

TÜRKİYE'DE YÜKSEK GERİLİM KALİBRASYONLARI

Ahmet MEREV

Serkan DEDEOĞLU

Kaan GÜLNIHAR

ahmet.merev@ume.tubitak.gov.tr
serkan.dedeoglu@ume.tubitak.gov.tr
kaan.gulnihar@ume.tubitak.gov.tr

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)
Yüksek Gerilim Grubu Laboratuvarı,
41470, Gebze, Kocaeli

ÖZET

Ülkemizdeki elektromekanik sanayi üretimi, yurt içi ve yurt dışındaki etkisi bakımından tekstilden sonra en önemli güçlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu gücün sürdürülebilir olması kalite sisteminin uygulanabilirliğiyle ilgilidir. Ülkelerin Ulusal Metroloji Enstitüleri bünyesinde oluşturulan ulusal ölçüm sistemleri ile hem ülke içinde hem de uluslararası alanda ekonomik, sosyal, teknik ve bilimsel faaliyetlerin kalitesinin artırılması sağlanmaktadır. Türkiye'nin bilimsel metrolojiden sorumlu kurumu TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) bünyesinde faaliyet gösteren Yüksek Gerilim Grubu Laboratuvarı, Türkiye'de yüksek gerilim metrolojisi konusunda sektöre kalibrasyon, AR-GE ve eğitim konularında hizmet vermeye 2004 yılından itibaren vermektedir. Dünyada yüksek gerilim metroloji konusundaki çalışmalara 1950'li yıllarda başlanmıştır. Ülkemizde ise konu ile ilgili bilgi birikiminin oluşturulması ve paylaşılması konusundaki gecikmeler yerli elektromekanik sanayi sektörünün kalite bilincinin oluşmasına olumsuz etki yapmıştır. Bu aşamada, ülkelerin ulusal metroloji enstitülerine sektörün bilinçlendirilmesinde önemli görevler düşmektedir. Bu çalışmada, elektro mekanik sanayi sektörünün ölçüm teknikleri konusunda yaşadığı sorunlar, sektörün bulunduğu konum ve sektöre ölçü birimlerine izlenebilirliğin aktarıldığı kalibrasyon sürecinin tanımlanması konularında bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Gerilim Teknolojisi, Metroloji, İzlenebilirlik, Kalibrasyon.

GİRİŞ

Günümüzde elektrik enerjisine olan talebin artmasıyla birlikte, bu enerji türünün kullanıcılara en az maliyette ve elektriksel kayıpta ulaştırmanın önemi de artmıştır. Elektrik enerjisinin ekonomik bir biçimde kullanıcılara ulaştırılması, gerilim seviyelerinin artmasını ve ekipmanların boyutlarının küçülmesini zorunlu hale getirmiştir. Başta kullanıcıların güvenliği olmak üzere, sistem güvenilirliği ve üreticilerin karlılığı için, üretilen ekipmanların ulusal veya uluslararası standartlara göre çeşitli deneyler tâbi tutulması gerekmektedir. Bu deneyler uluslararası anlaşmalarda belirtildiği gibi geçerliliği kabul edilmiş ulusal yada uluslararası akredite edilmiş laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilmelidir. Akredite edilmiş laboratuvarlarda gerçekleştirilen deneylerle, kullanılan ölçüm sistemlerinin izlenebilirlik zinciri içerisinde olmakta ve ürünün güvenliği sağlanmaktadır.

Türkiye'deki elektromekanik sanayi sektörünün üretim çeşitliliği göz önünde bulundurulduğunda, sektörün altyapısı içerisinde en çok şebeke frekanslı AC ve darbe yüksek gerilim üretim ve ölçüm sistemleri bulunmaktadır. TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Yüksek Gerilim Laboratuvarı, sektöre en fazla bu iki gerilim tipine ait ölçüm sistemlerinin kalibrasyonları konusunda hizmet vermektedir.

1. YÜKSEK GERİLİM TEKNİĞİNDE ÖLÇME

Yüksek gerilim deney ve kalibrasyonlarındaki gerilim ve akım ölçümleri, genlik değerinin çok yüksek olması sebebiyle, alışlagelmiş ölçüm cihazları ve kaydedicileri kullanarak direk olarak ölçümü imkansız hale getirmektedir. Bunun yanında sadece genlik değil, yüksek gerilim işaretinin dalga şeklinin ve zaman parametrelerinin de kontrol edilme

zorunluluğu, ölçüm zorluğunu daha da arttırmaktadır.

Yüksek gerilim ölçüm sistemleri genel olarak dönüştürücü, iletici ve kaydedici cihaz veya ekipmanlardan oluşmaktadır. Optimize edilmiş bir ölçüm sistemi için, içerisinde barındırdığı bu tüm cihaz ve elemanların uyum içerisinde çalışmaları söylenebilir. Bu cihazların uyum içerisinde çalışmasının yanında, benzer karakteristik özelliklerinin de aynı yapıda olması zorunluluktur. Bir ölçüm sistemini oluşturan elemanlardan en az bir tanesinin karakteristik olarak uyumsuzluk taşıması, ölçüm sisteminin zayıf halkasını teşkil etmektedir ve o elemanın performansı ile ciddi çalışmaların gerekliliğini ortaya koymaktadır [1].

Ölçüm sistemlerindeki dönüştürücü elemanlar, yüksek gerilimi ölçülebilir seviyeye indirebilen ve bölünmüş alçak gerilim işaretini iletim elemanları aracılığıyla kaydedicilere yada voltmetrelere taşınmasına yardımcı olan cihazlardır. Yüksek gerilim sistemlerinde kullanılan dönüştürücü elemanlar, genellikle bölücüler yada ölçüm transformatörleridir. İletim elemanları koaksiyel kablolar yada uyumlaştırıcı elemanlar olarak bilinmektedir ve ölçüm sistemine bozucu etkiler vermemek üzere tasarlanmaktadır. Kaydedici cihazlar ise, yüksek gerilim ölçüm sistemlerinde voltmetreler, osiloskoplar yada dijital kaydediciler olarak bilinen alçak gerilim ölçüm cihazlarıdır [1,2].

Yüksek gerilim metrolojisinin geçmişi dünyada 1950'li yıllara dayanmasına rağmen ülkemize girişi çok gecikmiştir. TÜBİTAK UME olarak, bu eksikliğin giderilmesi konusunda hızlı bir çalışma ortamı yerli elektromekanik sanayi ile işbirliği ile sağlanmaya başlanmıştır. Yüksek gerilim ölçmelerinde kullanılacak ölçüm sistemlerinin taşıması gerektiği özellikler IEC 60060-2:1994 standardında detaylandırılmıştır. Buna göre, üreticilerin

gerçekleştirmiş oldukları yüksek gerilim deneylerindeki güvenilirliği sağlamaları için, sahip oldukları ölçüm sistemlerinin taşıması gerektiği çeşitli kriterleri yerine getirmeleri gerekmektedir.

1.1 Ölçme Sistemlerinin Kullanılması

Onaylanmış ölçme sistemlerinin, işletme ömürleri boyunca çeşitli deneyleri ve kontrollerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak bu deney ve kontrollerden önce kullanılacak ölçüm sistemlerinin kabul deneylerinin de bir defaya mahsus olmak üzere gerçekleştirilmesi zorunluluktur. Çeşitli yüksek gerilim deneylerinde kullanılan ölçüm sistemlerinde, standartlara göre onaylanmış olabilmesi için gerçekleştirilmesi gereken deney ve kontroller şunlardır.

1. Sistem bileşenleri için yapılan kabul deneyleri (sadece 1 defaya mahsus gerçekleştirilir)

- i. Skala Faktörünün (Bölüm Oranı) Belirlenmesi
- ii. Linearite Deneyi
- iii. Kısa Dönem Kararlılık Deneyi
- iv. Uzun Dönem Kararlılığı
- v. Sıcaklık Etkisi
- vi. Yakınlık Etkisi
- vii. Dayanım Deneyleri
- viii. Dinamik Davranış Cevabı Deneyi

2. Ölçüm sistemi için gerçekleştirilen performans deneyleri (periyodik olarak gerçekleştirilir)

- i. Skala faktörlerinin belirlenmesi,
- ii. Doğrusallık deneyi,
- iii. Kısa dönem kararlılık deneyi,
- iv. Dönüştürme düzeni üzerindeki kuruda dayanım deneyi.

3. Ölçüm sistemi için gerçekleştirilen performans kontrolleri (periyodik olarak gerçekleştirilir)

- i. Bileşenlerinin skala faktörünün
- ii. Sistemin skala faktörünün

Yüksek gerilim ölçüm sistemleri üzerinde gerçekleştirilen tüm deney ve kontroller, AC, DC ve darbe yüksek gerilim ölçüm sistemlerini kapsamaktadır. Deney ve kontroller sonucunda ortaya çıkan değerler kayıt altına alınmalı ve sistemin uyumluluğu IEC 60060-2 standardına göre değerlendirilmelidir [3].

1.2 AC Yüksek Gerilimlerinin Ölçülmesi

Şebeke frekanslı AC yüksek gerilim ölçümlerindeki genel kural, deney geriliminin tepe veya etkin değerini toplam belirsizlik $\pm \% 3$ içerisinde olacak biçimde ölçmektir. Ancak ölçümde kullanılan sistemin, çeşitli deney ve kontrollerinin yapılmasının yanında, Ulusal Metroloji Laboratuvarlarından yada akredite edilmiş herhangi bir kalibrasyon laboratuvarından izlenebilir olması gerekmektedir.

1.3 Darbe Yüksek Gerilimlerinin Ölçülmesi

Yıldırım darbe yüksek gerilim ölçümlerindeki belirsizliklerle ilgili genel kurallar aşağıda verilmiştir:

Tam darbelerin tepe değerini toplam belirsizlik $\pm \% 3$ içerisinde olacak biçimde ölçmek,

Toplam belirsizlik değerinin, kırpmaya kadar olan T_c süresine bağlı olduğu kırılmış darbelerin tepe değerini;

alında kırılmış darbeler için $\leq \pm \% 5$ ($0,5 \mu s \leq T_c < 2 \mu s$)

kuyrukta kırılmış darbeler için $\leq \pm \% 3$ ($T_c \geq 2 \mu s$ için)

Dalga biçimini belirleyen zaman parametrelerini, toplam belirsizlik $\pm \% 10$ içerisinde olacak biçimde ölçmek

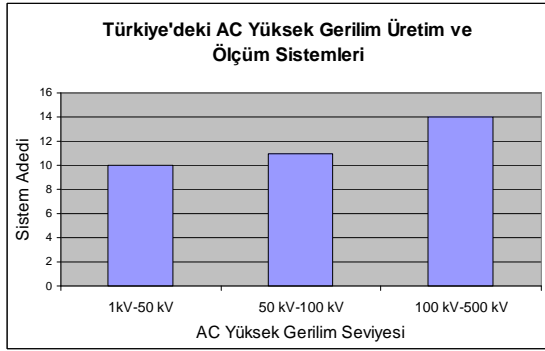
Ancak ölçümde kullanılan sistemin, çeşitli deney ve kontrollerinin yapılmasının yanında, Ulusal Metroloji Laboratuvarlarından yada akredite edilmiş herhangi bir kalibrasyon laboratuvarından izlenebilir olması gerekmektedir.

2. TÜRKİYE'DE AC VE DARBE YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN KALİBRASYONLARI

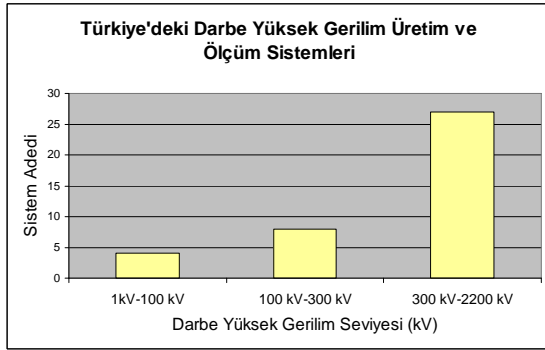
Yasal ve endüstriyel metroloji alanlarında faaliyet gösteren laboratuvarların, uluslararası birim sistemine izlenebilirliğini sağlamak, ulusal standartlar aracılığıyla ülkede gerçekleştirilen ölçümlere referans oluşturmak için yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri bilimsel metroloji kapsamındadır. Ülkelerin bilimsel alanındaki faaliyetlerini yürüten kurumları ulusal metroloji enstitüleridir. Ülkemizde bilimsel metroloji alanında hizmet veren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) bünyesinde kurulan Yüksek Gerilim Grubu Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarı, 2004 yılından itibaren hizmet vermektedir. Öncelikli hedefleri arasında ulusal ölçüm sistemlerini oluşturarak, yerli elektromekanik sanayine yüksek gerilim izlenebilirliğini aktarmak olan UME Yüksek Gerilim Laboratuvarı, Türkiye çapında yerinde kalibrasyon hizmeti vermektedir [4].

2.1 Türkiye'deki Deney Laboratuvarlarındaki Ölçüm Sistemlerinin Genel Durumu

Türkiye elektromekanik sanayi sektörünün elindeki deney sistemleri incelendiğinde, AC ve darbe yüksek gerilim üretim ve ölçüm sistemlerinin ağırlıklı olarak kullanıldığı bilgisine ulaşılmaktadır. Şekil 1 (a) ve (b)'de, UME Yüksek Gerilim Laboratuvarından hizmet alan üreticilerin sahip oldukları AC ve darbe yüksek gerilim üretim ve ölçüm sistemlerinin, gerilim seviyelerine göre dağılımı gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 1. Türkiye’de hizmet veren üreticilerin sahip oldukları (a) AC ve (b) Darbe yüksek gerilim üretim ve ölçüm sistemlerinin gerilim seviyelerine göre dağılımı

Türkiye’deki üreticilerin bünyesinde bulunan AC yüksek gerilim ölçüm sistemlerinin gerilim seviyeleri, genel olarak düzgün bir dağılım göstermektedir ve maksimum 500 kV’a kadardır. Ancak darbe yüksek gerilim sistemleri için benzer özellikler bulunmamaktadır. 300 kV’un üzerinde ve maksimum 2200 kV’a kadar, Türkiye’de darbe yüksek gerilim üreticileri ve ölçüm sistemlerinin ağırlıklı olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Elektromekanik sanayi üreticileri, AC ve darbe üretim ve ölçüm sistemlerini, % 88 oranında ithal ürünler arasından tercih etmektedir. Bunun en önemli sebebinin, bu tür ölçüm sistemlerinin üretildiği yerli üretici gruplarının oluşmamış olmasıdır. Ölçüm sistemlerinin yerli kaynaklarla oluşturulmasına yönelik çeşitli tedarikçiler girişimlerde bulunmaktadır ancak, bu ürünleri alan sektör kullanıcılarının memnuniyetinin yeterli düzeyde olmadığı anlaşılmaktadır. TÜBİTAK UME Yüksek

Gerilim Grubu, sektörün ölçüm sistemleri taleplerine yönelik faaliyet ve çalışmalarda yer almaktadır.

2.2 Türkiye’deki Yüksek Gerilim Kalibrasyonlarında Karşılaşılan Problemler

Yüksek gerilim metroloji kavramı, ancak 2000’li yıllardan sonra ve özellikle Avrupa Birliği’ne giriş sürecinde Türkiye’de dikkat edilmeye başlanmıştır. Yüksek Gerilim Grubu Laboratuvarı olarak, gerek deney gerek kalibrasyon konusunda, sektörümüzün ciddi eksikliklerinin olduğunu ve yanlış yöntemlerin kullanıldığını söylemek mümkündür.

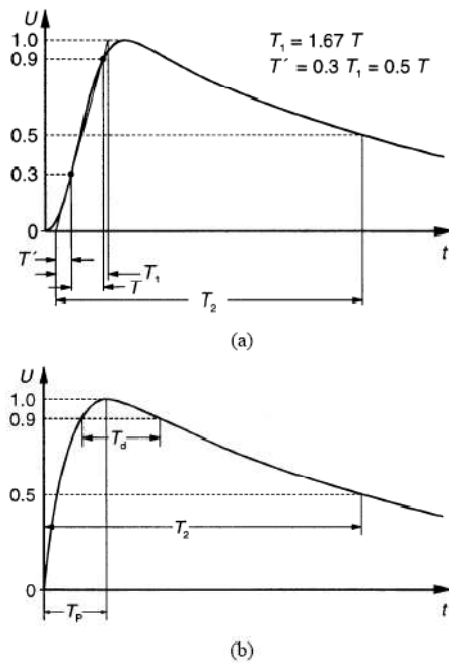
Bünyesinde yüksek gerilim deney laboratuvarları olan üreticilerin, Türk Akreditasyon Kurumu TÜRKAK’dan yada yurt dışındaki benzer kurumlardan akreditasyonlarını [ISO/IEC 17025](#) standardına göre tamamlamaları gerekmektedir. Bu zorunluluk özellikle yurt dışı pazarına yönelik faaliyet gösteren üreticiler için çok daha önem taşımaktadır. Akreditasyon gereği, üreticiler sahip oldukları ölçüm sistemlerinin özellikle IEC 60060-1 ve 60060-2 standardında belirtilen, performans deney ve kontrollerini aksatmadan yerine getirmelidir. Türkiye’deki akredite olmuş veya olmak üzere olan üreticilerin bu konuyu atladıkları yada önemsemedikleri görülmektedir. Ölçüm sistemlerinin kalibrasyon aralığının belirlenmesi ile ilgili üreticilerimizin sıkıntıları bulunmaktadır. [ISO/IEC 17025](#) standardında da belirtildiği gibi, kalibrasyon aralığı ile ilgili herhangi bir zorlama veya sınırlama bulunmamaktadır. İki kalibrasyon arasındaki sürenin belirlenmesi tamamen üreticilere bırakılmaktadır. Ancak IEC 60060-2 standardında da belirtildiği gibi, bir ölçüm sisteminin kalibrasyon aralığının belirlenmeden önce, kullanıcıların ölçüm sistemlerinin performansını çok sık aralıklarla izlenmeleri istenmektedir. Bu takip sonucunda kalibrasyon aralığının

oluşturulmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Ulusal Metroloji Enstitüsü Yüksek Gerilim Grubu Laboratuvarı olarak, ölçüm sistemlerinin kalibrasyonlarının her yıl gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Ancak iki veya daha fazla yılda bir gerçekleştirilmesi yönünde tercihte bulunan üreticiler olursa da, bu üreticilerin her yıl sistemlerinin performans deneylerini gerçekleştirmeleri ve bunları IEC 60060-2 standardına göre kayıt altına almaları tavsiye edilmektedir.

AC ve darbe yüksek gerilim ölçümlerinde karşılaşılan en önemli yanlışlardan bir tanesi, ölçümün AC sistem için deney transformatörünün girişinden ve darbe sistemi için ise DC yüklemeye (şarj) gerilimi üzerinde yapılmasıdır. AC yalıtım deneylerinde ölçüm sistemi olarak deney transformatörünün giriş gerilimini kullanmak ölçüm hatalarına yol açmaktadır. Çünkü deney transformatörünün sabit olduğu düşünülen çevirme oranı, transformatörün doyuma ulaşması yada doğrusallığının bozulması sebebiyle tüm gerilim deneylerinde kararlı olmamaktadır. Giriş gerilimini referans olarak almak, deneyin güvenilirliğine etki etmektedir. Bu nedenle AC yüksek gerilim ölçüm sistemlerinin, referans gerilim bölücüsü ve tepe değer voltmetresinden oluşması tavsiye edilmektedir. Darbe yüksek gerilimleri sadece tepe değer gerilim değerinin değil zaman parametrelerinin de deney süresince kontrol edilmesinin önemli olduğu gerilim tipidir. Yüksek gerilim deneylerinde iki önemli darbe gerilim tipi kullanılır. Bunlar Şekil 2'de dalga biçimleri ve parametreleri verilen yıldırım ve anahtarlama darbe yüksek gerilimlerdir. Bir deney cisminin ve gerilim bölücüsünün yüküne göre, darbe gerilimin parametreleri değişim göstermektedir. Bu nedenle bu tip deneylerde, DC yüklemeye gerilimini ölçüm referansı olarak almak çok ciddi ölçüm hatalarına yol açmaktadır. Darbe yüksek gerilim ölçüm sistemlerinin gerilim bölücüsü, özel çift katman ekranlı kablolu ve dijital

kaydedicisinden oluşması ölçüm güvenilirliği açısından çok büyük önem taşımaktadır. Alçak gerilim ölçüm elemanı olarak osiloskopların kullanılması artık günümüzde pek tercih edilmemektedir. Bunun en önemli sebebi, deney süresinde darbe parametrelerinin izlenmesi ve analizinde kullanım kolaylığını osiloskopların sağlamamasıdır.

AC ve darbe yüksek gerilimlerin ölçülmesinde, geçmişten gelen kötü alışkanlıklardan bir tanesi de küresel elektrotlarla ölçüm gerçekleştirmektir. IEC 60060-2 standardına göre küresel elektrotlarla ölçümü ancak, ölçüm sisteminin performans kontrollerinde uygun görülmektedir.



Şekil 2. (a) Standart yıldırım darbe formu $T_1=1,2$ ms ve $T_2=50$ ms
(b) Standart anahtarlama darbe formu $T_p=250$ ms ve $T_2=2500$ ms [5]

AC ve darbe yüksek gerilimlerin ölçülmesinde, geçmişten gelen kötü alışkanlıklardan bir tanesi de küresel elektrotlarla ölçüm gerçekleştirmektir. IEC 60060-2 standardına göre küresel elektrotlarla ölçümü ancak, ölçüm sisteminin performans kontrollerinde uygun görülmektedir. Küresel elektrotları

ölçüm sistemi olarak düşünmek doğru bir davranış değildir. Nitekim küresel elektrotlarla yapılan ölçümlerin belirsizliği $\pm 3\%$ 'dür ve bu değer yapısında gerilim bölücülerini barındıran ölçüm sistemlerine göre çok kaba bir değerdir.

Yıldırım ve anahtarlama darbe yüksek gerilimlerini, yüksek frekanslı işaretler olması bakımından standartlara uygun parametrelerde üretmek oldukça güçtür. Bu nedenler darbe gerilimlerin üretilmesinde Tablo 1'de verilen geniş bir tolerans bandı göz önünde bulundurulur. Ancak bu tolerans aralığının, ölçüm sistemi belirsizliği ile karıştırıldığı çok rastlanan hatalardan biridir. İlgili standartlara göre darbe yüksek gerilim deneylerini Tablo 1'de verilen tolerans aralığında üretmek ve deney cismine uygulamak mümkündür. Ancak bu gerilimleri ölçen sistemlerin belirsizliği için aranan koşullar Bölüm 1.3'de ifade edildiği gibi genlik için $\pm 3\%$ ve tüm zaman parametreleri için $\pm 10\%$ 'dur. Ülkemizde bu iki kavram birbiriyle çok sık karıştırılmaktadır.

Tablo 1. Standart yıldırım ve anahtarlama darbe yüksek gerilimlerinin karakteristikleri [5].

Karakteristik Büyüklükler	Yıldırım Darbe Gerilimleri	Anahtarlama Darbe Gerilimleri
Tepe Değer	$\hat{U} \pm 3\%$	$\hat{U} \pm 3\%$
Cephe Süresi	$T_1 = 1,2 \mu s \pm 30\%$	$T_p = 250 \mu s \pm 20\%$
Sırt Yarı Değer Süresi	$T_2 = 50 \mu s \pm 20\%$	$T_2 = 2500 \mu s \pm 60\%$

3. SONUÇ

Türkiye olarak gelişmekte olan ülkeler düzeyinde olduğumuzu göz önünde bulundurduğumuzda, dünya pazarında yer alabilmemiz ve ekonomik açıdan diğer ülkelerle rekabet edebilme gücünü arttırabilmemiz için, kaliteye ve dolaylı olarak metroloji konusuna gereken önemi vermek zorundayız. Özellikle, tekstilden sonra ikinci büyük sanayi gücümüz olarak kabul edilen elektromekanik sektörümüzün güçlenmesi için gereken her türlü çalışma ve faaliyeti tüm yerli kurum ve kuruluşlar olarak destekleme zorunluluğumuz bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ryan, H. M., *High Voltage Engineering and Testing*, IEE, 2001.
- [2] Naidu, M.S., Kamaraju, V., *High Voltage Engineering*, McGraw-Hill, 1996.
- [3] IEC 60060-2, *High-Voltage Test Techniques Part 2: Measuring Systems*, IEC, 1994.
- [4] Commission of Technical Experts, *Metrology-in short*, 2nd Edition, EUROMET Project 673, 2003.
- [5] Merev, A., Dedeoğlu S. Gülnihar, K., *Yıldırım Darbe Yüksek Gerilim Ölçümleri*, 7. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 2008.