

İletim Hatlarında Meydana Gelen Elektromanyetik Alanın İnsanlar Üzerindeki Etkilerinin Analizi

Yıldırım ÖZÜPAK*¹

¹Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Diyarbakır

Geliş tarihi: 27.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Güç sistemlerinde yüksek gerilim, güç kayıplarını azaltmak ve enerjinin dağıtım yerinden uzak mesafelere iletilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Fakat akım taşıyan yüksek gerilim iletim hatlarının yakınında elektromanyetik alan da meydana gelmektedir. Bu elektromanyetik alanlar, iletim hatlarının çevresinde yaşayan insanlar için zararlıdır. Bu çalışmada, yüksek gerilim (YG) iletim hatlarında oluşan elektromanyetik alan dağılımının analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz ve simülasyon için Sonlu Elemanlar Yöntemine (SEY) dayalı çözüm gerçekleştiren ANSYS simülasyon programı kullanılmıştır. Programın temel çalışma prensibi, yapıyı, gövdeyi veya belirlenen alanı sonlu elemanlar ile alt alanlara bölerek çözüm gerçekleştirmektir. Elektromanyetik alan dağılımını elde etmek için, güç iletim hattı, akım yükü, faz hatlarındaki sarkma, elektrik direklerinin konumları gibi farklı elektriksel ve geometrik parametreler dikkate alınarak 154 kV'luk iletim hattı ve iletim hattı yakınında yaşayan halk için simüle edilmiştir. Simülasyonlardan insanların elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmasına ilişkin analiz sonuçları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: YG iletim hattı, Elektromanyetik alan, İnsan maruziyeti, SEY

Analysis of the Effects of Electromagnetic Fields Occuring in Transmission Lines on Humans

Abstract

High voltage in power systems is used to reduce power losses and to transmit energy to long distances from the distribution location. However, electromagnetic fields also occur near current-carrying high-voltage transmission lines. These electromagnetic fields are harmful to people living around transmission lines. In this study, the analysis of the electromagnetic field distribution in high voltage (HV) transmission lines has been carried out. ANSYS simulation program, which realizes a solution based on Finite Element Method (FEM), was used for analysis and simulation. The basic working principle of the program is to realize a solution by dividing the structure, the body or the specified area into sub-areas with finite elements. In order to obtain the electromagnetic field distribution, people living near 154 kV transmission line and transmission line were simulated taking into account different electrical and geometric parameters such as power transmission line, current load, sag in phase lines, positions of electric poles. Analysis results of human exposure to electric and magnetic fields were obtained from simulations.

Keywords: HV transmission line, Electromagnetic field, Human exposure, FEM

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yıldırım ÖZÜPAK, yildirimosupak@gmail.com

1. GİRİŞ

Teknoloji ve endüstrideki gelişmeler insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Ancak, elektrikli makineler, endüstriyel aletler, güç hatları ve iletişim cihazları kullanılarak elektromanyetik alanlara (EM) maruz kalınması, bu teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak meydana gelmiş ve biyolojik yaşamları tehdit etmektedir [1-3].

Elektrik enerjisi, günlük aktivitelerdeki en faydalı ve en pratik enerjilerden biridir. Bu enerji, su türbini jeneratörleri, buhar türbini jeneratörleri, gaz türbini jeneratörleri gibi farklı enerji santrallerinden üretilmektedir. Jeneratörün çıkış gerilimi, bir yükseltici güç transformatörü ile artırılarak iletim hattına aktarılır. İletim sisteminde yüksek gerilim kullanılması güç kayıplarını ve gerilim düşüşünü azaltmaktadır. Bu yüksek gerilim daha sonra güç dağıtım sistemindeki kademeli bir güç transformatörü ile düşürülmektedir.

1970'lerin sonlarından bu yana, düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmanın sağlık açısından olumsuz sonuçlara yol açtığı konusunda araştırmalar yapılmıştır. Bu konuda önemli sorunları başarıyla çözen çok fazla araştırma yapılmıştır. Statik alanlardan 300 GHz'ye kadar tüm frekans aralığında EM'ye maruz kalmayı sınırlayan yönergeleri formüle etmek için çalışma yapılmıştır [4].

Yüksek seviyelerde (100 μ T'nin üzerinde) akut maruziyetten, bilinen biyofiziksel mekanizmalarla açıklanan, yerleşik biyolojik etkiler vardır. Düşük frekanslı dış manyetik alanlar, vücutta çok yüksek alan kuvvetlerinde sinir ve kas uyarılmasına ve merkezi sinir sisteminde sinir hücresi uyarılabilirliğinde değişikliklere neden olan elektrik alanlarını ve akımlarını indükler. Statik elektrik alanlarına benzer harici düşük frekanslı elektrik alanları, başlangıçta yüksüz nesnelere içinde elektrik yüklerinin yeniden dağılımına ve sonuç olarak vücut yüzeyinin yüklenmesine neden olur. Bu, yüklü saçta etki eden periyodik elektromekanik kuvvetlere yol açar. Ayrıca, alternatif akım yükleri vücut yüzeyinde veya topraklanmış nesnelere periyodik deşarjlara neden olabilir. Statik alanların

aksine, periyodik yeniden şarj, intrakorporeal elektrik akımlarını, yeterince güçlüyse sinir ve kas hücrelerini uyarabilen elektrik alan kuvvetlerini indükler. Manyetik alanlar, indüksiyon yasasına göre frekans ve kesit alanı ile artan intrakorporeal elektrik alan kuvvetlerini indükler. Sonuç olarak, vücut içinde indüklenen elektrik alanlarının kuvveti, merkezden vücut yüzeyine doğru sıfırdan maksimuma yükselir.

50 Hz veya 60 Hz frekans ile çalışan bazı cihazların yakınında, manyetik alan değerleri birkaç 100 μ T düzeyinde olabilir. Güç hatlarının altında, manyetik alanlar yaklaşık 20 μ T olabilmektedir [5]. Bununla birlikte, evlerdeki ortalama konut güç frekansı manyetik alanları çok daha düşüktür. Bu riskle ilgili artan kamuoyu endişesi, manyetik alan bileşeni için "dikkat seviyeleri" ve "kalite hedefleri" gibi kavramlar getirerek, birkaç ulusal ve uluslararası kuruluşun izin verilen maruz kalma seviyelerinde ihtiyatlı olarak kısıtlayıcı sınırlamalar koymasına neden olmuştur.

1999/519/EC Avrupa Konseyi Tavsiyesi (EC, 1999) Ek I'de genel halkın maruziyetini sınırlandırmak için temel kısıtlamaları ve referans seviyelerini tanımlamıştır. Bu, EM'ye mesleki maruziyet hakkındaki 2013/35/EU direktifi ile eklenmiştir. EC (1999) ve ICNIRP (1998) uyarınca, doğrudan yerleşik sağlık etkilerine ve biyolojik mülahalalara dayanan, zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara maruz kalma ile ilgili kısıtlamalar "temel kısıtlamalar" olarak adlandırılır. Bu nedenle, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) ve Avrupa Tavsiyeleri, elektrik alanları için kamu maruz kalma sınırını 5 kV/m ve manyetik alanlar durumunda 10 μ T olarak belirlemiştir [6]. Bu sınırlamalara uymak için, elektrik sistemleriyle ilişkili elektromanyetik alan ortamını, özellikle bölge üzerinde en geniş etkiye sahip olan elektrik güç hatlarını gerçekçi bir şekilde ölçmek gerekir. Sayısal olarak tahmin edilen sonuçların doğruluğunun simülasyonlarda kullanılan detay derecesine bağlı olması nedeniyle, birkaç elektriksel ve geometrik parametre dikkate alınmıştır. Bunlar, hatların akım yükü, havai hatların varlığı, aktif iletkenler sarkması ve elektrik kulelerinin konumlarıdır. Yüksek gerilim, iletim hatlarında elektromanyetik alanlar meydana

getirmektedir. Bu elektromanyetik alan, bir iletim hattının yakınındaki operatörler ve sakinler gibi insanlar için tehlike oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, elektromanyetik alanların bir iletim hattı üzerindeki dağılımı, sonlu elemanlar yöntemine (SEY) dayalı simülasyon kullanılarak incelenmiştir. 154 kV'luk iletim hattının elektromanyetik alanı analiz edilmiştir. Bu analiz ile elektromanyetik alanın iletim hatlarına yakın yaşayan insanlara ne kadar etki ettiği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. İletim Hattındaki Elektromanyetik Alan Hesabı

Elektromanyetik alan hesaplamasında, elektromanyetik alanın şiddeti (H), elektromanyetik akı yoğunluğu (B), $B = \mu H$ ile ilişkilidir. Helmholtz denklemi Eşitlik 1'de verilmiştir [7]. Sistem frekansı 50 Hz olduğu için, bir elektromanyetik alan, aşağıda tanımlanan mevcut denklem yasası olarak modellenmiştir:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Burada μ manyetik geçirgenlik, σ iletkenlik ve ε dielektrik geçirgenlik sabitidir.

Zaman harmonik sistemi $H = H e^{j\omega t}$ dikkate alındığında, eşitlik şu hale gelir (Eşitlik 2, 3):

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = -\omega^2 H \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = j\omega H \quad (3)$$

Burada ω açısal frekanstır.

Denklem daha sonra şu şekilde basitleştirilir (Eşitlik 4):

$$\nabla^2 H - j\omega\sigma\mu H + \omega^2\varepsilon\mu H = 0 \quad (4)$$

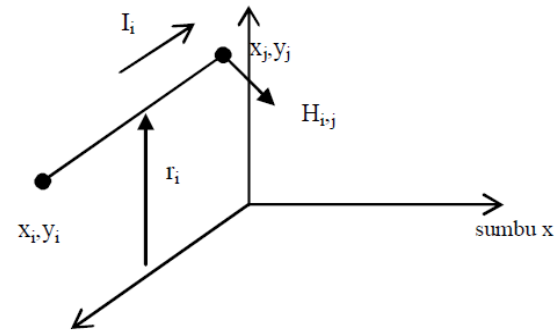
Üç boyutlu olarak şu şekilde yazılabilir (Eşitlik 5):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) - (j\omega\mu\sigma - \mu\varepsilon\omega^2)H = 0 \quad (5)$$

2.2. Simülasyon Yöntemi ve SEY

SEY, çoğunlukla yapı, termal ve elektromanyetik problemleri çözmek için kullanılan sayısal yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, temel geometri alt geometrilere bölünerek bu alt geometri arasında eşkenar üçgenler veya düzgün dörtgenler kullanılarak sorunlar çözülmüştür. Sonlu elemanlar üzerindeki süreç, sonsuz küçük elemanlara nesne yapısı modellemesine ilişkin bir bölünme sürecidir. Bu öğeler, nesnenin küçük ağlarla birbirlerine bağlanmaktadır. Hesaplama yöntemi, büyük bir geometriyi birleştirilecek küçük ağlar kullanılarak hesaplamaktır.

İletim hattının yakınındaki elektromanyetik alan hesaplamasının genel yöntemi, iletim hattının düz toprak yüzeyine paralel olduğu varsayıldığı iki boyutlu bir analiz kullanılarak hesaplanmasıdır. Koordinat sistemi Şekil 1'de gösterildiği gibi açıklanabilir. İletim hattının iletkeni Z eksenine paraleldir. İletken üzerinde akan akım, I_i Z eksenine zıt yöndedir. Yönü, $x_j y_j$ ve toprak yüzeyinden uzaklığı r_{ij} olan elektromanyetik alan yoğunluğu aşağıdaki gibi genliğe sahiptir [7].



Şekil 1. Koordinat hesaplama sistemi

$$H_{ji} = \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \quad (6)$$

Eşitlik vektörel olarak şu şekilde yazılabilir (Eşitlik 7):

$$H_{ji} = \frac{I_i \times r_{ji}}{2\pi r_{ji}^2} = \frac{I_i}{2\pi r_{ji}} \Phi_{ji} \quad (7)$$

Yön birimi vektörü Φ_{ji} için denklem şöyle olur (Eşitlik 8):

$$H_{ji} = -\frac{y_i - y_j}{r_{ij}} u_x + \frac{x_i - x_j}{r_{ij}} u_y \quad (8)$$

Burada u_x , X eksenine ile u_y ise Y eksenine paralel yön vektör birimidir. Akım taşıyan iletkenler varsa, toplam elektromanyetik alan yoğunluğu şu şekilde tanımlanabilir (Eşitlik 9):

$$H_{ji} = \sum \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \Phi_{ij} \quad (9)$$

Üç fazlı iletim hattının yakınındaki elektromanyetik alan, özellikle iletim hattından uzak bir noktadaki manyetik alan yüklerin toprağa akmasından etkilenmektedir. Dengeli durumda iletim için, bu akım toprak yoluyla iletim hattı boyunca dağıtılmıştır. Toprak akımı Carson'ın denklemi kullanılarak hesaplanır. Bu nedenle, iletim hattı ve toprak akımının ürettiği elektromanyetik alan şiddeti aşağıdaki gibi yazılabilir (Eşitlik 10) [8]:

$$H_{ji} = \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \Phi_{ij} - \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2}{\gamma r_{ij}} \right)^4 \right] \Phi_{ij} \quad (10)$$

Eşitlik (9) iletim etkisine bağlı elektromanyetik alanı gösterirken, (10) toprak akımına bağlı elektromanyetik alanı göstermektedir. Burada toprak akımından kaynaklanan bir düzeltme faktörü ortaya çıkmaktadır. Bu faktör aşağıda Eşitlik 11'de verilmiştir.

$$\gamma = [j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)]^{1/4} \quad (11)$$

Burada σ toprak iletkenliğini (0.001 - 0.002 S/m), ϵ toprak geçirgenliği ($8,85 \cdot 10^{-12}$) ifade etmektedir.

Toprak geçirgenliği hava geçirgenliğine eşit alınmıştır.

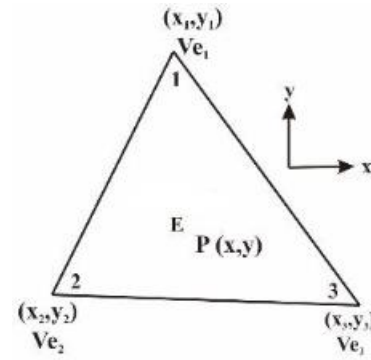
$$r_{ij}' = \left[(x_i - x_j)^2 + \left(y_i - y_j + \frac{2}{\gamma} \right)^2 \right]^{1/4} \quad (12)$$

$$\Phi_{ij}' = -\left[\frac{y_i - y_j + \frac{2}{\gamma}}{r_{ij}'} \right] u_x + \frac{x_i - x_j}{r_{ij}'} u_y \quad (13)$$

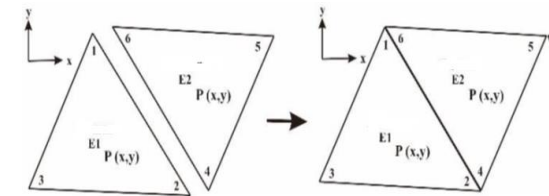
Eşitlik 12 ve 13'te, toprak akımı etkisi dikkate alındığında, elektromanyetik alan yoğunluğunun akım kaynağı ile aynı fazda olmayacağı görülmektedir.

2.3. Alanın Hesaplanması ve Üçgen Elemanın Birleştirilmesi

Sonlu elemanlar yönteminin temel çözüm prensibi, Şekil 2 ve 3'te verildiği gibi, çözüm gerçekleştirilecek alanı küçük üçgenler halinde ayrıştırarak aralarında ağ elemanlarının oluşturularak çözmesine dayanmaktadır.



Şekil 2. Üçgen elemanın modellenmesi



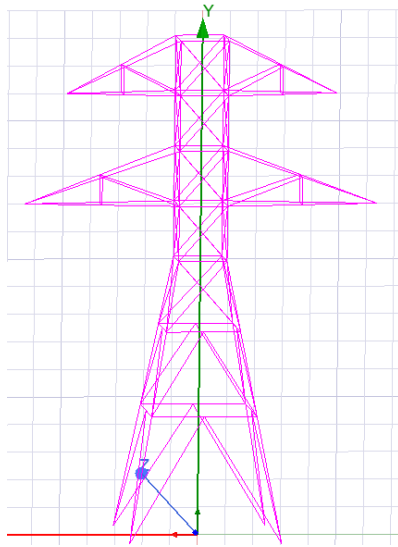
Şekil 3. İki üçgen öğenin birleştirilmesi

Her element için elektrostatik alan üzerindeki enerji denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir (Eşitlik 14):

$$W_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r V^T S V \quad (14)$$

Bazı elementlerin birleşimine dayanarak, enerjinin değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Eşitlik 15, 16).

$$W = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r V_{con}^T S V_{con} \quad (15)$$



Şekil 4. İletim direğinin modellenmesi

Simülasyonda kullanılan iletim direği malzemeleri Çizelge 1'de, insana ait özellikler ise Çizelge 2'de sunulmuştur.

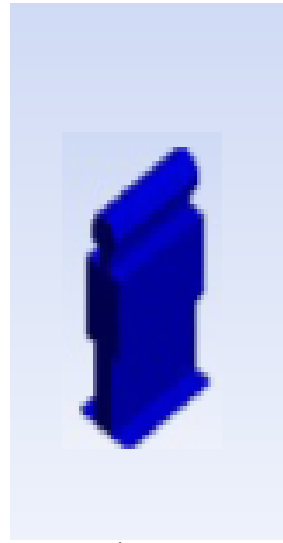
Çizelge 1. İletim kulesi ve iletkenin malzeme veri sayfası

Değişken	Malzeme özellikleri
Epsilon	1
Elektriksel iletkenlik	$5,97 \times 10^7$ S/m
İzotropik termal iletkenlik	60,500 W/m, °C
İzotropik bağıl geçirgenlik	10000

$$S = C^T S_{dis} C \quad (16)$$

2.4. Direk ve İnsan Modellemesi

Bu aşamada ilk olarak iletim direği modellenmiştir. Seçilen direk tipi, Şekil 4'te verilmiştir. Daha sonra malzeme ve demir malzemeli uç bağlantı montajı yapılmıştır. Son olarak, Şekil 5'te görüldüğü gibi insan modellenmiştir.



Şekil 5. İnsanın modeli

Çizelge 2. İnsanın malzeme veri sayfası

Değişken	Değer
Epsilon	1
Rho (kg/m ³)	1100
Termal iletkenlik (W/K/m)	0,293
Isı kapasitesi (Kj/K/Kg)	3,5
Yayılm (m ² /s)	$7,61 \times 10^{-8}$
Kan akışı	9100

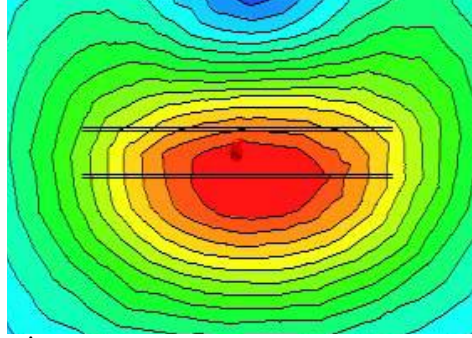
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. İletim Hattının Elektromanyetik Analizi

ANSYS yazılım programı ile iletim hattının elektromanyetik simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon için üç fazlı gerilim hatta 154 kV'luk nominal gerilim uygulanmıştır. Bir iletim hattı

üzerindeki elektromanyetik alanların dağılımı Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 6'daki kırmızı renk, en yüksek değere sahip elektromanyetik alanı gösterirken, Şekil 6'daki mavi renk,

elektromanyetik alanın en düşük değerini göstermektedir. İletim hattının ortasındaki elektromanyetik alan dağılımının değeri Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. İletim hattındaki elektromanyetik alanın dağılımı

Elektromanyetik alanların çevre üzerindeki etkileri çok araştırılmış bu konuda yönetmelikler, sınırlandırmalar ve mesafeler belirlenmiştir. ICNIRP ve Orman Bakanlığı'nın yönetmeliklerindeki sınır değerler sırasıyla

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te; ayrıca analiz ve ölçümü gerçekleştirilen yüksek gerilim hattının çalışma frekansı olan 50 Hz için uygulanan limit değerler Çizelge 5'te verilmiştir (ICNIRP, 1998).

Çizelge 3. ICNIRP limit değerler-genel halk için

Frekans aralığı	Elektrik alan şiddeti E (kV/m)	Manyetik alan şiddeti H (A/m)	Manyetik akı yoğunluğu B(T)
1 Hz-8 Hz	5	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz-25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz-50 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
50 Hz-400 Hz	$2,5 \times 10^2 / f$	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
400 Hz-3 kHz	$2,5 \times 10^2 / f$	$6,4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-5} / f$
3 kHz-10 MHz	$8,3 \times 10^{-2}$	21	$2,7 \times 10^{-5}$

Çizelge 4. 0Hz-300GHz frekans bantlarındaki elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için limit değerler

Frekans (f)	Elektrik alan şiddeti E (kV/m)	Manyetik alan şiddeti H (A/m)	Manyetik akı yoğunluğu B(μT)
0-1 Hz	-	32000	40000
1 Hz-8 Hz	10000	$32000 / f^2$	$40000 / f^2$
8 Hz-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
0,025 kHz-0,8 kHz	$750 / f$	$8 / f$	$10 / f$
0,8 kHz-3 kHz	$250 / f$	5	6,25
3 kHz-150 kHz	87	5	6,25
150 kHz-1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$
1 MHz-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$
10 MHz-400 MHz	28	0,73	0,92
400 MHz-2000 MHz	$1,375 * f^{1/2}$	$0,0037 * f^{1/2}$	$0,046 * f^{1/2}$
2 GHz-300 GHz	61	0,16	0,2

Çizelge 5. 50Hz için yönetmeliklerin öngördüğü sınır değerler

Yönetmelikler	Elektrik alan şiddeti E (kV/m)	Manyetik alan şiddeti H (A/m)	Manyetik akı yoğunluğu B(μ T)
ICNIRP-Mesleki maruziyet	10	800	1000
ICNIRP-Umumi maruziyet	5	160	200
Orman Bakanlığı	15	160	200

Simülasyon için Konya Melikşah Aile Dinlenme ve Trafik Eğitim Parkı boyunca geçen 154 kV iletim hattının yerden 1 metre yükseklikte elde edilen sonuçlar baz alınmıştır [10]. Ölçüm değerleri ve simülasyon sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Simülasyonda ilk olarak mesafe ölçülmüş ve direk mesafelerine göre ayarlama yapılmıştır. Daha sonra doğrudan ölçüm ile simülasyon arasındaki elektromanyetik alan değerleri Çizelge 6'da görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6. Sonuçların karşılaştırılması

Mesafe (m)	Ölçüm sonuçları (μ T)	Simülasyon sonuçları (μ T)
0	0,401	0,419
25	0,480	0,501
50	0,532	0,541
75	0,607	0,598

4. SONUÇLAR

Simülasyon sonuçları analiz edildiğinde iletim hattındaki en yüksek elektromanyetik alan değeri 0,598 μ T olarak iletim hattının sol ve sağ tarafında meydana gelmiştir. En düşük elektromanyetik alan değeri ise 0,419 μ T olarak elde edilmiştir. Bu değerler insan modeli simülasyonuna göre ortalama olarak elde edilmiştir. Sonuçlara göre iletim direğinin yakınında duran bir insan için güvenli sınırın (insan için güvenli sınır SNI 04-6950-2003'e göre) aşıldığı görülmektedir. Simülasyon sonuçları ve doğrudan ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir. En yüksek elektromanyetik alan değeri, simülasyona göre 0,598 μ T, ölçüme göre 0,607 μ T olarak en düşük mesafeye sahip iletkenlerde elde edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Bambang S., Munoto, Aditya, D., 2017. Analysis of Electromagnetic Field on Transmission Line to Human Using Infinite Element Method, World Journal of Research and Review (WJRR), ISSN: 2455-3956, Volume-5, Issue-3
- Vassiliki, T., Ioannis, F., Ioannis, A., Alex, M., 2006. Simulation of the Electric Field on High Voltage Insulators Using the Finite Element Method, IEEE.
- Hayt William, H., John, A.B., 2006. Electro Magnetics Seventh Edition, Penerbit Erlangga, Jakarta, Indonesia, 549.
- Yener, Ş.Ç., Andiç, F., 2017. Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü İçerisindeki Enerji İletim Hatlarının Elektromanyetik Alan Etkileri Açısından İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(4),1-1.
- Bambang, S., Munoto, Aditya, D., 2017. Analysis of Electromagnetic Field on Transmission Line to Human Using Infinite Element Method, World Journal of Research and Review (WJRR) ISSN:2455-3956, 5(3), 61-66.
- Putra, H.K., 2016. Analysis of Effect of Isolator Field on Distribution Tower When Affected by High Voltage by Using Finite Element Method, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, 2016.
- Özüpak. Y., Mamis, M.S., 2019. Realization of Electromagnetic Flux and Thermal Analyses of Transformers by Finite Element Method. IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 1998. Guidelines for

- Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz), *Health Phys.*, 75(5), 535.
9. Bunmat, A., Paolaor, P., 2015. Analysis of Magnetic Field Effects Operators Working a Power Transmission Line Using 3D Finite Element Method, Thailand.
10. Seyfi, L., Akbal, B., 2018. Konya'daki Bazı Yüksek Gerilim Hattı ve Trafo Binaları Yakınında Yapılan Manyetik Alan Ölçümlerinin Değerlendirilmesi, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, November, Samsun, Turkey.