

YERALTI ENERJİ KABLOLARI ÇEVRESİNDE OLUŞAN MANYETİK ALANLARIN ANALİZİ VE KONTROLÜ

Niyazi İL¹ Şükrü ÖZEN² H. Feza CARLAK² Mehmet ÇAKIR²

niyazi.il@gmail.com, sukruozen@akdeniz.edu.tr, fezacarlak@akdeniz.edu.tr, mehmetcakir@akdenizedu.tr

¹Elektrik Mühendisleri Odası Antalya Şubesi, Meltem Mah. 3. Cd. 3808 Sk. No:20 Antalya

²Akdeniz Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Bulvarı Konyaaltı, Antalya

ÖZET

Bu çalışmada; yer altı enerji kablolarının çevresinde oluşan düşük frekanslı manyetik alanlar, ölçüm ve hesap yöntemleri ile belirlenerek analiz edilmiş, bu alanların canlılar ve cihazlar ile girişim etkilerinin azaltılabilmesi için kontrol yöntemleri incelenmiştir. Bu amaçla, 50 Hz frekanslı manyetik alanların ekranlama ile kontrolü araştırılmıştır. Uygulamada kullanılan standart kablo kanal tipleri içi düz ve ters U tipi ekranlar için elektromanyetik ekranlar, teorik ve pratik olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, elektromanyetik güvenlik limitleri ve bu konuda sürdürülen son çalışmalar ışığında değerlendirilmiştir.

GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmekte olduğu günümüzde, elektrik enerjisine olan talep giderek artmaktadır. Hızlı nüfus artışına paralel olarak yerleşim alanları, kent merkezlerinden kırsal alanlara kadar uzanmakta ve bu durum, elektrik enerjisinin uzak mesafelere iletilmesi konusunun önemini artırmaktadır. Son yıllarda özellikle şehirlerde enerji dağıtımında, yer altı kablo hatları yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Havai hatlara ilişkin olarak elektromanyetik alanların belirlenmesi ve sağlık etkileri konusunda çok sayıda çalışma yürütülmesine karşın, yer altı güç hatlarına ilişkin çalışma çok azdır. Bu hatlar, özellikle yerleşim alanlarında insanların yüksek şiddetlerde elektromanyetik alana maruz kalmalarına yol açabilmekte olup, bu alandaki güvenlik limitleri ise insan sağlığını risk altında bırakan etmenlerin ortadan kaldırılması konusunda yetersiz kalmaktadır [1,2,3]. Şehir merkezlerinde mevcut durumda bulunan yer altı kablo kanallarının üst bölgelerinde, kaldırımlarda, yakınında trafo merkezleri bulunan oyun parklarında, iş merkezlerinde ve enerji kullanmakta olan daha birçok yaşamsal alanda yüksek manyetik alanlar oluşabilmektedir. Çevre ve sağlık bilincinin artmasıyla birlikte, iletim hatlarının etrafında oluşan bu elektrik ve manyetik alanların canlılar üzerindeki olumsuz etkileri araştırılmaya başlanmıştır.

Yapılan çalışmalar ışığında, elektromanyetik alanların sağlık üzerindeki olumsuz etkileri tam olarak kanıtlanamamış olsa da ulaşılan sonuçlar insanları kaygılandırmaya yetmektedir ve bazı ülkelerde elektromanyetik alanlar konusunda güvenlik standartları oluşturulmuştur [4,5]. Elektromanyetik alanlar duyu organları ile algılanamamakta, ancak ölçülerek değerlendirilebilmektedir. Yapılan ölçüm sonuçları ise uluslararası ya da ulusların kendi belirledikleri insan sağlığına zarar vermeyeceği düşünülen sınır değerlere göre değerlendirilmekte ve sınır değerinin altındaki ölçümlerin insan sağlığına zarar vermeyeceği kabul edilmektedir [6,7].

Bu çalışmada, mevcut durumda bulunan yer altı enerji kablo kanalları üzerindeki manyetik alan seviyeleri ölçüm ve hesap yöntemleri ile belirlenmiş; farklı ekran malzemelerinin manyetik alanı azaltmaya yönelik davranışları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar güvenlik limitleri ve bu konuda sürdürülen son çalışmalar ışığında değerlendirilerek, kablo kanalları için en uygun ekran tipi araştırılmıştır.

GÜVENLİK LİMİTLERİ

Avrupa Birliği'ne üye ülkeler ve ABD dâhil olmak üzere birçok ülkede ortak olarak kabul gören ve uygulanan limit değerler bulunmaktadır. Bu limit değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da tanınan

ve uluslararası iyonize olmayan radyasyondan koruma komisyonu olan ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) tarafından belirlenmiştir. Limit değerler, (Bkz. Tablo.1) yayılan elektromanyetik

radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmektedir. ICNIRP tarafından ELF bandına dâhil olan 50 Hz frekansında genel halk için belirlenen 2010 limit değerleri Tablo.1 de verilmiştir [8].

Tablo.1 ELF Alanlar için ICNIRP 2010 limit değerleri (50 Hz için)

Elektromanyetik Kirlilik Kaynağı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)
Yüksek Gerilim Hatları, Trafolar ve Güç Üniteleri (Genel Halk İçin)	5000	200

Ülkemizde kabul gören 200 μT olan sınır değer; İsviçre’de yüksek gerilim ve trafo kaynaklı elektromanyetik alanların ev, ofis, okul, hastane ve çocuk parkı gibi hassas mekânlarda özel uygulanan 1μT limit değerine kıyasla çok yüksektir. İtalya, Hollanda ve bazı Avrupa ülkelerinde yeni kurulacak hatlar için yeni yerleşim bölgelerinde limit değerler 0,4μT ve 0,2μT seviyelerine çekilmiştir.

ELEKTROMANYETİK ALANLARIN EKLANLAMA İLE KONTROLÜ

Ekranlama, elektromanyetik alanların kontrol altına alınması konusunda başvurulan temel yöntemlerden birisidir[9]. Ekranlamada kullanılan bazı malzemelerin elektriksel özellikleri Tablo.2 de verilmiştir.

Tablo.2 Bazı ekranlama malzemelerinin elektriksel değerleri

Malzeme	Özdirenc (Ω.m)	İletkenlik (σ) Siemens/m)	Manyetik Geçirgenlik (μ _r)	Deri Kalınlığı (50 Hz için)
Alüminyum	2.82 × 10 ⁻⁸	3.5 × 10 ⁷	1	0.012
Bakır	1.68 × 10 ⁻⁸	5.58 × 10 ⁷	1	0.0092
Demir	9.58 × 10 ⁻⁸	1.04 × 10 ⁷	5000	0.0031
Çelik	1.61 × 10 ⁻⁷	6.21 × 10 ⁶	100	0.0029

Manyetik alan için ekranlama etkinliği (SE_M) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$SE_M = 20 \log_{10} \left| \frac{H^{inc}}{H^{tran}} \right|, (dB) \quad (1)$$

$$SE_{dB} = R_{dB} + A_{dB} + M_{dB} \quad (2)$$

Burada H (A/m), manyetik alan şiddetlerini; *inc* gelen dalgayı, *tran* ise iletilen dalgayı ifade etmektedir. Ekranlamada, elektromanyetik dalganın zayıflatılması gelen dalganın hava/iletken yüzeyiyle ve ekran iletken ortamıyla girdiği etkileşimle ilgili olarak üç aşamadan gerçekleşir. Bunlar; Yansıma Kayıpları (R_{dB}), Soğrulma Kayıpları (A_{dB}) ve Çoklu Yansımalar (M_{dB}). Ekranlama Etkinliğinin (dB) olarak ifadesi ise şu şekli alır:

$$SE_{dB} \approx 20 \log_{10} \left| \frac{\eta_0}{4\eta} \right| + 20 \log_{10} \left| \frac{e^{j\delta}}{1 - e^{-2t/\delta}} \right| + 20 \log_{10} \left| \frac{1 - e^{-2t/\delta}}{1 - e^{-j2t/\delta}} \right| \quad (3)$$

Bu ifadede, deri kalınlığı $t \gg \delta$ olan ekranlar için çoklu yansıma kaybı M_{dB} ihmal edilebilir. Ekran malzemesi için bakıra bağlı iletkenlik $\sigma = \sigma_r \sigma_{cu} \rightarrow \sigma_{cu} = 5.8 \times 10^7 S/m$ olarak yazılır. Burada $\sigma_r \rightarrow$ bakıra göre bağıl

iletkenliği temsil eder. Bu durumda bağıl iletkenlik ve $\omega = 2\pi f$ için yansıma ve soğurma kayıplarına ilişkin pratik ifadeleri elde edebiliriz.

$$R_{dB} = 168 + 10 \log_{10} \left[\frac{\sigma_r}{\mu_r f} \right] \quad (4)$$

Bu ifadeden de görüldüğü gibi yansımaya ilişkin ekran etkinliği, düşük frekanslarda yüksek iletkenliğe sahip malzemelerde daha yüksek olmaktadır. Soğurulma etkisine karşılık gelen ifade aşağıdaki gibi belirlenir.

$$A_{dB} = 131.4t \sqrt{f \mu_r \sigma_r} \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

Burada t (m) boyutundadır. Noktasal bir manyetik alan kaynağına yakın bölgede dalga empedansı ifadesi yaklaşık olarak eşitlik (6) ile bulunur.

$$|\eta_w|_H = \eta_0 \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right) \quad (6)$$

Yakın alanda Manyetik alan için yansıma kaybı ifadesinin yaklaşık değeri şu şekilde ifade edilir.

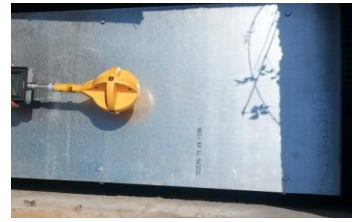
$$S_{RH} = 14.6 + 10 \log \left(\frac{fr^2 \sigma_r}{\mu_r} \right), (\text{dB}) \quad (7)$$

Bu üç aşamadaki ekranlama etkinliği değerlerinin toplanması ile Ekranlama Etkinliği (SE) elde edilir [10]. Bakır ve demir için frekans değişimi ve ekranlama etkinliği değerleri incelendiğinde, bakır ve demir için frekans arttıkça, E alan ve düzlem dalganın yansıma kayıpları azalmakta; fakat manyetik alanın yansıma kayıpları artmaktadır. Düşük frekanslarda bakırın toplam ekranlama etkinliği, demirin ekranlama etkinliğinden yüksektir. Yüksek frekanslarda ise E ve H alan düzlem dalgaya dönüşmekte olup, bakırın ekranlama etkinliği demirinkinden düşüktür. Bunun sebebi, demirin yüksek frekanslarda soğurulma kaybının artmasıdır.

KABLO KANALLARINDA ELEKTROMANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİ

Elektromanyetik alan ölçümleri için Akdeniz Üniversitesi Hastanesine enerji

sağlayan trafo binalarının kablo kanalları seçilmiştir. Belirlenen bu trafo tesisinde OG enerji kablolarının bulunduğu iki farklı kablo kanal tipi bulunmaktadır. YG kablolarının bulunduğu kablo kanalı 80 cm derinliğinde ve 66 cm genişliğindedir. İçerisinde R, S, T fazları için 3 adet 1x240/25 mm² kesitinde XLPE kablo bulunmaktadır. Tesisin şebeke gerilimi 31,5 kV olup, ölçüm esnasında yükün 400 kW (cosΦ=0,97) ve akımın yaklaşık 7,55 A olduğu gözlemlenmiştir.



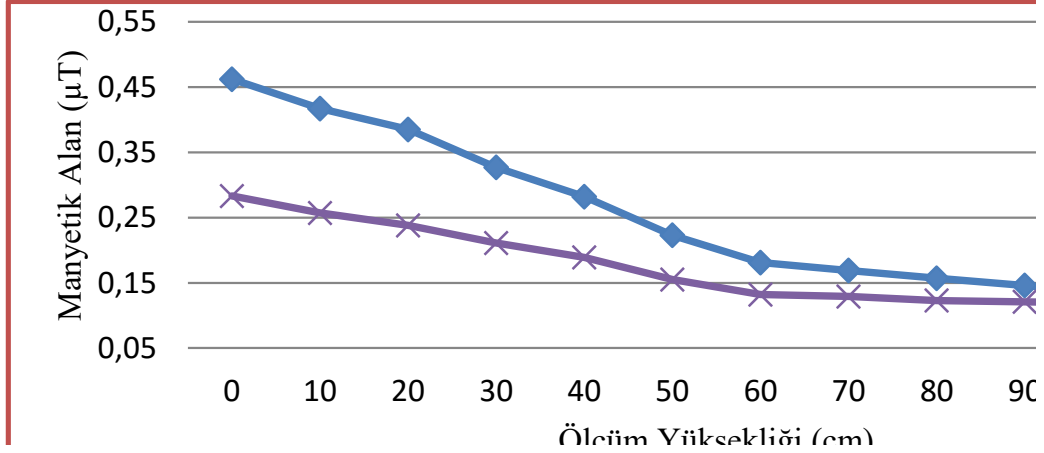
Şekil 1. OG Kablo Kanalında Ölçüm

Elektromanyetik alan ölçümleri için, üç eksenli Hioki FT3470 marka manyetik alan ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 2 Mikro Tesla - 2 mili Tesla, 0.5 mili Gauss - 20 Gauss, 0.040A/m - 1592 A/m aralıklarında 250 milisaniyelik periyotlarla X, Y, Z eksenlerinde ± 3.5 doğruluk ile RMS ölçüm yapabilmektedir. 10 Hz'den 400 kHz'e kadar frekans bandı bulunmaktadır ve CE standartlarına uygundur. YG kablo kanalındaki ölçümlerde elektromanyetik alan ekranlama malzemesi olarak 2 mm kalınlığında düz galvaniz levha, 2 mm kalınlığında düz demir levha ve 2 mm kalınlığında ters U şeklinde galvaniz levha kullanılmıştır. AG kablo kanalının üzeri açık iken, kanal üzeri galvaniz ve demir saclar ile kapalı iken, manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Tesisin ölçüm esnasında her fazda yaklaşık 38 kW yük bulunmakta olduğu kaydedilmiştir. Her ekranlama malzemesi için, kablo kanalı orta eksenli üzerinden dikey düzlemde yer seviyesinden itibaren 10'ar cm aralıklarla ölçümler alınmış ve değerler kaydedilmiştir.

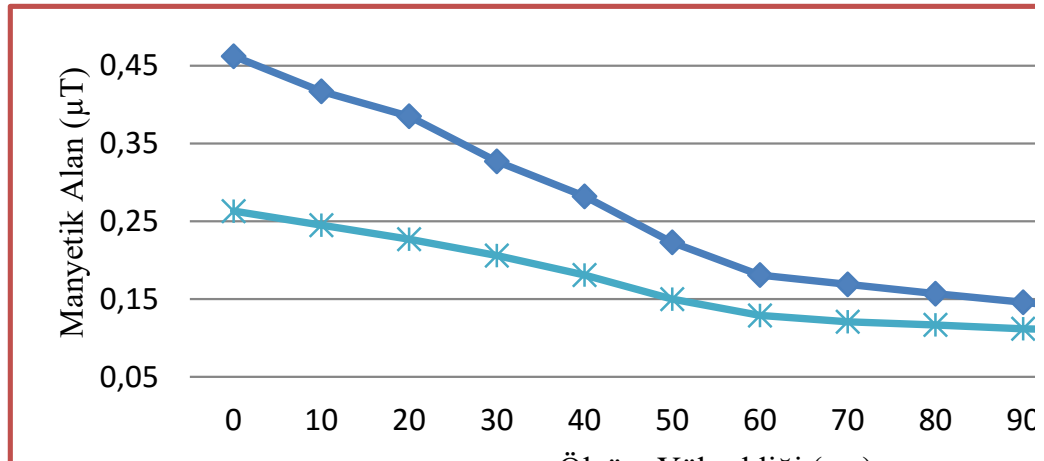
AG kablo kanalı üzerindeki ölçüm ve gözlemlerden sonra aynı kablo kanalının

içerisine, kabloların üzeri tamamen ters U şeklindeki galvaniz plaka ekran ile kapalı iken, kablo kanalı merkezinden yine dikey düzlemde her 10 cm yükseklikte ölçümler yapılmıştır ve kabloların üzeri açık

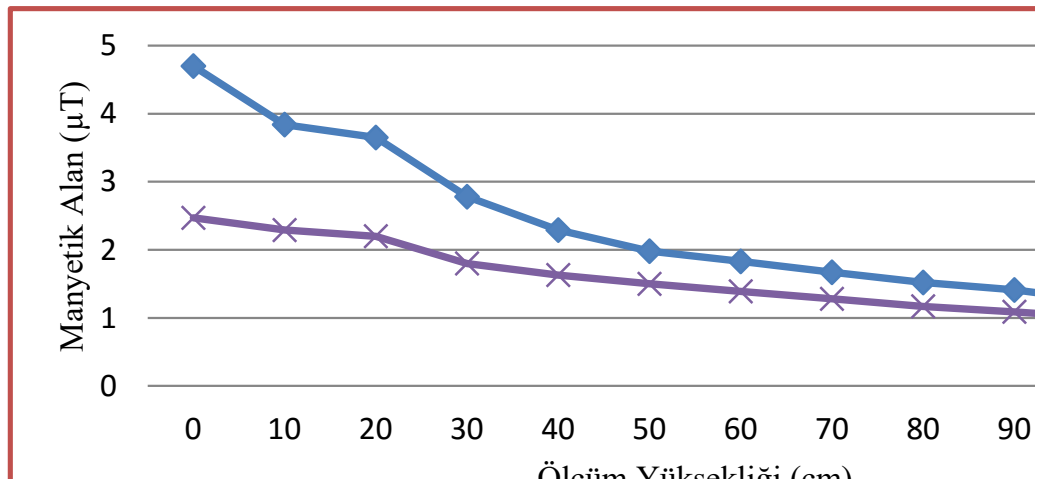
olduğunda ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Kablo kanalında kullanılan materyaller için hesaplanan ekranlama etkinlikleri Şekil.2-4 de sunulmuştur.



Şekil 2. YG kablo kanalında galvaniz sac levha ekranın etkisi



Şekil 3. YG kablo kanalında demir sac levha ekranın etkisi



Şekil 4. AG kablo kanalında demir sac ekranın etkisi

Tablo.3 AG Kablo Kanalında Ölçülen Manyetik Alan Değerleri

Yükseklik (cm)	Ters U galvaniz için (μT)	Kablo Kanalı Üzeri Açık İken (μT)
0	7,68	17,7
10	6,94	11,3
20	6,5	8,7
30	5,1	6,2
40	3,94	5,2
50	3,15	4,3
60	2,7	3,47
70	2,28	3,3
80	1,85	2,5
90	0,8	2,10

AG kablo kanalında ayrıca, kanal üzeri açık iken ve ters U şeklindeki galvaniz plaka için manyetik alan ölçümleri Tablo.3 de verilmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

AG ve YG kablo kanallarında farklı ekranlama malzemeleriyle kurulan düzenekler ile yapılan ölçümler ve araştırma bulguları incelendiğinde, ekranlamada kullanılan malzemenin ve ekranlama malzemesi ile elektromanyetik dalga kaynağı arasındaki mesafenin ekranlama etkinliğini doğrudan etkilediği sonuçlarına varılmıştır. Ekranlamada istenilen sonuçların alınması ekranlama etkinliğine bağlıdır ve bu durumda ekranlama malzemesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Kullanılacak olan ekranlama malzemesi, amaçlanan frekans aralığına uygun olmalı ve bu malzemelerin elektromanyetik girişim kaynağına karşı konumuna dikkat edilmelidir. Farklı ekranlama malzemeleri ile yapılan ölçümler neticesinde, manyetik alan ekranlama malzemesi olarak demir levha kullanıldığında en yüksek ekranlama etkinliği değerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ancak elektromanyetik girişimi önlemede, ekranlamaya ilişkin bu güne kadar elde edilen teorik sonuçlar, saha uygulamalarında daha çok denenmeli ve doğrulanmalıdır. Elektromanyetik alan şiddetlerinin istenilen değer aralığında

tutulabilmesinin yanı sıra, kullanılan ekran malzemesi için maliyet ve performans değerlendirmeleri yapılmalıdır. Ayrıca, bu ekran malzemelerinin yer altında korozyona uğramaması için ilgili diğer bilim dallarından görüşler alınmalıdır. Sonuç olarak; Daha sağlıklı bir yeni nesil ve daha güvenilir elektronik sistemler için elektromanyetik girişimleri kontrol etmeye yönelik çalışmalara önem verilmelidir ve özellikle elektromanyetik radyasyon konusunda halk bilinçlendirilmelidir. Kabul edilen manyetik alan sınır değerleri gözden geçirilmeli ve son yapılan araştırmaların ışığında, dünya genelinde genel eğilim 0,3-0,4 μT seviyelerinin altına indirilecek şekilde yönetmelikler güncellenmelidir. Yerleşim yerlerinin elektromanyetik radyasyon haritaları çıkarılmalı, gerekli görülen yerlerde enerji altyapısı yenilenmelidir. Üniversiteler, meslek odaları ve ilgili bakanlıkların desteğiyle sürekli bir ölçüm ve denetleme mekanizması oluşturulmalıdır. Denetlemeler sırasında manyetik alanlarla ilgili periyodik ölçüm raporları istenilmeli ve bu uygulama iş sağlığı ve güvenliği yönetmelikleri ile desteklenmelidir. Yeni kurulacak olan tesisler ve enerji nakil hatları projelendirilirken kablo kanallarının ve tavalalarının manyetik alan hesapları da yapılmalıdır. Dağıtım şirketleri ve belediyeler tarafından da, bu tesislerin kabul işlemleri sırasında topraklama, tesisat kontrol vb. raporların yanı sıra

elektromanyetik alan ölçüm raporları da istenilmelidir. Yüksek güçlü binaların bina içi kablo tesisatlarında ekranlama çözümü, binanın tasarımı aşamasında düşünülmeli ve tesisin, mimari, elektrik ve statik projeleri ile birlikte projelendirilmelidir. Hastane, okul, alışveriş merkezi, ticaret ve iş merkezleri gibi insanların toplu olarak bulunduğu yüksek güç kapasiteli yapılarda bina trafo ve güç dağıtım odalarının ekranlama projeleri yapılmalı ve bu yapılarda manyetik alan kontrolü sağlanmalıdır. Ekranlama uygulanacak hatlar için ekran malzemelerinde oluşacak güç kayıplarının analizi, bu alanda yapılabilecek ileri bir çalışma konusu olarak önerilmektedir. Elektromanyetik alanların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz sonuçlarının belli bir süre sonrasında görülebileceği beklenmektedir. Teknolojinin yükselişi ve artan enerji ihtiyacı sonucunda artış gösterecek olan elektromanyetik kirliliğin gelecek kuşakları tehdit ettiği bir gerçektir ve korunma önlemlerinin geç olmadan hayata geçirilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim Birimince desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1]Ozen S, Helhel S, Colak OH, “Electromagnetic Field Measurements of Radio Transmitters in Urban Area and Exposure Analysis” Microwave and Optical Technology Letters, 49 (7), 1572-1578, 2007.
- [2]Sergeant P, Koroglu S, “Electromagnetic Losses in Magnetic Shields for Buried High Voltage Cables”, Progress in Electromagnetics Research, Vol. 115, 441-460, 2011.
- [3]Sukru Ozen, “Low-Frequency Transient Electric and Magnetic Fields Coupling to Child Body”, Radiation Protection Dosimetry, (10.1093/rpd/ncm315), 128(1):62-7, 2008.
- [4] Akpınar Deniz; Ozturk Nihal; Ozen Sukru; Agar Aysel; Yargicoglu Piraye. “The effect of different strengths of electric fields on antioxidant status, lipid peroxidation, and visual evoked potentials”, Electromagnetic Biology and Medicine, ISSN: 1536-8378 print / 1536-

8386 online, DOI: 10.3109/15368378.2012.692342, 31(4): 436–448, 2012.

[5] Del Pino Lopez, JC, Cruz Romero P, Dular P, “Parametric Analysis of Magnetic Field Mitigation Shielding for Underground Power Cables”, Renewable Energy and Power Quality Journal no.5, Pages 1-8, 2007.

[6]Sukru Ozen, “Evaluation and Measurement of Magnetic Field Exposure at a Typical High Voltage Substation and Its Power Lines”, Radiation Protection Dosimetry, (doi:10.1093/rpd/ncm326), 128(2): 198-205, 2008.

[7] Ozen S, Helhel S, Kahya G, Cakir M, Yalcin S, “Hastane Ortamlarında Manyetik Alan Seviyeleri ve Mesleki Maruz Kalmanın Değerlendirilmesi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, EMANET 2013 Özel Sayısı, 4 s., 2014.

[8]The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP),Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields for low frequencies (1 Hz - 100 kHz), HEALTH PHYSICS 99(6):818-836;2010.

[9] P.Deniz Tosun, Sukru Ozen, Selcuk Helhel, “Shielding Effectiveness of Plasma Coated Multi-layered Shields”, Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS in Stockholm, Sweden, 12-15 August 2013.

[10]Ş.Özen, N. Arı, Elektromanyetik Uyumluluk, ISBN 978-9944-341-72-1, Palme Yayıncılık, 2008 Ankara.