

Anten Kalibrasyon Metodları ve Karşılaştırmaları

Bahattin Türetken A.İhsan Yürekli Mehmet Yazıcı İsa Araz Bektaş Çolak

TÜBİTAK – UEKAE EMC TEMPEST Test Merkezi, Gebze 41470 KOCAELİ.
bahattin@uekae.tubitak.gov.tr

Özet

Bu çalışma iki ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, AF değerlerinin belirlenmesinde American National Standart Institute (ANSI) tarafından geliştirilen ANSI C.63.5 metodu kullanılarak birincil seviye bir laboratuvar olan İngiltere National Physical Laboratory (NPL) ile karşılaştırma yapılmıştır. TÜBİTAK-UEKAE Açık Saha Test Alanı'nda (ASTA) yapılan ölçümler sonucu elde edilen AF değerleri ile NPL ve üretici firma değerleri arasında büyük bir uyum gözlenmiştir. Bunun yanında alternatif metod olarak, GTEM (Gigahertz Transverse Electromagnetic) hücresinde AF değerlerinin belirlenmesi için ölçümler yapılmış ve standart metodlarla karşılaştırma yapılarak bu metodun güvenilirliği tartışılmıştır. İkinci kısımda ise MIL-STD ve TEMPEST ölçümleri için gerekli olan 1 metredeki AF değerlerini belirlemek için önerilen SAE ARP 958 (Society of Automotive Engineers) standardına alternatif bir yöntem olarak ANSI C.63.5 standardının uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anten Faktörü, Elektromanyetik Uyumluluk, Kalibrasyon, Ölçüm Belirsizliği

I. Anten Faktörü Belirleme Standartları

Anten Faktörü (AF), antenin ölçtüğü elektrik (veya manyetik) alan şiddetinin anten çıkışındaki endüklenmiş gerilime oranıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$AF = 20 \log\left(\frac{E}{V_0}\right) \quad (1)$$

Burada,

AF : Anten Faktörü (dBm^{-1}),
 E : Elektrik alan şiddeti (Volt/metre),
 V_0 : Anten çıkış gerilimi (Volt).

ANSI C63.5 ve ASTA'da Uygulanması

ANSI C.63.5 standardına göre anten faktörü belirlemenin değişik metodları vardır: Referans anten metodu, iki anten metodu, üç anten metodu, vb. Bu çalışmada, “üç anten metodu” kullanılmış ve ölçümler, ASTA'da gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bu methodda, üç ayrı anten ikişer ikişer eşleştirilerek üç ayrı saha zayıflatma değeri elde edilir. Kullanılan formüller saha zayıflatması üzerine kuruludur [1].

$$AF_1 = 10 \log f_M - 24.46 + 1/2 [E_{D_{\max}} + A_1 + A_2 - A_3] \quad (2)$$

$$AF_2 = 10 \log f_M - 24.46 + 1/2 [E_{D_{\max}} + A_1 + A_3 - A_2] \quad (3)$$

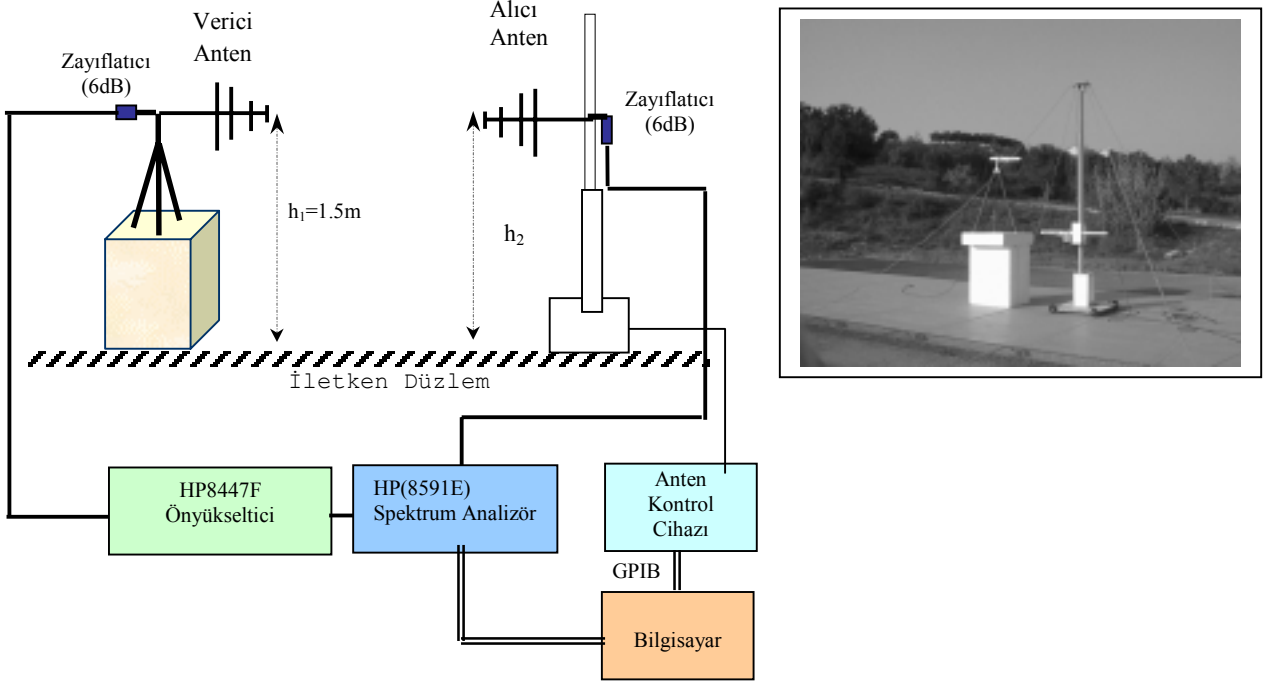
$$AF_3 = 10 \log f_M - 24.46 + 1/2 [E_{D_{\max}} + A_2 + A_3 - A_1] \quad (4)$$

Burada,

$A_{1,2,3}$: 1, 2 ve 3 no.lu saha zayıflatması ölçümlerinin sonuçları (dB)
 $E_{D_{\max}}$: Maksimum alan değeri ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$)
 $AF_{1,2,3}$: 1, 2 ve 3 no.lu antenlerin Anten Faktörleri (dBm^{-1})
 f_M : Frekans (MHz)

Eğer iki aynı tip anten kalibre edilmek istenirse, bu antenlerin anten faktörü $AF[\text{dB}(1/\text{m})]$, tek bir saha zayıflatması ölçümüyle ve (5) kullanılarak elde edilir :

$$AF = 10 \log f_M - 24.46 + 1/2 [E_{D_{\max}} + A] \quad (5)$$



Şekil 1. ASTA'da AF ölçüm düzeneği

GTEM Hücresinde AF Ölçümü

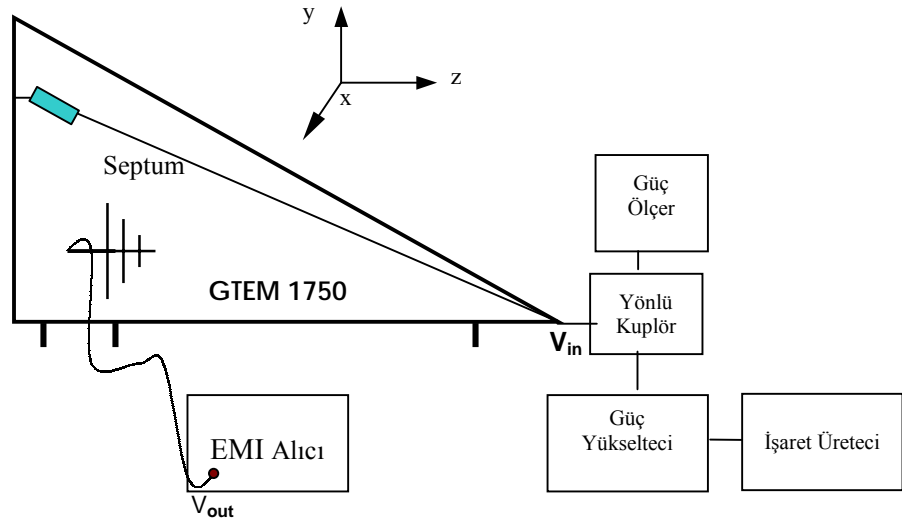
GTEM hücresi, AF belirlemek için alternatif bir test ortamı olarak çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiştir [3,4]. GTEM hücresinin test hacminin imkan verdiği boyutta antenlerin kalibre edilmesi mümkün olmuştur. Anten, test hacmine dikey olarak yerleştirilerek ölçüm yapılmıştır (Şekil 2). GTEM içindeki alan şiddeti,

$$E = \frac{V_i}{h} \quad (6)$$

biçimindedir ve burada E , Elektrik alan şiddetini (Volt/metre), V_i , giriş gerilimini (Volt), h , Septum(iç iletken) yüksekliğini (metre) göstermektedir. (1) ve (6) ifadeleri birleştirilerek,

$$AF = 20 \log(V_i) - 20 \log(V_0) + 20 \log(1/h) \quad (7)$$

formülü elde edilmiş olur.



Şekil 2. GTEM hücresinde AF ölçüm düzeneği

II. 1m Ölçüm Uzaklığı İçin Anten Faktörü Belirleme Yöntemleri

SAE ARP 958

Bu yöntem, 1m'deki anten faktörlerinin bulunması için, tam yansısız oda (TYO) içinde aynı tip iki antenin kullanıldığı bir test düzeneği öngörür. Aynı tip iki anten için AF,

$$AF = 20 \log_{10} \frac{9.73}{\lambda} - 10.98 + 10 \log_{10}(\lambda) - 10 \log_{10} \frac{V_R}{V_T} \quad (8)$$

şeklinde dir. Yukarıda verilen (8) formülünde bilinen değerler yerine konarak,

$$AF = 8.7 - 10 \log_{10}(\lambda) - 10 \log_{10} \frac{V_R}{V_T} \quad (9)$$

elde edilir.

Alternatif Bir Uygulama (ANSI C.63.5)

ANSI C.63.5 standardı uygulanarak 1 metredeki anten faktörlerinin elde edilmesi için,

$$AF_1 = 8.7 - 10 \log(\lambda) - \left\{ 10 \log\left(\frac{V_{1R}}{V_{2T}}\right) + 10 \log\left(\frac{V_{1R}}{V_{3T}}\right) - 10 \log\left(\frac{V_{2R}}{V_{3T}}\right) \right\} \quad (10)$$

$$AF_2 = 8.7 - 10 \log(\lambda) - \left\{ 10 \log\left(\frac{V_{1R}}{V_{2T}}\right) + 10 \log\left(\frac{V_{2R}}{V_{3T}}\right) - 10 \log\left(\frac{V_{1R}}{V_{3T}}\right) \right\} \quad (11)$$

$$AF_3 = 8.7 - 10 \log(\lambda) - \left\{ 10 \log\left(\frac{V_{1R}}{V_{3T}}\right) + 10 \log\left(\frac{V_{2R}}{V_{3T}}\right) - 10 \log\left(\frac{V_{1R}}{V_{2T}}\right) \right\} \quad (12)$$

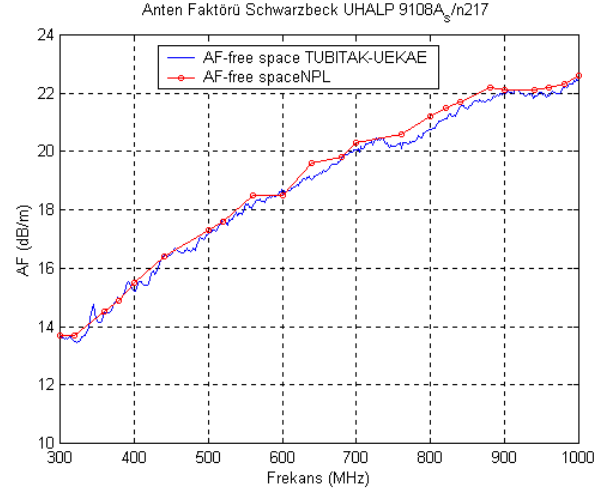
formülleri kullanılır [2]. Burada, λ dalgaboyunu (m), V_R alıcı antene gelen gerilimi ve V_T verici antene verilen gerilimi göstermektedir.

III. Ölçümler ve Sonuçlar

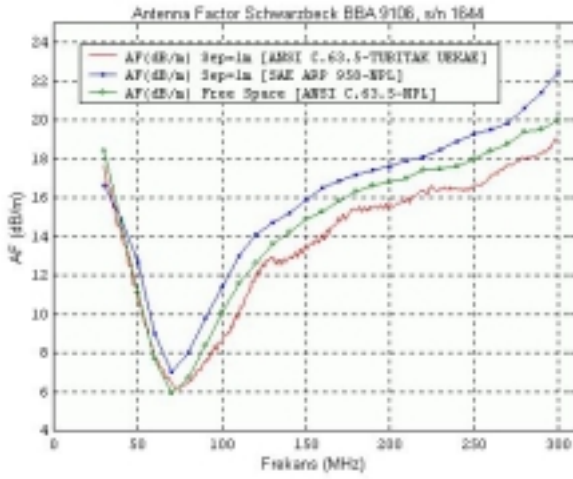
Serbest uzay AF ölçümleri ve 1m'deki AF ölçümleri, TÜBİTAK-UEKAE ASTA'da Şekil 1'de verilen test düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Serbest uzay ölçümleri için verici anten 1.5m yüksekliğinde tutulmuş; alıcı anten, bilgisayar destekli şekilde anten kontrol cihazı yardımıyla 1m - 4m arasında yükseltilecek şekilde spektrum analizör üzerinde değerler otomatik kaydedilmiştir. Serbest uzay AF ölçümü için alternatif bir metod olarak GTEM hücresi kullanılmıştır (Şekil 2).

1m'lik ölçümde ise, her iki anten 3m yüksekliğe çıkarılmış ve sabitlenerek ölçüm yapılmıştır. Her iki ölçümün sonucu, NPL sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

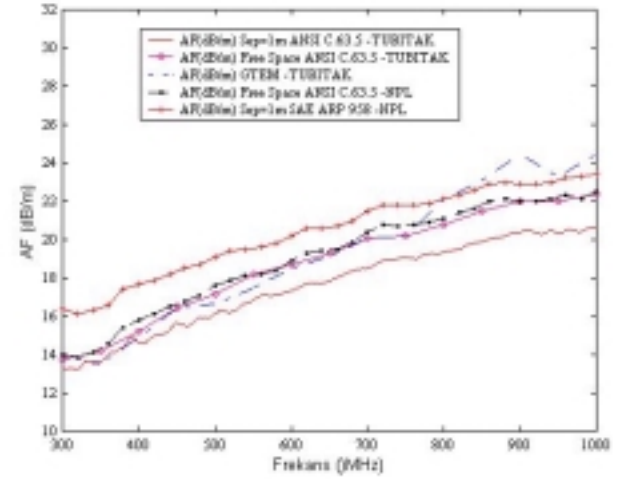
- Schwarzbeck bikonik anteni (s/n: 443, 30-300MHz) ile Schwarzbeck log periyodik anteni (s/n: 217, 300-1000MHz), ANSI C.63.5' uygun olarak TÜBİTAK-UEKAE ASTA'sında kalibre edilmiştir. Elde edilen AF değerleri ile NPL tarafından verilen değerlerle karşılaştırılmış ± 1 dB yaklaşıktıkta sonuç elde edilmiştir (Şekil 3a ve 3b). Bu ölçümler, değişik antenler için tekrarlanmış ve ölçüm sahasının uygunluğu test edilmiştir. Ayrıca GTEM hücresinde log periyodik anten kalibrasyonu yapılmış ve elde edilen değerler, diğer metodlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda NPL değerleri ile 1.1dB (yalnız 900MHz'de 1.74dB ve 1000MHz'de 2.17dB'lik fark) ve TÜBİTAK-UEKAE sonuçları ile 1.6dB (yalnız 900 MHz'de 2.46dB ve 1000MHz'de 2.03dB'lik fark) fark olduğu gözlenmiştir (Şekil 3d).
- Aynı antenlerin 1m'lik AF değerleri, [4]'de önerilen yöntemle göre hesaplanmış ve NPL tarafından verilen (SAE ARP 958) değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, düşük frekanslarda maksimum 1.2dB'lik fark gözlenmiştir. Yüksek frekanslarda ise AF değerlerinde yaklaşık 3dB'lik sapmalar gözlenmiştir. 1m'lik ölçümde, analitik olarak iletken düzlemde yansıma ihmal edilmesine karşın, deneysel olarak bunun doğru olmadığı düşünülmektedir (Şekil 3c). Söz konusu yansımaların, antenler arasındaki yansıtıcı yüzeyin üzerine piramit yutucu konularak ile önenebileceği düşünülmektedir.



(b)



(c)



(d)

Şekil 3. Ölçümlerde elde edilen AF değerleri

- (a) Schwarzbeck bikonik anteni (s/n: 443) NPL ve TUBITAK-UEKAE (serbest uzay) AF değerleri (30MHz-300MHz)
- (b) Schwarzbeck log periyodik anteni (s/n: 217) NPL ve TUBITAK-UEKAE (serbest uzay) AF değerleri (300MHz-1000MHz)
- (c) Schwarzbeck bikonik anteni (s/n: 1644) NPL ve TUBITAK-UEKAE (1m, serbest uzay) AF değerleri (30MHz-300MHz)
- (d) Schwarzbeck log periyodik anteni (s/n: 217) NPL ve TUBITAK-UEKAE (1m, serbest uzay) AF değerleri (300MHz-1000MHz)

IV. Kaynaklar

- [1] ANSI C63.5-1998 American National Standart for Electromagnetic Compatibility-Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control-Calibration of Antennas (9kHz-40 GHz), American National Standart Institution.
- [2] SAE ARP 958:1999, "Electromagnetic interference measurement antennas; standard calibration method", Society of Automotive Engineers.
- [3] Branaugh E.L, Osburn J.D.M., "Measuring EMC Antenna Factors in the GHz Transverse Electromagnetic Cell", IEEE EMC Symposium Proceedings, 1992.
- [4] Türetken B, Baran E, "A new implementation of ANSI C.63.5 for 1m Antenna Calibration" URSI 2002, August 17-24, MECC, Maastricht, Hollanda.