

EMC Testlerinde Ölçüm Belirsizliğine İlişkin Bir Gözden Geçirme

Fatih Üstüner
TÜBİTAK BİLGEM
Kocaeli

fatih.ustuner@tubitak.gov.tr

Özet: Laboratuvar akreditasyonunun vazgeçilmez bir ögesi olan ölçüm belirsizliği konusu elektromanyetik uyumluluk testleri açısından oldukça tartışmalı bir alandır. Elektromanyetik uyumluluk testlerinde çok fazla parametrenin belirsizliğe katkıda bulunması ve bu parametrelerden bazılarının kontrol dışı olması belirsizlik bütçelerinin oldukça geniş hale gelmesine yol açmaktadır. Bu bildiriye konuyla ilgili kılavuz dokümanlar hakkında tarihsel sıra gözetilerek bilgi verilecek ve EMC test standartlarında ölçüm belirsizliği konusunun ele alınışı irdelenecektir.

Abstract: The subject of measurement uncertainty, which is an indispensable element of laboratory accreditation, is a highly controversial area in the case of electromagnetic compatibility tests. The fact that too many parameters contribute to uncertainty in electromagnetic compatibility tests and some of these parameters are out of control causes uncertainty budgets to become quite large. In this paper, information will be given by considering the historical order about the relevant guideline documents and the handling of the subject of measurement uncertainty in EMC test standards.

1. Giriş

Laboratuvar akreditasyonu laboratuvarların teknik güvenilirliğinin önemli bir göstergesidir. Ülkemizde Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından yürütülen laboratuvar akreditasyon faaliyetleri ISO 17025 “Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar Standardı” çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Bu dokümanın önemli başlıklarından biri ölçüm belirsizliği başlığı olup bu başlık altında, laboratuvarların gerçekleştirdikleri test veya kalibrasyonlardaki ölçüm belirsizliğini değerlendirmeleri istenmektedir[1]. Bu gereksinim kalibrasyon faaliyetleri için bir zorunluluk olarak ele alınırken test faaliyetleri için bu gereksinim bir miktar esnek bırakılmıştır. Bununla birlikte uygulamada esneklik denetim ekibinin inisiyatifinde olduğundan bu esnekliğin kullanımında rasyonel gerekçelerin oluşturulması büyük önem arz etmektedir. Elektromanyetik uyumluluk testlerinde ölçüm belirsizliği oldukça tartışmalı bir konu olarak gündemdedir. Ölçüm belirsizliğinin sadece kullanılan test cihazlarının belirsizliklerinin ötesinde test düzeneğinden ve onun da ötesinde Test Altındaki Cihazdan (TAC) gelen belirsizliklerin hesaplanması oldukça zor bir husus olarak karşımızda durmaktadır. Bu bildiriye öncelikle bu alanda yapılan çalışmalar kronolojik sıraya göre verilecek ve bu çalışmaların yaptığı katkılar özetlenecektir. Ayrıca günümüzde geldiğimiz nokta ve güncel EMC standartlarında ölçüm belirsizliğine yönelik yaklaşım kısaca bahsedilecektir.

2. EMC Testlerinde Ölçüm Belirsizliğine İlişkin Yapılan Çalışmalar

Elektromanyetik uyumluluk testlerinde ölçüm belirsizliğinin değerlendirilmesine ilişkin yayınlanan ilk doküman İngiltere Akreditasyon Kurumu NAMAS tarafından 1994’de yapılan ve NIS81 olarak bilinen kılavuz dokümandır[2]. Bu çalışmada genel ölçüm belirsizliği hususları verilmiş, uyumluluk kriterinden bahsedilmiş ve üç teste ilişkin (ışınma yoluyla emisyon, iletkenlik yoluyla emisyon ve ışıma yoluyla bağışıklık) örnek belirsizlik bütçeleri verilmiştir. Bu bütçelerde sadece test cihazlarından gelen bileşenler hesaba katılmıştı. 2002 yılında UKAS kurumu (NAMAS kurumunun temelini oluşturduğu 1995 yılında yerine kurulan İngiltere Akreditasyon Kurumu) LAB34 dokümanını yayınladı[3]. Bu dokümanda yine NIS81 dokümanında olduğu gibi ölçüm belirsizliği konusunda temel bilgiler verilmiş, uyumluluk kriterinden bu kez bağışıklık testlerini de içerecek şekilde bahsedilmiş ve yine ek bölümünde örnek belirsizlik bütçeleri verilmiştir. Ancak bu kez hem belirsizlik bütçesi verilen test sayısı artmış hem de NIS81 dokümanında verilen belirsizlik bütçeleri yeni bileşenlerin de değerlendirmeye katılmasıyla güncellenmiştir. Bu arada ilk kez belirsizlik bütçesinde her ne kadar katkısı sıfır alınmakla beraber Test Altındaki Cihazın (TAC) tekrarlanabilirliği hususu bir belirsizlik bileşeni olarak yer almıştır. Bu arada bu dokümanda ilk kez geçici etki bağışıklık testlerine ilişkin ölçüm belirsizliği değerlendirmeleri yer almıştır. Bu konuda dokümanın temel yaklaşımı test cihazının kalibrasyon sertifikasında

verilen sonuçlarla test standardının gereksinimlerinin uyumluluğunun gösterilmesi şeklinde olmuştur. Bu kılavuz dokümanlar bir köşede yer alırken EMC konusunda çalışan en eski standardizasyon komitesi olan CISPR komitesi 16 serisi dokümanlarının bir parçası olarak CISPR 16-4 kapsamında ölçüm belirsizliği hususuna değinmiştir. Bu dokümanda temel ölçüm belirsizliği bilgileri verildiği gibi üç adet test için (iletkenlik yoluyla emisyon, bozulma gücü ve ışınma yoluyla emisyon testleri) belirsizlik bütçeleri verilmiştir. 2003 yılında CISPR 16-4 dokümanı dört ayrı doküman halinde yeniden yayınlanmıştır. CISPR 16-4-1 dokümanında temel ölçüm belirsizliği kavramlarıyla beraber EMC testlerinde ölçüm belirsizliği bileşenlerinin üst düzeyden niteliksel gruplaması gerçekleştirilmiştir[4]. EMC testlerinde ölçüm belirsizliği katkıları ölçüm cihazları, test düzeneği, ölçüm prosedürü, ortam şartları ve TAC'dan kaynaklanan hususlar olarak beş ana bileşen altında toplanmıştır. Bu anlayışla düzenlenen örnek belirsizlik bütçeleri CISPR 16-4-2 dokümanında verilmiştir[5]. Verilen belirsizlik bütçelerinde örnek değerler kullanılarak CISPR kriterleri (U_{cisprr}) olarak adlandırılan örnek genişletilmiş belirsizlik değerleri elde edilmiştir. 2003 yılında yayınlanan ilk versiyonda belirsizlik bütçelerinde sadece ölçüm cihazları ve ölçüm prosedürüne ilişkin bileşenler yer alırken günümüzde yayınlanmış güncel versiyonlarda ortam şartlarına ilişkin belirsizlik bileşeni de değerlendirilmenin bir parçası olarak görülmektedir. Bununla birlikte TAC ve test düzeneğinden kaynaklanan belirsizliklerin henüz belirsizlik bütçesinin bir parçası olarak hesaba katılmadığı görülmektedir. Bu arada IEC kuruluşu da EMC testlerinde belirsizlik değerlendirmesine ilişkin bir kılavuz doküman olarak IEC 61000-1-6 dokümanını 2012 yılında yayınlamıştır[6]. Bu dokümanda genel belirsizlik kavramları EMC alanından örnekler verilerek detaylı olarak anlatılmıştır. Dokümanın eklerinde ise ışınma yoluyla emisyon (1-18 GHz aralığı için) ve ışınma yoluyla bağışıklık testleri için örnek belirsizlik bütçeleri verilmiştir. Bu dokümanların haricinde bazı test standartlarında o test için hazırlanmış örnek belirsizlik bütçeleri de mevcuttur[7]. Bununla birlikte örnek hazırlanmış belirsizlik bütçesi bulunmayan çoğunluğu özellikle askeri EMC alanında olmak bir çok test mevcuttur.

Kılavuz dokümanlarda verilen örnek belirsizlik bütçelerinde özellikle TAC'dan kaynaklanan etkiler henüz dahil edilmemektedir. Bunun nedeni TAC'ın ışınma deseniindeki değişikliklerin tahminindeki zorluktan kaynaklanmaktadır. Frekans yükseldikçe ve buna bağlı olarak TAC'ın elektriksel boyutu büyüdükçe (fiziksel boyut dalgaboyuyla mukayese edilmeye başladıkça) TAC'ın ışınma deseni izotropik olmaktan uzaklaşıp yönlülüğü artmaya başlayacaktır. Bu konuda literatürde yer alan bazı çalışmalar olmakla beraber kılavuz dokümanlara girmiş olgunlaşmış bir yaklaşım mevcut değildir[8,9]. Özellikle 1 GHz üstü frekanslarda TAC'ın yönlülüğünün hesaba katılması önem arz etmektedir.

3. EMC Test Standartlarında Belirsizlik Değerlendirmesine Bakış

Laboratuvar akreditasyonu açısından hemen her test için belirsizlik değerlendirmesi yapılması hususu EMC testleri açısından henüz tam olarak bir gereksinim olarak ilgili test standartlarında belirtilmemiştir. EMC ile ilgili test standartları gözden geçirildiğinde bazı standartlarda örnek bütçelerin yer aldığı görülürken bazı standartlarda ölçüm belirsizliğine herhangi bir atıf bulunmamaktadır. Bazı standartlar ölçüm belirsizliği değerlendirme sonucunun test raporunda verilmesini talep ederken bazı standartlar buna gerek görmemektedir. Tablo 1'de ölçüm belirsizliğine bazı temel EMC test standartlarının yaklaşımı verilmiştir.

Tablo 1. EMC Test Standartlarında Ölçüm Belirsizliğine Yaklaşım

Standart No	Standardın Kapsamı	İlgili Bölüm	Standartta Ölçüm Belirsizliğiyle İlgili Açıklamalar
EN55032	Multimedya Emisyon	11	Ölçüm belirsizliği CISPR 16-4-2'ye göre hesaplanacak ve test raporunda belirtilecektir. Bununla birlikte belirsizlik uyumluluk değerlendirmesinde hesaba katılmayacaktır.
EN55035	Multimedya Bağışıklık	10	Test parametrelerinin belirlenmesinde ölçüm belirsizliği sonuçları kullanılmayacaktır ve test raporlarında ölçüm belirsizliğinin hesaba katılmasına ve kaydedilmesine gerek yoktur.
EN 61000-6-4	Endüstriyel Cihazlar Emisyon	7	Ölçüm belirsizliği CISPR 16-4-2'ye göre hesaplanacaktır. Sınır değerlerle uyumluluk, CISPR 16-4-2 çerçevesinde değerlendirilecektir. Hesaplanan ölçüm belirsizliği, U_{cisprr} seviyesinden yüksekse test raporunda belirtilecektir.
EN 61000-6-3	Ofis Cihazları Emisyon	8	Ölçüm belirsizliği CISPR 16-4-2'ye göre hesaplanacaktır. Sınır değerlerle uyumluluk, CISPR 16-4-2 çerçevesinde değerlendirilecektir. Hesaplanan ölçüm belirsizliği, U_{cisprr} seviyesinden yüksekse test raporunda belirtilecektir.
EN 61000-6-1	Ofis Cihazları Bağışıklık	8	Her teste özel olarak ölçüm belirsizliği konusunda IEC TR 61000-1-6 veya ilgili temel standartta belirtilen herhangi bir husus varsa bu dikkate alınacaktır.
EN 61000-6-2	Endüstriyel Cihazlar Bağışıklık	8	Her teste özel olarak ölçüm belirsizliği konusunda IEC TR 61000-1-6 veya ilgili temel standartta belirtilen herhangi bir husus varsa bu dikkate alınacaktır.
IEC 61000-4-2	ESD	Ek E	Yükseliş zamanı tr, Tepe akımı Ip, 30 ns akımı I30, 60 ns akımı I60 parametrelerine ilişkin belirsizlik bütçeleri oluşturulmuş ve örnek değerler hesaplanmıştır. Benzer

			şekilde ESD üreteçlerinin kalibrasyon sonuçlarının bu parametreler açısından değerlendirilerek ölçüm belirsizliği bütçelerinin hesaplanması ve tavsiye edilen değerlerin altında kalmasına dikkat edilmesi standartta belirtilmektedir.
IEC 61000-4-4	EFT	Ek C	Yükseliş zamanı t_r , Tepe gerilimi V_p , darbe genişliği t_w parametrelerine ilişkin belirsizlik bütçeleri oluşturulmuş ve örnek değerler hesaplanmıştır. Test cihazına ait kalibrasyon sonuçlarının standartta belirtilen toleranslar çerçevesinde olması beklenmektedir.
IEC 61000-4-5	Ani Yükselmeler	Ek F	Açık devre gerilimi için Yükseliş zamanı t_{rv} , Tepe gerilimi V_p , darbe genişliği t_{wv} ve kısa devre akımı için yükseliş zamanı t_{ri} , tepe akımı I_p , darbe genişliği t_d parametrelerine ilişkin belirsizlik bütçeleri oluşturulmuş ve örnek değerler hesaplanmıştır. Test cihazına ait kalibrasyon sonuçlarının standartta belirtilen toleranslar çerçevesinde olması beklenmektedir.
IEC 61000-4-6	İletkenlik Yoluyla Bağışıklık	Ek G	CDN, EM Clamp, Current Clamp ve Direct Injection için ayrı ayrı hem kalibrasyon hem de test için ayrı bütçeler tanımlanmıştır. Bununla birlikte ortaya çıkan belirsizliğin TAC'a uygulanan seviyeyi ayarlamak için kullanılmayacağı belirtilmiştir.
IEC 61000-4-3	Işıma Yoluyla Bağışıklık	Annex J	Kalibrasyon ve Test için ayrı bütçeler tanımlanmıştır. Bununla birlikte ortaya çıkan belirsizliğin TAC'a uygulanan seviyeyi ayarlamak için kullanılmayacağı belirtilmiştir.
IEC 61000-3-2	Harmonik Akım Emisyonu	-	Ölçüm belirsizliğine ilişkin bir husus yoktur.
IEC 61000-3-3	Kırpışma	6.2	Ölçüm belirsizliği sınır değerleri verilmiştir.
IEC 61000-4-11	Gerilim çukurları, kısa kesintiler	-	Ölçüm belirsizliğine ilişkin bir husus yoktur.
MIL-STD-461G	Askeri EMC Testleri	-	Ölçüm belirsizliğinden bir bahis yoktur, ölçüm toleransları tanımlanmıştır.
ECE R10	Otomotiv EMC Testleri		Ölçüm belirsizliğine ilişkin bir husus yoktur.
EN 55014-1	Ev Aletleri Emisyon	8	Ölçüm belirsizliği CISPR 16-4-2'ye göre hesaplanacaktır. Sınır değerlerle uyumluluk, CISPR 16-4-2 çerçevesinde değerlendirilecektir. Hesaplanan ölçüm belirsizliği, U_{cisp} seviyesinden yüksekse test raporunda belirtilecektir.
EN 55011	ISM Emisyon	12	Ölçüm belirsizliği CISPR 16-4-2'ye göre hesaplanacaktır. Sınır değerlerle uyumluluk, CISPR 16-4-2 çerçevesinde değerlendirilecektir. Hesaplanan ölçüm belirsizliği, U_{cisp} seviyesinden yüksekse test raporunda belirtilecektir.
EN 55014-2	Ev Aletleri Bağışıklık	-	Ölçüm belirsizliğine ilişkin bir husus yoktur.

4. Sonuç

EMC testlerindeki ölçüm belirsizliği değerlendirmesi konusu özellikle TAC'dan ve test düzeneğinden kaynaklanan belirsizliklerin yüksek oranda olması nedeniyle tartışma konusu olmaya devam ettiğini görüyoruz. Bu alanda yapılacak çalışmaların ölçüm belirsizliğinin daha doğru verilmesi yönünde katkısı olacaktır. Bununla birlikte geldiğimiz aşamada kontrol altında tutabildiğimiz parametreler üzerinden ölçüm belirsizliğinin doğru anlaşılıp uygulanması da büyük önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- [1]. ISO 17025:2017, "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories", International Standardisation Organization ISO, 2017.
- [2]. NAMAS Publication NIS 81, "The treatment of Uncertainty in EMC Measurements", Edition 1, May 1994.
- [3]. UKAS LAB34, "The Expression Of Uncertainty In EMC Testing", Edition 1, United Kingdom Accreditation Service, August 2002
- [4]. CISPR/TR 16-4-1, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling - Uncertainties in standardized EMC tests", IEC, 2009
- [5]. CISPR 16-4-2, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling - Measurement instrumentation uncertainty", IEC, 2018
- [6]. IEC/TR 61000-1-6, "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-6: General guide to the assessment of measurement uncertainty", IEC, 2014
- [7]. Ölçüm belirsizliği örnek bütçelerinin verildiği IEC 61000-4-3, IEC 61000-4-6, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5 gibi standartlar
- [8]. G. Koepke, D. Hill, J. Ladbury, "Directivity of the test device in EMC measurements", Electromagnetic Compatibility 2000. IEEE International Symposium on, vol. 2, pp. 535-539 vol.2, 2000.
- [9]. P. Wilson, G. Koepke, J. Ladbury, C.L. Holloway, "Emission and immunity standards: replacing field-at-a-distance measurements with total-radiated-power measurements", Electromagnetic Compatibility 2001. EMC. 2001 IEEE International Symposium on, vol. 2, pp. 964-969 vol.2, 2001.