

# Statik Elektriğe Karşı Koruma için Güvenli Bir Topraklama Sistemi ve Antistatik Çalışma İstasyonunun Kurulması

Mustafa BURUNKAYA

## ÖZET

Bu çalışmada statik elektriğe karşı duyarlı yarı-iletken elektronik malzemelerin bulunduğu sistemlerin güvenli montaj ve bakım-onarımlarının yapılabileceği etkin bir topraklama sisteminin ve elektrostatik çalışma istasyonunun tasarım parametreleri belirlenmiş, tasarımı, uygulaması ve testleri yapılmıştır. Topraklamanın etkinliğini artırmak için yüzey alanını daha büyük tutabilmeye imkan veren bakır levha tipi topraklayıcılar kullanılmıştır. Kurulan çalışma istasyonunun ve topraklama sisteminin etkinliği geçerli standartlara göre test edilmiş ve güvenli sonuçlar elde edilmiştir. Gerçekleştirilen sistem ESD (Electro Static Discharge Sensitivity) duyarlı algılayıcı ve izolasyon yükselteçleri gibi malzemelerin kullanıldığı ölçme ve kontrol devrelerinin AR-GE (Araştırma-Geliştirme) çalışmalarında kullanılmış ve bu şekilde etkinliği ayrıca uygulama yapılarak kanıtlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** ESD, Antistatik, Çalışma istasyonu, Topraklama, Topraklama testi

## Design and Construction of A Reliable Grounding System and Antistatic Work Station for Protection Against ESD

### ABSTRACT

In this study, design parameters of an effective grounding system and antistatic work-station, where sensitive semiconductor devices that susceptible to electrostatic energy can be assembled and safety maintaining and repairing are available, has been determined, designed implemented and tested. Copper panel type groundings which can give the opportunity to increase the ground surface have been used to increase the effectiveness of the grounding. The effectiveness of the performed work station and grounding system were tested according to currently standards and reliable measurement results were provided. The designed system was used to develop the measurement and control circuits employing the ESD components. In this way, effectiveness of the developed system has also been confirmed.

**Keywords:** ESD, Antistatic, Work station, Grounding, Grounding tests

### 1. GİRİŞ

Kanuni bir zorunluluk olan topraklama ile cihaz veya tesis üzerindeki kaçak akımlar ve statik elektrik toprağa verilerek daha güvenli ve sağlıklı çalışma temin edilebilir (1, 2). Bu çalışmada endüstride, elektrik tesislerinde ve elektrik-elektronik güvenli çalışma istasyonlarında kullanılan topraklama çeşitleri, topraklamanın önemi ve statik elektriğin endüstride yol açtığı sorunlar incelenmiş ve koruma sistemlerinin temel parametreleri belirlenmiştir (3). Buna göre bakır levha kullanılan etkin bir topraklama sistemi ve antistatik çalışma istasyonu kurulmuş ve etkinlikleri test edilmiştir.

.....  
*Makale 24.09.2007 tarihinde gelmiş, 02.02.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.*

*M. BURUNKAYA, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi  
Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Teknikokullar - ANKARA  
bsmustafa@gazi.edu.tr*

*Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.2.93-98*

### 2. TOPRAKLAMA SİSTEMLERİ

Elektrik tesislerinde aktif olmayan bölümler, sıfır iletkenleri ve bunlara bağlı bölümlerin, bir elektrot yardımı ile toprakla iletken bir şekilde birleştirilmesine "topraklama" denir. Topraklamanın yapılması can güvenliğinin yanı sıra makinelerin de sağlıklı çalışabilmesi için gereklidir (3, 4).

Topraklama genel olarak koruma, işletme ve fonksiyon topraklaması olmak üzere üç amaçla yapılmaktadır. Bu şekilde işletme tesisi ve insanlar tehlikeli gerilim seviyelerine karşı korunur (3). Pratikte çelik kafes binalar, araç gövdesi, su boruları vb. toprak yerine kullanılabilir (5).

Topraklanacak cihaz veya tesis kısmı ile topraklayıcı arasındaki, toprağın altı veya üstünde bulunan iletken bağlantıya "topraklama hattı" denir. Bir topraklayıcıdan yeterli uzaklıkta bulunan ve topraklayıcı ile herhangi bir noktası arasında hissedilebilir bir gerilim

oluşmayan toprağın belirli bir bölgesine “referans toprağı” denir. Topraklayıcının yayılma direnci ile topraklama hattının direncinin toplamına “topraklama direnci” denir. Toprağın zemininin özgül direncine “özgül toprak” direnci ( $\Omega_m$ ) denir ve  $1 m^3$  boyutlarındaki toprağın direncidir. Topraklayıcı ile referans toprağı arasındaki dirence ise “yayılma direnci” denir (6).

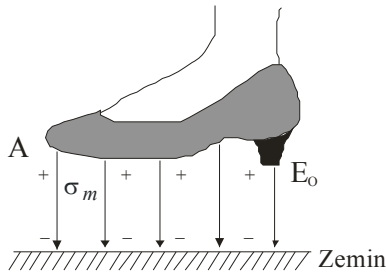
Zeminin yapısı ve izin verilen yayılma direncine göre topraklayıcı kullanılır. Bunlardan çubuk elektrotlar 20 mm çapında en az 3.5 m uzunluğunda elektrolitik bakırdan; levha elektrotlar 1.5 mm bakır saçtan bir yüzü en az  $0.5 m^2$  ( $0.7 \times 0.7 m$ ) ve şerit elektrot topraklayıcılar ise çapı en az 8 mm olan dolu kesitli yuvarlak bakır telden kesiti en az  $50 mm^2$  olmalıdır (6, 7). Bütün topraklayıcılar toprağa sağlamca yerleştirilmeli ve etrafına kil doldurulup, yüzeyi ile sıkı temas etmesi sağlanmalıdır.

### 3. STATİK ELEKTRİK ve KORUNMA İÇİN GEREKLİ OLAN ÖNLEMLER

İki cismin sürtünmesi ile oluşan durgun elektrik yüküne “elektrostatik yük” denir. Farklı malzemeler birbirine temas ettiğinde yük transferi ile birinde negatif yük, diğerinde pozitif yük fazlalığı oluşur. Malzemeler birbirinden ayrılırsa her birinde artık yükler kalır. Bu olaya “elektrostatik yüklenme” denir ve birimi Volt’ tur (8).

İki tip statik elektrik vardır. “Volumetrik statik elektrik” malzemenin gövdesi içinde, “yüzey statik elektrik” ise dış yüzeyinde oluşur. Endüstride statik elektrik problemleri yüzey statik elektrik sebebi ile oluşur ve üç sebebi vardır: Birincisi cisimlerin birbirine sürtünmesi (8, 9), ikincisi birbirine temas eden malzemelerin ayrılması sonucunda ve üçüncüsü ise güçlü elektrik alanlarında indüksiyonla oluşur.

Malzeme üzerinde biriken statik yük malzemenin yük miktarı ( $q$ ) ve kapasitif ( $C$ ) değerine bağlıdır. Bu durum  $q = C.V$  denklemi ile ifade edilebilir. Buna göre düşük kapasitanslı bir malzemenin bir yük kazanması, göreceli olarak diğer malzemelere göre daha büyük statik voltajla yüklenmesine neden olur. Örneğin plastik düşük kapasiteli bir malzeme olduğu için, yüklendiğinde demirden daha fazla statik enerjiye sahip olur. İnsan vücudu içinde durum buna benzemektedir (9). Şekil 1’de görüldüğü gibi yün halıda yürümek veya yazı yazmak gibi basit olaylar bile tehlikeli statik elektrik seviyelerinin oluşması için yeterlidir (4).

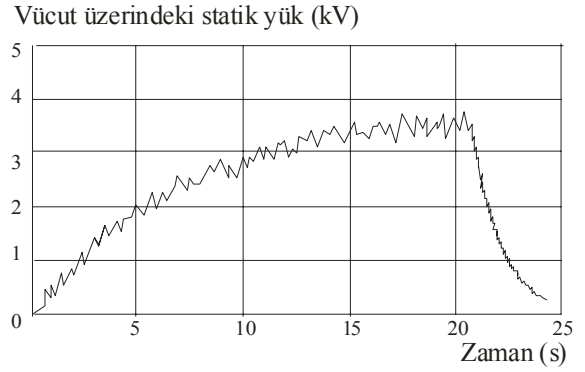


Şekil 1. Ayak ve zemin arasında oluşan kapasitif etki ve statik elektriğin oluşumu

Daha önce verilen  $q = C.V$  denklemi kullanılarak Denklem (1) elde edilir.

$$\Delta V = \frac{\Delta q}{\Delta c} \cdot \frac{R.C}{\Delta t} \left[ 1 - e^{-\frac{\Delta t}{R.C}} \right] \quad (\text{Denklem 1})$$

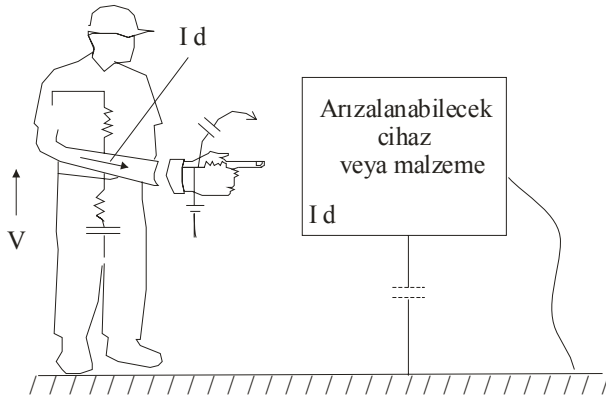
Burada A ayağın alanı, E ayak ve zemin arasında (dielektrik hava) oluşan elektrik alanı,  $\Delta V$  potansiyel farkı,  $\Delta q$  bir adımda oluşan statik yüklenmedir. Elektriksel alan ve sığa denklemleriyle, vücut direnci  $100 M\Omega$  kabul edilerek adım başına statik yüklenme yaklaşık 4 kV olarak bulunur. Zamana bağlı olarak yalıtkan halı üzerinde yürüme ile oluşan yüklenme grafiği Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Vinylex halı üzerinde insan vücudunda oluşan statik yüklenme

Yüklenmenin sona ermesi ile yükler birbirini dengelemeye başlar. Yüklü bir nesneden yüksüz bir nesneye hızlı bir biçimde aktarılan elektrik yüküne “elektrostatik deşarj (ESD)” denir (10). Yük boşalması yüklü maddenin direncine ve topraklama durumuna bağlıdır. Plastik gibi katı malzemeler için bu değer saatler hatta günler alabilirken, gaz ve buharlarda anlık olur. Genellikle kontrol altına alınamaz ve faydalanılamaz (11). Fakat gerekli önlemler alınmazsa endüstride üründe kirlilik ve defo, üretim maliyetinin artışı ve hijyen sorunları gibi ciddi zararlar oluşabilir (8).

Endüstride 5 kV’a kadar olan voltajların deşarjı önemli bir sorun değil iken, sadece 250V ile bozulabilecek CMOS yapıları elektronik malzemeler mevcuttur (Tablo 1) (9,4). Bu tür elektronik cihaz ve malzemelere statik yük önlemi olmadan dokunulduğunda veya sadece yaklaşıldığında bile bozulabilmekte veya ömrü azalmaktadır (11). ESD darbesinin eşdeğer devre modeli yaklaşık 200pF’lık değeri olan bir kapasitenin, 20kV’luk bir gerilim kaynağı ile yüklenip  $500 \Omega$ ’luk bir yük üzerinden aniden boşalması şeklindedir (Şekil 3) (12). Bunun sonucunda onarımı oldukça pahalı veya üretimin uzun süre durmasına neden olabilecek ciddi hasarlar oluşabilir (13). Bu nedenle cihaz tamiri, üretimi ve benzeri görevlerin yapıldığı tesislerin girişlerine statik yükü boşaltıcı statik elektrik levhaları ve topraklama sistemleri kuruludur (11).



Şekil 3. Statik yükün deşarj olması ve ESD eşdeğer devre modeli

Tablo 1. Bazı (ESD) elektronik devre elemanlarının bozulma eşik voltaj seviyeleri

<b>MOSFET EPROM</b>	100V	<b>CMOS</b>	250V	<b>Bipolar Transistör</b>	380V
<b>JFET</b>	140V	<b>Schottky Diyot</b>	300V	<b>SCR (Tristör)</b>	680V
<b>Op-Amp</b>	190V	<b>Film Direnç</b>	300V	<b>Schottky TTL</b>	1000V

Elektronik malzemelerin arızasını önlemek için poşetler, masa kaplamaları, bileklik, önlük vb. antistatik koruyucu malzemeler kullanılır. Koruyucu malzemeler belirli direnç değerlerine sahip olmalıdır. Paketleme malzemelerin yüzey direnci  $10^2$ - $10^5 \Omega$  dur. İletkenlerin direnci  $10^6 \Omega$ 'dan daha düşüktür (61340-5-1, IEC 61340-2-3: 2000 ve TSE EN345-6-7 (14, 15, 16). İletken koruyucuların yüzey direnci  $10^5 \Omega/m^2$  veya daha düşük olup, hızlı deşarj sağlar. Yalıtkanların yüzey direnci  $10^{12} \Omega$ 'dan büyüktür ve tam bir statik yük oluşturma kaynağıdır. Bu malzemelerin tam arasında kalan, yüzey direnci  $10^6$ - $10^{11} \Omega$  olan malzeme ise "antistatik malzemedir".

#### 4. GERÇEKLEŞTİRİLEN TOPRAKLAMA SİSTEMİ ve ANTİSTATİK ÇALIŞMA İSTASYONU

##### 4.1. Kurulan Topraklama Sistemi ve Testi

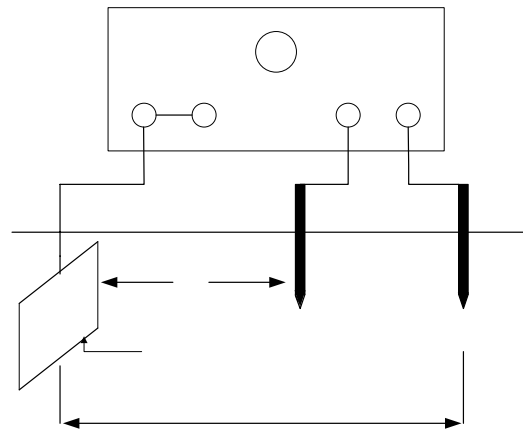
Gerçekleştirilen topraklama sistemi statik elektrığe karşı güvenli yük deşarjını sağlayan, bağımsız bir koruma topraklamasıdır. ESD'ye karşı topraklama tesisatı oluşturmak için, güç panosundaki faz ve nötr uçlarına ek olarak, üçüncü bir toprak ucu oluşturulmuş ve toprağa gömülen 4 mm kalınlıkta 700x700 mm boyutlarında, 17.440 kg ağırlıkta iletken bir bakır levhaya bağlanmıştır (6, 17). Gevşeme ve korozyonun daha az olması ve kaynak bağlantısının moleküler boyutta olabilmesi için saf bakır ergitme kaynağı yapılmış ve uygun kaynak tozu kullanılmıştır.

İletken plaka, zamanla oksitlenip eriyeceğinden, özellikle daha az oksitlenen ve kalın olan bakır malzeme kullanılmıştır. Topraklama sisteminin "Yayımla Direncinin" düşük olması için bakır levhanın çevresindeki toprak elenmiş, taş ve çakıllar uzaklaştırılmış-

tır. Toprak kurudukça iletkenliği azaldığından, levhanın çevresine bir miktar kömür tozu eklenmiştir (6). Ayrıca suda yarı çözülmüş sodyum çözeltisi ile bakır levha ve civarındaki toprak iyice ıslatılmıştır (1, 2). Daha sonra topraklama tesisatına zarar vermeyecek biçimde 300 kg taş silindir ile iyice sıkıştırılmıştır. Buranın her zaman nemli kalmasını garantilemek için bu işlemlerin yapıldığı yer olarak büyük bir ağaca yakın, gölgelik ve çimlendirilmiş bir yeşil alan seçilmiş ve son bir sulama ile topraklama tesisatı tamamlanmıştır. Her olasılığa karşın bakır levha toprağa dikine ve üst yüzeyi 1 m toprak altında kalacak biçimde gömülmüştür (1, 2, 6, 7).

Topraklama direncinin ölçümünde "Topraklama Ölçüm Cihazı Metodu" kullanılmıştır (6). Bunun için AC akım etkisi kullanılan ve polarizasyon gerilimlerinin kompanzasyonuna ihtiyaç duymayan "SEW Standard

ST-1520" model sayısal bir ölçü aleti ile, Şekil 4' te prensip şeması verilen yöntemle ölçme yapılmıştır.



Şekil 4. Toprak direnci ölçü aletinin bağlanması

Bu çalışmada  $0 \Omega$  dirençten ziyade  $M\Omega$  seviyelerinde toplam bir direnç istendiğinden, topraklama direnci ölçülecek topraklamadan 15 m uzaklıkta bir yardımcı topraklama (Gerilim Sondası) tesis edilmiştir. Topraklama direnci ölçü aletinin  $C_1$  ve  $C_2$  uçlarından akım verilir ve  $P_1$  ve  $P_2$  uçlarından gerilim okunur. Gerilim sondası ile topraklama arasındaki ölçümlere göre  $R_x=U/I$  bağıntısı ile topraklama direnci bulunur. Ölçü aleti mümkün olduğu kadar ölçülen topraklamaya yakın olmalıdır (Şekil 5) (1, 2). Gerçekleştirilen topraklama sisteminin ölçüm sonuçları Tablo 2.'de görülmektedir. Elde edilen sonuçlar güvenli bir topraklama sisteminin sonuçlarını vermektedir. Fakat toprak sıklıkla homojen yapıda olmadığından sistemin kuruluş şartlarının değiştirilmesi (kazı işlemleri, kuraklık vb.) engellenmeli ve 5 yılda bir kontrol edilmelidir (6, 1, 2).



Antistatik bileklik Bordo-Gümüş renkli karbon yedirilmiş bileklik ve siyah renkli iletken kordondan oluşmuştur. Kullanıcı personeli topraklamak sureti ile elektronik kartların zarar görmesini önler.  $1 M\Omega$ 'luk dirençle topraklanmıştır (15). Test işlemi Charles Water Wrist Strap/Footwear Tester cihazı ile yapılmıştır.

Antistatik önlük %88 naylon, %12 karbon alaşımlıdır. İletkenliği ( $R_p$ )  $10^4 \Omega$  ve yüzey direnci ( $R_g$ )  $10^5 \cdot 10^6 \Omega$ 'dur. Dışarıdan ya da kıyafetlerin oluşturacağı statik yüklenmeyi önler. Tek katmanlı ve iletkenidir. Gerekirse bileklik bağlanabilir.

Antistatik yer kaplaması  $10^8 \Omega$  yüzey direnci olan karbon yedirilmiş plastik alaşımlıdır. Tabana  $3 mm^{\Phi}$ 'lı  $50 \times 50 mm$  bakır iletken döşenerek topraklanmış böylece yürüme ile oluşan statik elektrik önlenmiştir. Testler Charles Water 99105 Yüzey Direnci Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır. Gerekğinde Megaohmmetre de kullanılabilir.

Sistemde PCB (baskılı devre kartı) temizleme kimyasalları olarak AFC 400 kullanılmaktadır. Antistatik örtü, yer kaplaması gibi zeminlere tatbik edildiğinde çok ince bir antistatik katman oluşturarak antistatik özelliklerini artırır. Topraklama sistemi sadece çalışma istasyonunda kullanılacağından ihtiyaç olmadığı ve maliyeti de çok artıracığı için iyonizatör kullanılmamıştır.

PCB kartlar korunmuş istasyon dışına çıkarılabilirken üç katmanlı (dissipative: dağıtıcı, conductive: iletken ve dağıtıcı yüzey) metalik poşetler kullanılmaktadır (10, 15). Bunlar statik elektrikten elektronik malzemelerin zarar görmesini önler. Tek katmanlı pembe ve siyah poşetler iletken ortam temin ederek elektromanyetik dalgalara karşı koruma sağlar. Ek olarak mekanik hasara karşı koruma için pembe olan antistatik, siyah olan ise iletken olan "Ambalaj Köpükleri" kullanılmaktadır (16). Gerçekleştirilen ESD istasyonunda yukarıda ifade edilen ölçü aletleri kullanılarak yapılan ölçümler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. ESD istasyonunda yapılan ölçümler

ESD KORUNMUŞ ALANLARDAKİ MAX.DİRENÇ DEĞERLERİ		ÖLÇÜLEN DEĞERLER
Çalışma Yüzeyleri	$R_p = 10^4 \Omega$ - $10^9 \Omega / R_g =$ $7,5 \times 10^6 \Omega$ - $3,5 \times 10^9 \Omega$	Masa yüzeyi: $10^6 \Omega$
Zemin	$R_p < 10^9 \Omega$ , $R_g = 7.5 \times 10^5$ $\Omega - 3,5 \times 10^7 \Omega$	$10^8 \Omega$
Oturma Grubu	$R_g \leq 10^{10} \Omega$	Yok
İş Elbiseleri	$R_g \leq 10^{10} \Omega$ %10	Önlük: $10^6 \Omega$
Eldiven ve Parmaklıklar	+/- %10 Orijinal değer (Max.1000V , <2sn )	Eldiven var
Bileklikler	$R_g = 7.5 \times 10^5$ $\Omega - 3,5 \times 10^7 \Omega$	$10^6 \Omega$
Ayakkabılar	$R_g = 7.5 \times 10^5$ $\Omega - 3,5 \times 10^7 \Omega$	Yok

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada statik elektrığe karşı duyarlı yarıiletken elektronik malzemelerin bulunduğu sistemlerin güvenli montaj ve bakım-onarımlarının yapılabilmesi için etkin bir topraklama sisteminin ve elektrostatik çalışma istasyonunun tasarım parametreleri belirlenmiş, tasarımı, uygulaması ve testleri yapılmıştır. Bakır levha tipi topraklayıcılar kullanılarak yüzey alanı daha büyük tutulabilmiş ve topraklamanın etkinliği artırılmıştır. Çalışma istasyonunun ve topraklama sisteminin etkinliği geçerli standartlara göre test edilmiş ve güvenli sonuçlar elde edilmiştir. Gerçekleştirilen sistem ESD duyarlı algılayıcı ve izolasyon yükselteçleri gibi malzemelerin kullanıldığı ölçme ve kontrol devrelerinin AR-GE çalışmalarında kullanılmış ve bu şekilde etkinliği ayrıca uygulama yapılarak kanıtlanmıştır. Sistemin etkinliği ayrıca denetim ve onay konusunda önemli bir kriter olan sadece güvenli ürünlerin kullanılması ile teyit edilmiştir (18).

## 6. KAYNAKLAR

1. Dalves, A., Elektrik Ölçme Laboratuvarı Deneyleri, 55-60, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, 1990.
2. Yücel M.E., Endüstriyel Elektrik, 513-515, Birsen Yayınevi, 2002.
3. [http://www.metalmakina.com/Default.asp?CONTENT=Detail&NEWS\\_ID=570&ISSUE=155&CAT\\_ID=30&CAT\\_NAME=Makale](http://www.metalmakina.com/Default.asp?CONTENT=Detail&NEWS_ID=570&ISSUE=155&CAT_ID=30&CAT_NAME=Makale)
4. Kara Kuv.Kom. Mamak Muh.Ok.Kom.Yayınları ESD Önemi, Sayı 15, 2000.
5. [http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LS\\_PROF/E&O/EO\\_Ekim04.pdf](http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LS_PROF/E&O/EO_Ekim04.pdf)
6. Bayram, M., Elektrik Tesislerinde Topraklama, 4-97, 203-211, Birsen Yayınevi; İstanbul, 2000.
7. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar yönetmeliği, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 2001.
8. <http://www.statik.com.tr/application.htm>
9. Hamid, R., TÜBİTAK-UME-EMC Laboratuvarı, Gebze, 2006.
10. Stempork, R., The Power Electronics Handbook, Principles of Magnetics, 22.3, Electromagnetism, 597-598, CRC Press LLC, 2002.
11. [http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak\\_ettikleriniz/index.php?kategori\\_id=20&SORU\\_ID=4959](http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/index.php?kategori_id=20&SORU_ID=4959)
12. STMicroelectronics, AN1181 Application Note, Electrostatic Discharge Sensitivity Measurement, pp1/7-2/7, 5/7, 2000.
13. <http://www.statik.com.tr/staticproblems.htm>
14. Electrostatic Sol.Ltd., A Guide to implementing the Technical Report IEC61340-5-1 & 2: *Protection of electronic devices from electrostatic phenomena OL3,2005*
15. Yıldırım Elektronik, Antistatik Ortam Ekipmanları, sayfa E5, 8,17,18, 2005.
16. Technical Report, ESD&Surge Protection Test Handbooks, Keytek Inst.Corp.1983.
17. GERSAN A.Ş., Topraklama ve Bağlantı Elemanları, 176, 2002.
18. ASELSAN, Elektrostatik Deşarj, No:8, Sayfa 1.1, 2.3-2.19, 2000.