

HESAPLANABİLİR EMPEDANS STANDARDININ KARAKTERİZASYONU VE MİKRODALGA EMPEDANS İZLENEBİLİRLİĞİ

Erkan DANACI
Murat CELEP
Murat ARSLAN

ÖZET

Yansıma katsayısı ölçümlerinde kullanılan vektör ağ analizörler (Vector Network Analyzer – VNA) ve duran dalga oranı ölçen cihazlar (Standing Wave Ratio Meter – SWR meter)'in doğru ölçüm yapma yapmadığının testlerinde, standart olarak tanımlanmış Hesaplanabilir Empedans Standartları (HES) kullanılmaktadır. TÜBİTAK UME, 2018 yılına kadar yansıma katsayısı ölçümlerinin birincil seviye standardı olarak kabul edilen HES ölçümlerini yurtdışında yaptırarak uluslararası izlenebilirliğini sağlamaktaydı. 2018 yılının sonunda TÜBİTAK UME laboratuvarlarında kurulan sistemler ile HES'lerin boyutsal ölçümleri, tamamen milli iş gücü kullanılarak gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Böylece HES'lerin elektriksel parametreleri, boyutsal ölçümleri ile üretildiği malzemelerin karakteristik özelliklerinden yararlanılarak hesaplanmış olup, TÜBİTAK UME'ye yeni bir ölçüm kabiliyeti kazandırılarak ülke içinde öz yeterlilik sağlanmıştır. Bu çalışmada, TÜBİTAK UME HES boyutsal ölçüm sistemi ile yapılan ölçümler ile belirsizlik değerleri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Airline, birincil seviye hesaplanabilir empedans standardı, Vektör ağ analizörü, RF.

ABSTRACT

In order to be verified of vector network analyzers (VNA) and standing wave ratiometers (SWR) which are used in the reflection coefficient measurements, computational impedance standards (CIS) are used. CIS is accepted as primary level standart for RF reflection ceofficient measurement. Until 2018, TÜBİTAK UME had been able to made its own CIS international traceability by taking from abroad. At the end of 2018, the dimension measurement of the CIS were done by using the systems established in TÜBİTAK UME laboratories by using the national labor force. The electrical parameters of the CISs were calculated by using the dimensional measurements and the characteristics of the materials that they were manufactured. In this study, measurement values and their uncertainties made by TÜBİTAK UME CIS dimensional measurement system are given.

Key Words: Airline, calculable impedance standard, vector network analyzer, RF

1. GİRİŞ

AC işaret uygulanan bir devre elemanının mutlaka bir direnci, kapasitansı ve indüktansı vardır. AC işaret uygulanmış bir devrede kapasitans, indüktans ve direncin bir bileşkesi olan empedans terimi AC akıma gösterilen zorluğu ifade etmek için kullanılır. Kapasitans ve indüktans frekans bağımlıdır ve dolayısıyla empedans da frekansa bağımlıdır. Mikrodalga frekanslarında, her bir cihazın bir karakteristik empedansı vardır. RF işaretlerinin bir yerden başka bir yere iletiminde kullanılan her bir bağlantı elemanının ve iletim ortamının empedanslarındaki uyumsuzluklarından yansımalar meydana

gelir. Yansımanın artması, iletilen gücün seviyesini düşürmekte ve yüksek frekansta gereksiz güç üretimine neden olmaktadır. Yansımanın en aza indirgenmesi için cihaz ve iletim ortamlarının empedans değerlerinin istenen seviyede olup olmadığının kontrolü önemlidir. Yansımanın, çalışılan frekanslarda ne kadar olduğunun göstergesi ise empedans değerlerinin ölçümü ile tespit edilebilen yansıma katsayısı parametresi ile mümkündür. Z_0 karakteristik empedansa sahip bir iletim ortamının sonlandırılmalardan dolayı Γ yansıma katsayısı söz konusu olduğunda, Z_L empedansı Eşitlik 1 'deki gibi hesaplanır.

$$Z_L = Z_0(1+\Gamma)/(1-\Gamma) \quad (1)$$

Burada, Z_0 karakteristik empedansı, Z_L yük empedansını ve Γ iletim ortamının yansıma katsayısını ifade etmektedir.

Günümüzde yansıma katsayısı ölçümlerinde vektör ağ analizörleri (Vector Network Analyzer – VNA) ve duran dalga oranı ölçen cihazlar (Standing Wave Ratio Meter – SWR meter) kullanılmaktadır. Bu cihazların sağlıklı ölçüm yapıp yapmadığının kontrollerinde ise, referans olarak tanımlanmış empedans standartları kullanılmaktadır [1]. 1960'lı yıllardan beri koaksiyel hatlarda yüksek doğrulukta empedans ölçümleri için VNA'lar ve VNA'ların TRL ve LRL kalibrasyonlarında 50 GHz'e kadar Hesaplanabilir Empedans Standartları (HES) birincil seviye standart olarak kullanılmaktadır [2, 3, 4, 5]. 50 GHz ve 110 GHz frekans aralıklarında ise VNA kalibrasyonlarında TRL kitlerin yanında elektriksel uzunluğu bilinen offset short denen özel kısa devre elemanları da kullanılmaktadır [6]. HES'lerde dielektrik ortam olarak hava kullanılmaktadır. VNA'ların verifikasyonlarında artık hataları bulmak için de HES'ler kullanılmaktaydı [7]. Günümüzde ise boyutsal ölçümlerinden elektriksel parametreleri elde edilmiş HES'ler VNA kalibrasyonlarında kullanılarak VNA'ların birincil seviye standartlar ile izlenebilirlikleri sağlanmaktadır [8].

Günümüzde 14 mm, 7 mm, 3.5 mm, 2.92 mm, 2.4 mm, 1.85 mm ve 1 mm konnektörlerde HES'lerin bulunması mümkündür. Konnektör tiplerinin haricinde HES'lerin bir çok çeşidi mevcuttur. HES çeşitleri ve kullanıldığı yerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. HES'lerin çeşitleri

HES Çeşidi	Özelliği	Kullanıldığı Yerler
Boncuksuz HES	İç iletken ve dış iletken arasında merkezlemek amacıyla tutturucu (bead) bulunmaz	TRL ve LRL kalibrasyonlarda kullanılırlar
Kısmi Boncuklu HES	İç iletkenin sadece bir ucunda merkezlemek amacıyla boncuk bulunur	VNA verifikasyonlarında kullanılırlar
Boncuklu HES	HES'in her iki konnektörüne yakın uçlarda iletkenleri merkezlemek amacıyla boncuk bulunur	Time-Domain Reflectometre kalibrasyonlarında kullanılırlar

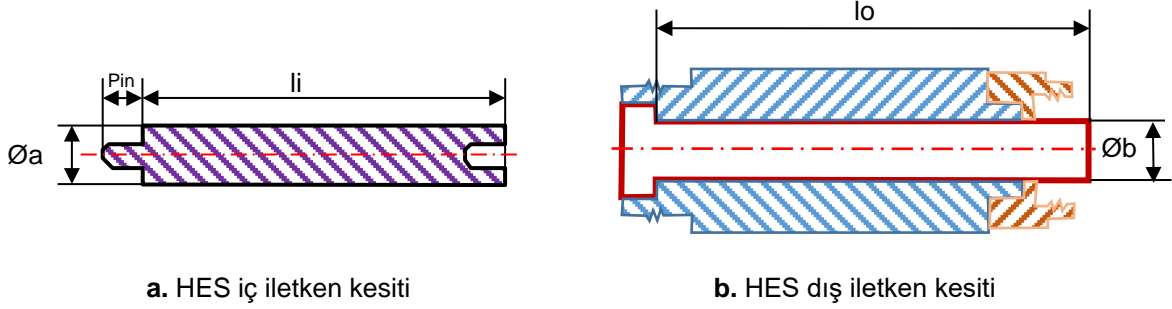
TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı 1996 yılından beri VNA kullanarak yansıma katsayısı ölçümleri yapmaktadır. TÜBİTAK UME, 2018 yılına kadar yansıma katsayısı ölçümlerinin birincil seviye standardı olarak kabul edilen HES ölçümlerini yurtdışında kalibre ettirmekte ve uluslararası izlenebilirliğini sağlamaktadır.

2018 yılının son çeyreğinde, TÜBİTAK UME laboratuvarlarında HES'lerin boyutsal ölçümleri, tamamen milli iş gücü ve sermaye ile tasarlanarak kurulan otomatik ölçüm sistemleri ile gerçekleştirilmeye başlanmıştır. HES'lerin elektriksel parametreleri, boyutsal ölçümleri ile üretildiği malzemelerin karakteristik özelliklerinden yararlanılarak hesaplanmış olup, TÜBİTAK UME'ye yeni bir ölçüm kabiliyeti kazandırılarak ülke içinde öz yeterlilik sağlanmıştır.

Bu çalışmada TÜBİTAK UME HES boyutsal ölçüm sistemi ile yapılan ölçümler ve boyutsal ölçümlerden elektriksel parametrelerin elde edilişi sunulmuştur. Boyutsal ölçümlerin belirsizlik bileşenleri ve ölçüm sistemi ile deneysel sonuçlar da bu çalışmada sunulmuştur.

2. HES MEKANİK ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Eşeksenli (koaksiyel) yapıdaki bir HES, aralarında bağlantı ve merkezleme aparatı olmayan, dielektrik olarak havayı kullanan iç ve dış iletken olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 1). HES'ler deri etkisinden dolayı yüksek frekansta iletimi daha iyi yapabilmeleri için yüksek iletkenliğe sahip malzemeler ile kaplanmaktadır. Bundan dolayı HES mekaniksel ölçümlerinin kaplama malzemesine en az zarar verecek şekilde yapılması gerekmektedir.



Şekil 1. HES kesiti

HES'in her parçasının çap ölçümleri, TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga laboratuvarında bulunan aşağıda isimleri verilen iki ölçüm sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu iki ölçüm sisteminde kullanılan çap mastarlarının izlenebilirliği TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı'ndan sağlanmıştır. Ayrıca HES iç ve dış iletkenlerinin boyları ve bağlantı uçlarının boyutsal ölçümleri için ise Tablo 2'de isimleri verilen Boyutsal Labortuvarı'nda kurulu sistemlerden destek alınmıştır.

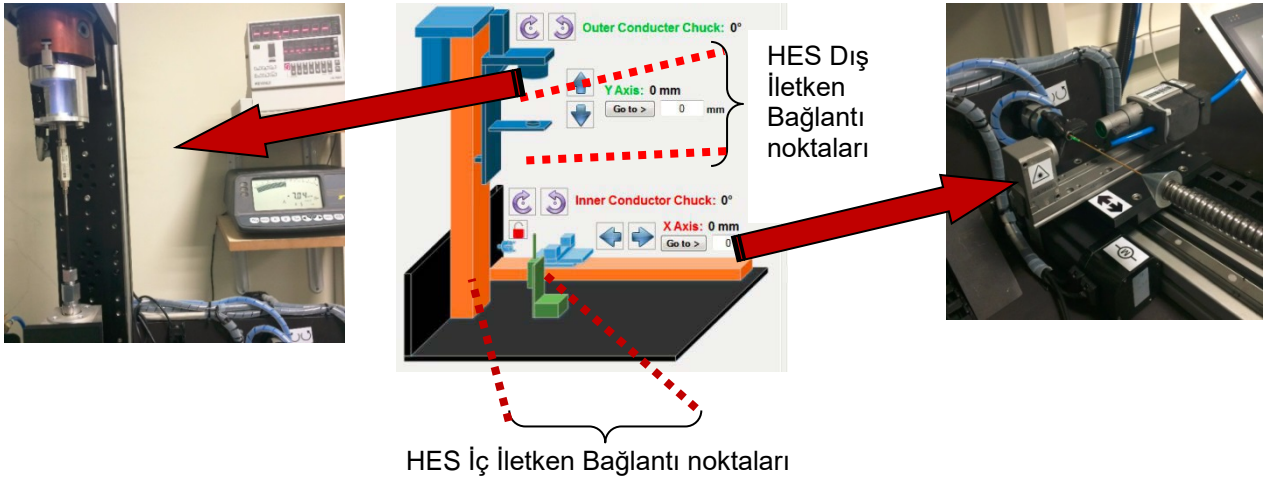
Herbir HES'in hem RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'ndaki hem de Boyutsal Laboratuvarı'nda yapılan ölçümlerine ait bilgileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. HES'lerin ölçülen boyutları

Ölçülen Büyüklük	Sembolü (Birimi)	Kullanılan Ölçüm Sistemi
Dış iletkenin boyu	lo (mm)	Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM, Zeiss, PRISMO-7 S-ACC), Boyutsal Lab.
İç İletkenin pin harici boyu	li (mm)	Optik Profil Projektör (OGP, QL20), Boyutsal Lab.
Dış iletkenin iç çapı (Outer conductor inner diameter – OCID)	b (mm)	Hava Yastıklı Sistem, RF ve Mikrodalga Lab.
İç iletken dış çapı (Inner conductor outer diameter – ICOD)	a (mm)	Lazer Taramalı Sistem, RF ve Mikrodalga Lab.

Dış iletken iç çap ölçümü temassız olarak, koşullandırılmış hava kullanan hava yastıklı hava-elektronik dönüştürücülü sistem ile yapılmaktadır ve Şekil 2'de gösterildiği gibi yere dikey olarak konumlandırılmıştır. İç iletken dış çap ölçümü yine temassız olarak lazer taramalı sistem ile yapılmaktadır ve Şekil 2'de gösterildiği gibi yere paralel olarak konumlandırılmıştır. Ölçüm sistemi bir PLC ve PLC üzerinden bilgisayar ile kontrol edilmektedir. Her iki ölçüm sisteminin kendine özgü gösterge cihazları söz konusudur. Sistem ile birlikte kullanılan bilgisayar gösterge ünitelerine doğrudan bağlıdır. Ölçüm sistemi için özel olarak geliştirilen yazılım gösterge ünitelerinde görüntülenen ölçüm değerlerini alarak kayıt etmektedir.

HES'lerin ölçülmeye çalışılan çapları konnektör tiplerine göre Tablo 3'te sunulmuştur [9]. Bu amaçla kurulan boyutsal ölçüm sistemlerinin Tablo 3'de belirtilen ölçüm aralıklarına uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Değişik konnektör tiplerindeki HES'lerin de çalışabileceği önerilen maksimum frekans aralıkları kesim frekansı hesabına göre yine Tablo 3'te verilmiştir [10]. HES'lerin karakteristik özelliklerinin istenilen frekans bandında standart olarak kullanılabilmesi için HES bağlantılarında kullanılan konnektörlerin de hassas konnektör olması gerekmektedir [11].



Şekil 2. HES ölçüm sistemi fonksiyon şeması.

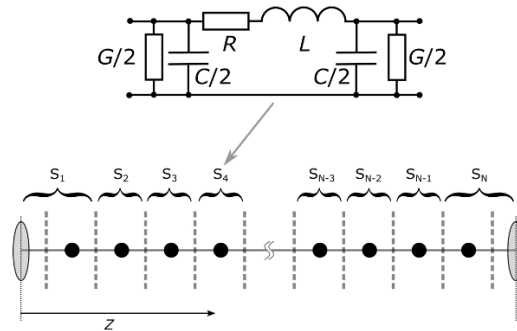
Tablo 3. HES konnektör tiplerine göre iletken çapları

Konnektör Tipi	Dış İletken İç Çap (mm) b	İç İletken Dış Çap (mm) a	Çalışabileceği Önerilen Maksimum Frekans (GHz)
14 mm	14,2875	6,204	8,5
7 mm	7,000	3,040	18,0
N Tipi	7,000	3,040	18,0
3.5 mm	3,500	1,520	33,0
2.92 mm	2,920	1,268	40,0
2.4 mm	2,400	1,042	50,0
1.85 mm	1,850	0,803	65,0
1 mm	1,000	0,434	110,0

3. HES ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

HES'lerin gelişimi ile birlikte kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerinin empedans değerlerine etki ettiği tespit edilmiştir. 1900'lü yılların başlarından 1940'lara kadar frekansa bağımlı olarak kullanılan malzemelerin iletim özelliklerinin deri etkisine bağlı olduğu formüle edilmiş ve yayınlanmıştır [11, 12, 13, 14].

İdealde kayıpsız koaksiyel hatların olması mümkün olmadığından dolayı standart olarak kullanılan HES'lerin malzemelerinin elektrik parametrelerinin çok iyi tanımlanması ve mekaniksel ölçümlerinin çok iyi ölçülmesi gereklidir. Bundan dolayı HES'lerin R, L, C, G dağıtık modeli (Şekil 3) üzerinden empedans hesabının yapılması gereklidir.



Şekil 3. HES dağıtık modeli.

HES dağıtık modeline göre empedans ve yayılma sabiti Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'deki gibi hesaplanabilir.

$$Z = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \quad (3)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)} \quad (4)$$

Eşitlik 3'teki R, L, C ve G parametrelerinin iç iletken dış çap (a) ve dış iletken iç çap (b) boyutlarına ve HES malzeme özelliklerine göre hesapları ise Eşitlik 5-14'te verilmiştir [15].

$$R = 2\omega L_0 d_0 \left(1 - \frac{k^2 a^2 F_0}{2} \right) \quad (5)$$

$$L = L_0 \left[1 + 2d_0 \left(1 - \frac{k^2 a^2 F_0}{2} \right) \right] \quad (6)$$

$$G = \omega C_0 d_0 k^2 a^2 F_0 \quad (7)$$

$$C = C_0 (1 + d_0 k^2 a^2 F_0) \quad (8)$$

$$F_0 = \frac{(b^2/a^2) - 1}{2 \ln(b/a)} - \frac{(b/a) \ln(b/a)}{(b/a) + 1} - \frac{1}{2} \left[\frac{b}{a} + 1 \right] \quad (9)$$

$$d_0 = \frac{\delta_s \cdot (1 + b/a)}{4 \cdot b \cdot \ln(b/a)} \quad (10)$$

$$L_0 = \frac{\mu \cdot \ln(b/a)}{2 \cdot \pi} \quad (11)$$

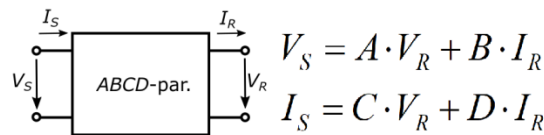
$$C_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln(b/a)} \quad (12)$$

$$\delta_s = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu}} \quad (13)$$

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{c/f} \quad (14)$$

Bu formüller kullanılarak her birim uzunlukta ölçülen a ve b değerlerinden birim uzunluklardaki R, L, C, G devre parametreleri hesaplanır ve bu parametrelerden birim uzunlukta Z empedansı elde edilir. Elde edilen birim uzunluklardaki empedansların toplamından da HES'in toplam empedansı ve iletim katsayısı hesap edilir. Böylece boyutsal ölçümlerden RF empedansa geçiş sağlanarak birincil seviyede izlenebilirlik sağlayan bir sistem oluşturulur.

HES empedans değerlerinden S parametrelerine geçiş için ise birim uzunluklar için hesaplanan R, L, C, G değerlerinden ABCD parametrelerine geçiş sağlanır (Eşitlik 15, 16) (Şekil 4) [16].



Şekil 4. ABCD parametrelerinin tanımı

$$Z_Z=R+j\omega L \quad Z_Y=G+j\omega C \quad Z=\sqrt{Z_Z/Z_Y} \quad Y=\sqrt{Z_Z/Z_Y} \quad (15)$$

$$A=\cosh(\gamma) \quad B=Z \sinh(\gamma) \quad C=\sinh(\gamma)/Z \quad D=\cosh(\gamma) \quad (16)$$

Birim uzunluklar için hesaplanan ABCD parametrelerinden, birim uzunluklar için S parametrelere dönüşüm Eşitlik 17-21 ile sağlanır.

$$\text{Bolum}=A+B/Z+C.Z+D \quad (17)$$

$$S_{11}=\frac{A+B/Z-C.Z-D}{\text{Bolum}} \quad (18)$$

$$S_{12}=\frac{2.(A.D-B.C)}{\text{Bolum}} \quad (19)$$

$$S_{21}=\frac{2}{\text{Bolum}} \quad (20)$$

$$S_{22}=\frac{-A+B/Z-C.Z+D}{\text{Bolum}} \quad (21)$$

4. HES ÖLÇÜM SONUÇLARI

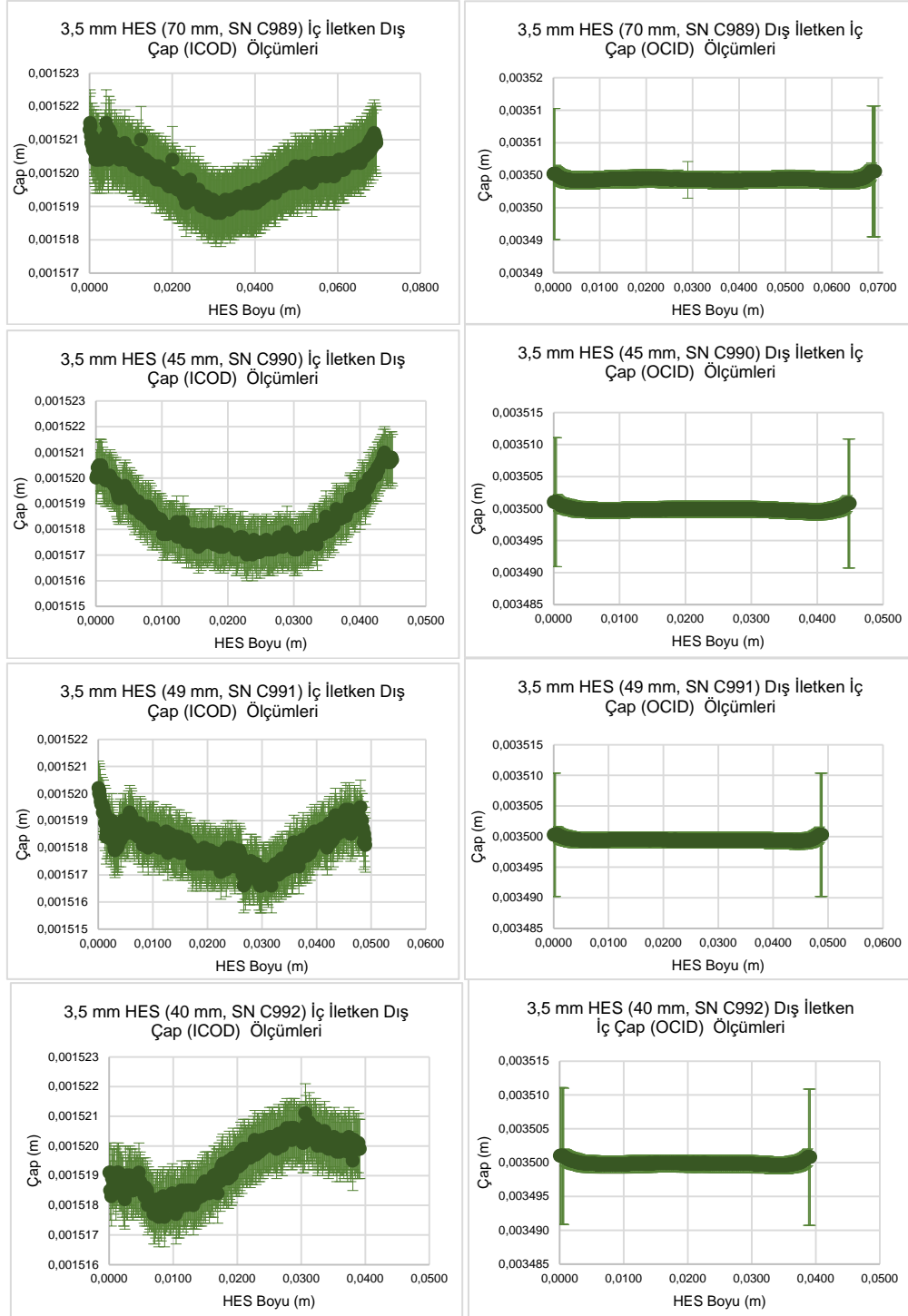
TÜBİTAK UME'de kurulu olan ve Tablo 2'de verilen sistemler ile Tablo 4'de verilmiş olan 4 adet HES'in mekaniksel ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümleri AB tarafından desteklenen EMPIR 15RPT01 RFMicrowave projesi kapsamında yapılmıştır [17]. Ölçüm sonuçları belirsizlikleri ile birlikte Şekil 5'de verilmiştir.

Tablo 4. Ölçümü yapılan HES'lerin genel özellikleri

Sıra No	Marka, Model, Seri Numarası	Uzunluğu	Konnektör Tipi
1	Maury Microwave, 8043T3.94, C989	3,94 cm,	3.5 mm
2	Maury Microwave, 8043T4. 94, C991	4,94 cm,	3.5 mm
3	Maury Microwave, 8043T7.0, C992	7,0 cm,	3.5 mm
4	Maury Microwave, 8043T4.53, C990	4,53 cm,	3.5 mm

Mekaniksel ölçüm sistemi iki farklı ölçüm sistemi içerdiğinden her sistemin kendine göre farklı belirsizlik hesaplamaları vardır. Metrolojik olarak boyutsal laboratuvarları ölçümlerini 20 °C sıcaklıklarda yapmakta iken mikrodalga laboratuvarlarındaki ölçümlerin 23 °C sıcaklıklarda yapıldığı göz ardı edilmemelidir.

Lazer taramalı ve havalı ölçüm sistemlerinden oluşan HES mekaniksel ölçüm sistemlerinin model fonksiyonları aşağıda ayrı ayrı verilmiştir. Mekaniksel ölçüm sonuçlarının "Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" dokümanına göre yapılan belirsizlik hesaplaması Tablo 5'de verilmiştir .[18]



Şekil 5. Ölçümü yapılan HES'lerin iç letken dış çap ve dış iletken iç çap ölçüm sonuçları

Lazer taramalı sistem ile yapılan pim master ölçümü belirsizliği için model fonksiyon;

$$DoPM = DIs + \delta Mas + \delta Cor + \delta Acc + \delta Exp \quad (15)$$

- DIs : Lazer taramalı sistem ile ölçülen master çapı (N)
 δMas : Masterın sertifika değerinden gelen düzeltme (N)
 δCor : Masterın sertifikasındaki ve ölçülen çapı arasındaki farktan gelen düzeltme (R)
 δAcc : Lazerin doğruluğu ve çözünürlüğünden gelen düzeltme (R)
 δExp : Sıcaklık genleşmesinden gelen düzeltme (R)

Havalı ölçüm sistemi ile yapılan halka mastar ölçümü belirsizliği için model fonksiyon;

$$DoRM=Das+\delta Mas+\delta Mas_Rndnss++\delta Cor+\delta Axis_Error+\delta Disp+\delta Exp \quad (16)$$

- Das : Havalı ölçüm sistem ile ölçülen halka mastar çapı (N)
 δMas : Mastarın sertifika değerinden gelen düzeltme (N)
 δMas_Rndnss : Mastarın yuvarlaklığından gelen düzeltme (N)
 δCor : Mastarın sertifikasındaki ve ölçülen çapı arasındaki düzeltmeden gelen düzeltme (R)
 $\delta Axis_Error$: Sistemin eksenden kaçıklık hatasından gelen düzeltme (R)
 $\delta Disp$: Gösterge ünitesinin çözünürlüğünden gelen düzeltme (R)
 δExp : Sıcaklık genişlemesinden gelen düzeltme (R)

Tablo 5. HES mekaniksel ölçüm sistemi ile elde edilen boyutsal ölçüm belirsizlikleri

Kalibre Edilen Cihaz	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Şartları	Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği (k=2)	Açıklamalar
Havalı Ölçüm Sistemi (HES dış iletken iç çap ölçümleri için)	7,0000 mm	Halka mastar ile	0,0052 mm	N tipi konnektörlü
	3,5000 mm	Halka mastar ile	0,0052 mm	3.5 mm konnektörlü
	2,9200 mm	Halka mastar ile	0,0054 mm	2.92 mm konnektörlü
	2,4000 mm	Halka mastar ile	0,0071 mm	2.4 mm konnektörlü
Lazer Taramalı Ölçüm Sistemi (HES iç iletken dış çap ölçümleri için)	3,0400 mm	Pin mastar ile	0,0012 mm	N tipi konnektörlü
	1,5200 mm	Pin mastar ile	0,0012 mm	3.5 mm konnektörlü
	1,2700 mm	Pin mastar ile	0,0012mm	2.92 mm konnektörlü
	1,0423 mm	Pin mastar ile	0,0013 mm	2.4 mm konnektörlü

SONUÇ

HES'ler günümüzde hassas RF empedans standartları olarak kullanılırken, HES mekanik özelliklerinden RF empedans parametrelerine geçiş bu çalışmada verilmiştir. Milli imkanlar ile kurulan boyutsal ölçüm sistemleri kullanılarak 3.5 mm HES'in iç iletken ve dış iletken ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlere ait belirsizliklerde hesaplanmış ve belirsizlik değerleri 3 μ m'den daha küçük elde edilmiş olup bu değer birincil seviye olarak kullanılmak üzere yeterli olduğu değerlendirilmiştir. Mekanik ölçüm verileri kullanılarak HES'e ait S-parametrelerinin hesaplanabilmesi için gerekli eşitlikler yine bu çalışmada verilmiştir.

HES ölçüm sistemi ile TÜBİTAK UME, dünyada birincil seviye RF empedans sistemi ile kendi kendine yeten sayılı enstitüler arasına girmiş ve ülkemizde RF empedansa dayalı ölçümlerde dışa bağımlılığı sona erdirmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Wong K.H., "Using precision coaxial air dielectric transmission lines as calibration and verification standards", Microwave Journal, December, 1998, pp 83-92.
- [2] Engen G.F. and Hoer C.A., "Thru-reflect-line: an improved technique for calibrating the dual size-port automatic network analyzer", IEEE Trans, MTT-27(12), December 1979, pp 987-993.
- [3] Hoer C.A and Engen G.F., "On-line accuracy assessment for the dual size-port ANA: extension to nonmating connectors", IEEE Trans, IM-36(2), June 1987, pp 524-529.
- [4] Weinschel B.O., "Air-filled coaxial lines as absolute impedance standards", Microwave Journal, April 1964, pp 47-50.

- [5] Harris I.A. and Spinney R.E., "Realization of high-frequency impedance standards using air spaced coaxial lines", IEEE Trans IM-13, December 1964, pp 265-272
- [6] Howell K. And Wong K, "DC to 110 GHz measurements in coax using the 1 mm connector", Microwave Journal 42(7), April 1994, pp 22-34.
- [7] Baxter W. And Dunwoodie D., "An easy to use method for measuring small SWRs o better than computer aided accuracy levels", Wiltron Technical Review, No 8, September 1978.
- [8] Hoffmann J, Huerlimann P., "Key parameters of coaxial connector models - mechanical design features and electrical properties," EMRP SIB62 project report, January 2015
- [9] IEEE 287, IEEE Standard for Precision Coaxial Connectors (DC to 110 GHz), IEEE Instrumentation and Measurement Society, 2007.
- [10] Marcuvitz N., "Waveguide handbook", MIT Radiation Laboratory Series 10, McGraw-Hill Book Company, pp 72-80, 1951.
- [11] Ridler N. M., "Connectors, airlines and RF impedance", IEE Measurement, Sensors, Instrumentation and NDT Professional Network, 2004.
- [12] Russell A., "The effective resistance and inductance of concentric main, and methods of computing the Ber and Bei and allied functions", Philosophical Magazine 17, 1909, pp 524-552.
- [13] Ridler N.M. and Medley J.C., "Improvements of traceability for impedance measurements at RF in the UK", IEE Engineering, Science and Education Journal 6(1), February 1997, pp 17-24.
- [14] Stratton J.A., "Electromagnetic theory", McGraw-Hill Book Company Inc, New York and London, Chapter 9, 1941.
- [15] Daywitt W.C., "First-order symmetric modes for a slightly lossy coaxial transmission line", IEEE Trans, MTT-38(11), November 1990, pp 1644-1651.
- [16] Grigsby L. L., "Electric Power Generation, Transmission, and Distribution," Boca Raton: CRC Press, 2012.
- [17] Hudlička M., Zeier M, Pinter B., Celep M., "15RPT01 RFMICROWAVE A1.1.3 Mechanical model of the set of coaxial air line standards report", May 2018
- [18] Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). JCGM 100. First edition. September 2008 (available on the BIPM website: http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf)

ÖZGEÇMİŞ

Erkan DANACI

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 1991 yılında mezun olmuştur. Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda sırasıyla 1996 yılında Yüksek Lisans ve 2002 yılında Doktora çalışmasını tamamlamıştır.

1992-2000 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisli Bölümü Devreler ve Sistemler Teorisi Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 1998-2000 yılları arasında TÜBİTAK MAM BTAE'de Milli Savunma Bakanlığının bir projesi kapsamında yazı zamanlı araştırmacı olarak RF devre tasarım çalışmalarında bulunmuştur. 2000 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2007-2014 yılları arasında TÜBİTAK UME Stratejik Planlama ve İş Geliştirme Birimi Sorumluluğu görevini yürütmüş, bunun yanında 2011-2014 yıllarında arasında TÜBİTAK UME Müdür İdari Yardımcılığı görevine vekalet etmiştir. 2014 yılından itibaren TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda Başuzman Araştırmacı olarak RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil s-parametreleri, empedans ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmalarını yürütmektedir. Ayrıca Yapay Sinir Ağları ilgi alanındadır. EURAMET TC-IM Türkiye delegasyonu, EURAMET TC-IM FGNMID Türkiye delegasyonu ve her yıl düzenlenen Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı'nın Bilim Kurulu üyeliği görevlerini sürdürmektedir.

2002 yılında Kanada'da düzenlenen CPEM konferansına sunduğu çalışması ile Genç Bilim Adamı Ödülü almış, 3 makalesi, 2 kitapta bölüm yazarlığı ve 17 ulusal ve uluslararası bildirisi mevcuttur.

Murat CELEP

Trakya Üniversitesi Tekirdağ M.Y. Okulu'ndan 1992 yılında, Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde 2004 yılında tamamlamıştır.

1995 yılında bir süre CEDETAŞ A.Ş.'de çalışmış ve 1997 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda göreve başlamıştır. RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil seviye güç, s-parametreleri, empedans, zayıflatma ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmakta olup aynı zamanda bu ölçümler için, ölçme sistemlerinin kurulması, karakterize edilmesi ve belirsizlik hesaplamalarının yapılması konusunda çalışmalarda bulunmaktadır. Mikrodalga güç ve s-parametrelerinin uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır. 100 MHz - 1GHz frekans aralığında gerilim izlenebilirliğinin güç standartları üzerinden alınması için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda özgül soğurma oranı (SAR) ölçme sisteminin çalıştırılması, karakterize edilmesi ve SAR ölçümleri konusunda çalışmaktadır. Halen RF ve Mikrodalga Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

Murat ARSLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Beşikdüzü Meslek Yüksek Okulu Elektronik ve Haberleşme Bölümünden 2010 yılında onur öğrencisi derecesi ile mezun olmuştur. 2010-2012 yılları arasında cep telefonu distribütörlüğü yapan bir firmada cep telefonu onarım teknikeri olarak çalışmıştır. 2012-2013 yıllarında askerlik hizmetini yapmıştır. 2013-2017 yıllarında Siemens telefon santralleri kurulumu ve zayıf akım çözümleriyle ilgili teknik servis birimlerinde çeşitli projelere katkı sağlamıştır.

2017 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda çalışmaya başlamıştır. RF ve Mikrodalga Laboratuvarında, mikrodalga güç, birincil ve ikincil seviye güç algılayıcısı kalibrasyonları ve HES boyutsal ölçümlerini yapmaktadır.