

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİL LİSTESİ.....	III
TABLO LİSTESİ.....	IV
SİMGELER.....	V
KISALTMALAR	VI
ÖZET	VII
1. TEMEL KAVRAMLAR	1
1.1. Giriş	1
1.2. Elektromanyetikte Temel Kavramlar.....	1
1.3. Elektromanyetik Kaynaklar ve Işıma (Radyasyon).....	3
1.4. Elektromanyetik Etkileşim	3
1.5. SAR Değeri ve Ölçülmesi.....	4
1.6. Limit Değerler.....	6
2. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN BİYOLOJİK ETKİLERİ VE YAPILAN ÇALIŞMALAR	8
2.1. Giriş	8
2.2. İstatistiksel Çalışmalar	8
2.3. Deneysel Çalışmalar	10
3. YAPILACAK OLAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR İÇİN TEMEL BİLGİLER	12
3.1. Giriş	12
3.2. Dokuların Biyolojiksel Özellikleri.....	13
3.2.1. Çok Düşük Frekanslarda Dokuların Elektriksel Özellikleri	14
3.2.2. Radyo Frekanslarda Dokuların Elektriksel Özellikleri.....	15
3.2.3. Optik Frekanslarda Dokuların Elektriksel Özellikleri	18
4. DENEY DÜZENEKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ, İHTİYAÇ DUYULAN MİNİMUM GERKSİNİMLER VE DİKAT EDİLMESİ GEREKEN UNSURLAR	20
4.1. Giriş	20
4.2. Temel Düşünceler	20
4.3. Maruz Kalma Düzenekleri İçin Değerlendirme, Optimizasyon, Yorum ve Onaylama İçin Yöntem ve Araçlar	22
4.4. Maruz Kalma Düzenegi İçin Temel Dizayna Karar Verme	25

4.5. Maruz Kalma Düzenegi ve Araştırma Dizaynı İçin Optimizasyon ve Adaptasyon	25
4.6. Düzenegin alışması ve Sayısal Dozimetri	25
4.7. Düzenegin Yapımı	26
4.8. Düzenegin Test Edilmesi, Deneysel Dozimetri ve Geçerliliği	27
4.9. Minimum RF Gereksinimlerini Yerine Getirme	27
5. SONUÇ	30
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	32

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Elektromanyetik dalga	2
Şekil 1.2 : Elektromanyetik dalgaların dalga boyu spektrumu	2
Şekil 1.3 : Elektromanyetik dalgaların frekans spektrumu	3
Şekil 1.4 : Bilgisayar yardımı ile SAR simülasyonu	7
Şekil 3.1 : Yüksek oranda su ihtiva eden insan dokusunun bağıl dielektrik sabitinin, ϵ_r frekans ile değişimi	16
Şekil 3.2 : Düşük oranda su ihtiva eden insan dokusunun bağıl dielektrik sabitinin, ϵ_r frekans ile değişimi	17
Şekil 4.1 : Bir maruz kalma düzeneği geliştirme aşamaları	23

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 : Çok düşük frekanslarda (50 Hz) çeşitli doku örneklerinin iletkenlik değerleri	15
Tablo 3.2 : Yüksek oranda su bulunduran dokularda ϵ_r ve σ nın değişimi	17
Tablo 3.3 : Düşük oranda su bulunduran dokularda ϵ_r ve σ nın değişimi	18
Tablo 3.4 : İletkenlik (S/m)	19
Tablo 3.5 : Bağlı dielektrik	20
Tablo 4.1 : RF araştırmalarında kullanılacak düzenekler için temel gereksinimlerin kontrol listesi	24

SİMGELER

E	: Elektrik Alan
H	: Manyetik Alan
c	: Işık Hızı
f	: Frekans
λ	: Dalga Boyu
h	: Planck Sabiti
W	: Enerji
S	: Güç Yoğunluğu
J	: Akım Yoğunluğu
ρ	: Yük Yoğunluğu
dm	: Birim Kütle
dW	: Birim Enerji
dV	: Birim Hacim
σ	: İletkenlik
c_1	: Özgül Isı Kapasitesi
T	: Sıcaklık
ϵ_r	: Bağıl dielektrik sabiti
eV	: Elektron Volt
Na^+	: Sodyum İyonu
K^+	: Potasyum İyonu
Cl^-	: Klor İyonu
Ca^{+2}	: Kalsiyum İyonu
H^+	: Hidrojen İyonu

KISALTMALAR

- SA : Specific Absorbtion (özgül soğurulma)
SAR : Specific Absorbtion Rate (özgül soğurulma oranı)
ICNIRP : Uluslar arası iyonlaştırmayan radyasyondan korunma örgütü
WHO : Dünya sağılık örgütü
FDTD : Zaman domeninde sonlu farklar metodu
PCR-SSCP : Polymerase Chain Reaction – Single Strand Conformation Polymorphism

ÖZET

DOKTORA SEMİNERİ

ELEKTROMANYETİK DALGALARIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASINA YÖNELİK YAPILAN DENEYLERDE KULLANILACAK DÜZENEKLER İÇİN GEREKSİNİMLER VE HAZIRLANMA AŞAMALARI

Kemal BALIKÇI

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2004, Sayfa : 32

Bu seminer çalışmasında elektromanyetik dalgaların insan sağlığına olabilecek etkileri ele alınmıştır. Giriş kısmında elektromanyetik dalgalar için temel kavramlar verilmiş, daha sonraki bölümde elektromanyetik dalgaların biyolojiksel etkileri incelenerek, çeşitli araştırmalara ve bunların sonuçlarına yer verilmiştir. İzleyen bölümlerde elektromanyetik dalgaların insan sağlığına olabilecek etkilerini ortaya çıkarabilmek için yapılacak olan deneyler için hazırlanacak deney düzeneklerinin tasarlanmasında dikkat edilmesi ve yapılması gerekenler ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alanlar, İnsan sağlığı, SAR, deney düzeneği.

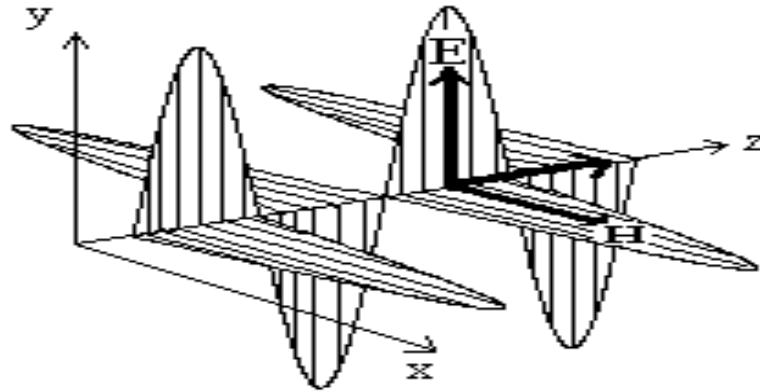
1. TEMEL KAVRAMLAR

1.1. Giriş

Elektromanyetik dalgalar, günümüzde kullandığımız birçok teknoloji ürününden dolayı bugün önemli bir tartışma konusu olmuştur. Bu tartışmaların başında elektromanyetik dalgaların insan sağlığına zararlı etki veya etkilerinin olabileceği gelmektedir. Elbette ki bu düşüncüyü paylaşan insanlar olduğu gibi karşıt görüşler de bulunmaktadır. Ancak herkes tarafından kabul edilen bir gerçekse, bu konunun bilimsel olarak araştırılması gereğidir. Bu seminerde, ilk olarak yapılan çalışmaların ne tür ve nasıl yapıldığı ele alınmış, daha sonra yapılmış olan deneysel çalışmalar incelenmiştir. Bu deneylerin hazırlanma aşamalarını, kurulan düzenekleri ve yapılan işlemleri araştırarak, ileride yapmayı düşündüğümüz deneysel araştırmalarımız için temel teşkil edecek yapılar ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

1.2. Elektromanyetikte Temel Kavramlar

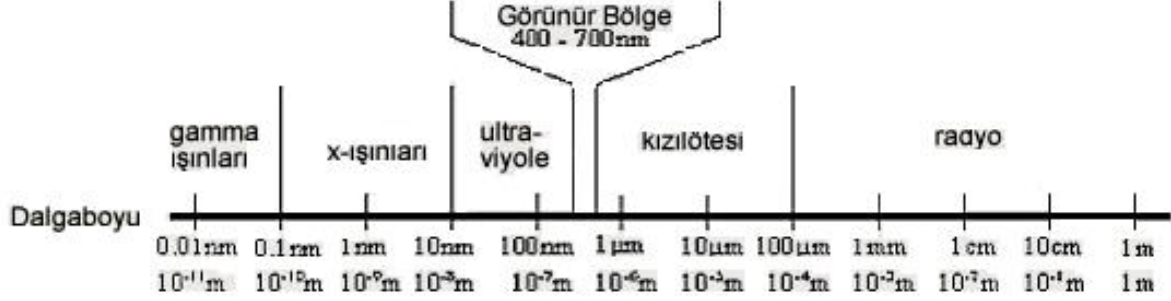
Elektromanyetik dalga, elektrik ve manyetik dalganın birlikte birbirine dik bir şekilde ilerlemesiyle oluşur (Şekil 2.1). Elektromanyetik dalganın oluşabilmesi için ivmeli (hareket eden) bir elektrik yükü gerekir. Her dalganın olduğu gibi, elektromanyetik dalgalarında belli bir frekansı, hızı, güç ve enerji yoğunluğu vardır.



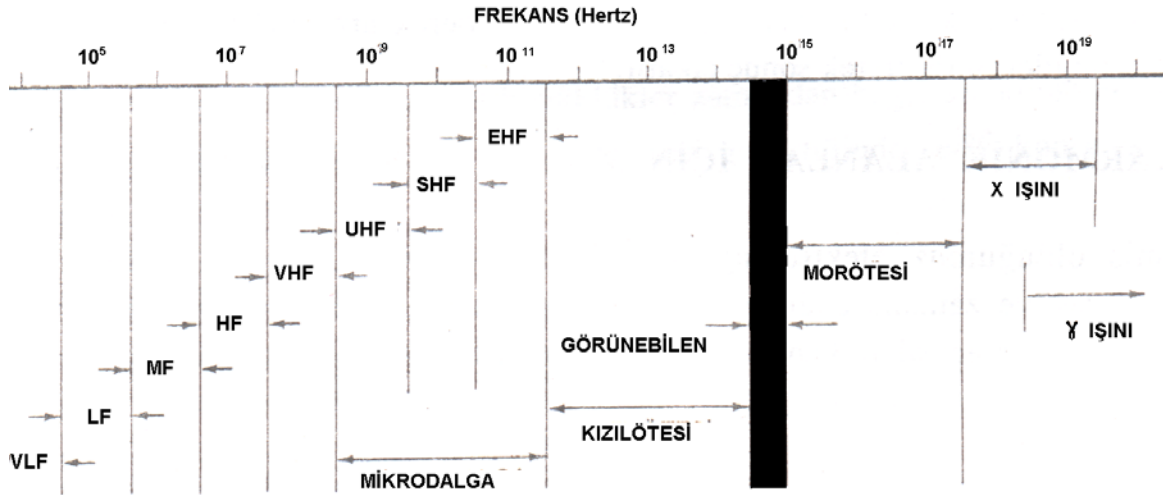
Şekil 1.1 : Elektromanyetik dalga

Özel yapılar hariç, elektromanyetik dalgalar boşlukta ışık hızıyla ilerlerler. Elektromanyetik dalgalar, çok küçük frekanslar ile çok büyük frekanslar aralığında bir spektruma sahiptir. Gama ışınları, X-ışınları, ultraviyole ışınları, kızılötesi ışınlar,

mikrodalgalar, radyo dalgaları gibi çeşitli elektromanyetik dalgalar, 100 Hz ile 10^{22} Hz arasında çok geniş bir frekans aralığına sahiptir (Şekil 1.2 – Şekil 1.3).



Şekil 1.2 : Elektromanyetik dalgaların dalga boyu spektrumu



Şekil 1.3 : Elektromanyetik Dalgaların Frekans Spektrumu

Elektromanyetik ışınım (radyasyon) ise, elektromanyetik dalganın herhangi bir ortamda yayılması ile ortaya çıkar. Elektromanyetik ışınım, iyonlaştırmayan radyasyon olarak da bilinir. İşte bu noktada, elektromanyetik ışınım içerisinde kalan canlı ve cansız varlıklarla olan etkileşimin tam olarak nasıl olduğu bilinmemektedir. Çevremizde ise bir çok elektromanyetik kaynaktan dolayı ışınım olmaktadır. Bunların kimisi doğal kaynaklar, diğeri ise doğal olmayan elektromanyetik kaynaklardır. Doğal olanlara örnek olarak; güneş, yıldızlar, şimşek, fırtına vb. doğa olaylarını, doğal olmayanlara ise nükleer patlamalar, çeşitli elektronik cihaz ve aletler, antenleri verilebiliriz.

1.3. Elektromanyetik Kaynaklar ve Işıma (Radyasyon)

Elektromanyetik kaynaklar iki kısımda incelenebilir:

- a) Doğal elektromanyetik kaynaklar (Güneş, yıldızlar, şimşek, dünya vb.)
- b) Doğal olmayan elektromanyetik kaynaklar (nükleer patlamalar, elektrikle çalışan cihazlar, çeşitli elemanlardan oluşmuş elektronik devreler, antenler vb.)

Elektromanyetik ışınım (radyasyon) elektromanyetik dalganın herhangi bir ortamda yayılması ile ortaya çıkar. Maddeleri iyonize edecek kadar enerjisi olmayan bütün elektromanyetik alan ve ışıma, iyonize yapmayan ışınım da denir. WHO 'ya (World Health Organization = Dünya Sağlık Örgütü) göre, iyonize yapmayan ışımada, her foton (parçacık) 12 eV 'dan daha az enerjiye, 100 nm 'den daha uzun dalga boyuna ve 300 THz 'den daha düşük frekansa sahiptir [1].

Işınım enerjisi Joule cinsinden;

$$W = h \cdot f \quad (1.1)$$

dir. Burada;

h: planck sabiti ($h=6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s)

f: frekans (Hertz)

değerlerini göstermektedir. Elektromanyetik dalgaların ışınım enerjisi bazen Joule birimi yerine eV cinsinden ifade edilebilir. Bu da;

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (1.2)$$

ile ifade edilir. (2.1) denklemindeki enerji formülünde h (planck sabiti) değerini yerine yazıp, ışınım enerjisini eV cinsinden yazmak istersek;

$$W = 4,14125 \cdot 10^{-15} \cdot f \text{ (eV)} \quad (1.3)$$

bulunur .

Elektromanyetik dalgalar, bazen ışınım enerjisi yerine, güç yoğunlukları ile ifade edilebilir. Güç yoğunluğu, birim metrekare başına düşen enerji (W/m^2) miktarıdır [1].

1.4. Elektromanyetik Etkileşim

Bugün kullandığımız çok sayıda aletler, cihazlar ve makineler çevreye elektromanyetik radyasyon yaymaktadır. Evlerimizde kullandığımız elektrikli cihazların tümü, çevremizi bir ağ gibi kuşatan elektrik iletim hatları, antenler, vericiler ve günümüzde çok sayıda insanın kullandığı cep telefonları bu radyasyonun başlıca kaynaklarıdır. Tabii ki bu ortamda yaşamak ve bu cihazları kullanmak zorundayız. Aynı şekilde bu cihaz ve makinelerde bir arada çalışmalıdır.

Elektromanyetik radyasyonun iki türlü etkileşimi vardır:

- a) Elektromanyetik dalgalarla çalışan cihazların birbirleri arasındaki etkileşim
- b) Elektromanyetik dalgalarla çalışan cihazların canlılarla etkileşimi

Cihazlar arası etkileşimde, bu cihazların düzgün çalışabilmeleri için gerekli önlemler alınır. Aksi halde biri çalışırken diğerini olumsuz yönde etkilemesi tehlikelere yol açabilir. Bugün uçaklar, otomobiller ve daha pek çok kullandığımız araç gereçte böyle bir tehlikenin yol açabileceği sonuçlar bilinmemekle birlikte, bunları önleyebilmek adına değişik uyarılar yapılmaktadır.

Diğer etkileşim yolu ise özellikle insanlar için çok daha önemlidir. Çünkü elektromanyetik radyasyon dokular üzerinde birim yüzey başına düşen güç yoğunluğunun (SAR=Specific Absorbtion Rate – özgül soğurulma oranı) canlı vücudunda soğurulmasına ve doku ısınması yoluyla hasar oluşmasına neden olurlar [2].

1.5. SAR Değeri ve Ölçülmesi

Biyolojik dokunun birim kütlesi tarafından soğurulan enerji miktarına Özgül Soğurulma (SA = Specific Absorbtion) denir. dm ağırlıklı bir kütlede soğurulan enerji miktarına dW denilirse, özgül soğurulma değeri;

$$SA = \frac{dW}{dm} \quad (1.4)$$

dir. Burada dm kütleinin yerine,

$$dm = \rho.dV \quad (1.5)$$

yazılırsa, SA değeri;

$$SA = \frac{dW}{\rho.dV} \quad (1.6)$$

elde edilir. Burada kilogram başına düşen güç miktarı birimi olan W/kg için, SAR denilen özel bir isim kullanılmaktadır. SAR (Specific Absorbtion Rate), özgül soğurma oranı veya özgül soğurulma hızı olarak da bilinir. SAR miktarının değeri denklem 1.7, 1.8, 1.9 ve 1.10 dan görüldüğü gibi farklı yollardan hesaplanabilir: [1]

$$SAR = \frac{d(SA)}{dt} \quad (1.7)$$

$$SAR = \sigma \cdot \frac{E^2}{\rho} \quad (1.8)$$

$$SAR = c_1 \cdot \frac{dT}{dt} \quad (1.9)$$

$$SAR = \frac{|J|^2}{\rho \cdot \sigma} \quad (1.10)$$

σ : Hacmi V olan bir dokunun iletkenliği (S/m)

ρ : Hacmi V olan bir dokunun yoğunluğu (kg/m³)

E : Dokunun içine nüfuz eden Elektrik alan (V/m)

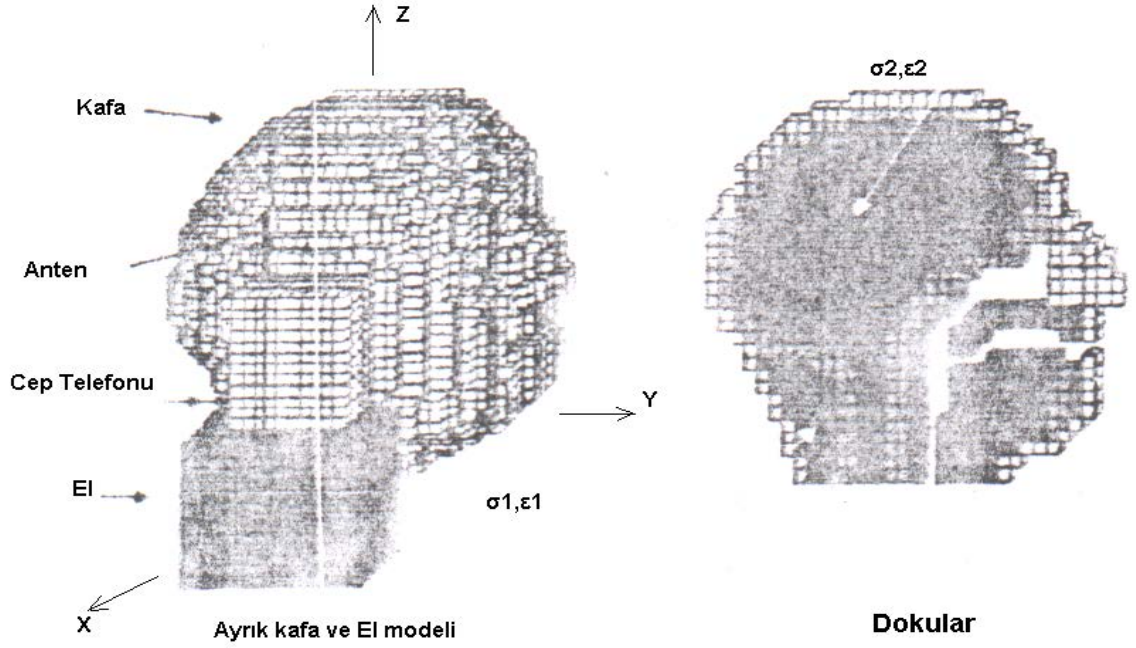
c_1 : Vücudun özgül ısı kapasitesi (J/kg.K)

$\frac{dT}{dt}$: Vücut sıcaklığının zamana göre değişim hızı (K/s)

J : Vücutta oluşan akım yoğunluğu (A/m²)

Görüldüğü üzere SAR değerinin hesaplanması çok zordur. Bunun en büyük nedeni doku içerisindeki alan şiddetinin ölçülememesidir. Elektromanyetik ışımaya maruz kalma ölçümleri temel olarak alan şiddeti veya güç akı yoğunluğu ölçülerek elde edilir. Elektromanyetik ışımaya maruz kalındığında elektrik alan ve manyetik alan ayrı ölçülür. Bu değerlerin insan vücudunda ölçülmesi kolay değildir. Çünkü, insan vücudunun çeşitli yerlerine problemler yerleştirmek ve dahası onu bir elektromanyetik alan içerisine koymak, kimsenin kabulleneceğı bir olay değildir. Bu nedenle bu ölçümler insanlara değıl fare, tavşan gibi denek hayvanlarına uygulanır. Bu kobay hayvanları belli bir zaman zarfında belli alan şiddetleri altında bırakılarak vücutlarında oluşan alan şiddeti ve güç yoğunlukları ölçülür. Yada insanın elektromanyetik özelliklerine yakın tuzlu su veya değışik kimyasal jellerden yapılmış robotlar kullanılır [3].

Bir başka ölçüm yöntemi de bilgisayar simülasyonlarıdır. Şekil 2.4 de SAR modellenmesi kullanılarak FDTD yöntemini kullanan bir ölçüm yöntemine ait şekiller görülmektedir [3]. Kullanılan değışik algoritmalar ve elektromanyetik dalgaların analizinde kullanılan sayısal tekniklerle insan vücudunun matematiksel modeli çıkartılarak bilgisayara



Şekil 1.4 : Bilgisayar yardımı ile SAR simülasyonu

aktarılır. Daha sonra bilgisayar ortamında elektromanyetik dalgalar bu yapıya uygulanır ve istenilen noktalarda alan değerleri hesaplanır.

1.6. Limit Değerler

ICNIRP tarafından belirlenen iki limit vardır. Bunlar; temel ve türetilmiş limitlerdir. Temel limit olarak “insanın vücut sıcaklığını ortalama 1 °C derece arttıracak elektromanyetik enerji yutulmasının zararlı olduğu” düşüncesinden yola çıkılmıştır. Temel limitler sadece dokularda yutulan ve ısıya dönüşen güçle ilgilidir. SAR değerinin ölçülmesindeki zorluklardan dolayı, ICNIRP tarafından daha kolay ölçülebilir değerlere göre türetilmiş limitler ortaya konmuştur. Burada esas alınan ise “elektromanyetik güç yoğunluğu”dur. Türetilmiş limitler frekansa göre, ortamda izin verilen en yüksek değerleri belirlemektedir [3].

Araştırmaların sonucuna göre kilogram başına dokuların yutabileceği en yüksek güç değeri 4W bulunmuştur. Bu değer; insanların bulunduğu değişik ortamlar için yeniden

düzenlenmiştir. Buna göre, işyerlerinde 10 kat, genel ve meskun yerler için ise 50 kat güvenlik önlemi alınmasının gerektiği belirtilmiştir. Alınacak güvenlik önlemleri uygulandığında;

$$\text{İşyerleri için (fabrika, atölye, sanayi vb.)} \dots\dots\dots 0,4 \text{ W/kg (SAR)} \quad (3.8)$$

$$\text{Genel yerler için (örneğin evlerde)} \dots\dots\dots 0,08 \text{ W/kg (SAR)} \quad (3.9)$$

olarak belirlenmiştir [1].

2. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN BİYOLOJİK ETKİLERİ VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Elektromanyetik alanı oluşturan elektrik alan ve manyetik alanın etkileri birbirinden farklıdır. Yapılan çalışmalar; manyetik alanların, elektrik alana göre daha fazla biyolojik etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Elektrik alan, duvarlardan geçemezken; manyetik alan bazı özel yapılar hariç hiçbir engel tanımaz. Yine, elektrik alan insan derisinden vücut içerisine geçerken enerjisinin çoğunu kaybeder ve insan vücudu üzerinde çok küçük akımlar oluşturur. Manyetik alan ise, (insan vücudunu bir iletken gibi düşünürsek) insan vücudu içerisine nüfuz ederek iç organlarda manyetik alana dik doğrultuda, küçük akımların oluşmasına neden olur [4].

Elektromanyetik dalgaların olası etkilerini ikiye ayırmak mümkündür. Birinci etkisi, kısa zamanda hissedilebilir etkileridir. Buna örnek olarak; baş ağrısı, baş dönmesi, halsizlik, uyku düzensizlikleri, yorgunluk, göz yanmaları, gündüz uykulu dolaşım, küskünlük ve toplumdaki uzaklaşma gibi rahatsızlıklar verilebilir. İkincisi ise daha çok uzun vadede görülebilecek, vücudun farklı bölgelerindeki kimyasal bağlara ve moleküllere, hücre yapısına, vücudun korunma mekanizmasına olan etkileridir [1].

Bu etkilerin sonucu olarak pek çok bilim adamı elektromanyetik dalgaların uzun vadede; düşük, ölü doğum, depresyon, intihara yönelme, kanser, lösemi, Parkinson hastalığı gibi çok önemli rahatsızlıklarla ilişkisi olduğu kanısındadırlar [4].

Elektromanyetik dalgaların etkilerini ortaya çıkarabilmek için yapılan çalışmalar iki koldan yürütülmektedir. Birincisi istatistiksel (epidemik çalışmalar), diğeri ise deneysel çalışmalardır. Bu seminerde ağırlık olarak deneysel çalışmalar ele alınmıştır.

2.2. İstatistiksel Çalışmalar

Epidemik çalışma, bir hastalığın ve bunun muhtemel nedeni arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak ortaya çıkarmaya çalışır. Ancak bu o kadar da kolay bir iş değildir. Çünkü, hastalık ve nedeni arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için bir çok parametre gerekmektedir. Bu parametrelerin tamamını işleme katmak, doğru cevaplar almak, çok sayıda kobay kullanmak

gibi bir çok zorluk sayılabilir. Dünyada bir çok istatistiksel çalışma yapılmış ve hala yapılmaktadır. Ülkemizde ise bu çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları örnek olarak aşağıda verilmiştir.

1993 yılında California'daki büyük bir elektrik şirketinin 36.000 çalışanı üzerinde yaptığı bir araştırmaya göre kanserle elektromanyetik alanlar arasında bir ilişki bulunamamıştır. Lösemili çalışan sayısı normalin üzerinde çıkmışsa da bu oran kesin bir sonuç için yeterli bulunmamıştır. Benzer bir araştırma 1994'te Kanada ve Fransa'daki iki elektrik şirketinin toplam 223.000 çalışanı kapsayan bir araştırma yapılmıştır. Bu istatistiksel çalışmada 4.000 kanser hastası saptanmıştır. Bu çalışmada yüksek elektromanyetik alanların etkisinde kalanlarda lösemi 2-3 kat daha fazla iken beyin tümörü 10 kat daha fazla görülmüştür. Tüm bu bulgulara rağmen lösemi ile elektromanyetik alanlar arasındaki ilişkiyi tam olarak açıklamaya yeterli bulunmamıştır [4].

1994 yılında ABD ve Finlandiya'da yapılan araştırmalara göre, elektromanyetik alanların çok sık etkisinde kalan işçilerde Alzheimer hastalığının normal insanlara göre erkeklerde 4.9 kat ve kadınlarda 3.4 kat daha çok görüldüğü tespit edilmiştir [4].

1998 de yapılan bir başka araştırmaya göre; radyo operatörleri, endüstriyel donanım işçileri, ver işleme aygıtı tamircileri, telefon hattı işçileri, elektrik santralleri ve trafo merkezlerinde Alzheimer, Parkinson gibi hastalıklarla beraber başka birtakım nörolojik bozuklukların daha çok görüldüğü ortaya çıkmıştır [4].

Mayıs 1998 tarihinde İsveç 'li bilim adamı Dr. Kjell Hansso Mild, ekibiyle birlikte İsveç ve Norveç'te yaşayan 11.000 cep telefonu kullanıcısı üzerinde bir araştırma yapmıştır. Bu araştırma sonucuna göre; cep telefonu ile uzun süre konuşanlarda yorgunluk, baş ağrısı ve deride yanma hissi ortaya çıkarmıştır. Kulaklı mikrofon seti kullananların %80'inde bu tip sorunların olmadığı gözlenmiştir [4].

Haziran 1998 de, Almanya'daki Freiburg Üniversitesi Nöroloji kliniğinde yapılan bir araştırmada, cep telefonu ile yüksek tansiyon arasındaki ilişki ortaya konmuştur [4].

1999 yılında ABD Ulusal Çevresel Sağlık Bilimleri Enstitüsü' nün 6 yıl süren araştırmasına göre, şu sonuç çıkarılmıştır: Elektromanyetik alanların tümüyle güvenli oldukları söylenemez. İnsanlar onların etkisinden olabildiğince kaçınmalıdırlar. Ama elektrik hatlarının

oluşturduğu elektromanyetik alanların, insanların kanser yada başka bir hastalığa yakalanma riskini arttırdığına yönelik kanıtlar zayıftır. Bu konudaki araştırmalar sürdürülecektir [4].

Yine İngiltere’de 11.000 gönüllü kişinin katıldığı bir başka araştırmanın sonuçlarına göre, uzun süre cep telefonu ile konuşanlarda baş ağrıları, dikkat dağılması ve baş dönmesi şikayetleri görülmüştür [4].

2.3. Deneysel Çalışmalar

Elektromanyetik dalgaların biyolojiksel etkilerini ortaya çıkarmak için yapılan çalışmalardan biride deneysel çalışmalardır. Laboratuvar ortamında değişik hayvan türleri üzerinde değişik frekanslarda elektromanyetik dalgalar uygulanarak, bu hayvanların biyolojik işlevleri, gelişim evreleri, beslenme, kan sayımı vb. gözlemleri yapılarak bazı sonuçlar elde edilmeye çalışılır. Yapılan deneysel çalışmalardan bazılarına aşağıda yer verilmiştir.

Yapılan bir araştırmaya göre, kedi beyinciği üzerinde yapılan deneylerde serebellumun röle aygıtı hesap edilen Purkinje hücrelerinin impuls aktivitesi parametrelerinin (tepkinin latent periyodu, farklı impulsların birbirini takip etmesi, tepkiden sonraki rehabilitasyon süreleri) mikrodalga tabiatlı elektromanyetik alan etkisi altında, deney modellerine bağlı olarak (narkoz, Şerrington deserebrasyonu), farklı şekillerde fonksiyonel bir tekamüle uğradığı tespit edilmiştir [6].

Cep telefonlarının sıçanlarda kan beyin bariyeri ve spesifik gravite üzerine etkisini araştıran bir deney çalışmasına göre; deneyde kullanılan 5 sıçanın kan beyin bariyeri (BBB) spektrofotometrik yöntemle kantitatif olarak ölçülmüş, sıçanlardan birinin sağ ve sol temporal lob ile frontal korteksinin evans mavisi ile aşırı boyandığı bir diğerinin ise minimal seviyede boyandığı gözlenmiştir. BBB spektrofotometrik ölçüm sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesinde deney ve kontrol grubu arasında anlamlı bir fark görülmemiştir. Yine bu araştırmaya göre, cep telefonuna uzun süre maruz bırakılan hayvanlarda, kontrol grubuna göre beyin dokusu özgül ağırlığı (SG) değerlerinde artış gözlenmiştir. SG artışı beyin hücrelerinin su kaybıyla açıklanabilir. İntrasellüler ortamdan intravasküler ortama suyun geçişi osmotik basıncın değişmesi ile olmalıdır. Çeşitli iyonların hücrelerden dış ortama geçişleri ile ilgili kanallar, elektriksel özelliklere sahiptir. Elektromanyetik alanlar bu kanallara etki ederek Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{+2} , H^+ gibi iyonların hücre içi ve dışı konsantrasyonunun değişmesine neden olmuş olabilir. Bu da osmotik basınç değişimini ve beyin hücrelerinin su kaybını ortaya çıkartabilir [7].

Yapılan araştırmalarda elektromanyetik alanların hücresi bölünmeye sevk ederek tümör gelişimini hızlandırdığı ve uzun süreli, oldukça düşük frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalan kişilerde kanser oluşum sıklığının arttığı bildirilmektedir. Bu konuda moleküler düzeyde çalışmalar yeterli olmayıp tartışmalar devam etmektedir. 2000 yılında, elektromanyetik alanlara maruz kalan kişilerde K-RAS onkogeninin moleküler analizi konulu yapılan çalışmada; yüksek gerilim hattı çalışanlarında kanser oluşumuna neden olan onkogenlerden, K-ras genindeki delesyon/mutasyonları belirlemek amacıyla, Gaziantep, Erzin ve Elbistan bölgesinde 380 kV'luk şalt sahasında çalışan 31 kişinin ve kontrol amacıyla sağlıklı 23 kişinin kanlarından standart yöntemle DNA izole edilmiş ve izole edilen DNA 'larda K-ras geninde, delesyon/mutasyonun olup olmadığı polimerase chain reaction – single strand conformation polymorphism (PCR-SSCP) yöntemiyle araştırılmış ve sadece iki bireyin SSCP bandında farklılık saptanmışsa da elektromanyetik alana maruz kalan bireylerde K-ras onkogeninde delesyon/mutasyon saptanamamıştır [8].

Elektrik alanın insan lenfosit kültüründe kromozomlara etkisini araştıran bir çalışmada, sağlıklı bireylerden alınan kan, kültür ortamına bırakılarak, 72 saatlik inkübasyonun son 24 saatinde 0.5 kV/m 'lik ve 1 kV/m 'lik elektrik alana maruz bırakılmış; kontrol grubu olarak aynı bireylerin kanları normal inkübasyona bırakılmış ve bunlara standart kromozom analizi uygulayarak, kromozomlardaki yapısal ve sayısal düzensizlikler incelenmiştir. Buna göre, elektrik alan uygulanan grupta, kromozomlardaki yapısal düzensizliklerin oranı, kontrol grubundan daha yüksek olduğu saptanmıştır [9].

3. YAPILACAK OLAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR İÇİN TEMEL BİLGİLER

3.1. Giriş

Elektromanyetik alanların biyolojik sistemlerle fiziksel olarak nasıl bir etkileşme yaptığının araştırılması, maruziyetle oluşan biyolojik etkilere ilişkin çalışmaların önemli bir parçasını oluşturur. Dozimetri, yani radyo frekans radyasyonu ile ışınlanan bir cisimde oluşan iç elektrik alanlarının ölçülmesi ve hesaplanması, bu konuda yapılan çalışmaların esas prensibini teşkil eder. Biyolojik etkiler, vücut içinde oluşan iç alanlara bağlı olduğundan dozimetri çok önemli bir kavramdır. İster hesapla ister deneysel yoldan olsun iç alanların bulunması zor bir işlemdir. Genel olarak iç alanlar; gelen alana, cismin şekil ve büyüklüğüne, elektriksel özelliklere ve gelen alanın frekansına bağlıdır. Bu nedenle, aynı dış alanda bulunan farklı cisimlerde oluşan iç alanlarda farklı olur [10].

İşımaya uğramış vücut içinde oluşan radyo frekans alanlarının bulunması için teorik ve deneysel çalışmaların ikisine de ihtiyaç vardır. Teori, iç alanların; yutucuya ve gelen alanlara nasıl bağlı olduğunu açıklayabilmektedir. Teorik çalışmalar radyo frekans radyasyonuna ilişkin hayvanlarda gözlenmiş biyolojik etkilerin, insanlarda oluşması muhtemel etkilere uyarlanmasını sağlar. Radyo frekans ışımaya ilişkin biyolojik etkilerle ilgili deneysel çalışmalar direk olarak insanlar üzerinde denemeyeceği için bu husus ayrı bir önem taşır [10].

Teorik çalışmaların doğrulanması, iç alanların başka özelliklerinin anlaşılması ve teorik çalışmayla elde edilemeyen bazı verilerin elde edilebilmesi için deneysel çalışmalara da ihtiyaç duyulur. Araştırmacılar teorik hesapları ve deneysel teknikleri birlikte kullanarak dozimetri hakkında mümkün olduğu kadar çok yararlı bilgiler elde etmişlerdir. Teorik metotlar Maxwell denklemlerinin; yutulan, yansıyan ve gelen dalgayı dikkate alarak, çeşitli yollarla çözümünden ibarettir. Bu metotlarla kullanılan matematik modeller gelen ve yutulan alanları temsil etmekte hayli sınırlı kalıp yapılan hesaplamalar gerçek fiziksel değerlere bir yakınsama olur [10].

Deneysel metotlar iç elektrik alanının ölçülmesi veya vücut içinde çeşitli noktalarda sıcaklık artışının ölçülmesinden meydana gelir. Bu değerleri ölçebilmek için uygun düzenekler hazırlamak ve yeterli bir ön bilgiye ihtiyaç vardır. Bu seminerde kurulacak bir deney düzeneği ve izlenmesi gereken yol hakkında tavsiyeler ve değerlendirmeler yapılmış, ayrıca bazı temel bilgilere yer verilmiştir.

Elektromanyetik radyasyon (iyonlaştırmayan radyasyon) dokular üzerinde yüzey başına Watt birimiyle ifade edilen güç yoğunluğunun canlı vücudunda soğurulmasına ve oradan doku ısınması yoluyla hasar oluşmasına neden olurlar. Soğurulan bu güç (SAR), gelen dalganın frekansına, geliş açısına, canlı dokunun su muhtevasına ve biyolojik malzemenin elektriksel özelliklerine (iletkenlik, dielektrik sabitleri) bağlıdır. Söz konusu etkileşme canlı vücudunda elektromanyetik dalganın indüklediği iç alanların doku malzemeleri için aşağıda ifade edilen şekilde enerji transferinden kaynaklanır.

- a) Elektrik alanları herhangi bir atomun serbest elektronlarına kinetik enerji verir.
- b) Elektrik alanları atom ve moleküllerdeki elektrik dipollerine etki ederler. Polarizasyon olarak isimlendirilen bu olaya ilişkin sürtünme nedeniyle doku malzemelerinde ısı oluşur.
- c) Elektrik alanları, malzeme daha önce mevcut dipolleri bir araya getirir. Bununla birlikte oluşan sürtünme malzemeye enerji transfer eder [11].

3.2. Dokuların Biyolojiksel Özellikleri

1. dünya savaşına kadar yapılan çalışmalarda dokuların elektriği ilettiği, direncin frekansla değiştiği, iletkenliğin iyon hareketinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Kas ve sinir dokularının elektriksel özellikleri bugün dokuların kapasitif özelliği olarak bilinen polarizasyon kavramı o yıllarda ortaya çıkmıştır. 1. dünya savaşından sonra dielektrik çalışmaları geniş frekans aralığında ve çeşitli malzemeler üzerinde yoğunlaşmıştır. 266 Hz – 2 MHz arasında kanın kapasite ve direnç özelliği incelenmiş ve ilk defa geniş frekans aralığında kompleks dokular için her iki bileşen ölçülmüştür. 1948 yılında Rajewsky ve Schwan tarafından 1 GHz frekansı civarında kan dokusunun kompleks dielektrik sabiti bulunmuştur. 1950-1960 yılları arasında, veziküller, organeller ve çeşitli dokuların DNA çözücülerini ve protein ihtiva eden birçok malzemelerin dielektrik özellikleri incelenmiştir [11].

Dokuların dielektrik özellikleri, elektromanyetik dalgaya maruziyet durumunda vücut içinde oluşan iç elektrik alanların hesaplanmasında ve elektromanyetik enerjinin diagnostik ve terapötik gibi tıbbi uygulamalarının geliştirilmesinde, bu elektromanyetik alanların muhtemel zararlarının incelenmesinde önemlidir. Biyolojik dokuların dielektrik özelliklerinin bilinmesi ayrıca, gıda işleme, tarımsal gayeler, çeşitli ürünlerin kurutulması gibi birçok elektromanyetik enerjinin uygulama alanlarının gelişmesinde önemli rol oynar [11].

İletkenliği σ olan bir malzeme içinde E şiddetinde bir etkin değerli elektrik alanı tarafından oluşturulan ısı $\sigma.E^2$ 'dir. 100 MHz 'in üstünde dielektrik kayıp nedeniyle iletkenlik önemli bir artış gösterirken, düşük frekanslarda, hücre dışı ve hücre içi sıvılar arasından geçip giden iyonik iletim, iletkenliğe en önemli katkıyı sağlar. İletkenliğin frekansla değişimi Kremers – Kronig bağıntılarıyla, dielektrikteki değişmelere bağlanmasına rağmen, iletkenliği dielektrik karışım teorisindeki gibi ayrı bir şekilde ele almak daha yararlı bilgilerin elde edilmesini sağlar [11].

3.2.1. Çok Düşük Frekanslarda Dokuların Elektriksel Özellikleri

Çok düşük frekanslı elektrik alanlarının dokular üzerindeki etkisi; elektrik alanı – akım yoğunluğu ilişkisi, birbirine komşu farklı ortamların elektrik alanları ilişkisi ve dokuların makroskobik özelliklerinin bilinmesiyle anlaşılabilir [11].

Çok düşük frekanslarda, dokularda iletkenlikler hemen hemen frekanstan bağımsızdır. Elektriksel iletkenlik ise mühendislikte kullanılan malzemelere göre çok değişiklik gösterir. Tablo 3.1 de görüldüğü gibi güç frekanslarında biyolojik dokuların kompleks iletkenliği yalnız gerçek kısmı ile gösterilebilir. Havanın iletkenliği gerçek kısmının 10^{-13} S/m, sanal iletkenliği $3,3.10^{-9}$ S/m 'dir. Alan – akım yoğunluğu ilişkisinin anlaşılmasında, iletkenliğin sanal, gerçek yada kompleks olması önemlidir [11].

Doku İsmi	İletkenlik	
	Gerçel	Sanal
Kan	0,7	<0,001
Kas	0,1	0,004
Karaciğer	0,1	0,004
Akciğer	0,1	0,003
Yağ	0,03	0,0003
Kemik	0,01	0,0001

Tablo 3.1 : Çok düşük frekanslarda (50 Hz) çeşitli doku örneklerinin iletkenlik değerleri

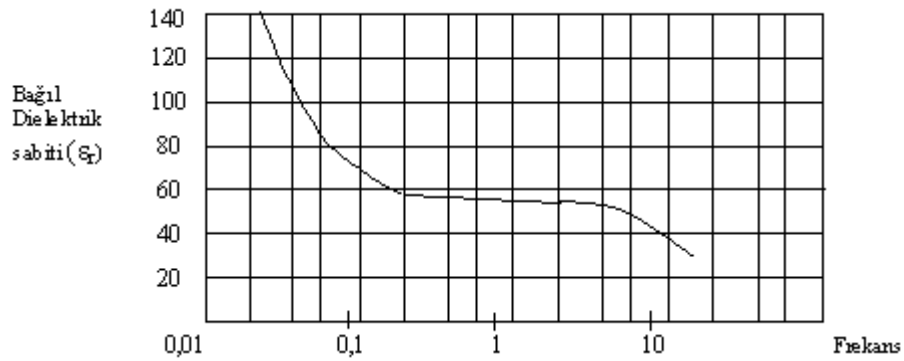
Mikroskobik seviyede tüm dokular hücre ve hücre dışı sıvılardan oluşmuştur. Hücreler elektriksel bakımdan iki farklı elemandan oluşmuştur. Bunlar dışta yalıtkan özellikli membran ve içte sıvı gibi yüksek iletkenlikli stoplazma ve çekirdektir. Membranın varlığından dolayı hücreler yalıtılmış olup 50 Hz 'lik dış alanın doku içine indüklediği tüm akım hücreler arasında akar [11].

Makroskobik bakımdan dokuların elektriksel özellikleri üç noktada bilgi verir. Bunlar :

- a) Hücre elemanlarına yapılan direkt etkiler, hücre içi alanların çok küçük olması nedeniyle çok farklıdır.
- b) İndüklenmiş akımın hemen hemen tamamı (alana göre yönelmiş uzun hücreler dışında) hücre dışı sıvı içinden geçer.
- c) Elektrik alanlarının, hücre dışı sıvı üzerine yaptıkları etki hakkında bilinen tek şey ısınmaya neden olacak büyüklükte olduğudur [11].

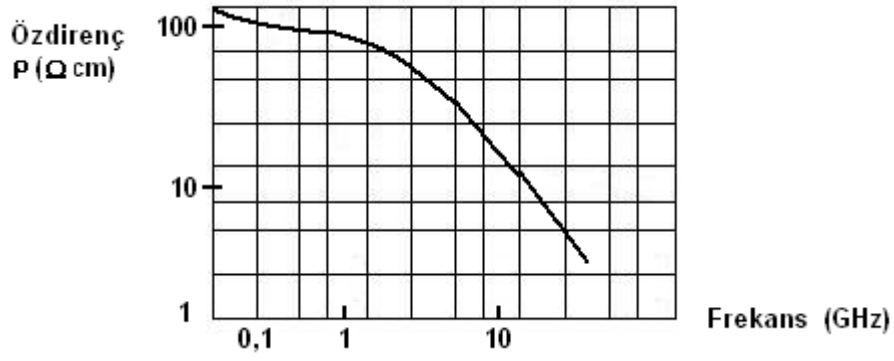
3.2.2. Radyo Frekanslarda Dokuların Elektriksel Özellikleri

Dokuların elektriksel özellikleri için, ihtiva edilen su miktarı, dielektrik davranışı çok önemlidir. Kas dokuları, kalp, karaciğer, akciğer, böbrek gibi %70 - %80 arasında yüksek oranda su ihtiva eden dokuların dielektrik davranışı şekil 3.1 de gösterilmiştir. Frekans arttıkça, ϵ_r bağıl dielektrik sabiti azalmakta, düşük frekanslarda artmaktadır. 0,1 GHz 'de eğri dönüm noktasından geçmekte ve hemen hemen 10 GHz de ϵ_r dielektrik sabiti dikkati çekecek derecede küçülmektedir. Bu yüzden yüksek frekanslarda, ϵ_r bağıl dielektrik sabiti, yüksek frekanslarda ikinci eğimi biyolojik sistemlerin su buldukları ve suyun frekansa bağlı dielektrik özelliklerini yansıtır [11].



Şekil 3.1 : Yüksek oranda su ihtiva eden insan dokusunun bağıl dielektrik sabitinin, ϵ_r frekans ile değişimi

Şekil 3.2 de insan dokusunun öz direncinin frekansla ilişkisi gösterilmiştir. Yüksek oranda su bulunduran dokuların öz dirençleri düşük frekanslarda çok az değişir. 1 GHz 'i aşan frekanslarda ise çok hızlı değişim gösterir. Bu hızlı değişim, suyun iletkenliğinin yüksek frekanslarda çok kuvvetli değişim göstermesinden kaynaklanır [11].



Şekil 3.2 : İnsan dokusunun özdirencinin frekans ile değişimi

1 GHz 'in yukarıdaki frekanslarda ϵ 'nin azalması σ 'nin artması 22 GHz civarında bir gevşeme frekansına sahip su moleküllerinin polar özelliklerine bağlanabilir. Yüksek oranda su bulunduran dokuların özellikleri tablo 3.2 de verilmiştir [11].

Frekans (MHz)	Havadaki Dalgaboyu (cm)	Dielektrik sabiti ϵ	İletkenlik σ (mho/m)	Doku içindeki dalgaboyu λ_H (cm)
1	30000	2000	0,400	436
10	3000	160	0,624	118
27,12	1106	113	0,612	68,1
40,68	1106	97,3	0,693	51,3
100	300	71,7	0,889	27
200	150	56,5	1,28	16,6
300	100	54	1,37	11,9
433	69,3	53	1,43	8,76
750	40	52	1,54	5,34
915	32,8	51	1,60	4,46
1500	20	49	1,77	2,81
2450	12,2	47	2,21	1,76
3000	10	46	2,26	1,45
5000	6	44	3,92	0,89
5800	3,17	43,3	4,73	0,578
8000	3,75	40	7,65	0,578
10000	3	39,9	10,3	0,464

Tablo 3.2 : Yüksek oranda su bulunduran dokularda ϵ_r ve σ 'nin değişimi

Düşük miktarda su içeren dokuların dielektrik davranışı niceliksel olarak yüksek su ihtivalı dokularinkine benzer. Fakat ϵ dielektrik sabitinin ve σ iletkenliğinin değerleri bir mertebe daha düşüktür ve kantitatif olarak da anlaşılabilir. Ayrıca düşük su muhtevası dokularda da büyük varyasyonlar vardır. Su, yağa göre yüksek bir dielektrik sabite ve iletkenliğe sahip olduğundan dolayı, net doku dielektrik sabiti ve iletkenliği su muhtevastaki küçük değişimlerle birlikte önemli ölçüde değişecektir. Düşük oranda su bulduran dokuların özellikleri tablo 3.3 de gösterilmiştir. ϵ ve σ değerleri sıcaklıkla da değişir [11].

Frekans (MHz)	Havadaki Dalgaboyu (cm)	Dielektrik sabiti ϵ	İletkenlik σ (mho/m)	Doku içindeki dalgaboyu λ_H (cm)
1	30000			
10	3000			
27,12	1106	20	10,9-43,2	241
40,68	738	14,6	12,6-52,8	187
100	300	7,45	19,1-75,9	106
200	150	5,95	25,8-94,2	59,7
300	100	5,7	31,5-107	41
433	69,3	5,6	37,9-118	28,8
750	40	5,6	49,8-138	16,8
915	32,8	5,6	55,5-147	13,7
1500	20	5,6	70,8-171	8,41
2450	12,2	5,5	96,4-213	5,21
3000	10	5,5	110-234	4,25
5000	6	5,5	162-309	2,63
5800	5,17	5,05	186-338	2,29
8000	3,75	4,7	225-431	1,73
10000	3	4,5	324-549	1,41

Tablo 3.3 : Düşük oranda su bulduran dokularda ϵ_r ve σ nın değişimi

Tablo 3.4 ve 3.5 de insan vücudunun çeşitli dokularının iletkenlik ve dielektrik değerleri bulunmaktadır. Bu değerler 37 – 38 °C vücut sıcaklığında yapılan deneysel ölçmelerden elde edilmiştir [11].

Frekans		Karaciğer	Akciğer	Dalak	Böbrek	Kemik	Kan	Yağ
1	10 Hz	0,12	0,089					
2								
3								
4	100 Hz	0,13	0,092			0,0126	0,60	
5								
6								
7	1 kHz	0,13	0,096			0,0129	0,68	0,02-0,07
8								
9								
10	10 kHz	0,15	0,11			0,0133	0,68	
11								
12								
13	100 kHz	0,15		0,62	0,24-0,25	0,0144	0,55	
14		0,16						
15								
16	1 MHz	0,27		0,63	0,37-0,39	0,0173	0,71	
17		0,30						
18								
19	10 MHz	0,47		0,84	0,64-0,68	0,0237	1,11	
20		0,46						
21		0,42-0,46						
22	10 MHz	0,72	0,53	1,05	0,94-1,05	0,0574	1,0	0,02-0,07
23		0,70		0,73-0,76	0,66-0,72			
24		0,60-0,71		0,80+0,02	0,75-0,02			
25	1 GHz	0,98	0,73	1,2	0,95-0,97	0,05	0,7-0,8	0,03-0,09
26		1,2		1,09-1,13	1,0		1,4-1,6	
27		0,95-1,0		2,0	2,5+0,03		1,3	
28	3 GHz	2,0		2,7	2,3+0,0531	0,16	2,5-3,1	
29		2,4		6,5				
30		2,8						
31	10 GHz	5,8-6,7		10,0	4,5-7,4	0,5-1,7	8,3	0,3-0,4
32		10,0					9,1	
33							10,5	

Tablo 3.4 : İletkenlik (S/m)

4.2.3. Optik Frekanslarda Dokuların Elektriksel Özellikleri

Optik radyasyonun biyolojik dokularla etkileşmesinde görülen temel fiziksel olaylar deri pigmentasyonuna bağlı olarak yüzeysel yansıma, yeniden yansıma, saçılma, kırınım ve soğurulmadır. Gelen radyasyondan biyolojik dokuların enerji soğurması, fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu biyolojik etkiye neden olur. Gelen fotonun enerjisine bağlı olarak dokularda soğurulan bu optiksel enerji, moleküler dönme ve titreşmelerde ve elektronik uyarımda değişimler oluşturur [11].

Deri epidermis isimli dış tabaka ve bunun altındaki dermis isimli iki temel tabakadan oluşur. Epidermis ve dermis bir zarla birbirine bağlıdır. Zarın üzerindeki hücreler devamlı

bölünerek deri üzerine göç ederler. Epiderminin dış tabakaları zamanla dökülen ölü hücrelerden oluşur. Mor ötesi ışımaya maruz kalma durumunda üst tarafa melanin artışı ve melanosit ilerleme görülür. Böylece üst deri kararır. Radyo frekans ve mikrodalga ışımının tersine optik ışımaya genellikle yüzeysel etki gösterir. Deriye nüfuz etme birkaç mm yada daha az seviye ile sınırlıdır. Ancak göz bir istisna olup vücut içine enerjinin girmesine izin verir. Bu durumda bile nüfuz etme retinal pigment epitheliumun üstüne nadiren çıkar [11].

Frekans		Karaciğer	Akciğer	Dalak	Böbrek	Kemik	Kan	Yağ
1	10 Hz	$5 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$					
2								
3								
4	100 Hz	$8,5 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^5$			3800		$1,5 \cdot 10^5$
5								
6								
7	1 kHz	$1,3 \cdot 10^5$	$8,5 \cdot 10^4$			1000	2900	$5 \cdot 10^4$
8								
9								
10	10 kHz	$5,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$			640	2810	$2 \cdot 10^4$
11								
12								
13	100 kHz	9760		3260	10900-12500	280	4000	
14								
15								
16	1 MHz	1970		1450	2390-2690	87	2040	
17								
18								
19	10 MHz	338		321	431-499	37	200	
20								
21								
22	10 MHz	77	35	83	89-95	23	67	4,5-7,5
23								
24								
25	1 GHz	46	35	54	43	58-62	63-67	4,3-7,5
26								
27								
28	3 GHz	42		52			55-56	4-7
29								
30								
31	10 GHz	34-38		42		7,5	50-52	3,5-4,0
32								
33								

Tablo 3.5 : Bağlı dielektrik

4. DENEY DÜZENEKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ, İHTİYAÇ DUYULAN MİNİMUM GEREKSİNİMLER VE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN UNSURLAR

4.1. Giriş

Elektromanyetik alanların deneysel olarak araştırılması in vitro ve in vivo deneylerle yapılmaktadır. Bu deneyleri yaparken gelişigüzel, rasgele bir deney düzeneği hazırlayarak, bazı ölçü aletleri kullanarak yorumlamalar yapmak tabii ki çok yanlıştır. Ayrıca elektromanyetik alanların sağlık riski değerlendirmelerinde, gerçekten uzak, delilsiz bir takım söylemlerle herkes kendi fikrinin doğru olduğu konusunda sıkça tartışmalar yapılmaktadır. Ancak, bazı kimyasal ve fiziksel ajanların sağlıktaki sonuçlarının ne olduğunun kanıtı yoktur ve günümüzde bunları bulmak neredeyse imkansızdır. Herhangi bir ajanın (yada faktörün) sağlığa etkisi vardır diyebilmek için, sağlam temelli kanıtlar, bulgular elde edilebilirse; bu konuda yapılmış bir çok araştırma ve deneylerde sağlık üzerinde olumsuzluk yarattığı belirlenir ve bu deneyler toparlanırsa ancak, kesin konuşulabilir. Bunun tam tersine, yapılan deneylerin sonuçları anlamsız, sağlık üzerine zararlı herhangi bir etkisi olduğu bulunamayan faktörler, tabii ki toplum tarafından kabul göremez.

4.2. Temel Düşünceler

Sağlık riskleri olduğu düşünülen faktörleri araştırmak, büyük bir çaba, ilgi ve alaka, bilimi en iyi şekilde kullanma, yeterli sermaye ve zaman gerektirir. Ayrıca bu çalışmaların kapsamlı bir program, belirlenen bir hipotez çerçevesinde yürütülmesi gerekir. Elektromanyetik alana maruz kalmada hipotez şöyle belirtilebilir; X mobil haberleşme sisteminin maruz kalma karakteristiklerinde bir sebep, Y ise bunun cevabı, Z ise biyolojik sistem olarak kabul edilir. Tüm sağlık riskleri için X,Y,Z gibi üç adet değişkenin uygunluğu dikkatlice incelenirse, ancak kabul edilebilir. Maruz kalma parametreleri olan X, bugün ve gelecekte de kullanıcıların ve halkın maruz kalmalarına uygun olmalı; bunun cevabı olan Y, genel halk sağlığı için önemli olmalı ve Z biyolojik sistemi, ortaya çıkan en küçük risk faktörlerinin artışına karşı duyarlı olmalıdır.

Bu çalışmaları zorlaştıran veya kararlılığına zarar veren birçok unsur vardır. Düşük seviyeli RF (radyo frekans) radyasyonuna maruz kalma risk değerlendirilmesinde, doğal iki büyük farklılık vardır. Bunlar, kanıtlamaktan yada akla yatkın etkileşim mekanizmalarından

yoksunluk;diğeriye, uygulanacak doz seviyelerinin belirlenmesindeki güçlüklerdir. Kaldı ki çok şiddetli ve büyük alanlar daha önemlidir ve bunlara maruz kalınabilir. Ayrıca çok şiddetli günlük maruz kalma sonuçlarından çok daha önemli seviyede uygulanan dozdan sonra genel toksikolojik yaklaşım sergilemek uygun olmaz, çünkü buna yönelindiğinde herhangi bir muhtemel ısıl olmayan etkiler fark edilmeyebilir [12].

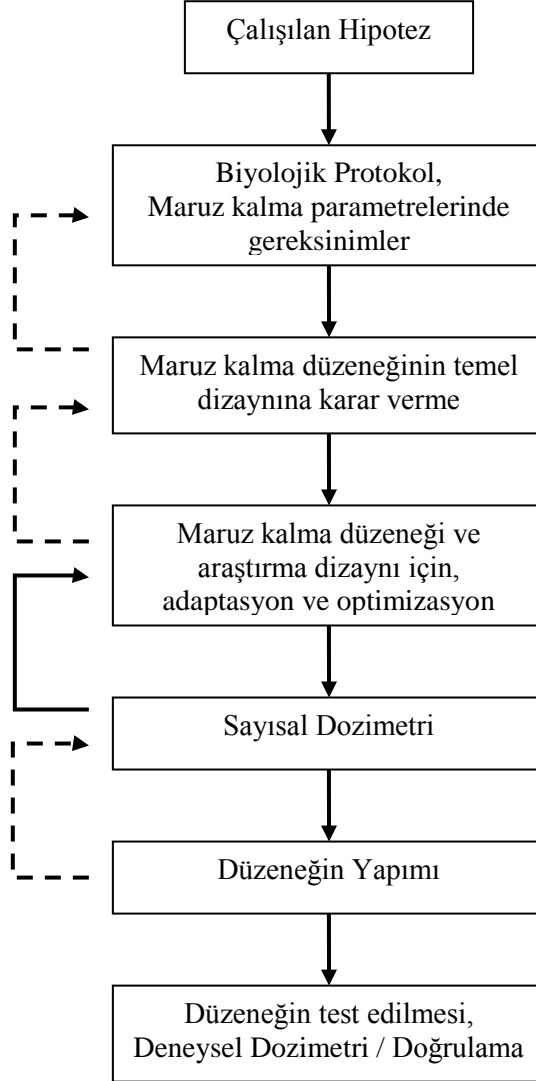
Çok önemli sağlık risk faktörlerinin bulunmak istenen kanıtı, geniş bir alanda araştırılmış ve yalnızca çok hassas mevcut deneyler seçilmişse ancak derlenebilir. Bununla birlikte, çok hassas biyolojik deneyler hem sık sık gelişmiş donanım ve prosedürler gerektirir; hem de standart protokollere çok sıkı bağlıdır. Bu protokoller, genellikle çok uzun süren çalışmalar ve Z biyolojik sisteminin Y cevabı için kapsamlı çalışma deneyimi gerektirdiğinden yavaş yavaş gelişmektedir. Hassasiyetlik değişimleri ve insan yapımı aletlerin etkilerini ortaya koyabilmek için, standart biyolojik protokolden birkaç sapmalar gerekebilir. Ancak, standart biyolojik protokolden sapmalar minimum düzeyde olmalıdır [12].

Diğer taraftan tüm elektromanyetik gereksinimler karşılanılmalıdır ve bu çok karmaşık sistemlerden oluşan araçlar, biyolojik sistem üzerinde gerekli alanları sık sık oluşturmak için kullanılmak zorundadır. Örneğin; toksikolojik çalışmalar için, son derece değişmez, tam vücut maruz kalması tercih edilir. Fakat radyo frekans maruz kalmalara karşı bunu başarmak çok zordur. Bu örnekte ise maruz kalma düzeneği ve gereksinimler arasındaki mevcut temel anlaşmazlıkları, biyolojik deneye zorla kabul ettiriyor. Oysa, her bir dizayn için uygulanabilir bir uzlaşma bulunmuş olmalıdır. Maruz kalma düzenekleri için bazı temel dizaynlar olmakla birlikte, düzenek hem temel biyolojik protokole ve hem de seçilmiş maruz kalma koşullarına adapte olmuş ve en iyi şekilde kullanılmış olmalıdır [12].

Araştırma dizaynına özgü, uygun bir maruz kalma düzenegini gerçekleştirme hipotezinin yolu çok sıkıcı olabilir. Uygun olan ispatlanmış bir yöntemi benimseyenler kendi aralarında tartışmaktadırlar. Ayrıca, bu kişiler bile biyolojik bir deney için elektromanyetik alana maruz kalma düzenegini gerçeklemeye adım adım bir yaklaşım amaçlamıyorlardı. Biyoloji ve mühendislik grupları arasındaki işbirliği, gereksinimlerdeki herhangi bir anlaşmazlığın çözümünü için uzlaşma ve anlaşmanın anahtarıdır. Birçok bilim adamı arasında tartışılan bu araçlar, en iyi derecede kullanılabilen ve kapsamlı hedeflere ilişkin bir düzenek geliştirmek için gereklidir [12].

4.3. Maruz Kalma Düzenekleri İçin Değerlendirme, Optimizasyon, Yorum ve Onaylama İçin Yöntem ve Araçlar

Bir maruz kalma düzeneği gerçekleştirme safhasının başından sonuna kadar akılda tutulması gereken temel gereksinimler tablo 4.1 de gösterilmiştir. Bununla birlikte bazı aşamalar ve bu aşamada gerekli olanlar açıkça listelenmiştir. Şekil 4.1 de ise, maruz kalma düzeneği geliştirme aşamalarını şematik olarak göstermektedir.



Şekil 4.1 : Bir maruz kalma düzeneği geliştirme aşamaları

<i>Biyolojik Gereksinim</i>	
Biyolojik Protokol	Düzenek, yalnızca gerektiğinde standart biyolojik protokolden minimum sapabilir.
Çevre	Deneye özel tüm çevresel gereksinimlere sıkıca bağlı kalınmalıdır. Bunlar genellikle, sterillik, stabilize sıcaklık, düşük stres seviyeleri, atmosferik kontrol, ulaşılabilirlik vb. şeyleri içerir.
İstatistiksel güç	Düzenek, makul bir süre içerisinde gerekli istatistiksel anlamı elde etmek için yeterli sayıda örneklerin veya hayvanların maruz kalmasına imkan verebilmelidir.
<i>Elektromanyetik Gereksinimler</i>	
Sinyal kaynağı	Sinyal kaynağı kesinlikle tarif edilmelidir. Bu kaynak frekans, modülasyon şekli, güç stabilitesi, gürültü düzeyi vb. içermelidir.
Neden olan E-H alanlarının Genlik/polarizasyon	Elektrik ve manyetik alan kuvvetleri ve polarizasyonun, hücre kültüründeki yeri (in vitro) veya hayvanların özel dokularında (in vivo) sırasıyla tam tanımlanmalıdır.
Alan dağılımı (in vitro)	Alan dağılımı homojen olmalıdır, yani; homojenlikten sapma mümkünse çok çok az olmalı ve biyolojik cevabın değişimlerinden büyük olmamalıdır.
Alan dağılımı (in vivo)	Vücudun tümü homojen bir maruz bırakılmaya çalışıldığı halde çoğu durumda bu başarılamaz, maruz kalma tüm dokular için tam karakterize edilmeli, genel olarak, homojenlikten sapmanın mümkünse en az olması şart koşulmalıdır. Belirli rganların/dokuların var olan cevapları araştırılırsa, kısmi vücut maruz kalmalar hedef doku/organlarda daha çok homojen maruz kalmalar sağlanabilir. İnsan dokularında benzer alan dağılımlarını oluşturacak maruz kalmalarda bir diğer uygun yaklaşımdır.
Deneysel Varyasyonlar	Deneysel varyasyonun duyarlılığı neden olan alan kuvveti ve dağılımda (örneğin, hayvanın büyüklüğü, duruş, yer gibi) minimum olmalıdır.
EMI	Tüm kontrol ve görüntüleme aygıtları en kötü durum faktörlerinin altında elektromanyetik girişime karşı özenle kontrol edilmelidir.
EMC	Sistem tarafından yayılan alanlar dışında, ticari kablosuz servisiyle elektromanyetik uyum laboratuara hapsedilmelidir.
İnsan Güvenliği	Maruz kalma düzeneği, maruziyete kalan personel için güvenlik sınırlarını aşmamalıdır.
<i>Diğer Gereksinimler</i>	
ELF alanlar	RF maruz kalma düzenekleri bir de ELF alanlar oluşturabilmektedir. Bu istenilmeyen alanlar karakterize edilmiş olmalı ve mümkün olan en küçük değerde tutulmalıdır.
Görüntüleme	Düzenek, deney sırasında tüm teknik ve biyolojik parametrelerle ilgili olarak izlemeye olanak vermelidir.
Düzeneğin işleme tarzı	Kullanılan mühendis olmayan personelin başarısızlığı yeteri kadar tolere edilmelidir.
Maliyet	Düzeneğin maliyeti makul ölçüde olmalıdır.

Tablo 4.1 : RF araştırmalarında kullanılacak düzenekler için temel gereksinimlerin kontrol listesi

Araştırma hipotezinin işleyişi öncelikle tam ve kesin olarak belirtilmelidir. Hipotezin temeli dikkatlice incelenilmiş ve kapsamlı amacıyla ilgili, örneğin; sağlık riski, tedavi edici uygulamalar vb. değerlendirilmiş olmalı ki mantıklı olabilsin. Bu hipotez maruz kalmanın gizli anlamlarını içerir. Örneğin, ihtiyaç duyulan istatistiksel anlamı elde etmek için gerekli örneklerin minimum sayısı, neden olan alan kuvvetler, süre, modülasyon vb [12].

Maruz kalma düzeneği yapımına herhangi bir karar vermeden önce, araştırmanın temel dizaynındaki ayrıntıları tanımlamak önemlidir. Maruz kalma düzeneğinin dizaynı için aşağı paragraflarda bahsedilen şeylerin özel bir önemi vardır. Birinci adımda, elde edilen gereksinimler öncelik sırasına göre derecelendirilmeli, daha sonra optimizasyon yöntemi, geçerliliği olan bazı gereksinimlerin diğerleriyle olan muhtemel çoğu anlaşmazlıkları gösterilmelidir.

Biyolojik dizaynda;

- En çok sınırlanan gereksinimler ve maruz kalma düzeneğindeki engellemeler, genellikle biyolojik deneyin kendi minimum gereksinimlerinden kaynaklanır. Gereksinimler, ihtiyaç duyulan ekipmanları (görsel erişim mikroskobu, belirli cam kaplar için kısıtlamalar vb), işlemleri (işleyiş tarzı, deney süresince hızlı erişim, hayvanlar için ihtiyaçlar, deneyler içinde belirli hücre dağılımları vb.) ve ortamı (sıcaklık, basınç, atmosferik kontrol vb.) mecburen kabul ettirebilir.
- Deneyin kapsamlı sürekliliği düzenekteki materyalleri ve dizaynın seçimini etkiler.
- Tahmin edilen etkinin boyutu ve biyolojik cevabın değişimi, elektromanyetik alana maruz kalmanın gerekli homojenliğini saptamadaki esaslar önemlidir.
- Örneklerin veya hayvanların sayısı istatistiksel anlam için gereklidir.

Maruz kalma parametreleri:

- Frekans,
- Modülasyon düzenlerinin tam tanımı (örneğin; GSM, konuşma modülasyonu vb.) araştırmanın kapsamlı amacına gelince, modülasyonla ilgili olmalıdır,
- Elektromanyetik alanın neden olduğu polarizasyon biyolojik sistemle ilgilidir, örneğin; dikgen veya paralel hücre katmanına,
- In vivo deneyler; hedef doku tanımlı olmalı ve ister vücudun tamamında isterse bir kısmında veya lokal maruz kalmada belirtilmesi gerekir,
- Gerekli SAR düzeyleri ve alan genlikleri, hücre kültürü veya hayvan dokusundaki konumu tanımlanmalıdır. Araştırmanın kapsamlı amacına gelince, SAR düzeyleri ve alan genlikleriyle ilgili olmalıdır.
- Merak uyandıran yerde, tasavvur edilen alan dağılımının tanımı, örneğin; homojen alan dağılımından kabul edilebilir maksimum sapma veya insan deneklerde gerçek maruz kalma ile benzerlik derecesi,
- Ara sıra maruz kalma.

Diğer gereksinimler ise;

- Bütçe,
- Düzeneğin kabul edilebilir en geniş büyüklüğüdür [12].

4.4. Maruz Kalma Düzeneği İçin Temel Dizayna Karar Verme

Çeşitli düzeneklerin avantajları ve dezavantajlarına dair bilgilerin büyük bir kısmı son yıllarda toparlanmıştır. Örneğin; çeşitli düzenekler önerilmiş ve in vitro deneyleri için kullanılmıştır; dalga kılavuzları, radyal iletim hatları, Crawford TEM hücreleri ve RF özel odaları gibi. Çeşitli maruz kalma düzeneklerinin karakteristiklerini, işleyişini ve elektromanyetik dalgalarda gelişmiş bir uzmanlıkta farklı dizaynları değerlendirmek gerekir. Eğer yeni bir maruz kalma düzeneği dizaynı kullanılacaksa, bunun için bir ön fizibilite çalışması yapmak uygundur.

Dizaynlar, tablo 4.1 de listelenmiş olan kriterler göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Çoğu durumlarda, çok önemli kriterler standart biyolojik protokolden minimum sapma gösterir. İlk tercih edilen belirli bir dizaynın gözden geçirilip düzeltilmeye ihtiyacı olabilir; eğer, bir sonraki aşamada ayrıntılı adaptasyon ve optimizasyon yapılırsa, ilk dizaynın eksiklikleri açığa çıkarılır.

4.5. Maruz Kalma Düzeneği ve Araştırma Dizaynı İçin Optimizasyon ve Adaptasyon

Maruz kalma düzeneğinin adaptasyon ve optimizasyon parametreleriyle ilgili olarak, bunların önceliklerinin en yüksek derecesine göre hızlı ve verimli çalışan, güçlü bir analiz aracı gerekir. Çoğu durumda zaman domeninde sonlu farklar (FDTD) tekniğiyle çalışan simülasyon yazılım paketleri en uygun araçtır. Bazı özel durumlar için birde diğer simülasyon tekniklerini kullanan yazılım paketleri uygulanabilir. Araştırmayı yürüten biyoloji ve tıp uzmanları arasındaki sıkı işbirliği ve mühendislik uzmanlarının düzenek tasarımı, birçok gereksinimin arasındaki anlaşmazlık için uygulanabilir bir uzlaşma elde etmek için kullanılmalıdır.

4.6. Düzeneğin Çalışması ve Sayısal Dozimetri

Düzeneğin ayrıntıları kararlaştırıldıktan sonra, düzeneğin elektrodinamik işleyişini nitelendiren (karakterize eden) kapsamlı bir araştırma yapılmalıdır. Bu dozimetriyi içermelidir.

Düzenegin kapsamlı bir sayısal açıklaması, birde düzenegin metal ve plastik materyallerinin simüle edilmesi, hem kapalı çevredeki parçalara hem de örneklere veya hayvanlara yakın vb. üretilmelidir. In vivo çalışmalarda kullanılan hayvan modellerine özel dikkat edilmelidir. Sayısal dozimetrimin sonuçları elektrik alan ve manyetik alanın neden olduğu SAR dağılımının ayrıntılı bir tanımlamasını içermelidir. Tam bir belirsizlik değerlendirme analizi için çok önemlidir.

Ayrıca değerlendirme birde, birkaç parametrenin duyarlılık analizini de içermelidir ki bu, deney boyunca değişebilir. Örneğin; büyüklük, hayvanların pozisyonu ve hareketleri veya ortam miktarı, cam kap içerisindeki hücrelerin yer değişikliği ve düzenek içerisindeki cam kaplar vb.

Düzenegin işleyişinin sonuçlarının esaslarına bakılarak dizaynın ayrıntılarında bazı değişiklikler gerekebilir, bu durumda bir önceki aşama olan, adaptasyon ve optimizasyon safhasına dönülerek yeniden ayarlanır. Düzenegin kesin dizaynına karar verilinceye kadar bu işlem birkaç defalar yapılabilir.

4.7. Düzenegin Yapımı

- Sinyal kaynağı : İhtiyaçları karşılayan (frekans, modülasyon düzeni, güç, gürültü düzeyi vb.) radyo frekans cihazlarının (jeneratör, kuvvetlendirici, bağlantılar) uygun maliyette değerlendirilir. Optimizasyon işlemi boyunca temel bilgiler var olmalıdır.
- İzleme ve Kontrol : yazılım ve donanımla yürütülür. Bunlar deneyin gidişatı boyunca tüm teknik ve biyolojik parametrelerle ilgili olarak izleme sağlar.
- Mühendis olmayan personelin yönetimi : Mühendis olmayan personel kullanıldığında düzenek minimum bir hata olasılığına sahip olmalıdır. Bu ise kontrol yazılımı için, kullanımı kolay bir arayüz gerektirir.
- Materyaller : Deney süresince kullanılan materyaller, zehirsiz (non-toxic) olmalı ve geçerli ortam şartlarına dayanmalıdır. örneğin; yüksek nem, periyodik sterilizasyon vb.
- Maliyetler : Düzenegin maliyeti makul ölçülerde olmalıdır. Eğer varsa, var olan ticari şirketlerden destek sağlanmalıdır.

4.8. Düzenegin Test Edilmesi, Deneysel Dozimetri ve Geçerliliği

Sayısal sonuçlar, deneysel geçerliliğe tam olarak bağlanmadan önce düzeneklerin hiçbiri kullanılmamalıdır. Düzenegin testi ve deneysel dozimetri, hem olayın doğrulanmasını hem de belirli yerlerde alanların nedenini içerir. Böyle deneysel değerdendirmeler için uygun araçlar literatürde tanımlanmıştır (örneğin; Kuster ve Balzano, 1997; Pokovic, 2000 vb.). Seçilmiş yerlerin geçerliliği belirli düzenegin işleyişi için yararlı olmalıdır. Birleştirilmiş sayısal ve deneysel değerdendirmelerdeki, değerdendirilen belirsizlikler içinde uygun benzer taraflar olmalıdır. Bu gibi değerdendirmelere örnek olarak Burkhardt 1997, Moros 1999, Chou 1999 ve Schönborn 1999 verilebilir.

İşleyiştteki diğer kontroller ve değerdendirmeler;

- Uzun süreli güvenirlik testi
- En kötü durum faktörleri altında parazit unsurlarını izleme ve kontrol etmenin kontrolü
- En kötü şartlar altında çevresel ihtiyaçların kontrolü (örnekler veya hayvanlar içindeki sıcaklık artışı gibi)
- ELF 'ye maruz bırakılan örneklerin değerdendirilmesi
- RF sızıntısının değerdendirilmesi

Ayrıca, biyolojik deneyler öncelikle doğrulamaya sadık kalmalıdır ki, maruz bırakılan grup ile kontrol grubu arasında elektromanyetik maruz kalmadan başka farklılık yoktur. Bundan başka, insan eliyle yapılmış şeylerin düzenekte kullanılıp kullanılmayacağını saptamak için bazı standart testlerin yapılmasına izin verilmelidir.

4.9. Minimum RF Gereksinimlerini Yerine Getirme

Deney yapanlara ve eleştirmenlere bazı ana düşünceler sağlamak için minimum performans gereksinimleri aşağıdaki paragraflarda önerilmiştir. Bunlar geçerli olan sonuçlar için önceden gerekli olan vazgeçilmezlerdir, ki bunlar uygun bir şekilde yorumlanabilir ve kopyalanabilir. Bu minimum gereksinimlerden sapmalar bazı deneyler için doğrulanabilir, fakat böyle birkaç sapmanın gizli anlamı dikkatle incelenmeli ve raporla belgelenmelidir.

- Sinyal karakteristikleri : RF sinyallerin genlik modülasyonundan sonra muhtemel düşük seviye biyolojik etkilerden yararlanılabilir, araştırılan kablosuz sisteme maruz kalan gerçek bir kullanıcı kadar genlik modülasyonunun spektrumu uygun bir sinyalle yöneltmelidir. Birde

ELF 'nin diğer unsurlara göre avantaj/dezavantajlarına ağırlıklı dikkat edilmelidir. Aynı deney içerisinde hem telefon hem de baz istasyonu için yeterli bilgi sağlamak için sinyallerin kullanılması önerilmişti, ki bununla; hem telefonlar hem de baz istasyonları tarafından meydana gelen tüm modülasyon unsurlarının görülemeyen maksimum gücü kontrol altına alınmıştır.

- Maksimum muhtemel maruz kalma : Düzenek, doku veya hücre kültüründe alan kuvvetlerinin neden olduğu bir maruz bırakılmaya imkan vermelidir, ki bu; oldukça büyük yada en az maksimum değere eşit düzeyde kullanıcının dokusunda yerel indüklenmelere neden olur. Ekseriyetle bu değer telefonun birkaç parametresine bağlı olmakla beraber, küçük bir hacim üzerinde (mesela, birkaç bin hücrede) maksimum yerel maruz kalma, ortalama olarak bugün kullanılan daha büyük kablosuz hücresel sistemler için uzaysal SAR tepe ($< 6 \text{ mW/g}$) değerinden daha büyük yapılabilir.

- Çevreleyen RF alanlar ve gürültü seviyesi : Gürültü düzeyi ve çevrelenen alan maruz bırakılma en az 30 dB' den daha düşük var olan, maruz kalma ölçülmelidir. Suni maruz bırakılmada aynı gereksinimlere başvurulur.

- Maruz bırakma süresi : Maruz bırakma süresi orta derecede, maksimum günlük maruz bırakılmayı yansıtmalıdır. Artan bir oranda eski kablolu telefon trafiğinin yerini şimdi hücresel sistemler alıyor. Pil ömründeki gelişmeler ve servis fiyatlarının azalmaları, bu eğilim sürecektir. Toplam günlük birkaç saatlik kullanım için küçük bir norm olmalı, ancak buna karşı olan önemli azınlıkta insanlar vardır. Bir diğer sorunda, baz istasyonlarının çevresinde uzun süreli maruz kalmanın, halk arasında doğurduğu endişedir. Baz istasyonlarına maruz kalma, telefonlardan dolayı maruz kalmaya göre genellikle daha etkisizdir.

- Alan dağılımı : In vitro deneylerde neden olan alan dağılımı homojen olmalıdır. Hücre geometrisi basit olmakla beraber mükemmel bir homojenlik elde etmek çok zordur. Deneyimler göstermiştir ki, standart homojenlikten %30 dan daha az sapma makul ölçüdedir ve bu nokta hedeflenmelidir. Orta derecede homojen alan dağılımları in vitro deneylerde sık sık elde edilemez. Ayrıca, düzenek, farklı dokularda ve organlar içerisindeki neden olan alanların dağılımının büyüklüğünü doğru tanımlamaya imkan vermelidir. Neden olan alan kuvvetlerindeki sapmalardan sonra sık sık normal dağılımlardan orta derecede sapmak, dağılım grafikleri neden olan alanların polarizasyonu için yeteri kadar bir tanımlama sağlamalıdır.

- Neden olan kuvvetlerindeki belirsizliğin değerlendirilmesi : Neden olan alanın kesin değerlendirmesindeki belirsizlik, organlara ve hücre kültürüne özgü dağılım oldukça büyük olabilir, bu ise; 6 dB'i hayli aşar. O nedenle belirsizliği dikkatle değerlendirmek ve belgelendirmek önemlidir. Bu değer 1,5 dB in altına çekilmelidir (güvenlik düzeyi %95).

- Maruz kalmanın deneysel değişiklikleri : Belirli durum için dozimetrik değerlendirmenin belirsizliği, sadece belirsizlik değerlendirmesini içerir. Bununla birlikte, neden

olan alan kuvvetine ve dağılıma bağımlılığı anlamlı bir şekilde yapabilmek; konuma, pozisyonlara, hayvanların büyüklüğüne, miktarına ve ortam sıvısının biçimine vb. bağlıdır. Bu değişme çok küçük olmalı ve 1 -2 dB 'i (standart sapma) aşmamalıdır. In vitro deneylerde bu fark 0,5 'den daha küçük tutulabilirdi. Bu çok önemli bir parametredir, çok seviyeli maruz kalma deneylerinde olayın gücünü ayırmaktansa, doz – etki ilişkisiyle ilgili olarak yorumlara izin vermek için fark (değişme) oldukça küçük olmalıdır.

5. SONUÇ

Bir elektromanyetik maruz kalma deney düzeneği için, çok geniş sayıdaki biyolojik protokolleri ve çok katı gereksinimlerden dolayı standartlaştırılmış maruz kalma düzeneklerini elde etmek imkansızdır. Düzenekleri kurmada, biyoloji, tıp ve mühendislik uzmanları arasında sıkı bir işbirliğinin yapılması zorunludur. Ancak bu sayede, biyolojik protokole uygun uyarlanmış ve karakterize edilmiş bir elektromanyetik maruz kalma için tüm gereksinimler sağlanabilir.

Düzeneğin tasarlanmasında, önceden tanımlanmış düzenekler iyice araştırılmalı, değerlendirilmeli, bu konuda çalışan kişi ve kurumların tavsiye ve önerileri dikkate alınmalıdır. Hiç şüphesiz, araştırılan kanıtları ortaya koyabilmek için büyük bir çaba, zaman ve masraf gereklidir.

Sonuç olarak; tasarlanacak olan düzenek, gerçeğe en yakın sonuçları verebilmeli, uygun bir maliyette olmalı, tüm gereksinimlere cevap verebilmeli, gelecekte de geçerliliğini sürdürmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Dinçer, H., 2000, Elektromagnetik Işınımların İnsan Sağlığına Etkisi, Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Sistemleri Araştırma ve Uygulama Merkezi EHSAM, İzmit, Türkiye.
- [2] Şeker S., Çerezci O., 2000, Radyasyon Kuşatması, Elektriğin ve Nükleer Enerjinin Sağlığımıza Etkileri, 112s..
- [3] Sevgi, L., 2000, **a)** Elektromanyetik kirlilik, cep telefonları ve baz istasyonları, EMO İstanbul şubesi. **b)** Elektromanyetik kirlilik, cep telefonları ve baz istasyonları, TÜBİTAK-MAM Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, Türkiye.
- [4] Bilim Teknik Dergisi
- [5] Şeker, S., 2000, Elektromagnetik Kirlenme, Etkileri ve Güvenlik Önlemleri, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [6] Maharramov, A.A., 2001, Canlı Sistemlerin Elektromanyetik alana yanıtı fizyolojik koşullara bağlıdır, XIII. Ulusal Biyofizik Kongresi, S16.
- [7] Kalkan M.T., Üzüm G., Günsür Ç., Şeker S., 2001, Cep Telefonlarının Sıçanlarda Kan Beyin Bariyeri ve Spesifik Gravite üzerine etkisi, XIII. Ulusal Biyofizik Kongresi, S17.
- [8] Erdal, E., Erdal N., Barlas, Ö.İ., Görücü, Ş., 2000, Elektromanyetik Alana Maruz Kalan Kişilerde K-RAS Onkogenin Moleküler Analizi.
- [9] Erdal, E., Erdal N., Oğuzkan, S., Paksu, C., 1998, Elektrik Alanının İnsan Kromozomlarına In vitro Etkisi.
- [10] Şeker, S. ve Çerezci, O., 1991, Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları Ve Korunma Yöntemleri, İstanbul, 236s.
- [11] Şeker, S. ve Çerezci, O., 1997, Çevremizdeki Radyasyon Ve Korunma Yöntemleri, İstanbul, 468s.
- [12] Kuster, N. and Schönborn, F., 2000, Recommend Minimal Requirements and Development Guidelines for Exposure Setups of Bio-Experiments Addressing the Health Risk Concern of Wireless Communications.

ÖZGEÇMİŞ

Kemal BALIKÇI

Fırat Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği
23119, ELAZIĞ

Tel : 0-424-237 00 00-5004

E-posta: kbalikci@firat.edu.tr

- 1978 : Adana’da doğdu.
1991 – 1994 : Adana Erkek Lisesi
1995 – 1999 : F.Ü. Mühendislik Fak. Elektrik – Elektronik Bölümü, Lisans Eğitimi
2000 – Halen : F.Ü. Rektörlük Enformatik Bölümü, Okutman Görevi.
2000 – 2002 : F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Eğitimi
2002 – Halen : F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Eğitimi