

# ASKERİ ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TESTLERİ ve MIL-STD-461

Erhan Asım Öztürk  
Sistem Mühendisi, STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.  
aozturk@stm.com.tr

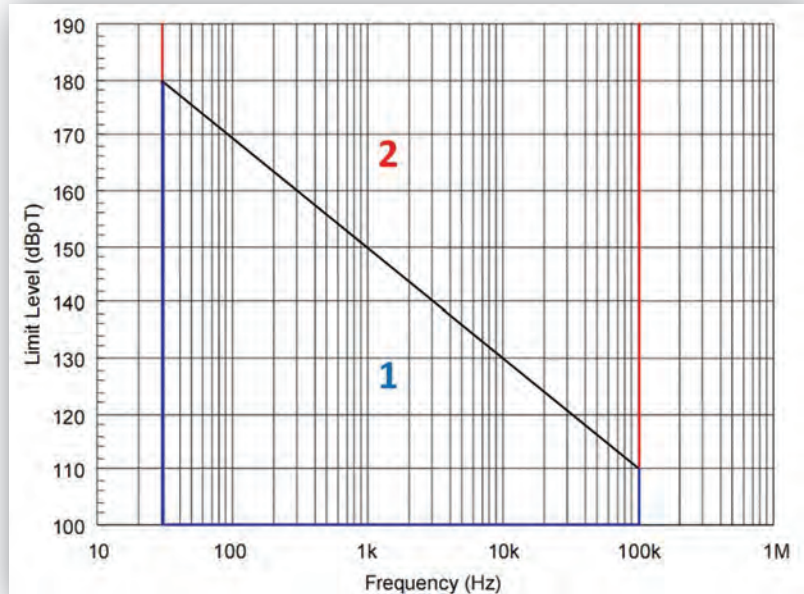
**E**lektromanyetik Uyumluluk (EMU), bir cihazın, teçhizat veya sistem ünitesinin kendi elektromanyetik ortamında, bu ortama tolerans dışı elektromanyetik bozulmaya yol açmadan ve belirli bir seviyedeki elektromanyetik bozulmalardan etkilenmeden çalışabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. EMU askeri cihazlar için sağlanması gereken en önemli özelliklerden biri olup, EMU testlerini geçemeyen bir askeri cihazın kabulü tamamlanamamaktadır.

Günümüzde ticari uygulamalarda da sık sık duymaya başladığımız EMU konusunda ilk ciddi çalışmalar 1930'lu yıllara kadar uzanmaktadır. Bu tarihlerden itibaren farklı kurumlar kendi ihtiyaçlarına göre farklı EMU standartları geliştirmişler fakat bu standartlar arasındaki uyumsuzluk üreticileri çeşitli sıkıntılara sokmuştur. Bu sorunu çözmek için tüm platformları (hava, deniz, vb.) kapsayan tek bir standart belirlenmesi düşünülmüş; yapılan çalışmalar 1967'de MIL-STD-461, 462 ve 463'ün yayınlanmasıyla sonuca ulaşmıştır. Zamanla MIL-STD-462, MIL-STD-461 ile birleştirilmiş ve MIL-STD-461 standardı cihaz ve alt sistem seviyesinde askeri elektromanyetik uyumluluk testleri için temel standart olmuştur.

MIL-STD-461'de, elektromanyetik testler dört gruba ayrılmıştır:

• **İşima yoluyla yayınım (RE-Radiated Emission):** Bu testlerde test edilen cihazın dış ortama işima yoluyla yaptığı yayınının seviyesi ölçülür. Testin başarılı kabul edilmesi için cihazın yaptığı yayınının her frekansta standartta verilen sınır değerinin altında kalması gerekmektedir. (Diğer bir deyişle, tüm frekanslardaki yayınının Şekil 1'de örnek olarak verilen grafikteki 1 numaralı bölgeye düşmesi gerekmektedir.)

• **İşima yoluyla alınganlık (RS-Radiated Susceptibility):** Bu testlerde test edilen cihaza işima yoluyla gelen istenmeyen işaretlerin cihazın çalışmasında bozulmaya yol açıp açmadığı belirlenir. Testin başarılı kabul edilmesi için her frekansta, standartta belirtilen sınır değerinde verilen elektromanyetik işaretin cihazın çalışmasında bozulmaya neden olmaması gerekmektedir.



Şekil-1

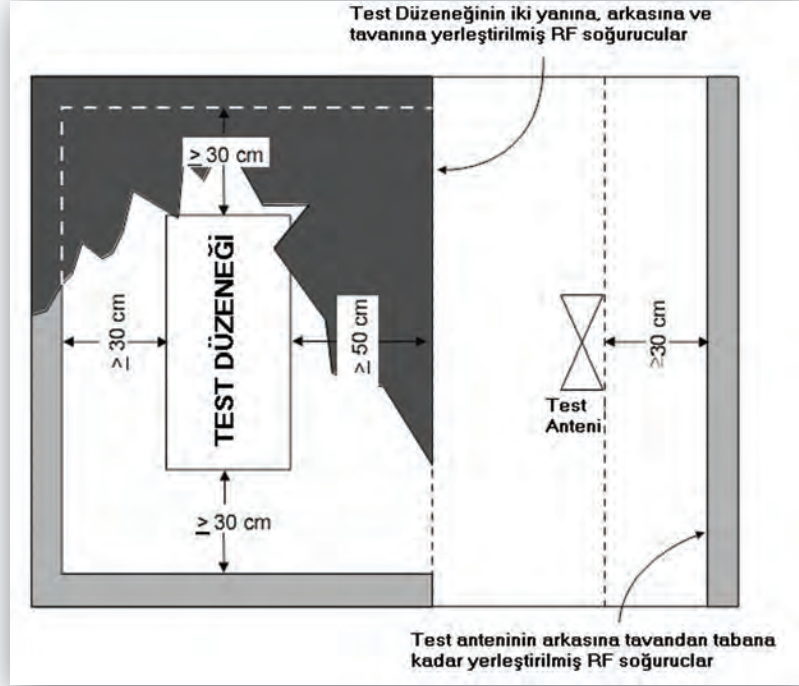
• **İletkenlik yoluyla yayınım (CE- Conducted Emission):** Bu testlerde test edilen cihazın dış ortama güç ve işaret kabloları üzerinden yaptığı yayınının seviyesi ölçülür. Testin başarılı kabul edilmesi için cihazın yaptığı yayınının her frekansta standartta verilen sınır değerlerin altında kalması gerekmektedir.

• **İletkenlik yoluyla alınganlık (CS- Conducted Susceptibility):** Bu testlerde test edilen cihaza güç ve işaret kabloları üzerinden gelen istenmeyen işaretlerin cihazın çalışmasında bozulmaya yol açıp açmadığı belirlenir. Testin başarılı kabul edilmesi için her frekansta, standartta belirtilen sınır değerde verilen elektromanyetik işaretin cihazın çalışmasında bozulmaya neden olmaması gerekmektedir.

MIL-STD-461'de tanımlanmış olan testler tabloda listelenmiştir.

MIL-STD-461 tüm platformlarda kullanılmak üzere geliştirildiği ve farklı platformların farklı ihtiyaçları olduğu için, standartta belirtilen tüm testler tüm platformlara uygulanmamaktadır. Örneğin CE101 testi gemi, denizaltı ve kara kuvvetlerine bağlı uçaklarda kullanılacak cihazlara uygulanmakta, ama hava kuvvetlerine bağlı uçaklarda kullanılacak cihazlara uygulanmamaktadır. Öte yandan CE102 testi tüm platformlar için uygulanması gereken bir testtir. Standartta hangi testin hangi platformlara uygulanacağı tanımlanmış olsa da kimi zaman standartta belirtilen koşullar sağlanamayabilmekte veya standartta zorunlu kılınmayan testler müşteri tarafından istenebilmekte ve test ihtiyaçlarının sadece standarttan izlenmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle projenin başlamasından itibaren test planlamasının yapılmaya başlanması ve bir Test Planı dokümanının hazırlanması çok yararlı olmaktadır.

EMU testleri genellikle dış ortamla test altındaki cihaz arasındaki etkileşimi en düşük düzeyde tutmak amacıyla ekranlı odalarda yapılmaktadır. Ya-



Şekil-2

Test Kodu	Tanımı
CE101	İletkenlik Yoluyla Yayınım, Güç Hatları, 30 Hz - 10 kHz
CE102	İletkenlik Yoluyla Yayınım, Güç Hatları, 10 kHz - 10 MHz
CE106	İletkenlik Yoluyla Yayınım, Anten Terminali, 10 kHz - 40 GHz
CS101	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Güç Hatları, 30 Hz to 150 kHz
CS103	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Anten Girişi, İntermodülasyon, 15 kHz - 10 GHz
CS104	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Anten Girişi, İstenmeyen İşaretlerin Bastırılması, 30 Hz - 20 GHz
CS105	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Anten Girişi, Çapraz Modülasyon, 30 Hz - 20 GHz
CS106	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Geçişler, Güç Hatları
CS109	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Yapı Akımı, 60 Hz - 100 kHz
CS114	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Kablo Enjeksiyonu, 10 kHz - 200 MHz
CS115	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Kablo Enjeksiyonu, Darbe
CS116	İletkenlik Yoluyla Alınganlık, Bastırılmış Sinüsoid Geçişler, Kablolar ve Güç Hatları, 10 kHz - 100 MHz
RE101	İşıma Yoluyla Yayınım, Manyetik Alan, 30 Hz - 100 kHz
RE102	İşıma Yoluyla Yayınım, Elektrik Alanı, 10 kHz - 18 GHz
RE103	İşıma Yoluyla Yayınım, Anten Harmonik Çıktıları, 10 kHz - 40 GHz
RS101	İşıma Yoluyla Alınganlık, Manyetik Alan, 30 Hz - 100 kHz
RS103	İşıma Yoluyla Alınganlık, Elektrik Alanı, 2 MHz - 40 GHz
RS105	İşıma Yoluyla Alınganlık, Geçici Elektromanyetik Alan

yınım testleri için sorun, ortamdaki elektromanyetik seviyenin yüksek olmasından dolayı cihazın neden olduğu yayınının ölçülememesidir. Bu nedenle yayınım testlerinde elektromanyetik ortam seviyesinin standartta verilen sınır değerinin 6dB altında veya daha düşük olması gerekmektedir. Alinganlılık testlerinde de bu testler sırasında (Özellikle RS103 testinde) üretilen elektromanyetik ışımının dış ortamdaki cihazlara girişimde bulunması tehlikesi vardır. Eğer herhangi bir nedenle (boyutların uygun olmaması veya dış ortamdaki elektromanyetik ortam seviyesinin düşük olması gibi) test altındaki cihazın ekranlı odada test edilmesi uygun görülmezse testler açık ortamda yapılabilir, fakat bu durumda da test ortamının yukarıda belirtilen koşulları sağladığından emin olunması gerekmektedir.

Ekranlı odalarda RE ve RS testleri sırasında odanın duvarlarından yansıyan elektromanyetik enerji testin doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, RE ve RS testlerinin ekranlı bir odada yapılması halinde Şekil 2'de gösterilen bölgelerin RF yutucu malzeme ile kaplanması gerekmektedir. Kullanılan RF yutucunun 80-250 MHz aralığında en az 6dB, 250MHz'in üzerindeki frekanslarda da en az 10dB soğurma yeteneğinin olması gerekmektedir.

Genel olarak MIL-STD-461 testleri Şekil 3'te gösterilen düzenekte yapılmaktadır. Eğer cihaza özgü özel durumlar varsa standartta belirtilen diğer test düzeneğinden uygun olan birisi kullanılabilir.

Şekil 3'te görüldüğü gibi, test düzeneği yerden 80-90 santimetre yükseklikte bulunan bir toprak düzlemi üzerine kurulmaktadır. Test altındaki cihazın tüm kabloları iletken olmayan bir yükselti üzerine, hiçbir kablo diğerlerine 2 santimetreden yakın olmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Oda dışında bulunan test ve ölçüm cihazları ile güç kaynağına bağlantı, odanın ekranlanmasını bozmayacak şekilde erişim panelleri

üzerinden sağlanmaktadır. Cihazın güç beslemesi LISN (Line Impedance Stabilization Network – Hat Empedansını Dengeleme Devresi) adlı bir cihazdan geçmektedir. LISN, test altındaki cihazın güç uçlarında güç kaynağı ve hattının empedansı ne olursa olsun standart bir empedansın olmasını sağlamaktadır. Ayrıca test altındaki cihazla güç kaynağı arasında süzgeç görevi gören güç kaynağından gelen istenmeyen yayınının test altındaki cihaza ulaşmasını engelleyip, test altındaki cihazın güç hattı üzerindeki yayınının güç kaynağına ulaşmasını engelleyerek kendi üzerinden test ve ölçüm cihazlarına iletilmesini sağlar.

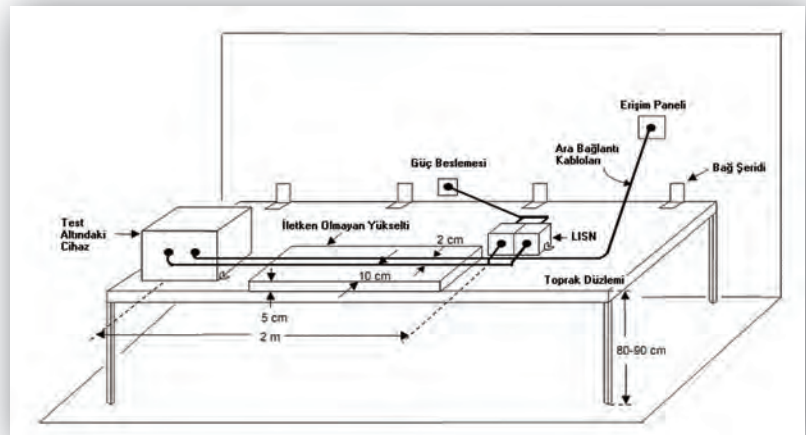
Test düzeneği kurulduktan sonra, özellikle yayınım testleri için, tüm test ve ölçüm cihazları çalışır durumda ve test altındaki cihaz ise çalışmaz durumdayken ortamdaki elektromanyetik gürültü ölçülür. Gürültü seviyesinin tüm frekanslar için sınır değerinin en az 6dB altında olduğunun doğrulanmasının ardından teste başlanır. Yayınım testlerinde standartta istenilen frekans aralığı yine standartta verilen hızda taranır. Test boyunca, yayınının genlik-frekans grafiği çizdirilir ve bu grafikler test raporunda da kullanılır.

Alinganlılık testlerinde de standartta istenilen frekans aralığı standartta verilen hızda taranır, fakat bu testlerde cihazdan bir ölçüm alınmaz; sadece

test altındaki cihazın çalışmasının bozulup bozulmadığı izlenir. Test sırasında bir alinganlılık görülürse önce cihaza uygulanan işaretin seviyesi alinganlılık ortadan kalkana kadar düşürülür. Alinganlılık ortadan kalktıktan sonra işaretin seviyesi 6dB daha düşürülür. Daha sonra işaretin seviyesi yavaş yavaş artırılıp alinganlılığın tekrar başladığı zaman durulur. Alinganlılığın tekrar başladığı anda uygulanmış olan işaret seviyesi cihazın o frekanstaki alinganlılık eşiğidir ve bu seviye, frekans ve benzer bilgiler test raporuna eklenir.

Testlerin tamamlanmasının ardından testi yapan kuruluş tarafından test raporu hazırlanmaktadır. Detaylı test raporu testler sırasında alınan bütün verileri, test ve ölçüm cihazları ile ilgili verileri, test sırasındaki gözlemleri içerdiği için hazırlanması uzun sürmekte olup bu nedenle testi yapan kuruluş detaylı test raporundan önce bir ön rapor gönderebilmektedir.

Askeri cihazlarda bilgi güvenliğini ve cihazın ortamdaki diğer cihazlarla uyumlu çalışmasını sağlamak için gerekli olan EMU hemen hemen tüm askeri cihazlarda sağlanması gereken bir özelliktir. MIL-STD-461, bu özelliğinin nasıl doğrulanabileceğini belirleyen temel standart olup savunma sanayinin gittikçe gelişmekte olduğu ülkemizde gün geçtikçe daha fazla başvurulacak bir standart olacaktır. ◀



Şekil-3