

YENİ “kg” TANIMLANMASININ MEVCUT BİRİMLERE ETKİSİ

Bülent AYDEMİR

ÖZET

Yeni Kilogram tanımlamak için yapılan son öneride, kuvvet, tork, basınç vb. gibi ilgili birimlerin gerçekleştirilmesi de dahil olmak üzere tüm izlenebilirlik zincirinin değişmeden kaldığı görülüyor. Bu, yeni kilogram tanımını ve tüm yeni SI (international system of units)'yi daha kabul edilebilir hale getirmek için dolaşan slogandır. Aslında, kilogram gerçekleştirilmesinin Kibble Balans (Kibble Balance or watt balance) gibi sistemler ile elde ettikten sonra, bir belirsizlikle kütle standardı, örneğin bir kuvvet standardının gerçekleştirilmesi için bir başlangıç noktası, olarak kullanılabilir. Aslında, Kibble balans düzeneğini oluşturan denklemler, birincil yöntemle, yalnızca kütle büyüklüğünü değil, aynı zamanda kuvvet büyüklüğünün de belirsizliği en azından nominal olarak düşük olma avantajıyla gerçekleştirilmemizi sağlar.

Bu tür standartların bazı deneyleri ve pratik gerçekleştirmeleri, örneğin, SI ile izlenebilirliğinin, yerçekimi kuvvetini dikkate almayan yöntem kullanılarak ilk kez başarılı bir şekilde uygulaması bir tork standardının gerçekleştirilmesi ile yapılmıştır.

Bu yaklaşım, kuvvet, tork, basınç vb. gibi mekanik büyüklüklerin artık kütle ile değil sadece elektriksel büyüklüklerle ilişkili olacağı yeni senaryolara zemin hazırlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kütle tanımı, Kuvvet tanımı, Tork tanımı, Basınç tanımı

ABSTRACT

After redefining the kilogram, the entire chain of traceability, including the realization of related units, is the force, torque, pressure and so on, remains unchanged. This is the motto circulating to make the new definition of kilogram and the whole new SI (international system of units) more acceptable. In fact, after achieving kilogram realization with systems such as Kibble Balance or watt balance, the mass standard with an uncertainty can be used as a starting point for the realization of a force standard. In fact, the equations that regulate the Kibble balancing mechanism enable us to realize by the primary method the advantage of not only the mass size but also the uncertainty of the force size being at least nominally low.

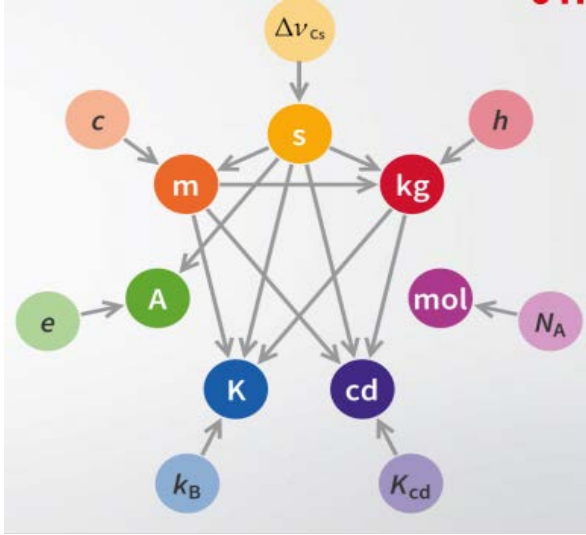
Some experiments and practical realizations of such standards have been made, for example, by the successful implementation of a torque standard for the first time using traceability of SI, using a method that does not take into account the force of gravity.

This approach, force, torque, pressure and so on. such mechanical quantities are no longer associated with mass but only with electrical quantities.

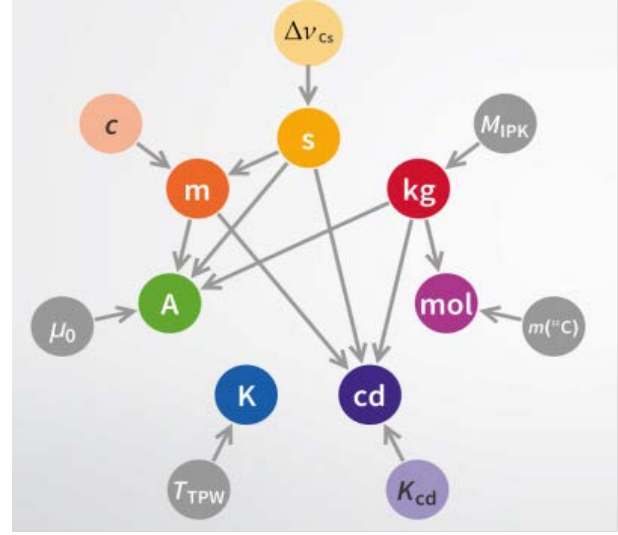
Key Words: Definition of mass, Definition of force, Definition of torque, Definition of pressure

1. GİRİŞ

16 Kasım 2018 tarihinde, 26. Ölçü ve Ağırlıklar Genel Konferansı (CGPM) revize tanımların lehine oybirliğiyle karar verildi. SI temel birimler, .Ağırlık ve Ölçüler Uluslararası Komitesinin (CIPM) daha önce önerdiği 20 Mayıs 2019 tarihinde yeni tanım yürürlüğe girecektir. Kilogram, Amper, Kelvin ve Mol, Planck sabiti (h), temel elektrik yükü (e), Boltzmann sabiti (k) ve Avogadro sabiti (N_A) için tam sayısal değerler verilerek tanımlanacaktır. Metre ve kandela zaten fiziksel sabitler tarafından tanımlanmıştır. Yeni tanımlar, herhangi bir birimin boyutunu değiştirmeden uluslararası birim sistemini (SI) iyileştirmeyi ve böylece mevcut ölçümlerle sürekliliği sağlamayı amaçlamaktadır.



Şekil 1. Yeniden tanımlamadan sonra yeni SI sistemi



Şekil 2. Eski SI sistemi yeniden tanımlanması önce yapısı (örneğin, metre için ışığın kat ettiği mesafe açısından tanımlanır, kilogram için uluslararası kilogram prototipinin (IPK) kütlesi olarak tanımlanması gibi)

Metrenin ışığın hızı için kesin bir sayısal değer olarak 1983 yılında başarılı bir şekilde yeniden tanımlanmasını takiben, BIPM öneri olarak, daha fazla doğa sabitinin kesin değerlere sahip olması gerektiği belirtildi. Bunlar:

- Planck sabiti h tam olarak $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ Joule-saniye (J·s) .
- Temel elektrik yükü e tam olarak $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ Coulomb (C) .
- Boltzmann sabiti k , tam olarak $1.380\ 649 \times 10^{-23}$ jul başına Kelvin ($J \cdot K^{-1}$) .
- Avogadro sabiti N_A tam olarak $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ karışık mol (mol^{-1}) .

Bu sabitler, SI kılavuzunun 2006 versiyonunda tanımlanmıştır.

Yeniden tanımlama, aşağıdaki doğa sabitleriyle ilişkili sayısal değerleri değiştirmez:

Vakumdaki ışık hızı c , 299 792 458 m / s

Sezyum 133 atomunun aşırı ince geçiş frekansı $\Delta\nu_{Cs}$ 9 192 631 770 Hz

Işık verimi, K_{cd} , 540×10^{12} Hz frekansındaki monokromatik radyasyonun ışık etkinliği 683 lm / W'dir.

Yukarıdaki yedi tanım, SI Broşürünün 9. baskısı (2018) verilmiş ve yedi temel birim (zaman, metre, kilogram, amper, kelvin, mol ve kandela) cinsinden ifade edilen türetilmiş birimler (joule, coulomb, hertz, lümen ve watt) ile yeniden yazılmıştır.

$$h = 6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \cdot\text{s}^{-1}$$

$$e = 1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{ A}\cdot\text{s}$$

$$k = 1.380\ 649 \times 10^{-23} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \cdot\text{K}^{-1} \cdot\text{s}^{-2}$$

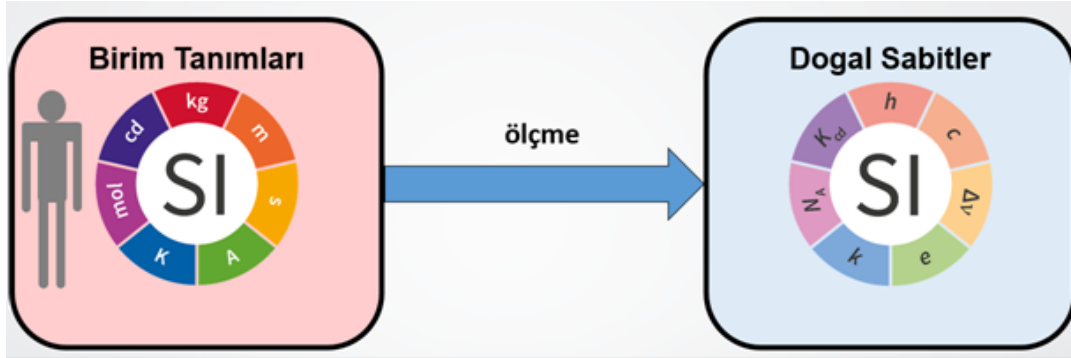
$$N_A = 6.022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$c = 299\ 792\ 458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

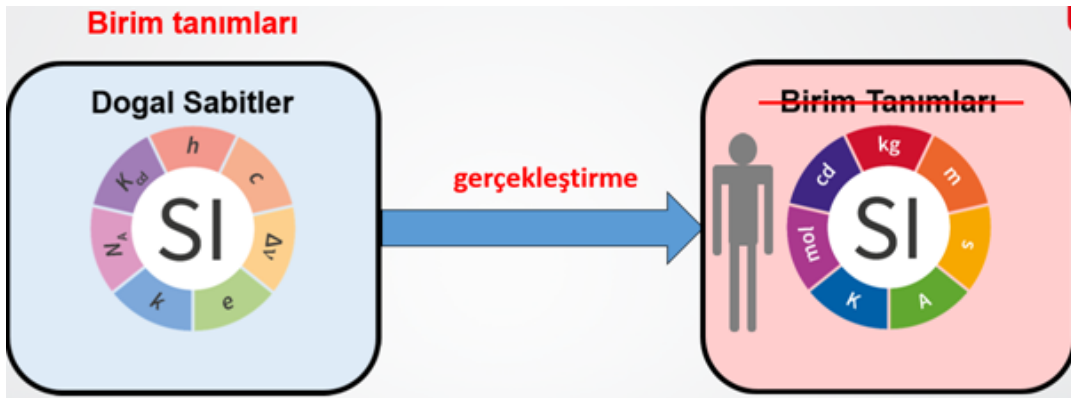
$$S v_{Cs} = \Delta v (133 \text{ Cs}) \text{ hfs} = 9\ 192\ 631\ 770 \text{ s}^{-1}$$

$$K_{cd} = 683 \text{ cd}\cdot\text{s}\cdot\text{s}^{-3} \cdot\text{kg}^{-1} \cdot\text{m}^{-2}$$

Bu değişikliklerin SI temel birimlerinin yeniden tanımlanması etkisi vardır, ancak SI türetilmiş birimlerin temel birimler açısından tanımları aynı kalmaktadır.



Şekil 3. SI birimlerinin eski tanımlarının doğal sabitler ile ilişkisi



Şekil 4. SI birimlerinin yeni tanımlarının doğal sabitler ile ilişkisi

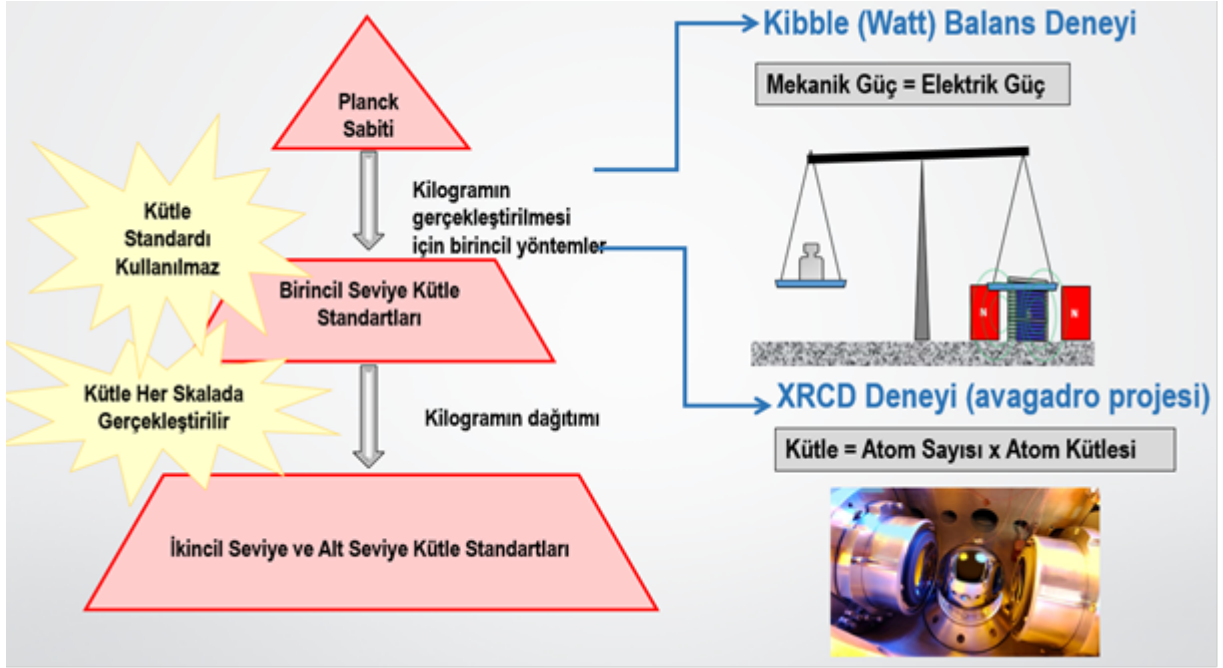
2. KÜTLENİN YENİ TANIMI

Değişim sonucunda, Uluslararası Sistemler Sisteminde kilogramın tanımı olarak; Kilogram, sembol kg, kütle SI birimidir. Planck sabiti h'nin sabit sayısal değeri, birim J.s cinsinden ifade edildiğinde, $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ olması, metre ve zamanın tanımlandığı $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ 'e c ve $\Delta\nu\text{Cs}$ cinsinden eşit olması ile tanımlanır.

Bunun ne olduğunu açıklamak eski kilogram prototipine göre daha zordur. Temel olarak, Ağırlıklar ve Ölçmeler Genel Konferansı, Planck sabitinin değerini sabitleyerek, maddenin en küçük parçalarının ayrı adımlar veya yığınlar (quanta olarak adlandırılan) enerjisi nasıl serbest bıraktığını açıklar.

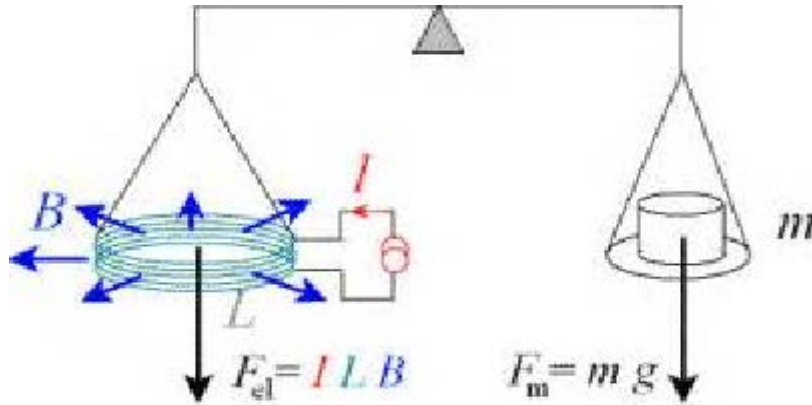
Kabul edilen oylama ile Planck sabiti şimdi ve sonsuza dek $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \cdot\text{s}^{-1}$ olarak ayarlanacaktır ve Planck sabitinin bu sabit değerinden, bilim adamları bir kilogram kütlesi elde edebilirler.

Kütle biriminin tanımını gerçekleştirmek için 2 deney kabul edilmiştir. Birincisi Kibble (watt) balans deneyi, ikincisi ise XRCD deneyi buna avagadro projesi de denilmektedir.



Şekil 5. Kütle için yeniden tanımın izlenebilirlik zinciri

3. KİBBLE BALANS DENEYİ VE DİĞER BİRİMLERE ETKİSİ



Şekil 6. Kibble balans sistemi fiziksel prensibi

Kibble balans deneyinde

mekanik güç = elektriksel güç

denklemleri yardımı ile çözüme gidilmektedir.

Statik durumda

$$I.B.L = m.g \quad (1)$$

I: akım, B: manyetik alan şiddeti, L telin boyu, m: kütle, g yerçekimi ivmesidir.

Dinamik durumda:

$$U = B.L.v \quad (2)$$

U: gerilim, v: hızdır. Her iki durumda da B.L değişmediğinde, bu durumda denklem,

$$m.g = I.U / v$$

$$m = I.U / v.g \quad (3)$$

haline gelir.

Plank sabitinin belirlenmesinde muhtemel belirsizlik kaynaklarının katkıları da aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. Plank sabitinin 6. defa belirlenmesinde muhtemel belirsizlik kaynakları ve değerleri (M.Wood et.al. 2017)

Belirsizlik bileşenleri	$u/h_{90} \times 10^9$	$u/h_{90} \times 10^9$
Toplam birleşik		12,5
Tip A	1,8	
Eksenellik	6,7	
Voltaj ölçümü	0,7	
Direnç	4,6	
Hız	3,0	
Kütle	4,7	
Yerçekimi ivmesi	5,0	
Çeşitli ağırlıklar	5,6	

Kilogramın gerçekleştirilmesinin Kibble Balans (Kibble Balance or watt balance) gibi sistemler ile elde ettikten sonra, bir belirsizlikle kütle standardı, örneğin bir kuvvet standardının gerçekleştirilmesi için bir başlangıç noktası olarak kullanılabilir.

Bilindiği gibi kuvvet (F) birimi denklem 4 ile tanımlanır. Bu denklemde m yerine 3 denklem yerine yazıldığında aşağıdaki sonuç ortaya çıkar.

$$F = m.g \quad (4)$$

$$F_g = [I.U / v.g] . g$$

$$F_e = I.U / v \quad (5)$$

F_g : yerçekimi ivmesi kullanılarak hesaplanan kuvvet değeri, F_e : elektriksel olarak hesaplanan kuvvet değeridir.

Benzer şekilde tork (T) ve basınç (P) da aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$T = b. I.U / v \quad (6)$$

$$P = I.U / v.A \quad (7)$$

b: kol boyu, A: alan

Tablo 2. Yerçekimi ile ve elektriksel olarak hesaplanan kuvvet değerinin belirlenmesinde muhtemel belirsizlik kaynakları ve değerleri

Belirsizlik bileşenleri	m	F (e)	F (g)
Tip A	1,8	1,8	1,8
Eksenellik	6,7	6,7	6,7
Voltaj ölçümü	0,7	0,7	0,7
Direnç	4,6	4,6	4,6
Hız	3,0	3,0	3,0
Kütle	4,7	4,7	4,7
Yerçekimi ivmesi	5,0		5,0
Yerçekimi ivmesi 2			5,0
Çeşitli ağırlıklar	5,6	5,6	5,6
Toplam birleşik	12,5	11,5	13,5

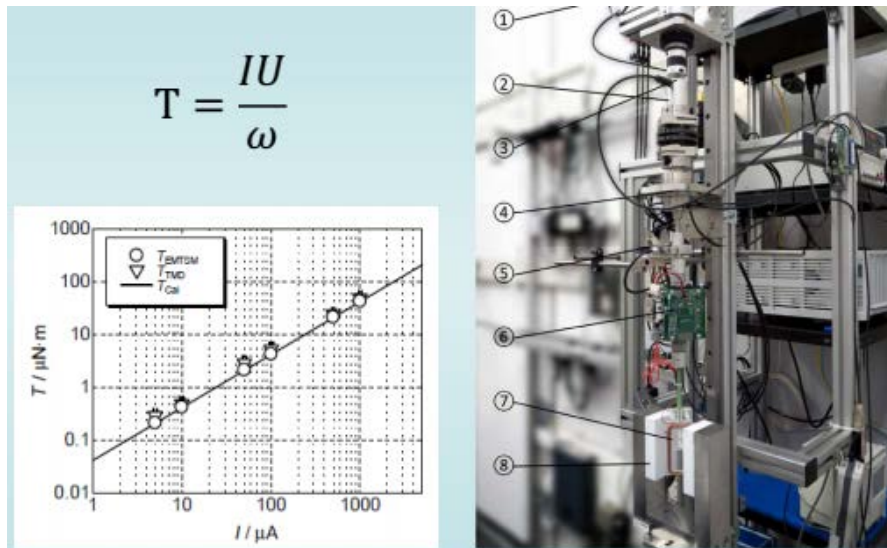
Kilogramın pratik olarak gerçekleşmesini gösteren denklemleri analiz edersek, bir ölçüm ve belirsizlik tahminine ihtiyaç duyulan yerel yerçekimi ivmesi gibi bazı büyüklüklerin nasıl ortaya çıktığını görürüz. Kuvvet büyüklüğünü (ayrıca tork ve basınç vb.) gerçekleştirmek için kütle kullanmamız gerektiğinde ise aynı büyüklükler yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi tekrar dikkate alınmalıdır.

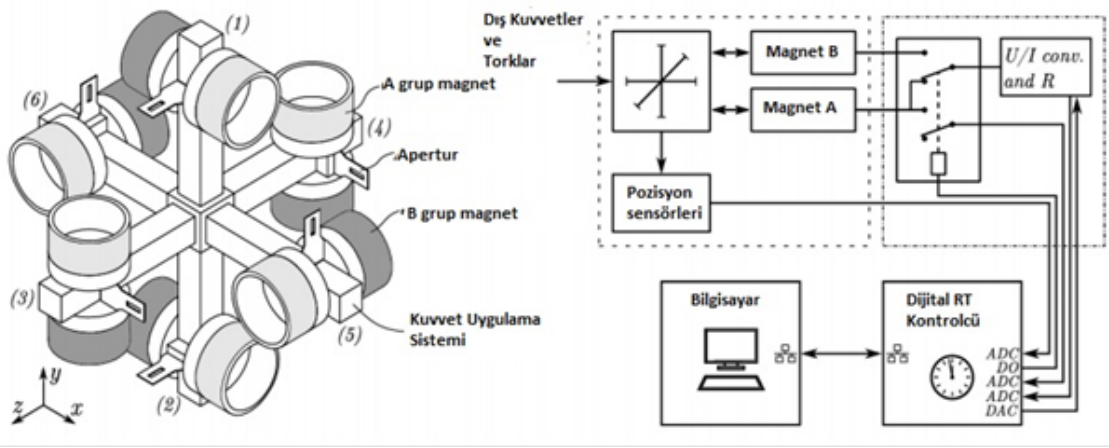
3. DİĞER BİRİMLERDE YENİ TANIMLAMAYA GÖRE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kilogramın yeni tanımını kullanarak farklı alanlarda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Nishino, 2017 yılında yaptığı çalışmada kibble balans sistemini referans olarak elektromanyetik kuvvet prensibini kullanarak bir tork makinası yapmıştır. Bu geliştirilen elektromanyetik kuvvet tipi tork standardı makinasında (EMTSM) ilk kez yerçekimi kuvvetini referans alınmadan SI birim sistemine izlenebilirlik sağlanmıştır. (şekil 7)

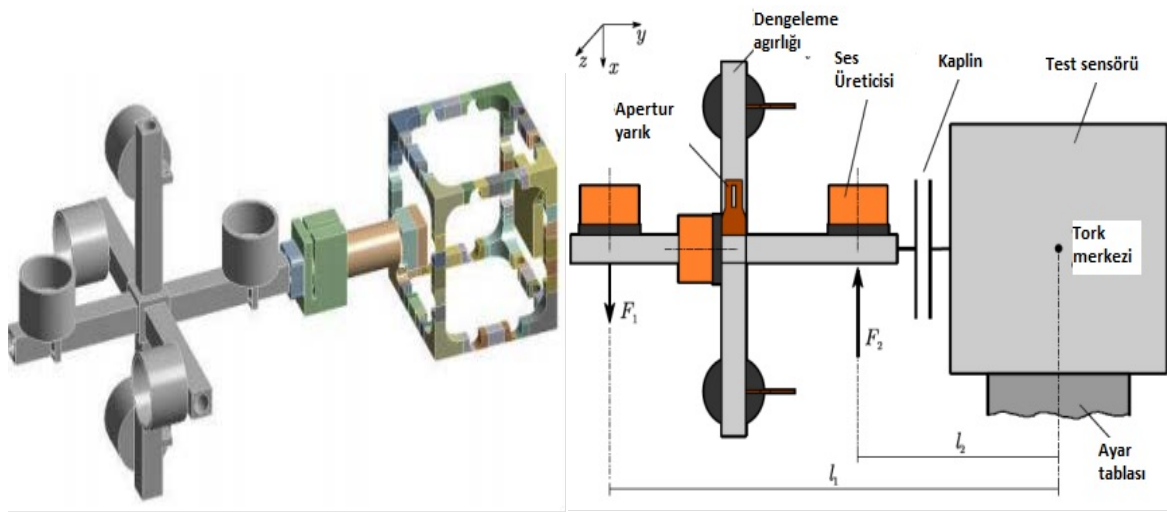
Marangoni tarafında 2017 yılında yapılan çalışmada ise çok bileşenli, kendi içinde kalibreli bir kuvvet ve tork sensörünün detayları verilmiştir. Bu sistem, bir Kibble balans prensibi ile üç yönde izlenebilir kuvvet ve tork ölçümü için tasarlanmıştır. Kuvvet ve tork ölçümleri kütle ve yerçekimi ivme değeri yerine voltaj, pozisyon, açı, direnç ve zaman ölçümlerinden hesaplanmıştır. (şekil 8)

Yine Marangoni tarafında 2017 yılında yapılan diğer bir çalışmada ise 6 serbestlik dereceli, elektromanyetik kuvvet kompanzasyonu prensibine göre çalışan, statik ve dinamik kuvvet ölçümlerinde kullanılabilen kuvvet ve tork sensörü tanımlanmıştır. (şekil 9)

**Şekil 7.** Nishino, 2017 de verilen elektromanyetik kuvvet prensibini kullanan bir tork makinası



Şekil 8. Marangoni tarafında 2017 yılında yapılan çok bileşenli, kendi içinde kalibreli bir kuvvet ve tork sensörü



Şekil 9. 6 serbestlik dereceli, elektromanyetik kuvvet kompanzasyonu prensibine göre çalışan, statik ve dinamik kuvvet ölçümlerinde kullanılabilen kuvvet ve tork sensörü yapısı

SONUÇ

Kütlelerin yeniden tanımlanması ile Kibble balans düzeneğini oluşturan denklemler, birincil yöntemle, yalnızca kütle büyüklüğünü değil, aynı zamanda kuvvet büyüklüğünün de belirsizliği en azından nominal olarak düşük olma avantajıyla gerçekleştirmemizi sağlar. Bu tür standartların bazı deneyleri örneğin, SI ile izlenebilirliğinin, yerçekimi kuvvetini dikkate almayan yöntem kullanılarak ilk kez başarılı bir şekilde uygulaması bir tork standardının gerçekleştirilmesi ile yapılmıştır. Bu yaklaşım, kuvvet, tork, basınç vb. gibi mekanik büyüklüklerin artık kütle ile değil sadece elektriksel büyüklüklerle ilişkili olacağı yeni senaryolara zemin hazırlamaktadır. Bu durumda, Kibble balans deneyi ile kuvvet biriminin gerçekleştirilmesinde aşağıdaki denklem kullanılabilir mi? Siz ne dersiniz?

$$F = m.g = I.U / v$$

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/faqs.html>, BIMP Frequently Asked Questions about the proposed Revised SI
- [2] <https://www.nature.com/news/new-definitions-of-scientific-units-are-on-the-horizon-1.22837>
- [3] https://kcdb.bipm.org/NL/16/OIML_Davis_2011.pdf
- [4] <https://www.grmetrology.com/the-kilogram-will-be-redefined-in-2018/>
- [5] <https://www.vox.com/science-and-health/2018/11/14/18072368/kilogram-kibble-redefine-weight-science>
- [6] Aydemir, B. "SI Birimlerindeki Değişiklikler ve Ölçümlere Etkileri", Yeditepe Üniversitesi, İstanbul (09/05/2019)
- [7] GERMAK, 2017, The effect of the redefinition of the kilogram on its present related quantities, <http://apmf2017.nimt.or.th/>
- [8] Nishino, A., 2017, REALIZATION OF A MICROTORQUE STANDARD BY USING AN ELECTROMAGNETIC FORCE TYPE TORQUE STANDARD MACHINE, IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference (30 May to 1 June, 2017,Helsinki, Finland)
- [9] Marangoni, R.R.,2017, A SELF-CALIBRATING MULTICOMPONENT FORCE/TORQUE MEASURING SYSTEM, 59th ILMENAU SCIENTIFIC COLLOQUIUM Technische Universität Ilmenau, 11 – 15 September 2017 URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2017iwk:2
- [10] Marangoni, R.R.,2017, STATIC AND DYNAMIC IDENTIFICATION OF MULTICOMPONENT FORCE AND TORQUE SENSORS, IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference (30 May to 1 June, 2017,Helsinki, Finland)

ÖZGEÇMİŞ

Bülent AYDEMİR

1994 Makina mühendisliği bölümünü, 1996 yılında makina mühendisliği imalat konstrüksiyon alanında yüksek lisansını ve 2003 yılında da makina mühendisliği alanında doktora derecesini almıştır. İlgili alanda 2016 yılında Doçent unvanına sahip olmuştur. 2000 yılından beri TÜBİTAK UME kuvvet laboratuvarında çalışmakta olup şu an Laboratuvar sorumlusu olarak görev yapmaktadır.