdır. Ayrıca kullanılacak tork dönüştürücüsünün kapasitesi test tork seviyesine uygun olmalıdır. Bu seçim yapılırken tork dönüştürücülerinin çalışma aralığı dikkate alınmalıdır. Genelde tork dönüştürücüler kapasitelerinin %10'unu ile %100 arasında kalibre edilir fakat günümüzde yeni geliştirilen tork dönüştürücüler kapasitelerinin %2'si ile %100 arasında da kalibre edilmektedir. Bahsedilen tork dönüştürücüler için tercih edilen aralık ise kapasitelerinin %10'unu ile %100 arasındadır. Tork dönüştürücüsü ile kullanılacak gösterge cihazının frekans cevabı 500 Hz de -3 dB olmalı ve 500 Hz üzerinde de bozulma oranı 50 dB/decade olmalıdır. Deneyimler 500 Hz frekans değerinin üzerinde elde edilen değerlerin vidalı bağlantının kalitesine etki etmediği göstermiştir [2].



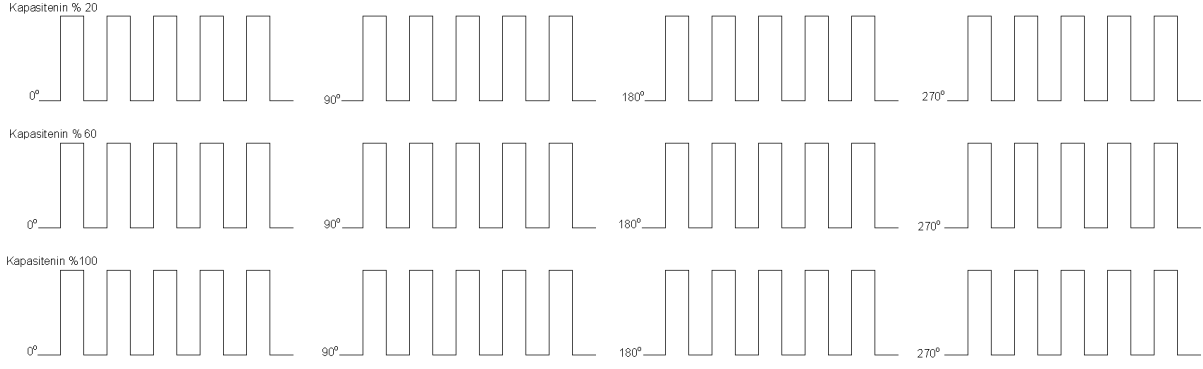
Şekil 5. Test sisteminin şematik gösterimi [2].

Şekil 5'de şematik olarak gösterilen test sistemi kullanıcıdan kaynaklı hataların oluşmasına müsaade etmeyecek şekilde bağlantıları yapılmalıdır. Eğer burada tanımlandığı gibi bir bağlantı gerçekleştirilmez ise otomatik tork aletinden bağlantı simülasyon aparatına doğru tork aktarılmaz, hedef tork değeri istenildiği gibi uygulanmaz ve istenilen bağlantı gerçekleştirilmez. Bu durumda istenmeyen doğrulama sonuçları elde edilmiş olur.

3. TEST PRUSEDÜRÜ ve VERİLERİN DEĞERLENİRİLMESİ

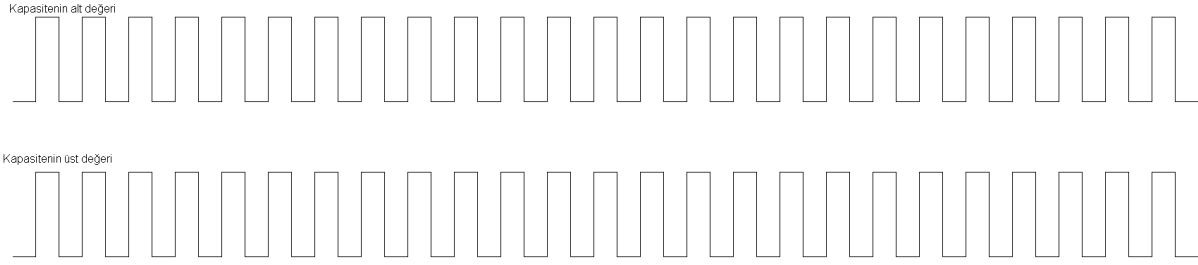
Her iki standartta otomatik tork aletlerini iki bağlantı tipinde de test edip sonuçlarını birleştirmeyi önermektedir. Fakat bu iki yaklaşım yönteminin ayrıldıkları nokta ise alet kapasitenin hangi değerlerinde test edileceğidir. Biz burada her iki yöntemin yaklaşımını da vereceğiz fakat alınan verilerin değerlendirmesinde ve bu verilerin raporlanmasındaki yöntemde ise ISO 5393'de belirtilen yaklaşıma yer vereceğiz. Test için laboratuvar ortamındaki sıcaklık değeri 18 °C ile 28 °C arasında bir değerde olmalıdır. Test süresince bu değer dalgalanması ise ± 2 °C'den daha fazla olmamalıdır.

VDI/VDE 2647'de otomatik tork aleti, kapasitesinin % 20, % 60 ve %100 de her iki bağlantı tipinde veriler alınarak yapılmalıdır. Her ölçüm noktasındaki, her bağlantı pozisyonunda (0°, 90°, 180°, 270°) 5 veri alınmalıdır. Bu veri alma işlemi şematik olarak şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. VDI/VDE 2647'ye göre veri alma işleminin şematik gösterimi.

ISO 5393'de her bağlantı tipinde (sert ve yumuşak) alınması önerilen veri sayısı 25 ve cihazın kullanım aralığının alt ve üst sınırında performansının kontrol edilmesini tavsiye edilmektedir.. Bu standardın veri alma şeklinin şematik gösterimi de şekil 7'de verilmektedir. Burada her sıkmadan (yüklemeden) sonra en az 5 s en fazlada 30 s beklenmelidir. VDI/VDE 2647'ye göre ise bu süreler % 20'de 5 s, % 60'da 15 s, ve % 100'de 30 s'dir.



Daha öncede belirtildiği üzere, bu çalışmada verilerin değerlendirilmesi ve raporlanma biçimi ISO 5393'ün yaklaşımına göre yapılacaktır. Her iki bağlantı tipindeki veriler önce ayrı ayrı değerlendirilecek daha sonra birleştirilecektir. Bu değerlendirmenin yapılması için aşağıda verilen tanımlamalardan faydalanılacaktır.

- Ortalama tork (T_{ort}),
- Tork Aralığı (T_R),
- Standart sapma (s),
- 6s tork saçılması,
- 6s tork saçılmasının ortalama torkun yüzdesi olarak ifade edilmesi.

n sayıdaki tork değerlerinin toplanıp ölçüm sayısına bölünmesi ile elde edilen değer, ortalama torktur.

$$T_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad 1$$

Aynı ölçüm serisindeki en düşük tork değeri ile en yüksek tork değeri arasındaki fark, tork aralığıdır.

$$T_R = \max(T) - \min(T) \quad 2$$

Standart sapma

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_i - T_{ort})^2} \quad 3$$

6s tork saçılmasının, ortalama torkun yüzdesi olarak ifade edilmesi

$$6s(\%) = \frac{6s}{T_{ort}} \times 100 \quad 4$$

Bağlanmadaki düzgün tork oranı pratikte nadiren kullanılır. Tek bir tork oranında sert mi, yumuşak bağlantımı gerçekleştiği net olarak bilinmez. Gerçek bir bağlantıda her iki bağlantı tipide gerçekleşmiş olabilir. Bu yüzden otomatik tork aletlerinin performansını tayin etmek için her iki bağlantı tipinden elde edilen sonuçların birleştirilmesi daha gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır. Buradan elde edilen sonuçlar gerçek bağlantılarda cihazın performansı ile ilgili daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Her iki bağlantı tipinden elde edilen sonuçların birleştirilmesi aşağıda verildiği gibi yapılabilir.

- Birleşik ortalama tork,
- Ortalama kayması,
- Birleşik tork saçılması,
- Birleşik tork saçılmasının, birleşik ortalama torkun yüzdesi olarak ifade edilmesi.

Yukarda ki ifadelerin hesaplanması için aşağıda denklem 5 de verilen ifadeler kullanılacaktır.

$$\begin{aligned} a &= T_{ort_H} + 3s_H \\ b &= T_{ort_L} + 3s_L \\ c &= T_{ort_H} - 3s_H \\ d &= T_{ort_L} - 3s_L \end{aligned} \quad 5$$

Birleşik ortalama tork

$$T_{ort_birleş} = \frac{a + b + c + d}{2} \quad 6$$

Ortalama kayması

$$T_{ort_Kay} = T_{ort_H} - T_{ort_L} \quad 7$$

Birleşik tork saçılması

$$\Delta T_{birleş} = (a + b) - (c + d) \quad 8$$

Birleşik tork saçılmasının, birleşik ortalama torkun yüzdesi olarak ifade edilmesi

$$\Delta T_{birleş}(\%) = \frac{\Delta T_{birleş}}{T_{ort_birleş}} \quad 9$$

Yukarda verilen ifadeler kullanılarak cihazın genel performans değerlendirmesi, birleşik tork saçılması olarak bulunur. Elde edilen bu sonuç, cihazın tanımlanan tork aralığı için geçerli olur. Elde edilen değerlerden en büyükünün kullanılması, cihazın güvenilir düzeyini artıracığından, daha uygun olacaktır.

SONUÇ

Seri üretim bantlarında operatör kaynaklı hataların minimize edilmesi için 1980'li yıllardan itibaren kullanıma alınan otomatik tork aletlerinin doğrulamasına yönelik yöntemlere tartışılmış ve ele alınan yöntemlerden VDI/VDE 2647'nin prosedürel yaklaşımına yer verilirken, ISO 5393'ün hem prosedürel yaklaşımına hem de veri değerlendirme yöntemine yer verilmiştir.

Her iki yaklaşımda, verilerin değerlendirmesini sert ve yumuşak olarak ayrı ayrı inceleyip sonuçlarını birleştirmektedir. Biz burada ISO 5393'ün yöntemine yer verdik. ISO 5393'ün değerlendirme biçimine yer vermemizin nedeni, bu yaklaşımın daha yaygın olarak kullanılmasıdır. Diğer yaklaşım daha bölgesel olarak kullanılmaktadır.

Otomatik tork aletlerinin doğrulanmasında kullanılan, bağlantı simülasyon aparatının hem sert, hem de yumuşak bağlantının gerçekleşmesine sağlayacak şekilde tasarlanmış olması gerekmektedir. Ayrıca burada kullanılacak tork ölçümünde kullanılacak dönüştürücü, dönel bir tork dönüştürücüsü olmalı ve belirsizliği % 0,2 yada daha iyi olmalıdır. Kullanılan gösterge cihazının frekans cevabı 500 Hz'de -3dB olmalıdır.

Düzenlenecek raporda (sertifikada) aşağıda verilen bilgilere yer verilmelidir.

- Birleşik ortalama tork
- Ortalama kayması
- Birleşik tork saçılması
- Birleşik tork saçılmasının, birleşik ortalama torkun yüzdesi olarak ifade edilmesi.

Yapılan bu çalışma ile ülkemizde seri üretim bantlarında otomatik tork aletleri kullanan firmalara, cihazların doğrulamalarının nasıl yapıldığı konusunda yol göstermek ve bu konuda hizmet verecek laboratuvarların hizmet kalitelerini artırmak hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] ISO 5393, "Rotary tools for threaded fasteners- Performance test methods" , 1994

[2] VDI/VDE, 2647, "Transducer for nutrunning systems Guideline for dynamic checking of tools according to ISO 5393", 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Osman AKKOYUNLU

1971 yılında Afyon'da doğan Osman AKKOYUNLU, 1995 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünden Fizikçi olarak mezun oldu. 2000 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında Yüksek Lisansını tamamladı. Çalışma hayatına, 1995 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümünde Araştırma Asistanı olarak başladı. 1999 yılında Ulusal Metroloji Enstitüsünde Araştırmacı olarak çalışmaya başladı ve halen TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde çalışmalarını sürdürmektedir. 2000-2006 yılları arasında İlk Ulusal Referans Tork Standardı olan "1000 N·m kapasiteli Tork Standardı Makinesinin" gerçekleştirilmesi projesinde görev aldı. 2008-2012 yılları arasında "0,2 N·m ile 1000 N·m Ölçüm Aralığında TSE'de Tork Ölçümlerine Yönelik Statik Tork Ölçme Sistemlerinin Tasarlanması, Geliştirilmesi ve Kurulması" projesinde proje çalışanı, 2009-2012 yılları arasında "Çevresel Testler Merkezi Kurulması" projesinde, proje yürütücüsü olarak çalışmıştır. Osman AKKOYUNLU, iyi derecede İngilizce, bilmektedir.