

50 Hz Frekanslı Elektrik ve Manyetik Alanların Azaltılması

Ali DİKMEN, Özcan KALENDERLİ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
34469 Maslak / İstanbul
dikmena16@itu.edu.tr, kalenderli@itu.edu.tr

ÖZET

Yüksek gerilim hatlarının oluşturdukları elektrik ve manyetik alanın insan sağlığına etkileri toplumda endişe uyandırmaktadır. Olası riskler arasında lösemi, lenf kanseri, kısırlık ve hücresel seviyede bozulmalar gibi sonuçlar bu alanlara maruziyet sebebiyle rapor edilmiştir. Bu çalışmada hatların zeminde oluşturdukları elektrik ve manyetik alanların radyal eksendeki değişimi modellenmiş ve grafikler üzerinde gösterilmiştir. Bu araştırmanın amacı, direk parametrelerinin bu alanlara etkisinin incelenmesidir. Türkiye’de aktif olarak kullanılan direk parametreleri ile yapılan analizler sonucu gerilim düzeyi ile doğru orantılı artan elektrik ve manyetik alanı en aza indiren tasarım parametrelerinin hat yüksekliği, hat geometrisi ve faz sırası olduğu bulunmuştur. Ulusal ve uluslararası belirlenmiş çok alçak frekanslı elektrik ve manyetik alanlara maruziyet standartları referans alınarak ülkemizde ve dünyada artan gerilim seviyelerine bağlı olarak oluşacak elektrik ve manyetik alanlar direk parametreleri ile yönetmeliklere uygun olarak en aza indirilmiş ve güvenli yaklaşma mesafeleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alanlar, 50 Hz, Enerji iletim hattı, Yüksek gerilim, Direk parametreleri

1. GİRİŞ

Artan enerji ihtiyacı ve hızla büyüyen elektrikli araba endüstrisi bu ihtiyacı karşılamak için kurulan yeni santraller sebebiyle yüksek gerilim hat ağını arttırmaktadır. Gelecekte de çok daha fazla enerji ihtiyacı ve anlık güç ihtiyacı duyulacağını öngörebilmek mümkündür. Günümüzdeki ihtiyaca göre en elverişli olacak şekilde belirlenmiş yüksek alternatif gerilim hatlarının ve trafo merkezlerinin gerilim düzeyleri gelecekte bu artan ihtiyaçla çok daha yüksek değerlere ulaşabilir. Enerji iletim hatlarında 50 Hz frekanslı yüksek alternatif gerilim kullanımı, kullanılan hattın etrafında yüksek elektrik ve manyetik alan oluşmasına neden olur. Bu alanlar insan sağlığı için tehlike oluşturabilmektedir [1].

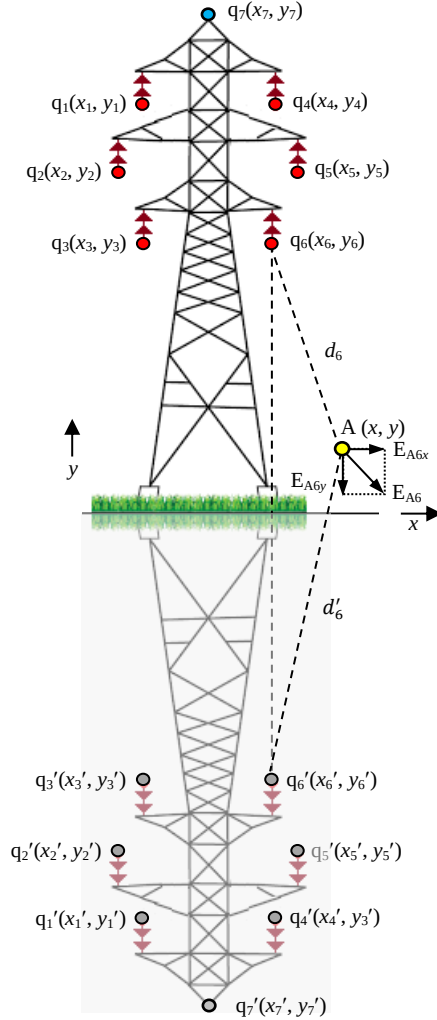
Bu konuda bilim insanları, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası İyonlaştırmayan Işımadan Korunma Komisyonu (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection, ICNIRP) bünyesinde EMF projesi adı altında araştırmalar yapmış ve çok alçak frekanslı elektromanyetik alanlar için maruziyet referans değerleri oluşturmuştur. Türk Standartlar Enstitüsü (TSE), ICNIRP’ın elektromanyetik alanlar için maruziyet referans değerlerini kullanan (CEI ENV 50166-1 Normu) AB standart değerlerini kabul ederek kendi standartlarını oluşturmuştur [2].

İlgili literatürde özellikle Türkiye’de bir boşluk olmasından dolayı gelecekte enerji iletim hatlarında gerilim mertebelerinin artması sonucu oluşacak etkiler analiz edilmeli ve önlemler alınmalıdır. Aktif olarak kullanılan enerji iletim hatlarındaki direklerin parametrelerindeki değişimlerin ayrı ayrı EMA’lara etkileri modellenerek çok

yüksek ve aşırı yüksek gerilim mertebeleri için elektrik ve manyetik alanı en aza indireyecek tasarım bulunmalıdır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada Matlab programı kullanılarak EİH’nın radyal eksende oluşturduğu elektrik alan, görüntü alma yöntemi, manyetik alan Biot-Savat yasaları ile hesaplanmıştır. Havai hattın altındaki elektrik alanının bulunabilmesi için yük dağılımının bilinmesi gerekmektedir. İletim hattının potansiyeli bilindiği için yük dağılımı hesaplanabilir.



Şekil 1: Görüntü alma yöntemi ile çift devre hattın elektrik alan hesabı.

İletkenlerin A noktasında oluşturdukları toplam potansiyel aşağıdaki gibi bulunur.

$$V_A = \sum_{i=1}^7 \frac{q}{2\pi\epsilon} \cdot \ln \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2}}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} \quad (1)$$

Toprak yüzeyi düz olarak kabul edildiğinde, enerji iletim hattının paralel iletkenlerinin oluşturduğu potansiyel katsayısı matrisi [P]'nin elemanları (2) ve (3) eşitlikleri ile bulunur.

$$P_{aa} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \ln \frac{2\gamma_a}{r} \quad (2)$$

$$P_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \ln \frac{\sqrt{(x_a-x_b)^2+(y_a+y_b)^2}}{\sqrt{(x_a-x_b)^2+(y_a-y_b)^2}} \quad (3)$$

Teker teker her bir telin potansiyeli aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_n = \frac{q_n}{2\pi\epsilon} \left[\ln \frac{2\gamma_n}{r} + \ln \frac{\sqrt{(x-x_i)^2+(y+y_i)^2}}{\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}} \right] \quad (4)$$

Eşitlik (4)'ten bulunan her bir iletken için potansiyel denklemleri Matlab üzerinden matris çözümü ile q değerine ulaşılır.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{17} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{71} & \dots & P_{77} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_7 \end{bmatrix} \rightarrow [q] = [P]^{-1}[V] \quad (5)$$

Eşitlik (5)'ten elde edilen q değerleri ile A noktasındaki elektrik alan formülünde yerine yazılarak elektrik alan hesabı; elektrik alan bileşenleri, yüklere olan uzaklıklar hesaplanarak

$$|E_{Ax}| = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \sum_{i=1}^7 [q_i \cdot (x - x_i) \cdot (\frac{1}{d_i^2} - \frac{1}{d_i'^2})] \quad (6)$$

$$|E_{Ay}| = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \sum_{i=1}^7 [q_i \cdot (\frac{y-y_i}{d_i^2} - \frac{y_i+y}{d_i'^2})] \quad (7)$$

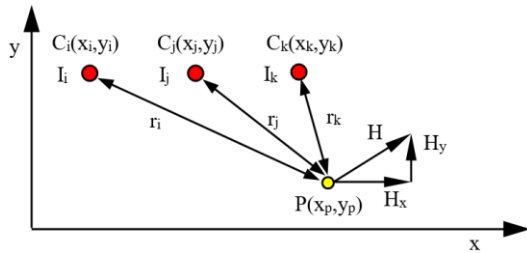
$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (8)$$

$$d_i' = \sqrt{(x - x_i')^2 + (y + y_i')^2} \quad (9)$$

$$|E_A| = \sqrt{|E_{Ax}|^2 + |E_{Ay}|^2} \quad (10)$$

şeklinde bulunur.

Manyetik alan değişimi Biot-Savart yasası kullanılarak zamana bağlı akım değişimi olarak bulunabilir. Şekil 2, üç fazlı iletim hatlarının manyetik alan hesabı için geometrisini göstermektedir.



Şekil 2: Üç fazlı iletken hattı için manyetik alan hesabı.

P(x_p, y_p) noktası ile (x_i, y_i) hat iletkeni arasındaki uzaklık denklem (11)'de verilmiştir.

$$r_i = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \quad (11)$$

P(x_p, y_p) noktasındaki manyetik alan bileşenleri, denklem (12) ve denklem (13)'de verilmiştir.

$$H_{xi} = \frac{y_p - y_i}{2\pi \cdot r_i^2} \cdot I_i \quad (12)$$

$$H_{yi} = \frac{x_p - x_i}{2\pi \cdot r_i^2} \cdot I_i \quad (13)$$

Manyetik alanın x bileşeni yere paralel, iletkene diktir. Herhangi bir konumdaki gözlemlenen manyetik alan denklem (14) ile bulunabilir.

$$H = [\sum_{i=1}^n H(x_i)^2 + \sum_{i=1}^n H(y_i)^2]^{1/2} \quad (14)$$

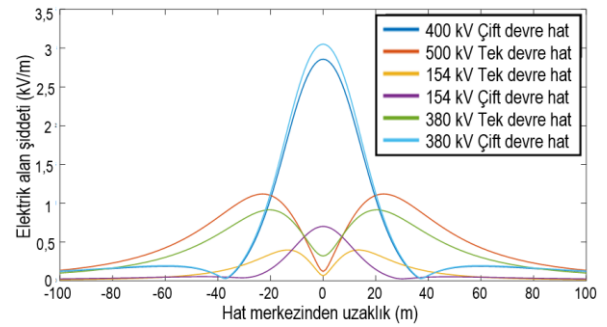
Buradan da manyetik akı yoğunluğu denklem (15) ile bulunabilir.

$$B = \mu_0 \cdot H \quad (15)$$

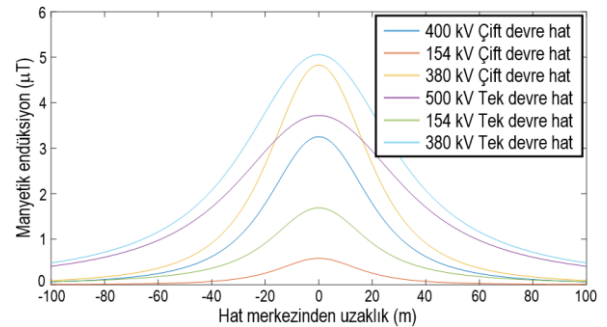
Burada μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliğidir, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m [15, 16].

3. ANALİZ SONUÇLARI

Türkiye'de ve yurtdışında kullanılan bazı enerji iletim hatlarının gerilim düzeylerine göre faal koşullarındaki elektrik alan hesapları, Matlab ile yapılmıştır. Ülkemizde yaklaşık 60 adet 380 kV, 450 adet 154 kV, 15 adet 66 kV, 500'den fazla trafo merkezi ve binden fazla YG/OG fideri ile bunları birbirlerine bağlayan 45.000 km'den uzun enerji iletim hattı mevcuttur. 66 kV sistemler artık çok kullanılmamaktadır [3]. Dünyada ise enerjinin iletildiği mesafeye göre çok daha farklı gerilim düzeyleri ile karşılaşılmaktadır.

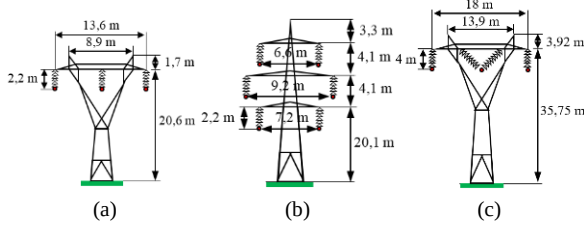


Şekil 3: Türkiye'de ve yurtdışında kullanılan bazı enerji iletim hatlarının gerilim düzeylerine göre elektrik alan dağılımları.



Şekil 4: Türkiye'de ve yurtdışında kullanılan bazı enerji iletim hatlarının gerilim düzeylerine göre manyetik alan dağılımları.

Şekil 3 ve Şekil 4'ten görülebileceği gibi bu tasarımda fikir sahibi olunması için bir adet yurtdışında kullanılan 400 kV'luk (2 × 2B × 1351 MCM) çift devre, ikili demet, Dipper iletkenli hat; 500 kV'luk (2B × 1351 MCM) tek devre, ikili demet, Dipper iletkenli hat ve ülkemizde oldukça yaygın kullanılan 154 kV (477 MCM) Hawk iletkenli tek ve çift devre hatlar ve son olarak 380 kV hatlara örnek olarak bir adet (3B × 954 MCM) üçlü demet, Cardinal iletkenli, tek devre hat ve (2 × 2B × 1252 MCM) ikili demet, Pheasant iletkenli çift devre enerji iletim hattı kullanılmıştır (Şekil 5).



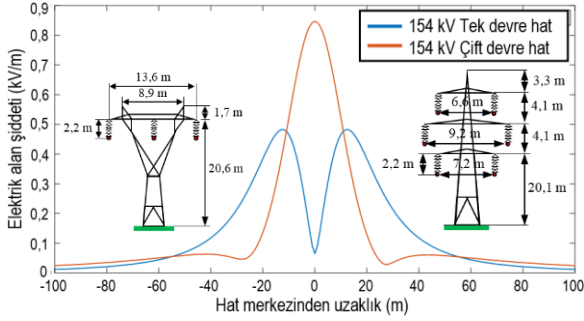
Şekil 5. Alan hesaplarında kullanılan direk türleri ve boyutları:
a) 154 kV tek devre; b) 154 kV çift devre; c) 380 kV tek devre.

Bu hesaplar, standartlarla karşılaştırıldığında anlamlıdır. Çizelge 1 ELF'lere yönelik referans maruziyet değerlerinin bir özetidir. Bu değerler, en son Nisan 1998'de ICNIRP tarafından güncellenmiştir ve TSE de bu değerleri kullanmaktadır.

Çizelge 1: ICNIRP: 50 Hz EMA maruziyet referans değerleri [4]

Maruz Kalma Koşulları	Elektrik Alan (kV/m)	Manyetik Alan (G)
Çalışanlar		
Tam mesai günü	10	5
Kısa süre	30	50
Genel Halk		
24 saat/gün	5	1
Günde birkaç saat	10	10

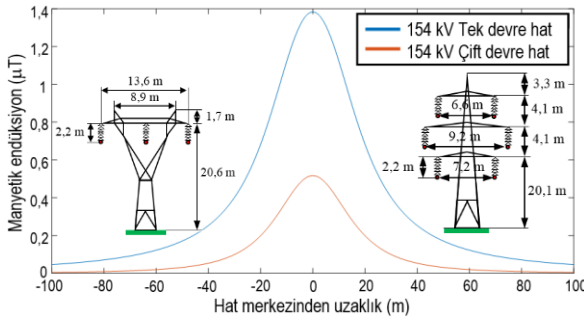
Hat geometrisi kıyaslaması için Şekil 6'da 154 kV (477 MCM) Hawk iletkenli A2 tipi tek devre direk ile N1 tipi çift devre hat çevresindeki elektrik alan dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 6: Hat geometrisinin elektrik alan dağılımına etkisi.

Tek devre için fazlar arası açıklık 6,8 m, çift devre için minimum faz açıklığı 6,6 m'dir. İletken yükseklikleri ise tek devre için 18,4 m iken çift devre için ortalama 22 m'dir. A2 tipi ve N1 tipi taşıyıcı direkler, oldukça yakın parametreleri nedeniyle seçilmiştir.

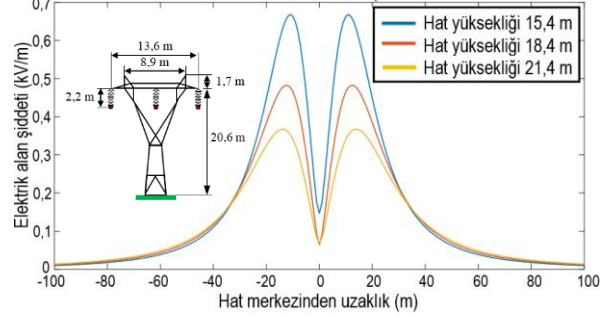
Şekil 7'de de hat geometrisinin manyetik alan dağılımına etkisi modellenmiştir.



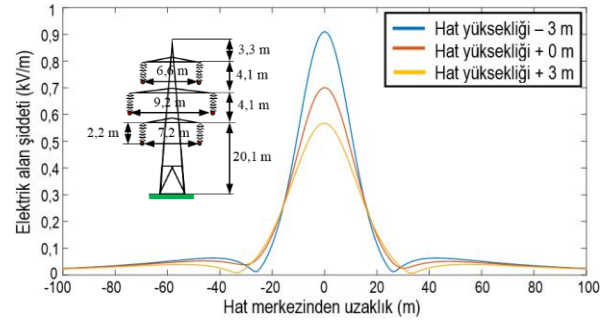
Şekil 7: Hat geometrisinin manyetik alan dağılımına etkisi.

Hat yüksekliğinin etkisinin analiz edilebilmesi için 154 kV (477 MCM) Hawk iletkenli A2 tipi tek devre direk ile N1 tipi

çift devre üzerinde direk boyları sırasıyla 3 metre kısaltılmış, sabit tutulmuş ve 3 metre arttırılmıştır. Elektrik alan dağılımına etkisi tek devre için Şekil 8'de ve çift devre için Şekil 9'da gösterilmiştir.

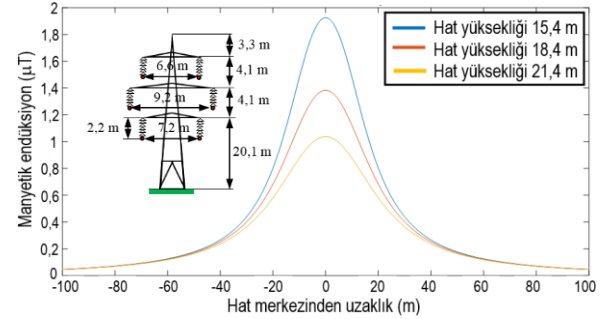


Şekil 8: Hat yüksekliğinin tek devrede elektrik alana etkisi.

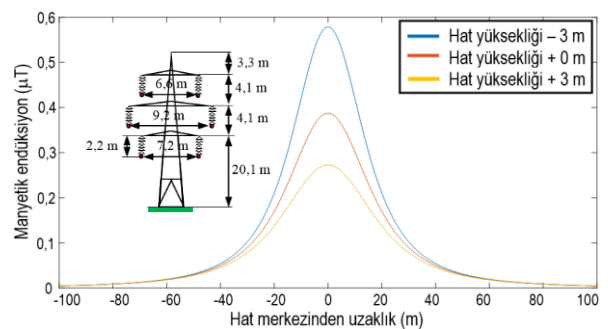


Şekil 9: Hat yüksekliğinin çift devrede elektrik alana etkisi.

Şekil 10 ve 11'de hat yüksekliğinin manyetik alana etkisi gözlemlenmiştir.



Şekil 10: Hat yüksekliğinin tek devrede manyetik alana etkisi.



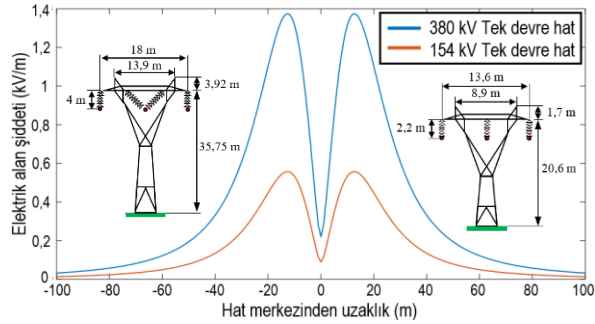
Şekil 11: Hat yüksekliğinin çift devrede manyetik alana etkisi.

Türkiye'de kullanılan anma işletme gerilimleri olan 380 kV ve 154 kV enerji iletim hatları referans alınarak gerilim mertebesinin elektrik alan ve manyetik alana etkisi modellenmiştir. 154 kV'luk ve 380 kV'luk tek devre için 954 MCM Cardinal iletkenli A tipi direk kullanılmıştır. Fazlar arası mesafe 7,5 m alınmış, hattın yüksekliği 20,1 m ve

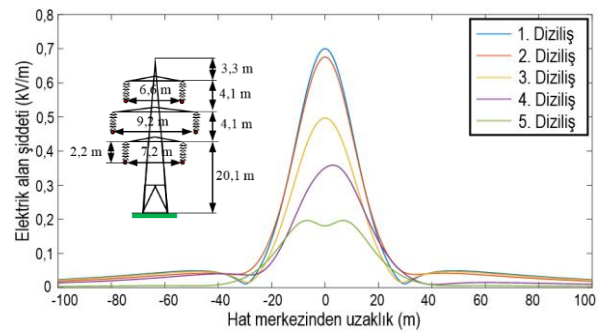
154 kV'luk N1 taşıyıcı tipindeki çift devre enerji iletim hattının faz sıraları, Çizelge 2'deki gibi ayrı ayrı düzenlenerek, faz sırasının elektrik alana ve manyetik alana etkisi incelenmiştir.

Çizelge 2: Faz sırası tipleri

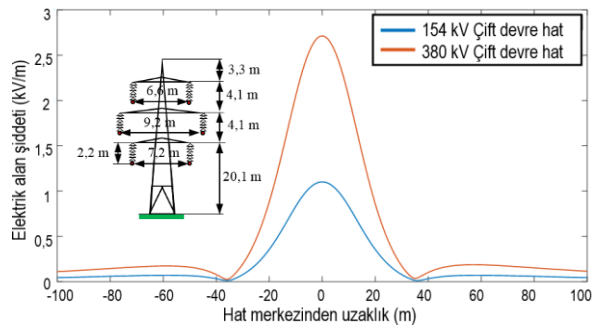
Diziliř	1	2	3	4	5	6
Faz sırası düzeni	T A A' B B' C C'	T A B' B A' C C'	T A A' B C' C B'	T A B' B C' C A'	T A C' B B' C A'	T A T B T C T



Şekil 12: Gerilim düzeyinin tek devrede elektrik alana etkisi.

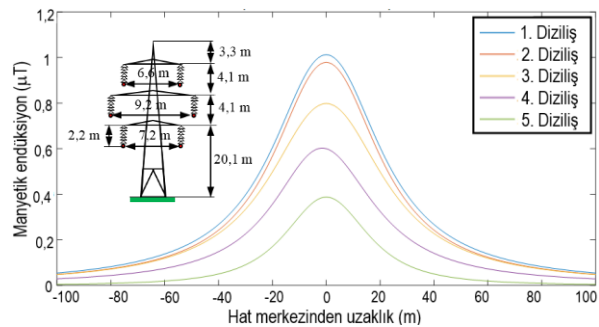


Şekil 16: Faz sırasının elektrik alana etkisi.

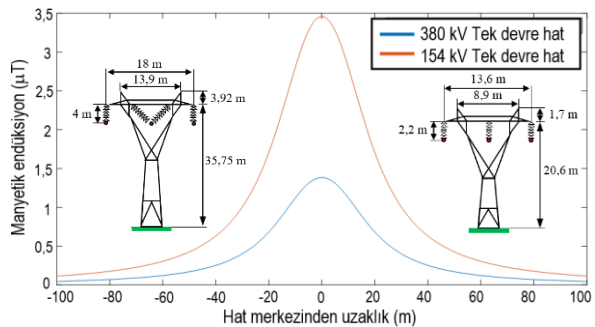


Şekil 13: Gerilim düzeyinin çift devrede elektrik alana etkisi.

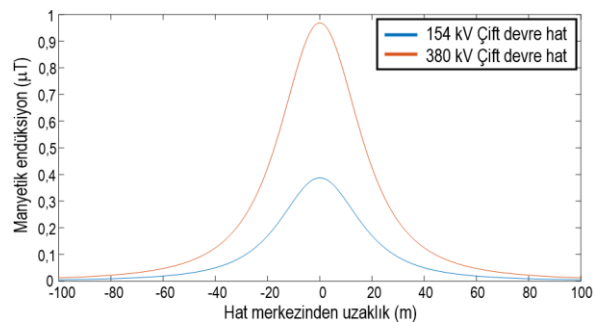
Gerilim seviyesinin manyetik alana etkisi Şekil 14 ve Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 17: Faz sırasının manyetik alana etkisi.

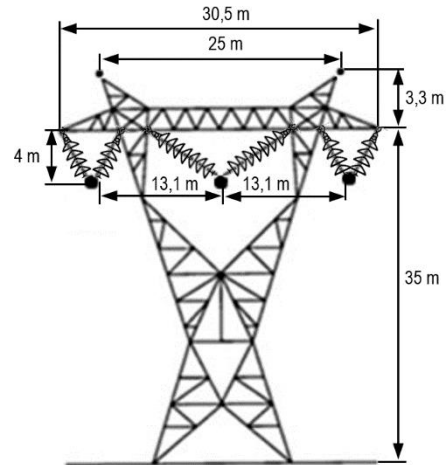


Şekil 14: Gerilim düzeyinin tek devrede manyetik alana etkisi.



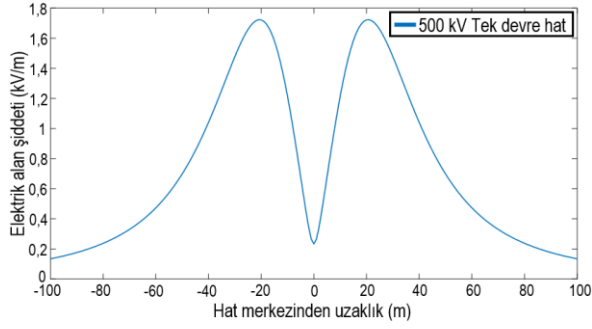
Şekil 15: Gerilim düzeyinin çift devrede manyetik alana etkisi.

500 kV’luk tek devre direk tasarımı Şekil 18’de gösterilmiştir

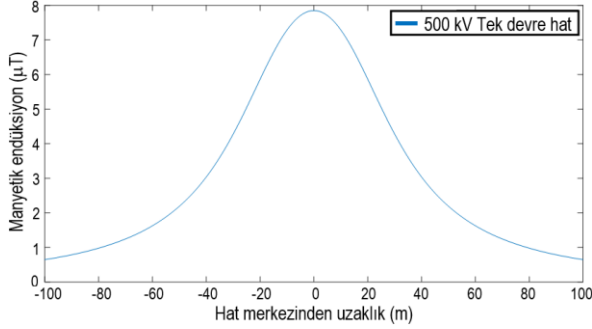


Şekil 18: 500 kV için tasarlanan direğin temsili çizimi.

Tasarlanan tek devre için oluşan elektrik ve manyetik alan dağılımları sırasıyla Şekil 19 ve 20’de modellenmiştir.



Şekil 19: 500 kV'luk direğin yarattığı elektrik alan dağılımı.



Şekil 20: 500 kV'luk direğin yarattığı manyetik alan dağılımı.

4. TARTIŞMA

Türkiye’de aktif olarak kullanılan direkler referans alınarak direk parametrelerinden hat geometrisi, hat gerilimi, hat yüksekliği, fazlar arası mesafe, faz sırası, iletken kesiti ve iletken demet adedi gibi etkenler ayrı ayrı direklerin oluşturdukları elektrik alana ve manyetik alana etkileri analiz edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen veriler;

- Hat düzeninde düşey geometrilili çift devre iletim koridoru boyunca yatay geometrilili tek devreye göre çok daha büyük bir elektrik alanı oluşturmaktadır ancak iletim koridorunun dışında hızla azalırken tek devre iletim koridoru dışında da daha geniş bir bölgede şiddetini korumaktadır. Tek devreli sistem çift devreye göre hat çevresinde daha büyük bir manyetik alan oluşmasına neden olur.
- Hat yüksekliği elektrik alanı ve manyetik alanı azaltan en etkili yöntemlerden biridir. Hat yüksekliği arttıkça hat geometrisine bağlı m katsayısına bağlı olarak elektrik alan ve manyetik alan azalır.
- İletken kesitinin büyütülmesi ve iletken demet sayısının artırılması oluşan elektrik alanı azaltır.
- Gerilim ve akım düzeyi artışı ile doğru orantılı olarak hat çevresindeki elektrik ve manyetik alan artmaktadır.
- Fazlar arası mesafe arttıkça tek devrede oluşan maksimum elektrik alan artar ancak iletim koridorundaki şiddeti azalır. Çift devrede ise elektrik alan fazlar arası açıklık arttıkça artar ancak hassasiyeti tek devreye göre azdır. Manyetik alan fazlar arası mesafe arttıkça her iki geometri için de artar.
- Faz sırası olarak Şekil 16’daki 5. tip faz sırası elektrik ve manyetik alanı en aza indirmektedir.

Elektrik kuvvetli akım tesisleri yönetmeliğinin belirlediği standartları referans alınarak bu analizler doğrultusunda elektrik alanı ve manyetik alanı en aza indirgeyen ekonomik ve emniyetli direk tasarımı yapılmıştır.

Yönetmelikteki iletken kesiti, hat yüksekliği ve direkler arası en ekonomik mesafe referans alınarak 500 kV’luk sistem için iletken yarıçapı 14,055 mm, demetin iletkenleri arası boşluk 50 cm, demetdeki iletken sayısı 3, fazlar arası açıklık 13,1 m, direk yüksekliği 35 m olan tek devre elektrik direği tasarlanmıştır.

Yapılan analiz sonucu 500 kV’luk sistem için elektrik alan, 1,72 kV/m olarak hesaplanmıştır. Bu elektrik alan değeri, TSE ve ICNIRP tarafından çalışanlar için 30 kV/m, halk için 10 kV/m olan maruziyet referans seviyelerinin oldukça altındadır.

Manyetik alan 500 kV’luk sistem için maksimum manyetik alan (endüksiyon) büyüklüğü 7,85 mT hesaplanmıştır. Çalışanlar için manyetik alan 1,6 μT, halk için 0,64 μT maruziyet değerleri referans alındığında halk yerleşim yerleri için 500 kV’luk tek devreden 80 m mesafe bırakılması gerektiği hesaplanmıştır.

5. KAYNAKLAR

- [1] Ehtaiba, J. M. and Elhabashi, S. M., “Magnetic Field Around the New 400 kV OH Power Transmission Lines in Libya “Organization for Development of Administrative Centers, ODAC Misurata / Libya.
- [2] IEEE PC95.6-2002, Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 to 3 kHz. Prepared by Subcommittee III of Standards Coordinating Committee 28, IEEE Standards Department. Piscataway, New Jersey, 2002.
- [3] Url-2 https://www.emo.org.tr/ekler/4546d484e137a6c_ek.pdf
- [4] ICNIRP- (1998). Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74: 494-522.
- [5] Holtzhausen, J. P. and Vosloo, W. L., “High Voltage Engineering Practice and Theory”, 2008
- [6] Deno, D. W. ve Zaffanella, L. E., Field Effects of Overhead Transmission Lines and Stations, Transmission Line Reference Book-345 kV and Above, Second Edition, Electric Power Res. Inst., Palo Alto, 1982.
- [7] Çınar, K., Elektromanyetik Alan, Bilim ve Teknik, 465 (2006) 80-81
- [8] Nair, I., Morgan, M.G. ve Florig, H. K., Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields-Background Paper, OTA-BPO-E-53. U.S. Government Printing Office, Washington, 1989
- [9] Tzinevrakis, A. E., Tsanakas, D. K. ve Mimos, E. I., Analytical Calculation of the Electric Field Produced by Single-Circuit Power Lines, Power Delivery, IEEE Transactions on Power Delivery, 23, 3 (2008) 1495 – 1505
- [10] Arı, N. ve Özen, Ş., Elektromanyetik Alanlar, Palme Yayınları, Ankara, 2008.
- [11] Dengiz, H., 1991: Enerji Hatları Mühendisliği, Kardeş Kitapevi, Ankara.
- [12] Akpınar, S., 1997. Yüksek Gerilim Tekniğinin Temelleri, Trabzon.
- [13] Umurkan, N., Şeker, S. ve Çakır, H., 1995. Ulusal Orta ve Yüksek Gerilimli Enerji İletim Hatlarına Yaklaşım Mesafelerinin Elektrik ve Magnetik Alanlara Göre Tespit Edilmesi, Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, 11– 17 Eylül, Bursa, s. 142-145.
- [14] Umurkan, N., Çakır, H. ve Arslan, F., 1998. Enerji İletim Hatlarının Çevresindeki Elektromanyetik Alanlar, 3e Endüstri & Teknik Fuarı, 27 – 31 Mayıs, Gaziantep, s. 52-55
- [15] Kalenderli, Ö., Yıldırım, H. ve Mardikyan, K., 1997. Yüksek Gerilim Hatları Çevresindeki Manyetik Alanların Hesabı, Biyomut 97, 13-14 Ekim, İstanbul, s. 162-165
- [16] Şeker, S. ve Çerezci, O., 1992. Elektromanyetik Alanlar ve Mühendislik Uygulamaları, İ.T.Ü. Yayınları, Sakarya 11
- [17] Özen, Ş., Low-frequency transient electric and magnetic fields coupling to child body, Radiation Protection Dosimetry, 128(1):62-7, 2008.