



# Ultrasonik Prop Kalibrasyonu için Portatif Ultrasonik Güç Ölçer

## Portable Ultrasonic Wattmeter For Ultrasonic Prob Calibration

Baki Karaböce, Mithat Özdingiş, Hüseyin Okan Durmuş, Emel Çetin,  
TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Laboratuvarı, Kocaeli, Türkiye

baki.karaboce@tubitak.gov.tr, mithat.ozdingis@tubitak.gov.tr, huseyinokan.durmus@tubitak.gov.tr, emel.cetin@tubitak.gov.tr

**Özetçe**—Ülkemizde sağlık sektöründe birçok farklı marka ve tipte ultrason cihazı çok yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu ultrason cihazları, yasal/zorunlu veya gönüllü bir teknik ölçümden/kontrolenden geçmemektedir. Ultrason cihazlarının en önemli parçası olan ultrasonik problemlerin güvenli ve belirtilen performansta çalıştığına doğrulanması için mutlaka bilimsel parametrelere ve standartlara göre kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, Portatif Ultrasonik Güç Ölçer cihazı, tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Cihaz, arıtılmış su içinde çalışmakta olup, test edilecek problemler bu su haznesi içinde çalıştırılarak test edilmektedir. Kurulu sistemde yaklaşık 15 W – 150 W aralığında güçlere sahip ultrasonik problemlerin güçleri ölçülebilmektedir. Bu bildiride, ultrason cihazlarının en önemli parçası olan ultrasonik problemlerin güçlerini portatif olarak ölçebilen ultrasonik güç ölçer üretimi hakkındaki bilgiler verilecek, tecrübeler paylaşılacaktır.

**Anahtar Kelimeler** — biyomedikal cihaz tasarımı; biyomedikal cihaz üretimi; biyomedikal elektronik; ultrasonik güç ölçer.

**Abstract**—In our country, in many different brands and types of ultrasound devices are used very intensely in the health sector. However, these ultrasound devices do not pass a mandatory/legal or voluntarily technical measurements/controls. In order to verify the indicated performance and safety of the ultrasonic probes that is the most important part of ultrasound devices, measurements/controls are required to be done as per strong scientific parameters and standards. For this reason, Portable Ultrasonic Wattmeter device has been designed, manufactured and tested. The device works in the distilled water and probe tests are done by operating the probes in this water tank. In the installation system, powers of ultrasonic probes that have an approximate power range between 15 W and 150 W have been measured. In this paper, information will be given and experiences will be shared about the production of ultrasonic wattmeter that measures the power of ultrasonic probes as portable.

**Keywords** — biomedical device design; biomedical device production; biomedical electronics; ultrasonic wattmeter.

### I. GİRİŞ

Ultrason enerjisi vücuda girdiğinde sıcaklık artışlarına neden olmaktadır [1,2]. Düşük ultrason güçlerinde ise görüntü kalitesi kötü etkilenmektedir. Ayrıca, Ultrason problemlerde seramik piezo malzemeler kullanıldığı için bunların kötü kullanımındaki hatalar da problemlerin kolayca kırılmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, ultrason problemlerin belirli periyotlarla kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir.

### II. KULLANILAN YÖNTEM

#### A. Portatif Ultrasonik Güç Ölçer Cihazı

Öncelikle dünya piyasasında yabancı menşeli olarak satılmakta olan portatif ultrasonik güç ölçerler hakkında piyasa araştırması yapılmıştır. Aşağıda Şekil 1'den de görüleceği üzere tüm cihazlar, su haznesi içinde çalışmakta ve harici problemleri, kısa kollar tutmaktadır. Uygulanan ultrasonik güç ölçülmekte ve ölçüm değeri işlemci elektronik kartlar aracılığıyla değerlendirilip ekrana yansıtılmaktadır.

“Ultrasonik Wattmetre”, ultrasonik problemleri doğrulama amacıyla ve tedavi edici ultrason cihazlarının çıkışını kalibre etmek üzere tasarlanmaktadır.

Cihazın üretilmesi için mekanik, elektrik/elektronik ve yazılım boyutları olduğu tespit edilmiştir. Cihazın dış kutusu ile mekanik ve elektrik/elektronik parçaları satın alındıktan sonra mekanik imalatları TÜBİTAK UME mekanik atölyesinde üretilmiştir. Hızlı, güvenilir okumalar sağlamak için mikroişlemci ve gerilim ölçer, köprü dönüştürücünün birleşik olarak kullanılması ile ultrason güç çıkışı ölçülmektedir. Yük hücresinden (Teda – Huntleigh Model 1022, Rated Capacity: 3 kg, Rated Output: 2 mV/V, Excitation: 10 VDC) alınan DC gerilim, transmitter (Baykon TX12, Analog Çıkış:(0-10)V, Güç Kaynağı: (12-28) V DC) ile kuvvetlendirilerek mikro kontrolcünün ADC (Analog Digital Converter) girişine



## Cihaz Tasarımı 1

1. Gün / 27 Ekim 2016, Perşembe

uygulanmaktadır. Mikrokontrolcude matematiksel işlemler yaptırılarak grafik LCD ekranda (WINSTAR WH2004, 20x4 dots character, Power Supply:(0-7) VDC) sonuç gösterilmektedir. Yapılan denemelerde önce Arduino Mega 2560 10 bit kart kullanılmış ancak daha hassas okumalara izin vermediği için sistemde ADuC 847 Evaluation kartının (24 bit ADC, Memory: 62 kbyte, Core Clock:1,57MHz, Crystal:32,768kHz, 3x16 bit timer/counter) kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 1. Değişik marka ve tipteki ultrasonik güç ölçerler

## B. Ultrasonik Güç Ölçümü

### Ultrasonik Güç:

Günümüzde tıpta teşhis ve tedavide, endüstride ve birçok alanda ultrasonik teknolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

Güç, ölçülecek uygun bir parametredir. Medikal ultrasonik cihazlardan gelen güçler, teşhis cihazları için mikrowatt seviyelerinden, fizyoterapi cihazları için birkaç watt'a ve cerrahi ve tedavi uygulamaları için de yüzlerce watt'a kadar sıralanmaktadır. Güç ölçümleri yapmak için pek çok neden vardır ancak genel olarak bunlar cihazın güvenliği veya performansının değerlendirilmesi ile ilgilidir. Sürekli dalga veya uzun ton patlamalı dönüştürücü uyarmasının normal olarak kullanıldığı yerlerdeki tedavi cihazları için, aşağıdaki birçok nedenden dolayı sistem tarafından üretilen toplam gücü bilmek önemli olmaktadır. Bu nedenler şu şekilde sıralanabilir:

- En etkili maruziyet seviyelerinin hasta tedavisi sırasında kullanılmasını garanti altına almak
- Maruziyetin sağlıklı dokuya zararlı olabilecek seviyelerde gerçekleşmemesini garanti altına almak
- Tutarlı uygulama ve tedavi rejimlerinin birbirleri ile karşılaştırmasına izin vermek
- Cihazın tatmin edici şekilde çalışıp çalışmadığını tespit etmek [4]

### SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı:

Ultrasonik, akustik frekans bölgesinin bittiği 20 kHz'den başlayıp 150 MHz frekansına kadar olan aralığı kapsar. Ultrasonik dalga, enerjisini ilerleyerek iletir. Ultrasonik güç, yöne bağımlı olmaksızın bir saniyede toplam iletilen dalganın enerjisi olarak tanımlanır ve Watt ( $\text{kg.m}^2/\text{s}^3$ ) birimi ile ölçülür. Ultrasonik Güç, "Şiddet x

Alan" olarak ifade edilir. Şiddet, dalganın büyüklüğünü tanımlar. Ultrasonik güç, birimi SI Birimler isteminde türetilmiş birim olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle temel SI birimlerinden farklı olarak CIPM tarafından beyan edilen bir tanıma sahip değildir.

Ultrasonik radyasyon kuvveti, saf su içerisinde, hedef olarak adlandırılan yutuculuğu veya yansıtıcılığı yüksek bir malzeme üzerine (veya bir sınır yüzeye) etkiyen kuvvetin zamana göre ortalaması olarak tanımlanır. Ultrasonik dalga, akustik özellikleri iyi belirlenmiş, yeterli bir yüzey alanına sahip uygun bir hedefe gönderilir ve etkiyen kuvvetin zamana göre ortalaması ölçülür. Ultrasonik güç, radyasyon kuvveti değeri kullanılarak teorik olarak hesaplanır [5].

### Ölçüm Standartları ve Yöntemleri:

Ultrasonik güç ölçüm yöntemi, IEC 61161'de tanımlanan Radyasyon Kuvvet Terazisi yöntemidir. Bu sistemde IEC 61157 ve IEC 61689 standartlarında tanımlanmış tıp alanında teşhis ve tedavi amaçlı kullanılan ultrasonik cihaz ve dönüştürücülerin kalibrasyonları, 1 MHz - 15 MHz aralığındaki frekans bölgesinde ve 1 mW - 20 W güç aralığında yapılmaktadır. Teşhis amaçlı kullanılan problemlerin ultrasonik güç aralığı 1 mW-200 mW arasındadır. Tedavi amaçlı kullanılan problemlerin ultrasonik güç aralığı ise 1 W - 20 W arasındadır [3,5].

### Ultrasonik Güç Hesaplamaları :

Ultrasonik güç hesaplamaları iki yolla yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, elektriksel güç üzerinden yapılan, elektriksel gücün %60-85'ine tekabül eden ultrasonik güçtür. Diğeri ise sudaki ses hızı üzerinden yapılan hesaplamadır.

Ultrasonik proba ulaşan elektriksel güç,  $P_{EI}$ , gerilim,  $V$ , Akım,  $I$  ve faz farkının reel (cosinus) bileşeni  $\cos\theta$  çarpımından aşağıda formül (1)'deki gibi hesaplanır [6,7].

$$P_{EI} = V \cdot I \cdot \cos\theta. \quad (1)$$

Ultrasonik probun ürettiği güç,  $P_{UI}$  ise ideal yutucu bir hedef kullanıldığında, ses hızı ile radyasyon kuvveti  $F$ 'nin çarpımından elde edilir [3].

$$P_{UI} = c \cdot F = c \cdot m \cdot g \quad (2)$$

Burada,  $m$ , ultrasonik radyasyon kuvveti ile görünen ağırlığın değişimini,  $g$ , yerçekimi ivmesini ( $9,8023 \text{ m/s}^2$ ) ve  $c$  ise sudaki ultrasonik ses hızını ( $1488,2 \text{ m/s}$ ) ifade eder. Sıcaklık, ses hızını etkileyen önemli bir parametredir. Nihai ultrasonik ses hızı aşağıdaki sıcaklık formülü ile hesaplanmaktadır.

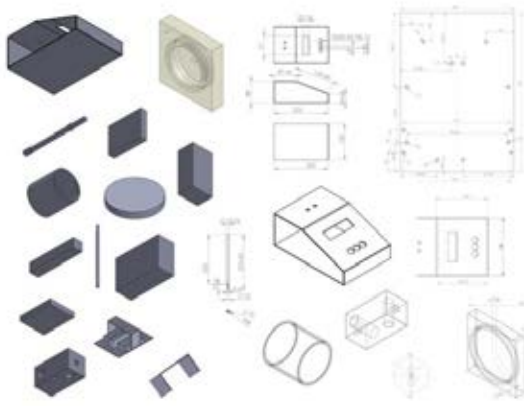
$$c = 1488,32 + [T \cdot (2,91 - (0,04 \cdot T))] / 1000 \quad (3)$$

## Cihaz Tasarımı 1

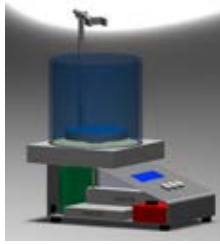
1. Gün / 27 Ekim 2016, Perşembe

### C. Cihazın Komponentlerin ve Son Halinin Tasarımı

Portatif Ultrasonik Güç Ölçer cihazının tüm komponentleri ayrı ayrı tasarlanmıştır ve aşağıdaki tasarımlar elde edilmiştir. Cihaz kutusu ve tabanı, fleksiglas su havuzu tabanı, absorber/yutucu ve alt parçaları, membran/fleksiglas su havuzu tabanı, fleksiglas su havuzu, prob taşıma kolu ve eklemleri, absorber yük hücresi bağlantı milleri ve eklemleri, yük hücresi, transmitter, AduC847 kartı, harici şarj kablosu ile pil ve pil kontrol devresi Portatif Ultrasonik Güç Ölçer cihazındaki en önemli ana parçalardır. Cihazın mekanik tasarımı, Solidworks programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2. Portatif Ultrasonik Güç Ölçer cihazında kullanılan bazı parçaların tasarımları



Şekil 3. Portatif Ultrasonik Güç Ölçer cihazının tasarlanmıştır hali

### D. Gerekli Üretimlerin Yaptırılması

Portatif Ultrasonik Güç Ölçer cihazındaki tüm alt komponentler tek tek tasarlanarak üretimleri yapılmış, daha sonra üretilen parçaların birbirleri ile uyumları kontrol edilmiş ve son olarak da uyumlu parçalarla cihaza son şekli verilmiştir. Cihaz uyumlaştırma ve test aşamalarında üç ana sorunla karşılaşmıştır. Birincisi, daha şık tasarım ve daha az yer kaplaması için seçilen kutu ebadı çalışmalarını sınırlanmış, bütün çalışmalar bu kutu ebadına göre yapılmaya çalışılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda daha rahat çalışılabilir cihaz kutusu seçilmesi veya alt taban üretildikten sonra tasarımının buna göre

yapılmasının daha rahat bir çalışma imkanı sağlayacağı tecrübe edilmiştir. İkinci karşılaşılan sorun, çok hassas tartım işlemi olmasından dolayı, yük hücresi üzerine binen kuvvetlerin bir dalgalanmaya sebep vermeyecek, zemine daha sağlam basacak şekilde taşıma haznesinin sağlamlığının ve dengesinin oluşturulması gerekliliği oldu. Bundan dolayı, cihaz içinde ek sağlama çalışması yapıldı. Üçüncü ve en önemli karşılan sorun ise cihazın artırılmış su ile ultrasonik gücü birlikte taşıyacak, suyu sızdırmayacak ve ihmal edilebilecek bir ağırlığa sahip olması gereken membranın seçilmesi oldu. Membran seçimi ve uygulaması, cihaz yapımında ve testlerinde en çok zaman alıcı kısmı oluşturdu. Esnek malzemelerden seçtiğimiz tüm membranlarda yüzey gerilimlerinin fazla olması sebebiyle testler sırasında yük hücresinde güç aktarımının azaldığı, güç ölçümünün tam olarak yapılamadığı görüldü. Bu sorunu aşmak için ise özel karışım silikon malzemeden membran üretimi yoluna gidildi.

Portatif Ultrasonik Güç ölçer cihazının bitmiş son hali ve ürüne ait teknik bilgiler ise aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Model	G1MM-0100
Üretim Yılı	2015
Boyutlar	G:16,5 cm D:26,5 cm Y: 37 cm
Ölçüm Aralığı	15 W-150 W
Doğruluk	< %5
Besleme Kaynağı	12 V DC
Yazılım ve İzlenebilirlik	TUBİTAK UME
Gösterge	Mavi LCD
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10 °C + 40 °C



Tablo 1. Portatif Ultrasonik Güç Ölçer Cihazı ve Teknik Özellikleri

## III. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Probdan gelen ultrasonik güç, su haznesi içindeki yutucu hedefe temas etmekte, yutucunun altındaki yük hücresinde gelen sinyal transmitter'da değerlendirilmekte ve ADuC 847 kartı üzerinde işlem yapılarak LCD ekranda gram olarak ağırlık değeri ve watt olarak da ultrasonik güç değerleri gösterilmektedir.

Ölçümler alınırken bir takım dikkat edilmesi gereken konular bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;



## Cihaz Tasarımı 1

1. Gün / 27 Ekim 2016, Perşembe

- Harici transdüser (dönüştürücü ya da prob), su ortamında başı tamamen aşağıdaki yutucu merkezine bakacak şekilde yerleştirilmelidir. Transdüser tam olarak merkezlenmelidir.
- Kısa kolundaki transdüser, absorber parçasının merkezine dik gelecek şekilde ayarlanmalıdır.
- Transdüser başı, tamamıyla taze, gazı alınmış (degaze, < Çözünmemiş oksijen miktarı < 4mg/L) ve damıtılmış su içinde olmalı ve transdüserin ultrason dalgası yayan başlığının altında hiçbir kabarcık olmamalıdır.
- Ölçümlere başlamadan önce cihazın ısınması ve kararlı hale gelmesi için 5 dakika beklenmelidir.
- Ultrason cihazının gücü cihaz çalışma güç aralığını (15 W - 150 W) geçmemelidir.
- Ölçümlere başlamadan önce test kütlesi ile mutlaka cihazın çalışma toleransı (<5% olmalı) kontrol edilmeli, eğer hata oranı yüksek bulunursa ölçümler durdurulmalıdır.

Ölçümler öncelikle hem kütle hem de güç olarak susuz ortamda yapılmıştır. Referans kütlelere karşılık gelen gerçek ağırlık ve güç değerleri aşağıda Tablo 2'de gösterilmiştir. 1 g ila 10 g kütle aralığına karşılık gelen kütleler g, güçler ise W birimi olarak ölçülmüştür. Standart sapmanın da %5'den küçük olduğu bulunmuştur.

Referans Kütle, g	Ölçülen Kütle, g	Ölçülen Güç, W	Teorik Güç, W	Hata (%)
1	0,996	14,54	14,59	0,34
2	1,996	29,13	29,18	0,17
3	3,023	44,10	43,77	-0,76
5	5,094	74,31	72,94	-1,87
10	10,069	146,89	145,89	-0,69

Not: Watt hesaplamasında referans kütleler kg'a dönüştürülmüştür.

Tablo 2. Referans kütlelere karşılık gelen gerçek güç değerleri

## IV. TARTIŞMA

Bu bildiriye, TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Laboratuvar'ında, Türkiye'de bilginiz dahilinde ilk defa yerli imkanlarla üretilmeye çalışılan Portatif Ultrasonik Güç Ölçer cihazı hakkında bilgiler verilmiştir. Portatif ultrasonik güç ölçer cihazı, %5'den daha az bir doğrulukla ilk aşamada cerrahi ve tedavi uygulamaları için kullanılan problemlerin testleri için üretilmiştir.

Laboratuvarımız tarafından yapılan bu ilk nesil ultrasonik güç ölçer cihazının daha da geliştirilmeye ihtiyacı vardır. Ölçüm aralığının 15 W'ın altına indirilmesi için daha hassas yük hücrelerinin araştırılması ve su ortamındaki deneyler için daha etkin sızdırmaz membran tasarımlarının araştırılması gerekmektedir.

Cihazın belirsizliğinin hesaplanmasında ölçüm tekrarlanabilirliği, referans standardın belirsizliği, kalibrasyonda kullanılan referans kütlelerin belirsizliği, sıcaklık, cihazın dijital çözünürlüğü ve mekanik olarak membran esnekliğindeki değişim boyutlarının etkisinin olduğu belirlenmiştir. Bundan sonra yapılacak diğer prototip çalışmalarında, cihazın ölçüm bölgesi önce fizyoterapi cihazlarına ve daha sonra da teşhis cihazlarına doğru daha da geliştirilmeye çalışılacaktır.

## KAYNAKÇA

- [1] B. Karaböce, "Focused ultrasound temperature effect in tissue-mimicking material and sheep liver," Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2015 IEEE International Symposium on, Turin, 2015, pp. 131-134. doi: 10.1109/MeMeA.2015.7145186
- [2] B. Karaböce, H. O. Durmus, Visual investigation of heating effect in liver and lung induced by a HIFU transducer, Physics Procedia 70 (2015) 1225 – 1228.
- [3] UME Metroloji Kitabı, sayfa 457-462
- [4] [http://www.npl.co.uk/acoustics/ultrasonics/research/best-practice-guide-to-measurement-of-acoustic-output-power-\(introduction\)](http://www.npl.co.uk/acoustics/ultrasonics/research/best-practice-guide-to-measurement-of-acoustic-output-power-(introduction)), 01.05.2016.
- [5] BS EN 61161:2013, Ultrasonics — Power measurement — Radiation force balances and performance requirements
- [6] B. Karaböce, Y. Gülmez, E. Bilgiç, E. Sadıkoğlu, A. T. İnce and Y. Skarlatos, "Comparison of the input electrical power measurement methods for HIFU transducers," Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2014 IEEE International Symposium on, Lisboa, 2014, pp. 1-6. doi: 10.1109/MeMeA.2014.6860141
- [7] Karaböce, B., Gülmez, Y., Rajagapol, S., Shaw, A., Instantaneous input electrical power measurement of HITU transducers, J. Phys., Conf. Ser., 2011, 279, 012011