

YÜKSEK GERİLİM HATLARI ÇEVRESİNDEKİ MAGNETİK ALANLARIN HESABI

Özcan Kalenderli, Hayri Yıldırım, Kevork Mardikyan

İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80626 Maslak, İstanbul

Özet - Yüksek gerilim hatlarının çevrelerinde oluşturdukları elektromagnetik alanlar nedeniyle çevre etkileri konusundaki endişeler, bu konuya olan ilgiyi ve duyarlılığı arttırmıştır. Bu çalışmada, 380 kV'luk, üç fazlı, iletkenleri yatay düzende yerleşik bir yüksek gerilim hattı için çevresindeki magnetik alan dağılımının hattın akan akımın değeri ile, hattın uzaklıkla ve yerden yükseklikle değişimi hesaplanarak incelenmiştir. Elde edilen endüstriyel frekanslı magnetik alan dağılımı ve düzeyleri, insan sağlığına ve çevreye etkiye sınırları bakımından değerlendirilmiştir.

Abstract - Power frequency magnetic fields are receiving increasing attention because of recent concerns that exposure to these fields might cause, or contribute to adverse health effects. This paper deals with the calculation of power frequency magnetic fields in the vicinity of high voltage overhead transmission lines of alternating current. Magnetic field distribution around a 380 kV transmission line is calculated with distance from the center line, for different heights from ground and different line current values. Calculated field values are evaluated with respect to human health and environmental effects.

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim hatları ve güç santralleri gibi yüksek akım ve yüksek gerilim ile çalışan elektrik güç sistemleri çevresindeki ortamlarda yüksek elektromagnetik alanlar söz konusudur. Elektromagnetik alanların canlılara etkileri konusundaki belirsizlik, konudan uzak olanlarda korku ve endişe, konuyla ilgilenenlerde de bu alanların dağılımı, düzeyi ile etkileşimin sınırı ve etkileri arasında ilişki kurmaya yönelik ilgi yaratmaktadır [1-5].

Elektromagnetik alanların, biri elektrik, diğeri magnetik alan olmak üzere iki bileşeni vardır. Uygulamadaki farklı durumlar için bu alanların dağılımını hesapla ve ölçme ile doğru olarak belirleme çabası sürmektedir [6-11]. Bu çabalar içinde yüksek gerilim hatları çevresindeki alan dağılımı ve düzeyi hakkında bilgileri arttırmak ve çevresindeki canlılara etkileri konusunda varsa ilişkiyi kurmak, tasarımları, kuralları buna göre oluşturmak ve insanları bilinçlendirmek ve korumak amacı yatmaktadır.

Endüstriyel frekanslı magnetik alanlar, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiye sahip olmada elektrik alanlarına göre daha ağırlıkta olabilirler düşüncesi ile ayrı bir ilgi odağı olmuştur. Bu nedenle yüksek gerilim hatları

çevresindeki magnetik alanların hesabına ve ölçülmesine yönelik çokça çalışma yapılmaktadır [12-15].

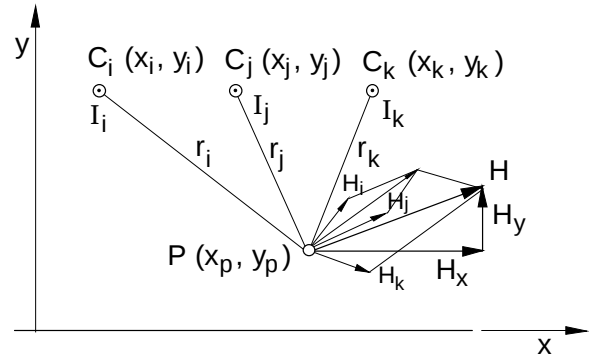
Sunulan bu çalışmada, ülkemizde de pekçok yerde karşılaşılan 380 kV'luk, üç fazlı, iletkenleri yatay düzende yerleşik bir yüksek gerilim hattı için magnetik alan hesabı yapılmıştır. Hesap yoluyla yüksek gerilim hatları çevresindeki magnetik alan dağılımının hattın akan akımın değeri ile, hattın uzaklıkla ve yerden yükseklikle değişimi incelenmiş ve bu gerilim düzeyindeki hatların magnetik alan bakımından çevre etkileşimi değerlendirilmiştir.

2. MAGNETİK ALAN HESABI

İçinden akım akan bir iletkenin çevresinde magnetik alan oluşur. Bu magnetik alanı hesaplamak için Biot-Savart yasasından yararlanılabilir. Bu yasaya göre içinden I akımı akan bir iletkenin r uzaklığındaki bir noktada magnetik alan şiddeti,

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (\text{A/m}) \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu hesap ortamında içinden akım akan çok sayıda iletken bulunduğu her bir iletkenin geçen akımın magnetik alana katkısı göz önüne alınarak yapılır. Şekil 1'de üç fazlı yüksek gerilim hatlarında olduğu gibi üç iletkenli bir sistemin magnetik alan hesabında kullanılan büyüklükler gösterilmiştir. Magnetik alan vektörel bir büyüklüktür. Şekil 1'den görüldüğü gibi her bir iletkenin akımının bir P noktasında yarattığı magnetik alanların bileşkesi, yatay ve düşey bileşenleri ile P noktasındaki magnetik alanı verir.



Şekil 1. Üç iletkenli bir hattın magnetik alan hesabı.

Koordinatları x_p, y_p olan bir P noktasının, koordinatları x_i, y_i olan bir noktaya (iletkene) olan uzaklığı

$$r_i = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \quad (2)$$

dir. Koordinatları (x_i, y_i) olan iletkenlerden akan I_i akımının, bir $P(x_p, y_p)$ noktasında oluşturduğu magnetik alanın H_{xi} yatay ve H_{yi} düşey bileşenleri

$$H_{xi} = \frac{I_i}{2\pi} \frac{y_p - y_i}{r_i^2} \quad (3)$$

$$H_{yi} = \frac{I_i}{2\pi} \frac{x_p - x_i}{r_i^2} \quad (4)$$

bağıntılarından hesaplanabilir. Magnetik alanın x bileşeni yere paralel, iletkene diktir, y bileşeni ise düşey bileşendir. Buna göre n iletkenli bir sistemin (hattın) herhangi bir noktada oluşturduğu H bileşke magnetik alan şiddeti:

$$H = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n H_{xi}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n H_{yi}\right)^2} \quad (5)$$

ve B magnetik akı yoğunluğu (veya magnetik endüksiyon)

$$B = \mu_0 H \quad (6)$$

olur. Bu eşitlikte $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m boşluğun (havanın) magnetik geçirgenliğidir.

3. BİR YÜKSEK GERİLİM HATTININ MAGNETİK ALANI

380 kV'luk, üç fazlı, tek devreli, iletkenleri yatay düzende yerleşik bir yüksek gerilim hattı için magnetik alan dağılımı analizi yapılmıştır. Hesaplarda 380 kV'luk hava hattı için aşağıdaki boyutlar göz önüne alınmıştır:

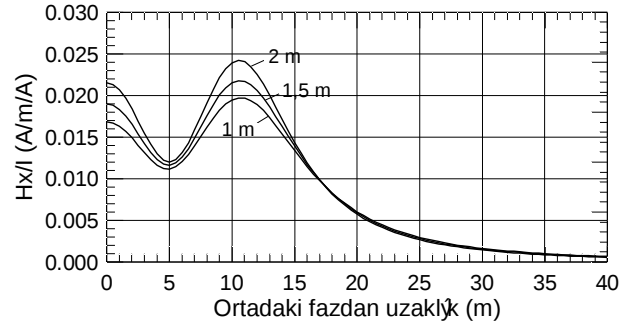
- Faz iletkenlerinin yerden yüksekliği: 7,67 m,
- Faz iletkenleri arası açıklık: 10,3 m

Hattın çevresindeki magnetik alanın statik karakterli, 50 Hz frekanslı alan olduğu kabul edilmiştir. Hat iletkenleri sonsuz uzunlukta, birbirine ve yere paralel iletkenler olarak alınmıştır. Toprağın magnetik geçirgenliği havanıninkine çok yakın olduğu için çözümlemede toprağın etkisi ihmal edilmiştir. Hesaplarda faz iletkenlerinden akan akımların faz farkları göz önüne alınmış ve iletkenlerden akan akımlar için

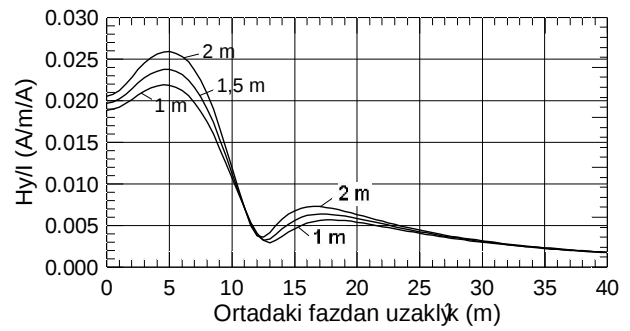
$$I_i = I_m e^{j(i-1)2\pi/3} = I_{ireel} + jI_{isanal} \quad (7)$$

eşitliği kullanılmıştır ($i = 1, 2, 3$). (7) eşitliğinden görüldüğü gibi akımın bir gerçel bir de sanal bileşeni vardır. Bunun sonucu olarak, hesaplamada hattın çevresindeki bir noktadaki magnetik alanın hesabında akımın gerçel ve sanal bileşenlerinin yarattığı magnetik alan bileşenleri göz önüne alınmıştır. Bunun için önce bu bileşenlerin yarattığı yatay ve düşey magnetik alan bileşenleri (3) ve (4) eşitlikleri ile ayrı ayrı hesaplanmış

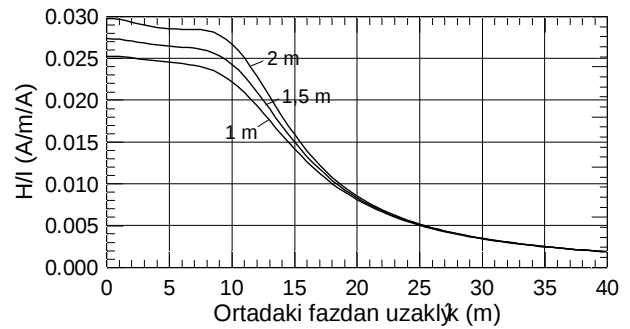
sonra bu hesaptan elde edilen sonuçlardan yararlanarak (5) eşitliğine göre bileşke magnetik alan şiddeti bulunmuştur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2. Yerden 1 m, 1,5 m ve 2 m yükseklikte magnetik alan şiddetinin yatay (H_x) (a), düşey (H_y) (b) ve bileşke H (c) değerlerinin ortadaki fazdan uzaklıkla değişimi.

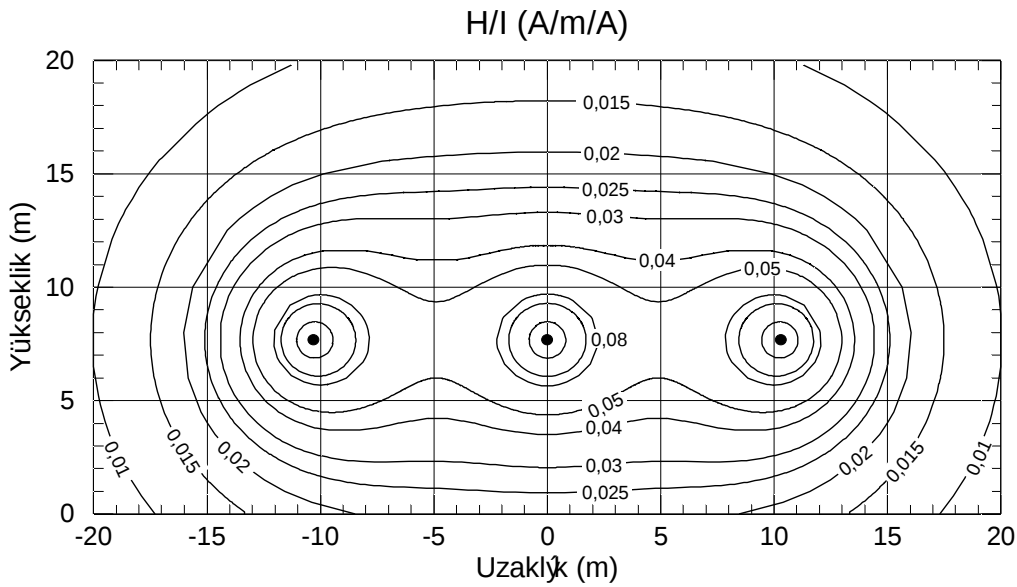
Yapılan magnetik alan analizinde hattın akan akımın değerinin güç gereksinimine göre zaman zaman veya hattın hatta değişebileceği dolayısı ile buna bağlı olarak çevresindeki magnetik alan düzeyinin de değişeceği göz önüne alınarak magnetik alan dağılımları normalize edilmiş değerleriyle hesaplanmıştır. Normalize edilmiş değerler hattın akan akım değeri ile çarpılarak magnetik alanın mutlak değerleri bulunabilir. Yatay düzende simetrik yapıdaki üç fazlı bir hattın magnetik alanı ortadaki fazına göre simetrik bir dağılım gösterir. Bu nedenle magnetik alanın hattın olan uzaklıkla değişimi ortadaki fazdan olan uzaklığa göre çizilmiştir. Şekil 2'de magnetik alanın yatay ve düşey bileşenleri ile bileşke

magnetik alanın ortadaki fazdan uzaklıkla 40 m'ye kadar yerden 1, 1,5 ve 2 m yükseklikteki normalize edilmiş değişimleri gösterilmiştir.

Şekil 2'de sonuçların yerden 1, 1,5 ve 2 m yükseklikler için verilmesinin nedeni insanların bulunabileceği yüksekliklerdeki magnetik alanları değerlendirebilmek içindir. Bu şekilden magnetik alanın hattın altında, iletkenlerin bulunduğu bölgelerde ve yerden yükseldikçe büyüdüğünü fakat hattın uzaklaştıkça hızla küçüldüğünü görülmektedir. Alanın düşey bileşeninin yatay bileşenine göre daha büyük ve uzaklıkla azalmasının daha yavaş olduğu, iletkenler arasındaki bölgede en yüksek değerine çıktığı görülmektedir. Magnetik alanın düşey bileşeninin büyüklüğü insanlarda endüklenecek gerilimlerin büyük olmasına yol açması nedeniyle önemlidir. Bileşke magnetik alan şiddetinin maksimum değerine orta fazın

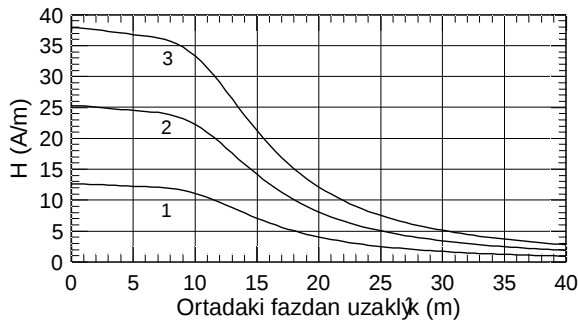
altında ulaşmakta buna karşılık hattın uzaklaştıkça hızla azalan magnetik alan şiddeti 40 m uzakta maksimum değerin yaklaşık 20 kat küçük değerine düşmektedir.

Magnetik alan hesabından yararlanılarak bir yüksek gerilim hattının çevresindeki magnetik alan dağılımı çıkarılmıştır. Magnetik alan dağılımı, magnetik alanın normalize değerleri için çizilmiş ve hesaplarda aynı magnetik alan değerine sahip noktalar bulunup birbiri ile birleştirilerek eş magnetik alan çizgileri elde edilmiştir. Şekil 3'te $H/I = 0,01, 0,015, 0,02, 0,025, 0,03, 0,04, 0,05, 0,08, 0,1, 0,2$ A/m/A sabit değerleri için elde edilen magnetik alan dağılımı gösterilmiştir. Bu dağılım alanın hem uzaklıkla hem de yerde yükseklikle hat çevresindeki değişimini gösteren yararlı bir magnetik alan haritasıdır.



Şekil 3. 380 kV'luk bir yüksek gerilim hattı çevresindeki magnetik alan dağılımı (eğriler 0,01, 0,015, 0,02, 0,025, 0,03, 0,04, 0,05, 0,08, 0,1, 0,2 A/m/A magnetik alan değerlerine uyan eğrilerdir).

Buraya kadar hesap sonuçları normalize değerlerle verilmiştir. Bu sonuçlar akım değeri ile çarpılarak magnetik alanın mutlak değerleri bulunabilir. Burada magnetik alan şiddetinin mertebesi hakkında daha kolay fikir edinmek için



Şekil 4. Magnetik alan şiddetinin yerden 1 m yükseklikte 500 A (1), 1000 A (2) ve 1500 A (3) için ortadaki fazdan uzaklıkla değişimi.

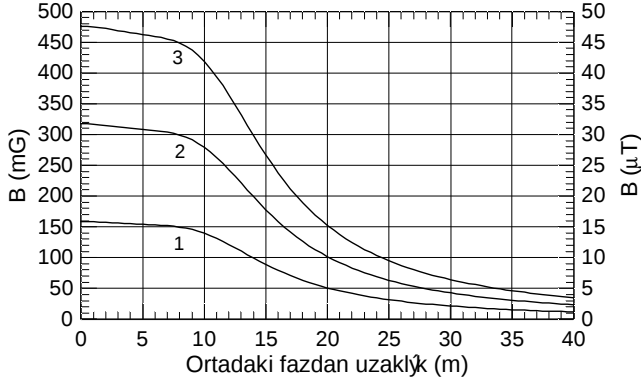
bu hatlardan akabilecek akım sınırları içinde 500 A, 1000 A ve 1500 A'lık akım değerleri ile magnetik alan dağılımları elde edilmiştir. Şekil 4'te yerden 1 m yükseklikte bu akımlar için ortadaki fazdan uzaklıkla magnetik alan şiddetinin değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden üç fazlı hattın akan akımın yükselmesi durumunda magnetik alan şiddetinin de hızla yükseldiği ancak yine hattın uzaklaştıkça hızla azaldığı ve 35-40 m sonra minimum değerine düştüğü görülmektedir.

Magnetik alanların değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan diğer bir büyüklükte magnetik akı yoğunluğu veya diğer adıyla magnetik endüksiyondur. İncelenen problem için magnetik endüksiyon değerleri, (6) denklemi yardımıyla hesaplanarak Şekil 5'te gösterilen dağılım elde edilmiştir. Magnetik endüksiyon için Gauss (G) veya Tesla (T) birimleri kullanılmaktadır.

$$1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$$

(8)

ilişkisi göz önüne alınarak Şekil 5'te soldaki düşey eksen miligauss (mG) ($1 \text{ mG} = 10^{-3} \text{ G}$), sağdaki düşey eksen de mikrottesla (μT) ($1 \mu\text{T} = 10^{-6} \text{ T}$) olarak ölçeklenmiştir. Hat çevresindeki magnetik endüksiyonun uzaklıkla ve akımla değişimi magnetik alan şiddetinininkine benzerdir, ancak bu değişim hat çevresindeki magnetik endüksiyonun düzeyini göstermesi bakımından çizilmiştir.



Şekil 5. Magnetik endüksiyonun yerden 1 m yükseklikte 500 A (1), 1000 A (2) ve 1500 A (3) için ortadaki fazdan uzaklıkla değişimi.

4. ALAN DÜZEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek gerilim hatları çevresindeki endüstriyel frekanslı alanlarla ilgili olarak bugüne kadar yapılan çalışmaların iki önemli sonucu 10 kV/m'ye kadarki elektrik alan şiddetlerinin ve 80 A/m (uzun süreli) - 800 A/m'ye kadarki (kısa süreli) magnetik alan şiddetlerinin (veya $0,1 \text{ mT} = 100 \mu\text{T} = 1000 \text{ mG'a}$ kadar uzun süreli, $1 \text{ mT} = 1000 \mu\text{T} = 10000 \text{ mG'a}$ kadar kısa süreli magnetik endüksiyonun) çevre için özellikle insanlar için tehlikeli olmadığı şeklindedir [14, 15]. Bu değerler göz önüne alınarak çalışmada elde edilen hesap sonuçları ($H_{\max} = 38 \text{ A/m}$, $B_{\max} = 480 \text{ mG}$ veya $48 \mu\text{T}$) canlılarla etkileşim bakımından değerlendirilecek olursa, hesabı yapılan hat çevresinde söz konusu sınır alanlar mertebesinde magnetik alanların oluşmadığı veya diğer bir yorumla bu hat çevresindeki magnetik alanların tehlike sınırının altında kaldığı görülür. Bu sonuçlarda yerin, direğin, konumun, çevredeki nesnelerin, hava koşullarının, dönüş akımlarının, topraklama iletkenlerinin gibi daha sayılabilecek pek çok etkenin göz önüne alınmamış olması sonuçların gerçek değerlerinden az da olsa farklı olabileceğini düşündürebilir. Ancak literatürde verilen ölçme sonuçlarının ve örneğin moment yöntemi, yük benzetim yöntemi, sınır elemanları yöntemi gibi farklı sayısal hesaplama yöntemleri ile pekçok etkeni göz önüne alarak yapılan hesap sonuçlarının da aynı mertebede olması burada yapılan hesapların fikir vermek bakımından yeterliliğini göstermektedir.

5. SONUÇ

Elektromagnetik alanların insanlara ve çevreye etkilerini değerlendirmek ve sonunda bazı eşik elektromagnetik alan

değerleri içeren kurallar elde etmek için bu alanların dağılımının ve değerlerinin hesapla ve ölçme ile belirlenmesi konusunda çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla yapılan bu çalışmada 380 kV'luk bir yüksek gerilim hattı çevresindeki magnetik alanın hesabı yapılmış, uluslararası sınır değerlere göre alan düzeyinin düşük olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] H. Yıldırım, Ö. Kalenderli, "Elektrik ve magnetik alanların biyolojik etkileri ve kanser araştırmaları", Endüstri-Otomasyon Dergisi, Sayı: 4, Sayfa 88-92, Temmuz 1997.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] L. R. Delaplace, J. P. Reilly, Electric and magnetic field coupling from high voltage ac power transmission lines - Classification of short-term effects on people, IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-97, No. 6, Sayfa 2243-2252, Nov. 1978.
- [5] T. D. Bracken, "Field Measurements and Calculations of Electrostatic Effects of Overhead Transmission Lines", IEEE Trans. on PAS, PAS-Vol.95, Sayfa 494-504, Nisan 1976.
- [6] D. W. Deno, Transmission Line Fields, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-95, No.5, Sayfa 1600-1611, Sept./Oct. 1976.
- [7] R. Maruti, K. M. Srinivasa, M. Kanyakumari, E. M. Kumar, Dr. Channakeshava, Electric and Magnetic Fields Around Transmission Lines and Substations, 9th Int. Symp. on High Voltage Engineering, Paper No. 8350, Graz, Austria, Aug. 28 - Sept. 1, 1995.
- [8] T. Horvath, The Electric and Magnetic Field Exposition of Biological Object due to High Voltage Lines, 9th Int. Symp. on High Voltage Engineering, Paper No. 8349, Graz, Austria, Aug. 28 - Sept. 1, 1995.
- [9] 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.
- [10] Ö. Kalenderli, H., Yıldırım, H., İsmailoğlu, "Yüksek gerilim hatları çevresindeki elektromagnetik alanların hesabı ve ölçümü", BİYOMUT 95 Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, Boğaziçi Univ., İstanbul, Sayfa 142-147, 1995.
- [11] H. Anis, M. A. Abd-allah, S. A. Mahmoud, Computation of Power Line Magnetic Fields: a Three Dimensional Approach, 9th Int. Symp. on High Voltage Engineering, Paper No. 8333, Graz, Austria, Aug. 28 - Sept. 1, 1995.
- [12] D.C. Renew, et al., Power Frequency Magnetic Fields: Measurement and Exposure Assessment, CIGRE, Report 36-105, 1990.
- [13] 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, Sayfa 2127-2136, Oct. 1988.
- [14] IRPA/INIRC, Interim Guidelines on Limit of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields, Health Physics, Vol. 58, No. 1, 1990.
- [15] W. F. Horton, S. Goldberg, "Power Frequency Magnetic Fields and Public Health", CRC Press, Inc., Boca Raton, 1995.