Medikal Cihaz Tasarımı ve Validasyonu
Medical Device Design and Validation

Baki Karaböce, Hüseyin Okan Durmuş, Mithat Özdingiş, Emel Çetin Arı
TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME), Medikal Metroloji Laboratuvarı, Kocaeli, Türkiye
baki.karaboce@tubitak.gov.tr, huseyinokan.durmus@tubitak.gov.tr, mithat.ozdingis@tubitak.gov.tr, emel.cetin@tubitak.gov.tr

***Özetçe*—TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Araştırma Laboratuvarı, son altı yılda medikal cihaz tasarımı, üretimi ve validasyonu konusunda önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Bu geçen süre zarfında laboratuvar, sağlık sektöründe kullanılan simülatör, analizör ve kalibratör gibi üst düzey medikal cihazların rutin olarak test, doğrulama ve kalibrasyonu konusunda da çalışmalarını sürdürmektedir. Bu rutin görevlerinin yanında, çeşitli ultrasonik proplar, portatif ultrasonik güç ölçerler, laboratuvar tipi ve portatif tip IRET kalibratörleri, ultrasonik görüntüleme fantomları, kuvöz kalibratörü, kızılötesi virüs dezenfeksiyon prototip cihazı gibi medikal cihazlar için tasarım ve validasyon işlemleri de gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, sözü edilen medikal cihazların tasarımları, karşılaşılan zorluklar ve validasyonları hakkında bilgiler verilecektir.**

Anahtar Kelimeler — medikal metroloji; medikal cihaz tasarımı; medikal cihaz üretimi; medikal cihaz validasyonu; prototip üretimi; ultrasonik güç ölçer (PUG); IRET kalibratörü.

***Abstract*—TÜBİTAK UME Medical Metrology Research Laboratory has made significant progress in medical device design, manufacturing and validation over the last six years. During this time, the laboratory has been routinely testing, validating and calibrating high-end medical devices such as simulators, analyzers and calibrators used in the healthcare industry. In addition to these routine tasks, the laboratory has also carried out design and validation processes for medical devices such as various ultrasonic probes, portable ultrasonic power meters, laboratory and portable type IRET calibrators, ultrasonic imaging phantoms, incubator calibrator, infrared virus disinfection prototype device. In this study, information about the design, challenges and validation of these medical devices will be presented.**

Keywords —medical metrology; medical device design; medical device production; medical device validation; prototype production; ultrasonic power meter (PUG); IRET calibrator.

I. GİRİŞ

Medikal cihaz tasarımı, kullanıcı ihtiyaçları, güvenlik gereksinimleri ve endüstri standartlarına uygun olarak yapılmalıdır. TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Laboratuvarı, bu gereksinimleri karşılayacak şekilde ultrasonik proplar [1-6], ultrasonik güç ölçerler [7-12], laboratuvar tipi ve portatif tip IRET kalibratörleri [13-16], kızılötesi virüs dezenfeksiyon prototip cihazı [17], kuvöz kalibratörü gibi çeşitli medikal cihazların tasarımı ve üretimini gerçekleştirmiştir. Cihazların tasarım aşamalarında, ihtiyaç duyulan beklentileri karşılayacak şekilde işlevsellik, ergonomi ve güvenlik gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Tasarım sürecinden sonra, cihazların doğru ve güvenilir bir şekilde çalıştığını doğrulamak için validasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, cihazların performans ve ölçüm doğrulukları test edilmiş ve belirlenen standartlara uygunluğu doğrulanmıştır. TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Laboratuvarı, medikal cihazların validasyonu konusunda uluslararası norm ve standartlara uygun bir şekilde test ve ölçümler yaparak cihazların güvenilirliğini sağlamaktadır. Bu kapsamda portatif ultrasonik güç ölçer (TR 2018-09486) ile portatif tip IRET kalibratörü (TR 2020-07617) için TÜRK PATENT'ten patent belgelerini almış, laboratuvar tipi IRET kalibratörünün yurtiçindeki bir üniversitemize teknoloji transferini gerçekleştirmiştir. Ayrıca zamanda kuvöz kalibratörünün uluslararası ve ulusal patent başvurularını gerçekleştirmiş (TR 2020 -17210) ve patent işlemleri halen devam etmektedir. Yine son olarak ultrasonik görüntüleme fantomunun yurt içindeki yerli bir firmamıza ticarileştirme süreci gerçekleştirilmiştir. Özellikle cihazların validasyon işlemleri, ilgili parametrelerin doğru bir şekilde ölçümlerinin yapıldığının, kullanıcılara güvenilir sonuçlar sağlandığının ve analiz edebildiğinin doğrulanması için kapsamlı testleri içermektedir. Son altı yılda üretilen medikal cihazlar sayesinde laboratuvar hem ulusal hem de uluslararası düzeyde sağlık sektöründe önemli bir yer edinmiştir. TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Araştırma Laboratuvarı'nın başarılı çalışmaları, sağlık endüstrisine katkı sağlayarak sağlık hizmetlerinin kalitesinin artırılmasına destek olmaktadır.

Bu çalışmada, geçen süreçte tasarlanıp üretilen ve validasyonu yapılan prototip cihazlar hakkında detaylı bilgiler paylaşılacaktır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Araştırma Laboratuvarı'nda tasarlanıp üretilen çeşitli tipteki ultrasonik proplar, portatif ultrasonik güç ölçerler, laboratuvar tipi ve portatif tip IRET kalibratörleri, ultrasonik görüntüleme fantomları, kuvöz kalibratörü ve kızılötesi virüs dezenfeksiyon prototip cihazlarına ilişkin bilgiler detaylarıyla aşağıda açıklanmıştır.

A. Ultrasonik Proplar

Aşağıda Şekil 1'de üretilmiş ultrason proplarından (transdüser) biri verilmiştir. Bu proplar, bu şekilde tek elemanlı veya çok elemanlı olarak üretilebilmektedir. Ayrıca, proplar genelde 1 MHz ile 5 MHz aralığında isteğe bağlı olarak dairesel, kare, dikdörtgen ve rhomboid şekillerde

979-8-3315-2981-9/24/$31.00 ©2024 IEEE

üretilebilmektedir. Proplar, empedans uyumlaştırma devresi çalışması sonucunda (50 ± % 10) Ω olarak elde edilmektedir.



Şekil 1. Üretilen ultrason proplardan bir örnek

B. Portatif Ultrasonik Güç Ölçerler

Aşağıda Şekil 2'de üretilmiş olan ikinci versiyon ultrasonik güç ölçer cihazı görülmektedir. Ultrasonik güç ölçer cihazı su haznesi ve elektronik kısım olarak iki parça halinde üretilmiş ve bir kablo aracılığı ile birbirine bağlanmakta ve veriler bu şekilde transfer edilmektedir. Su haznesinin boyutları genişlik ve derinlik olarak 18,5 cm x 23 cm, derinliği ise 30 cm, elektronik kısmın genişlik ve derinliği 18 cm x 18 cm ebetlarında, yüksekliği ise 11 cm'dir. Maksimum kavranabilir prop çapı 8 cm'dir. Ölçüm aralığı % 5'ten küçük bir doğrulukla 0,2 W-100 W arasındadır. Cihaz taşınabilir olarak üretilmiştir. Cihaz 3,5" dokunmatik LCD göstergeye sahip olup enerji beslemesi ise 14,8 Li-ion batarya ve akıllı şarj cihazı ile yapılmaktadır. Proplar ölçüm sırasında su hazenesi içerisine dikey şekilde yerleştirilmektedir. Ayrıca, PUG cihazı özellikle IEC 61161 standartlarına uygun ölçümler yapılmasını mümkün kılmaktadır.



Şekil 2. Taşınabilir Ultrasonik Güç Ölçer

C. Laboratuvar tipi ve portatif tip IRET kalibratörleri

Laboratuvar tipi IRET kalibratörü "Kızılötesi Kulak Termometreleri (IRET) Referans Kalibrasyon Sistemi" olarak adlandırılmıştır. Cihaz su ile çalışmakta olup cihazın dış ölçüleri en, boy ve yükseklik olarak sırasıyla 49 cm x 65 cm x 95 cm'dir. Açılır kapak ölçüsü 13 cm x 17 cm ve cihaz üzerinde ASTM ve EN standardına uygun kaviteler yerleştirilebilmektedir. Banyo derinliği ve maksimum net sıvı derinliği 28 cm x 25 cm ve sıvı rezarvuar hacmi ise 15 litredir. Cihazın çalışma sıcaklığı 35,5 °C ile 42 °C arasındadır. Sıcaklık stabilitesi 0,01 °C ve sıcaklık homojenitesi ise 0,02 °C'dir. Cihaz üzerinde PT 100 direnç termometresi bulunmaktadır. Ölçüm pozisyonu dikeydir. Cihazın göstergesi 0,1 °C adımlarla ayarlanabilmekte ve dijital göstergelidir. Cihaz tekerlekli platform sistemi üzerinde hareket edebilmektedir. Alarm ve uyarı sistemi olarak cihaz üzerinde üst sıcaklık ve düşük sıvı seviyesi alarmları mevcuttur. Soğutma/ısıtma ve sabit sıcaklık sistemi cihazda mevcut olup dahili sıvı sirkülasyon özelliği ile soğutma, ısıtma ve sabit sıcaklıkta tutabilme, NoCFC hermetik sessiz soğutma sistemine sahiptir. Ayrıca, cihaz üzerinde kolay sıvı değişikliği için tahliye sistemi mevcuttur. Laboratuvar tipi IRET kalibratörü, çeşitli kızılötesi sıcaklık ölçerler ve cihaz üzerine monte edilebilen sırasıyla ASTM ile EN standartlarına sahip kaviteler aşağıda Şekil 3'te görülebilir.



Şekil 3. Laboratuvar tipi IRET kalibratörü, çeşitli IRET sıcaklık ölçerleri ile ASTM ve EN kaviteleri

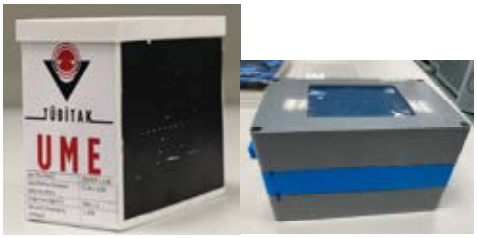
Portatif tip IRET kalibratörünün ise dış ölçüleri en, boy ve yükseklik olarak 22,3 cm x 35,0 cm x 27,5 cm ebatlarında, iç hazne çapı 11 cm, banyo derinliği 19 cm, kavite üst kapak çapı 15,3 cm'dir. Üretilen bu portatif tip üzerinde EN standardına uygun kavite bulunmaktadır. Kavite hariç cihazın rezervuar hacmi 1,5 litre ve cihazın çalışma sıcaklığı ise 36 °C ile 41 °C arasındadır. Sıcaklık stabilitesi 0,01 °C ve sıcaklık homojenitesi ise 0,02 °C'dir. Cihaz üzerinde PT 100 direnç termometresi bulunmaktadır. Ölçüm pozisyonu dikeydir. Cihazın göstergesi 0,1 °C adımlarla ayarlanabilmekte ve dijital göstergelidir. Cihaz hava ile çalışmakta olup kolay bir şekilde taşınabilmektedir. Soğutma/ısıtma ve sabit sıcaklık sistemi olarak cihazda kendiliğinden rezistansların enerjileri kesilerek soğutma, yani doğal soğutma sistemi ve daimi fan; ısıtma ise silikon kablo rezistansı ile yapılmaktadır. Cihaz hava ile çalışmaktadır ancak kolayca sıvı ile temizlenebilmesi için bir tahliye sistemi mevcuttur. Portatif tip IRET kalibratörü ve üzerine bağlı EN tipi kavite aşağıda Şekil 4'den görülebilir.



Şekil 4. Portatif tip IRET kalibratörü ve EN kavite

D. Ultrasonik görüntüleme fantomları

Ultrasonik görüntüleme fantomları farklı ebatlarda üretilebilmektedir. Ancak ilk yapılan fantom en, boy ve yükseklik olarak 76 mm x 144 mm x 123 mm olarak üretilmiştir. Fantomlar, test-wire ve gri-skala olarak üretilebilmektedir. Test-wire olarak üretilen fantomlar mesafe doğrulama ölçümlerinde kullanılan fantomlardır. Gri-skala fantomlar ise ultrasonik cihazların kontrast ve çözünürlük özelliklerini test etmek için kullanılan fantomlardır. Fantomların içerisinde bulunan malzeme Zerdine malzemesidir. Bu malzemenin ses hızı 1529,9 ± 2,86 m/s, zayıflatma katsayısı 0,54 ± 0,02 (dB/cm·MHz), yoğunluğu 980 ± 2 (kg/m^3) ve akustik empedansı ise 1,499 (MRayl)'dir. Bu fantomlar kolayca taşınabilmekte ve ultrasonik görüntüleme sistemleri için referans test malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Üretilen ultrasonik görüntüleme fantomları aşağıda Şekil 5'te görülebilir.



Şekil 5. Ultrasonik görüntüleme fantomları

E. Kuvöz kalibratörü

Günümüzde sağlık kuruluşlarında sıklıkla kullanılan bebek kuvözlerinin standartlarda belirtilen doğru değerlerde çalışıp çalışmadığının belirlenmesi için periyodik olarak kontrolden geçirilmeleri gerekmektedir. Ülkemizde bu cihazların kalibrasyonunu veya doğrulanmasını hızlı bir biçimde yapabilecek bir yerli kalibratör cihaz bulunmamaktaydı. Bu alanda bu anlamda ülkemizde büyük bir teknik açık bulunmaktaydı. Piyasada bulunan cihazlar içindeki en gelişmiş modelin yaklaşık Türkiye satış rakamı 12.000 euro civarlarındaydı. Yine yenidoğan küvözlerin Çin menşeili olanları internet üzerinden 1.500 – 3.000 dolar arasında satılmaktaydı. Bu nedenle, üretilen bu kuvöz ölçüm ve kalibratör cihazı ile kuvözlerin doğrulanması ve kuvöz sensörlerinin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığı hızlı ve kolay bir biçimde kontrol edilebilmektedir. Cihaz, kuvözlerin kalibrasyonlarını pratik, hızlı ve doğru bir şekilde yerinde (kuvöz içinde) gerçekleştirmek üzere taşınabilir bir yapıda tasarlanmıştır. Bu cihaz, açılabilir ve katlanabilir kanatlara sahip iki ana bileşenden oluşan bir yapıya sahiptir ve altı adet sıcaklık, bir adet nem, bir adet oksijen konsantrasyonu, bir adet gürültü/ses şiddeti, bir adet ışık ve bir adet basınç sensörünü içermektedir. Ayrıca, cihazın gövdesine monte edilmiş TFT ekranı, elektronik işlemcisi ve çeşitli elektronik elemanları bulunan bir güç ünitesine sahiptir. Geliştirilen bu cihaz, IEC 60601-2-19:2009 standardına uygun olarak testleri yapabilmekte olup, yenidoğan sağlığına etki eden gürültü/ses şiddeti gibi ortam koşullarına ait diğer parametreleri de ölçebilmektedir. Cihaz, anlık ölçüm modunda kullanılabilmekte, yapılan kalibrasyon verilerini hafızasında saklayabilmekte ve geliştirilen arayüz aracılığıyla bu verilere erişim mümkün hale gelmektedir. Cihaz üzerindeki sensörlerin metrolojik olarak izlenebilir olması, cihazın TFT ekranındaki ölçüm verilerinin kuvöz cihazı üzerindeki sensör değerleriyle (sıcaklık, nem vb.) karşılaştırılarak kalibrasyon işleminin gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadır. Üretilen kuvöz kalibratörleri aşağıda Şekil 6'da görülebilir.



Şekil 6. Kuvöz kalibratörleri

F. Kızılötesi virüs dezenfeksiyon prototip cihazı

Covid-19 pandemisi sırasında, Covid-19'un önde gelen unsurunu oluşturan SARS-Cov2'ye benzerlik gösteren Phi6 bakteriyofaj virüsünün dezenfeksiyon yöntemleri üzerine yaptığımız araştırmalar sonucunda, en uygulanabilir yöntem belirlenerek bir prototip cihaz geliştirilmiştir. Bu çalışmada, fiziksel tekniklerden biri olan kızılötesi (IR) tekniği, virüs inaktivasyonu için uygulanmıştır. Bu teknik, sağlık ve çevresel faydaları nedeniyle diğer dezenfeksiyon tekniklerine kıyasla daha tercih edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen cihaz, Phi6 bakteriyofaj ve benzeri zarflı virüsleri incelemek için kullanılan bir model organizma olarak IR tekniklerini kullanarak virüs inaktivasyonunu mümkün kılmaktadır. Cihaz, bir IR kaynağı, bir IR kamera, otomatik olarak kontrol edilen bir sıcaklık/nem odası ve bir hava akımı ünitesinden oluşan bir kurulum içermektedir. Phi6 bakteriyofajın IR uygulamaları sonucunda, belirli sıcaklık, nem ve hava akışı koşullarında etkili bir inaktivasyon yaptığı görülmüştür. Ayrıca, cihazın geliştirilmesi sırasında, farklı yüzeylerde virüs inaktivasyonu için IR radyasyon uygulama metodolojileri geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, IR kullanarak farklı yüzeylerde etkili bir dezenfeksiyon sağlamak için uygun sıcaklık ve nem seviyelerinin belirlenmesine de olanak tanımıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, farklı yüzeylerde etkili bir dezenfeksiyon sağlamak üzere IR dezenfeksiyon cihazının bir prototipi geliştirilmiştir. Geliştirilen kızılötesi virüs dezenfeksiyon prototip cihazı aşağıda Şekil 7'de görülebilir.



Şekil 7. Geliştirilen kızılötesi virüs dezenfeksiyon prototip cihazı

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Araştırma Laboratuvarı'nda geliştirilen tüm cihazlar yoğun bir medikal araştırma geliştirme çalışmalarının çıktılarıdır. Bu çalışmada sunulan ultrasonik proplar, portatif ultrasonik güç ölçerler, IRET kalibratörleri, ultrasonik görüntüleme fantomları, kuvöz kalibratörleri ve kızılötesi virüs dezenfeksiyon prototip cihazı gibi ürünlerin her biri, sağlık endüstrisine önemli katkılar sağlayacak niteliktedir. Özellikle, laboratuvarın ürettiği medikal cihazların validasyon sürecinde, cihazların performansı ve ölçüm doğruluğu hassas cihazlar ile net bir şekilde test edilmekte ve belirlenen standartlara uygunluk sağlanmaktadır. Bu süreç üretilen ürünlerin/prototiplerin güvenilirliği ve kalitesi için hayati derecede önemlidir. Ayrıca, bu validasyon süreci, ürünlerin kullanıcı güvenliği ve etkinliğini sağlamak adına da kritik bir süreçtir.

IV. SONUÇLAR

Sonuç olarak, TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Araştırma Laboratuvarı, son altı yılda medikal cihaz tasarımı, üretimi ve validasyonu alanında önemli başarılar elde etmiştir. Bu süreçte, laboratuvarımız çeşitli medikal cihazların tasarımını ve validasyonunu gerçekleştirerek kendi çapında sağlık sektörüne önemli katkılar sağlamıştır. Ultrasonik proplar, portatif ultrasonik güç ölçerler, IRET kalibratörleri, ultrasonik görüntüleme fantomları, kuvöz kalibratörleri ve kızılötesi virüs dezenfeksiyon prototip cihazları gibi çeşitli medikal cihazların tasarımı ve validasyonunda ciddi deneyimler ve yetenekler kazanmıştır. Bu çalışmaların sonucunda elde edilen patent belgeleri ve teknoloji transferleri, laboratuvarımızın başarılı çalışmalarını kanıtlamaktadır.

Geçen altı yıl içerisinde elde edilen başarılar, laboratuvarımızın sağlık endüstrisindeki inovasyon süreçlerine olan katkısını göstermektedir. Sağlık hizmetlerinin kalitesinin artırılmasına destek olunması amacıyla yapılan bu çalışmalar hem ulusal hem de uluslararası düzeyde laboratuvarımıza tanınmayı ve güvenilirliği sağlamıştır. Ayrıca, laboratuvarın varlığı medikal alanda yapılan Ar-Ge çalışmalarına güzel bir örnek teşkil etmektedir. Gelecekte, TÜBİTAK UME Medikal Metroloji Araştırma Laboratuvarı'nın, medikal cihazların tasarımı, üretimi ve validasyonu alanında ürünlerini daha da çeşitlendirerek sağlık endüstrisine daha fazla katkı vermesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Özdingiş, M., Karaböce, B., & Erdemli, Y. E. (2018, June). Production of Probes to Characterize Acoustic Field Effects Due to The Geometry of Piezoelectric Transducers: Rectangular and Rhomboid Transducers. In 2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-6). IEEE.

[2] Özdingiş, M., Karaböce, B., Bostan, K., & Korkmaz, H. (2018, November). Increasing Power Transmission Efficiency of Ultrasonic Transducers Used in Physiotherapy. In 2018 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO) (pp. 1-4). IEEE.

[3] Durmuş, H. O., Karaböce, B., Çetin, E., & Özdingiş, M. (2019, October). Investigation of Backing Material Used in Ultrasonic Transducers In Terms of Acoustical Parameters. In 2019 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO) (pp. 1-4). IEEE.

[4] Karaböce, B., Durmuş, H. O., Çetin, E., & Özdingiş, M. (2018, November). Investigation of Hardness of Backing Material Used in Piezoelectric Transducers. In 2018 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO) (pp. 1-4). IEEE.

[5] Karaböce, B., Durmuş, H. O., Çetin, E., & Özdingiş, M. (2017, May). Calibration of therapeutic ultrasonic transducers with the modified radiation force balance system. In 2017 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 83-87). IEEE.

[6] Durmuş, H. O., Karaböce, B., Çetin, E., Özdingiş, M., Toprak, E., Topşar, S. Ş., & Balcı, Ş. (2019, June). Investigation of the effect of tungsten used in backing materials of ultrasound probes on acoustical parameters. In 2019 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-6). IEEE.

[7] Karaböce, B., Özdingiş, M., Durmuş, H. O., & Çetin, E. (2019, June). Load Cell Based Ultrasonic Wattmeter For Ultrasonic Probe Calibration. In 2019 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-6). IEEE.

[8] Karaböce, B., Özdingiş, M., Durmuş, H. O., & Çetin, E. (2016, October). Portable ultrasonic wattmeter for ultrasonic prob calibration. In 2016 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO) (pp. 1-4). IEEE.

[9] Karaböce, B., & Özdingiş, M. (2020, October). PugCal Calibration Software for PUG-02 Model Portable Ultrasonic Powermeter. In 2020 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU) (pp. 1-5). IEEE.

[10] Karaböce, B., Mutlu, A., Çetin, E., Özdingiş, M., & Durmuş, H. O. (2020, May). Ultrasonic Power Calculation by Linear Regression Method. In 2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) (pp. 1-5). IEEE.

[11] Karaböce, B., Durmuş, H. O., Çetin, E., Özdingiş, M., de Espinosa, F. M., Chinchurreta, F., & Alvarez, A. (2019, June). Bilateral Intercomparison of Ultrasound Power Standards Used for Calibrations in Medical Field. In 2019 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-5). IEEE.

[12] Özdingiş, M., Karaböce, B., Durmuş, H. O., & Çetin, E. (2019, June). Automatic Measurement Software Algorithm for Embedded System Used in Portable Ultrasonic Power Meter: Embedded System and Remote Control. In 2019 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-5). IEEE.

[13] Durmuş, H. O., Karaböce, B., Pehlivan, Ö., Korkmaz, M., & Kalemci, M. (2018, June). Calibration System Established at TBTAK UME for Infrared Ear Thermometers (IRETs). In 2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-6). IEEE.

[14] Durmuş, H. O., Karaböce, B., Çetin, E., & Özdingiş, M. (2018, November). Calibration of Infrared Ear Thermometers (IRETs). In 2018 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO) (pp. 1-4). IEEE.

[15] Durmuş, H. O., & Karaböce, B. (2021, June). Comparison of Portable Calibrator Produced in TUBITAK UME for the Calibration of Infrared Ear Thermometers with the Primary Calibration System. In 2021 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-5). IEEE.

[16] Durmus, H. O., Karaboce, B., & Seyidov, M. Y. (2022). Optical Parameter Measurements of IRET Calibrators. Action Research in Educational Sciences, 177.

[17] Karaböce, B., Hamid, R., Saban, E., Sözeri, H., Danacı, E., Böyük, A. A., ... & Baş, A. Comparison of Disinfection of Phi6 Virus Bacteriophage on Fomites by Various Methods and a Prototype for IR Application. Available at SSRN 4416118.