

BİLDİRİLER

Elektromanyetik Alanın İnvitro Hemolitik Etkisi ve Total Antioksidan Kapasitede Oluşan Değişimler

Tuna SEMERCİ¹, Mehmet KÖSEOĞLU², Ayşenur ATAY¹, Tuğba AYDIN¹

¹*Tıbbi Biyokimya Bölümü, İzmir Atatürk Eğitim Hastanesi, İzmir*

²*Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Giresun Üniversitesi Tıp Fakültesi, Giresun*

AMAÇ

Bu çalışmada mobil telefonların oluşturduğu elektromanyetik alanın invitro olarak kandaki hemolitik etkisi, total antioksidan kapasitede (TAO) meydana getirdiği değişikliklerin araştırılması amaçlandı.

YÖNTEM

Bu çalışmada yedi sağlıklı kişinin üçü düz, ikisi EDTA'lı olmak üzere vakumlu tüplere kanları alındı. Hiçbir işleme tabi tutulmayan tüpler bazal grup olarak değerlendirildi. Birinci grup kanlar maksimum özel soğurma oranı 0.51 W/kg olan 2 adet mobil telefon arasına kondu ve konuşma durumunda 1 saat bekletildi. İkinci grup kanlar kontrol grubu olarak elektromanyetik alandan uzakta 1 saat bekletildi. Tüm kanlarda TAO, hemoliz göstergesi olan serbest hemoglobin ve bazı biyokimyasal parametreler ölçüldü. Ayrıca farklı bir grup kanda (n = 7) mekanik hemoliz yapılarak TAO düzeyi ölçüldü.

BULGULAR

Bazal ve 1. grup kanlarda serbest hemoglobin değerleri arasında anlamlı farklılık bulundu (ortalama \pm SD, sırasıyla, 13.8 ± 7 , 46.7 ± 27 mg/dl, $p < 0.01$). Ayrıca 1. grup kanlarda TAO kapasitesinde artma gözlemlendi (2.1 ± 0.1 , 2.3 ± 0.1 mmol trolox equ/L, $p = 0.001$). Bazal ve 1. grup kanlarda AST (ortalama \pm SD, sırasıyla, 16.2 ± 4.6 , 18.2 ± 4.7 , U/L, CK-MB 17.5 ± 2.6 , 29.0 ± 6.4 U/L, K 4.05 ± 0.3 , 4.6 ± 0.3 mmol/L, LDH 160.4 ± 15.2 , 206.0 ± 29.7 U/L, ($p = 0.018$, $p = 0.001$, $p = 0.005$ ve $p = 0.001$) bulundu. Ayrıca 1. ve 2. grup kanlar arasında tüm ölçülen parametreler için anlamlı farklılık gözlenirken, bazal ve 2. grup kanlar arasında anlamlı farklılık bulunmadı. Yapılan mekanik hemolizin de TAO düzeylerinde artmaya neden olduğu saptandı ($p = 0.02$).

SONUÇ

Bu çalışmada mobil telefonlarla oluşan elektromanyetik alan etkisinin kısa sürede makroskopik ve kimyasal hemolizle sonuçlandığı ve invitro hücresel hasara yol açarak biyokimyasal parametrelerde değişiklik meydana getirdiği gözlemlendi. Telefonlar arasında bekleyen kanlarda oluşan hemolizin oluşturduğu, hücre parçalanmasına bağlı olarak ortaya çıkan hücre içi antioksidan maddelerin TAO düzeylerini yükselttiği düşünüldü.

Bir Araştırma Hastanesi Merkez Laboratuvarında Elektromanyetik Alan Seviyeleri ve Mesleki Maruz Kalmanın Değerlendirilmesi

Ş. Özen, S. Helhel, M. Çakır, S. Yalçın, G. Kahya

Akdeniz Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya

sukruozen@akdeniz.edu.tr, selcukhelhel@akdeniz.edu.tr, mehmetcakir@akdeniz.edu.tr,

sametyalcin@akdeniz.edu.tr, gizemkahya@akdeniz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma ile üniversite hastaneleri için tipik bir hastane merkez laboratuvarında elektromanyetik alan seviyeleri incelenmiştir. Bu merkezde Santrifüj nf 8000, Cobas 8000 biyokimya oto-analizör, Hemogram ünitesi v.b. cihazlar kullanılmakta ve yoğun bir şekilde aşırı düşük frekanslı (ELF) elektromanyetik alan kaynakları yer almaktadır. Bu nedenle çalışanların maruz kalabileceği elektromanyetik alan seviyeleri ölçülmüş, sonuçlar mesleki maruz kalma güvenlik limitleri ışığında değerlendirilmiştir.

1. GİRİŞ

Son yıllarda hızla kullanıma giren ve çok farklı frekanslarda elektromanyetik alan (EMA) yayan cihaz ve sistemlerin neden olduğu elektromanyetik kirlenmenin, insan sağlığına zararlı olabileceği ilk kez epidemiyolojik çalışmalarla gündeme gelmiştir [1, 2]. Bu konudaki ilk araştırmalarda yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan EMA'ya maruz kalma sonucunda çocukluk lösemisine yakalanma sıklığı arasında ilişki bulunmuştur. Erişkin dönemdeki kanserlerle EMA'ya maruz kalma arasında ilişki olabileceği de ileri sürülmüştür [3, 4].

Günlük hayatımızda bizleri ilgilendiren elektromanyetik ışınma (EMR) iki ayrı frekans bandından oluşur. Birincisi, çok çok düşük frekanslı elektromanyetik alanlar olarak isimlendirilen elektriksel cihazlardan, yüksek gerilim hatları ve trafolardan yayılan ELF bandıdır. Diğeri ise baz istasyonları, cep telefonları ve radyo-TV vericilerinden yayılan radyo frekans (RF-MW) bandıdır. Bu iki bandın insan vücuduna etkisi farklı fiziksel mekanizma ile olur ve güvenlik sınırları da farklıdır [5, 6].

Ülkemizde elektrik enerjisi iletim ve dağıtımı 50 Hz alternatif akım (AC) ile yapılmakta ve elektrikli cihaz ve sistemlerin çoğu bu frekansta çalışmaktadır. Evlerde kullanılan TV, fırın, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, saç kurutma makinesi ve elektrikli battaniye yanında, sanayide ve tıpta kullanılan pek çok cihazdan da farklı şiddetlerde ELF-EMA yayılmaktadır. Bu EMA kaynaklarına; mikrodalga fırınlar, cep telefonları, baz istasyonları, radyo ve televizyon vericileri ve bilgisayar monitörlerinden gelen çok farklı frekanslı EMA'lar da eklenince, durum daha karmaşık hale gelmekte ve günlük yaşamda maruz kalınan EMA'nın zararlı etkilerinin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle, EMA'nın insan sağlığına etkileri konusunda hala aydınlatılmayı bekleyen pek çok nokta vardır [7, 8].

EMA'nın iki bileşeninden biri olan manyetik alan, elektrik alanın aksine, çok zayıflamadan vücudun içerisine nüfuz eder ve bu yüzden vücudun derinlerindeki EMA şiddeti dışarıdaki alan şiddetiyle hemen hemen aynıdır. Bu nedenle, ELF-EMA'nın manyetik alan bileşeninin etkileri üzerinde daha çok durulmaktadır [9].

İyonize olmayan ışınma, atomik düzeyde etkilere sebep olamayacak enerjiye sahip olan frekans tayfının daha alt kısmında bulunan elektromanyetik ışınmadır. İyonize olmayan ışınmaya; statik elektromanyetik alanlar, düşük frekans, radyo frekansları, mikrodalga, kızılötesi ışınlar, görünür ışınlar ve UV ışınlar örnek olarak verilebilir. Bazı araştırmalar, EM dalgalara aşırı maruz kalınmasının tehlike oluşturabilecek etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bu tehlikeler halsizlik, baş ağrısı, işitme zorluğu, kanser, tümör, Alzheimer, Parkinson gibi rahatsızlıklar olarak sıralanmaktadır [10, 11].

2. ELEKTROMANYETİK GÜVENLİK LİMİTLERİ ve GELİŞMELER

EM alanların dokular içindeki iyonlara olan etkileri neticesinde onların hareketlerini arttırmaları neticesinde şiddetlerine bağlı olarak bir ısı enerjisi de ortaya çıkar. Bunun sonucunda da dokular içerisinde sıcaklık artışı görülür. İnsan vücudunda herhangi bir dokunun kendi iç sıcaklığının 0.5°C den daha fazla artması o dokunun tolere edemeyeceği bir değer olarak alınmıştır. Bu değeri temel olarak geliştirilen bir sınır değer tüm vücut ortalama özgül soğurma değeri olarak kabul edilmiştir. 4 W/kg olarak verilen bu limitin 10 kat düşük değeri (0.4 W/kg) ihtiyat ilkesi ışığında Dünya Sağlık Örgütü, Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) tarafından insan vücudunun RF ve mikrodalga etkilerinin hissedilmeyeceği sınır termal etkilerin başladığı değer olarak kabul edilmiştir [12].

Yapılan araştırma sonuçlarına göre, 0,4 μT 'nin üzerindeki manyetik alan değerinin 6 yaş altındaki çocuklarda kansere yakalanma riskinde artış olduğu rapor edilmektedir. Bu nedenle İtalya, Hollanda ve bazı Avrupa ülkelerinde yeni tesis edilecek hatlar için bu limitler duyarlı bölgelerde, yeni yerleşim bölgelerinde ve 0,4 μT ve 0,2 μT seviyelerinde belirlenmektedir. Ülkemizde ise sınır değer 100 μT dir [8, 12, 13, 16].

Elektromanyetik radyasyon konusunda her ülke kendi standartlarına göre limit değerler belirlemiştir. Bununla birlikte Avrupa Birliği'ne üye ülkeler ve ABD dahil olmak üzere birçok ülkede ortak kabul gören sınır değerler

bulunmaktadır. Bu sınır değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da tanınan ve uluslararası bir komisyon olan İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu (ICNIRP- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) tarafından günde 24 saat maruz kalındığı kabulüyle belirlenmiştir [12]. Sınır değerler; vücut sıcaklığını ortalama olarak 1°C arttıran elektromanyetik enerjinin zararlı ve 0,1°C artışın zararsız olduğu kabulünden yola çıkılarak belirlenmiştir [15, 14]. Sınır değerler, termal etkiye dayalı belirlendiğinden, kimyasal, biyolojik, genetik ve psikolojik etkileri değerlendirmekten uzaktır. EMA maruziyetleri, uluslararası kabul görmüş sınır değerler dikkate alınarak yapılmaktadır.

ABD’de kişisel maruz kalınan EMA seviyesini saptamak için 1000 kişide 24 saat boyunca yapılan ölçümlerde; maruziyet ortalaması 0.089 μT bulunmuştur. Toplumun %14,3’unun 24 saatlik ortalama maruziyeti 0.2 μT , %6.3’unun 0.3 μT , %2.42’sinin 0.5 μT ve %0.46’sinin 1 μT değerinde manyetik alan şiddetlerine maruz kaldığı saptanmıştır. Toplumun %25’i bir saatini 0,4 μT ’dan, %9’u ise 0,8 μT ’dan yüksek alanlarda geçirmektedir. En yüksek elektromanyetik etkileşim, elektrik işlerinde çalışanlarda olup ortalama 0,161 μT dir. Servis çalışanlarında 0,159 μT , teknik, satış ve idari işlerde ise 0,109 μT dir. Doğal ortamlarda çalışan çiftçi, ormancı ve balıkçılarda ise daha düşük olup 0,045 μT olarak bulunmuştur. Bu değerler etkileşimin yapılan işle yakın ilişkisine dikkat çekmektedir. En fazla etkileşim ortalaması (0,97 mG) çalışma hayatındaki yaş grubundadır. Bunu okul öncesi yaş grubu (0,80 mG) ve okul çağı çocukları (0,76 mG) izlemektedir. EMA düzeyi konut tipine, büyüklüğüne ve elektrik hatlarına bağlı olarak da değişmektedir. Dupleks evler, apartman daireleri ve küçük evlerde düzey daha fazladır [10, 11, 16]. Belirli yaş gruplarındaki daha fazla etkilenimin yaşam koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir. ABD’de 992 evde ve odaların ortasında yapılan ölçümlerde evlerin %50’sinde manyetik alanın 0,06 μT ve altı, %15’inde ise 0,21 μT olduğu ve tüm ölçümlerin ortalamasının 0,9 mG (0,09 μT) olduğu bildirilmiştir [10]. EMA maruziyeti en az gece ve en fazla iş ortamında olmaktadır. Kısa süreli ve ani yüksek düzeyler, yerüstü ve yer altı elektrik hatları yakınında yürümek ve elektrikli aletlere fazla yaklaşmakla oluşmaktadır [15, 16].

Tablo-1 Bazı ülkelerin kabul ettiği manyetik ve elektrik alan güvenlik limitleri.

EM radyasyon kaynağı	Manyetik alan	Elektrik alan
Türkiye	100 μT	5 kV/m
İsviçre	1 μT	5 kV/m
İtalya	3 μT	5 kV/m
Slovenya (hassas bölgeler)	10 μT	500 V/m
Yunanistan	80 μT	4 kV/m
Fransa, Almanya, Avustralya	100 μT	5 kV/m

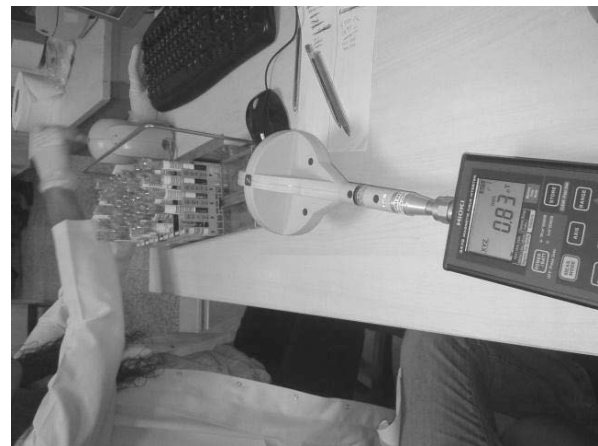
İtalya günde 4 saatten daha fazla maruz kalınması durumunda güvenlik limit değerini 10 μT olarak belirlemiş olup, yeni yapılan hatlar ve evler için bu değeri 3 μT olarak kabul etmiştir. İtalya’nın Veneto, Emilia-Romagna ve Toscana gibi bazı bölgelerinde, hastane, bakım evleri, okul

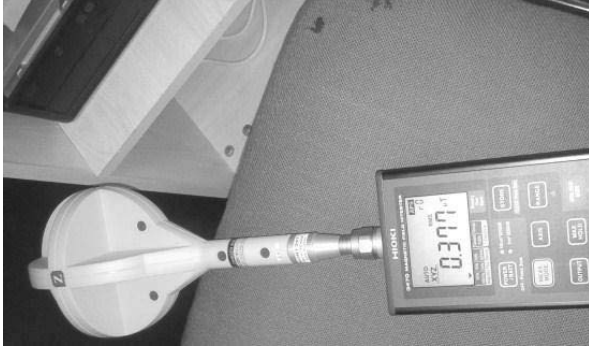
ve konutlar için 4 saatten fazla zaman geçirilen bölgelerde yeni enerji hatları için 0,2 μT manyetik alan değeri güvenlik limiti olarak kabul edilmiştir.

3. MANYETİK ALAN SEVİYELERİ ve MESLEKİ MARUZİYETİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yaygın cihaz kullanılan sağlık laboratuvarlarındaki elektromanyetik alan seviyelerinin ölçülerek belirlenmesi, EM kirliliğinin araştırılması, çalışanların sağlıklı bir ortamda faaliyet göstermeleri açısından çok önemlidir. Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi merkez laboratuvarlarında, 16 farklı tıbbi cihazın hemen yanında sağlık çalışanlarının maruz kalabilecekleri manyetik alan değerlerinin belirlenmesi amacı ile manyetik alan ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerde, HIOKI 3470 Magnetic Field Hitester cihazları ve Narda Broadband Field Meter NBM-550 marka elektrik alan cihazı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Akdeniz Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı’nda bulunan cihazların yakın çevresindeki, çalışanların maruz kalabilecekleri, manyetik alan seviyeleri ölçülerek kaydedilmiştir. Laboratuvarında yoğun olarak yerleştirilmiş cihazların ara bölgesi ve cihazlara yakın bölgelerde ölçümler alınmıştır. Cihazlara yakın ve bazen de bitişik çalışma masaları bulunmakta olup bu noktalarda da manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu çalışma ile benzer birimlerde çalışan sağlık personeli açısından elektromanyetik alanlara mesleki maruz kalma hakkında bir veri elde edilmiş olup, temel güvenlik önlemleri incelenmiştir. Tıbbi cihaz yakınılarında ve personel çalışma masalarında yapılan ölçümler Şekil 1’de gösterilmiştir.





Şekil.1 Tıbbi cihazlar ve çalışma masalarında manyetik alan ölçümü

Laboratuarda yapılan manyetik alan ölçümlerine ilişkin sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo-2 Tıbbi cihazların yakınında oluşan manyetik alan seviyeleri

CİHAZ	ÖLÇÜM ARALIĞI
İmmune kompanze (cobas e 602)	0.19 – 0.22 μ T
	0.8 – 0.95 μ T
	0.5 – 0.7 μ T
	0.6 – 1.1 μ T
Hormon 2 çalışma alanı	0.3 – 0.4 μ T
PSM	1 – 0.5 μ T
Bilgisayar önleri	0.2 – 0.3 μ T
Cobas 8000 biyokimya oto analizör yanı	1 – 0.5 μ T
Pano odası duvarından	3 – 5 μ T
	0.3 μ T
Çalışılan bölge ortamında daima ölçülen değer	0.2 – 0.4 μ T
Cobas 8000 yanı masanın üstünde	0.4 – 0.5 μ T
Cobas 8000 acil biyokimya	0.5 – 0.7 μ T
Acil oto analizör	1.3 – 0.6 μ T
Hemogram ünitesi	0.4 – 0.6 μ T
Metabolizma laboratuvarı	0.25 μ T
Santrifüj NF 8000	1 – 1.5 μ T
Cobas ampliprep (moleküler lab 2)	0.4 – 0.6 μ T
Moleküler lab 1 (ortam)	0.2 μ T
Santrifüj efendor	1 μ T

Ölçülen manyetik alan değerleri bazı cihazların yakınında 1 μ T değerinin üzerine çıkmaktadır. Örneğin NF 800 santrifüj yanında 1.486 μ T değeri ölçülmüştür. Tıbbi tahlil cihazları ile çalışan sağlık personeli, cihazlar ile temas halinde ve genellikle ayakta çalışmaktadırlar. Laboratuvar ortamında çalışanların buldukları bölgelerde manyetik alan değerleri ortalama olarak 0.4 μ T değeri ve üzerinde tespit edilmiştir.

Laboratuarda bulunan cihazlara hemen bitişik nizamda personel çalışma masaları (bilgisayarlı) bulunmaktadır. Sağlık personeli bu masalarda tahlil sonuçlarını bilgisayar ortamına aktarmakta veya sistem otomasyon programlarını kullanmaktadırlar. Bu duruma Şekil 2’de görülen konfigürasyon örnek olarak gösterilebilir. Sağlık personelinin yaklaşık 8 saat mesai yaptığı bu masada oturma pozisyonunda ölçülen manyetik alan değeri 0.4 μ T’den daha büyük olarak ölçülmüştür. Bu çalışma masalarının cihazlardan en az 1 m uzak mesafeye konması çalışanlar açısından önemli bir güvenlik unsuru olarak değerlendirilebilir.



Şekil.2 Tıbbi cihaz ve hemen yanında sonuçların işlendiği sağlık personeli çalışma masası

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışma ile tüm sağlık tesislerinde görülen tipik merkezi laboratuvar cihazları etrafındaki manyetik alan seviyeleri araştırılmıştır. Cihazların elektrikselsel güç ve özelliklerine göre çevrelerindeki manyetik alan seviyeleri farklı değerlerde olmakla birlikte, 1.5 μ T’ya kadar manyetik alan şiddetleri ölçülebilmektedir. İncelenen laboratuvar

ortamında genel olarak manyetik alan dağılımı 0.4 µT değeri ve üzerinde olduğu gözlenmiştir.

Laboratuardaki cihazlar yoğun ve çok yakın olarak yerleştirilmiştir. Bu tip tesislerde, fiziki imkânlar ölçüsünde cihaz yoğunluğunun azaltılması ve ara koridorların genişletilmesi de manyetik alan yoğunluğunu azaltacak temel önlemdir. Laboratuar ortamında ölçülen manyetik alanlar, düşük frekanslı manyetik alanlardır. Ölçüm sonuçları yukarıda verilen düşük frekanslı manyetik alanların, çalışanlar açısından risk oluşturup oluşturmayacağı, Sağlık Bilimleri Alanında Biyo-elektromanyetik konusunda çalışan bilim insanlarının değerlendirebileceği bir konudur. Bu nedenle bu sonuçlara ilişkin sağlık-risk değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir. Güvenlik limitleri açısından, ulaşılan manyetik alan değerlerinin mesleki maruz kalma açısından araştırılması önemli görölmüştür. Sağlık tesislerinin projelendirme aşamasında manyetik alan güvenliğinin göz önünde bulundurulması ve cihazların çevrelerinde oluşturdukları manyetik alan seviyelerinin cihazın test ve üretimi aşamasında belirlenmesi, bu değerlerin cihazlar üzerinde tanımlanması sağlanmalıdır. Sağlık çalışanlarına manyetik alan güvenliği konusunda eğitim verilmesi, pratik güvenlik önlemleri bakımından önemli olarak değerlendirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi, BAP birimi tarafından desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Sukru Ozen, "Evaluation and Measurement of Magnetic Field Exposure at a Typical High Voltage Substation and Its Power Lines", *Radiation Protection Dosimetry*, 128(2): 198-205, 2008.
- [2] Wertheimer, N, Leeper, E, Exposure assessment for epidemiological studies Electrical wiring configurations and childhood cancer, *Am J Epidemiol*. 1979; 109 (3): 273 - 284
- [3] Wertheimer, N, Leeper, E. Adult cancer related to electrical wire near the home, *Int J Epidemiol* (1982) 11: 345-355.
- [4] Feychting, M. and Ahlbom, A. 1993. Magnetic Fields and Cancer in Children Residing near Swedish High Voltage Power Lines. *Am J Epidemiol*. (138), 467-81.
- [5] Sukru Ozen, Selcuk Helhel and O. Halil Colak, "Electromagnetic Field Measurements of Radio Transmitters in Urban Area and Exposure Analysis", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 49, no. 7, pp. 1572-1578, 2007.
- [6] Selcuk Helhel, Sukru Ozen, I. Bahadır Basyigit, Osman Kurnaz, Yunus E. Yoruk, Murat Bitirgan, and Zeynep Colak, "Radiated Susceptibility of Medical Equipments in Health Care Units: 2G and 3G Mobile Phones as an Interferer", DOI 10.1002/mop *Microwave And Optical Technology Letters*, Vol. 53, No. 11, November 2011.
- [7] S. Özen, S. Helhel and S. Bilgin, "Temperature and Burn Injury Prediction of Human Skin Exposed to Microwaves: a Model Analysis", *Radiation and Environmental Biophysics*, 50(3):483-489, 2011.
- [8] Şükrü Özen, P. Deniz Tosun ve Selçuk Helhel, "Acil Çağrı Merkezlerinde Elektromanyetik Alan Seviyeleri ve Mesleki Maruz Kalmanın Değerlendirilmesi", *EMANET 2011 Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu*, 7-8 Ekim 2011, İstanbul.
- [9] Barnes, F. S. 1995. Typical Electric and Magnetic Field Exposures at Power-Line Frequencies and Their Coupling to Biological Systems. In: "Electromagnetic Fields, Biological Interactions and Mechanisms." Ed. Blank M., American Chemical Society, Washington, DC; 37-55.

- [10] Zaffanella, L. (1993) Survey of residential magnetic field sources, Volume 1: Goals, Results and Conclusions. EPRI Report No. TR-102759. Palo Alto, CA, Electric Power Research Institute, 1-224.
- [11] Zaffanella, L. E., Kalton, G.W. (1998) Survey of Personal Magnetic Field Exposure Phase II: 1000-Person Survey EMFRAPID Program Engineering Project 6. Oak Ridge, TN: Lockheed Martin Energy Systems, Inc.
- [12] Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Health Physics*, 1998; 74(4), 494-522.
- [13] Ş. Özen, "Yüksek Gerilim Trafo Merkezlerinde Manyetik Alan Seviyeleri ve Mesleki Maruz Kalmanın Değerlendirilmesi", *12. Ulusal Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Eskişehir, Kasım 2007.
- [14] Sabuncu H., (2000) Elektromanyetik Radyasyonlarla veya Elektromanyetik Alanlarda Çalışanların Sağlık Riskleri, *Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, Temmuz; 15-18.
- [15] National Institute of Environmental Health Sciences, (2002) Electric and Magnetic Fields Associated with the Use of Electric Power, (erişim: 7/03/2008)
<http://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/emf/docs/emf2002>.
- [16] A. Türkkân, O. Çerezci, Z. Kartal, K. Pala, A. Türkkân, *Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri*, Nilüfer Belediyesi, Bursa, Mayıs 2012, ISBN : 978-605-62172-6-5

Döner Kanatlı Hava Araçlarında Elektromanyetik Işımanın Personele (HERP) zararları

Nursel Akçam¹, Gül Seyhan Şen²

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi Ankara-Türkiye

¹ ynursel@gazi.edu.tr, ² gulseyhan@yahoo.com

Özet–Bu çalışmada, farklı frekans değerleri için döner kanatlı hava araçları; genel maksatlı helikopter ve taaruz helikopteri çevresinde ve içinde elektrik alan ölçümleri yapılarak elektromanyetik ışımının personele (Hazards of Electromagnetic Radiation to Personnel–HERP), olan zararları araştırılmıştır. Ölçümler MXF-484 hava platformlarındaki VHF-UHF geniş bantlı haberleşme ihtiyacına cevap verebilmek üzere tasarlanmış, karıştırmaya karşı korumalı, çok fonksiyonlu hava platformu telsizleri ile yapılmıştır. Telsizler hava araçları üzerinde farklı yerler konularak elektrik alan ölçümleri farklı frekanslar için elde edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elektromanyetik uyumluluk için kullanılan standartlar araştırılmış ve HERP için ölçümlerde alınan sonuçların standartlara uygunluğu tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Elektromanyetik Işıma, Elektromanyetik Uyumluluk, HERP

I. GİRİŞ

Elektromanyetik alanlar (EMA) doğada kendiliğinden ortaya çıkmaları yanı sıra, insan yapımı kaynaklardan yayılan elektromanyetik alanlar da mevcuttur. İnsan yapısı kaynaklar arasında X-ışınlarının kaynağı olan röntgen cihazları, düşük frekanslı elektromanyetik dalga kaynağı olan elektrik soketleri, yüksek frekanslı radyo dalgaları yayan TV anteni, radyo istasyonu veya mobil telefon istasyonları gibi veri iletim hatları yer alır. Ayrıca, ev ve işyerlerinde yaşamı kolaylaştırıcı olarak kullanılan elektrikli cihazların tümü birer elektromanyetik alan kaynağıdır [1].

Elektromanyetik radyasyon (EMR) *İyonlaştırıcı EMR* (Gamma ışını, X ışını) ve *İyonlaştırmayan EMR* (0-300 GHz) olmak üzere ayrılır. EMR'nun insan vücuduna; hücreler arası aktivite, hormonal sistem, bağışıklık sistemi, embriyo gelişimi olmak üzere olası etkileri mevcuttur [2].

Radyo frekans (RF) kaynakları; 10MHz ve 300GHz aralığında oldukça düşük frekans (Extremely low frequency-ELF) dan sonra en uzun dalga boyuna sahiptir ve İnsan vücudunda; genetik düzen ve gelişime, moleküler sisteme, hücre, doku ve organ sistemlerine, metabolik sisteme olası etkileri mevcuttur [2].

Elektromanyetik alanların canlılarla etkileşimi ise, üç başlık altında açıklanır.

i. Düşük frekanslı elektrik alanların etkileşimi; (100 kHz < f < 20MHz): frekans azaldıkça gövdenin enerji soğurması azalır. Boyun ve bacaklarda önemli miktarda enerji soğurulur.

ii. Düşük frekanslı manyetik alanların etkileşimi; (20 MHz < f < 300 MHz) tüm vücutta daha fazla enerji

soğurulur, özellikle baş bölgesinde daha fazla enerji soğurulur.

iii. Elektromanyetik alanlardan enerji soğurulması; (300 MHz < f < 10 GHz) lokal ve eşit dağılımlı olmayan enerji soğurulur. f >10 GHz, enerji daha çok yüzeyde soğurulur.

Ayrıca elektromanyetik alanın etkileri; *ısı etkilere* (vücut ısısı artışına neden olur) ve *ısı olmayan etkilere* olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Isı olmayan etkiler ise, kimyasal etkiler, biyolojik etkiler ve psikolojik etkiler olmak üzere olarak incelenir.

II. BIOELEKTROMANYETİK (BEM) ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Bioelektromanyetik (BEM) Epidemiyolojik araştırmalar (işyeri ve ikamet maruzları) ve laboratuvar deneyleridir.

Dünyadaki BEM araştırma sonuçlarına göre;

- Yüksek gerilim hatları, yakınında yaşayan insanlarda kansere sebebiyet verebilir (Haziran 2001 Uluslararası Kanser Araştırmaları Enstitüsü-International Agency For Research On Cancer-IARC raporu).
- Çocuklar EMA'nın olumsuz etkilerine karşı daha duyarlıdır. ELF ve RF özellikle çocuklarda lösemi, beyin kanseri, göğüs kanseri ve lenfomaya sebep olabilir.
- EMA baş ağrısı, uyku bozukluğu, boğazda yanma, yorgunluk hissi, ışığa ve sese aşırı duyarlılık, işitme zorluğu, görme derecesinde azalma ve deride karıncalanmaya sebebiyet verebilir [2]. Ayrıca EMA'ların kanser, davranış değişiklikleri, hafıza zayıflaması, Parkinson ve Alzheimer hastalıklarını artırmasının yanı sıra, depresyon ve intihar etme artışına neden olduğu bildirilmektedir. Bunlara ek olarak göz, deri ve kas-iskelet sistemi üzerine olumsuz etkileri olduğu da bilinmektedir [3,4,5].

Elektromanyetik girişimden korunmak için; Ekranlama (Shielding), Topraklama (Grounding), Bağlama (Bonding), Filtreleme (Filtering), Kabloleme (Cabling) ve Fiziksel ayırım (separation) yapılması gerekir [6, 7].

III. ELEKTROMANYETİK IŞIMANIN PERSONELE ZARARLARI

HERP, iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyonun insan vücudu üzerinde zararlı biyolojik etkiler yaratma tehlikesini içerir. Personel, elektromanyetik alanların etkisinde kaldığında ortaya çıkan önemli olaylardan birisi insan vücudunun ısınmasıdır (Şekil 1) [8,9].



Şekil 1. Elektromanyetik ışımının personele zararları (HERP)

RF alanları ile etkileşim sonucu ortaya çıkan ısı, insan vücudunun metabolik ısısına eklenir. Eğer vücudun kazandığı bu fazladan ısı enerjisi atılamaz ise; RF emiliminin olduğu bölgede vücut ısısı yükselir. Bundan dolayı eğer metabolik faaliyet ile dengelenemeyecek seviyelerde RF güç emilimi meydana gelmiş ise; insan vücudu ve beyin faaliyetlerinin iflası söz konusu olur [8, 9].

Bu çalışmanın konusu olan hava araçlarında kullanılan Radarlar ve elektronik karşı tedbir (ECM) sistemleri; genelde vericilerin yüksek çıkış gücü ve anten özellikleri nedeniyle servis personelinin ışıma etkisi altında kalması durumunda, olası personel zararları oluşturabilecek sistemlerdir [8, 9].

3.1. HERP Terimleri

-İzin verilen azami maruziyet (*Maximum Permissible Exposure – MPE*): Bir kişinin zararlı bir etki olmaksızın ve bir güvenlik faktörü dahilinde maruz kalabileceği EMA, güç yoğunluğu ve endüklenmiş akım seviyeleridir [9].

- Özgül soğurulma (*Specific Absorption - SA*): Belli bir yoğunluğa (ρ) sahip bir hacim (dV) içindeki bir kütle (dm) tarafından soğurulan enerji miktarı olarak tanımlanır [9].

$$SA = dW / dm = dW / \rho dV \quad (\text{J/kg}) \quad (1)$$

-Özgül soğurulma oranı/hızı (*Specific Absorption Rate - SAR*): Belli bir yoğunluğa (ρ) sahip bir hacim (dV) içindeki bir kütle (dm) tarafından soğurulan enerji miktarının (dW) zamana göre türevidir [9].

$$SAR = d(dW / dm) / dt = d(dW / \rho dV) / dt \quad (\text{W/kg}) \quad (2)$$

Dokulardaki özgül soğurma katsayısı (SAR - Specific Absorption Rate) değeri uygulanan elektrik alan şiddetinin karesi ile doğru orantılıdır. SAR değerleri, uygulanan alan parametreleri; şiddeti, frekansı, polarizasyonu, kaynağa göre uzaklığı olarak değerlendirilir.

-Kontrollü ortam (*Controlled Environment*): Maruz kalma potansiyeli konusunda bilgi sahibi olan kişilerin maruziyetinin bulunduğu yerler olarak tanımlanır.

-KontROLSÜZ ortam (*Uncontrolled Environment*): Maruz kalma potansiyeli konusunda bilgi ve maruziyet üzerinde kontrol sahibi olmayan kişilerin maruziyetinin bulunduğu yerlerdir (örnek; baz istasyonları) [9].

3.2. HERP Dökümanları

• DoDI 6055.11 “Protection of DoD Personnel from Exposure to Radiofrequency Radiation and Military Exempt Lasers”, ABD Savunma Bakanlığı,

• Uluslararası Elektrik Elektronik Mühendisleri Birliği (IEEE) Std. C95.1-1999, “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz,

• ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) Guidelines, “Guidelines for Limiting

Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)”, olarak bilinir.

Çizelge 1.’de kontrollü ortamlar ve Çizelge 2.’de kontrolsüz ortamlar için IEEE C95.1-1999’e göre izin verilen elektrik alan, manyetik alan ve elektromanyetik alan güç yoğunluğu değerleri verilmektedir. Çizelge 3.’de kontrollü ortamlar ve Çizelge 4’de kontrolsüz ortamlar için ICNIRP’a göre izin verilen elektrik alan, manyetik alan ve elektromanyetik alan güç değerleri görülmektedir.

Çizelge 1. Kontrollü ortam için (IEEE C95.1-1999) frekans değişimine göre HERP seviyeleri

Frekans (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	EMA Güç Yoğunluğu (mW/cm ²)	Zaman ortalaması (dak.)
0,003 – 0,1	614	163	---	6
0,1 – 3,0	614	16,3/f	---	6
3,0 – 30	1842 / f(MHz)	16,3/f	---	6
30 – 100	61,4	16,3/f	---	6
100 - 300	61,4	0,0163	1,0	6
300 - 3,000	---	---	f(MHz/ 300)	6
3,000 – 10,000	---	---	10	6

Çizelge 2. Kontrolsüz ortam için (IEEE C95.1-1999) frekans değişimine göre HERP seviyeleri

Frekans (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	EM Güç Yoğunluğu (mW/cm ²)	Zaman ortalaması (dakika)	
0,003-0,1	614	163	---	6	6
0,1-1,34	614	16,3/f	---	6	6
1,34-3,0	823,8/ f(MHz)	16,3/f	---	f ² /0,3	6
3,0-30	823,8/ f(MHz)	16,3/f	---	30	6
30-100	27,5	158,3/f ^{1,66}	---	30	0,0636 f ^{1,337}
100-300	27,5	0,0729	0,2	30	30
300-3,000	---	---	f/1500	30	---
3,000-15.000	---	---	f/1500	90 000/f	---
15,000-300,000	---	---	10	616000/f ^{1,2}	---

Çizelge 3. Kontrollü ortam için (ICNIRP) frekans değişimine göre HERP seviyeleri

Frekans	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	B-Alan (μT)	Eşdeğer Alan Dalga Güç Yoğunluğu S _{eq} (W/m ²)
1 Hz’nin üstü	---	1,63x10 ⁵	2x10 ⁵	---
1-8Hz	20 000	1,63x10 ⁵ /f ²	2x10 ⁵ /f ²	---
8-25 Hz	20 000	2x10 ⁴ /f	2,5x10 ⁴ /f	---
0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	---
0,82-65 kHz	610	24,4	30,7	---
0,065-1 MHz	610	1,6/f	2,0/f	---
1-10 MHz	610/f	1,6/f	2,0/f	---
10-400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2000 MHz	3f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	0,01 f ^{1/2}	f/40
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50

Çizelge 4. Kontrolsüz ortam için (ICNIRP) frekans değişimine göre HERP seviyeleri

Frekans	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	B-Alan (µT)	Eşdeğer Alan Dalgı Güç Yoğunluğu S_{eq} (W/m ²)
1 Hz'nin üstü	---	3,2x10 ⁴	4x10 ⁴	---
1-8Hz	10 000	3,2x10 ⁴ / f ²	4x10 ⁴ / f ²	---
8-25 Hz	10 000	4 000 / f	5,000 / f	---
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	---
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	---
3-150 kHz	87	5	6,25	---
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	---
1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	---
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	1,375f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	0,0046 f ^{1/2}	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

IV. EMA ÖLÇÜMLERİ

Elektromanyetik (EM) uyumlu bir tasarımda elektromanyetik girişim kaynakları söndürülmeli, kupaaj yolları ortadan kaldırılmalı ve cihazlar EM açısından yeterince güçlendirilmelidir. I ürün bağışıklığı, E girişim seviyesi olmak üzere, temel EMC (Electromagnetic Coupling) bağıntısı I>E şeklinde tanımlanır. Yani bir cihazın çevre girişiminden etkilenmemesi, ancak EM yayımına olan bağışıklığı ile sağlanır. EM uyumlulukta kullanılan bir diğer tanım ise alınganlıktır ki, düşük bağışıklık yüksek alınganlık, yüksek bağışıklık düşük alınganlık demektir [10, 11].

4.1. Test Ortamı

Bu çalışmada, Genel Maksat Helikopteri ve Taarruz Helikopteri için yapılan yer testlerinde 10x10m²lik bölgede metal engel ve test süreci boyunca güçlü yayın yapan kaynak (kaynak makinesi, yüksek çıkış güçlü göndermeç gibi) bulunmaması sağlandı. Helikopterin, test altındaki sisteme olabilecek girişimini engellemek için güç aktarma hatlarının hemen altında olmaması gerekir. Bu nedenle, test bölgesinde kullanılan AC güç hattı toprağının gerçek toprakla gerilim farkı kabul edilebilir bir seviyede olması sağlandı. Yer testlerinde helikoptere dışarıdan enerji sağlanmış olup, testlerde bulunması zorunlu tüm sistemlerin helikopter üzerinde çalışır durumda olması sağlanmıştır. Ayrıca yer testlerinde, test için zorunlu olarak açık bulunan panellerin kapatılması için iletken bantlar kullanılmıştır.

4.2. Genel Maksat Helikopteri için Ölçüm Sonuçları

Eş. 3'e göre, her bir vericinin yayın miktarı ile doluluk oranı çarpılarak ortalama elektrik alan şiddeti değeri elde edilir. Bu değerin ilgili standardın o frekansındaki limit değerine oranının karesi, o frekandaki yayının toplam alan

şiddetine katkısını belirtir. Normalize edilen tüm yayın değerleri toplandığında sonucun 1'den küçük çıkması durumunda, o ölçüm noktası için limit aşımı yoktur denir.

$$\sum_{i=1}^n \frac{E_i^2}{MPE_i^2} \leq 1 \quad (3)$$

Burada; E_i : i^{nci} yayın kaynağının yarattığı ortalama elektrik alan şiddeti,

MPE_i : i^{nci} yayın kaynağının frekans ve doluluk oranına bağılı olarak hesaplanan "izin verilen maksimum maruz kalma - maximum permissible exposure" değeridir (yayın frekansındaki limit değeri).

Şekil 2'de görülen S-70A-28D "Black Hawk" Genel Maksat Helikopterin farklı noktalarında (Çizelge 5) ölçümler alınmıştır ve sonuçlar değerlendirilmiştir [12].



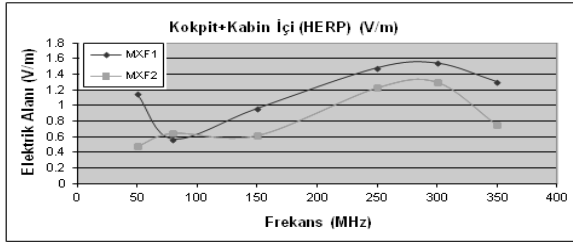
Şekil 2. S-70A-28D Genel görünüşü

Ölçümlerde, en kötü durumu resmetmek için tüm vericilerin 6 dakikalık ölçüm periyodundaki doluluk oranı %100 olarak belirtilmiştir (tüm vericilerin 6 dakikalık ortalama alınan bir zaman diliminde sürekli tam güçte gönderme yaptığı kabul edilmiştir).

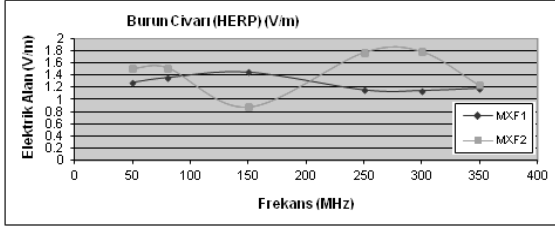
Çizelge 5. Genel maksat helikopterinde HERP için ölçüm değerleri

Telsiz Frekansı (MHz)	Pilot Kokpit (V/m)	Silahçı Kokpit (V/m)	Burun Civarı (V/m)	Kuyruk Yanı (V/m)	Sağ / Sol Kapı (V/m)	Limit Değer (V/m)
MXF1(50)	0.7	1	1.8	10	2.9	61.4
MXF1(80)	1.4	1.1	1.9	5.7	1.3	61.4
MXF1(150)	2.9	1.2	2	1.7	1.9	61.4
MXF1(250)	3.1	1.3	3.5	4.3	3.2	61.4
MXF1(300)	1	0.8	1.3	1.1	2	61.4
MXF1(350)	1.3	0.8	0.5	1.7	1.2	61.4
MXF2(50)	0.5	0.5	1.5	9	2.9	61.4
MXF2(80)	0.8	1.2	1.7	3.7	1.4	61.4
MXF2(150)	1.3	0.8	2.1	1.5	1.7	61.4
MXF2(250)	1.5	1.4	2.2	3.8	3	61.4
MXF2(300)	0.4	0.4	1.5	2.5	1.2	61.4
MXF2(350)	0.8	0.3	0.6	4	1.6	61.4

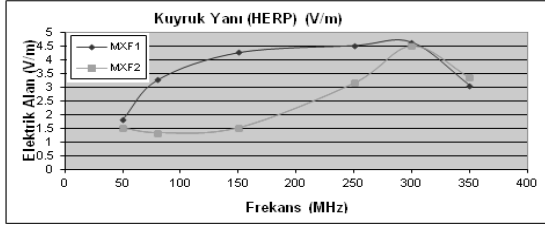
Şekil 3.'de Kokpit + Kabin içinden, Şekil 4.'de Burun civarından, Şekil 5.'de Kuyruk yanından ve Şekil 6.'de Sağ-Sol Kapı civarından HERP için elektrik alan değerlerinin frekansa göre değişimi görülmektedir.



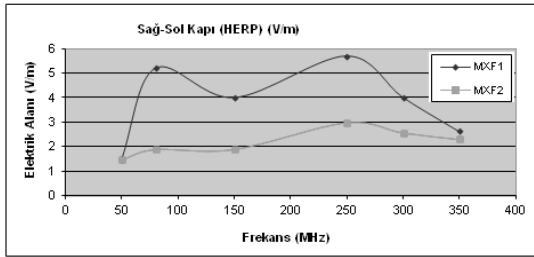
Şekil 3. Genel maksat helikopterinde kokpit+kabin içi elektrik alan değişimi



Şekil 4. Genel maksat helikopterinde burun civarında elektrik alan değişimi



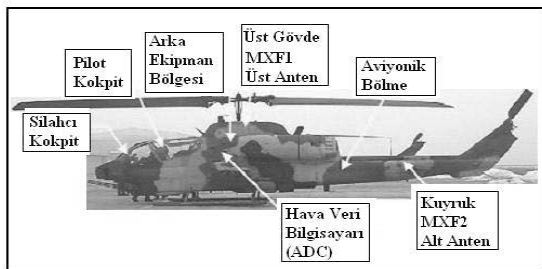
Şekil 5. Genel maksat helikopterinde kuyruk yan elektrik alan değişimi



Şekil 6. Genel maksat helikopterinde sağ sol kapı çevresinde elektrik alan değişimi

4.3. Taarruz Helikopteri için Ölçüm Sonuçları

Taarruz Helikopterin farklı noktalarından (Şekil 7) HERP için alınan ölçümler Çizelge 6'da görülmektedir [12].

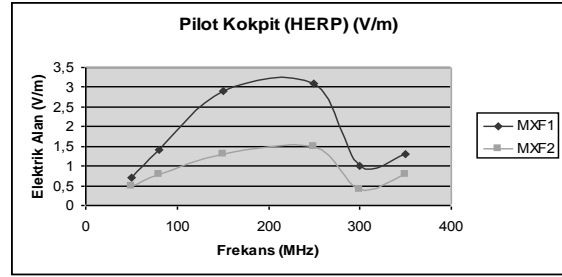


Şekil 7. Taarruz helikopterin MXF1 – MXF2 antenleri ve ölçüm bölgeleri

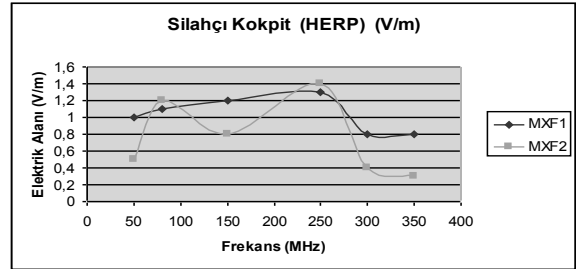
Çizelge 6. Taarruz helikopterinde HERP için ölçüm değerleri

Frekans (MHz)	Pilot Kokpit (V/m)	Silahlı Kokpit (V/m)	Burun Cıvarı (V/m)	Kuyruk Yanı (V/m)	Sağ / Sol Kapı (V/m)	Limit Değer (V/m)
MXF1(50)	0,7	1	1,8	10	2,9	61,4
MXF1(80)	1,4	1,1	1,9	5,7	1,3	61,4
MXF1(150)	2,9	1,2	2	1,7	1,9	61,4
MXF1(250)	3,1	1,3	3,5	4,3	3,2	61,4
MXF1(300)	1	0,8	1,3	1,1	2	61,4
MXF1(350)	1,3	0,8	0,5	1,7	1,2	61,4
MXF2(50)	0,5	0,5	1,5	9	2,9	61,4
MXF2(80)	0,8	1,2	1,7	3,7	1,4	61,4
MXF2(150)	1,3	0,8	2,1	1,5	1,7	61,4
MXF2(250)	1,5	1,4	2,2	3,8	3	61,4
MXF2(300)	0,4	0,4	1,5	2,5	1,2	61,4
MXF2(350)	0,8	0,3	0,6	4	1,6	61,4

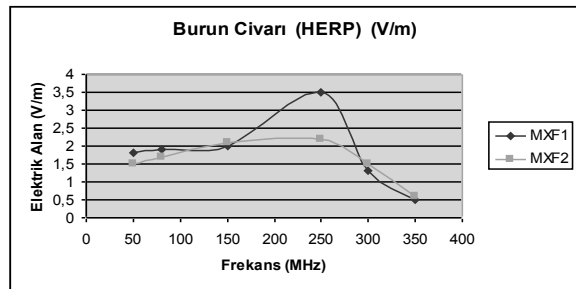
Şekil 8.'de Pilot Kokpit içinden, Şekil 9.'da Silahlı Kokpit içinden, Şekil 10.'da Burun civarından, Şekil 11.'de Kuyruk Yanı civarından ve Şekil 12.'de Sağ-Sol Kapı Civarından Narda cihazı [12] ile alınan elektrik alan değerlerinin frekansa göre değişimi verilmektedir. Her şekil için maksimum elektrik alan değerleri 250 MHz civarındadır.



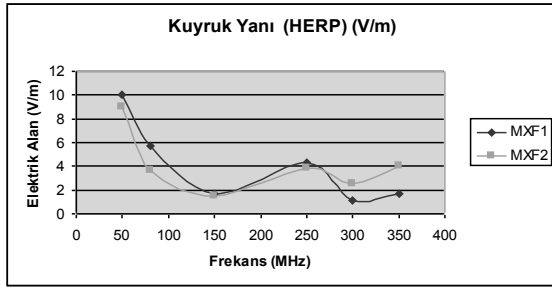
Şekil 8. Taarruz helikopterinde pilot kokpit içindeki elektrik alan değişimi



Şekil 9. Taarruz helikopterinde silahlı kokpit içindeki elektrik alan değişimi

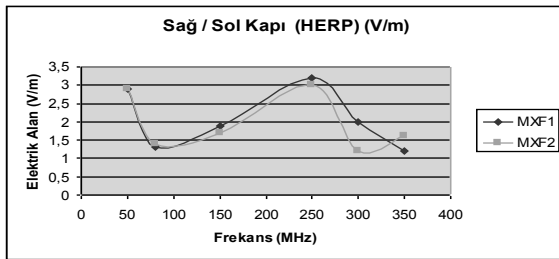


Şekil 10. Taarruz helikopterinde burun civarındaki elektrik alan değişimi

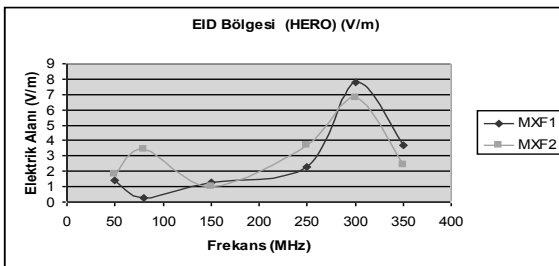


Şekil 11. Taarruz helikopterinde kuyruk yanı civarındaki elektrik alan değişimi

Şekil 13.'de elektrikle ateşlenebilir aletler (Electrically Initiated Device-EID) bölgesinde alınan elektrik alan değerlerinin frekansa göre değişimi verilmektedir. Elektrik alan değerlerinin maksimum olduğu frekans değerleri 300 MHz civarıdır. Literatürde benzer çalışma (bu tip helikopterler için) olmadığı için, kıyaslama WHO ile yapılmıştır.



Şekil 12. Taarruz helikopterinde sağ / sol kapı civarında frekans elektrik alan eğrisi



Şekil 13. Taarruz helikopterinde EID bölgesinde frekans elektrik alan eğrisi

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, elektromanyetik ışımının zararlı etkileri, personel üzerinde incelenmiştir. Bu konuda mevcut askeri ve sivil standartların neler olduğu araştırılmış, limit değerler araştırma sonuçları ile kıyaslanmıştır. MIL-STD-464 (askeri) standardına göre döner kanatlı hava araçları üzerindeki MXF-484 V/UHF hava platform telsizinde değişen frekans değerlerine göre çevresinde oluşan elektromanyetik etkiler ölçülmüştür. MXF1 telsizinin anteninden yayılan elektrik alanının fazla olması, antenin helikopter üzerindeki yerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca MXF [12] telsizinin UHF özellik gösterdiği frekans aralığı 225-400 MHz arasındadır. Bu nedenle tüm grafiklerde bu bölgede çalışmakta olan cihazlardan kaynaklı elektrik alanlar yüksek çıkmıştır.

Çizelge 5 ve Çizelge 6'daki değerler göstermektedir ki, tüm vericiler aynı anda maksimum güçte, %100 doluluk oranı ile yayın yapsalar dahi, ilgili standarttaki HERP limitlerini aşmamaktadır. İlgili standarttaki limitler, güvenlik payları içermekte olduğu için ölçüm sonuçları üzerinde ayrıca ilave güvenlik payı uygulamaya gerek yoktur.

Taarruz helikopterinin daha fazla elektronik ekipmana sahip olması nedeniyle, ölçülen alan değerleri bu helikopterde biraz daha yüksektir. En yüksek elektrik alanın meydana geldiği frekans değeri ise her iki tip helikopterde de aynıdır. Bunun nedeni ise, aynı telsizlerden ölçüm alınmasındandır. Yapılan ölçümler arasında en yüksek elektrik alan EID bölgesinde (bu bölgede çalışmakta olan cihazların özelliği sebebiyle) ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Palamutçu, S. ve Dağ, N., "Fonksiyonel Tekstiller I: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Denizli, 87-101 (2009).
- [2] Diler, N., Özker, M. ve Özgürbüz, G., "BEM (Biyoelektromanyetik)", *Teknomerkez araştırma raporu, İstanbul*, 3 – 16 (2009).
- [3] Karataş, M. H., Elektromanyetik Uyumluluk Araştırması Ve Kablolar Üzerinde Testleri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, vi-vii (2010).
- [4] WHO, "Health and environmental effects of exposure to static and time varying electric and magnetic fields", *International EMF Project, WHO*, Geneva, Switzerland. (1999).
- [5] WHO, "Electromagnetic fields and public health, exposure to extremely low frequency electromagnetic fields", 322, *WHO*, Geneva, Switzerland.(2007).
- [6] Ölçer, P., Kılıç, B., "Temel Bilgiler", *TÜBİTAK – UEKAE Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü*, Gebze / Kocaeli, 10, 69 (2002).
- [7] Dural, G., "Elektromanyetik Dalgalar Ve İnsan Sağlığı", *ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 15, 22.
- [8] Özkaya, A., "Elektromanyetik Ortam Etkileri – E3", *Gazi Üniversitesi*, Ankara, Türkiye 17.
- [9] Üstüner, F., "MIL-STD-464A ve Elektromanyetik Ortam Etkileri", Paket Eğitimi, *Tübütak UEKAE Ulusal Elektronik Ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü*, Ankara, 42-52, 103 (Mart 2006).
- [10] WHO, "Electromagnetic fields and public health, exposure to extremely low frequency electromagnetic fields", 322, *WHO*, Geneva, Switzerland.(2007).
- [11] Sevgi, L., "Elektromanyetik Uyumluluk Test/Ölçüleri – I: Tanımlar, Kavramlar", *Endüstriyel & Otomasyon dergisi*, 1-2 (2004).
- [12] Şen G. S. "Elektromanyetik Uyumluluk ve Döner Kanatlı Hava Araçları Üzerinde EMC Testleri" *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2012).

Marmara Üniversitesi'ndeki Öğrencilerin Radyo Frekansı Elektromanyetik Alan Kaynaklarına Karşı Risk Değerlendirmesi

Fulya Çallıalp KUNTER, Yağmur KIRKAĞAÇ

Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy / İSTANBUL

ÖZET

Radyo frekansı elektromanyetik alanlarına maruziyet değişik bölgelerde ortaya çıkmaktadır. Maruziyet genellikle radyo frekansı kaynağından bir serbest uzay dalga boyu uzaklığındaki yakın alanlarda yer alır. Sızıntı yayımını bakış açısıyla gerçekleştirilen Marmara Üniversitesi Kampüsündeki araştırmalar süresince yakın alan durumunda, sağlıkla ilgili tehditleri değerlendirmek için hem elektrik hem de manyetik alan kuvvetlerinin izlenmesi gerektiği görülmüştür. Bu makalede, dış etkenlerden kaynaklanan elektrik ve manyetik alanların değerleri, uluslararası standartlar ile belirlenmiş emniyetli maruziyet sınırları ile karşılaştırılmıştır. Bu makale ile, bu çalışmada değerlendirilen senaryolar için, öğrencilerin radyo frekansı elektrik ve manyetik alanlara maruziyet değerlerinin önerilen uluslararası standart sınırlarının altındadır sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alanlar, Ölçüm cihazları, Mesleki sağlık, Halk maruziyeti.

1. GİRİŞ

Yeni teknolojilerde olduğu gibi, radyo frekansındaki elektromanyetik alanlarda önemli ölçülerde artma olmuştur [1]. Radarların yanı sıra radyolar, TV vericileri ve telefon baz istasyonları; en güçlü elektromanyetik alanların yüksek frekanslı kaynakları arasında yer almaktadır. Bu kaynakların gücü bir kaç yüz kilowatt olabilir. İnsanların maruz kaldığı bazı vericiler ICNIRP yönergelerinde tanımlanan referans seviyelerinden yüksek olabilir ve bu seviyeleri kolayca aşabilir [2]. İnsanlar için olası sağlık risklerindeki farkındalık, alan kaynakları maruziyetlerinin tespit edilmesi ile daha da önemli hale geliyor [3].

Analizin ilk adımı, insanların maruz kaldığı elektromanyetik alanları ölçmek veya hesaplamaktır. Cep telefonlarından oluşan kısa süreli maruziyetler operatör verileri kullanılarak tespit edilebilir [4], cep telefonu baz istasyonları gibi kaynaklara uzun süreli maruziyetin geçerli değerlendirmeleri daha şüphelidir. Mevcut ölçüm tekniklerinin bazı limitleri vardır. Günümüzde baz istasyonu ve evler arasındaki boşluğu inceleyerek maruziyeti hesaplayan [5, 6], yeterli görülmeyen çalışmalar var [7, 8]. Noktasal ölçümler, diğer çalışmalar tarafından [5-10] uzun dönemde etki ve kaynakların ortalama etkisinden kaçınmak suretiyle kullanılmıştır [11].

Günlük hayatta radyo frekansındaki elektromanyetik alanların kişisel maruziyetini ölçmek için yeni geliştirilen pozometre yararlıdır ve tavsiye edilmiştir [12]. Pozometrenin kullanımı günlük yaşamsal faaliyetler sırasında nüfus içindeki toplam maruziyet, uzamsal ve zamansal olarak değişen maruziyetin farklı kaynaklara desteklenmesini sağlar. Hükümet, öğrencilerin sağlık ve güvenliğinden sorumlu olduğu için belirli bir yerde normal koşullar altında çalışmanın güvenli olup olmadığı veya çıkış gücünün azaltılmasının gerekli olup olmadığı risk değerlendirmesi ile saptanmalıdır.

Bu çalışmada, kişisel pozometreler (exposimeters) kullanılarak radyo frekansındaki elektromanyetik alanlara çevresel maruz kalma seviyeleri incelenmiştir. Bu makalede biz, yakın çevredeki en yaygın bazı radyo frekansı yayan cihazların kaynaklarını elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin ölçüm sonuçlarına göre sunuyoruz. Bu makale, üniversitede ölçümlerle radyo frekansındaki elektrik ve manyetik alanların belirlenmesine odaklanmıştır. Bu elektrik ve manyetik alanlara insanların maruz kalma etkisi bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

2. MALZEMELER VE YÖNTEMLER

NBM 550, kişisel pozometre kullanılmıştır. NBM 550, izotropik prob, EF-0391 ile 100kHz - 3GHz frekans aralığını kapsayan taşınabilir bir ölçüm cihazıdır. NBM 550, güç akı yoğunluğunu $0.265 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ve $26.53 \text{ MW}/\text{m}^2$ (elektrik alan şiddeti $0.01\text{V}/\text{m}$ ve $100\text{kV}/\text{m}$ arasında) arasında zaman içinde belirlemektedir. İki saniye aralığında, bu 4 saniyeden 30 dakikaya kadar ortalama bir zaman olabilir. NBM 550'nin diğer özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Ölçüm ekipmanı açıklaması

Model	NBM 550 Broadband Field Meter
Geometry of sensor	Three coils
Component	3-axis and/or resultant
Range	V/m to 100 kV 0.027 mA/m to 265.3 A/m 0.027 nW/cm ² to 2.653 kW/cm ²
Size	290 x 98 x 45 mm
Manufacturer	Narda Safety Test Solutions

İlk adım olarak, incelemeler detaylı ölçümler gerektiren Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü binalarını belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Başlangıç analizi boyunca taşınabilir el ile ölçüm yapılabilen cihazlarla kampüsün her tarafında inceleme yapılmıştır. Sadece 4 binanın çevresinde maksimum değerler okunmuş ve ayrıntılı ölçüm gerektirmiştir. Bu binalar, Spor Sahaları, Misafir ve Öğrenci Otoparkı, Handan Ertuğrul Kız Yurdu ve Mekatronik Binasıdır.

Kaynaklar tarafından üretilen elektrik ve manyetik alanları ölçmek için bazı protokoller vardır. Cihazdan sabit bir uzaklıkta veya tipik “kullanıcı uzaklığı” ile ölçümler yapmak gerekmektedir. “Uygun sabit mesafe” ve “kullanıcı mesafesi” olarak tanımlanan bu iki teknik de belirsiz ve özeldir. Bu soruların yorumlanmasının üstesinden gelmek için daha kesin bir “en kötü durum” protokolü kurulmuştur. Bu protocol uyarınca, cihazın yüzeyi arasındaki mesafenin fonksiyonu olarak cihaz tarafından üretilen maksimum elektrik ve manyetik alan aşağıdaki gibi bir dizi ölçüm ile belirlenmiştir. Uygulamada, maksimum elektrik ve manyetik alan yoğunluk değerleri, metre ile belirlenen maksimum uzunluğa kadar el ile her yönde prob yavaş yavaş döndürülerek bulunmuştur. Ölçüm dizisinin başlarında, alandaki maksimum şiddetin yerini saptamak amacıyla manyetik alanın yüzeye yakın olduğu yerlerde cihazla testler yapılarak incelenmiştir. Maksimum şiddetin bulunduğu nokta başlangıç noktası kabul edilmiştir. Maksimum alanda değerlerin okunması 50 cm aralıklarla 0-200 cm mesafesinde yüzeye dik bir yol boyunca yapılmıştır.

Çevresel kaynakların etkisini en aza indirmek için, test altındaki cihazın alanındaki bütün uygulamalar ve ekipmanlar kapalıydı. Bu inceleme gün içinde tekrar edildi. Sabit bölgelerde ölçüm cihazlarıyla nokta ölçümleri yapıldı. Her ölçüm noktasında en yüksek elektrik ve manyetik alan gücü etkin değerleri (RMS) kaydedildi.

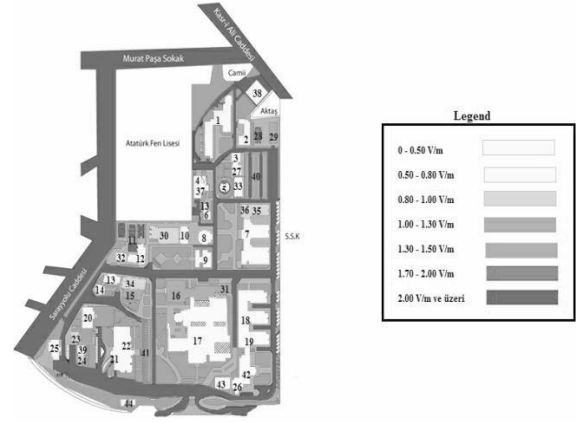
Ölçümler yapılırken, cihazın genişbant ölçüm ucu insan vücudunun elektrik alan dağılımına olan etkilerini minimuma indirmek amacıyla uzun bir kol vasıtasıyla vücuttan uzak tutuldu. Yapılan ölçümler kararlı olduğu için 6 dakikalık ortalama alınmadı. Onun yerine, bir dakikalık ölçümlerin en yüksek değeri sonuç olarak alındı. Radyo frekansındaki alanlara maruziyet, yakın alanlarda, örneğin kaynağa bir dalgaboyu uzaklıkta, hemen hemen her zaman meydana gelmektedir. Bu yüzden, tehlikeyi hesaplayabilmek için elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin her ikisi de izlenmelidir [12].

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

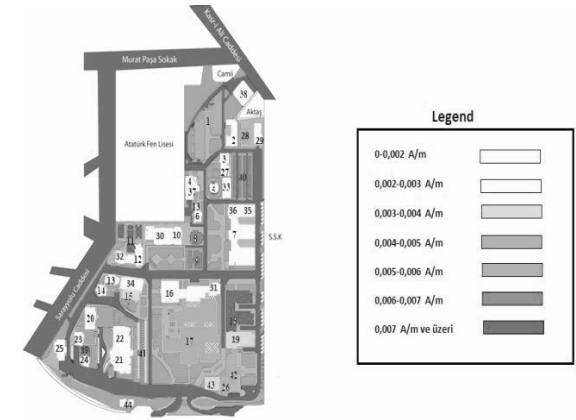
Göztepe Kampüsü'nde 44 farklı ölçüm noktasında elektrik ve manyetik alan şiddet değerleri ölçülmüştür. Elektrik ve manyetik alan şiddet değerleri kampüs haritasında renklerle Şekil 1 ve Şekil 2'deki gibi gösterilmiştir. Bina isimlerine verilmiş, binalar üzerinde bulunan numaralar Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiş ve renkler, ölçülen elektrik(V/m) ve manyetik alan(A/m) şiddet değerlerinin aralığını anlatmaktadır.

Açık Spor Sahaları ve Handan Ertuğrul Kız Öğrenci Yurdu için, kampüsteki diğer binalara göre daha yüksek elektrik ve manyetik alan değerleri olduğundan daha detaylı bir ölçüm yapıldı. Detaylı analiz gerektiren binalar Şekil.3'te gösterilmektedir.

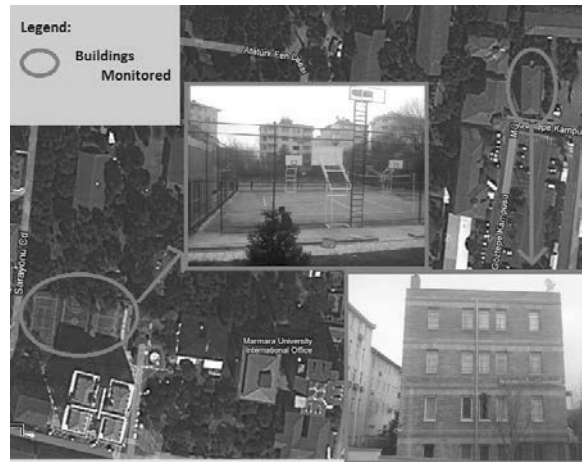
Açık Hava Sahaları için ölçümler elektrik ve manyetik alan değerlerinin en yüksek olduğu noktadan 2m'ye kadar 0.5m aralıklarla yapıldı. Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilen elektrik ve manyetik alan şiddet değerleri sırasıyla 2.4 V/m ve 0.3 V/m arasında ve 0.008 A/m ve 0.002 A/m arasında değişmiştir.



Şekil 1. Marmara Üniversitesi, Göztepe Kampüsü'nde ölçülen elektrik alan değerleri



Şekil 2. Marmara Üniversitesi, Göztepe Kampüsü'nde ölçülen manyetik alan değerleri



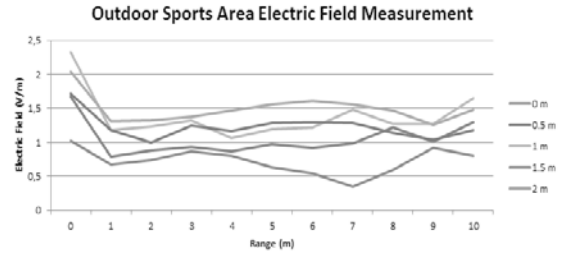
Şekil 3. Açık Spor Sahaları ve Handan Ertuğrul Kız Öğrenci Yurdu'nun haritadaki görüntüleri

Tablo 2. Göztepe Kampüsü'ndeki Bina İsimleri

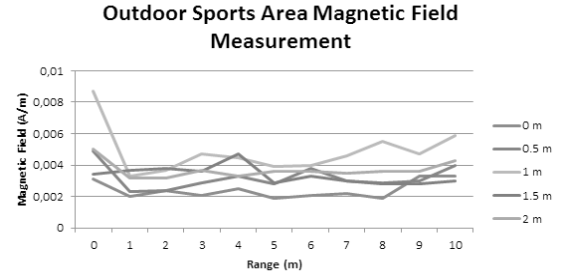
No	Bina İsimleri
1	A.E.F Yabancı Diller Binası
2	Mühendislik Fakültesi D Blok
3	Mediko Sosyal Merkezi
4	Kampüs Yemekhanesi
5	125. Yıl Anfisi
6	Tarihi Hamam
7	Fen Edebiyat Fakültesi
8	Mühendislik Fakültesi B Blok
9	Mühendislik Fakültesi İdari Bina
10	Mühendislik Fakültesi C Blok
11	Açık Spor Sahaları
12	İktisadi İdari Bilimler Fakültesi
13	Yabancı Diller Yüksekokulu İdari Bina
14	Yabancı Diller Yüksekokulu Derslikleri
15	Dr. İbrahim Uzümcü Konferans Salonu
16	Kapalı Spor Salonu
17	Atatürk Eğitim Fakültesi
18	Teknik Eğitim Fakültesi
19	Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
20	Ozmen Aktar Kız Öğrenci Yurdu
21	Rektörlük
22	Merkez Kütüphane

Tablo 3. Göztepe Kampüsü'ndeki Bina İsimleri

No	Bina İsimleri
23	Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü
24	Avrupa Birliği Enstitüsü
25	Konukevi
26	Döner Sermaye İşletme Müdürlüğü
27	Sağlık, Kültür ve Spor Daire Başkanlığı
28	Handan Ertuğrul Kız Öğrenci Yurdu
29	Ortez Protez Rehabilitasyon Merkezi
30	Çarşı Alanı
31	Mekatronik Sistemler Laboratuvarı
32	Bankacılık ve Sigortacılık Yüksekokulu
33	Öğrenci Bilişim Merkezi
34	Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü
35	Fen Bilimleri Enstitüsü
36	Eğitim Bilimleri Enstitüsü
37	Mustafa Necati Konferans Salonu
38	Isı Merkezi
39	Erasmus-Sokrates Büroları
40	Öğrenci ve Misafir Otoparkı
41	Öğretim Üyesi Otoparkı
42	Döner Sermaye Saymanlığı
43	Sürekli Eğitim Merkezi
44	PTT

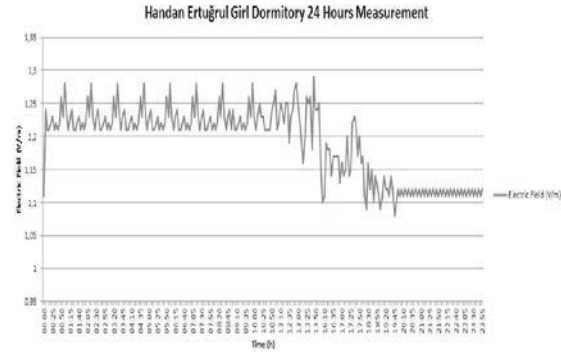


Şekil 4. Açık Spor Sahaları için elektrik alan ölçümleri



Şekil 5. Açık Spor Sahaları için manyetik alan ölçümleri

Handan Ertuğrul Yurdu için elektrik alan ölçümleri, çalışma saatleri ve uyku süresi içerisinde elektrik alan çeşitliliğini ortaya çıkarmak için bütün bir gün 24 saat boyunca izlenmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Handan Ertuğrul Kız Yurdu için 24 saat elektrik alan ölçümü

4. SONUÇLAR

Bu çalışma bireylerin, mekanların çevresinde radyo frekansındaki elektromanyetik alanlara farklı kaynaklardan, toplam maruziyete kadar maruz kalma seviyelerinin miktarını ve Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü'nde okuyan bir öğrencinin günlük yaşamı sırasındaki EMF ye maruz kalma seviyelerini belirledi. Baz istasyonları, handset cihazlar, kablosuz DECT telefonlar ve bunlara maruz kalma seviyeleri, üniversitenin çalışma vakitlerinde en yüksek değerindeydi.

Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü'nde yapılan her ölçüm kümesi, RF aralığında çalışan taşınabilir cihazlar kullanılarak ölçülen, en yüksek değerlerin okunduğu

noktalarda gerçekleştirildi. Bütün elektrik ve manyetik alan şiddeti RMS seviyeleri, V/m ve A/m birimlerinde gösterildi. Kampüs içinde detaylı analiz gerekliliği belirlendi. Bütün analiz edilen durumlar için, şiddet değerleri temel sınırlamaların altındaydı. Ölçülen elektrik ve manyetik değerleri ICNIRP yönetmeliklerine uygundu.

En yüksek elektrik ve manyetik alan ölçümleri, spor sahasının 1m uzağında, 2.4 V/m ve 0.008 A/m idi. Neyse ki, elektrik ve manyetik alan şiddet değerleri, referans düzeylerinin temel sınırlamalara göre daha korunumlu olduğunu göstermektedir.

Bu analiz için çözülmesi gereken meseleler ise, ölçüm ekipmanının değişkenliği, ölçüm lokasyonunun seçilmesinde kullanılan kriterler, ölçüm ekipmanı ayarları ve anket metodolojisidir. Teknik ölçüm standartlarıyla hazırlanmış değişmeyen bir kılavuz geliştirilmesi sonuçların karşılaştırılmasını daha da geliştirecektir. İşlenmemiş verinin ulaşılabilir olduğu yerde, maruziyet düzeylerinin nüfus yüzdelere göre dağılımına ulaşmak için, potansiyel gelecek analizi, akümülatif maruziyet dağılımının hesaplanmasını ve coğrafik ve nüfus yoğunluğu verileriyle maruziyet dağılımlarının kombine edilmesini kapsayabilir. Gelecek yıllar için diğer üniversitelerin RF anket sonuçlarının ek verileriyle ve yeni mobil teknolojilerle birlikte bu çalışmayı sürdürmek istiyoruz.

Elimizdeki bilgilere göre, bu çalışma, kişisel ölçümler ve noktasal ve günboyu ölçümleri kombine edilerek RF EMF maruziyetini hesaplayan ilk çalışma olma niteliğindedir. Bunun yanında, daha farklı maruziyet bölgelerinin ölçümleriyle birlikte, sonuçların EMF kaynaklarına yakın çalışan öğrenci, personel ve öğretim görevlilerinin risk hesaplamalarında daha da kullanışlı hale gelmesini umuyoruz. Burada sunulan veriler, uzaktan yapılan uygulamalarda manyetik alanın düşüşü ve bu düşüşün farklı cihazlardaki düşüş hızı oranlarını anlamada yararlıdır.

5. TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmanın sponsorluğu FEN-A-110412-0111 numaralı proje kapsamında Marmara Üniversitesi Araştırma Kurumu tarafından yapılmıştır. Yazar ayrıca Yağmur Kırkağaç ve Barış V. Yıldırım'a da ölçümlerdeki yardımları için teşekkür etmektedir.

6. REFERANSLAR

[1] Neubauer, G., Feychting, M., Hamnerius, Y., Kheifets, L., Kuster, N. and Ruiz, I. (2007). Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations. *Bioelectromagnetics*, 28, 224–230.

[2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (Up to 300 GHz). *Health Phys.* 41, 449–552.

[3] Schreier, N., Huss, A. and Rössli, M. (2006). The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. *Soz Präventivmed.* 51, 202–209.

[4] Vrijheid, M., Armstrong, B. K., Bedard, D., Brown, J., Deltour, I. and Iavarone, I. (2009). Recall bias in the assessment of exposure to mobile phones. *J. Expo. Sci. Env. Epid.* 19 (4), 369–381.

[5] Navarro, E. A., Segura, J., Portoles, M., and Mateo, C. G. P. (2003). The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagn. Biol. Med.* 22, 161–169.

[6] Santini, R., Santini P., Ruz, P. L., Danze, J. M. and Seigne, M. (2003). Survey study of people living in the vicinity of cellular phone base stations. *Electromagn. Biol. Med.* 22, 41–49.

[7] Neitzke, H. P., Osterhoff, J., Peklo, K. and Voigt, H. (2007). Determination of exposure due to mobile phone base stations in an epidemiological study. *Radiat. Prot. Dosim.* 124, 35–39.

[8] Schüz, J. and Mann, S. (2000). A discussion of potential exposure metrics for use in epidemiological studies on human exposure to radiowaves from mobile phone base stations. *J. Expo. Sci. Env. Epid.* 10, 600–605.

[9] Hutter, H. P., Moshhammer, H., Wallner, P. and Kundi, M. (2006). Subjective symptoms sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup. Environ. Med.* 63, 307–313.

[10] Preece, A.W., Georgiou, A. G., Dunn, E.J. and Farrow, S.C. (2007). Health response of two communities to military antennae in Cyprus. *Occup. Environ. Med.* 64, 402–408.

[11] Bornkessel, C., Schubert, M., Wuschek, M. and Schmidt, P. (2007). Determination of the general public exposure around GSM and UMTS base stations. *Radiat. Prot. Dosim.* 124, 40–47.

[12] Ahlbom, A., Bridges, J. de Seze, R., Hillert, L., Juutilainen, J. and Mattsson, M. O. (2008). Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health: opinion of the scientific committee on emerging and newly identified health risks (SCENIHR), *Toxicology* 246, 248–250.

Ameliyathane Ortamında Radyasyon Güvenliği

Tuğba ŞAHİNER¹, Serdar Savaş Gül¹, Huri TİLLA İLÇE¹, Emel KOÇYİĞİT DEVECİ¹,
Ali Fuat ERDEM¹, Mustafa KURT², Sıtkı EKER²

¹T.C. Kamu Hastaneleri Genel Sekreterliği, Sakarya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Sakarya

²Ahi Evran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Kırşehir

tugba_sahiner@hotmail.com

ÖZET

Çağdaş tıp pratiğinde radyasyon uygulamaları büyük yer tutmaktadır. Radyasyon görevlileri, radyoaktiviteyi tanımakta, korunma yöntemlerini etkin olarak kullanmaktadır. Ameliyathane, anjio ünitesi ve gastroenteroloji bölümlerinde radyasyon yayan cihazlar ile çalışan diğer sağlık personeli, radyasyon güvenliği konusunda yeterli bilgiye sahip değildir. Çalışmamızda, hastanemiz ameliyathane bölümünde C-kollu skopi cihazlarının, yüzey monitörü ile operasyon sırasındaki radyoaktivite oranları ve çalışan personelin olası radyasyon maruziyetleri tespit edilmiştir. Radyasyon koruyucu ekipmanın sağlamlığı test edilmiştir. Çalışma sonucunda; skopi cihazına en yakın konumda çalışan doktor ve hemşirenin, koruyucu kurşun önlük olmadan çalışmaları halinde en yüksek radyasyon dozuna maruz kalacakları saptanmıştır. Radyasyon koruyucu kurşun önlüklerin saklanması ise gereken özenin gösterilmediği anlaşılmıştır.

GİRİŞ

Yaşamımız boyunca doğal ya da yapay olarak radyasyona maruz kalmaktayız. Ayrıca radyoloji, nükleer tıp ve radyasyon onkolojisi kliniklerinde diagnostik ve terapötik amaçlı radyasyon uygulamaları günümüzde giderek artmaktadır. Radyasyonun tıbbi kullanımı en çok alınan radyasyon kaynağı olmasına rağmen yıllık dünya ortalaması 0.3 mSv dir (1).

Mesleki olarak radyasyon görevlisi olarak çalışanlar, radyasyonun etkileri ve korunma yöntemleri konusunda gereken eğitimi almaktadır. Ancak

ameliyathane, anjio ünitesi veya gastroenteroloji gibi radyasyon yayan cihazlarla çalışılan bölümlerdeki diğer sağlık personeli, radyasyondan korunma önlemlerini yeterince uygulayamamaktadır.

Bu çalışmamızda; hastanemiz ameliyathane bölümünde kullanılan C-kollu skopi cihazlarının, radyasyon sızıntı miktarlarını tespit etmek ve sağlık personeline etkilerini ortaya koymak amaçlanmıştır. Ayrıca radyasyon korunmasında kullanılan malzemelerin etkinliği de araştırılmıştır.

MATERYAL METOD

T.C. Sağlık Bakanlığı Sakarya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Merkez Ameliyathane Bölümü'nde kullanılan 3 adet C-kollu skopi cihazının çalışma sırasında radyasyon sızıntı testleri ve çalışanların alabilecekleri doz miktarları ölçülmüştür. Radyasyon sızıntı ölçümleri için, her cihaz için 100 kVp ve 50mAs değerlerinde şutlama yapılmıştır.

Kullanıcıların maruz kaldığı radyasyon miktarını görmek için, doktor konumundan, teknisyen konumundan, 1m uzaktan ve oda dışından doz ölçümleri alınmıştır. Günlük 5 saat çalışma mesaisinde ortalama 1 dk. şutlama yapıldığı düşünülerek kümülatif eşdeğer doz değerleri hesaplanmıştır.

Radyasyon doz ölçümlerinde; MNT Technical Associates C121837 9888 marka surface monitor cihazı kullanılmış, ayarlanan 100kVp ve 50mAs X-ışını parametre değerleri tüm ölçümlerde sabit tutulmuştur.

Radyasyon koruyucusu olarak kullanılan, kurşun önlük, gonad, tiroid ve göz koruyucu malzemeler skopi altında görüntülenerek sağlıkları tespit edilmiştir.

BULGULAR

Ameliyathane bölümünde bulunan 3 adet C-kollu skopi cihazı ile 100kVp ve 50mAs X-ışını parametre değerlerinde şutlama yapıldı. Bu süre içerisinde operasyon esnasındaki yerleşimlerine göre; doktor konumundan, teknisyen konumundan, 1m uzaktan ve oda dışından doz ölçümleri alınmıştır. Ameliyathane ortamında çalışan bir personelin, günlük 5 saat çalışma mesaisinde ortalama 1 dk şutlama yaptığı düşünülerek alacağı kümülatif eşdeğer doz değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. C-kollu skopi cihazlarının X-ışını ölçümleri (100kVp, 50mAs) ve ameliyathane odaları için muhtemel ışına maruz kalma durumlarında alınacak toplam eşdeğer doz değerleri:

ÇİHAZIN MARKASI : GENORAY / 12C371

10 cm Uzaklıktan Ölçüm: >2 mSv/saat
1,5 m Uzaklıktan Ölçüm: 0.0005 mSv/saat
Oda Dışından Ölçüm: Anlamlı Değer Saptanmadı

	1 Dakika Çekim	1 Saat Çekim	Bir Yıl (250 Dakika) Çekim
Doktor Konumunda (+ Kurşun Önlük) Eşdeğer Doz:	0.000033 mSv	0.0002 mSv	0.000825 mSv
Teknisyen Konumunda (+ Kurşun Paravan) Eşdeğer Doz:	0.000033 mSv	0.0002 mSv	0.000825 mSv

ÇİHAZIN MARKASI : SIEMENS / 01279507

10 cm Uzaklıktan Ölçüm: >2 mSv/saat
1,5 m Uzaklıktan Ölçüm: 0.0004 mSv/saat
Oda Dışından Ölçüm: Anlamlı Değer Saptanmadı

	1 Dakika Çekim	1 Saat Çekim	Bir Yıl (250 Dakika) Çekim
Doktor Konumunda (+ Kurşun Önlük) Eşdeğer Doz:	0.000033 mSv	0.0002 mSv	0.000825 mSv
Teknisyen Konumunda (+ Kurşun Paravan) Eşdeğer Doz:	0.000033 mSv	0.0002 mSv	0.000825 mSv

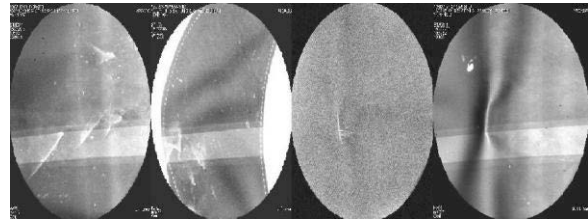
ÇİHAZIN MARKASI : ZIEHM / 8571

10 cm Uzaklıktan Ölçüm: >2 mSv/saat
1,5 m Uzaklıktan Ölçüm: 0.00025 mSv/saat
Oda Dışından Ölçüm: Anlamlı Değer Saptanmadı

	1 Dakika Çekim	1 Saat Çekim	Bir Yıl (250 Dakika) Çekim
Doktor Konumunda (+ Kurşun Önlük) Eşdeğer Doz:	0.000005 mSv	0.0003 mSv	0.00125 mSv
Teknisyen Konumunda (+ Kurşun Paravan) Eşdeğer Doz:	0.000005 mSv	0.0003 mSv	0.00125 mSv

Radyasyon koruyucusu olarak kullanılan, kurşun önlük, gonad koruyucu ve tiroid koruyucu malzemenin skopi altında sağlıkları tespit edilmiştir. 16 adet kurşun önlüğün 10 adetinin bütünlüğünün bozulduğu; özellikle yeni alınan kurşun önlüklerin ise katlanması sonucu kırıldığı tespit edilmiştir. Kurşun önlüklerdeki değişiklikler Resim 1'de gösterilmiştir.

Resim 1. Koruyucu kurşun önlüklerin skopi altındaki incelemesi sonucunda bütünlüğü bozulmuş önlükler ve katlantı yerindeki kırılmalar görülmektedir:



TARTIŞMA

İnsanlık yararına kullanılan yapay ve doğal radyasyon kaynaklarından çeşitli düzeyde radyasyona maruz kalınmaktadır. Tıp uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan radyasyon türü X-ışınlarıdır. Toplum ve çalışanların maruz kaldıkları radyasyon dozlarının önemli bir kısmını da bu tür uygulamalar oluşturmaktadır. Toplumun aldığı yapay radyasyona en büyük katkı, tanınan radyolojiden kaynaklanmaktadır. Ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alınarak ışınlanmalar ALARA

prensipleri (As Low As Reasonably Achievable) çerçevesinde “mümkün olan en düşük seviyede” tutulur. Radyasyondan korunmada amaç radyasyon dozunu makul düzeyde olabildiğince azaltmaktır (2).

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından hazırlanmış Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğine göre; görevi gereği radyasyon kaynaklarıyla çalışan ve radyasyona maruz kalan kişilerin, iç ve dış radyasyon kaynaklarından bütün vücutlarına alacağı yıllık doz miktarının 50mSv’i geçmemesi gerekmektedir. Radyasyon personelinin yıllık kabul edilebilir doz sınır değerlerinden yararlanılarak, günlük maksimum müsaade edilebilir doz değeri, 80 µSv/gün olarak belirlenmiştir (3).

Ameliyathanelerde bir X-ışını kaynağı olan C-kollu skopi cihazları oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hastaya sınırlı miktarda radyasyonun verilebilmesi için mümkün olan en küçük X-ışını alanının kullanılması ve doğru bir şekilde pozisyonlanma yapılması önemlidir. Demet kolimasyonunun gereğinden büyük olması ilave saçılmış radyasyon da oluşturacağından görüntü kalitesi bozulacaktır. Floroskopik tekniklerde süreye bağlı olarak hasta dozu artmaktadır. Hiç şüphe yoktur ki son derece basit önlemler ile hasta dozunda önemli azaltmalar yapılabilir (4). Skopi cihazında X-ışını tüpü masa altında olmalıdır. Bu durumda iken birincil ve ikincil radyasyon dozu; masa seviyesine göre, masa seviyesinin altında 2-3 kat artmakta iken, masa seviyesinin üzerinde yarıya düşmektedir (5).

Birçok radyolojik tetkikte gonadlar, primer demet sınırlarının dışında tutulabilir. X-ışını alanının sadece birkaç cm dışında kalan testisler direkt ışınlamaya göre 10 kat daha az doz almaktadırlar. Gonadların primer demete 5 cm’den yakın olması durumunda gonad zırhı gerekmektedir. Zırhlama ile gonad dozu erkeklerde %95, kadınlarda ise %50 oranında azaltılabilir (4). Skopi rehberliğindeki işlemler, çağdaş tıp uygulamalarının önemli bir parçasıdır. Bazı skopi eşliğinde yapılan işlemler, cilde radyasyon hasarı riski ile ilişkilidir. Bu durum deri bütünlüğünü bozabilir, acı verici ve uzun süreli olabilir (6).

Yapılan bir araştırmaya göre, ameliyathane ortamında çalışanların radyasyon bilgilerinin yetersiz olduğu ve korunma konusunda gereken önemi göstermedikleri görülmüştür. Ameliyathane ortamında radyasyon güvenliğini sağlama ve skopiyi daha az radyasyon yayacak biçimde kullanma konusunda gereken özveride bulunulmadığı gözlenmiştir. Skopinin kullanımına bakıldığında genelde yanlış bir şekilde, kVp ve mAs ayarlarına dikkat edilmeden kullanıldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, skopi uygulamalarında X-ışını tüpü masa üstünde kullanılmış ve çekimler puls değil sürekli konumda yapılmıştır. Skopinin yatay pozisyonunda kullanımında ise çalışanların genelde X-ışını tarafında durduğu gözlemlenmiştir. Çalışanların radyasyondan korunma düzeylerinin artması aynı zamanda hasta güvenliğini de olumlu yönde etkileyecektir. Çünkü cihaz kullanılırken doğru çekim yöntemleri kullanılırsa hastaların alacağı radyasyon dozu da azalacaktır (7).

Skopi cihazı kullanılan ameliyathanelerde radyasyon güvenliğini sağlayabilmek için; Hastanelerde radyasyondan korunma görevlisi olmalı ve radyasyon güvenliği komitesi kurmalıdır. Komite aktif bir şekilde çalışarak çalışanlara yönelik koruyucu önlemler alıp, radyasyon eğitimleri düzenlemelidir. Ameliyathanelerde skopi vakalarında çalışacak personelin, çalışmaya başlamadan önce radyasyon ve radyasyondan korunma eğitimlerini alması gerekmektedir. Skopi cihazı ilgili hekimin yönlendirmesine bağlı olarak, röntgen teknikeri tarafından kullanılmalıdır. Skopi cihazını kullanan hekimlere uzmanlıkları döneminde ve diğer sağlık profesyonellerine mesleki eğitim dönemlerinde radyasyon eğitimi de verilmelidir (7).

Yaptığımız çalışma ile ameliyathane ortamında kullanılan C-kollu skopi cihazlarının radyasyon sızıntı miktarları ve ameliyathane personelinin alacağı radyasyon doz değerleri ortaya konulmuştur. Buna göre en yüksek olası radyasyon dozuna; cihaza en yakın konumda koruyucu kurşun önlük giymeden çalışacak olan doktor ve hemşire maruz kalacaktır. Bu sebeple koruyucu ekipmanın gerekliliği bir kez daha ortaya konulmuştur. Ayrıca skopiye yakın konumda gonad koruyucu kullanılması gerekmektedir.

Kurşun paravan arkasında çalışan teknisyen ve diğer ameliyathane personelinin yüksek radyasyona

maruz kalma olasılığının az olduğu anlaşılmıştır. Ameliyathane odası dışında yapılan doz ölçümleri sonucunda, anlamlı derecede yüksek radyoaktivite miktarı saptanmamış olup, bu yüzden skopi cihazlarının bulunduğu odaların kurşun plakalar ile kaplanmasına gerek olmadığı anlaşılmıştır.

Radyasyon korunmasında kullanılan malzemelerin korunmasında gereken önemin gösterilmediği anlaşılmıştır. Özellikle kurşun önlüklerin askıda tutulması yerine, katlandığı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda yeni olan önlüklerin katlantı yerlerinden kırıldığı ve radyasyon korunmasında yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak C-kollu skopi cihazı ile çalışan ameliyathane personelinin çekim esnasında radyasyon koruyucu giysi, gonad, tiroid ve göz koruyucularını mutlaka kullanmaları ve diğer personelin koruyucu paravanın arkasında çalışmaları çok önemlidir. Ayrıca radyasyon korunmasında kullanılan koruyucu ekipmanın saklanması gerekli özen gösterilmeli ve sağlıkları kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

- 1- Bora H. Radyasyon Güvenliği. Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Yılı 2001; 2(1): 91-8.

- 2- McCollough CH, Primak AN, Braun N, Kofler J, Yu L, Christner J. Strategies for Reducing Radiation Dose in CT. Radiol Clin North Am. 2009; 47(1): 27-40.
- 3- Radyasyon Güvenliği +Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 24.03.2000 Resmi Gazete Sayısı: 23999.
- 4- Bor D, Buyan G, Meriç N. Tanısal Radyolojide Radyasyondan Korunmada Yeni Kavramlar 2. Bölüm. Radyoloji Gündemi A5-10.
- 5- Rehani MM, Vano E, Giordano BD, Perliden J. Annals of the ICRP Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures Performed Outside the Imaging Department. ICRP ref 4834-1783-0153. 2011.
- 6- Miller DL, Balter S, Dixon RG, Nikolic B, Bartal G, Cardella JF, et. al. Quality Improvement Guidelines for Recording Patient Radiation Dose in the Medical Record for Fluoroscopically Guided Procedures. J Vasc Interv Radiol 2012; 23:11-8.
- 7- Songur L, Abacıgil F. Radyasyona Maruz Kalan Ameliyathane Çalışanlarının Güvenliği. III. Uluslararası Sağlıkta Performans ve Kalite Kongresi Sözel Bildiriler Kitabı ISBN: 978-975-590-407-8. 2011:77-S.86



Cep telefonu dalgalarının Blastobasis lignea türü kelebeklerin davranışları ve yaşam süreleri üzerindeki etkileri

Projenin Amacı: Cep telefonu dalgalarının Blastobasis lignea türü kelebeklerin davranışları üzerindeki etkilerinin araştırılması

Giriş: Cep telefonu dalgalarının zararları uzun yıllardır çok tartışılıyor ve canlılar üzerinde değişik etkiler yaptığı söyleniyor.

Elektromanyetik dalgalar birçok doğal ve insan yapımı kaynaklar tarafından yayılmakta ve hayatımızda önemli bir rol oynamaktadır. Radyo Frekans (RF) bölgesinde yer alan elektromanyetik dalgalar iletmiş, radyo ve televizyon yayınlarında kullanılmaktadır. Teknolojideki gelişmelerin bir sonucu olarak da elektromanyetik dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve bundan dolayı günlük yaşamda doğada bulunanın çok üstündeki seviyelerde elektromanyetik dalgalara maruz kalmaktadır. Son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan cep telefonları ve uzantısında bazı istasyonlarına ilişkin soru işaretleri kamuoyu gündeminin ön sıralarına yerleşmiştir.

Bu gelişmelerin sonucunda elektromanyetik dalgaların insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkileri konusunda kamuoyunun duyarlılığı artmıştır.

Etkileri:

RF elektromanyetik dalgalarının foton enerjileri, atomları ve molekülleri iyonlaştıracak düzeyde değildir. Elektromanyetik radyasyonun göreceli olarak düşük frekanslı biçimleri olan görünen ışık, kızılötesi radyasyon ve RF dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyona örnektir. Ortamdaki iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgaların etkisinde kalma sonucunda canlılarda iki tür etki oluşabilir: Isıl etkiler ve ısıl olmayan etkiler.

Isıl etkiler, vücut tarafından yutulan elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını artırması olarak tanımlanır. Bu sıcaklık artışı, ısının kan dolaşımı ile atılarak dengelenmesine dek sürer. Cep telefonları gibi RF kaynaklarının sebep olabileceği sıcaklık artışı gerçekte çok düşüktür ve büyük olasılıkla vücudun normal mekanizmaları ile kolayca etkisizleştirilebilir. Cep telefonu ile beyinde oluşabilecek sıcaklık artışı ortalama 0,1 C dolayındadır.

Isıl olmayan etkilere bağlı olarak RF dalgalarının etkili olduğu iddia edilen bozukluk ve hastalıklar arasında beyin aktivitelerinde değişiklikler, uyku bozuklukları, dikkat bozuklukları, baş ağrıları bulunmaktadır.

İyonlaştırıcı radyasyonun DNA'larda mutasyona ve kansere yol açtığı bilinmektedir fakat RF dalgalarının bu tip etki yaptığı kanıtlanmamıştır. Son yıllarda cep telefonu dalgalarının beyin tümörü ve kansere yol açtığı öne sürülmüş bununla ilgili çalışmalar yapılmıştır, fakat kesin deliller bulunamamıştır. Ancak çeşitli çalışmalarda ICNIRP'nin belirlediği sınır değerinin altındaki telefon sinyallerinin beyin elektriksel aktivite ve algılama fonksiyonlarında (dikkat, hatırlama, tepki verme gibi) kısa süreli değişimlere neden olduğu görülmektedir.

Blastobasis lignea

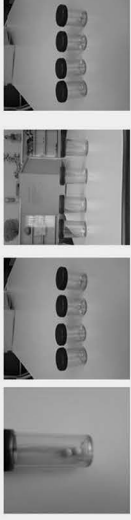
Dişi kelebek yassı, yuvarlak gümüş gibi parlak, yaklaşık 1 mm. boyundaki yumurtalarını tek tek geliştirmekte olan meyve ya da tohumlar üzerine bırakır. Bir kelebek 80-100 yumurta bırakabilir. 7-14 gün sonra yumurtadan küçük tırtıllar çıkarılır. Meyvenin içerisine giren larva (kurt) çekirdek evine doğru iner ve o kısmı yiyecek beslenir. Önce beyaz, daha sonra et kırmızısı (pembe) olan larva takriben 3 hafta sonra gelişmiş olur. Olgun larvaların (kurtların) başı kahverengi, vücutları ise pembe renktedir. Boyu 2 cm.'ye yakındır. Pupa süresi 13-25 gündür, ancak nesil farklılığına göre bu süre değişebilir. Pupa evresinin son 2-3 gününde kabuk şeffaflaşır, kelebeğin renk ve desenleri görülmeye başlar.

Yöntem

Biz bu projede cep telefonu dalgalarının Blastobasis lignea türü kelebekler üzerine etkisini araştırarak farklı bir bakış açısıyla yeni bir yorum oluşturmak istedik.

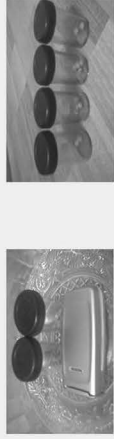
Özdeş kelebek larvalarını içinde besin bulunan farklı kutulara koyduk. Bunları iki gruba ayırdık ve bu grupları sabit oda sıcaklığında beklettik. Gruplardan birine her gün düzenli olarak 60 dk cep telefonu dalgası verdik. Diğer grubu cep telefonu dalgalarına maruz kalmayacak bir ortama koyduk

Deney grubundaki larvaların daha çok hareket ettiği ve stresli oldukları, kabın içini tamamen saran bir ağ ördükleri gözlemlendi, kontrol grubunda ise böyle bir durum gözlemlenmedi.

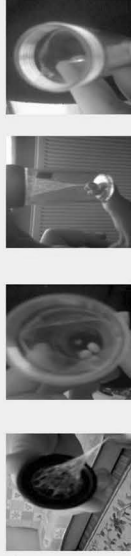


Resim 1 Resim 2 Resim 3 Resim 4

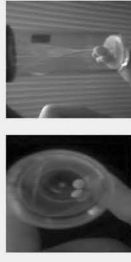
Kelebek larvaları (Resim 1, 2, 3, 4)



Resim 5 Kontrol Grubu (Resim 5)



Resim 6 Deneysel gruplar (Resim 6)



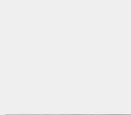
Resim 7 Deneysel gruplar (Resim 7)



Resim 8 Deneysel gruplar (Resim 8)



Resim 9 Deneysel gruplar (Resim 9)



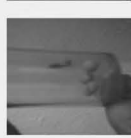
Resim 10 Deneysel gruplar (Resim 10)



Resim 11 Deneysel gruplar (Resim 11)



Resim 12 Deneysel gruplar (Resim 12)



Resim 13 Deneysel gruplar (Resim 13)



Resim 14 Deneysel gruplar (Resim 14)

Sonuçlar ve tartışma: Cep telefonu dalgalarına maruz bırakılan larvaların stresle girdiklerini ve daha kalın ağlar ördüğünü gözlemledik. Fakat kozada kalma ve yaşam sürelerinin değişken olduğu, bu konuda cep telefonu dalgalarının çok fazla etkili olmadığı sonucuna vardık.



Gruplar	Kozada Geçirilen Gün Sayısı	Yaşam Süresi
Deney grubu 1	15 gün	11 gün
Kontrol grubu 1	18 gün	13 gün
Deney grubu 2	17 gün	25 gün
Kontrol grubu 2	14 gün	20 gün
Deney grubu 3	16 gün	26 gün
Kontrol grubu 3	17 gün	20 gün
Deney grubu 3	17 gün	20 gün
Kontrol grubu 3	15 gün	18 gün

Sonuçlar ve tartışma: Cep telefonu dalgalarına maruz bırakılan larvaların stresle girdiklerini ve daha kalın ağlar ördüğünü gözlemledik. Fakat kozada kalma ve yaşam sürelerinin değişken olduğu, bu konuda cep telefonu dalgalarının çok fazla etkili olmadığı sonucuna vardık.

Kaynaklar:
www.turkiyeninkelebekleri.com

www.tagem.gov.tr
www.hayvanlariatlemi.net
www.biltek.tubitak.gov.tr/s
andik/gsm.pdf

Proje sorumlusu:
Nisa Tavşan
Begüm Çetin
Proje danışmanı:
Emine Demirtaş

Bursa - Nilüfer Belediyesi'nde Elektromanyetik Kirliliği Önleyici Bakış

Mustafa BOZBEY
baskan@nilufer.bel.tr

Nilüfer-BURSA Belediye Başkanı

Özet-Nilüfer-BURSA İlçesi'nde baz istasyonu ve Yüksek Gerilim-Trafo kaynaklı Elektromanyetik Kirliliğin (EMK) Belirlenmesi ve alt seviyelere çekilmesi için Sakarya Üniversitesi ile 3 yıldır devam eden ortak bir bilimsel proje çalışması yapılmaktadır. Yapılan ortak çalışmaların sonuçları web ortamında halkın bilgisine sunulmaktadır. Bilindiği gibi baz istasyonlarının şehirlerde yaşam alanlarına çok yakın kurulması çevre de yaşayan halkı buldukları ortamın sağlıklı olup olmadığı hususunda endişelendirmektedir. Bu nedenle insanların yaşam kalitelerini bozmadan günlük aktivitelerine devam edebilmeleri için şehirlerde elektromanyetik radyasyon seviyesinin izlenmesinin ve zaman içinde değişiyorsa bilgilendirilmesi gerekir. 2010 yılından beri Nilüfer'de halkın talebi doğrultusunda elektromanyetik radyasyon ölçümü ve değerlendirilmesi ücretsiz olarak yapılmaktadır. Yapılan bu hizmet sonucunda ölçüm sonuçları web ortamına taşınarak Nilüfer Belediyesinin elektromanyetik radyasyon izleme ve kontrol sayfasında yayınlanmaktadır. Ayrıca elde edilen veriler ışığında Baz istasyonlarının yaydığı Elektromanyetik Radyasyon (EMR) limitinin en alt seviyeye çekilmesi için Örnek Bir bilimsel Model geliştirilmiştir. Mevcut yönetmelikteki sınır değerlerle önerilen modelin sınır değerleri karşılaştırılmıştır. Baz istasyonları ile ilgili olarak halkın doğru bilgilendirilmesi için yapılan bu çalışmalar aynı şekilde yüksek gerilim hatları için de yapılmakta olup elde edilen sonuçlar bilimsel araştırmalarda da kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Kirlilik, Baz istasyonları, Yüksek Gerilim Hatları, Trafolar, Yönetmelikler ve Nilüfer Belediyesi

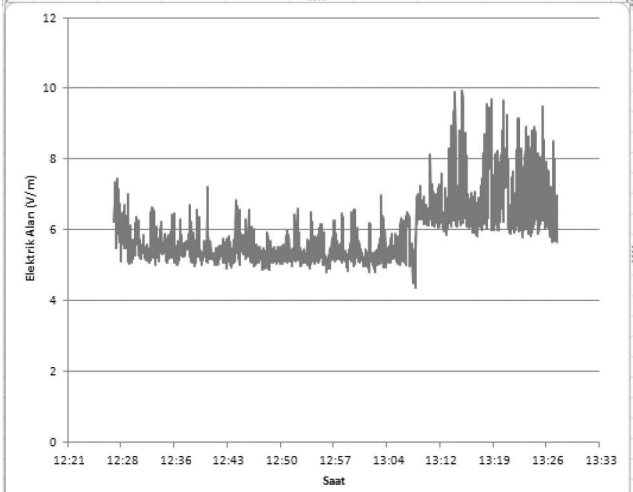
1. GİRİŞ

Elektriksel enerjinin hayatımıza sağladığı kolaylıklar ve iletişim teknolojindeki hızlı gelişmeler beraberinde çevreye yayılan fakat yayılması arzu edilmeyen elektromanyetik dalgaları da beraberinde getirmektedir. Yaşam alanlarının hemen yakınlarında bulunan baz istasyonları ve evlerin yakınlarından geçen yüksek gerilim hatlarının oluşturdukları elektromanyetik kirlilik bu gün tüm dünya ülkelerinde insanların endişe duyduğu bir çevre kirleticisi olarak kabul edilmektedir. Elektromanyetik kirlilik ile ülkemiz ilk kez Yüksek Gerilim Hatlarıyla tanıştı. 1990 yıllarında ise özel radyo ve televizyonların yayına başlaması ve sonra da GSM operatörlerinin baz istasyonları kurması ile elektromanyetik atıklar insanların daha da dikkatini çekmeye başladı. Şimdi ise 3. nesil (3G) cep telefonları için görüntü kalitesi ve erişim hızını artırmak amacıyla yeni istasyonların kurulacak

olması elektromanyetik kirlilik boyutunun çok fazla artacağı endişesini ortaya koymaktadır. Bu nedenle Nilüfer-BURSA İlçesinde Belediye olarak halkın maruz kaldığı elektromanyetik kirlilik değerlerini belirlenmesi çalışması için Sakarya Üniversitesi ile işbirliği yaparak halkı bilgilendirme çalışması yapılmaktadır. Sağlığı olumsuz etkileyebilecek düzeyde elektromanyetik radyasyon seviyeleri tespit edildiğinde gerekli önlemlerin alınması için bilgilendirme yapılmaktadır. Ayrıca Belediye arazilerinde kurulması istenen baz istasyonları için inceleme yapılarak uygun olup olmadığı araştırılmaktadır. Nilüfer ilçesinde her yıl ortalama 200 adet ev veya işyerinde ölçüm ve inceleme yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar sonunda ve Baz istasyonu kaynaklı Elektromanyetik Kirliliğin (EMK) daha alt seviyelere çekilmesi uygulanabilir Örnek Bir Model geliştirilmiştir. Sakarya Üniversitesi Elektronik Mühendisliği öğretim Üyesi Prof. Dr. Osman Çerezci ile birlikte yapılan bu çalışmanın çıktıkları ülkemizde bu konuda yapılacak düzenlemelere ışık tutacak objektif veriler içermektedir. Nilüfer ilçesinde yapılan bu çalışmalar elektromanyetik kirliliğin Nilüfer halkının elektromanyetik kirlilikten endişe duymadan moral ve huzur ortamında günlük aktivitelerini yerine getirmeleri amacıyla yapılmaktadır.

2. EM KİRLİLİK ÖLÇÜM VE KONTROL ÇALIŞMALARI

2010 yılından itibaren Sakarya Üniversitesi ile ortak yapılan çalışmalar sonucunda her yıl ortalama 200 noktada kaynaklı elektromanyetik radyasyon ölçümü yapılmıştır. Tüm sonuçlar çevrede yaşayan insanlarla paylaşılmış olup ayrıca herkesin görebilmesi için web ortamına konulmuştur. Bazı ölçüm değerleri farklı zamanlarda yapılan uzun süreli kontrol ölçümleriyle tekrarlanmıştır. yapılan bu çalışmalar sonucunda Nilüfer'de Baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik kirlilik seviyesinin baz istasyonları sayısının artması veya anten güçlerindeki değişiklikler nedeniyle oransal olarak artmış olduğu belirlenmiştir. Ancak tüm ölçüm değerlerinin limitlerin altında kaldığı görülmüştür. Isı parametresine göre hazırlanmış olan ülkemizde uygulanmakta olan limitlerin kesinkes koruyucu olduğu tartışılır olması nedeniyle ALARA (as low as reasonably achievable-olabildiğince düşük doz) prensibi gereği Bursa Nilüfer'de elektromanyetik kirlilik seviyelerinin en alt düzeyde kalması için ölçüm ve kontrol çalışmaları devam etmektedir.

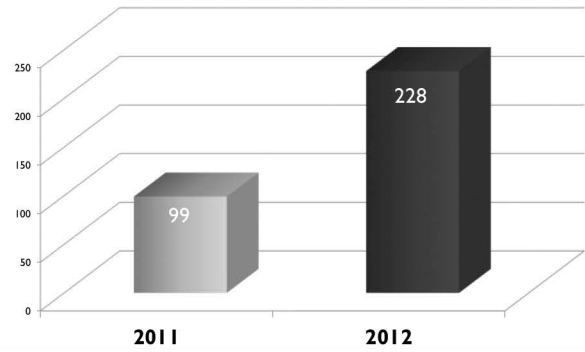


Şekil 1. Nilüfer’de bir evde baz istasyonu kaynaklı uzun süreli ölçüm değerlerine göre elektromanyetik radyasyon değişimi (Ölçüm tarihi 24.09.2013)

Ülkemizde GSM ve radyo-TV vericilerinin kurulum ve işletilmesine ilişkin olarak 2001 yılında çıkarılmış olan yönetmelik Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) sorumluluğunda uygulanmaktadır. 2009 yılında bu yönetmelik revize edilerek yeniden yayınlanmıştır. Bu yönetmelikte yürürlükten kaldırılarak 21.04.2011 Tarih ve 27312 Sayılı Resmî Gazetede yayımlanan “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslar arası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik” çerçevesinde uygulama yapılmaktadır. Yönetmelik GSM ve radyo-TV vericileri gibi yüksek frekansta E.M. dalga yayan sabit vericilerin istem dışı maruziyetler oluşturması dolayısıyla insan sağlığına yapacağı olumsuz etkileri önlemek amacıyla oluşturulmuştur. Bu yönetmelik Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyondan korunma komisyonu (ICNIRP) tarafından düzenlenen sınır değerler esas alınarak hazırlanmıştır. Aşımaması gereken bu sınırlar GSM 900 MHz ile çalışan baz istasyonları için 42 (V/m), 1800 MHz ile çalışan baz istasyonları için 57 (V/m)’dir. Üçüncü nesil sistemler olan 2100 MHz için limit değer ise 61 (V/m)’dir. BTK yönetmeliğine göre her bir GSM operatörünün bu sınır değerlerin ¼’nü aşmaması gerekir. Örneğin 900 MHz ile çalışan bir baz istasyonu $42/4=10,5$ (V/m)’yi, 1800 MHz ile çalışan bir baz istasyonu $14,5$ (V/m)’yi ve 3G GSM’ler ise $61/4=15,25$ (V/m)’yi aşamaz. Ancak her üçünün bulunduğu ortamın toplamı da, 42 (V/m)’nin altında kalmak zorundadır. ABD ve bazı Avrupa ülkeleri ICNIRP’ın oluşturduğu sınır değerleri uygularken, İsviçre, İtalya gibi bazı Avrupa ülkeleri ise sınır değerler olarak ICNIRP güvenlik limitlerinin 1/10’unu (onda biri) uygulamaktadır. Örneğin İsviçre’de baz istasyonu kaynaklı EM Radyasyonun olası olumsuz etkisi için öncelikli olarak İhtiyat İlkesi’ni benimsemesi dolayısıyla ev, ofis, hastane, okul ve çocuk oyun alanları gibi hassasiyet gösteren sürekli yaşam yerlerinde 4 (V/m)’yi sınır değer olarak kabul etmiş olup bunu uygulamaktadır. İnsanların yaşam kalitesini bozulmasına engel olmak amacıyla kullanılmaktadır.

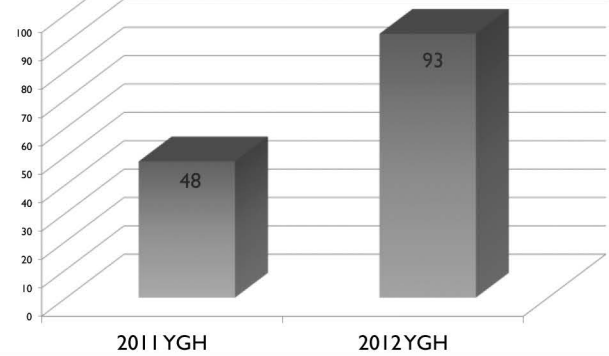
Elektromanyetik kirliliğin en önemli özelliği sigara, cep telefonu gibi isteğe bağlı olarak kullanılan zararlı maddelerde olduğu gibi kişiye özgü değildir. Bilakis baz istasyonları ve yüksek gerilim hatlarında olduğu gibi insan iradesi dışında bir kaynaktan yayılarak sürekli yaşam ortamında istem dışı varlığını sürdürmesidir. Bunlardan yüksek gerilim hatlarının sağlığa etkisi konusunda 1960’lı yıllardan beri araştırmalar yapılmış ve yakın civarda yaşayanlarda yaptığı olumsuz etkilere ilişkin birçok rapor yayınlanmıştır. GSM baz istasyonlarının ve TV-Radyo vericilerinin yaydığı elektromanyetik kirliliğin sağlığa etkileri konusunda kesin bulguları ortaya koyan bilimsel çalışmalar henüz tamamlanmamıştır. GSM teknolojisinin çok hızlı gelişmesi ile aynı hız ve teknoloji ile bilimsel araştırmaların yapılamaması bu konudaki araştırmaların geriden gitmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla mevcut araştırmalara dayanarak söz konusu elektromanyetik kirliliğin insan sağlığı için zararsız ya da risk taşımadığı anlamı çıkarılmamalıdır. Bugüne kadar yapılan araştırmalar elektromanyetik radyasyonun canlılar üzerinde ısınma ve biyolojik etki yaptığı tespit edilmiştir. Bu konuda ülkemizde çok az sayıda yapılan araştırmalar, gönüllü bilim adamlarının topluma karşı duydukları sorumluluk bilinci ile yürütülmekte olup Sakarya Üniversitesi araştırma yapacak olan bilim adamlarına gerekli teknik donanımları hazırlayarak desteklemektedir.

BAZ Ölçüm Sayıları



Şekil 2. Yıllara göre Nilüfer halkının isteği doğrultusunda evlerde yapılan Baz istasyonu ölçüm sayıları

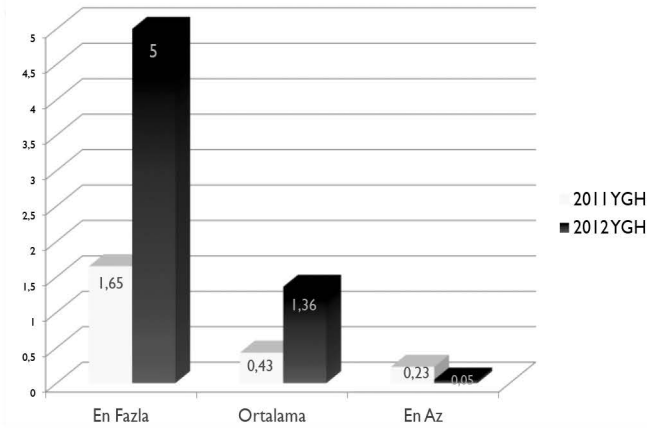
YÜKSEK GERİLİM HATTI ÖLÇÜM SAYILARI



Şekil 3. Yüksek gerilim hattı ölçüm sayılarının yıllara göre adetleri

3. EMR ÖLÇÜM PROJESİNİN ÇIKTILARI

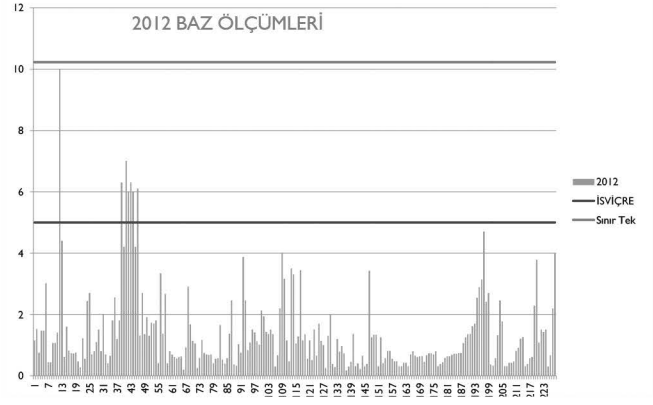
Elektromanyetik alan kirliliğinin insan sağlığına olumsuz etkileri yapabileceğini Nilüfer Belediyesi olarak, önemsiyoruz. Sorunun teknik boyutu yanında bir halk sağlığı problemlerinden biri olduğu düşüncesiyle, Uludağ Üniversitesi Halk Sağlığı Anabilim dalı- Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü ve Nilüfer Belediyesi Çevre Bürosu Koordinatörlüğü bünyesinde ilçemiz sınırları dahilinde çalışmalar yapılmaktadır. Ölçümler yüksek gerilim hatları-trafolar ve baz istasyonları olmak üzere iki farklı frekans kaynağı odaklı olarak Belediye sınırları içindeki parklar, yollar ve okullar olmak üzere tüm halka açık alanlarda ve ev,okulların iç mekanlarında yapılmış olup elde edilen sonuçlar yıllara göre karşılaştırılarak incelenmektedir.



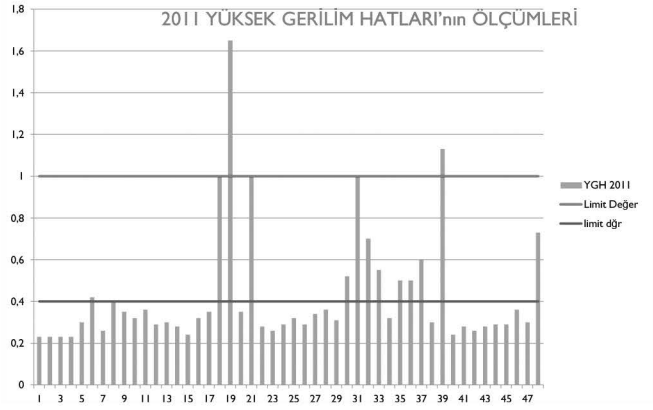
Şekil 4. Nilüfer’de evlerde elde edilen YGH kaynaklı manyetik alan ölçüm değerleri

Ayrıca Nilüfer ilçesinde oturan halk Belediyeye ölçüm ve inceleme talebinde bulunduğu ücretsiz baz istasyonu veya yüksek gerilim EMR ölçüm hizmeti sunulmaktadır. Yüksek gerilim hattı yakınında ev alacak ya da yaptıracak olan insanlar talep ettiklerinde yerinde inceleme ve ölçüm yapılarak gerekli bilgi verilmektedir. Elde edilen sonuçlar Nilüfer Belediyesi web sayfasında duyurularak vatandaşların doğru bilgilendirilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca mahalle komiteleri toplantılarına katılarak EMR ölçüm hizmeti sonuçları açıklanmaktadır. Yeni kurulacak Baz istasyonu ilgili konularda sorulara cevap verilmektedir.

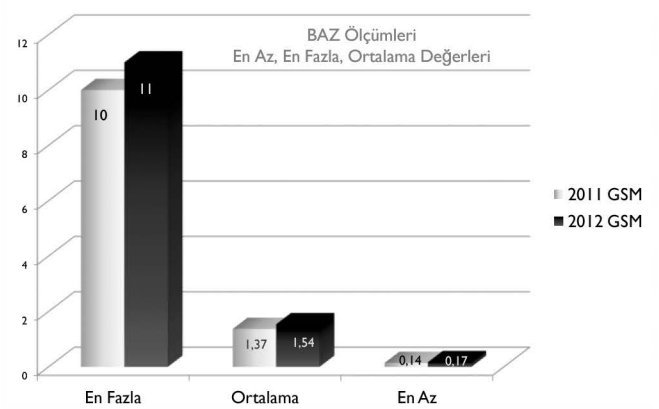
Nilüfer Belediyesinde yapılan EMK kontrol çalışmaları GSM operatörlerinden habersiz ve gerektiğinde uzun süreli ölçüm metodu uygulanarak yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu metodun baz istasyonu izleme ve kontrol çalışmalarından en uygun yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Anlık ölçümlerde gözükmeyen değerler Şekil 1’de görüldüğü gibi uzun süreli ölçümlerde açıkça fark edilmektedir.



Şekil 5. Nilüfer’de 2012 yılında yapılan GSM ölçüm sonuçlarına göre elektrik alan değer aralıklarının dağılımı ve limitlere göre durumu



Şekil 6. Nilüfer’de 2011 yılında yapılan yüksek gerilim kaynaklı ölçüm sonuçlarına göre manyetik alan dağılımı ve limitlere göre durumu



Şekil 7. Baz istasyonu ölçümlerinde bulunan en yüksek, en düşük ve ortalama değerler

Tablo 1. Elektromanyetik radyasyon için İsviçre’de uygulanan ihtiyati limit değerler

Elektromanyetik Radyasyon Kaynağı	Sınır Değer
Yüksek Gerilim Hatları	1 μ T (Manyetik Alan)
Radyo TV Vericileri	3 V/m (Elektrik Alan)
900 MHz -GSM Haberleşmesi	4 V/m (Elektrik Alan)
1800 MHz -GSM Haberleşmesi	6 V/m (Elektrik Alan)
2100 MHz GSM Haberleşmesi	6 V/m (Elektrik Alan)
Üç GSM Haberleşmesinin de Bulunduğu Nokta	5 V/m (Elektrik Alan)

3. SONUÇLAR

Nilüfer Belediyesi olarak Nilüfer’de yaşayan halkın sağlıklı ortamda yaşamasına gereken önemi vermektedir. Bu nedenle, Belediyemiz yapılan bu araştırmaların ışığında yeni yerleşim planlarına yüksek gerilim hatları için güvenlik koridoru uygulayacaktır.

Böylece artık Nilüfer’de spor alanları, çocuk parkları ve yeni yerleşimlerde binalardaki elektromanyetik alan maruziyetleri WHO örgütünün dikkat çektiği 0.4 μ T değerinin daha altında olacaktır.

Baz istasyonları kaynaklı elektromanyetik radyasyon maruziyeti için yönetmelik hazırlayıcı ilgili kurumların değerlendirmeleri için aşağıdaki belirlemeler yapılmıştır.

- 2012 yılında Nilüfer’de baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik kirlilik ortalaması, 2011 yılına göre artmıştır. Ancak tüm değerler ülkemizde uygulanan limitlerin altındadır.
- Yüksek gerilim hatları ölçümleri sonucunda bazı evlerde ve okullarda düşük frekanslı manyetik alan seviyeleri WHO örgütünün çekince koyduğu 0.4 μ T değerini aşan seviyeler bulunmuştur.
- Bu çalışma diğer belediyelerde de yapılarak elde edilen bulgular ışığında yönetmeliklerdeki sınır değerler aşağı çekilmelidir.
- Nilüferde yapılan bu çalışmalar GSM kaynaklı 42-61 birim olan elektromanyetik radyasyon limit değerlerinin 3 birime indirilebileceğini göstermiştir. Ülkemizdeki sınır değerler bu önerilen seviyeye çekildiğinde İsviçre’de uygulan elektromanyetik radyasyon limitlerine benzer olacaktır. Bunu için çok az sayıda baz istasyonunun kaldırılması yada güçlerini değiştirilmesi yeterli olacaktır. Diğer bir önerimiz de elektromanyetik radyasyon limitlerinin belirlenmesinde yerel yönetimlerde karar verici olmalıdır.

- Yerel yönetimlerin taşıdığı sosyal sorumluluk gereği Bursa/ Nilüfer ilçesinde halkın sağlığını korumak adına Nilüfer Belediyesinin konuya duyarlı ve bilimsel yaklaşımı bundan sonra da devam edecektir

4. REFERANSLAR

- [1] Nilüfer Belediyesi Elektromanyetik Kirlilik raporu 2010 (www.nilufer.bel.tr).
- [2] ICNIRP Guidelines, “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)”, Health Physics 74 (4), pp. 494-522, 1998.
- [3] Çerezci, O., Şeker, S., ”Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik standartları ve Korunma Yöntemleri” Boğaziçi Üniversitesi 1991.
- [4] Çerezci, O., Seker, S., and Pala, K., “An exposure of Local schools to Electromagnetic Fields from Exterior Sources”, International Conference on Non-Ionizing Radiation and Children's Health Ljubljana, Slovenia. 2011
- [5] Türkkkan, A., Çerezci, O., Pala, K., “Elektromanyetik Alanlar ve Sağlık Etkileri”, Nilüfer Belediyesi yayınları 2012.

Bursa Nilüfer İlçesinde Halkın Baz İstasyonlarından Yayılan Elektromanyetik Radyasyon Ölçüm Sonuçlarını Web Ortamında İzlemesi

Zerrin KARTAL¹, Bekir SARGIN¹ Aşiyen KARAÇAY¹, Osman ÇEREZCİ²

¹Nilüfer Belediyesi Sağlık İşleri Müdürlüğü Çevre Bürosu TÜRKİYE

²Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği TÜRKİYE

Tel: 224 2464060 E-Posta: asiyanakaracay@nilufer.bel.tr

ÖZET

Bu çalışmada, "Nilüfer-Bursa İlçesi'nde baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik kirliliğin (EMK) web üzerinden izlenmesi" isimli yapılan projede, baz istasyonlarının ilçe içindeki konumları GPS koordinatları belirlenerek harita üzerinde işaretlenmesiyle halkın yaşam alanlarında oluşan elektromanyetik kirlilik (EMK) seviyesinin vatandaş tarafından bilinmesi amaçlanmıştır.

Ölçümlerde yıldan yıla ortalama değerler artış göstermiş olsa da elde edilen değerlere göre birkaç istisna haricinde hassasiyet gösteren ülkelerin sınır değerlerine uymaktadır. Yapılan bu çalışmalar vatandaşlar üzerinde oldukça olumlu sonuçlar vermiş ve çalışma esnasında memnuniyetlerini belirtmişlerdir.

GİRİŞ

Baz istasyonları şehirlerde yaşam alanlarına çok yakın kurulması dolayısı ile çevrede yaşayan insanların tepkilerine sebep olmakta ve mahalle halkı arasında ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Erişim hızını artırmak amacıyla yeni istasyonların büyük bir hızla kurulması elektromanyetik kirlilik boyutunun çok fazla artacağı endişesini ortaya koymaktadır. Bu nedenle Nilüfer-Bursa İlçesi'nde tespit edilebilen baz istasyonlarının anlık ölçüm sonuçları da eklenerek ilçe haritası üzerinde gösterilerek web sitesinde yayınlanmıştır. Bu çalışmada baz istasyonlarının kent içinde ve halkın yaşam alanlarında oluşturduğu Elektromanyetik Kirlilik (EMK) seviyesi belirlenmiştir. Proje çıktıları ülkemizde bu konuda yapılacak düzenlemelere ışık tutacak objektif veriler içermektedir.

Elektromanyetik alan kirliliği ve insan sağlığına etkilerinin, en önemlisi halk sağlığı problemlerinden biri olduğu düşüncesiyle, Uludağ Üniversitesi Halk Sağlığı Anabilim dalı- Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü ve Nilüfer Belediyesi Çevre Bürosu Koordinatörlüğü bünyesinde ilçe sınırları dahilinde baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik kirlilik (EMK) özellikle şehirlerdeki hayatın ayrılmaz bir parçası olmuştur. Cep telefonu kullanımındaki, hızlı veri iletişiminin ihtiyacı ile orantılı olarak baz istasyonlarının sayısı hızla artmakta olması yeni baz istasyonları planlamasını ve kurulmasını gerektirmektedir. Buna paralel olarak çevremizde ve tüm yaşam alanlarında elektromanyetik radyasyon yoğunluğu

giderek çoğalmaktadır. Evlerinin yakınlarına baz istasyonu kurulan insanlar doğal olarak hangi seviyede elektromanyetik ortamda yaşamakta olduklarını kent yönetiminden sorgulamaktadırlar. Ancak bu konuda topluma açık bir bilgi bulunmamakta olup yerel yönetimler de yönetmekte oldukları kentin elektromanyetik kirlilik oranları hakkında herhangi bir çalışma ve çaba göstermemektedirler.

Bu nedenle Nilüfer Belediyesi olarak kent sınırları içinde "baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik kirliliğin GPS koordinatları ile web ortamında izlenmesi" isimli çalışma yaparak vatandaşın sağlıklı bir bilgiye ulaşabilmesi sağlanmıştır. Bursa /Nilüfer İlçesi'nde yaşayan herkes web ortamına girerek yaşadığı mekanda en yakın kaç tane baz istasyonu olduğunu ve elektromanyetik radyasyon yoğunluğunu görsel olarak izleyebilmektedir. Bu çalışmada web ortamında hazırlanan baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik radyasyon görüntüleme bilgi platformunun çalışması anlatılacaktır.

GEREÇ ve YÖNTEM

İlçede baz istasyonu kaynaklı kirlilik haritalama çalışması Nisan 2011 ve Aralık 2012 tarihleri arasında yapılmıştır. Yapılan ölçümler, çalışma saatleri içinde kısa süreli ölçümler olarak ve en az iki farklı zamanda gerçekleştirilmiştir. Baz istasyonlarına ait GPS değerleri o istasyona ait en yakın yerden koordinat bilgisi alınarak harita üzerinde kontrol edilerek işlenmiştir. Baz istasyonlarının yerleşim yerlerine etkiyen yönleri dikkate alınarak ölçüm yapılmıştır. Aynı Baz istasyonunun etkilediği fakat daha uzak mesafedeki yerleşim yerlerinden alınan ölçümler bu proje kapsamında değerlendirilmemiştir.

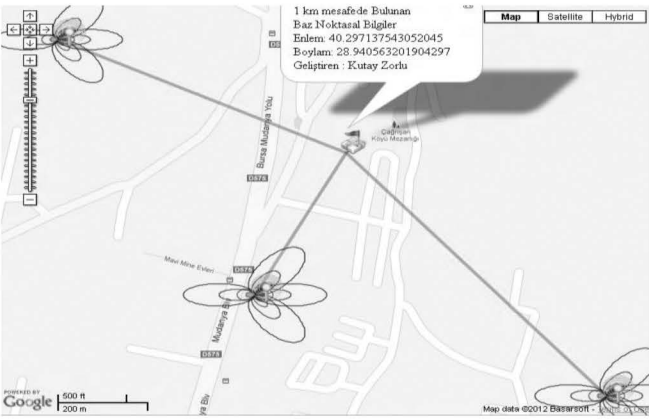
BULGULAR

İlçede 84 baz istasyonunda kuruluş aşamasında önce düşük EMA değeri ölçülmüşken, tekrar yapılan ölçümlerde değerlerin fark edilir derecede arttığı tespit edilmiştir. Birçok noktada GSM firmalarının ortak baz istasyonu yeri kullanmamasından kaynaklanan artan vatandaş şikayeti, EMK kirliliği ve estetik kirlilik oluşturduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar esnasında vatandaşlar projenin mahiyetini öğrendikten sonra belediyemiz adına olumlu görüşler sarfetmişler ve bunları yazılı ve sözlü olarak dile getirmişlerdir. 2012 yılında 84 adet baz istasyonu için 228 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir.

2012 yılında yapılan ölçümler Türkiye’de sınır değeri ve İsviçre sınır değerine göre karşılaştırılması Şekil 3’de sunulmuştur. Sınır değerler, tek frekansa göre alınan değerlerdir.

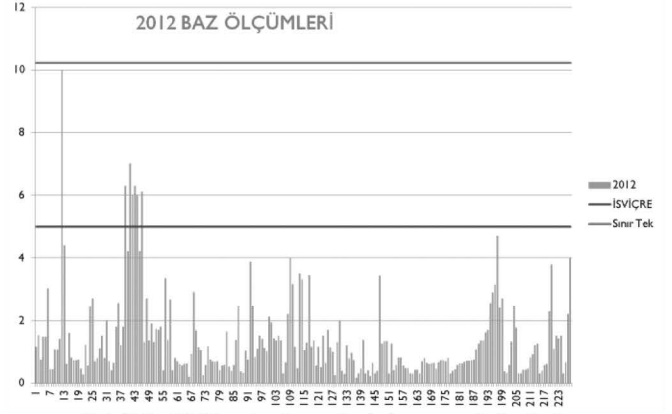


Şekil 1. Baz istasyonların web ortamında gösterilmesi



Şekil 2. Harita üzerinde baz istasyonlarının görünüşü

Baz istasyonlarının ölçüm değerleri incelendiğinde ortalama değerlerinin ilçe bazında yükseldiği görülmektedir. Bunda yeni kurulan baz istasyonunun öncelikli olarak düşük güçte başlaması zamanla gerçek gücüne geçmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Zamanla bu değerlerin kurulu anten gücü potansiyeline bağlı olarak doğrusal olarak artması beklenmektedir.



Şekil 3. 2011 yılı ölçümlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması

Yapılan çalışmada elde edilen değerler Kent Haritasına noktasal bazda işlenerek vatandaşın inceleyebilmesi sağlanmıştır. Baz istasyonu bulunan her bir koordinata anten direği resmi ile baz istasyonu bilgisi konulmuştur. Anten direkleri üzerine gelindiğinde o istasyona ait EMA değeri ve ölçüm tarihi görülebilmektedir. Bu çalışma sonuçları 25.12.2013 tarihinde Nilüfer Belediye Başkanı Mustafa BOZBEY tarafından geniş katımlı bir basın toplantısı ile duyurumu yapılmıştır.

SONUÇLAR

Yapılan çalışma ile Nilüfer Belediyesi Baz istasyonlarının sebep olduğu EMK açısından ölçümü yapılmıştır. Projenin ilerleyen safhalarında Nilüfer ilçesinde istisnasız tüm Baz istasyonları ölçümü alınacak ve daha önceden ölçümü gerçekleştirilmiş olan baz istasyonlarının değişimi gözlem altında olacaktır.

Belediyemiz hizmet anlayışına bağlı olarak vatandaş memnuniyetini ön plana alan bu çalışma genişleterek devam edecektir.

Referanslar

- [1] "Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri", 2012 Nilüfer Belediyesi Yayını.
- [2] Kutay Zorlu, "Baz istasyonu Kaynaklı Elektromanyetik Kirliliğin Web Ortamında İzlenmesi", Sakarya Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü Bitirme Ödevi 2012.

Elektromanyetik Dalganın İnsan Dokusuna Olan Etkilerinin Bilgisayar Destekli Analizi

Deniz Bölükbaş⁽¹⁾⁽²⁾, Ali Ziya Özer⁽¹⁾

⁽¹⁾ FİGES A.Ş.,

Elektromanyetik Tasarım ve Analizler Bölümü, İstanbul
deniz.bolukbas@figes.com.tr; aliziya.ozer@figes.com.tr

⁽²⁾ Okan Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul
deniz.bolukbas@okan.edu.tr

Özet: Elektromanyetik yayılım yapan cihaz ve sistemler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak elektromanyetik enerjinin insan vücuduna etkileri de oldukça ilgi çeken bir araştırma konusudur. Elektromanyetik enerjinin insan vücuduna etkilerini hesaplayabilmek için enerjinin ne kadarının insan vücudu tarafından absorbe edildiği bilinmelidir. Bunun için, literatürde özgül soğurma oranı olarak bilinen SAR değerlerinin hesaplanması gereklidir. Bu bildiride, cep telefonlarının merkez frekanslarında yayın yapan bir kaynağın insan kafası içinde oluşturduğu SAR değerleri ANSYS HFSS® yazılımı kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar sergilenmiştir.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, elektromanyetik dalgaların yayılımı prensibiyle çalışan cihazların hızlı artışı nedeniyle elektromanyetik enerjinin insan sağlığına olan etkileri yaygın olarak tartışılmaktadır. Özellikle cep telefon kullanımının ülkemizde ve dünyada tahminlerin ötesinde artması ve kullanım yaşının gittikçe düşmesi konunun önemini göstermektedir. Mayıs 2013’de yayınlanan istatistiklere göre ülkemizde cep telefonu abone sayısı 68 milyon kişiye ulaşmıştır. Buna paralel olarak baz istasyonlarının sayısı da hızla artmaktadır. Ayrıca çeşitli haberleşme, navigasyon, radar sistemleri ile televizyon, radyo, telsiz antenleri gibi çeşitli cihaz ve sistemler de elektromanyetik dalga yaymaktadır.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de elektromanyetik yayılım yapan cihazların insan sağlığı için hangi durumlarda güvenli olacağı temel sorudur. Uluslararası standartlarda, cep telefonları için özgül soğurma oranı (specific absorption rate, SAR) değerleri kullanılmaktadır. SAR, kayıplı dielektrik malzeme olarak tanımlanan insan dokusunda soğurulan elektromanyetik enerji miktarının ölçüsüdür ve birimi W/kg ya da mW/g’dir. SAR ya tüm beden üzerinde ya da küçük bir örnek hacim (genellikle 1 g veya 10 g doku) üzerinden ortalama olarak şu şekilde hesaplanır.

$$SAR = \int_{hacim} \sigma |E|^2 / \rho dV \quad (1)$$

Burada, σ elektriksel iletkenlik (S/m), E elektrik alan şiddeti (V/m) ve ρ dokunun yoğunluğudur (kg/m³) [1]. Ulusal ve uluslararası standartlarda yer alan SAR değerleri özellikle cep telefonu üreticilerinin uymak zorunda olduğu limit değerleri ifade etmektedir.

Bu bildiride, insan sağlığı açısından yüksek öneme sahip olan SAR değerlerinin bilgisayar destekli analizler yardımıyla kestirimine yönelik uygulamalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar sergilenmiştir. Analizler için

ANSYS® tarafından geliştirilen HFSS® yazılımı kullanılmıştır.

Bildirinin 1. Bölümü giriş niteliğindedir. 2. Bölümde ulusal ve uluslararası standartlar açıklanmıştır. 3. Bölümde kayıplı ortamda elektromanyetik dalganın yansımaları ve iletiminin teorik formülasyonu verilmiştir. 4. Bölümde bilgisayar destekli analizlerin sonuçları yer almaktadır. 5. Bölüm ise sonuç niteliğindedir.

2. ULUSAL VE ULUSLARARASI STANDARTLAR

Cep telefonları, kullanımları sırasında kafaya çok yakın tutulduğundan, yukarıda açıklanan problemin, özellikle cep telefonu kullanımında daha çok öne çıktığı görülmektedir. Ülkemizde cep telefonu ve baz istasyonları şebekeleri 900 MHz ve 1800 MHz merkez frekanslarında çalışmaktadır.

SAR ölçümlerinin hangi kriterlere göre yapılacağı ve alabileceği sınır değerleri belirten uluslararası ve ulusal standartlar vardır. Sınır değerleri, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) için IEEE C95.1 standardı ile belirlenmiştir. Avrupa ülkeleri ve dünyanın geri kalan birçok IEEE Std 1528 standardı, 1 gram ortalama kütle için 1,6 W/kg ve IEC 62209 standardı, 10 gram ortalama kütle için 2 W/kg değerini üst sınır olarak kabul etmektedir [2]. Ülkemizde bu standartların uygulanması konusunda yetkiler 5809 sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu uyarınca Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK)’ndadır. Nisan 2011’de Resmi Gazete’de yayınlanan, BTK’dan “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik” Madde 16 şu şekildedir [3].

- “Çevre ve insan sağlığı dikkate alınarak; ihtiyati tedbir açısından, tek bir cihaz için Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyondan Koruma Komisyonunun (ICNIRP) belirlediği limit değerinin dörtte birini (1/4) aşamaz.”

Ülkemizde uluslararası standartların daha altında limit değerleri uygulanmaktadır.

3. KAYIPLI ORTAMDA ELEKTROMANYETİK DALGANIN YANSIMASI VE İLETİLMESİ

Elektromanyetik Teorinin temelleri, Maxwell denklemleri ile ifade edilmektedir. Maxwell denklemlerinde dalga yayılımının gerçekleştiği ortama ait üç parametre bulunmaktadır. Bunlar, dielektrik permitivite (ϵ), manyetik permeabilite (μ) ve iletkenlik (σ) parametreleridir ve birimleri sırasıyla Farad/m, Henry/m ve Siemens/m’dir. Kayıplı malzemeler $\sigma \neq 0$ eşitliği ile ifade edilir. Bu durumda dielektrik permitivite Denklem (2)’de görüldüğü gibi kompleks değerdir ve ϵ_c ile gösterilir.

$$\varepsilon_c = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (2)$$

Burada $\varepsilon' = \varepsilon_r \varepsilon_0$ ve $\varepsilon'' = \sigma/\omega$ olarak tanımlanmıştır. Açısal frekans ω ile gösterilmektedir ve f (Hz) frekans olmak üzere $\omega = 2\pi f$ (rad/s) eşitliği ile ifade edilir. Boşluğun dielektrik permitivitesi $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ F/m ve ortamın bağıl dielektrik permitivitesi ε_r ile gösterilmiştir. Elektromanyetik dalgalar kaynaktan r mesafesi kadar uzak ise düzlemsel dalgalar olarak kabul edilirler. Düzlemsel dalga olma koşulu Denklem (3)'de verilmiştir.

$$r \geq 2D^2/\lambda \quad (3)$$

Burada, D kaynağı içine alan en küçük kürenin çapı ve $\lambda = c/f$ (m) olarak tanımlanan dalgaboyudur. Elektromanyetik dalganın boşlukta yayılma hızı $c = 3 \times 10^8$ m/s'dir. Düzlemsel dalgaların elektrik ve manyetik alan değerleri Denklem (4)'de görüldüğü gibi birbirine ortam özellikleri ile bağlıdır.

$$\mathbf{E} = -\eta \hat{\mathbf{k}} \times \mathbf{H} \quad (4)$$

Bu formülde \mathbf{E} (Volt/m) elektrik alan yoğunluğu, \mathbf{H} (Amper/m) manyetik alan yoğunluğu, $\hat{\mathbf{k}}$ dalga ilerleme yönü ve η (Ω) ortamın karakteristik empedansıdır ve Denklem (5)'de görüldüğü gibi ortam parametrelerine bağlıdır.

$$\eta_c = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon_c}} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon'}} \left(1 - j \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^{-1/2} \quad (5)$$

Kayıplı ortamlarda karakteristik empedans değeri kompleks bir büyüklüktür. Bir düzleme etkime açısıyla (θ_i) etkiyen dalga, yansıma açısıyla (θ_r) aynı ortama geri yansır ya da iletim açısıyla (θ_t) ikinci ortama geçer. Yansıyan dalganın genliği yansıma katsayısı (Γ) ile ikinci ortama geçen dalganın iletim katsayısı ise iletim katsayısı (τ) ile belirlenir. Etkiyen dalganın polarizasyonuna göre yansıma ve iletim katsayısı değişmektedir. İkinci ortamın kayıplı olması durumunda dikey polarizasyon iletim katsayısı (τ_{\perp}) ve yatay polarizasyon iletim katsayısı (τ_{\parallel}) kompleks değerler alır ve sırasıyla Denklem (6) ve Denklem (7)'de verilmiştir.

$$\tau_{\perp} = \frac{2\eta_2 \cos\theta_i}{\eta_2 \cos\theta_i + \eta_1 \cos\theta_t} \quad (6)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{2\eta_2 \cos\theta_i}{\eta_2 \cos\theta_t + \eta_1 \cos\theta_i} \quad (7)$$

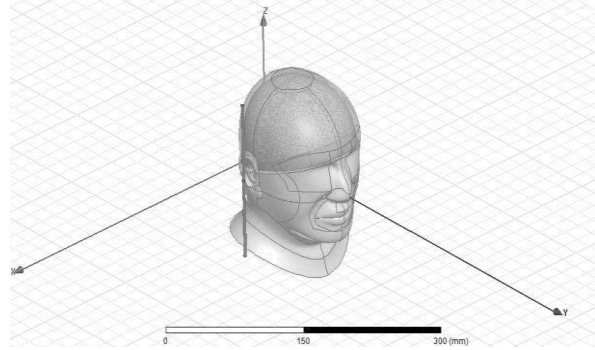
Burada η_1 ve η_2 sırasıyla birinci ortamın ve ikinci ortamın karakteristik empedansını göstermektedir. Birinci ortamdan ikinci ortama geçen dalganın genliği etkiyen dalganın iletim katsayısı katı kadardır [4]. İkinci ortamda bulunan elektrik alan hesaplandıktan sonra Denklem (1) de açıklandığı gibi SAR değeri hesaplanabilmektedir. Cep telefonu kullanımında kafaya yakın bir noktadan, hava ortamından, belirli bir güçte elektromanyetik dalga yayılır. Dalga ikinci ortam olan insan kafası içine insan dokusunun iletim katsayısı oranında girer. İnsan dokusu kayıplı dielektrik olarak tanımlanmaktadır. Dokunun dışında bulunan bir kaynaktan doku içine giren dalganın genliği polarizasyona bağlı olarak Denklem (6) ve Denklem (7) ile hesaplanabilir. Bu problemde, birinci ortam hava olup karakteristik empedansı $\eta_0 = 377 \Omega$ 'dur. İkinci ortam ise insan kafası olarak modellenmiştir. İnsan kafası katmanlı bir yapıya sahiptir ve fiziksel olarak dalga etkime yüzeyi kanonik formlar ile ifade edilemez. Problemin çözümünün analitik olarak hesaplanabilmesi için çok sayıda yaklaşım yapmak

gerekir. Bu nedenle birinci ortamdan ikinci ortama giren elektromanyetik dalganın yönünü ve şiddetini ve buna bağlı olarak SAR değerini hesaplamak için bilgisayar destekli simülasyonlardan yararlanılabilir.

4. SAR ANALİZLERİ VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİMÜLASYON SONUÇLARI

Kafaya yakın bir konuma yerleştirilen kaynak nedeniyle oluşan SAR değerlerini hesaplamak için ANSYS HFSS® yazılımının 14.5 sürümü kullanılmıştır. HFSS®, endüstriyel standartlarda üç boyutlu tam dalga elektromanyetik alan simülasyonunu Sonlu Elemanlar Yöntemi (*Finite Element Method, FEM*) ile gerçekleştiren kapsamlı bir programdır ve elektrik ve manyetik alan, akımlar, S-parametreleri ile uzak ve yakın alan ışınım paternleri hesaplanabilmektedir. Program pasif gömülü elemanlar, entegre devre paketleri, baskı devre kartı ara bağlantıları ve anten, RF/mikro dalga bileşenleri, biyomedikal cihazlar gibi yüksek frekans yapıları tasarımlarında kullanılmaktadır.

Simülasyonu gerçekleştirmek için cep telefonunun bulunduğu konuma, uzunluğu $l = 16$ cm ve gücü $P = 1$ Watt olan monopol bir anten yerleştirilmiştir. Bu kaynak bildirinin kalan kısımlarında cep telefonu olarak anılacaktır. Şekil-1'de cep telefonu ile insan kafası arasındaki etkileşim konfigürasyonu HFSS® arayüzünde görülmektedir. Cep telefonu ile kafa arasındaki uzaklık 15 mm'dir ve telefon z-eksenine paralel olacak şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 1. Cep telefonu- insan arasındaki etkileşim konfigürasyonu

Simülasyonda dokunun yoğunluğu $\rho = 1000$ (kg/m³) olarak alınmıştır ve hesaplamalar 1 gram ortalama kütle için gerçekleştirilmiştir. Cep telefonlarının çalışma frekansı olan $f = 900$ MHz frekansında insan dokusunun elektriksel özellikleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir [6].

Tablo 1 $f = 900$ MHz frekansında insan dokusunun elektriksel özellikleri

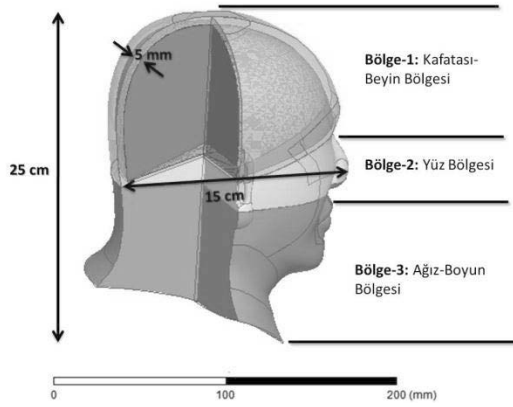
Malzeme	900 MHz ε_r	900 MHz σ
Deri-Kas	39,5	0,7
Kafatası	12,5	0,17
Beyin (gri sıvı)	56,8	1,1

Cep telefonlarının diğer çalışma frekansı olan $f = 1800$ MHz frekansında insan dokusunun elektriksel özellikleri ise aşağıda Tablo-2'de verilmiştir [6].

Tablo-2 $f = 1800 \text{ MHz}$ frekansında insan dokusunun elektriksel özellikleri

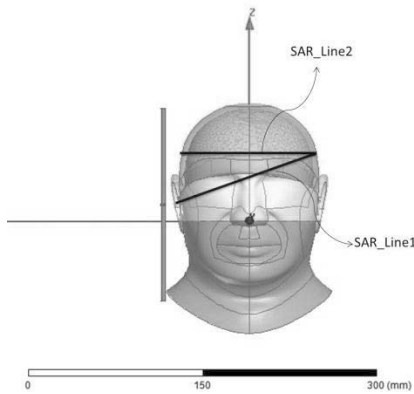
Malzeme	1800 MHz ϵ_r	1800 MHz σ
Deri-Kas	38,2	0,9
Kafatası	12	0,29
Beyin (gri sıvı)	51,8	1,5

İnsan kafası 25 cm yüksekliğinde ve 15 cm genişliğinde modellenmiştir. Kafa üç bölümden oluşmaktadır. Bölge-1 kafatası- beyin bölgesidir ve kafatası kalınlığı 5 mm olarak kabul edilmiştir. Kafatası içinde beyin sıvısı bulunmaktadır. Bölge-2 yüz bölgesidir ve deri-kas yapısındadır. Bölge-3 ağız-boyun bölgesidir ve ilgilenilen bölge olmadığı için hesaplamalara dahil edilmemiştir. İnsan kafası modeli açık kaynaklardan temin edilmiştir [5]. Gözler doku olarak kabul edilmiş ve kulaklar hesaplama kolaylığı için modellenen çıkarılmıştır. Kafa modeli Şekil-2’de ölçüleriyle birlikte görülmektedir.



Şekil 2. İnsan kafası modeli

Modelde ağ düğüm sayısı 192.967’dir. SAR hesaplamaları, $f = 900 \text{ MHz}$ ve $f = 1800 \text{ MHz}$ olmak üzere iki frekansta ve SAR_Line1 ve SAR_Line2 üzerinde karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır. Bu hatlar Şekil-3’de görülmektedir.



Şekil 3. SAR hesaplamalarının yapıldığı hatların gösterimi

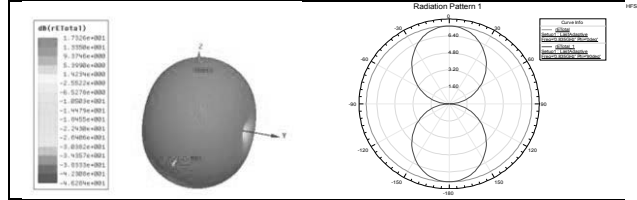
HFSS® yazılımında SAR değerleri lokal SAR (*local SAR*) ve ortalama SAR (*average SAR*) olmak üzere iki şekilde hesaplanabilmektedir. Lokal SAR hesaplamasında her bir grafik noktasında SAR değeri $\sigma E^2/2\rho$ formülü ile hesaplanmakta ve grafiği değerleri arasında interpolasyon yapılmaktadır. Ortalama SAR hesaplamasında ise hesaplama yapılan noktanın etrafındaki hacimde bulunan ortalama SAR

değeri hesaplanmaktadır. Hacim, doku yoğunluğu ve kütlesi ile belirlenmektedir.

Simülasyonlar için dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayar, Intel Core i7-2670QM CPU@2.20GHz işlemciye sahiptir, 8 çekirdeklidir ve üzerinde 8 GB RAM bulunmaktadır.

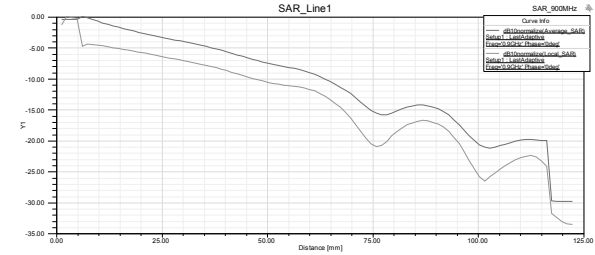
4.1. $f = 900 \text{ MHz}$ İÇİN SAR DEĞERLERİ

Cep telefonunu simüle eden kaynağın $f = 900 \text{ MHz}$ frekansında ışınma paterni Şekil-4’de görülmektedir.

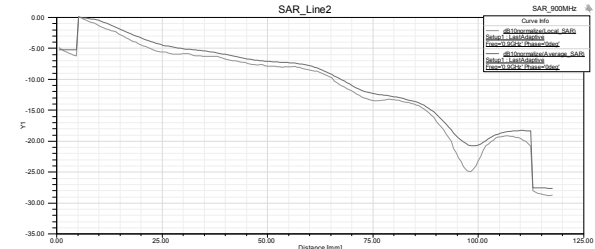


Şekil 4. Kaynağın $f = 900 \text{ MHz}$ frekansında ışınma paterni

$f = 900 \text{ MHz}$ frekansı için lokal ve averaj SAR_Line1 değerleri Şekil 5’de ve lokal ve averaj SAR_Line2 değerleri Şekil 6’da görülmektedir. Simülasyon dizüstü bilgisayarda 25 dakikada tamamlanmıştır.



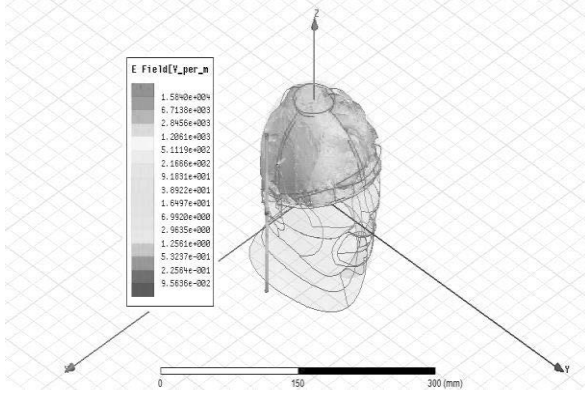
Şekil 5. $f = 900 \text{ MHz}$ frekansı için lokal ve averaj SAR_Line1 değerleri



Şekil 6. $f = 900 \text{ MHz}$ frekansı için lokal ve averaj SAR_Line2 değerleri

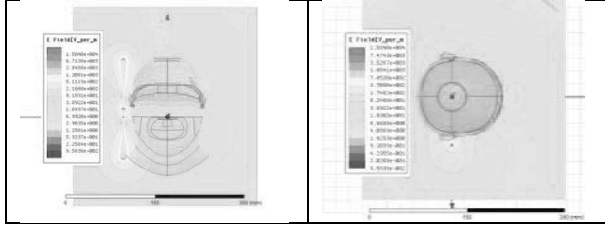
Grafığın yatay eksenini kaynaktan itibaren mesafe (mm) ve dikey eksenini normalize logaritmik SAR değeridir. Grafiklerde lokal SAR değeri kırmızı çizgi ile ve ortalama SAR değeri siyah çizgi ile gösterilmiştir. Cep telefonu kafaya 15 mm uzaklıkta konumlandığı için grafiklerde SAR değeri için 15 mm’den sonraki değerler dikkate alınmalıdır. SAR_Line1, SAR_Line2’den daha uzundur. SAR_Line 1 ve SAR_Line2 üzerindeki değişim her iki grafikte de oldukça benzerdir ve düzgün azalan eğriler oluşmuştur. En yüksek SAR değeri cep telefonuna en yakın bölgede oluşmuştur. Lokal ve ortalama SAR değerlerinin de birbirine yakın seyrettiği ancak ortalama SAR değerlerinin daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu da elektromanyetik yayılımın noktasal olmadığına ve birim hacime düzgün yayıldığına işaret etmektedir.

İnsan kafası içindeki elektrik alan dağılımı üç boyutlu olarak Şekil-7’de görülmektedir.



Şekil 7 $f = 900 \text{ MHz}$ frekansı için kafa içinde elektrik alan dağılımı

Yatay ve dikey ekseninde orta noktalardan alınan ve kafa kesitleri üzerinde iki boyutlu elektrik alan dağılımlarını gösteren grafikler Şekil-8'de yer almaktadır.

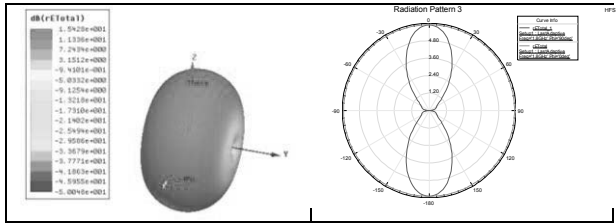


Şekil-8 $f = 900 \text{ MHz}$ frekansı için kafa kesitleri üzerinde iki boyutlu elektrik alan dağılımları

Şekilde antenden kaynaklanan ve kafanın içine nüfuz eden elektromanyetik alan şiddetinin belirli bölgelerde 15-38 V/m değerlerine ulaşabildiği görülmektedir. Bu değerlerin, çıkışı 1 Watt olan bir kaynağın kafaya yakın tutulması durumunda oluştuğunu ve simülasyonlarda gerçek bir cep telefonu modelinin kullanılmadığını dikkate almak gerekmektedir.

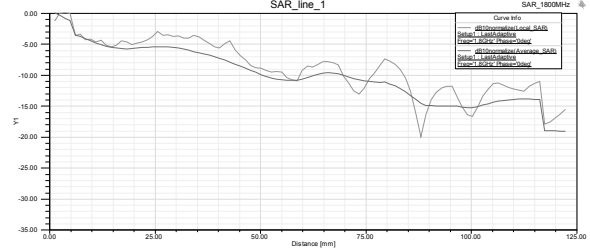
4.2. $f = 1800 \text{ MHz}$ İÇİN SAR DEĞERLERİ

Cep telefonunu simüle eden kaynağın $f = 1800 \text{ MHz}$ frekansında ışınım paterni Şekil-9'da görülmektedir.

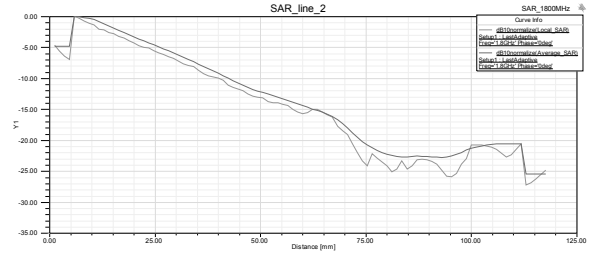


Şekil 9. Antenin $f = 1800 \text{ MHz}$ frekansında ışınım paterni

$f = 1800 \text{ MHz}$ frekansı için lokal ve averaj SAR_Line1 değerleri Şekil 10'da ve lokal ve averaj SAR_Line2 değerleri Şekil 11'de görülmektedir. Simülasyon dizüstü bilgisayarda 32 dakikada tamamlanmıştır.

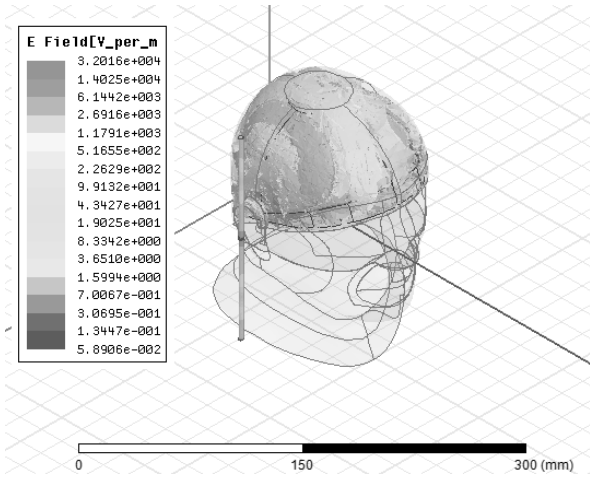


Şekil 10. $f = 1800 \text{ MHz}$ frekansı için lokal ve averaj SAR_Line1 değerleri



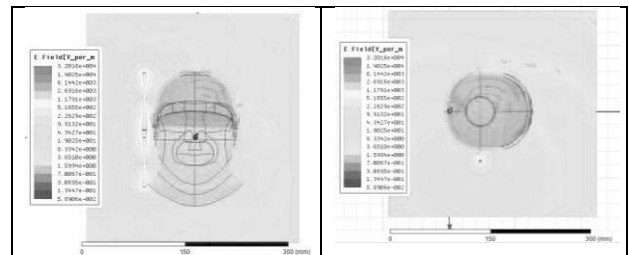
Şekil 11. $f = 1800 \text{ MHz}$ frekansı için lokal ve averaj SAR_Line2 değerleri

$f = 1800 \text{ MHz}$ frekansı için lokal ve averaj SAR_Line2 değerlerinin düzgün azaldığı görülmektedir. Ancak bu frekanslarda SAR_Line1 değerlerinde yüksek hızlı değişimler gözlenmiştir ve genliği daha yavaş azalmaktadır. Bu frekansa insan kafası içindeki elektrik alan dağılımı üç boyutlu olarak Şekil-12'de görülmektedir.



Şekil 12. $f = 1800 \text{ MHz}$ frekansı için kafa içinde elektrik alan dağılımı

Yatay ve dikey ekseninde orta noktalardan alınan ve kafa kesitleri üzerinde oluşan iki boyutlu elektrik alan dağılımlarını gösteren grafikler Şekil-13'de yer almaktadır.



Şekil 13. $f = 1800 \text{ MHz}$ frekansı için kafa kesitlerinde iki boyutlu elektrik alan dağılımları

Şekilde antenden kaynaklanan ve kafanın içine nüfuz eden elektromanyetik alan şiddetinin belirli bölgelerde 19-43 V/m değerlerine ulaşabildiği görülmektedir. Bu değerlerin, çıkışı 1 Watt olan bir kaynağın kafaya yakın tutulması durumunda oluştuğunu ve simülasyonlarda gerçek bir cep telefonu modelinin kullanılmadığını dikkate almak gerekmektedir.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu bildiriye yer alan analizlerden görüldüğü gibi, insan dokusu tarafından absorbe edilen elektromanyetik enerji miktarı nümerik metodlar kullanan yazılımlar ile hesaplanabilmektedir. Bu sayede, insan vücudunda oluşabilecek maksimum elektrik alan değerleri bulunabilmekte ve bu değerlere göre insan sağlığının nasıl etkilenebileceği kestirilebilmektedir. İnsan vücudunun elektriksel özelliklerinin tesbiti ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmaktadır. İnsan vücudu doğru modellenbildiği ölçüde simülasyonlarda daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu bildiriye, cep telefonlarının çalışma merkez frekanslarında yayın yaptığı varsayılan bir kaynağın neden olduğu SAR değerleri HFSS® yazılımı ile hesaplanmış ve sonuçları sergilenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques," *IEEE Std 1528-2003*, Cilt No., sayfa.1,120, Aralık. 19 2003
- [2] Celep M, Karacadağ H, Hamid R, Çetintaş M, "Mobil Telefonların Özgül Sogurma Oranının (SAR) Belirlenmesi" EMANET 2011, 7-8 Ekim 2011, İstanbul
- [3] 02/03/2009 tarihli ve 27157 sayılı *Resmi Gazete*
- [4] Ulaby F, Michielssen E, Ravaioli U, Fundamentals of Applied Electromagnetics, 6/e, Pearson,
- [5] GrabCAD: Free 3D CAD Library and Collaboration Tools for Engineers, grabcad.com/
- [6] Khalatbari, S., D. Sardari, A. A. Mirzaee, and H. A. Sadafi, "Calculating SAR in two models of the human head exposed to mobile phones radiations at 900 and 1800 MHz," *PIERS Online*, Cilt. 2, No. 1, 104-109, 2006.

Kentsel Dönüşüm ve Elektromanyetik Kirliliğin Azaltılması

Osman ÇEREZCİ¹, Şuayb YENER¹, Baha KANBEROĞLU¹ Yasin ÇİTKAYA²

¹Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, ²Boğaziçi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği,

cerezci@sakarya.edu.tr

ÖZET

Elektromanyetik radyasyon (EMR), artık çevremizi bizimle beraber paylaşan bir unsurdur. Evimizde sevdiğinizle birlikte iken, belki etrafınızda yoğun bir elektromanyetik dalga olabilir. Bu, baz istasyonlarından, yüksek gerilim hatlarından, radyo-TV vericilerinden veya daha birçok kaynaktan gelebilir. Günlük yaşamımızda çoğu kere elektrik cihazların yanında uzun süre kalmakla ya da yüksek gerilim hattının altında bulunmakla geçiririz. Belki de durakta beklerken tam karşımızda bir ağaç yada heykel, reklam panosu içine kamufle edilmiş şekilde bir baz istasyonu antenleri tarafından farkına varmadan mikrodalgalara maruz kalırız.

Bu çalışmada kentlerdeki elektromanyetik kirlilik kaynakları tanımlanarak Sakarya Üniversitesi tarafından şehirlerimizde 20 yıldır yapılan elektromanyetik kirlilik ölçüm sonuçları ve yıllara göre EMK artış trendi tartışılacaktır. Elde edilen ölçüm sonuçlarının Avrupa'daki şehirlere göre karşılaştırılması yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik kirlilik, güvenlik limitleri, yüksek gerilim hatları, baz istasyonları

1 GİRİŞ

Şehirlerimize yaşam kalitesi ve yaşanabilirlik olgusu ile bakış yapılacak olunursa; kent yöneticileri tarafından halkın sokakta, evinde ve çalışma ortamında hangi seviyede elektromanyetik kirliliğe maruz kaldıklarının veya kalabileceğinin plan ve projesi yapılmalıdır. Bu husus aynı zamanda gelecek nesillerimizi de doğrudan ilgilendirmektedir. Çevremizde birer elektromanyetik kirlilik kaynakları olan baz istasyonları ve enerji iletim hatlarının yerleşimleri toplum ve çevre açısından önemlidir. Yaşadıkları kentin sosyal bir öznesi olan insanların kentlerdeki her yapı ile etkileşim halinde olup iki unsur arasında denge sağlanmalıdır. Bu açıdan bakılırsa kentlerimizi Avrupa'nın en az elektromanyetik kirliliğe sahip yaşam yeri olması hedeflenmelidir. Bunun sağlanması için Halen sadece ısı etkisi dikkate alınarak hazırlanan yönetmelikler yerine biyolojik etkileşim riskine göre kriterler oluşturulmalıdır

Bugün elektromanyetik kirlilik ile ilgili ülkelerin uyguladığı yönetmelikler son derece farklı limitler içermekte olup elektromanyetik kirliliği kontrol ve yönetimi için İsviçre ve İtalya gibi bazı ülkelerde (ülkemizdeki uygulamalardan farklı olarak) ihtiyat ilkesine dayanan son derece duyarlı yaklaşımlar görülmektedir. Ülkemizde uygulanan yönetmeliklerin insanların sağlıklı yaşam kalitesine önem verir içeriğinde olmadığını maalesef söylemek durumundayız.

2 ELEKTROMANYETİK ALANLARLA BİYOETKİLEŞİM

Alan; belirli bir bölgeye dağılmış bulunan ve o bölgedeki herhangi bir cisme etki eden fiziksel bir nesnedir. Elektromanyetik alan veya elektromanyetik radyasyon

denilince çevremizde bulunan elektriksel cihazlardan yayılan elektrik ve manyetik alan anlatılmak istenir. Bu dağılmış alanlar bir şekilde vücudumuzla devamlı etkileşim yapmaktadır. Evlerimizde kullandığımız saç kurutma makineleri, çamaşır makineleri mikrodalga fırınlar vs. tüm elektriksel cihazlar çevremizde elektromanyetik radyasyon oluştururlar. Günlük yaşamımızda çoğu kere elektrik cihazların yanında uzun süre kalmakla ya da yüksek gerilim hattının altında bulunmakla geçiririz. Belki de durakta beklerken tam karşımızda bir ağaç yada heykel, reklam panosu içine kamufle edilmiş şekilde bir baz istasyonu antenleri tarafından farkına varmadan mikrodalgalarla ışınlanmaktayız.

EM alanların dokular içindeki iyonlara olan etkileri neticesinde onların hareketlerini arttırmaları neticesinde şiddetlerine bağlı olarak bir ısı enerjisi de ortaya çıkar. Bunun sonucunda da dokular içerisinde sıcaklık artışı görülür. İnsan vücudunda herhangi bir dokunun kendi iç sıcaklığının 0.5°C den daha fazla artması o dokunun tolere edemeyeceği bir değer olarak alınmıştır. Bu değeri temel olarak geliştirilen bir sınır değer tüm vücut ortalama özgül soğurma değeri olarak kabul edilmiştir. 4W/kg olarak verilen bu limitin 10 kat düşük değeri (0.4W/kg) ihtiyat ilkesi ışığında Dünya Sağlık Örgütü, Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), Milletlerarası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) tarafından insan vücudunun RF ve mikrodalga etkilerinin hissedilmeyeceği sınır *termal etkilerin* başladığı değer olarak şimdiye dek kabul edilmiştir.

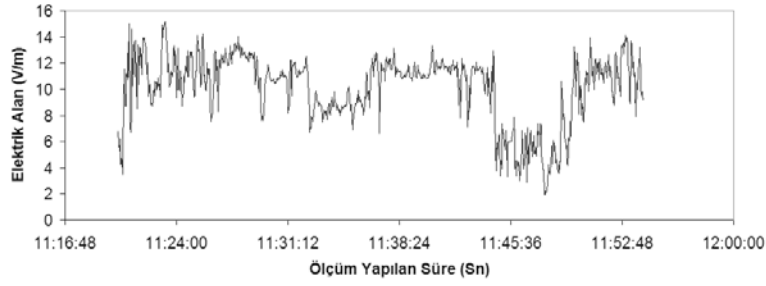
Isıl etkiler yanında, ısıl olmayan etkiler (*non-thermal effects*) olduğuna ve hücreler ve dokuların olumsuz etkilenebileceğini savunan çalışmalar da görülmeye başlanmıştır.

3 BAZ İSTASYONLARI İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER

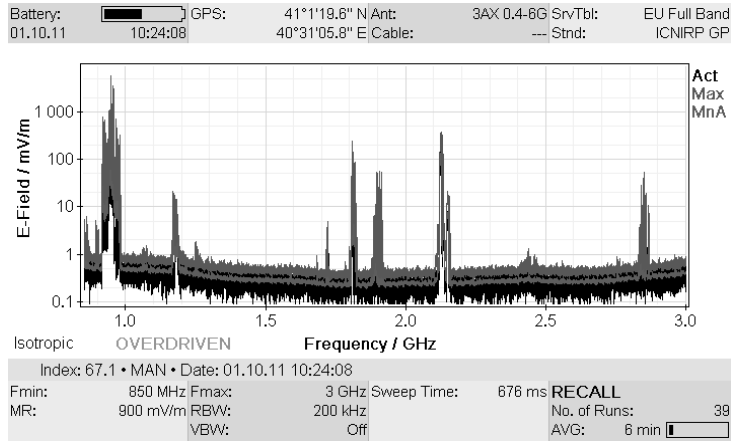
Günlük hayatımızda bizleri ilgilendiren Elektromanyetik radyasyonu (EMR) iki ayrı frekans bandından oluşur. Birincisi, çok çok düşük frekanslı elektromanyetik alanlar olarak isimlendirilen elektriksel cihazlardan, yüksek gerilim hatları-trafolardan yayılan ELF bandıdır. Diğeri ise, ile baz istasyonları, cep telefonları ve radyo-TV vericilerinden yayılan radyo –mikro dalga frekans (RF-MW) bandıdır. Bu iki bandın insan vücuduna etkisi farklı fiziksel mekanizma ile olur. Ve güvenlik sınır değerleri de farklıdır. Buna rağmen halkı bilgilendirme amaçlı GSM firmaları tarafından hazırlanan broşürlerde; evde saç kurutma makinesinden baz istasyonuna göre daha fazla radyasyon geliyor şeklinde yanıltıcı bilgiler verilmektedir. Hâlbuki ELF ve RF-MW banlarının frekansları farklı ve etkileşimleri farklıdır. Genel olarak 2kHz frekans altındaki alanlar ELF bandını oluştururlar. Yüksek frekanslı dalgalar ise 100kHz ile 300 GHz arası kapsar. Ev içinde elektrik tesisatı kaynaklı ELF frekanslı alanlar 0.05 değerinde iken civarından yüksek gerilim geçmesine bağlı olarak bu değer 100 kat artabilmektedir. Benzer durum baz istasyonu frekanslı elektromanyetik dalgalar için de geçerli olup evlerinin bazı bölümleri baz istasyonu yakınında ve baz antenlerinin bakış

yönünde olan konutlar normal halde 0.6 V/m değerinde iken Şekil 1'de de görüldüğü gibi bu değer 10-15 kat daha fazla olabilmektedir. Şekil 2 'de ise baz istasyonu karşısında kalan

bir evde Elektromanyetik Radyasyonunun frekanslara göre dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. Baz istasyonu yakınında bulunan bir evde uzun süreli EMR ölçümü



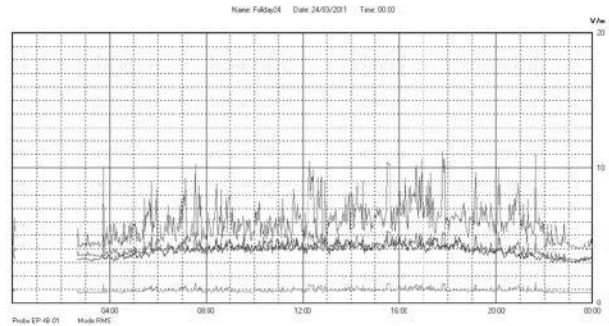
Şekil 2. Baz istasyonu karşısındaki bir evde elektromanyetik radyasyonu frekanslara göre dağılımı

Baz istasyonunun karşısında oturan bir insan ise sürekli olarak baz istasyonunun elektromanyetik dalgasına maruz kalabilir. Bu, hangi değerde kalırsa güvenli olabilir? Nobel ödüllü Prof.Dr. Devra Davis Disconnect isimli kitabında cep telefonlarının sağlık açısından ciddi bir risk oluşturduğunu ve Cep telefonunu 40 yıl kullandığında, bir kişinin sağlık açısından ciddi sorunlar yaşayacağı ifade etmektedir. Eğer bu risk sürekli konuşma anında 5-10 V/m'ye inen elektromanyetik radyasyondan dolayı oluşuyorsa baz istasyonu anteni karşısında bulunan bir ev içinde yaşayan bir kişi -ki bu insan bağışıklık sistemi zayıf olabilir, çocuk olabilir hasta olabilir- bu seviyelerde EMR 'ye sürekli olarak maruz kaldığında bu da bir ciddi risk oluşturacak bir durumdur. Çünkü ülkemizde ilgili yönetmeliklerle ortamın toplamında 42 V/m hatta 61 V/m 'ye kadar elektromanyetik radyasyona maruz kalınabilir demektedir. Örneğin, Şekil 3'te İstanbul'da bir evde 24 saatlik sürede tarafımızdan yapılan uzun süreli ölçüm grafiği verilmektedir. Ölçüm yapılan ev yatak odası olup baz antenlerinden 30 metre uzaklıktadır. Şekilden de görüldüğü gibi yatak odasında elektromanyetik radyasyon 3G frekanslarında gece belirli saatler arasında 11-12 V/m gibi seviyeler göstermektedir.

ICNIRP limitleri uzun süreli elektromanyetik radyasyon maruziyetleri için yeterli güvenlik sağlayıp sağlayamadığı tartışılmaktadır. Bu nedenle bazı kuruluşlar tarafından "precautionary approach" ilkesini dikkate alarak sıcaklık etkisinden başka biyolojik etkileşim parametresine göre limitler önerilmektedir.

Ülkemizde Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu(BTK) ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing

Radiation Protection-İyonize olmayan radyasyondan koruma Komisyonu) limitlerinin en üst seviyesine göre belirlediği limitleri 21.04.2011 Tarih ve 27312 Sayılı Resmi Gazetede "Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslar arası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik'te yayınlamıştır. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu yönetmeliğinde ortamın toplamı için olan sınır değerler ile tek bir cihaz için olan sınır değerler birbirinden ayrılmıştır ve ortamın toplamı için olan sınır değerinin %25'i alınarak tek bir cihaz için olan sınır değeri belirlenmiştir. Buna göre baz istasyonlarının çalıştığı frekanslar için ülkemizde geçerli sınır değerler Tablo 1'deki gibidir.



Şekil 3 Baz istasyonu uzun süreli ölçüm grafiği (en üsteki grafik 3G frekansına aittir.)

Tablo 1. Türkiye’de GSM frekansları için geçerli sınır değerleri

GSM Operatörü	Frekans Bandı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)		Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	
		Tek bir cihaz için	Ortamın toplamı için	Tek bir cihaz için	Ortamın toplamı için
VODAFONE	900 MHz	10,23	41,25	0,027	0,111
TURKCELL	900 MHz	10,23	41,25	0,027	0,111
AVEA	1800MHz	14,47	58,34	0,038	0,157
3G (Her Üç Operatör)	2100 MHz	15	61	0,04	0,16

Ülkemizde 61 V/m olan bu limitler İtalya’da 6 V/m ve İsviçre’de ise 5 V/m olarak uygulanmaktadır. ABD ve bazı Avrupa ülkeleri ICNIRP’nin oluşturduğu sınır değerleri uygularken, İsviçre, İtalya gibi bazı Avrupa ülkeleri ise sınır değerler olarak ICNIRP güvenlik limitlerinin 1/10’unu (onda biri) uygulamaktadır. Örneğin Tablo 2’de görüldüğü

gibi, İsviçre’de baz istasyonu kaynaklı EM Radyasyonun olası olumsuz etkisi için öncelikli olarak “İhtiyat İlkesi”ni benimsemesi dolayısıyla ev, ofis, hastane, okul ve çocuk oyun alanları gibi hassasiyet gösteren sürekli yaşam yerlerinde 5 (V/m)’yi sınır değer olarak kabul etmiş olup bunu uygulamaktadır.

Tablo 2. Elektromanyetik radyasyon için İsviçre’de uygulanan ihtiyati limit değerler

Elektromanyetik Radyasyon Kaynağı	Sınır Değer
Yüksek Gerilim Hatları	1 μ T (Manyetik Alan)
Radyo TV Vericileri	3 V/m (Elektrik Alan)
900 MHz -GSM Haberleşmesi	4 V/m (Elektrik Alan)
1800 MHz -GSM Haberleşmesi	6 V/m (Elektrik Alan)
2100 MHz (3. Nesil)- GSM Haberleşmesi	6 V/m (Elektrik Alan)
Üç GSM Haberleşmesinin de Bulunduğu Nokta	5 V/m (Elektrik Alan)

4 ÇOK DÜŞÜK FREKANSLI ALANLARI İLE İLGİLİ LİMİTLER

Santrallerde üretilen elektrik enerjisi kayıpları azaltmak amacıyla gerilim 380(kV), 154(kV), 34.5(kV) gibi değerlere yükselttilerek Yüksek Gerilim Hatları (YGH) ile direklerden üzerinden kentlere taşınır. Kısa mesafelerde ise şehir ve köylere dağıtılırken gerilim trafolar aracılığıyla daha alt seviyelere düşürülür. Ve nihayet buralardan da 220 V / 380 V değerine indirilerek evlerimizde kullandığımız hale getirilir. Yüksek gerilim (YG) enerji iletim hatları ülkeyi ağ şebekesi halinde baştanbaşa sarmakta olup etraflarında ELF bandı olarak isimlendirilen (30Hz-300Hz) frekans aralığında çok düşük frekanslı non iyonize EM alan oluştururlar. Elektrik hatları ve trafo yakınlarında oturanlar ya da bulunanlar doğal olarak bu alanların etkisi altında yaşamlarını sürdürürler.

ELF manyetik alanların Ekim 2001’de IARC (International Agency for Research on Cancer-Uluslararası Kansere Araştırma Ajansı) tarafından 2B sınıfı olası kanserojen olarak tanımlanması, Dünya Sağlık Örgütü’nün (WHO)

2004 tarihlerinde yaptığı ‘Sensitivity of Children to ElectroMagnetic Fields-Çocukların Elektromanyetik Alanlara Hassasiyeti’ toplantısında ELF manyetik alanların çocuk lösemisini 2 katı artırdığını tüm dünyaya duyurması, ELF’nin sağlık etkilerine yönelik araştırmaların önemini bir kez daha vurgulamıştır.

Yüksek Gerilim Hatlarından yayılan Elektromanyetik radyasyon konusunda her ülke kendi standartlarına göre limit değerler belirlemiştir. Avrupa Birliği’ne üye ülkeler ve ABD dâhil olmak üzere birçok Dünya ülkesinde ortak olarak kabul gören ve uygulanan limit değerler bulunmaktadır. Bu limit değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da tanınan ve uluslararası bir komisyon olan ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – İyonize olmayan radyasyondan koruma komisyonu) tarafından belirlenmiştir. Limit değerler yayılan elektromanyetik radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmektedir. ICNIRP tarafından ELF bandına dâhil olan 50 Hz frekansında genel halk için belirlenen 2010 limit değerleri Tablo 3’teki gibidir.

Tablo 3. 2010 Limit değerler (ICNIRP - 50Hz için)

Elektromanyetik Kirlilik Kaynağı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μ T)
Yüksek gerilim hatları, Trafolar ve Güç üniteleri (genel halk için)	5000	200

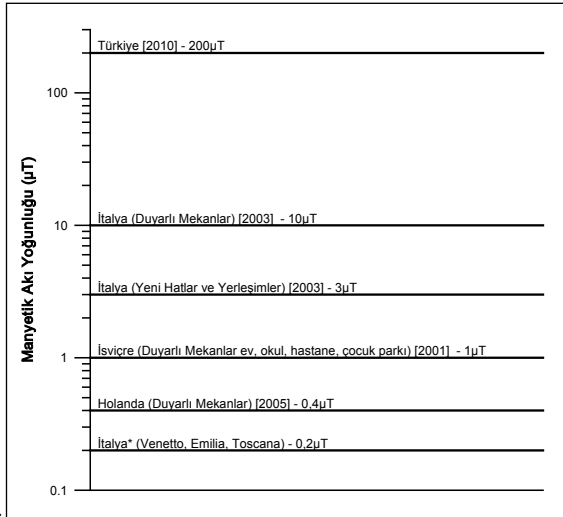
Ancak bu yönetmelik de YGH yakınlarında yaşayanları EMA’ların olumsuz etkilerinden koruyucu olmaya yönelik güven vermemektedir. Yeni yönetmeliğe göre ülkemizde 200 μ T olan sınır değer; İsviçre’de Yüksek gerilim ve trafo kaynaklı EM alanların ev, ofis, okul, hastane ve çocuk parkı gibi hassas mekânlarda özel uyguladığı 1 μ T limit değerine göre çok yüksektir. Yapılan bilimsel araştırmalarda, 0,4 μ T’nin üzerindeki manyetik alan değerinin 6 yaş altındaki çocuklarda kansere yakalanma riskinde artış

olduğu rapor edilmektedir. Bu nedenle İtalya, Hollanda ve bazı Avrupa ülkelerinde yeni kurulacak hatlar için bu limitler duyarlı bölgelerde, yeni yerleşim bölgelerinde ve 0,4 μ T ve 0,2 μ T seviyelerinde belirlenmektedir. Ve bu ülkelerin ELF limit belirleme tarihleri 2001 ve 2003 yıllarında çıkarılan yönetmeliklerle uygulanmaktadır.

Şekil 4’te ülkelere göre belirlenen ELF frekanslı limitler ile yönetmeliklerin çıkış tarihleri gösterilmektedir.

Dünya sağlık örgütü, WHO , elektromanyetik alanları sigara gibi 2B sınıfı kanserojen olarak kabul etmektedir. İtalya, Hollanda ve bazı Avrupa ülkelerinde yeni kurulacak hatlar için limitler yeni yerleşim bölgelerinde evlerde 0,4µT ve 0,2µT seviyelerinde kalacak şekilde belirlenmektedir. Bu limit değerlerin korunması hatta çok daha alt seviyelere çekilmesi hastane gibi sağlık sorunları nedeniyle tedavi olmaya gelen insanlar için çok daha önem taşıdığı açıktır. Avrupa’da Elektrik tesisatı iyi yapılmış bir binada ELF frekanslı manyetik alan seviyesi 0.08 µT civarındadır. Limitlerin sağlıklı insanlar için belirlendiği bilinmektedir.

Hâlbuki bağımsızlık sistemi bozulmuş insanların her an bulunduğu hastane ortamında aynı zamanda çalışan personel için de elektromanyetik ortamın kontrol edilmesi çok daha gereklidir. Standartlar kısa sürede oluşabilecek zararlardan korumak içindir. Uzun süreli maruziyet, standardın altında bile olsa ortaya çıkabilecek etkiler standartta nazara alınmamaktadır. Standartlar elektromanyetik alanların sebep olduğu ısı artışı esas alır. Biyolojik değişikliklere neden olan ısıl olmayan etkiler standartta yok kabul edilir. Şekil 5’te ise Sakarya Üniversitesi’nden geçen 34,5kV’luk iletim hattında 25 metre mesafede 1 saatlik sürede yapılan manyetik alan ölçümünün grafiği verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi manyetik alan 2.5 µT ile 3.4 µT arasında değişim göstermektedir.

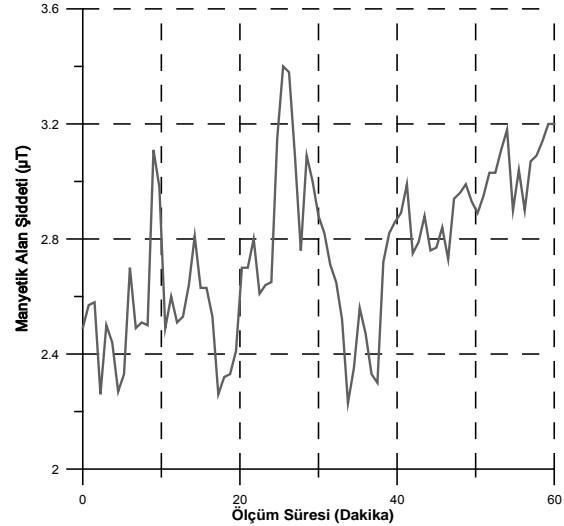


Şekil 4. Ülkelere göre yüksek Gerilim hatlarına ilişkin ELF frekanslı EMA için çıkarılan yönetmelik tarihleri ve manyetik alan sınır değerleri.

5 ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK KONTROLÜ

Günlük yaşamımızın ayrılmaz parçası olan elektromanyetik kirlilikten artık bireysel olarak alacağımız önlemlerle korunma imkânımız giderek kaybolmaktadır. Cep telefonları kişisel ölçekte bilinçli olarak ve gelecekte oluşturacağı riski kabullenerek yaptığımız elektromanyetik radyasyon üreten bir kaynak olurken istem dışı ve toplumsal ölçekte ise baz istasyonları, radyo – TV verici antenleri ve evlerimizin çok yakınlarından geçmekte olan yüksek gerilim hatları ile trafolar elektromanyetik alan yayıcı olarak çevremizi kışatmaktadır. Ayrıca binalarda kötü yapılmış elektrik tesisatlarının, ev içinde kullanılan elektriksel cihazların da elektromanyetik kirliliği artırdığı bir gerçektir. Yaşam alanlarındaki elektromanyetik kirlilik boyutunun

ülkemizdeki durumu Avrupa ile karşılaştırıldığında son derece çarpıcı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin Avrupa’da evlerde 0.05-0.1 µT arasında olan ELF frekanslı EMA seviyesi ülkemizde Bursa-Nilüfer’de yapılan 48 ölçüm sonucuna göre ortalama 0.39 µT değerine sahiptir. Evlerimizde GSM kaynaklı elektromanyetik kirlilik birikimi Avrupa’ya göre çok yüksektir. Ev içlerinde elektromanyetik maruziyet çocuklar, yaşlılar ve hastalar için yetişkin ve sağlıklı insanlara göre daha risklidir. Limitler ülkemizde elektromanyetik kirliliği kontrolde tek başına yetersizdir. Ulaştırma Bakanlığının yetkisinde olan baz istasyonlarının kurulum ve yerleşimi çevre kirliliği ve şehircilik açısından da ele alınarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından incelenmelidir. Ülkemizde Yüksek gerilim hatları ile ilgili yeterli bilgi ve veriler olmakla birlikte sayıları 70.000’ ni geçen baz istasyonları ile ilgili topluma açıklanmış çok az ölçüm değeri ve bilgi vardır. Baz istasyonlarını değerlendirirken yapılan ölçümler 6 dakika gibi spot ölçümlerle raporlandırılmaktadır. Oysa sağlıklı bir bilgi ve yorum yapabilmek için günlere dağılmış, 24 saat gibi sürekli ölçümlere gereksinim vardır. Bursa Nilüfer’de yapılan uzun süreli ölçüm çalışmalarının benzeri diğer yerel yönetimlerde de yapılmalıdır.



Şekil 5. 34,5kV enerji iletim hattının altında, hatta 25 metre mesafede ölçülen manyetik alan değişimi

Baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların (radyasyon) dokularımıza çarptığında enerjisini aktararak dokuların ısınmasına sebep olduğu kanıtlanmış bilimsel bir gerçektir. Aşırı ısı artışı dokuların fonksiyonunu bozabilir. Uluslararası sınır değerler ısıl etkilere dayanılarak hazırlanmaktadır. Ancak elektromanyetik dalgaların vücudumuza çarptığında ısıl olmayan olumsuz etkileri de vardır. Literatürlerde elektromanyetik radyasyonun kanser olasılığını artırdığı, baş ağrısı, uyku bozukluğu, iktidarsızlık gibi sorunlara yol açtığı bildirilmektedir. Limit değerler belirlenirken elektromanyetik radyasyonun ısıl olmayan etkisi gözle alınmamaktadır. Sınır değerler yetişkin ve sağlıklı erkeklere göre hazırlanmaktadır. Oysa toplum salt sağlıklı erkeklerden oluşmaz. Toplumda kadınlar, yaşlılar, gençler, çocuklar, bebekler hamileler, embriyo, fetüs dışında hasta olan bireyler de bulunur. Kısaca limit belirlemeleri toplumun tümünü gözetmeden hazırlandığından yetersizdir. Bu nedenle ALARA (as low as reasonably achievable) prensibi dikkate alınarak ihtiyat ilkesine göre koruyucu önlemler alınmalıdır.

ELF frekanslı Elektromanyetik alanların risklerinin azaltılması için; dünyada iki bilimsel yöntem vardır. Bunlarda birincisi ve en önemlisi; Yüksek gerilim hatlarının altında ve çevresinde ROW(right- of-way) denilen belirli bir güvenlik koridoru bırakılarak bina yerleşimi yapılmasıdır. Diğer bir yöntem de yüksek gerilim hatlarının yer altına alınmasıdır. Hatların yer altına alınması uygulaması yüksek gerilim hatlarını görsel platformdan kaldırmakla beraber, manyetik alanı yeterli seviyede azaltmadığı ve üstten geçerken yapmış olduğu ışınlamaya bu defa da yer altında yapmaya devam ettiği bilinmektedir. Ayrıca ülkemizde YG hatlarının yer altına gömülerek yapılan örneklerinde manyetik alanı perdeleyici özel önlemler alınmamaktadır. Ülkemizde bu konuda yetersizlikler ve bilgi eksikliği vardır. Maliyet açısından da önemli bir bütçe oluşturmaktadır. Ülkemizde elektromanyetik kirlilik kontrol projesi hazırlanarak kirlilik seviyesinin artmaması ve mevcut olumsuzlukların düzeltilmesi için planlamalar yapılmalıdır. Aksi takdirde hastaneler okullar birçok iş yerlerinde gereksiz yere elektromanyetik alana maruziyetler artarak devam edecektir. Ülkemizde 2010 tarihli Yönetmelikte, belirlenen 200 μ T değeri manyetik alan değeri çok büyüktür (Şekil 4). Bu neredeyse herkesin yüksek gerilim hatlarına dokunmayacak kadar yaklaşabileceği anlamına gelmektedir. Evler istenildiği kadar yakına yapılabilir. 200 μ T değerini bir yüksek gerilim hattının 3 metre yakınında bile görmek pek mümkün değildir. Bu nedenle bu limit değerler bir önlem oluşturmuyor. Yönetmelikteki EM alan sınır değerleri ile minimum yaklaşım mesafeleri olarak belirlenen değerler birbirleriyle uyumlu değil.

Elektromanyetik Radyasyondan İnsanların Korunmasına ilişkin çalışmalar aynı zamanda kontrol ve denetim hususlarını da içeriyor. ICNIRP gibi Uluslararası standart hazırlayan kuruluşlar aşılmasını gereken üst limitlerin ne olduğunu ısı etki parametresine göre tanımlar ve her ülkede bu üst sınırları aşmayan değerlerle kendi limitlerini belirler. Burada ülkemizde yönetmelik hazırlayanların gözden kaçırdıkları (bizce hatalı olan) çok önemli husus var; örneğin baz istasyonu kaynaklı EMR maruziyetine baz istasyonu yakınlarında sürekli maruz kalan bir insan veya bir aile ile sokaktan geçerken baz istasyonu EMR'sine kısa süreli maruz kalan insanların aynı kategoride değerlendirilmesi yaklaşımıdır. Elektromanyetik kirliliği de en alt seviyede tutabilmek için elektromanyetik alan maruziyetlerine ilişkin yönetmelikleri bu açıdan yeniden düzenlemek gerekir. Bu yeni yönetmelik çerçevesinde kentin en yüksek binaları baz istasyonlarının yerleşim noktaları olarak tespit edilmelidir. Bu konuda Şehircilik ve Çevre Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı da çalışmalara katılmalıdır.

Bu gün ülkemizde uygulanmakta olan yönetmeliklerde baz istasyonları için verilen güvenlik sertifikalarının izin verdiği elektromanyetik alan düzeylerinin, 20-30 yıl sonra, bu tür alanlarda yaşayan günümüz çocuklarında ne tür etkilere neden olabileceği veya olamayabileceğini, şimdiden kestirmek güçtür. Çünkü radyasyon korunmalarında genellikle, stokastik olmayan etkilerden korunma dikkate alınmakta ve stokastik etkiler genellikle dikkate alınmamaktadır. Yüksek risk gruplarının birlikte yaşadığı okul, hastane, yaşlı evleri vb. de Yüksek gerilim ve trafo kaynaklı (ELF) frekanslarında manyetik alanların 0.2 μ T'yi geçmemesi sağlanmalıdır. Bunun için öncelikli olarak YGH hatlarının yeni yapılan binalara olan en yakın mesafesi 150 metreden az olmamalıdır. GSM frekanslarında elektrik alan değerinin okullarda, evlerde, hastanelerde 0.1 V/m yi, geçmemesi sağlanmalıdır. Baz istasyonlarının okullardan 300 metre uzakta olması sağlanmalıdır. Baz istasyonlarının çevresindeki yaşam alanlarından sürekli ölçümler yapılarak kontroller yapılmalı, gerektiğinde etkiyi azaltmak için baz istasyonu yakınında evlerde elektromanyetik alan azaltıcı perde vb. uygulamalar yapılmalıdır. Bu konuda Sakarya Üniversitesi kentlerin minimum elektromanyetik etki altında tutulması için talep halinde model çalışma ilkeleri çerçevesinde proje çalışması yapmaya hazırdır.

6 REFERANSLAR

- [1] Nilüfer Belediyesi Elektromanyetik Kirlilik raporu 2010 (www.nilufer.bel.tr).
- [2] ICNIRP Guidelines, "Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic, And Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz)", Health Physics 74 (4), pp 494-522, 1998.
- [3] Stuchly, M.A., Dawson, T.W., "Interaction of low frequency electric and magnetic fields with human body." Proceedings of IEEE, 88, pp643-666, 2000
- [4] Çerezci O. Şeker, S., "Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik standartları ve Korunma Yöntemleri" Boğaziçi Üniversitesi 1991.
- [5] Wertheimer N., Leeper E. "Electrical wiring Configuration and Childhood Cancer" American Journal of Epidemiology, Vol. 109, pp273-284, 1979.
- [6] Resmi Gazete 27651 sayı. 24.04.2010.
- [7] WHO report, International Agency for Research on Cancer. Interphone study reports on mobile phone use and brain cancer risk, 2010.
- [8] Şeker, S., "Cep Tehlikesi" Hayy Kitap 2009.

İnönü Üniversitesi Yerleşkesinde Dönemsel Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Değerleri ve Haritaları

Teoman KARADAĞ¹, Ali Rıza ÖZDEMİR², Teymuraz ABBASOV³

^{1,3}İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Merkez Kampüs Malatya, Türkiye

²Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Ankara, Türkiye
teoman@inonu.edu.tr, arozdemir@btk.gov.tr,
teymuraz.abbasov@inonu.edu.tr

ÖZET

İnönü üniversitesi yerleşke alanında bulunan baz istasyonlarının ve kampüs yerleşkesi üzerine etki eden diğer çok yüksek frekanslı elektromanyetik alan kaynaklarının yaydığı elektrik alan şiddetlerinin dönemsel ve uzun süreli ölçümleri yapılmış, yerleşkenin frekans bazlı elektromanyetik alan yoğunluk haritaları çıkarılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre dönemsel değişimler kıyaslanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. 2011 yılında 27MHz-3GHz frekans aralığında spektrum analizi yapılarak yerleşke dâhilinde 450'nin üzerinde noktada, farklı frekanslara sahip elektromanyetik dalgaların alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. 2013 yılında 100 kHz-8 GHz frekans aralığında anlık ölçümler ile 6700'ün üzerinde noktada elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlarla, elektromanyetik alan kirlilik haritaları çizilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın amaçlarından biri iki yıllık periyotta üniversite yerleşkesinde elektrik alan şiddetinin değişiminin belirlenmesidir; bir diğer amacı da ölçüm sonuçlarından elde edilecek verilerle çizilen elektromanyetik kirlilik haritaları ile bu bölgedeki elektrik alan kaynaklarının homojen dağılımının sağlanması ve olası risk bölgelerinin belirlenmesidir.

GİRİŞ

Yeni nesil iletişim sistemlerinin hızlı gelişimi ve kullanıcı sayısının artışı sonucu bu sistemlerden kaynaklanan elektromanyetik alan kirliliği de artmaktadır. Son yıllarda daha yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar ile çalışan baz istasyonlarının artışı ise bu alanların canlılar üzerindeki etkisini sürekli olarak gündemde tutmaktadır [1]. Özellikle mikro dalga fırın sistemlerinin çalışma frekansı seviyesinde olan 3G ve 4G sistemlerin yaydıkları elektromanyetik dalgalar ortamda ciddi bir endişe kaynağı olmaktadır [2,3]. Buna paralel olarak birçok araştırmada bu tür etkilerin çok düşük düzeyde olduğu ve canlılar üzerinde etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu da iddia edilmektedir [4-6]. Son yıllarda yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar ile çalışan

baz istasyonlarının sayısının artışına paralel olarak artan elektromanyetik alan kirliliğinin canlılar üzerindeki etkisi sürekli olarak gündemde tutulmaktadır [1]. Elektromanyetik alanların yayılması, elektromanyetik radyasyon olarak da tanımlanır. İyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyon, dalga veya parçacıklar şeklinde yayılan bir enerjidir. Günümüzde elektromanyetik dalgalar çok sayıda düzenek ve kurgulardan oluşarak bir radyasyon kuşatması haline gelmiştir. Elektromanyetik, elektromanyetik spektrum olarak bilinen frekans ve şiddetine göre sınıflandırılır [2]. 30kHz-300GHz frekans aralığındaki yüksek frekanslı elektromanyetik alana (HF-EMF) maruz kalımdan sonra yan etkilerin olup olmadığı hükümetler, kamusal kurumlar ve elbette ki bilimsel çalışmalarla ele alınmakta ve değerlendirilmektedir. Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların oluşturduğu esas kirliliğin baz istasyonları ve mobil telefonlardan kaynaklandığı malumdur. Bu sebeple bu tür bilimsel çalışmalar esasen mobil telefonlar ve baz istasyonlarının canlılar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi yönündedir [3]. Günümüzde elektromanyetik kirliliğin biyolojik sistemler üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla da birçok çalışma yapılmakta ve sonuçlar tartışılmaktadır. Bu tartışmaların büyük çoğunluğu, baz istasyonları ve cep telefonlarının olası kanser edici etkileri üzerindedir. Yapılan kimi epidemiyolojik çalışmalar bazı kanser türleriyle baz istasyonlarının artışı ve cep telefonları kullanımı arasında ilişki kurmayı başarmış olsa da aksi sonuçlara ulaşmış çalışmaların sayısı da yeterince fazladır [3]-[11]. Bu yüzden elektromanyetik kirliliğin insan sağlığına etkisi, bu konu üzerinde çalışan bilim adamları tarafından halen tartışılan güncel bir problem olarak ortaya konulmaktadır.

Birçok çalışmada da elektromanyetik kirliliğin yaban hayatı üzerine etkisi rapor edilmiştir. Bu alanda en kapsamlı literatür Alfonso Balmori tarafından yapılmıştır [12]. Bu çalışmada elektromanyetik alanların yaban hayatı üzerinde zararları incelenmiştir.

Yukarıda adı geçen ve literatürde sunulan birçok benzer sonuçların incelenmesi elektromanyetik alanların hem canlılar hem de ortam üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde uzun süreli ölçümlerin bulunmadığını ve ya yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sunulan veriler ve sonuçlarda ciddi fikir ayrılıkları vardır. Bu

fikir ayrılıklarının esas nedeni elektromanyetik radyasyonun canlılar üzerindeki etkilerinin uzun süreli ölçüm ve kontrol yöntemlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Özellikle mobil iletişim sistemleri çok sayıda ve farklı güçlere sahip olan baz istasyonları gerektirmektedir. Öte yandan bu istasyonlar coğrafi anlamda farklı hücre dağılımına sahiptirler. Farklı güç yoğunluğu dağılımı ve frekanslarda çalışan bu sistemler yoğun yerleşim alanlarında, hücre yapıları ile kullanıcılara (data ve ses) haberleşme akışını daha hızlı ve sürekli sağlamayı amaçlamaktadır. Bunun için artan güçte ve sayıda, daha yüksek frekanslarda çalışan istasyonlara gereksinim duyulmaktadır. Bu artış kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanmasına paralel olarak süreklilik göstermektedir. Her geçen gün yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojileri ile dönüşüm yaşanan dünyada, elektromanyetik kirlilik düzeyleri de bu dönüşüm hızına paralel değişim göstermektedir. Özellikle büyük şehirlerde iletişim trafiği zamana ve yerleşim yerine bağlı, stokastik olarak değişmektedir. Baz istasyonlarının yaydıkları elektromanyetik dalgaların ortamdaki dağılımı birçok parametreye bağlıdır. Örneğin bir şehir için günün farklı saatlerinde, şehrin farklı bölgelerinde değişim gösteren iletişim trafiği, elektromanyetik dalganın ortamda ilerlemesini etkileyen ortamın sıcaklık ve nem değerleri bu tür parametrelere dâhil edilebilir. Bundan başka bazı canlıların fiziksel özelliğine, sağlık durumuna bağlı olarak düşük seviyeli, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar da ciddi rahatsızlıklar oluşturabilir [12]. Birçok araştırmalarda mikrodalga boyutlu radyasyonların canlıların farklı organlarına etkilerinin yakın mesafelerde daha etkin oldukları gözlenmiştir [13]-[14]. Bazı çalışmaların sonuçlarına göre ise elektromanyetik alan radyasyonunun canlılar üzerindeki etkisi hem dalga boyuna hem de bu dalganın etki süresine bağlıdır [15]-[17]. Başka bir deyişle yeni nesil 3G ve 4G baz istasyonlarının çıkış güçlerinin bir önceki nesillere göre düşük olmasına rağmen, kullanıcı bazlı kullanım süresinin daha uzun olması bu dalgaların canlılar üzerinde birikim etkisinin artmasına neden olur[18]. Yeni nesil iletişim sistemlerinin hızlı gelişimi ve kullanıcı sayısının artışı sonucunda bu sistemlerden kaynaklanan elektromanyetik alan kirliliği de artmaktadır. Gerçekte yüksek frekansa sahip olan herhangi bir elektromanyetik dalganın, canlılar üzerinde en azından etkin bir ısı etkisi oluşturduğu bellidir. Bu nedenle yüksek frekanslı elektromanyetik alanların canlılar üzerinde etkisi bulunmadığını iddia etmek bilimsel açıdan tutarlı değildir. Bu etkilerin mekanizmasının ve sonuçlarının değerlendirilmesi muhakkak gerekmektedir ve tartışmaya açıktır. Bunun için artan elektromanyetik kirliliğin değişim hızının belirlenmesi, yerleşkelerin detaylı elektromanyetik kirlilik haritalarının oluşturulması, bu bölgelerde sürekli elektromanyetik alan seviyesinin ölçümlerinin yapılması ve bu sonuçların kamuoyu ile paylaşılması gerekmektedir. Sunulmuş olan çalışmada İnönü Üniversitesi yerleşkesinde 30.000'in üzerinde öğrenci ve 5000'in üzerinde çalışanların maruz kaldığı elektromanyetik alanların seviyesinin ölçülmesi ve elde edilen verilerin değerlendirilerek, bu yerleşkenin 2 ve 3 boyutlu elektromanyetik alan kirlilik haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu haritaların üzerinde farklı frekanslara sahip olan elektromanyetik alan dağılımları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre üniversite yerleşkesinde mevcut elektromanyetik alan seviyesinin dağılım şemaları çizilmiş ve ileriye dönük

elektromanyetik alanların bu bölgedeki dağılım yoğunluğunun değişim olasılığı değerlendirilmiştir.

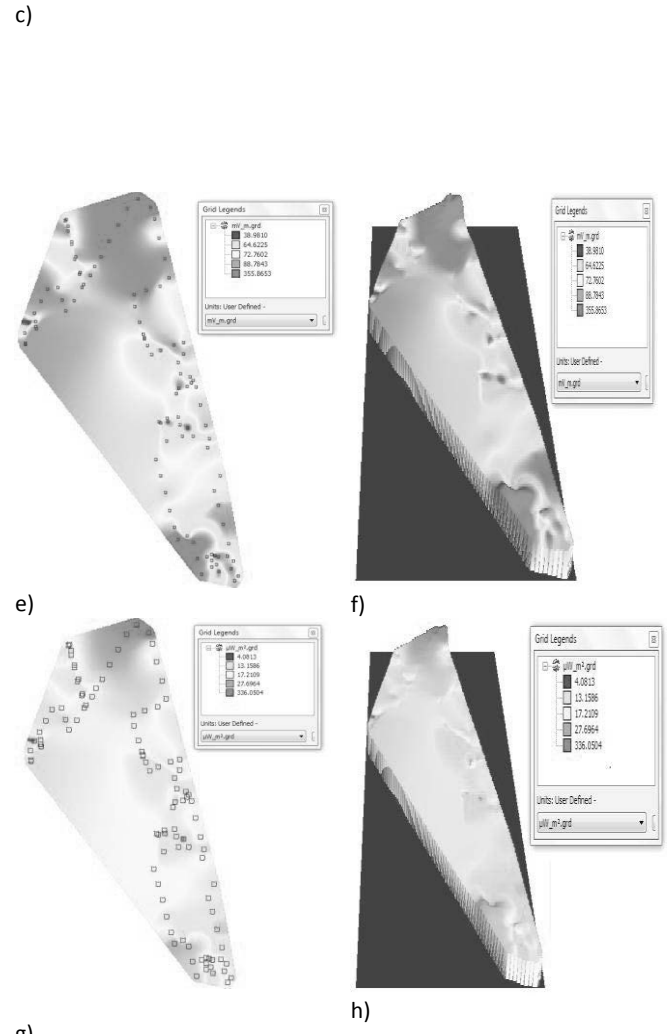
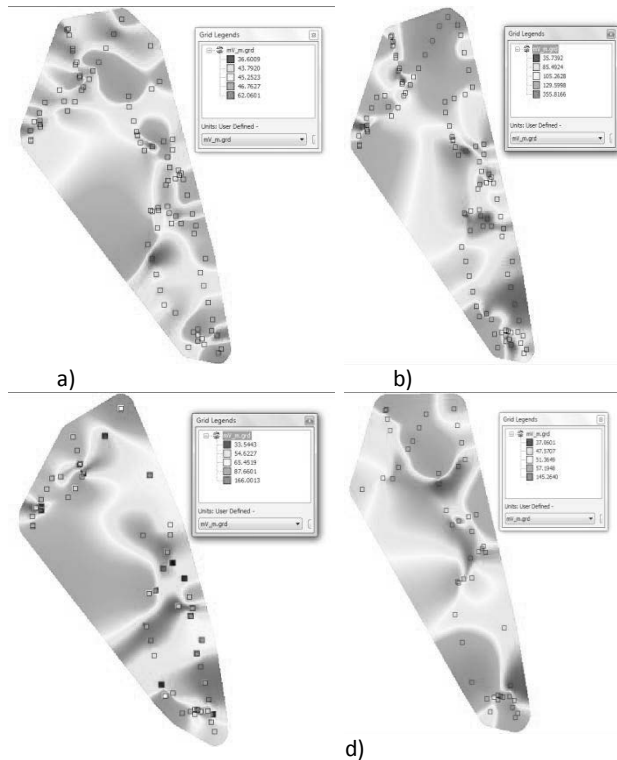
MATERYALLER ve METOD

7 milyon m^2 alana sahip İnönü Üniversitesi yerleşkesinde 30.000'in üzerinde genç nüfuslu öğrenci, 5000'in üzerinde çalışan, 400'ün üzerinde lojman, kreş, ilköğretim okulları, öğrenci yurtları, araştırma hastanesi, camii, toplu konutlar gibi yaşam alanlarının yer aldığı bir bölgedir. Yapılmış olan çalışmada üniversite yerleşkesindeki 100MHz altı frekansları, 900MHz 1800MHz GSM frekanslarını ve 2100MHz UMTS frekansını içeren elektromanyetik alan kirlilik haritalarının çıkarılması amaçlanmıştır. Çalışmalarımız 2011 yılı ekim ayı ve 2013 yılı haziran ayı dönemlerinde yapılmıştır. 2011 yılında 27MHz-3GHz frekans aralığında Narda SRM-3006 cihazı kullanılarak 5 sn aralıkla, belirtilmiş olan frekans gruplarında ölçümler koordinatları ile alınmıştır. Ölçüm alınan noktada, çalışma için belirlenmiş frekans gruplarında en yüksek elektrik alan şiddeti değeri çalışma için seçilmiştir. Koordinat adresleri ile alınmış olan bu değerler harita üzerine MapInfo programıyla yerleştirilmiştir. Böylece yerleşkenin, belirlenmiş olan frekans gruplarında, maksimum elektrik alan şiddeti değerlerini içeren elektromanyetik alan kirlilik bölgeleri belirlenmiş ve elektromanyetik alan kirlilik haritaları çizilmiştir. 2013 yılında benzer çalışma Wavecontrol SMP EMF Meter ile 100kHz-8GHz frekans aralığında, 1 sn aralıklarla alınan ölçümler alınmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen değerlerin elektromanyetik alan kirlilik haritaları çizilmiştir. Bu çizimlerde MapInfo 9.5 programı kullanılmıştır. Gridlerin oluşturulmasında Vertical Mapper sekmesinde Natural Neighbour Interpolasyon Metodu kullanılarak harita çizimler yapılmıştır. Harita üzerinde en düşük elektrik alan şiddeti değerleri mavi renk tonlarıyla, en yüksek elektrik alan şiddeti değerleri ise kırmızı renk tonlarıyla gösterilmiştir. Haritaların çiziminde Longitude / Latitude (WGS84) (EPGS:43:26) iz düşümü kullanılmaktadır. Ölçüm sonuçları, harita üzerine yerleştirildiğinde; ölçümün yapıldığı bölgenin yukarıda verilmiş olan iz düşümü seçilmektedir. Böylece çalışmanın yapıldığı bölgenin, yer şekilleri göz önüne alınarak elektrik alan şiddetinin dağılım haritaları çizilmiştir. Ölçümler çalışmanın yapıldığı yerleşke dahilinde 2011 yılında 5 sn aralıklarla, 2013 yılında 1 sn aralıklarla, yerden 150 cm yükseklikte ortalama bir insanın baş gövde yüksekliğinde alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası standart kuruluşların belirlemiş olduğu limit değerlerine göre değerlendirilmiştir[19]-[21].

BULGULAR

İnönü Üniversitesi yerleşkesinde yapılmış ölçümlerin sonuçları aşağıda paylaşılmıştır. Elde edilmiş sonuçlarla çizilmiş elektromanyetik dağılım haritalarını detaylı olarak inceleyecek olursak; İnönü Üniversite yerleşkesinde alınmış

olan ölçümlerde radyo ve tv yayıncılığı frekansları, GSM 900MHz ve 1800MHz, UMTS 2100MHz frekanslarında alınmış olan en yüksek elektrik alan şiddeti değerlerine göre çizilmiş elektromanyetik alan dağılım ve güç yoğunluğu haritaları görülmektedir. Şekil 1 a'da radyo ve tv yayıncılığı frekans değerlerine ait ölçüm alınan güzergâh ve alınan değerlere göre elektromanyetik alanın dağılım haritası görülmektedir. Şekil 1 b'de GSM 900MHz frekansında alınan değerlere göre elektromanyetik alanın dağılım haritası görülmektedir. Şekil 1 c'de GSM 1800MHz frekansında alınan değerlere göre elektromanyetik alanın dağılım haritası görülmektedir. Şekil 1 d'de UMTS 2100MHz frekansında alınan değerlere göre elektromanyetik alanın dağılım haritası görülmektedir. Şekil 1 e'de tüm bu frekans değerlerine ait elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirildiğinde, üniversite yerleşkesinde belirtilmiş olan frekans bantlarındaki elektromanyetik alan dağılımı görülmektedir. Şekil 1 f'de tüm bu frekans değerlerine ait elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirildiğinde, üniversite yerleşkesinde belirtilmiş olan frekans bantlarındaki elektromanyetik alan dağılımının üç boyutlu haritası görülmektedir. Şekil 1 g'de tüm bu frekans değerlerine ait elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirildiğinde üniversite yerleşkesinde belirtilmiş olan frekans bantlarındaki elektromanyetik alan güç yoğunluğu W/m^2 dağılımı görülmektedir. Şekil 1 h'de tüm bu frekans değerlerine ait elektrik alan şiddeti değerleri bir araya getirildiğinde üniversite yerleşkesinde belirtilmiş olan frekans bantlarındaki elektromanyetik alan güç yoğunluğu dağılımının üç boyutlu haritası görülmektedir.



g) Şekil-1. Üniversite yerleşkesinde GSM, UMTS, Radyo ve Televizyon frekanslarında ölçülmüş olan maksimum elektrik alan seviyeleri ve güç dağılımına ait 2 ve 3 boyutlu haritalar.

Radyo ve tv yayıncılığı frekanslarına ait alınmış olan 143 maksimum elektrik alan seviyesine ait elektromanyetik alan kirliliğinin üniversite yerleşkesindeki kapsama alanları yeterince geniş bölgeleri içerdiği görülmektedir Şekil 1 a. Yerleşke içerisinde baz istasyonlarının oluşturduğu elektromanyetik kirliliği belirlemek için GSM bantlarındaki GSM 900MHz - 1800MHz ve UMTS 2100MHz frekans bantlarındaki elektromanyetik alan sinyallerinin seviyeleri belirlenmiştir. Bu örnelemeye paralel olarak GSM 900MHz, 1800MHz ve UMTS 2100MHz frekanslarına ait değerler şöyledir. GSM 900MHz frekansında 171 maksimum elektrik alan seviyesine ait değerler bir araya getirilerek oluşturulmuş elektromanyetik alan seviyesi dağılımı incelendiğinde kaynağa yakın bölgelerde alan seviyesinin arttığı gözlenmektedir ve elektrik alan şiddetinin en yüksek değerleri bu frekans bandına aittir Şekil 1 b. GSM 900MHz frekansına ait maksimum elektrik alan seviyelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerinin sayısının 1800MHz ve 2100MHz'de alınmış olan değerlere göre daha fazladır ve kapsama haritasının

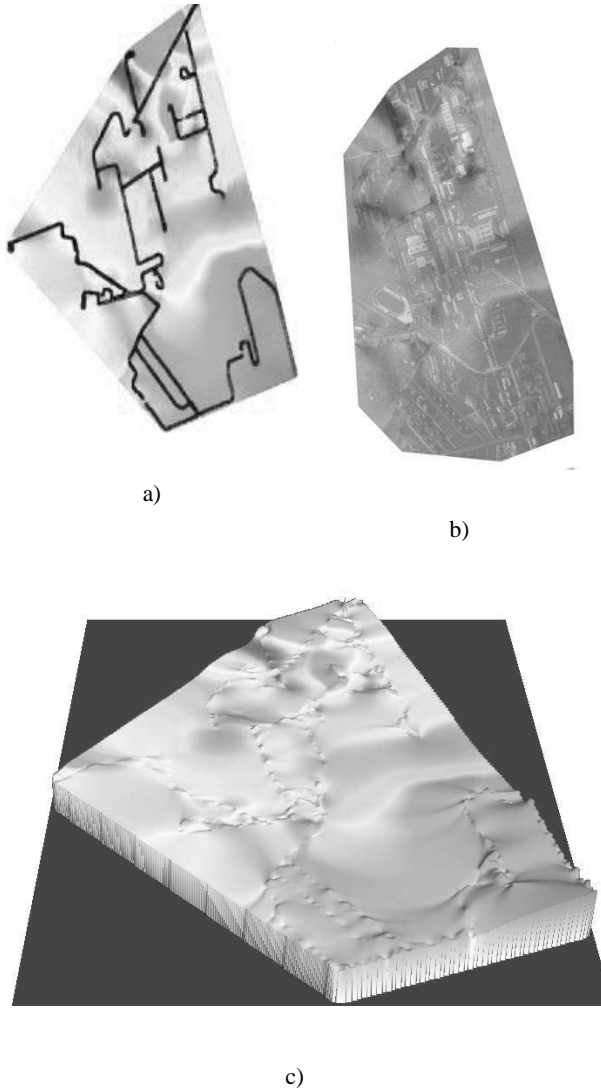
radyo ve tv yayıncılığı değerlerine göre daha geniş olduğu görülmektedir. GSM 1800MHz frekansında 76 maksimum elektrik alan seviyesine ait ölçüm değeri alınmıştır ve buna değerlere ait yayılım haritası Şekil 1 verilmiştir. Radyo ve tv yayıncılığı frekansları, GSM frekansları ve UMTS frekansına ait 454 noktada ölçülmüş maksimum elektrik alan seviyesine ait değerler bir araya getirilerek çizilmiş olan Şekil 1 e incelendiğinde bu frekanslarca üniversite yerleşkesinin neredeyse tamamının belirgin bir alan dâhilinde tamamen kapsadığı görülmektedir. Kapsam haritaları detaylı olarak incelendiğinde görülecektir ki 27MHz – 3GHz aralığında alınmış ölçüm değerlerine göre yerleşke civarında bulunan GSM 900MHz ve 1800MHz frekanslarındaki baz istasyonlarının etkin elektrik alan şiddeti seviyelerinin kapsama alanları UMTS 2100MHz ve radyo ve tv yayıncılığı frekanslarının etkin elektrik alan şiddeti seviyelerinin kapsama alanlarına göre daha geniş olduğu görülmektedir. Şekil 1 g incelendiğinde İnönü Üniversitesi yerleşkesinde alınmış ölçümler birleştirildiğinde belirtilmiş olan frekans bantlarında 454 noktada ölçülmüş maksimum elektrik alan seviyesine ait değerler bir araya getirilerek çizilmiş güç yoğunluğu dağılımı (W/m^2) görülecektir. Metrekare başına düşen güç yoğunluğu incelendiğinde, görülmektedir ki yerleşke kapsamında güç yoğunluğu dağılımı belirli bir düzeydedir ve bu yoğunluk kaynağa yaklaştıkça artmaktadır. Çalışmanın yapılmış olduğu bölgede, içinde bulundurduğu genç nüfus ile gelişen teknoloji ve bu sistemleri içeren ürünlerin en çok kullanıldığı yerleşke alanlarından biri olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle esas ölçüm bölgeleri olarak daha çok teknolojik donanım ve insan yoğunluğu bulunan noktalar ölçüm için seçilmiştir. Yerleşke içerisinde yaşayan canlılar, yukarıda belirmiş olduğum birçok kurum ve kuruluşun maruz kaldıkları elektromanyetik alan seviyesinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Şekil 1 b'de GSM 900MHz frekans bandında olan elektromanyetik dalgaların ölçüm ve dağılımı görülmektedir. 2011 yılı ekim ayı içerisinde yapılmış olan çalışmada ölçüm yapılan bölgede 3G çalışmaları yeni başlamıştır. Bu nedenle Şekil 1 d incelendiğinde açıkça görülmektedir ki UMTS 2100MHz frekansında alınmış ölçüm değeri az ve kapsama alanı diğer GSM bantlarına göre dardır. 454 noktada ölçüm alınmış olan bütün değerlerin, standartların altında olduğu görülmektedir. Uluslararası standart kuruluşların önerdiği limit elektromanyetik alan değerleri göz önünde tutulduğunda, mevcut olan enerji yoğunluğu (W/m^2) değerleri ve elektrik alan şiddeti (V/m) değerleri bu standartların çok altındadır.

Tablo-1. ICNIRP tarafından belirlenen limit değerler

Cep Telefonu Baz İstasyonu Frekansı		
900MHz	1800MHz	2100MHz
Elektrik Alan 41,25 V/m	Elektrik Alan 58,34 V/m	Elektrik Alan 56 V/m

c'de verilmiştir. UMTS 2100MHz frekansında 64 maksimum elektrik alan seviyesine ait ölçüm değeri alınmıştır ve değerlere ait yayılım haritası Şekil 1 d'de

Dolayısıyla ilk bakışta insan yoğunluğunun yüksek olduğu yerleşkelerde bile bu alan yoğunluğunu birkaç kat arttırmak mümkündür. Fakat düşük-orta ve yüksek frekansların uzun süreli maruziyetleri göz önüne alındığında bu düşük alan seviyelerinin canlılar üzerindeki etkileri kaçınılmazdır. Bu ise maruz kalınan elektromanyetik alan yoğunluğu değerleriyle, uluslararası standartların ortaya koymuş olduğu değerler arasında bir zıtlığın olduğunu göstermektedir. Ölçümlerin yapılmış olduğu bölge, barındırdığı insan yoğunluğu göz önüne alındığında çok yoğun bir iletişim trafiği oluşacağı açıkça görülmektedir. Bunlar göz önüne alınacak olursa yayılan elektromanyetik dalgaların en azından çalışma saatleri süresince çok yüksek enerji yoğununa sahip olduğu aşikârdır ve yapılmış olan sürekli elektromanyetik alan ölçümleri ile bu zaman dilimleri belirlenmiştir. 2010 yılında başlanmış olan çalışmaya müteakip, 2011 yılında yapılmış olan çalışmamızı hem sonuçlandırmak hem de süreci değerlendirmek adına 2013 yılı haziran ayında üniversite yerleşkesinde daha detaylı bir çalışma yapılmıştır. Son yapılmış olan çalışmayla Wavecontrol marka SMP EMF Meter elektromanyetik alan ölçüm cihazı ile 100kHz-8GHz frekans aralığında üniversite yerleşkesi içerisinde GSM telefon trafiğinin en yoğun olduğu gündüz çalışma saatlerinde ve GSM telefon trafiğinin düşüş eğiliminde olduğu akşam saatlerinde toplam 6784 noktada ölçüm alınarak değerlendirmeler yapılmış ve alınmış olan ölçümler sonucu değişimler gözlenmiştir. Üniversite yerleşkesinde bu çalışma öncesinde alınmış olan 24 saatlik sürekli ölçümler sonucu gözlemlenmiştir ki gündüz çalışma saatlerinde elektrik alan seviyeleri yükselmekte iken, akşam saatlerinde aynı bölgede elektrik alan seviyeleri düşmektedir. Yerleşke içerisindeki elektromanyetik alanın değişim ve dağılımını belirlemek amacıyla gece ve gündüz olarak ölçümler tekrarlanmıştır. Alınmış olan elektromanyetik alan değerlerince, gündüz saatlerinde alınmış olan ölçümler sonucu en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 1,2482V/m, ortalama elektrik alan şiddeti değeri 0,8315V/m olarak ölçülmüştür. Akşam saatlerinde alınmış olan ölçümler sonucu en yüksek elektrik alan şiddeti değeri 0,7945V/m, ortalama elektrik alan şiddeti değeri 0,4142V/m olarak ölçülmüştür. Buradan açıkça görülmektedir ki üniversite yerleşkesinde gece ile gündüz saatleri arasındaki elektrik alan şiddeti seviyesinde %50'ye varan bir düşüş söz konusudur. Burada düşüşün esas sebebi yerleşke içerisinde bulunan ve baz istasyonlarına bağlanan abone sayısındaki değişimdir.



Şekil-2. İnönü Üniversitesi yerleşkesinde 100kHz-8GHz frekans aralığında alınmış ölçüm sonuçlarına göre. a) Ölçüm alınan güzergâh ve kapsam haritası. b) Ölçüm alınan güzergâh ve elektrik alan kapsama haritasının gerçek harita üzerindeki gösterimi. c) Ölçüm alınmış değerlerce oluşturulmuş 3 boyutlu elektrik alan kapsama haritası.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak 2011-2013 yılları süresince üniversite yerleşkesinde alınmış olan elektrik alan seviyelerinde maksimum elektrik alan değeri %148, minimum elektrik alan değeri %55 artış göstermiştir. Ölçüm sonuçlarına ve iletişim teknolojisinin üniversite yerleşkesinde kullanım alanının genişletilmesinin tahminine göre yakın gelecekte üniversite öğrencileri, çalışanları ve diğer birimleri ile bulunduğu yerleşke civarında yapılan toplu konut inşaatları ve şehir stadi ile bu bölgeye gelecek her kişi, iletişim trafiğini de beraberinde getireceğinden; bölgenin, yoğun radyasyon kuşatmasına maruz kalacağını söylemek mümkündür. Bu etkilerin tehlikeli boyutlara ulaşmaması için

elektromanyetik alan yayan kaynakların artmasıyla doğru orantılı olarak bu etkilerden korunma sistemlerinin ve/veya yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir, bunun için tarafımızdan yapılan ve ölçüm değerleri gösterilen elektromanyetik alan seviyesi haritalarının önemi daha da artmaktadır. Bölgede bulunan mevcut baz istasyonlarının kapasite artırımı ile yerleşke dâhilinde elektromanyetik alanın yüksek olan bölgeleri ile düşük olan bölgeleri arasındaki fark giderek artacaktır. Bu haritalar göz önüne alınarak baz istasyonlarının, elektromanyetik alanın yoğunluğunun zayıf olduğu bölgelere kurulması ve bu sistemlerin sebep olduğu elektromanyetik alanının üniversite yerleşkesi üzerinde yaklaşık olarak homojen dağılımı sağlanabilir. Yerleşke dâhilinde en yüksek elektromanyetik alan kaynağı ve etki bölgesi olan noktalardan biri de üniversite yerleşkesinde bulunan Turgut Özal Tıp Merkezi Araştırma Hastanesidir. Bu merkezin hem yaydığı elektromanyetik alanların hem de maruz kaldığı elektromanyetik alanların etkilerinin daha net bir şekilde ölçülmesi ve alınan sonuçların haritalanması, ölçümlerin değerlendirilmesi için farklı bölgelerde belirli zaman sürelerinde sürekli ve anlık olarak elektromanyetik alan seviyelerinin ölçülmesi gerekir. Bu merkezin günümüzde yeni nesil birçok kablosuz iletişim sistemleri (wifi, access point) ile donatılması ve merkezde kullanılan, elektromanyetik alan yayan cihazların etkilerinin daha da artacağı göz önüne alınarak incelemede yarar vardır. İleriye dönük çalışmalarda Turgut Özal Tıp Merkezinin yerleşkesinin bütün bölgelerinde, çevresinde var olan elektromanyetik alan seviyelerini, bu alanların frekans spektrumlarını ve enerji yoğunluğunun yayılım ölçümlerinin yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Sorgucu, U. ve Develi, I., "Measurements and analysis of electromagnetic pollution generated by GSM-900 mobile phone networks in Erciyes University, Turkey," *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31,4, 404-415, 2012.
- [2] Ulaby, F.T., "Fundamentals of Applied Electromagnetics", Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2001.
- [3] Hutter, H. P., Moshhammer, H., Wallner, P., et al., "Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations." *Occupation Environment Med.* 63, 307-313, 2006.
- [4] Franke, H., Ringelstein, E. B., Stögbauer, F., "Electromagnetic fields (GSM 1800) do not alter blood-brain barrier permeability to sucrose in models in vitro with high barrier tightness", *Bioelectromagnetics*, 26, 7, 529-535, 2005.
- [5] Kuribayashi, M., Wang, J., Fujivara O., et al., "Lack of effects of 1439 MHz electromagnetic near field exposure on the blood-brain barrier in immature and young rats", *Bioelectromagnetics*, 26, 7, 578-588, 2005.
- [6] Schüz, J., Böhrer, E., Berg, G., Schlehofer, B., Hettinger, I., Schlaefer, K., Wahrendorf, J., Kunna-Grass, K., et al., "Cellular Phones, Cordless Phones, and the Risks of Glioma and Meningioma (Interphone Study Group, Germany)". *American Journal of Epidemiology*, 163, 6, 512-520, 2006.

- [7] Santini, R., Santini, P., Danze, J. M., et al., "Symptoms experienced by people in the vicinity of base stations: incidences of distance and sex", *Pathol. Biol.*, 50, 369–373, 2002.
- [8] Navarro, E. A., Segura, J., Portoles, M., et al., "The microwave syndrome: a preliminary study in Spain", *Electromagn. Biol. Med.*, 22, 161–169, 2003.
- [9] Oberfeld, G., Navarro, E., Portoles, M., et al., "The microwave syndrome-further aspects of a Spanish study.", 3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields. Kos, 2–9, 2004.
- [10] Abdel-Rassoul, G., El-Fateh, O., Salem, A., et al. "Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations", *Neurotoxicology*, 28, 434–440, 2007.
- [11] Balmori, A., "Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife", *Pathophysiology*, 16, 191–199, 2009.
- [12] Nikolaevich, N., Igorevna, A., Vasil G., "Influence of high-frequency electromagnetic radiation at non-thermal intensities on the human body", A review of work by Russian and Ukrainian researchers. *No Place to Hide*, 3, 1–33, 2001.
- [13] Kemerov, S., Marinkev, M., Getova, D. "Effects of low-intensity electromagnetic fields on behavioral activity of rats.", *Folia Med.*, 41, 75–80, 1999.
- [14] Adey, R., "Bioeffects of mobile communications fields: possible mechanisms for cumulative dose. In: Kuster, N., Balzano, Q., Lin, J. C. *Mobile Communications Safety 103–132* New York: Chapman & Hall. 1996.
- [15] Lai, H. "Biological effects of radiofrequency electromagnetic field", *Encyclopaedia of Biomat. Biomed. Eng.*, 10, 1–8, 2005.
- [16] Galeev, A. L., "The effects of microwave radiation from mobile telephones on humans and animals.", *Neurosci. Behav. Physiol.* 30, 187–194, 2000.
- [17] Person, T., Törnevik, Ch., Larsson, L. E., Loven, J., "Output Power Distributions of Terminals in 3G Mobile Communication Network" *Bioelectromagnetics* 33, 320–325, 2012.
- [18] Gajsek, P., Ravazzani, P., Wiart, J., Grellier, J., Samaras, T., Thuroczy, G., "Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields", *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 1–8, 2013.
- [19] CELENEC. Basic Standard to demonstrate the compliance of fixed equipment for radio transmission (110 MHz–40GHz) intended for use in wireless telecommunication networks with the basic restrictions or the reference levels related to general public exposure to radio frequency electromagnetic fields, when put into service. European Standard EN 50400:2006. European Committee for Electrotechnical Standardization 2006.
- [20] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz), *Health Phys* 74, 494–522 1998.
- [21] BTK (Information Technologies and Communications Authority), Turkey, Limit values for mobile GSM and UMTS frequencies, http://www.tk.gov.tr/tuketici/emd/baz_istasyon_on.pdf, 2011.

Bir Üniversite Hastanesi Binası ve Çevresinde Elektromanyetik Alan Ölçümleri

Teoman KARADAĞ¹, Teymuraz ABBASOV²

^{1,2}*İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Merkez Kampüs Malatya, Türkiye
teoman@inonu.edu.tr, teymuraz.abbasov@inonu.edu.tr*

ÖZET

İnönü Üniversitesi Turgut Özal Tıp Merkezi yılda 500.000'in üzerinde hastanın ziyaret ettiği, bölgesinde önemli sağlık merkezlerinden biridir. Çevresinde yer alan gerek baz istasyonları ve gerekse enerji iletim hatları ve dağıtım sistemlerinin yer almasından dolayı lokal olarak bu bölgede sürekli elektromanyetik alanların ölçümü ve etki seviyesinin değerlendirilmesi için bir ay süre ile planlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında 100kHz-8GHz frekans aralığında sürekli ve anlık olarak ölçümler alınmıştır. Ayrıca GSM ve UMTS frekanslarında ölçüm alan diğer bir istasyon ile bölgede bulunan baz istasyonlarına ait elektrik alan değerleri sürekli olarak ölçülmüştür. Bunlara ek olarak bölgede bulunan şalt sahası ve yüksek gerilim enerji nakil hattının hastane üzerine etkisi ölçülmüş, sonuçlar değerlendirilmiştir.

GİRİŞ

Son yıllarda iletişim sistemlerinin yaygınlaşması ve yeni nesil kablosuz haberleşme uygulamalarının artmasıyla, elektromanyetik alan radyasyonunun etkisi de dramatik bir şekilde artmaktadır. Bu sistemler, basit kurulum ve kablosuz kullanımın getirmiş olduğu mobil avantajlarla oldukça yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu tür sistemlerin yoğun olarak kullanıldığı ortamlardan biri de tıp merkezleridir. Yüksek frekansta çalışan, bilgi ve iletişim teknolojileri olan 3G ve WLAN (Wireless Local Area Network) sistemleri hastanelerde yaygın olarak ara bakım ve kritik olmayan hastaların izlenmesinde, bilgi ve haberleşme amaçlı kullanılmaktadır. Gerek hastane içerisinde ve dışında bulunan yüksek frekanslı, kablosuz iletişim kaynaklarının yaymış oldukları elektromanyetik dalgalar ve gerekse hastane içerisinde ve yakın bölgelerinde bulunan güç frekanslı elektrik iletim hatları ve dağıtım sistemleri; medikal cihazların, bu ortamlarda çalışanların ve yatarak tedavi gören hastaların üzerinde ciddi etkiler oluşturabilir. Dahası elektromanyetik alan girişimiyle, yüksek hassasiyetli medikal cihazların farklı türdeki arızalara maruz kaldıkları saptanmıştır. Tıp merkezlerinde bu tür arızalar telafisi imkânsız olan birçok sorunlara sebep olabilir. Örneğin literatürde sunulan çalışmalardan elektromanyetik alan girişimi ile hasta izleme sistemlerinin kesilmesi, iki hastanın ölümüne sebep olmuştur (1). 1970'lerden bu yana hastanelerdeki elektromanyetik etkileşimler konusunda ciddi bir endişe vardır. 1979 yılına gelindiğinde Gıda ve ilaç Dairesi FDA (Food and Drug Administration), "Tıbbi cihazlar için elektromanyetik uyum standardı" başlıklı bir kural yayınlamıştır (2). O günden beri çeşitli çalışmalarla

elektromanyetik alanların, medikal cihazlar üzerine elektromanyetik girişim ve uyumlulukları ortaya konulmaktadır. Bu konu üzerindeki en önemli çalışmalardan biri de Silberg tarafından yapılmıştır (3). Bu çalışmada elektromanyetik alanların, medikal cihazlar üzerine girişimi ile ilgili yüzlerce olgu sunulmuştur. Tüm olgular 1979 - 1993 yılları arasında FDA tarafından alınan raporlara dayanmaktadır. Elektromanyetik alanların, tıbbi ekipmanlara etkilerinin yanı sıra, hastanelerin elektromanyetik ortamının karakterize edilmesi üzerine odaklanılmıştır (4-6). Günümüzde elektromanyetik kirliliğin biyolojik sistemler üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla da birçok çalışma yapılmakta ve sonuçlar tartışılmaktadır. Bu tartışmaların büyük çoğunluğu, baz istasyonları ve cep telefonlarının olası kanser edici etkileri üzerindedir. Yapılan kimi epidemiyolojik çalışmalar bazı kanser türleriyle baz istasyonlarının artışı ve cep telefonları kullanımı arasında ilişki kurmayı başarmış olsa da aksi sonuçlara ulaşmış çalışmaların sayısı da yeterince fazladır (7-15). Bu yüzden elektromanyetik kirliliğin insan sağlığına etkisi, bu konu üzerinde çalışan bilim adamları tarafından halen tartışılan güncel bir problem olarak ortaya konulmaktadır. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı 2004 yılında ELF (Extremely Low Frequency) manyetik alanları, 2011 yılında RF (Radio Frequency) radyasyonu 2B olası kanserojen sınıfına almıştır. Birçok çalışmada hastane dışındaki TV ve radyo yayıncılığı ve mobil telefon hizmeti gibi yüksek frekansta çalışan kaynakların elektromanyetik alan seviyelerinin ölçülmesi ve etkisinin tespitine yönelik ölçümler yapılmıştır. Bazı çalışmalarda ise hastane ortamının güç frekansındaki (f=50-60Hz) elektromanyetik alan dağılımının karakterize edilmesi üzerinde durulmuştur (16,17). Genel olarak ifade etmek gerekirse üzerinden elektrik akımı geçen bir telin etrafında manyetik alan oluşur. Manyetik alan büyüklüğü üzerinden geçen akımın büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Hastane içerisinde bulunan enerji ünitesi, güç frekanslı elektromanyetik alanların bir iç kaynağıdır. Bu ünite elektrik tesisatı ve tıbbi ekipmanlar dâhil tüm cihazların enerji tedariki için tasarlanmıştır. Büyük bir hastanede tıbbi cihazların sayısının gittikçe arttığı göz önüne alındığında bu artış hızıyla doğru orantılı olacak şekilde enerji ihtiyacı da artacaktır. Bu akım miktarındaki artış, hastane içerisindeki alanların seviyesinin de artışı anlamına gelir. Bunlara ek olarak yüksek seviyeli elektrik ve manyetik alanlar, alçak frekanslarda olsalar bile medikal cihazların çalışmasını da etkileyebilir (18). Bu nedenle hastane içerisindeki ve çevresindeki bölgelerde hem yüksek frekans hem de alçak frekans elektrik ve manyetik alan seviyelerinin belirlenmesi ve sonuçlarının uygun standartlarla değerlendirilmesi gereklidir. Bu konuya ait literatürde sunulmuş olan çalışmaların sonuçlarının yeterli sayıda olduğunu söylemek mümkün değildir. Sunulmuş olan çalışmalarda farklı ölçüm yöntemleri kullanılmakla beraber esasen hastanelerin iç bölgelerinde güç frekansındaki

elektromanyetik alan kaynaklarının etkileri incelenmiş, dahası benzer çalışmalarda bu tür ortamların elektromanyetik alan ölçümleri anlık veya periyodik olarak yapılmıştır (19). Oysa yukarıda bahsedildiği gibi bu etkiler bütün anlarda oluşabileceği gibi, bu olayların sonuçları da tafafisi imkânsız olabilir. Dolayısıyla diğer ortam ve kurumlardan farklı olarak büyük tıp merkezlerinde ve kliniklerde elektromanyetik alanların etkilerinin sürekli olarak ölçülmesi, sonuçlarının değerlendirilmesi ve kontrolünün sağlanması önerilmektedir. Bu amaçla elektromanyetik alanların hem seviyesini hem de frekans spektrumunu sürekli ölçen, kontrol eden ve gerekirse de bu bilgileri bir merkezde sürekli olarak gösterebilen sistemlerin oluşturulmasında yarar vardır. Bu çalışmada MonitEM elektromanyetik alanları sürekli ölçme ve izleme istasyonları kullanılarak (20) pilot bölge olarak seçilen bir üniversite hastanesinin hem iç, hem de dış bölgelerinde sürekli elektromanyetik alan ölçümü ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmanın yapıldığı Turgut Özal Tıp Merkezi (TÖTM), yılda 500.000'in üzerinde kişinin ziyaret ettiği hem kapsamlı, hem de çalışan yoğunluğu açısından Türkiye'nin büyük üniversite hastanelerinden biridir. 2011-2013 yılları arasında İnönü Üniversitesi yerleşkesinde yapılmış olan elektrik alan ölçüm sonuçları ile görülmüştür ki bu merkezin çevresinde elektrik alan yoğunluğu giderek artmaktadır. Bu çalışmanın esas amacı seçilmiş tıp merkezindeki elektromanyetik alanın ölçülmesi, hem genlik hem de frekans dağılımının karakterize edilmesidir. Özellikle yüksek frekanslarda çalışan alan kaynaklarının hastane, çalışan personel, aygıt, sistem ve yatarak tedavi gören hastalara etkisinin belirlenmesidir. Bu amaçla sürekli ölçüm sistemi MonitEM'den yararlanılarak ölçümler yapılmış ve elde edilen değerler çalışmada sunulmuştur.

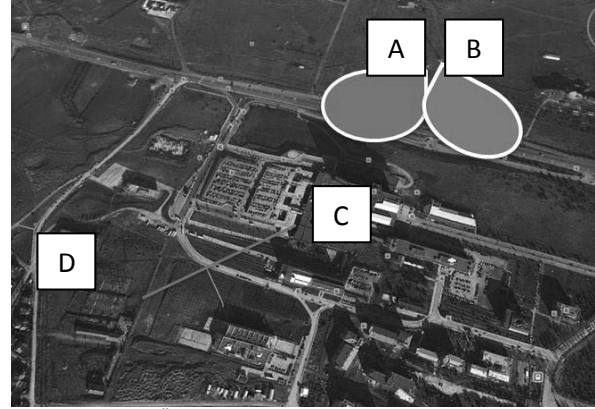
MATERYALLER ve METOD

Yılda yarım milyondan fazla hastanın ziyaret ettiği sağlık merkezinde Wavecontrol marka Monitem 900MHz 1800MHz GSM frekansları ve 2100MHz UMTS frekansında 24 saat sürekli ölçüm alan elektromanyetik alanları ölçüm istasyonu ve 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan ikinci bir istasyon, hastanenin birinci katına konumlandırılmıştır. Lokasyon seçimimizde 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan istasyon hastanenin radyo ve televizyon vericilerine bakan batı cephesine, GSM frekansları ve UMTS frekansında 24 saat sürekli ölçüm alan istasyon iki hafta süresince hastanenin kuzey cephesinde bulunan baz istasyonlarını görece şekilde ve bir hafta süresince de hastanenin çatısında bulunan baz istasyonlarının yakın bölgesine konumlandırarak 24 saat sürekli ölçümler alınmıştır. Bu çalışmalarımıza paralel olarak yine Wavecontrol marka SMP Meter ile 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan cihaz ile 1sn'lik periyotlarda hastane içerisinde +13km üzerinde, hastanenin tüm birimleri dolaşarak, 24 saatlik sürekli ölçümlere ek olarak bölgede elektrik alanının en yüksek olduğu çalışma saatleri içerisinde anlık ölçümlerle hastane içerisindeki elektrik alan seviyeleri ölçülmüştür. Wavecontrol Monitem marka, iki adet sürekli elektromanyetik alanları ölçüm istasyonu her saniyede iki ölçüm olarak Sliding Windows Average metodu ile anlık elektrik alan değerlerini ölçerek üzerindeki GPRS modem aracılığıyla ölçmüş olduğu verileri

göndermiş olduğu web sayfasından düzenli olarak takip edilerek derlenmiş ve mevcut standartlar ile kıyaslanmıştır. Hastane yerleşkesine sınır olan şalt sahasının etkisini belirlemek amacıyla da Narda marka EHP-50D alçak frekans spektrum ve sürekli ölçüm cihazı ile de şalt sahasından, hastaneye etkileyen elektrik alan ölçülmüş ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

BULGULAR

Çalışmanın yapıldığı Turgut Özal Tıp Merkezi ve Araştırma Hastanesini gösteren Şekil-1'de hastanenin kuzey bölgesinde bulunan baz istasyonları kırmızı ve mavi eliptik şekil ile belirtilmiştir (A ve B). Hastanenin güney batı cephesinde bulunan şalt sahası (D) ve Turgut Özal Tıp Merkezi'ne (C) doğru olan ölçüm güzergâhımız kırmızı hat ile gösterilmiştir. Buna istinaden yaptığımız çalışma ve çalışmaya ait bilgi ve görseller şöyledir.

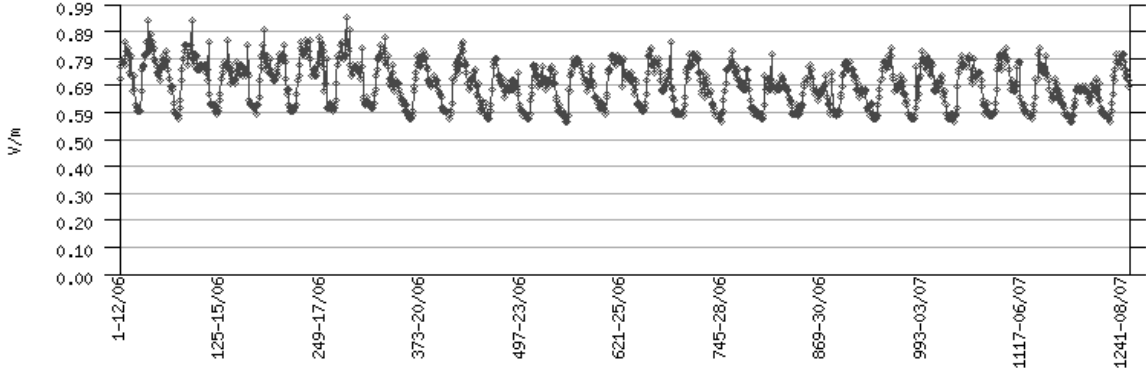


Şekil-1. Turgut Özal Tıp Merkezi ve Araştırma Hastanesinin genel görünümü.

Şekil-2a'da Turgut Özal Tıp Merkezi 1. katında hastanenin kuzey bölgesindeki baz istasyonlarının görüş açısında yerleştirilmiş, GSM frekansları ve UMTS frekansında sürekli ölçüm alan istasyon görülmektedir. Şekil-2b'de ise bu istasyon ile belirtilen periyotta alınmış olan anlık elektrik alan değerlerinin, yarımsar saatlik ortalamalarının, 1241 elektrik alan değeri ile oluşturulmuş, zamanla değişen elektrik alan grafiği görülmektedir. Bu değerler incelenecek olursa, baz istasyonlarındaki görüşme trafiğine bağlı olarak elektrik alan seviyelerinin değişimi açıkça görülmektedir. Elektrik alan değerleri sabah saatlerinden itibaren artarak, öğlen saatlerinde en yüksek seviyeye ulaşmakta ve akşam saatlerinde ise düşüş eğilimindedir. Bu periyotta alınmış olan elektrik alan seviyelerinin ortalama değeri 0,7 V/m ve ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan değeri 0,94 V/m olarak 18.06.2013 günü saat 14:00'da ölçülmüştür.



Şekil-2a. Turgut Özal Tıp Merkezi 1. katında hastanenin kuzey ve doğu bölgelerindeki baz istasyonlarının görüş açısında yerleştirilmiş olan istasyon.

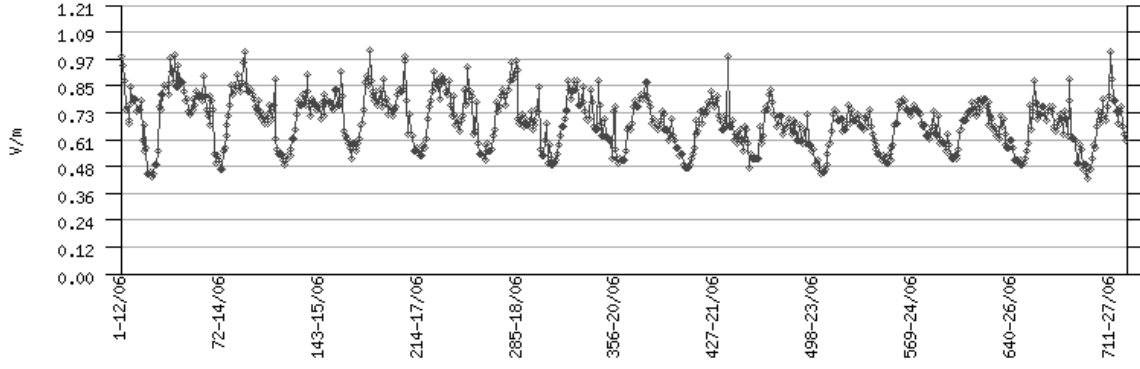


Şekil-2b. 12.06.2013 – 08.07.2013 tarihleri arasında GSM frekansları ve UMTS frekansında alınmış 24 saatlik zaman ile değişen elektrik alan değerleri.

Şekil-3a'da Turgut Özal Tıp merkezi 1. katında hastanenin batı cephesinde radyo ve televizyon vericilerinin görüş açısında yerleştirilmiş, 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan istasyon görülmektedir. Şekil-3b'de ise bu istasyon ile belirtilen periyot içerisinde alınmış olan anlık elektrik alan değerlerinin, yarımsar saatlik ortalamalarıyla elde edilen 722 elektrik alan değeri ile oluşturulmuş, zamanla değişen elektrik alan grafiği görülmektedir. 100kHz-8GHz frekans aralığında alınmış ölçümler ile çizilmiş grafik ve GSM-UMTS frekansları ile çizilmiş olan grafik bir arada incelendiğinde grafiklerin yükseliş ve düşüş eğilimlerinin, grafik karakteristiklerinin birbirlerine benzerlik gösterdiği ve alınmış olan elektrik alan değerleri ile dış ortamdaki elektrik alanın asıl sebebinin baz istasyonlarından kaynaklandığı söylenebilir. Grafiklerdeki yükseliş ve düşüşlerin de yukarıda da bahsetmiş olduğumuz gibi baz istasyonlarındaki görüşme trafiğine bağlı olarak elektrik alan seviyeleri zamanla değişmektedir. Bu periyotta alınmış olan elektrik alan seviyelerinin ortalama değeri 0,69 V/m ve ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan değeri 1,01 V/m olarak 16.06.2013 günü saat 11:00'da ölçülmüştür.



Şekil-3a. Turgut Özal Tıp Merkezi 1. katında hastanenin batı cephesinde bulunan radyo ve televizyon vericilerinin görüş açısında yerleştirilmiş olan istasyon.



Şekil-3b. 12.06.2013 – 27.06.2013 tarihleri arasında 100kHz-8GHz frekans aralığında alınmış 24 saatlik elektrik alan değerleri.

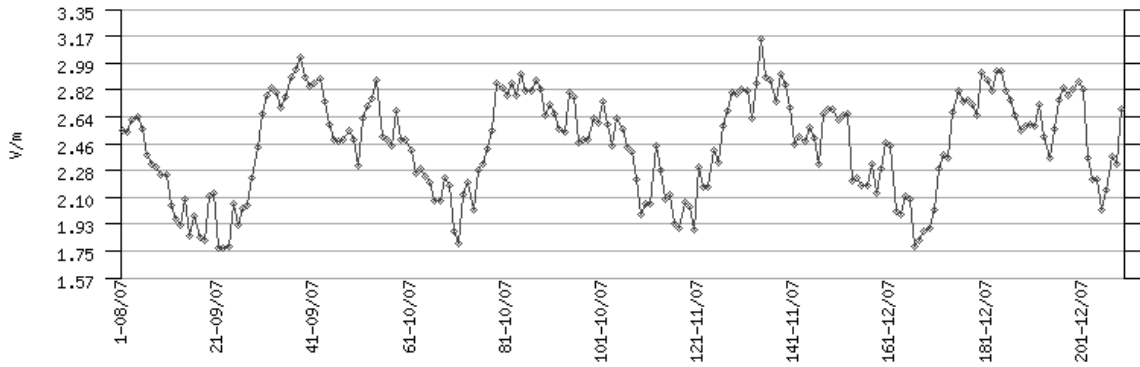


Şekil-4a. Turgut Özal Tıp Merkezi çatı katında yer alan baz istasyonlarının yakın bölgesine yerleştirilmiş olan istasyon.

Şekil-4a'da Turgut Özal Tıp Merkezi çatı katında yer alan baz istasyonlarının yakın bölgesine yerleştirilmiş olan GSM frekansları ve UMTS frekansında sürekli ölçüm alan istasyon görülmektedir. Şekil-4b'de ise bu istasyon ile belirtilen periyotta alınmış olan anlık elektrik alan değerlerinin yarımsar saatlik ortalamalarıyla elde edilen 209 elektrik alan değeri ile oluşturulmuş, zamanla değişen

elektrik alan grafiği görülmektedir. Bu değerler incelenecek olursa baz istasyonunun yakın bölgesinde elektrik alan seviyesinin kaynağa olan yakınlıktan dolayı yüksek seviyelerde olduğu görülmekte olup iç mekan ölçümlerinde de en yüksek değer 13. kattan alınmıştır. Yukarıda da bahsetmiş olduğumuz gibi baz istasyonlarındaki görüşme trafiğine bağlı olarak elektrik alan seviyeleri değişim göstermektedir. Bu periyotta alınmış olan elektrik alan seviyelerinin ortalama değeri 2,46 V/m ve ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan değeri 3,15 V/m olarak 11.07.2013 günü saat 13:30'da ölçülmüştür.

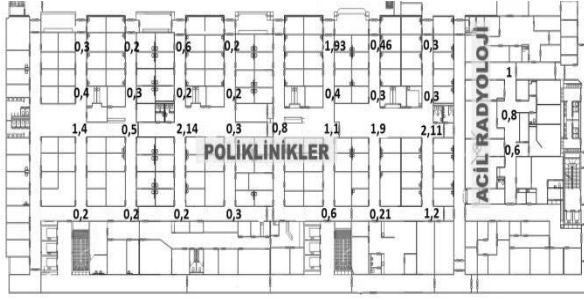
Hastane dışında sürekli ölçümlerimiz sürerken, hastane içerisinde de 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan cihaz ile 1sn'lik periyotlarda +13km'nin üzerinde daha önce bu bölgedeki sürekli ölçümlerden edindiğimiz bilgilere dayanarak, elektrik alanının en yüksek olduğu mesai saatleri zaman diliminde, anlık ölçümlerle hastane içerisindeki elektrik alan seviyeleri ölçülmüştür. Hastanenin acil servis ve ilgili birimleri, poliklinikler, sosyal hizmetler, yoğun bakımlar, eczane, kan alma birimleri gibi çalışan yoğunluğunun en yüksek olduğu giriş katından başlanılarak kuleye kadar 13 katta anlık; koridor ve katlardaki servislerde



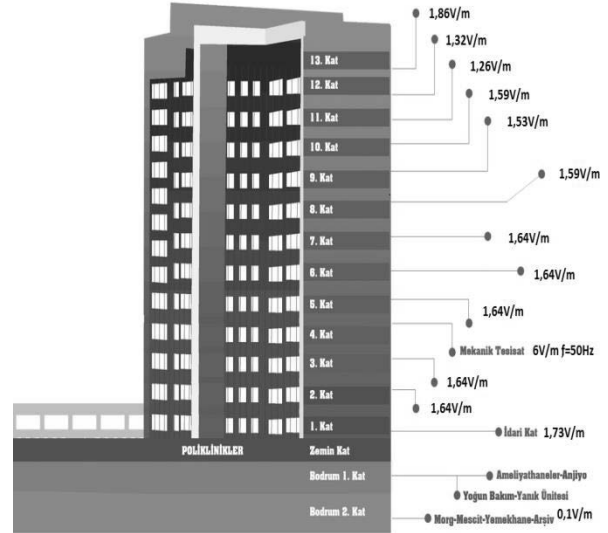
Şekil-4b. 08.07.2013-13.07.2013 tarihleri arasında hastanenin çatısında GSM frekansları ve UMTS frekansında alınmış 24 saatlik elektrik alan değerleri.

5'er dakikalık ortalama ölçümlerle +4000 üzerinde belirtilmiş olan frekans aralığında ölçüm alınmıştır. Bunlara ek olarak yine hastane 4. katında bulunan enerji odalarında 50 Hz frekansında, yarımsar dakikalık periyotlarda olmak üzere +700 ölçüm alınmıştır. Hastane içerisinde yapılmış ölçümlere örnek teşkil etmesi amacıyla Şekil-5'te hastane

poliklinikleri ve acil radyoloji bölümlerinde yapılmış olan ölçümler, Şekil-6'da ise hastane içerisinde her katta ölçülmüş en yüksek elektrik alan değerleri verilmiştir.



Şekil-5. Hastane içerisinde 100kHz-8GHz frekans aralığında poliklinik-acil radyoloji bölgesinde yapılmış anlık ölçümler.



Şekil-6. Hastane içerisinde 100kHz-8GHz frekans aralığında katlarda ölçülmüş olan en yüksek elektrik alan değerleri.

Hastane içerisindeki ölçümler sonrasında hastanenin güney batı cephesinde bulunan şalt sahasının, hastaneye olan etkisini gözlemleyebilmek amacıyla şalt sahasında başlanılarak, Şekil-1'de kırmızı hat ile gösterilmiş istikamette, 5'er dakikalık periyotlarda ve her seferinde hastaneye 5m yaklaşmak suretiyle dış mekân ölçümleri alınmıştır. Yapılmış olan tüm bu ölçüm sonuçları ile ilgili detaylar aşağıdaki gibidir.

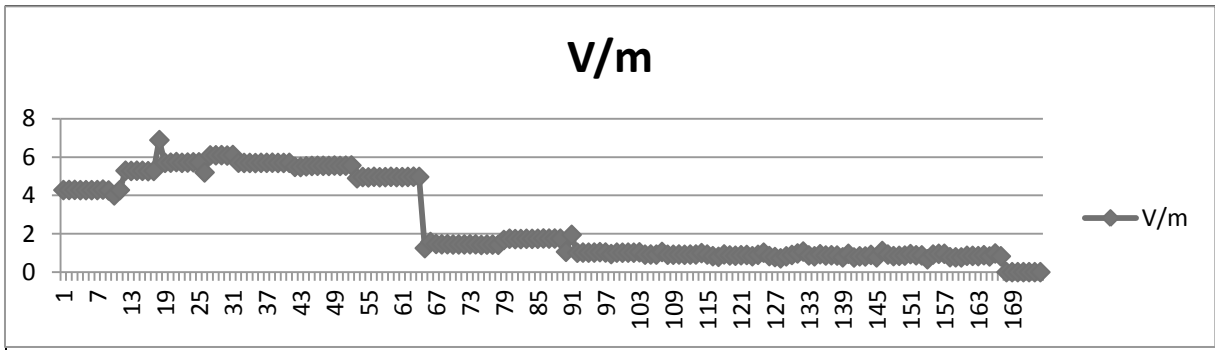


Şekil-7. Hastanenin güney batı cephesinde bulunan şalt sahasından 50Hz elektrik alan ölçümleri.



Şekil-8. Hastanenin güney batı cephesinde bulunan şalt sahasından hastaneye kadar 50Hz elektrik alan ölçümleri.

Şalt sahasından, hastaneye kadar olan güzergâhta yapmış olduğumuz 50Hz frekansına ait elektrik alan ölçümlerinde şalt sahasının içerisinde 20 saat süre ile alınmış 2300 ölçümle 95V/m elektrik alan ortalama değeri elde edilmiştir. Şalt sahası, hastane güzergâhı üzerindeki elektrik alan değişim grafiği de Şekil-9'da verilmiştir.



Şekil-9. Şalt sahası, araştırma hastanesi güzergâhında 50Hz elektrik alan değişim grafiği.

SONUÇ ve ÖNERİLER

1. İnönü Üniversitesi yerleşkesinde yer alan en yüksek elektromanyetik alan kaynağı ve etki bölgesi olan noktalardan birisi de Turgut Özal Tıp Merkezi ve Araştırma Hastanesidir. Turgut Özal Tıp Merkezi'nin iç ve dış mekânlarında yapılan ölçümler sonucunda farklı bölgelerde elektromanyetik alan seviyesinin 900MHz frekansında 3,15V/m olarak ölçülmüştür. Elektromanyetik alanların esas yoğunluğu katlarda her bir koridorda, koridorların birleşim bölgelerinde Wi-Fi sistemlerin bulunduğu noktalarda ölçülmüştür. Poliklinik ve doktorların çalışma odalarında ölçülen elektrik alan seviyelerinin farklı noktalarda 1V/m'den düşük olduğu gözlenmiştir. Ölçülen elektromanyetik alanlar esasen hastanenin kuzey cephesinde ve çatısında bulunan baz istasyonları ve iç mekânlarda bulunan Wi-Fi sistemlerinden kaynaklanmaktadır.

2. Hastane dış mekânında alınmış olan sürekli ölçümlerde elektromanyetik alan seviyesinin gündüz saatlerinde en yüksek değerlere ulaştığı saptanmıştır. Bunun nedeni bu saatlerde hastane çalışanlarının ve hastane ziyaretçilerinin yoğun telefon görüşmelerinden kaynaklanmaktadır.

3. Hastane içerisinde alınan ölçümler neticesinde görülmektedir ki hastanenin bazı bölümlerinde, bodrum katları ve hastanenin güney cephesinde yer alan bölümleri, baz istasyonu sinyallerinin cep telefonlarının çağrı kurması için yeterli elektrik alan seviyesinde olmadığı tespit edilmiştir. Bu noktada baz istasyonları ya da alan yayan diğer kaynakların (Wi-Fi, Access Point) etkisi kadar cep telefonlarının, baz istasyonu sinyallerini yakalayabilmek için daha yüksek çıkış gücü gerektireceğinden, bu durumda cep telefonu kaynaklı elektromanyetik dalgaların etkisinin artmasıyla kullanıcılar üzerindeki maruziyetleri de artacaktır. Bu nedenle bu bölgelerde GSM ve UMTS sinyallerinin sürekli olarak ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca hastane iç mekânında güvenilir ve daha düşük güçlerde etkin haberleşme trafiğini sağlayabilmek ve kapsama alanı dışında çalışan cep telefonlarının etkilerini azaltabilmek için yerel (iç mekân) baz istasyonlarının kullanılmasında yarar vardır. Bu durumda hastane iç mekânında cep telefonları kaynaklı elektromanyetik etkinin düşük seviyelerde olacağı öngörülmektedir.

4. Turgut Özal Tıp Merkezi'ne etki gösterebilecek yakın bölgelerdeki elektromanyetik alan ve dalga kaynakları incelenmiştir. Yakın bölgede bulunan elektrik şalt sahasından kaynaklanan elektromanyetik radyasyonun tıp merkezi yerleşkesindeki seviyesi ortalama 0.87V/m

civarında ve limit seviyelerin oldukça altındadır. Bu şalt sahasının iç bölgesindeki elektromanyetik alanın ortalama değeri 95V/m'dir.

5. Bu merkezin günümüzde yeni nesil birçok kablosuz iletişim sistemleri (WiFi - acces point) ile donatılması ve merkezde kullanılan elektrik alan yayan cihazların etkileri daha da artacağı göz önüne alınarak incelemede yarar vardır.

6. Yapılmış olan ölçümlerle Turgut Özal Tıp Merkezi 5Hz-8GHz frekans aralığında sürekli ve anlık ölçümlerle bir ay süresince takip edilmiş ve alınan ölçüm değerleri, ulusal ve uluslararası limit değerler ile kıyaslandığında limitlerin üzerinde herhangi bir değer saptanmamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] S. (1) Silberberg JL. Performance degradation of electronic medical devices due to electromagnetic interference. Compliance Engineering 1993;10:1-8.
- (2) Food and Drug Administration, FDA MDS-201-0004, Electromagnetic Compatibility Standard For Medical Devices. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Bureau of Medical Devices October 1979.
- (3) Silberberg JL. What can/should we learn from reports of medical device electromagnetic interference? 21st Canadian Medical and Biological Engineering Conference Montreal, Canada: 1995;1-10.
- (4) Boisvert P, Segal B, Pavlasek T, Retfalvi S, Sebe A. Preliminary Survey of the Electromagnetic Interference Environment in Hospitals. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility 1991;214-219.
- (5) Vlach P, Segal B, Pavlasek T. The Measured & Predicted Electromagnetic Environment at Urban Hospitals. In IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility 1995;4-7.
- (6) Riederer M, Lauer O, Fahrni P, Vahldieck R, Froblich J. Characterization of the electromagnetic environment in a hospital measurements procedure and results. IEEE EMC Soc. Newsl 2010;224:50-56.
- (7) Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, et al. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. Occupation Environment Med 2006;63:307-313.
- (8) Franke H, Ringelstein EB, Stögbauer F. Electromagnetic fields (GSM 1800) do not alter blood-brain barrier permeability to sucrose in models in vitro with high barrier tightness. Bioelectromagnetics 2005;26:529-535.
- (9) Kuribayashi M, Wang J, Fujivara O, et al. Lack of effects of 1439 MHz electromagnetic near field exposure on the blood-brain barrier in immature and young rats. Bioelectromagnetics 2005;26:578-588.
- (10) Schüz J, Böhler E, Berg G, Schlehofer B, Hettinger I, Schlaefer K, Wahrendorf J, Kunna-Grass K, et al. Cellular Phones, Cordless Phones, and the Risks of Glioma and Meningioma (Interphone Study Group, Germany). American Journal of Epidemiology 2006;163:512-520.
- (11) Santini R, Santini P, Danze JM, et al. Symptoms experienced by people in the vicinity of base stations: Incidences of distance and sex. Pathol. Biol. 2002;50:369-373.

- (12) Navarro EA, Segura J, Portoles M, et al. The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagn. Biol. Med* 2003;22:161–169.
- (13) Oberfeld G, Navarro E, Portoles M, et al. The microwave syndrome-further aspects of a Spanish study. 3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields. Kosova: 2004;2–9.
- (14) Abdel-Rassoul G, El-Fateh OA, Salem MA, et al. Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicology* 2007;28:434–440.
- (15) Beekhuizen J, Vermeulen R, Kromhout H, Bürgi A, Huss A. Geospatial modelling of electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Science of the Total Environment* 2013;445–446:202–209.
- (16) Hanada E. The electromagnetic environment of hospitals: how it is affected by the strength of electromagnetic fields generated both inside and outside the hospital. *Ann Ist Super Sanita* 2007;43:208-217.
- (17) Álvarez J. Measurement and control of extremely low frequency magnetic field in hospitals of Madrid community. Doctoral thesis (in Spanish), Universidad de Alcalá, Spain 1998.
- (18) Spyropoulos B, Glotsos D, Batistatos D, Marneris I. Creating an Electromagnetic Interference risk distribution map in the modern Hospital. *IEEE EMBS 23rd Annual International Conference*, 25-28 October, Istanbul, Turkey: 2001;4:3989-3942.
- (19) Kılıç MA, Çerezci O, Çevik Ö, Kalkan T. Cerrahpaşa Tıp Fakültesinin Elektromanyetik Alan Haritası. *EMANET* 2011, İstanbul, Türkiye: 2011;1:247-250.
- (20) Karadağ T, Abbasov T. Elektromanyetik alanların 'MonitEM' sistemi ile sürekli ölçülmesi ve izlenmesi. 2.Ulusal EMC Kongresi, Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye: 2013.
- <http://www.emcturkiye2013.org/EMCProgram.rar>.

Malatya Şehir Merkezi ve Yakın Bölgelerinde Uzun Süreli Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Çalışmaları ve Haritaları

Teoman KARADAĞ¹, Ali Rıza ÖZDEMİR², Teymuraz ABBASOV³

^{1,3}İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Merkez Kampüs Malatya, Türkiye
²Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Ankara, Türkiye
teoman@inonu.edu.tr, arozdemir@btk.gov.tr,
teymuraz.abbasov@inonu.edu.tr

ÖZET

Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde bulunan baz istasyonlarının ve diğer elektromanyetik alan kaynaklarının yaydığı elektromanyetik alan şiddetlerinin dönemsel, frekans bazlı ve ortam genelini içeren elektromanyetik alan yoğunluk haritaları çıkarılmıştır. 2011 yılından 2013 yılına uzayan bir periyotta dönemsel hareketli ölçümler alınmış, dönemsel değişimler kıyaslanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu çalışmaya paralel olarak 2012 yılından itibaren şehir merkezi olan bölgede var olan elektrik alan seviyelerinin, günün değişen saatlerindeki değerlerini gözlemlemek amacıyla iki adet Wavecontrol marka Monitem sürekli elektromanyetik alanları ölçüm istasyonu kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi GSM ve UMTS frekanslarında ölçüm alırken, diğeri 100kHz-8GHz frekans aralığında, haftalar süresince 24 saat sürekli ölçümler alınarak gün içerisindeki elektrik alan değişim değerleri anlık olarak belirlenmiştir.

GİRİŞ

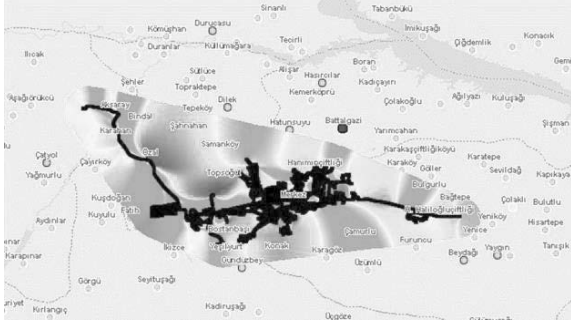
Son yıllarda yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar ile çalışan baz istasyonlarının artışıyla, elektromanyetik alan radyasyonunun artması ve canlılar üzerindeki etkisi sürekli olarak gündemde tutulmaktadır [1]. Özellikle yüksek frekansa sahip olan yeni nesil iletişim sistemlerin (3G ve 4G) yaydıkları elektromanyetik dalgalar yaşam alanlarında ciddi kaygılar oluşturmaktadır [2,3]. Bu olaylar yoğun yaşam alanlarında daha ciddi boyutlarda gündeme gelmektedir ki bu tür ortamlar da esasen şehir merkezi ve yakın bölgeleri, tıp merkezleri ve üniversite kampüsleridir [4,5]. Bu nedenle yüksek frekanslı elektromanyetik alanların şehir merkezlerinde etkilerinin, çalışma mekanizmasının ve sonuçlarının değerlendirilmesi güncel bir problem olarak büyük önem arz etmektedir. Artan elektromanyetik kirliliğin farklı ortamlarda değişim hızının belirlenmesi, şehir merkezi yakın bölgelerinin detaylı elektromanyetik kirlilik haritalarının oluşturulması, belirtilen bölgelerde sürekli elektromanyetik dalga seviyesinin ölçümlerinin yapılması ve sonuçların kamuoyu ile paylaşılması gerekmektedir. Çalışmada +500.000 üzerinde insanın yaşamakta olduğu şehir merkezi ve yakın bölgelerinde uzun süreli ölçümler alınmıştır. Elektrik alan seviyesinin yüksek olduğu şehir merkezinde ise +4.000.000 üzerinde anlık ölçümler ile elektrik alan seviyelerinin saatlik bazda değişimleri gözlemlenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

MATERYALLER ve METOD

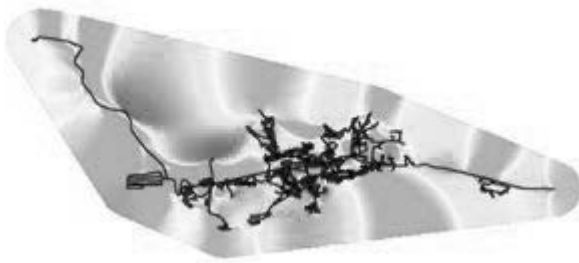
Yaptığımız çalışma 2010 yılı ekim ayında Malatya ilini kapsayan ve elektromanyetik alan kirliliğinin tespitini amaçlayan çalışma ile başlamıştır. Bu çalışmada Malatya şehir merkezi sınırları içerisinde nüfusun yoğunluklu olduğu yaşam alanlarında Narda marka EMR300 cihazı ile 100kHz -2,45GHz frekans aralığında ölçümler alınmıştır. Bu çalışmaya müteakip olarak 2011 yılında yaptığımız çalışmada 27MHz-3GHz frekans aralığında Narda marka SRM 3006 cihazı kullanılarak frekans bazlı spektrum yapılmasına imkân sağlanmış ve elektromanyetik kirliliğe sebep olan kaynakların frekansları saptanmıştır. Böylelikle frekans bazlı kirlilik alanları belirlenebilmiştir. Yapılmış olan çalışmada, ölçümler hareket halindeyken (12km/h) alınmıştır; bunun nedeni günlük hayatta kullanılan sistemlerin çoğunlukla “mobil” hareket halindeyken kullanılması ve hareket halindeyken yukarıda bahsedilen kaynakların etkilerinin gözlenmesi amacıyla bu yöntem tercih edilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan EMR 300 cihazı, ortamda elektromanyetik kirlilik oluşturan kaynakların frekansını göstermemekte olup, ortamdaki elektromanyetik kirliliğe sebep olan kaynakları belirleyebilmek ve bunların yayılımlarını inceleyebilmek amacıyla, çalışmamız için seçilmiş olan Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde bir sonraki yılın aynı döneminde SRM 3006 cihazı ile 27MHz - 3GHz frekans aralığında, 5 sn aralıkla ölçümler alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Böylece frekans tayflarında spektrum yapabileme imkânı sağlanmıştır. Alınan ölçümler 100MHz ve altındaki frekanslar, GSM 900MHz ve 1800MHz frekansları ve UMTS 2100MHz frekansı olarak gruplanarak, 4 frekans grubunda incelemeler yapılmıştır. Periyodik olarak her beş saniyede elektrik alan ölçümleri alınmıştır. Bu alan değerlerinden yukarıda belirtilmiş olan frekans gruplarına uygun koordinatlardaki en yüksek elektrik alan değeri seçilmiştir. Seçilen noktalar harita üzerine yerleştirilmiş ve böylece Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinin, belirlenmiş olan frekans gruplarına ait maksimum seviyelerini içeren değerler ile elektromanyetik alan kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur.

BULGULAR

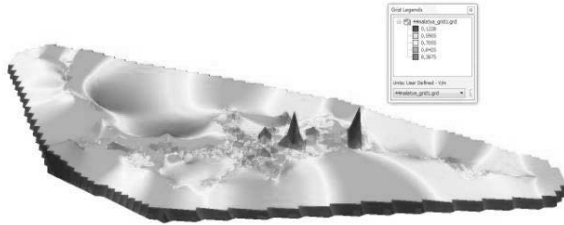
Bu haritaları inceleyecek olursak; öncelikle 2010 yılında Malatya şehir merkezinde yapılmış olan çalışmada EMR300 cihazı ile 100kHz-2,45GHz frekans aralığında alınan 654 ölçüm sonucuna göre çizilmiş elektrik alan dağılım haritaları aşağıdaki gibidir.



Şekil-1. Genel olarak şehir merkezinde geçilen bölgelerden alınmış değerlere göre çıkarılmış elektromanyetik alan dağılım haritası.

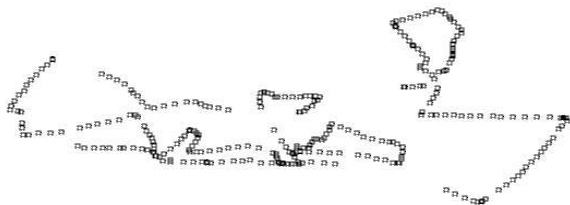


Şekil-2. MapInfo 9.5 programında, alınan ölçüm değerlerine göre çizilmiş 2 boyutlu elektromanyetik alan dağılım haritası.



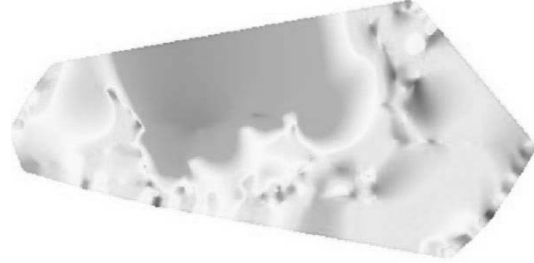
Şekil-3. MapInfo 9.5 programı, Vertical Mapper sekmesinde Natural Neighbour Metodu kullanılarak çizilmiş, alınan ölçüm değerlerine göre 3 boyutlu elektromanyetik alan dağılım haritası.

Bu çalışmayı müteakip olarak bir sonraki yılın aynı döneminde 100MHz ve altı frekanslarda ölçülmüş olan en yüksek 470 elektrik alan seviyelerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım haritası aşağıdaki gibidir.

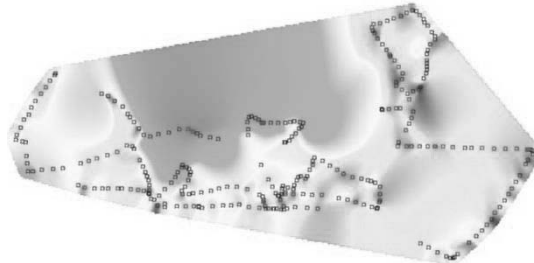


Şekil-4. 100MHz ve altı frekanslarda Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerini gösteren koordinatsal yol.

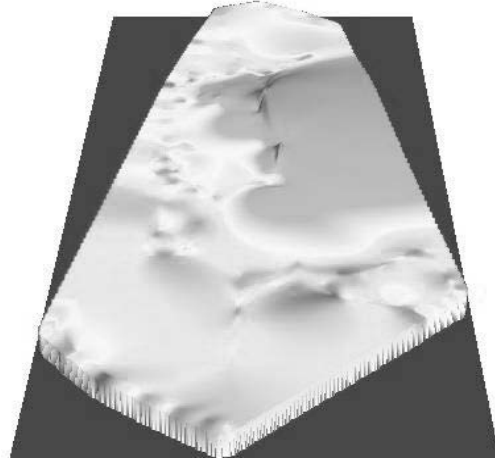
Alınmış olan ölçümlerde 470 noktada en yüksek elektrik alan seviyesi ile yapılmış olan ölçümde mevcut alanın %35'i 100MHz ve altı frekanslardan çalışan kaynaklardan meydana geldiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre elektrik alan dağılım haritaları aşağıdaki gibidir.



Şekil-5. 100MHz ve altı frekanslarda Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım haritası.

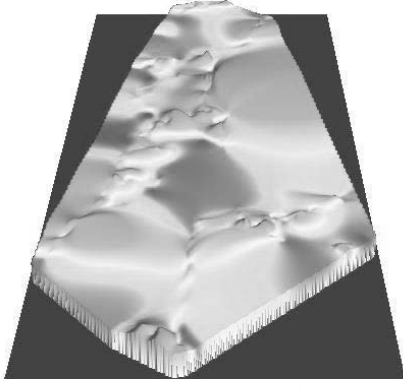


Şekil-6. 100MHz ve altı frekanslarda Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımı ve koordinatsal yol.



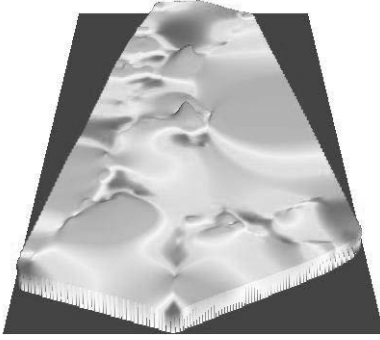
Şekil-7. 100MHz frekanslarda Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımının 3 boyutlu gösterimi.

Alınmış olan ölçümlerde 391 noktada en yüksek elektrik alan seviyesi ile yapılmış olan ölçümde mevcut alanın %29'u 900MHz frekans bandında çalışan kaynaklardan meydana geldiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım haritası aşağıdaki gibidir.



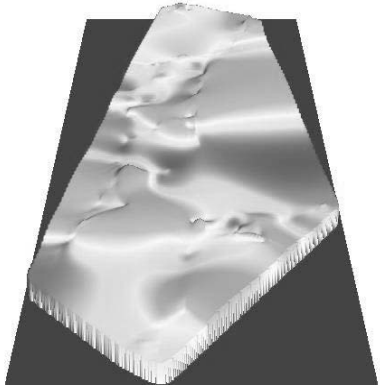
Şekil-8. 900MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımının 3 boyutlu gösterimi.

Alınmış olan ölçümlerde 316 noktada en yüksek elektrik alan seviyesi ile yapılmış olan ölçümde mevcut alanın %23'ü 1800MHz frekans bandında çalışan kaynaklardan meydana geldiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım haritası aşağıdaki gibidir.

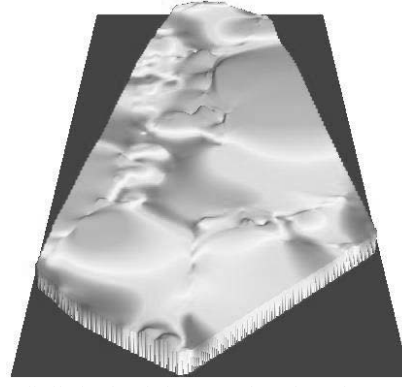


Şekil-9. 1800MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımının 3 boyutlu gösterimi.

Alınmış olan ölçümlerde 182 noktada en yüksek elektrik alan seviyesi ile yapılmış olan ölçümde mevcut alanın %13'ü 2100MHz frekans bandında çalışan kaynaklardan meydana geldiği belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım haritası aşağıdaki gibidir.



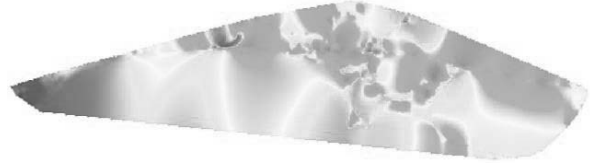
Şekil-10. 2100MHz frekansında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek elektrik alan değerlerine göre çizilmiş olan elektrik alan dağılımının 3 boyutlu gösterimi.



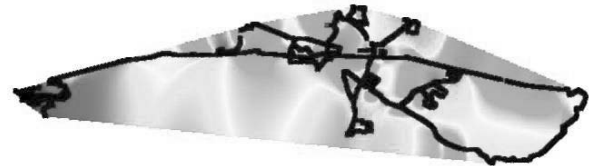
Şekil-11. Belirtilmiş olan frekans gruplarında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan en yüksek 1359 elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımının 3 boyutlu gösterimi.

Yapılmış olan ölçümlerde en yüksek elektrik alan değeri 94,486221MHz frekans bandında 5,673V/m Elektrik alan değeri ve 85,36mW/m² birim alana düşen güç miktarı olarak ölçülmüştür.

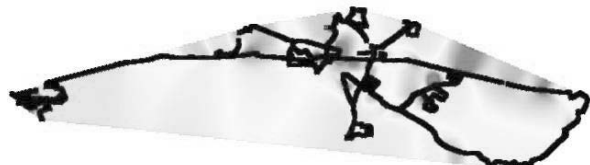
2013 yılında tekrarlanmış olan çalışmamızda frekans aralığı genişletilmiş 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan Wavecontrol SMP Meter ile yapılmış ve birer saniye aralıklar ile olan +15.000 ölçüm sonuçlarına göre çizilmiş olan elektrik alan dağılım grafikleri aşağıdaki gibidir.



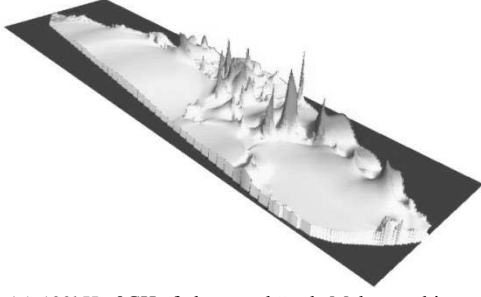
Şekil-12. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımı.



Şekil-13. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımı ve koordinatsal yol.



Şekil-14. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımı ve koordinatsal yolda en yüksek elektrik alan seviyelerinin belirlenildiği dağılım grafiği.



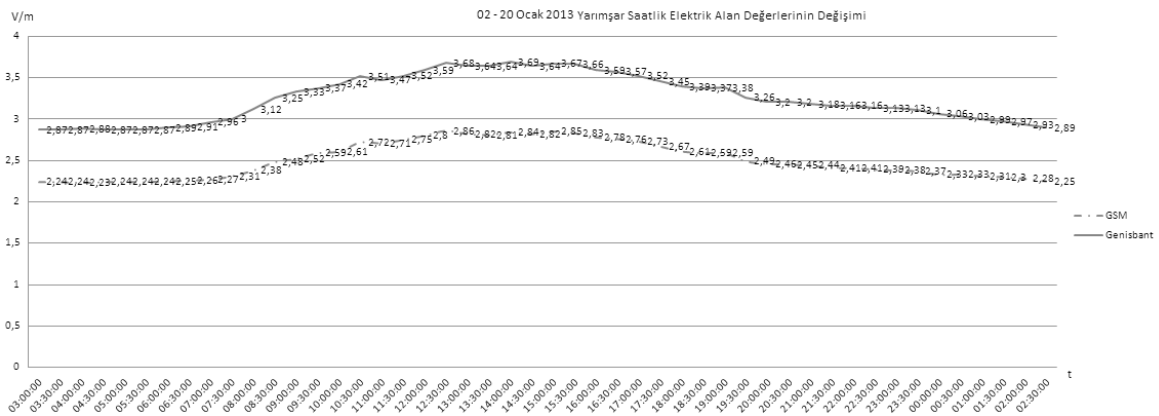
Şekil-15. 100kHz-8GHz frekans aralığında Malatya şehir merkezi ve yakın bölgelerinde alınmış olan elektrik alan değerlerine göre çizilmiş elektrik alan dağılımı ve koordinatsal yolda en yüksek elektrik alan seviyelerinin dağılımının belirginleştirildiği 3 boyutlu gösterimi.

Alınmış olan bu verilere ek olarak Malatya ili şehir merkezinde 2010 yılı Ekim ayına kadar çalışan baz istasyonu sayısı 405 iken 2011 yılı ekim ayına geldiğimizde bu sayı 275 adet artarak 680 baz istasyonuna ulaşmıştır.

2012 yılında Malatya şehir merkezinde başlanılmış olan çalışma ile de sürekli ölçümler alınarak günün her anındaki elektrik alan değişimleri ölçülmüştür. Alınmış olan bu sonuçlara göre 100kHz-8GHz frekans aralığında GSM ve UMTS frekanslarındaki sürekli elektrik alanları izleme istasyonları ile aynı ortamda anlık ölçümler alınmıştır [5]. Paralel çalışma süresince alınan 862 ortalama ölçüm sonuçlarına göre 100kHz-8GHz frekans aralığında ölçüm alan istasyonun ölçmüş olduğu en yüksek elektrik alan değeri 4,22V/m ve periyot boyunca ölçülmüş elektrik alan değerlerinin ortalaması 3,24V/m'dir. GSM ve UMTS frekanslarından ölçüm alan istasyonun ölçmüş olduğu en yüksek elektrik alan 3,31V/m ve periyot boyunca ölçülmüş olan elektrik alan değerlerinin ortalaması 2,508V/m'dir.

Bu sonuçlara göre ortamda bulunan elektrik alan değerlerinin %77'si baz istasyonlarınca ortama yayılan elektrik alan değeri olup kalan %23'lük kısım ise 100kHz-8GHz aralığında yayın yapan radyo, televizyon, telekomünikasyon amaçlı cihazlardan kaynaklanmaktadır. 2011 yılında Malatya genelinde anlık olarak yapılan frekans spektrumlu elektrik alan ölçümlerinde 900MHz,1800MHz ve 2100 MHz frekanslarında ölçülmüş elektrik alan seviyeleri %65, 100MHz ve altındaki frekanslarda ölçülmüş olan elektrik alan seviyeleri %35'dir. Bu sonuçları daha açık değerlendirmek için 02 Ocak - 20 Ocak 2013 tarihleri arasında yarımşar saatlik periyotla ölçülen elektromanyetik alan değerlerinin ortalama değerleri de Şekil-16'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi söz konusu zaman aralığında geniş bant ölçüm değerleri ile GSM bandındaki ölçüm değerleri birbirine net bir paralellik ve karakteristik benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla elektromanyetik alan değerlerinin değişimi esasen GSM sinyallerinden kaynaklanmaktadır. GSM sinyal değerlerindeki değişim de baz istasyonlarıyla kurulan çağrı sayısı ve süresi ile değişim göstermektedir. Bu eğriler arasındaki oluşan fark ise diğer düzenek veya sistemlerden (Radyo, televizyon ve telekomünikasyon sistemleri vs) kaynaklanmaktadır.

Son olarak Tablo-1'de 2010 yılında BTK tarafından 100kHz-2,45GHz frekans aralığında Malatya ilinde yapılmış çalışma ile, 2013 yılında 100kHz-8GHz frekans aralığında, aynı bölgede yapmış olduğumuz çalışmadan elde edilmiş sonuçlar ve bu sonuçların yüzdelik dağılımı yer almaktadır. Tablodan görüldüğü gibi örneğin 2010 yılda ölçüm değerlerinin yüzdelik olarak büyük bir kısmını 1-3V/m'lik değerler oluşturduğu halde, 2013 yılında ölçüm değerlerinin yüzdelik olarak büyük kısmını 0-1V/m'lik değerler oluşturmaktadır. Bunun nedenin geçen üç yıllık süreçte 2G sistemlerinden 3G sistemlerine geçiş olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil-16. 02-20 Ocak 2013 tarihleri arasında 100kHz-8GHz ve GSM+UMTS frekanslarında sürekli ölçüm alan istasyonlara ait yarımşar saatlik zaman dilimlerindeki elektrik alan değişim grafiği.

Tablo-1. 2010 ve 2013 yıllarında Malatya ilinde hareketli olarak yapılmış olan Elektrik Alan Ölçüm Sonuçları

Malatya	Toplam Ölçüm	0-1 V/m	1-3V/m	3-5V/m	5-6V/m	6-9V/m
		Ölçüm / Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm/ Yüzde	Ölçüm / Yüzde
2010 BTK	654	280 / %42,81	296 %45,26	67 %10,24	8 %1,22	3 %0,46
2013	15867	12875 / %81,14	2920 %18,4	67 %0,42	4 %0,025	1 %0,0063

“Yaklaşık olarak 25 kat daha fazla ölçüm alınmıştır.”

SONUÇ ve ÖNERİLER

1. Geçtiğimiz üç yıl içerisinde yapılmış olan ölçümler değerlendirildiğinde çalışmanın başladığı 2010 yılından günümüze gelindiğinde baz istasyonu sayısında etkin bir artış olmasına rağmen 2010 yılında ölçülen elektrik alan değerlerinin %45’lik kısmı 1-3 V/m iken, 2013 yılına gelindiğinde %81’lik etkin alan değeri 0-1V/m düzeylerinde olduğu saptanmıştır.

2. Elektrik alan seviyesi düşmesine rağmen, şehir merkezi ve yakın bölgelerinde bulunan baz istasyonlarının ve bunlar üzerindeki iletişim trafiği artmıştır. Dolayısıyla ortamdaki elektromanyetik alan radyasyonunun yoğunluğu daha da artmıştır.

3. 2010 yılından 2013 yılına geçen periyotta yeni yaşam alanlarının oluşturulması ve bu alandaki nüfus yoğunluğu artış göstermiştir. Buna paralel olarak bu bölgedeki elektromanyetik kirlilik yaklaşık olarak 6 kat artmıştır. Bu artışlar 3 boyutlu elektromanyetik kirlilik haritasında belirgin pik noktalarıyla açıkça görülmektedir.

4. Şehrin merkez caddesinde 2011’den 2013 yılına kadar kirlilik düzeyi yaklaşık olarak 4 kat artış göstermiştir. Oluşturulmuş 3 boyutlu elektromanyetik kirlilik haritasında bu artış kırmızı bölgeler olarak ortaya çıkmıştır.

5. Malatya şehir merkezinde oluşan elektromanyetik alanların frekans spektrumunun incelenmesi sonucu 2011 yılında GSM sinyallerinin, ortamdaki toplam sinyallerin %65’ini oluşturduğu halde, 2013 yılına gelindiğinde bu oran %77 seviyesindedir. Bu son yıllarda yeni nesil haberleşme sistemlerinin abone sayısı ve görüşme sürelerinin artması ile açıklanabilir. Dolayısıyla şehir merkezi ve yakın bölgelerinde baz istasyonlarının yaydığı yüksek frekanslı elektromanyetik alanların yoğunluğunun daha etkin düzeylere ulaşacağını göstermektedir.

6. Elektromanyetik kirliliğin şehir merkezleri ve yakın bölgelerinde sürekli artışını denetleyebilmek için sürekli ölçüm ve paylaşım sistemlerinden faydalanmak gerekmektedir. Büyük şehirlerde bu işlemler Monitem sürekli ölçüm istasyonları sistemi ile verimli bir şekilde yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] S.Miclausi and P. Bechet, “Estimated and measured values of the RF radiation power density around cellular base stations” Environment Physics, Bucharest, Vol.52, No.3, pp429-440, 2007.
- [2] Hardell L., Carlberg M., Söderqvist F., Mild K.H., Morgan L. L., 2007. "Long-term use of cellular phones and brain tumours: Increased risk associated with use for ≥ 10 years". Occupational and Environmental Medicine 64 (9): 626–32.
- [3] Salford L.G., Arne E. B., Eberhardt J.L., Malmgren L., and Persson B.R.R., 2003. "Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones". Environmental Health Perspectives 111 (7): 881–883.
- [4] M.A. Kılıç, O. Çerezci, Ö. Çevik, T. Kalkan “Cerrahpaşa Tıp
- [5] T. Karadağ, T. Abbasov “Elektromanyetik alanların ‘Monitem’ sistemi ile sürekli ölçülmesi ve izlenmesi” <http://www.emcturkiye2013.org/EMCProgram.rar> 2. Ulusal EMC Kongresi, Işık Üniversitesi, 2013, İstanbul, Türkiye

Telekomünikasyon Binası ve Radyolink İstasyonunda Elektromanyetik Alan Ölçümleri

Teoman KARADAĞ¹, Teymuraz ABBASOV²

^{1,2}*İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Merkez Kampüs Malatya, Türkiye
teoman@inonu.edu.tr, teymuraz.abbasov@inonu.edu.tr*

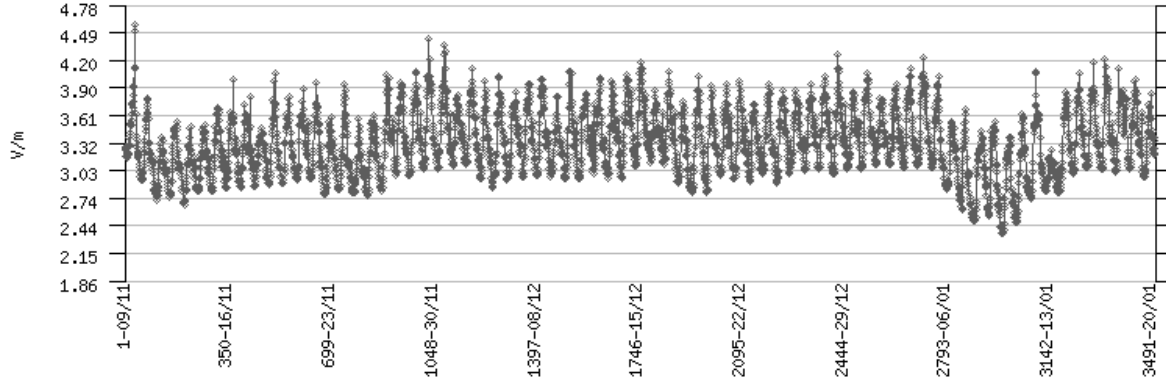
ÖZET

Bir telekomünikasyon binası ve radyolink istasyonunda elektromanyetik alan kaynaklarının incelenmesi ve bu kaynakların oluşturmuş oldukları elektromanyetik alan büyüklüklerinin belirlenmesi amacıyla telekomünikasyon binasında yer alan iletim sistemleri, veri sistemleri, santral sistemleri, enerji ve soğutma sistemlerinin sistem salonları ile bu birimlere ait ofisler, ticari faaliyetler ofisi ve son olarak radyolink istasyonunda uzun süreli ve sürekli (7/24) ölçümler yapılmıştır. Yapılmış olan çalışma iki aşamalı olarak ele alınmıştır. İlk aşamada 100kHz-8GHz frekans aralığında Alçak Frekans - Süper Yüksek Frekans bandı incelenmiştir. İkinci aşamada ise 5Hz-100kHz aralığında Aşırı Alçak Frekans - Alçak Frekans bandı incelenmiştir.

Teknolojik gelişmeler ile çevremizde elektrikle çalışan ve birbiri ile kablolu ve kablosuz bir ağ üzerinden haberleşen sistem ve cihaz sayısı hızla

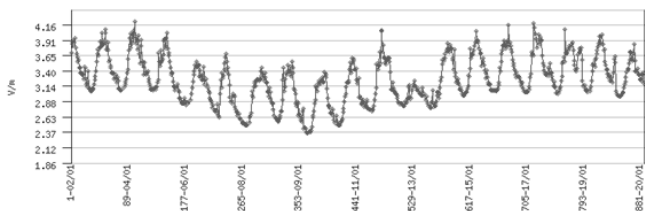
artmaktadır. Genellikle bu cihazların etkileri kullanıcı bazlı incelenmektedir. Bu çalışmamızda ise bu sistemlerin ve cihazların haberleşmesinin sağlandığı telekomünikasyon binasındaki durum, yapılan ölçüm ve çalışmalar ile incelenmiştir.

6 Kasım 2012 - 20 Ocak 2013 tarihleri arasında 100kHz-8GHz frekans bandında çalışan sürekli (7/24) elektromanyetik alanları ölçüm istasyonu telekomünikasyon binasının çatısına konumlandırılmıştır. Saniyede iki ölçüm alarak, yarımsar saatlik periyotlar halinde 'Sliding Windows Average metodu' ile alınan ortalama elektrik alan değerleri hesaplanmıştır. Toplam alınmış ölçüm değeri 12.614.400 olup, ortalama alınmış ölçüm değeri 3504'dür. Belirtilmiş olan periyotta ölçüm alınmış en yüksek elektrik alan değeri 4.58V/m, ortalama elektrik alan değeri 3.31V/m'dir. Ölçülmüş olan bu değerler aşağıdaki grafikte verilmiştir.

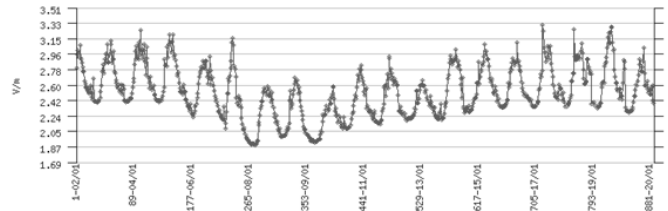


Şekil-1

Şekil-1'de Ölçüm alınmış olan değerler içerisinde, elektromanyetik alana sebep olan kaynakları belirleyebilmek için GSM frekansları 900MHz, 1800MHz ve UMTS 2100MHz frekansında sürekli elektromanyetik alan ölçümü yapan ikinci bir istasyon aynı bölgeye yerleştirilmiştir. 02 Ocak - 20 Ocak 2013 tarihleri arasında beraber çalıştırılan istasyonların ölçmüş olduğu verilere göre;



Şekil-2a.



Şekil-2b.

Şekil-2’de Ölçüm bölgesinde Ocak 2013’e ait elektrik alan değerleri şöyledir.

a) 100kHz-8GHz aralığında ölçüm alan istasyona ait periyodun ortalama elektrik alan değeri: 3.25 V/m, periyotta ölçülmüş en yüksek elektrik alan değeri: 4.22 V/m.’dir

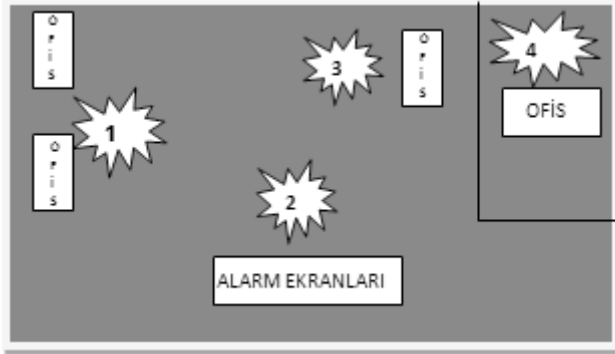
b) GSM frekans bantlarında ve UMTS frekansında ölçüm alan istasyona ait periyodun ortalama elektrik alan değeri: 2.51 V/m, periyotta ölçülmüş en yüksek elektrik alan değeri: 3.31 V/m.’dir.

Sonuç olarak grafikler karakteristik olarak birbirlerine benzemektedirler ve görülmüştür ki ortamda ölçülmüş elektromanyetik alanın %77’si baz istasyonlarından kaynaklanmaktadır. Alınmış olan ortalama 1824 elektrik

alan değeri incelendiğinde; günün çalışma saatlerinde ortamdaki elektrik alanın hızla arttığı ve çalışma saatlerinin sonuna doğru hızla azaldığı görülmektedir.

Bu noktadan sonra bina içindeki elektrik alanların tespiti için network sistem salonları ve ofislerinde hafta içi çalışma saatlerinde, ortamdaki elektrik alanın yükselme eğiliminde olduğu periyotta ölçümler alınmıştır. 100kHz-8GHz frekans aralığındaki elektrik alanın ortalama değerleri, aşağıda ‘X’ ile verilmiştir. Bu değerler her bir ölçüm noktasında 300 bağımsız ölçüm alınarak hesaplanmış olan ortalama değerle tespit edilmiştir. 5Hz-100kHz aralığındaki elektrik alanın ortalama değerleri aşağıda ‘Y’ ile verilmiştir. Bu değerler her bir ölçüm noktasında en az 60 bağımsız ölçüm alınarak hesaplanmış olan ortalama değerle tespit edilmiştir. Bu alınmış ölçümleri inceleyecek olursak

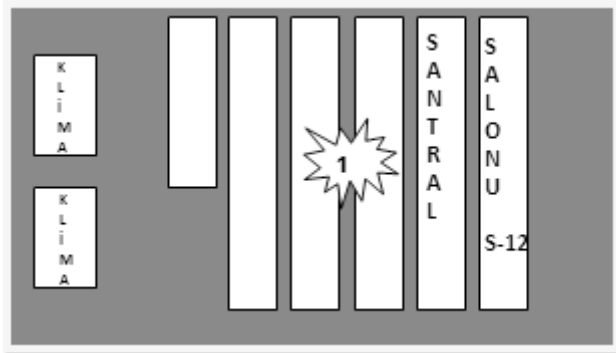
Santral & Enerji ve Soğutma Sistemleri Ofisi:



Şekil-3.

$$\begin{aligned}x_{1_{ortalama}} &: 0,705V/m \\x_{2_{ortalama}} &: 0,781/m \\x_{3_{ortalama}} &: 0,837V/m \\x_{4_{ortalama}} &: 0,980V/m \\y_{1_{ortalama}} &: 1,463V/m\end{aligned}$$

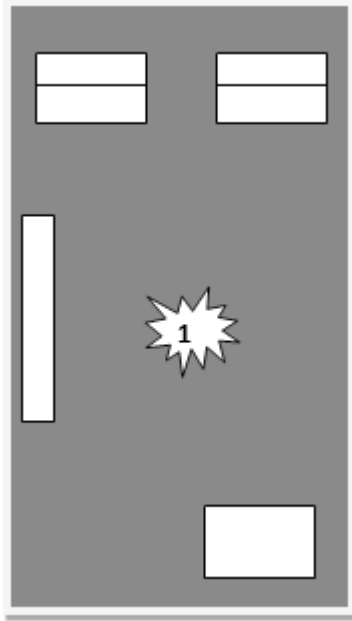
Santral Sistem Salonu:



Şekil-4.

$$\begin{aligned}x_{1_{ortalama}} &: 0,789V/m \\y_{1_{ortalama}} &: 0,404V/m\end{aligned}$$

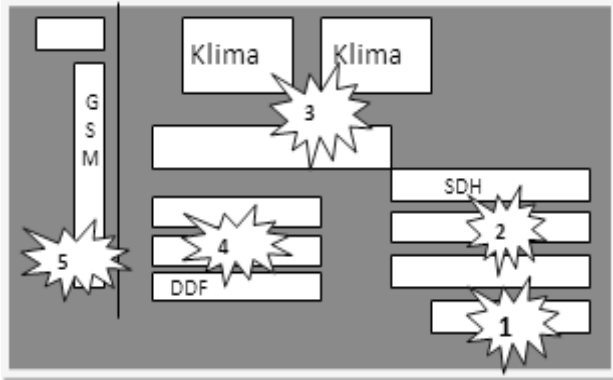
İletim Sistemleri Ofisi



Şekil-5.

$$x_{1\text{ortalama}} : 0,705V/m$$
$$y_{1\text{ortalama}} : 2,968V/m$$

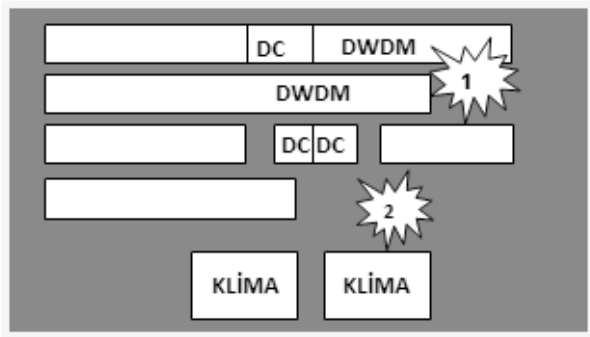
İletim Sistemleri Sistem Salonu:



Şekil-6.

$$x_{1\text{ortalama}} : 0,346V/m$$
$$x_{2\text{ortalama}} : 0,312V/m$$
$$x_{3\text{ortalama}} : 0,319V/m$$
$$x_{4\text{ortalama}} : 0,091V/m$$
$$x_{5\text{ortalama}} : 0,445V/m$$
$$y_{1\text{ortalama}} : 0,538V/m$$
$$y_{2\text{ortalama}} : 0,446V/m$$
$$y_{3\text{ortalama}} : 1,431V/m$$
$$y_{4\text{ortalama}} : 7,869V/m$$
$$y_{5\text{ortalama}} : 0,484V/m$$

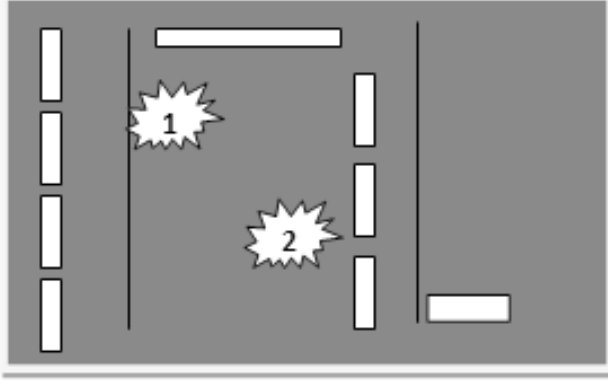
Network Sistem Salonu:



Şekil-7.

$$x_{1\text{ortalama}} : 0,324V/m$$
$$x_{2\text{ortalama}} : 0,171V/m$$
$$y_{1\text{ortalama}} : 0,529V/m$$
$$y_{2\text{ortalama}} : 0,532V/m$$

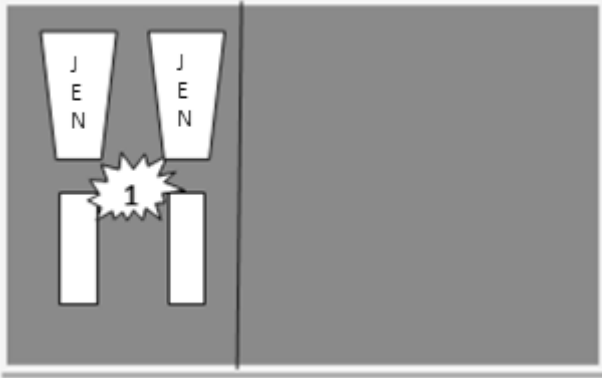
Ticari Faaliyetler Ofisi:



Şekil-8.

$$\begin{aligned}x_{1\text{ortalama}} &: 0,742V/m \\x_{2\text{ortalama}} &: 0,571V/m \\y_{1\text{ortalama}} &: 3,3241V/m\end{aligned}$$

Enerji Odası:

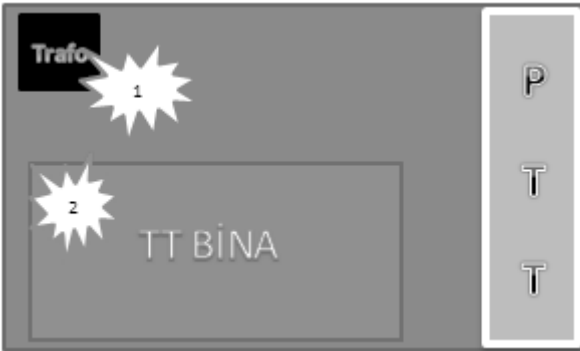


Şekil-9.

$$\begin{aligned}x_{1\text{ortalama}} &: 0,442V/m \\y_{1,2\text{ortalama}} &: 13,846V/m \\y_{1\text{ortalama}} &: 0,528V/m\end{aligned}$$

$y_{1,2\text{ortalama}}$: **jeneratör çalıştığı durumda**

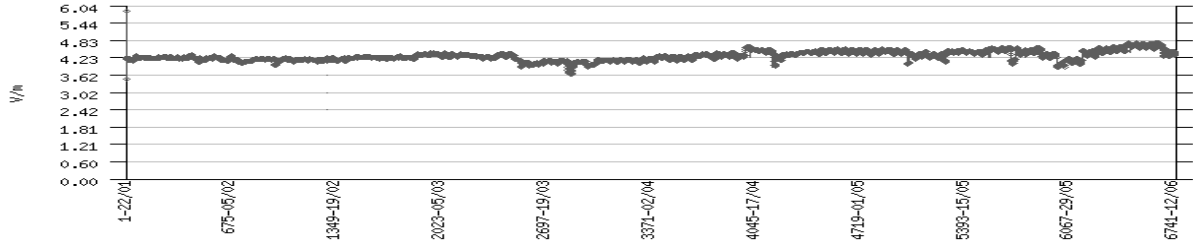
Bina Garaj:



Şekil-10.

$$\begin{aligned}y_{1\text{ortalama}} &: 8,256V/m \\y_{2\text{ortalama}} &: 3,324V/m\end{aligned}$$

Şekil-11.'de Radyolink istasyonunda 21 Ocak- 12 Haziran tarihleri arasında 100kHz-8GHz frekans aralığında alınmış olan 24.386.400 ölçüm ve bu ölçümlerin yarımşar saatlik periyotlarında elde edilmiş 6774 ölçüm değerince elde edilmiş en yüksek elektrik alan değeri 5.84V/m, periyodun ortalama elektrik alan değeri 4.26V/m'dir.



Şekil-11. Yıldız Tepe Radyolink İstasyonunda 100kHz-8GHz frekans aralığında beş ay süre ile alınmış ölçüm.

Tablo-1’de Uluslararası anlamda; 1990 yılında, Radyasyondan Korunma Birliği İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon Komitesi (International Radiation Protection Association International Nonionizing Radiation Committee - IRPA/INIRC) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Çevre Sağlığı Bölümü’nün iş birliği ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı’nın (United Nations Environment Programme - UNEP) desteği ile 50/60 Hz’lik elektrik ve manyetik alanlar için belirlenen sınır değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo-1.

Maruz Kalma Koşulları	Elektrik Alanı kV/m
Çalışan tam mesai günü	10
Çalışan kısa süre	30
Halk 24saat/gün	5
Günde birkaç saat	10

Avrupa Birliği’nde (AB) elektrik alanı ve manyetik alanlar için kullanılan referans değerler (CEI ENV 50166-1 Normu), TSE Standardı ile aynıdır. Ülkemizde alternatif akımda işletilmekte olan enerji iletim hatlarının frekans değerleri 50Hz’dir. Türk Standartları Enstitüsünün, TS ENV 50166-1/Nisan 1996 Baskı ICS 29020 sayılı ve “İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz kalması – Düşük Frekanslar (0Hz-10kHz)” adlı standardında, iletim hatları için geçerli olan frekanslarla ilgili referans değerlerde yer almaktadır. Bu değerler aşağıdaki Tablo-2 ve Tablo-3’te verilmiştir.

Tablo-2.

Maruz Kalma Koşulları	Elektrik Alanı	
	Referans (kV/m)	Zaman (t,saat)
Çalışan	30	$t \leq 80/E$
Halk	10	

*E: Ortamda Ölçülen Elektrik Alan Değeri

Tablo-3.

ÜLKELER/KURULUŞLAR	FREKANS MHz	ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİ V/m
FCC OET 65 (USA) ANSI/ IEEE 1992	900	47
	1800	61
NRBP, 1993(UK)	900	46
	1900	61
ICNIRP, 1998 CENELEC,(EU) 1995	900	41
	1800	58
	2100	61
TÜRKİYE	900	10
	1800	14
	2100	15

SONUÇ

Yapılmış olan 37 milyonu aşan ölçüm sonucunda, elde edilmiş olan elektrik alan değerleri ulusal ve uluslararası standart kuruluşların belirlemiş olduğu limit değerler ile kıyaslandığında; ölçüm yapılan ofisler, sistem salonları ve radyolink istasyonunda limitlerin üzerinde bir değere rastlanılmamış ve ölçüm sonuçlarının limitlerin oldukça altında olduğu görülmüştür.

SAR Ölçümlerinde Kullanılmak Üzere Dipol Anten Yapımı ve Karakterizasyonu

Aliye Kartal Doğan, Murat Celep, Sefa Ogan

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü
P.K. 51, 41470, Gebze Kocaeli
aliye.dogan@tubitak.gov.tr

Özet

Mobil telefonların Özgül Soğurma Oranı (Specific Absorption Rate, SAR) değerinin belirlenmesi için yapılan ölçümler öncesinde ölçüm düzeneğinin doğrulanması gerekir. SAR ölçümlerinde kullanılan robotun, elektrik alan probunun, eşdeğer doku sıvısının ve ölçme programının bir arada doğru olarak çalıştığını kontrol etmek için doğrulama çalışması yapılır. Doğrulama ölçümlerinde, kutu fantomun alt kısmına referans bir dipol anten yerleştirilir. Böylece eşdeğer sıvı üzerine değeri bilinen bir güç uygulanarak sıvı içerisinde elektrik alan oluşması sağlanır. Bu çalışmada doğrulama ölçümlerinin önemli bileşenlerinden biri olan dipol anten yapımı, karakterizasyonu ve doğrulama ölçümlerinden bahsedilecektir.

Anahtar kelimeler: SAR, özgül soğurma oranı, dipol, doğrulama.

1. Giriş

Elimizden hiç düşürmediğimiz, vazgeçilmez eşyalarımızdan biri olan mobil telefonlar elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla iletişim kurmamızı sağlar. Bu telefonların kullanımı esnasında sağımıza olan olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla uluslararası standartlar oluşturulmuştur. Bu standartlardaki en temel bileşen ise özgül soğurma oranı (Specific Absorption Rate, SAR)'dır.

Kısaca SAR ile gösterilen özgül soğurma oranı, birim kütle başına soğrulan elektromanyetik gücü ifade etmektedir ve Eşitlik (1)'de verildiği gibi ifade edilmektedir [1, 2].

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (1)$$

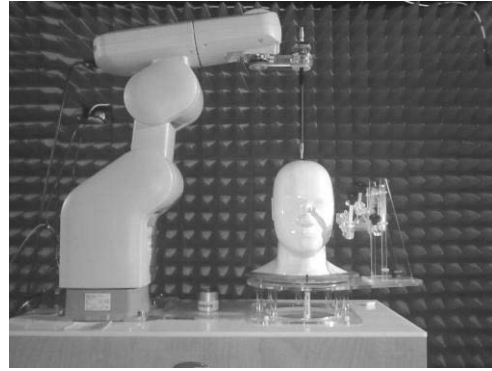
Burada, σ elektriksel iletkenlik (S/m), $|E|$ elektrik alan şiddeti (V/m) ve ρ dokunun yoğunluğudur (kg/m^3).

SAR ölçümlerinin sınır değerleri, Amerika Birleşik Devletleri için IEEE C95.1 standardı ile belirlenmiştir [3]. Avrupa ve diğer birçok ülke ise Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyon Komitesi (INIRC) tarafından belirlenen sınır değerlerini benimsemektedirler [4].

SAR ölçümlerinin hangi kriterlere göre yapılacağını anlatan ve sınır değerlerini tarif eden uluslararası IEEE Standardı 1528 [1] ile TS/EN/IEC 62209 standartları [2] vardır.

Mobil telefonların SAR ölçümlerini gerçekleştirmek için Şekil 1'de verilen veya buna benzer ölçüm düzeneğinin

kurulması gerekir. Ölçüm düzeneği, ortalama bir insan kafasının fiziksel özelliklerine sahip olan fantom, elektrik alan ölçmeye yarayan izotropik prop, SAM fantom içerisinde probun hareketini sağlayan bir robot, baz istasyonu simülatörü ve ölçme programından oluşmaktadır.



Şekil 1: SAR ölçme düzeneği.

Kurulan düzenek ile SAR ölçümü gerçekleştirilmeden önce sistemin doğrulama ölçümlerinin yapılması gerekir. Doğrulama ölçümleri ile elektrik alan probu, robot, program vb. bütün bileşenlerin yani sistemin birbiri ile uyumlu olarak çalışıp çalışmadığı ve varsa hatalar tespit edilir. Doğrulama işlemi, ölçme sisteminde herhangi bir değişiklik yapıldığında örneğin prop yerinden çıkartılıp tekrar takıldığında veya başka prop takıldığında, yükselteç değiştirildiğinde, robot veya probun merkezlemesi yeniden yapıldığında v.b. tekrar edilir.

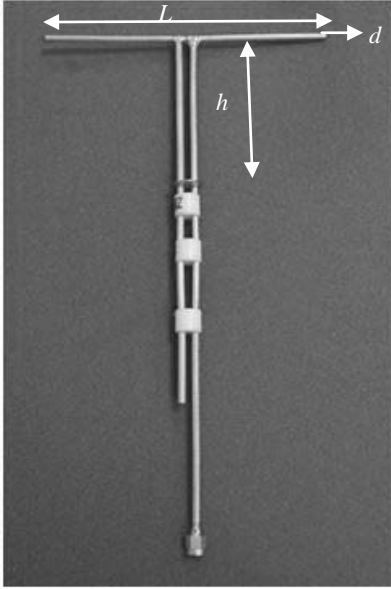
SAR ölçme sisteminde kullanılmak üzere hazırlanmış ve eşdeğer doku özelliklerini sağladığı teyit edilmiş eşdeğer doku sıvısı, doğrulama için hazırlanmış kutu fantom içerisine konulur [5]. Kutu fantomun altına yerleştirilen referans dipol anten ile eşdeğer sıvı üzerine değeri bilinen bir güç verilerek, sıvı içerisinde değeri bilinen bir elektrik alanın oluşması sağlanır. Elektrik alan probu kullanılarak kutu fantom içerisinde önceden belirlenmiş noktalarda elektrik alan değeri ölçülür. Ölçülen değerlerden SAR değeri hesaplanarak ilgili ulusal ve/veya uluslararası standartta verilen değerleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

Bu bildiriye, doğrulama ölçümlerinde kullanılmak üzere TÜBİTAK ÜME yapımı referans dipol antenin nasıl yapıldığından ve doğrulama ölçümlerinde kullanımından bahsedilecektir.

2. Referans Dipol Anten Yapımı

Anten çift yönlü dönüştürme işlemini yapan cihaz olup, verici olarak kullanıldığında anten girişindeki gerilimi elektromanyetik dalgalara ve alıcı olarak kullanıldığında ise tam tersi dönüşümü gerçekleştirir. Çok sayıda anten çeşidi vardır. Bunlardan biri olan dipol antenler, her bir kolunun uzunluğu, çekilen (alınan) sinyalin dalga boyunun yarısına ($\lambda/2$) eşit iki kutuplu bir antendir [5, 6].

SAR sisteminin kontrolü ve doğrulaması testinde ilgili standartlarda kullanımı önerilen referans dipol antenler 300 MHz ile 3 GHz frekans aralığında çalışmakta olup, yüksek doğruluğa sahiptirler. Doğrulama ölçümlerinde kullanılacak referans dipol antenin mekanik detayları Şekil 2’de verilmiştir.



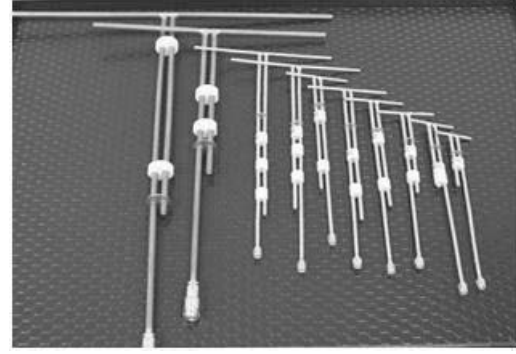
Şekil 2: Dipol anten.

Yarım dalga dipol antenin kol uzunluğu (L), duran dalga oranı ayarı için yerleştirilen bakır bileğinin yüksekliği (h) ve çap(d) değerleri dipol antenin kullanıldığı frekansa göre değişiklik göstermektedir. Referans dipol anten sadece tek bir frekans için tanımlanmıştır. Frekansa bağlı bu değerler Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda verilen referans dipol anten özellikleri incelendiğinde dipol anten yapımı esnasında 300 MHz ve 450 MHz için farklı, 835 MHz ile 3000 MHz arasındaki antenler için farklı esnek olmayan kabloların kullanıldığı görülmektedir. İstenilen frekansa uygun olarak kablolar Tablo 1’de verilen ölçülere uygun olarak kesilmiş ve bağlantıları yapılmıştır. Kablonun bir tarafına SMA konnektör takılmıştır. Diğer uç ise kesilen diğer parçalara birleştirilmiştir. Bir plastik tutucu ile dipol sabitlenmiştir. Yapılan antenin duran dalga oranı (standing wave ratio, SWR) ayarını yapmak için bakır bir bilezik kullanılmıştır.

Şekil 2 ve Tablo 1’de verilen özelliklere uygun olarak 300 MHz ile 3000 MHz arasında dipol antenlerin yapımı TÜBİTAK UME’de gerçekleştirilmiştir. Yapımı gerçekleştirilen dipol antenlerin görünümü Şekil 3’de verilmiştir.

Tablo 1. Referans dipolün mekanik özellikleri [1]

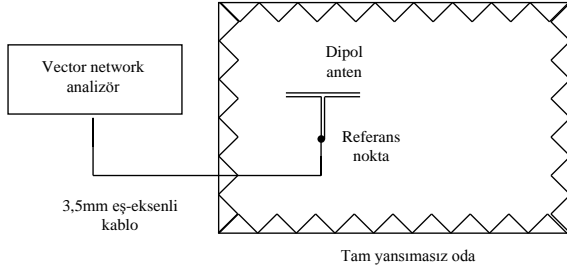
Nominal Frekans (MHz)	L (mm)	h (mm)	d (mm)
300	396	250	6,35
450	270	166,7	6,35
835	161	89,8	3,6
900	149	83,3	3,6
1450	89,1	51,7	3,6
1800	72	41,7	3,6
1900	68	39,5	3,6
2000	64,5	37,5	3,6
2450	51,5	30,4	3,6
3000	41,5	25	3,6



Şekil 3: TÜBİTAK UME yapımı dipol antenler.

3. Referans Dipol Antenin Yansıma Katsayısı Ölçümü

TÜBİTAK UME’de yapımı gerçekleştirilen referans dipol antenlerin girişine uygulanan işaretin ne kadarının antenden aktarıldığını belirlemek için antenin yansıma katsayısı ölçülmüştür. Yansıma katsayısı anten girişinde yer alan SMA konnektöründen yansıyan işaretin bu konnektöre uygulanan işarete oranı olarak tanımlanmaktadır. Yansıma katsayısını ölçmek için Agilent E86362B model bir network analizör (VNA) kullanılmış ve ölçme düzeneği Şekil 4’de verilmiştir. Referans dipol antenin ölçümü tam yansısız bir odada gerçekleştirilmiştir. Ölçüm gerçekleştirilmeden önce, dipol antenin SMA konnektör bağlantısının gerçekleştirildiği VNA tarafındaki hatalar giderilmiştir. VNA tarafındaki bu hatalar, 3,5 mm bir kalibrasyon kiti kullanılarak tek kapı kalibrasyon yöntemi ile açık devre, kısa devre ve uyumlu yük (open, short, load) standartları kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra hata parametreleri belirlenen VNA ve tam yansısız oda içerisinde olan ve VNA’ya bağlı kablunun diğer ucundaki konnektör referans nokta alınmış ve her bir referans dipol anten bu noktaya bağlanarak yansıma katsayısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden elde edilen değerler logaritmik olarak tanımlandığında ise yansıma kaybı olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 4: Yansıma katsayısı ölçme düzeneği.

Bu sistem ile ölçümler tam yansımaz oda içerisinde hava ortamında alınmış olup, oda içerisinde oluşan yansımalar ihmal edilmiştir. Ölçümlerden elde edilen sonuçlar logaritmik olarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yapılan dipol antenlerin sonuçları.

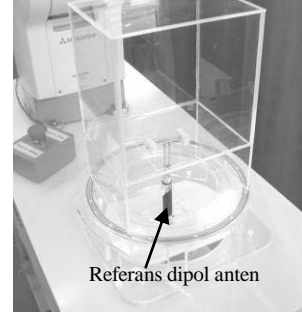
Nominal frekans (MHz)	Ölçülen frekans (MHz)	Yansıma kaybı (dB)
300	346,4	13,36
450	501,1	12,08
835	839,4	12,87
900	884,8	10,57
1450	1462,3	11,82
1800	1812,9	11,34
1900	1928,4	11,63
2000	2051,2	10,52
2450	2540,9	11,16
3000	3108,1	13,78

Yapımı gerçekleştirilen referans dipol antenlerin performansına karar vermek için, ticari olarak temin edilebilen Indexsar firmasına ait farklı frekanslarda çalışan üç adet antende tam yansımaz oda içerisinde aynı şartlarda ölçülmüştür. Bu ölçümlerden elde edilen yansıma kaybı değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Indexsar dipol antenlerin sonuçları

Nominal frekans (MHz)	Ölçülen frekans (MHz)	Yansıma kaybı (dB)
900	901,3	12,46
1850	1845,9	11,33
2450	2580,1	10,20

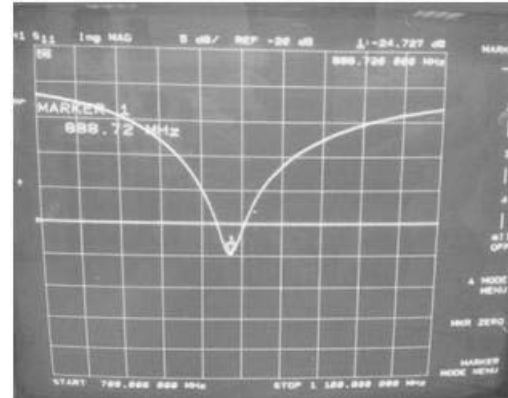
TÜBİTAK UME yapımı 900 MHz dipol antenin, SAR ölçüm sisteminin kontrolü ve doğrulamasındaki performansını belirlemek için Şekil 5’de verilen düzenek kurulmuştur. Bu düzenekte, SAR ölçümünde kullanılan kafa fantom yerine 2 mm et kalınlığına sahip kutu fantom kullanılmıştır.



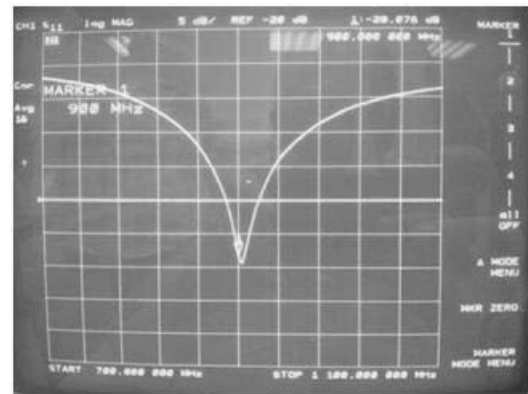
Şekil 5: Kutu fantom ve dipol antenin yerleşimi.

Kutu fantom içerisine 900 MHz frekansta çalışmaya uygun, iletkenliği ve bağıl geçirgenliği standartta verilen değeri sağlayan dokuya eşdeğer sıvı ile doldurulmuştur. Referans dipol anten ise kutu fantomun altına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Şekilde görülen dipol antenin alt kısmından yaklaşık 3 m uzunluğundaki SMA konnektöre sahip eş eksenli kablo ile VNA’ya bağlantısı yapılmıştır. Bu ölçüm düzeneğinde HP 8753B model network analizör ve 3,5 mm kalibrasyon kiti kullanılmıştır.

900 MHz frekans için hazırlanan TÜBİTAK UME yapımı dipol antenin ve Indexsar firmasına ait dipol antenin yansıma kaybı ölçümleri Şekil 5’de verilen düzenek ve VNA kullanılarak yapılmış olup, elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 6: TÜBİTAK UME yapımı dipol anten ile alınan ölçüm.



Şekil 7: Indexsar firmasına ait dipol anten ile alınan ölçüm.

TÜBİTAK UME yapımı ve Indexsar firmasına ait dipol antenlerin 900 MHz frekansında yapılan yansıma kaybı ölçümlerinde sırasıyla 24,73 dB ve 28,08 dB elde edilmiştir.

Standartlarda, ölçümde kullanılan dipolün yansıma kaybının 20 dB'den daha büyük olması istenmekte olup, yapımı gerçekleştirilen dipol anten ölçüm değeri bu değerin üzerindedir.

4. Sonuçlar

TÜBİTAK UME'de 300 MHz ile 3000 MHz arasında dipol antenlerin yapımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu antenlerin hepsinin hava ortamında yarı yansız odada yansıma katsayıları ölçülmüştür. 900 MHz frekansa sahip dipol antenin, SAR ölçüm sisteminin kontrolü ve doğrulamasında kullanılan düzenekte ölçümü gerçekleştirilmiştir. Standartlarda, ölçümde kullanılan dipol antenin yansıma kaybının 20 dB'den daha büyük olması istenmektedir. Yapılan ölçümlerde bu değer yaklaşık 25 dB olarak elde edilmiştir.

Hava ortamında yapılan ölçümlerde 1850 MHz ve 2450 MHz frekansa sahip Indexsar firması yapımı dipol antenlerin ölçümü ile TÜBİTAK UME yapımı dipol antenlerin ölçümleri arasında 1 dB'lik uyum olduğu görülmüştür.

İleride yapılacak çalışmalarda, diğer dipol antenlerin ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için ilgili frekanslara uygun dokuya eşdeğer sıvı ve sistem hazırlanacaktır.

5. Kaynakça

- [1] IEEE Std 1528, "IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communication Devices: Measurement Techniques", IEEE, 2003.
- [2] IEC 62209-1:2005, "Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz)", IEC, 2005.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)" Healy Physics Society, Vol. 74, No. 4, pp 494-522, 1988.
- [4] IEEE C95.1:1995, "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz", IEEE, 2005.
- [5] "Metroloji Kitabı", TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, ISBN 978-975-403-731-9, Şubat 2013.
- [6] Levent Sevgi, "Tasarımdan Üretime Elektromanyetik Uyumluluk", ISBN 9944-5089-0-X, Eksen Teknik Yayınlar Dizisi, 1. Baskı, İstanbul, Haziran 2006.
- [7] Murat Celep, Hakan Karacadağ, Ramiz Hamid ve Mustafa Çetintaş, "Mobil Telefonların Özgül Soğurma Oranının (SAR) Belirlenmesi", Ekim, 2011.

Wi-Fi Haberleşmede İnsan Kafası Modelinde Sar Değerinin Hesaplanması Ve Ölçüm Çalışması

Emine Atılgan, Yasemin Karadana, Selçuk Çömlekçi

Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Süleyman Demirel Üniversitesi

atilgan.e@hotmail.com, ykaradana@gmail.com, selcukcomlekci@sdu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada gelişen teknoloji ile günümüzde herhangi bir yerde, herhangi bir zamanda kullanımı neredeyse kaçınılmaz olan kablosuz cihazların çalışmaları frekansta oluşturduğu elektromanyetik yayılımın beyin dokusu üzerine etkilerini incelemek amaçlı beyin eşdeğer sıvısı oluşturulmuştur. Bunun üzerine bilinen frekans dozaj ve etkileşim süresinde maruziyet sağlanarak sıcaklık değişimi incelenmiştir. Günlük yaşamımızda ne kadar sık ve uzun süreli kullandığımızın farkına bile varmadığımız kablosuz cihazlar maruz kalınan güç seviyelerinin çeşitliliğini arttırmaktadır. Kablosuz cihazlardan çeşitli seviyelerde üretilen elektromanyetik dalgaların gücü insan vücudunda etkili olmaktadır. Bu dalgalar insan vücudundaki dokuları ısıtmakta ya da kimyasal yoldan değişimlere yol açmaktadır. Bu konu günümüzde de bilimsel literatürde araştırmacıların hala tartıştıkları bir konu olmaktadır.

Bu çalışmada, özellikle 2450 MHz frekansındaki kablosuz cihazların günlük dozajda insan beyni üzerine olası ısı etkilerinin belirlenmesi amacıyla bir model üzerine çalışılmıştır. Ayrıca 900-1800 MHz'in etkileri de incelenmiştir. Çalışmada beyin eşdeğer sıvısı oluşturularak bu fantom model üzerinde elektromanyetik maruziyetin oluşturduğu ısı değişimleri ile elektrik alan ölçülerek özgül soğurma oranı (SAR), deri kalınlığı ve eşdeğer sıvı içerisinde oluşan elektrik alan değerleri hesaplanmıştır. Üç ana frekans ile aynı dozaj, süre ve hacim düşünüldüğünde frekansın önemli bir etken olduğu bulunmuştur. 900 ve 1800 MHz frekanslardan fantom hacim deri etkisine bağlı olarak maruziyetten bir dereceye kadar etkilenmektedir. Oysa 2450 MHz'lik maruziyet fantom sıvı içerisinde beklenen sıcaklık artışı gösterememektedir. Çalışmanın en önemli sonucu örnek olarak bir yetişkinin beyin dokusunda etkili olmayan 2450 MHz'deki maruziyetin, yetişkin olmayan bir insan beyninde bir dereceye kadar ısı artışı meydana getirebileceğidir. Bilimsel literatürde bu durumlara korumasız bölgeler denilmektedir. Çocuk kafatası da bu kategoriye girebilir. Demek ki mevcut standartların çocuklar için ayrı olması gerekecektir.

I. GİRİŞ

Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN-Wireless Local Area Networks), iki yönlü geniş bant veri iletişimi sağlayan, iletim ortamı olarak fiber optik veya bakır kablo yerine telsiz frekansı (RF-Radio Frequency) veya kızılötesi ışınları kullanan ve salon, bina veya kampüs gibi sınırlı bir alanda çalışan iletişim ağlarıdır [1]. Kurulum kolaylığı ve hareket

serbestliği gibi önemli avantajlar sağlayan WLAN sistemleri kablolu ağların yerini alabilmekte hatta bu ağlara göre daha fazla fonksiyonlar içerebilmektedir [2]. Bu sistemler iş adamları, yöneticiler, çalışanlar, küçük işletmeler, orta ölçekli işletmeler ve bireysel kullanıcılar gibi büyük bir kesime internet ve üyesi oldukları kurumsal ağa (intranet) mobil olarak bağlanma olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, kullanıcılara mekândan bağımsız olarak kolay bir kablosuz ağ kurulumu ve geniş bant veri iletimi imkânı sunmaktadır [3]. Bu çalışmada 2.45 GHz çalışma frekansında çalışan kablosuz haberleşme cihazlarının insan kafası üzerine etkileri incelenmiştir. Bu çalışma frekansı için beyin eşdeğer sıvısının elektriksel özellikleri kullanılarak kafa modeli oluşturulmuş, bu kafa modeli üzerinde özgül soğurma oranı değerleri ve radyo frekans dalgaların yarattığı ısı etkileri belirlenmiştir. Böylece elektromanyetik alana maruz kalan insan kafasında elektromanyetik enerji emiliminin başlıca etkisi olan ısınmanın etkileri beyin eşdeğer sıvısı üzerine etkileri kafa modeli üzerinde incelenmiştir [4]. Çalışmada beyin sıvısının elektriksel özellikleri göz önüne alınarak çalışılan frekans için eşdeğer fantom sıvı oluşturulup model üzerinde elektromanyetik maruziyetin oluşturduğu ısı değişimleri ölçülmüştür.

II. ÖZGÜL SOĞURMA ORANI (SAR) VE DERİ KALINLIĞI

SAR, birim ağırlık başına elektromanyetik enerjinin soğurulma oranı olarak tanımlanır ve birimi kg başına W'tır (W/kg). Özgül soğurma oranı matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 \quad (1)$$

Burada E Elektrik alan(V/m), σ iletkenlik (S/m), ρ ise yoğunluktur (kg/m^3). SAR ile sıcaklık artışı arasındaki matematiksel ilişki ise aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$SAR = c \frac{dT}{dt} \quad (2)$$

Burada c spesifik ısı kapasitesi, dT/dt ise doku içerisindeki sıcaklık artışıdır.

EM dalganın genliğinin (şiddetinin) $1/e'$ ye düştüğü derinlik deri kalınlığı / cidar kalınlığı (skin depth - penetration depth) olarak adlandırılır. δ ile gösterilir ve ($\omega=2\pi f$ olmak üzere)

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad (m) \quad (3)$$

denklemler ile verilir.

III. BİYOLOJİK DOKU BENZERİ KİMYASAL KARIŞIM (FANTOM SIVI) VE DENEYSEL ÇALIŞMA

İnsan beyninin 2450 MHz frekansındaki elektriksel özellikleri göz önüne alınarak Çizelge 1'e göre fantom modeli oluşturulmuştur.

Çizelge 1 Eşdeğer modelde kullanılan materyaller ve ağırlık oranları [5]

	Alüminyum Toz	Polietilen Toz	Jel Etkeni	Su	NaCl
Beyin (2450 MHz)	-	29.8 %	7.01 %	62.6%	0.582 %

İlk olarak 2450 MHz için Çizelge 1'deki karışım oluşturularak ticari olarak satın alınan insan kafa modeli içerisine dökülmüştür ve Şekil 1'deki deney düzeneği kurulmuştur.

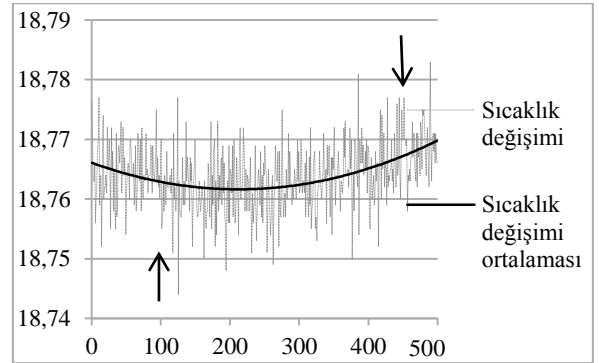


Şekil 1 Oluşturulan eşdeğer sıvı içerisinde sıcaklık artış ölçümünün yapıldığı deney düzeneği

Metalli straforun içine kafa modeli yerleştirilerek düzeneğin üzeri metallsiz straforla kapatılarak yalıtım sağlanmıştır.

Sıcaklık ölçüm cihazı bilgisayara bağlanarak farklı anten polarizasyonları için model içerisindeki sıcaklık değişiminin kaydedilmesi planlanmıştır. Beyin eşdeğer sıvısı kafa modeline boşaltılarak deney düzeneği hazır hale getirilmiştir.

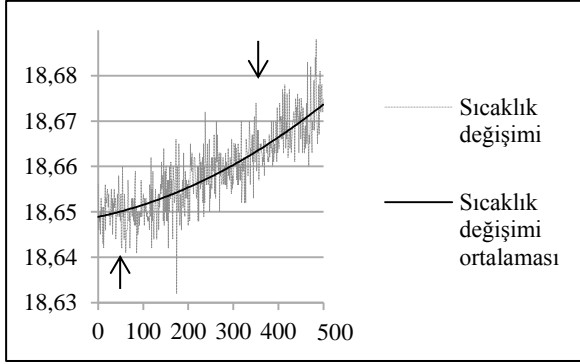
Yeterince temiz elektromanyetik alan ve yeterince yalıtılmış ısı koşulları oluşturulmuş anlaşıncaya deneye başlanmıştır. PT104 ölçüm sisteminin sensörü kafa modeli içerisinde tamamen batırıldıktan sonra masa üstü bir bilgisayarda sıcaklık değişimi gözlemlenmiş ve ölçülen sıcaklığın oda sıcaklığına yaklaşması için birkaç saat beklenmiştir. Daha sonra deneysel test vericisinin monopollü anteni, içine fantom sıvısı bulunan kafa modeline dışarıdan yapıştırılmıştır. Evsel kablosuz internet modemlerinin birkaçında çalışırken ortalama elektrik alan değeri antene en yakın ölçülebilen mesafede 27 V/m civarında olduğundan bu frekansta test vericisi ayarlanarak elektrik alanın 27 V/m olması sağlanmıştır. Başlangıç zamanı kaydedilerek PT 104'ün her saniyede bir ölçüm alarak 500 ölçümün alınması tamamlanmıştır. Şekil 2'de oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kafa modelinin üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için kafa modeli içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 100. saniyede verici çalıştırılmış ve 460. saniyede verici kapatılmış, toplamda ise 500 saniye ölçüm alınmıştır.



Şekil 2. 2450 MHz'de kafa modeli içerisinde bulunan karışımdaki sıcaklık değişimi (Soldan sağa doğru ilk ok işaretli vericinin çalıştırıldığı zamanı, ikinci ok ise durdurulduğu zamanı göstermektedir.)

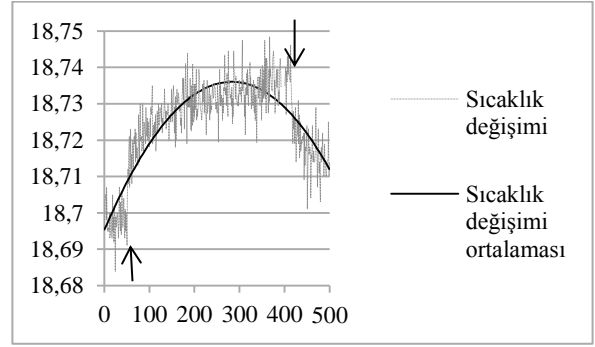
Bu frekans için Denklem 3'ü kullanarak deri kalınlığı değeri 8.3 mm olarak hesaplanmıştır. Kafa eşdeğer modelinin et kalınlığı 5 mm olarak ölçülmüştür. Buradan anlaşılmaktadır ki, deri kalınlığına ulaşmadan bile 5 mm'lik bir kalınlık sıcaklık değişimini engellemektedir.

Kafa modeli için 2450 MHz’de RF test cihazının oluşturmuş olduğu elektrik alan beyin eşdeğer sıvısı içerisinde ısı artışında etkili olamamaktadır. Isı artışına kalınlığın etkisi olabileceği düşünülerek deneye kafa modeli yerine yarım litrelik pet şişe ile devam edilmiştir. Şekil 3’de oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu pet şişenin üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için pet şişe içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir.

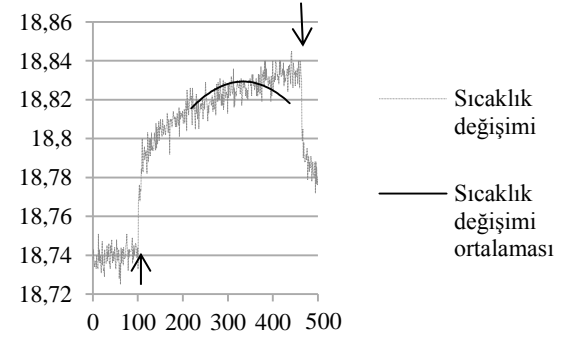


Şekil 3. 2450 MHz’de pet şişe içerisinde bulunan karışımındaki sıcaklık değişimi

Şekil 3’den görüleceği üzere vericinin açılmasıyla karışımında sıcaklık artmaya başlarken vericinin kapatılmasıyla sıcaklık düşmesi beklenmemiştir. Çünkü sıvı hacmi fazladır ve düşmenin görülmesi uzun zaman gerektirmektedir. Şekil 2 ve Şekil 3’den görülmektedir ki, vericinin oluşturmuş olduğu elektrik alan beyin eşdeğer sıvısında deri etkisine bağlı olarak sıcaklık değişimine neden olmaktadır. Bu yüzden aynı sıvıya 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarının etkisi incelenmiştir. Şekil 4’de 900 MHz’de ve Şekil 5’de 1800 MHz’de oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kafa modelinin üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için kafa modeli içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Deri kalınlığı değeri 900 MHz için 19 mm, 1800 MHz için 11 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 900 MHz’de kafa modeli içerisinde bulunan karışımındaki sıcaklık değişimi



Şekil 5. 1800 MHz’de kafa modeli içerisinde bulunan karışımındaki sıcaklık değişimi

IV. BEYİN EŞDEĞER SIVISI İÇERİSİNDEKİ SAR DAĞILIMININ, ELEKTRİK ALANIN VE ISI ARTIŞININ MATEMATİKSEL MODELİ

Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışılan farklı frekansların her biri için beyin sıvısının iletkenlik, yoğunluk, spesifik ısı kapasitesi, picologgerdan alınan sıcaklık artış bilgisi kullanılarak SAR değerleri ve sıvı içerisindeki elektrik alan hesaplanmıştır. Çizelge 2’de çalışılan frekanslar için matematiksel olarak hesaplanan SAR, lokal elektrik alan değerleri ile picologgerdan alınan sıcaklık artış miktarları gösterilmektedir. Çizelge 3’de ise beyin eşdeğer sıvısı için 900 MHz, 1800 MHz ve 2450 MHz’deki elektriksel parametreler verilmiştir.

Çizelge 2 Beyin sıvısı içerisindeki matematiksel olarak hesaplanan SAR değerleri, lokal elektrik alan değerleri ve ile picologgerdan alınan sıcaklık artış miktarları

Çalışma Frekansı	SAR değeri (W/kg)	Lokal elektrik alan değeri (V/m)	6 dakika maruziyet sonucu meydana gelen sıcaklık artış miktarı ($^{\circ}$ C)
900 MHz	0.46	35.08	0.046
1800 MHz	1.08	48.67	0.107
2450 MHz (kafa modelinde)	0.026	5.82	0.003
2450 MHz (pet şişede)	0.095	11.14	0.011
	0.21	16.56	0.024
	0.43	23.70	0.049
	0.56	27.05	0.064
	0.52	26.06	0.06

Çizelge 3 Beyin sıvısı için çalışılan frekanslardaki elektriksel parametre değerleri

Frekans (MHz)	ϵ_r	σ (S/m)	ρ (kg/m^3)	c ($\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)
900	45.8	0.77	1030	3600
1800	43.5	1.15	1030	3650
2450	42.5	1.5	980	3137

Çalışılan tüm frekanslar için (900 MHz, 1800 MHz ve 2450 MHz) Denklem 1 kullanılarak bulunan SAR değeri Denklem 2 ile eşitlenerek spesifik ısı kapasitesi (c) hesaplanmıştır. Hesaplanan c değerleri Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4 Eşdeğer beyin sıvısının çalışılan frekanslardaki hesaplanan c değerleri

Frekans (MHz)	c ($\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)
900	3600
1800	3633
2450	3150

V. SONUÇLAR

Beyin eşdeğer sıvı modelinde farklı frekansların sıvı içerisinde meydana getirdiği ısı değişimlerinde farklılık oluşturduğu gözlemlenmiştir. 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında eşdeğer sıvının bulunduğu kafa modeli üzerinde dikey polarize edilmiş anten bulunması durumunda karışımın içerisindeki sıcaklığın elektromanyetik alan maruziyetinin başlamasından sonra belli bir süre arttığı ve sonra yatay bir seyir izlediği, vericinin kapatılması durumunda da sıvı sıcaklığının yeniden ortam sıcaklığına düşme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. 2450 MHz frekansta ise eşdeğer sıvının bulunduğu pet şişe üzerinde dikey polarize edilmiş anten bulunması durumunda

karışımın içerisindeki sıcaklığın elektromanyetik alan maruziyetinin başlamasıyla arttığı, vericinin kapatılmasıyla da sıvı sıcaklığının hemen düşüşe geçmediği, bir süre sonunda oda sıcaklığına düşme eğilimine geçtiği gözlemlenmiştir. Aynı elektriksel özelliklerde olan pet şişe ve kafa modelinde farklı ısı etkileşim olmasının nedeni bu iki kabın et kalınlıklarının farklı olmasıdır. 2450 MHz’de değişimin gözlenememesi, ama şişede gözlenebilmesi şişenin et kalınlığının 0.12 mm olmasındandır. Deri kalınlığı azaldıkça (frekans yükseldikçe) frekans etkileri yüzeye yakın olmakta, derine ulaşamamaktadır. Çalışmanın amacıyla belirlenen, frekansa göre beyin dokudaki ısı artışının hesaplanmasında dikkat edilecek önemli bir sonuç da budur. Ayrıca Leonard vd. (1984) yayınında verilen c değeri çalışmanın sonucunda bulunan değer ile uyum göstermektedir. Sonuçlara göre 2450 MHz’lik maruziyet fantom sıvı içerisinde beklenen sıcaklık artışını gösterememektedir. Bir yetişkinin beyin dokusunda etkili olmayan 2450 MHz’deki maruziyetin, yetişkin olmayan bir insan beyninde bir dereceye kadar ısı artışı meydana getirebilecektir. Böylece mevcut standartların çocuklar için ayrı olması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Dr. Yılmaz, H., 2007. Kablosuz Yerel Alan Ağlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alanın İsitme Üzerine Etkilerinin Araştırılması. İstanbul, Uzmanlık Tezi, 69, İstanbul.
- [2] Çınar, K., 2006. Elektromanyetik Alan. Bilim ve Teknik, 80-81.
- [3] Güler, İ., Cetin, T., Özdemir, A.R., Ucar, N., 2010. Türkiye Elektromanyetik Alan Maruziyet Raporu. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, İstanbul.
- [4] Findlay, R.P., Dimbylow, P.J., 2006. FDTD Calculations Of Specific Energy Absorption Rate In A Seated Voxel Model Of The Human Body From 10 MHz to 3 GHz . Physics In Medicine And Biology, 2339-2352.
- [5] Leonard, J.B., Foster, K.R., Athey, T.W., 1984. Thermal properties of tissue equivalent phantom materials. IEEE Trans.Biomed, Eng.31 533-6.

“Biyoenjerji” Olayı

İlhan KOŞALAY

TRT Genel Müdürlüğü, Çankaya/ANKARA

ilhan.kosalay@trt.net.tr

Özet – Elektromanyetik enerji geniş bir frekans aralığında tanımlanmakta ve her frekans aralığında varlığını farklı şekilde hissettirmektedir. İnsanlık tarihi düşünüldüğünde, elektriğin keşfi ve elektrik-elektronik tabanlı cihazların varlığı çok eski değildir. İnsanoğlu kendi meydana getirdiği cihazlar nedeniyle, son 1-1.5 asırdır, daha önce alışık olmadığı frekansta elektromanyetik alan ve dalgalara maruz kalmaktadır. Buna bağlı olarak, bu alanların zararlı etkileri olabileceği tezi üzerine birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Yapılan çalışmaların kayda değer sonuçları bulunmakla birlikte, genel anlamda henüz fazla sayıda yargı ortaya koymak mümkün olmamıştır. Bu çalışma, süregelen birçok çalışmadan farklı olarak, elektromanyetik enerjinin zararlı etkileri olabileceği yanında bazı frekanslarda faydalı etkilerinin de olabileceği tezini destekleyen bulguların ortaya konması amacıyla meydana getirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyoelektromanyetik, Manyetik alan tedavisi, Schumann rezonansı, Biyoenjerji

1. GİRİŞ

Biyoelektromanyetik, insan bedeninin elektromanyetik enerjisiyi nasıl ürettiği ve bu enerjilere dışarıdan maruz kaldığında nasıl tepki verdiği ile ilgilenen bir disiplindir.

İnsan üzerinde ilk defa ölçülen biyoalan kalbin etrafındaki enerji alanıdır. Yaklaşık bir asır önce bu konuya ilişkin yapılan araştırmalar “Elektrokadiyogram” cihazının bulunmasını sağlamıştır. Devamında çeyrek asır sonrasında, Berger beynin etrafındaki biyoalanı ölçmüş ve bu çalışma da “Elektroensefalografi” nin bulunmasına öncülük etmiştir. Yapılan çalışmalar kalp, beyin gibi organların biyoelektromanyetik alanlar yarattıklarını ve bu alanın ürettiği enerjinin vücuda bağlanan elektrotlar ile ölçülebildiğini kanıtlamıştır [1].

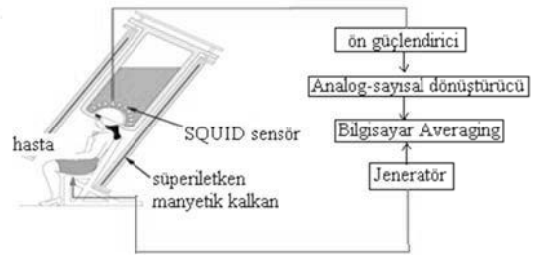
Elektrokadiyogram, elektroensefalogram, elektrotretinogram ve elektromiyogram günümüzde hastalıkların tanımı için yoğun olarak kullanılan tanı araçlarıdır. Bunun yanında, transkütanöz sinir stimülatörleri, kardiyak hızlandırıcılar ve defibrilatörler, lazer ve vuruşlu manyetik alan terapileri geleneksel tıbbın son dönemde çokça yararlandığı araçlar arasına girmiştir. Birçoğu tanı azı da tedavi amaçlı kullanılan bu cihazlar sonuç olarak elektromanyetik enerjisiyi kullanan ekipmanlardır.

İnsan bedeninde üretilen manyetik alan, fiziğin temel yasalarından biri olan Amper kanunu ile açıklanabilir. Bu kanuna göre, üzerinden akım geçen iletken teller kendi sistemleri etrafında bir manyetik alan yaratır. Yaşayan organizmalar da doğal elektrik iletkenleri olduklarından, dokusal akımlar etrafında da alan üretimi meydana gelir. kalp, kaslar, beyin gibi organların etraflarında oluşan alanlara canlı bir ortamda oluştuklarından “biyomanyetik alanlar” adı verilmiştir.

İnsan bedenindeki toplam biyomanyetik alan, birçok alanın ortak bileşkesi gibi görülebilir. İnsan kanının çok iyi bir elektrik iletken özelliği taşıması ve kalbin her atışında elektrik üretmesine bağlı olarak en güçlü alan kalbin etrafında yer almaktadır. Yine göz retinası, göze her ışık düştüğünde polaritesi değişen bir pil gibi çalışır. Bedendeki diğer bir güçlü alan kaynağı ise kaslardır. Beynin ürettiği elektrik alanı, kalbin ürettiğinin binde bir oranı kadardır.

Kalbin biyomanyetik alanı ilk kez 1963 yılında Syracuse'da etrafına ikişer milyon kez tel sarılmış olan çubuklarla ölçülmüştür. Bu araştırma ile neredeyse eş zamanlı olarak Brian Josephson Cambridge'de kendisine sonradan Nobel ödülü kazandıran bir buluş gerçekleştirmiştir. Josephson'un biyomanyetizma konusundaki çalışmaları SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) adı verilen bir manyetik ölçerin keşfine zemin hazırlamıştır. Bu manyetik ölçerler şimdi tıp laboratuvarları tarafından insanın enerji alanının ölçülmesine yönelik çalışmalarda kullanılmaktadırlar.

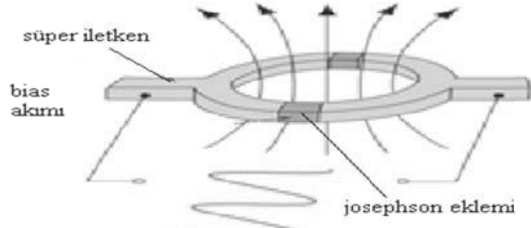
SQUID Cihazı, Josephson eklemeleri içeren süper iletken halkalardan oluşmaktadır. Kalp ve beyindeki gibi, küçük akımların oluşturduğu çok küçük manyetik alanların ölçülmesinde kullanılır. Bilim dünyasında “Josephson eklemi” olarak bilinen fenomenin bir elektronik uygulaması olduğu söylenebilir. Bu cihazın ilerleyen yıllarda beyni ilgilendiren rahatsızlıkların kaynağını bulmakta önemli bir araç olabileceği düşünülebilir. **SQUID Cihazı** ile yapılan beyin ölçümlerine ilişkin bir tasarım şekil 1’de gösterilmiştir [2].



Şekil 1 SQUID Cihazı ile beyinde biyomanyetik alan ölçümü

Biyomanyetik ölçümlerin, elektrotların cilt yüzeyine bağlanması ile yapılan elektro çekimlere (biyoelektrik) göre, çok daha başarılı olduğu ve daha fazla veri sağladığı söylenebilir. Bunun temel nedeni, bedende bulunan farklı dokuların, değişik elektrik direnç seviyelerine sahip olmalarıdır. Kalp, beyin gibi dokular tarafından üretilen biyomanyetik alanlar, düşük bir elektrik dirence sahiptirler ve bu nedenle beden yüzeyine bağlanan elektrotlarla yapılan ölçümler yetersiz ve yanıltıcı sonuçlar verebilir. Buna karşın, farklı dokuların manyetik geçirgenliği havasız ortamda birbiriyile aynıdır. Esasen tüm dokular manyetik alanlara tamamen

açtırlar. Dolayısıyla, biyomanyetik ölçümler bedenin içinde olanlar konusunda bize biyoelektrik ölçümlerden çok daha fazla bilgi sağlayabileceği açık görünmektedir. Bedenin manyetik bir duyarlılığı olduğu ve dokuların "Josephson effect" denilen tepkiyi gösterebildikleri, Milano'da bilim adamları tarafından yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır [3]. Şekil 2'de Josephson eklemi gösterilmiştir [4].



Şekil 2 Josephson eklemi

2. TIBBİ ALANDA KULLANILAN MANYETİK TERAPİ CİHAZLARI

Günümüzde darbeli elektromanyetik alan terapisi (Pulsing electromagnetic field therapy - PEMF) olarak adlandırılan yöntemin kemik ve kas terapilerinde kullanılabilirliği üzerinde yoğunlaşmıştır [5]. Araştırma sonuçları, ELF (extremely low frequency) manyetik alanların tedavi kabul etmeyen bazı kemik dokularında iyileşme sürecini başlatabildiğini ortaya koymuştur. Bassett ve arkadaşları PEMF'in osteoarthritis, osteonecrosis, osteochondritis dessecans, osteogenesis imperfecta, ve osteoporosis gibi kas ve iskelet ile ilgili problemlerde yararlı olduğunu göstermişlerdir [6-9]. Manyetik alan terapisi 1979 yılında FDA (U.S. Food and Drug Administration) tarafından kabul görmüştür. Farklı frekanslarda uygulanan manyetik enerjinin şifa etkisi olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur [1]. Tablo 1'de bazı frekansların iyileştirici etkileri gösterilmiştir [10]. Tablo 1 dikkatle incelendiğinde, faydalı elektromanyetik alanların 2-30 Hz arasında yani ELF çok düşük frekanslı sınıfta yer aldığı açıkça görülebilir.

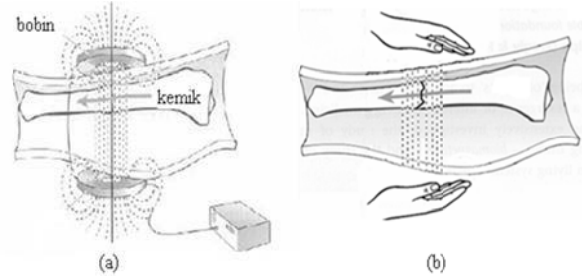
Tablo 1

Bazı frekansların iyileştirici etkileri	
Frekans	
Etkileri	
2 Hz	Sinir iyileştirme, yenileme
7 Hz	Kemik büyümesi
10 Hz	Bağ, lif iyileştirme
15, 20 ve 72 Hz	Deri kangreninde azalma, kılcal damar oluşumu uyarımı, fibroblast (bağ dokusu ana hücreleri) hızlı artışı
25 ve 50 Hz	Sinir büyüme etmenli sinerjik etkiler

Şekil 3, tel sarı bobinlerin kullanıldığı kemik tedavi cihazı (a) ve kırık kemiğe el ile yapılan manyetik alan uygulamasını göstermektedir. Elektromanyetik alan cihaz

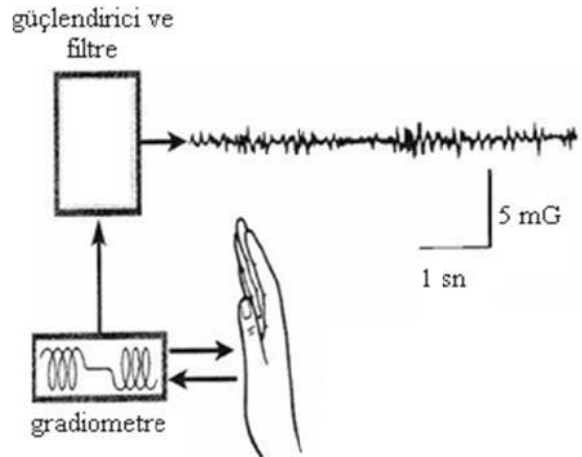
yardımla uygulanabileceği gibi insan eli yardımıyla da uygulanabilir. Biyoenerji vb. elle dokunarak veya dokunmadan uygulanan şifa tekniklerinin, ellerden yayılan ELF sinyalleri temeline dayandığını gerçeği Dr. John Zimmerman tarafından yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur [11].

Zimmerman şifa uygulayanların ellerinin etrafında bir manyetik alan oluştuğunu ancak bu şifa tekniklerini uygulamayan kişilerin böyle bir alan oluşturmadıklarını saptamıştır. Zimmerman'ın çalışmaları şifa veren kişilerin oluşturdukları bu alanın değişken bir frekansa sahip olduğunu da göstermektedir. Frekans, ELF bandının en alt bölgelerinde kalmak kaydıyla üzerinde çalışılan dokunun tipine ve ihtiyacına göre değişim göstermektedir. Ellerin yardımıyla uygulanan manyetik alan dokular üzerinde medikal araştırmalarda kullanılan frekansların aynılarını kullanarak çalışmaktadır. İster tıbbi bir cihaz tarafından, ister insan eliyle üretilsin, dokuları uyarma ve tedavi etme özelliği gösteren elektromanyetik enerji türünün ELF frekans aralığında olduğunu söylemek, şu anda sahip olunan bilgiler ışığında, yanlış değildir.



Şekil 3, (a) kemik tedavi cihazı ile alan uygulanması (b) insan eli ile alan uygulanması

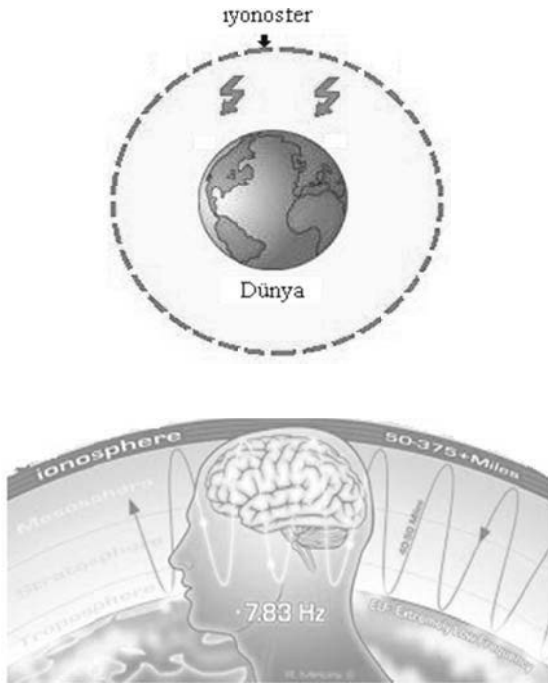
Her insan biyomanyetik alan (biyoenerji) üretmekle birlikte, özel çalışmalar ve teknikler sonucu Biyoenerji, Qi Gong vb. uzmanların ürettiği biyomanyetik alanlar oldukça güçlüdür, bu alanların 80,000 kez tel sarılmış bir bobin ve bir güçlendirici tarafından tespiti yapılabilmektedir. Bu gerçek Seto ve arkadaşları tarafından 1992'de Japonya'da yapılan bir çalışma ile saptanmıştır [12,13]. Şekil 4'de buna ait düzenek şeması verilmiştir.



Şekil 4 İnsan elinden yayılan alanın ölçümü

3. SCHUMAN REZONANSI VE ELF ALANLAR

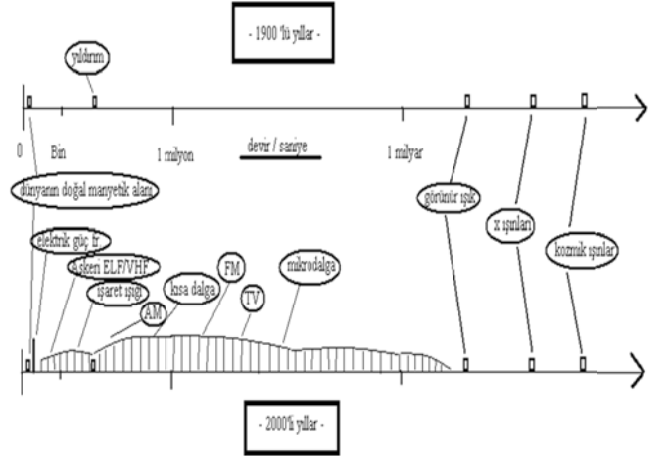
Dünyaya ait ionosfer tabakası kozmos ve güneş'ten gelen enerji yüklü atom altı parçacıkların enerjisiyle devamlı yüklenmektedir. Bu enerjiler, dünya yüzeyi ile ionosfer tabakası arasında kalan boşluğa, şimşek ve yıldırımlar yoluyla sürekli deşarj olmaktadır. Bu enerji boşalmaları, yeryüzü ile ionosfer arasındaki boşlukta değişik frekanslarda titreşen elektromanyetik dalgalar meydana getirirler. Bu elektromanyetik alanların tespiti ilk defa 1952 yılında Alman Fizikçi W. O. Schumann tarafından yapıldığından bu elektromanyetik alanların titreşimine SCHUMANN rezonansı denmiştir. Şekil 5'de sematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5 Schumann rezonansı

Schumann rezonansına, yeryüzü ile ionosfer tabakası arasındaki boşluğun doğal titreşimi denilebilir. Schumann rezonans sahasının frekansının 7,8,14, 20, 26, 33, 39 ve 45 Hertz aralıklarında değiştiği bulunmuştur. Dünyanın varlığı itibariyle şimşek ve yıldırım doğa olaylarının her zaman mevcut olduğunu kabul ettiğimizde bu elektromanyetik alanların, tüm doğa olaylarını ve tüm canlıları etkilemekte olduğu açıktır. Bu önemi nedeniyle Schumann rezonansı dünyanın önde gelen araştırma merkezleri tarafından devamlı ölçülerek kontrol edilmektedir. 1980 yılı kayıtlarına göre temel frekansı 7.8 hz olan alanın frekansının bugün yükseldiği ve 12 hz civarına çıktığı tespit edilmiştir. Diğer önemli bir tespit ise saniyede 1000 civarında olan yıldırım ve şimşek boşalmalarının da, saniyede 2000' ne çıktığıdır. Bu yeryüzüne ulaşan elektrik enerjisinin de daha önceleri var olanın 2 katına çıkmış olduğunu anlamına gelmektedir [14]. Şekil 6'da 1900'lü yıllar ile 2000'li yıllar arasında dünya üzerinde mevcut elektromanyetik alanların kıyaslanması resmedilmiştir [13]. Şekil incelendiğinde, insanoğlu ve diğer canlıların son yüzyılda, binlerce yıl öncesinden gelen genetik yapısının hiç alışık olmadığı elektromanyetik alanlara maruz kaldığı açıkça

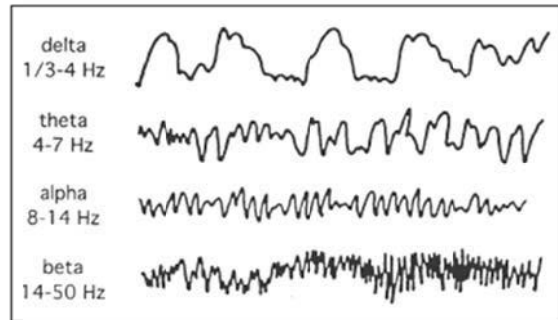
görülmekle birlikte, dünyanın doğal manyetik alanının ve yıldırımların varlığını hep sürdürdüğü anlaşılmaktadır.



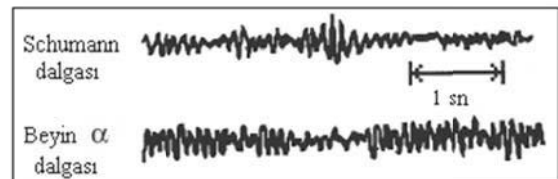
Şekil 6. 1900 ve 2000'li yılların elektromanyetik maruziyet açısından kıyası

4. İNSAN – SCHUMAN REZONANSI ETKİLEŞİMİ

Schuman rezonansının bulunuşundan çok önceleri insan beyninin çeşitli frekanslarda elektromanyetik dalga yaydığı tespit edilmiş ve bu dalgalar şekil 7'deki gibi sınıflandırılmıştır. Schuman dalgalarının ana frekansı ile insan beyninden yayılan α dalgalarının frekansının benzerliği fark edildikten sonra aralarındaki ilişim araştırılmaya başlanmıştır (Alfa dalgaları, 7-12 Hz frekans aralığında değişen ve genellikle gözler kapalı iken, hayal ve hafif meditasyon sırasında oluşan beyin dalgasıdır. Bununla birlikte, enerji terapisi yapan uzmanlar gözleri açık olarak bu halde kalabilmektedirler.). Şekil 8'de schuman ve insan beyninin α dalgası gösterilmiştir.

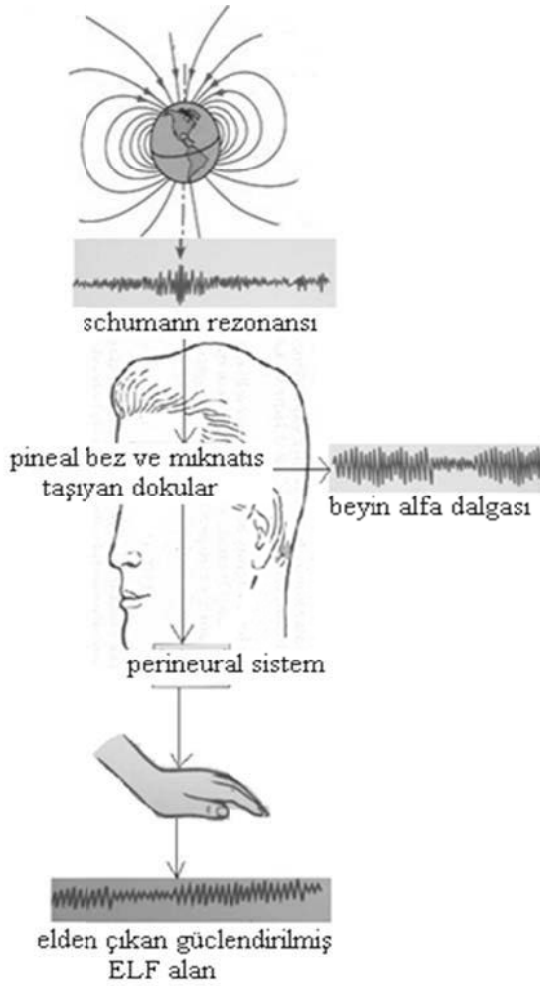


Şekil 7. İnsan beyninden yayılan dalgalar



Şekil 8. İnsan beyninden yayılan α dalgası ile Schumann dalgasının temel frekansının karşılaştırılması

Beyin α dalgası ile temel frekanslı Schuman dalgasının benzerliği birçok araştırmayı beraberinde getirmiştir. Bazı çalışmalarda, pineal bez ile manyetik algılama arasında bağlantı olduğu ifade edilmiştir [15]. Dermain ve arkadaşları, domuzlarda yaptıkları incelemeler sonucunda manyetik duyarlılığın pineal bezin doğrudan kendisinden kaynaklandığı öne sürmüştür [16]. Persinger ve arkadaşları, dışsal manyetik alanın insanlar tarafından algılanabileceği ve bunun yeni bir duyu olduğunu öne sürmüştür [17], daha sonraki bir çalışmada ise duyu dışı algılamanın, dünya'nın manyetik alanında büyük düşmeler olduğunda daha belirgin olarak ortaya çıktığı ifade edilmiştir [18].



Şekil 9. İnsan bedeninden manyetik aktarım mekanizması

İnsan bedenindeki tüm kontrol sistemi beyin iç kısmındaki "talamus" ile ilişkilidir. Talamus; sensörlerden, omurilik (spinal cord) ve beyin sapından gelen (brain stem) uyarımları beyin zarı (cerebral cortex) na götüren anahtarlama ve toplama merkezi konumundadır. Bu sistem talamik ritmik jeneratör ya da "pacemaker" olarak adlandırılır. Ca iyonlarının, osilasyon yapan ve beyin dalgalarını tetikleyen özel talami kortikal nöronlara (sinir hücresi) yavaşça sızması sonrasında beyin dalgaları cerebral cortex e yayılır. Bu nöronlar Ca iyonlarına doyduğunda talamik osilasyon durur. 5-25 sn süren bu sessiz faz boyunca beyin dalgaları adeta boşta çalışma durumundadır. Hücrelerdeki Ca seviyesi,

nöronun tekrar osilasyon yapmasına izin verilen değere düştüğünde, talamik osilasyon yeniden başlar. EEG kayıtları, dalgaların beyinle sınırlı değil tüm sinir sistemine ve organizmanın tüm kısımlarına genişlediğini göstermektedir. Sonuç olarak beyin dalgalarının tüm sinir sisteminin aktivasyonu ve duyarlılığını ayarladığı söylenebilir. Beyin dalgaları talamus kontrolünde olmadığı zamanlarda, beyin alanı, doğal ya da yapay olarak üretilen, dışarıdan gelen elektrik ve manyetik ritimlerden (sinyallerden) etkilenebilir [19]. Bazı araştırmacılar, beyin dalgalarının talamus tarafından sürülmediği zamanlarda ve özellikle kişinin rahatlamış, meditasyon durumunda olduğu zamanlarda Schuman rezonansının "pacemaker" görevini devraldığını ifade etmişlerdir [13]. Şekil 9'da bu durumu şematik anlatan gösterim verilmiştir. Burada, Schuman rezonansı nedeniyle oluşan jeomanyetik alanın mikro değişimleri beyindeki pineal bez ve manyetik taşıyan dokular tarafından sezilmektedir. Serbest periyot boyunca (talamusun müdahalesinin olmadığı zamanlarda) Schuman rezonansı "pacemaker" görevini devralmakta, beyin dalgalarından 1000 kat daha güçlü bir dalga tüm beden boyunca perineural ve vascular sistem yardımıyla ellerden bioelektrik alan olarak çıkmaktadır. Sonuç olarak, insan bedeninin efektif bir anten ya da kanal gibi davranarak Schuman mikro pulsasyonlarını aktardığı ifade edilmektedir.

İnsan bedeninde ellerden çıkan manyetik alan miktarının, kendilerini biyoenerji uzmanı vb. şekilde tanımlayan (Burada, konuyu istismar eden sahte uzmanlar değil, kendilerini kanıtlamış gerçek uzmanlar kastedilmektedir.) insanlarda normal insanlara nazaran çok fazla olduğu gerçeğini – yaklaşık 1000 kat – açıklamak için Schumann yaklaşımı dışında başka teoriler de sunulmuştur. Ancak bu kategori içinde sunulan farklı yaklaşımların bugünün bilimsel alt yapısı ile anlatılabilmesi mümkün olmadığından bu çalışma kapsamında onlara değinilmemiştir.

5. SONUÇ

Günümüz bilim dünyası elektromanyetik alan ve dalgaların olası olumsuz etkilerini araştırmaya devam ederken, bir yandan çok düşük frekanslı (ELF) elektromanyetik alanların bir kısmının faydalı olabileceğini keşfetmiştir. Bu bilgiye bağlı olarak manyetik alan tedavi cihazları geliştirilmiştir.

Diğer yandan birçok uzak doğu ülkelerinde olmak üzere elleri ile şifa dağıttığını iddia eden ve kendilerini biyoenerji uzmanı, Qi Gong uygulayıcısı, enerji terapisti vb. isimlerle adlandıran birçok kişi bilim dünyası tarafından incelemeye alınmış, bu kişilerin ellerinden çok düşük frekanslı elektromanyetik alan bandının alt kısmına ait frekanslarda enerjinin yayıldığı tespiti yapılmıştır.

Günümüz dünyasında birçok ülkede biyoenerji vb. tedavi şekilleri tamamlayıcı tıp adı altında tanımlanmakta, kabul görmekte ve uygulanmaktadır. Türkiye'de Bakanlar Kurulu'nun 02.11.2011 tarih 28103 nolu resmi gazetede yayınladığı "Sağlık Bakanlığının teşkilat ve görevleri hakkında kanun hükmünde kararname" kapsamında, tamamlayıcı-alternatif tıp yöntemlerinin uygulamaya girmesini sağlayacak yeni bir dairenin kurulması sevindirici bir adım olarak algılanabilir. Bununla birlikte, Türkiye'de üniversiteler ve araştırma merkezlerinin de bu konuda bilimsel anlamda bir uzman kadro meydana

getirerek çalışmalar yapmaya başlamasının zorunlu hale geldiği söylenebilir.

6. KAYNAKÇA

- 1- J.L. Oschman, "Science and human energy field", Reiki News Magazine, vol 1, issue 3, 2002
- 2- http://ilkankavliak.blogcu.com/josephson_tunellemesi/787171
- 3- http://www2.nict.go.jp/advanced_ict/terahz/mwd/details/squid/squid_e.html
- 4- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/squid.html>
- 5- Quittan M, Schuhfried O, Wiesinger GF, Fialka-Moser V., "Clinical effectiveness of magnetic field therapy--a review of the literature", Acta Medica Austriaca ;27(3):61-8., 2000
- 6- Bassett CAL (1989): Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetic fields (PEMFs). Crit Rev Biomed Engineering 17:451-529.
- 7- Bassett CAL (1993): Therapeutic uses of electric and magnetic fields in orthopedics. In Carpenter DO (ed): "Biological Effects of Electric and Magnetic Fields." New York: Academic Press.
- 8- Bassett CAL, Pawluk RJ, et al (1974a): Augmentation of bone repair by inductively-coupled electromagnetic fields. Science 184:575-577.
- 9- Bassett CAL, Pawluk RJ, et al (1974b): Acceleration of fracture repair by electromagnetic fields (A surgically non-invasive method). Ann N Y Acad Sci 238:242-262.
- 10- Sisken BF, Walker J Therapeutic aspects of electromagnetic fields for soft-tissue healing. In: Blank M (ed) Electromagnetic fields. Biological interactions and mechanisms. Advances in Chemistry Series 250: 277-285, 1995
- 11- Zimmerman J, " Laying on-of hands healing and therapeutic touch: a testable theory BEMI currents", Journal of the Bioelectromagnetic institute vol 2, 8-17, 1990
- 12- <http://www.allthingshealing.com/Energy-Medicine/Science-and-The-Human-Energy-Field-/4263>
- 13- J.L. Oschman, "Energy Medicine: The Scientific Basis", Churchill Livingstone, 2000
- 14- James L. Oschman, "Silent pulses", Journal of Bodywork and Movement Therapies, 1(3), 179-194, 1997
- 15- Deuschlander ME et al. Extra ocular magnetic compass in newts. Nature 1999;400:324.
- 16- Demaine C & Semm P. The avian pineal gland as an independent magnetic sensor. Neurosci Lett 1985;62:119.
- 17- Persinger MA, Makarec K. Possible learned detection of exogenous brain frequency electromagnetic fields: a case study. Percept Mot Skills 1987;65(2):444-6.
- 18- Radin DI ve ark. Geomagnetism and psi in the ganzfeld. Journal of the Society for Psychological Research 1994; 59, (834):352-363.
- 19- J. Lipkova and J. Cechak, "Existence of Electromagnetic Radiation in Humans in ELF Band", Progress In Electromagnetics Research Symposium 2005, Hangzhou, China, August 22-26

Ev, Ofislerde GSM Frekanslı Radyasyondan Bireysel Korunma

Osman ÇEREZCİ¹, Selim ŞEKER²,

Şuayb YENER¹, Baha KANBEROĞLU¹, M. Hilmi NİŞANCI¹

¹Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Sakarya, Türkiye

²Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye
cerezci@sakarya.edu.tr

Özet: Bağışıklık sistemi zayıf ve hassas insanlar yaşadıkları mekanlarda farkına varmadan baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik radyasyondan sağlıklı kişilere göre daha fazla etkilenebilirler. Limit değerlerin çok altında bile olsa elektromanyetik radyasyonun insan vücudu ile biyolojik etkileşimi dolayısıyla hastalara, yaşlılara ve gelişim sürecindeki çocuklara olumsuz etki etme riski bilimsel araştırmalarda vurgulanmaktadır [1].

Hayatın günlük seyri içinde önemli bir zaman diliminin evlerde geçmesi nedeniyle yasal prosedürlerin yetersiz kaldığı durumlarda elektromanyetik alanlarda korunma için bireysel önlemler alınması bazen ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada bina içi (indoor) ortamlarda GSM frekanslı elektromanyetik radyasyondan korunma yöntemi olan ekranlama (shielding) teorisinin genel bir yaklaşımı ve yapılan bir uygulaması tanıtılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ekranlama, elektromanyetik radyasyon, GSM baz istasyonu

1 GİRİŞ

Elektriksel enerjinin her alanda yoğun kullanılması ve iletişim araçlarımızın hızla artması ile birlikte GSM operatörlerinin baz istasyonlardan yayılan sinyaller ile en az kayıpla en fazla aboneye hizmet sunmak istemeleri; ev ve ofislerimizde elektromanyetik radyasyon isimli enerji dalgasının çevremizde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Elektromanyetik radyasyon cep telefonu konuşması yapmasak bile yakınlardaki baz istasyonu antenlerinden evlerimize davetsizce gelir. Ayrıca, evimiz yüksek gerilim hattına veya trafoya yakınsa bu defa da ELF frekansında davetsiz misafirlerimiz olur. İstemediğimiz başka davetsiz elektromanyetik alanlarda yanı başımızda bulunabilir. Acaba elektromanyetik radyasyonla birlikte yaşama riski nedir? Zararlı olabilir mi? Baz istasyonları için çıkarılan yönetmeliklerin mutlak koruyucu olduğu söylenebilir mi? Bu sorunun cevabı farklı kesimlerden farklı yaklaşımlarla verilmektedir ve çelişkiler oluşturmaktadır. GSM sektörü tarafından bu olaya bakıldığında; cansız modeller üzerinde yapılan araştırmalar referans verilerek baz istasyonlarının

olumsuz etkisinin olmadığını ileri sürülmektedir. Bazı bilim adamları ise baz istasyonu kaynaklı EMR değerlerinin evlerimizde çok düşük seviyede olduğunu belirterek; bu haliyle olumsuz bir durum olamayacağı görüşündedirler. Ayrıca cep telefonlarının daha fazla EMR yayması nedeniyle uzun süreli konuşmalara bağlı olarak olumsuz etkiyi baz istasyonlarının değil cep telefonlarının yapacağını söylemektedirler [2]

Burada bir çelişkili duruma dikkat çekmek gerekir. Cep telefonu ile konuşma yapan bir kişi özgür iradesini kullanarak elektromanyetik radyasyona maruz kalıyor. Halbuki insanlar evlerinde cep telefonu konuşması yapmadan bazen cep telefonundan daha şiddetli seviyede elektromanyetik radyasyona maruz kalabilir. Günümüzde yeni nesil cep telefonları 15 V/m gibi değerlerin altında EMR yayarak çalışmaktadır ve SAR testleri yapılırken de bu değerlerle test edilmektedir. Halbuki baz istasyonları limitlerine bakarsak evlerimize girmesine izin verilen EMR seviyesi 61 V/m'dir. Bu sınıra rağmen, bugüne kadar yapmış olduğumuz baz istasyonu ölçüm çalışmalarında 25-30 V/m değerini geçen evler çıkmamıştır. Yapılan araştırma verilerine göre bu değerlerde ışınlama yapan baz istasyonu ölçüm sayısı az sayıda olup tüm ölçüm değerlerine göre %3 oranındadır [3]. Ancak son yıllarda baz istasyonu sayılarının artması ve sokak aydınlatma direklerine ve parklara sıkça yerleştirilmesi dolayısıyla elektromanyetik radyasyon seviyesinde bağlı bir artış olmaktadır. Sayısı az da olsa kaç ev 3 birim üzerine EMR değerleriyle ışınlanmaktadır ve bu gerekli bir durum mudur sorgulanmalıdır. Yaptığımız çalışmalara göre Türkiye'de sayısı 80000'i bulan baz istasyonlarının %2-3'ü Türkiye ortalamasının üst limiti olan 3 V/m'nin üzerinde bir şiddetle evlerimizde istem dışı EMR maruziyeti oluşturmaktadır [4, 5]. Bu durumda olan evlerde yaşayan insanların sağlıklı ortamlarda bulduklarını söylemek mümkün müdür? Sağlıklı bina ve çevreden ne anlıyoruz? Sağlık ve güvenlik ile ilgili birçok sınırlamalar mevcut iken duyularımızla çevremizden aldığımız uyarılarla yaşadığımız dünyada gerçek kalitenin sağladığını söyleyebilir miyiz?

Çevremiz hareketli-hareketsiz fiziksel nesnelere doludur. Hava, ses, elektromanyetik radyasyon patenleri çevremizde bulunmaktadır. Elektromanyetik alanların biyolojik etkileşim dolayısıyla hasta insanlara ve çocuklara olumsuz etki etme riski de gözletilmelidir. Evlerde özellikle sürekli bulunan çocuklar, ev hanımları, yaşlı ve hasta insanlar yani bağışıklık sistemi zayıf ve dış olumsuz etkilere yatkın kitle limit değerler hazırlanırken dikkate alınmamış ve limitler ısı parametresi dikkate alınarak sağlıklı insanlar için hazırlanmıştır. Okullarımız için de bu durum gözletilmelidir. İlköğretim, kreş ve anaokullarındaki elektromanyetik radyasyon seviyesi hakkında hangi yetkili makam bir rakam verebilir? Çocuklarımız; ruhsal ve fizyolojik gelişimlerini sağlıklı ve hijyenik ortamlarda sürdürme haklarına sahiptirler. Ülkemizde bu nitelikte elektromanyetik kirlilikten uzak kaç tane okul bulunmaktadır?

Baz istasyonu kurulumunda çalışan personelin EMR'ye maruziyeti de dikkat edilmesi gereken bir husustur [6]. Baz istasyonu kurulum aşamasında çalışan personel baz antenini karşısında saatlerce EMR'ye maruz kalırken ne gibi önlemler uygulanmaktadır? Hiçbir önlem alınmadan çalışan işçileri baz anteni karşısında çalışırken gördüğümüzde üzülmemek mümkün mü? Son zamanlarda yapılan ve saygın bilim insanlarının yaptığı çalışmaların bulunduğu Bioinitiative 2012 raporunda limitlerin altındaki maruziyetler hakkında ciddi bulgular verilmektedir [6]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) de elektromanyetik alanları kanser yapıcı ajanlar sınıfına almıştır. Bu durumda ev, okul ve ofislerimizdeki EMR değerlerini bilmemeye veya öğrenmemeye razı olacak mıyız? EU- 2004/40 standardına göre Avrupa'da tüm işyerleri ve hastanelere çalışanların ve hastaların maruz kaldığı elektromanyetik alan seviyelerinin ölçüm yapılarak belirlenmesini zorunluluğu getirilmiştir. Ülkemizde kaç işveren bu konuda yeterli duyarlılık göstermektedir?

Yönetmeliklerimizin yüksek gerilim hatlarının altına ev yapımına izni verir içerikte olması ayrı bir sorundur. Kısacası elektromanyetik kirlilikten etkilenmeden yaşayabilmek için yönetimsel tedbirlerin etkisiz kalacağını bilerek bireysel önlemleri de düşünmek gerekir. Bireysel önlemlerden birisi ev alırken çevrede yüksek gerilim hattının ve baz istasyonu antenlerinin kaç metre uzakta olduğuna dair gözlem yapılmalıdır. Ayrıca bağımsız kurumlar olan üniversitelere başvurularak EMR ölçümü yaptırılmalıdır. Sakarya Üniversitesi bu konuda her frekansta 20 yılı aşkın süredir ölçüm yapmakta olup uzman kuruluştur [7]. Yapılan ölçümler sonucunda evlerde önlem alınmasını

gerektirebilecek seviyede EMR tespit edilirse yapılacak inceleme doğrultusunda azaltıcı uygulama yapılabilir. Örneğin; İstanbul'da bir evde 4-5 V/m değerlerinde olan baz istasyonu kaynaklı EMR değeri ekranlayıcı perde kullanılarak Şekil 1'de görüldüğü gibi 0.80 V/m değerine indirilmiştir. Elektromanyetik alanın azaltılmasında uygulanacak bölgenin fiziksel durumuna göre boya, kumaş perde gibi değişik ürünler uygulanmaktadır.

2 ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN ENGELLENMESİ

Ekran kelimesi elektromanyetik radyasyondan korunmak için üretilen engelleyici levha veya malzemeyi tanımlar. Günümüzde askeri alanda elektronik sistemlerin doğru çalışması sağlamak, elektromanyetik harp kapsamında gizli bilgilerin dış elektromanyetik radyasyondan korumak, üretilen her elektriksel cihazdan kaynaklanan ve günümüzde çevremizi dolduran özellikle GSM ve ELF frekanslı elektromanyetik radyasyonu odalarımızda veya çocukların çevresinde azaltmak için ekranlama malzemeleri kullanılmaktadır. Ekran olarak kullanılacak olan malzeme gelen elektromanyetik dalganın bir kısmını soğurur (tutar), bir kısmını geçirir ve bir kısmını da geri yansıtır. Bu şekilde kullanılan malzemeler için yüksek frekanslarda elektromanyetik radyasyona karşı koyuculuk (ekranlama) etkisi (SE) tanımlanır. Ekranlayıcı malzemeye gelen elektromanyetik radyasyonun şiddetinin azaltılması desibel birimiyle ekranlama etkisi [8];

$$SE = R + A + M \text{ (dB)} \quad (1)$$

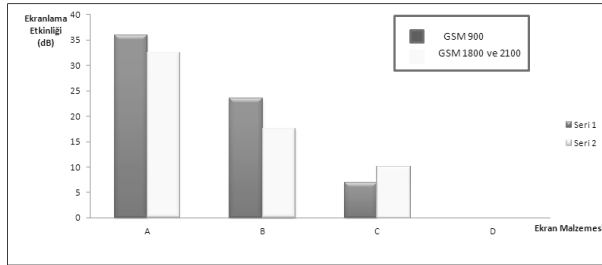
bağıntısı ile tanımlanır. Burada R; yansıma, A; soğurma ve M ise (tekrar yansıma kayıplarını ifade eden) düzeltme terimlerdir. Yüksek frekanslarda ekranlama gelen elektromanyetik radyasyonun elektriksel alan bileşeni üzerinden tasarlanır. Pratik olarak ekranlama etkinliği (verimi), ekranlayıcı malzemeye gelen elektromanyetik dalganın elektriksel alan şiddetinin ekrandan geçen alan şiddetine oranı şeklinde hesaplanır.

$$SE = 20 \times \log \frac{E_1}{E_2} \text{ (dB)} \quad (2)$$

Burada E_1 ve E_2 sırasıyla ekrana gelen ve ekrandan geçen elektrik alan şiddetleridir. Ayrıca ekranlama etkinliği ekrana gelen ve ekrandan geçen dalganın elektromanyetik güçlerinin oranından faydalanılarak

$$SE = 10 \times \log \frac{P_1}{P_2} \text{ (dB)} \quad (3)$$

bağıntısı ile tanımlanabilir. 3 dB zayıflama, gelen dalganın gücünün %50 azaldığını, 10 dB'lik bir ekranlama etkisi ise gelen dalganın gücünün %90 oranında zayıfladığını ifade etmektedir. İdeal ekranlayıcılar için (elektrik alanı zayıflaması için) 100 dB seviyesi kullanılır. Bunun anlamı gelen EM radyasyonun elektriksel alanı 1/100000 oranında zayıflatılması demektir. Çelik, bakır gibi malzemelerden yapılmış sızıntı yapmayacak şekilde bütünleşmiş kutu şeklindeki tasarımlar bu seviyede ekran özelliği sağlayabilmektedir. Genel olarak elektrik alan ekranlanması için 30 dB seviyesinde (elektromanyetik güç karşılığı bir ekranlama) pratikte yeterli ortalama bir değer etkin ekran değeri olarak tanımlanmaktadır. Metalik kumaşlar genellikle bu seviyede ekranlama yaparlar. Yüksek seviyede ekranlamalar askeri sistemler ve önemli ve stratejik bilgilerin bulunduğu ortamlar için yapılır. Bir yapı için ekranlama; ekranlama için kullanılacak malzemenin gelen elektromanyetik dalgayı yutma, geçirme ve filtreleme gibi birkaç fonksiyonu yerine getirmesi ile optimize edilir. Ancak bu fonksiyonların yerine getirilmesi bina malzemesinde yapılacak değişiklikler ile sağlanabilir. Örneğin çatı yalıtımında ekranlayıcı malzeme olarak RF ekranlama yapan kumaş vb. kullanılabilir. Şekil 1'de bazı ev yapımında kullanılan malzemelerin GSM frekanslarında ekranlama etkinlikleri gösterilmiştir [9].



Şekil 1. Binalarda kullanılan ekranlayıcı ürünlerin ekranlama etkinlikleri A: Swiss Shield 18, B: G-ES metal örgülü harç, C: Ladin ve köknar, D: Termal yalıtım malzemeleri (strafor, sunta, şıngıl)

Şekilde A ile işaretli malzeme Swiss Shield 18 ürünü olup ekranlama düzeyi 30 dB'den daha yüksektir. Metal fiber katkılı pamuk kumaştan yapılmış bu ürün genellikle perde yapımında kullanılır. B ile gösterilen malzeme ince tabakadan oluşan harç içine katılmış G-ES kullanılarak hazırlanmış metal örgüden oluşan bir ekranlamayı göstermektedir. Bu malzemenin zayıflatma etkisi 2 GHz frekansına kadar 17 dB olabilmektedir. Şekilde C ile işaretli malzeme ev yapımında kullanılan ve diğer ağaçlara göre reçine oranı yüksek olan ladin ve köknarın baz istasyonu frekanslı elektromanyetik radyasyona karşı ekranlama etkinliği gösterilmektedir. Yine şekilde D ile gösterilen malzemeler binalarda

termal yalıtım için kullanılan strafor, sunta, çatı kiremitleri, şıngıl gibi malzemelerdir. Görüldüğü gibi bu tür malzemelerin GSM frekanslı elektromanyetik dalgaları engelleyici bir özelliği bulunmamaktadır.

GSM frekanslı elektromanyetik radyasyondan ev ve ofislerin korunması; baz istasyonlarının çevresindeki elektromanyetik alanlar ile ev ve ofislerin baz istasyonuna olan mesafesine bağlı olarak iki ayrı bölgede incelenir. Bunlardan birincisi baz anteninin çok yakınındaki alan olup yaklaşık antenden itibaren $2L^2 / \lambda$ mesafeye kadar bölgeyi tanımlar. Burada L anten boyunu, λ ise gelen rf frekanslı radyasyonun dalga boyunu gösterir. Yakın alanda manyetik alan elektrik alana göre daha etkin olup kaynağın özelliklerine bağlı olarak elektrik (E) ve manyetik (H) alanlar olarak ayrı ayrı incelenir. Yakın alan içinde oluşan çok şiddetli elektromanyetik alan nedeniyle bu bölgede bulunmak tehlikelidir. Bu bölge içinde çalışmak durumunda olan personel için özel olarak ekranlayıcı giysiler kullanması gerekir. Yakın alanın dışındaki alan, uzak alan olarak isimlendirilir ve bu bölgede elektrik (E) ve manyetik (H) alanlar arasında $E/H = Z_0$ bağıntısı vardır. Burada $Z_0 = 377$ ohm olup boşluk için empedansı gösterir. Frekansı f olan bir elektromanyetik dalga manyetik bağıl geçirgenliği μ_r ve bağıl iletkenliği σ_r olan ekranlayıcı bir malzemeye çarptığında empedans;

$$Z_s = 3.68 \times 10^7 \times \sqrt{\frac{\mu_r}{\sigma_r}} \times \sqrt{f} \quad (4)$$

ile tanımlanır. Ekranlama işlemi yapacak malzemenin özelliği gelen dalganın elektrik veya manyetik alanını soğurmasıdır. Elektromanyetik dalganın ekran malzemesi içinde ilerlerken dalganın genliğinin %37 azalmasına karşı gelen mesafeye deri kalınlığı denir ve δ sembolü ile gösterilir. Bağıntısı

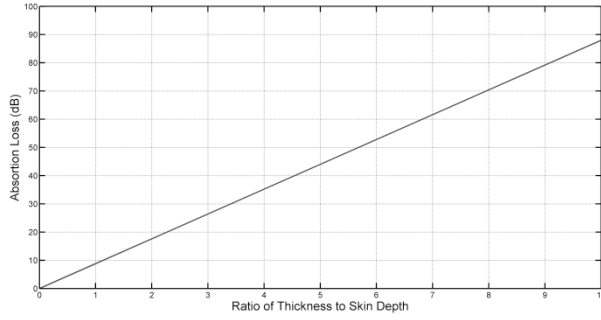
$$\delta = \frac{2}{\sqrt{w\mu\sigma}} \quad (5)$$

ile ifade edilir.

(1) bağıntısında tanımlanan soğurma kaybı kalınlığı t olan bir iletken ekran için

$$A = 8.69 \times \frac{t}{\delta} \quad (dB) \quad (6)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Malzemelerin kalınlıkları arttıkça soğurucu özelliği de büyür [10-12].



Şekil 2. Deri kalınlığı oranına göre ekranlayıcı malzemenin yutuculuk değişimi

(1) bağıntısındaki R yansıma kaybı; ekran malzemesi ile ekranın önündeki ortamın empedansları ile ilişkilidir. Z_w ekranın önündeki ortamın, Z_s da ekran malzemesinin empedansı olmak üzere;

$$R = 20 \times \log\left(\frac{Z_w}{Z_s}\right) \quad (7)$$

ile hesaplanır. M düzeltme terimi ise

$$M = 20 \times \log\left(1 - e^{-\frac{2t}{\delta}}\right) \quad (8)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

3. GSM FREKANSLI RADYASYON İÇİN BİR UYGULAMA VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sakarya Üniversitesi'nde kurulmuş olan Elektromanyetik Araştırma Merkezi Laboratuvarı "SEMAM" Türkiye'nin her bölgesinde elektromanyetik radyasyon ölçüm hizmeti ve elektromanyetik radyasyondan korunma konusunda vatandaşlara ve kurumlara olabilecek en uygun çözüm yollarını göstererek hizmet sunmaktadır. Ayrıca SEMAM laboratuvarında ekranlayıcı ürünlerin ve elektriksel cihazların EMC testlerini yapmaktadır. Tablo 1'de bu alanda yapılan çalışmalardan bir örnek sunulmuştur. Yapılan bu çalışmada baz istasyonu anteninden 35 metre uzaklıkta bulunan bir evde günün saatlerine göre değişen 3-4 V/m değerlerinde GSM frekanslı elektromanyetik radyasyon tespit edilmiştir. Ev sahibinin talebi üzerine ekranlayıcı özellikte olan tül perde kullanılarak elektromanyetik radyasyon değerlerinin %70 oranında düşürülmesi sağlanmıştır.

Ev, ofis okul, hastane gibi insanların sürekli bulunmak durumunda olduğu kapalı duyarlı alanlar olarak tanımlanır. İsviçre gibi bazı ülkeler duyarlı mekanlar olan bu yaşam alanları için ülkemizde uygulanmakta olan ICNIRP limitlerini [13] %10 oranında düşürerek uygulamaktadır. Bu nedenle ev ve ofislerde İsviçre'de toplam GSM frekanslı radyasyon 4 V/m'yi geçmemektedir. Ülkemizde uygulanan yönetmeliklerde

61 V/m'ye yükselbilmesine izin verildiği için evlerde bazen limitlerin altında olmasına rağmen 25 V/m'ye kadar çıkan GSM frekanslı elektromanyetik radyasyon görülebilmektedir. Bu seviyelerde elektromanyetik radyasyondan etkilenme riski taşıyanlar için piyasada perde ve boya türünde çeşitli ürünler bulunmaktadır. Bu uygulamayı yaptırmak isteyenler bağımsız ölçüm yapan Sakarya Üniversitesi'nden ekran malzemesi seçiminde, uygulanmasında ve daha sonraki kontrol ölçümleri için hizmet alabilirler. Önce evlerindeki iç ve dış kaynaklı EMR seviyesini frekansları ile birlikte tespit ettirmeleri gerekir. Bu çalışmayı da Sakarya Üniversitesi yapmaktadır.

Tablo 1. GSM frekanslı elektromanyetik maruziyet için ev içinde ekranlama uygulaması

Ölçüm No	Ölçüm Yapılan Mekan	Ölçüm Değeri (Ekranlama yokken)	Ölçüm Değeri (Ekranlama var)	Korunma düzeyi (%)
		Elektrik Alan (V/m)	Elektrik Alan (V/m)	
1	Salon pencere önü	3,56	0,93	73,9
	Salon orta nokta	3,01	0,85	71,8
2	Mutfak pencere önü	2,75	0,78	71,6
	Mutfak orta nokta	1,92	0,57	70,3
3	Çocuk Odası pencere önü	2,47	0,67	72,9
	Çocuk Odası yatak üstü	1,85	0,53	71,4
4	Yatak Odası pencere önü	2,88	0,49	83,0
	Yatak Odası orta nokta	1,59	0,50	68,6
5	Misafir Odası pencere önü	2,11	0,61	71,4
	Misafir Odası orta nokta	1,83	0,56	69,4

Ev ve hastaneler için 30 dB seviyesinde ekranlama yapan perdeler kullanılabilir. Uygulama yapılacak olan evlerde 6 dakikalık ölçüm yerine daha uzun süreli ve günün değişik saatlerinde tekrarlı kontrol ölçümleri yapılarak değerler analiz edilmeli ve ekranlayıcı tül perdeler veya diğer malzemelerin seçimi yapılmalıdır. Ölçüm yapılan cihazlar sadece GSM frekansına tepkili olması inceleme çalışması için yeterli değildir. Indoor ortam kaynaklı elektromanyetik alan değerlerini de tespit etmek için farklı cihazlar ile araştırma yapılmalıdır. Ölçüm cihazlarının kalibrasyonu mevcut olmalıdır. RF dalgalardan korunma; ekranlama yapılacak bölgenin fiziksel durumu dikkate alınarak genel veya özel mekan amaçlı olmak üzere iki şekilde tasarlanır. Baz istasyonları anteninden yayılan dalgalar özellikle antenin bakış yönünde olduğu için ekranlama uygulamasında mümkün olduğu kadar elektromanyetik

radasyonun evin içine giriş yaptığı pencere ve duvarların bulunduğu yerlerin kaplayıcı malzeme ile açıklık kalmayacak şekilde kapatılmasına dikkat edilmelidir. Eğer topraklama yapılması gerekiyorsa 4-8 ohm gibi değerlerde topraklama işlemi yapılmalıdır.

4. SONUÇ

RF frekansında ev ve ofis ortamında ekranlama için kullanılan malzemeler kullanılacak yerlere göre değişik özellikler içerir. Örneğin; ekranlama malzemesi giysi olarak kullanılacaksa esnek ekranlayıcı malzemeler kullanılır. Alerjisi olan insanlar için ekranlama malzemesinin içeriği incelenerek tercih yapılabilir. Genel olarak ekranlama yapan malzemelerin büyük çoğunluğu yansıtma etkisi dominant karakterli olduğundan iletken yüzeylidirler. Bakır üstüne gümüş kaplanmış elyaftan yapılmış kumaşlar bu özelliğe sahiptirler. Cam gibi özel yüzeylerde karbon nanotüp, İndTiO₂ kaplamalar veya metal buhar filmler kullanılır. Aynı zamanda özel boyalar da mevcuttur. Üzerinde baz istasyonu bulunan binaların üst kat dairelerine çatıda özel ekranlayıcı boyalar ile ekranlama yapılmaktadır.

Ekranlayıcı malzemeler laboratuvar ortamında test edilerek ekranlama etkinlikleri belirlenir. Ancak uygulanacak olan mekanlarda bulunan eşyalar, ekranlama malzemelerinin (perde, boya) özelliğini kısmen de olsa ideal durumdan saptırabilir. Pencere veya pencere açıklıkları, kapılar, bina yapım malzemeleri RF frekanslı radasyonun geçiş yolları olabilir. Bir mekanda yapılan ölçümlerde: Ölçümü yapan personelin bu konuda bilgili olması en uygun ekranlayıcı ürünün seçiminde önemlidir. İletken malzemelerden oluşan ekran seçilecekse ev içinde akım taşıyan kablolar gibi elektriksel potansiyel noktaları dikkate alınmalıdır. Sakarya Üniversitesi Elektromanyetik Araştırma Merkezi Laboratuvarı "SEMAM" talep edildiğinde; ev ve ofislerde istenmeyen seviyelerdeki elektromanyetik radasyonun azaltılması ve kontrol edilmesi konusunda gerekli hizmeti sunmaktadır.

REFERANSLAR

- [1] Şeker, S., "Cep Tehlikesi" Hayy Kitap, 2009.
- [2] Türkiye EMA 2010 Maruziyet raporu. www.btk.gov.tr
- [3] İstanbul Kadıköy Belediyesi 2012 GSM kaynaklı EMR Raporu.
- [4] Nilüfer Belediyesi Elektromanyetik Kirlilik raporu 2012. (www.nilufer.bel.tr)
- [5] Türkan, A., Çerezci, O. Pala, K., "Elektromanyetik Alanlar ve Sağlık Etkileri", Nilüfer Belediyesi yayınları 2012.

- [6] Bioinitiative report 2012. <http://www.bioinitiative.org/report/wp-content/uploads/pdfs/BioInitiativeReport2012.pdf>
- [7] Uluaydın, K., Şeker, S., "Elektromanyetik alanlardan korunma ve Kalkanlama Uygulamaları" Emanet 2011.
- [8] Çerezci O. Şeker, S., "Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik standartları ve Korunma Yöntemleri", Boğaziçi Üniversitesi, 1991.
- [9] Çerezci, O., "Ekranlama Teorisi ve Uygulamaları" TMMOB EMO dergisi 1989. Ankara.
- [10] C. Derek, " Electromagnetic Environments and Health in Buildings", Spot Press, 2004.
- [11] Şeker, S., Çerezci, O., "Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları", 1995, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.
- [12] W.Ott. H., "Electromagnetic Compatibility Engineering" Wiley Publication, 2009.
- [13] ICNIRP Guidelines, "Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic, And Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz)", Health Physics 74 (4), pp 494-522, 1998.

Baz İstasyonu Değişikliklerinin GSM-900 ve UMTS-2100 Standartlarına Olan Etkisi ve Ölçüm Sonuçları

Tayfun Nesimoğlu, Kadri Ballı*

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs Kampusu, Kalkanlı, Güzelyurt, KKTC, Mersin 10, Türkiye
ntayfun@metu.edu.tr

*Kıbrıs Türk Elektrik Mühendisleri Odası, Lefkoşa, KKTC, Mersin 10, Türkiye
kadri.balli@ktemo.org

Özet - Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs Kampüsünde (ODTÜ-KKK), iki adet baz istasyonu bulunmaktadır. Bunlar Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde (KKTC) faaliyet gösteren yerel iletişim operatörlerine ait 2G (GSM-900 MHz) ve 3G (UMTS-2100 MHz) standartlarında hizmet veren istasyonlardır. İletişim operatörlerinden birinin sinyal seviyesindeki düşüklükten dolayı ses ve veri iletimindeki kalitenin yetersiz kalması nedeni ile kampüs yönetimine ve iletişim operatörüne kullanıcılar tarafından şikâyetlerde bulunulmuştur. İlgili operatör bunun üzerine, baz istasyonunda anten, yükselteç ve diğer hiçbir elektronik ekipman üzerinde değişiklik yapmadığını beyan ederek, sadece baz istasyonun anten sistemi yüksekliğini 2 metre artırmıştır. Bu işlem gerçekleştirilmeden önceki ve sonraki Elektrik Alan Şiddeti ve Güç Yoğunluğu ölçümleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1. ELEKTROMANYETİK ALANLAR, ULUSLARARASI STANDARTLAR VE KKTC'DEKİ SINIR DEĞERLER

EM alanlara maruziyette sınır değerleri belirlenmesi konusunda Dünya ve Avrupa ülkelerinin referans olarak aldığı kurumların başında ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection / Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) gelmektedir. Uluslararası alanda bu kuruluşca belirlenen sınır değerler, birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde oldukça yaygın bir şekilde kabul görmektedir. ICNIRP, WHO (World Health Organization / Dünya Sağlık Örgütü) ve ILO (International Labour Organization / Uluslararası Çalışma Örgütü) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. ICNIRP Kılavuzu'nda (ICNIRP Guidelines) yer alan çalışmalar, üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili diğer bilim insanlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütülmüştür.

Mikrodalga frekanslarındaki iyonlaştırıcı olmayan ışınım'a ilişkin bilgiler çeşitli nedenlerle kamuoyuna oldukça yanlış aktarılabilmektedir. Oysa, yüksek ya da düşük frekanslarda çalışan tüm elektrikli cihazlar bu

ışınımı belli ölçülerde yaymaktadır. ICNIRP özellikle kablosuz iletişim teknolojilerine ilişkin standartları belirlemiştir. KKTC'de yetkili kurum olan Bilgi Teknolojileri ve Haberleşme Kurumu (BTHK), AB ülkelerinin de tercih ettiği ve dünyada en çok kabul gören otorite olan ICNIRP'yi referans almaktadır. Buna bağlı olarak ICNIRP tarafından GSM 900 MHz bandında çalışan baz istasyonları için belirlenen ortamın toplam sınır değeri 41.1 V/m olup, KKTC'de de bu değerler BTHK tarafından kabul edilmiştir. KKTC'de uygulamada olan GSM-900, GSM-1800 ve UMTS-2100 MHz'deki 'ortamın toplam' ve 'tek bir cihaz' için olan sınır değerleri TABLO 1'de verilmiştir.

TABLO 1: KKTC'DE GSM-900, GSM-1800 VE UMTS-2100 MHz FREKANS BANDINDAKİ BAZ İSTASYONLARINDA ERİŞİLEBİLİR YERLER İÇİN İZİN VERİLEN SINIR DEĞERLER.

Frekans	900 MHz (2G)	
	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değeri
Elektrik Alan Şiddeti	41.1 V/m	10,23 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0.1092 A/m	0,027 A/m
Ortalama Güç Yoğunluğu	4.5 W/m ²	0.28 W/m ²

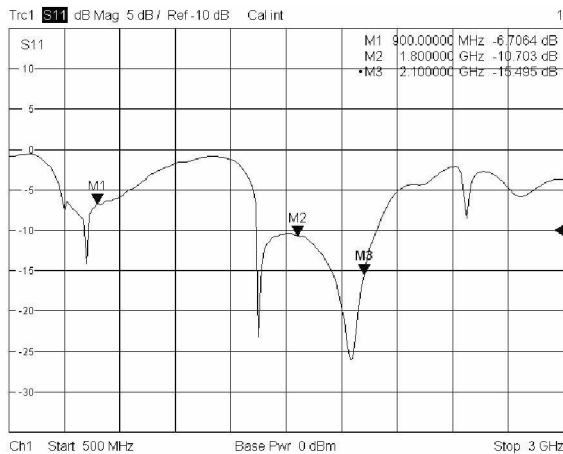
Frekans	1800 MHz (2G)	
	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değeri
Elektrik Alan Şiddeti	58.1 V/m	14,47 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0.1544 A/m	0,038 A/m
Ortalama Güç Yoğunluğu	9.0 W/m ²	0.56 W/m ²

Frekans	2100 MHz (3G)	
	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değeri
Elektrik Alan Şiddeti	61 V/m	15 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0.16 A/m	0.04 A/m
Ortalama Güç Yoğunluğu	10 W/m ²	0.625 W/m ²

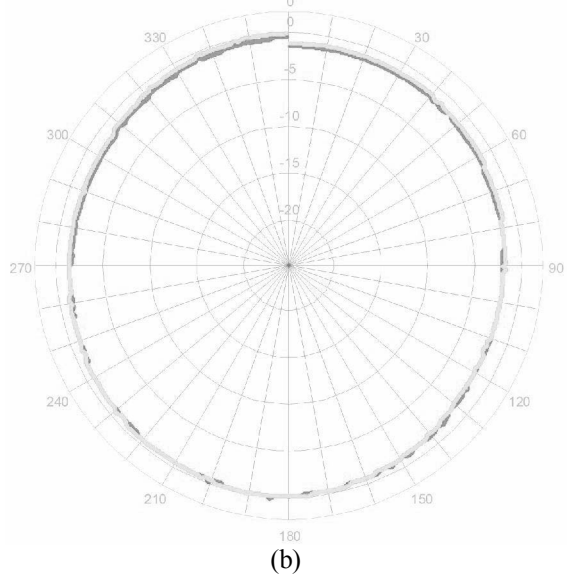
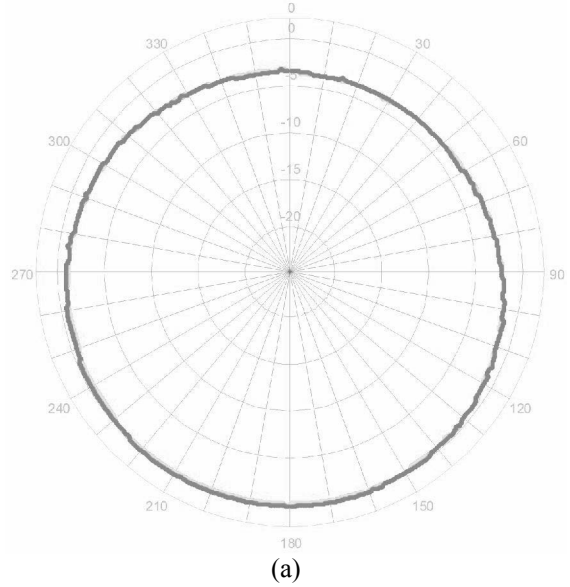
ICNIRP tarafından belirlenen sınır değerler, birer öneridir ve her ülke kendi sınır değerlerini belirlemek durumundadır. Örneğin, İsviçre’de tek bir baz istasyonu anteni için sınır değeri 900 MHz’te 0,042 W/m² (4,0 V/m) ve 1800 MHz’te 0,095 W/m² (6,0 V/m) olarak uygulanmaktadır. İsviçre, *ortamın toplam elektrik alan şiddeti* sınır değeri olarak ICNIRP standartlarını kabul etmiştir. İtalya, günde 4 saatin altında maruz kalınan durumlar için sınır değer olarak 1,0 W/m² (19,4 V/m), 4 saatin üstü için 0,1 W/m² (6,1 V/m) olarak belirlemiştir. Ayrıca, İtalya’da yerel yönetimlere bu sınır değerleri düşürme yetkisi de verilmiştir. Bazı ülkelerde sınır değerler çok düşüktür. Örneğin, Rusya’da sınır değerler 900 MHz’te 0,024 W/m² (3,0 V/m)’dir. Çin’de sınır değerler 900 MHz’te 0,066 W/m² (5,0 V/m)’dir.

2. ODTÜ-KKK BAZ İSTASYONU ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN CİHAZ, ANTEN VE ÖZELLİKLERİ

Ölçümlerde SPECTRAN HF-6085 V4 spektrum analizörü, OmniLog 90200 anteni ile kullanılmıştır. OmniLog 90200 antenin ışınım karakteristikleri ve giriş yansımaya katsayısı (S11) ODTU-KKK Radyo Frekansı ve Telekomünikasyon Laboratuvarındaki olanaklarla (RFTL) [1] ölçülmüştür. Rohde and Schwarz VNA ile antenin giriş yansımaya katsayısı 500-3000 MHz aralığında ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 1 de gösterilmiştir. Sonuçlardan antenin GSM-900 MHz, GSM-1800 MHz ve UMTS-2100 MHz bantları için tasarlandığı ve S11 değerlerinin buna uygun olduğu gözlemlenmektedir. RFTL’de antenin ışınım karakteristikleri 1200 ve 1800 MHz de ölçülmüştür. Bu frekansların her birinde iki ölçüm yapılmış ve elde edilen sonuçlar her frekans için aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2). Bunun amacı yapılan ölçümlerin tekrarlanabilir olduğunu göstermektir. Üretici firma tarafından verilen ve RFTL de alınan ölçüm sonuçları örtüşmektedir [2]; anten yatay ekseninde izotropiğe yakındır.



Şekil 1: Antenin 500-3000 MHz aralığında ölçülmüş giriş yansımaya katsayısı karakteristikleri.



Şekil 2: Antenin ölçülmüş ışınım karakteristikleri:
a) 1200 MHz, b) 1800 MHz.

2.1. Yapılan Çalışma ve Teknik Bilgi

İlgili iletişim operatörü ODTÜ-KKK’daki üç sektörlü 2G ve 3G baz istasyonunu, GSM 900 MHz (2G) standardı için Ericsson RBS 2206 türü bir kabin [3], UMTS 2100 GHz (3G) standardı için Ericsson RBS 3206 türü bir kabin [4] ve her sektörü çift kipli (790-960 MHz ve 1710-2180 MHz) Kathrein K-742-264 tipi birer (toplam üç) antenle monte etmiştir [5]. Baz istasyonunun topraklama direnci 5 Ω un altındadır ve yakınlarında paratoner mevcuttur. Baz istasyonu üç sektörlüdür, her sektör için; 900 MHz de anten kazancı 17 dBi’dir ve kabinden her sektörün antenine ulaştırılan RF gücü GSM için 6.61 W olarak hesaplanmıştır. Ericsson RBS 2206 (GSM) türü kabinin maksimum katalog çıkış gücü her sektör için 15.85 W’dır. Antenlere verilen mekanik ve elektronik eğim 0° dir. Baz istasyonu binanın çatısına ve yerden 15 metre yükseklikte kurulmuştur. Antenlere bağlanan

RF kablosu LCF-1/2 inç düşük kayıplı 50 Ω luk koaksiyal bir kablodur ve uzunluğu 25 metre olarak kaydedilmiştir [6]. GSM bandında çalışan tek cihaz için elektrik alanı sınır değeri olan 10.23 V/m referans alınarak yapılan hesaplara göre baz istasyonunun güvenlik mesafesi 9.74 metre dir. Bu mesafe içerisinde ve antenlerin karşısında herhangi bir ofis, sınıf veya sağlık kuruluşu mevcut değildir. Baz istasyonuna normal şartlarda bu mesafeden daha fazla yaklaşmak mümkün değildir. Çatı üzerinde ve baz istasyonunun altında elektromanyetik alanı kalkanlamak veya yansıtmak için herhangi bir levha kullanılmamıştır.

TABLO 2: SPECTRAN SPEKTRUM ANALİZÖR VE KULLANILAN ANTENİN ÖZELLİKLERİ.

Taşınabilir Spektrum Analizörün Özellikleri	Dairesel İzotropik Genişband Anten Özellikleri
Frekans Sahası: 10 MHz – 8 GHz	OmniLog 90200: Özellikle GSM, UMTS ve 2,4 GHz WLAN
Tipik Gürültü Seviyesi: -120 dBm	Tasarım: Çok-yönlü
En Yüksek ölçme seviyesi: 10 dBm	Empedans: 50 Ohm
Filtre Bant Genişliği (En Düşük): 1 kHz	Frekans Sahası: 700 MHz - 2,5 GHz
Filtre Bant Genişliği (En Yüksek): 50 MHz	VSWR (tipik): < 3:1
Tipik Hassasiyet (Ana cihaz): +/- 2 dB Max	RF-konnektörü: SMA

Çatı üzerinde baz istasyonuna yaklaşılabilecek bir mesafeden yapılan ölçümlerde elektrik alan şiddeti ve güç yoğunluğu değerleri şunlardır: $0.72 \text{ V/m} = 1.42 \text{ mW/m}^2$ (ortalama alınarak yapılan ölçüm) ve $0.831 \text{ V/m} = 1.83 \text{ mW/m}^2$ (maksimum değer alınarak yapılan ölçüm). Bu değerler ICNIRP sınır değerlerinin %1.99'una karşılık gelmektedir. Baz istasyonunun *tam altında*, bina içerisinde yapılan ölçümlerde $0.035 \text{ (V/m)} = 3.22 \text{ } \mu\text{W/m}^2$ gibi değerler elde edilmiştir; ofislerde en yüksek $0,05 \text{ V/m} = 54.39 \text{ nW/m}^2$ ölçülmüştür, bu değerler ICNIRP sınır değerlerinin çok altındadır.

Baz istasyonunda 3 sektör mevcuttur, resimlerden de görülebileceği gibi; 3. Sektörün (340°) önünde metal bir çatı mevcuttur. Yapılan ölçümlerden anlaşılmıştır ki, bu çatı anten yükseltme işleminden önce RF sinyaline istenmeyen bir ekranlama oluşturmakta ve bu çatıya çarpan RF sinyali, hedeflenen kapsama alanı içerisinde tercih edilmeyen bir yansıma ve zayıflamaya maruz kalmaktaydı. Şekil 3'de yemekhane üzerinde bulunan ve ilgili iletişim operatörüne ait baz istasyonunun değişiklikten önceki (çatıdan anten yüksekliği yaklaşık 1.5 metre) ve değişiklikten sonraki (çatıdan anten yüksekliği yaklaşık 3.5 metre) çatı üzerinden görünümü gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3. Yemekhane üzerindeki ilgili baz istasyonunun: a) Değişiklikten önceki (çatıdan anten yüksekliği yaklaşık 1.5 metre), b) Değişiklikten sonraki (çatıdan anten yüksekliği yaklaşık 3.5 metre) çatı üzerinden görünümü.

3G sistemi için de güvenlik mesafesi ve çıkış gücü hesapları yapılmıştır. RBS 3206 katalog değeri olarak her sektöre maksimum 30 W çıkış gücü verebilmektedir. Ancak kullanılan çıkış gücü 10.62 W ile sınırlandırılmıştır; bu çıkış gücü için güvenlik mesafesi 8.32 metre olarak hesaplanmıştır. Her sektör için 3G ve 2G sinyalleri üç tane Kathrein güç birleştiricisi ile birleştirilip, antenlere iletilmektedir.

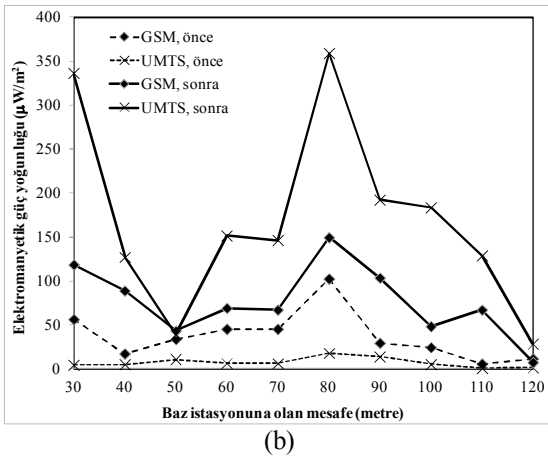
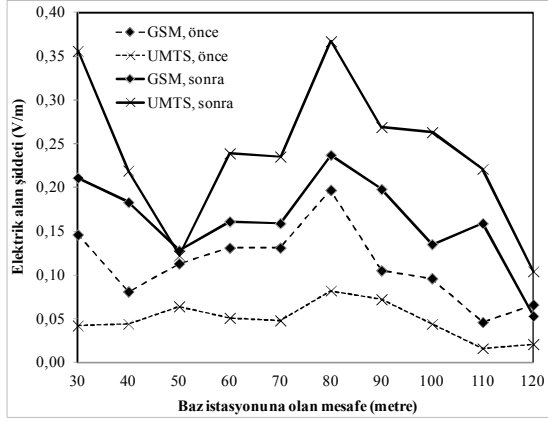
2.2. Ölçüm Sonuçları

Ölçümler baz istasyonuna yerden yaklaşılabilecek en yakın mesafeden, uzağa doğru 10 metre aralıklarla alınmıştır. Cihaz ile hem 2G (GSM 900 MHz), hem de 3G (UMTS 2100 MHz) standartlarının Elektrik Alan Şiddeti (V/m) ve Elektromanyetik Güç Yoğunluğu ($\mu\text{W/m}^2$) baz istasyonunun anteni yükseltilmeden önce (çatıdan 1.5 metre yükseklikteyken) ve yükseltildikten sonra (çatıdan 3.5 metre yükseklikteyken) ölçülmüş ve sonuçlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır. Birinci sektör fiziksel olarak ölçülmesi zor olan bir sektör olduğundan ölçülemedi, ölçüm yolunun üzerinde çeşitli binaların olması, aynı aralıklarla ölçüm sonuçları alınmasını imkânsız hale getirmiştir. İkinci sektör sorunsuz olan sektör olduğundan baz istasyonu anteninin iki metre yükseltilmiş olması ölçülen sinyal

seviyelerinde bir iyileştirme sağlamamıştır ve bu sektör için elde edilen ölçüm sonuçları burada gösterilmeyecektir.

2.2.1. Üçüncü Sektör (340°) Ölçümleri ve Sonuçları

Ölçümler binanın yakınından uzağa doğru sinyal seviyesi çok düşük değerlere ulaşana kadar devam etmiştir. Kule yükseltilmeden önceki ve sonraki ölçüm sonuçları Şekil 4’de V/m ve $\mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır.



Şekil 4: Üçüncü sektörün anten yükseltme işleminden önceki ve sonraki ölçüm sonuçları: a) V/m, b) $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

3. SONUÇ

ODTÜ-KKK’da bir baz istasyonu kulesinin yükseltilmeden önceki ve sonraki sinyal seviyeleri ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Üçüncü sektörden (alüminyum çatı ile önü kesilen sektör) alınan ölçüm sonuçları, GSM ve UMTS sinyallerinde, baz istasyonu anteninin iki metre yükseltilmesi ile, kayda değer iyileşmeler elde edildiğini göstermektedir. Özellikle UMTS (3G) sinyallerindeki iyileşmenin, 2G sinyallerindeki iyileşmeye göre daha yüksek olduğu da göze çarpmaktadır. Bunun sebebi, UMTS sinyallerinin (2100 MHz), GSM sinyallerine (900 MHz) göre daha yüksek frekansta olmalarından dolayı dalga boylarının daha kısa olması ve buna bağlı olarak

iletişim hattı üzerindeki engeller tarafından güç seviyelerinin daha fazla düşüyor olmasıdır. Bu sebepten dolayı baz istasyonu anteninin 2 metre yükseltilmiş olması UMTS (3G) sinyallerinde, GSM (2G) ye kıyasla daha belirgin bir iyileşme sağlamıştır. Bina içerilerinde, baz istasyonu altında, çatıda ve ofislerde elde edilen elektrik alan şiddeti değerleri ICNIRP tarafından önerilen ve KKTC’de kabul edilen sınır değerlerin çok altındadır.

4. TEŞEKKÜR

Bu ölçümlerin ve çalışmanın yapılabilmesi için cihazlarını kullanmamıza izin veren Kıbrıs Türk Elektrik Mühendisleri Odasına (KTEMO) teşekkürlerimizi sunarız. ODTÜ-KKK yönetimine bu çalışmanın yapılabilmesi için sağladıkları imkânlar ve Genel Sekreterimiz Levent Küpeli’ye bu çalışmaya gösterdiği ilgi ve sağladığı kolaylıklar için özellikle teşekkür ederiz. Ölçümlere katılıp bize yardım eden Dr. Murat Fahrioğlu’na ve İpek Alemdar’a da ayrıca teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

- [1] <http://www.metu.edu.tr/~ntayfun/laboratory.htm>
- [2] <http://www.aaronia.com/products/antennas/Omni-LOG-90200-Omni-Directional-Antenna/>
- [3] http://www.ericsson.com/ourportfolio/telecom-operators/base-stations?nav=productroot999%7Cfcb_101_220
- [4] http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2000_02/files/2000024.pdf
- [5] <http://www.kathrein-scala.com/catalog/742264V02.pdf>
- [6] <http://www.renair.co.uk/Base-stations-antennas/219.html>

Tüm Vücut Işınlamasına Maruz Kalmış Rat Böbreklerinde Pycnogenolün Radyokoruyucu Etkisinin Araştırılması

Fazile CANTÜRK¹, Yusuf CANER¹, Özge ÖZÇOBAN², Derya AKKUŞ²
Oğuz Galip Yıldız³

¹ Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Ana Bilim Dalı, fcanturk@hotmail.com

² Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji- Embriyoloji Ana Bilim Dalı

³ Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Ana Bilim Dalı

Özet: Antioksidan ajanlar, radyokoruyucu ilaçlar radyoterapinin neden olduğu yan etkileri minimize etmek için kullanılmıştır. Pycnogenol antioksidan, anti-inflamatuar ve antikanserojen özellikleri dahil olmak üzere birçok biyolojik etkileri olan Fransız deniz çam kabuğu ekstresidir. Bu çalışmada bizim amacımız pycnogenolün iyonize radyasyona karşı radyo koruyucu etkisini ratların böbreklerinde histopatolojik ve tek hücre düzeyinde değerlendirmektir. Bu amaçla; çalışma, on grup ve her grupta erkek Wistar Albino cinsi on rat olacak şekilde planlandı. Kontrol grubu, yalnız radyasyon grubu (γ -ışın), antioksidan gruplar (P_{37,5}, P₇₅, P₁₅₀, P₃₀₀) ve radyasyon + antioksidan gruplar (γ -ışın+ P_{37,5}, γ -ışın+ P₇₅, γ -ışın+ P₁₅₀, γ -ışın+ P₃₀₀) olmak üzere ayrıldı. Çalışma radyasyon uygulamasından üç gün önce başlatıldı ve dört gün sürdü. Pycnogenol % 5'lik DMSO'da çözdürüldü, radyasyon uygulamasından üç gün önce, 24, 48 ve 72. saatlerde belirlenen dozlara göre gavajla verildi, kontrol gruplarına aynı saatlerde % 5 'lik DMSO gavajla verildi. Radyasyon, Co 60 teleterapi cihazı ile ön ve arka karşılıklı iki alandan total doz 900 cGy olacak şekilde uygulandı. Radyasyon uygulamasından 24 saat sonra, ketamin (0,1mg/kg) ve xylazin (0,05 mg/kg) li genel anestezi altında ratların böbrekleri alındıktan sonra sakrifiye edildi.

1. MATERYAL-METOD

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurul Başkanlığı uyarınca alınan; Karar No: 11/127 Etik Kurul Kararı esasına uygun olarak yürütüldü. Deneysel çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Fonu desteğiyle ve TSD-12-3936 proje numarasıyla, Erciyes Üniversitesi Deney Hayvanları Klinik Araştırma Merkezi'nde yapıldı. Araştırma için ağırlığı 178-280 gr ve yaşı 8-10 hafta arasında erkek Wistar Albino ratlar kullanıldı. Hayvanlar her bir grup 10' ar rattan oluşmak üzere rastgele 10 gruba ayrıldı. Kontrol grubu, 4 antioksidan grup (P_{37,5}, P₇₅, P₁₅₀, P₃₀₀), sadece ışınlama grubu (γ -ışınlama) ve 4 antioksidan + ışınlama grubu (γ -ışınlama + P_{37,5}, γ -ışınlama + P₇₅, γ -ışınlama + P₁₅₀, γ -ışınlama + P₃₀₀).

Pycnogenol eksresi % 5'lik dimetil sülfoksit (DMSO) de çözdürüldü. Kontrol ve γ -ışınlama grubuna % 5 DMSO verildi ve P_{37,5}, P₇₅, P₁₅₀, P₃₀₀ gruplar 24, 48 ve 72. saatlerde 37.5 mg /kg, 75 mg/ kg, 150 mg/kg ve 300 mg/kg pycnogenol verildi. γ -ışınlama + P_{37,5}, γ -ışınlama + P₇₅, γ -ışınlama + P₁₅₀, γ -ışınlama + P₃₀₀ gruplar 18 Gy γ -ışınlamadan önce 24,48 ve 72. saatlerde 37.5 mg /kg, 75 mg/ kg, 150 mg/kg ve 300 mg/ kg pycnogenol verildi.

Tablo 1. Deney grupları

Grup ismi	Pycnogenol (mg/kg)	Radyasyon (cGy)
Kontrol	—	—
P _{37,5}	37,5	—
P ₇₅	75	—
P ₁₅₀	150	—
P ₃₀₀	300	—
γ -ışını	—	900
γ -ışını+ P _{37,5}	37,5	900
γ -ışını+ P ₇₅	75	900
γ -ışını+ P ₁₅₀	150	900
γ -ışını+ P ₃₀₀	300	900

1.1. RADYASYON UYGULAMASI

Işınlama Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkoloji Bölümü'nde Cobalt 60 teleterapi (GWXJ80-Co⁶⁰ Teletherapy Unit) cihazı tarafından oluşturulan γ -ışını kullanılarak 28x24 boyutunda ve 2,5 cm derinlikte tahtadan yapılan özel bir kutu içerisinde, anestezi yapmadan, 5'er gruplar halinde, total vücut ışınlaması şeklinde ışınlandı. Işınlama sırasında ratların nefes almalarına izin vermek ve sabit SSD (kaynak cilt mesafesi) sağlamak için kutunun üst ve alt kısmına yoğunluğu bilinen delikli tray yerleştirildi. Radyasyon dozunun fizik hesabı 28x24' lik alanda ve 2,5 cm derinlikte ön ve arka karşılıklı iki alandan, total doz 900 cGy olacak şekilde hesaplandı. Tüm ışınlama 15:00 ve 17:00 arasında yapıldı. Işınlamadan 24 saat sonra tüm gruplar ketamin (0,1mg/kg) ve xylazin (0,05 mg/kg) ile intramusküler genel anestezi altında ratların böbreği alındıktan sonra dekapitasyon yöntemi kullanılarak sakrifiye edildi.

1.2. DNA HASAR TAYİNİ

DNA comet assay ya da tek hücre jel elektroforezi (SCGE) canlı popülasyonlarında, hücre düzeyinde DNA hasar tespitinde kullanılan, hızlı, basit ve çok hassas floresan mikroskopik yöntemdir. Dokuda DNA hasarı nötral şartlarda tek hücre jel elektroforez (comet) yöntemi kullanılarak araştırıldı. Hücre süspansiyonunun hazırlanması için, dokulardan yaklaşık 2 gr gelecek şekilde parçalar alındı, temiz bir bisturi yardımıyla buz üzerinde parçalandı, parçalanan dokulara 10 mL soğuk PBS (Ca²⁺ ve Mg²⁺ free) eklenerek yaklaşık 10 dk. 500 rpm manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Homejenat 10 dakika deney tüpünde bekletildi. Süpernatant analizler için kullanıldı (1). Kısaca, her bir mikroskop slaytı distile

suda hazırlanmış %0.5 lik normal erime noktalı agarozla kaplandı ve oda sıcaklığında kurutuldu. Daha sonra, ilk katın üstüne PBS de hazırlanmış, 37 °C 'de % 0.8 lik düşük erime noktalı agarozun 100 µL ile 10 µL hücre süspansiyonu karıştırıldı ve birinci katın üzerine yayıldı. Slaytlar 4°C 'de buz aküsünün üzerinde 5 dakika katılaşmaya bırakıldı. Lameller slaytlardan kaldırıldı, taze hazırlanmış soğuk lyzis çözeltisinde (TBE, 25 g SDS) 7 dakika 4 °C ' de lize edildi. Slaytlar lyzis çözeltisinden alındı, yatay elektroforez tankı taze hazırlanmış elektroforez tamponu (TBE: 54 g Tris, 27.5 borik asit, 20 mL EDTA, pH 8.4) ile dolduruldu ve slaytlar yerleştirildi, DNA sarmalının çözülmesi için 20 dakika bekletildi. Oda sıcaklığında 64 V-250 mA' de 2 dakika elektroforez uygulandı. Daha sonra slaytlar iyon ve deterjanların uzaklaştırılması için 5 dakika distile su ile yıkandı. Nötralizasyondan sonra 50 µL ethidium bromide (1 µg/mL) le boyandı ve lamelle kapatıldı. Bütün işlemler DNA hasarını önlemek için karanlıkta uygulandı (2, 3). Görüntüler floresan mikroskop (Olympus, Japan) kullanılarak 400x büyütmeyle çekildi. Rastgele seçilmiş 100 hücre görüntüsü CASP la analiz edildi. Hasar hücre başından göç etmiş, comete neden olan kırılmış DNA kuyruğundan belirlendi, kuyruklu hasarlı, kuyuksuz hasar görmemiş olarak düşünüldü (4).

1.3. HİSTO-PATOLOJİK DEĞERLENDİRMELER

%10'luk formalin fiksasyonu sonrası rutin histolojik takip aşamalarından sonra hazırlanan ve parafin bloklara gömülen dokulardan 5µm'lık kesitler dökülmemesi için poli-L lizinle kaplı lamlara alındı. Elde edilen ve deney gruplarına ait olan böbrek dokularına hematoksilin-eozin, masson trikrom boyama metodları ve böbrek dokularında bazal membran yapısının ve tübüllerin daha net görülebilmesi için ek olarak periyodik asit schiff (PAS) boyama metodları uygulandı.

2. SONUÇLAR

Histo-patolojik değerlendirme sonucunda; kontrol grupta, glomerüller ve tübüller normal histolojik özellik gösterdiler. Radyasyon uygulaması yapılan grubun böbrek dokusu histolojik olarak incelendiğinde, kontrol grubuna göre son derece önemli ve anlamlı dejenereatif değişiklikler gösterdiği gözlemlendi. γ -ışınlama + P_{37.5} ve γ -ışınlama + P₇₅ gruplarda, radyasyonun böbrek dokusu üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilere karşı pycnogenol'ün herhangi bir koruyucu etkisi görülmemiştir. γ -ışınlama + P₁₅₀ grubuna ait böbrek dokusunda, pycnogenol'ün radyasyonun zararlı etkilerine karşı olumlu bir etkiye sahip olduğu görülürken, en iyi koruyucu etkinin γ -ışınlama + P₃₀₀ verilen grupta olduğu gözlemlenmiştir. DNA hasar tayininde, en fazla hasar radyasyon grubunda gözlemlenmiş, radyasyon hasarından en fazla korunan grubun γ -ışınlama + P₃₀₀ olduğu gözlemlenmiştir.

3. TARTIŞMA

Radyasyonun böbrek dokusu üzerine oluşturduğu olumsuz histopatolojik etkinin ve DNA hasarının, γ -ışınlama + P₃₀₀ grubunda azaldığı ve böbrek dokusunun normal böbrek dokusu görünümüne yakın olduğu gözlemlendi.

4. KAYNAKLAR

- 1.H. Cerda, Detection of irradiated fresh chicken, pork and fish using the DNA comet assay. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 31: 89–92, 1998.
- 2.Türk Standardı. Gıda maddeleri-ışınlanmış gıda maddelerinin belirlenmesi için DNA comet deneyi-eleme yöntemi. TS EN 13784 Aralık 2004.
- 3.G. Haines, B. Marples, P. Daniel, I. Morris, DNA damage in human and Mouse spermatozoa after in vitro-irradiation assessed by the comet assay, Adv. Exp. Med. Biol. 444: 789–791, 1998.
4. N.P. Singh, R.E. Stephens, X-ray induced DNA double-strand breaks in human sperm, Mutagenesis 13: 75–79, 1998.

Uzun Süreli 900 MHz Frekanslı Radyofrekans Uygulamasının Kohlear Fonksiyonlar Üzerine Etkisi

Ediz Yorgancılar¹, Süleyman Daşdağ², Mehmet Zülküf Akdağ², Ramazan Gün¹, Faruk Meriç¹

¹Dicle Üniv. Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz Ana Bilim Dalı

²Dicle Üniv. Tıp Fakültesi Biyofizik Ana Bilim Dalı, Diyarbakır

ÖZET

Bu çalışmanın amacı 900 MHz frekanslı radyofrekansların (RF) ratların kohlear fonksiyonları üzerine etkisi olup olmadığını araştırmaktır. Araştırmada 7 si sham kontrol ve 7 si deney (ışınlama grubu) olmak üzere on dört adet Wistar albino erkek erişkin kullanıldı. Deney gurubundaki ratların kafaları 3 saat/gün/hafta olmak üzere altı ay boyunca 900 MHz frekanslı radyofrekanslara maruz bırakıldı. Kontrol grubunda bulunan deney hayvanları da aynı deney şartlarına tabi tutuldular ancak jeneratör kapalı konumda tutuldu. Araştırmada yer alan hayvanların kohlear fonksiyonları otoakustik emisyon cihazı aracılığıyla belirlendi. Araştırmaya başlamadan, araştırmanın üçüncü ve altıncı aylarında deneklerin otoakustik emisyon değerleri belirlendi. Kontrol ve deney gruplarından elde edilen veriler istatistiksel olarak karşılaştırıldı ve gruplar arasında istatistiksel bir fark olmadığı gözlemlendi ($p>0.05$). Sonuç olarak 900 MHz frekanslı RF ların altı aylık uygulamasının ratların kohlear fonksiyonlarını etkilemediği gözlemlendi. Altı aydan fazla süreli ışınlamaların işitme üzerine etkileri olup

olmadığının belirlenmesi için, daha detaylı çalışmalara gereksinim vardır.

Anahtar Kelimeler: Cep telefonları, 900 MHz radyofrekanslar, Kohlear fonksiyonlar, işitme

Giriş

Cep telefonu kullanımı ve merkezi sinir sistemi tümörleri arasında olası bir korelasyon olduğunu ifade eden bir çok çalışma bulunmaktadır (Levis ve ark., 2011). Ancak dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri, cep telefonlarından yayınlanan radyofrekans radyasyonunun duyma sistemimizi etkileyip etkilemediği konusudur. İşitme sistemi nöral bir organ olup, kullanım boyunca cep telefonlarından yayınlanan radyofrekans (RF) radyasyonuna çok sık bir şekilde ve doğrudan doğruya maruz kalmaktadır. Günlük yaşamımızda cep telefonu kullanımının artması, cep telefonundan yayınlanan radyofrekans ve işitme arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik çalışmalar tekrar popüler olmaya başlamıştır.

Kohlear fonksiyon farklı odyometrik metotlar kullanılarak değerlendirilir. Orijinali Kemp (1978)

tarafından belirlenen otoakustik emisyon (OAE) bu metotlardan biridir. OAE kohlear dış tüy hücreleri tarafından üretilen düşük seviyeli akustik sinyallerdir ve akustik meatus yoluyla kaydedilir (Kemp., 2002). Distortion Product Otoacoustic Emissions (DPOAE), otoakustik emisyon metotlarından biri olup, duyma ile ilgili bilgiler veren ve duyma ile ilgili problemlerin araştırılması çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Probst et al., 1991). Genellikle kohlear dış tüy hücrelerinin (KDTH) kaybında veya KDTH fonksiyonlarının bozulması DPOAE genliklerinin azalmasına ve Sinyal/Gürültü (S/G) oranlarının azalmasına neden olur.

Cep telefonundan ve dış kaynaklardan yayınlanan RF dalgaları ile duyma olayı arasındaki ilişki çelişkilidir. Çünkü yapılan çalışmaların bazıları cep telefonlarından yayınlanan RF radyasyonunun işitme kaybına neden olduğunu (Oktay ve Daşdağ., 2006; Panda ve ark., 2011) ve radyo verici istasyonlarında çalışıp mesleki olarak RF radyasyonuna maruz kalan bireylerde işitme kaybının olduğunu savunan çalışmalar bulunmaktadır (Daşdağ ve ark., 1992;1999; Meriç ve ark., 1998; Oktay et al., 2004). Bununla birlikte, cep telefonlarından yayınlanan RF radyasyonunun herhangi bir işitme kaybına neden olmadığını gözleyen (Kayabaşoğlu

ve ark., 2011; Kızılay ve ark., 2003) ve Radyo verici istasyonlarına yakın bölgede yaşayan çocuklarda RF radyasyonunun herhangi bir işitme kaybı oluşturmadığını tespit eden (Meriç ve ark., 2009) çalışmalarda bulunmaktadır. Cep telefonlarından yayınlanan RF radyasyonu uygulamaları ve işitme arasındaki ilişkinin halen çelişkili olmasından dolayı, bu çalışmada uzun süreli cep telefonu uygulamalarının kohlear fonksiyon üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışmada 14 adet erişkin erkek Wistar-albino rat kullanıldı. Ratlar deney (n=7) ve sham (n=7) grubu olmak üzere iki gruba ayrıldı. Deney grubundaki ratlara 900 MHz frekanslı RF radyasyonu üreten jeneratörden yayınlanan RF radyasyonu günde 3 saat, haftada 7 gün 6 ay boyunca özel olarak hazırlanmış pleksiglastan yapılan carousel kafeslerde uygulandı. OAE ölçümleri ses düzeyi 50 dB'den daha düşük olan bir odada yapıldı. DPOAE ölçümünden önce, dış auditör kanal ve timpanik membranın değerlendirilmesi için bir operasyon mikroskopu altında kulak incelendi. DPOAE ölçümleri her iki grup hayvanın sağ ve sol kulaklarından bir standart ticari ILO-96 OAE kohlear emisyon analizyer'ı (Otodynamics Ltd., London,UK) kullanılarak anestezi altında yapıldı. DPOAE verileri 1001 Hz ile 6006 Hz aralığında değişen (1001 Hz, 1416 Hz,

2002 Hz, 2832 Hz, 4004 Hz ve 6006 Hz) frekans aralıklarında uygulamadan önce, uygulamanın 3. ayında ve 6. ayında alındı. Verilerin istatistiksel analizi için tekrarlı ölçümleri analiz eden tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanıldı. Güç yoğunluğu ve elektrik alan ölçümleri için EMR-300 alan ölçer (NARDA, Pfullingen, Germany) kullanıldı.

Bulgular

Her bir duyma frekansında (1001 Hz, 1416 Hz, 2002 Hz, 2832 Hz, 4004 Hz ve 6006 Hz) uygulamanın başlangıcında, 3. ayında ve 6. ayında alınan ortalama akustik emisyon değerlerinin karşılaştırılmasından, 900 MHz RF uygulamasının bu çalışmadaki ratların kohlear fonksiyonunu etkilemediği görüldü. Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen DPOAE değerlerine göre, uzun süreli 900 MHz RF uygulamasının (günde 3 saat, 6 ay boyunca) ratların kohlear fonksiyonunu etkilemediğini ifade edebiliriz ($p > 0.05$). Bu çalışmada kulakların çevresindeki elektrik alan 16.26 V/m ve 29.43 V/m arasında ölçülürken, ortalama güç yoğunluğu 0.052 mW/cm^2 ile 0.338 mW/cm^2 arasında bulundu.

Tartışma

Radyofrekans ve duyma fonksiyonu arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışan çalışmalar bazen bazen çelişkili olabilir. Bu çelişkinin altında yatan neden mikrodalga veya radyofrekans

radyasyonunun kendi gizli doğasından kaynaklanabilir. Çünkü RF veya mikrodalğanın biyolojik sistemlerde etkilediği olaylar çoğunlukla reversibildir. Bu durum mikrodalga veya RF ile ilgili çalışmalarda çelişkinin nedeni olabileceği tartışılabilir. Panda ve ark. (2011) GSM kullanıcılarının anlamlı bir şekilde daha yüksek bir risk altında olduklarını buldular ve bu otörler uzun süreli yoğun cep telefonu kullanımının auditory cortex gibi kohleanın tahribatına neden olabileceğinin sonucuna vardılar. Kayabaşoğlu ve ark. (2011) yaklaşık bir ay kadar RF radyasyonuna maruz kalınmasının ratların işitmesini etkileyebileceğini ileri sürmüşlerdir. Bizim daha önceki çalışmalarımızın birinin sonuçları daha yüksek düzeydeki işitme kaybının 900 MHz cep telefonundan yayınlanan uzun süreli elektromanyetik alan uygulaması ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Oktay ve Daşdağ., 2006). Ancak bu çalışmada, 900 MHz RF'in kohlear fonksiyonu etkilemediğini bulduk. Burada dikkate alınması gereken nokta çalışmalarda kullanılan deneklerin tipidir. Örneğin yukarıda tartıştığımız çalışmaların deneklerini ele alırsak, seçilen deneklerin tipinin benzer konuda çalışan çalışmaların sonuçlarını etkileyebileceğini kolaylıkla anlayabiliriz. Örneğin, Coletti ve ark. (2011), Panda ve ark. (2011), Oktay ve ark. (2004), Oktay ve Daşdağ. (2006)

tarafından yapılan çalışmalar insanlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Buna karşın Kayabasoglu ve ark. (2011) ile Kizilay ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmalarda ve bu çalışmada ise ratlar kullanılmıştır. Bu nedenle belirgin bir sonuca ulaşmak için, çalışmalarda kullanılan deneklerin geniş profili dikkate alınmalı ve değerlendirilmelidir. Diğer taraftan, bu tür çalışmalarda dikkate alınması gereken başka bir nokta uygulama süresidir. Örneğin Kayabaşoğlu ve ark. (2011) 30 gün boyunca günde altı saat ratlara uygulama yapmışlar. Bizde 6 ay boyunca günde 3 saat ratlara uygulama yaptık. Bu çalışmanın sonuçları Kayabaşoğlu ev ark. (2011)'nın yaptıkları çalışmanın verileri ile uyushmaktadır. Ancak, bir yıl veya bir yıldan daha fazla yapılan uygulamaların uzun süreli RF uygulamalarının etkilerini bilmiyoruz. Bu nedenle bu konuyu açıklığa kavuşturmak için daha ileri çalışmalar yapılması gerekir.

Sonuç

Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen DPOAE değerlerine göre, 900 MHz RF radyasyonuna uzun süre maruz kalınmasının (saat/gün, 6 ay) ratların kohlear fonksiyonlarını etkilemediğini ileri sürebiliriz. Ancak bu çalışmada elde edilen DPOAE değerleri uzun süre cep telefonu ile konuşan bireyler için bir örnek oluşturmaz. RF'in kohlear fonksiyon üzerine etkisini belirleyebilmek için daha çok araştırmaya gerek vardır.

Kaynaklar

1. Colletti V., Mandala M., Manganotti P., Ramat S., Sacchetto L., Colletti L. (2011) J. Neurol. Neurosurg.Psychiatry, **82**, 767-771.
2. Dasdag S., Balci K., Celik M.S., Batun S., Kaplan A., Bolaman Z., Tekes S., Akdag Z. (1992) Biotechnol.Biotech. Eq., **6**, 37-39.
3. Dasdag S., Balci K., Ayyildiz M.O., Celik M.S., Tekes S., Kaplan A. (1999) Eastern Journal of Medicine, **4**, 10-12.
4. Kayabasoglu G., Sezen O.S., Eraslan G., Aydın E., Coskuner T., Unver S. (2011) J. Laryngol. Otol., **125**, 348-353.
5. Kemp D. (1978) J. Acoust. Soc. Am., **64**, 1386-1391.
6. Kemp D.T. (2002) Br. Med. Bull., **63**, 223-241.
7. Kizilay A., Ozturan O., Erdem T., Kalcioğlu M.T., Miman M.C. (2003) Auris Nasus Larynx, **30**, 239-245.
8. Levis A.G., Minicuci N., Ricci P., Gennaro V., Garbisa S. (2011) Environ. Health., **17**, 59.
9. Meric F., Dasdag S., Vergili K. (1998) Environ. Health.Prev. Med., **3**, 55-58.
10. Meric F., Dasdag S., Dasdag M.M. (2009) Int. Adv. Otol., **5**, 356-360.
11. Oktay M.F., Dasdag S., Akdere M., Cureoglu S., Cebe M., Yazicioglu M., Topcu I., Meric F. (2004) Arch. Med.Res., **35**, 517-521.
12. Oktay M.F., Dasdag S. (2006) Electromagn. Biol. Med., **25**, 13-21.

13. **Panda N.K., Modi R., Munjal S., Virk R.S.** (2011) Otolaryngol. Head. Neck. Surg., **144**(4), 581-585.
14. **Probst R., Lonsbury-Martin B.L., Martin G.K.** (1991) J. Acoust. Soc. Am., **89**, 2027-2067.

Oldukça Düşük Frekanslı Manyetik Alanların Uzun Süreli Uygulanmasının Beyindeki Beta-Amiloid Protein, Protein Karbonil ve Malondialdehit Üzerine Etkisi

Mehmet Zülküf AKDAĞ¹, Süleyman DAŞDAĞ¹, Dilek Ülker ÇAKIR², Beran YOKUŞ³, Göksel KIZIL³, Murat KIZIL⁴

¹Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Ana Bilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye

²18 Mart Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyokimya Ana Bilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

³Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Biyokimya Ana Bilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye

⁴Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

ÖZET

Bazı çalışmalar oldukça düşük frekanslı (ELF) manyetik alanlar için belirlenen güvenlik sınırlarının uygun koruma sağlamadığını öne sürmektedirler. Bu nedenle standartlar hala tartışmalıdır. Söz konusu tartışmaya katkı sunmak için bu çalışma planlanmıştır. Bu araştırmada, geçmişte halk ve çalışanlar için güvenlik sınırı olarak kabul edilen ELF manyetik alanların uzun süreli uygulanmasının beyindeki beta amiloid protein (BAP), protein karbonil (PC) ve malondialdehit (MDA) üzerine etkisi araştırıldı.

Bu çalışmada 10'u sham kontrol, 20'si deney grubu olmak üzere toplam 30 adet erişkin erkek Sprague-Dawley rat kullanıldı. İkiye ayrılan deney grubundaki hayvanlar (n: 10) günde 2 saat olmak üzere 10 ay boyunca 100 µT ve 500 µT şiddetli ELF manyetik alanlara maruz bırakıldılar. Sham kontrol grubundaki ratlar da aynı deney şartlarına maruz bırakıldılar ancak ELF üreteçleri kapalı konumda tutuldu.

Elde edilen veriler, uygulanan ELF manyetik alanların beyindeki BAP düzeyini etkilemediğini ($p>0.05$) buna karşın protein karbonil ve MDA düzeylerini artırdığını gösterdi ($p<0.001$).

Sonuç olarak, uzun süreli ELF manyetik alanların eski güvenlik sınırlarında olsalar bile beyindeki bazı biyomolekülleri etkileyebileceği gözlemlendi. Elde edilen bu sonuç yeni çalışmalara gereksinim olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Oldukça düşük manyetik alanlar, ELF, Beta amiloid protein, protein karbonil, malondialdehit (MDA)

Giriş

Oldukça düşük frekanslı manyetik alanlar (ELF) yayan sistemlerin kullanımı günlük yaşamımızda artmaktadır. ELF manyetik alanların uzun süreli uygulamaları ile ilgili potansiyel sağlık etkilerine ilişkin insanların endişeleri teknolojik gelişime paralel olarak artmaktadır. ELF manyetik alanların bazı

hastalıkları başlatma veya bu hastalıkları artırma olasılığının olup olmadığı ile ilgili sağlık etkileri konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır.

Serbest radikaller nörodejeneratif hastalıklar gibi değişik hastalıkların gelişimine katkıda bulunduğu düşünülen ve bir çok metabolik süreç boyunca oluşan kimyasal ürünlerdir (WHO, 2007). Hücrelerde serbest radikallerin oluşumu ve temizlenmesi değişik enzim ve antioksidan bileşenler tarafından kontrol edildiği gibi bir denge halindedir (Rollwitz ve ark., 2004). Oksijen bazlı serbest radikal oluşumu ve antioksidan kapasite arasında bir dengesizlik olması durumunda, oksidatif stres oluşabilir (Turkozer ve ark. 2008)

Daha önce yapmış olduğumuz çalışmaların birinde uzun süreli 100 ve 500 μ T ELF manyetik alan uygulamalarının ratların beyin dokusundaki oksidatif parametreleri etkilediğini bulduk (Akdag ve ark., 2010). Protein oksidasyonu ve ELF ile ilgili çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, son zamanlarda yaptığımız çalışmaların büyük bir kısmı elektromanyetik alanlar ve oksidatif stres parametreleri üzerine yoğunlaşmıştır (Akdag ve ark., 2006, 2009; Aksen ve ark., 2006; Dasdag ve ark., 2002, 2008, 2009). Beyin yüksek doymamış yağ asidi içeriği, yüksek oksijen tüketimi ve yüksek metabolik oranı nedeniyle oksidatif strese özellikle

duyarlıdır (Halliwell, 2006). Bu nedenle, ELF nin protein düzeyine etkisini belirlemek için protein karbonil gibi önemli bir oksidatif ürünü belirlemeye karar verdik. Ayrıca oksidasyon konusunda paralellik olup olmadığını saptamak için MDA düzeyini de ölçtük.

Alzheimer hastalığı yaşlı bireylerde gözlenen oldukça genel hastalıklardan biridir. Son zamanlarda bazı elektromanyetik alanların Alzheimer hastalığının önemli belirteçlerinden biri olan beta amiloid protein düzeyine etkide bulunarak hem normal hem de transgenic farelerin bilişsel fonksiyonlarına pozitif katkısının olduğu rapor edilmiştir (Arendash ve ark., 2010). Bu nedenle ELF manyetik alan uygulaması ve Alzheimer hastalığı arasında herhangi bir ilişki olup olmadığını saptamak amacıyla bu çalışmada beyin dokusundaki beta amiloid protein (BAP) düzeyi ölçüldü. Bu çalışmanın amacı, uzun süreli ELF manyetik alan uygulamasının rat beyin dokusunun protein karbonil (PK), MDA ve BAP düzeyi üzerine etkisini araştırmaktır.

Materyal ve Metot

Çalışmada 30 erkek erişkin Sprague-Dawley rat kullanıldı. Ratlar iki deney ve bir sham grubu olmak üzere 3 gruba ayrıldı. Birinci (n = 10) ve ikinci (n = 10) deney grubu ratlara sırasıyla 100 μ T ve 500 μ T ELF manyetik alan günde 2 saat,

haftada 7 gün, 10 ay boyunca uygulandı. Sham (n = 10) grubu ratlara manyetik alan maruziyetinin dışında deney grubuna uygulanan procedur aynen uygulandı. Ratlar metakrilat kafesler içine konularak uygulamalara maruz bırakıldı. Çalışmanın tüm protokolü etik kurul tarafından onaylanmıştır. Çalışmada kullanılan manyetik alan 25 cm çaplı ve 225 sargılı bir çift Helmholtz bobin kullanılarak elde edildi. Metakrilat kafesin 15 farklı noktasındaki manyetik alan şiddeti ölçümü dijital teslametre (Phywe, Almanya) kullanılarak yapıldı. 10 aylık uygulamanın sonunda, çalışma sona erdirildi. En son yapılan uygulamadan sonra, ratlar ketamin anestezisi altında sakrifiye edildi ve ratların beyin dokusu PK, MDA ve BAP düzeylerinin saptanması için çıkarıldı ve -80°C'de inceleme yapılıncaya kadar saklandı. Beyin homojenatları Song ve ark. (2003) tarafından tanımlanan metoda göre hazırlandı. Beyin homojenatlarının MDA düzeyi flurometrik olarak belirlendi (Levine ve ark., 1990). Beyin dokusunun PC düzeyi 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) reaksiyonu baz alınarak karbonil gruplarının ölçümüyle belirlendi (Levine ve ark., 1990). BAP düzeyi sandiviç enzim bağlantılı immunosorbent yöntemi ile ticari kit kullanılarak analiz edildi [Mouse Amyloid Beta Peptide 1-40 (Ab1-40), Uscn Life Science Inc., Wuhan, China]. Çalışmada elde edilen verilerin analizi için

Non-parametrik bir test olan Mann-Whitney U testi kullanıldı.

Bulgular

100 ve 500 μ T manyetik alana maruz kalan ratlarda PC düzeylerinin anlamlı bir şekilde arttığını gözledik ($p < 0.0001$). Ayrıca bu çalışmada kullanılan ELF manyetik alanların beyindeki MDA düzeyini artırdığını da tespit ettik ($p < 0.0001$). Ancak rat beyin dokusundaki BAP düzeyinin bu çalışmada kullanılan 100 ve 500 μ T manyetik alanın uzun süreli uygulanması ile değişmediği gözlemlendi ($p > 0.005$).

Tartışma

ELF manyetik alanlar evde ve işyerinde kullandığımız elektrik ve elektronik aletler ve güç iletim hatlarından yayınlanır. Zayıf ELF alanları algılama yeteneğimiz olmamakla birlikte, sürekli olarak ELF manyetik alanlara maruz kalmaktayız. Bazı epidemiyolojik ve laboratuvar çalışmaları kanser ve immun supresyon gibi belli hastalıklar ve bu alanlar arasında olası bağlantı olduğunu ileri sürmekle birlikte, ELF manyetik alanların hücre davranışını nasıl etkilediğine dair moleküller mekanizma halen çok belirgin değildir (Falone ve ark., 2007). Uzun süreli ELF manyetik alan uygulamasının hücresel düzeydeki olası etki mekanizmalarını görmek, halk ve mesleki uygulamalar için geliştirilen

güvenlik limitlerinin bile altındaki uygulamaların güvenilirliğini değerlendirmek için, 100 ve 500 μ T, 50 Hz ELF manyetik alanın iyi bilinen oldukça reaktif biomoleküler yapılar üzerine etkisini araştırdık.

Radikal çift oluşum mekanizması statik ve alternatif manyetik alanların moleküllerin kimyasal yapısını etkileyebildiği genellikle kabul edilen önemli etkileşim mekanizmalarından biridir. (Brocklehurst ve McLauchlan., 1996; Eveson ve ark., 2000; Grissom., 1995). Serbest radikal stabilitesi ile ilgili olarak uygulanan manyetik alanın biyolojik etkisi radikallerin çiftleşmemiş elektronlarının spine ile etkileşime bağlıdır (WHO, 2007). Bu etkileşim çok zayıf alanların gözlenen biyolojik etkilerinin bir kısmını açıklayan önemli bir mekanizmayı oluşturabilir (Adair, 1999; Timmel ve ark., 1998). Bazı araştırmacılar 50/60 Hz manyetik alanların serbest radikallerin yarı ömrünü artırdığını ve bu durumda canlı hücrelerdeki serbest radikal konsantrasyonunun artışına neden olduğunu ileri sürmüşlerdir (Akdag ve ark., 2007; Repacholi ve Greenebaum, 1999; Jajte ve ark., 2002). PC ve MDA canlı hücrelerdeki oksidatif durumu ifade eden mevcut önemli indikatörlerdir. Bu nedenle bu iki parametrenin ölçümü hücredeki oksidasyon ile ilgili faydalı ve önemli bilgiler vermektedir.

100 ve 500 μ T ELF manyetik alana maruz kalan ratların beyin dokusundaki PC konsantrasyonları sham grubu ile karşılaştırıldı. Sonuçlar açık bir şekilde 100 ve 500 μ T ELF manyetik alana maruz kalan ratların beyin dokusundaki PC konsantrasyonlarının arttığını göstermektedir. 500 μ T ELF manyetik alana maruz kalan ratların beyin dokusundaki PC düzeyleri 100 μ T'dan daha yüksekti. MDA düzeyleri için PC'ye benzer sonuçlar elde edildi. Elde edilen bulgulardan, 100 ve 500 μ T ELF manyetik alanın uzun süre uygulanmasının ratların beyin dokusundaki PC ve MDA düzeyini artırabildiğini ileri sürebiliriz.

Protein oksidasyonu canlı hücreleri negatif olarak önemli bir şekilde etkiler. Protein yapısındaki bozulma hücreyi ciddi bir şekilde zarara uğrattır ve hücrede ciddi problemlerin oluşmasına neden olabilir. Her iki uygulama gruplarının sonuçlarının karşılaştırılmasından manyetik alan şiddetinin protein oksidasyon hızını artıran önemli bir faktör olduğu söylenebilir. MDA ve PC sonuçlarına göre, daha düşük alan şiddetinin daha düşük düzeyde oksidatif strese neden olduğunu söyleyebiliriz.

Sonuç

Bu çalışmanın sonuçları, 100 ve 500 μ T ELF manyetik alana uzun süre maruz kalmanın rat beynindeki MDA ve PC gibi bazı biyolojik parametreleri

anamlı bir şekilde etkiliyebildiğini göstermiştir. ELF manyetik alanların şiddeti MDA, PC ve BAP düzeyini anlamlı bir şekilde etkilemektedir. Bu çalışma ELF manyetik alan şiddetinin oksidatif stresin oluşumunda oldukça önemli olduğunu belirlediğinden, daha düşük düzeydeki ELF manyetik alanların canlı rat beyin hücrelerinde oksidatif stresten korunmada daha yüksek alanlara göre daha güvenilir olduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle ELF manyetik alan uygulamaları mümkün olduğu kadar azaltılmalı ve şu anki güvenlik limitleri gözden geçirilmelidir.

Kaynaklar

1. Adair RK (1999). Effects of very weak magnetic fields on radical pair reformation. *Bioelectromagnetics* 20: 255–263.
2. Akdag MZ, Dasdag S, Aksen F, Isik B, Yilmaz F (2006). Effect of ELF magnetic fields on lipid peroxidation, sperm count, p53, and trace elements. *Med Sci Monit* 12:BR366–BR371.
3. Akdag MZ, Bilgin MH, Dasdag S, Tumer C (2007). Alteration of nitric oxide production in rats exposed to a prolonged, extremely low-frequency magnetic field. *Electromagn Biol Med* 26:99–106.
4. Akdag MZ, Dasdag S, Ketani MA, Sagsoz H (2009). Effect of extremely low frequency magnetic fields in safety standards on structure of acidophilic and basophilic cells in anterior pituitary gland of rats: an experimental study. *J Int Dent Med Res* 2:61–66.
5. Akdag MZ, Dasdag S, Ulukaya E, Uzunlar AK, Kurt MA, Taskin A (2010). Effects of extremely low-frequency magnetic field on caspase activities and oxidative stress values in rat brain. *Biol Trace Elem Res* 138:238–249.
6. Aksen F, Akdag MZ, Ketani A, Yokus B, Kaya A, Dasdag S (2006). Effect of 50-Hz 1-mT magnetic field on the uterus and ovaries of rats (Electron microscopy evaluation). *Med Sci Monit* 12:BR215–BR220.
7. Arendash GW, Sanchez-Ramos J, Mori T, Mamcarz M, Lin X, Runfeldt M, Wang L et al. (2010). Electromagnetic field treatment protects against and reverses cognitive impairment in Alzheimer's disease mice. *J Alzheimers Dis* 19:191–210.
8. Brocklehurst B, McLauchlan KA (1996). Free radical mechanism for the effects of environmental electromagnetic fields on biological systems. *Int J Radiat Biol* 69:3–24.
9. Dasdag S, Sert C, Akdag Z, Batun S (2002). Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on hematologic and immunologic parameters in welders. *Arch Med Res* 33:29–32.
10. Dasdag S, Bilgin HM, Akdag MZ, Celik H, Aksen F (2008). Effects of long term mobile phone exposure on oxidative-antioxidative process and nitric oxide in rats. *Biotechnol Biotechnol Equip* 22:992–997.

11. Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E, Uzunlar AK, Ocak AR (2009). Effect of mobile phone exposure on apoptotic glial cells and status of oxidative stress in rat brain. *Electromag. Biol. Med.* 28:342-354
12. Eveson RW, Timmel CR, Brocklehurst B, Hore PJ, McLauchlan KA (2000). The effects of weak magnetic fields on radical recombination reactions in micelles. *Int J Radiat Biol* 76:1509–1522.
13. Falone S, Grossi MR, Cinque B, D'Angelo B, Tettamanti E, Cimini A, DiIlio C et al. (2007). Fifty hertz extremely low-frequency electromagnetic field causes changes in redox and differentiative status in neuroblastoma cells. *Int J Biochem Cell Biol* 39:2093–2106.
14. Grissom CB (1995). Magnetic field effects in biology: A survey of possible mechanisms with emphasis on radical-pair recombination. *Chem Rev* 95:3–24.
15. Halliwell B (2006). Oxidative stress and neurodegeneration: where are we now? *J Neurochem* 97: 1634–1658.
16. Jajte J, Grzegorzczak J, Zmyslony M, Rajkowska A (2002). Effect of 7 mT static magnetic field and iron ions on rat lymphocytes: Apoptosis, necrosis and free radical processes. *Bioelectrochemistry* 57:107–111.
17. Levine RL, Garland D, Oliver CN, Amici A, Climent I, Lenz AG, Ahn BW, Shaltiel S, Stadtman ER (1990). Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Methods Enzymol* 186:464–478.
18. Repacholi MH, Greenebaum B (1999). Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: Health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 20:133–160.
19. Rollwitz J, Lupke M, Simko M (2004). Fifty-hertz magnetic fields induce free radical formation in Mouse bone marrow-derived promonocytes and macrophages. *Biochim Biophys Acta* 1674:231–238.
20. Song JH, Simons C, Cao L, Shin SH, Hong M, Chung M (2003). Rapid uptake of oxidized ascorbate induces loss of cellular glutathione and oxidative stress in liver slices. *Exp Mol Med* 35:67–75.
21. Timmel CR, Till U, Brocklehurst B, McLauchlan KA, Hore PJ (1998). Effects of weak magnetic fields on free radical recombination reactions. *Mol Phys* 95:71–89.
22. Turkozer Z, Goknur G, Seyhan N (2008). Effects of exposure to 50 Hz electric field at different strengths on oxidative stress and antioxidant enzyme activities in the brain tissue of guinea pigs. *Int J Radiat Biol* 84(7):581–590.
23. World Health Organization (WHO) (2007). Extremely low frequency fields. *Environmental health criteria* 238. Spain: WHO. pp 97–115.

900 MHz Frekanslı Radyofrekansların Beyindeki Bazı MikroRNA Ekspresyon Düzeyleri Üzerine Etkileri

Süleyman DAŞDAĞ¹, Mehmet Zülküf AKDAĞ¹, M. Emin ERDAL², Nurten ERDAL³, Özlem İzci AY², Mustafa Ertan AY², Şenay GÖRÜCÜ YILMAZ², Bahar TAŞDELEN⁴, Korkut YEĞİN⁵

¹Dicle Üniv. Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Diyarbakır

²MEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, Mersin

³MEÜ Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Mersin

⁴MEÜ Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı, Mersin

⁵Yeditepe Üniversitesi EE Müh., İstanbul

Özet

Cep telefonları günlük yaşamımızın vazgeçilmez bir ögesi haline gelmiştir. Yaşamımızı son derece konforlu hale getiren cep telefonlarının kullanım şekli itibariyle beyin üzerine zararlı etkileri olup olmadığı konusu hala kamuoyunu meşgul eden ve henüz bilim adamlarının hemfikir olamadığı bir konudur. Konuya katkı sunmak amacıyla bu çalışmada; 900 MHz frekanslı radyo frekansların (RF) beyin dokusunda birçok genin çalışmasında düzenleyici rol aldıkları bilinen mikro RNA'lar üzerine bir etkisi olup olmadığı araştırıldı. Bu çalışmada 7 si sham kontrol ve 7 si deney grubunda olmak üzere toplam 14 adet Wistar Albino Rat kullanıldı. Deney grubu ratlar 3 saat/gün olacak şekilde bir yıl boyunca 900 MHz frekanslı RF lara maruz bırakıldılar. Sham kontrol grubundaki ratlar da aynı deney

şartlarına maruz bırakıldılar ancak jeneratör kapalı konumda tutuldu.

Bu çalışmada yer alan deneklerin; beyin doku örneklerinden RNA izolasyonu sonrası cDNA'lar oluşturularak her örneğin; rno-miR-9-5p, rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107 ve rno-miR-125a-3p ekspresyon düzeyleri Real-Time PCR ile karşılaştırmalı C_T yöntemi ($\Delta\Delta C_T$) ile belirlendi. Elde edilen veriler Wilcoxon Sign testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi. Elde edilen verilere göre, 900 MHz lik RF ların beyindeki rno-miR9-5p ve rno-miR107 düzeylerini düşürdüğü ($p < 0.05$), buna karşın rno-miR106b-5p ve rno-miR125a-3p düzeylerini arttırdığı ($p < 0.05$) gözlemlendi.

Sonuç olarak, 900 MHz frekanslı RF' ların ratların beyinlerindeki bazı mikroRNA'ları (miRNA) etkilediği saptandı. Hastalıklar ile miRNA'lar

arasındaki ilişkiler göz önüne alındığında, daha detaylı araştırmalara gereksinim olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: 900 MHz cep telefonları, mikroRNA, elektromanyetik kirlilik, sağlık

Giriş

Cep telefonların günlük yaşamda yer almaya başladığı günlerin ardından başlayan elektromanyetik kirlilik geleceğin önemli sorunlarından biri olacak gibi görünmektedir. Ülkemizde 1990 lı yılların ortasında 900 MHz ile iletişime başlayan cep telefonlarının sağlık üzerine olumsuz etkileri olup olmadığına ilişkin endişeler ve bu endişelerin doğruluğunun saptanması üzerine yapılan araştırmalar bu tarihlerden sonrasına rastlar. Başlangıçta sınırlı sayıda olan bu araştırmaların sayısının artmış olması, kamuoyunu aydınlatmak açısından sevindiricidir. Cep telefonlarının sağlık üzerine olumsuz etkileri denince cep telefonu kullanıcıları açısından ilk akla gelen soru ise, dünya genelinde olduğu gibi cep telefonlarının beyin tümörlerine veya hastalıklarına neden olup olmadığıdır. Günümüz dünyasında çok sayıda veriye sahip olmamıza karşın bilim dünyası henüz bu konuda hemfikir olamamıştır¹⁻¹³. Dolayısıyla bilim adamları 900 MHz frekanslı cep telefonlarından yayılan sinyallerin beyin üzerine olumsuz etkileri olup olmadığı konusunda hala farklı ve

karşıt düşüncelere sahiptirler. Bu nedenle söz konusu tartışmaların aydınlatılmasına katkı sunmak amacıyla bu araştırma planlanmıştır. Bu çalışmada 900 MHz frekanslı radyofrekansların, beyin dokusunda birçok genin çalışmasında düzenleyici rol aldığı bilinen mikroRNA'lar üzerine bir etkisi olup olmadığı araştırıldı.

Materyal ve Metot

Bu araştırmada 7 si sham kontrol ve 7 si deney grubunda olmak üzere toplam 14 adet Wistar Albino Rat kullanıldı. Işınlama şartlarının standardizasyonu için cep telefonlarına benzerlik göstermesi için 900 MHz frekanslı sinyal jeneratörü ışınlama aracı olarak kullanıldı. Deney hayvanlarını kafaları, ışınlama şartları için özel olarak geliştirilmiş pleksiglas düzenek yardımıyla 3 saat/gün olacak şekilde bir yıl boyunca 900 MHz frekanslı RF lara maruz bırakıldılar. Kontrol grubundaki ratlar da deney şartlarına tıpatıp maruz bırakıldılar ancak jeneratör radyofrekans üretmeyecek şekilde kapalı konumda tutuldu.

Bu araştırmada yer alan deneklerin; beyin doku örneklerinden RNA izolasyonu sonrası cDNA'lar oluşturularak her örneğin; rno-miR-9-5p, rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107 ve rno-miR-125a-3p ekspresyon düzeyleri Real-Time PCR ile karşılaştırmalı C_T yöntemi ($\Delta\Delta C_T$) ile belirlendi. Elde edilen veriler

Wilcoxon Sign testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi.

Bulgular

Elde edilen verilere göre, 900 MHz lik RF ların beyindeki rno-miR9-5p ve rno-miR107 düzeylerini düşürdüğü ($p<0.05$), buna karşın rno-miR106b-5p ve rno-miR125a-3p düzeylerini arttırdığı ($p<0.05$) gözlemlendi.

Tartışma

Mikro RNA (miRNA) ların memeli genlerinin çoğunun düzenlenmesinden sorumlu olduğu bilinmektedir. Ayrıca, miRNA'lar öldürücü potansiyele sahip olan ajanlara karşı hücrel yanıt geliştiren bazı genlerden de sorumludur. miRNA'lar protein ekspresyonundan, çok sayıdaki hücre içi işlevden sorumlu olan küçük ve çok iyi korunan kodlanmamış RNA'lardır. İyonlaştırıcı radyasyonlar, ultraviyole ışınları, hidrojen peroksit vb. çeşitli fiziksel veya kimyasal ajanların miRNA'ların görevlerini yeterince yerine getirmelerini engelleyebileceği öne sürülmektedir. Dolayısıyla dış etkenlere karşı hücrel savunmada rol oynayan ve gen yapısını etkileyebilecek oksidatif strese karşı hücrel yanıt geliştiren yani oksidatif hasara karşı duyarlı olan miRNA'ların işlevlerini yerine getirmelerini engelleyici fiziksel ve kimyasal ajanların bilinmesi önemlidir.

Normal insan hücresinde miRNA'ların p53 aktivitesini değiştirebildiği, iyi veya kötü huylu bazı hastalıklar ve hipoksiya gibi durumların miRNA'ları etkilediği öne sürülmektedir. Öte yandan, hücrede oksidatif hasara neden olan dış sitotoksik ajanlara karşı hücre içi yanıtların ilk programlanmasında miRNA'ların önemli roller üstlenebileceği düşünülmektedir. Çeşitli elektromanyetik radyasyonların miRNA'ların yapı veya işlevlerini değiştirebileceği çeşitli araştırmacılar tarafından öne sürülmesine rağmen¹⁴⁻¹⁷, radyofrekans radyasyonların miRNA'ları veya işlevlerini etkileyip etkilemediği bilinmemektedir. Bu nedenle 900 MHz frekanslı radyofrekansların beyin dokusunda birçok genin çalışmasında düzenleyici rol aldıkları bilinen bazı miRNA düzeylerini etkilediğine ilişkin bu araştırmada elde edilen sonuçları birbir karşılaştırabileceğimiz bir araştırma henüz mevcut değildir. Buna rağmen 900 MHz frekanslı radyofrekansların beyin dokusundaki bazı miRNA'ları etkileyebilme potansiyeline sahip olabileceğini söylemek, iyonlaştırıcı radyasyonların veya ultraviyole ışınlarının miRNA'ları etkilediğini öne süren araştırma sonuçları ile uyumludur.

Sonuç

Sonuç olarak, 900 MHz frekanslı RF' ların ratların beyinlerindeki bazı

mikroRNA ları etkilediği saptandı. Dolayısıyla günde üç saat olmak üzere bir yıl boyunca 900 MHz frekanslı radyofrekanslara maruz kalmak beyindeki bazı miRNA düzeylerini etkileyebilir. Elde edilen bu sonuç, 900 MHz frekans bandını kullanan cep telefonları ile uzun süre konuşan kullanıcılar açısından önemlidir. Bazı hastalıklar ile miRNA lar arasındaki yukarıda değinilen ilişkiler göz önüne alındığında, konuya ilişkin daha detaylı araştırmalara gereksinim olduğu açıktır.

Kaynaklar

1. Dasdag S, Celik MS, Uyar F, Akdag MZ, Sert C, Ensari Y (1999), Effect of nonionizing radiation on plasmid DNA of E.coli Puc 9, Biochemical Archives BiochemArch 15: (4) 317-322 Nov 1999.
2. Dasdag S, Akdag MZ, Ayyildiz O, Demirtas OC, Yayla M, Sert C (2000), Do cellular phones alter blood parameters and birth weight of rats. Electro - and Magnetobiology, 19(1), 107-113.
3. Dasdag S, Akdag MZ, Kaya A et al. (2002), Electron microscopic evaluation of Bioeffects of short term cell phone exposure. Proceeding of 2nd International Workshop on Biological Effects of EMFs. p: 223-225. 7-11 October, Rhodes, Greece
4. Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Yilmaz F, Bashan M, Dasdag MM, M. Celik MS (2003), Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect the testes. Bioelectromagnetics, 24(3):182-188.
5. Aksen F, Dasdag S, Akdag MZ, Askin M, Dasdag MM (2004), The effects of whole body cell phone exposure on the T1 relaxation times and trace elements in the serum of rats. Electromagnetic Biology and Medicine, 23(1), 7-17.
6. Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Bashan M, Buyukbayram H (2004), Does900 MHz GSM Mobile Phone Exposure affect the Rat Brain? Electromagnetic Biology and Medicine, 23 (3): 201-214.
7. Oktay MF, Dasdag S (2006), Effects of intensive and moderate cellular phone use on hearing function. Electromagnetic Biology and Medicine, 25 (1): 13-21.
8. Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E, Uzunlar AK, Yegin D (2008), Mobil phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. Archives of Medical Research. 39: 1; 40-44.

9. Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E (2009),The alteration in the number of apoptotic glial cells in brain of rats after the mobile phone exposure. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 28: 4; 342-354.
10. Daşdağ S, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalında İyonlaştırmayan Elektromanyetik Alanlar ve İnsan Sağlığı Üzerine Yapılmış Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu (EMANET 2011) Bildiri Kitabı*. 7-8 Ekim 2011. İstanbul, Türkiye
11. Daşdağ S, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalında Elektromanyetik Alanların Laboratuvar Hayvanları Üzerine Etkileri Konusunda Yapılmış Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu (EMANET 2011) Bildiri Kitabı*. 7-8 Ekim 2011. İstanbul, Türkiye
12. Dasdag S, Akdag MZ, Kizil M, Kizil G, Cakir DU, Yokus B, Effect Of 900 MHz Radiofrequency Radiation On Beta Amyloid Protein, Protein Carbonyl and Malondialdehyde in Brain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31(1): 67–74, 2012.
13. Yorgancilar E, Dasdag S, Akdag MZ, Gun R, Meric F, Long term effect of 900 MHz radiofrequency radiation exposure on cochlear functions. *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* 26 (6): 3397-3401, DOI: 10.5504/BBEQ.2012.0090, 2012
14. Simone NL, Soulez BP, Saleh AD, Savage JS, DeGraff W, Cook J, Harris CC Gius D, Mitchell JB, Ionizing Radiation-Induced Oxidative Stress Alters miRNA Expression. *PLoS ONE* www.plosone.org. Volume 4(7): e6377, July 2009 .
15. Aypar U, Morgan W, Baulch JE, Radiation- induced epigenetic alterations after low and high LET irradiations. *Mutation Research* 707 (2011) 24–33
16. Zhou B, Xu Y, Permatasari F, Liu W, Li W, Guo X, Huang Q, Guo Z, Luo D, Characterization of the miRNA profile in UVB-irradiated normal human keratinocytes. *Experimental Dermatology*, 21: 299–319, 2012.
17. Chaudry MA, Omaruddin RA, Kreger B, De Toledo SM, Azzam EI, Micro RNA responses to chronic or acute exposures to low doze ionizing radiation. *Mol Biol Rep.* 39:7549–7558, 2012.

2.4 GHz Frekanslı Wi-Fi Radyofrekansların Beyindeki Bazı MikroRNA Ekspresyon Düzeyleri Üzerine Etkileri

Süleyman DAŞDAĞ¹, Mehmet Zülküf AKDAĞ¹, M. Emin ERDAL², Nurten ERDAL³,
Özlem İzci AY², Mustafa Ertan AY², Şenay GÖRÜCÜ YILMAZ², Bahar TAŞDELEN⁴,
Korkut YEĞİN⁵

¹Dicle Üniv. Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Diyarbakır

²MEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, Mersin

³MEÜ Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Mersin

⁴MEÜ Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı, Mersin

⁵Yeditepe Üniversitesi EE Müh. İstanbul

Özet

Bilgiye ve yaşamımızı kolaylaştıran birçok şeye ulaşmamızı sağlayan teknolojilerden biri kablosuz iletişimdir. Başlangıçta telefon vb. iletişimlerde kullanılan kablosuz iletişim araçlarına her geçen gün bir yenisi eklenmektedir. Son yıllarda evlerde, iş yerlerinde veya yaşamın neredeyse tüm alanlarında kablosuz internet olarak adlandırılan Wi-Fi teknolojileri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Baş döndürücü bir hızla yaşamımızın neredeyse vaz geçilmezlerinden biri konumuna gelen bu teknolojiye aracılık eden radyofrekans (RF) veya mikrodalgaların (MW) sağlık üzerine herhangi bir olumsuz etkisi olup olmadığı sorusu ise kamuoyunu sürekli meşgul etmektedir. Konuya açıklık getirmek amacıyla bu çalışmada; 2.45 GHz lik Wi-Fi kullanımının birçok genin

çalışmasında düzenleyici rol aldıkları bilinen mikro RNA'lar üzerine bir etkisi olup olmadığı araştırıldı.

Bu çalışmada 8 i deney, 8 i sham kontrol grubunda olmak üzere toplam 16 adet Wistar Albino Rat kullanıldı. Deney grubundaki ratlar günde 24 saat olmak üzere bir yıl boyunca 2.4 GHz frekanslı RF lara maruz bırakıldılar. Sham grubundaki ratlar da aynı deney şartlarına maruz bırakıldılar ancak jeneratör kapalı konumda tutuldu.

Bu çalışmada yer alan deneklerin beyin doku örneklerinden RNA izolasyonu sonrası cDNA'lar oluşturularak her örneğin; rno-miR-9-5p, rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107 ve rno-miR-125a-3p ekspresyon düzeyleri Real-Time PCR ile karşılaştırmalı C_T yöntemi ($\Delta\Delta C_T$) ile belirlendi. Elde edilen veriler Wilcoxon Sign testi kullanılarak

istatistiksel olarak değerlendirildi. Araştırma sonunda elde edilen veriler, 2.4 GHz frekanslı RF ların beyindeki rno-miR106b-5p ve rno-miR107 düzeylerini düşürdüğünü gösterdi (sırasıyla P=0.004 ve P=0.001). Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan 2.4 GHz frekanslı RF ların bu araştırmada kullanılan deneklerin beyinlerindeki bazı mikroRNA (miRNA)'ları etkilediği gözlemlendi. Beyindeki Spesifik Soğurma Oranı (SAR) noktasal, 1 ve 10 gr başına sırasıyla 4000 μ W/kg, 1490 μ W/kg ve 1000 μ W/kg olarak bulundu. Son yıllarda gündeme gelen miRNA'lar ve hastalıklar arasındaki ilişkiler dikkate alındığında, konunun aydınlatılması için daha detaylı araştırmalar yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: 2.4 GHz Wi-Fi radyofrekanslar, kablosuz internet, mikroRNA, elektromanyetik kirlilik, sağlık

Giriş

Cep telefonlarının günlük yaşamımıza girmesi ve inanılmaz bir hızla kullanımının ve kullanım alanlarının artması toplumda zaman zaman sağlık endişelerine neden olmaktadır. Kamuoyu tarafından başlangıcı cep telefonları olarak bilinen kablosuz iletişim tekniklerine her gün bir yenisi eklenmektedir. Her yeni eklenen teknoloji, kablosuz iletişimde kullanılan elektromanyetik dalgaların bu teknolojileri kullananların sağlığını

olumsuz yönde etkileyip etkilemediğine ilişkin endişeleri biraz daha arttırmaktadır. Yakın bir geçmişe sahip olan ve halk arasında kablosuz internet veya Wi-Fi olarak tanımlanan teknolojiye kullanılan radyofrekansların bu teknolojiyi kullananların sağlığını etkileyip etkilemediği henüz net olarak bilinmemektedir. Cep telefonlarının sağlık üzerine etkilerine ilişkin çok sayıda araştırma olmasına rağmen¹⁻¹⁴, kablosuz internet sağlayıcılar tarafından kullanılan radyofrekansların sağlık üzerine etkilerine ilişkin araştırmalar sınırlıdır. Kablosuz internet olarak adlandırılan iletişimin avantajlarından bilgisayarlar, cep telefonları vb. teknolojiler yardımıyla yararlanılmaktadır. Kablosuz iletişim teknolojilerinden yararlanırken kullanılan cep telefonları, bilgisayarlar vb. araç gereçler kullanım sırasında cep telefonlarına nazaran vücuttan daha uzakta tutulmaktadır. Ancak kullanıcılar yine de bu elektromanyetik dalgalar ile etkileşmektedirler. Cep telefonlarına göre daha masum olduğu varsayılan bu elektromanyetik dalgaların kullanıcıların sağlığını etkileyip etkilemediği veya ne kadar etkilediği henüz net olarak anlaşılamamıştır. Bu nedenlerden ötürü konuya katkı sunmak amacıyla bu araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, kablosuz iletişimde kullanılan radyofrekanslardan bir olan 2.4 GHz

frekanslı radyofrekansların beyin dokusunda birçok genin çalışmasında düzenleyici rol aldığı bilinen mikroRNA'lar üzerine bir etkisi olup olmadığı araştırıldı.

Materyal ve Metot

Bu araştırmada 8 i deney, 8 i sham kontrol grubunda olmak üzere toplam 16 adet Wistar Albino Rat kullanıldı. Deney grubundaki ratlar günde 24 saat olmak üzere bir yıl boyunca 2.4 GHz frekanslı RF lara maruz bırakıldılar. Radyofrekans üretici ile deney hayvanları arasındaki mesafe, kablosuz iletişim sağlayıcıları yardımıyla internet kullananların bilgisayar vb. araçlara olan ortalama uzaklığı göz önüne alınarak, 50 cm olarak belirlendi. Ratlar günlük temizlik için geçen süre dışındaki zamanlarda (maksimum 30 dakika), bu çalışma için özel olarak geliştirilmiş ışınlama kafeslerinin içinde yaşamlarını sürdürdüler. Kontrol grubundaki ratlar da tıpatıp aynı deney şartları altında tutuldular ancak jeneratör radyofrekans üretmeyecek şekilde kapalı konumda tutuldu. Bir yıllık ışınlama sonunda deney hayvanları tik kurallara uygun bir şekilde feda edilip, beyin dokuları incelenmek üzere alındı.

Mikro RNA işlemleri

Araştırma sonunda alınan beyin doku örneklerinden RNA izolasyonu

sonrası cDNA'lar oluşturularak her örneğin; rno-miR-9-5p, rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107 ve rno-miR-125a-3p ekspresyon düzeyleri Real-Time PCR ile karşılaştırmalı C_T yöntemi ($\Delta\Delta C_T$) ile belirlendi. Elde edilen veriler Wilcoxon Sign testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi.

Bulgular

Elde edilen veriler, 2.4 GHz frekanslı RF ların beyindeki rno-miR106b-5p ve rno-miR107 düzeylerini düşürdüğünü gösterdi (sırasıyla $P=0.004$ ve $P=0.001$). Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan 2.4 GHz frekanslı RF ların bu araştırmada kullanılan deneklerin beyinlerindeki bazı mikroRNA (miRNA) ları etkilediği gözlemlendi. Beyindeki Spesifik Soğurma Oranı (SAR) noktasal, 1 ve 10 gr başına sırasıyla $4000 \mu W/kg$, $1490 \mu W/kg$ ve $1000 \mu W/kg$ olarak bulundu.

Tartışma

Mikro RNA (miRNA)'lar öldürücü potansiyele sahip olan ajanlara karşı hücrel yanıt geliştirilen bazı genlerin yanı sıra memeli genlerinin çoğunun düzenlenmesinden sorumludurlar. Öte yandan miRNA'lar protein ekspresyonu ve hücre içi birçok işlevden sorumlu olan küçük kodlanmamış RNA'lar olarak tanımlanmaktadır. Elektromanyetik dalgalar (X ve gama ışınları, ultraviyole

ışınları) ve hidrojen peroksit vb. çeşitli fiziksel veya kimyasal ajanların miRNA'ların işlevlerini etkileyebileceği öne sürülmektedir. Dolayısıyla oksidatif hasara karşı duyarlı olan miRNA'ların işlevlerini yerine getirmelerini engelleyici fiziksel ve kimyasal ajanların bilinmesi önemlidir. Normal insan hücresinde miRNA'ların p53 aktivitesini değiştirebildiği, iyi veya kötü huylu bazı hastalıklar ve hipoksiya gibi durumların miRNA'ları etkilediği belirtilmektedir. Öte yandan, hücrede oksidatif hasara neden olan dış sitotoksik ajanlara karşı hücre içi yanıtların ilk programlanmasında miRNA'ların önemli roller üstlenebileceği düşünülmektedir. Çeşitli elektromanyetik radyasyonların miRNA'ların yapı veya işlevlerini değiştirebileceği çeşitli araştırmacılar tarafından öne sürülmesine rağmen¹⁴⁻¹⁸, radyofrekans radyasyonların miRNA'ları veya işlevlerini etkileyip etkilemediği henüz bilinmemektedir. Ancak bu araştırmanın sonuçları konu hakkında fikir verir niteliktedir. Bir başka deyişle bu araştırma 2.4 GHz frekanslı radyofrekansların uzun süreli uygulamalarının beyindeki rno-miR106b-5p ve rno-miR107 gib bazı mikroRNA'ları etkileyebileceğini (sırasıyla P=0.004 ve P=0.001) ortaya koymuştur. Halk arasında kablosuz internet veya Wi-Fi olarak bilinen 2.4 GHz frekanslı radyofrekansların beyin dokusunda birçok genin çalışmasında

düzenleyici rol aldıkları bilinen bazı miRNA düzeylerini etkilediğine ilişkin bu araştırmada elde edilen sonuçları birebir karşılaştırabileceğimiz bilimsel bir veri henüz yoktur. Buna rağmen 2.4 GHz frekanslı radyofrekansların beyin dokusundaki bazı miRNA'ları etkileyebilme potansiyeline sahip olabileceğini söylemek, iyonlaştırıcı radyasyonların veya ultraviyole ışınlarının miRNA'ları etkilediğini öne süren araştırma sonuçları ile uyumludur.

Sonuç

Sonuç olarak, 2.4 GHz frekanslı RF' ların ratların beyinlerindeki bazı mikroRNA'ları etkilediği saptandı. Dolayısıyla bu ışınlara maruz kalmak beyindeki bazı miRNA düzeylerini etkileyerek farklı sonuçlar doğurabilir. Elde edilen bu sonuç, 2.4 GHz frekans bandını kullanarak internet erişimi sağlayıcılarından yararlananlar için önemlidir. Bu araştırmada incelenen radyofrekansların sağlık açısından uzun vadede ne tür sonuçlar doğurabileceğini şimdiden kestirmek mümkün değildir. İyonlaştırmayan radyasyonlar ve genetik etkileşim temelli hastalıkların kaç yıl sonra ortaya çıkıp çıkmayacağı sorusuna henüz cevap verilemeyeceği düşünülürse, daha detaylı araştırmalara gereksinim olduğu açıktır.

Kaynaklar

1. Dasdag S, Celik MS, Uyar F, Akdag MZ, Sert C, Ensari Y (1999), Effect of nonionizing radiation on plasmid DNA of E.coli Puc 9, Biochemical Archives BiochemArch 15: (4) 317-322 Nov 1999.
2. Dasdag S, Akdag MZ, Ayyildiz O, Demirtas OC, Yayla M, Sert C (2000), Do cellular phones alter blood parameters and birth weight of rats. Electro - and Magnetobiology, 19(1), 107-113.
3. Dasdag S, Akdag MZ, Kaya A et al. (2002), Electron microscopic evaluation of Bioeffects of short term cell phone exposure. Proceeding of 2nd International Workshop on Biological Effects of EMFs. p: 223-225. 7-11 October, Rhodes, Greece
4. Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Yilmaz F, Bashan M, Dasdag MM, M. Celik MS (2003), Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect the testes. Bioelectromagnetics, 24(3):182-188.
5. Aksen F, Dasdag S, Akdag MZ, Askin M, Dasdag MM (2004), The effects of whole body cell phone exposure on the T1 relaxation times and trace elements in the serum of rats. Electromagnetic Biology and Medicine, 23(1), 7-17.
6. Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Bashan M, Buyukbayram H (2004), Does 900 MHz GSM Mobile Phone Exposure affect the Rat Brain? Electromagnetic Biology and Medicine, 23 (3): 201-214.
7. Oktay MF, Dasdag S (2006), Effects of intensive and moderate cellular phone use on hearing function. Electromagnetic Biology and Medicine, 25 (1): 13-21.
8. Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E, Uzunlar AK, Yegin D (2008), Mobil phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. Archives of Medical Research. 39: 1; 40-44.
9. Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E (2009), The alteration in the number of apoptotic glial cells in brain of rats after the mobile phone exposure. Electromagnetic Biology and Medicine. 28: 4; 342-354.
10. Daşdağ S, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalında İyonlaştırmayan Elektromanyetik Alanlar ve İnsan Sağlığı Üzerine Yapılmış Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri

- Sempozyumu (EMANET 2011) Bildiri Kitabı. 7-8 Ekim 2011. İstanbul, Türkiye
11. Daşdağ S, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalında Elektromanyetik Alanların Laboratuvar Hayvanları Üzerine Etkileri Konusunda Yapılmış Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu (EMANET 2011) Bildiri Kitabı. 7-8 Ekim 2011. İstanbul, Türkiye
 12. Dasdag S, Akdag MZ, Kizil M, Kizil G, Cakir DU, Yokus B, Effect Of 900 MHz Radiofrequency Radiation On Beta Amyloid Protein, Protein Carbonyl and Malondialdehyde in Brain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31(1): 67–74, 2012.
 13. Yorgancilar E, Dasdag S, Akdag MZ, Gun R, Meric F, Long term effect of 900 MHz radiofrequency radiation exposure on cochlear functions. *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* 26 (6): 3397-3401, DOI: 10.5504/BBEQ.2012.0090, 2012.
 14. Tas M, Dasdag S, Akdag MZ et al., Long-term effects of 900 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phone on testicular tissue and epididymal semen quality. *Electromagn Biol Med*, Early Online: 1–7, DOI: 10.3109/15368378.2013.801850
 15. Simone NL, Soulez BP, Saleh AD, Savage JS, DeGraff W, Cook J, Harris CC Gius D, Mitchell JB, Ionizing Radiation-Induced Oxidative Stress Alters miRNA Expression. *PLoS ONE* www.plosone.org, Vol. 4(7): e6377 July 2009.
 16. Aypar U, Morgan W, Baulch JE, Radiation-induced epigenetic alterations after low and high LET irradiations. *Mutation Research* 707 (2011) 24–33
 17. Zhou B, Xu Y, Permatasari F, Liu W, Li W, Guo X, Huang Q, Guo Z, Luo D, Characterization of the miRNA profile in UVB-irradiated normal human keratinocytes. *Experimental Dermatology*, 21: 299–319, 2012.
 18. Chaudry MA, Omaruddin RA, Kreger B, De Toledo SM, Azzam EI, Micro RNA responses to chronic or acute exposures to low doze ionizing radiation. *Mol Biol Rep.* 39:7549–7558, 2012.

Yüksek Gerilim Hatlarında Çalışanlarda BRCA1, BRCA2 Gen Mutasyonları ve P53'ün Gen Polimorfizminin Araştırılması

Süleyman DAŞDAĞ¹, Tammam SİPAHİ², Arzu AY², Ayhan ÜNLÜ², Metin BUDAK²

¹Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Diyarbakır

²Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Edirne

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, yüksek gerilim dağıtım merkezlerinde çalışan işçilerde BRCA1 ve BRCA2 gibi tümör baskılayıcı genlerin mutasyonlarını ve P53'ün gen polimorfizmini araştırmak ve söz konusu polimorfizmin işçilerdeki dağılımı saptamaktır.

Bu araştırma yaş ortalamaları 36.6 ± 6.8 olan 35 yüksek gerilim iletim işçisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler yaş ortalamaları 35.4 ± 6.4 olan kontrol grubu ile karşılaştırıldı. BRCA1 ve BRCA2 gen mutasyonlarını incelemek için kontrol ve deney grubunda yer alan deneklerden alınan kanlardan DNA'lar izole edildi. İzole edilen DNA'larla BRCA1'in ekson 2 ve ekson 20 ile BRCA2'nin ekson 2 mutasyonları içeren bölgeler polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile çoğaltıldı ve tek zincir konformasyon polimorfizmi (SSCP) yöntemleri kullanılarak belirlendi. P53 kodon 72 Arg/Pro gen polimorfizmi belirlemek için ise PZR ve Restriksiyon Fragment Uzunluk Polimorfizmi (RFLP) yöntemleri uygulandı.

Mesleki ışınlama grubunda yer alan sadece 1 işçide BRCA1'in ekson 2 mutasyonuna rastlandı. Yapılan inceleme sonucu bu işçinin kanser hastası olduğu ve tedavi gördüğü belirlendi. Söz konusu mutasyonun kanserden mi yoksa maruz kalınan alanlardan mı kaynaklandığı belirlenemedi. P53 gen polimorfizmi açısından yapılan değerlendirmede ise deney ve kontrol grubu arasında istatistiksel bir fark gözlenmedi ($p > 0.05$).

Sonuç olarak, Bu çalışmada yer alan yüksek gerilim dağıtım merkezlerinde çalışan işçilerde BRCA1 ve BRCA2 mutasyonları gözlenmedi. Hastalardaki P53 gen polimorfizmi ise kontrollerle karşılaştırıldığında yine farklı bulunmadı. Bununla birlikte deney grubundaki bir çalışmada tespit edilen mutasyonun gerekçelerinin aydınlatılması için, daha geniş kapsamlı araştırmalara gereksinim vardır.

Anahtar Sözcükler: Yüksek gerilim iletim hatları, BRCA1 mutasyonu, BRCA2 mutasyonu, P53 gen polimorfizmi.

Giriş

Elektriğin uzak mesafelere (üretim merkezinden dağıtım merkezlerine) taşınabilmesi ancak yüksek gerilim (YG) hatları ile yapılmaktadır. YG'lerin dağıtım sistemine aktarılması da elektrik dağıtım merkezleri aracılığıyla gerçekleşmektedir. Yüksek gerilim hatlarının etraflarında oluşturdukları elektrik veya özellikle oldukça düşük frekanslı manyetik alan (ELFMF) olarak adlandırılan alanlar vb. etkenler ile çeşitli hastalıklar arasında ilişki olabileceği öne sürülmektedir. 1970'li yıllardan itibaren gündeme gelen bu konu kamuoyunu uzun süredir meşgul

etmektedir. Her ne kadar cep telefonları veya baz istasyonlarının günlük yaşamda yer almasıyla konu kamuoyunda geri planda kalmışsa da, bilim adamlarının konuya ilgisi her geçen gün artmıştır¹⁻⁴. YG hatlarının neden olduğu ELFMF'ler ile çocukluk çağı kanserleri arasında ilişki olabileceği endişesi bilim adamlarının hala yoğun olarak çalıştığı konulardan olmakla birlikte, bu alanlara mesleki olarak maruz kalmanın riskleri de hala tartışılmaktadır. Ayrıca, hücre proliferasyonunda ve farklılaşmasında düzenleyici role sahip olan tümör süpressör genlerde meydana gelen mutasyonlar/polimorfizmlerin çeşitleri kanser türlerine yakalanma riskini arttırdığı düşünülmektedir. Mesleki ELF maruziyetinin tümör supresör genlerde mutasyonlara neden olup olamayacağını irdelemek için bu araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu makalenin amacı, elektrik dağıtım merkezlerinde çalışan teknisyenlerin mesleki ELF lere maruz kalmalarının gen mutasyonlarına neden olup olamayacağını irdelemektir.

Materyal ve Metot

Bu çalışma, yaş ortalamaları 36.6±6.8 olan gönüllü 35 yüksek gerilim iletim işçisi ve yaş ortalamaları 35.4±6.4 olan kontrol grubunda yer alan gönüllüler üzerinde gerçekleştirildi. Bu araştırmayı gerçekleştirmek için çalışanların çalıştıkları kurumdan resmi izin alındı.

BRCA1 ve BRCA2 gen mutasyonlarını incelemek için kontrol ve deney grubunda yer alan deneklerden alınan kanlardan DNA'lar izole edildi. İzole edilen DNA'larla BRCA1'in ekson 2 ve ekson 20 ile BRCA2'nin ekson 2 mutasyonları içeren bölgeler polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile çoğaltıldı ve tek zincir konformasyon polimorfizmi (SSCP) yöntemleri kullanılarak belirlendi. P53 kodon 72 Arg/Pro gen polimorfizmi belirlemek için ise PZR ve Restriksiyon Fragment Uzunluk Polimorfizmi (RFLP) yöntemleri uygulandı.

DNA İzolasyonu

Bu araştırmada yer alanlardan 2 ml periferik kan alınarak antikoagülan ethylenediamine-tetraacetic acid içeren tüplere kondu. DNA'lar, DNA izolasyon kiti (High Pure PCR Template Preparation Kit, Roche USA) ile izole edildi. DNA saflığı ve miktarı spektrofotometrede 260 nm ve 280 nm'deki absorbans değerlerine göre belirlendi. DNA kalitesi %0,8 agoroz jel elektroforezinde yürütülerek EtBr ile boyandıktan sonra UV ışığı altında incelendi.

BRCA1 ve BRCA2'nin ekson 2 ve ekson 20 mutasyonları:

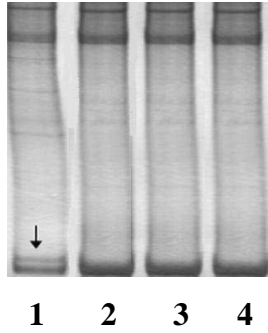
BRCA1'in ekson 2 ve ekson 20 mutasyon noktalarını içeren bölgeler uygun primerler kullanılarak (ekson 2 için

F: 5' GAAGTTGTCATTTTATAAACCTTT-3'
ve
R: 5'-TGTCTTTTCTTCCCTAGTATGT-3'
ekson 20 için ise
(F: 5'-ATATGACGTGTCTGCTCCAC-3'
R: 5'-GGGAATCCAAATTACACAGC-3')
polimeraz zincir reaksiyonu (PZR)
gerçekleştirildi⁵. BRCA2'nin ekson 2
mutasyonu içeren bölge (311 bç) uygun
primerlerle
(F: 5'-CCAGGAGATGGGACTGAATTAG-3'
ve
R: 5'-CTGTGACGTACTGGGTTTTTAGC-3')
çoğaltıldı⁶. PZR, her bir primerden 0,5
nmol, 0,2 mM dNTP, 1,5 mM MgCl₂, 1X
Taq Buffer (75 mM Tris-HCl pH 8,8, 20
mM (NH₄)₂SO₄, %0,01 Tween 20), 1 ünite
Taq DNA polimeraz ve 250 ng genomik
DNA eklenerek toplam 25 µl olacak
şekilde yapıldı. PZR protokolü 96°C'de 5
dakika başlangıç denatürasyonu ile başladı,
bunu 35 döngüden oluşan; 30 saniye
96°C'de denatürasyon, 30 saniye 57°C'de
bağlanma, 1 dakika 72°C'de uzama takip
etti ve son olarak 72°C'de 10 dakika son
uzama aşaması ile tamamlandı. Ürünler
EtBr içeren %2,5'lik agaroz jel
elektroforezinde 110 volt'ta yürütüldü ve
UV ışığı altında incelendi. Mutasyon
varlığı ise Tek zincir konformasyon
polimorfizmi (SSCP) yöntemi kullanılarak
belirlendi. SSCP, 5 µl PZR ürünü, 5 µl
loading buffer (95% formamid, 0.05%
bromofenol mavisi ve 0.05% xylene

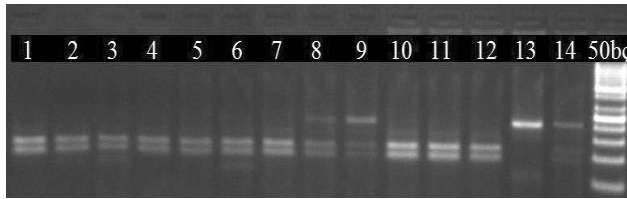
cyanol) içinde seyreltildi ve 98°C'de 10
dakika denatüre edildi. Denatüre edilen
PZR ürünleri 12% poliakrilamid jel
(PAGE) dikey elektroforezde 5 saat 30 mA
akım uygulanarak gerçekleştirildi ve
gümüş nitratla boyandı (Şekil 1).

P53 kodon 72 Arg/Pro gen
polimorfizmi belirlemek için ise PZR ve
Restriksiyon Fragment Uzunluk
Polimorfizmi (RFLP) yöntemleri
uygulandı. PZR, her bir primerden 0,5
nmol
F: 5'-TTGCCGTCCCAAGCAATGGATGA-3'
ve
R: 5'-TCTGGGAAGGGACAGAAGATGAC-3'
0,2 mM dNTP, 2,5 mM MgCl₂, 1X
Taq Buffer, 1 ünite Taq DNA polimeraz ve
250 ng genomik DNA eklenerek toplam 25
µl olacak şekilde yapıldı. 199-bç PZR
ürünü elde etmek için 94°C'de 3 dakika
başlangıç denatürasyonu ile başladı, bunu
35 döngüden oluşan; 15 saniye 94°C'de
denatürasyon, 15 saniye 68°C'de
bağlanma, 30 saniye 72°C'de uzama takip
etti ve sonunda 72°C'de 10 dakika son
uzama aşaması ile elde edildi. RFLP ise, 5
µl PZR ürünü ile 1 µl 5'...C G↓C G...3'
bölgesini kesen BstUI (Bsh1236I) enzimi
ve 5 µl FastDigest Green Buffer
karıştırılarak 60°C'te 3 saat inkübe edildi.
Ürünler EtBr içeren %3'lük agaroz jel
elektroforezinde 110 volt'ta yürütüldü ve
UV ışığı altında incelendi. 113 bç ve 86 bç
bantları veren alel (Arg) iken 199 bç bandı

veren alel (Pro) (Şekil 2) olarak değerlendirildi⁷.



Şekil 1. Tek zincir konformasyon polimorfizmi BRCA1 ekson 2 örnekleri; wild-type DNA (2, 3, 4) ve mutasyonlu DNA (1).



Şekil 2. İşçi-kontrol DNA'larının P53 kodon 72 Arg/Pro gen polimorfizmi içeren bölgelerin BstUI enzim kesimi sonucu %3'lük agaroz jelde yürütülmesi ve UV ışık altında görüntüsü. Arg/Arg (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11 ve 12), Arg/Pro (8, 9 ve 14) ve Pro/Pro (13) genotiplerinin görüntülenmesi (50bp; DNA markeridir).

İstatistiksel Analiz

Sonuçlar ortalama \pm standart sapma ya da yüzde olarak ifade edildi. Gruplardan elde edilen değerlerin normal dağılımlara uygunluğu tek örneklem Kolmogrov-Smirnov testi ile analiz edildi. Alel sıklığı her iki grup genotiplerinden hesaplanarak

Hardy Weinberg Denkliği testi ile analiz edildi. İki grupta genotip ve alel farklılıkları Ki-kare testi ile karşılaştırılarak odds oranı ve %95 güven aralığı değerleri hesaplandı. $p < 0,05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. İstatistiksel Analizler için SPSS 19.0 ve Stata 12.0 programları kullanıldı.

Sonuç

Bu çalışmada olgu gruplarının az sayıda olması araştırmanın sınırlayıcı yanındır. Olgu sayısının artırılması daha anlamlı bir sonuca gidilmesine olanak sağlayacaktır. Sonuç olarak, bu çalışmada yer alan yüksek gerilim dağıtım işçilerinde BRCA1 ve BRCA2 mutasyonları istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p > 0,05$). İşçilerdeki P53 gen polimorfizmi de kontrollerle karşılaştırıldığında anlamlı bulunmadı ($p > 0,05$). Bununla birlikte işçi grubundaki bir çalışmada tespit edilen mutasyonun gerekçelerinin aydınlatılması için, daha geniş kapsamlı araştırmalara gereksinim vardır.

Kaynaklar

1. Akdag MZ, Dasdag S, Cakir DU, Yokus B, Kizil G, Kizil M (2013), Do 100 And 500 μ T ELF Magnetic Fields Alter Beta Amyloid Protein, Protein Carbonyl And Malondialdehyde In Rat Brain?

- Electromagnetic Biology and Medicine, Vol. 32(3): 363–372. DOI: 10.3109/15368378.2012.721848
2. Akdag MZ, Dasdag S, Uzunlar AK et al. Can long-term and safe extremely low frequency magnetic field affect apoptosis, reproduction and oxidative stress? *International Journal of Radiation Biology*. *International Journal of Radiation Biology*, 2013; Early Online: 1–8, DOI: 10.3109/09553002.2013.817705
 3. Akdag MZ, Dasdag S, Ulukaya E, Uzunlar AK, Kurt MA, Taşkın A (2010), Effects of Extremely Low-Frequency Magnetic Field on Caspase Activities and Oxidative Stress Values in Rat Brain. *Biol Trace Elem Res*. 2010 Feb 23. 138 (1-3): 238-249.
 4. Yokus B, Akdag MZ, Dasdag S, et al. (2008), Extremely low frequency magnetic fields cause oxidative DNA damage in rats. *International Journal of Radiation Biology*. 84: 10; 789-795.
 5. Wang PH, Shyong WY, Li YF, Lee HH, Tsai WY, Chao HT, Wu CY, Tsai YC, Yuan CC. BRCA1 mutations in Taiwanese with epithelial ovarian carcinoma and sporadic primary Serous peritoneal carcinoma. *Jpn J Clin Oncol* 2000; 30(8) 343-348.
 6. Lori S. Friedman, Simon A. Gayther, Tom Kurosaki, Debbi Gordon, Barbara Noble, Graham Casey, Bruce A. J. Ponder, Hoda Anton-Culver. Mutation Analysis of BRCA1 and BRCA2 in a Male Breast Cancer Population. *Am. J. Hum. Genet.* 1997; 60: 313-319.
 7. Anita Langerod, Ida R. K. Bukholm, Andre Bregard, et al. The TP53 Codon 72 Polymorphism May Affect the Function of TP53 Mutations in Breast Carcinomas but not in Colorectal Carcinomas. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* 2002; Vol. 11, 1684–1688.

900 MHz Frekanslı Radyofrekansların Beyindeki Beta Amiloid Protein, Protein Karbonil Ve Malondialdehit Üzerine Etkisi

Süleyman DAŞDAĞ¹, Mehmet Zülküf AKDAĞ¹, Göksel KIZIL², Murat KIZIL²,
Dilek Ulker ÇAKIR³, Beran YOKUŞ⁴

¹D.Ü. Tıp Fakültesi Biyofizik Ana Bilim Dalı, Diyarbakır

²D.Ü. Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Diyarbakır

³18 Mart Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyokimya Ana Bilim Dalı, Çanakkale

⁴D.Ü. Veteriner Fakültesi Biyokimya Ana Bilim Dalı, Diyarbakır

ÖZET

Cep telefonlarından yayınlanan 900 MHz frekanslı radyofrekansların (RF) beyin üzerine etkisi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Buna rağmen, uzun süreli RF uygulamalarının beyindeki biyomoleküller üzerine etkilerine ve etkileşim mekanizmalarına ilişkin bilgiler hala yeterli değildir. Bu nedenle bu çalışmada, 900 MHz frekanslı RF ların uzun süreli uygulanmasının beyindeki beta amiloid protein, protein karbonil ve malondialdehit düzeyleri üzerine etkileri araştırıldı. Çalışma 17 adet erkek erişkin Wistar Albino Rat üzerinde gerçekleştirildi. Çalışma için özel olarak geliştirilmiş bir düzenek içine yerleştirilen deney grubu ratların kafaları 2 saat/gün/hafta olmak üzere on ay boyunca 900 MHz frekanslı RF lara maruz bırakıldı. Sham kontrol grubunda yer alan ratlar da aynı deney koşullarında tutuldular ancak RF jeneratörü kapalı tutuldu.

On aylık ışınlama sonunda ötenazi yapılarak deney hayvanlarının beyinlerindeki beta amiloid protein, protein

karbonil ve malondialdehit düzeyleri tespit edildi. Kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu gözlenen biyomoleküllerden sadece protein karbonil düzeyindeki artış istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0.001$). Sonuç olarak, cep telefonlarından yayınlanan 900 MHz frekanslı RF ların uzun süreli uygulanmasının beyindeki bazı biyomolekülleri etkilediği gözlemlendi

Anahtar Kelimeler: Cep telefonları, 900 MHz radyofrekanslar, Beta amiloid protein, Protein karbonil, Malondialdehit (MDA).

Giriş

Cep telefonu ve kablosuz telefonların diğer tipleri gibi wireless iletimlerin kullanımı günden güne artmaktadır. Bu nedenle, radyofrekans radyasyonunun kısa ve uzun süreli uygulanmasının insanlar üzerine potansiyel zararlı etkileri konusundaki endişeler artmaktadır. Bu nedenle cep telefonlarından yayınlanan radyasyonun sağlık etkilerini belirlemek için bir çok

sağlık etkilerini belirlemek için bir çok çalışma yapılmıştır. Son zamanlarda, cep telefonlarından yayınlanan radyofrekans radyasyonunun oksidatif süreç üzerine etkisi ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Malondialdehit (MDA), bir çok dokudaki kanser patojenezine katkıda bulunan oksidatif stres ve özellikle lipid peroksidasyon düzeylerinin ölçümünde kullanılan önemli biomarkerlardan biridir (Dasdag ve ark., 2008). Ayrıca, MDA'nın indüklediği DNA lezyonları bir çok dokuda dedekte edilmiştir (Pluskota-Karwatka ve ark., 2006). Canlı sistemlerde oksidatif stresin öneminden dolayı, cep telefonu uygulamalarının oksidatif stres üzerine etkisini araştıran çalışmaların miktarı hızlı bir şekilde artmıştır (Dasdag ve ark., 2004, 2008, 2009).

Proteinlerde reaktif oksijen ürünlerinin (ROS) oldukça önemli hedeflerinden birini oluştururlar. Proteinlerin oksidasyonu, proteinleri fonksiyon kaybına neden olan bir formata dönüştürebilir. Alzheimer hastalığı genellikle yaşlı bireylerde gözlenen hastalıklardan biridir. Arendash ve ark. (2010) radyofrekans radyasyonunun uzun süreli uygulanmasının beyindeki beta amyloidin azalmasıyla Alzheimer hastalıklı farelerde bilişsel aktivitede artışa neden olduğunu tespit ettiler. Ancak, Soderqvist ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, 890 MHz frekanslı 1.0 W/kg SAR değerli RF'e

beyinlerinin temporal bölgesi 30 dakika maruz kalan 41 bireyde uygulamadan 60 dakika sonra serum transthyretin (TTR) düzeyinde anlamlı bir artış olduğunu buldular. Beta amyloid protein, protein carbonyl ve MDA'nın canlı sistemlerdeki öneminden dolayı, bu çalışmanın amacı 900 MHz cep telefonu uygulamasının beta amyloid protein, protein carbonyl ve MDA üzerine uzun süreli etkisini araştırmaktır.

Materyal ve Metod

Çalışmada 17 Wistar albino erişkin erkek rat kullanıldı. Ratlar deney (n=10) ve sham (n=7) grubu olmak üzere iki gruba ayrıldı. Deney grubu ratlara günde 2 saat, haftada 7 gün, 10 ay boyunca RF jeneratöründen yayınlanan 900 MHz frekanslı RF uygulandı. RF jeneratörünün kapalı olması dışında sham grubuna uygulanan procedür deney grubu ile aynıydı. Deney ve sham uygulamaları özel olarak dizayn edilmiş carousel kullanılarak yapıldı. Ratların baş kısmının antene olan uzaklığı 1 cm idi. Plexiglas carousel kafes içindeki güç yoğunluğu EMR 300 (Narda, Almanya) kullanılarak yapıldı. Çalışmanın son gününde, yapılan en son uygulamadan sonra, ratlar lethal doz da intraperitoneal olarak verilen pentobarbital kullanılarak ötonazi edildi. Ratların beyinleri, MDA, protein carbonyl ve beta amyloid protein düzeylerinin belirlenmesi için çıkarıldı. Çalışmada elde edilen bulguların analizi

için Non parametrik bir test olan Mann-Whitney U testi kullanıldı.

Bulgular

Çalışmada elde edilen bulgular, bu çalışmada kullanılan 900 MHz radyasyonunun uzun süreli uygulanmasının rat beynindeki MDA, protein carbonyl ve beta amyloid protein düzeyini artırdığını göstermiştir. Ancak sadece protein carbonyl düzeyinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulundu ($p < 0.001$). Beyin çevresindeki ortalama güç yoğunluğu $0.052-0.338 \text{ mW/cm}^2$ aralığında ölçüldü. Bununla birlikte elektrik alan $16.26-29.43 \text{ V/m}$ aralığında ölçüldü.

Tartışma

Günlük yaşamımızda cep telefonu ve kablosuz telefonun çok yoğun bir şekilde kullanımı radyofrekans radyasyonunun olası sağlık etkileri özellikle kanser rizki ile ilgili endişelerin artmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmaların bir kısmı, radyofrekans radyasyonunun serbest radikal düzeylerinin ve antioksidan enzim aktivitelerinin ölçümüyle dokularda oksidatif stres ve antioksidan sistemleri module edip etmediğini belirlemek için yapılmıştır (Dasdag ve ark., 2004, 2008, 2009; Yokus ve ark., 2008). Lai ve Singh (1997, 2005) radyofrekans radyasyonunun rat beyin hücrelerinde DNA tek ve çift zincir kırılmalarının artmasına neden olabildiğini rapor etmişlerdir. Bununla birlikte, cep telefonu kullanımı ve kanser

oluşumu olasılığına ilişkin bilimsel bulgular halen çok belirgin değildir. Bu nedenle, araştırmacıların halen bu ilişkiyi açığa çıkarmak için büyük bir performans sergiledikleri görülmektedir.

Daha önceki çalışmamızda uzun süre 900 MHz radyofrekans radyasyonuna maruz kalan ratların karaciğer dokusunda katalaz (CAT), miyeloperoksidaz (MPA), malondialdehit (MDA), total antioksidan kapasite (TAC), total oksidan durum (TOS) ve oksidatif stres indeksi (OSI) parametrelerindeki değişimi ölçtük, ve bu çalışmada, uzun süreli 900 MHz RF uygulamasının karaciğerdeki MDA ve TOS düzeyinde artış olduğunu tespit ettik (Dasdag ve ark al., 2008). Ayrıca, Özgür ve ark., (2010) 1800 MHz RF uygulamasından sonra guinea pig'lerin karaciğerindeki MDA düzeyinde anlamlı bir artış olduğunu tespit ettiler. Sunulan çalışmada, daha önceki çalışmamızla paralel olarak rat beyninin MDA düzeyinde artış olduğu gözlemlendi. Ancak MDA düzeyindeki artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p > 0.005$).

Hafıza ile ilgili aktiviteler oksidatif hasarın birikimine eşlik eden Alzheimer hastalığı gibi nörodejeneratif hastalıklarda ve yaşla azalır. Özellikle oksidatif tahribatın birikimi bilişsel bozukluklara neden olmaktadır. Bu durum, yaşlı ratlarda saptanan mitokondrial metabolitler ve yapılan bilişsel testlerle saptanmıştır. Yapılan çalışmada uzun süreli 900 MHz

RF uygulamasının beyinde protein karbonil düzeyinde artışa neden olduğu saptandı. Bu nedenle uzun süreli RF uygulamasının bazı bilişsel etkilere neden olabildiği söylenebilir.

Sonuç

Sonuç olarak yapılan çalışmada elde edilen veriler, 900 MHz frekanslı RF ile yapılan uzun süreli uygulamaların sağlıklı rat beyin dokusundaki protein karbonil düzeyinde artışa neden olduğu saptandı. Bu nedenle, uzun süreli 900 MHz RF uygulamalarının canlı sistemlerdeki bazı parametreleri değiştirebildiğini ileri sürülebilir.

Kaynaklar

1. Arendash, G. W., Sanchez-Ramos, J., Mori, T., et al. (2010). Electromagnetic field treatment protects against and reverses cognitive impairment in Alzheimer's disease mice. *J Alzheimers Dis.* 19:191–210.
2. Dasdag, S., Akdag, M. Z., Aksen, F., et al. (2004). Does 900MHz GSM mobile phone exposure affect rat brain? *Electromagn. Biol. Med.* 23:201–214.
3. Dasdag, S., Bilgin, H. M., Akdag, M. Z., et al. (2008). Effect of long term mobile phone exposure on oxidative-antioxidative process and nitric oxide in rats. *Biotechnol. Biotechnol. Eq.* 22:992–997.
4. Dasdag, S., Akdag, M. Z., Ulukaya, E., et al. (2009). Effect of mobile phone exposure on apoptotic glial cells and status of oxidative stress in rat brain. *Electromagn. Biol. Med.* 28:342–354.
5. Lai, H., Singh, N. P. (1997). Melatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, 18:446-454.
6. Lai, H., Singh, N. P. (2005). Interaction of microwaves and a temporally incoherent magnetic field on single and double DNA strand breaks in rat brain cells. *Electromagn. Biol. Med.* 24:23–29.
7. Ozgur, E., Guler, G., Seyhan, N., et al. (2010). Mobile phone radiation-induced free radical damage in the liver is inhibited by the antioxidants n-acetyl cysteine and epigallocatechin-gallate. *Int. J. Radiat. Biol.* 86:935–945.
8. Pluskota-Karwatka, D., Pawłowicz, A. J., Kronberg, L. (2006). Formation of malonaldehyde-acetaldehyde conjugate adducts in calf thymus DNA. *Chem. Res. Toxicol.* 19:921–926.
9. Soderqvist, F., Hardell, L., Carlberg, M., et al. (2010). Radiofrequency fields, transthyretin, and Alzheimer's disease. *J. Alzheimers Dis.* 20:599–606.
10. Yokus, B., Akdag, M. Z., Dasdag, S., et al. (2008). Extremely low frequency magnetic fields cause oxidative DNA damage in rats. *Int. J. Radiat. Biol.* 84:789–795.

900 MHz GSM Sinyalinin Sinir İletim Sistemi Üzerine Termal Olmayan Etkileri

İsa Kocakarın¹, Korkut Yeğin¹, Süleyman Daşdağ², Ender G. Yeğin³

¹Yeditepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh., İstanbul

²D.Ü. Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Diyarbakır

³M.Ü. Tıp Fakültesi Gastroenteroloji, İstanbul

Özet

Cep telefonlarının insan vücudu ile etkileşimi genelde termal ve termal-olmayan etkiler olarak iki grupta incelenmektedir. Termal etkiler soğurulan ışınların dokuda ya da hücrede yarattığı ısı temelli etkiler olmasına karşın, cep telefonlarının termal-olmayan etkileri henüz tam olarak bilinmemektedir. Dolayısıyla, cep telefonlarının yaydığı ışınların sinir iletim sistemi üzerine termal-olmayan etkilerinin neler olabileceğine ışık tutmak amacıyla bu çalışma planlanmış ve konu simulasyon bazlı çalışmalarla irdelenmiştir. Sinir sisteminde bir iletişimin gerçekleşmesi için reseptörlerden gelen uyarının belirli bir eşik değerini geçmesi ve bu uyarının sinir sistemi ağı yardımıyla beyinde sonlanması gerekmektedir. Uyarılar elektriksel bir sinyal olarak modellenmektedir. Sinir sistemindeki iletim ise elektronik mühendisliğinde kullanılan iletim-hatları teorisi ile benzerlik göstermektedir. Bu benzerlik çok doğru olmamakla birlikte en yaygın ve en empirik model olarak benimsenmiştir. Bu çalışmada insan

vücudunun iyi modellendiği bir simulasyon ortamında, cep telefonundan çıkan GSMK modülasyonlu darbelerin vücut içinde yarattığı sinyal şekli ve tepe değerleri bulunmuş ve bu sinyal karakteristiğinin bir sinir iletim hattı boyunca iletilmesi gerçekleştirilmiştir. GSM sinyallerinin tek başına sinir iletim sistemi eşik değerinin üzerinde darbe yaratması beklenmemekle beraber, sinir sistemi üzerinde var olan darbeleri nasıl etkilediği incelenmiştir. İkincil bir etki olarak, sinir sistemi üzerinde reseptör kaynaklı ilerleyen bir darbenin frekans spektrumunun GSM darbeleri sinyalden nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Sonuç olarak termal-olmayan etkilerin sinir sistemindeki iletimi nasıl etkilediği ve bu etkilerin fizyolojik sonuçlarının neler olabileceği tartışılacaktır. Gerçek insan deneyleri için de bu çalışma ön hazırlık niteliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: 900 MHz cep telefonları, sinir iletim sistemi, elektromanyetik kirlilik, sağlık

Giriş

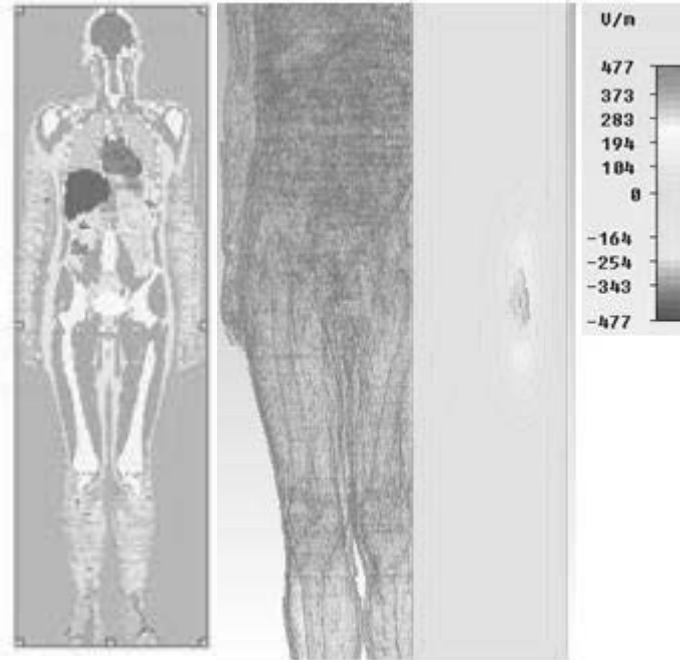
Cep telefonlarının günlük hayattaki yeri her gün hızla artmakla beraber, insan sağlığı üzerindeki etkileri henüz tam olarak bilinmemektedir. Kullanılan frekanslar ve sinyal şiddetiyle moleküler ve atomik düzeyde iyonlaştırıcı etkisinin olmayacağı bilinmekle beraber, ısı ve ısı-olmayan etkileri hala araştırılmaktadır. En fazla çalışılan konulardan biri cep telefonundan yayılan sinyallerin yarattığı ısı değişim ve bunun hücre ve dokudaki değişiklikleridir. Isı değişikliklerinin etkilerini en aza indirmek için spesifik soğurma oranının belirli bir seviyenin altında tutulması için üreticilere ve servis sağlayıcılara kısıtlamalar getirilmiştir. Isı olmayan etkileri üzerine de çalışmalar yapılmış ve kesin sonuçlar henüz ortaya çıkmamıştır. Isı olmayan etkilerinden biri cep telefonu sinyallerinin deri altındaki sinir iletim sistemi üzerine kuplajı ve bu kuplajın yaratabileceği sonuçlardır. En basiti, kuplaj olan sinyalin sinir iletim sistemi üzerinde ilerleyen elektriksel sinyalin eşik değerini etkilemesi veya durağan değerdeki potansiyel seviyesinin eşik değerine sıçramasıdır. Bu etkilerin incelenmesi için 3-boyutlu insan modeli üzerinde simulasyon bazlı çalışmalar yapılmış ve kuplaj sinyali ile sinir iletim sistemi üzerindeki sinyal arasındaki etkileşim incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Bu araştırmada 3-boyutlu elektromanyetik alan hesaplaması yapabilen CST programı ile bir insan modeli üzerinde çalışıldı. Elektromanyetik alan hesaplanması sonlu-farklar yönetimi bazlı olup, uzaya bağlı değişimler Maxwell denklemlerinin integral formundaki hallerinin çözümü içermektedir. İnsan modeli ise bilgisayarlı tomografi yardımıyla yatay kesitlerin ve her kesitteki dokuların elektriksel özelliklerinin oluşturulmasıyla elde edilmiş voxel modelinden oluşmaktadır. Bu model Şekil 1'de gösterilmiştir.

Cep telefonu dipol anten olarak 900 MHz'de rezonant bir yapıdan oluşmaktadır. Telefon ele yakınken (10 mm) yaydığı sinyalin vücut içindeki dağılımı hesaplanmıştır. Özellikle elektrik alanının miyelin tabakalı bir aksonun üzerinde yarattığı potansiyel farkı incelenmiştir. Miyelin dış yüzeyi ile aksonun içi arasındaki mesafe gerilimin oluşması için gerekli iki ayrı nokta olarak alınmıştır. Derinin altında 2mm ve 3mm mesafedeki elektrik alanlarının aksiyal bileşeni dikkate alınmıştır. Yataydaki bileşenleri de dikey boyunca ilerleyen aksone etki etmektedir. Simulasyonla hesaplanan gerilim dağılımı, daha sonra sinir iletim sisteminin elektriksel dağıtılmış parametreler eş değer devresi olarak modellenmesiyle bir devre

analiz programına aktarılmıştır. Sinir iletim sisteminin eşdeğer modeli için Hodgkin-Huxley modeli kullanılmıştır¹. Devre analiz programında bir sinir iletim darbesi² modellenerek, bu devreye GSM kodlu ikinci bir darbe eklenmiştir. İki darbenin zaman içinde etkileşimi incelenmiştir. GSM sinyali için 2W ve 0.8W tepe değerleri kullanılmıştır. GSM darbesinin (564 μ s) bir tam periyodun (4.615 ms) sekizde birinde yer aldığı düşünülürse, 2W için ortalama değer 0.125W olacaktır. İki darbenin etkileşimi AWR Microwave Office programı kullanılarak simule edilmiştir. İki farklı sinyal kaynağı için kayıpsız Wilkinson güç toplayıcı kullanılarak, iletim hattı modellenmiştir.



Şekil 1. İnsan modeli (tüm iç organların 900 MHz'deki elektriksel özellikleri ile beraber) ve ele yakın bir cep telefonun yayılan elektrik alanı.

Bulgular

0.8W Tepe değeri için elde edilen maksimum elektrik alan değeri 125.75 V/m, 2W için ise 210.64 V/m olarak bulundu. Miyelin dış yüzeyi ile akson içi arasındaki mesafe yaklaşık 200 mikron olarak kabul edildiğinde, oluşabilecek maksimum potansiyel farkı tepe değerleri için sırasıyla 25.15 mV ve 42.13 mV olarak bulundu. Dinlenme potansiyelinin -70 mV ve eşik uyarın düzeyinin +35 mV olduğu düşünüldüğünde, oluşan potansiyel farklarının bir uyarın oluşturacak kadar güçlü olmadığı söylenebilir. Dolayısıyla, GSM sinyalinin en güçlü olduğu durumda dahi eşik potansiyelini aşacak derecede potansiyel farkı yaratmadığını simülasyonla belirlendi. Ancak kuplaj olan GSM sinyali, sinir iletim hattı boyunca ilerleyen bir darbeye etki edecektir. GSM sinyali sinir iletim hattında ilerleyen sinyale göre çok daha hızlı değişmektedir ve darbenin tepe değerini etkilemektedir. Örneğin 35 mV tepe değeri ve 1.5-2 ms süresi olan bir sinir ileti darbesi aralıklarda GSM sinyaline maruz kalacaktır. GSM darbesinin 564.6 μ s genişliği ve 270.83 kHz de sembol hızı bulunmaktadır. Dolayısıyla GSM darbesinin ve sinir ileti darbesinin aynı anda üst üste gelme olasılığı bulunmaktadır. Bu da sinir iletiminde tepe değerinde değişikliklere yol açabilmektedir. En azından anlık olarak tepe değerini düşürebilme ihtimali

bulunmaktadır. Sinir iletiminde "hep ya da hiç" kuralı geçerli olduğundan ötürü², tepe değerin değişmesi iletimin aksamasına yol açabilir.

Tartışma

Cep telefonlarından yayılan ışınların insan ve deney hayvanları üzerine etkileri çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir³⁻⁷. Cep telefonlarının sinir iletimi üzerine etkileri temel olarak üç farklı açıdan incelenebilir. Bunlar sırasıyla; cep telefonu sinyallerinin sinir iletim sisteminde herhangi bir uyarı oluşturup oluşturmadığı, cep telefonu sinyallerinin sinir iletim sistemi üzerinde hareket eden bir uyarı etkileyip etkilemediği ve cep telefonu sinyallerinin uyarının iletim hızını etkileyip etkilemediğidir. Birinci etki için gerekli en az 105 mV'luk darbenin GSM 900 bandında en tepe güç değerinde ve deriye çok yakın sinir iletim uçlarında dahi tetiklenemeyeceği simülasyonlarda gözlemlenmiştir. GSM 900 sinyallerinin sinir iletim sistemi üzerinde hareket eden bir darbenin genliğine ve şekline olan etkileri olarak tanımlanan ikinci etki ise miyelin ve akson yapısına bağlı olarak değişmekte ve darbenin tepe gerilimi etkilenebilmektedir. Bunun için GSM darbesinin, sinir iletim sisteminde ilerleyen bir uyarı ile aynı anda çakışması gerekmektedir. Ortalama 1.5-2 saniye süreli sinir darbesinin toplam etki süresinin yaklaşık 50 ms sürdüğü göz önüne alınırsa,

564µs lik GSM darbesinin sinir darbesi üzerinde herhangi bir noktada etki edebileceği veya iki farklı GSM darbesinin de etkili olabileceği gözlemlendi. GSM sinyali içindeki yaklaşık 271 kHz'lik sembol modülasyonundan ziyade sinyalin zarfı etkili olmaktadır. Daha önce yapılan bir çalışmada, darbenin sinir iletim hızı üzerine etkisi az da olsa anlamlı bulunmuştur⁸. Ancak anılan çalışmada GSM sinyalinin sinir darbesi ile çakışıp çakışmadığı çalışılmamış ve bu etki sadece kantitatif olarak irdelenmiştir.

Sonuç

900 MHz GSM bandında çalışan cep telefonlarının vücuda yakın çalışması durumunda sinir hücreleri üzerinde elektriksel bir darbe kuple ettiği simülasyonlarla gösterilmiştir. Gözlenen bu etki eşik değeri aşabilecek düzeyde olmadığı için sinirsel bir uyarı tetiklemediği ancak var olan sinirsel bir uyarının genliğini ve frekans uzayını etkileyebileceği görülmüştür. Gerçek sinir hücreleri üzerinde GSM sinyali ile senkronize edilmiş sinir darbe iletimi araştırmalarına gereksinim vardır.

Kaynaklar

1. Hodgkin, A.L. and Huxley, A.F., "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve", Journal of Physiology Vol. 117(1952), 500-544.

2. William F. Ganong, "Tıbbi Fizyoloji", Nobel Tıp Kitabevleri, 20. baskı.
3. Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Yilmaz F, Bashan M, Dasdag MM, M. Celik MS (2003), Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect the testes. *Bioelectromagnetics*, 24(3):182-188.
4. Aksen F, Dasdag S, Akdag MZ, Askin M, Dasdag MM (2004), The effects of whole body cell phone exposure on the T1 relaxation times and trace elements in the serum of rats. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 23(1), 7-17.
5. Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Bashan M, Buyukbayram H (2004), Does 900 MHz GSM Mobile Phone Exposure affect the Rat Brain? *Electromagnetic Biology and Medicine*, 23 (3): 201-214.
6. Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E (2009), Effects of Mobile Phone Exposure on Apoptotic Glial Cells and Status of Oxidative Stress in Rat Brain. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 28: 4; 342-354.
7. Dasdag S, Akdag MZ, Kizil M, Kizil G, Cakir DU, Yokus B, Effect Of 900 MHz Radiofrequency Radiation On Beta Amyloid Protein, Protein Carbonyl and Malondialdehyde in Brain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31(1): 67–74, 2012.
8. H. Hinrikus; R. Tomson, J. Lass, D. Karai, J. Kalda, V. Tuulik, *The Environmentalist*, Volume 25, Numbers 2-4, December 2005 , pp. 157-163

Diyarbakır İl Merkezinde Düşük Frekanslı Elektrik ve Manyetik Alan Ölçümleri ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Mustafa Cansız¹, M.Bahattin Kurt¹, Ali Recai Çelik¹

¹ Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

mustafa.cansiz@dicle.edu.tr bkurt@dicle.edu.tr ali.celik@dicle.edu.tr

ÖZET

Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülke tarafından kabul gören Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP), elektromanyetik alanlara maruziyet limitlerini belirleyen ve bu konularda yoğun çalışmalar yapan uluslararası bir komisyondur. ICNIRP elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanların biyolojik ve potansiyel sağlık etkilerini incelemek üzere frekans bandını düşük frekans (0-100 Khz) ve yüksek frekans (100 Khz-300 Ghz) bandı olmak üzere ayrı ayrı incelemiş ve farklı kılavuzlar şeklinde yayınlamıştır. Bu çalışmada, düşük frekanslı elektrik ve manyetik alan ölçümleri Diyarbakır İl Merkezi'nin 30 farklı noktasında gerçekleştirilmiştir. Düşük frekans kaynaklı elektrik ve manyetik alan ölçümlerinde ICNIRP'nin belirlemiş olduğu halk maruziyet limit değerlerini aşan yerlerin olduğu tespit edilmiş ve bunun ile ilgili durum değerlendirilmiştir. Ölçümlerde EHP-50C isimli düşük frekanslı elektrik ve manyetik alan ölçer cihazı kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları 6 dakikalık ölçümlerin ortalama değeri alınarak hesaplanmıştır.

1. GİRİŞ

İnsanlığın yaşam koşullarını iyileştiren ve onlara daha iyi imkanlar sunan çeşitli elektriksel olaylar; 'Elektriksel Alanların' oluşmasına neden olmaktadır. Elektriksel alanlar; elektrik alan, manyetik alan ve elektromanyetik alan olmak üzere üçe ayrılır. Bu elektriksel alanlar; elektrik enerjisi üretildiğinde, dağıtıldığında veya elektriksel aletlerde kullanıldığında oluşurlar. Elektrik enerjisinin kullanımı; modern yaşantımızın kaçınılmaz bir parçası olduğundan dolayı, bu alanlar çevremizde her yerde vardır¹.

Çevremizi saran elektromanyetik alan kirliliği, teknolojinin gelişmesi ile birlikte her geçen gün hızla artmaktadır. Elektromanyetik kirliliğin hangi boyutlarda olduğu ve insan sağlığı üzerine etkileri konusu birçok bilimsel çalışmaya esin kaynağı olmuştur. 2001 yılında İtalya'da GPS destekli görsel yaklaşım ile elektromanyetik alan kirliliği gözlemlenmiştir². 2002 yılında Amerika'da çevredeki elektromanyetik alan (EMA) şiddetinin hesaplanması için bir ölçüm sistemi kurulmuştur. Böylelikle geniş coğrafi alanlardaki EMA kirliliği hesaplanabilmiştir³.

2005 yılında Avusturalya'da 50 ile 500 metre arasında değişen mesafelerde 60 baz istasyonu üzerinde incelemeler yapılarak elektromanyetik alan şiddeti seviyesi gözlemlenmiştir⁴. Ülkemizde ise; ÖNAL, E., 2005 yılında günlük hayatta elektromanyetik alana maruz kalma hakkında bilgiler sağlamış ve EMA kaynakları hakkında araştırmalar yapmıştır⁵. ELHASOĞLU, D., 2006 yılında elektromanyetik alanlara uzun süre maruz kalan kişilerin sağlık problemlerini saptamak amacı ile 11 soruluk bir anket hazırlamış ve yüksek gerilim hatlarına 30 metreye kadar yakın oturanlarla daha uzakta oturan kişiler arasında; baş ağrısı, eklem ağrısı, sinirsel rahatsızlıklar, kalp rahatsızlığı, üst solunum yolu enfeksiyonları, tansiyon rahatsızlığı ve uyku bozuklukları arasında farklılık olup olmadığını, yaş ve oturma süresi değişkenlerine göre değerlendirmiş ve istatistiksel oranları incelemiştir⁶. İLHAN, M., ise 2008 yılında Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Gazi Hastanesi'nin elektromanyetik alan haritasını çıkarmış ve hastanede elektromanyetik alan bulunan yerlerde çalışanların sağlık durumlarını incelemiştir⁷. Çerezci, O., 2007 yılında Bursa Nilüfer Belediyesi'nin talebi üzerine, ilçe sınırları içinde yüksek gerilim hatları, trafolar ve baz istasyonları kaynaklı elektromanyetik kirlilik seviyesini belirlemek üzere 5-6 Mart 2007 tarihlerinde toplam 74 noktada Sakarya Üniversitesi tarafından yapılan ölçüm ve gözlemler sonucunda bir rapor hazırlamıştır⁸. Cansız, M., ise yüksek frekanslı elektromanyetik kirliliği sayısal harita üzerinde göstermek için çeşitli ölçümler yapmıştır⁹.

Bu çalışmada Diyarbakır İl Merkezi'nde düşük frekans kaynaklı elektrik ve manyetik alan ölçümleri 6 dakikalık ölçümlerin ortalama değeri alınarak yapılmış ve farklı noktalardan elde edilen sonuçlar bir çizelge şeklinde sunulmuştur. Yapılan ölçümler neticesinde ICNIRP'nin belirlemiş olduğu halk maruziyet limit değerlerini aşan yerlerin olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun nedenleri incelenmiş ve çeşitli öneriler sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOD

Düşük frekanslı elektrik ve manyetik alan ölçümlerinde Şekil.1'de görüldüğü üzere Narda firmasına ait olan EHP-50C cihazı kullanılmıştır. EHP-50C içerisinde bulunan güçlü spektrum analizör ile x,y,z eksenlerinde 5 Hz-100 KHz aralığında düşük frekans ölçümü yapabilen ileri teknoloji ürünüdür. İzotropik anteni sayesinde elektrik ve manyetik alan değerlerini ayrı ayrı ölçülebilmektedir.



Şekil 1: EHP-50C cihazı

Bu çalışmada ölçümler EHP-50C cihazının optik kablo ile dizüstü bilgisayarına bağlanmasıyla alınmıştır. EHP-50C içindeki EPROM sayesinde kalibrasyon tarihi, frekans, seviye kalibrasyon tablosu ve harici cihazlara bağlanırken kullanılan dahili optik repeater bilgileri gibi bilgileri saklanabilmektedir. EHP-50C cihazı hem anten hem de analizör içermektedir.

Ölçümler yapılırken yardımcı ekipman olarak GPS, GPS alıcısı arayüz kablosu ve düşük frekanslı ölçüm cihazlarının bilgisayar ile haberleşmesini sağlayan optik kablo kullanılmıştır. Kullanılan GPS alıcısı Şekil.2'de görülmektedir.



Şekil 2: Garmin Etrex Legend HCx GPS alıcısı

12 kanallı GPS alıcısı yüksek doğrulukta konum bilgisi vermektedir. Şehir merkezlerindeki yüksek ve birbirine çok yakın yapılar arasında koordinatların doğruluk oranının yüksek olması isteniyorsa GPS alıcısının kanal sayısı da yüksek olmalıdır. Dolayısıyla GPS alıcılarının en zorlu koşullarda dahi çalışması ve maksimum doğrulukta koordinat bilgisi vermesi isteniyorsa çok kanallı ve outdoor antenli GPS alıcılarının tercih edilmesinde fayda vardır. Ölçüm alınacak yerlerde GPS alıcılarının GPS uydularını göreceği şekilde konumlandırılmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde GPS alıcısı herhangi bir koordinat bilgisi veremeyecektir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen düşük frekanslı elektrik ve manyetik alan ölçümleri manuel olarak yapılmıştır. Bu ölçümler alınırken, ICNIRP'nin belirlemiş olduğu 6 dakikalık ölçüm yöntemi referans alınmıştır. Yüksek, orta ve alçak gerilim hatları ölçülürken genellikle elektrik alan değeri ölçülmüştür. Fakat şehir merkezinde insanların yaşam alanlarının çok yakınından geçen orta gerilim hatlarının hem elektrik alan hem de manyetik alan değerleri ölçülmüştür. Havai tip trafoların, yer tipi trafoların, trafo dağıtım merkezlerinin ve şalt sahalarının ise manyetik alan değerleri ölçülmüştür. Kentteki yaşam alanlarında yapılan ölçümlerden biri Şekil.3'de görülmektedir.



Şekil 3: Yaşam alanında gerçekleştirilen ölçüm

Farklı noktalarda yapılan düşük frekanslı ölçüm sonuçları ile ICNIRP'nin belirlemiş olduğu limit değerleri karşılaştırılmıştır. Halk maruziyet limitlerini aşan ölçüm sonuçları Çizelge.1'de kalın rakamlar ile gösterilmiştir.

3. BULGULAR

Diyarbakır İl Merkezi'nde bulunan 30 farklı adreste yapılan düşük frekanslı elektrik ve manyetik alan ölçüm sonuçları Çizelge.1'de verilmiştir. Alçak-orta-yüksek gerilim hatları, Tedaş kök binası, havai tip trafolar ve şalt sahası gibi bölgeler, ölçülen elektrik ve manyetik alan kaynaklarından bazılarıdır.

Yüksek gerilim hatlarının yaşam alanlarına çok yakın geçtiği 2,14 ve 20 nolu indekslerde görülen adrelerde elektrik alan değerleri ICNIRP'nin halk maruziyeti için belirlemiş olduğu 5000 V/m limitinin üzerinde olduğu ölçülmüştür. 29 ve 30 nolu indekslerde görülen ve yerleşim yerlerinin çok yakınından geçen orta gerilim hatlarının bulunduğu noktalarda ise manyetik alan değerlerinin ICNIRP'nin halk maruziyeti için belirlemiş olduğu 80 A/m limitinin çok üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1: 30 adres için ölçüm sonuçları

İndeks	Ölçüm Adresi	Ölçüm Koordinatı	Ölçülen Elektromanyetik Alan Kaynakları	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)
1	ÜÇKUYU TOKİ GİRİŞİ DIYARBAKIR	37°59'25.10"N 40°09'20.90"E	YÜKSEK GERİLİM HATTI VE ORTA GERİLİM HATTI	3512,5	
2	ÜÇKUYU TOKİ 4. ETAP CG2 BLOK YANI DIYARBAKIR	37°59'30.90"N 40°09'17.90"E	YÜKSEK GERİLİM HATTI VE ORTA GERİLİM HATTI	6042,5	
3	ÜÇKUYU HAMRAVAT İL KÖĞRETİM OKULU DIYARBAKIR	37°59'36.90"N 40°09'17.90"E	TEDAŞ KÖK BİNASI, YÜKSEK GERİLİM HATTI VE ORTA GERİLİM HATTI		70,9
4	ÜÇKUYU TOKİ İÇİ ANA YOL DIYARBAKIR	37°59'34.00"N 40°09'05.00"E	ORTA GERİLİM HATTI	747,4	
5	DİCLEKENT BULVARI NİL KOLEJİ KÖŞESİ DIYARBAKIR	37°56'31.90"N 40°11'12.10"E	TEDAŞ KÖK BİNASI		2,2
6	DİCLEKENT BULVARI NİL KOLEJİ YANI DIYARBAKIR	37°56'31.31"N 40°11'13.10"E	ORTA GERİLİM HATTI VE ALÇAK GERİLİM HATTI	86,9	
7	DİCLEKENT BULVARI VALİ GÖKHAN AYDINER OKULU DIYARBAKIR	37°56'22.90"N 40°11'22.60"E	TEDAŞ KÖK BİNASI VE HAVAI TİP TRAFÖ		2,6
8	DİCLEKENT BULVARI VALİ GÖKHAN AYDINER OKULU KARSISI DIYARBAKIR	37°56'23.00"N 40°11'24.30"E	HAVAI TİP TRAFÖ		0,9
9	HUZUREVLERİ 43. SOKAK DIYARBAKIR	37°56'17.90"N 40°11'40.00"E	HAVAI TİP TRAFÖ		0,2
10	DR. SİTKİ GÖRAL CAD 14. SOKAK KAYAPINAR DIYARBAKIR	37°56'13.90"N 40°11'40.60"E	HAVAI TİP TRAFÖ		0,3
11	KAYAPINAR KÜLTÜR MERKEZİ DIYARBAKIR	37°56'09.00"N 40°11'37.20"E	ORTA GERİLİM HATTI VE ALÇAK GERİLİM HATTI	124,6	
12	TEDAŞ TRAFÖ DAĞITIM MERKEZİ YANI GÜRDOĞAN MAH 520 SOKAK DIYARBAKIR	37°56'23.00"N 40°13'06.60"E	YÜKSEK GERİLİM HATTI	801,1	
13	TEDAŞ TRAFÖ DAĞITIM MERKEZİ YANI GÜRDOĞAN MAH 509 SOKAK BİR EVİN TERASI DIYARBAKIR	37°56'23.60"N 40°13'8.20"E	YÜKSEK GERİLİM HATTI	2036	
14	TEDAŞ TRAFÖ DAĞITIM MERKEZİ SİLVAN YOLU KESİŞİMİ DIYARBAKIR	37°56'23.60"N 40°13'10.40"E	YÜKSEK GERİLİM HATTI	5865,7	
15	DİCLE ÜNİVERSİTESİ ELK- ELKTRONİK MÜH. BÖLÜMÜ GİRİŞİ DIYARBAKIR	37°54'57.90"N 40°16'31.60"E	ORTA GERİLİM HATTI	113,4	

İndeks	Ölçüm Adresi	Ölçüm Koordinatı	Ölçülen Elektromanyetik Alan Kaynakları	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)
16	DICLE ÜNİVERSİTESİ LOYMANLARI KARŞISI DİYARBAKIR	37°55'29.20"N 40°16'42.70"E	HAVAİ TİP TRAFÖ		0,024
17	DICLE ÜNİVERSİTESİ ZİYA GÖKALP ÖĞRENCİ YURDU ÖNÜ DİYARBAKIR	37°55'39.30"N 40°15'32.20"E	YÜKSEK GERİLİM HATTI	3925	
18	DICLE ÜNİVERSİTESİ SİLVAN YOLU GİRİŞİ	37°56'3.70"N 40°16'36.60"E	YÜKSEK GERİLİM HATTI VE ORTA GERİLİM HATTI	1463,8	
19	SEYRANTEPE TOPLUKONUT 1.CADDE TRAFÖ DAĞITIM MERKEZİ KÖŞESİ DİYARBAKIR	37°56'24.60"N 40°12'56.40"E	TEDAŞ TRAFÖ DAĞITIM MERKEZİ	4543	
20	TEDAŞ TRAFÖ DAĞITIM MERKEZİ YANI TEK KATLI EVİN TERASI	37°56'25.30"N 40°12'57.50"E	TEDAŞ TRAFÖ DAĞITIM MERKEZİ VE YÜKSEK GERİLİM HATTI	9902,5	
21	KAYAPINAR KÜLTÜR MERKEZİ YER TİPİ TRAFÖ DİYARBAKIR	37°56'7.90"N 40°11'36.00"E	YER TİPİ TRAFÖ		1,31
22	GAZİLER HALI SAHA YANI TEDAŞ KÖK BİNASI DİYARBAKIR	37°56'6.70"N 40°10'15.80"E	TEDAŞ KÖK BİNASI		1,67
23	PARK ORMAN YER TİPİ TRAFÖ DİYARBAKIR	37°56'08.50"N 40°11'35.00"E	YER TİPİ TRAFÖ		1,02
24	KAYAPINAR BELEDİYE GARAJI YANI TEDAŞ KÖK BİNASI DİYARBAKIR	37°56'20.00"N 40°10'19.90"E	TEDAŞ KÖK BİNASI		0,3
25	SERİNEVLER SİTESİ YER TİPİ TRAFÖ BAĞLAR DİYARBAKIR	37°55'36.60"N 40°10'24.00"E	YER TİPİ TRAFÖ		0,63
26	SEYRANTEPE TEİAŞ DAĞITIM MERKEZİ ŞALT SAHASI YANI YÜKSEK GERİLİM HATTI ALTI	37°56'23.50"N 40°12'58.10"E	YÜKSEK GERİLİM HATTI	3751,9	
27	SEYRANTEPE TEİAŞ DAĞITIM MERKEZİ LOYMANLARI E BLOK YANI	37°56'22.80"N 40°12'57.70"E	ŞALT SAHASI	69	
28	SEYRANTEPE TEİAŞ DAĞITIM MERKEZİ LOYMANLARI G BLOK YANI	37°56'24.60"N 40°13'00.70"E	ŞALT SAHASI	112	
29	NUKHET COŞKUN CAD. 743.SOK NO=1	37°55'13.04"N 40°12'32.32"E	ORTA GERİLİM HATTI VE ALÇAK GERİLİM HATTI	1846,9	250,82
30	NUKHET COŞKUN CAD. 739.SOK NO=2	37°55'16.60"N 40°12'34.00"E	ORTA GERİLİM HATTI VE ALÇAK GERİLİM HATTI	1753,1	236,83

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada yapılan düşük frekans kaynaklı elektrik ve manyetik alan ölçümlerinde ICNIRP'nin belirlemiş olduğu halk maruziyet limit değerlerini aşan yerlerin olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yüksek gerilim hatlarının yaşam alanlarının çok yakınından geçtiği noktalarda elektrik alan değerinin 9902 V/m kadar yükseldiği ölçülmüştür. Bu yerlerin ivedi bir şekilde düzeltilmesi gerekmektedir. Eğer mümkün ise yüksek gerilim hatlarının geçmiş olduğu halka açık yerlerin değiştirilmesi veya bu yerlerin halka kapalı tutulması gerekmektedir. Özellikle yüksek gerilim hatlarının okul, sağlık ocakları, çocuk esirgeme yurtları gibi yerleşim yerlerinin üzerinden veya çok yakınından geçmemesi gerekmektedir.

Diyarbakır İl Merkezi'nde yerleşim yerlerinin birbirine çok yakın olduğu noktalarda, özellikle Bağlar İlçesinde, orta gerilim hatlarının bazı konutlara çok yakın geçtiği görülmüştür. Bu konutların bazılarında yapılan ölçümlerde manyetik alan değerlerinin ICNIRP'nin belirlemiş olduğu halk maruziyet limit değerlerini aştığı ve manyetik alan değerinin 250 A/m kadar çıktığı tespit edilmiştir.

Bununla ilgili olarak da orta gerilim hatlarının yer altına alınması önerilmektedir. İnsanların yaşamış olduğu tüm yerleşim merkezlerinde periyodik olarak elektrik, manyetik ve elektromanyetik alan ölçümleri yapılmalı ve ölçüm sonuçlarının ICNIRP'nin belirlemiş olduğu maruziyet limitlerini aşmadığından emin olunmalıdır.

Üniversitelerde, okullarda ve tüm eğitim merkezlerinde elektromanyetik alandan korunma yöntemleri ile ilgili konferanslar düzenlenmeli, eğitimler verilmeli ve bu konularla ilgili güncel çalışmalar hakkında ilgili kurumlara gerçek bilgiler verilmelidir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Dinçer, H., RF Dielektrik Kaynak Makinesi Ortamında EM Işınım, Kocaeli, 2009.
- [2] Paolino, L., Monitoring Electromagnetic Pollution: A GIS-Based Visual Approach, İtalya, 2001.
- [3] Bertocco, M., A Measurement System for the Evaluation of Environmental Electromagnetic Field, USA, 2002.
- [4] Henderson, S.I., Survey of RF Exposure Levels from Mobile Telephone Base Stations in Australia Survey of RF Exposure Levels from Mobile Telephone Base Stations in Australia, Australia, 2005.
- [5] Önal, E., Elektromanyetik Alanların Canlı Organizmalara Etkilerinin İncelenmesi, Malatya, 2005.
- [6] Elhasoğlu, D., Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri, Adana, 2006.
- [7] İlhan, M.N., Bir Tıp Fakültesi Hastanesinde Elektromanyetik Alan Haritası Çıkarılması ve Sağlık Çalışanlarında Sağlık Etkilerinin Belirlenmesi, Ankara, 2008.
- [8] Çerezci, O., Bursa Nilüfer İlçesi Elektromanyetik Kirlilik Raporu, Adapazarı, 2007.
- [9] Cansız, M., Drive Test Yöntemi ile Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Diyarbakır, 2012.

Mikrodalga Radyasyonun Apoptotik Aktivite, Genetik Hasar ve Serbest Radikal Oluşumu Üzerine Etkileri –Gazi Üniversitesi Biyofizik ABD Çalışmaları

Meriç A. EŞMEKAYA, Nesrin SEYHAN

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik ABD

ÖZET

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik ABD’de yapılan çalışmalarda mikrodalga (MW) alanların biyolojik sistemler ile etkileşimi incelenmektedir. Yayınlanan bilimsel çalışmalarda MW alanların biyolojik sistemlere zararlı etkileri ortaya konulmuştur. Gazi Biyofizik, Dünya Sağlık Örgütü Elektromanyetik Alanlar Uluslararası Danışma Komitesi üyeliği (WHO EMF IAC-World Health Organization Electromagnetic Fields Project International Advisory Committee), Uluslararası Elektromanyetik Güvenlik Komisyonu Bilimsel Sekreteryaya üyeliği (ICEMS-International Commission for Electromagnetic Safety), NATO STO Tıp Paneli Akademi temsilciliği, NATO Öldürücü Olmayan Silahlar Çalışma Grubu üyeliği ve NATO Elektromanyetik Alanlar Standardizasyonu çalışma grubu üyeliği görevleri ile EM alan araştırmalarını uzun yıllardır uluslararası platformda sürdürmektedir.

MİKRODALGA RADYASYONUN ETKİLERİ GAZİ BİYOFİZİK ÇALIŞMALARI

Mikrodalga (MW) radyasyonun biyolojik etkileri konusu cep telefonları ve 3G teknolojilerinin günlük yaşamımıza girmesinden sonra yoğun olarak araştırılan ve tartışılan bir konu haline gelmiştir. Çeşitli hücre tipleri ve maruziyet koşullarında literatürde yapılan çalışmalarla bu alanların biyolojik etkileri ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda MW radyasyonun başta beyin kanseri olmak üzere çeşitli kanser türlerinde artış, kromozal anomaliler, DNA hasarı, hücre proliferasyonunda azalış, hipotiroidizm, apoptozis ve serbest radikal düzeylerinde artış, üremede azalma, beyin elektriksel aktivitesinde değişim, kan beyin bariyeri geçirgenliğinde artış vb. birçok rahatsızlığa neden olduğu gösterilmiştir. MW radyasyonun etkileri maruz kalınan alanın frekansı, şiddeti, uygulama süresi, hücre tipi, hücre yoğunluğu vb. parametrelere bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Biyolojik etki mekanizması henüz tam olarak aydınlatılamamış olsa da MW radyasyonun oluşturduğu hasarın serbest radikal oluşumuna bağlı olarak ortaya çıktığı sanılmaktadır. MW radyasyonun lipid proksidasyon indükleyerek antioksidan düzeyini baskıladığı gösterilmiştir [1-7].

Cep telefonları gibi MW kaynaklarının sebep olabileceği sıcaklık artışının vücudun normal ısı dengeleyici mekanizmaları ile etkisiz hale getirilebildiği belirtilmektedir. MW radyasyonun termal olmayan etkileri, MW enerjisinin dokunun ya da tüm vücudun ısısını doku veya tüm vücutta tahribat meydana getirecek kadar artırmadığı enerji seviyelerinde görülür. Bu enerji seviyelerinde MW radyasyon uygulanan dokularda serbest radikal üretiminin arttığı rapor edilmiştir [8]. İnsan vücudunda en yaygın olarak üretilen Reaktif Serbest Radikaller Oksijen Kaynaklı Serbest Radikaller (ROS)’dur. Artan ROS miktarı birçok hastalığın patogenezinde rol oynamaktadır. Fizyolojik koşullarda meydana gelen oksidatif hasar, serbest radikalleri etkisizleştirmek için elektronlarını onlara kullandıran antioksidan moleküller tarafından azaltılmaya çalışılır. Endojen bir antioksidan olan Glutasyon (GSH) oksidatif hasara karşı önemli bir hücre savunma ajanı olup, bağışıklık sisteminin savunmasında da önemli roller üstlenir. GSH, serbest radikallerle reaksiyona girip hücre içindeki hidroperoksitleri indirgeyen temel mekanizmadır [9]. Termal olmayan düzeydeki 900 ve 1800 MHz frekanslarındaki pulslu MW alanların dişi ve erkek sıçanlarda oksidatif strese neden olup olmadığını araştırdığımız çalışmada 900 ve 1800 MHz frekanslarındaki pulslu MW radyasyonun sıçanların beyin, akciğer, karaciğer, kalp ve testis dokularında oksidatif hasarın önemli göstergelerinden olan Malondialdehit (MDA) ve Total nitrik oksit (NO_x) düzeylerini artırarak GSH düzeyini azalttığını gözlemledik. Bu sonuçlar MW radyasyonun prooksidan/antioksidan dengenin prooksidanlar yönünde bozulmasına neden olduğunu göstermektedir [10].

Morfometrik analizler, elektron mikroskobu ve immünohistokimyasal yöntemler kullanarak puls modülasyonlu MW alanların tiroid bezi üzerindeki yapısal ve fonksiyonel etkilerini incelemeyi amaçladığımız başka bir çalışmamızda ise 0.424 mW/cm² güç yoğunluğundaki puls modülasyonlu MW radyasyona günde 20 dakika olmak üzere 21 gün boyunca maruz bırakılan sıçanlarda puls modülasyonlu MW radyasyonun sıçanların tiroid bezinde tiroid hormonları salınımını inhibe ettiği ve hipotiroide yol açtığını gözlemledik. Tiroid bezindeki yapısal ve fonksiyonel değişikliklerin yanı

sıra tiroid follikül hücrelerinde MW radyasyon maruziyetine bağlı olarak kaspaz-3 ve kaspaz-9 aktivitelerinin arttığını gözlemledi. Çalışma sonuçları, puls modülasyonlu MW radyasyonun sıçanların tiroid bezinde yapısal değişikliklere ve kaspaz bağımlı apoptozise yol açtığını göstermektedir [1]. Apoptozis MW alanların etkilerinin belirlenmesinde sıkça çalışılan bir parametredir.

Diğer bir çalışmada ise 4 ve 24 saat'lik Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) modülasyonlu MW radyasyon uygulamasının meme fibroblast hücreleri hücre canlılığı ve apoptotik aktivite üzerindeki etkileri incelendi. Hücre canlılıkları uygulanan MW radyasyon etkisinde azalış gösterdi. Apoptotik hücre yüzdeleri ise her iki maruziyet süresinde de artış gösterdi. Bu sonuçların yanı sıra Mitokondri Membran Potansiyeli ($\Delta\Psi_m$)'de azalma tespit edildi. Fas, FasL ve p53 miktarlarında herhangi bir değişme gözlemlenmezken sitokrom-c düzeylerinde istatikselsel olarak anlamı bir artış görüldü. Bu sonuçlar 2.1 GHz W-CDMA modülasyonlu MW radyasyonun meme fibroblast hücrelerinde hücre proliferasyonunu inhibe ederek mitokondri yollu apoptozise neden olabileceğini göstermektedir [11]. MW radyasyonun apoptozisin yanı sıra DNA hasarı da oluşturduğu gösterilmiştir. Değişik maruziyet sürelerinde 1.8 GHz frekansındaki GSM modüleli MW radyasyona maruz kalan insan lenfosit hücrelerinde DNA hasarının önemli göstergelerinden olan Kardeş Kromatid Değişimi (SCE) frekansında istatikselsel olarak anlamlı artışlar gözlemlenmiştir. Hücre canlılığı ise uygulanan MW radyasyona bağlı olarak azalmıştır. Ginkgo Biloba uygulaması MW'nin zararlı etkilerini baskılamıştır [2].

KAYNAKÇA

- [1] Eşmekaya M A, Seyhan N, Ömeroğlu S. Pulse modulated 900 MHz radiation induces hypothyroidism and apoptosis in thyroid cells: a light, electron microscopy and immunohistochemical study. *Int J Radiat Biol* 2010; 86: 1106-16.
- [2] Eşmekaya M A, AYTEKİN E, ÖZGÜR E, ÖZTÜRK G, ERGUN M A, ÖMEROĞLU S, SEYHAN N. Mutagenic and morphologic impacts of 1.8 GHz Radiofrequency Radiation on human peripheral blood lymphocytes (hPBLs) and possible protective role of pre-treatment with Ginkgo Biloba (EGb 761). *STOTEN* 2011; 410: 59-64.
- [3] Lai H, Singh NP. Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int J Rad Biol* 1996; 69: 513-521.
- [4] Pacini S, Ruggiero M, Sardi I, Aterini S, Gulisano F, Gulisano M. Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression, proliferation, and morphology of human skin fibroblasts. *Oncol Res* 2002; 13: 19-24.
- [5] Buttiglione M, Roca L, Montemurro E, Vitiello F, Capozzi V, Cibelli G. Radiofrequency radiation (900 MHz) induces Egr-1 gene expression and affects cell-cycle control in human neuroblastoma cells. *J Cell Physiol* 2007; 213: 759-767.
- [6] French PW, Donnellan M, McKenzie DR. Electromagnetic radiation at 835 MHz changes the morphology and inhibits proliferation of a human astrocytoma cell line. *Bioelectrochem and Bioenerg* 1997; 43: 13-18.
- [7] Michaelson SM, Lin JC. *Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency Radiation*, Plenum Press: New York; 1987.
- [8] ICNIRP International Committee of Non Ionizing Protection. *Guidelines on limits of Exposure to Radio Frequency EM Fields in the Frequency Range from 100kHz to 300GHz*. Geneva: The Institute; 1999.
- [9] Zhao X, Alexander JS, Zhang S, Zhu Y, Sieber NJ, Aw TY, Carden DL. Redox regulation of endothelial barrier integrity. *Am J Physiol* 2001; 281: 879-886.
- [10] M. Arda Eşmekaya, Çiğdem Özer, Nesrin Seyhan (2011). Effects of 900 MHz Pulse Modulated Radiofrequency Radiation on Heart, Lung, Testis and Liver tissues Oxidant and Antioxidant Levels. *General Physiology and Biophysics*, 30(84-89).
- [11] Meric Arda Eşmekaya, Nesrin Seyhan, Handan Kayhan, Mehmed Zahid Tuysuz, Ayşe Kursun, Munci Yagci (2013). Investigation of the effects of 2.1 GHz Microwave Radiation on Mitochondrial Membrane Potential ($\Delta\Psi_m$), Apoptotic Activity and Cell Viability in Human Breast Fibroblast cells. *Cell Biochemistry and Biophysics* baskıda.

1 mT Şiddetindeki Sinüzoidal Manyetik Alana Maruz Kalan Sıçanların Kan ve Beyin Dokusunda Serotonin ve Dopamin İlişkili miRNA Ekspresyon Düzeylerinin Araştırılması

M. Emin ERDAL¹, Nurten ERDAL², Coşar UZUN², Şenay GÖRÜCÜ YILMAZ¹
Serkan GÜRĞÜL³, Didem DERİCİ⁴

¹Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, Mersin

²Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Mersin

³Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Tokat

⁴Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı, Mersin

ÖZET

Evlerde ve iş yerlerinde kullandığımız elektrik akımıyla çalışan veya ona enerji taşıyan kabloların çevresinde elektrik, manyetik veya elektromanyetik alan oluşturduğunu ve bu aletlerin çalışması sırasında yakınında bulunan canlıların elektromanyetik alan etkisinde kaldığı bilinmektedir. Yapılan bazı araştırmalar; elektriğin iletimi ve kullanımı sırasında ortaya çıkan manyetik alanların insan sağlığını olumsuz etkilediklerini bildirmektedir. Ayrıca manyetik alanın beyin fonksiyonları üzerine olumsuz etkilerinin olduğunu gösteren birçok araştırma mevcuttur. Bu konuya katkı sağlamak amacıyla; bu çalışmada 9 hafta (60gün) uygulanan manyetik alanın (MA;50Hz, 1mT,4saat/gün) sağlıklı sıçanların kan ve beyin dokularında serotonin ve dopamin ilişkili *APP*, *BACE1*, *PSEN1* ve *PSEN2* genlerini hedef alan miRNA'ların ekspresyon düzeyleri araştırıldı. Bu amaçla, 16 yetişkin dişi (sham=8, deney=8), 16 yetişkin erkek(sham=8, deney=8), 16 yavru dişi (sham=8, deney=8), 16 yavru erkek (sham=8, deney=8) olmak üzere toplam 64 adet Wistar-Albino sıçan kullanıldı. Gruplara ait kan ve beyin doku örneklerinden RNA izolasyonu sonrası cDNA'lar oluşturularak her örneğin; rno-miR-9-5p, rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107 ve rno-miR-125a-3p ekspresyon düzeyleri Real-Time PCR ile karşılaştırılmalı CT yöntemi ($\Delta\Delta C_T$) ile belirlendi. Elde edilen veriler Wilcoxon Sign testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi. Elde edilen verilere göre, manyetik alanın yetişkin dişilerde kan ve beyin dokusunda miRNA ekspresyon düzeylerini etkilemediği, yetişkin erkeklerde beyin dokusunda rno-miR-9-5p ekspresyon düzeyini arttırdığı ve rno-miR-29a-3p ekspresyon düzeyini azalttığı ($p<0.05$), kan dokusunda ise rno-miR-125a-3p ekspresyon düzeyini arttırdığı ($p<0.05$) gözlemlendi. Ayrıca yavru dişi kan ve beyin dokusunda araştırılan rno-miR-9-5p hariç tüm miRNA'ların ekspresyon düzeylerini düşürdüğü ($p<0.05$), buna karşın yavru erkek beyin dokusunda rno-miR106b-5p, rno-miR-107 ve rno-miR125a-3p ekspresyon düzeylerini arttırdığı ($p<0.05$) gözlemlendi. Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan manyetik alan şiddetinin yavru sıçanları daha çok etkilediği söylenebilir.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak hızla artan ve etkili olmaya başlayan insan yapımı çevresel elektromanyetik (EM) alanlar, doğal alanlar ile uyumlu yaşamakta olan canlılar için mevcut doğal dengenin bozulmasına neden olmuştur. Bu konuda yapılan araştırmalar uzun süreli kronik maruziyet halinde ELF (Extremely Low Frequency, $f<300$ Hz) aralığındaki 50 Hz'lik manyetik alanların etkilerinin üzerinde yoğunlaşmıştır. Evde veya işyerlerinde maruz kaldığımız, elektrik kabloları, yüksek gerilim hatları ve elektrikli ev aletlerinden kaynaklanan elektrik ve manyetik

alanlar 50 Hz titreşimlidir. Ev ve işyerlerinde kullandığımız elektrikli aletlerin manyetik alanları (MA) 0,1 μ T ile 2,5 mT arasında değişim göstermektedir. Literatürde yapılan araştırmalarda MA'nın miRNA ekspresyon düzeyleri üzerine etkileri ile ilişkili çok az çalışma bulunmaktadır. Manyetik alanın beyinde nörodejeneratif etkileri üzerine yapılan epidemiyolojik çalışmalar da sınırlı sayıdadır. Genelde kanser türlerinin etkileri üzerinde yoğunlaşmıştır. Singh ve Lai (1998), Altman ve Ark.(1995), Lloyd ve Ark. (1997) yaptıkları çalışmada manyetik alana maruz kalan sıçanların beyin hücrelerinde DNA-Protein ve DNA-DNA çapraz bağlantılarını etkilediğini bildirmişlerdir (1). McName ve Ark. (2002) 60 Hz, 1 mT, 2 saat/gün manyetik alanın Beyin serebellar hücrelerinde DNA zincir kırıkları üzerinde önemli etkisi olmadığını bildirmişlerdir (1). Henry Lai ve Ark. (1997) yaptıkları bir çalışmada; 60 Hz manyetik alanın Sıçan beyin hücrelerinde DNA çift-zincir kırıklarına neden olup beyin hücrelerindeki (özellikle nöronlarda) kümülatif DNA hasarları; Alzheimer hastalığı, Huntington hastalığı, Parkinson hastalığı ile ilişkilendirilmiştir (2). Bu çalışmada günlük hayatta maruz kalınan düşük frekanslı manyetik alanın gen regülasyonunun düzenlenmesinde, proliferasyonda ve apoptozisde görev aldığı bilinen miRNA üzerine etkisini araştırmak amacıyla; 50 Hz, 1 mT şiddetinde manyetik alana maruz kalan sağlıklı sıçanların kan ve beyin dokularında serotonin ve dopamin ilişkili (*APP*, *BACE1*, *PSEN1* ve *PSEN2*) genleri hedef alan miRNA'ların (miR-9-5p, miR-29a-3p, miR-106b-5p, miR-107, miR-125a-3p) ekspresyon düzeyleri araştırılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada; 16 yetişkin dişi (sham = 8, deney = 8), 16 yetişkin erkek(sham=8, deney=8), 16 yavru dişi (sham=8, deney=8), 16 yavru erkek (sham=8, deney=8) olmak üzere toplam 64 adet Wistar-Albino sıçan kullanıldı. Deney gruplarına 9 hafta (60 gün) 50 Hz, 1 mT, 4 saat/gün manyetik alan uygulandı. Sham grupları ise cihaz kapalı iken plastik restrainerlarda (4 saat/gün) bekletildi. Deney sonunda sıçanların kan ve beyin dokuları izole edilerek Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı'nda miRNA ekspresyon düzeyleri belirlendi. Kan ve beyin doku örneklerinden RNA izolasyonu trizol yöntemiyle yapılarak, cDNA'ları oluşturuldu. Her örneğin; rno-miR-9-5p, rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107 ve rno-miR-125a-3p gen ekspresyon düzeyleri, her bir miRNA dizisine özgü tasarlanmış primerler ve probalar kullanılarak, Real-Time PCR ile karşılaştırmalı CT yöntemi ($\Delta\Delta C_T$)

kullanılarak belirlendi (3). Elde edilen veriler Mann-Whitney U testi ile istatistiksel olarak değerlendirildi.

3. BULGULAR

Yetişkin dişi sıçanların kan ve beyin dokusunda çalışılan miRNA ekspresyon düzeyleri incelendiğinde MA ile SH grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmadı ($p>0,05$). Yetişkin erkek sıçanların kan dokusunda rno-miR-125a-3p ekspresyon düzeyinin arttığı ($p<0,05$), beyin dokusunda ise rno-miR-9-5p ekspresyon düzeyinin arttığı ve rno-miR-29a-3p ekspresyon düzeyinin azaldığı ($p<0,05$) gözlemlendi. Yavru dişi sıçanların kan dokusunda çalışılan tüm miRNA (rno-miR-9-5p, rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107, rno-miR-125a-3p) ekspresyon düzeylerinin azaldığı, beyin dokusunda rno-miR-9-5p ekspresyon düzeyinin arttığı ve diğer miRNA'ların (rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107, rno-miR-125a-3p) ekspresyon düzeylerinin azaldığı ($p<0,05$) gözlemlendi. Yavru erkek sıçanların kan dokusunda rno-miR-9-5p, rno-miR-29a ekspresyon düzeylerinin azaldığı, beyin dokusunda rno-miR-106b-5p, rno-miR-107 ve rno-miR-125a-3p ekspresyon düzeylerinin arttığı ($p<0,05$) gözlemlendi.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yaşamın başlangıcından ölüme kadar, insan vücudu genetik materyalin aktivitesine ihtiyaç duyar. Bu aktivitenin doğru ve zamanlı olarak yerine getirilebilmesinde en büyük pay, gen regülasyonuna aittir. Gen regülasyonu, bir genin fonksiyonel olarak üretimine başlaması (ekspresyon) için zamanlamanın yapılması ve üretilecek ürün miktarının ayarlanması için gerçekleştirilen hücrenel bir yönetimdir. Hücrenin yapısı ve fonksiyonu üzerinde kontrol imkânı tanır, hücrenel gelişim, farklılaşma, apoptozis için temeldir ve bitki veya insan olsun bir organizmanın uyum yeteneğine katkıda bulunur. Gen ekspresyon mekanizmasının, RNA'nın transkripsiyonundan proteinlerin translasyon sonrası değişikliklerine kadar herhangi bir adımı ayarlanabilir (4). Mikro RNA'lar, mRNA'ların translasyonunun düzenlenmesinden sorumlu ve çoğu kodlamayan RNA molekülleridir (5, 6). Hedef aldıkları genin 3'-UTR (3'-Untranslated Region-UTR) veya 5'-UTR bölgesine bağlanarak posttranskripsiyonel olarak gen ekspresyonunu baskırlarlar. 19-23 nükleotid uzunluğundaki olgun miRNA'lar uzun öncül (prekürsör) RNA'ların çeşitli enzimlerle işlenmesiyle oluşur (7). miRNA'lar düzenleyici element olmaları nedeniyle kanser ve nörolojik hastalıklar gibi çeşitli hastalıklarda merkezi rol oynarlar. Çeşitli dokularda farklı miktarlarda eksprese edilmelerine rağmen hastalıklarda ekspresyonları değişmektedir. Mikro RNA'ların ekspresyonundaki değişimler, hedeflediği genin ekspresyonu, baskılanması ya da durdurulması sonucu bazı proteinlerin anormal derecede artmasına veya azalmasına sebep olur. Değişen bu miRNA ekspresyon düzeylerinin önemi Şizofreni, Alzheimer ve Parkinson gibi hastalıklarda da tespit edilmiştir (8). Bu hastalıklardaki etki mekanizmaları içerisinde hedef aldıkları genin transkripsiyonunu baskırlamak yer alır. Elektromanyetik dalgalar, hidrojen peroksit vb. çeşitli fiziksel veya kimyasal ajanların miRNAların işlevlerini etkileyebileceği öne sürülmektedir. Manyetik alanın miRNA'ları veya işlevlerini etkileyip etkilemediği henüz bilinmemektedir. Ancak bu araştırmanın sonuçları bu konu hakkında fikir verebilecek niteliktedir. Bu çalışma; 50 Hz, 1 mT şiddetindeki manyetik alana uzun süreli maruz kalmanın kan ve beyindeki bazı mikroRNA ekspresyon düzeylerini etkilediğini özellikle

yavru sıçanların yetişkinlere göre daha çok etkilendiğini ortaya koymuştur. Günlük yaşantımızda maruz kaldığımız 50 Hz, 1 mT şiddetindeki manyetik alanın kan ve beyin dokusunda birçok genin çalışmasında düzenleyici rol aldıkları bilinen bazı miRNA düzeylerini etkilediğine ilişkin sonuçlarımızı birebir karşılaştırabileceğimiz bilimsel verilere rastlanmamıştır. Buna rağmen Milena Villarini ve Ark. (2013) fare beyininde yaptıkları çalışmada 1 mT ve 2 mT şiddette manyetik alanın DNA zincir kırıklarına neden olduğunu, 0,1 mT şiddette manyetik alanın HSP70 gen ekspresyon düzeyleri ile ilgili proteinde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir (9). Tümörögenез ve nörodejenerasyon ile ilişkili olan ve BECLIN 1 proteinin BECN1 geni hedef alan miR-30a ekspresyonu araştıran Letizia Venturini ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, SH-SY5Y hücre kültürü 3 saat boyunca manyetik alana maruz bırakıldığında herhangi bir değişiklik gözlenmediğini, 6 saat maruz bırakıldığında % 40 arttırdığını bildirmişlerdir (10).

Sonuç olarak; 50 Hz, 1 mT şiddetinde 60 gün (4saat/gün) uygulanan manyetik alanın yetişkin dişilerin kan ve beyin dokusunda miRNA ekspresyon düzeylerini etkilemediği, yetişkin erkek ve yavru sıçanların kan ve beyin dokusunda çalışılan miRNA ekspresyon düzeylerini etkilediğini söyleyebiliriz. Değişen bu miRNA ekspresyon düzeyleri nörodejeneratif hastalıkların gelişmesine neden olabilir. Bu nedenle araştırılan miRNA'lar ile diğer miRNA'ların hedeflendiği gen ve proteinlerle ilişkili detaylı araştırmalara gereksinim duyulmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Henry Lai, Narendra P. Singh, Magnetic-Field-Induced DNA Strand Breaks in Brain Cells of the Rat, Bioelectromagnetics Research Laboratory, Department of Bioengineering, University of Washington, Seattle, Washington, USA, Environ Health Perspect 112:687-694 (2004).
2. Henry Lai, Narendra P. Singh, Acute Exposure to a 60 Hz Magnetic Field Increases DNA Strand Breaks in Rat Brain Cells, Bioelectromagnetics 18:156-165, 1997.
3. Livak KJ, Schmittgen TD. Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real-Time Quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta C_T}$ Method. Methods 2001; 25:402-408.
4. Wang Y, Stricker HM, Gou D, Liu L. MicroRNA: past and present. Front. Biosci. 2007;12(6):2316-2329.
5. Kim VN, Nam JW. Genomics of microRNA. Trends Genet. 2006;22(3):165-173.
6. Lee Y, Kim M, Han J, Yeom KH, Lee S, Baek SH, Kim VN. MicroRNA genes are transcribed by RNA polymerase II. EMBO J. 2004;23:4051-4060.
7. Rogaev EI, Borinskaya SA, Islamgulov DV, Grigorenko AP. Human microRNA in norm and pathology. Mol. Bio. 2008;42(5):751-764.
8. Roshan R, Ghosh T, Scaria V, Pillai B. MicroRNAs: Novel therapeutic targets in neurodegenerative diseases. Drug Discovery Today. 2009;14(23-24):1123-9.
9. Milena Villarini, Maria Vittoria Ambrosini, Massimo Moretti, Luca Dominici, Elena Taha, Danilo Piobbico, Cristiana Gambelunghe & Giuseppina Mariucci, Brain hsp70 expression and DNA damage in mice exposed to extremely low frequency magnetic fields: A dose-response study July 2013, Vol. 89, No. 7, Pages 562-570 (doi:10.3109/09553002.2013.782449).
10. Letizia Venturini, Lorenzo Fassina, Sergio Comincini, Cecilia Osera, Marialaura Amadio, Nicoletta Marchesi, Francesca Sardi, Giovanni Magenes, Salvatore Coarsi, Stefano Govoni, Alessia Pascale, Giovanni Ricevuti, Cell miRNAs molecular pathway: the role of EMFs. Italy.

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkez Kampüs Güney Hattı Boyunca Elektromanyetik Kirlilik Ölçümü

Burak Dilek, Nilüfer As ve Mustafa Ergin Şahin

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 53100 Rize Türkiye

ÖZET

Günümüzde hızla artan teknolojik gelişmelerle beraber elektromanyetik kirlilik ve bu kirliliğin meydana getirdiği zararlı etkiler, uluslararası bilim çevreleri ve standart kuruluşları tarafından inceleme altına alınmış ve bu konuda ciddi adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda; uluslararası standartlar ve sınır değerleri getirilmiştir. Yaptığımız çalışmada; elektromanyetik alanların iyonize olmayan radyasyon bölgesi hakkında verilmiş olan genel bilgiler ışığında; Üniversitemiz merkez kampüs güney hattı boyunca belli noktalarda, farklı günlerde ve günün farklı saatlerinde yapılan elektromanyetik alan ölçüm sonuçları çevresel elektromanyetik kirlilik kapsamında değerlendirilmiştir. Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) ölçümleri; 400 MHz-6 GHz bant aralığında çalışan kompakt bir spektrum analizör cihazı (SRM 3006) ve üç eksenli anteni ile yapılmıştır. Elektromanyetik alanlara ait ölçüm sonuçları; Bilgi Teknolojileri Kurumu'nun yönetmeliğinde ilan ettiği standart değerler ile karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Teknoloji ile yakından ilgilenen birçok kişi WLAN(Kablosuz Yerel Alan Ağları), bluetooth, MMS, SMS, Video Call gibi ibareleri tanımakta ve birçoğunu da kullanmaktadır. GSM kullanımı ise en yüksek seviyelere ulaşmış durumdadır. Bunlar gibi hayatı kolaylaştıran ve evimizde günlük ihtiyaçlarımız için kullandığımız birçok elektrikli alet içinde bulunduğumuz her ortamda var olan EMF'nin (elektromanyetik alan) etkilerini artırmaktadır. Örneğin gündelik yaşantımızda karşılaştığımız bilgisayarların FM dalga radyo yayınlarını bozması, elektrik süpürgesi ve saç kurutma makinelerinin televizyon ve radyolarda cızırtılara neden olması gibi olaylar ortamdaki elektromanyetik alanın etkilerinin değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Çevre kirliliğinin birçok sebebinin olduğu günümüzde elektromanyetik kirlilik konusunda da fazlasıyla tartışmalara yer verilmektedir. Sayıları hızla artan TV, radyo ve baz istasyonlarının oluşturduğu EMF'ler insan sinir yapısında büyük ölçüde hasarlara yol açabilir.

Günlük yaşantımızda da her alanda elektromanyetik kirliliğe maruz kalıyoruz. İş yerimizde kablolu veya kablosuz ağlar, evimizde radyo, televizyon, bilgisayar, mikrodalga fırın vb. aletler doğanın bize sağladığı dengeli sistemi bozuyor. Hayatımızı kolaylaştıran tüm bu aletler farklı ölçülerde elektromanyetik kirliliğe yol açıyor.

Radyasyonun etkileri ise çoğu zaman uzun vadede etki etmiştir. Teknoloji de bir ilaç gibidir, ihtiyaçlarımızı karşılarken yan etkilerini de beraberinde getirir. Bugün radyasyondan etkilenmemek için teknolojiyi kabul etmemek ve kullanmamak mümkün olmadığı göre teknolojinin getirmiş olduğu yan etkileri en aza indirmek en uygun yoldur.

Elektromanyetik alan iki bileşenden oluşur, elektrik ve manyetik alan. Elektrik ve manyetik alanların özellikleri birbirlerinden farklı olup, canlı üzerindeki etkileri de farklıdır. Manyetik alanların etki alanlarının daha geniş olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımın nedenlerinden birisi de elektrik alanlarının duvarlardan geçmemesi, insan derisinden geçerken şiddetini kaybetmesi, manyetik alanların ise özel birtakım maddeler dışında sınır tanımamasıdır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK VE TANIMLAR

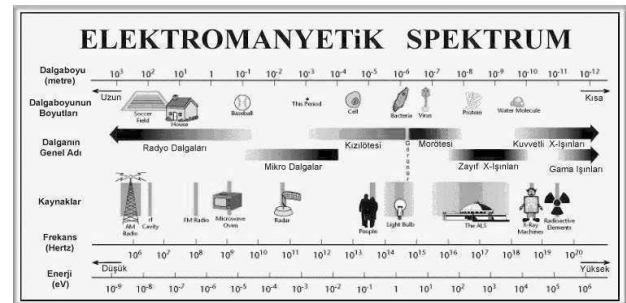
İşıma (radyasyon), enerjinin dalga ya da parçacık biçiminde uzayda yayılması durumudur. Elektromanyetik ışımaya ise elektrik alan ve manyetik alan dalgalarının uzayda beraber ilerlemesidir. Işımalar dalga boylarıyla ya da frekanslarıyla tanımlanırlar. Frekans eksenindeki tüm elektromanyetik dalga türlerini bir arada gösteren çizelge elektromanyetik tayf'tir. Elektromanyetik tayfin bir ucunda yüksek enerjili Gamma ışınları, hemen altında yüksek enerjili x-ışınları, tayfin diğer ucunda da "aşırı düşük frekanslı" alanlar yer alır.

Elektromanyetik alan, Elektrik Alan ve Manyetik alan'dan meydana gelir. Yüklü parçacıkların diğer yüklü parçacıklar üzerinde kuvvet uygulamasıdır.

Elektromanyetik kirlilik:

Çevremizde bulunan; elektrik akımı taşıyan kablolar, radyo frekans dalgaları yayan radyo ve televizyon vericileri, cep telefonu baz istasyonları, yüksek gerilim hatları, trafolar, mikrodalga yayan ev aletleri vb. cihazlardan kaynaklıdır.

İyonlaştırıcı ve iyonlaştırılmayan dalgalar: Dünyada genel kabule göre RF spektrumun 300 GHz'den bölünmesi, 300 GHz'in altındaki RF dalgalarının iyonlaştırılmayan (non-ionizing), üzerindeki de iyonlaştırıcı (ionizing) olarak tanımlanmasıdır.



Şekil 1. Elektromanyetik frekans dağılımı

Elektromanyetik spektrumda;

- 3 Hz - 3 kHz arası çok çok düşük frekans bölgesi
- 3 kHz - 30 kHz arası çok düşük frekans bölgesi
- 10¹² Hz'lere kadar olan bölge radyo dalgaları diye anılır

- 10^{12} Hz'ler kızıl ötesi ışınım bölgesidir. Görünür ışık frekansları 10^{14} Hz'lerdir. Bu frekansların üstü, iyonlaştırıcı radyasyon bölgesi olup mor ötesi, x ve gama ışınları bu bölgededir.

2.2. ELEKTROMANYETİK ALAN KAYNAKLARI

Elektromanyetik alan kaynakları; radyokomünikasyon alanında doğrudan RF sinyalleri üzerinden haberleşme sağlamak için kullanılan cihazlardan yayılan dalgalar ile birlikte, amacı ortama herhangi bir elektromanyetik dalga yaymak olmayan ancak işleyişi için gerekli enerjinin kullanımı nedeniyle oluşan ve cihaz dışınayılması önlenemeyen istenmeyen dalgaları yayan tüm cihazları içine alan geniş bir tanım olarak karşımıza çıkmaktadır.

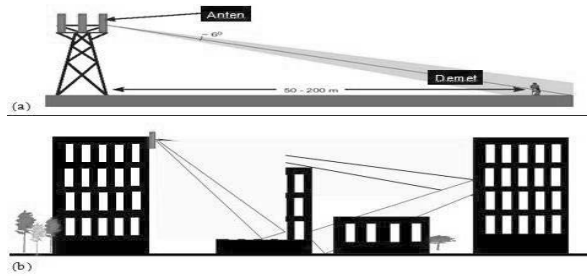
2.2.1. Kirliliği Oluşturan Elektromanyetik Alanlar

Tüm vericiler, alıcılar, yayın istasyonları, uydu antenleri, TV ve radyo alıcı ve vericileri, bilgisayar, televizyon, buzdolabı, mikodalga fırın, çamaşır makinesi, elektrik süpürgeleri, saç kurutma makineleri, su ısıtıcıları ve tüm elektrikli ev aletleri elektromanyetik alan oluşturmaktadır.

2.2.2. GSM Sistemindeki RF Kaynakları

Son yıllarda sayıları hızla artan GSM hücreli haberleşme sistemi 900 MHz ve 1800 MHz'de kapsama ve trafik yükü beklentileri bakımından istenen kullanım etkinliğinin sağlanabilmesi bakımından çok sayıda GSM baz istasyonu (Base Transmitting Station - BTS) ile işletilmekte ve bu ortamda özellikle de yerleşim alanları içinde yoğun bir elektromanyetik alan oluşumuna sebep olmaktadır.

Kullanıcı sayısı arttıkça çevremizde baz istasyonlarının sayısının artması kaçınılmazdır. Baz istasyonları tipik olarak 10-30 m yüksekliğindeki kulelere yerleştirilir. Genelde her kulede 120° 'lik yatay açıyı kapsayan üç anten bulunur. Her anten düşeyde tipik, olarak 5-6°'lik hüzmeye sahiptir. Bu hüzmeye yataydan biraz aşağı yönlendirilerek kuleye en yakın 50 m' de yere değer. Her anten birkaç konuşma kanalına (tipik olarak 2-4, en fazla 16) sahiptir. Bir kule ile 30-40 km'lik yarı çaplı bir alanın kapsanabilmesi için her kanal ortalama 40-60 W çıkış gücüne ve antenler 15-18 dB kazançla sahiptir.



Şekil 2. Tipik baz istasyonu tesisleri ve EM enerji yayılımı

GSM şebekelerinin yaygınlaşması ve yeni hatların devreye sokulması, her yere baz istasyonlarının kurulmaya başlaması son günlerde EM kirlilik tartışmalarını ön plana çıkarmıştır. Tartışmanın bilimsel temellere oturtulması, kavramların ve büyüklüklerin netleşmesi yaşanmaya başlanan kaosu bir ölçüde önleyecek ve olayların sağlıklı gelişimini sağlayacaktır. Elektromanyetik alan oluşturan cihaz ve sistemlerin çevrelerinde oluşturdukları elektromanyetik kirlilik seviyeleri ve kaynakları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çevremizde oluşan elektromanyetik kirlilik elektrik alan seviyeleri ve kaynakları

A. Elektrik Alan İçin	
Cihaz İsmi	Oluşan Max. Elektrik Alan (V/m)
Yıldırım esnasında oluşan doğal elektrik alanı	20000
380 kV'luk iletim hattı	6000
110 kV'luk iletim hattı	2000
10 kV'luk iletim hattı	500
Elektrikli battaniye	500
Doğal elektrik alanı	500
Elektrik ütüsü	200
Elektrikli tıraş makinesi	100
Saç kurutma makinesi	50
Ev içindeki elektrik kabloları	5

Çevre Bakanlığı yeni baz istasyonları kurulmasına bir düzenleme getirmek üzere hazırladığı genelgeyi henüz yayınlamıştır. Bu genelge ile valiliklere sorumluluk, TÜBİTAK ve üniversitelere de denetleme ve ölçme yetkisi verilmektedir. Sağlık Bakanlığı konu üzerinde uzun süredir çalışmalarını sürdürmektedir. TSE (Türk Standartları Enstitüsü) yıllardır standartların düzenlenmesi çalışmalarına eğilimindedir. Bunun dışında BTK (Bilgi Teknolojileri Kurumu) tarafından da Elektronik haberleşme cihazlarında güvenlik sertifikası düzenlenmesine ilişkin bir yönetmelik hazırlanıp yayınlanmıştır. Türkiye'de ölçüm yetkisi almak isteyen kurumlara da bu yetki BTK tarafından verilmektedir.

Tablo 2. Çevremizde oluşan elektromanyetik kirlilik manyetik alan seviyeleri ve kaynakları

B. Manyetik Alan İçin	
Cihaz İsmi	Oluşan Max. Manyetik Alan(A/m)
Fırınlara ve saç kurutma makineleri	2000
Elektrikli tıraş makinesi	1000
Matkap	500
Elektrikli süpürge ve tost makinesi	100
Yer kürenin doğal manyetik alanı (statik)	30
380 kV'luk iletim hattı	30
110 kV'luk iletim hattı	15
10 kV'luk iletim hattı	10
Ev içindeki elektrik kabloları	5

Tablo 3. Ortam ve tek bir cihaz için BTK tarafından belirlenen limit değerler.

Frekans Aralığı (MHz)	E - Alan Şiddeti (V/m)		H - Alan Şiddeti (A/m)		B - Manyetik Akı Yoğunluğu (µT)		Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu (W/m²)	
	Tek cihaz için limit değeri	Ortaman toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortaman toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortaman toplam limit değeri	Tek cihaz için limit değeri	Ortaman toplam limit değeri
0.010-0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15-1	22	87	0.18f	0.73f	0.23f	0.92f	-	-
1-10	22f ^{0.5}	87f ^{0.5}	0.18f	0.73f	0.23f	0.92f	-	-
10-400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400-2.000	0.341 f ^{0.5}	1.375 f ^{0.5}	0.0009 f ^{0.5}	0.0037 f ^{0.5}	0.001 f ^{0.5}	0.0046 f ^{0.5}	0.3 200	6200
2.000-60.000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

f: frekans (MHz)

2.3. ELEKTROMANYETİK ALANLARIN BİYOLOJİK ETKİLERİ

EM dalgaların tüm spektrumunun canlılara etkisi olduğu bilinmektedir. Ancak bu etki mekanizmasının spektrumun her bölgesi için aynı olmadığı, farklı etkileşimlerinin bulunduğu da bilinmektedir. Radar, radyo ve TV vericileri, baz istasyonları ve diğer çeşitli cihazlardan kaynaklanan iyonlaştırmayan ışıma uzun süreli maruziyetin canlılarda kalıcı etkiler oluşturabileceği bilinmektedir. En önemli etki dokularda ısı artışına neden olmasıdır. Diğer bir etki ise kaynaktan uzaklaştıkça elektrik alana maruziyet azalır

Evsel aletler ve tipik manyetik alanlar (miliGauss cinsinden)

Cihaz / Uzaklık	d = 10 cm	d = 30 cm	d > 1m
Elektrik süpürgesi	300-400	30-50	3-5
Ütü	5-10	1	0,5
Çamaşır makinası	20-30	3-5	1
Saç kurutma makinası	400	10	1
Elektrik traş makinası	200	5	0,5
Mikser	70-200	5-10	0,5
Kahve makinesi	3-5	0,5	0,5
Bulaşık makinesi	20-40	5-10	0,5-1
Elektrik fırını	5-10	0,5	0,5
Tost makinesi	5-10	0,5	0,5
Buzdolabı	5-10	1	0,5
Müzik seti	3-5	1	0,5
Renkli TV	3-5	1	0,5
diijital saat	2-3	1	0,5
Klima	100	3-5	0,5
Fotokopi makinası	80-150	10-30	1-3

2.3.1. SAR Değeri

Canlı vücudunun elektromanyetik dalgadan soğurduğu enerji “Özgül Soğurma Oranı” (Specific Absorption Rate-SAR) ile verilmektedir. Özgül Soğurma Oranı ortalama bir insan vücudunun soğuracağı kg başına enerji miktarını temsil etmektedir. SAR değerinin ölçülmesi oldukça kompleks olmakla birlikte hesaplanması basitçe aşağıdaki formülle mümkün olmaktadır.

$$SAR = \sigma E^2 / \rho \text{ [W/kg]}$$

σ : İletkenlik [S/m]

E : Elektrik alan [V/m]

ρ : Yoğunluk [kg/m³]

SAR değeri doğrudan ölçülemeyen bir parametre olduğundan uygulamada ya doğrudan elektrik alanının ya da elektrik alana dönüşümü mümkün olan güç akı yoğunluğu (Power Flux Density) veya manyetik alan değerlerinden birinin ölçülmesi yeterli olmaktadır. Burada güç akı yoğunluğu, elektromanyetik dalganın akış yönüne dik birim yüzeyden geçen enerji akısını göstermektedir ve aşağıdaki formül ile verilmektedir.

$$S = EB/\mu \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Güç akı yoğunluğu ortamın empedansı ve elektrik alan şiddetine aşağıdaki gibi bağlıdır.

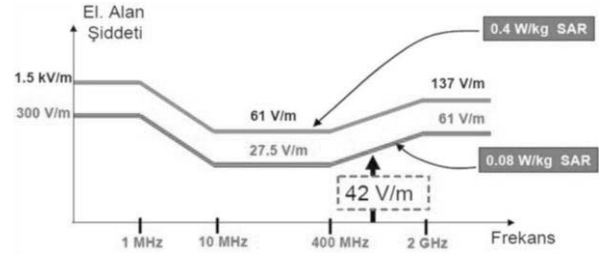
$$S = E^2/377$$

Yapılan araştırmalarda ortalama ağırlıkta bir insanın vücut sıcaklığının 1° C artması için, SAR= 4 W/kg değerinde bir maruziyetin gerektiği bulunmuş ve bu ısı artışı ölçüsü üzerinden sınır değerlerin belirlenmesi yoluna girmiştir.

2.4. İNSAN SAĞLIĞI İÇİN SINIR DEĞERLER VE ULUSLARARASI KURULUŞLAR

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler de vardır. Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection –

Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. ICNIRP Kılavuzu'nda (ICNIRP Guidelines) yer alan çalışmalar üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili başka bilim adamlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütülmüştür.



Şekil 3. ICNIRP sınır değerlerinin frekansla değişimi

Amerika Birleşik Devletleri'nde bu sınır değerler FCC (Federal Communications Commission – Federal Komünikasyon Komisyonu) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ve ANSI (American National Standards Institute – Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. IEEE/ANSI standartları da sınır değerlerin belirlenmesinde yaygın olarak kabul gören ve temel alınan değerlerdir.

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda oluşturulmuş sınır değerler frekansa göre değişiklik gösterir. Örneğin baz istasyonlarının çalışma frekanslarını içine alan 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için ICNIRP Kılavuzu'nda yer alan sınır değerler elektrik alan şiddeti için $1,375f^{1/2}$ V/m (f = frekans (MHz)); manyetik alan şiddeti için $0,0037f^{1/2}$ A/m ve elektromanyetik güç yoğunluğu için $f/200$ W/m² ifadeleriyle verilmiştir. Bu ifadelerle verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Buna göre genel yaşam alanlarında, GSM 900 ve DCS 1800 sistemleri için kontrolsüz etkilenme için sınır değerler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

900 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	41,25 V/m	-
Manyetik Alan Şiddeti	0,111 A/m	-
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m ²	6,0 W/m ²
1800 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	58,33 V/m	-
Manyetik Alan Şiddeti	0,157 A/m	-
Güç Yoğunluğu	9,0 W/m ²	10,0 W/m ²

Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.07.2001 tarihli resmi gazetede yayınlanan “10 kHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik” ile Türkiye’de geçerli olan sınır değerleri belirlenmiştir. Bu yönetmelikte yer

alan sınır değerlerin belirlenmesinde ICNIRP Kılavuzu'nda yer alan sınır değerler esas olarak alınmış olup, buna ek olarak her baz istasyonu için ayrıca sınırlama getirilmiştir. Buna göre tek bir cihaz için 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için Telekomünikasyon Kurumu'nun yönetmeliğinde yer alan sınır değerler, elektrik alan şiddeti için $0,341f^{1/2}$ V/m (f = frekans (MHz)), manyetik alan şiddeti için $0,0009f^{1/2}$ A/m ve güç yoğunluğu için $f/3200$ W/m² ifadeleriyle verilmiştir. Verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir.

Türkiye'de 900 MHz ve 1800 MHz'de kontrolsüz etkilenme için uyulması gereken sınır değerler çizelgede verilmiştir.

Tablo 5. Türkiye'de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	Tek bir cihaz için sınır değeri	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değeri	Ortamın toplam sınır değeri
Elektrik Alan Şiddeti	10,23 V/m	41,25 V/m	14,47 V/m	58,34 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0,027 A/m	0,111 A/m	0,038 A/m	0,157 A/m
Güç Yoğunluğu	0,28 W/m ²	4,5 W/m ²	0,56 W/m ²	9,0 W/m ²

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. ELEKTROMANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİ

Elektromanyetik alan ölçümleri, temel olarak elektromanyetik dalganın elektrik alan şiddeti veya manyetik alan şiddeti bileşimlerini ölçümünden ibarettir. Yakın alan mesafesi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir:

$$2D^2/\lambda \quad D: \text{Anten boyutu}, \lambda: \text{Dalga boyu}$$

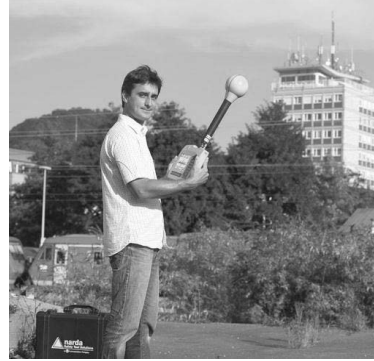
Bu değerden uzak olan noktalarda yapılan ölçümlerde, sadece elektrik alan bileşiminin ölçülmesi yeterlidir. Elektromanyetik dalganın uzak alanda aşağıdaki eşitlik kullanılarak manyetik alan şiddeti H (A/m) hesap edilebilir.

$$E/H=377$$

Ölçümler için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır biz yaptığımız ölçümlerde Narda SRM 3006 cihazını kullanıyoruz. Ölçüm sonuçları ve değerlendirmeye geçmeden önce cihazımızı kısaca tanıyalım:



SRM-3006 (Selektif Radyasyon Metre) 9 kHz ila 6 GHz frekans aralığında yüksek frekanslı elektromanyetik alanların güvenlik analizlerini ve çevresel ölçümlerini yapmaya yarayan elde taşınarak kullanılabilecek büyüklükte bir frekans seçici (selective) ölçüm sistemidir. Bu büyüklükte frekansları olan sinyallerin dijital olarak örneklenmesi çok güç olduğu için, SRM 3006 hem analog hem de dijital sinyal işlemeyi birlikte kullanır. Radyo yayınları (AM, FM), TV (analog, DVB-T), BOS (Tetra), mobil iletişim (GSM, UMTS), radar ve kablosuz iletişim (WiMax, WLAN), gibi yüksek frekanslı elektromanyetik alanların mutlak ve sınır değerlerinin ölçümü için idealdir.

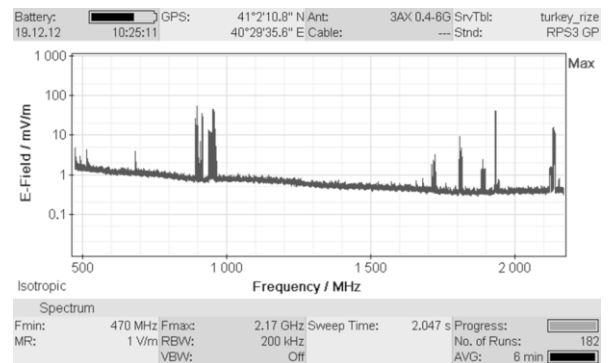


3.2. R.T.E.Ü. Merkez Kampüsünde Yapılan Ölçümler ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Cihazımızla yaptığımız ölçümlerde her noktanın her saat dilimindeki ölçümümüz için elde ettiğimiz dataları 3 farklı görünümde kaydedebiliyoruz.

1. Spektrum Görünümü
2. Data Tablosu
3. Bar Grafiği

1. Spektrum Görünümü: Bu görünümde elde ettiğimiz sonuçlarda her pik bir kaynaktan gelen sinyali temsil eder.

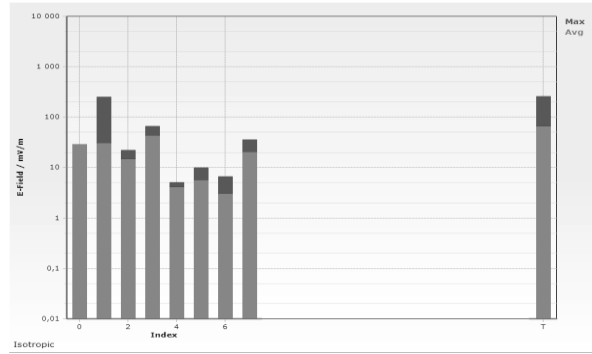


2. Data Tablosu Görünümü: Bu görünümde elde ettiğimiz sonuçlar sayısal değerlerin sıralanması şeklindedir.

Index	Service	Fmin	Fmax	Max
1	TV	470.000 MHz	862.000 MHz	28,95 mV/m
2	GSM900_UL	890.000 MHz	915.000 MHz	252,5 mV/m
3	turkcell	935.000 MHz	946.200 MHz	21,74 mV/m
4	vodafone	946.400 MHz	957.000 MHz	65,35 mV/m
5	GSM1800_UL	1 710.000 MHz	1 785.000 MHz	5,046 mV/m
6	Avea_DL	1 805.200 MHz	1 818.400 MHz	9,885 mV/m
7	UMTS_UL	1 930.000 MHz	1 970.000 MHz	6,565 mV/m
8	UMTS_DL	2 120.000 MHz	2 170.000 MHz	36,04 mV/m
Total				257,3 mV/m

Isotropic
Safety Evaluation
MR: 1 W/m RBW: 200 kHz Noise Suppr.: Sweep Time: 4,387 s Progress: Off No. of Runs: 82 AVG: 6 min

3. Bar Grafiği Görünümü:



Güney cephesinde ölçüm yaptığımız her bölgede her saat aralığında elde ettiğimiz maksimum elektrik alan değerleri aşağıdaki gibidir;

Kampüs Güney Cephesi 1. Bölge (Güvenlik Kulübesi Karşısı):

Servis	Maksimum Elektrik Alan (mV/m)			
	10.30 Ölçümü	13.30 Ölçümü	16.00 Ölçümü	19.00 Ölçümü
TV	28,95	30,54	29,85	29,94
GSM900_UL	252,5	7,908	76,80	147,0
Turkcell	21,74	23,79	18,69	22,64
Vodafone	65,35	74,09	68,26	63,35
GSM1800_UL	5,046	5,029	136,2	4,392
Avea_DL	9,885	9,694	12,25	11,76
UMTS_UL	6,565	34,68	20,39	5,449
UMTS_DL	36,04	46,23	44,58	48,87
TOPLAM	257,3	85,48	151,1	152,4

Kampüs Güney Cephesi 2. Bölge (Spor Salonu Köşe):

Servis	Maksimum Elektrik Alan (mV/m)			
	10.30 Ölçümü	13.30 Ölçümü	16.00 Ölçümü	19.00 Ölçümü
TV	83,83	36,86	37,09	35,47
GSM900_UL	63,17	8,204	7,895	9,071
Turkcell	61,44	35,42	41,71	33,65
Vodafone	57,56	80,75	104,1	86,60
GSM1800_UL	39,10	5,903	4,603	30,23
Avea_DL	35,82	18,54	17,46	26,12
UMTS_UL	27,99	6,759	3,150	6,475
UMTS_DL	25,37	49,59	58,37	94,21
TOPLAM	394,28	97,92	120,7	117,2

Kampüs Güney Cephesi 3. Bölge (Fakülte Binası Önü):

Servis	Maksimum Elektrik Alan (mV/m)			
	10.30 Ölçümü	13.30 Ölçümü	16.00 Ölçümü	19.00 Ölçümü
TV	34,04	32,08	33,68	33,30
GSM900_UL	475,3	32,93	20,80	8,516
Turkcell	44,88	35,38	38,58	45,80
Vodafone	70,70	71,14	69,40	69,10
GSM1800_UL	12,79	22,59	68,43	17,65
Avea_DL	38,50	34,47	28,36	41,95
UMTS_UL	7,577	10,41	21,78	3,308
UMTS_DL	99,83	68,28	91,98	110,9
TOPLAM	483,2	103,5	117,2	133,6

Kampüs Güney Cephesi 4. Bölge (Fakülte Binası Arkası):

Servis	Maksimum Elektrik Alan (mV/m)			
	10.30 Ölçümü	13.30 Ölçümü	16.00 Ölçümü	19.00 Ölçümü
TV	30,43	30,04	29,88	29,91
GSM900_UL	5,991	7,097	7,162	8,558
Turkcell	17,95	10,64	16,84	14,81
Vodafone	24,93	14,52	24,96	16,13
GSM1800_UL	7,128	4,751	12,43	4,492
Avea_DL	16,94	15,47	15,04	15,73
UMTS_UL	3,285	3,281	3,141	3,308
UMTS_DL	30,46	26,71	33,66	26,63
TOPLAM	47,97	43,64	49,43	45,96

4. SONUÇLAR

1. Bazı bölgelerde ve bazı saatlerde iletişim yoğunluğu arttıkça elektrik alan değerleri yüksek ölçülmüştür.
2. Kampüs Alanında yapılan ölçüm ve hesaplamalar diğer hatlarda ve kampüs merkezinde devam etmektedir.
3. BTK tarafından belirlenen sınırlar dışında ölçüm tespit edilememiştir.

KAYNAKLAR

1. Resmi Gazete, Elektronik Haberleşme Cihazlarına Güvenlik Sertifikası Düzenlenmesine İlişkin Yönetmelik, Sayısı: 27230, 16.05.2009.
2. Sevgi, L., "EM girişim ortamı", Elektromanyetik Kirlilik, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, İstanbul, 18-41 (2000).
3. Yılmaz, E., Bilim ve Teknik, 28-34 (2001).
4. ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), "Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics, 74(4), 1998, pp.494-522.
5. İpek, N., "Elektromanyetik Kirlilik", Elektrik Mühendisliği, 44: 46-49 (2006).
6. İnternet: Doğuş Üniversitesi "Elektromanyetik kirlilik, cep telefonları ve baz istasyonları" http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/lsevgi_prof/emc_yazi/emc_emoist.pdf (2000).
7. İnternet: Gazi Üniversitesi Noniyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi "Cep Telefonları SAR Değerleri" <http://www.gnrk.gazi.edu.tr/sar.htm> (2007).
8. İnternet: Gazi Üniversitesi Noniyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi "Cep Telefonları SAR Değerleri" <http://www.gnrk.gazi.edu.tr/sar.htm> (2007).
9. Şeker, S., Çerezci, O., "Radyasyon Kuşatması", Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 1-26 (2000).
10. İnternet: TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi "Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı" <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/gsm.pdf> (2001)
11. "10 kHz – 6 GHz Frekans Bandında Çalışan ve Ortamda İstem Dışı Elektromanyetik Alan Maruziyetine Neden Olan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarının Kuruluş Yeri, Montajı, Elektrik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik", Telekomünikasyon Kurumu, (2001).
12. "İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması- Yüksek Frekanslar (10 kHz-300 GHz)", Türk Standartları Enstitüsü, TS ENV 50166-2, (1996).

Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alan (ÇDF-EMA) Uygulanarak Bakteriyel Biyofilmlerin Kontrolü

Hasan Kahraman¹, Melek Tüter², Turhan Karagüler³

¹Moleküler Biyoloji-Genetik ve Biyoteknoloji, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

²Kimya Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

³Enerji Sistemleri Mühendisliği, Beykent Üniversitesi, İstanbul

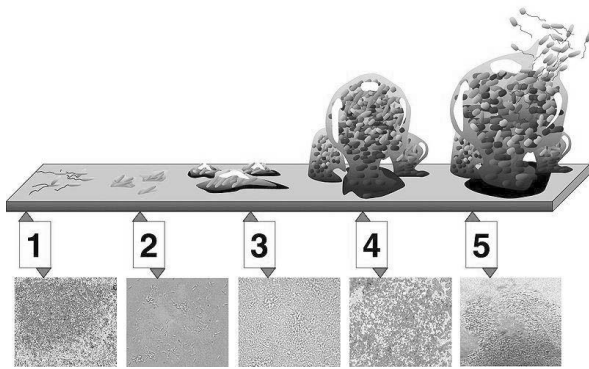
¹e-posta: kahramanh1@itu.edu.tr ²e-posta: tuter@itu.edu.tr ³e-posta: turhank@beykent.edu.tr

ÖZET

Biyofilm hem canlı hem cansız sistemler üzerinde kendiliğinden oluşabilen ve bakterilerin hayatta kalmalarını sağlayan önemli bir yapı elemanıdır. Biyofilmler normal hücrelerle karşılaştırıldıklarında, makrofaj ve antibiyotiklere karşı daha dirençli oldukları için oluşumlarını engellemek oldukça güçtür. Biyofilm oluşumunu engellemeye yönelik antimikrobiyal, fonksiyonel yüzeyler, quorum-sensing ve faj kullanımı gibi geleneksel yöntemler kullanılmasına karşın istenilen sonuçlar alınamamıştır. Bu çalışmada ise, aynı amaca yönelik olarak çok düşük frekanslı elektromanyetik alan (ÇDF-EMA) uygulanması sonucu bakteriyel biyofilm oluşumunun engellenmesi veya tamamen ortadan kaldırılması hedeflenmiş olup, konuya ilişkin yapılan deneylerin sonuçları paylaşılmıştır.

1. GİRİŞ

Biyofilmler, ürettikleri ekzopolimer matriks içinde yaşamaları ile karakterize edilen, mikrokoloniler oluşturarak yüzeye yapışan bakteri gruplarıdır. Matriksi oluşturan hücre dışı polimerik yapılar ağırlıklı olarak polimerik şekerlerden oluşmakta fakat proteinler, nükleik asitler ve lipidler de bu yapılarda görülmektedir (Şekil 1). Bu yapılarından dolayı biyofilm bakterileri daha değişken metabolik yollarına sahip ve geleneksel antimikrobiyal ajanlara karşı dirençlidir [1-3].



Şekil 1: Bakterilerin bir yüzeye tutunması ve biyofilm gelişim aşamaları; (1) Planktonik hücreler, (2) Tek hücre tabakası (monolayer), (3) Mikrokoloni, (4) Gelişim ve olgunlaşma, (5) Olgunlaşmış biyofilm.

Biyofilm enfeksiyonları dünyada birçok ölüme yol açmakta ve yüksek sağlık harcamalarına sebep olmaktadır. İnsanlarda biyofilm oluşumuna yol açan başlıca etkenler arasında medikal cihazların kullanımı ve implantlar gelmektedir [4].

Biyofilm oluşturarak enfeksiyona yol açtığı tespit edilen en önemli patojenlerden birisi *Pseudomonas aeruginosa*'dır [5]. Bu patojen özellikle bağışıklık sistemini hedef alarak enfeksiyona yol açmaktadır [6]. *P. aeruginosa* gram (-), katalaz-pozitif ve aerobik çubuk şekilli bir patojen bakteridir. Hücre-yüzey polisakaritleri bakterinin hayat döngüsünde önemli rol oynar. Bu polisakaritler hücre duvarı ve çevre arasında bariyer görevi görerek, konak-patojen etkileşimlerine aracılık eder ve biyofilm oluşumuna yol açan yapısal bileşenleri oluştururlar [7].

Biyofilm oluşturan patojenleri uzaklaştırmada çeşitli yöntemlere başvurulmaktadır. Medikal cihazlara bağlı enfeksiyonları engellemeye kullanılan başlıca stratejilerden birisi standart antimikrobiyal ajanların kullanıldığı sistemik terapilerdir. Ancak implantlar üzerindeki enfeksiyonları engellemek oldukça güçtür. Çünkü biyofilmler yapıları gereği antibiyotiklere karşı direnç göstermektedir ve başarılı bir terapi için medikal cihazın çıkarılması gerekmektedir [8]. Biyofilm enfeksiyonları ile mücadelede kullanılan bir diğer yöntem, bakterilerin yapışmasını engelleyen fonksiyonel yüzeylerin oluşturulmasına yöneliktir. Geçmiş dönemlerde koruyucu kaplamaların yapısında kullanılan toksik maddeler yaygın olarak kullanılıyordu fakat günümüzde çevresel etkileri göz önüne alındığında kullanımları azaldı, hatta bazıları yasaklandı [4,9,10]. Bir başka yaklaşım ise bakterilerin iletişim mekanizmasını (quorum-sensing) bozarak biyofilm oluşumunu engellemeyi amaçlanmaktadır. Quorum-sensing mekanizması kullanılarak doğal yapılarda sentetik analoglar vasıtasıyla başarılı sonuçlar elde edilse de oluşan toksinlerden dolayı klinik aşamaya geçilememiştir. Ayrıca quorum-sensing yöntemlerinde sadece belirli patojenler hedef alınabilmektedir [11]. Birçok *in vitro* çalışmada, fajların da biyofilm oluşturan hücreleri enfekte ettiği görülmüştür. Fajlar, biyofilmlerin ekzopolimerik matriksine ait yapıları parçalayarak iç tabakalara nüfuz edebilir ve biyofilm oluşumunu engelleyebilir. Fajların klinik olarak kullanılabilmesi için bir şekilde implantlara entegre edilmesi gerekmektedir. Ancak bu yöntemde fajların bakteriyel hücreleri enfekte ettiğinin ve biyofilm üzerindeki polisakaritleri parçalayabildiğinin belirlenmesi gerekmektedir [8].

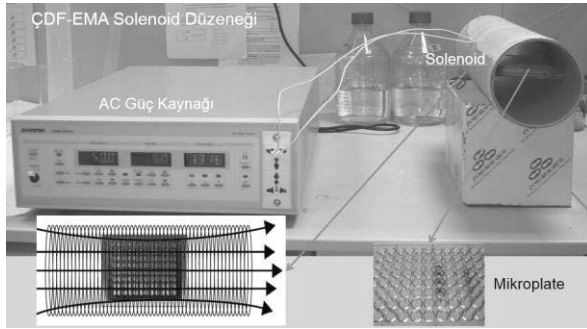
Elektromanyetik alanlar'ın (EMA) hücre davranışları üzerinde herhangi bir etkisinin olup olmadığı uzun süredir araştırılmaktadır [12]. EMA'nın etkileri üzerine çeşitli hayvan modelleri (*in vivo*) ve hücre kültürleri (*in vitro*) üzerinde çalışmalar yürütülmüş olup etkileri üzerine kesin bir yargıya varılamamıştır [13-16]. Halihazırda var olan yöntemler göz önüne alındığında biyofilme bağlı

enfeksiyonları engellemek ve kontrolünü sağlamak için alternatif yöntemler geliştirmeye acil ihtiyaç vardır [17]. Elektromanyetik alan uygulayarak yapılan birçok deneysel çalışmada belirli frekanslardaki elektromanyetik alanların biyofilm oluşumlarını engellediği görülmüştür [18-20]. Biyofilm oluşumunu engellemeye yönelik geleneksel yöntemlerin problemleri göz önüne alındığında elektromanyetik alan yöntemi ile biyofilm oluşumunun engellenmesi alternatif bir yol olabilir [21].

2. MATERYAL VE METODLAR

2.1 ÇDF-EMA Deneysel Düzenegi

Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alan (ÇDF-EMA) yayılımı için solenoid içeren bir deneysel düzenek tasarlandı. Solenoidin iç çapı 160-170 mm genişliğinde, 160-180 sarımlı 430-440 mm uzunluğunda bakır telden oluşmaktadır (Şekil 2). Solenoid, merkezde 50 Hz frekans aralığında, 1.0 mT \pm 2% şiddetinde homojen alternatif sinüs manyetik alan oluşturmaktadır. Solenoid, sinüs-dalgası alternatif akım üreten ve 50-300 Hz frekans aralığında çalışan AC güç kaynağına bağlanmıştır.



Şekil 2: Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alan (ÇDF-EMA) oluşturma düzenegi.

2.2 Mikrotiter Plaka Biyofilm Testi

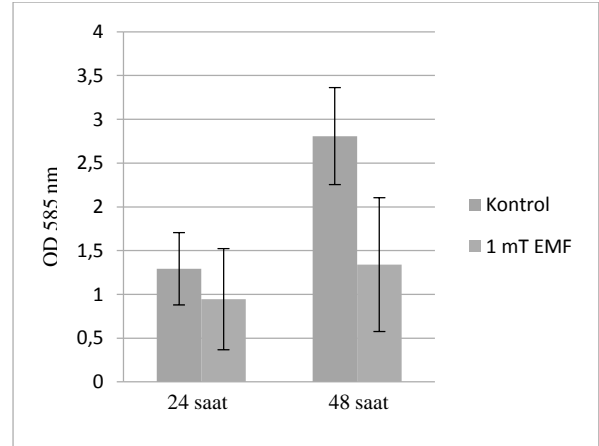
Mikrotiter plaka biyofilm testi, mikroorganizmaların abiyotik yüzeylere bağlanmasını ölçmede kullanılan, yüksek verim sağlayan bir yöntemdir. Temel olarak, bakteri hücreleri 96 kuyucuklu mikrotiter plaka (96-well plate) içerisinde istenilen süre boyunca oluşturularak, planktonik hücreler yıkanmaktadır. Kuyucuklar içinde plaka yüzeyine yapışmış halde bulunan hücreler ise hücre motiflerini gözlemleyebilmek için uygun bir boya ile boyanır. Daha sonra yüzeye bağlı hücre-boya kompleksi çözünerek spektrofotometrik yöntemlerle yoğunluğu ölçülmektedir.

Mikrotiter plakalar üzerinde, *Pseudomonas aeruginosa* bakteri hücrelerinin 1 mT şiddetinde ÇDF-EMA'a maruz bırakıldığı ve kontrol olarak da normal koşullarda büyütüldüğü iki ayrı deney seti hazırlanarak, bakteri hücrelerinin 24 ve 48 saat boyunca oda sıcaklığında (24-26°C) biyofilm oluşturmaları sağlandı. Her bir deney seti için; -80C'de bulunan *P. aeruginosa* stok kültüründen 10 µl hücre, 5 ml Triptik Soy Broth (TBS) besiyerine ekilerek, hücreler durağan faza kadar (14-16 saat) kültüre edildi. Elde edilen hücre kültürü 1:100 oranında TBS besiyerinde seyreltilerek, her bir mikrotiter tabakada 4 kuyucuğa olmak üzere 100 µl oranında konularak kapatıldı. Daha sonra mikrotiter tabakalardan bir adedi, AC güç kaynağı ile 50 Hz frekansta 5 V uygulandığında merkezinde 1 mT şiddetinde

ÇDF-EMA alan üreten solenoid düzeneğine yerleştirilerek, diğer mikrotiter tabaka da dış ortamda normal koşullarda bırakılarak, bakteri hücrelerinin kuyucuklar içerisinde oda koşullarında (26-28°C), 24-48 saat boyunca biyofilm oluşturmaları sağlandı. Her iki mikrotiter tabaka kuyucuklarında bulunan planktonik hücreler, tabaka yüzeyine yapışan bakteri hücrelerine zarar vermeden H₂O ile yıkandı. Kuyucuk yüzeylerinde yapışmış halde bulunan *P. aeruginosa* biyofilm oluşumları %0.1'lik 125 µl kristal vyolet boyası ile boyandı ve 10 dk oda sıcaklığında bırakıldı. Daha sonra her bir kuyucukta bulunan kristal vyolet solüsyonu dökülerek, kuyucuklar birkaç defa H₂O ile yıkandı. Kristal vyolet boyası bu yöntemle kuyucuk yüzeylerinde yapışmış halde bulunan biyofilm tabakalarını boyamaktadır, serbest halde bulunan boya yıkama adımıyla uzaklaştırılmaktadır. Kuyucuklar daha sonra kurutularak, yüzeylerinde bulunan boyanmış biyofilm tabakası %30'luk 200 µl asetik asit ile 10-15 dk bekletilerek çözünmüştür. Her kuyucukta bulunan kristal vyolet/asetik asit solüsyonundan 125 µl alınarak, temiz düz tabanlı 96 kuyucuklu mikrotiter plakaya aktarıldı. Aktarılan örneklerin her birinin 585 nm dalgaboyunda spektrofotometre ile yoğunlukları ölçüldü.

3. SONUÇLAR

50 Hz frekans aralığında 1mT ÇDF-EMA'nın *P. aeruginosa* bakteri hücrelerinin biyofilm oluşuma üzerindeki etkileri, kontrol grubu ile karşılaştırılarak ortaya çıkarıldı. Kristal vyolet boyası ile boyanarak spektrofotometrik olarak yoğunluğu ölçülen *P. aeruginosa* biyofilm oluşumlarının, 24 ve 48 saat sürelerde ÇDF-EMA'a maruz bırakıldıklarında, normal koşullara göre büyüme oranlarının düştüğü, diğer bir deyişle ÇDF-EMA varlığında biyofilm oluşumunun azaldığı gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3: *Pseudomonas aeruginosa* kültürlerinin oda sıcaklığında, 24 ve 48 saat boyunca 50 Hz, 1 mT şiddetinde ÇDF-EMA uygulandığı ve uygulanmadığı durumdaki biyofilm oluşturma oranlarının ortalama değerleri (Her bir deney seti 3 defa tekrarlanmıştır).

4. TARTIŞMA

Deney sonuçlarından elde edilen veriler doğrultusunda, *P. aeruginosa* bakteri türünün biyofilm oluşum aşamasında 50 Hz frekans aralığında 1mT ÇDF-EMA uygulandığında, 48 saat sonunda biyofilm oluşumunda normal koşullar ile karşılaştırıldığında %50'ye yakın bir düşüş olduğu görülmektedir. 24 saat sonunda ÇDF-EMA'a maruz bırakılan

bakteri hücreleri ile kontrol grubu arasında %20'ye yakın bir fark bulunurken, 48 saat sonunda bu fark %50'ye kadar çıkmıştır. Belirli frekans aralıklarında EMA'nın hücreler üzerinde etkilerinin olabileceği belirtilmektedir. 50 Hz frekans aralığında elde edilen bu sonuçlar ışında çalışmalarımız devam etmekte olup, 100 Hz, 150 Hz ve 300 Hz frekans aralıklarında da çalışmalar yapılarak hangi frekanslarda biyofilm oluşumunun daha çok etkilendiğine yönelik bir profil ortaya çıkarılabilecektir. ÇDF-EMA'nın hücre zarlarındaki elektrik yüklerini etkileyerek, hücrelerin normal davranış sergilemesini engellemek suretiyle biyofilm tabakasındaki ekzopolimer matriks yapısında değişikliğe yol açıyor olabilir. ÇDF-EMA tek başına biyofilm oluşumunu tamamen ortadan kaldırmasa da, antibiyotikler ile birlikte kullanıldığı taktirde antibiyotiklerin de ekzopolimer matriks içine nüfuz etmesini kolaylaştırarak biyofilm oluşumunu engellemeye yönelik etkili bir yöntem geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Blenkinsopp, S. A., and J. W. Costerton, Understanding bacterial biofilms, *Trends Biotechnol.*, 9, 138–148 (1991).
- [2] Davies, D., Understanding biofilm resistance to antibacterial agents, *Nat. Rev. Drug Discovery*, 2, 114–122 (2003).
- [3] Ellwood, D. C., Keevil, C. W., Marsh, P. D., Brown, C. M., Wardell, J. N., Surface associated growth, *Phil. Trans. R. Soc., London Ser. B* 297, 517–532 (1982).
- [4] Estrela, A.B., Heck, M.G., Abraham, W.R., Novel Approaches to Control Biofilm Infections, *Current Medical Chemistry*, 16, 1512-1530 (2009).
- [5] Perez-Roa, R.E., Tompkins, D.T., Paulose, M., grimes, C.A., Anderson, M.A., Noguera, D.R., Effects of localised, low-voltage pulsed electric fields on the development and inhibition of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms, *Biofouling*, 22(5-6),383-90 (2006).
- [6] Campoccia, D., Monatanaro, L., Arciola, C.R., The significance of infection related to orthopedic devices and issues of antibiotic resistance, *Biomaterials*, 27, 2331–2339 (2006).
- [7] Cornelis, P. (editor), *Pseudomonas: Genomics and Molecular Biology* (1st ed.), Caister Academic Press Brussel, Belgium (2008).
- [8] Azeredo, J., Sutherland, I.W., The Use of Phages for the Removal of Infectious Biofilms, *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 9, 261-266 (2008).
- [9] Callow, M., Callow, J., Marine biofouling: a sticky problem, *Biologist*, 49, 1 – 5 (2002).
- [10] Flemming, H-C., Biofouling in water systems – cases, causes and countermeasures, *Appl Microbiol Biotechnol*, 59, 629 – 640 (2002).
- [11] Hentzer, M., Eberl, L., Nielsen, J., Givskov, M., Quorum Sensing: A Novel Target for the Treatment of Biofilm Infections, *BioDrugs*, 17, 241-250 (2003).
- [12] Wertheimer N., Leeper E., Electrical wiring configurations and childhood cancer, *Am. J. Epidemiol.*, 109, 273-284 (1979).
- [13] Savitz D.A., Wachtel H., Barnes F.A., John E.M., Tvrdik J.G., 1988. Case control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields, *Am. J. Epidemiol.* , 128, 21-38 (1988).
- [14] London S.C., Thomas D.C., Bowman J.D., Sobel E., Cheng T.C., Peters J.M., Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia, *Am. J. Epidemiol.*, 134, 923-937 (1991).
- [15] Stenlund C., Floderus B., Occupational exposure to magnetic fields in relation to male breast cancer and testicular cancer: a Swedish case-control study, *Cancer Causes Control*, 8, 184-191 (1997).
- [16] Linet M.S., Hatch E.E., Kleinerman R.A., Robinson L.L., Kaune W.T., Friedman D.R., Severson R.K., Haines C.M., Hartssock C.T., Niwa S., Wacholder S., Tarone R.E., Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *N. Eng. J. Med.*, 337, 1-7 (1997).
- [17] Di Campli, E., Di Bartolomeo, S., Grande, R., Di Giulio, M., Cellinin, L., Effects of Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields on *Helicobacter pylori* Biofilm, *Curr Microbiol* 60, 412–418 (2010).
- [18] Obermeier, A., Matl, F.D., Friess, W., Stemberger, A., Growth Inhibition of *Staphylococcus aureus* Induced by Low-Frequency Electric and Electromagnetic Fields, *Bioelectromagnetics*, 30,270 – 279 (2009).
- [19] Del Pozo, J.L., Rouse, M.S., Mandrekar, J.N., Steckelberg, J.M., Patel, R., The Electricidal Effect: Reduction of *Staphylococcus* and *Pseudomonas* Biofilms by Prolonged Exposure to Low-Intensity Electrical Current, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, Jan. 2009, p. 41–45.
- [20] Del Pozo, J.L., Rouse, M.S., Mandrekar, J.N., Sampedro, M.F., Steckelberg, J.M., Patel, R., Effect of Electrical Current on the Activities of Antimicrobial Agents against *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, and *Staphylococcus epidermidis* Biofilms, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, Jan. 2009, p. 35-40.
- [21] McLeod, B.R., Sandvik, E.L., A Biofilm Growth Protocol and the Design of a Magnetic Field Exposure Setup to Be Used in the Study of Magnetic Fields as a Means of Controlling Bacterial Biofilms, *Bioelectromagnetics*, 31,56-63 (2010).

Gazi Üniversitesi Biyofizik RF ve MW Simülasyon Çalışmaları

Mehmet Z. Tüysüz¹, Ayşe G. Canseven¹, Nesrin Seyhan^{1,2}

¹Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Ankara

²Gazi Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi-GNRK, Ankara

mtuysuz@gazi.edu.tr, canseven@gazi.edu.tr, nesrin@gazi.edu.tr

ÖZET

RF Alan maruziyetinden kaynaklı biyolojik bir etkinin belirlenmesine yönelik deney tasarımında dozimetri önemli bir yer tutmaktadır. Dozimetriye öncelikle hayvanlarda ve kültür hücrelerinde biyolojik etkiye neden olan iç alanların belirlenmesinde ve insanlarda aynı biyolojik etkilerin görülmesine neden olabilecek iç alan değerlerinin tespitinde ihtiyaç duyulmaktadır. Radyo frekans dozimetri, biyolojik dokuların absorbladığı RF elektromanyetik alanın büyüklüğünün ve dağılımının tespiti olup; RF enerjinin biyolojik materyaller ile etkileşimi fiziksel bakımdan kompleksir. Bu nedenle RF Alan maruziyeti kaynaklı doz değerlerinin tespitinde simülasyon çalışmaları ayrı bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada Gazi Üniversitesi Biyofizik Laboratuvarında gerçekleştirilen RF alan simülasyon çalışmalarına değinilecektir.

GAZİ BİYOFİZİK RF VE MW SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Teknolojideki hızlı gelişim ile birlikte Elektromanyetik (EM) Alan kaynaklarının çeşitliliği ve sayısı çığ gibi artmaktadır. Özellikle 90'lı yıllardan sonra hayatımıza girmeye başlayan cep telefonları nedeniyle bireylerin Radyo Frekans (RF) Alan maruziyetinde ciddi bir artış yaşanmaktadır. Üstelik bu alan kaynağı, hem beyin gibi önemli ve hassas bir organa çok yakın mesafede kullanılmakta hem de gelişme sürecinde bulunan çocuklar da dahil olmak üzere her yaşta bireyler tarafından çok yaygın şekilde kabul görmektedir. Bu nedenle cep telefonu kullanımından kaynaklı muhtemel sağlık etkileri bilimsel alanda yoğun şekilde çalışılmaktadır.

Ulusal ve uluslararası standartlarda Özgül Soğurma Oranı (ÖSO, SAR) ile belirtilen RF Alan doz limitleri konularak olası sağlık etkilerinin önlenmesine çalışılmaktadır. RF Alan maruziyetinden kaynaklı alınan doz değerinin, doğrudan insan üzerinde ölçümünün mümkün olmaması nedeniyle maruz kalınan doz değerleri, ya laboratuvar ortamında doku eş değeri sıvı ile dolu fantomlarda ölçümler ile ya da bilgisayar ortamındaki simülasyonlar kullanılarak tespiti mümkün olabilmektedir.

Gazi Üniversitesi Biyofizik Laboratuvarında gerçekleştirilen RF Alan simülasyon çalışmalarını 3 ana başlık altında toplayabiliriz.

I. Cep Telefonu Kullanımı Kaynaklı Kafada Oluşan SAR Değerleri ile ilgili Simülasyonlar:

Bu çalışmada, insan kafasının cep telefonu kullanımı ile maruz kalabileceği RF Alan değerleri; farklı frekanslar, kafa boyutu, kafanın dielektrik özellikleri, cep telefonu kullanım pozisyonları ve günlük hayatta yaygın olarak kullanılan gözlük gibi aksesuarlar göz önüne alınarak incelenmiştir. Böylece cep telefonu maruziyetinden kaynaklı SAR değerine bu parametrelerin etkisi saptanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla dokuda oluşan doz değeri, incelenen koşullar için 10 gr ortalama uzaysal tepe SAR değerleri FDTD yöntemini kullanan SEMCAD X yazılımı ile hesaplanmıştır. İncelenen koşullar arasında SAR değerini en çok etkileyen parametrenin cep telefonu kullanım pozisyonu olduğu tespit edilmiştir. Hem 835 hem de 900 MHz frekansta, *eğik* konuma kıyasla *yanak* konumunda daha yüksek SAR değerleri elde edilmiştir (1).

II. In-Vivo Deneysel Simülasyonları:

- Cep telefonunun üzerine konumlandırılmış kare şeklinde cam bir kafes içerisindeki farenin bulunduğu deney düzeneğine uygun olarak sayısal modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. 900 MHz frekansta farenin baş ve gövde kısmı için 10 gr dokudaki ortalama SAR değerleri belirlenmiştir (2,3).
- RF Alan kaynağı olarak kullanılan Horn anten karşısına konumlandırılmış bulunan sıçan modeli için simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. 900 ve 1800 MHz frekans için kafa bölgesinde oluşan 10 gr ortalama SAR değerleri tespit edilmiştir (4).
- Ortasında monopol anten bulunan silindirik yapıdaki pleksiglas RF Alan Maruziyet Sistemi için farklı konumlarda konuşlanmış sıçan modellerinde 900 ve 1800 MHz frekanslarda 10 gr ortalama SAR değerleri tespit edilmiştir (5).

III. In-Vitro Deneysel Simülasyonları:

- Bu modelleme çalışmasında kullanılan in vitro maruziyet sistemi, RF Alan kaynağı olarak kullanılan bir adet Horn anten ile 24 kuyucuklu hücre kültür plağından oluşmaktadır. Hücre kültür plağı, Horn antenin 1 mm üstüne konumlandırılmış. 2100 MHz frekansta, 24 kuyucuklu hücre kültür plağı içerisinde yer alan DMEM ortamı için 10 gr ortalama SAR değerleri simülasyon ile hesaplanmıştır (6).

- b) Diğer bir çalışmada ise içinde DMEM ortamı bulunan eppendorf tüpler, Horn antenin 1 mm üstünde olacak şekilde konumlandırılmış ve 1800 MHz frekans için DMEM ortamında oluşan 10 gr ortalama SAR değerleri tespit edilmiştir (7).

KAYNAKÇA

1. Tüysüz M.Z., Cep telefonu Maruziyeti Kaynaklı RF Dozimetrinin FDTD Yöntemi ile Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi, 2007.
2. Keskil S, Canseven AG, and et al. Pentylene-tetrazole-induced seizures are not altered by pre- or post-drug exposure to mobile phones either in the stand-by or the communication mode. (Yayın aşamasında)
3. Canseven AG, Meric Arda Esmekaya MA, TUYSUZ MZ, and et al. Effects of Cell Phone Radiation on Lipid Peroxidation, Glutathione and Nitric Oxide levels in Mouse Brain during Epileptic Seizure. (Yayın aşamasında)
4. Sırav B, Seyhan N (2009). Blood Brain Barrier Disruption By Continuous Wave Radio Frequency Radiation. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 28 (2) (215-222).
5. Balıkçı K., Elektromanyetik alan uygulanan sıçanlarda beyin katekolaminerjik nörotransmitter düzeylerinin araştırılması, Fırat Üniversitesi, 2009.
6. Esmekaya MA, Seyhan N, Kayhan H, Tuysuz MZ, Kurşun AC, Yağcı M. Investigation of the Effects of 2.1 GHz Microwave Radiation on Mitochondrial Membrane Potential ($\Delta\Psi$ m), Apoptotic Activity and Cell Viability in Human Breast Fibroblast Cells. *Cell biochemistry and biophysics*, 2013, 1085-9195.
7. Esmekaya MA and et al. Investigation of the Effects of Microwave Radiation Exposure and Gemcitabine Treatment on Gene Expression Levels and Apoptotic Activity in Burkitt's Lymphoma (Raji) Cells. (Yayın aşamasında)

Manyetotaktik Bakteriler ve Tıptaki Uygulamaları

Hava Bektaş¹, Süleyman Daşdağ²

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Van

²Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Diyarbakır

ÖZET

Dünyanın manyetik alanının yaşam için ne kadar önemli olduğu bilinen gerçektir. Söz konusu manyetik alanın canlılar üzerine etkilerinin neler olduğu uzun yıllardır bilim dünyasında araştırılmaktadır. Canlılar denince belki de ilk akla gelen kuşlar ve onların göç yollarıdır. Kuşların belki de uçan canlıların seyahatlerinin doğru bir şekilde tamamlanması için en kabul gören etken hala yerin sahip olduğu manyetik alandır. Zaman zaman gözlenen göç yollarındaki değişmeyi yapay manyetik veya elektromanyetik alanlardan kaynaklandığını öne sürenler de vardır. Ancak konu hala net olarak aydınlatılmış değildir.

Makro düzeyde incelenen yerin manyetik alanının mikro düzeyde etkilerinin neler olduğu ülkemizde yeterince ele alınmamış ve bunların avantaj ve dezavantajları yeterince değerlendirilmemiştir. Dünyanın manyetik alanının mikroskobik düzeyde ne tür etkiler oluşturduğuna ilişkin en güzel örnek, 1963 yılında ilk olarak Salvatore Bellini tarafından özellikleri farkedilen “manyetotaktik bakteriler (MTB)” dir.

Günümüzde mikrobiyoloji, mineraloji, limnoloji, fizik, biyofizik, kimya, biyokimya, jeoloji, kristalografi ve astrobiyoloji gibi geniş alanda yararlanıldığı öne sürülen bu bakteriler ülkemizde sınırlı sayıda araştırmacının dikkatini çekmiş ve konu yeterince irdelenmemiştir. Bu nedenle bu derleme makale hazırlanmıştır. Dolayısıyla bu makalenin amacı ülkemizdeki araştırmacıların dikkatini MTA lara çekmektir.

Anahtar Kelimeler: Dünyanın manyetik alanı, bakteriler, manyetotaktik bakteriler, tıp

Giriş

Manyetotaktik bakteriler (MTB'ler) dünyanın manyetik alan çizgileri doğrultusunda etkin hareket eden bir gram-negatif prokaryot bakteri grubudur (Bazylinski ve Williams 2007). MTB'in bu yeteneği, manyetozom adı verilen nanometre boyutunda olan hücre içi yapı sayesinde ortaya çıkar. Manyetozom etrafı zarla çevrili Fe_3O_4 (demir oksit) veya Fe_3S_4 (demir sülfid) kristallerinden meydana gelmektedir (Lefèvre ve ark. 2011). Manyetozomların şekil ve düzenlenmesinin, türe özel yapıya sahip

olması, manyetozom sentezinin biyolojik olarak kontrol edildiğini göstermektedir.

Bu dikkat çekici mikroorganizmalar ilk olarak Salvatore Bellini tarafından 1963 yılında bulunmuştur (Jogler ve Schüler 2009). Bellini bir çeşit bakteri grubunun dünyanın kuzey kutbuna doğru yüzdüğünü fark etmiş bu bakteri grubunu “manyetik alana duyarlı bakteri (magnetosensitive bacteria) olarak adlandırmıştır. 1975 yılında Blakemore biyolojideki “magnetotaksis” ifadesinden yola çıkarak, bu tür bakterileri “manyetotaktik bakteriler” (Magnetotactic bacteria) olarak adlandırmıştır (Lei Yan ve ark. 2012).

MTB’lerin keşfi mikrobiyoloji, mineraloji, fizik, biyofizik, kimya, biyokimya, jeoloji, limnoloji, kristalografi ve hatta astrobiyoloji gibi çeşitli araştırma alanlarında önemli bir etki oluşturmuştur (Bazylinski ve Schübbe, 2007).

Özellikle tatlı su ve deniz habitatları olmak üzere her yerde bulunabilme özelliklerine rağmen kendilerine özgü yaşam biçimleri nedeniyle MTB’lerin izolasyon ve yetiştirilmeleri kolay değildir (Postec ve ark. 2012). Ancak biyoteknoloji, manyetoteknoloji vb. bilimsel alanlardaki hızlı gelişimler, MTB’lerin laboratuvar ortamında üretimini kolaylaştırmış ve araştırmalara büyük bir ivme kazandırmıştır (Lei Yan ve ark. 2012).

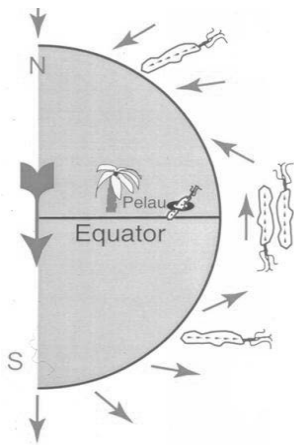
Dünyanın manyetik Alanı

Dünya, etrafı manyetik alanla çevrili koca bir mıknatıs olarak düşünülebilir. Yerin manyetik alanının sıvı dış çekirdeğindeki konveksiyon akımlarından (tabakanın alt ve üst kısmı arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan dikey hareketler) kaynaklandığı düşünülmektedir. Dış çekirdek iç çekirdeğin üstü ile manto tabakası arasında kalan, yaklaşık kalınlığı 1260 km olan, demir ve nikelten oluşan kısımdır. Dış çekirdeğin dış kısımlarındaki ısı 4400 °C iken iç çekirdeğe yakın kesimlerde bu ısı 6100 °C ye kadar ulaşmaktadır. Atomların yeterli bir güçle düzenli bir şekilde yer değiştirmesi manyetik alan oluşmasına, bir başka deyişle mıknatıslanmaya neden olduğundan ötürü, dünya etrafında kalıcı bir mıknatıslanma oluşur. Ayrıca demir ve nikel sıvının içinde meydana gelen Eddy akımlarının da yerin manyetik alanının etkilediği düşünülmektedir. Dünyanın manyetik alanı kuzey ve güney kutupları olan bir dipol mıknatısa benzer. Ancak dünyanın dönme eksenini ile bu dipol mıknatısın dönme eksenini arasında yaklaşık 11 ° lik bir fark vardır. Bu da coğrafi kutuplarla manyetik kutupların farklı olduğu anlamına gelmektedir. Dünyanın manyetik alanı 15 mikrottesla ile 65 mikrottesla arasında değişir (<http://www.koeri.boun.edu.tr/jeoman/jeomanetizma.htm>).

Manyetotaktik Bakteri nedir?

Biyolojik olarak MTB'ler, suda yaşayan hareketli prokaryot mikroorganizmalardır. Hareketleri, sarmal (heliks) biçimli kamçıların (flagella) itme gücüyle gerçekleşir. MTB'lerin mikrobiyolojik açıdan ilginç bir yanı da, boyut olarak daha büyük ve kamçasındaki protein miktarı daha az olmasına rağmen *Escherichia coli*'den yaklaşık iki kat daha hızlı hareket edebilmeleridir (Sharma ve ark. 2008). MTB'lerin farklı suşları manyetik alan ortamında muhtemelen manyetozom diziliminden kaynaklanan farklı morfolojik özellikler ve yönelimler göstermektedirler (Sharma ve ark. 2007).

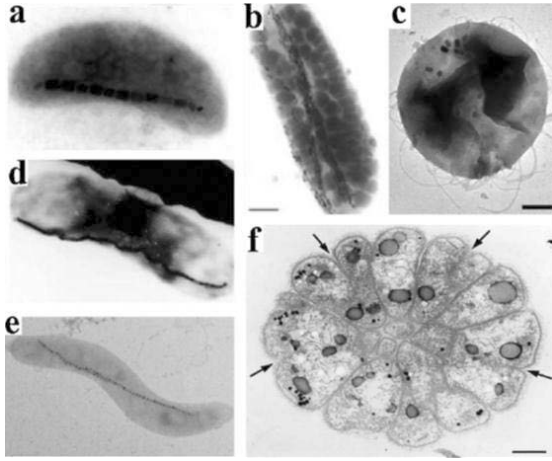
Dünyanın manyetik alanından etkilenen manyetotaktik bakteriler genelde kuzey yarımkürede kuzeye doğru, güney yarımkürede güneye doğru, ekvator da ise her iki yöne de yönelirler (Lefèvre ve ark. 2011) (Şekil 1).



Şekil 1. Dünyanın manyetik alanı doğrultusunda hareket eden manyetotaktik bakterilerin yönelimi.

Oksijen insanlar için hayati önem taşıyırken, birçok bakteri türü için aşındırıcı ve zararlıdır. Bu nedenle manyetotaktik bakteriler, oksijenden olabildiğince uzaklaşmak için dünyanın manyetik alanını adeta bir pusulası gibi kullanarak yerin dibine doğru inebilecekleri şaşırtıcı bir yöntem geliştirmişlerdir. Hemen hepsi anaerob bakterilerdir ve oksijenin oldukça az olduğu ortamlarda yaşarlar. Bu yüzden oksik-anoksik ara yüzeyleri veya anoksik bölgeleri tercih ederler. Bu durum MTB'lerin en önemli ekolojik özelliğidir (Bazylinski ve Williams, 2007). Tatlı su çökeltilerinde, çubuk, vibriyon, spiral, yuvarlak, çok hücreli olmak üzere MTB'in çeşitli morfolojik tipleri bulunmuştur (Thornhill ve ark. 1994; Amann ve ark. 2006) (Şekil 2).

MTB'lerin demir oksit ve demir sülfid olmak üzere iki çeşit mineral ürettiği bilinir (Bazylinski ve Frankel 2004). Bazıları sadece Fe_3O_4 (manyetit) (Frankel ve ark. 1979), bazıları sadece Fe_3S_4 (greigite) (Heywood ve ark. 1990) üretirken, bazıları her ikisini de üretir (Bazylinski ve ark. 1995). Tatlı sularda bulunan MTB'ler yalnız Fe_3O_4 üretirler. Deniz ve göl ekosistemindeki MTB'ler hem manyetit hem greigite üretirler (Faivre ve Schuler, 2008).

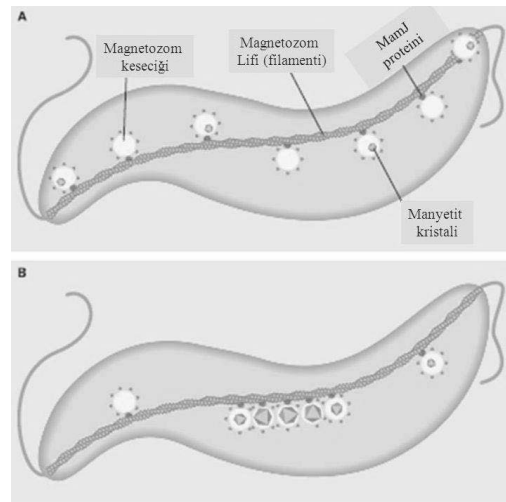
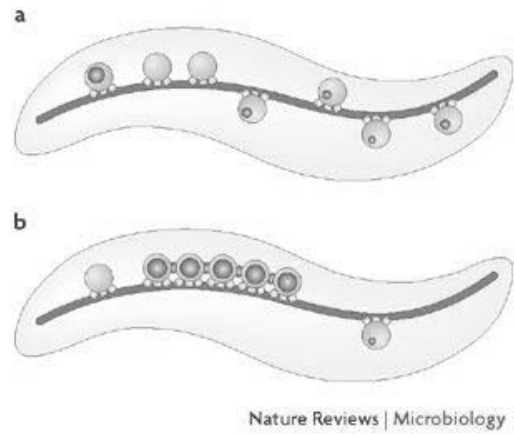


Şekil 2. MTB'lerin çeşitli morfolojileri, a: vibrion, b ve d: çubuk, c: yuvarlak, e: spiral, f: çok hücreli: f. Şekil a ve d, Scheffel ve Schüler (2006)'dan, Şekil b, Baumgartner ve Faivre (2011)'den, Şekil c, Lefèvre ve ark. (2011)'den, Şekil e ve f, Schüler (2008) ve Keim ve ark. (2004)'dan alınmıştır.

Manyetozom nedir?

Manyetozomlar hücre içinde bulunan bir kesecik türüdür. Zarla çevrili, manyetik demir taşıyan inorganik kristallerden oluşmuş hücre içindeki bu yapı MTB'ler için kilit rol oynar (Lefèvre ve ark. 2011). Manyetozomlar sitoplazmik membran içinde bulunan, içleri biyomineralize magnetit ve greigite ile dolu olan ve bakterilerin kendilerini dünyanın manyetik alanına göre yönlendirmelerini sağlayan kesecikleridir. En çok çalışılan manyetotaktik organizmalar, hücrenin orta hattında uzunlamasına dizilmiş yaklaşık 15-20 adet manyetozoma sahip olan *Magnetospirillum magneticum* ve *Magnetospirillum gryphiswaldense* dir. Orta hattaki bu

dizilim her bir manyetozom keseciğinin sahip olduğu manyetik momentin toplamına eşdeğer genel bir manyetik momente sahip olan pusula iğnesine benzer bir yapı oluşturur. Elektron kromatografik incelemeler manyetozom zincirlerine eşlik eden bir filament olduğunu ve manyetozomların bu filamentte asidik MamJ proteinleri ile bağlı olduğunu göstermiştir (Thanbichler ve Shapiro, 2008) (Şekil 3).

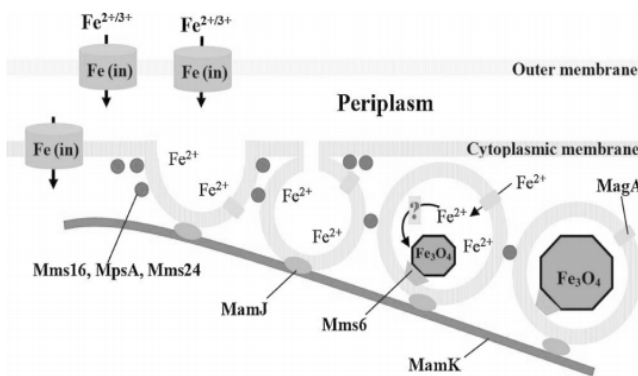


Şekil 3. Manyetozomlar ve filament üzerindeki dizilişleri (Kaynak: Nature Reviews/Microbiolog ve American Society forMicrobiology, <http://forms.asm.org/microbe/index.asp?bid=63469>)

Değişik elektron mikroskoplarında, kübiksekizyüzlü, mermi biçimli, prizmatik ve dikdörtgen olmak üzere, MTB'lerde farklı morfolojilere sahip manyetozom kristalleri gözlenmiştir (Lefèvre ve ark. 2011).

Manyetozomlar nasıl oluşur?

Manyetozomların oluşum mekanizması, manyetozom keseciklerinin (veziküllerinin) oluşması, hücre dışından demir mineralinin hücre içine alınması, demirin manyetozom keseciklerinin içine taşınması ve vezikül içinde magnetite ya da greigite biyomineralizasyonunun kontrol edilmesi gibi birkaç farklı basamak içeren karmaşık bir süreçtir (Bazylnski ve Schübbe, 2007). Manyetozom oluşumu bütün detayları ile anlaşılamamış olmasına rağmen, süreci açıklayan bazı görüşler ortaya konmuştur. Arakaki ve ark. (2008) tarafından sunulan son bildiride, manyetozom biyomineralizasyonunun üç büyük adım içerdiği önerilmiştir (Lei Yan ve ark. 2012) (Şekil 4).



Şekil 4. Manyetozom oluşumu (Lei Yan ve ark. 2012).

Birinci adım sitoplazmik membranın GTPaz tarafından manyetozom zarını oluşturmak için içeriye doğru kıvrılarak cep oluşturmasını ve bu veziküllerin bir zincir boyunca manyetozomların taşıyıcı lifini oluşturmak için düzenlenmesini içerir. İkinci aşama hücre dışındaki demirin taşıyıcı proteinler ve sideroforlar (Yunancada demir taşıyıcı) tarafından hücre içine alınması ve transmembran demir taşıyıcıları tarafından veziküllerin içine toplanmasını içerir. Hücre içi demir, yükseltgenme ve indirgenme mekanizmaları ile ciddi bir şekilde kontrol edilir Çünkü aşırı demir hücre için çok tehlikeli etkiye sahiptir (Schüler ve Frankel, 1999). Son adımda, birbirine sıkı bağlı manyetozom proteinleri manyetite kristalinin oluşumunu ve morfolojisinin düzenlenmesini başlatır. Manyetozom membranına ait çeşitli proteinlerin, aşırı doymuş demirin toplanması, minerallerin çekirdek oluşumu ve indirgeyici şartların devamının sağlanması gibi kritik fonksiyonların gerçekleşmesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Lei Yan ve ark. 2012).

MTB'lerde, manyetite oluşumu mikroaerobik ve anaerobik şartlarda gerçekleşir. Çünkü yüksek oksijen seviyesi engelleyici bir etkiye sahiptir. Ancak magnetite oluşumu ile düşük oksijen seviyesi arasındaki ilişki tam olarak açık değildir (Lei Yan ve ark. 2012). Şu ana kadar, manyetozom üretimi ile demir

kaynağı arasındaki ilişki açık olmamasına rağmen, demir manyetozom oluşumu için temel elementtir. Manyetite kristalinin biyomineralleşmesi için, MTB'ler diğer bakterilerden daha fazla çeşitli boyutlarda demire ihtiyaç duyar. Bu miktar MTB'nin kuru hücre ağırlığının %4'üne ulaşacak seviyededir. Büyüme ve magnetite oluşumunun maksimum düzeyi 100 μM hücre dışı demir konsantrasyonunda ortaya çıkmaktadır. Ancak her iki durumun doygunluğa ulaşması 15-20 μM demir konsantrasyonunda gözlenmiştir. 20 μM üzerindeki demir konsantrasyonları hücre verimini ve manyetozom içeriğini hafifçe artırmaktadır. Ancak 200 μM 'dan büyük olan demir konsantrasyonları büyümeyi engelleyen etki göstermektedir (Schüler ve Baeuerlein, 1996).

Manyetotaktik bakterilerin biyofiziği

MTB'lerin her biri elektron mikroskobu tarafından görülebilen demir taneciklerine sahiptir. Bu organizmalardaki demirin kimyasal durumu bilinmeden önce her bir hücrenin sürekli bir manyetik dipol momente sahip olduğu anlaşılmıştır. Çamurdan zengin bir ortamdan elde edilen bakteriler, yüzme doğrultusuna anti paralel olacak biçimde birkaç yüz Gausluk ve 1 μs 'lik manyetik pulsa maruz bırakıldıklarında, 200-800 Gausluk yüksek puls şiddetlerinde hücrelerin anlık olarak yeniden mıknatıslandıkları gözlenmiştir. Mıknatıslanan hücrelerin aniden U dönüşü

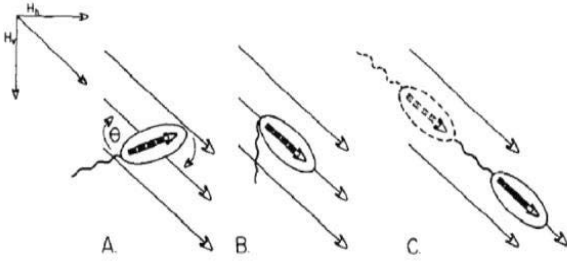
yaptıkları ve önceki yönelimlerine zıt doğrultuda yüzmeye başladıkları tespit edilmiştir. Bu sonuç her bir bakterinin kendine özgü sürekli bir manyetik momente sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Blakemore, 1982).

MTB'lerin dünyanın manyetik alanı ile olan etkileşimlerinin nasıl gerçekleştiğini anlayabilmek için hücrenin manyetik momentini temel olarak ele almak gerekir. Bakteriyi manyetik alan doğrultusunda yönlendiren asıl etken, bakterinin manyetik momenti ile dış manyetik alanın etkileşim enerjisidir. Bakterinin sahip olduğu termal enerji ise, suyun içinde rastgele yüzmesine neden olan etkendir ve ortam sıcaklığı ile doğru orantılıdır (termal enerji = kT : k ; boltzman sabiti, T ; ortam sıcaklığı). MTB'lerin manyetik alan doğrultusunda yönlenebilmesi için dış manyetik alan ile etkileşim enerjisinin termal enerjiye göre büyük olması gerekir. Bu iki enerji arasında karşılaştırma yapabilmek için Langavin fonksiyonundan faydalanılabilir.

Klasik paramanyetizma teorisinde, bir manyetik alanda birbirleriyle etkileşmeyen manyetik dipoller topluluğunun ortalama dizilimini Langevin fonksiyonu tanımlar. MTB'ler ise birbirleriyle etkileşmeyen manyetik dipoller gibi davranır. Langavin fonksiyonu aşağıda gösterilen eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$\cos\theta = L (MH/kT) \quad (1)$$

Yukarıdaki bağıntıda bulunan θ , ortamın manyetik alan (H) doğrultusu ile bakterinin manyetik moment (M) doğrultusu arasındaki açıdır. Bir dış manyetik alan içindeki ortalama dizilimleri uygulanan manyetik alan ile etkileşim manyetik enerjisinin (MH), bakterinin sahip olduğu termal enerjiye (kT) oranı ile belirlenir. MH/kT oranı yaklaşık 10 değerini aştığında bakteride bulunan parçacıkların manyetik momentleri tamamen alan doğrultusunda sıralanmaktadır (Blakemore, 1982). Böylece MTB'ler manyetik alan doğrultusunda yönelmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Manyetotaktik bakterilerin dış manyetik alan doğrultusunda yönelimi (H: dış manyetik alan) (Blakemore 1982).

MTB'lerin dipol moment şiddetlerini belirlemek için farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar bazı manyetozomların mıknatıs taşı olarak bilinen manyetik demir oksit içerdiğini göstermiştir. Bir diğer çalışmada her bir hücredeki manyetozomların biçimi büyüklüğü ve ortalama sayısı incelenmiştir. Her bir hücrenin, bir zincirde dizilmiş kenar uzunluğu 420 Å olan

yaklaşık 20 manyetozomdan oluştuğu belirlenmiştir (Balkwill ve ark.). Ancak MTB'lerin manyetozomların boyutlarını manyetik olarak etkin tek bir domain boyutuna nasıl sınırladığı ve bu yapıların çoğunlukla neden bir zincir halinde ortaya çıktığı henüz açık değildir. Bununla birlikte bu sınırlamanın her bir manyetik parçacığı çevreleyen zar ve bu zarın hücre ile etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tek bir zincir boyunca yerleşmiş manyetik domainlerin manyetik eksenleri birbirlerine paralel olacak şekilde dizilirler. Böylece manyetozom zincirinin toplam manyetik enerjisi her bir parçacığın manyetik momentlerinin toplamıdır. MTB'lerin sahip olduğu manyetik momentleri dünyanın manyetik alanına uygun yöneliminden sorumludur. Bu bakteriler ferromanyetik biyoposula olarak davranış gösterirler (Blakemore, 1982).

Manyetotaktik bakteriler ve manyetozomların uygulama alanları:

MTB'nin keşfinden sonra, canlı hücreler ve manyetik içeriklerinin yeni manyetik, fiziksel ve optik özelliklere sahip olduğu fark edilmiştir. Bu özellikler dolayısıyla çeşitli bilimsel ve teknolojik uygulamalarda MTB'lerin kullanımı gündeme gelmiştir.

MTB'lerin manyetik ayrıştırma yoluyla atık sulardan ağır metal ve radyonüklidlerin çıkarılması amacıyla kullanılabileceği ileri sürülmüştür (Bahaj

ve ark. 1998; Arakaki ve ark. 2002). MTB'lerin manyetik kaydedici bir başlık tarafından tutulma özelliği nedeniyle, su numunelerindeki örnekler kolaylıkla sayılabilmekte ve manyetik etiketli hücreler ve nanoparçacıklar tespit edilmektedir (Krichevsky ve ark. 2007).

Canlı MTB'lerin uygulandığı bir başka uygulama da nanorobotiklerdir. Yöneltilen bir manyetik alan MTB'yi yönlendirmede kullanılmakta ve bakteri içindeki manyetozom zinciri üzerine bir tork uygulanarak bakteriyi önceden belirlenmiş yöne itmektir (Martel ve ark. 2006).

Bakterinin manyetite manyetozomları, nispeten büyük miktardaki biyoaktif maddelerin bloke edilmesinde kullanılmaktadır. Bu maddeler daha sonra manyetik alanla kontrol edilebilmektedir.

MTB'lere ait manyetite parçacıklar nükleik asitlerin tespiti için taşıyıcı genler olarak kullanılmaktadır (Ota ve ark. 2003; Tanaka ve ark. 2003; Maruyama ve ark. 2004; Tang ve ark. 2011). Düzenlenmiş manyetozomlar yardımıyla nükleik asitlerin izolasyonu sağlanabilmektedir. Ayrıca, manyetozomların, tıpta ve teşhis uygulamalarında biyomoleküler etkileşimleri belirlemede yararlı oldukları gösterilmiştir (Amemiya ve ark. 2005). Son zamanlarda manyetozomların, anti tümör tedavisi için potansiyel bir ilaç taşıyıcısı ve MRI için kontrast madde olarak kullanımı önem kazanmıştır (Sun ve ark. 2008, Vereda ve ark. 2009).

MTB'lerin manyetik alan doğrultusunu izleyerek yüzebilme ve etkin hareketlilik yeteneği, ilacın tümörlere ulaştırılması olanağı sunmaktadır. Bozulmuş kapiller damar gelişimi, heterojen kan akışı ve hücreler arası yüksek basınç gibi tümörlere ait mikro çevre parametreleri, kan yoluyla ilaçların tümöre taşınmasını etkilemektedir. Mikrotaşıyıcılar olarak kullanılan mikroorganizmalar hedeflenen bölgedeki düzgün ilaç dağıtımına yardımcı olurken yukarıda ifade edilen olumsuzlukları gidermektedir (Felfoul ve Martel, 2013).

Yine tümör tedavisinde kullanılan manyetik hipertermi tekniğinde MTB'lerden faydalanılmaktadır. Manyetik hipertermi, manyetik nanoparçacıkların tümör içine gönderildiği ve değişken bir manyetik alan uygulanarak ısıtıldığı bir tekniktir. Nanoparçacıklar tarafından yerel olarak üretilen ısı antitümör etkisi oluşturmaktadır. Bu teknik akciğer kanseri gibi kanser türlerinin tedavisinde kullanılabilir. Şimdiye kadar kimyasal olarak sentezlenen demir oksit nanoparçacıkları insan vücut sıcaklığında süperparamanyetik veya ferromanyetik özellik göstermektedir. Belirli bir eşik değer altındaki manyetik alan ortamında, kimyasal olarak sentezlenen nanoparçacıkların spesifik soğurma katsayılarının (SAR) manyetozom olarak adlandırılan nanoparçacıklarından çok daha az olduğu görülmüştür. Bu sebeple manyetozomların kullanımının daha avantajlı olduğu öne sürülmektedir.

Dolayısıyla kanser tedavisi için manyetozomlar yardımıyla gerçekleştirilebilecek “manyetik hipertermi” tekniğine ilgi artmıştır (Alphandery ve ark. 2012).

Sonuç

Birçok hastalığın özellikle kanserin tedavisinde ilaçların sadece hastalıklı hücrelere ulaştırılması ve nokta atışı gerçekleştirilebilmesi çok önemlidir. Cerrahi işlemlerden ve ilaçların yan etkilerinden korumak amacıyla, bakteri ve küçük boyutlu robotların işbirliği yapmalarını sağlamak günümüz araştırmacıları için hedeflenen konular arasında bulunmaktadır. Hasta hücreye gönderilecek ilacın bakteriler tarafından taşınması yani bakterilerin minik robotlar gibi taşıyıcı olarak kullanılması fikri, bilim dünyasında oldukça heyecan verici olmuştur. Özellikle kanda yüzebilme ve yapısında mıknatıs barındırma özelliği dolayısıyla, dışarıdan uygulanan manyetik alan ile hastalıklı dokuya yönlendirilebilecek, manyetotaktik bakterilerin kullanılması gündeme gelmiştir. Sonuç olarak, bu makale bilimsel çalışmalarda ilgi odağı haline gelen bu mikroorganizmalara ve tıptaki uygulamalarına dikkat çekmektedir. Ülkemizde bu konuya ilişkin araştırmaların artması ve desteklenmesi yeni ufuklar açabilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

1. Alphandery E, Guyot F, Chebbib I. Preparation of chains of manyetozomes, isolated from *Magnetospirillum magneticum* strain AMB-1 magnetotactic bacteria, yielding efficient treatment of tumors using magnetic hyperthermia. *Int. Jour. Pharmaceutics*, 444-452, (2012).

2. Amann R, Peplies J, Schüler D. Diversity and taxonomy of magnetotactic bacteria. *Micro Monogr.* 3(8):25–36,(2006).
3. Amemiya Y, Tanaka T, Yozaand Tadashi B. Novel detection system for biomolecules using nano-sized bacterial magnetic particles and magnetic force microscopy. *J Biotechnol.* 120(3):308–14,(2005).
4. Arakaki A, Takeyama H, Tanaka T, Matsunaga T. Cadmium recovery by a sulfate-reducing magnetotactic bacterium, *Desulfovibrio magneticus* RS-1, using magnetic separation. *Appl Biochem Biotechnol.* 98(1):833–40,(2002).
5. Arakaki A, Nakazawa H, Nemoto M, Mori T, Matsunaga T. Formation of magnetite by bacteria and its application. *J Roy Soc Interface.* 5(26):977–99,(2008).
6. Bahaj AS, Croudace IW, James PAB, Moeschler FD, Warwick PE. Continuous radionuclide recovery from wastewater using magnetotactic bacteria. *J Magn Mater.* 184(2):241–4,(1998).
7. Baumgartner J, Faivre D. Magnetite biomineralization in bacteria. *Prog Mol Subcell Biol.* 52(11):3–27,(2011).
8. Balkwill DL, Maratea D, Blakemore RP. *J. Bacteriol.* 141:1399-408,(1980).
9. Bazylinski DA, Frankel RB, Heywood BR, Mann S, King JW, Donaghay PL, et al. Controlled biomineralization of magnetite (Fe₃O₄) and greigite (Fe₃S₄) in a magnetotactic bacterium. *Appl Environ Microbiol.* 61(9):3232–9,(1995).
10. Bazylinski DA, Frankel RB. Magnetosome formation in prokaryotes. *Nat Rev Microbiol.* 2(3):217–30,(2004).
11. Bazylinski DA, Schübbe S. Controlled biomineralization by and applications of magnetotactic bacteria. *Adv Appl Microbiol.* 62(7):21–62,(2007).
12. Bazylinski D, Williams T. Ecophysiology of magnetotactic bacteria. *Micro Monogr.* 3(9):37–75,(2007).
13. Bazylinski DA, Schübbe S. Controlled biomineralization by and applications of magnetotactic bacteria. *Adv Appl Microbiol.* 62(7):21–62,(2007).
14. Blakemore RP. Magnetotactic bacteria. *Ann. Rev Microbiol.*, 36:217-38, (1982).
15. Cox BL, Popa R, Bazylinski DA, Lanoil B, Douglas S, Belz A, et al. Organization and elemental analysis of P-, S-, and Fe-rich inclusions in a population of freshwater magnetococci. *Geomicrobiol J.* 19(4):387–406,(2002).
16. Faivre D, Schüler D. Magnetotactic bacteria and magnetosomes. *Chem Rev.* 108(11):4875–98,(2008).
17. Felfoul O. ve Martel S. Assessment of navigation control strategy for

- magnetotactic bacteria in microchannel: toward targeting solid tumors. *Biomed Microdevices*. DOI 10.1007/s10544-013-9794-4,(2013).
18. Frankel RB, Blakemore RP, Wolfe RS. Magnetite in freshwater magnetotactic bacteria. *Sci*.203(4387):1355–6,(1979).
 19. Heywood BR, Bazylinski DA, Garratt-Reed A, Mann S, Frankel RB. Controlled biosynthesis of greigite (Fe₃S₄) in magnetotactic bacteria. *Naturwissenschaften*.77(11):536–8,(1990).
 20. Jogler C, Schüler D. Genomics, genetics, and cell biology of magnetosome formation. *Annu Rev Microbiol*. 63:501–21,(2009).
 21. Keim CN, Martins JL, Abreu F, Rosado AS, de Barros HL, Borojevic R, et al. Multicellular life cycle of magnetotactic prokaryotes. *FEMS Microbiol Lett*. 240(2):203–8.25,(2004).
 22. Krichevsky A, Smith MJ, Whitman LJ, Johnson MB, Clinton TW, Perry LL, et al. Trapping motile magnetotactic bacteria with a magnetic recording head. *J Appl Phys*.101(1):014701–6,(2007).
 23. Lefèvre CT, Abreu F, Lins U, Bazylinski DA. A bacterial backbone: magnetosomes in magnetotactic bacteria. In: Rai M, Duran N, editors. *Metal nanoparticles in microbiology*. Berlin: Springer-Verlag.p. 75–102,(2011).
 24. Martel S, Tremblay CC, Ngakeng S, Langlois G. Controlled manipulation and actuation of micro-objects with magnetotactic bacteria. *Appl Phys Lett*. 89(23):233904–6,(2006).
 25. Maruyama K, Takeyama H, Nemoto E, Tanaka T, Yoda K, Matsunaga T. Single nucleotide polymorphism detection in aldehyde dehydrogenase 2 (ALDH2) gene using bacterial magnetic particles based on dissociation curve analysis. *Biotechnol Bioeng*. 87(6):687–94,(2004).
 26. McCartney MR, Lins U, Farina M, Buseck PR, Frankel RB. Magnetic microstructure of bacterial magnetite by electron holography. *Eur J Mineral*. 13(4):685–9,(2001).
 27. Ota H, Takeyama H, Nakayama H, Katoh T, Matsunaga T. SNP detection in transforming growth factor-beta 1 gene using bacterial magnetic particles. *Biosens Bioelectron*. 18(5 6):683–7,(2003).
 28. Postec A, Tapia N, Bernadac A, Joseph M, Davidson S, Wu LF, et al. Magnetotactic bacteria in microcosms originating from the French Mediterranean Coast subjected to oil industry activities. *Microb Ecol*. 63(1):1–11,(2012).
 29. Sharma M, Naresh M, Mittal A. Morphological changes in magnetotactic bacteria in presence of magnetic fields. *J Biomed Nanotechnol*. 3(1):75–80,(2007).
 30. Sharma M, Hasija V, Naresh M, Mittal A. Functional control by codon bias in magnetic bacteria. *J Biomed Nanotechnol*. 4(1):44–51,(2008).
 31. Scheffel A, Schüler D. Magnetosomes in magnetotactic bacteria. In: Shively J, editor. *Complex intracellular structures in prokaryotes*. Berlin: Springer-Verlag. p:167–91,(2006).
 32. Schüler D, Baeuerlein E. Iron-limited growth and kinetics of iron uptake in *Magnetospirillum gryphiswaldense*. *Arch Microbiol*. 166(5):301–7,(1996).
 33. Schüler D. Formation of magnetosomes in magnetotactic bacteria. *J Mol Microbiol Biotechnol*. 1(1):79–86,(1999).
 34. Schüler D. Genetics and cell biology of magnetosome formation in magnetotactic bacteria. *FEMS Microbiol Rev*. 32(4):654–72,(2008).
 35. Sun JB, Duan JH, Dai SL, Ren J, Guo L, Jiang W, et al. Preparation and anti-tumor efficiency evaluation of doxorubicin-loaded bacterial magnetosomes: Magnetic nanoparticles as drug carriers isolated from *Magnetospirillum gryphiswaldense*. *Biotechnol Bioeng*. 101(6):1313–20,(2008).
 36. Tanaka T, Maruyama K, Yoda K, Nemoto E, Udagawa Y, Nakayama H, et al. Development and evaluation of an automated workstation for single nucleotide polymorphism discrimination using bacterial magnetic particles. *Biosens Bioelectron*. 19(4):325–30,(2003).
 37. Tang YS, Wang D, Zhou C, Ma W, Zhang YQ, Liu B, et al. Bacterial magnetic particles as a novel and efficient gene vaccine delivery system. *Gene Ther*. p:1–9, (2011).
 38. Thornhill RH, Grant Burgess J, Sakaguchi T, Matsunaga T. A morphological classification of bacteria containing bullet-shaped magnetic particles. *FEMS Microbiol Lett*. 115(2–3):169–76,(1994).
 39. Thanbichler M and Shapiro L. Getting organized — how bacterial cells move proteins and DNA. *Nature Reviews Microbiology* 6, 28-40 (January 2008) doi:10.1038/nrmicro1795
 40. Vereda F, de Vicente J, Hidalgo-Álvarez R. Physical properties of elongated magnetic particles: magnetization and friction coefficient anisotropies. *ChemPhysChem*. 10(8):1165–79,(2009).
 41. Yan L, Zhang S, Chen P, Liu H, Yin H, Li H. Magnetotactic bacteria, magnetosomes and their application. *Microbiological Research*. 167:507– 519,(2012).