



**Araştırma Makalesi / Research Article**  
**INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC FIELD VALUES IN MEDIUM  
VOLTAGE TRANSFORMER SUBSTATION**

**İlhan KOŞALAY<sup>\*1</sup>, Aslan İNAN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>TRT Stüdyolar Dairesi Başkanlığı, Enerji Müdürlüğü, Oran-ANKARA

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

**Geliş/Received: 04.01.2006 Kabul/Accepted: 06.03.2007**

---

**ABSTRACT**

Power plants, transformer substations, transmission lines and similar power system equipments produce power frequency electromagnetic fields in near area when they are working in normal operating condition. Studies about possible negative effects of electromagnetic fields due to electrical installations on living creature have just gone on. In this study, firstly researchers related to this subject are mentioned then explicating of measurements that is carried out in a sample distribution substation is done and magnetic field values at the measurement points are calculated by customized software. Measurement values are encountered with the standards and at conclusion, some suggestions are given.

**Keywords:** Transformer substations, electromagnetic field, ICNIPR limit values.

**BİR ORTA GERİLİM TRANSFORMATÖR MERKEZİNDEKİ ELEKTROMANYETİK ALAN  
DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ**

**ÖZET**

Güç santralleri, transformatör merkezleri, iletim hatları ve benzeri elektrik güç sistemi ekipmanları normal işletim koşullarında çalışırken çevrelerinde güç frekanslı elektromanyetik alanlar oluşturmaktadırlar. Elektrik tesislerinden kaynaklanan elektromanyetik alanların civardaki canlılar üzerindeki olası olumsuz etkileri konusunda çalışmalar halen devam etmektedir. Bu çalışmada, öncelikle konuya ilişkin yapılmış araştırmalardan bahsedilmiştir daha sonra örnek bir dağıtım transformatör merkezinde yapılan ölçümlerin yorumlanması yapılmış ve özgün bir yazılım ile ilgili ölçüm noktalarındaki manyetik alan değerleri hesaplanmıştır. Ölçüm değerlerinin standartlarla kıyaslanması yapılarak sonuç kısmında bazı öneriler verilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Transformatör merkezi, elektromanyetik alan, ICNIPR sınır değerleri.

---

**1. GİRİŞ**

Bugüne kadar transformatör merkezlerinden kaynaklanan elektromanyetik alan kirliliği ve etkileri üzerine bir çok çalışma yapılmıştır [1-12]. İlk dikkate değer çalışmalar, rijid baralı bir transformatör merkezinin optimum tasarımında manyetik alanın etkileri [1] ve güç frekanslı manyetik alanının ekranlanmasının analizi [2] şeklinde olmuştur. Diğer çalışmalarda, istasyondaki

---

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: ilhan.kosalay@trt.net.tr, tel: (312) 490 43 00 / 2096

güç transformatörünün nötr noktasının durumu ve boyutlarına bağlı bazı incelemeler yapılmış [3] ve transformatör merkezlerindeki topraklama potansiyelleri, tasarımları, geçici gerilimler incelenmiştir [4-7]. Bir transformatör merkezindeki elektromanyetik etkileşimi meydana getiren nedenler ve ekranlanmış kablo, paralel toprak iletkenlerinin girişiminin düşürülmesi üzerindeki etkileri açıklanmaya çalışılmıştır [8]. Bazı diğer çalışmalarda elektrik-manyetik alan ya da akım-gerilim şeklindeki bozucu etkilerin kaydı için gerekli ölçme teknikleri incelenmiş [9], gaz izoleli bir transformatör merkezinde hızlı geçici olayların etkileri araştırılmış [10] ve yüksek gerilim cihazlarının oluşturduğu elektrik alan dağılımları analiz edilmiştir [11]. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara maruz kalınma ile ilgili limit değerlerini ortaya koyan açıklamalar [12]’de verilmiştir. Elektrik makinalarının etrafındaki elektrik ve manyetik alanlar [13,14], bitkilerin filizlenmesi [15] ve insan eritrosit seviyesinin kontrolü [16] gibi konular son yıllarda üzerinde çalışılan diğer konular olmuştur.

## **2. DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ MERKEZİNDEKİ ÖLÇÜMLER**

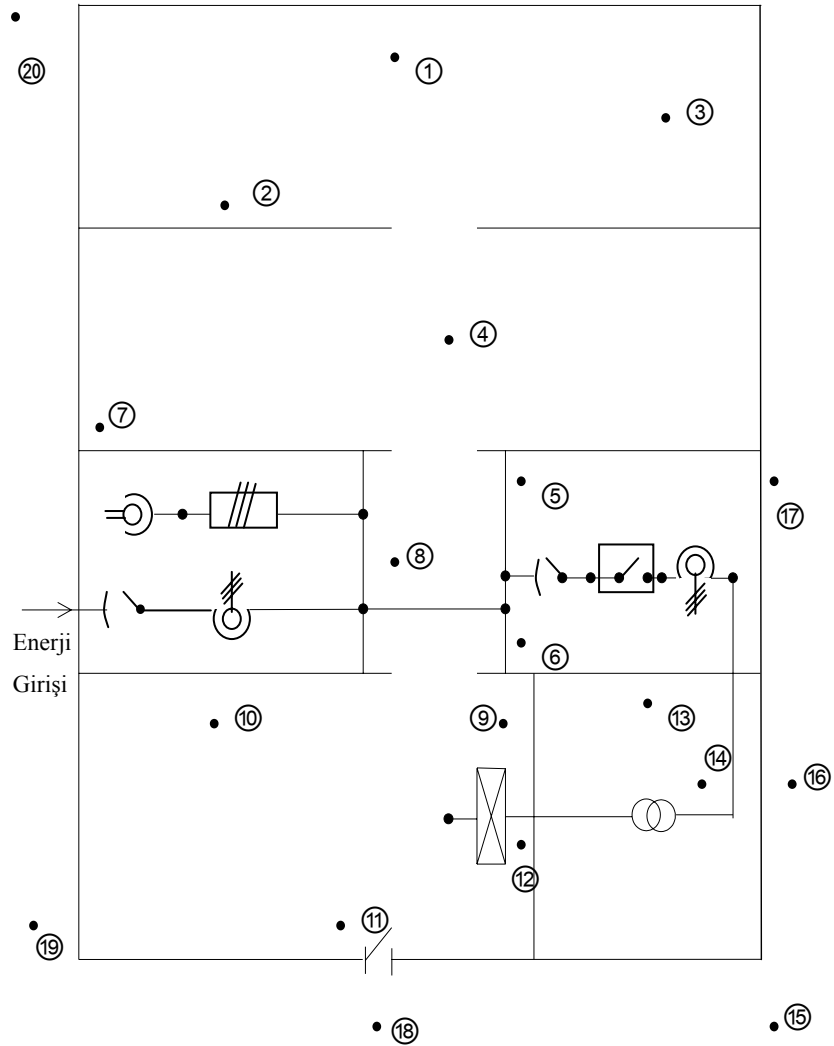
Bu çalışmada bir dağıtım transformatör merkezi içinde ve yakın çevresinde yapılan elektrik ve manyetik alanlara ait ölçümler ele alınmıştır. Bu çalışmaya özel olmak üzere transformatör merkezindeki her cihazın ve duvarların etrafındaki alan değerleri de değerlendirilerek bazı sonuçlar ortaya konmuştur. Ölçümler için Sakarya Üniversitesi Rektörlük Kütüphane ve Sosyal tesislerini besleyen 1000 kVA 34.5/0.6 kV’lık dağıtım transformatör merkezi seçilmiştir. Ölçüm değerleri alınırken o işletme anına ait akım, güç ve gerilim değerlerinin yaklaşık olarak sabit kalmasına dikkat edilmiştir. Ölçümler için öncelikle transformatör merkezi dahilinde ve çevresinde 20 adet ölçüm noktası tespit edilmiştir. Daha sonra her bir noktada, yerden farklı yükseklikler için (aynı düzlemde kalmak koşulu ile) elektrik ve manyetik alanın toplam etkin değeri ölçülmüştür. Daha önce yapılmış bazı çalışmalarda yerden 1 metre yükseklik referans alınarak ölçümler yapılmıştır [17,18]. Bu çalışmada yapılan ölçümler ise 1 ve ayrıca 1.75 metreyi referans almıştır. Bu referanslar ortalama insan bedeni için baş ve genital bölgeye karşılık gelecek şekilde seçilmiştir.

Ölçümlerde kullanılan cihaz Holaday Inc. Firmasına ait HI-3604 elektromanyetik alan şiddeti ölçeri’dir. Cihaz 30 Hz’den 2000 Hz’e kadar olan frekans aralığında hem elektrik alanı, hem de manyetik alanı ölçebilecek kapasitededir. Üzerindeki indikatörü sayesinde maksimum alan yönünü ölçebilmekte ve anlık alan değerini tespit edebilmektedir. Elektrik alan duyarlılığı 1 V/m – 200 kV/m, manyetik alan duyarlılığı 0,2mG - 20G aralığını kapsamaktadır. Cihazın kalibrasyonunun yeni yapılmış olduğu, cihazın ait olduğu Sakarya Üniversitesi Elektromanyetik Kirlilik Merkezi Müdürlüğüne garanti edilmiştir. Cihaz manuel olarak kullanıldığı gibi RS 232 üzerinden veri toplayarak bilgisayar kontrollü de kullanılabilir. Cihazın elektromanyetik alan verisini algılayan kısmı ile elle tutulan kısmı arasında yeterli mesafe ve izolasyon mevcuttur.

Transformatör merkezinin girişi, 34.5 kV orta gerilim (O.G.) hattıdır. Enerji, hat sonu direğinden O.G. enerji kablosu vasıtası ile toprağa girmekte ve trafo binası kenarından içeriye girmektedir. Özellikle transformatörün yüksek gerilim ve alçak gerilim bağlantı baraları ve transformatör çevresinde elektromanyetik alan ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Transformatör merkezine enerjinin girdiği hücrenin bitişiğinde bulunan kompanzasyon panosunun önünde yapılan ölçümler ile panosunun metal bir kapaklı yapıya sahip olması nedeniyle, alanlarda nasıl bir etki oluşturduğunun gözlenmesinde önemlidir. Farklı yüklenme koşullarında bu bölümdeki alan değişimleri gözlenerek panoların ekranlama etkilerini incelemek mümkündür. Transformatör merkezinin yüklenmesiyle birlikte, dış çevresindeki elektromanyetik alanın etki mesafesinin artacağı göz önüne alındığında, trafo binasının konumunun önemi ortaya çıkmaktadır. Örneğin trafo binası ile kütüphane arası 10-15 metre gibi yakın bir mesafedir.

### 3. ÖLÇÜM SONUÇLARINA AİT DEĞERLENDİRMELER

Burada yapılacak değerlendirmeler, ilgili transformatör merkezinin Alçak Gerilim (A.G.) panosundan 120 KVA güç altında 230 A akım çekilmesi haline bağlı işletme koşulu içindir. Diğer yüklenme koşullarına ait alan değerleri de ölçülebilir ve bu yüklenme hali ile diğer çalışma modlarındaki aynı noktadaki alan değerlerindeki değişimler incelenebilir. Ölçülen diğer alan değerlerinin başka çalışmalar için veri tabanı olarak kullanılması düşünülebilir. Şekil 1'de ölçüm noktalarının transformatör merkezi yerleşim planındaki konumları gösterilmiştir. Buradaki nokta koordinatları, sol köşedeki ölçüm noktasından geçen düşey bir doğrunun merkez girişini yatay kabul eden bir doğruyla kesişimi (0,0) kabulü ile verilmiştir.



Şekil 1. Ölçüm noktalarının transformatör merkezi yerleşim planındaki konumları

## Investigation of Electromagnetic Field Values ...

Bu aşamada yapılabilecek değerlendirmeleri, genel ve bölgesel görülen özellikler şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Genel olarak manyetik alan dağılımlarına (Çizelge 1) bakıldığında, öncelikle aynı ( $x_i$ ,  $y_i$ ) koordinatının farklı yükseklikleri için, ki bu çalışmadaki ölçmelerde 1 m ve 1.75 m yüksekliği baz alınmıştır, ölçme koordinatları arasında belirgin farklar ortaya çıkmaktadır.

**Çizelge 1.** Ölçülen manyetik alan değerleri

Ölçüm noktaları	H (A/m)		Koordinatlar
	$\cong 1.75$ m	$\cong 1$ m	
1	0.270	1.2	(3.9, 9.8)
2	1.6	1.96	(2.7, 8.6)
3	0.3	0.34	(7.3, 9.6)
4	0.85	0.56	(5, 7.6)
5	1.6	1.2	(6.2, 6.1)
6	3.2	4	(6.2, 5.1)
7	0.45	2.5	(1.6, 6.7)
8	2.3	3.2	(3.9, 5.6)
9	52	13.8	(5.7, 3.05)
10	1.4	1.6	(2.8, 4.2)
11	2.1	1.55	(3.8, 1.5)
12	57	43	(6.7, 2.8)
13	8.6	6.8	(7.5, 4)
14	6.1	4	(7.9, 3)
15	0.66	0.45	(10.6, 0)
16	0.45	0.39	(10.6, 3)
17	0.31	0.25	(10.6, 3)
18	1.59	11.19	(5.3, 0)
19	1.27	1..72	(0, 3)
20	1.30	1.93	(0, 10.7)

Sırasıyla 1-3 , 6-8, 10 , 17, 19 ve 20 no'lu ölçüm noktalarında 1 m' de yapılan manyetik alan ölçümleri 1.75 m' de yapılan ölçümlerden daha yüksek çıkmıştır. Yine sırasıyla 4, 5, 9, 11 ve 12-18 no'lu ölçüm noktalarında 1 m' de yapılan manyetik alan ölçüm değerleri, 1.75 m' de yapılan ölçümlerden daha düşük çıkmıştır. Bunun temel nedeninin, akım taşıyan baraların transformatör merkezi tavanına yakın yükseklikten geçmesi olduğu düşünülebilir.

9 ve 12 no'lu ölçüm yerinde manyetik alan değeri ölçülen en yüksek değerlerine ulaşmıştır. İncelendiğinde 12 no'lu ölçüm noktasının güç transformatörü A.G. çıkışı baralarına yakın olduğu görülür ki alçak gerilim barasına yakın yerler önemle üzerinde durulması gereken yerlerdir. Yine 9 no'lu ölçüm noktasında yapılan ölçümün de yüksek çıkmasının nedeni hem A.G. barasına yakınlığı, hem de kesicinin yan tarafına gelmiş olmasıdır.

13 ve 14 no'lu ölçüm noktalarında da manyetik alan değerleri göreceli olarak yüksek çıkmıştır. Yine bu konumlara bakıldığında, sırasıyla güç transformatörünün yanı ve yüksek gerilim tarafına düşen kısım olması nedeniyle böyle olduğu söylenebilir.

Bara ve sistem elemanlarından göreceli olarak uzakta bulunan 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu türü ölçüm noktalarında, ölçüm sonuçlarından da anlaşılacağı üzere manyetik alan değerleri düşük seviyelerde ölçülmüştür.

10 no'lu ölçüm noktası da bölgesel bir önem arz etmektedir. Konumsal olarak bu ölçüm noktası kompanzasyon panosunun önüne karşılık gelmektedir. Burada da, ölçüm değerinin düşük çıkması metal panonun ekranlama etkisi yaptığı şeklinde yorumlanmıştır.

5 ve 6 no'lu ölçüm noktalarındaki sonuçlar da dikkate değer bulunmuştur. Bu noktalardan 5 no'lu olan kesicinin soluna, 6 no'lu olan kesicinin sağına denk düşmektedir. 6 no'lu ölçüm noktasının güç transformatörü ve A.G. barasına yakınlığı o noktadaki ölçüm değerinin 5 no'daki ölçüme göre 2 katı değerinde olmasını sağlamıştır.

Transformatör merkezinin dışında yapılan 16, 17 no'lu gibi alan ölçüm noktalarında da ölçüm sonuçlarının merkez içine kıyasla düşük değerler çıktığı görülmüştür. Burada belirtilen yorumlar tek bir işletim koşulundaki değerlere ilişkindir. Transformatör merkezleri için geliştirilmiş çeşitli yazılımlar yardımıyla farklı işletim koşulları içinde elektromanyetik alan değerleri tahmin edilebilmektedir. Buna bağlı olarak ilgili şartlar için de yeniden yorum yapma gereği ortaya çıkmaktadır.

Transformatör merkezinde yapılan elektrik alan ölçüm sonuçlarını da (Çizelge 2) genel ve bölgesel özellikler şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

**Çizelge 2.** Ölçülen elektrik alan değerleri

Ölçüm noktaları	E (V/m)		Koordinatlar
	$\cong 1.75$ m	$\cong 1$ m	
1	2	1.4	(3.9, 9.8)
2	2.6	1.59	(2.7, 8.6)
3	1.8	1.4	(7.3, 9.6)
4	105	55	(5, 7.6)
5	2500	3500	(6.2, 6.1)
6	3500	3000	(6.2, 5.1)
7	350	200	(1.6, 6.7)
8	250	10000	(3.9, 5.6)
9	49	13.5	(5.7, 3.05)
10	3.7	1.3	(2.8, 4.2)
11	18	1.6	(3.8, 1.5)
12	400	8.3	(6.7, 2.8)
13	6300	300	(7.5, 4)
14	3500	89	(7.9, 3)
15	8.2	3.2	(10.6, 0)
16	6.85	3.4	(10.6, 3)
17	5.6	3.48	(10.6, 3)
18	5.2	2.18	(5.3, 0)
19	39.3	22.8	(0, 3)
20	93.4	8.2	(0, 10.7)

5 ve 8 no'lu ölçüm noktalarında 1 m yükseklikte yapılan elektrik alan ölçümleri, 1.75 m'de yapılan ölçümlerden daha yüksek çıkmıştır. Diğer ölçüm noktalarında ölçülen elektrik alan değerlerinin tümünde 1.75 m'de yapılan ölçüm değerleri, 1 m'deki ölçüm değerlerinden yüksek çıkmıştır. 13 ve 14 no'lu gibi güç transformatörü Y.G. barası ve çevresinde yapılan elektrik alan ölçümlerinin de, en yüksek değerlerini aldığı anlaşılmıştır. 5, 6 ve 8 no'lu ölçüm noktaları da Y.G. bara sisteminin civarındaki ölçüm noktaları olduğundan, yine buralarda elektrik alan değeri yüksek olarak ölçülmüştür. Transformatör merkezinde bulunan hücre duvarlarının, elektrik alan üzerinde oldukça etkisi olduğu ölçüm sonuçlarından anlaşılmaktadır. 13 no'lu ölçüm noktası ile 6 no'lu ölçüm noktasında ölçülmüş elektrik alan değerleri kıyaslandığında, bu açıkça görülmüştür. Hücre duvarının diğer yanında kalan 6 no'lu ölçüm noktasında, elektrik alan değerinin oldukça azaldığı görülmektedir. Yine tek duvarı aşarak transformatör merkezinin etrafında ölçülen elektrik alan değerlerinin, kaynaklardan itibaren arasında birkaç duvar giren 1-3 no'lu ölçüm noktalarındaki elektrik alan değerlerinden fazla olduğu ölçüm sonuçlarından görülmektedir.

#### 4. TRANSFORMATÖR MERKEZİNDE DÜŞÜK FREKANSLI MANYETİK ALAN HESAPLAMALARI

Dengeli akım koşullarında, manyetik alan şiddeti B, iletkenleri yan yana düzenlenmiş üç fazlı devreler için,

## Investigation of Electromagnetic Field Values ...

$$B = \frac{\sqrt{3}\mu_0 I d}{2\pi r^2} \quad (1)$$

dir. İletkenleri üçgen biçimde düzenlenmiş üç fazlı devreler için ise,

$$B = \frac{\sqrt{6}\mu_0 I d}{2\pi r^2} \quad (2)$$

dir. Bu formüller ancak, alan değerinin saptanmaya çalışıldığı noktanın alan kaynağına olan uzaklığı olan  $r$  değerinin iletkenler arası uzaklık  $d$  değerinden çok fazla olması durumunda geçerlidir. Bazı durumlarda ise, bara veya kablolar  $r$  uzaklığına göre çok kısa olabilirler. Böyle durumlarda, manyetik alan modellemesinde noktasal kaynak uygulaması daha uygundur. Her noktasal kaynak bir manyetik dipol olarak düşünülür. Her dipol kendi dipol momenti ( $m$ ) ile nitelendirilir. Dipol momenti ( $m$ ), akım ( $I$ ) ile çevrilen dipol alanının ( $A$ ) çarpımına eşittir. Manyetik momentin yönü ise akım yönüne göre sağ el kuralına göre bulunur. Buna göre bir dipolden  $a_r$  mesafedeki manyetik alan,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \left( \frac{-m}{r^3} + \frac{3(m \cdot a_r) \cdot a_r}{r^3} \right) \quad (3)$$

olarak belirtilir. Burada  $a_r$ , dipol ile gözlem noktası arasındaki birim vektördür.

Transformatör merkezindeki iletkenler çok uzun boylarda değildir. Bu durumda bileşke alanı belirlemek için sayısal hesaplama tekniği önem kazanmaktadır. Düşük frekanslı alanlar için Biot-Savart Kanunu sayısal hesaplama için oldukça iyi çözümler sunar. Bu kanun kullanılırken iletken güzergahı düz iletken parçalarına bölünür. Her bir elemanın ayrı bir manyetik alan oluşturduğu varsayılarak bileşke alana geçilir ve buradan tüm iletken sisteminin toplam ürettiği manyetik alan bulunur. Bu hesaplama tekniği için bilgisayar programları kullanılabilir. Bu çalışma için C++ dilinde yazılmış özgün bir programın temel aldığı genel hesaplama formülü şöyledir;

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\sin\alpha + \sin\beta) \quad (4)$$

Burada;  $r$ : gözlem noktasına olan uzaklık,  $\alpha, \beta$ : Gözlem noktasından iletken parçasının (kaynağın) görüldüğü açılarıdır. İletken parçasının bir ucu ile diğer ucunu kaynağa birleştiren ışınların,  $r$  ışını ile yaptıkları açılar  $\alpha, \beta$ 'yi oluşturmaktadır.

Geliştirilen bilgisayar programına alan oluşturan kaynağın verisi (her dönüş yapan iletkenin  $x, y, z$  koordinatları ve her iletkendeki akım değeri) ve hesaplama noktaları girdi olarak verilmektedir. Hesaplama noktaları, hesaplanacak alanın geometrik konumu ile ilgilidir. Bu veriler girildiğinde, program hesaplamayı yaparak istenen noktalara ait çıktı verebilmektedir. Programda Biot-Savart kanunu uygulanırken diğer metalik aksamın manyetik ekranlama etkisinin ihmal edilmiş, akımın iletkenin ekseninde toplandığı ve her iletken parçasının düz olduğu varsayılmıştır. Sonuç olarak bara geometrisi ve ilgili akımlar hakkındaki bilgilerin temini ile bu alanlar için bilgisayar simülasyonu elde etmek mümkün olmuştur. Hesaplama sonuçlarının; dünyanın manyetik alanının etkisini içermediği, transformatör merkezinde bulunan metalik yapısı olan cihazların yarattığı alan distorsiyonunu kapsamadığı ve topraklama iletkenlerinden geçen akımların etkisini içermediği göz önünde tutulmalıdır. Yerden 1 m. yükseklik için ölçüm yapılan yirmi adet noktada hesaplanan manyetik alan değerleri ile ölçüm değerleri Çizelge 3'de karşılaştırılmıştır. Hesaplanan manyetik alan değerleri incelendiğinde bu değerlerin ölçülen manyetik alan değerleri ile bir kaç değer dışında uyumlu oldukları gözlenmiştir.

Çizelge 3. Hesaplanan manyetik alan değerleri

Ölçüm noktaları	H (A/m) ( $\cong$ 1 m için)		Koordinatlar
	Ölçülen Değerler	Hesaplanan Değerler	
1	1.2	1.3	(3.9, 9.8)
2	1.96	2	(2.7, 8.6)
3	0.34	0.36	(7.3, 9.6)
4	0.56	0.51	(5, 7.6)
5	1.2	1.18	(6.2, 6.1)
6	4	4.3	(6.2, 5.1)
7	2.5	2.5	(1.6, 6.7)
8	3.2	3.1	(3.9, 5.6)
9	13.8	14.1	(5.7, 3.05)
10	1.6	2.3	(2.8, 4.2)
11	1.55	1.50	(3.8, 1.5)
12	43	44.2	(6.7, 2.8)
13	6.8	6.7	(7.5, 4)
14	4	4.4	(7.9, 3)
15	0.45	0.45	(10.6, 0)
16	0.39	0.40	(10.6, 3)
17	0.25	0.24	(10.6, 3)
18	11.19	11	(5.3, 0)
19	1.72	1.70	(0, 3)
20	1.93	1.90	(0, 10.7)

## 5. ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN STANDARTLARLA KIYASLANMASI

Örnek olarak ele alınmış ve üzerinde çalışılarak içinde ve yakın civarındaki elektrik ve manyetik alan değerleri ölçülmüş transformatör merkezi için, ölçülen bu alan değerlerinin insan sağlığı ile ilişkili olarak, ilgili standartlarla nasıl bir uyum içinde olduğunu belirlemek amacıyla, bu standartların belirlediği sınır değerlerine bakmak gerekmektedir. Burada kastedilen sınır değerler Bioelektromanyetik (BEM) konusuna ilişkin olanlardır. Bu konuda standart üreten en yetkili ve tanınmış kuruluş ICNIRP (International Committee on Non-Ionising Radiation Protection)'dir.

ICNIRP, temel limitlerin zor ölçülebilir yada elde edilebilir olması nedeniyle, işyeri ve genel halk şeklinde ikiye ayrılan türetilmiş limitleri ortaya koymuştur [12]. İşyeri tanımı ile günün belirli saatlerinde (ortalama 8 saat) sadece yetişkinlerin bulunduğu ve bulunanların da elektromanyetik etkilerin riskleri konusunda bilgi sahibi olduğu ve önlem alındığının varsayıldığı yerler düşünülmüştür. Genel halk deyimi ile kastedilen ise, günün tüm saatlerinde elektromanyetik etkilere açık, risk ve önlemlerden habersiz olarak maruz kalınabilen, ev, hastane, park vb. yerlerdir. Buna bağlı olarak bu limitlerin işyerine oranla daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. ICNIRP, işyerleri için 25-820 Hz aralığında elektrik alan sınır değerini 500/f (kV/m), manyetik alan sınır değerini ise 20/f (A/m) şeklinde vermektedir. Genel halk için bu sınır değerler yine aynı frekans aralığında elektrik alan için 250/f (kV/m), manyetik alan için 4/f (A/m) şeklinde tanımlanmıştır [19-21].

Türk Standartları Enstitüsü'nün 1 Nisan 1996 yılında yayınladığı "İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması-Düşük Frekanslar (0-10 kHz)" isimli standartta 50 Hz'lik şebeke frekansı için (Bu çalışmada ölçülen değerler 50 Hz'lik işletme içindir), elektrik alan sınır referans değeri işçiler için 30 kV/m, genel halk için 10 kV/m olarak belirlenmiştir. Aynı standartta referans manyetik alan değerleri ise; işçiler için 1.6 mT, genel halk için 0.64 mT olarak belirlenmiştir [22]. Bu bilgiler ışığında ölçümü yapılan transformatör merkezindeki elektrik ve manyetik alan değerlerinin ICNIRP ve TSE standartlarında belirtilen sınırları aşmadığı

anlaşılmaktadır. Ancak yapılan ölçümlerde tam yük yani 2000 A sınırına ulaşamadığından dolayı bu değerde ölçüm yapılmamıştır. Bazı durumlarda transformatör merkezleri binaların zemin ya da, zemin altı katlarında bazen de, konutların hemen yanında bulunabilmektedir. Özellikle bu hallerde yaşanan mahallerde oluşan elektromanyetik alan değerleri daha da dikkat edilmesi gereken sonuçlara ulaşabilir. Bu nedenle bu durumlarda ölçüm değerlendirmesi sonrası gerekli önlemler de (ekranlama) alınmalıdır.

### **6. SONUÇLAR**

Elektrik tesislerinde bulunan kesici, transformatör ve benzeri elemanlar doğal bir elektromanyetik kirlilik kaynağıdır. Söz konusu bu elektromanyetik alanlar, yakın mekanlarda yaşayan insanlar için biyoelektromanyetik ile ilgili sorun kaynaklarını teşkil ederler. BEM ile ilgili incelemeler daha çok tıp konusunda çalışan bilim adamlarınca yapılmaktadır. Ancak ortaya çıkabilecek alanların ölçümü, hesabı ve seviyelerinin değerlendirilmesi teknik konuda çalışan elektrik-elektronik uzmanlarınca yapıldığından bu tesislerde yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi de oldukça önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışma ve incelemenin ortaya koyduğu en önemli eksikliklerden biri de, bu konuyla ilgili tıp ve mühendislik dalındaki bilim adamlarının ortak çalışmalarının az olmasıdır. Konunun esası itibari ile her iki bilim dalı uzmanlarının ortak çalışmaları ile istenen düzeye çıkabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada yapılan yorumlar transformatör merkezinin örnek bir işletim koşulu içindir. Farklı işletme koşullarında bu değerlerinin farklı şekiller aldığı ve yeni yorumların yapılması gereği açıktır.

Çalışma, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, transformatör merkezindeki cihazların etrafındaki alan değişimlerini özel olarak inceleyerek yorumlar getirmiştir. Yine, literatürde yoğun olarak incelenen çok yüksek gerilimli merkezlerden farklı olarak orta gerilimli ve insan yaşamının yoğun olduğu bir mekandaki transformatör merkezi incelenmiştir.

Örnek olarak ele alınan transformatör merkezinde yapılan alan ölçümlerinin sonuçları ile belirli kabuller altında hesaplama yapan simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında aralarında, bazı noktadaki küçük sapmalar dışında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Ülkemizde iletim hattı ya da transformatör merkezleri gibi güç tesisleri için şahısların ya da kurumların özel istekleri dışında herhangi bir ölçüm yapılmamaktadır. İletim hattına yada transformatör merkezine yaklaşım mesafeleri ile ilgili yönetmelikler elektromanyetik alanları baz alınarak düzenlenmemiştir. Bunda elektromanyetik alanların etkilerinin net olarak ortaya konulamamış olmasının payı büyüktür. Bununla birlikte yeni yapılması planlanan tesisler için ilgili standartlarda belirtilen elektromanyetik alan sınır değerlerini karşılayacak düzenlemelerin yapılması gereklidir.

Çalışma sonucunda, transformatör merkezindeki en yüksek manyetik alan değerlerinin güç transformatörü çevresinde oluştuğu anlaşılmıştır. Buna bağlı olarak, güç transformatörünün bulunduğu trafo hücresinin çevresine ekranlama yapılarak manyetik alan değerlerinin oldukça düşük seviyelere çekilmesi mümkündür. Elektrik alan yönünden bakıldığında, transformatör merkezinin duvarlarının elektrik alana karşı ekran görevi yaptığı görülmüştür. Bu nedenle elektrik alan emisyonlarının daha çok trafo merkezinin içi ile ilgili olduğu etrafındaki canlılar için önemli bir tehlike oluşturmadığı söylenebilir.

Transformatör merkezlerinde bakım ve onarım çalışması yapan personelin özellikle uzun süreli çalışma yapmaları halinde elektromanyetik alanlardan etkilenmemesi amacıyla özel topraklı ayakkabı ve metal aksam içermeyen ekranlı elbiseler giymesi önemle tavsiye edilmelidir.

### **KAYNAKLAR**

- [1] Anders G.J, Ford G.L, Harrocks D.J., "The Effect of Magnetic Field on Optimal Design of Rigid Bus Substation". IEEE Transactions on Power Delivery, 9,3,1384-1390,1994.



- [2] Yaping D, Cheng T.C, Farag A.S., “Principles of Power Frequency Magnetic Field Shielding with Flat Sheets in a Source of Long Conductors”, IEEE Transactions on EMC, 38,3,450-460,1996.
- [3] Saied, M.M., “Effect of Transformer Sizes and Neutral Treatments on The Em Transients in Transformer Substations”, IEEE Transactions on Industry Applications, 31,2,1154-1161,1995.
- [4] Charlton T, Griffiths H., “High Voltage Earthing System Design and Performance”, Power Eng. Journal, 94,8,173-181,1995.
- [5] Boaventura W.C, Rocha P.S.A, Dart F.C., “Testing and Evaluating Grounding Systems of High Voltage Energized Substations: Alternative Approaches”, IEEE Transactions on Power Delivery, 14,3,923-931,1999.
- [6] Pillai P.R, Dick E.P., “A Review on Testing and Evaluating Substation Grounding Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, 7,1,921-927,1992.
- [7] Grcev L.D., “Computer Analysis of Transient Voltages in Large Grounding Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, 11,2,815-823,1996.
- [8] Gavazza R.J, Wiggings C.M., “Reduction of Interference on Substation Low Voltage Wiring”, IEEE Transactions on Power Delivery, 11,3,1317-1323,1996.
- [9] Wiggings C.M, Thomas D.E, Nickel F.S, Wright S.E, Salas T.M. “Transient Electromagnetic Interference in Substations”, IEEE Transactions on Power Delivery, 9,4, 1869-1884,1994.
- [10] Meppelink J, Diederich K, Feser K, Pfaff P., “Very Fast Transients in GIS”, IEEE Transactions on Power Delivery, 4,1,222-233,1989.
- [11] Gutfleisch F, Singer H, Förger K, Gomollon JA., “Calculation of High Voltage Fields by Means of the Boundary Element Method”, IEEE Transactions on Power Delivery, 9,2,743-749,1994.
- [12] ICNIPR, “Guidelines for Limiting Exposure Time Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields”, Health Physics, 74,4,494-521,1998.
- [13] Papadopoulos P.J, Ioannides M.G., “Prediction and Identification of The Magnetic Field Close to Electric Machines”, Journal of Applied Physics, 85,8,5720-5722,1999.
- [14] Enokizono M., “Two-dimensional (vector) Magnetic Property and Improved Magnetic Analysis for Electrical Machines”, Journal of Material Processing Technology, 108,225-231,2001.
- [15] Hirota N, Nakagawa J, Kitazawa K., “Effects of Magnetic Field on The Germination of Plants”, Journal of Applied Physics, 85,8,5717-5719,1999.
- [16] Suda T, Ueno S., “Control of The Orientation of Human Erythrocytes by Magnetic and Electric Fields”, Journal of Applied Physics, 85,8,5711-5713,1999.
- [17] Kasten, D.C., Zhang, W., Addis, G.I., “Calculation of Magnetic Flux Density in High Voltage AC Substations”, Proceeding of the Seventh International Symposium on HV Eng., Dresden-Germany, 1991.
- [18] Habiballah, I.O., Dawoud, M.M., Al-Balawi, K., Farag, A.S., “Magnetic Field Measurement and Simulation of a 230 kV Substation”, Proceeding of International Conference on Non-ionizing Radiation, October, 2003.
- [19] Şeker, S., Çerezci, O., “Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri, Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri”, Boğaziçi Üni. Yayınları, İstanbul, 1991.
- [20] Sevgi, L., “Elektromanyetik Uyumluluk ve Kirlilik”, EMO Yayını, İstanbul, 2000.
- [21] Şeker, S., Çerezci, O., “Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri”, Boğaziçi Üni. Yayını, 1997.
- [22] Türk Standartları Enstitüsü, “İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması-Düşük Frekanslar (0-10 kHz)”, 1 Nisan 1996.