

**Mobil Telefonlar ve Baz İstasyonları
Tarafından Yayılan Mikrodalga Sinyallerin
İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri**

Doç. Dr. Hasan A. AMCA

Doğu Akdeniz Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Magosa – Kıbrıs
Tel: +90 392 630-1301, +90 392 630-1438
Fax: +90 392 365 0240
Email: amca@ee.emu.edu.tr

Haziran 1999

ÖZET

Bu raporda mobil haberleşme cihazları ve baz istasyonlarından kaynaklanan mikrodalga sinyallerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri incelenmiş ve mümkün oldukça bu etkileri en aza indirgeyecek çareler üzerinde durulmuştur. Burada esas olarak sağlık açısından potansiyel tehdit unsuru olan güçlü mikrodalga sinyalleri olduğundan, ilk önlemlerin mobil sistem operatörleri tarafından alınması ve hem mobil cihazların hem de baz istasyonlarının mümkün olan en düşük güç seviyelerinde çalışabilmesi için baz istasyonu yerleşkesinin ne kadar önemli olduğu üzerinde durulmuştur.

Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) raporlarında mikrodalga sinyallerinin insan sağlığını etkilemeye başladığı sınırlar yayınlanmış. Bu sınırların geçerliliği her ne kadar tartışma konusu olsa da halen en geçerli resmi dayanaktır. Bu sınırlarına göre mobil telefonların sağlık sorunları yaratmaması için asgari düzeyde güçle çalıştırılmaları tercih edilir. Baz istasyonlarının azami güçle çalışmaları halinde bile bugün bilinen herhangi bir tehlike arz etmedikleri iddia edilmektedir.

1. GİRİŞ

Son günlerde dünyanın diğer ülkelerinde olduğu gibi KKTC’de de mobil haberleşme cihazları ve baz istasyonlarından kaynaklanan mikrodalga sinyallerinin sağlık üzerindeki etkileri kamuoyunun olduğu kadar araştırmacıların büyük da ilgisini çekmektedir. Değişik kaynaklardan elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi mikrodalga sinyallerinin insanlar üzerindeki biyolojik etkileri konusunda henüz kesin hiç bir sonuç yoktur. Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) raporlarında mikrodalga sinyallerinin insan sağlığını etkilemeye başladığı limitler yayınlanmış; ama bu limitlerin kat kat aşıldığı ortamlarda yapılan deneylerde bile ICNIRP tarafından oluşması beklenen kötü sonuçlar oluşmamıştır. Buna sebep olarak da sözkonusu etkilerin sadece kısa dönemde incelendiği ve herhangi kesin bir sonuca varabilmek için kısa dönemli deneylerden elde edilen sonuçların uzun dönemli deneylerden elde edilen sonuçlarla desteklenmesi gösterilmiştir.

Bundan 40 yıl kadar önce sigaranın zararları incelenmeye başlandığında yine kısa dönemli araştırmalar yapılmış ve sigaranın sağlığa kesinlikle hiçbir zararı olmadığını iddia eden sonuçlar en ciddi yayın organları tarafından memnuniyetle yayınlanmıştı. Halbuki 40 yıl boyunca devam eden deneyler ve statistiksel çalışmalar sonunda aslında sigaranın çok ciddi rahatsızlıklarla sonuçlanan birçok hastalığın sorumlusu olduğunu ortaya koymuştur. Birçok bilim adamı sigaranın ve mobil haberleşme sistemlerinin insan sağlığına olan etkileri arasında büyük bir benzerlik olduğunu iddia ediyorlar.

Son günlerde özellikle Avrupa mahkemelerine sık sık mobil telefonundan yayılan elektromanyetik dalgalardan dolayı ciddi rahatsızlıklar duyduğunu iddia eden kişiler tarafından açılan davalar gelmeye başlamış. Tabii ki araştırma sonuçları henüz mobil telefonundan yayılan elektromanyetik dalgaların herhangi bir rahatsızlığa sebep olacağını ispatlayacak kadar net olmadığı için tüm bu davalar askıya alınmış halde somut delillerin ortaya çıkmasını bekliyorlar.

Mikrodalga sinyallerinin biyolojik etkileri 4 ayrı alanda incelenebilir. 1) soğurma, 2) sinir sistemi üzerindeki etkiler, 3) voltaj-tetiklemeli hücre zarı kanalları üzerindeki etkiler ve 4) moleküler düzeydeki etkileri. Aşağıdaki metinde tüm be etkiler, ilgili çalışmalara da atfedilerek, teker teker incelenmiş ve mümkün oldukça bu etkileri azami düzeye indirgeyecek çareler tavsiye edilmiştir.

2. MOBİL TELEFONLAR VE BAZ İSTASYONLARI TARAFINDAN YAYILAN MİKRODALGA SİNYALLERİNİN ETKİLERİ

2.1 Biyolojik etkiler

Biyolojik etkiler sadece yüzeydeki güç yoğunluğuna değil, aynı zamanda vücudumuz içerisindeki elektrik alanına da bağlıdır. Sıcaklığa bağlı etkiler (SBE), Berlinli Soğurma Oranının¹ (BSO) uzaysal dağılımına bağlıdır. Tabii ki şu soru çok önemli: Sıcaklığa bağlı etkilerin dışında başka etkiler var mı? Bu yeni bir soru değil. Bazı otoriteler EVET bazı otoriteler HAYIR diyorlar. Bazıları ise sıcaklığa bağlı etkilerin dışındaki etkilerin de aslında mikro-düzerydeki sıcaklığa bağlı etkiler olduğunu söylüyorlar.

2.1.1 Soğurma

BSO değerinin biyolojik etkileri W/kg cinsinden incelenir. Şöyleki: 1 W/kg BSO, insan vücudunun sıcaklığını 1°C yükseltir. Bu sadece SBE ele alındığında geçerlidir. Güç yoğunluğunun 100 mW/cm² ve frekansın 1 GH olduğu durumlarda Katarak gibi sonuçlar gözlemlenmiştir. BSO=2.6 W/kg olduğu durumda, 2.4GHz frekansta maymunlar üzerinde Kornea tahribatı gözlemlenmiştir. Bazı tıbbi ilaçların uygulanmasıyla bu etkinin 0.26-0.5 W/kg'da da ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. BSO=4 W/kg, $f=1.25-2.45$ GHz olduğu durumda pulse dalgası kullanıldığında retina tahribatı gözlemlenmiştir. BSO=15W/kg'ın kusurlu-şekillenmeyle (malformations) sonuçlandığı ve vücut sıcaklığının 5°C yükselttiği gözlemlenmiştir [1]. Tabii ki en hassas ölçme, davranışların incelenmesiyle yapılır. Araştırmalar darbeli ışınımın devamlı dalga'lardan daha etkili olduğunu göstermiştir, ki GSM telefonları darbeli ışınımın yayarlar. GSM için, telefonun anteni ile insan başının elektromanyetik olarak etkileşimi de çok önemli bir konudur. Bu konuya ilişkin sonuç olarak:

- Hala bir takım belirsizlikler mevcut
- Isıya dayalı biyolojik etkilerin incelenmesi sonucu bir veri-tabanı oluşturulmuştur
- Gelişmiş ülkelerin tümünde korunma standartları yayınlanmıştır. Tüm bu standartların zaman içinde biri birine yaklaştığı gözlemlenmiştir

Bu konuya açıklık getirebilmek için ileriye dönük devam eden araştırmalar şöyle sıralanabilir

- Vücut-ortalamasına ve yerel BSO'na göre tehlike sınırı (W/kg) belirlenmesi
- Güvenilir değerlendirme yapabilmek için methodların geliştirilmesi
- Hayvanlar üzerinde uzun dönemli çalışmalar
- İnsanlar üzerindeki çalışmalar
- Kansere ilişkin çalışmalar
- Salgın hastalıklarla ilişkisinin incelenmesi
- Yeni teknolojiler

¹ BSO mobil telefonların yaydığı enerjinin insan vücudu tarafından soğurulma miktarı ölçüsüdür.

2.1.2. Sinir Sistemi Üzerindeki Etkileri

Bu konu büyük zıtlıklar içeren bir konu olduğundan bilim adamlarının hemfikir olduğu methodolojik bir yaklaşım yoktur. Var olan veri-tabanı en iyi değerlendirme methodunu belirlemek için yeterli değil. Elde edilen sonuçlara göre:

- Radyasyon tiplerinin devamlı–dalga, genlik-modulasyonu, pals dalgası ve palse modulasyonlu dalga tiplerinin etkileri arasındaki fark henüz bilinmiyor
- Farklı deneysel düzenekler arasındaki fark henüz bilinmiyor
- Herhangi bir etkinin olup-olmadığını tam olarak henüz bilinmiyor
- Var olduğu düşünülen etkilerin sınıflandırılması henüz mümkün değil
- Bu sebeplerden dolayı sonuca varmak mümkün değil

Mikrodalga sendromu uzun yıllardan beri bilinen bir olaydır, özellikle insan sağlığının en önemli faktör olmadığı doğu Avrupa’da yakın geçmişte rapor edilen bazı önemli etkiler gözlemlenmiştir. Örneğin; baş ağrıları, terleme, duygusal dengesizlik, kaşıntı, yorgunluk, uyuklama, cinsel problemler, hafıza kaybı, konsantre olma ve karar verme zorlukları, uyuyamama zorlukları, depresive hypocondriac olma kolaylığı, v.s. [1].

Elektromanyetik dalgaların insan sağlığı üzerinde etkilerini değerlendirip sonuca varmak aşağıdaki sebeplerden dolayı oldukça zordur.

- Bir kontrol gurubu ve iyice yerleşmiş veri tabanı yok.
- Birçok kronik hastalıklarda EM dalgaların yaptığı etkiyi yapabilir

Konunun açıklık kazanabilmesi için

- Gerçek ışınım ve dalga yayılımı konusunda daha kesin bilgilere sahip olmak, biyolojik-ısınma denklemini kullanarak depo edilen gücün hesaplanmasının ötesine gitmek gerek
- Düşük seviyeli ışınımların daha iyi incelenmesi ve parametrelerin daha iyi kontrol edilmesi gerek

2.1.3. Hücrezari Kanalları

Hücrezari kanallarından geçen ion akı'nın (flux) etkileri son zamanlarda büyük önem kazanmıştır. Bu ion'lar hücre yüzeyine ve hücrenin biyokimyasal yapısına önemli elektromanyetik (EM) mesajlar aktarmaktadır. Evrim teorisine kalsiyum elementinin etkisi; potasyum, sodyum, magnezyum ve diğer elementlerde daha yararlı olmuştur. Bunun sebebi, muhtemelen kalsiyum'un hücrezari proteinleriyle ve çözücü proteinlerle daha iyi bağlar kurabilmesidir. İyonlar, konsantrasyon bayırı (consantration gradient) boyunca hücrezari'ni geçmek için belli kanalları kullanırlar. Bu kanallar voltaj-tetiklemeli olup normalde kapalıdır ve bazı potansiyellerin etkisi altında açılabilirler. Bilgisayar benzetim çalışmaları, bu kanalların mobil telefon sinyallerinden büyük oranda etkilendiğini göstermiştir. Aynı zamanda darbeleri sinyallerin kanallar üzerindeki etkisinin devamlı-dalga sinyallerinden daha büyük olduğu da rapor edilmiştir.

2.1.4. Moleküler Seviyedeki Etkiler

GSM sinyallerinden dolayı Moleküler Seviyede herhangi bir etkinin görüldüğü rapor edilmemiştir.

2.1.5. Kulak, Göz, Kalp

Mikrodalga sinyallerinin kulak, göz ve kalbi etkilediğine dair belirtiler vardır. EM enterferans etkilerinin 10 cm mesafeye kadar olan uzaklıklarda etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Yakın Gelecekte

Çalışmalar, düşük seviyeli radyasyon'ların zaman-frekans etkilerinin, mm-dalga sinyallerinin, ısıya dayalı olan, ısıya dayalı olmayan, mikro-boyutlarda ısıya dayalı etkileşim üzerinde yoğunlaşmıştır.

3. DARBE MODÜLSYONLU ALANIN DEVAMLIDALGA İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu konu mobil haberleşme sistemlerinin sağlıkla ilgileri açısından pek önemli değilmiş gibi görülse de aslında bugünkü tıkanıklığın esas sebeplerinden birisidir. Şöyleki, önceleri mikrodalga sinyallerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri üzerine birçok çalışma yapılmış fakat tüm bu çalışmalarda devamlı dalga sinyalleri kullanılmıştır. Devamlı dalga sinyalleri ile yapılan testlerin mobil telefonlarda kullanılan darbeli dalga sinyalleri için geçerliliğini anlayabilmek için aşağıdaki karşılaştırma yapılmıştır.

3.1 Hücresel ve Molecular biyoloji: Kromosom-Genetik etkiler

Önceleri, RF radyasyonun memelilerde mutasyona sebep olmadığına inanılmıştır. Son zamanlarda yapılan kritik gözdengeçirmeler bu sonucun şüpheli olduğunu ortaya çıkarmıştır [1].

3.1.1 Kinetik veya Fonksiyonel Değişiklikler ve Hücrezarı Etkileri

Bazı bakteriler üzerinde yapılan deneylerde 10 GHz'lük bir frekans kullanılmış. Avarajı 300 W, en yüksek değeri 300 kW olan darbeli dalga kullanılan bu deneylerde, kanalların formasyon hızının düşmüş olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç aslında beklenenin tersiydi ve deneyi yapan ekip bu sonucun ısıya dayalı olmayan bir etki olduğunu söylediler.

3.1.2 Kanserojen Etki (carcinogenesis)

Radyofrekansı alanında çalışan işçiler arasındaki genel inanışa göre RF sinyalleri kansere sebep olmaz. Buna delil olarak da sözkonusu durumda incelenen fotonların düşük enerji içermesi ve bu enerjilerin genomik hasar yapamayacağı gösterilmiştir. Buna rağmen bazı bilim adamları bunun tam tersini savunuyorlar. Tabii ki, en azından prensipte, RF dalgalarının neoplastik¹ değişikliklere sebep olduğu da kabul ediliyor.

¹ neoplastik: Vücutta hiç bir amacı olmayan etlerin büyümesi olayı.

3.1.3. Diğer Etkiler

- a) Bio-kimyasal Değişiklikler: Serum-glikoz, kan, üre-azotu, ve ürik asit seviyelerinde, 2.45 GHz' frekansda 2 saat süren deneylerde doza bağlı geçici bir yükselme olduğu gözlemlenmiştir. Burda tavşanlara 50, 100 ve 250 W/m² şiddetinde devamlı ve darbe-dalgalı enerji verilmiş [1].
- b) Doğurma büyüme ve gelişme: Fareler üzerinde yapılan deneylerde konvansiyonel ısıtma ve darbeleri modülasyon dalgaları kullanılarak, 1.3GHz, 1µs genişliğinde darbe dalga, 600 darbe/saniye'de, 4.2 ve 7.7 W/kg olarak 90 dakika boyunca uygulanmış ve sperm üretiminde hafif bir düşmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir. BSO'nın ancak 7.7 W/kg'ın üzerinde bir etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Konvansiyonel ısıtmanın ise 39°C'nin üzerinde, 60 dakikadan fazla kalındığı zaman etkili olduğu görülmüş. İki durumda da esas sebebin ısınma olduğuna karar verilmiş.
- c) Sinir Sistemi üzerindeki Etkileri: Darbeleri dalganın devamlı dalgadan daha etkili olduğu görülmüştür.

3.1.4. Pencere Etkisi

Bu olay hücrelerin büyümesiyle sıcaklığın ilişkisini gösteren, uzun yıllardan beri bilinen bir olaydır. Frekans ve genlik pencerelerinin genetik, bağışıklık, hematolojik ve sinir sistemi üzerindeki çeşitli biyolojik etkileri gözlemlenmiştir. Örneğin, milimetre dalga boyunda ve yüksek güç yoğunluğunda, pencere etkisinin memelilerde protein sentezi üzerinde etkisi olduğu 48-65 GHz de gözlemlenmiştir. BSO'nın 3.5 kW/m² 'den düşük olduğu durumda herhangi bir etki görülmemiştir. Milimetre dalga boyunda radyasyon, E. Coli bakterilerinin üzerindeki X-ray tahribatının iyileştirilmesini engellemiştir. Burada 41.25-41.50GHz ve 51.2-51.84GHz frekansları kullanılmıştır.

4. AVRUPA BİRLİĞİNDE KULLANILAN TAVSİYE VE KURALLAR

Ocak 1995'de Avrupa Elektroteknik Standartlar Komitesi (AESK) tarafından bir ön-standard onaylanmıştır. Bu standard 10kHz-300GHz arasındaki frekansların insanlar üzerindeki etkisini kapsıyor. Bu ön-standardlarda iki tane sınır konmuş

- Esas sınırlama : Her zaman uyulmalı.
- Referans seviyeler : Bu seviyeler, esas sınırlamalar aşılmadığı takdirde aşılabılır.

1997'de aynı komite Mobil telefonların (30MHz-6GHz arasındaki frekanslarda) insan sağlığına etkilerini yayınlamış. Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP), 1996'da Mobil telefon ve baz istasyonlarının sağlığa etkisiyle ilgili bilgiler yayınlamış. Burda sonuç 8 madde ile özetlenmiş.

1. Yayınlanmış epidemiological çalışma sonuçları sağlığa zararların belirlenmesi için bir temel oluşturamaz.
2. Kansere ilişkin laboratuvar çalışması verileri, etki sınırları hakkında bir temel oluşturamaz. INIRIC' in tavsiye ettiği sınırlarda veya altında iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkisinde kalan

insanlar *üzerinde* ters sağlık problemi, kanser de dahil, olacağına dair herhangi bir tatmin edici delil yoktur.

3. GSM ile ilgili frekans ve güçlerde şok veya yanık tehlikesi yoktur.
4. Cep telefonlarına ilişkin kafadaki yerel BSO her frekans ve düzenek için belirlenmeli.
5. Çeşitli çalışma alanları ve aktiviteler için belirli değerler tavsiye edildi.
6. Halk için belirli değerler tavsiye edildi.
7. Bazı alanlarda cep telefonu kullanımına sınırlar getirilmiş. Örneğin, hastanelerin acil servisleri.

4.1. ICNIRP Kuralları

Bu kurallar 100kHz–300GHz frekansları arasındaki radyofrekansında electromanyetik alan şiddetinin sağlıkla ilgili sınırlarını içerir ve iki tablo halinde verilir. Tablo-1’de Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) tarafından 1988 yılında yayınlanan 100kHz–300GHz frekansları arasındaki radyofrekansında electromanyetik alan şiddetinin sağlığa zararlı olmaya başladığı sınırlar verilmiştir [2]. Tablo-2’de ICNIRP tarafından 1988 yılında yayınlanan 100kHz–300GHz frekansları arasındaki radyofrekansında electromanyetik alan şiddetinin sağlığa zararlı olmaya başladığı sınırlar verilmiştir [2].

Tablo-1. Radyofrekansında electromanyetik alan şiddetinde çalışanlar için sınırlar

Frequency f (MHz)	Unperturbed RMS alan gücü		Eşdeğer plane dalga güç yoğunluğu	
	Elektrik E (V/m)	Magnetik H (A/m)	P_{eq} (W/m^2)	P_{eq} (mW/cm^2)
0.1-1	614	1.6/ f	-	-
>1-10	614/ f	1.6/ f	-	-
>10-400	61	0.16	1	1
>400-2,000	$3\sqrt{f}$	$0.008 \sqrt{f}$	$F/40$	$F/400$
>2,000-300,000	137	0.36	50	5

Tablo-2. Genel toplum fertleri için sınırlar

Frequency f (MHz)	Unperturbed RMS alan gücü		Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu		Verici gücü /etki alanı P_v/A (W/m^2)	Yorum
	Elektrik E (V/m)	Magnetik H (A/m)	P_{eq} (W/m^2)	P_{eq} (mW/cm^2)		
0.1-1	87	$0.23\sqrt{f}$	-	-	-	
>1-10	$87/f$	$0.23\sqrt{f}$	-	-	-	
>10-400	$27/5$	0.073	2	0.2	-	
>400-2,000	$1/375\sqrt{f}$	$0.0037 \sqrt{f}$	$f/200 \approx 4.5$	$f/2,000$	0.127 (Bİ) 177 (Mİ)	Sağlıklı Sağlıksız
>2,000-300,000	61	0.16	10	1		

4.2. Etkilenilen Alan Şiddetinin Hesaplanması

4.2.1. Monopol antenler için yakın alan kısaltması

Yakın alan kısaltması etki alanının antenden en az $r_r > h^2/2\lambda$ olduğu zaman kullanılır. Burada h antenin uzunluğunu ve λ ise dalga boyunu temsil ediyor. GSM frekanslarında dalga boyu $\lambda = c/f = 300000000(m/s)/900000000(1/s) = 33.33cm$ 'dir. Anten boyu ise yaklaşık 5cm'dir. Yani antenden $h/\lambda_0=25/66.66=0.37cm$ veya daha uzakta olan alanlar uzak alan, diğerleri ise yakın alan sayılır.

4.2.2. Mobil İstasyonlarından Gelen Elektromanyetik Alan Hesaplaması

Monopol antenler için yakın alanda elde edilen güç aşağıdaki gibi hesaplanabilir [4]:

$$E_r = -j \frac{I h_\lambda Z_0 \cos \theta}{2\pi^2 \lambda r_\lambda^3} \quad (1)$$

ve

$$E_\theta = -j \frac{I h_\lambda Z_0 \sin \theta}{2\pi^2 \lambda r_\lambda^3} \quad (2)$$

burada

$I =$ antenin besleme noktasındaki akım=250mA

$Z_0 = 377\Omega$

$h_\lambda =$ antenin elektriksel uzunluğu ($h/\lambda_0 = 0.37cm$)

$r_\lambda =$ antenin besleme noktasından hedefe olan uzaklık=1mm

$\lambda_0 =$ uzaydaki dalga boyu=0.33m

Sonuç olarak elde edilen alan şiddeti (1) ve (2)'den yararlanılarak hesaplanabilir. Buna göre, tüm alanın aynı polarizasyonda geldiğini varsayarsak:

$$E_r = -j \frac{I h_\lambda Z_0 \cos \theta}{2\pi^2 \lambda r_\lambda^3} = \frac{0.250 \times 0.0037 \times 377}{2\pi^2 \times 0.33 \times 0.001} = 53.54V/m \quad (3)$$

olarak hesaplanabilir. Tablo 2'de verilen sınırlara baktığımızda GSM telefonları için tehlike sınırı $1.375 \times \sqrt{900} = 41.25 V/m$ olduğu görülüyor. Bu da bizim yukarıda hesapladığımız değerden daha yüksek olduğu için tehlike sınırının aşıldığı anlamına gelir.

Tablo 2'deki diğer bir karşılaştırma ise eşdeğer güç cinsindedir (W/m^2). GSM telefonlarının maximum yayabileceği güç 2W'dır. Buna göre, insan kafasının kesit alanını hesaplayarak, yarıçapının $r=12cm$ alındığı durumda, kesit alanı da $A = \pi r^2 = 3.1415926 \times 0.12 \times 0.12 = 0.04524m^2$ olur. Böylece, $0.5A^2/\lambda = 0.5 \times 0.04524^2 / 0.33 = 0.0031m^2$ 'den [4] daha yakın mesafelerde elde edilen Güç yoğunluğu da reflektör antenler için

$$S_m = 4P/A \quad (4)$$

Olarak bulunur. Değerlerin (4)'e yerleştirilmesi ile $S_m=4 \times 2 / 0.04524 = 177 \text{ W/m}^2$ olarak bulunur. Tablod 2'de verilen limit ise $f/200=900/200=4.5 \text{ W/m}^2$. Yani maximum limit yine aşılmış oluyor.

4.2.3. Baz İstasyonlarından Gelen Elektromanyetik Alan Hesaplaması

Baz istasyonlarının oldukça yüksek olmaları sağlık yönünden çok büyük bir avantajdır. Bunun sebebi de radyo dalgalarının uzaklığın karesiyle ters orantılı bir şekilde zayıflamasıdır. Yani, 20W'lık güç yayan bir baz istasyonunun gücü baz istasyonunun altında (ki bu mesafe 30m gibidir [9]) 900 kere zayıflar ve sadece $20/900=0.022 \text{ W}$ veya 22mW kalır. Denklem (4)'deki güç hesaplaması baz istasyonu için tekrarlırsak $S_b=4P/A=(4 \times 20/900)/0.7 \text{ W/m}^2=0.127 \text{ W/m}^2$ olduğu görülür ki bu da Tablo 2'de verilen sınırların altında olduğu için tehlike arz etmez.

Tabii unutulmamalıdır ki Kısım 4.2.2. ve 4.2.3'teki sonuçlar Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi tarafından getirilen sınırlara göre değerlendirilmiştir. Gerçek yaşamda bu sınırlar aşıldığı taktirde illa ki insan sağlığına bir zarar verilecektir diye söylemek mümkün değildir. Bu konuyu daha iyi açıklayabilmek için, birlikte kısım 5'teki labaratuvar çalışmalarını inceleyelim.

4.2.4. Mobil Haberleşme Sistemlerinde Güç Kontrolü

Mobil haberleşme sistemleri hem enerji tüketimini minimuma indirmek hem de aynı sistem içerisinde çalışan diğer cihazlara yaptığı bozucu etkiyi minimum indirmek için sürekli bir şekilde yayın güçlerini kontrol ediyorlar. Mobil cihaz başlangıçta 20mW'lık bir güç ile haberleşmeye başlıyor ve gücü yetmediği müddetçe gücünü sürekli olarak 2,000mW'a kadar artırıyor. Gücünün yetmesi için çok iyi bir baz istasyonu planlaması yapılması gerekiyor ki her mobil cihaz her an için en az bir baz istasyonu ile iyi bir haberleşme hattına sahip olsun. Yeterince sayıda ve kalitede baz istasyonu olmadığı taktirde tüm mobil cihazlar tam güç ile çalışacaklar (2W), böylece sağlığa olabilecek muhtemel zararları da en yüksek düzeye çıkacak.

Kısım 4.2.2'de hesaplanan mobil telefondan kaynaklanan elektromanyetik güç hesaplamasından görülüyor ki mobil telefonlar maximum güç ile çalıştığı zaman ICNIRP tarafından öngörülen limitlerin üzerine çıkılıyor. Halbuki performansı yüksek bir sistem tasarımıyla mobil telefonun kullanması gereken güç sınırını 20mW'a indirdiğimiz zaman S_m 'nin 177 W/m^2 'den 1.77 W/m^2 'ye indirileceğini ve böylece ICNIRP tarafından öngörülen limitlerin altında çalışılacağı görülüyor.

5. BAZI ÖNEMLİ GÜNCEL YAYINLARIN ÖZETLERİ

Şikago'daki İllinois üniversitesinin Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimi bölümü öğretim görevlisi Dr. James C. Lin tarafından yayınlanan makalede mobil telefonların biyolojik etkileri incelenmiş ve özet olarak şu sonuçlara yer verilmiş [6].

- Mevcut veriler, kısa bir süre düşük seviyeli RF ve mikrodalga radyasyonun etkisi altında kalmanın insan sağlığı için ciddi bir tehlike arz etmediğini gösteriyor.
- mobil telefonların biyolojik etkilerinin uzun dönemde birikmesi halinde ciddi bir tehlike arz edebilmesi olasılığı ise henüz bilinmiyor
- Bu etkilerin daha iyi anlaşılabilmesi için RF/mikrodalga radyasyon ile insanların biyolojik sistemi arasındaki etkinin daha iyi anlaşılması gerekiyor

İsveç'in Lund Üniversitesinden Bertil R. R. Persson ve ekibinin araştırmaları da aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Devamlı Dalga (radyo ve TV yayınları) ve Darbeli Dalga (mobil telefon) sinyallerinin farelerin kan ve beyin üzerindeki etkisi birbirlerinden çok farklıdır. Bu da aslında bugüne kadar devamlı dalga sinyalleri ile yapılan araştırmaların, darbeli dalga kullanan mobil telefonların zararları konusunda pek yardımcı olamayacağı anlamına gelir [7].
- Aynı ekip diğer bir yayınlarında ise mobil telefonların etkisiyle fareler üzerinde beyin tümörü gelişmesi konusunu incelemişler ve řu sonuçlara varmışlar [8]:
- Denek Fischer farelerinin beyinlerine RG2 ve N32 Glioma (tümör) hücreleri enjekte edilmiş ve 3 hafta boyunca, her hafta 5 gün, her gün 7 saat süreyle 915MHz'de 2 Watt'lık elektromanyetik dalganın etkisi altında bırakılmışlar. Deney sonucunda elektromanyetik dalganın etkisi altında bırakılan ve elektromanyetik dalganın etkisi altında bırakılmayan farelerdeki tümör büyümesinde hiçbir fark görülmemiş. Buradan yola çıkılarak mobil telefonlar tarafından yayılan elektromanyetik dalgaların zararlı olmadığı sonuuna varılabilir.

Tüm bu olumsuz etkilerin yanında mobil telefonlardan yayılan elektromanyetik dalgaların insan sağlığı üzerinde olumlu etkileri olduğunu iddia eden bilim adamları da var. Bunlardan birisi olan İngiltere'de Medical Physics Research Centre'den Dr. Alan Preece, birçok gönüllüyü darbeli mikrodalga sinyallerinin etkisi altına almış ve reaksiyon zamanlarını ölçmüş.

- Mikrodalga sinyallerin etkisi altında olan deneklerin mikrodalga sinyallerin etkisi altında olmayanlara göre ortalama reaksiyon zamanlarında 14 ms düşüş olduğunu gözlemlemiş [10].

Bir başka ilginç çalışma ise İsveç'te [11] National Institute for Working Life organizasyonundan araştırmacı Kjell Hansson tarafından yapılmış. Bu deneyde 1200 İsveçli ve 500 Norveçli mobil telefon kullanıcısı mercak altına alınmış. Buradaki esas konu daha sık mobil telefon kullanan kişilerin daha çok baş ağrısından şikayet etmeleri idi.

- Deneklerden elde edilen sonuçlara göre karşılaşılan rahatsızlıkların başında, kulak çevresinde ve içinde ısınma hissi, baş ağrısı, yorgunluk ve yüz derisinde yanma hissi olarak rapor edilmiş.
- Norveç'te günde 2 dakikadan az mobil telefon kullanan kişilere oranla, 2-15 dakika kullananlarda 2 kat daha fazla baş ağrısına, 15-60 dakika kullananlarda 3 kat daha fazla baş ağrısına ve 60 dakikadan fazla kullananlarda 6 kat daha fazla baş ağrısına rastlanmıştır. İsveçliler üzerinde yapılan incelemelerde de benzer sonuçlar ortaya çıkmış.

Norveç'te ciddi bir gazete olan Dagbladet'te 13 Ağustos 1988'de yayınlanan diğer bir araştırmada mobil telefonların BSO'ları incelenmiş ve en iyiden en kötüye doğru bir sıralama yapılmış. Buna göre Nokia 2110 en kötü, daha sonra Motorola 8200, Ericsson 337 vs şeklinde sıralanmış. GlobalHandy şirketinin sahibi Hagenuk aynı yazıda kendi ürünlerinin radyasyonu kafadan uzaklaştırdığı için en iyi sağlıl-performans ilişkisinin GlobalHandy telefonlarında olduğunu ortaya atmış. Burada bizim açımızdan önemli olan řu "*radyasyonu kafadan uzaklaştırdığı için*" ibaresidir ki birçok ünlü firma bu konuda çok yoğun araştırmalar yaptıklarını önceden açıklamışlardı.

- Bilindiğı gibi yasa gereğı mobil telefonların BSO 2W/kg'ın altında olması gerekiyor. Bugün piyasadaki tüm mobil telefonların BSO'ı 0.28-1.33W W/kg arasındadır.

6. SONUÇ

ICNIRP tarafından verilen tehlike başlangıç sınırları dikkate alınarak yapılan hesaplamalara göre GSM telefonlarından dağılan elektromanyetik enerji insan sağlığı açısından bir tehlike kaynağı olabilir. Bunun ıspatı uzun zaman süren testler sonucu ve gerçek hayattan alına örneklerle yapılabileceğinden dolayı henüz mümkün değildir.

Baz istasyonlarından kaynaklanan tehlike olasılığı ise GSM telefonlarındakinden çok daha düşüktür. Bunun sebebi ise baz istasyonlarının oldukça yüksek oluşu ve elektromanyetik dalgaların mesafenin karesiyle ters orantılı olarak zayıflamasıdır. Hal böyle iken, sağlık otoriteleri yine de hastahanelere, okullara ve halkın yoğun olduğu çocuk parkları gibi yerlere baz istasyonu kurulmaması konusunda her ihtimale karşı uyarı yapıyorlar. Buradaki esas sebep GSM telefonları ve baz istasyonlarından dolayı oluşabilecek bilinmeyen potansiyel etkileri nispeten azaltmaktır.

Mobil cihazlardan dolayı insan sağlığına gelebilecek muhtemel bir tehlikeyi minimum indirebilmek için mümkün olduğu kadar çok sayıda baz istasyonu kurulması gerekiyor ki Mobil cihazlar her zaman kapsama alanı içerisinde olsunlar ve minimum güç ile haberleşme şansları olsun. KKTC’de bu günlerde TELSİM ve TÜRKCELL tarafından kurulmasına devam edilen baz istasyonlarının buldukları yerler ve kullanacakları frekansların seçimi de bu sebepten dolayı çok büyük önem taşımaktadır. Şöyleki, TÜRKCELL’in kuracağı baz istasyonlarının bulunduğu yer ile TELSİM’in kuracağı baz istasyonlarının bulunduğu yer arasında yaklaşık 15 km’lik bir mesafe olduğu takdirde her kurulacak olan baz istasyonu kapsama alanının genişletilmesine katkıda bulunacak, kapsama alanının genişletilmesi de sonuçta mobil cihazların ve baz istasyonlarının daha düşük güçlerde çalışmasını sağlayacak. Bu da daha sağlıklı bir sistem demek olacak.

Tüm bu detaylardan çıkarılabilecek bir başka sonuç ise, potansiyel bir teklikenin her zaman var olduğunu ve ileriye dönük çalışmalarda böyle bir olasılığın hep akılda tutulması gerektiğidir. Şimdiye kadar mobil telefon kullanımından dolayı herhangi bir uçağın düşmüş olmamasına rağmen uçaklarda mobil telefon kullanımının yasaklanması buna çok iyi bir örnektir.

Sağlıkla ilgili problemleri de dikkate alarak yapılan iyi bir baz istasyonu yerleşke planı ve teknik özellikleri açısından standartlara uygun baz istasyonları kullanıldığı zaman *potansiyel* tehlikelerin azaltılabileceği her zaman üzerinde hassasiyetle durulan bir konudur. Performansı yüksek bir mobil haberleşme sistemi tasarımıyla mobil telefonun kullanması gereken güç sınırını 20mW’a indirdiğimiz zaman mobil telefonun’dan kaynaklanan elektromanyetik dalga gücünü 177W/m^2 ’den 1.77 W/m^2 ’ye indirileceği ve böylece ICNIRP tarafından öngörülen limitlerin altında çalışılacağı görülüyor. Buna ek olarak faydalı olabilecek diğer bazı önlemler şöyle sıralanabilir:

- mobil telefonu kulağımıza dayayarak konuşmak yerine kulaklık kullanarak en azından beynimizden uzakta tutulmasını sağlamak.
- mümkün olduğu kadar sabit ev telefonlarının esas haberleşme ortamı olduğunu hatırlamak ve mobil telefonların kullanımını minimuma indirmek.

KAYNAKLAR

- [1] A. V. Vorst & F. Duhamel, “Mobile Telephony: Recommendations vs. Biology,” *International Conference on Communications - ICC’98*, Greece, June 1998.
- [2] “Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz,” *Health Physics*, Vol.54, No.1, pp.115-123, 1998.
- [3] P. Excell, “Electromagnetic Compatibility: High Frequency Aspects”, *The Appleton Centre, University of Bradford*, 1994.
- [4] “IEEE Recommended practice for the measurement of potentially hazardous electromagnetic fields- RF and microwave.” IEEE Std. C93.3-1991, Published by the IEEE Inc. 345 East 47th Street, New York, NY10017-2394, USA, pp.86.
- [5] D. H. Shinn, “Avoidance of radiation hazards from microwave antennas”, *The Marconi Review*, Vol.39, pp.61-80, 1976.
- [6] James C. Lin, “Biological aspects of mobile communication fields”, *Wireless Networks* 3 (1997) 439-453.
- [7] Bertil R. R. Persson, Leif G. Salford ve Arne Brun, “Blood-Brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication”, *Wireless Networks* 3 (1997) 455-461.
- [8] Leif G. Salford, Arne Brun ve Bertil R. R. Persson, “Brain tumour development in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless cellular communication”, *Wireless Networks* 3 (1997) 463-469.
- [9] V. K. Garg and J. E. Wilkes, “*Principles and Applications of GSM*”, Prentice Hall, 1999.
- [10] Alan Preece, “Mobile phones can make the brain work faster”, *International Journal of Radiation Biology*, Vol.75, pp.447-456, 1999.
- [11] Kjell Hansson, “More calls mean more headaches in Scandinavian cell phone”, *National Institute for Working Life*, Research Report, 1999.