

# CEP TELEFONLARININ OLUŞTURDUĞU ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN (EMA) ÖLÇÜLMESİ VE SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Mesud KAHRİMAN , Osman ÇEREZCİ , Zafer DEMİR

**Özet** - Günümüzde kullanımı hızla artan elektrikli aletler, getirdiği kolaylığın yanında, kontrolsüz üretim ve kullanım sonucu, elektromagnetik kirliliğe sebep olmaktadır.

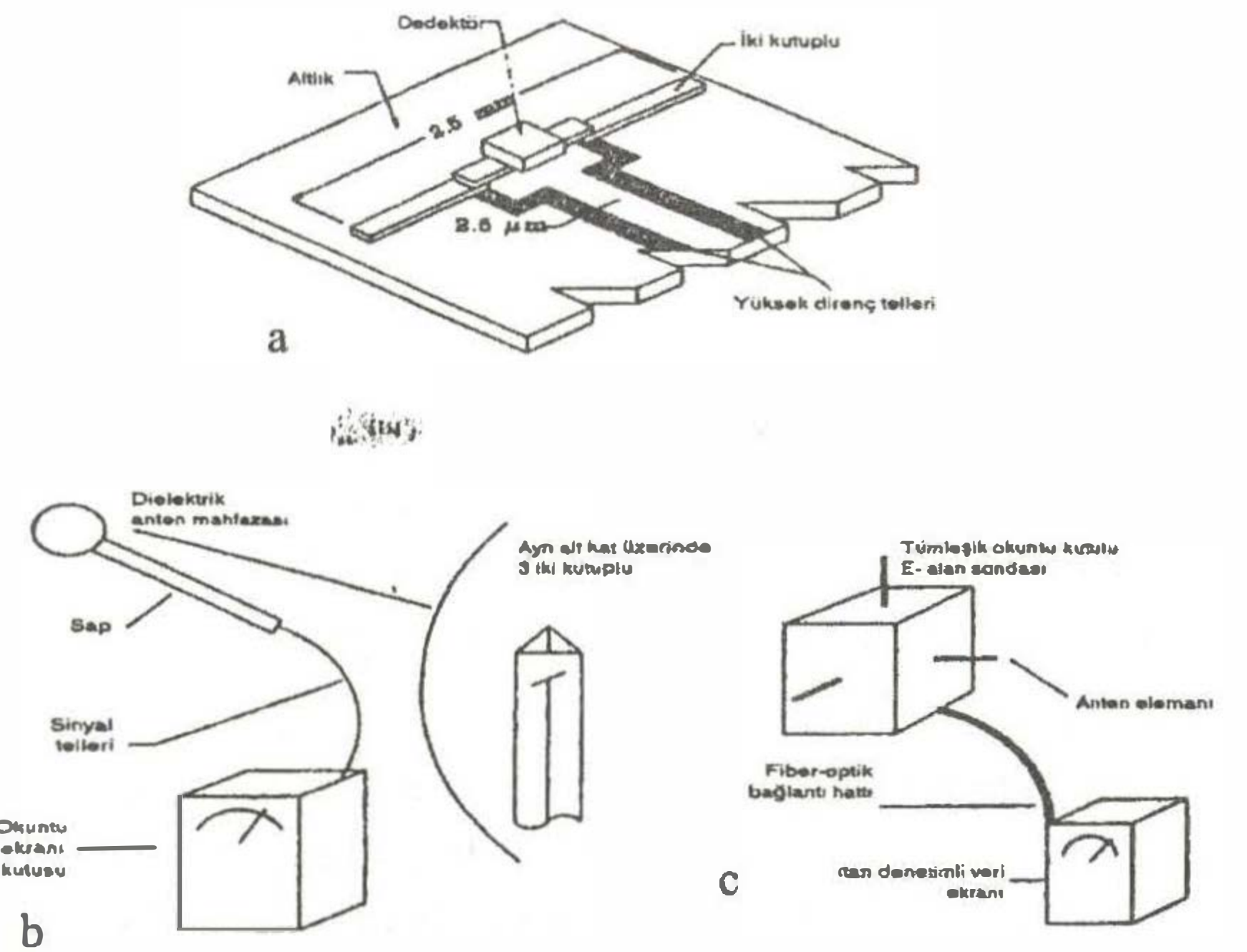
Bu çalışmada elektromagnetik alan ölçümünde kullanılan sistemler tanıtılacak ve ölçümler sırasında göz önünde bulundurulması gereken durumlar açıklanacaktır. İlerleyen kısımlarda vücut organizmasının birim kütlelerinin soğurduğu güç miktarı olan SAR'ın organizmaya yaptığı sıcaklık etkisini ölçmek için kurulan sistem tanıtılacak ve ölçüm sonucu verilecektir. En son kısımda ise yaygın olarak çevremizde yaygın olarak kullanılan bazı cep telefonları üzerinde yapılan elektrik alan ölçüm sonuçları verilecek ve elde edilen bu veriler uluslararası güvenlik limitleri ile karşılaştırılacaktır.

## I. RADYOFREKANS TUTULURLUK İÇİN ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Yaklaşık 1MHz ile 18 GHz arasında olan RF alan şiddetlerini ölçmek için kullanılacak aletler, çeşitli alan parametrelerini göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Birçok RF ölçme cihazı, 10-20 cm çapına sahip olan bir plastik küre veya silindir içine yerleştirilmiş bir sensör ile donatılıp yapılandırılmıştır. Sensör genelde tümleşik RF dedektörleri olan üç küçük antenden oluşan bir anten dizisidir.

M.Kahriman Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
mesudk1@hotmail.com  
O.Cerezci Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği  
cerezci@sakarya.edu.tr  
Z.Demir Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği  
zdemir@sakarya.edu.tr

İzotropik E alanı problemleri, her birinde kendi dedektörleri bulunan birbirlerine dik (ortogonal) üç dipol anten kullanır (Şekil 1.a). Bir çok RF probunun 30-60 cm uzunluğunda tüp biçimli bir sapı vardır. Sap bir uçtan sensöre bağlanmıştır ve tüpün diğer ucundan çıkan sinyal okuma tellerini ihtiva eder (Şekil 1.b). Sinyal telleri yaklaşık 1 m' den 5 m' ye kadar uzunluklarda olur ve okunacak alan şiddeti, veri ekranı ve elektronik bileşenler ihtiva eden bir okuma kutusuna bağlanmıştır. Kullanıcı, sapın diğer ucunu tuttuğu zaman sensör kullanıcının vücudundan uzakta tutulur. Bu, RF bağlaşmasını yani kullanıcı vücudu ve sensörler arasındaki karşılıklı etkileşimi azaltır.



Şekil.1:Elektrik alan ölçüm sistemleri (a) E- alan prop anteni /dedektör tasarımı.(b) Genel bir E-alanı prop sistemi.(c) Tümleşik E- alan prop sistemi (fiberoptik veri bağlantı hatlı)

Diğer alan ölçüm aletleri, küçük metalik küpün kenarlarından (yanlarından) antenleri çıkan , muhafaza içine yerleştirilmiş sistem olarak yapılandırılmıştır (Şekil 1.c). Küp biçimli kutu, RF arayıp bulma ve işleme devresi ile bir veri ekranından oluşur. Bazı alan ölçüm aletleri, uzun iletken bir kabloya veya fiber-optik sinyal telleri olan alan -algılama cihazına bağlanmış uzaktan denetimli bir veri ekranına sahiptir.

Bu ekran, sistem anteninin yakın civarında bir kişi görevlendirme gereksinimini ortadan kaldırır. Böylece, ölçüm yapan kişinin vücudundan gelen yansımalar vasıtasıyla neden olunan hatalar en aza indirilmiş olur.

## I.a EMA Ölçümlerinde Karşılaşılabilecek Olası Hatalar

EMA ölçümlerinde, birçok yöntem ve hesaplama tekniği geliştirilmiştir. Birbirinden farklı yöntemlerin olması, standart prosedürlerin oluşturulamamasına sebep olmuştur.

Ölçüm tereddütleri, sistem kurulumuna, ölçüm küre tepkisine ve kalibrasyon sebebiyle ortaya çıkan hatalardan kaynaklanmaktadır. SAR hesabı için uygulanan ölçüm prosedürlerine rağmen oluşan tereddütler, test cihazının konumu, doku dielektrik sabitinin kabulündeki farklılıklardan, doğmaktadır. Test cihazı ve doku modellemelerindeki bu tereddütler, ölçüm cihazı modelleme tekniklerine, doku modeli uygulamasına, doku dielektrik sabiti kabulü ve modelleme kararlılığından ortaya çıkabilir.

## I.b. Radyo Frekans Problarının, Etraftaki Cisimler İle Etkileşimi

RF ölçüm prob kullanıcıları genelde yansıtıcı bir cisim veya prop yakınında bulunan bir kişinin ölçümün doğruluğu üzerine etkileri konusundaki tereddütlerini bildirirler. Ayrıca RF bir yayıcıya yakın ölçüm yapıldığı zaman (Örneğin, sızdıran RF ısıtıcı veya elde tutulan bir verici) ölçümün doğruluğu şüpheli hale gelir.

## I.c. Yansıtıcı Cisimlere Yakın E ve H Problardan Gelen Hatalar

Bir prop, prop anteninin empedansını değiştirebilen RF-yansıtıcı bir cismin civarında olduğu zaman ölçüm hataları meydana gelebilir. Bir düzlem dalga vasıtasıyla aydınlatılan sonsuz, iletken bir düzleme bitişik yerleştirilmiş, bir diyot dedektörü olan elektriksel olarak küçük bir dipol için en kötü durum hataları aşağıdaki gibi olur. Yansıtıcıdan 0,2 dalga boyu kadar uzakta, 0,2 dalga boyu uzunluğunda bir dipol, E alanının ölçümünde % 10'luk bir hata üretebilir.  $E^2$  veya güç yoğunluğu için bu hata yaklaşık % 20 seviyelerindedir. Örneğin prop, yansıtıcı mesafesi ve probun dipol boyutları her ikisinde 20 cm olduğu zaman 300MHz'lik bir frekansta yukarıda verilen hata değerleri ile karşılaşılır. Benzer olarak loop (ilmek) çapı dalga uzunluğu ile mukayese edilir derecede küçük ise, yansıtıcıya yakın H- alan looplarından nispeten önemsiz hatalar beklenebilir.

## I.d. E ve H Problarının Bir Vericiye Yakın Olmasından Kaynaklanan Ölçüm Hataları

Bir prop etkin bir vericiye çok yakın olursa, ölçümün doğruluk derecesini düşürecek bir çok etken bulunur. Prop antenleri ve yayıcı arasında bağlaşma (kuplajlama) meydana gelebilir. Üstelik, proptan ileri gelen geriye saçılma vericinin yayım karakteristiklerini değiştirebilir.

Bir anten uzunluğu, bir E probu dipollerinin veya bir H prop looplarının çaplarının uç uca uzunluğudur. Bir probun en büyük anten uzunluğunun belli esaslara bir değer belirlemesi bu uzunluğun prop ucunun koruyucu muhafazasının (ekseriyetle plastik köpükten bir küre veya silindir) en büyük fiziksel boyutuna eşit olduğunu kabul ederek yapılabilir.

## I.e. EMA Ölçümünde Karşılaşılan Zorluklar

EMA' ların insanlar üzerindeki etkilerini tespit edebilmek için ölçümlerin eşdeğer durumlar ve çevre şartları altında yapılması gerekir. EMA ölçümleri sırasında aşağıda verilen zorluklarla karşılaşmaktadır.

- 1) Farklı zaman ve mekanlarda farklı ölçüm cihazlarıyla yapılan ölçülerde farklı sonuçların elde edilebilmesi
- 2) Doğru ölçüm yapan sistemlerin bulunmasındaki zorluk
- 3) Yapılan ölçüler neticesinde elde edilen verilerdeki azlık

## I.f. EMA Ölçüm Parametreleri

EM tutulurluk alanlarının incelemelerinde aşağıdaki karakteristikler aranır:

1. Probon karşılığı, E veya H alan vektörlerinin açılma doğrultusu veya polarizasyonundan ve gelen dalganın yönünden bağımsız olmalıdır. (Yani, izotropik bir pattern gerektirir.)
2. Bir tutulurluk alan aletinin doğrultusu, kuvvetli E alanlarıyla ters olarak (zarar görecektir şekilde) etkilenmemelidir. Böyle problemler bazen, prop sensör dizisine bağlanmış elektrik telleri üzerinde ve onun sapı içinde E alanı yakalama sebebiyle, düşük frekanslarda (bir kaç MHz in aşağısındaki) meydana gelebilir.
3. Prop, onun ekran ve ara bağlantı kabloları, gelen alanın büyük miktarda dağılıp saçılmasına veya ölçülmekte olan RF kaynağının yayılım karakteristiklerinin

değişimine neden olmamalıdır. Böyle bir prop “bozulmayan” olarak tanımlanır.

4. Prop, ölçülmekte olan alanın devamlı dalgalarını ve gradientleri ayrıştırabilmelidir. Ayrıştırım (çözümleme), dalga boyunun bir kesri veya yakın alan için (frekans ne olursa olsun) bir kaç santimetre olmalıdır.
5. E ve H alanının büyüklüğü ve RF alanını uyartan modülasyon miktarı ne olursa olsun alet, gerçek RMS alan şiddetini ölçmelidir.
6. Prop, ölçülmek istenen frekansa hassasiyet göstermelidir. Ölçülmek istenen frekans aralığı dışındaki alan değerlerini göstermemelidir.
7. Cihazın RF sensörleri, elektronik bileşenleri ve görüntüleme cihazı, ortam sıcaklığı değişikliklerine, ekranın konumuna ve diğer fiziksel koşullardan etkilenmemelidir.

## II. E ALAN PROBU

Biyolojik etkiler ve şahıs güvenliği ile ilgili olan tipteki RF elektrik alanı ölçümleri, sadece E ve H alan genliğine ihtiyaç gösterir fakat bunların fazıyla ilgili bilgiye ihtiyaç duymaz. İzotropik E alan problemleri, her birinde kendi dedektörleri bulunan üç tane ortogonal (birbirine dik) dipol anten kullanır (Şekil 1.a). Dipol her antenin eşit uzunlukta iki kolu ve kolları arasında bir dedektörü (diyot veya termokupl) vardır. Bozulmaz olmak ve iyi uzaysal ayrıştırma sahip olmak için anten, ölçülmekte olan dalga boyu ile mukayese edilir derecede küçük toplam bir uzunluğa sahip olmalıdır. Bireysel kare kanununa göre işleyen dedektörleri olan; ortogonal, elektriksel olarak küçük üç antenin kullanımı, izotropik kutuplaşımından bağımsız iş yapma imkanı verir. Ölçülmekte olan alanın dalga boyu ile mukayese edilir derecede küçük olmayan direnç verici dipol elemanlar ekseriya E alan problemleri ile birleştirilir. Bu antenler, izotropik karşılık muhafaza edilirken, santimetre veya milimetre dalga uzunluklu alanları kapsayan çok geniş işletme (çalışma) band genişlikleri temin eder. Her bir antenin kendi kare kanunu dedektörü varsa (çıkıtı gerilimi alan şiddetinin karesiyle orantılı olan dedektörü varsa), üç E- alan vektörü bileşenlerinin kareleri toplamı, basit bir “toplama” işlemi yapan yükseltici ile kolayca elde edilebilir. Elde edilen RF sinyalini sensörden sonra sapının tabanına ve hatta okuma cihazı elektronik bileşenleri kutusuna taşımak için, genelde RF alanı ile aralarında etkileşmeyen veya parazitli antenler gibi davranmayan yüksek direnç telleri kullanılır. Bu, izotropik, bozuk olmayan prop uygulamasını garanti eder.

Düşük frekanslarda (bir kaç MHz den küçük) prop anteninden gelen direnç tellerinin yetersiz yalıtım problemlerini azaltmak için elektriksel veriyi optik veriye çeviren küçük bir çevirici ve fiber optik teller kullanılabilir. Fotonik (ışıksal) veya elektriksel olarak duyarlı optik kristaller, fiberoptik ve geniş-bantlı (0-9GHz) optik dedektörleri olan bir anten ve sensör olarak kullanılabilir.

## III. H ALAN PROBU

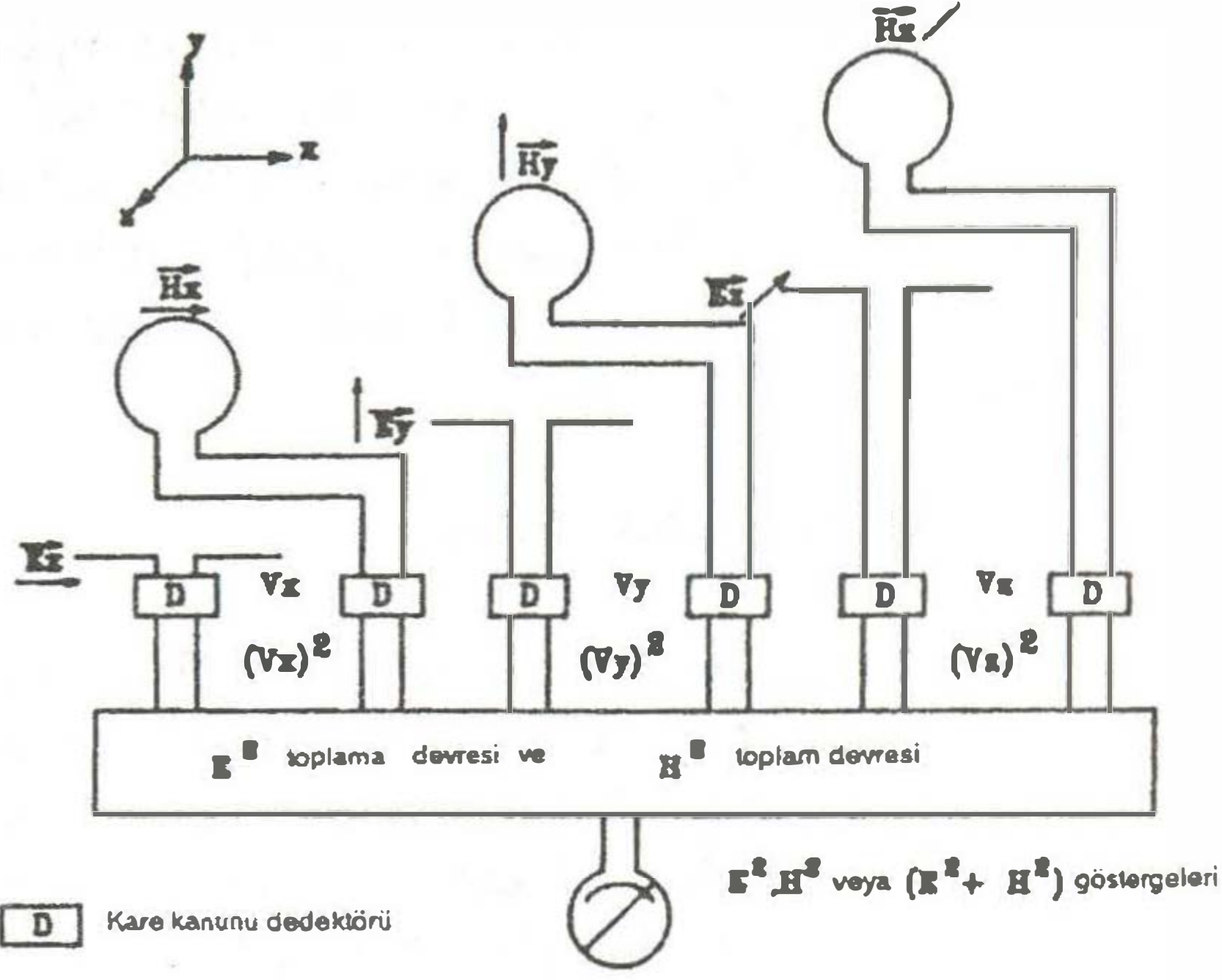
RF magnetik alan ölçümü için kullanılan problemler, RF elektrik alan problemlerine benzer tarzda yapılandırılmıştır. Esas farklılık, H- alan probunda küçük, ortogonal üç loopluk bir dizinin izotropik alıcı bir anten gibi kullanılmasıdır. Her loop, çıkıtı sonra toplam H alanıyla orantılı bir sinyal üretmek için toplanan bir kare kanunu dedektörüne bir RF gerilimi temin eder. Ticari olarak kullanılabilir olan magnetik alan problemleri yaklaşık 300MHz lik bir üst frekans sınırına ve bir kaç MHz lik bir alt sınıra sahiptir.

## IV. E – H ALAN PROBU

Tam yakın alan RF ölçümleri için, hem E hem de H alan şiddetlerinin belirlenmesini gerektirir. Bu, farklı iki izotropik probun kullanımını gerektirir. Belli ölçüm koşulları altında bir problem ortaya çıkmaktadır. Hem E nin H ye göre oranı hem de endüstriyel veya tıbbi cihazlar vasıtasıyla olan RF yayılımının türetilmesi zaman veya yerleşim ile hızla değişir. Tekil bir yerleşimde her iki alanın yayımlarını eş zamanlı olarak ölçmek ekseriya imkansızdır. İzotropik E ve H sensörleri aynı küçük hacim ile birleştirildiği zaman aşağıdaki yaklaşım ile bu problemten kaçınılabilir. Her birinin kendi kare kanunu dedektörü olan dipollerin ortogonal üçlü bir dizisi, toplayıcı bir yükseltici yoluyla; toplam E alan şiddetiyle orantılı olan tekil bir DC gerilimi üretmek için kullanılabilir.

Toplam H alan şiddetiyle orantılı olarak bulunan ikinci bir gerilim, bireysel kare kanunu dedektörleri olan ortogonal loopların üçlü bir dizisiyle eş zamanlı olarak temin edilebilir. Bu yaklaşım, zamanın herhangi bir anında tekil bir konumda toplam magnetik ve toplam elektrik alanının büyüklükleri konusunda veriler verir. E – H ölçüm sistemi tasarım kavramı şekil 2’de açıklanmıştır. Üç ortogonal dipol ve loopların belirli fiziksel düzenlenimleri altı anten arasındaki bağlaşmayı (kuplajlanmayı) en aza indirir. Bu antenler ince ve elektriksel olarak küçük ve looplar ortak merkezli bir konfigürasyon kullanır ise, oldukça izotropik bir pattern elde edilir.

EM Biyomühendislik



Şekil 2. E-H prop ölçüm sistemi

## V. ÖLÇÜMLER

### V.a. Sıcaklık Değişiminden Yararlanarak SAR Ölçümü

EMA'ya maruz vücudun herhangi bir organizmasında, EMA'nın soğurulmasından kaynaklanan sıcaklık artışı gözlenir. Dokunun birim kütlesinde elektromagnetik dalgadan dolayı soğurulan güç miktarı SAR olarak tanımlanır. Sıcaklık artışının zamana göre değişiminden aşağıdaki 1 nolu bağıntı yardımıyla SAR hesaplanır.

$$SAR = C \frac{dT}{dt} \text{ watt/Kg} \quad [1]$$

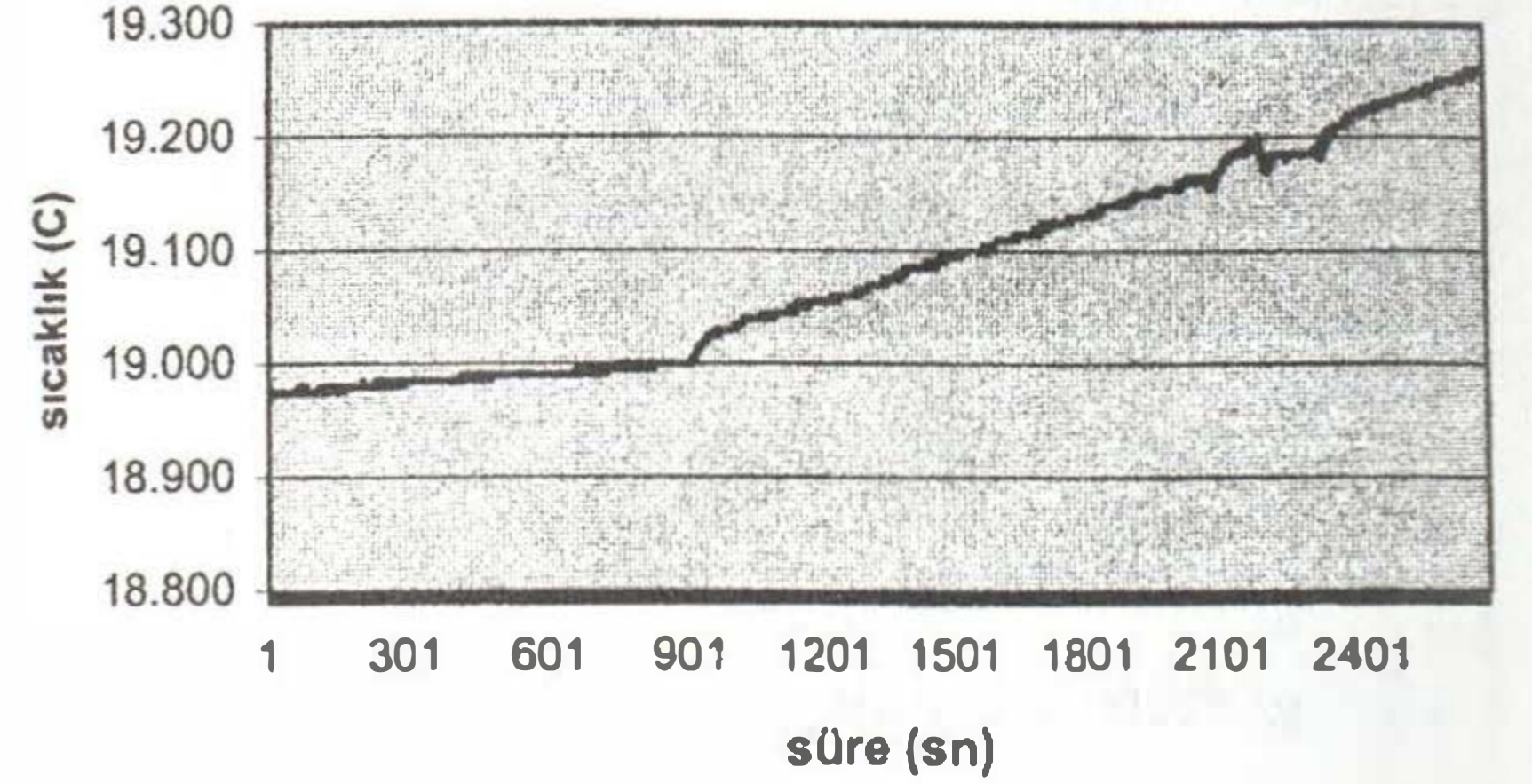
1 Nolu bağıntıda C, bağıl ısı kapasitesi ile 4180 sabitinin çarpılmasıdır. İnsan için bağıl ısı kapasitesi 0.85 olarak kullanılmaktadır. dT/dt, °C/sn biriminde olup, EMA maruziyet dolayısıyla, dokuda gözlenecek sıcaklığın değişimini ifade etmektedir.

Sakarya Üniversitesi Araştırma Fonu'nun destekleriyle, Elektromagnetik Kirlilik Ölçüm Merkezi tarafından sıcaklık değişiminden yararlanarak SAR ölçme sistemi kuruldu. Bu sistemin ölçüm yapabilmesi için çok küçük sıcaklık değişimlerine duyarlı olması gerekmektedir. Ölçmeler sırasında sıcaklığı algılamak üzere sıcaklığı ile direnci değişen Pt100 sensörü kullanılmıştır. Pt100 yardımıyla %0.5 °C'lik bir hassasiyetle sıcaklık değerleri algılanıp önce ADC'e, daha sonra ise ikinci bir arabirim yardımıyla, birer saniye ara ile PC'e aktarılmıştır.

Sıcaklık ölçmek için kurulan sistemdeki Pt100 cep telefonu radyasyonuna maruz tutulacak, insan kafasını modelleyen fantom model içerisine yerleştirilip, ölçümlere başlanmıştır. Cep telefonu olarak ülkemizde ve Avrupa Birliğinde kabul edilen insan sağlığı için

Güvenlik sınır değeri olan 42 V/m'lik elektrik alan ışıması yapan bir verici kullanılmıştır.

Cep telefonuna 1 cm uzaklıkta tutulan insan kafasını modelleyen fantom modelde şekil 3'te görülen sıcaklık artışı gözlenir.



Şekil 3. Cep Telefonuna 1cm Uzaklıktaki Fantom modeldeki sıcaklık artışı

Ölçümde 900 saniye boyunca sistemin karalılığı gözlenmiştir. 900. saniyeden sonra ise verici açılıp sıcaklık artışı gözlenmiştir.

### V.b.Cep Telefonlarının EA'larının Ölçülmesi

Daha önceki bölümlerde bahsedilen özellikler göz önüne alınıp piyasada yaygın olarak kullanılan bazı cep telefonları ile yapılan elektrik alan ölçüm sonuç grafiği şekil 4.'te verilmiştir.

Grafiğe bakılacak olursa Nokia 6110 100 V/m değerini aşmakta, Nokia 8210 80 V/m civarında, Nokia 3210, Nokia 5110, Philips Genie 40 V/m'e yaklaşan değerlerde elektrik alan vermektedir.

Elektrik alan sınır değeri 900 MHz'de çalışan cep telefonları için ülkemizde ve Avrupa birliği ülkelerinde 42 V/m olarak kabul edilmektedir. İtalya da ise bu değer 6 V/m olarak uygulanmaktadır. Ölçüm yapılan cep telefonlarının elektrik alan değerleri ülkemizde kabul edilen sınır değer ile karşılaştırıldığında üst sınırdan ya da sınırı aşmış durumda olduğu görülmektedir. İtalya'da kabul edilen insan sağlığı için güvenlik sınır değeri ile karşılaştırıldığında ise, tüm telefonlar sınır değerinin oldukça üzerinde bir ışıma yapmaktadır.

## VI. SONUÇLAR

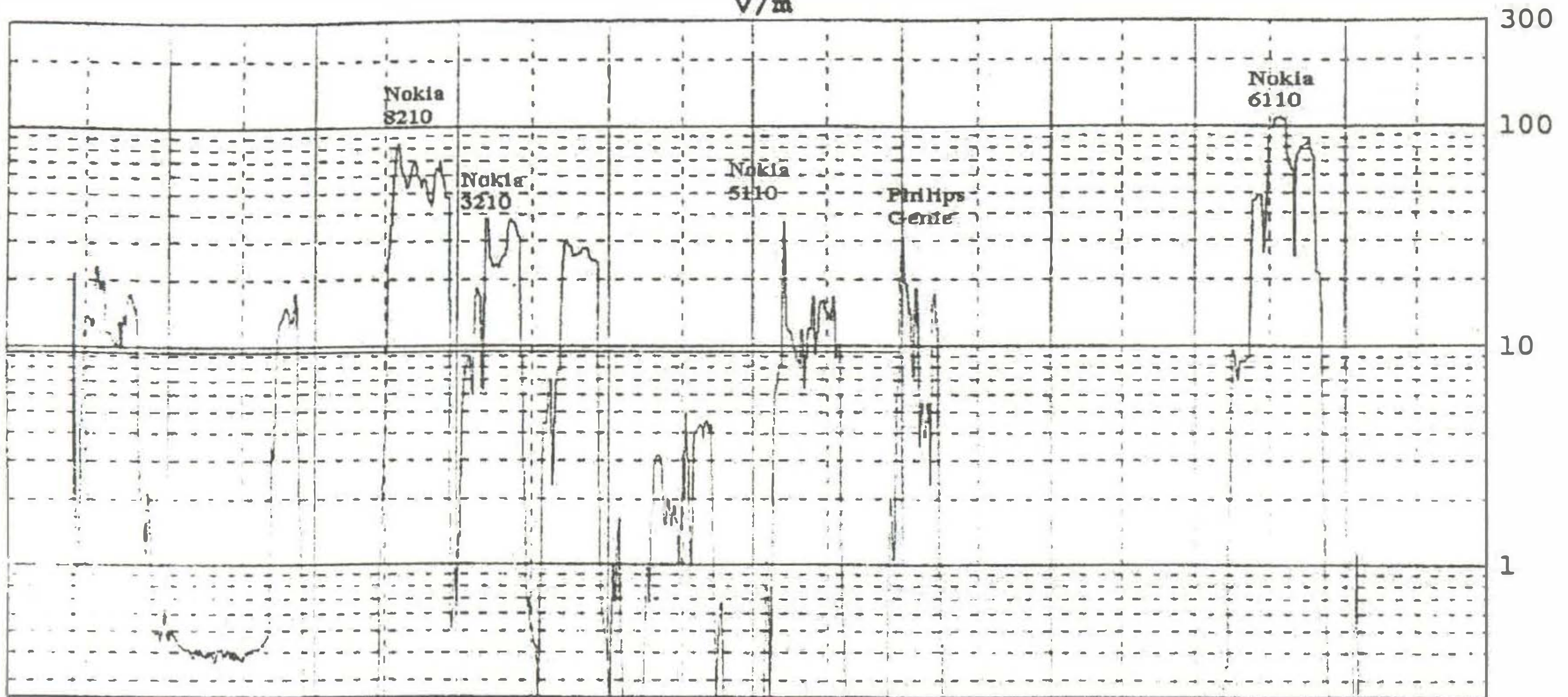
Cep telefonlarının etkileri konusunda yapılan çalışmalar, günümüzde yaygın olarak devam etmektedir. Cep telefonlarının etkileri konusunda farklı farklı ölçüm yöntemleri mevcuttur. Bu konudaki çalışmalar özellikle, cep telefonlarının yaydığı

Name: 6110

Date: 01-15-2001

Time: 09:04:38

V/m



Probe EP 33M

Mode:SW02 Sampling

Şekil 4. Elektrik alan ölçüm sonuç grafiği

elektromagnetik alanın elektrik alan bileşeni üzerine sürdürülmektedir. Elektrik alan ölçümünü doğru yapabilmek için, ölçüm yapmaya başlamadan önce uygulama parametreleri göz önünde tutulmalı, karşılaşılabilecek zorluklara hazır olunmalıdır.

EMA'nın etkilerinden olan ve vücut tarafından soğurulan güç yoğunluğunu ifade eden SAR ölçümleri sırasında, rakamsal olarak küçük artışlar ölçülmesine rağmen, 36.5 °C olan sağlıklı insan vücudunda 2.5 °C - 3°C' lik sıcaklık artışlarının, insanda kalıcı rahatsızlıklara neden olduğu göz önünde tutulursa, EMA maruz fantom modelde kaydedilen sıcaklık artışlarının hiç de küçümsenemeyeceği gerçeği ortaya çıkar.

Yapılan araştırmalar neticesinde güvenlik sınır değerleri her beş yılda güncellenmektedir. Özellikle sınır değerlerin sürekli aşağı çekildiği gözlenmektedir. Avrupa birliğinin 42 V/m olarak uyguladığı, insan sağlığı için kabul edilebilir elektrik alan güvenlik sınır değerinin İtalya'da 6 V/m olarak uygulanması ise güvenlik sınır değerindeki belirsizliği ortaya koymaktadır.

Cep telefonlarının, konuşma sırasında sinir sisteminin merkezi sayılan beyne çok yakın olması itibarıyla, üzerinde titizlikle durulması gereken bir önem arz etmektedir. Elde edilen değerlerin insan sağlığı üzerindeki etkisini doğru yorumlamak için sağlık kuruluşları ile ortak çalışmalar yapılmalıdır.

Ölçümü yapılan telefonlardan bazısının elektrik alan değeri olan 42 V/m güvenlik sınır değerinin üzerinde

çıkması oldukça endişe verici bir durumdur. Halkın sağlığının korunması açısından, telefon üreticileri, güvenlik sınır değerlerini göz önünde tutarak daha düşük elektrik alan yayan telefonlar dizayn etmeli, telefonun teknik özelliklerinin yanında yaydığı elektrik alan da belirtilmelidir. Ayrıca, halkın sağlık güvenliğini korumadan sorumlu kamu personelleri, halkın sağlığını tehdit edebilecek bu tür cihazların üretimini, ithalini, satışını kontrol altına almalı, insan sağlığı için güvenlik sınır değerinin üzerinde olanların kullanımına engel olabilecek tedbirler almalıdırlar.

#### KAYNAKLAR

- [1] Şeker.S. ,Çerezci.O., "Radyasyon Kuşatması: Elektrik ve Nükleer Enerjinin Sağlığımıza Etkileri", Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 2000
- [2] Şeker.S. ,Çerezci.O., "Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri", Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 1997
- [3] Chan. K., Cleveland. R. F., Means. D. L., "Evaluating Compliance With Fcc Guidelines For Human Exposure To Radiofrequency Electromagnetic Fields" Oet Bulletin 65, Washington, 1997
- [4] Adair.E.R., "Microwaves and Thermoregulation", New York Academic Pres, New York 1983
- [5] Gandhi., O. P., "Current Induced in A Human Being For Plane - Wave Exposure Conditions (0-50 MHz) And For RF sealers", IEEE Trans. On Biomedical Engineering, Vol BE-33 No. 8 1986

