

ENERJİ İLETİM HATLARINDA YÜK BENZETİM YÖNTEMİ İLE ALAN HESABI

Nurettin UMURKAN* Hayri YILDIRIM** Özcan KALENDERLİ **

*Y.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Beşiktaş / İSTANBUL

** İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Gümüşsuyu / İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada elektriksel alan incelemelerinde kullanılan sayısal yöntemlerden biri olan Yük Benzetim Yöntemi tanımlanıp, bilgisayar destekli analize yönelik temel ba ntıları verilmiştir. Yöntemin yüksek gerilim enerji iletim hatlarına uygulanması ile ilgili olarak üç fazlı bir hat seçilmiş toprak seviyesinin bir metre üzerinde ve hat merkezinden çe itli uzaklıklarda yapılan elektriksel alan ölçüm de erleri ile Yük Benzetim Yöntemine göre geli tirilen bilgisayar algoritması yardımıyla yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen de erler kar ıla tırılmıştır. Yöntem, Türkiye' de kullanılmakta olan 380 kV' luk bir hatta uygulanarak, bu hattaki elektriksel alan iddeti de erleri hat merkezinden çe itli uzaklıklar için hesaplanmıştır.

1. GİRİŞ

Yüksek gerilim aygıtlarının en uygun tasarımlarının yapılabilmesi için elektriksel alan da ılımı hakkında tam bir bilgiye sahip olmak gerekir. Elektrik alan hesabı, yeterli sayıda sınır ko ulu ile Laplace ve Poisson denklemlerinin çözümünü gerektirir. Elektrot sisteminin geometrik eklinin basit oldu u problemlerde analitik çözüm bulmak genellikle mümkündür. Bununla beraber endüstriyel uygulamalarda bir çok durumda fiziksel sistemler öyle karma ık bir yapıya sahiptir ki, analitik çözümler bulmak zordur. Bu nedenle mühendislik uygulamalarında elektriksel alanların hesabında ço unlukla sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Mevcut sayısal yöntemler ise genellikle diferansiyel veya integral kavramlarına dayanmaktadır.

Elektriksel alan hesabında kullanılmakta olan sayısal yöntemleri u ekinde sıralayabiliriz: Sonlu Farklar Yöntemi, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Monte Carlo Yöntemi, Moment Yöntemi, Görüntü Yöntemi, Yük Benzetim Yöntemi (YBY) ve Yüzeysel Yük Benzetim Yöntemi. Bu yöntemlerden ayrıık yükler kavramına dayanan YBY, elektriksel alan hesabında etkin ve do ruluk oranı yüksek bir sayısal yöntem olarak ortaya çıkmış ve son yıllarda önemli geli meler kaydederek yüksek gerilim tekni inde birçok probleme ba arıyla uygulanmıştır /1-6/.

Yük Benzetim Yöntemi di er yöntemlerle beraber kullanılabilir. Örne in, Sonlu Farklar Yöntemi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile beraber kullanılmasına ili kin geli tirilen birle im yöntemlerine kaynak /2,3/ 'den bakılabilir. Bu kaynaklarda, birle im yöntemlerin her bir yöntemin avantajına sahip oldu u ve böylelikle açık uzayda çok yalıtkanlı sistemlere ve e risel geometri ile elektrotlara uygulanabilir oldu u belirtilmektedir.

2. YÜK BENZETİM YÖNTEMİ

Yük Benzetim Yöntemi ile elektriksel alan hesabının temel ilkesi, elektrodun yüklerle benzetilmesine dayanır. Burada elektrotların yüzeyine fiziksel olarak da ılım yüzeysel yükler yerine *ayrıık yükler* (noktasal, sonsuz çizgisel, sonlu çizgisel, halkasal vb.) yerleştirilir. Ayrıık yüklerin de erleri, sınır üzerinde seçilen belirli sayıda sınır noktasında sınır ko ullarının sa lanmasıyla belirlenir. Bu yüklerin olu turdu u potansiyeller incelenen bölge içinde Laplace ve Poisson denklemlerini

sa lamaktadır. Benzetim yüklerinin yerleri ve de erleri bilinirse, herhangi bir noktadaki potansiyel ve alan iddeti hesaplanabilir. Bu yöntemde yeterli do ruluk elde edilmesi, yük tipine, yük sayısına ve bu yüklerin uygun yerle tirilmesine ba lıdır /4/.

Noktasal, çizgesel, halkasal vb. benzetim yüklerinin herhangi bir noktada meydana getirdikleri potansiyel, süperpozisyon prensibi kullanılarak yüklerin olu turdu u potansiyellerin toplamından bulunabilir. Göz önüne alınan n tane yükten her birinin yükü q_j , bu yüklerin herhangi bir noktada olu turdukları potansiyel de V_i ile gösterilir ise, herhangi bir noktadaki potansiyel

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

ba ntısıyla bulunabilir. Burada p_{ij} , Laplace ve Poisson denklemlerinin özel çözümlerinin yapıldı ı bir çok yük tipi için bilinen potansiyel katsayılarıdır. n tane q_j yükünün varlı ı kabul edilirse, bilinmeyen yükleri denklem (1)'den bulmak için en az n tane bilinen potansiyele ihtiyaç vardır. Bunun için de, verilen elektrot ekline uygun olarak, iletkenlerin yüzeyinde n tane V_i potansiyelli nokta tanımlanır. Bu noktalara **sınır noktası** denir. Sınır noktalarının sayısı, benzetim yüklerinin sayısına e it seçilir.

Yüklerin tipi ve yerleri tanımlandıktan sonra herhangi bir sınır noktasında V_i ile q_j arasında matematiksel bir ba ntı kurmak mümkündür.

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

Bu ba ntılardan, Yük Benzetim Yönteminin temel ba ntısı olan denklem sistemi (2) elde edilir. Denklem sistemi bilinen sayısal yöntemlerden biri ile çözümlenerek yük de erleri elde edilir. Hesaplanan yük de erleri ile mevcut sınır ko ullarının sa lanıp sa lanmadı ı kontrol edilir. (2) denklemini elde etmek için gerçek elektrot

sisteminin n ayrı sınır noktasının kullanılmı oldu u dikkate alınır.

Ayrıca benzetimin do rulu unu kontrol etmek amacıyla potansiyeli bilinen ve elektrot sınırına yerle tirilmi birkaç kontrol noktasında potansiyeller hesaplanır. Hesaplanan kontrol noktası potansiyelleri ile verilen sınır noktası potansiyelleri arasındaki fark, benzetimin do rulu unun ve uygulanabilir olmasının bir ölçüsüdür.

Uygun bir yük sistemi belirlendikten sonra, ortamdaki potansiyeller ve alan iddetleri süperpozisyon uygulanarak hesaplanabilir. Herhangi bir noktadaki alan iddeti

$$\bar{E} = -\nabla V \quad (3)$$

ba ntısından

$$\bar{E}_i = \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial x} q_j \right] \bar{i}_x + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial y} q_j \right] \bar{i}_y + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial z} q_j \right] \bar{i}_z \quad (4)$$

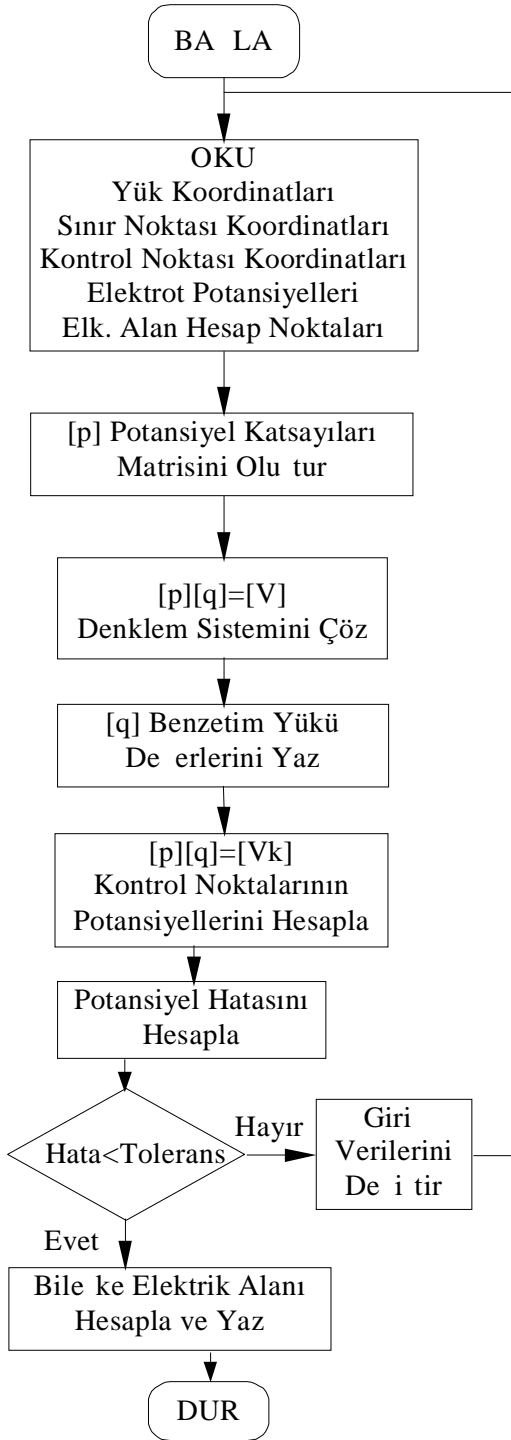
eklinde elde edilir. Burada i_x, i_y, i_z sırasıyla x, y, ve z yönündeki birim vektörlerdir.

(1), (2) ve (4) ba ntılarından yararlanılarak elde edilen bilgisayar algoritması ile sayısal hesaplamalar yapılır. Çalışmada da kullanılan böyle bir akı diyagramı ekil 1'de verilmi tir.

3. YÖNTEM N ENER LET M HATLARINA UYGULANMASI

Bu bölümde, enerji iletim hatları çevresindeki elektrik alan hesabı için Yük Benzetim Yöntemine dayanan ve akı diyagramı ekil 1 de gösterilen bir algoritma geli tirilmi tir.

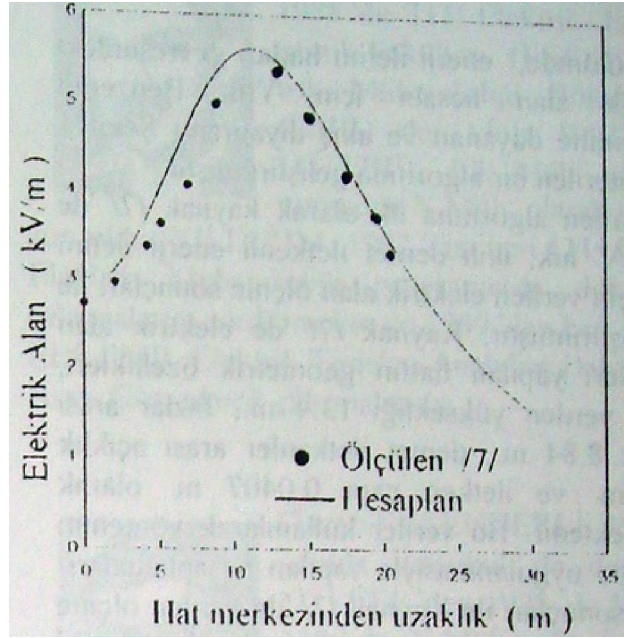
Geli tirilen algoritma ilk olarak kaynak /7/'de 525 kV' luk, ikili demet iletkenli enerji iletim hattı için verilen elektrik alan ölçme sonuçları ile kar ıla tırılmı tir. Kaynak /7/'de elektrik alan ölçmeleri yapılan hattın geometrik özellikleri, hattın yerden yüksekli i 13.4 m, fazlar arası açıklık 8.84 m, demet iletkenler arası açıklık 0.46 m ve iletken çapı 0.0407 m olarak verilmektedir. Bu veriler kullanılarak



ekil 1. Yük Benzetim Yöntemi ile alan ve potansiyel hesabı için akış diyagramı

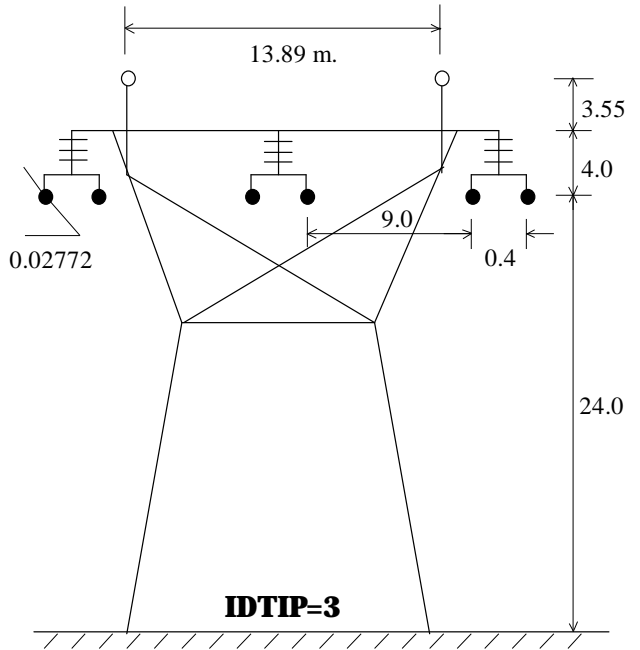
yöntemin bu hatta uygulanmasıyla yapılan hesaplamalarımızın sonuçları ile Kaynak /7/ de verilen ölçme değerleri ekil 2'de verilmiştir.

Görüldüğü gibi geliştirilen algoritma, ölçme değerleri ile uyumlu sonuçlar vermektedir.



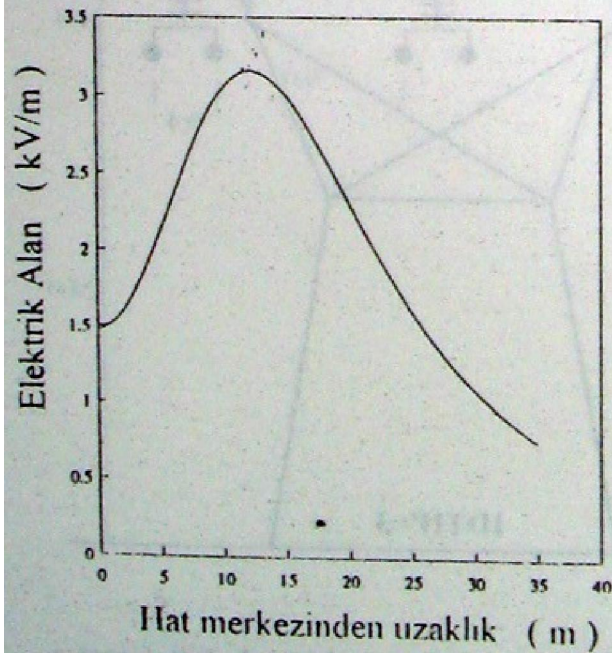
ekil 2. 525 kV'luk hattın toprak seviyesinin 1 metre üzerinde yapılan ölçümler /7/ ve geliştirilen algoritma ile hesaplanan sonuçlar

Algoritmanın geçerliliğini sınanmış ilk örnekten sonra yöntem ekil 3'te gösterilen ve Türkiye'de de kullanılan 380 kV'luk ikili demet iletkenli, tek devreli enerji iletim hattına uygulanmıştır.



ekil 3. Türkiyedeki 380 kV'luk ikili demet iletkenli enerji iletim hattı boyutları /8/. (ölçüler metre cinsindedir)

iletkenler ile toprak arası mesafenin 15 metre oldu u uzaklıkta ve toprak seviyesinde hat merkezinden çe itli uzaklıklarda elektriksel alan iddeti hesabı yapılmı tır. Hesap sonuçları ekil 4 'de gösterilmi tir.



ekil 4. ekil 3'teki enerji iletim hattı için elektriksel alan iddetinin hat merkezinden uzaklıkla de i imi

Hattın benzetimi için benzetim yükü olarak ayrıık yük tiplerinden sonsuz çizgisel yük tipi seçilmi tir. Hesaplamalarda sonsuz çizgisel yük tipi için,

$$p = (2\pi\epsilon)^{-1} \ln(r_0/r) \quad (4)$$

potansiyel katsayısı ba ıntısı kullanılmı tır. Hattın herbir iletkeninin eksenine birer sonsuz çizgisel yük yerle tirilmi , iletkenler üzerindeki potansiyelin belli olmasından yararlanılarak bu yüklerin de erleri hesaplanmı tır. Burada sınır noktalarının potansiyelleri kompleks olarak tanımlanmı ; bu durum, yüklerin kompleks de er olarak bulunmasını ve kullanılmasını gerektirmi tir.

4.SONUÇ

Bu çalı mada, Yük Benzetim Yönteminin tanıltıp açık sınırlı problem tipi olarak zorluk

gösteren iletim hatları çevresindeki elektriksel alan iddeti hesabına bir uygulama yapılmı tır. Geli tirilen algoritmada kompleks yük kavramı kullanılmı ve iki farklı enerji iletim hattı örne i için hesaplamalar yapılmı tır.

Yapılan hesapların geçerlili i, ölçme sonuçları ile kar ıla tırılarak gösterilmi ve algoritmanın bu tip problemler için uygunlu u saptanmı tır.

5. KAYNAKLAR

- /1/MALIK, N. H., *A Review of the Charge Simulation Method and its Application*, IEEE, EI- Vol. 24, pp. 3-20, Feb 1989.
- /2/ ABDEL-SALAM, M., EL-MOHANDES, M. T., *Combined Method Based on Finite Differences and Charge Simulation for Calculating Electric Fields*, IEEE, IA-Vol. 25, pp. 1060-1066, Nov 1989.
- /3/STEINBIGLER, H., HALLER, D., *Compative Analysis of Methods for Computing 2-D and 3-D Electric Fields*, IEEE, EI-Vol. 26, pp.529-536, June 1991.
- /4/YILDIRIM, H., *Elektrostatik Alanların Yük Benzetim Yöntemiyle ncelenmesi*, TÜ, Y. Lisans Tezi, Ocak 1992
- /5/ ABDEL-SALAM, M., EL-MOHANDES, M. T., *Electric Field around Paralel dc and Multi-phase ac Transmission Lines*, IEEE, EI-Vol.25, pp.1145-1152, Dec.1990.
- /6/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
- /7/BRACKEN, T.D., *Field Measurements and Calculations of Electrostatic Effects of Overhead Transmission Lines*, IEEE, PAS- Vol 95, pp.494-504, April 1976.
- /8/TÜRK YE ULUSAL ELEKTR K A INDA-K HAVA HATLARIN, GENERATÖR ve TRAFOLARIN ELEKTR K KARAKTE-R ST KLER , TEK letim ebekeleri letme Dairesi Ba kanlı ı, SA-83/1

Nurettin UMURKAN, 1964 yılında Tokat'ta do du. 1988'de Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisli i 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 çalı malarını sürdürmekte ve 1990'dan beri YTÜ Elektrik Mühendisli i Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda Ara tırma Görevlisi olarak çalı maktadır.

Hayri YILDIRIM, 1965 yılında skenderun'da do du. 1988'de TÜ Elektrik - Elektronik Fakültesi (EEF) Elektrik Mühendisli i Bölümü (EMB) den Müh., 1992'de TÜ FBE, Elk. Müh. programından Y.Müh. olarak mezun oldu. YILDIRIM, 1992'den beri TÜ FBE Elektrik Mühendisli i programında doktora çalı malarını sürdürmekte ve 1989'dan beri TÜ EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda Ara . Gör. olarak çalı maktadır.

Özcan KALENDERL , 1956 yılında stanbul'da do du. TÜ EEF'den 1978'de Müh, 1980 de Y.Müh. olarak mezun oldu. 1990'da TÜ FBE Elektrik Mühendisli i programında doktora çalı malarını tamamladı. TÜ EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda 1979-1980 arasında Müh., 1980-1991 arasında Y.Müh. olarak çalı an KALENDERL 1991 den beri aynı bölümde Y.Doç. olarak görev yapmaktadır. KALENDERL , çalı malarını a ırlıklı olarak yüksek gerilim tekni i konularında sürdürmektedir.