

ULUSAL ORTA VE YÜKSEK GERİLİMLİ ENERJİ İLETİM HATLARI ÇEVRESİNDE ELEKTRİK ALAN HESABI İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

Nurettin UMURKAN

Y.T.Ü. Elektrik Mühendisliği Bölümü
Beşiktaş / İSTANBUL

Hayri YILDIRIM

İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi
Yüksek Gerilim Lab. Gümüşsuyu / İSTANBUL

Özcan KALENDERLİ

İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi
Yüksek Gerilim Lab. Gümüşsuyu / İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada, Yük Benzetim Yöntemi adı verilen sayısal yöntem kullanılarak, ülkemizdeki 66 kV ve 154 kV 'luk enerji iletim hatları civarında elektrik alan hesapları yapılmış, elektrik alanının hat ekseninden yatay uzaklıkla değişimleri bulunarak kuramsal olarak yüksek gerilim hatları çevresindeki güvenlik sınırları incelenmiştir.

ABSTRACT

In this study, electric fields around 66 kV and 154 kV of the high voltage overhead transmission lines in Turkey are calculated by Charge Simulation Method. Variations of electric fields with horizontal distance from the transmission line axis are obtained and, theoretically safety limits are examined around these lines.

1. GİRİŞ

Elektrik enerji tüketimi kalkınma düzeyine ve nüfus artışına bağlı olarak artmaktadır. Artan enerji tüketiminin karşılanması ve yerleşim düzeninin genişlemesi nedeniyle çok uzak üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine enerjinin iletilmesi gerekmektedir. Büyük uzaklıklardan ve büyük güçte enerji ihtiyacının karşılanmasında yüksek gerilimli enerji iletim hatları kullanılmaktadır. Bu hatlardaki yüksek gerilim ve akımlar nedeniyle çevresinde yüksek elektromagnetik alanlar oluşmaktadır. Yüksek gerilimden dolayı enerji iletim hatları çevresinde yüksek elektrik alanları meydana gelmektedir. Bu bakımdan elektrik alanlarının çevre üzerindeki bitki örtüsü, hayvanlar ve özellikle de insanlar üzerindeki biyolojik etkilerinin belirlenmesinde, alçak frekanslı enerji iletim hatlarının hat merkezinden çeşitli uzaklıklarda elektrik alan şiddeti hesabı büyük önem kazanmaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda mevcut hatlar çevresinde güvenlik sınırları dolayısıyla canlılar ve duyarlı aletler bakımından hatlara güvenli yaklaşım uzaklıkları belirlenebilir. Ayrıca yeni kurulacak bir yüksek gerilim enerji iletim hattı için de elektrik alan şiddeti hesabının yapılması, önceden ilgili hat çevresindeki alan değerleri hakkında bilgi verecek ve buna göre hat ve direk boyutlarının ve hat güzergahı genişliğinin belirlenmesinde yararlı olacaktır.

Statik elektrik alan hesabında çeşitli sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcaları; Sonlu Farklar Yöntemi, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Sınır Elemanları Yöntemi, Monte Carlo Yöntemi, Moment Yöntemi, Görüntü Yöntemi, Yük Benzetim Yöntemi (YBY) ve Yüzeysel Yük Benzetim Yöntemidir. Bu çalışmada, açık sınırlı problemlere uygulamada kolaylık gösteren ve alanların ayrık benzetim yükleri ile benzetilmesi kavramına dayanan Yük Benzetim Yöntemi kullanılmıştır. YBY elektrik alan hesabında yaygın olarak kullanılan ve doğruluk oranı yüksek sayısal bir hesaplama yöntemi olarak ortaya çıkmış ve son yıllarda önemli gelişmeler kaydederek yüksek gerilim tekniğinde birçok probleme başarıyla uygulanmıştır. Burada da yöntem

enerji iletim hatları çevresinde elektrik alan hesabı için kullanılmıştır.

2. YÜK BENZETİM YÖNTEMİNİN İLKESİ

Yük Benzetim Yönteminin ilkesi, elektrotların yüzeyine fiziksel olarak dağılmış yüzeysel yüklerin yarattığı gerçek elektriksel alan yerine, ayrık yüklerin yarattığı alanın gözönüne alınmasıdır. Yani alanın ayrık yüklerle benzetilmesidir. Bu amaçla noktasal, çizgisel, halkasal gibi değişik yük tipleri ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilir. Yöntemin doğruluğu, benzetim yüklerinin tipine, sayısına ve yerine yakından bağlıdır.

Benzetim yüklerinin değerleri sınır noktası adı verilen elektrotlar üzerindeki yani potansiyeli bilinen noktalardaki sınır koşullarından yararlanılarak belirlenir. Değerleri bu şekilde belirlenen benzetim yüklerinin herhangi bir noktada meydana getirdikleri potansiyel de, süperpozisyon ilkesi kullanılarak bulunabilir. Örneğin göz önüne alınan n tane benzetim yükünden herbirinin yükü q_j , bu yüklerin herhangi bir noktada oluşturdukları potansiyel de V_i ile gösterilirse,

$$V_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} q_j \quad (1)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Burada p_{ij} , bir çok yük tipi için bilinen potansiyel katsayılarıdır. Örneğin, bir noktasal yükün (q) kendisinden r uzaklığındaki bir noktada oluşturduğu V potansiyeli

$$V = (4\pi\epsilon r)^{-1} \cdot q = p \cdot q \quad (2)$$

olduğuna göre p potansiyel katsayısı

$$p = (4\pi\epsilon r)^{-1} \quad (3)$$

olur.

Bilinmeyen yük değerlerini denklem (1)'den elde edebilmek için n tane bilinen potansiyele ihtiyaç vardır. Bunun içinde potansiyeli bilinen n tane nokta tanımlanır. Bu noktalara sınır noktası adı verilir. Sınır noktalarının sayısı, benzetim yüklerinin sayısına eşit seçilir. Yüklerin tipi ve yerleri tanımlandıktan sonra herhangi bir sınır

noktasında V_i ile q_j arasında matematiksel bir bağıntı kurmak mümkündür.

(1) denklemi n tane yük ve n tane potansiyeli bilinen sınır noktası için düzenlendiğinde matrisel olarak

$$[V] = [p] \cdot [q] \quad (4)$$

veya açık olarak,

$$\begin{aligned} V_1 &= q_1 p_{11} + q_2 p_{12} + K + q_n p_{1n} \\ V_2 &= q_1 p_{21} + q_2 p_{22} + K + q_n p_{2n} \\ &\vdots \\ V_n &= q_1 p_{n1} + q_2 p_{n2} + K + q_n p_{nn} \end{aligned} \quad (5)$$

şeklinde bir denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sisteminin çözümüyle yüklerin değerleri bulunabilir. Benzetim yüklerinin yerleri ve değerleri bilinirse, herhangi bir noktadaki potansiyel ve alan şiddeti yukarıda sözü edildiği gibi süperpozisyon ilkesi ile hesaplanabilir. YBY ile elektrik alan şiddeti

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (6)$$

bağıntısından elde edilir. Örneğin bir noktasal yük için

$$E = q \cdot (4\pi\epsilon r^2)^{-1} \quad (7)$$

olur.

3. ELEKTRİK ALAN HESABI

Bu bölümde Yük Benzetim Yöntemiyle enerji iletim hatları çevresinde elektrik alan hesabı verilmiştir. Enerji iletim hatlarındaki elektrik alanlarının benzetiminde çizgisel yük kullanımı uygun düşmektedir. Kuramsal olarak hatları sonsuz uzun ve direk etkilerini gözardı ederek aldığımızda benzetimde sonsuz çizgisel benzetim yükleri kullanılabilir. Sonsuz çizgisel yük tipi için potansiyel katsayısı

$$p = (2\pi\epsilon)^{-1} \ln(r_0 / r) \quad (8)$$

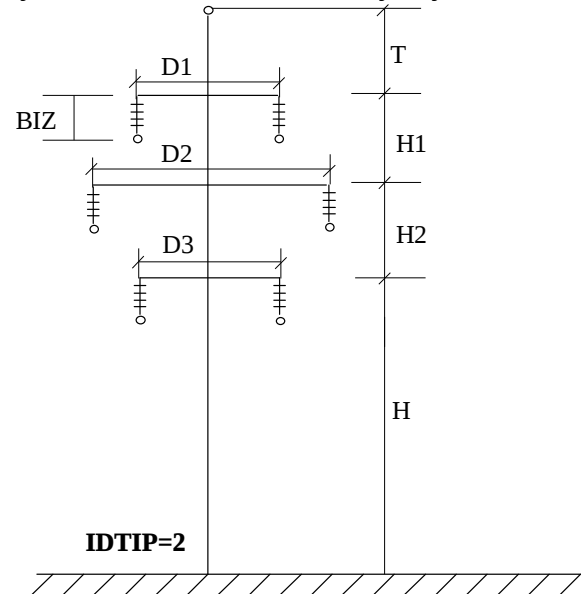
şeklinde dir. Üç fazlı bir enerji iletim sisteminde, sistemin fazlar arasındaki faz açıları da dikkate alınarak sınır potansiyelleri

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= V \\ \Psi_2 &= V \exp\left(\frac{2\pi}{3} j\right) \\ \Psi_3 &= V \exp\left(\frac{4\pi}{3} j\right) \end{aligned} \quad (9)$$

şeklinde yazılabilir. Sınır noktalarının potansiyelleri için (9) eşitliklerinin kullanılmasından dolayı (5) sisteminden benzetim yüklerinin değerleri kompleks olarak elde edilir. Böylece kompleks yüklerin kullanıldığı bir YBY ile enerji iletim hatları çevresinde herhangi bir noktada potansiyel ve elektrik alan hesabı yapılabilir. Hesaplarda hattın ekseninden yatay uzaklıkta yer düzleminde 1 metre yükseklikteki elektrik alan şiddeti değerleri bulunmuştur. Bu amaçla geliştirilen bilgisayar algoritması, algoritmaya ilişkin akış diyagramı ve kullanılan yöntemin ölçme sonuçları ile uyumluluğu kaynak [1]'de verilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada da yararlanılan bu bilgiler burada yinelenmemiştir.

4. YÖNTEMİN ULUSAL ŞEBEKEDEKİ HATLARA UYGULANMASI

Yük Benzetim Yöntemine göre geliştirilen algoritma kullanılarak, ulusal enterkonnekte şebekedeki, 66 kV ve 154 kV'luk enerji iletim hatlarının birer örneği olan 154 kV çift devre Alibeyköy - Küçükköy ve 66 kV çift devre Ereğli - Kandilli hatları seçilerek bu hatların çevresinde hat ekseninden yatay uzaklıkla



Şekil 1. Direk tipi [2]

yer düzleminde 1 metre yükseklikte elektrik alan şiddetleri hesaplanmıştır. Hesaplar hattın direk etkilerinin göz ardı edilebileceği bir uzaklıkta yani yaklaşık

sehimin en büyük olduğu nokta için yapılmıştır.

Sayısal hesaplama yapılacak hatlar ile ilgili teknik bilgiler Kaynak [2]'den alınmıştır. Hatlar için kullanılan direk tipi Şekil 1'de gösterilmiştir. Direklerle ilgili özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Direk Özellikleri

Gerilim (kV)	66	154
Direk Tipi	A	TA1
H (m)	15.24	18.93
H1 (m)	3.04	4.15
H2 (m)	2.74	4.15
T (m)	2.99	3.15
BIZ (m)	1.2	2.2
D1 (m)	5.8	7
D2 (m)	7.15	9.4
D3 (m)	5.8	7.4

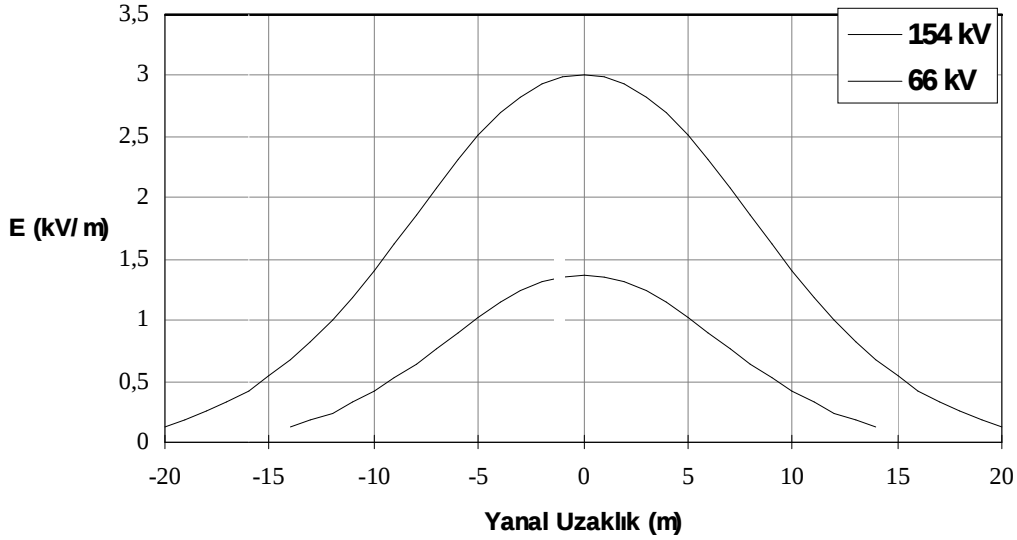
Tablo 1'de verilen verilerden ve geliştirilen algoritmadan yararlanarak elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin hattın yanıl uzaklıkla değışimleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu eğrilerden alan şiddetinin hattın uzaklıkla hızla azaldığı ancak hatta yakın bölgelerde yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Yüksek gerilimli enerji iletim hatları çevresinde yüksek elektrik alanlarının oluştuğı bilinmektedir. Bu alanların hat çevresindeki dağılımı hattın gerilim

düzeyine, hattın boyutlarına ve biçimine, hattın güzergahına ve hattın olan uzaklığa göre değışmektedir. Bu değışimler teorik ve deneysel incelenebilir. Bu çalışmada bu durum gibi açık sınırlı problemlere başarı ile uygulanan yük benzetim yöntemi ile ülkemizdeki yüksek gerilim hatlarının iki örneğı olan 66 kV ve 154 kV'luk enerji iletim hatları çevresindeki elektrik alanları teorik olarak incelenmiştir. Elde edilen eğrilerden elektrik alan şiddetinin 66 kV'luk hat örneğı için hattın yaklaşık 5 metre uzaklıkta 1 kV/m, yaklaşık 10 m uzaklıkta ise 0.5 kV/m mertebesinde değerlere düştüğü görülmektedir. Aynı eğrilerden 154 kV'luk hat örneğı için elektrik alan şiddeti değerlerinin hattın yaklaşık 5 metre uzaklıkta 2.5 kV/m, yaklaşık 10 m uzaklıkta ise 1.5 kV/m mertebesinde değerlere düştüğü görülebilir. Uzaklık arttıkça her iki hat örneğı için de alan şiddetinin hızla azaldığı örneğın 66 kV'luk hat için alan şiddetinin yaklaşık 15 m uzaklıkta 0.1 kV/m ye; 154 kV 'luk hat için de alan şiddetinin yaklaşık 20 m uzaklıkta 0.1 kV/m ye düştüğü anlaşılmaktadır. Amerikan, Sovyet ve Japon Standartları gibi uluslararası standartlarda, enerji iletim hatları çevresinde toprak seviyesinden 1 metre yukarıda 1-1.5 kV/m 'lik bir elektrik alan şiddeti sınır değeri olarak verilmektedir.

Buna göre yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlara bakarak 66 kV'luk hatların yaklaşık 5 m uzağında, 154 kV'luk hatların da yaklaşık 12 metre uzağında 1 kV/m'lik elektrik alan şiddeti değerlerine indiğı yani bu uzaklıklardan daha yakın uzaklıklarda



Şekil 2. 66 kV ve 154 kV'luk enerji iletim hatları çevresinde hattın yanıl uzaklıkla elektrik alan şiddetinin değışimi

alan şiddetinin standartlarda önerilen güvenlik değerlerinin üzerine çıktığı söylenebilir. Bu çalışmada kullanılan yöntemin doğruluğu bilinmekle birlikte sözü edilen bu hatlar çevresinde elektrik alan ölçmeleri ile yapılan bu incelemeler geliştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] UMURKAN, N., YILDIRIM, H., KALENDERLİ, Ö., *Enerji İletim Hatlarında Yük Benzetim Yöntemi İle Alan Hesabı*, Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, 13-18 Eylül 1993, s. 1249-1253, Trabzon.
- [2] Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların, Trafoların ve Gene-ratörlerin Elektriki Karakteristikleri, TEK İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, SA-91/1, Genel Kod No: 27/27-201, 1991.
- [3] YILDIRIM, H., *Elektrostatik Alanların Yük Benzetim Yöntemiyle İncelenmesi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Ocak 1992.
- [4] ABDEL-SALAM, M., EL-MOHANDES M. T., *Electric Field around Parallel dc and Multi-phase ac Transmission Lines*, IEEE, EI-VOL.25, pp. 1145-1152, Dec. 1990.
- [5] SINGER, H., STEINBIGLER, H., WEISS, P., *A Charge Simulation Method for the Calculation of High*

Voltage Fields, IEEE, PAS- Vol.93, pp. 1660-1668, 1974

- [6] ŞEKER, Ş .S., ÇEREZCİ, O., *Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri*, Boğaziçi Üniv., 1991

Nurettin UMURKAN, 1964 yılında Tokat'ta doğdu. 1988'de Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden Müh., 1991'de Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE) Elektrik Müh. programından Y. Müh. olarak mezun oldu. UMURKAN, 1991'den beri Yıldız Teknik Üniversitesi FBE Elektrik Müh. programında doktora çalışmalarını sürdürmekte ve 1990'dan beri YTÜ Elektrik Müh. Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Hayri YILDIRIM, 1965 yılında İskenderun'da doğdu. 1988'de İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi (EEF) Elektrik Mühendisliği Bölümü (EMB)'den Müh., 1992'de İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE), Elektrik Müh. programından Y. Müh. olarak mezun oldu. YILDIRIM, 1992'den beri İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Müh. programında doktora çalışmalarını sürdürmekte ve 1989'dan beri İTÜ EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Özcan KALENDERLİ, 1956 yılında İstanbul'da doğdu. İTÜ EEF'den 1978'de Müh., 1980'de Y. Müh. larak mezun oldu. 1990'da İTÜ FBE Elektrik Mühendisliği programında doktora çalışmalarını tamamladı. İTÜ EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda 1979-1980 arasında Müh., 1980-1991 arasında Y. Müh. olarak çalışan KALENDERLİ, 1991'den beri aynı bölümde Y. Doç. olarak görev yapmaktadır. KALENDERLİ, çalışmalarını ağırlıklı olarak yüksek gerilim tekniği konularında sürdürmektedir.