

ELEKTRİKSEL ALANLARIN TIP CİHAZLARINA ETKİSİ

Hasan DİNÇER
KOÜ Elektronik ve Hab.
Müh. Bölümü
hdincer@kou.edu.tr

Özcan KALENDERLİ
İTÜ Elektrik Fakültesi
Elektrik Müh. Bölümü
ozcan@elk.itu.edu.tr

Hakan BURDURLU
KOÜ Elektronik ve Hab.
Müh. Bölümü
hburdurlu@kou.edu.tr

İbrahim KABASAKAL
KOÜ Elektronik ve Hab.
Müh. Bölümü
ibrahim@yahoo.com

Perihan DİNÇER
KOÜ EHSAM
pdincer@kou.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik ışıma, EM Alanların cihazlara ve canlılara etkisi, Harmonik

ÖZET

Manyetik alanların canlılar ve cihazlar üzerinde etkileri vardır. Yüksek seviyeli manyetik alanlardan tıp cihazları etkilenmekte, çıkışında istenmeyen işaretler oluşmakta ve cihazın monitörü titreşmektedir. Bu da hastalığının tanısında belirsizlik getirmektedir. Bu çalışmada, alçak frekanslı manyetik alanın etkileri tıp cihazlarına etkileri incelenmiş çözüm önerileri verilmiştir.

1. GİRİŞ

Elektriksel olaylar çevredeki canlılara ve elektriksel cihazlara etki etmektedir. Canlılara ve elektriksel cihazlara etki eden elektriksel alanlar, elektrik alanı manyetik alan ve elektromanyetik alandır. Elektrik alanı elektriksel yük olduğunda oluşur. Elektriksel yükler etrafındaki (uzayda) her noktada elektrik alanı meydana getirir. Meydana gelen elektrik alanı, bu alan içerisindeki her yüke kuvvet uygular. Elektrik alanı içerisindeki q yüküne uygulanan kuvvet aşağıdaki gibidir.

$$\mathbf{F} = q \mathbf{E} \quad [1]$$

verilmektedir. Elektrik alanın birimi Volt/metredir. Elektriksel iletken malzemelerde, canlı doku ve cihazların iletkenlerinde bu $\mathbf{F}$ kuvveti elektriksel yüklerin hareketine ve dolayısıyla elektriksel akımın oluşmasına neden olurlar. Oluşan akımın akım yoğunluğu $\mathbf{J}$ elektriksel alan ile orantılıdır.

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad [2]$$

Sabit orantı katsayısı σ 'ya ortamın elektriksel iletkenliği denir. Manyetik alan hareket halindeki elektriksel yükler tarafından oluşturulur. Manyetik alan hareket halindeki elektriksel yüklere kuvvet uygular.

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad [3]$$

Manyetik alan, manyetik akı yoğunluğu $\mathbf{B}$ veya manyetik alan şiddeti $\mathbf{H}$ ile iki şekilde belirtilir. Manyetik akı yoğunluğu Tesla (T) veya Gauss (G) ile verilir. $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ 'dir. Manyetik alan şiddetinin birimi ise A/m'dir.

İletkenden akan akımın meydana getirdiği manyetik alanı açıklamak için manyetik akı yoğunluğu $\mathbf{B}$,

manyetik alan şiddeti $\mathbf{H}$ 'den daha çok kullanılır. $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ 'dir. Manyetik geçirgenlik katsayısı μ ortamın özelliği tarafından belirlenir. Birçok biyolojik maddede μ havanın manyetik geçirgenlik katsayısı μ_0 'a eşittir. Elektriksel kaynaktaki yükler zamana göre değiştiğinde bu yükler tarafında üretilen $\mathbf{E}$ ve $\mathbf{H}$ alanları dalga halinde bir enerji yayacaktır. Kaynağın boyutları, yüklerin hareketinin dalga boyu ile aynı mertebede olduğunda yayılan dalga enerjisinin büyüklüğü artacaktır. Yani anten daha verimli enerji yayacaktır. Bu şekilde elektriksel enerji yayılımını elektromanyetik (EM) dalga yayılması veya EM ışıması denir. Havada EM dalgası, enine dalga (TEM dalgası) halinde yayılır. TEM dalgasında yayılma doğrultusu boyunca $\mathbf{E}$, $\mathbf{H}$ alan bileşimleri sıfırdır. Yayılma doğrultusuna dik düzlemde $\mathbf{E}$, $\mathbf{H}$ alan bileşenleri vardır ve bunlar bu düzlemde birbirine diktirler. $\mathbf{E}/\mathbf{H}$ oranı sabittir ve dalga empedansı η olarak bilinir. Serbest uzay için $\mathbf{E}/\mathbf{H} = 377 \Omega$ 'dur. $\mathbf{E}$ ve $\mathbf{H}$, r uzaklığı ile ters orantılı ($1/r$) olarak değişir.

Zamanla değişen elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar canlıların vücudunda akım oluşturur ve dokuları tarafından enerji yutulur. Bu olay alan ile vücuda enerji geçiş mekanizmasına ve alanın frekansına bağlıdır. Canlı ile alan arasında doğrudan enerji geçişi üç şekilde oluşmaktadır. Alçak frekanslarda elektrik alanından canlıya enerji geçişi, alçak frekanslarda manyetik alanda canlıya enerji geçişi ve canlı tarafından EM alandan enerji yutulması. Bu her üç elektriksel alan canlılara ve elektriksel cihazlara etki etmektedir.

Elektromanyetik alan (EM) ışımasının insanlara ve diğer canlılara zararlı etkisi olduğu anlaşılmıştır. EM ışıması etkisinde kalan canlılar, EM enerjisini soğurmaktadır. Soğurulan EM enerjisi vücutta ısınmaya yol açmakta ve bazı organlardaki elektrik akımlarının değişmesine neden olmaktadır. EM ışıma ayrıca doku hücrelerinin kimyasal yapısını da bozmaktadır. EM ışıma kimyasal etkileri hücrelerdeki büyük moleküllerin bozulmasına, hücre zarlarının birbirine yapışmasına, hücre iyon dengesinin bozulmasına, sinir sisteminin etkilenmesine, beyinin elektriksel işareti (EEG)'nin değişmesine, uykusuzluğa, baş ağrısına, baş dönmesine neden olabilir.

EM ışıının soğurulmasının, baş ağrısı, hafıza kaybı, sinir sistemi bozuklukları, dolaşım sistemi bozuklukları, bağışıklık sisteminin zayıflaması, karmaşık rüyaların görülmesi gibi hasarlara yol açtığı iddia edilmektedir. EM enerji soğurulmasının göze, üreme organlarına, sinir sistemine, dolaşım sistemine de kötü etkileri vardır. Yapılan çalışmalar EM ışıının belirli bir değerin altında olduğunda EM ışıının insan üzerinde zararlı etkilerinin az olduğunu göstermektedir.

Harmonikler de elektriksel cihazlara etki etmektedir. Elektriksel işaret bir eğrisel yükü besliyorsa, bu yükten dolayı işaretin harmonikleri oluşur. Böyle bir sistemin çıkış akımı i_0 1 aşağıdaki şekilde gösterebiliriz.

$$i_0 = k_1 i_1 + k_2 i_2 + k_3 i_3 + \dots + \sum_{n=1}^N k_n i_1^n \quad [4]$$

n , sistemin eğrisellik mertebesini göstermektedir. Sisteme $i_1 = I_1 \sin \omega t$ şeklinde bir işaret uygulandığında N harmonikten oluşan bir işaret meydana gelir. n . eğriselliğe sahip bir sistem, n . harmonik ve n . harmonikten daha küçük harmonikler de üretir. Toplam harmonik bozulma aşağıdaki bağıntıdan elde edilir.

$$TH = \sqrt{D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_n^2} \quad [5]$$

D_n ; n . harmoniğin bozulmasını gösterir.

2. ELEKTRİKSEL ALANLARIN TIP CİHAZLARINA ETKİLERİ

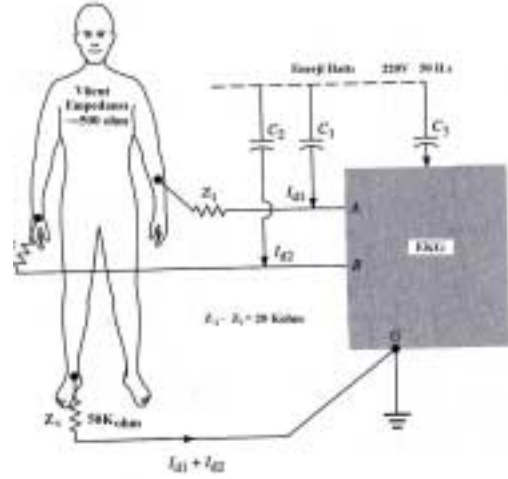
Tıp cihazları da canlılar gibi E, B ve EM alanlardan etkilenmektedir.

a. Elektrik alanın EKG cihazlarına etkisi

Enerji hattı kapasitif yolla EKG ölçüm kabloları ve EKG cihazına enerji aktarılabilir. Şekil 1'de bu durum verilmiştir. C_1 ve C_2 kapasiteleri enerji hattı ile EKG kabloları arasındaki kaçak kapasiteyi, C_3 ise enerji hattı ile EKG cihazı arasındaki kaçak kapasiteyi göstermektedir.

Burada oluşan fark gerilimi;

$$v_d = v_A - v_B = i_{d1} \cdot (Z_1 - Z_2) \quad [6]$$



Şekil 1. Enerji hattının EKG cihazında oluşturduğu fark gerilimi

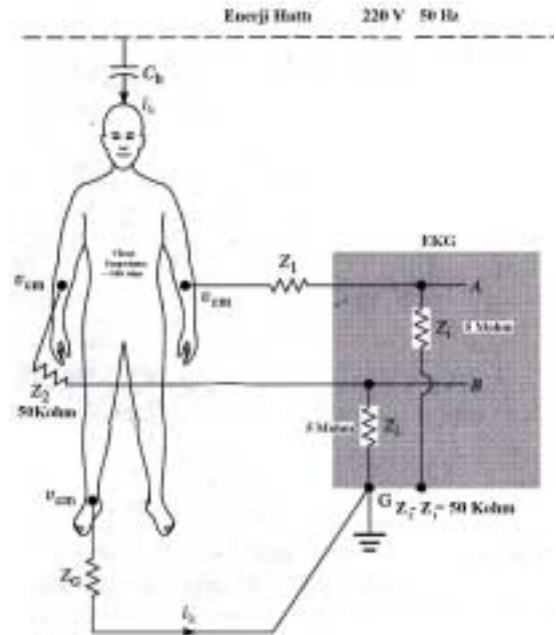
Bu gerilim, her bir ölçüm kablosunu ekranlayarak ve her bir ekranı ve EKG cihazını da topraklayarak azaltılabilir. Deri elektrodunun empedansının azaltılması da bu gerilimi azaltır.

Enerji hattından kapasitif kuplaj ile hastaya enerji aktarılabilir. Şekil 2'de C_b kapasitesi hasta ile enerji hattı arasında kaçak kapasiteyi göstermektedir.

$$v_{cm} = i_k Z_G$$

$$v_d = v_A - v_B = v_{cm} \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_i} \right) \quad [7]$$

Deri elektrotları empedansları farkı ve Z_i azaltılarak açıklanan fark gerilimi azaltılabilir. Şekil 2'de enerji iletim hattının hasta vücuduna enerji geçişi modeli verilmiştir.

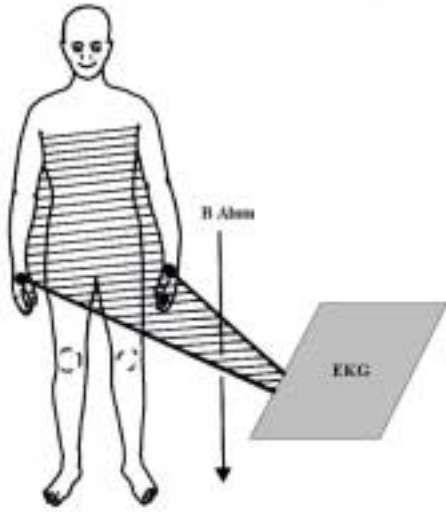


Şekil 2. Enerji hattının EKG 'de oluşturduğu ortak işaret gerilimi

b. Manyetik alanın EKG cihazına etkisi

Enerji hattından akan akım, enerji hattı civarında manyetik alan meydana getirir. Manyetik alan transformatör ve flüoresan balastları tarafından da üretilebilir. Manyetik alan bir iletken çevriminden (bir sarımlı bobinde) geçtiğinde bu çevrimde gerilim oluşturur. Şekil 3’de EKG, ölçüm kabloları ve hastadan oluşan çevrim gösterilmiştir.

Oluşan gerilim manyetik alan şiddeti ve bir sarımlı bobinin etkin yüzeyi ile orantılıdır. Bu gerilim ekranlama, EKG ve kabloları manyetik alandan uzak tutarak ve tek sarımlı bobinin etkin yüzeyini küçültürük azaltılabilir. Örneğin normal kablo yerine bükülmüş kablo kullanarak bu yüzey azaltılabilir.



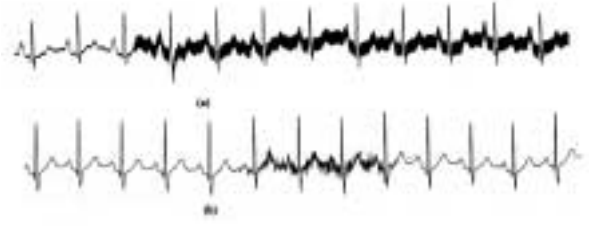
Şekil 3 EKG ölçüm kablolarının hasta üzerinde oluşturduğu manyetik çevrim

c. EM alanının etkisi

Yüksek güçlü haberleşme vericileri, etraflarında EM alan yaratırlar. EM alanı, herhangi bir iletken ortamında elektrik enerjisi üretirler. Modülasyonlu yüksek frekanslı işaretler eğrisel bir ortamda (örneğin paslanmış demirde, elektrot-elektrolit ara yüzünde) cihazın ölçme yaptığı banda, etkileyici işaret üretebilirler. EM alan etkileşim yüksek frekansta çalışan tıbbi cihazlardan dolayı da meydana gelebilir. EM alan etkileşim manyetik ekranlama ile azaltılabilir.

d. Enerji hattının EKG işaretine etkisi

EKG işaretini 50 Hz’lik şebeke gerilimi ve hastanın kendisinin EMG işareti, ölçülen EKG işaretini etkileyebilir. EMG işareti ölçüm sırasında hastanın kasının gerilmesinden ortaya çıktığından bu iki etki birbirlerinden ayırt edilebilir. Şekil 4 a’da EKG işaretine 50 Hz enerji hattının etkisi verilmiştir. Şekil 4 b’de EKG işaretine EMG etkisi verilmiştir.



Şekil 4. EKG işaretine şebeke geriliminin ve EMG işaretinin etkisi

3. ALANLARIN SINIR DEĞERLERİ

Elektriksel alanların etkisinde kalan insanlar için, etkilenme sınır değerleri üç farklı frekans bölgesi, farklı bilimsel yaklaşımlar kullanılarak belirlenmiştir.

1 Hz – 10 MHz bandında sınır değeri, sinir sistemi işlevlerine etkiyi oluşturmayacak akım yoğunluğu değerinden belirlenmiştir. 100 kHz – 10 GHz bandındaki sınır değerleri tüm vücut sıcaklığının artmasını ve dokulardaki aşırı ısınmayı önleyebilecek SAR değerlerinden elde edilmiştir.

10 GHz – 300 GHz bandında sınır değerleri ise gelişigüzel sıcaklık artmasını önleyebilecek güç yoğunluğundan faydalanarak bulunmuştur. Sınır değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

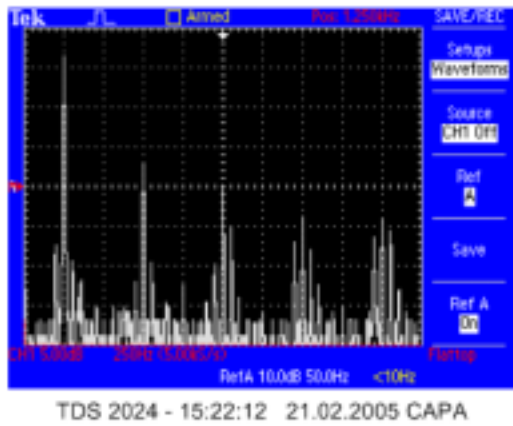
Çizelge 1: Uluslararası iki yönetmelik ve ulusal standartta insan sağlığı için aşılmaması önerilen elektrik ve manyetik alan değerleri (50/60 Hz).

Referans		Etki altında kalma süresi	Elektrik Alanı	Manyetik Alan
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (IRPA/INIRC) Guidelines, 1990	Mesleki (işçi)	Bütün iş günü (8 saat)	10000 V/m (= 10 kV/m)	5000 mG (= 5 G)
		Kısa süreli çalışma (2 saate kadar)	30000 V/m (= 30 kV/m)	50000 mG (= 50 G)
	Genel	Her gün (24 saat)	5000 V/m (= 5 kV/m)	1000 mG (= 1 G)
		Kısa süreli (Günde birkaç saat)	10000 V/m (= 10 kV/m)	10000 mG (= 10 G)
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 1994	Mesleki (işçi)	Bütün iş günü (8 saat)	25000 V/m (= 25 kV/m)	10000 mG (= 10 G)
Türk Standardı TS ENV 50166-1 Nisan 1996	Mesleki (işçi)	Bütün iş günü (8 saat)	30000 V/m (= 30 kV/m)	16000 mG (= 16 G)
	Genel	Her gün (24 saat)	10000 V/m (= 10 kV/m)	6400 mG (= 6,4 G)
IRPA/INIRC Guidelines, 1998	Mesleki (işçi)	6 dak.	10 V/m	50 mG
	Genel	6 dak.	5 V/m	10 mG

4. ELEKTRİKSEL ALAN VE HARMONİK ÖLÇÜMLERİ

İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Kardiyoloji Anabilim Dalı'nda tıbbi cihazları etkileyen düşük ve yüksek frekanslı elektromanyetik ışıının olduğu, tıbbi cihazların monitörlerinin titreştiği bildirilmiştir. Bu olayın çözülmesi İÜ Kardiyoloji Anabilim Dalı tarafından istenmiştir.

Yapılan ölçümlerde cihazları besleyen gerilimin çok harmonikli olduğu görülmüştür. Şebekedeki gerilimin faz – nötr arası geriliminin bileşenleri ölçülmüş bunun spektrumu Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 5. Şebeke faz – nötr gerilimi Spektrumu

Bu gerilimin toplam harmonik bozulmasının %9,5 civarında olduğu gözlenmiştir. WG EMR 300 ölçü aleti ile laboratuarlarda ve koridorda yapılan ölçümlerde yüksek frekanslı elektromanyetik ışıının 0,5 – 0,8 V/m civarında olduğu görülmüştür. 50 Hz'lik manyetik alan ölçümleri, Şekil 6'daki aletle yapılmıştır. Laboratuarlarda ve koridorda yapılan ölçümlerden elektrik alanın düşük değerde olduğu gözlenmiştir. Manyetik alanın (manyetik akı yoğunluğunun) ise 1 – 4 G arası olduğu ölçülmüştür. Bu alan değerlerinin 1 – 4 G arasında sürekli değiştiği görülmüştür.

Ölçme aletinin özellikleri:

a) Alıcı elemanları:

16,5 cm çaplı, paralel levhalı deplasman akımı ölçmeye dayanan elektrik alan alıcısı, 400 sarımlı manyetik alan bobini.

b) Alan ölçme aralığı: Elektrik alanı için 1 V/m - 199 kV/m (1 kV/m = 1000 V/m); Manyetik alan için 0,1 mG- 20 G, (1 mG = 10⁻³ G = 80 mA/m),

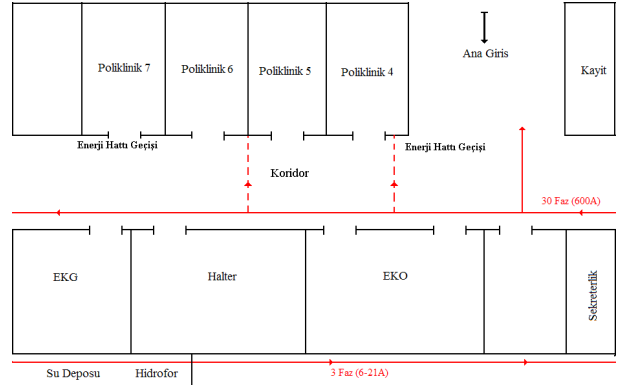
c) Ölçme frekansı aralığı: 50-1000 Hz



Şekil 6. Holaday marka HI-3604 modeli dijital elektrik ve manyetik alan ölçme aleti

Daha sonraki incelemede koridorlardaki duvarın üzerinden 3 fazlı birkaç kablo grubunun geçtiği

belirlenmiştir. Kardiyoloji Anabilim dalının olduğu yerin krokişi şekil 4'te verilmiştir. Binanın arka duvarında diyaliz cihazlarını besleyen birkaç kablunun olduğu tespit edilmiştir. Bu kabloların hepsi açıktan geçmektedir. Bunlarda her bir faz kablosundan 6 – 21 A arasında akım geçtiği ölçülmüştür. Yüksek seviyeli manyetik alanın bu enerji dağıtım kablolarından geçen akım tarafından meydana geldiği anlaşılmıştır.



Şekil 4. İÜ Kardiyoloji Anabilim Dalı' nın krokişi

Manyetik alan içerisinde bulunan canlıda oluşan akım yoğunluğu manyetik model kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunabilir.

$$J = \pi R f \sigma B \quad [8]$$

Bu modelde vücudun homojen ve izotropik iletkenliği sahip olduğu ve manyetik alanın canlının da içinde bulunduğu dairesel bir çevrime uygulandığı kabul edilmiştir.

Denklemden B, manyetik akı yoğunluğunu, R ise akımın olduğu çevrimin yarıçapını göstermektedir. Vücudun homojen iletkenliğini 0,2 S/m kabul edersek, 100 µT (1 G) için akım yoğunluğu 0,2-2 mA/m² olur. Ölçümlerde manyetik alan 1-4 G (100-400 µT) arasında ölçülmüştür, ortamda bulunan canlıda oluşan akım yoğunluğu maksimum değer olan 4 G için 0,8-8 mA/m² olduğu görülür.

EM ışıının zararlı etkisinden korunmak için daha az ışıın almakla ilgili kısıtlamalar verilmektedir. Bu kısıtlamalar vücutta ışıın sonucu oluşan akım yoğunluğu ve özgül soğurulma oranı gibi biyolojik açıdan anlamı olan büyüklük cinsinden verilmektedir.

Bu büyüklükler doğrudan ölçülmediklerinden bunlar yerine dış elektrik ve manyetik alan güç yoğunluğu cinsinden ölçülür. Sürekli EM ışıın gibi darbeli EM ışıında insan sağlığı üzerinde etkili olur. Standartlar mesleki ve genel halk sağlığı olmak üzere iki seviyede verilmişlerdir. Halkın ışıının bilincinde olmamaları nedeniyle sınır daha küçük tutulmuştur. İşçilerin korunmak için yeterli bilgi ve eğitime sahip oldukları düşünülerek mesleki etkilenme sınırı daha büyük tutulmuştur.

İndüklenen akım yoğunluğu için temel sınırlar:
İndüklenen akımların biyolojik etkileri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Oluşan akım yoğunluğuna göre biyolojik etkiler.

Akım Yoğunluğu (mA/m ²)	İndüklenmiş akım yoğunluğunun etkileri
≥ 1000	Kalbin ilave kasılması, kalpte çarpıntı, sağlık zararları
1000 - 100	Merkezi sinir sistemini uyarmada değişiklik, sağlık zararı olasılığı
100- 10	Genel olarak kabul edilen etkiler, protein, DNA sentezinde, enzim hareketliliğindeki değişimler, görme ve sinire sisteminde oluşabilecek olası etkiler
10 - 1	Önemsiz biyolojik etkiler; örneğin kalsiyum metabolizmasında veya melatonin (gün-gece ritmini kontrol eder) üretimindeki değişim
< 1	Etkiler yok

Aynı şekilde manyetik alan içerisinde bulunan tıp cihazlarında oluşacak manyetik akı yoğunluğu da bulunabilir.

5. SONUÇLAR

İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Kardiyoloji Anabilim Dalı’ndaki ölçümlerde manyetik alanın değeri 1 - 4 Gauss arasında ölçülmüştür. Yüksek seviyeli manyetik alan tıbbi cihazları etkilemekte ve cihazların monitöründe titreşmeye neden olmaktadır. Aynı zamanda bu yüksek alan çalışanları ve hastaları etkileyebilir. Bu manyetik alan seviyesi azaltılmalıdır. Sistemin topraklaması şartnamelere uygun şekilde yapılmalıdır.

Aynı zamanda cihazları besleyen enerjinin çok harmonikli olması tıbbi cihazların çalışmasını etkileyebilir. Bu nedenle şebekedeki harmonikler azaltılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] H. Dinçer, "Elektromanyetik ışınlamaların insan sağlığına etkisi", Ocak 2001, Yıl 8, Sayı: 86, s. 43-47, Mart 2001, Yıl 8, Sayı: 88, s. 43-47, Nisan 2001, Yıl 8, Sayı: 89, s. 43-46, Popüler Bilim.
- [2] IRPA/INIRC (International Nonionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association) Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields, Health Physics, Vol. 58, No. 1, pp. 113-122, 1990.

- [3] ICNIRP Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, Health Physics, Vol. 66, No. 1, pp. 100-106, 1994.
- [4] TS ENV 50166-1/Nisan 1996, İnsanların elektromanyetik alanlara maruz kalması – Düşük frekanslar (0 Hz - 10 kHz).
- [5] J. G. Webster, "Medical Instrumentation Application and Design", John Wiley and Sons, 3rd Edition, N.Y., 1998.
- [6] W. W. Cooley, "Low-frequency shielding effectiveness of nonuniform enclosures", IEEE Trans. on EMC, Vol. 10, 1968, pp. 34 - 43.
- [7] C. Christopoulos, Principles and techniques of electromagnetic compatibility, CRC Press, Boca Raton, 1995.
- [8] R. B. Schulz, V. C. Plantz, D. R. Brush, "Shielding theory and practice", IEEE Trans. EMC-30, 1988, pp. 187 - 201.
- [9] H. Yıldırım, Ö. Kalenderli, "Elektrik ve manyetik alanların biyolojik etkileri ve kanser araştırmaları", Endüstri-Otomasyon Dergisi, Sayı: 4, Sayfa 88-92, Temmuz 1997.
- [10] J. G. Davis, W. R. Bennett ve diğerleri, "Health effects of low-frequency electric and magnetic fields", Environmental Science and Technology, Vol. 27, No.1, Sayfa 42-51, 1993.
- [11] E. Zemann, S. Frei, S. Jank, W. Kalkner, "Investigations of Exposition to Low Frequency Magnetic Fields", 9th Int. Symp. on High Voltage Engineering, Paper No. 8347, Graz, Austria, Aug. 28 - Sept. 1, 1995.
- [12] R. G. Olsen, P. S. Wong, "Characteristics of Low Frequency Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of Electric Power Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWD-7, No. 4, Sayfa 2046-2055, Oct. 1992.
- [13] D. C. Renew, et al., "Power Frequency Magnetic Fields: Measurement and Exposure Assessment", CIGRE, Report 36-105, 1990.
- [14] IEEE T/D Committee Report, "Magnetic Fields From Electric Power Lines: Theory and Comparison to Measurements", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWD-3, No. 4, pp. 2127-2136, Oct. 1988.
- [15] W. F. Horton, S. Goldberg, Power Frequency Magnetic Fields and Public Health, CRC Press, Inc., Boca Raton, 1995.
- [16] C. Kocatepe, M. Uzunoğlu, R. Yumurtacı, A. Karakaş, O. Arıkan, Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2003.