

## ÇEVREYE YAYILAN 30,000 MHZ'e KADAR OLAN ELEKTROMAGNETİK DALGALARIN CANLILAR ÜZERİNE ETKİLERİ

Kemal Özmehmet\*

Aker Akyokuş\*\*

Elektromagnetik (e.m.) dalgalar doğada çok geniş bir frekans spektrumuna dağılmaktadır. Elektrik enerjisi üretim ve iletim sistemleri, telekomünikasyon sistemleri, radyo ve televizyon vericileri, radarlar, tıbbi aygıtlar, endüstriyel aygıtlar ve doğa olaylarından çevremize e.m. dalgaları yayılmaktadır. Bu dalgaları üreten düzenlerin güngeçtikçe daha çok kullanılması ve güçlerinin artması nedeniyle çevreye daha yüksek dozda dağılmaktadır. Buda bir çeşit çevre kirlenmesine neden olmaktadır.

Canlılar grubunu oluşturan bitkiler, hayvanlar ve insanlar bu dalgalardan çeşitli şekillerde etkilenmektedir. Burada e.m. dalgaların hayvanlara ve insanlara etkileri üzerinde duracağız.

İnsan ve hayvan vücudu dıştan içe doğru değişik tabakalardan oluşur. Bu tabakaların herbirinin ayrı su tutma özellikleri vardır. Böyle bir canlıya çarpan e.m. dalgaların bir kısmı yansiyacak ve bir kısımda canlı tarafından soğurulacaktır. Canlı birim hacminde soğurulan güç,

$$P_c = \Omega |E|^2 / 2$$

dir. Burada  $E$  = ilerleyen dalganın o bölgedeki elektrik alan şiddeti,  $\Omega$  = ilgililenen bölgenin etkin iletkenliğidir.  $\Omega$  normal iletkenlikle birlikte dielektrik kayıplarını içermektedir.

Bilindiği gibi güç soğurulan ortamlarda ısı yükselmesi olmaktadır. Ayrıca vücut yapı taşlarını oluşturan hücrelerde elektrik alanından dolayı gerilim farkları ve akımlar oluşmakta ve bunlar canlı çalışma mekanizmalarını etkileyebilmektedir.

Canlı vücudunu oluşturan tabakaların farklı elektriksel özellikleri vardır. Çizelge I de bu özellikler bir örnekle gösterilmiştir.

\* H.Ü. Elektrik ve Elektronik Müh. Bölümü Doçenti

\*\* A.Ü. Tıp Fakültesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Kliniği Doçenti

Çizelge I : Canlı dokuların elektriksel özellikleri (10)

frekans, MHz	εr		Ö, mho/m		δ, cm	
	H	L	H	L	H	L
27	113	20	11.4	0.6	14	160
915	51	5.6	55/150	1.6	3	18
2450	47	5.5	96/215	2.2	1.7	11
10000	40	4.5	325/550	10	0.35	3.4

H adele ve cilt gibi fazla su içeren dokular

L kemik ve yağ gibi az su içeren dokular

δ e.m. nüfus etme derinliği

Er bağıl dielektrik sabiti

## HESAPLAMALAR

### Canlılarda Güç Soğurulması ve E.M. A'nın Şiddetlerinin Hesaplanması

İlgilendiğimiz canlıların üzerindeki elektrik alan şiddetini vücutlarının belirli noktasında hesaplayabilirsek o noktadaki soğurulan gücü  $P_c = \frac{\sigma |E|^2}{2}$  den hesaplanır. Böylece bölgesel ısınma durumu belirlenebilir. Ek olarak e.m. alanların ısı artış neticesinde ya da ısıya bağımlı olmayan durumlarda canlı hücrede gözlenen fizyolojik değişimlerin nedenleri incelenebilir.

İnceleme geniş bir frekans bandını kapsadığından canlıların vücudunda soğurulan e.m. gücü ve alanları belirli frekans bandlarında hesaplanır. Çözümlemelerin çoğunda canlı vücudunun soğurduğu ortalama güç hesaplanabilir. Bu hesaplamalarda gelen dalganın düzlemsel olduğu kabul edilir ve soğurulan güç için de bir birim tanımlanır.

Soğurulan güç birimi SAR dır. SAR canlının birim ağırlığının soğurduğu güçtür, yani  $SAR = \frac{\text{Soğurulan güç}}{\text{canlı ağırlığı}}$ . Tüm vücut için ortalama SAR ve vücut kısımları içinde bölgesel SAR lar hesaplanır.

### SAR Hesaplama Yöntemleri :

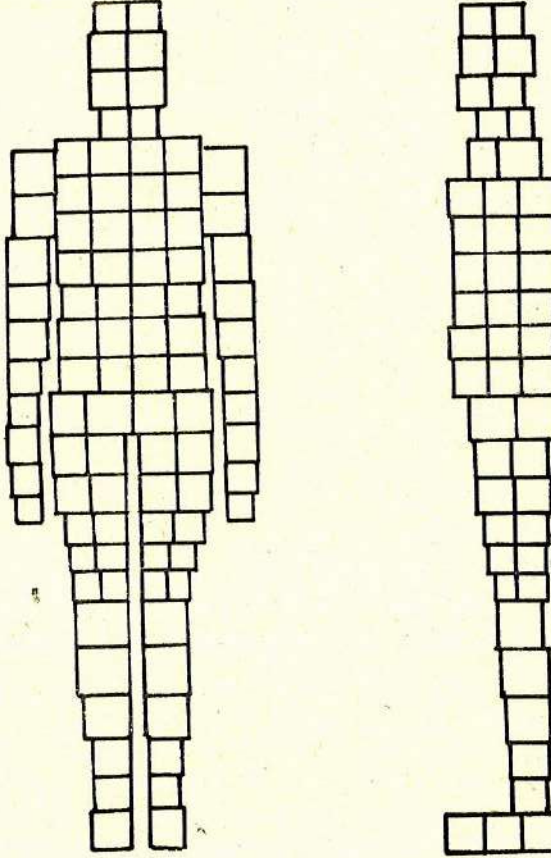
1. Canlı boyutlarının dalga boyundan küçük olduğu durumlarda canlı bir sferoid ya da ellipsoid'e benzetilerek Maxwell denklemlerinin bu şekillere uygulanması ile ortalama SAR hesaplanır. Bu yaklaşımlarda (ekstrimiteler ve baş şekillerde tam olarak belirlenemediği için) bölgesel SAR lar hesaplanamaz.

Bu yöntem canlının rezonans frekansından düşük frekanslar için geçerlidir. Örneğin ortalama bir insan (erkek) da 30 MHz'e, köpekte 50 MHz'e, tavşanda 150 MHz'e ve küçük farelerde 1000 MHz'e kadar uygulanabilir (3), (5).

## 2. Ortalama ve Bölgesel SAR'lar

İki yöntem vardır :

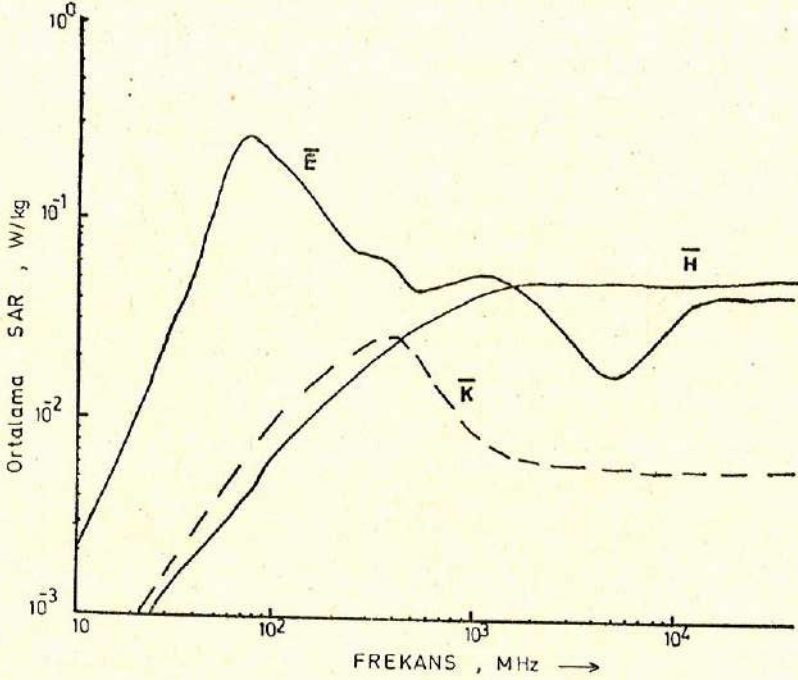
a) 10-600 MHz bandındaki yöntem (2) : Şekil 1 de görüldüğü gibi vücut küp şeklinde bloklara ayrılır. Herblok vücudun o bölgedeki yapısal özelliklerine uygun olarak seçilir. Nümerik yolla her bloktaki elektrik alan şiddeti saptanarak bölgesel ve ortalama SAR'lar hesaplanır.



Şekil 1 : Vücudun bloklarla gösterilişi

b) 400-10000 MHz bandındaki yöntem (6) : Vücudun değişik yapıdaki bölgelerinin yatay silindirik kesitleri alınır. Her silindirin anatomik yapısı farklı dokulardan oluşmaktadır. Buna bağlı olarak her silindir için elektrik alanı ve SAR değerleri ayrı ayrı hesaplanır. Bu bölgesel SAR değerlerinden yararlanılarak ortalama vücut SAR'ı da çıkarılır. Bu yöntemle giysilerinde SAR'lara etkileri belirlenebilir.

3. 10000 MHz ötesinde ve uzak I.R. yaklaştığımızda geometrik optik teknikleri kullanılarak SAR hesaplanır. Bu yaklaşımda gelen dalganın tümü deri tarafından yutulduğu kabul edilir (7).



Şekil 2 : Ortalama SAR değerlerinin frekansla değişimi

Eğriler elektrik alan E, magnetik alan H ve e.m. ilerleme yönü K, doğrultularının vücudun en uzun olduğu yönler için hesaplanmıştır serbest uzayda E,H ve K birbirine diktir (1).

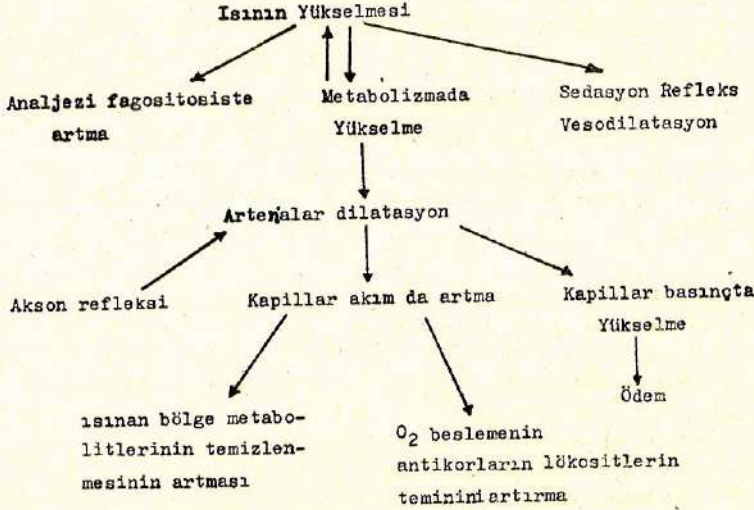
1 den 3'e kadar yapılan hesaplamalarda insan serbest uzayda ve düzlemsel dalga ile aydınlatıldığı varsayılmıştır. Canlıların yakınında bulunan iletken yüzeylerden elektromagnetik dalgaların saçılması vücudun bölgesel ve ortalama SAR'larını etkileyecektir.

Vücut belirli frekanslarda en fazla e.m. dalga soğurma özelliği gösterir. Rezonans frekansları diye bilinen frekansları dalganın geliş yönü, polarizasyonu ve vücut boyutlarına bağlıdır. En yüksek soğurma elektrik alan, E nin insan boyu, L ye paralel olduğu zamandır. Bu durumda rezonans frekansı  $f_r \approx 0.41 C/L$  den hesaplanabilir. Burada C ışık hızıdır (Şekil 2'ye bkz).

### ETKİLER

Bir canlı e.m. enerjisi ile aydınlatıldığında enerji soğurur. Soğurulan enerjinin ısı olan ve ısı olmayan fizyolojik etkileri mevcuttur.

Lokal ısıtmanın fizyolojik etkileri (4) Şekil 3 de gösterilmiştir.



Şekil 3 : Lokal ısıtmanın fizyolojik etkileri

Canlılarda soğurulan e.m. dalganın güç seviyesi düşük olduğunda fizyolojik ısı etkileri görülmeyebilir, fakat ısı olmayan birçok etkileri vardır.

#### Elektromagnetik Dalgaların Canlılarda Frekansa Göre Etkileri

1. 1 MHz den küçük frekanslarda, telekomünikasyon sistemleri, güç üretimi ve iletimi, endüksiyon ısıtıcılar ve radyo yayınları bulunmaktadır. Şekil 2'den de görüleceği gibi rezonans frekanslarından düşük frekanslarda soğurulma çok düşük düzeylerde olduğundan 1 MHz den küçük frekanslarda güç yutması canlı vücudunu etkilemeyeceği varsayılabilir. Burada bahsettiğimiz e.m. dalganın ortama yayılmasıdır, düşük frekanslarda direkt temas tehlikeli olabilir.

2. 1 ile 300 MHz frekansları arası radyo, TV, telekomünikasyon, yönlendirme düzenleri, fizik tedavide uzun dalga ve kısa dalga diatermi cihazları, endüstri plastik kaynak araçları vardır.

İnsan vücudunun en yüksek e.m. soğurma frekansının bu bölgede olmasından dolayı tıpta çok kullanılmaktadır. Biz klinikte bugüne kadar dikkatli kullanıldığında endike olan şahıslarda yan etkilerini görmedik. Literatürde de bu dalgalarda yan etkilerine rastlanamadı.

3. 300 ile 30,000 frekansları arası mikrodalga bandı olarak bilinmektedir. E.m. dalgaların odaklama olanağından yararlanılarak bu bantta pek çok çalışma

yapılmaktadır. Telekomünikasyon, radar, TV, ısıtma, tıpta (radar ya da mikrodalga diaterm icihazları, v.s.) ve güçlü üreteçler kullanılmaktadır. Bu nedenle çevreye yayılan e.m. dalga ışınması o nisbette yüksek seviyelerdedir.

İnsanlar ve hayvanlar üzerine birçok araştırmalar yapılmaktadır. Bu geniş frekans spektrumunda yapılan çeşitli çalışmalarında (Çizelge II) farklı güç yoğunluğundaki e.m. dalgaalrın canlılarda kötü etkileri belirlenmektedir. Biz burada sa-

Çizelge II : Mikrodalgaların insan ve hayvanlara etkileri (8).

(L- yazarlar tarafından gösterilen en düşük güç yoğunlukları

M- insanlardan elde edilen veriler-diğerleri hayvanlar ait)

Güç yoğunluğu

mW/cm<sup>2</sup>

- 1000 köpeklerde uygulamadan 3-5 saat sonra gözde katarakt
- 600 (L,M) uygulama anında ağrı hissi
- 300 kan basıncında bariz artma; 20"-60" sonra düşüş (köpek, kedi, avşan)
- 200 (L) tavuk yumurtası embriyosunda 10"-15" sonra kötü değişiklikler (dalga boyu  $\lambda = 12.6$  cm)  
Köpeklerde ve kedilerde 20"-60" uygulamalarda ölüm.  
Dokularda hücre bölünmesini bozar.
- 100 (M) kan basıncında artış, hemen arkasından bariz düşme. Kronik uygulamalarda kalıcı bir hipoksi. Kalp damar sisteminde kalıcı morfolojik değişiklikler. Bilateral katarakt.
- 40 (L) Kan basıncında ani yükselme arkasından ani düşme; multipl hemorajiler ( $\lambda=3.10$  cm). Karaciğerde segresyon artması ve hemorajiler ( $\lambda=10$  cm). Kan basıncında (0.5-1.0 saatlik uygulamalarda) 20-30 mm Hg ya kadar yükselmeler.
- 10 (M) Refleks cevaplarında değişiklikler. Serebral kortekste morfolojik değişiklikler. 150 saatlik uygulamalarda kan basıncında belirsiz sapmalar. Kanın pıhtılaşması değişiklikleri. K.C. hücrelerinde hiperplazi ( $\lambda=3-10$  cm uzun süreli uygulamada). ECG de ve reseptör aparatlarda değişiklikler.
- 5 Tekrarlayan sık uygulamalarda kan basıncında ve testislerde değişiklikler. Bariz eritropeni ve lökopeni, lensin kristal görünümü koyulaşır.
- 3 (M) Kan basıncında artma, nabızda süratlenme, kardiyak kan hacminde rastgele sapmalar.
- 1 (M) Kn basıncında düşme, nabızda süratlenme, kardiyak hacimde bariz değişiklikler. 3.5 ay günlük uygulamada kan basıncı seviyesinde düşme, ophtholmotonda düşme. İmmunolojik kontrol meknaizması işlemlerin de yanlış adaptasyonlar (L).

W/cm<sup>2</sup>

- 400 Köpeklerde sekresyon azalır.
- 300 (L,M) 5-10 yıllık uygulamada sinir sisteminde bazı değişiklikler.
- 200 Köpek nöronlarında etki.
- 40 (L) uzun süre uygulamalarda kan basıncında düşme
- 20 (M) Nabız da yavaşlama .Arteriel kan basıncının düşmesine vücut hassasiyet gösterir. Başlangıç uygulamalarda ciltte ısınmanın artması.

neyide çok uzun müddet ve güçlü üreteçler karşısında çalışanları kastetmekteyiz. Fizik tedavi kliniklerinde 12.2 cm (2450 MHz) ve 69 cm (435 MHz) dalga boylarında cihazlar kullanılmaktadır. Bu dalga boylarında kliniklerde tedavi için en-dike olan şahıslarda belirgin dozlarda ve sürelerde kullanıldığında literatürde kötü yan etkilerine (dikkat çekilmek'e birlikte (9) ) rastlanılamamıştır. Biz klinikte kul-landığımız mikrodalga diatermi cihazlarından hastalara herhangi bir yan etkisine rastlamadık.

## SONUÇ

1 MHz'den küçük frekanslarda çevreye yayılan e.m. dalgalarının canlılar ta-rafından soğurulması çok düşük düzeyde olduğundan yan etkileri olmayacağı ya-pılan hesaplamalar göstermektedir. 1 MHz ile 300 MHz frekans bandında ise canlı boyutlarına göre çok yüksek soğurulma frekansları olabileceği halde geniş lite-ratür taramada ve fizik tedavi kliniklerinde çok kullanılan cihazlar olduğu halde yan etkilerine rastlanılamadı.

300 MHz ile 30.000 MHz arasında çevreye yayılan e.m. dalgalarının yan et-kileri Sovyet Rusya ve Doğu Avrupa'daki meslekleri icabı bu dalgalara maruz ka-lan insanlar ve hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilen kötü etkileri belirtilmiştir.

Memleketimizde iş icabı, uzun müddet bu elektromagnetik dalgalara maruz kalan insanların durumunun gözden geçirilmesi kanımızca gereklidir.

## ÖZET

30,000 MHz'e kadar olan frekans spektrumunda çevreye yayılan elektromag-netik alanların, canlılar tarafından soğuru ma özellikleri ve sağlığı etkilemeleri farklı kaynaklardan derlenmiş olup; insanlar üzerindeki frekansa bağımlı yan etkileri tartışılmıştır.

## SUMMARY

In this article; the frequency-indepented side-effects on the Human Bodies of the Electromagnetic fields that spread around up to the spectrum of 30.000 MHz frequency, and whose about the knowledge of their absorption specialities by living structures, and their effectness on the heath, were collected from different sources, are discussed.

**KAYNAKLAR**

- 1 - Durney CH : Electromagnetic dosimetry for models of humans and animals : A review of theoretical and numerical techniques Proc IEEE 68 : 33, 1980
- 2 - Hagmann MJ, Gandhi OP, Durney CH : Numerical calculation of electromagnetic energy deposition for realistic model of man, IEEE Trans. MTT-27 : 804, 1979
- 3 - Johnson CC, Durney CH, Massouidi H : Long-wavelength electromagnetic power absorption in prolate spheroidal models of man and animals, IEEE Trans. MTT-23 : 739, 1975
- 4 - Krusen, Kottke and Elwood, Physical Medicine and Rehabilitation, 2. baskı 1971. WB Saunders Company, London sayfa : 260
- 5 - Massouidi H, Durney CH and Johnson, CC, Lon-wavelength electromagnetic power absorption in ellipsoid models of man and animals. IEEE Trans. MTT-25, 47-52, 1977
- 6 - Masouidi, H, Durney, CH, Barber, PW and Iskander, MF, Electromagnetic absorption in multilayered cylindrical models of man, IEEE Trans. MTT-27, 825-830, 1979
- 7 - Massouidi, H, Durney CH and Johnson, CC, Geometrical optics and exact solutions for internal fields and SARs in cylindrical models irradiated by an electromagnetic plane wave, Radio Science, Dec. 1979
- 8 - McRee, DI, Soviet and Eastern European research on biological effects of microwave radiation Proc. IEEE, 68, 84, 1980
- 9 - Sengir Orhan, Fizik Tedavi Kitabı, 1970, İstanbul Tıp Fakültesi yayınları sayfa : 82
- 10 - Sterzer, F, Paglione, R, Nowogrodzki, M, Beck, E, Mendecki, J, Friedenthal, E and Botstein, C, Microwave apparatus for the treatment of cancer, Microwave journal, jan 1980