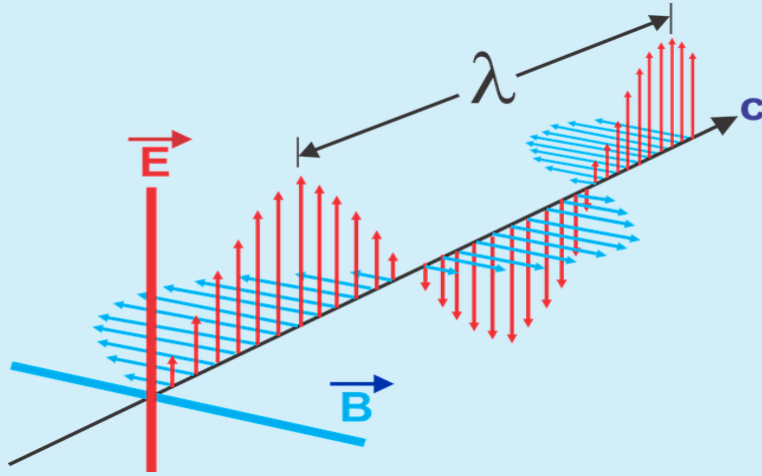




T.C. ÇALIŞMA VE  
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

# ELEKTROMANYETİK ALANLARA İLİŞKİN GENEL BİLGİLER



SERİ I

Bu yayın, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel M¼d¼rl¼ę¼ tarafından hazırlanmıştır. Telif hakkı çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'na ait olup kaynak g¼sterilerek kullanılabilir.

Bu yayının, "Elektromanyetik Alan Üreten Kaynaklar ile çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Rehberi – Seri II" ile birlikte okunması yararlanımı arttıracaktır.

### **Yayına Hazırlayan**

Mevzuat Dairesi Başkanlığı

### **Yayınlayan**

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel M¼d¼rl¼ę¼ (İSGGM)

2020

## İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	i
<b>1. ELEKTROMANYETİK ALANLAR.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ELEKTROMANYETİK ALANLARA İLİŞKİN BÜYÜKLÜKLER VE BİRİMLERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1. Frekans (f) .....	6
2.2. Elektrik Alan Şiddeti (E) .....	7
2.3. Manyetik Akı Yoğunluğu (B).....	7
2.4. Manyetik Alan Şiddeti (H).....	8
2.5. Radyo-frekans Güç Yoğunluğu (S).....	8
2.6. Özgül Soğurma Oranı (SAR).....	9
2.7. Özgül Soğurma (SA).....	10
2.8. Temas Akımı ( $I_c$ ).....	10
2.9. Uzuv Akımı ( $I_L$ ).....	10
<b>3. EMA MARUZİYETİNE İLİŞKİN YÖNERGELER VE MEVCUT DURUMA İLİŞKİN POLİTİKALAR .....</b>	<b>11</b>
3.1. Genel Kamunun Maruz Kalma Sınırları İçin Neden Daha Yüksek Azaltma Faktörü Uygulanmaktadır?.....	11
3.2. İhtiyatlılık İlkesi.....	12
3.3. EMA İçin Bilim Temelli İhtiyatlılık Yaklaşımları .....	12
<b>4. EMA'LARIN SAĞLIK VE GÜVENLİK ÜZERİNE ETKİLERİ.....</b>	<b>13</b>
<b>5. MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME İLE İLGİLİ REHBERLİK .....</b>	<b>16</b>
5.1. MRI Ekipmanının Tasarımı .....	16
5.2. Sağlık Sektöründe MRI Operasyonu Sırasında Çalışan Maruziyeti .....	17
5.3. Teknolojiye Uygun Teknik ve Yönetmelik Önlemlerin Uygulanması .....	19
5.3.1. Teknik Önlemler.....	19
5.3.2. İş Organizasyonu .....	21
5.3.3. Bilgilendirme ve Eğitim.....	22
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>24</b>

## KISALTMALAR

A: Amper

AB: Avrupa Birliği

DALGABOYU (m): Bir dalganın birbirini izleyen döngülerindeki benzer noktalar arasındaki mesafe

DİELEKTRİK: Uygulanan bir elektrik alanı ile polarize edilebilen elektriksel yalıtkan

EBW: Köprü telli (bridgewire) fünye

ED: Eylem Değeri

ELEKTROMANYETİK RADYASYON: Elektromanyetik radyasyon, ışık hızında yayılan dalgalar olarak tanımlanabilecek hem elektrik hem de manyetik alan bileşenlerine sahip bir radyasyon biçimidir.

ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM: Elektromanyetik radyasyonun tüm olası frekanslarının aralığıdır.

EMA: Elektromanyetik Alanlar

EMA DİREKTİFİ: 2013/35/EU sayılı Çalışanların Fiziksel Etkenlerden (Elektromanyetik Alanlar) Kaynaklanan Risklere Maruziyetleri ile İlgili Asgari Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Direktif

FREKANS (Hz): Bir salınımın birim zamanı başına döngü sayısı

H: Hertz

IARC: Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı

ICNIRP: Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu

İLETİM: Radyasyonun bir ortamdan geçişi

İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON: Ultraviyole radyasyon, ışık, kızılötesi radyasyon ve radyo-frekans radyasyonu gibi biyolojik dokuda iyonlaşma oluşturmeyen radyasyon

MRI: Manyetik Rezonans Görüntüleme

MSD: Maruziyet Sınır Değeri

RADYO-FREKANS RADYASYON: Genellikle 100 kHz ve 300 GHz arasında frekanslara sahip elektromanyetik radyasyon

RF: Radyo-frekans

SA: Özgül Soğurma

SAR: Özgül Soğurma Oranı

SI Units: Uluslararası Birimler Sistemi

T: Tesla

TEMAS AKIMI: Elektromanyetik alan içindeki iletken bir nesneye dokunduğunda, kişinin içinden geçen elektrik akımı

VOLTAJ (V): Gerilim, elektriksel potansiyel fark birimi

WATT (W): Saniyede bir joule enerjiye eşdeğer güç birimi

## 1. ELEKTROMANYETİK ALANLAR

Elektromanyetik alanlar, teknoloji ilerledikçe hakkındaki endişelerimizin arttığı yaygın çevresel etkilerden biridir. Tüm canlılar, günümüzde çeşitli düzeylerde elektromanyetik alanlara maruz kalmakta olup teknolojinin ilerlemesi ile etkilenimlerimiz de artmaya devam etmektedir. Elektromanyetik radyasyon, evrenin doğuşundan beri var olan bir olgu olup ışık, bunun en tanınmış biçimidir.

Elektromanyetik alan, elektrik yüklerinin hareketinden doğan, elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahip elektromanyetik enerji içeren kuvvet alanını ifade eder. Muhtemelen en aşına olduğumuz elektromanyetik alanlar, doğada meydana gelen alanlardır. Dünyanın yüzeyinde tespit edebileceğimiz manyetik alanın, dünyanın yarı sıvı ferromanyetik çekirdeğinin derinliklerinde üretilen elektrik akımları tarafından üretildiği düşünülmektedir. Bu alanın pusulalarda kullanılan manyetik malzemelerle etkileşimi yüzyıllar boyunca navigasyon için kullanılmıştır. Benzer şekilde, fırtına bulutları içinde üretilen elektrik yükü, bulutlar ve dünyanın yüzeyi arasında çok yüksek gerilimlere neden olur. Bu gerilimler, yıldırım olarak bildiğimiz bulut ile yeryüzü arasında büyük, hızlı elektrik akımının boşalmasına neden olarak elektrik alanları oluşturur (Şekil 1.1).



(a)



(b)

**Şekil 1.1:** Elektromanyetik alanların doğal kaynakları

**(a)** Dünyanın statik manyetik alanının yönünü tespit etmek için kullanılan bir pusula

**(b)** Bulut ile yeryüzü arasında 'yıldırım' olarak bilinen yüksek voltaj deşarjları

İnsanların maruz kaldığı elektromanyetik dalgalar güçlerine bağlı olarak enerjilerini, fotonlar yoluyla, dalganın özelliklerine bağlı olarak değişik oranlarda canlıya aktarmaktadır. Elektromanyetik dalgaların genel olarak canlılara etkisi, alanın şiddeti (gücü) ve fotonun enerjisine bağlı olup frekansına ve enerjilerine göre, yani canlıya etki derecesine göre, iyonlaştıran ve iyonlaştırmayan ışınımlar olarak iki sınıfta incelenir. Bu rehberde yer verilen alanlar, iyonlaştırmayan ışınımlar kapsamında incelenmekte olup bu ışınımlar, atomik bağları kırmak için gerekli enerjiye sahip olmayan fotonların oluşturduğu elektromanyetik dalgalardır. Bunlar, görünür ışık, kızılötesi, radyo frekans, mikrodalga, statik ve manyetik alanlardır. Yani frekans tayfının 1 Hz'den başlayarak yaklaşık 1000 GHz'lik bölümüdür. Elektromanyetik dalgalar için frekans birimi Hertz ile

ifade edilmekte olup saniyedeki dalga sayısını göstermektedir. Ölçülen enerji değeri ise örneğin 300 GHz'de 0,00125 eV olup iyonlaştırma yapacak seviyeye göre çok düşük bir değerdir. Ancak bu alanlar mesafe, güç ve maruziyet süresi gibi faktörlere bağlı olarak vücutta ısı etkiye sebep olduğu gibi bazı biyolojik etkilere de sebep olabileceği öne sürülmektedir. Bu etkiler normal yaşamın bir parçası olup vücut, bu durumların çoğuna uyum sağlayabilir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, uyaran çok güçlü veya uzun süreli olduğunda, etkiler olumsuz sağlık etkilerine yol açabilir. Elektromanyetik alanların sağlığı etkileme şekli maruziyet sıklığına, gücüne ve süresine bağlı olacaktır. Mesleki maruziyet limitleri; bu limitlere bağlı kalındığı sürece olumsuz sağlık etkileri olmayacak şekilde belirlenir.

Kanserojen etkisi ise henüz tam olarak ispatlanmamış olmasına rağmen Clapp ve meslektaşları, 2007 tarihli bir literatür araştırmasında, kanserin çevresel ve mesleki nedenleri hakkında yeni kanıtlar tanımlamıştır. Bazı çalışmalardaki kısıtlara rağmen son yayınlar; iyonlaştırıcı olmayan radyasyona (özellikle cep telefonlarının yaydığı radyo-frekans alanları gibi) maruziyetten kaynaklanan beyin kanseri gibi kanser riskinin artmasıyla ilişkilendiren kanıtları güçlendirdiği sonucuna vardılar. 2011 yılında Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), radyo-frekans alanlarını (RF) insanlar için IARC kanserojen risk ölçeğinde Grup 2B olarak sınıflandırmıştır. 2B kategorisi, insanlarda sınırlı kanserojenlik kanıtı ve deney hayvanlarında yeterli kanserojenlik kanıtı bulunan ajanlar için kullanılır. İnsanlarda kanserojenliğe dair yetersiz kanıt olduğunda da kullanılabilir ancak deney hayvanlarında yeterli kanserojenlik kanıtı bulunduğu ve etkene maruz kalma ile kanser arasında pozitif bir ilişki gözlemlendiğinden, çalışma grubu tarafından neden sonuç ilişkisi olduğu düşünülür, ancak çalışmadaki taraf tutma (bias) veya karıştırıcı faktörler de göz ardı edilmez.

### 1.1. Elektromanyetizmanın Keşfi

İnsanlar eski zamanlardan beri statik elektrik ve manyetizmanın etkilerinin farkında olmuşlardır. Elektromanyetik olayları anlama yönündeki ilerleme muhtemelen, kas ve sinir hücrelerinin elektrik ürettiğini keşfeden İtalyan fizikçi Luigi Galvani'nin 1780'de kurbağaların bacaklarının, iki farklı metale teması sonrasında refleks olarak seğirmesinin, bu hayvandaki iç elektrik sonucunda ortaya çıktığının keşfiyle başlamıştır. Bu prensip on yıl sonra elektrik pili üretiminde Alessandro Volta tarafından kullanılmıştır.

İlerleyen zamanlarda keşifler Avrupa'da hız kazanmış, 1820'de elektrik akımları ve manyetik alanlar arasındaki ilişki Hans Christian Oersted tarafından elektrik akımı taşıyan bir telin, pusulanın iğnesini saptırabilmesiyle gösterilmiştir. Andre Marie Ampere, akım taşıyan tellerin birbirlerine kuvvet ürettiğini keşfetmiş, Michael Faraday manyetik indüksiyon üzerine çalışmıştır. 1873'te, James Clerk Maxwell elektromanyetizma teorisini matematiksel olarak formüle etmiş ve yayınlamıştır. Maxwell'in elektromanyetik dalgalarla ilgili bulguları bugün hala elektromanyetik teorisinin temeli olarak kullanılmaktadır.

Heinrich Hertz, 1885'te elektromanyetik dalgalar üretip tespit ederek Maxwell'in bulgularını doğrulamış, on yıl sonra Guglielmo Marconi ise bu keşfi radyo sinyalleri aracılığıyla uzun mesafeler boyunca mesaj göndermek için kullanmıştır. Nikolai Tesla, 1892'de elektrik enerjisi üretimi açısından büyük önem taşıyan ilk alternatif akım jeneratörünü üretmiştir.

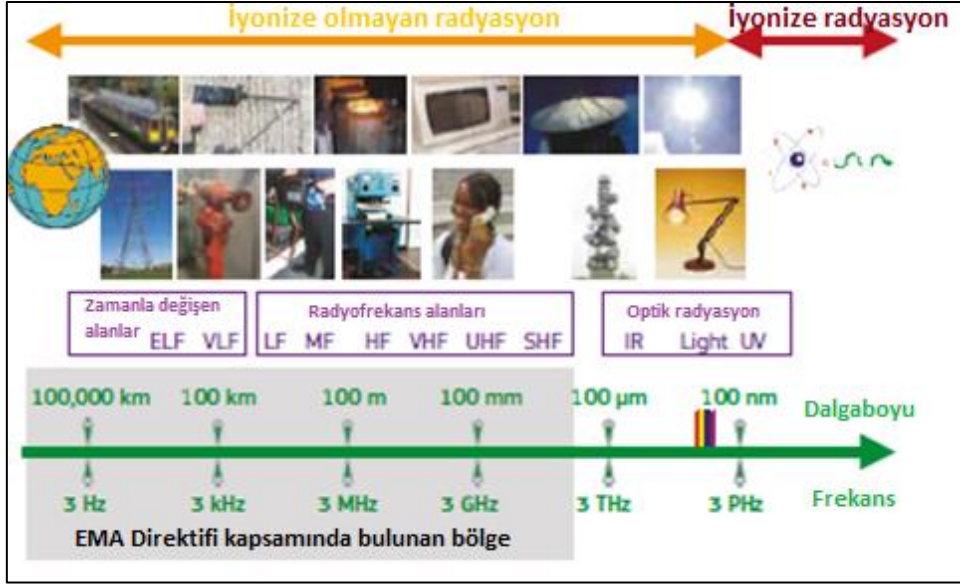
Günümüzde elektromanyetik alanlar modern dünyada yaygındır. Elektrikli aletler olmadan modern bir toplum hayal etmek zordur. Yirminci yüzyıl, elektrik enerjisinin endüstriyel ve evsel amaçlı kullanımında büyük bir ivme görmüştür. Radyo ve televizyon yayınında benzer ivme yaşanırken, yirminci yüzyılın sonu ve yirmi birinci yüzyılın başlarında, cep telefonlarının ve diğer kablosuz cihazların yaygın kullanımıyla telekomünikasyonda bir devrim yaşanmıştır. Elektromanyetik alanlar ayrıca radyo-navigasyon ve tıbbi uygulamalar gibi daha ileri uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 1.2. Elektromanyetik Spektrum

Elektrik ve manyetik alanlar, statik elektrik ve manyetik alanlardan radyo-frekans ve kızılötesi radyasyona ve X-ışınlarına uzanan elektromanyetik radyasyon spektrumunun bir parçasıdır. Elektromanyetik spektrum; elektromanyetik dalgaları, frekansları ve dalga boylarını tanımlar. Tüm elektromanyetik dalgaları bir arada gösteren elektromanyetik spektrumun bir ucunda yüksek enerjili ve nanometre düzeyinde dalga boyu olan gama ışınları yer alırken diğer ucunda düşük enerjili ve kilometreler düzeyinde dalga boyu olan çok düşük frekanslı ışınlar yer alır (Şekil 1.2).

Voltajdan kaynaklanan elektrik alan volt/metre (V/m) birimi ile değerlendirilir. Akımdan kaynaklanan manyetik alan ise daha çok ABD'de kullanılan gauss ya da uluslararası kabul görmüş tesla birimi ile ve  $1 \text{ T} = 10.000 \text{ G}$  eşitliğinde tanımlanır. Manyetik alan ölçümlerinde karşılaşılan miligauss;  $1/1.000$  gauss ve mikrottesla ise  $1/1.000.000$  tesla'dır. Miligauss ve mikrottesla arasındaki ilişki  $1 \mu\text{T} = 10 \text{ mG}$  şeklindedir.

Bu spektrumun EMA Direktifi tarafından kapsanan kısmı, statik alanlardan 0 Hz - 300 GHz'e kadar frekanslardaki zamanla değişen elektromanyetik alanlara kadardır. Bu bölgede yaygın olarak statik alanlar, zamanla değişen alanlar ve radyo dalgaları (mikrodalgalar dahil) bulunabilir. EMA Direktifi kapsamına girmeyen elektromanyetik spektrumun diğer bölümleri ise optik bölgeyi (kızılötesi, görünür ve ultraviyole) ve iyonlaştırıcı bölgeyi içerir. Bu bölümler sırasıyla Yapay Optik Radyasyon Direktifi (2006/25/EU) ve Temel Güvenlik Standartları (BSS) Direktifi (2013/59/Euratom) kapsamındadır.

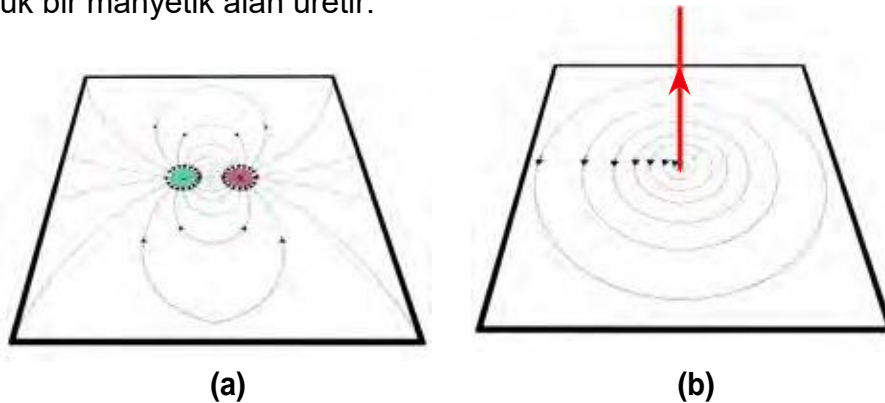


**Şekil 1.2:** Elektromanyetik spektrum

EMA Direktifi tarafından kapsanan frekans aralığındaki elektromanyetik radyasyon, bir malzemenin atomlarından elektronları çıkarmak için yeterli enerjiye sahip olmadığından iyonlaştırıcı olarak sınıflandırılmaz. X-ışınları ve gama ışınları, bu yörünge elektronlarını çıkarabilen yüksek enerjili elektromanyetik radyasyonlar olup iyonlaştırıcı radyasyon olarak sınıflandırılırlar.

### 1.3. Elektromanyetik Alanların Üretimi

Pozitif ve negatif elektrik yüklerinin varlığı bir elektrik alanı oluşturur. Bu yüklerin hareketi ile elektrik akımı oluşur ve hatta bir manyetik alan da üretilir (Şekil 1.3). Manyetik alanlar, elektrik yüklerinin hareketinden kaynaklanır. Daha yüksek akım, daha büyük bir manyetik alan üretir.



**Şekil 1.3:** (a) Elektrik yükleri etrafındaki alan çizgileri;

(b) Akan bir elektrik akımı etrafındaki alan çizgilerinin kırmızı çizgi ile gösterilen temsili

#### 1.3.1. Zamanla Değişen Alanlar

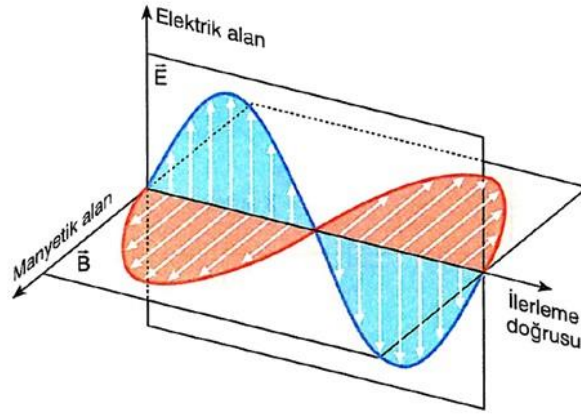
Bir cisim üzerindeki elektrik yükü zamanla değişirse veya yük akışı (akım) değişirse, zamanla değişen alanlar üretilir. Zamanla değişen alanların doğası, salınımların



frekansına (sıklığına) bağlıdır. Düşük frekanslarda elektrik ve manyetik alanlar birbirinden bağımsız olarak kabul edilebilir. Frekans, radyo-frekans bölgesine doğru arttıkça, alanlar birbirleri ile daha yakın etkileşir ve zamanla değişen elektrik alan, manyetik bir alanı indükler veya tam tersi. Elektromanyetik radyasyonun uzun mesafeler kat etmesini sağlayan, elektrik ve manyetik alanlar arasındaki bu etkileşimdir.

### 1.3.2. Radyasyon Yayan Elektromanyetik Alanlar

Radyo-frekans bölgesinde elektrik ve manyetik alanlar arasında yukarıda bahsedilen etkileşim, enerjinin üretildiği noktadan uzağa yayılmasına olanak sağlar (Şekil 1.4). Uzak alanda, bu iki bileşen (elektrik alan ve manyetik alan); birbirlerine ve dalganın hareket ettiği yöne dik açılarda salınır ve bunu ışık hızıyla aynı hızda yapar. Vericinin tasarımı, radyasyonun her yönde yayılmasını veya belirli bir yöne odaklanmasını sağlar.



**Şekil 1.4:** Elektromanyetik radyasyon; ışık hızında hareket eden, birbirine dik açılarda salınan manyetik ve elektrik alan bileşeninden oluşur.

## 2. ELEKTROMANYETİK ALANLARA İLİŞKİN BÜYÜKLÜKLER VE BİRİMLERİ

Elektromanyetik alanlardan kaynaklanan riskler öncelikle alanın frekansına ve şiddetine bağlıdır. Elektromanyetik alanın yol açabileceği riskleri değerlendirebilmek için alanı, fiziksel büyüklükler ile karakterize edebilmek gerekir.

Elektromanyetik alanlara ilişkin büyüklükler farklı şekillerde ifade edilebilmekte olup özellikle ekran alanının sınırlı olduğu ölçüm cihazları için bu husus önemlidir. Birimlerin alabileceği çeşitli formlara aşına olmak, verilerin ve bilgilerin daha iyi kullanılabilmesini sağlayacaktır. Şöyle ki;

- ✓ Birimin büyüklüğünü ölçeklendirmek için ön ekler kullanılabilir. Örneğin 1V, 1000 mV ve 1000 000  $\mu$ V hepsi aynı değeri temsil eder. Yaygın olarak kullanılan ön ekler Tablo 2.1'de verilmiştir.

- ✓ Birimler farklı şekilde ifade edilebilir. Örneğin; metre başına 100 volt, 100 V/m, 100 V.m<sup>-1</sup> ve 100 Vm<sup>-1</sup> aynı değeri temsil eder.
- ✓ Bir sayı veya birimden sonra sayısal üst indis veya kuvvetinin kullanılması, yükseltildiği gücü belirtir. Örneğin, m<sup>2</sup>; “metrekare” olup kullanımı bir alanın ölçülüyor olduğu anlamına gelir.

**Tablo 2.1:** Uluslararası Birimler Sisteminde (SI Units) kullanılan ön ekler

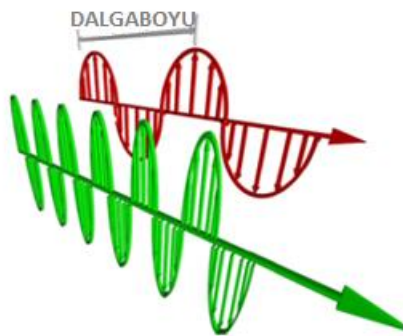
	Sembol	Ölçekleme faktörü
Tera	T	10 <sup>12</sup> veya 1 000 000 000 000
Giga	G	10 <sup>9</sup> veya 1 000 000 000
Mega	M	10 <sup>6</sup> veya 1 000 000
Kilo	k	10 <sup>3</sup> veya 1 000
Milli	m	10 <sup>-3</sup> veya 0.001
Micro	μ	10 <sup>-6</sup> veya 0.000 001
Nano	n	10 <sup>-9</sup> veya 0.000 000 001

## 2.1. Frekans (f)

EMA Direktifinde verilen eylem değerleri (ED'ler) ve maruziyet sınır değerleri (MSD'ler) elektromanyetik alanın frekansına göre belirlenir. Frekans, f harfi ile temsil edilir. Bir elektromanyetik alanın frekansı, dalganın temel bir özelliği olup elektromanyetik dalganın tepe noktasının her saniye belirli bir noktadan kaç kez geçtiğini temsil eder. Frekans birimi, Hz olarak kısaltılan hertz'dir.

Frekans, elektromanyetik alanın  $\lambda$  sembolü ile temsil edilen dalgaboyu ile yakından ilgili olup dalgaboyu metre cinsinden ölçülür. Bir saniyede belirli bir noktadan geçen dalga tepe noktalarının sayısı, tüm elektromanyetik dalgalar vakumda aynı hızda hareket ettiğinden dalgaboyuna bağlıdır. Bu nedenle, daha uzun dalgaboylu alanların frekansları daha düşüktür (Şekil 2.1).

Frekans; c'nin vakumdaki ışık hızını ( $3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ) temsil ettiği  $f = c/\lambda$  eşitliği ile gösterilir.



**Şekil 2.1:** Farklı dalga boylarındaki elektromanyetik dalgalar. Daha uzun dalga boyuna sahip daha düşük frekanslı bir dalga (kırmızı) ile daha kısa dalga boyuna sahip yüksek frekanslı bir dalga (yeşil).

## 2.2. Elektrik Alan Şiddeti (E)

Elektrik alan içerisinde bir noktadaki elektrik alan kuvveti, o noktaya yerleştirilen bir birim pozitif yüke etki eden kuvvettir. Vektörel bir büyüklük olup hem büyüklüğü hem de yönü vardır. Elektrik alan şiddeti veya elektrik alanının yoğunluğu, bir tepenin eğimine benzer olarak düşünülebilir. Eğim ne kadar fazla olursa, nesnelerin yokuş aşağı kaymasına neden olan kuvvet o kadar güçlü olur. Bir elektrik alanı için, elektrik alanı gücü ne kadar büyük olursa, yüklü bir parçacık üzerindeki kuvvet de o kadar büyük olur.

Elektrik alan şiddeti E harfiyle temsil edilir ve  $Vm^{-1}$  olarak kısaltılarak metre başına volt cinsinden ölçülür.

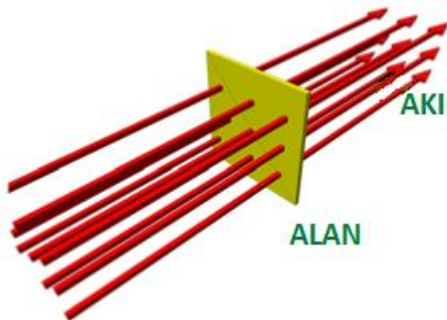
Elektrik alanlar vücudun hem dışında hem de içinde bulunabilir. 10 MHz'den düşük elektrik alanlar ve 100 kHz'in üzerindeki elektromanyetik alanlar için eylem değerleri, dış elektrik alan şiddeti (gücü) olarak belirtilir. EMA Direktifinin Ek II'sinde yer alan termal olmayan etkiler için maruziyet sınır değerler, vücut içindeki iç elektrik alan şiddeti yönünden belirtilmiştir.

## 2.3. Manyetik Akı Yoğunluğu (B)

Manyetik akı, 'manyetizma miktarı'nın ölçüsü olup manyetik alanın gücünü ve kapsamını dikkate alan sayısal bir niceliktir. Manyetik akı yoğunluğu ise belirli bir alandan geçen manyetik akının ölçüsüdür (Şekil 2.2). Belirli bir alanda daha fazla alan çizgisi varsa manyetik akı yoğunluğu da fazladır ve dolayısıyla akı çizgilerinin yoğunluğu yüksektir. Manyetik akı yoğunluğu, hareketli yüklere etki eden bir kuvvet ile sonuçlanır.

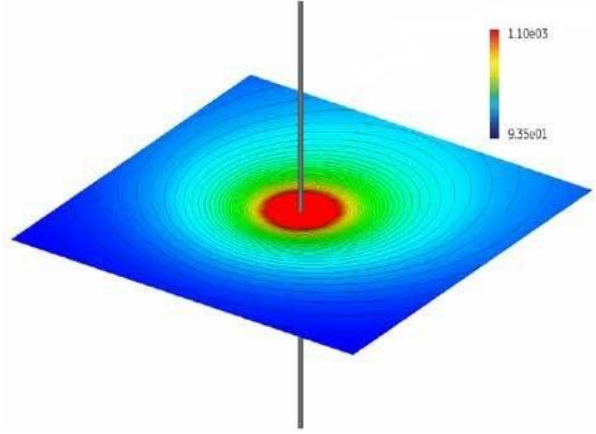
Manyetik akı yoğunluğu B harfi ile temsil edilir ve T olarak kısaltılmış tesla birimlerinde ölçülür.

EMA Direktifinde 0 ve 1 Hz arasındaki alanlar için maruziyet sınır değerleri, manyetik akı yoğunluğu yönünden; 1 Hz ve 10 MHz arasındaki manyetik alanlar ile 100 kHz'in üzerindeki elektromanyetik alanlar ise eylem değerleri yönünden belirtilmiştir.



**Şekil 2.2:** Bir alandan (sarı) geçen manyetik akı (kırmızı). Manyetik akı yoğunluğu, birim alandaki manyetik akının miktarıdır.

**Şekil 2.3:** 70 A akım taşıyan 50 Hz kablo etrafında manyetik alan şiddetinin uzamsal dağılımı



#### 2.4. Manyetik Alan Şiddeti (H)

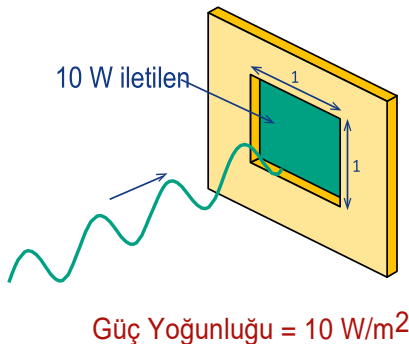
Manyetik akı yoğunluğu gibi, manyetik alan şiddeti de manyetik alanın büyüklüğünün bir ölçüsüdür. Manyetik alan şiddeti, H harfi ile temsil edilir ve metre başına amper (A/m) cinsinden ölçülür. Manyetik alan şiddeti, EMA Direktifinde kullanılmasa da ICNIRP kılavuzlarında kullanılır ve birçok manyetik alan ölçer bu büyüklük yönünden sonuç verir.

Boş alanda, bir manyetik alan şiddeti değeri,  $B [\mu T] \approx H \times 1.25 [Am^{-1}]$  denklemi kullanılarak eşdeğer bir manyetik akı yoğunluğuna dönüştürülebilir. Örneğin H'nin değeri  $800 Am^{-1}$  ise B'nin değeri yaklaşık olarak;  $800 \times 1.25 \mu T = 1000 \mu T = 1 mT$  olacaktır.

#### 2.5. Radyo-frekans Güç Yoğunluğu (S)

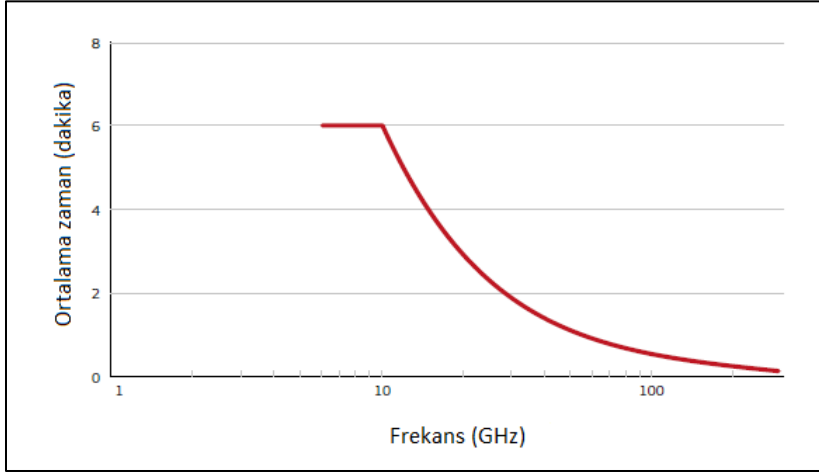
EMA Direktifinde, vücuttaki nüfuz derinliğinin düşük olduğu çok yüksek frekanslarda (6 GHz'in üzerinde) hem maruziyet sınır değerler hem de eylem değerleri, güç yoğunluğu cinsinden verilir ve aynı sayısal değere sahiptir. Güç yoğunluğu, bir yüzeyde yayılan güç olarak tanımlanır. S sembolü ile temsil edilir ve metrekare başına watt ( $Wm^{-2}$ ) olarak ifade edilir.

Güç yoğunluğunu, bir maruziyet sınır değeri ve eylem değeri ile karşılaştırırken, herhangi  $1 cm^2$ 'lik maruz kalan alanda ortalama güç yoğunluğunun (MSD'nin veya ED'nin 20 katını geçmemesi koşuluyla) herhangi bir  $20 cm^2$  maruz kalan alan üzerinde ortalaması alınabilir (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4:** Güç yoğunluğu, birim alan başına yayılan güçtür.

Güç yoğunluğunun, yayılımın frekansına bağlı olarak belirli bir süre boyunca ortalaması alınabilir. Bu zaman dilimi için formül, EMA Direktifinin Ek III'ünde yer alan Not A3-1 ve B1-4'te verilmiş olup Grafik 2.1'de grafiksel olarak sunulmuştur.



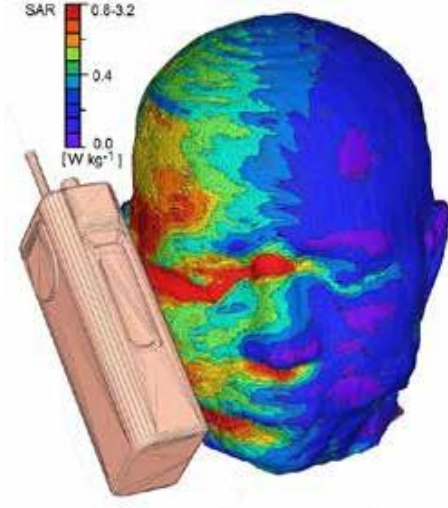
**Grafik 2.1:** Güç yoğunluğu için ortalama sürenin frekansa nasıl bağlı olduğunu gösteren grafik

## 2.6. Özgül Soğurma Oranı (SAR)

Özgül soğurma oranı, vücuttaki bir birim doku kütlelerinin elektromanyetik radyasyondan enerji soğurma oranını ölçmenin bir aracıdır. Bu soğurma oranı elektromanyetik alanların termal etkileri ile ilgilidir. Özgül soğurma oranı, kilogram başına watt olarak  $Wkg^{-1}$  olarak ölçülür.

Özgül soğurma oranı, tüm vücudun maruz kalımı nedeniyle meydana gelen vücut iç sıcaklığındaki yükselmeleri tahmin etmek için kullanışlıdır. Bu durumda SAR'ın, çalışanın vücut kütlesi üzerinden ortalaması alınır. SAR arttıkça dokunun ısınma ihtimali artar, bu da olumsuz sağlık etkilerine yol açar. Çalışan için tüm vücut ortalamalı SAR değeri, vücudunun rezonans frekansında en yüksek olma eğilimindedir. Rezonans frekansı; insan vücudunun boyutuna, şekline ve aynı zamanda o anki elektromanyetik alana uyumuna bağlıdır. Ortalama boy ve kütleye sahip bir çalışan için rezonans; çalışan, iletken zeminden izole edildiğinde ve o anki alan dikey olarak polarize olduğunda yaklaşık 65 MHz'de meydana gelir.

O anki elektromanyetik alanın absorpsiyonu, vücudun küçük bir bölgesinde gerçekleştiğinde bölgesel SAR uygulanabilir. Örneğin; kafanın, karasal kanallı radyoya maruz kaldığı durum (Şekil 2.5). Vücudun dokuları yayılan bir alandan enerji soğurduğunda, dokuların termal dengeye ulaşması zaman alır. Bu nedenle, hem tüm vücut hem de bölgesel SAR'ın belli bir süre boyunca (6 dakika) ortalaması alınır.



**Şekil 2.5:** 380 MHz karasal kanallı radyoya maruziyetle meydana gelen, kafadaki özgül soğurma oranı (SAR) dağılımı

### 2.7. Özgül Soğurma (SA)

Özgül soğurma, kilogram başına joule ( $\text{Jkg}^{-1}$ ) cinsinden ifade edilen, biyolojik dokunun birim kütlesi başına emilen enerji olarak tanımlanır. EMA Direktifinde, darbeli mikrodalga radyasyonunun etkileri için sınırlar oluşturmada kullanılır.

300 MHz'den 6 GHz'e kadar elektromanyetik alanlara maruziyet için duyu etkili MSD'ler, Direktifte; 10g doku üzerinde ortalaması alınmış bölgesel (SA) cinsinden verilmiştir.

### 2.8. Temas Akımı ( $I_c$ )

Elektromanyetik alanlarda pasif iletken nesnelere temas, vücut içinde şok ve yanıklara veya bölgesel ısınmaya neden olabilecek akımlara yol açabilir. Eylem değerleri, bu etkinin sınırlanması için getirilmiştir.

Temas akımları  $I_c$  ile temsil edilir ve miliamper (mA) olarak ölçülür.

### 2.9. Uzuv Akımı ( $I_L$ )

İndüklenen uzuv akımı, bir elektrik alanına maruz kalan ancak iletken bir nesneye dokunmayan bir kişiden toprağa iletilen elektrik akımıdır. Uzuv çevresinde kelepçe tipi bir ölçer kullanılarak (Şekil 2.6) veya yere iletilen akımın tespiti ile ölçülebilir.

Uzuv akımları  $I_L$  ile temsil edilir ve miliamper (mA) olarak ölçülür.



**Şekil 2.6:** 27 MHz dielektrik kaynak makinesi kullanırken uzuv akımını ölçmek için kullanılan bir akım pensi

### 3. EMA MARUZİYETİNE İLİŞKİN YÖNERGELER VE MEVCUT DURUMA İLİŞKİN POLİTİKALAR

Ülkeler, elektromanyetik alanlara maruziyet konusunda kendi ulusal standartlarını belirlerler. Bununla birlikte, ulusal standartların çoğu, Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) tarafından belirlenen yönergelere dayanmaktadır. ICNIRP, periyodik olarak gözden geçirilen ve gerektiğinde güncellenen maruz kalma sınırları hakkında öneriler içeren yönergeler yayınlamaktadır.

Bu yönergeler, 0 ila 300 GHz arasındaki iyonize olmayan radyasyon frekansı aralığını kapsar. Bunlar, yayınlanmış tüm hakemli literatürün kapsamlı incelemelerine dayanmaktadır. Maruziyet sınır değerleri, uzun süreli maruziyetten ziyade kısa süreli akut maruziyetle ilgili etkilere dayanmaktadır çünkü uzun süreli maruziyetten kaynaklanan etkilere ilişkin mevcut bilimsel verilerin, maruziyet yönünden niceliksel sınırlar oluşturmak için yetersiz olduğu düşünülmektedir.

Kısa süreli akut etkilere dayanan uluslararası yönergeler, potansiyel olarak olumsuz biyolojik etkilere yol açabilecek yaklaşık maruziyet sınır değerlerini veya eşik değerini kullanırlar. Bilimdeki ölçüm belirsizliğini hesaba katarak bu en düşük eşik değeri, insan maruziyeti için güvenilir sınır değerler elde etmek üzere daha da düşürülür. Örneğin, ICNIRP, çalışanlar için mesleki maruziyet sınırları elde etmek amacıyla 10'luk, genel halk için maruz kalma sınırlarını elde etmek için ise yaklaşık 50'lik bir azaltma faktörü kullanır. Bu sınır değerler, frekansa göre değişmekte olup düşük frekans alanları ile yüksek frekans alanları için farklıdır.

#### 3.1. Genel Kamunun Maruz Kalma Sınırları İçin Neden Daha Yüksek Azaltma Faktörü Uygulanmaktadır?

Mesleki olarak maruz kalan nüfus, genellikle elektromanyetik alanların ve bunların etkilerinin farkında olan yetişkin çalışanlardan oluşur. Çalışanlar, olası risklerin

farkında olacak ve uygun önlemleri alacak şekilde eğitilir. Buna karşılık, genel halk, çoğu durumda EMA'ya maruz kaldıklarının farkında olmayan her yaştan ve farklı sağlık durumundaki bireylerden oluşur. Ayrıca çalışanlar, tipik olarak yalnızca çalışma günü boyunca (genellikle günde 8 saat) maruz kalırken, genel halk günde 24 saate kadar maruz kalabilir. Bunlar, genel halk için mesleki olarak maruz kalan nüfusa göre daha katı maruziyet sınırlarına ihtiyaç duymaya yol açan temel hususlardır.

Maruz kalma sınırlarına ilişkin yönergelerde, elektromedikal cihazlarla elektromanyetik etkileşime karşı koruma sağlamak amaçlanmamıştır. Ancak bu tür etkileşimleri önlemek için yeni endüstriyel standartlar geliştirilmektedir.

### 3.2. İhtiyatlılık İlkesi

Tüm dünyada, hükümetlerde, "ihtiyati tedbir" alma yönündeki yaklaşım giderek daha fazla benimsenmektedir. Alınan önlemlerin boyutu ve aralığı, zararın ciddiyetine ve sorunu çevreleyen belirsizliğin derecesine bağlıdır. Bu ilkeler genellikle yüksek derecede bilimsel belirsizlik olduğunda ve potansiyel olarak ciddi bir riskle ilgili olarak bilimsel araştırmaların sonuçlarını beklemeden harekete geçme ihtiyacı olduğunda uygulanır. Bu, Maastricht Antlaşması'nda, "eylemsizliğin zarara yol açabileceğine dair yeterli bilimsel kanıt olduğunda (ancak mutlak kanıt olmadığında) ihtiyatlı eylemde bulunmak için makul ve maliyet etkin eylemin gerekçelendirilebilmesi olarak tanımlanmıştır. İhtiyat ilkesinin birçok farklı yorumu ve uygulaması olmuştur. 2000 yılında Avrupa Komisyonu, maliyet-fayda analizleri de dahil olmak üzere bu ilkenin uygulanması için birkaç kural tanımlamıştır. Eylemin gerekli görülmesi halinde, ihtiyati ilkeye dayalı önlemler şu şekilde olmalıdır:

- ✓ İstenen koruma seviyesi ile orantılı,
- ✓ Ayrımcı olmayan,
- ✓ Hâlihazırda alınmış benzer önlemlerle tutarlı,
- ✓ Potansiyel fayda ve maliyetlerin incelenmesi veya önlem alınmamasına halinde olası sonuçların değerlendirilmesi (uygulanabilir olduğunda, ekonomik maliyet / fayda analizi dahil),
- ✓ Yeni bilimsel veriler ışığında gözden geçirme
- ✓ Kapsamlı bir risk değerlendirilmesi için gerekli bilimsel kanıtı üretme çerçevesinde görev atanabilme kapasitesi

### 3.3. EMA İçin Bilim Temelli İhtiyatlılık Yaklaşımları

EMA maruziyetinden kaynaklanan potansiyel tehlikelerin bilimsel temelli değerlendirilmesi, risk değerlendirmesinin de temelini oluşturur. ICNIRP yönergelerinde yer alan öneriler; tıp, epidemiyoloji, biyoloji ve dozimetri alanlarını içeren yayınlanmış bilimsel makalelerin titiz bilimsel incelemelerine dayanır. Ardından, tespit edilen olumsuz sağlık etkilerini önlemek üzere maruziyet düzeyleri hakkında bilime dayalı kararlar verilir. Burada, azaltma faktörlerinin büyüklüğü (bilimsel



verilerdeki belirsizliklere ve belirli grupların duyarlılığındaki olası farklılıklara dayalı olarak) ile EMA etkileşimleri hakkındaki varsayımlarda dikkatli olunmalıdır.

EMA bağlamında, bazı ulusal ve yerel yönetimler, bir politika seçeneği olarak ihtiyatlılık ilkesinin diğer bir çeşidi olan “ihtiyatlı kaçınma” yaklaşımını benimsemiştir. Başlangıçta çok düşük frekanslı alanlar için kullanılmış olan bu yaklaşım, bireysel veya genel EMA maruziyetini azaltmak için basit, kolayca elde edilebilir, düşük ila orta maliyetli önlemlerinin kullanılması olarak tanımlanmıştır.

Düzenleyici otoriteler, hâlihazırda var olan bilim temelli sınırlara ek sınırlar getirmenin, bilimin güvenilirliğini ve mevcut maruz kalma sınırlarına uyumu zayıflattığının farkında olmalıdır. Diğer taraftan bir riskin mevcut olmayabileceğinin kabul edilmesi de mümkündür. Bilimsel topluluk EMA'ya maruz kalma riskinin olmadığı veya bir risk olasılığının çok spekülâtif olduğu sonucuna varırsa, o zaman endişeyi ortadan kaldırmaya yönelik uygun yanıt, etkili bir eğitim programının uygulamaya konulması olmalıdır. EMA'ya maruziyet ile ilgili risk olduğu sonucuna varıldığında, bilimsel topluluk tarafından önerilen koruyucu tedbirlere güvenmek yerinde olacaktır. Büyük belirsizlikler devam ederse, daha fazla araştırmaya da ihtiyaç duyulacaktır.

#### **4. EMA'LARIN SAĞLIK VE GÜVENLİK ÜZERİNE ETKİLERİ**

Çoğu insan, evde ve işyerinde; ev aletleri ve endüstriyel ekipmanların kullanımının yanı sıra elektriğin iletimi, telekomünikasyon ve yayınlardan oluşan zayıf elektrik ve manyetik alanların karışımına maruz kalmaktadır. Herhangi bir dış elektrik alan bulunmasa bile, normal vücut fonksiyonlarının bir parçası olan kimyasal reaksiyonlar nedeniyle insan vücudunda çok küçük elektrik akımları mevcuttur.

Elektromanyetik alanların sağlığı etkileme şekli maruziyetin sıklığına, gücüne ve süresine bağlıdır. Uygulanan alanın frekansı da etkinin sonuçları bağlamında önemlidir çünkü farklı frekanslar vücutla farklı şekillerde etkileşime girer ve düşük frekanslı alanların etkileri, yüksek frekansların ürettiği ile aynı değildir. Düşük frekanslı alanlar, sinir ve kasların uyarılmasına neden olurken, yüksek frekans alanları dokuların ısınmasına yol açar. Mesleki maruziyet sınır değerleri, bu değerlere bağlı kaldığı sürece olumsuz sağlık etkileri olmayacak şekilde belirlenir. Yani herhangi bir olumsuz etkinin meydana gelmesi için, bu frekansta, maruziyet sınır değerini aşmak gerekir.

İnsanlarla etkileşimleri temelinde, elektromanyetik alanlar dört geniş bölgeye ayrılabilir. Frekansı 0 ila 1 Hz olanlar (statik alanlar); 1 Hz ila 100 kHz frekanslı olanlar (düşük frekans alanları); 100 kHz ila 10 MHz frekanslı olanlar (orta frekans alanları); ve frekansları 10 MHz'den fazla olanlar (yüksek frekans alanları). EMA Direktifinde; sinir sistemi üzerinde ortaya çıkan etkilerin, termal olmayan etkiler olduğu; 100 kHz'in üzerindeki alanlara maruziyetin bir sonucu olarak ortaya çıkan ısınma ile ilgili etkilerin ise termal etkiler olduğu öngörülmektedir.

EMA Direktifi, bir dizi maruziyet sınır değeri (MSD) tanımlayarak maruz kalacak çalışana koruma sağlamayı amaçlar. Bu kapsamda, her bir frekans aralığında, duyuusal etkileri sınırlamak için daha düşük bir değeri ve sağlık etkilerini sınırlamak için daha yüksek bir değeri tanımlanmıştır (Tablo 4.1). Bu değeri, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu tavsiyelerine dayanmakta olup yalnızca biyofiziksel etkileşim mekanizmalarına dayanan maruziyetin kısa süreli etkilerini dikkate alır. Tekrarlanan, uzun süreli maruziyetlerin sağlık yönünden henüz tanımlanmamış bazı riskler taşıması her zaman mümkün olsa da EMA Direktifi, uzun vadeli etkileri kapsamamaktadır.

**Tablo 4.1:** Farklı frekans bölgelerindeki maruziyetleri sınırlamak için kullanılan ilgili sağlık ve duyu etkili MSD'lerin özeti

Alan ve frekans	Duyusal etkiler	Sağlık etkileri
Statik manyetik alan 0 - 1 Hz	Baş dönmesi, mide bulantısı, metalik tat hissi	Uzuvlardaki kan akışında değişim, beyin ve kalp fonksiyonlarında değişim
Düşük frekanslı alanlar 1 Hz - 10 MHz	Gözde ışık patlaması hissi, 1 - 400 Hz aralığında beyin fonksiyonlarında küçük değişimler	Karıncalanma hissi veya ağrı, kas seğirmeleri, kalp ritminin bozulması
Yüksek frekanslı alanlar 100 kHz - 6 GHz	Mikrodalga işitsel etki (kişinin sesli konuşma duyduğunu hissetmesi) (200 MHz - 6.5 GHz)	Vücudun tümü ya da bölgesel ısınması veya yanıklar
Yüksek frekanslı alanlar 6 - 300 GHz		Göz veya deride bölgesel ısı hasarı
<b>DİKKAT:</b> Orta şiddetli alanların (100 kHz - 10 MHz) sağlık etkileri, düşük ve yüksek frekanslı alanların etkilerinin bileşimidir.		

Elektromanyetik alanların yol açtığı sağlık etkileri ve alınabilecek önlemler ile ilgili daha fazla bilgi, "Elektromanyetik Alan Üreten Kaynaklar ile Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Rehberi – Seri II" nin dördüncü bölümünde (bkz. Başlık 4.3) yer almaktadır.

Elektromanyetik alanların iş güvenliği ile ilgili etkileri arasında özellikle üzerinde durulması gereken hususlar statik manyetik alanlarda ferromanyetik nesnelere fırlama riski, elektro-patlayıcı cihazların tetiklenmesi ve yanıcı atmosferlerin tutuşmasından kaynaklanan yangınlar ve patlamalar ile ilgilidir.

Güçlü statik manyetik alanlarda, ferromanyetik nesnelere, nesnenin hareketine neden olabilecek güçlü çekim kuvvetine maruz kalabilirler. Uygun koşullar altında bu hareket fırlama riski oluşturabilir. Hareketin yol açacağı bu risk; manyetik alan gradyanı, nesnenin kütlesi, şekli ve üretildiği malzeme dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlıdır.

Diğer taraftan elektromanyetik alanların, uygun koşullar altında fûnye/detonatör gibi elektro-patlayıcı cihazların tetiklenmesine neden olabileceği iyi bilinmektedir. Bu etki, elektro-patlayıcı cihazların işyerindeki mevcudiyetine ve bunları tetiklemek için yeterli alan kuvvetlerinin varlığına bağlıdır. Dolayısıyla işyerlerinin çoğunluğu için bir sorun teşkil etmese de savunma sektöründeki işverenler tarafından dikkate alınması gerekir. İşyerinde güçlü elektromanyetik alanlar bulunmasa dahi elektro-patlayıcı cihazlar risk oluşturabileceğinden, yakın çevrelerinde yürütülen iş faaliyetlerinin kısıtlanması ve bu faaliyetlerdeki EMA varlığının dikkate alınmasının yanı sıra bunların depolanması ve kullanılması da sıkı bir şekilde kontrol edilmelidir.

Köprü telli (bridgewire) fûnyeler (EBW'ler), özellikle bir plütinyum çekirdeğinin çok hızlı sıkıştırıldığı plütinyum tabanlı nükleer silahlarda kullanılmak üzere, birden fazla patlayıcı yükünü aynı anda patlatmanın bir yolu olarak geliştirilmiştir. Söz konusu fûnyelerin başlatılması riskinin değerlendirilmesi konusunda rehberlik sağlayan bir Avrupa teknik raporu (CLC/TR50426) mevcuttur. Söz konusu raporda bu fûnyelerin başlatılmasını önlemek amacıyla sahadan/işyeri ortamından yeterli enerjinin çıkarılması konusunda risk değerlendirmesi için yaklaşımlar sunulmuştur. Yararlı olabilecek başka bir teknik rapor olan CLC/TR50404'te ise, patlayıcı maddelerin statik elektrikle tetiklenmesini önlemek amacıyla risklerin değerlendirilmesi ve tedbirlerin belirlenmesi konusunda rehberlik sağlanmaktadır.

Elektromanyetik alanların nesnelere etkileşiminin, yanıcı ortamları tutuşturabilecek kıvılcım deşarjlarının oluşmasına neden olabileceği de iyi bilinen bir husustur. Tutuşturma kabiliyetine sahip kıvılcımlar, elektrik akımları ve gerilimlerinin iletken yapılarda, radyo frekansı vericileri (radyo, televizyon ve radar gibi) tarafından üretilen elektromanyetik dalgalarca indüklendiğinde meydana gelebilir. Bu etkinin ortaya çıkabilmesi için hem yanıcı bir atmosferin varlığı hem de bu atmosferi tutuşturmak için yeterli alan kuvvetlerinin mevcudiyeti gerektiğinden, işyerlerinin çoğunluğu için bir sorun olmasa bile bazı sektörlerdeki işverenler tarafından üzerinde düşünülmesi gerekebilir. Yanıcı ortamlar, çeşitli kaynakların yol açabileceği tutuşma tehlikesi altında olabilir, bu nedenle bu tür ortamların mevcut olabileceği alanları belirlemek ve bu alanlardaki faaliyetlere kısıtlama getirmek bir yaklaşım olabilir. Bu yaklaşımın, bölgede EMA üretimi ile ilgili sınırlamaları da içermesi ideal olanıdır.

Radyo-frekans elektromanyetik alanlar ile yanıcı ortamların istemsiz tutuşması riskinin değerlendirilmesi konusunda rehberlik sağlayan bir Avrupa teknik raporu (CLC/TR50427) bulunmaktadır. Söz konusu rapor, sahadan/çalışma ortamından çıkarılabilecek enerjiyi belirlemek ve bunu, farklı yanıcı madde sınıflarını tutuşturmak için gereken enerji ile karşılaştırmak için yaklaşımlar sunmaktadır. Yararlı olabilecek başka bir teknik rapor ise CLC/TR50404 olup bu rapor, yanıcı ortamların statik elektrikle tutuşmasını önlemek için risklerin değerlendirilmesi ve önlemlerin belirlenmesi konusunda rehberlik sağlamaktadır.

## 5. MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME İLE İLGİLİ REHBERLİK

Manyetik rezonans görüntüleme (MRI), hastalığın tanı ve tedavisi için başvuru alan, tıbbi araştırmalarda değerli bir araç olan önemli bir tıbbi teknolojidir. Bu teknikte, vücuttaki hidrojen çekirdeklerini uyarmak için insan vücuduna çeşitli manyetik alanlar uygulanır, dokudaki hidrojen atomlarının yoğunluğuna ve hareketine göre görüntü oluşur. Söz konusu teknik, her yıl ülkemizde ve Avrupa Birliği'nde on milyonlarca taramayla yaygın olarak kullanılmakta olup beyin metabolizması ve aktivitesinin haritalanması dahil olmak üzere ayrıntılı görüntüler oluşturmak amacıyla hastalar veya gönüllüler, güçlü elektromanyetik alanlara kasıtlı olarak maruz kalır. Bilgisayarlı tomografi (CT) gibi diğer görüntüleme teknolojilerini tamamlayıcı nitelikte olmasına rağmen MRI'da, iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalım söz konusu değildir ve bilinen uzun vadeli sağlık etkileri yoktur.

Tarayıcıdaki elektromanyetik alan dağılımı, öncelikle tarama verimi ve görüntü kalitesine bağlıdır. Statik manyetik alanlar, dolaylı etkiler için eylem değerlerini aşabilir. Ayrıca, bazı koşullar altında çalışanlar, maruziyet sınır değerini aşan alanlara maruz kalabilir. Ancak MSD'ler, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında bir sınırı gösteren türetilmiş değerler olduğundan bu değerlerin üzerindeki maruziyetler, çalışanlarda etki ortaya çıkarmayabilir. Nitekim ICNIRP, hastaların MRI tarayıcısının içindeki yoğun alanlara maruziyetinin güvenli olmadığı yönünde bir bulgunun söz konusu olmadığını belirtmiştir. Üreticiler, tarayıcının dışındaki alanlarda, kapsamı en aza indirmeye çalışarak, ekipmanın etrafında çalışan personelin maruz kalmasını önleyebilir.

Sağlık sektöründe MRI için; MSD'lere uyma gerekliliği kapsamında EMA Direktifinin 10 uncu maddesinde koşullu bir istisna yer almaktadır. Tarayıcı içerisindeki hastaların ve gönüllülerin elektromanyetik alan maruziyetleri, EMA Direktifi kapsamı dışındadır.

Bu başlık altında yer verilen rehberlik, MRI konusunda paydaşlarla istişare halinde hazırlanmıştır. İmalatçılar, MRI hizmeti sunan sağlık hizmet sunucuları ve araştırma enstitüleri tarafından, uygunluğun sağlanması amacıyla radyografi, radyoloji ve sağlık fiziği alanlarında uzmanlara danışılması uygun olacaktır.

### 5.1. MRI Ekipmanının Tasarımı

MRI tarayıcıları, ekipmanın içinde aşağıda açıklanan üç ana bileşenle karmaşık bir elektromanyetik ortam oluşturmak üzere tasarlanmıştır:

- Statik manyetik alanlar - klinik kullanımdaki sistemlerin çoğu 1.5 veya 3T'de çalışır ancak girişimsel prosedürler için tercih edilen açık sistemler normalde daha düşük manyetik akı yoğunluklarında (0.2 - 1T) çalışır ve ayrıca ağırlıklı olarak araştırma amaçlı kullanılan, 9.4T'ye kadar çalışan, az sayıda yüksek alan tarayıcıları mevcuttur.
- Düşük frekans, geçişli gradyan manyetik alanlar - tarayıcılar, ölçülen MR sinyalleri ile ilgili konum bilgisi oluşturmak için hızla açılan ve kapatılan üç

ortogonal gradyan kullanır. Bunlar, taramanın türüne göre değişen karmaşık darbeli dalga biçimleridir. Darbeli dalga biçimleri, 0.5-5 KHz bölgesindeki frekanslara eşdeğerdir.

- Larmor frekansında uygulanan radyo-frekans alanları, statik manyetik akı yoğunluğu (1.5 T ve 3 T tarayıcılar için sırasıyla 62 - 64 MHz ve 123 - 128 MHz).

## 5.2. Sağlık Sektöründe MRI Operasyonu Sırasında Çalışan Maruziyeti

MRI tarayıcıları, ekipmanın kapladığı bölge dışındaki alanlarda en az, tarayıcının tüneli içinde güçlü alanlar oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle alanlar, tarayıcı açıklığından uzaklaştıkça hızla düşer. Mevcut kanıtlar, yalnızca tarayıcının tüneli içinde veya açıklığın hemen yakınında çalışmanın MSD'leri aşan maruziyetlere yol açabileceğini göstermektedir. Ancak MRI faaliyetlerinin çoğu kapsamında çalışan personelin (yaklaşık %97 olduğu tahmin edilmektedir) tarama sırasında bu pozisyonlarda bulunması gerekmez. Tarayıcının yakın etrafındaki alanlara yaklaşması gerekmeyen çalışanların maruziyeti uyumlu olacağından, bunları değerlendirmeye gerek yoktur.

Tarayıcının yakın etrafındaki alanlara yaklaşması veya tarayıcının tüneline girmesi gereken çalışanlar için maruziyet değerlendirilmesi karmaşıktır. Bunun için tarayıcının içindeki ve dışındaki alanların uzamsal dağılımı hakkında ayrıntılı bilgi ile personelin işini yaparken tarayıcıya göre hareketinin anlaşılması gerekir. Ayrıca, risklerin doğrudan MSD'lerle karşılaştırılabilmesi için değerlendirmeler, ideal olarak sayısal modelleme tekniklerine dayanmalıdır. Bu tür değerlendirmeler, rutin MRI prosedürlerini gerçekleştiren çoğu kurumun kapasitesinin ötesindedir. Bu durumda, tarayıcı sistemleri tarafından sağlanan tahmini maruziyet bilgileriyle birlikte yayınlanmış verilere güvenmek normalde kabul edilebilir olacaktır.

Bir dizi tipik prosedür ve farklı ekipman türlerinin kullanımından kaynaklanan çalışan maruziyeti hakkında bilgi edinmek amacıyla, Avrupa Komisyonu farklı ülkelerdeki dört manyetik rezonans biriminde bir değerlendirme yaptırmıştır. Bu projede, saha haritalama ve hesaplamalı dozimetri kullanılarak farklı prosedürler sırasında personel hareketleri ve pozisyonları değerlendirilmiş olup sonuçlar bilgi verici olmuştur. Analizler, MSD'lerin bazı durumlarda aşılabileceğini göstermiş olup tüm düşük alanlı tarayıcılar (2T'nin altında çalışan) ve 2T'nin üzerinde çalışan tarayıcılarla yapılan rutin faaliyetlerin çoğu için, statik manyetik alan maruziyeti duyu etkili MSD ile uyumludur. 8T'ye kadar çalışan tarayıcıların kullanıldığı tüm diğer faaliyetler için statik manyetik alan maruziyeti, sağlık etkili MSD ile de uyumludur.

MRI tarayıcıları tarafından üretilen güçlü statik manyetik alanlar boyunca hareket, vücut dokuları içinde elektrik alanlar oluşturacaktır ve bunlar EMA Direktifinde belirtilen MSD'leri aşabilir. Normal hareket hızında bu yalnızca tarayıcının tüneline ve etrafındaki yakın bir mesafede (mevcut bilgilere göre genellikle 1 m'den fazla olmamak kaydıyla) gerçekleşir. Bu durum, hastanın tünel içerisinde yerleşimi sırasında

operatörün başının rotasyonel hareketlerinde sıkça karşılaşılan bir sorundur.

Rutin prosedürlerin çoğu için, geçişli gradyan alanı maruziyetleri, duyu veya sağlık etkili MSD'leri aşmayacaktır. Ancak, çalışanların tarayıcının yakın açıklığına (normalde 1 metreden az) yaklaşması gereken nadir bazı durumlarda MSD'lerin aşılması ihtimali mevcut olup özellikle çalışanın tarayıcıya eğilmesi gerekiyorsa bu durumda MSD'lerin aşılması çok muhtemeldir.

Radyo-frekans MSD'leri, altı dakikalık bir süre boyunca ortalama alınarak değerlendirilir ve birkaç dakika süreyle çalışanın tarayıcıya (örneğin bir hastayı izlemek için) eğilmesi gerektiğinde maruziyet, genellikle uyumludur. Daha uzun süreli maruziyetler de genellikle uyumludur.

Diğer taraftan, tarayıcı odasındaki alanların çalışanlar üzerindeki doğrudan etkileri, başkaları için de güvenlik risklerine neden olabilir. Örneğin, statik alandaki hızlı hareketin bir sonucu olarak çalışanların yaşayabileceği baş dönmesi veya görme sorunları, uygun hasta bakımı sağlama yeteneklerini etkileyebilir.

**Tablo 5.1:** Farklı MRI incelemeleri sırasında gradyan alan maruziyetleri için ilgili MSD'nin aşılması riski

MSD'nin aşılması riski	Prosedür
Yüksek	Tünel içinde yerleşime rehberlik (gerçek zamanlı taramayla) Girişimsel kardiyovasküler MRI gibi girişimsel teknikler Fonksiyonel MRI (hastanın tarayıcı içi fiziksel uyarımı) EEG elektrotlarının ayarlanması (araştırma faaliyeti)
Orta	Genel anestezi (tarama sırasında hastanın durumunun yakından izlenmesi) Kardiyak stres testi (tarama sırasında hasta durumunun yakından izlenmesi) Tarayıcı içinde temizleme/enfeksiyon kontrolü (tarama yok) Tarama sırasında çocuğu rahatlatma (ancak 1 m açıklık içinde)
Düşük	Rutin taramalar (tarayıcı odasında personel yok) Biyopsi (hasta tarayıcıda değil / tarama yok) Manuel kontrast madde uygulaması (tarama yok)

MRI ekipmanının çalıştırılmasında, potansiyel olarak ciddi sonuçlara sahip güvenlik risklerine yol açabilecek başka tehlikeler ortaya çıkabilir. Operatörler, bu risklerin uygun şekilde yönetildiğinden emin olmalıdır. Söz konusu diğer tehlikeler aşağıdakilerle etkileşimi içerebilir:

- Aktif veya pasif implante edilmiş tıbbi cihazlar,
- Vücuda takılan tıbbi cihazlar,

- Tıbbi elektronik ekipmanlar,
- Kozmetik veya tıbbi implantlar.

Diğer tehlikeler ayrıca şunları içerir:

- Güçlü manyetik alanda ferromanyetik malzemelerin hareketinden kaynaklanan fırlatma riski,
- Gürültü,
- Sıvı helyum.

Tablo 5.1 ile birlikte yayımlanmış olan maruziyet verilerinin incelenmesi, işverenlere; hangi faaliyetlerde geçişli gradyan alanların MSD'nin üzerindeki risklere yol açabileceğine karar vermelerinde yardımcı olmalıdır.

### 5.3. Teknolojiye Uygun Teknik ve Yönetmelik Önlemlerin Uygulanması

Bu cihazların kullanımında riski değerlendirmenin kilit noktası, MSD'lerin aşılabileceği alanlara (normalde açıklığın 1m içinde) personelin girmesi gerekip gerekmediğini belirlemek olacaktır. Rutin çalıştırma ve hasta bakımı sırasında operatörlerin bu alana erişimi söz konusu olmakla birlikte normalde sistemin tarama yapması halinde erişim mümkün olmamalıdır. Her halükarda personelin, açıklığın 1m içinde bulunan alana yaklaşması gerektiğinde, elektrik alan maruziyetini ilgili MSD'nin altında tutmak için yavaş hareket etmek yeterlidir.

Personel, mümkünse tarayıcının tüneline girmekten kaçınmalıdır. Bununla birlikte, personelin enfeksiyon kontrolü gibi faaliyetler için tünele girmesi gerektiğinde, bunun geçişli gradyan ve RF alanları kapalıyken yapılacağı, böylece yalnızca statik manyetik alandan kaynaklanan maruziyetlerin göz önünde bulundurulması gerektiği unutulmamalıdır. 8T'ye kadar manyetik akı yoğunluğunda çalışan tarayıcılar için sağlık etkili MSD'lerin aşılması olası değildir. Diğer taraftan, çalışanları bilgilendirmek ve iş sağlığı ve güvenliği risklerini önlemek için tedbirler alınmışsa, duyu etkili MSD'nin geçici olarak aşılması kabul edilebilir.

#### 5.3.1. Teknik Önlemler

Tarayıcının tüneli içindeki alanları sınırlandırmaya yönelik teknik önlemler, cihazın çalıştırma modlarının yanı sıra tasarımı ve yapısına bağlı olup kullanım amacı doğrultusundaki çıktının kalitesini etkileyebilir. Üreticiler, ulusal mevzuatın gerekliliklerine uygunluğun (AB için 93/42/EEC sayılı Tıbbi Cihazlar Direktifi) bir parçası olarak alanları azaltmaya yönelik önlemler de dahil olmak üzere ekipmanlarını sürekli olarak geliştirir ve iyileştirir. Bu uygunluk gereksinimlerinden, üretim ve kurulum sırasında tarayıcılara dahil edilen teknik önlemlerin, en son teknolojiyi temsil edeceği anlaşılmaktadır. MR cihazının kurulum sonrası modifikasyonu teknik olarak zor olmakla birlikte modifikasyon sonrası normalde ulusal mevzuata uygunluk açısından yeniden değerlendirme gerektirir. Bu durum genellikle MR hizmeti veren işletme ve kurumların imkânlarının ötesindedir.

Prencipte, personelin tünel içinde veya tarayıcı açıklığına yakın olması gerektiğinde maruziyeti azaltmak için cihazın çalışma parametrelerini (gradyan özellikleri veya radyo-frekans alan kuvveti gibi) seçmek mümkündür. Ancak klinik kullanımda yarar ve gereklilikler nedeniyle bu pek de mümkün olmasa bile, esneklik olan hallerde, personelin tarayıcıya yaklaşma olasılığı yüksekse, daha yavaş taramalar seçilmeli ve radyo-frekans maruziyeti azaltılmalıdır.

#### *5.3.1.1. MRI Tesisinin Organizasyonu*

Kurumlar, MRI tesislerinin organizasyonuna yapılandırma yaklaşımı benimseyerek ve özellikle alanı, karşılaşılması muhtemel alanların büyüklüğüne göre bölerek çalışanların maruziyetini en aza indirebilirler. Bu düzenleme, MSD'leri aşan maruziyet riskinin daha yüksek olduğu alanlara erişimin kısıtlanmasını kolaylaştırır.

Genel olarak, çoğu MRI tesisi hâlihazırda diğer tehlikelere dayalı bir erişim kısıtlama sistemi uygulamaktadır. Aşağıda açıklanan yaklaşımlar, EMA Direktifi bağlamında iyi uygulama önerilerine dayanmaktadır.

#### *Kontrollü Erişim Alanı*

EN60601-2-33, kontrollü erişim alanı konseptini tanımlamakla birlikte bu konsept; kalıcı olarak takılı kapağının dışında 0,5 mT'yi aşan ve/veya EN60601-1-2'de belirtilen elektromanyetik girişim düzeyi ile uyumlu olmayan alan oluşturan herhangi bir MRI ekipmanı için gereklidir. Bu nedenle kontrollü erişim alanının belirlenmesi sağlık hizmetleri sektöründe zaten standart bir uygulamadır.

Kontrollü erişim alanı içinde, vücuda yerleşik (implante) aktif tıbbi cihazlar ve diğer tıbbi ekipmanlarla etkileşim riski söz konusudur. Ayrıca ferromanyetik malzemelerin çekilmesi veya bu tür malzemelere etki eden torklardan kaynaklanan fırlatma riski de mevcuttur. Bölgeye erişimin, ideal olarak uygun işaretler ile işaretlenerek kontrollü bir erişim kapısı aracılığıyla kısıtlanması ve alana girişi kontrol etmek için uygun organizasyonel düzenlemeler gerekecektir.

#### *Tarayıcı Odası ve Düzeni*

Tarayıcı odasına giriş, operasyonel olarak orada bulunma ihtiyacı olan çalışanlar ile sınırlı olmalıdır. Odaya girenlerin içeride bulunma süresi görevleri ile sınırlı olmalı, gereğinden fazla odada kalınmamalıdır.

Manyetik uzamsal alan gradyanı, tarayıcı açıklığının hemen çevresindeki alanda maksimumdur. Bu alandaki geçişli gradyan alanları, tarayıcı çalışırken MSD'yi aşma riski oluşturacak kadar güçlü olabilir. Bu nedenle bu alan, tarayıcı odasına ait planda tanımlanmalıdır. Tanımlanan alan, uzamsal gradyan ve geçişli gradyan alanların en kısıtlayıcı olanını baz almalı, bununla ilgili üretici tarafından da tavsiyeler kurulum



sırasında kuruma iletilmiş olmalıdır. Bu özel bilginin mevcut olmadığı durumlarda, (örneğin, eski bir tarayıcı için) normalde yeterli olacağı için varsayılan, açıklığın 1 m'lik uzaklıktaki çevresindeki bir alanı (merkezi eksenden ölçüldüğü şekilde) tanımlamak olmalıdır. Plan, bu alanda çalışanları daha büyük riskler konusunda uyarıcı nitelikte olmalıdır. Çalışanlar, görevleri olmaksızın belirlenen alana girmemeli ve gerekenden daha uzun süre alanda kalmamalıdır. Belirlenen alana girmesi gereken herhangi bir personel, olumsuz etkilerden kaçınmak için yeterince yavaş hareket etmelidir.

Tarayıcı odasının düzeni, personelin tarayıcıya olabildiğince yakın çalışma ihtiyacını ortadan kaldıracak şekilde tasarlanmalıdır. Bu nedenle, anestezi maddeler ve diğer hareketli ekipmanlar, uygun olması halinde tarayıcıdan mümkün olduğunca uzağa yerleştirilmelidir. Benzer şekilde, klinik yargı imkan verdiği ölçüde, manuel infüzyon yerine ilaçların ve kontrast maddelerinin uygulanması mümkün olduğunda otomatikleştirilmelidir.

### *Tarayıcının Tüneline Girmek*

Kesinlikle gerekli olmadıkça personele, tarayıcının tüneline girmeleri talimatı verilmemelidir. Ancak, tarayıcıyı temizlemek veya bir hastayı rahatlatmak için tarayıcının tüneline giriş, görevi tamamlamak için gereken minimum süreyle sınırlı tutulmalıdır. Personel, bu prosedürün gerekli olup olmadığını veya aynı hedefe, giriş olmadan ulaşmanın mümkün olup olmadığını değerlendirmelidir. Yine de personelin tarayıcıya girmesi gerekiyorsa, kesinlikle gerekmedikçe radyo frekans ve geçişli gradyan alanlar devre dışı bırakılmalıdır. Benzer şekilde, radyo-frekans alanları gerekiyorsa, çalışma hedefine ulaşılması için yeterli minimum güçte tutulmalıdır. Güçlü statik manyetik alanlardaki hareketin etkileri konusunda bilgi sahibi olmayan personel yüksek risk altında olabilir.

Çoğu durumda, tarama sırasında hastalara gözetim veya tarayıcı tünelinin incelenmesi gibi faaliyetler için uzaktan görüntüleme (örneğin bir ayna kullanarak) gibi basit yaklaşımlar kullanılabilir. Benzer şekilde uzun saplı aletler, bazı temizlik prosedürleri için yeterli olabilir. Bu yaklaşımların hassasiyetle uygulanması, çalışanların tarayıcıya girme ihtiyacını en aza indirecektir.

### *5.3.2. İş Organizasyonu*

Kontrollü erişim alanı, belgelendirilmesi gereken organizasyonel düzenlemelere tabi olmalıdır. Başteknisyen gibi o günkü yetkili bir personel tarafından bölgedeki iş faaliyetleri doğrudan izlenmeli ve denetlenmelidir. Kontrollü erişim alanındaki sağlık personeli ve ziyaretçiler, MR personeli tarafından sürekli olarak gözetim altında tutulmalıdır.

Düzenlemelerin önemli bir unsuru, aktif veya pasif implantların veya vücut piercingleri veya yüksek demir içeriğine sahip dövme gibi diğer risk faktörlerinin varlığı nedeniyle

risk altında olanları belirlemek için personeller taranmalıdır. Normal çalışma saatleri dışındaki erişimi kontrol etmek için de düzenlemeler yapılması gerekecektir (örneğin, temizlikçiler, güvenlik personeli, itfaiyeciler ve bina bakım çalışanlarının erişimi). Tarama ayrıca, ferromanyetik nesnelerin, uygun şekilde MR güvenli olarak işaretlenmesini sağlamak için alana getirilen öğeleri de kapsamalıdır.

### 5.3.3. Bilgilendirme ve Eğitim

EN60601-2-33'e uygun MRI ekipmanı, aşırı maruz kalıma karşı koruma önlemleri içerir. Bununla birlikte, MSD'lerin aşıldığı durumlarda, alanlara duyarlılığı fazla olan çalışanlarda etkilerin görülmesi riski vardır. Bu nedenle, kontrollü erişim alanına girmesi gereken çalışanlara, maruziyetin olası sonuçları hakkında bilgi verilmesi, böylece etkilerin meydana gelip gelmediğini anlayabilmeleri ve maruziyetlerini uygun şekilde sınırlandırmak için önlem alabilmeleri önemlidir. Bu tür durumlar, uygun önlemler alması gereken birim yöneticisine veya sorumlu kişiye bildirilmelidir.

MRI tarayıcıları, tıbbi veya araştırma ekipmanlarının karmaşık ve son derece teknik öğeleri olup operatörler de bu ölçüde kapsamlı bir şekilde eğitilmektedir. Ekipman, aşırı maruziyete karşı koruma tedbirleri ve otomatik uyarı sistemleri dahil olmak üzere çok sayıda güvenlik sistemi içerir. İşverenlerce; operatörlerin, ekipmanı üreticinin talimatlarına göre kullanması ve otomatik uyarı sistemlerini dikkate alması sağlandığı takdirde, ekipman, ulusal mevzuat çerçevesinde hastalar ve çalışanlar için güvenlidir.

Kontrollü erişim alanında çalışması gereken personel, MRI güvenliği ile ilgili eğitim almalıdır. Eğitim şunları kapsamalıdır:

- Güçlü bir statik manyetik alanda hareketin olası etkileri konusunda farkındalık,
- Güçlü geçişli gradyan alanlarının etkileri hakkında farkındalık,
- Radyo-frekans alanlarının etkileri hakkında farkındalık,
- Ferromanyetik malzemeler ile etkileşimden kaynaklanan fırlatma riski ve bu malzemelere etki eden torklardan kaynaklanan riskler konusunda farkındalık,
- Aktif implante tıbbi cihazlarla etkileşim riski konusunda farkındalık,
- Tıbbi elektronik ekipmanla etkileşim riskleri konusunda farkındalık,
- Erişim kısıtlamalarının ve kontrollü erişim alanına giren kişi veya öğelerin taranmasının önemi,
- Tarayıcının etrafında ve içinde yavaş hareket etmenin önemi,
- Tarayıcının etrafındaki alanların uzamsal dağılımı ile ilgili bilgilendirme,
- Gürültü ve kriyojenik gazlar dahil diğer tehlikelerin farkında olma,
- Süper iletken mıknatısın sönmü (manyetik bobinlerde ani sıcaklık kaybı nedeniyle süper iletken halden dirençli hale geçerek manyetik alanın ortadan kalkmasına, dolayısıyla helyumun kriyojen banyosundan çok hızlı bir şekilde kaçmasına neden olan istenmeyen süreç) durumunda tahliye prosedürleri,
- Acil bir olay durumunda prosedürler hakkında farkındalık.

Eğitim normalde tesislere göre uyarlanarak, yeterli bilgi ve deneyime sahip biri tarafından kurum içinde verilmelidir.

Temizlikiler, güvenlik personeli, itfaiyeciler ve bina bakım çalışanları gibi diğer personelin kontrollü erişim alanına erişmesi gerektiğinde, girmeleri gerekebilecek alanlara uygun farkındalık eğitimi de almaları gerekmektedir birlikte bu eğitimin, MR personeli için olduğu kadar ayrıntılı olması gerekmez.

## KAYNAKLAR

1. Non-Binding Guide To Good Practice For Implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields, Volume 1: Practical Guide, European Commission - Directorate General For Employment, Social Affairs and Inclusion, 2014.
2. Elektromanyetik Alan Üreten Kaynaklar İle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Rehberi – Seri II, Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı – İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 2020.
3. Türkiye Elektromanyetik Alan Maruziyet Raporu, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2010.  
([https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2011/07/Turkiye\\_EMF\\_Raporu.pdf](https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2011/07/Turkiye_EMF_Raporu.pdf), erişim tarihi: 01.09.2020).
4. Türkkkan A., Pala K., Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Sağlık Etkileri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 14, Sayı 2, 2009.  
([https://acikerisim.uludag.edu.tr/bitstream/11452/11946/1/14\\_2\\_2.pdf](https://acikerisim.uludag.edu.tr/bitstream/11452/11946/1/14_2_2.pdf), erişim tarihi: 12.10.2020).
5. [https://oshwiki.eu/wiki/Electromagnetic\\_fields](https://oshwiki.eu/wiki/Electromagnetic_fields), erişim tarihi: 18.10.2020).
6. [https://www.who.int/health-topics/electromagnetic-fields#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/electromagnetic-fields#tab=tab_1), erişim tarihi: 21.10.2020).
7. Establishing a Dialogue on Risks From Electromagnetic Fields, WHO, 2012.  
(<https://www.who.int/publications/i/item/9241545712>, erişim tarihi: 01.11.2020).
8. Protection Against Inadvertent Ignition of Explosive Atmospheres by Radio-Frequency Radiation at Onshore Hazardous Installations, HSE, 2014.  
(<https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/og/og-00045.htm>, erişim tarihi: 01.11.2020).
9. <https://cai2r.net/research/simulation-gradient-magnetic-fields>, erişim tarihi: 01.11.2020.