

TORK STANDARDLARININ OLUŞTURULMASI VE SANAYİYE TRANSFERİ

Çetin DOĞAN, Sinan FANK, M. Aftab UDDIN, Hayrettin PARLAKTÜRK
TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü

ÖZET

Sanayide sıklıkla kullanılan tork araç ve gereçlerinin, güvenle kullanılabilmesi için kalibrasyonlarında istenilen doğrulukta yapılabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, bu makalede Ulusal Metroloji Enstitülerinde tork standardının oluşturulmasında ve tork dönüştürücülerinin kalibrasyonunda kullanılan tork standardı makinalarına yer verilmiştir. Tork standardı makinalarının temel prensipleri ortaya konarak, oluşturulan tork standardının sanayiye transferine değinilmiştir.

Anahtar kelime: Tork standardı makinası, tork ölçüm zinciri.

1. GİRİŞ

Endüstride yaygın olarak kullanılan tork ölçme araçları (tork dinamometreleri, tork dönüştürücüleri, tork anahtarları, torkmetreler v.b) doğru olarak ölçüm yapabildikleri sürece kaliteli ürünlerin imalatına ve doğru testlere olanak sağlarlar. Bu nedenle tork ölçüm cihazlarının yüksek doğrulukta ve uluslararası ölçüm zincirine bağlanmış olarak kalibra edilmeleri gerekmektedir. Ülke içindeki ölçümlerin ulusal ve uluslararası harmonizasyonunu sağlayan kuruluşlar olarak metroloji enstitüleri gerekli standartları bünyelerinde bulundurarak birincil düzey laboratuvarlarını kurarlar. Bu amaçla, birincil düzey laboratuvarında kullanılan tork standardı makinalarına, tork ölçme zincirine ve Ulusal Metroloji Enstitüsünün (UME'nin) hedeflerine bu makalede yer verilecektir.

2. TORK STANDARDI MAKİNALARI

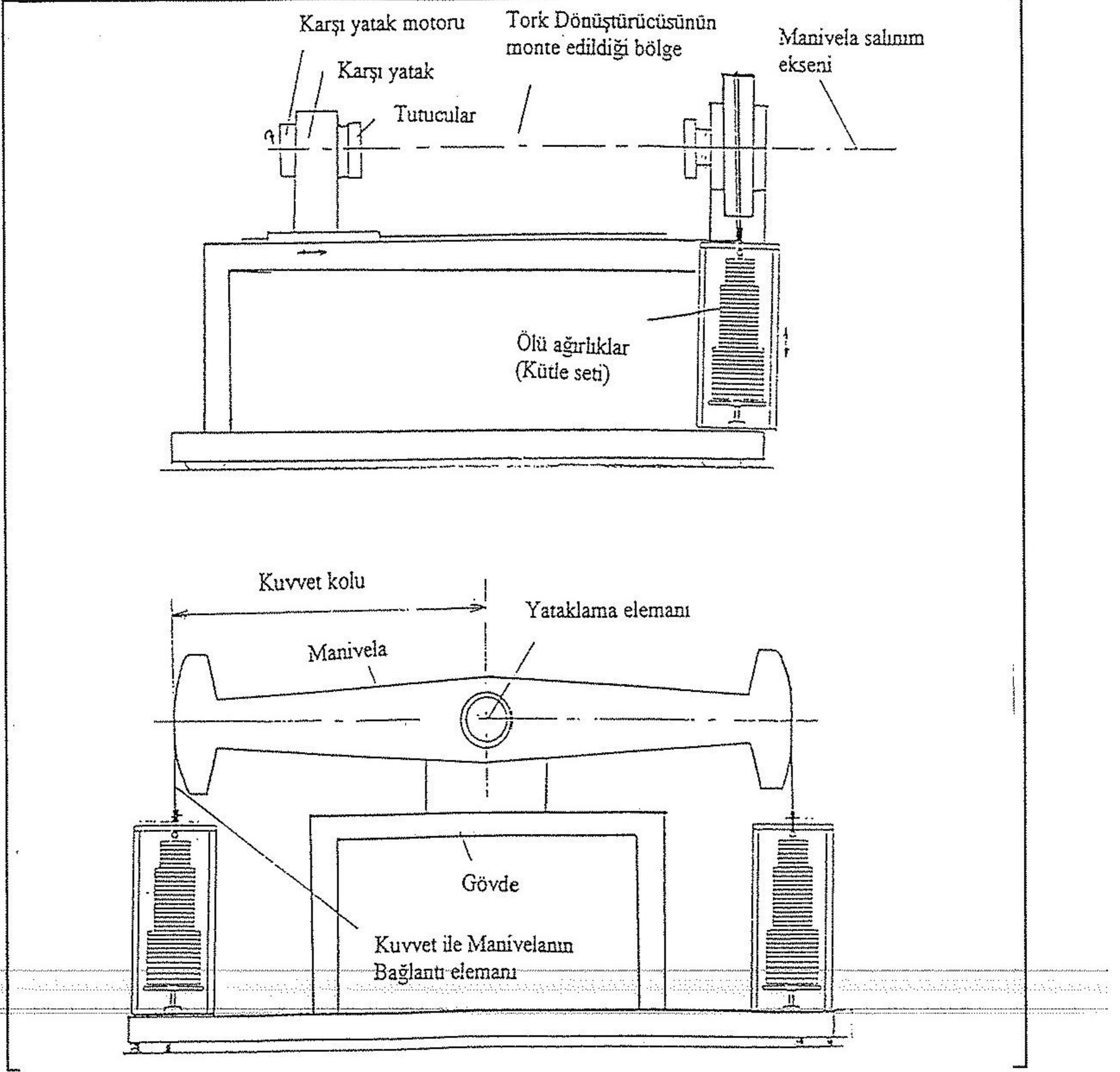
Her ülkenin kendi Ulusal Metroloji Enstitüsü bünyesinde kurulan tork standardı ve tork ölçüm laboratuvarı torku, uzunluk ve kuvvet gibi iki temel büyüklüğü kullanan tork standardı makinalarında gerçeklerler.

Tork standardı makinaları (TSM), torku gerçeklerken torkun tanımını kullanan makinalardır ve statik tork ölçümünü esas almaktadır. Bu tanıma göre tork, bir kuvvetin bir nokta üzerinde yarattığı döndürme etkisidir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Kuvvet = Uzunluk (Kuvvet kolu) × Kuvvet

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1)$$

TSM'lerinde kuvvet kolunu oluşturabilmek için rijit bir manivela kullanılır. Kuvveti oluşturabilmek için, ölü ağırlık diye adlandırılan yerçekimi etkisine bırakılmış kütleler kullanılır. Kuvveti oluşturabilmek için bunun dışında hidrolik sistemler veya elektrikli motorlu sistemler de kullanılmaktadır. (Şekil.1)



Şekil.1. Ölü ağırlıklı tork standardı makinasının şematik görünümü.

Tork vektörel bir büyüklük olduğundan, hem uzunluk vektörünün hemde kuvvet vektörünün yönü iyi belirlenmelidir. Ancak bu durumda tork istenilen doğrulukta oluşturulabilir. Bu güne kadar yapılan TSM'lerinde kuvvetin yönü kolaylığından dolayı pozitif yerçekimi yönünde alınmıştır. Bu durum özellikle kuvveti oluşturmak için ölü ağırlıkların kullanıldığı makinalarda büyük kolaylık sağlamaktadır. Uzunluk (kuvvet kolu) vektörünün doğrultusu ise yine

pratikliğinden dolayı kuvvet kolunun yer yüzeyine paralel olması ile sağlanmaktadır. Böylece uzunluk ile kuvvet arasındaki açı hep dik iken ($\pi/2$) tork gerçekleşmektedir.

Yüksek doğrulukta tork birimini gerçekleyebilmek için TSM'lerinde kuvveti oluştururken ölü ağırlıklar kullanmak gerekmektedir. Çünkü en küçük belirsizlik değerine ancak bu prensibi kullanan sistemlerle ulaşılır. Bu nedenle tork biriminin gerçekleşmesini daha iyi anlayabilmek için (1) nolu formülden de anlaşılacağı gibi kuvvetin nasıl oluşturulduğuna bakmak gerekir [1].

Kuvvet biriminin gerçekleşmesinde elde edilen en küçük belirsizlik 2×10^{-5} dir. Bu belirsizlik düzeyine erişebilmek için kullanılan kütleler (ölü ağırlıklar) en az 2×10^{-6} düzeyinde bir belirsizlikle saptanmalıdır. Unutulmamalıdır ki kuvveti oluşturan kütleler, havanın kaldırma kuvveti ve yerel yerçekiminin etkisi altındadır. Havanın kaldırma kuvveti ve yerçekimi etkisi altındaki bu kütlelerin oluşturduğu kuvvet ve ona bağlı olarak tork şöyle formülize edilir.

Kuvvet = Kütle \times yerel yerçekimi ivmesi

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g}_{yerel} \quad (2)$$

$$F = K \cdot m \cdot g_{yerel} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{hava}}{\rho_{kütle}}\right) \quad (3)$$

(2) nolu denklem yeniden hatırlanırsa,

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$T = l \cdot F \cdot \sin(\theta) \quad (4)$$

$$T = l \cdot F \cdot \sin(\pi / 2) \quad (5)$$

(3) nolu denklem (5) nolu denklemde yerine konursa

$$T = l \cdot K \cdot m \cdot g_{yerel} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{hava}}{\rho_{kütle}}\right) \cdot \sin(\pi / 2) \quad (6)$$

\vec{r}	: Uzunluk vektörü	m	: Yerçekimi ivmesinin etkidiği cismin kütlesi,
l	: Kuvvet kolunun uzunluğu	g_{yerel}	: Yerel yerçekimi ivmesi,
θ	: Uzunluk vektörü ile kuvvet vektörü arasındaki açı. TSM'da bu açı her zaman $\pi/2$ 'ye eşittir.	ρ_{hava}	: Havanın yoğunluğu,
K	: Oran katsayısı. SI birim sisteminde bu oran 1'e eşittir.	$\rho_{kütle}$: Yerçekimi ivmesinin etkidiği cismin yoğunluğu'dur

Oluşturulan torkun yüksek doğrulukta olması için sadece kuvvetin en düşük belirsizlikle oluşturulması yetmemektedir, bununla beraber kuvvet kolunun ve kuvvet kolu ile kuvvet arasındaki açının iyi belirlenmesi ve son olarak oluşturulan torkun en az kayıp ve en az yan etkiyle aktarılması gerekmektedir.

Torkun oluşturulması sırasında, kuvvetin uygulanmasıyla birlikte manivela da deformasyon ve dönme oluşur. Buda manivelanın yere göre paraleliğinden sapmaya (yani kuvvet kolunu oluşturan vektörün değişmesine) ve kuvvet kolu ile kuvvet arasındaki açının ise değişmesine neden olmaktadır. Bu değişimler, gerçekleşmek istenen tork değerinin doğruluğunda saptamalara neden olur. Yüksek doğrulukta faaliyet göstermek isteyen bir laboratuvar için bu değişimler önemli olduğundan, bu laboratuvarlarda kullanılan makinalarda bu deformasyonu geri kazandıracak mekanizmalar bulunmaktadır (karşı yatak tarafında olacak şekilde). TSM'da, manivelanın bu hareketini geri kazandıran sistem bulunmadığı durumlarda bu sapma hesaplamalarla makinanın belirsizliğine yansıtılır.

Oluşturulan torkun en az kayıpla iletilmesi için günümüzde kullanılan metodların başında, manivelanın gövdeye bıçak sırtı üzerinden oturtulması gelmektedir. Bıçak sırtı dışında, rulman yataklama, hava yastıklı yataklama ve gerinim ölçerli (stain gageli) yaprak yaylı bağlantılar kullanılmaktadır. Hava yastıklı yatak veya gerinim ölçerli yaprak yay ile gövde manivela bağlantısı yapılan sistemlerde en düşük kayıpla tork iletilmektedir. Tüm bu yataklamaların sonucunda, tork eğilme momenti ve kesme kuvvetinden mümkün olduğunca yalıtılmış olarak ve enaz kayıpla kalibre edilecek tork dönüştürücüsüne aktarılır. Kalibrasyon yöntemine bağlı olarak tork dönüştürücüsünde eğilme momenti ve kesme kuvveti, tork dönüştürücüsünün diğer ucuna konacak bir sistemle yeniden oluşturulabilir.

Ulusal metroloji enstitülerinde yüksek doğrulukta kullanılması pılanlanan TSM'ları için yataklamadan gelen belirsizlik ile kuvvet kolunun belirsizliği dönme etkisiyle beraber en az 2×10^{-5} düzeyinde olmalıdır. Kuvvetin ve kuvvet kolunun oluşturulmasında istenen en düşük belirsizlik değerlerine pratikte ulaşmanın zorluğu ve pahalılığı göz önüne alındığında, bu değerler ülkelerin sahip olduğu endüstriyel düzeye bağlı olarak daha yukarıya çekilebilir.

Torkun tanımını kullanarak tork oluşturan TSM'ları iki ayrı şekilde sınıflandırılabilir.

1. Sabit uzunluktaki kuvvet koluna (manivela) değişken kuvvetlerin uygulanması prensibine göre çalışan TSM'ları: Günümüzde ki tüm ulusal metroloji enstitülerinde bu yöntemle göre tork birimi gerçekleştirilmektedir.
2. Değişken uzunluktaki kuvvet koluna sabit kuvvetin uygulanması prensibine göre çalışan TSM'ları: Henüz hiçbir ulusal metroloji enstitülerinde bu yöntemle göre çalışan yüksek doğruluklu TSM bulunmamakla beraber, bazı ikincil düzey laboratuvarlar tarafından bu yöntem kullanılmaktadır.

Birinci yöntemle göre tasarlanan makinaların temel elemanları şöyle sıralanabilir (Şekil 1.): Kalibre edilecek tork dönüştürücüsünün monte edildiği tutucular (kavrama veya bağlantı elemanı). Yüksüz konumdayken (makina boştayken) yeryüzeyi ile paralel kalacak şekilde dengede olan, çift kollu, simetrik bir manivela. Kuvvet değerlerini oluşturacak ölü ağırlıklar (kütle setleri). Ölü ağırlıkların manivelaya asılmasını sağlayan boyunduruk ve/veya hareketli sehpa (masa). Manivelada yükmeden dolayı oluşan dönmeyi geri kazandıran bir mekanizma (karşı yatak tarafında olacak şekilde). Manivelayı gövdeden ayırarak oluşturulan torkun minimum kayıpla iletilmesini sağlayan ve oluşan diğer kuvvetleri (kesme kuvveti ve eğilme momenti) üstüne alan yatak ve tüm bunları taşıyan gövde. Kuvvetin uygulandığı nokta ile manivelanın salınım eksenine kuvvet kolunu vermektedir. Kuvvetin istenilen noktadan aktarılmasını sağlayan bağlantı elemanı (metal yaprak, gerinim ölçerli (stain gageli) yaprak yay veya bıçak sırtı). Manivelanın paralellliğini kontrol eden kontrol elemanları (laser tabanlı sistemler veya temasız kontrol elemanları)

Birinci tipteki TSM'sının elemanları belirlenirken, yüksek doğrulukta kuvvet oluşturmak için ölü ağırlıklara yer verilmiştir. Görece daha kaba belirsizlikle çalışan TSM'larında, kuvvet

oluşturmak için ölü ağırlıklar yerine hidrolik sistemler veya elektrik motorlu sistemler kullanılabilir. Özellikle yüksek kapasitelerde ki tork standard makinalarında bu sistemlere tercih edilmektedir. Bu sistemlerde kuvvet, kuvvet dönüştürücüsü üzerinden manivelaya bağlanır. Böylece uygulanan kuvvetin kontrolü de sağlanır. Bu şekilde tasarlanmış kuvvet dönüştürücülü TSM'lerinde, makinanın belirsizliği kuvvet dönüştürücüsünün belirsizliğiyle sınırlandırılmış olur. Ölü ağırlıklı makinalarda yükleme adımları kütle değerleri ile sınırlıyken, kuvvet dönüştürücüsünün kullanıldığı uygulamalarda yükleme adımları istenildiği kadar artırılarak bilinmektedir.

İkinci yöntemde göre tasarlanan makinaların temel elemanları ölü ağırlık makinasından farklı olarak şöyle sıralanabilir: Kuvvet değerlerini oluşturacak kütle setleri ve bu kütle setlerinin hareketini sağlayan sistem yerine, değeri sabit bir kütle ve bu kütlenin manivela üzerinde hareketini sağlayarak gerekli tork adımlarının oluşmasına izin veren ray ve tahrik sistemi vardır [3]. Bu prensiple çalışan makinalar ölü ağırlık tiplerine göre daha basittirler. Ölü ağırlıklı standard makinalarında yükleme adımları kütle değerleri ile sınırlıyken, bu tipte ise kullanılan rayın özeliğine bağlı olarak yükleme adımları istenildiği kadar artırılarak bilinmektedir. Örneğin bir sonsuz vida üzerinde hareket eden bir sabit kütle için kalibrasyon yükleme adımı tahrik sisteminin çözünürlüğüyle sınırlıdır. Yine bu tip standard makinalarda sabit kütlenin manivela üzerinden kayarken salınım ekseninden geçmesi mümkün olduğundan sıfır tork değerinden geçerek kesintisiz olarak tork yönünü değiştirmek mümkün olmaktadır.

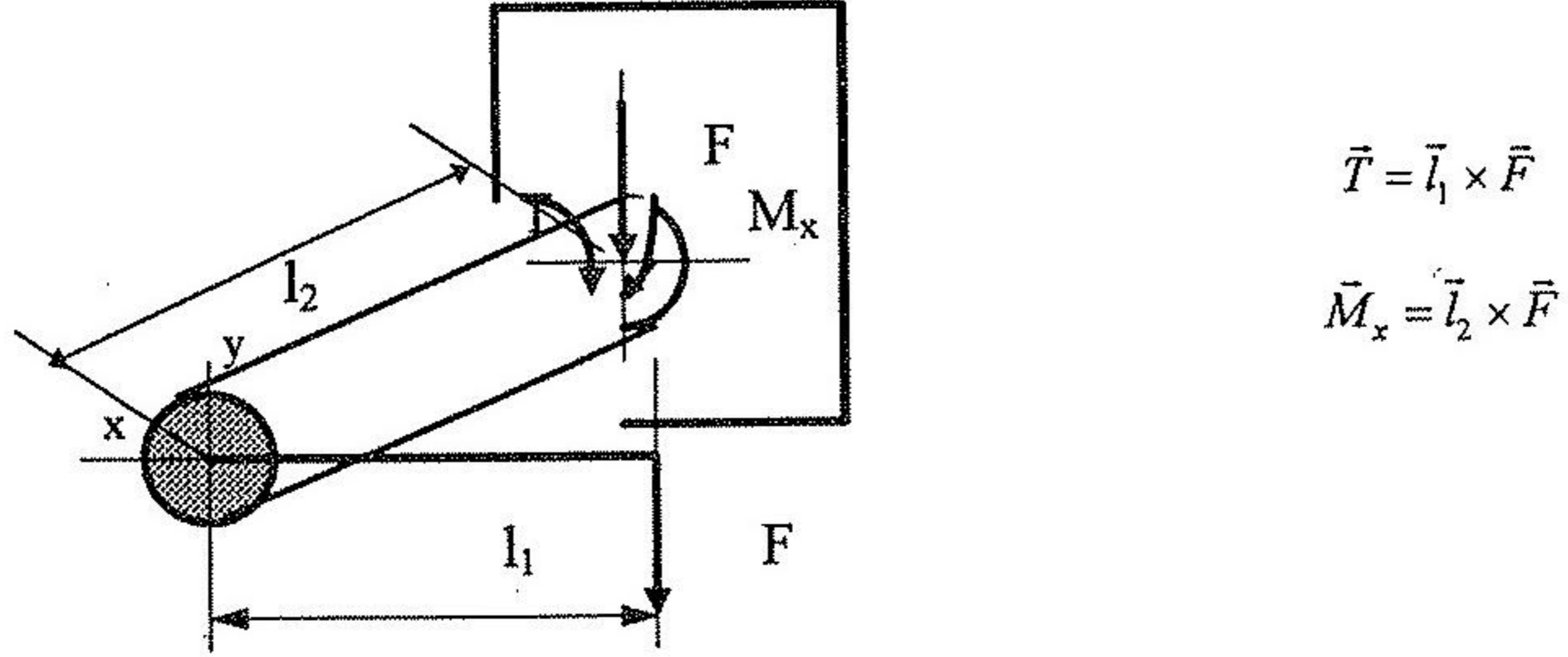
İkinci tip makinalarda kuvvet kolu devamlı değiştiğinden, kuvvet kolunun doğruluğu yüksek bir şekilde sağlanması, bu amaç için kullanılan sistemle doğru orantılıdır. Bunun için ilk akla gelen yöntemler: sistemi tahrik eden motorun devir sayısını kontrol edilmesi, manivela üzerinde boyut ölçücek bir sistemin konması veya manivelanın üzerinde çeşitli tork değerleri için taksimatların yapılması.

3. TORK ÖLÇÜM ZİNCİRİ

Tork ölçüm zinciri, tork ölçümünde kullanılan yüksek doğrulukta dönüştürücülerden basit tork ölçme araçlarına veya tork anahtarlarına kadar tüm tork ölçme aparatlarının birbirlerine göre izlenebilirliğini sağlar. Tork ölçüm zinciri oluşturulurken, doğruluğu düşük olan tork ölçme aleti veya makinasının çalışma belirsizliği doğruluğu kendisinden daha iyi olan başka bir tork ölçme aletine veya makinasına bağlanmıştır (tüm ölçme zincirlerinde olduğu gibi). Bu prensip doğrultusunda Türkiye'de tork ölçüm zincirinin oluşturulması için Şekil.4. ki tork skalası öngörülmüştür.

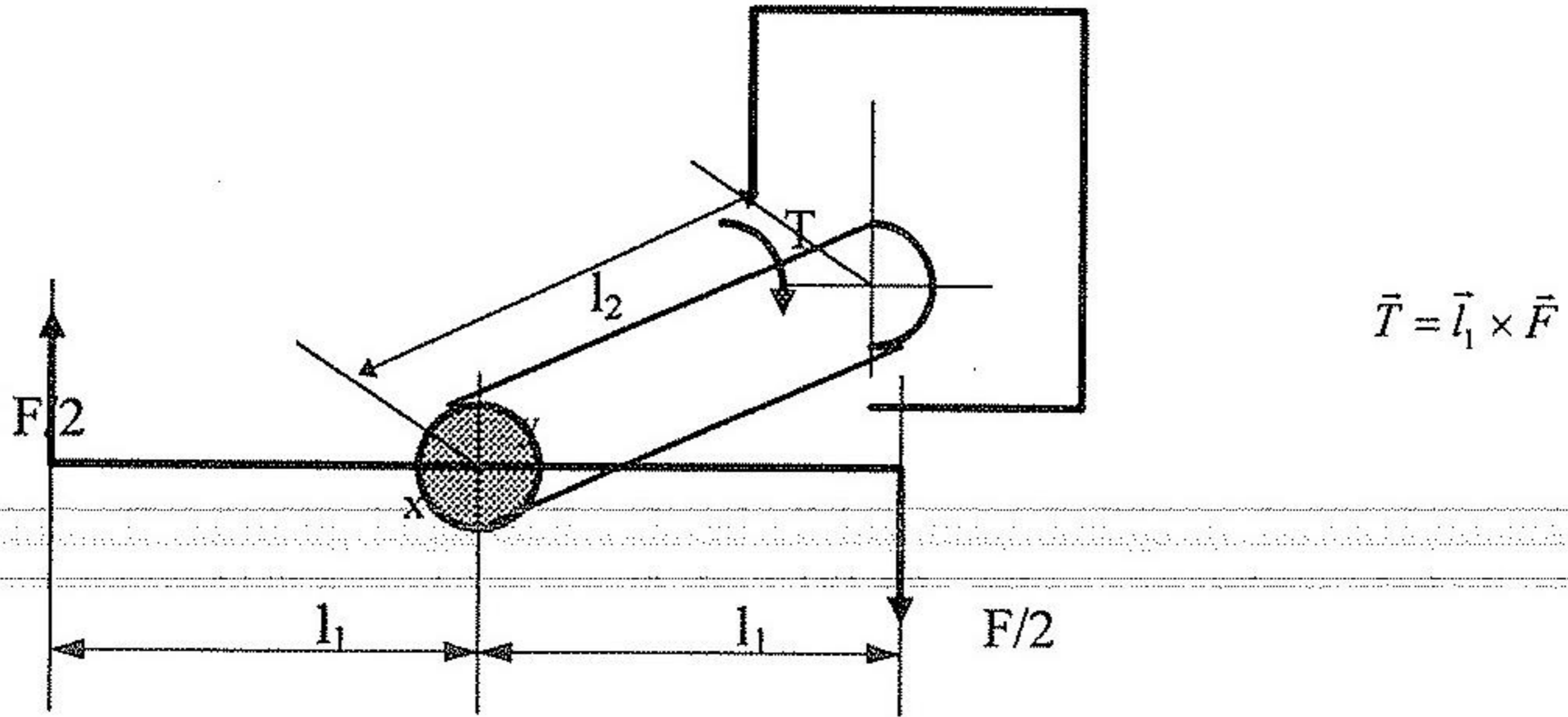
Özellikle otomotiv sanayisinde sıklıkla kullanılan tork anahtarları göz önüne alındığında, torkun kesme kuvveti ve eğilme momenti ile beraber iletildiğini görürüz. Bu durum tork ölçüm zincirinin iki kola ayrılmasına neden olur [4]. Tork ölçme araçlarının kalibrasyonunda henüz kesme kuvveti ve eğilme momentini dikkate alan bir ISO standardı bulunmadığından bu ayırım şimdilik Almanya'da (DIN'e yer verilmiştir.) kullanılmaktadır (Şekil.2, ve 3)

Kesme kuvveti ve eğilme momenti ile **beraber** torkun gerçekleşmesi.



Şekil.2. Torkla beraber oluşan M_x eğilme momenti ile F kesme kuvveti

Kesme kuvveti ve eğilme momenti **olmadan** torkun gerçekleşmesi.



Şekil.3. Eğilme momenti ve F kesme kuvveti oluşturmadan torkun gerçekleşmesi

ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ (UME)

**ULUSAL TORK STANDARDI VE
TORK ÖLÇÜMLERİ LABORATUVARI**

Belirsizlik: $1 \cdot 10^{-4}$ ile $2 \cdot 10^{-5}$ arası.

Transfer Standardı
Yüksek hassasiyetteki
Tork dönüştürücüleri

Transfer Standardı
Yüksek hassasiyetteki
Referans tork anahtarları (dönüştürücüleri)

**TÜRK KALİBRASYON SERVİSİ BÜNYESİNDEKİ
İKİNCİL SEVİYE LABORATUVARLAR**

Belirsizlik: $1 \cdot 10^{-4}$ ile $2 \cdot 10^{-3}$ arası

Tork dönüştürücüleri

Referans tork anahtarı (dönüştürücüleri)

KALİTE ÇEMBERİ İÇİNDEKİ LABORATUVARLAR

Kalibrasyon Makinaları

Tork Anahtarı Kalibrasyon Makinaları

SANAYİ UYGULAMALARI

(Üretim hatları, Atölyeler v.b)

Belirsizlik: % 3-6

Tork ölçümünde kullanılan muhtelif araçlar.

Tork anahtarları

Şekil.4. Tork Ölçüm Büyüklüğünde Oluşturulması Öngörülen Ulusal Skala

4. SONUÇ

Türkiye’de tork ölçüm zincirinin en üst basamağını oluşturabilmek için, yukarıda anlatılan prensipler doğrultusunda Ulusal Metroloji Enstitüsü Kuvvet Laboratuvarı bünyesinde bir Ulusal Tork Standardı ve Tork Ölçümleri Laboratuvarı kurulması planlanmaktadır. Bu laboratuvarın ilk aşama için çalışma aralığının 1 Nm ile 2000 Nm’e arasında olması öngörülmüştür, Laboratuvarda kullanılacak TSM’lerinin belirsizliği en az 1×10^{-4} düzeyinde olası ve 1998 yılı içinde faaliyete geçmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. ÖZBAY H. Ö. 100 kN Kapassiteli Basma Tipli Gerinim Ölçerli Kuvvet Dönüştürücüsü Tasarımı, 1997, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
2. Fintinaru NICOLASN, Lambert VALANTIN, Deadweight Standard Machines For The Static Calibration of Torque Transducers, National Institute of Metrology Bucharest Laboratoray Timișoara, Romanya
3. Gassmann Theiss masstechnik GmbH, Ürün kataloğu, Seehaim Almanya
4. K. ADOLF, D. MAUERSBERGER, D. PESCHEL, Specifications And Uncertainty Of Measurement of The PTB’s 1kNm Torque Standard Machine, , PTB - Almanya.