

ELEKTRİK ALANLARININ BİYOLOJİK ETKİLERİ

claude gary

UDK: 538.3:574.6

ÖZET

İlk olarak bir vücudun bir alana sokulmasıyla tahrik edilen fiziksel fenomen inceleniyor. Alan, yük ve akım değerleri arasındaki kuramsal ilişkiler verilerek, iletkenlik ve iyonların yer değiş-tirmesi inceleniyor. Kuram sayısal bir örnekle açıklanıyor. Bundan sonra elektrik alan etkisindeki bir insan problemi ele alınıyor. Değişik olası durumlara ilişkin sayısal değerler cetvel-lerle veriliyor. Bu bildiride kullanılan yöntem-lerin geçerliliği, sonuçlar diğer ülkelerde alı-nan sonuçlarla karşılaştırılarak kanıtlanıyor.

SUMMARY

The physcal phenomena provoked by a body immer-sed in a field is investigated first. Establish-ing the theoretical relationship between the values of the field, of the charge and of the current, the influence of the conductivity and the displacement of rons is examined. The theory is illustrated by a numerical example.

The problem of a man subject to an electric field is studied next. The numerical values correspon-ding to different possible cases are tabulated.

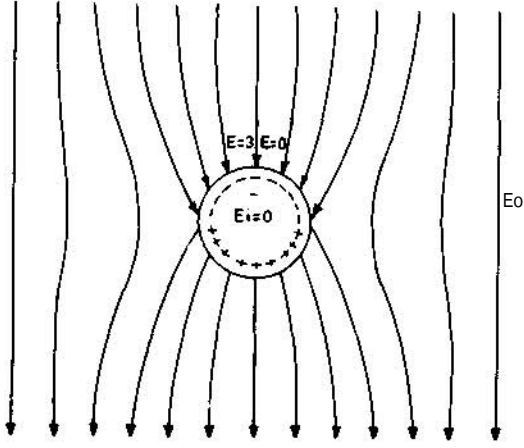
The validity of the methods used in the article is checked by comparing the measurement results made abroad with the ones here.

1. OLAYIN NİCELİKSEL TANIMI

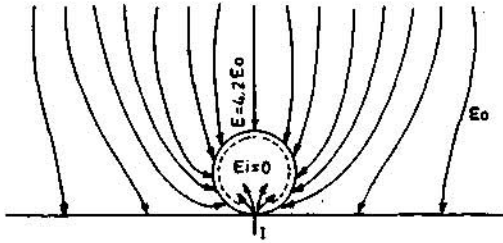
A. Bir İletkenin Faraday Etkisi:

Canlı bir organizmanın, geçici olarak, çok iyi bir iletken gibi düşünülebileceğini varsayalım. Gerçek iletkenliği gözönüne aldığımızda ortaya çıkacak olan düzeltmeleri daha sonra inceleyece-ğiz. Böyle bir iletkeni elektrik alanı içerisine koyduğumuzda endüksiyon sonucu iletkenin yüzeyin-de yük birikeceğini biliyoruz. İletken nötr ve çevresinden yalıtılmış durumda ise, artı yükler elektrik alanına ters yönde, eksi yükler de alan yönünde hareket edeceklerdir. İletken yüzeyi üze-rindeki toplam yük sıfırdır (Şekil 1). İletken toprağa dokunuyor durumda ise, yüzeydeki yükler-in hepsi aynı işaretli olup bunlar topraktan çe-kilirler (Şekil 2).

İletken elektrik alanı içerisine sokulurken, yük-ler de iletken yüzeyi üzerinde sonuçtaki dağılımı



Şekil 1. Düzgün bir alanın yalıtılmış iletken bir küre yakınında bozulan alan çizgileri.



Şekil 2. Düzgün bir alanın toprak düzlemi üzerine konmuş iletken bir küre yakınında bozulan alan çizgileri.

sağlayacak biçimde yer değiştirirler. Bunun sonucunda iletken içinde bir akım oluşur. Bu akım, uygulanan elektrik alanı duruk ise belli bir süre sonra durur ve iletkenin içerisindeki elektrik alanının sıfır olduğu denge durumuna gelir. Faraday kafesinin çalışma ilkesi bu fiziksel olguya dayanır.

Yüzeydeki yüklerin dağılımı, bu yüklerin oluşturduğu elektrik alan, dışardan uygulanan elektrik alanını iletken içerisinde tümüyle giderecek biçimde gerçekleşir. Böylece iletken içerisindeki toplam alan sıfır olur.

B. Bir Alışık Elektriksel Alan İçerisindeki İletkenin Durumu:

Alan yönünün sürekli değişimi iletken içerisindeki yüklerinde sürekli olarak ileri geri hareketine neden olur. Bu ileri geri hareket iletken içerisinde alışık bir akım oluşturur. İletken sonsuz büyüklükte bir iletkenliğe (*conductivity*) sahip değilse akım bir gerilim farkına yol açar. Bu gerilim farkı iletken içerisinde bir elektrik alanı bulunabilmesinin tek yoludur. Bu elektrik alanı iletkenin dışında uygulanan alanın yanında oldukça zayıftır.

Not: Bir iletken içerisinde ne tür yükler hareket ederler? Metal iletkenlerde hareketli yükler serbest elektronlardır (bu elektronların metal atomları ile olan bağları çok zayıftır). Elektronlar atomların oluşturduğu bir ağ içerisinde hareket ederler. Eksi yüklerin bulunduğu bölgede elektron fazlalığı, artı yüklerin olduğu bölgede de elektron eksikliği vardır.

Elektrolizde belli sayıda molekülün parçalanmasıyla sıvı içerisinde artı ve eksi iyonlar birlikte bulunurlar. Artı ve eksi iyonların yoğunlukları, hareketlilikleriyle (*mobility*) birlikte elektrolitin iletkenliğini tanımlar. Dışarıdan uygulanan elektrik alanının etkisiyle bu iki tip iyon birbirine ters yönde hareket ederler. Canlı dokuların iletkenliği de bu anlatılan mekanizmanın ışığında oluşur.

2. ALAN, YÜK ve AKIM ARASINDA KURAMSAL BAĞINTILAR

A. Dışardaki Alan ve Yüzey Yükü

Bir iletken elektrik alanı içerisine konduğunda, bu iletken çevresindeki özgün alan çizgilerinin dağılımı bozulur. Özellikle iletkenin dışbükey yüzleri varsa, alan çizgileri buralarda sıklaşır ve yüzeyin eğimi arttıkça alan yoğunluğu (şiddeti) de artar.

Düzgün bir E_0 alanı içerisindeki çevresinden yalıtılmış iletken bir küre için yüzey alanı $3E_0$ ya kadar çıkabilir. Küre toprağa değiyorsa bu değer $4,2 E_0$ 'y" bulur (Şekil 2).

Duruk elektrik yasalarına göre, yüzey alanı E (volt/metre) ile yüzey yük yoğunluğu p_s (Coulomb/metre²) arasındaki bağıntı

$$p_s = \epsilon_0 E \text{ dir. Burada } \epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ dir.} \quad (D)$$

B. Yüzey Yükü ve Akımı

Yüzeyin hemen yakınındaki dS gibi bir yüzey parçacığının taşıdığı yüzey yükü (p_s) ile aynı noktadaki akım yoğunluğu (J) arasında şu bağıntı vardır:

$$J dS = \frac{dp_s}{dt} dS$$

Açısal sıklığı ω ($\omega = 2\pi f$, enerji iletim hatları için $f = 50-60$ Hz) olan bir alışık alan için bu bağıntı aşağıdaki biçimi alır:

$$J = j\omega p_s \quad (2)$$

p_s yerine eşdeğeri konulursa;

$$J = j\omega \epsilon_0 E \quad (3)$$

elde edilir.

Not: (3) nolu bağıntıda $j = \sqrt{-1}$ teriminin bulunuşu J ile E arasında $\pi/2$ kadar bir evre farkı olduğunu göstermektedir.

Elektrik alanı içerisindeki bir iletkenin yüzeyindeki her noktada elektrik alanının değeri çeşitli

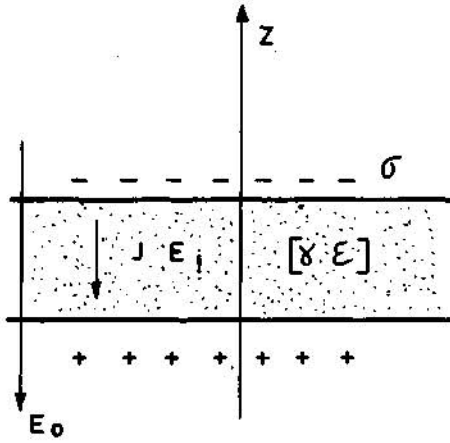
yöntemlerle bulunabilir. Bunlardan ikisi aşağıda incelenmektedir. Elektrik alanının iletken yüzeyi üzerindeki dağılımı bulduktan sonra (3) nolu bağıntı bize yüzeyin hemen yakınındaki akım yoğunluğu J 'yi verecektir. Böylelikle, yüzeyin bir S_1 parçasından geçen akım, akım yoğunluğunun bu yüzey üzerinde tümlevi (integrali) alınarak bulunur.

Özel olarak S toprağa dokunan bir iletkenin toplam yüzeyi ise (Şekil 2'de gösterilen kürenin yada toprak üzerinde duran bir adamın yüzeyi), toplam akım aşağıdaki tümlev bağıntısıyla ifade edilir:

$$I = j\omega\epsilon_0 \int E ds \quad (4)$$

C. Elektrik Alanı İçine Konulan Bir İletkenin Sonsuz Büyüklükte Olmayan İletkenliğinin Etkileri

İletkenliği sonsuz büyüklükte olmayan bir iletken zamanla değişen düzgün bir elektrik alanı içerisine konuluyor, α iletkenliği, ϵ da yalıtkanlık katsayısını gösterebilir. Kolaylık sağlanması için, iletken öge yüzleri birbirine paralel olan bir plaka, dışardan uygulanan elektrik alanının yönü de bu plakanın yüzlerine dik olarak seçilmiştir.



Şekil 3. E_0 elektrik alanı içerisine konulmuş bir ortamın, (0) iletkenliği ve (z) yalıtkanlık katsayısı ile içsel alan E_i ve akım yoğunluğu J üzerindeki etkisi.

E' bir yalıtkanlığa uygulanan elektrik alanı ise, yalıtkan içerisindeki gerçek elektrik alanının yeglinliği

$$E_i = \frac{E'}{\epsilon} \text{ dur.}$$

Yalıtkanın aynı zamanda bir iletkenliği (α) de varsa, alanın etkisi ile yükler hareket edecek ve plaka yüzeyinde bu yüzey yük yoğunluğu oluşacaktır. Bu yüzey yükü, değeri $-\rho_s/\epsilon_0$ olan ters yönde bir alan oluşturur. Bu durumda yalıtkanlığa uygulanan gerçek alan aşağıdaki biçimi alır:

$$E^1 = E_{\omega} - \frac{\rho_s}{\epsilon_0}$$

İletken ögenin elektrik alanı içerisindeki duru-

munu belirleyen bağıntıların tümü aşağıda sıralanmıştır:

$$\bullet \text{ içsel alan: } E^1 = \frac{1}{\epsilon} (E - \frac{\rho_s}{\epsilon_0}) \quad (5)$$

$$\bullet \text{ iletim (conduction) akım yoğunluğu: } J = \sigma E \quad (6)$$

$$\bullet J \text{ ile } \rho_g \text{ arasındaki bağıntı: } J = \frac{d\rho_s}{dt} \quad (7)$$

(5) nolu bağıntıdaki ρ_s yerine (6) ve (7) nolu bağıntılar kullanılarak eşdeğeri konulursa;

$$E_i = \frac{E}{\epsilon} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}} \quad (8)$$

elde edilir.

D. İçsel Elektrik Alan

(8) nolu bağıntıda, α ve E nun farklı uç değerleri için şu iki durum ayırıldı:

$\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0\epsilon} \ll 1$ ise, $E_i = \frac{E}{\epsilon}$ olur. Bu durum ϵ ile tanımlanan bir yalıtkanlığa karşılıktır.

$\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0\epsilon} \gg 1$ ise, $E^1 = \frac{j\omega\epsilon_0 E}{\sigma}$ yada (3) nolu bağıntı kullanılarak $E^1 = \frac{J}{\sigma}$ olur.

İkinci durumda öge iletkenliği α olan bir iletken durumundadır ve içsel elektrik alan ögeyi tanımlayan yalıtkanlık katsayısı ϵ 'a bağlı değildir. Bu yaklaşıklık, canlı dokularda görüldüğü kadar düşük iletkenlikler için de geçerlidir.

Kelvin etkisi üzerine not:

Bir iletken almaşık akım taşıyorsa, akımın iletkenin yüzeyinde toplanma eğilimi göstereceğini ve akım yoğunluğunun iletkenin yüzeyinde merkezinden daha büyük olacağını biliyoruz. Bu olay Kelvin etkisi yada deri etkisi olarak bilinir. Akımın iletkenin içine işleme kalınlığı (depth of penetration) şu bağıntı ile verilir:

$$P = 1/\sqrt{j\omega\sigma\epsilon_0}$$

Örneğin $\sigma = 1$ Siemens (canlı bir dokunun iletkenliği), $\epsilon_0 = 100$ ve $\omega = 4\pi \times 10^7$ değerleri için işleme kalınlığı 50 metre olarak bulunur. Buna göre endüstriyel akımı insan vücuduna tümüyle yayılacaktır.

E. İyonların Yer Değiştirme Genliği

Canlı organizmayı, içerisindeki elektriksel iletimin artı ve eksi iyonlarla sağlandığı bir elektrolit gibi düşünelim. Sıklığı 50 yada 60 Hz olan almaşık alan içinde, J akım yoğunluğunu oluşturan iyon yer değiştirmesi, denge durumu çevresindeki bir salınımdan başka birşey değildir.

Artı iyon yoğunluğunu n^+ , eksi iyon yoğunluğunu n^- ve bunlara karşı gelen iyon hareketliliklerini de u^+ ve u^- ile gösterebiliriz. v^+ ve v^- da artı ve eksi iyonların yer değiştirme genlikleri olsun. Bu durumda akım yoğunluğu J şu bağıntı ile ifade edilir:

$$J = n^+ v^+ + n^- v^- \quad (9)$$

Ayrıca iyonların hızları ile yerel elektrik alanın yeğinliği arasında şu bağıntılar vardır:

$$\begin{aligned} v^+ &= \mu^+ E_i \\ v^- &= \mu^- E_i \end{aligned} \quad (10)$$

Nötr bir elektrolitte $n^+ = n^-$ dir. $n^+ = n^- = n$ diyelim. Ayrıca $\mu^+ = \mu^- = \mu$ varsayalım. (9) ve (10) nolu bağıntılar (6) nolu bağıntı ile birlikte aşağıdaki sistemi oluştururlar:

$$\begin{aligned} J &= 2nv \\ v &= \mu E_i \\ J &= aE_i \end{aligned} \quad (11)$$

Yukarıdaki bağıntılardan bir elektrolitin iletkenliği ile iyonu belirleyen değişkenler arasında şu ilişki bulunur:

$$a = 2n\mu$$

tyon hızı ile yerel akım yoğunluğu arasındaki ilişki de

$$v = J \cdot \frac{\mu}{a} \quad (12)$$

bağıntısı ile belirlenir.

Sinuzoidal zaman değişimleri için, yer değiştirme genliği A ile yer değiştirme hızı v arasında aşağıdaki bağıntı geçerlidir:

$$A = \frac{v}{j\omega}$$

yada (12) nolu bağıntı kullanılarak $A = Jy/j\omega a \cdot \sqrt{2}$ dir (Akım yoğunluğu j'nin etkin değeri ile verildiğini varsayarak).

$J = j\omega \epsilon_0 E$ eşitliğini gözönüne alarak, iyonların iletken ögenin yüzeyi üzerindeki yer değiştirme genliği, dış yüzey alan yeğinliği E cinsinden şöyle ifade edilir:

$$A = \frac{y \epsilon_0 E}{\sigma} \sqrt{2} \quad (15)$$

F. Sayısal Uygulama

Önceki bölümlerde elde edilen kuramsal sonuçları basit bir duruma uygulayalım. Yeğinliği $E_0 = 100$ kV/m olan düzgün bir elektrik alanı içerisinde çevresi ile bağlantısı olmayan bir küre yerleştirilmiştir. Kürenin şaline çözeltisi (9 gram/litre'lik NaCl) ile dolu olduğu varsayılıyor. Bu çözeltinin elektriksel parametreleri

$$\epsilon = 80 \text{ ve } \sigma = 1 \text{ fS/m'dir.}$$

Bu çözeltinin $j\omega$ Hz'de yalıtkan yada iletken olarak mı davranacağını saptamak için D bölümünde verilen ölçütü kullanacağız.

$a/(j\omega \epsilon_0)$ yukarıdaki değerler için $4,5 \times 10^6$ ya eşittir. Bu sonuca göre çözelti iyi bir iletken olarak davranacaktır. Bu durum, değeri $1 \text{ CTST}^{-1} \text{m}^{-1}$ olan hiiletkenlik için dahi geçerlidir. Buna göre, 50 Hz sıklıklı elektrik alanları açıl-

sından bütün canlı dokular (kemikler bunun dışında kalabilir) sonsuz iletkenliğe sahip öğeler olarak düşünülebilir.

Şekil 1'deki durum için kürenin yüzeyindeki yerel alan yeğinliği, uygulanan alanın yeğinliğinin üç katına yani $E = 300$ kV/m'ye ulaşabilir. Bu durumda yerel akım yoğunluğu;

$$J = \mu \epsilon_0 E = 0,83 \text{ mA/m}^2,$$

yerel içsel elektrik alan yeğinliği de;

$$E_i = \frac{J}{\sigma} = 0,83 \text{ mV/m olur.}$$

Bu örnek için içsel alan yeğinliğinin, dışardan uygulanan alanın yeğinliğine oranı

$$\frac{E_i}{E_0} = 8 \times 10^{-9} \text{ dur.}$$

Bu sonuca göre içsel alan önemli bir yeğinlikteyse de, dışardan uygulanan alanın yanında çok zayıftır.

İyonların yer değiştirme genlikleri (hareketliliklerinin 10^{-6} ile 10^{-7} Vv's⁻¹ arasında değiştiği gözönüne alınarak):

$$A = \frac{\mu \epsilon_0 E \sqrt{2}}{\sigma} = 4,2 \times 10^{-11} \text{ m yada } 0,42 \text{ \AA}$$

olarak bulunur.

A'nın değeri iyonların buldukları yeri terkemeyeceklerini göstermektedir. Yalnızca, canlı hücre boyutları yanında oldukça küçük genliklerde salınım söz konusudur. Salınım genliği atomik çap düzeyindedir.

3. ELEKTRİK ALANI İÇERİSİNDEKİ BİR İNSAN DURUMU İÇİN SAYISAL DEĞERLER

A. Bazı Veriler

A.1. Bir yüksek gerilim hattının altındaki alan:

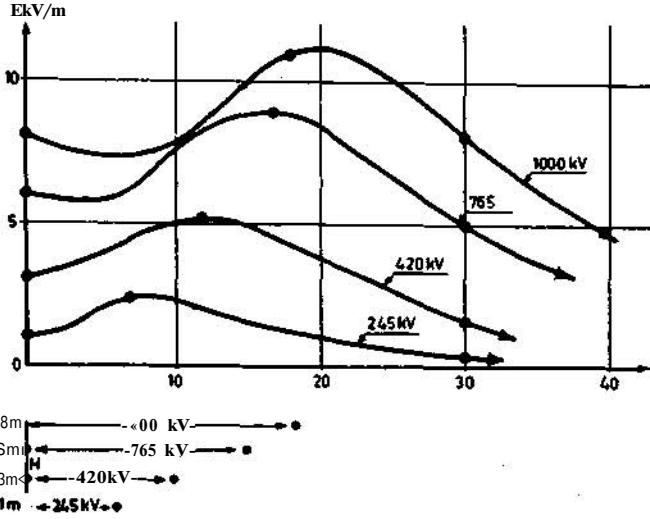
Şekil 4'de yatay olarak yerleştirilmiş gerilim hatlarının eksenlerine dik doğrultudaki elektrik alanının dağılımı, değişik gerilim değerleri için gösterilmektedir. Hatların simetri eksenine göre konumları ve yerden yükseklikleri de aynı şekilde belirtilmiştir.

Her ne kadar alanın yeğinliği toprak düzeyinde hesaplanıyorsa da, yerden 3 metre yüksekliğe dek alanın düzgün kaldığı gösterilebilir. Buna göre hattın altındaki bir insanın düzgün bir elektrik alanı içerisinde olduğu varsayılabilir.

Elektrik alanının yeğinliği en büyük değerini hattın hemen altında değil, fakat dış iletkenlerin biraz açığında alır. Bu en büyük değer, hattın gerilimi U ise ve kV olarak ölçülüyorsa (alan yeğinliğide kV/m olarak), yaklaşık olarak $U/100$ dür.

Bu incelemede elektrik alanının dağılımı duruk elektrik yöntemleri kullanılarak ve kuramsal bir zorlukla karşılaşılmadan bulundu. Yinede yapılan hesaplamalar küçük bir bilgisayar kullanımını gerektirecek kadar karmaşıktı.

Şekil 5'de hatların elektrik ve magnetik alanlarının yeğinliklerinin kabaca bulunmasını sağlayan

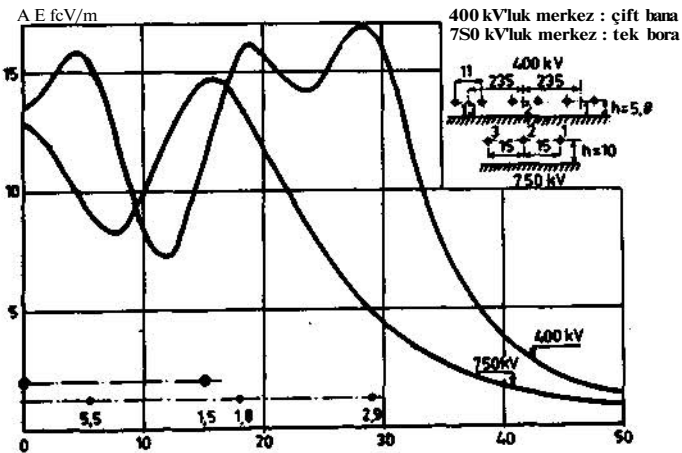


Şekil 4. Yatay yüksek gerilim hatları altındaki elektrik alanının dağılımı. Yatay eksen hattın ekseninden alan uzaklığı (metre) göstermektedir.

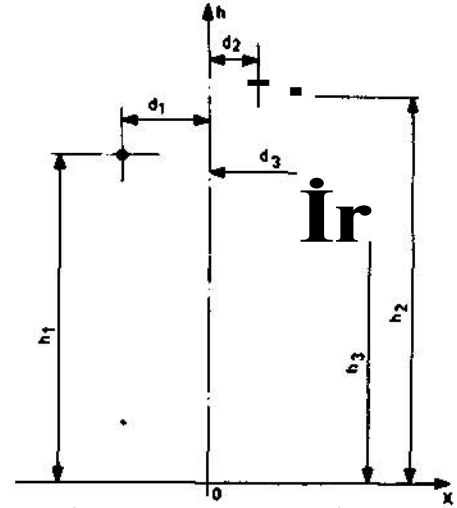
yaklaşık (Z 10-20 hata ile) bağıntılar verilmektedir.

A.2. Bir istasyonun haraları altındaki alan:

Yukarıdaki durum için uygulanan hesaplama yöntemi Şekil 6'da görülen 400 kV'luk çift baralar ve 750 kV'luk tek baralar altındaki alanın dağılımını bulmakta da kullanıldı. Her iki durumda da alan yeğninliğinin en büyük değerleri birbirine yakındı. Bunun nedeni, 750 kV'luk hatların yerden 10 m yükseğe konmasına karşılık, 400 kV'luk hatların yerden 6 m yüksekte kurulmuş olmasıdır. Yüksekliklerdeki bu fark alan yeğninliklerinin en büyük değerleri arasındaki farkı gidermektedir. Seçilen geometri için, 750 kV'luk bara altında 14,5 kV/m olan en büyük yeğnilik, 400 kV'luk bara altında 17 kV/m dir.



Şekil 6. Sarıların oluşturduğu elektrik alanı. Yatay eksen: haraların ekseninden olan uzaklık (m).

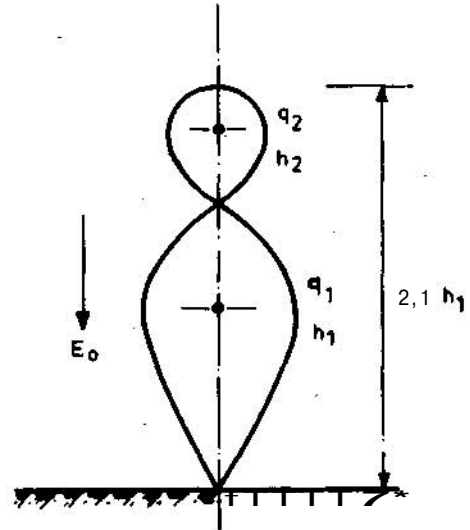


Şekil 5. Hatların elektrik ve magnetik alanlarını bulmada kullanılan yaklaşık bağıntılar.

B. Baralar Yada Bir Hat Altında Duran Adam Durumu

B.1. Yaklaşık çözüm:

Daha önce, baralar yada hat iletkenleri yerden yeterli yüksekliğe yerleştirilirlerse, toprak düzeyinde bir insanın kapsıyacağı bölge içinde elektrik alanının düzgün varsayılabilceğini görmüştük. Bu varsayımla her ne kadar elektrodların bulunuşunun etkilerini gözönüne almayorsakta aşağıdaki hesaplamalarda bu nokta dikkate alınmaktadır. Düzgün ve düşey doğrultudaki elektrik alanı E_0 olsun. Alan yeğninliği vektörü, yatay iletken düzlemine ($x'ox$) diktir (Şekil 7). Oy düşey ekseninde $y = h_1$ noktasında bir q_1 yükü ve $y = h_2 = 2h_1$ noktasında da bir q_2 yükü bulunmaktadır. q_1 ve q_2 yükleri için



Şekil 7. E_0 alanı içerisindeki bir iletkende endüklenen yükler.

$$q_1 = 2\pi\epsilon_0 \cdot \frac{8}{9} E_0 h_1^2, \quad q_2 = 2\pi\epsilon_0 \cdot \frac{4}{9} E_0 h_2^2$$

değerleri alınır, $V=0$ eşitliği ile belirlenen eş gerilim yüzeyi Şekil 7'de gösterildiği gibidir. Bu şeklin insan vücudunun yapısına benzerliği açıktır. Yukarı kısım başı, aşağı kısım da vücudun geri kalanını benzeştirmektedir.

$h_1 = 0,80$ metre alalım. Bir insan boyu da yaklaşık 1,75 metre kabul edilsin. Bu durumda, q_1 ve q_2 yüklerinin vücudun ve başın yüzeyleri üzerinde toplanan yüklere eşit olduğu gözönüne alınarak, sinüzoidal zaman değişimleri için, akımlar aşağıdaki gibidir:

$$\text{ayaktan giren toplam akım} : I_1 = O(q_1 + q_2)$$

$$\text{baş akımı (enseden giren)} : I_2 = \omega q_2$$

Bu yöntemin şimdi sayısal bir uygulamasını yapalım:

Dışardan Uygulanan Alanın Yeğinliği (kV/m)	Baş Akımı (uA)	Toplam Akım (iA)
1	5	15
10	50	150

Yukarıdaki çizelgeyi kullanarak yüzey alanının en büyük değerini, örneğin başın en üst kısmındaki alanı bulmak olanaklıdır. Hesaplama $E = 16 E_0$ değerini verir. 50 Hz'de akım yoğunluğu da $J = 0,44 \text{ mA/m}^2$ dir.

Alan Yeğinliği (kV/m)	Baş Akımı (uA)	Toplam Akım (uA)	ölçme Sonucu (pA)
12	60	180	160
17	85	260	220

B.2. Tam çözüm:

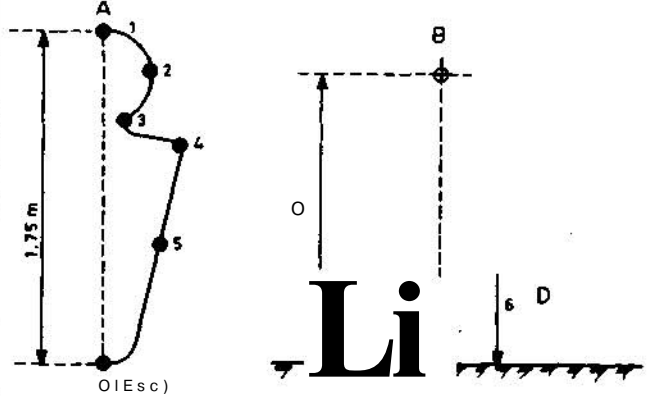
Alan içerisindeki ögenin gerçek biçimini hesaplamalara sokmak bilgisayar kullanımını gerektirir. H.Singer ve diğerleri [1] hazırladıkları bilgisayar programında elektriksel görüntü yöntemini kullanmışlardır. Yaklaşık çözümde görüntü yük sayısı iki iken, Singer'in yönteminde bu sayı daha büyüktür. Görüntü yük sayısının artması hesaplamayı daha hassas yapar. Ancak alınan görüntü yük sayısı kadar doğrusal eşitlik çözmek gerektiğinden bilgisayar kullanımı kaçınılmazdır (Duruma göre 100 yada daha fazla sayıda doğrusal eşitlik çözmek gerekmektedir).

Bu yöntem hat altında ve toprak üzerinde duran bir adam durumu için uygulandı. Şekil 8'de hat altındaki adam, vücudunun kesiti ile birlikte gösterilmiştir. 6 nolu nokta özgün elektrik alanı E_0 'yu, 1'den 5'e kadar numaralanmış noktalar da vücudun çeşitli önemli yerlerindeki yüzey alanını tanımlamaktadır. Başın en üst ucu için alan çarpım katsayısı 13,5 dur (yani buradaki yüzey alanının yeğinliği özgün elektrik alan yeğinliğinin

13,5 katıdır). Vücudun herhangi bir noktasındaki yüzey alan yeğinliği (E) bilirse yerel akım yoğunluğu $J = j(\omega \epsilon_0 E)$ bağıntısından bulunur. Vücudun herhangi bir bölgesinden giren toplam akım da, akım yoğunluğunun bu bölge üzerinde tümlevi alınıp bulunur. Bu hesaplama ile sonuçlar Şekil 8, Çizelge 2'de gösterilmiştir.

C. Hat İletkeni Yakınında ve Bu İletkenle Aynı Gerilimde Olan Adam Durumu

Yukarıda anlatılan hesaplama yöntemi, hat yakınında çalışan ve bu hattın geriliminde bulunan bir



Şekil 8. Toprak düzeyinde ve hat altındaki adamın elektriksel koşulları.

- A = hesaplama için seçilen profil
- B = hat iletkeninin yarıçapı r
- C = 12-18 metre
- D = özgün elektrik alan E_0

Nokta	1	2	3	4	5	6
225 kV (r=1,5 cm)	32,8	21,5	5,6	17,2	5,8	2,5
400 kV (r=7 cm)	76,0	51,9	12,4	39,6	13,4	5,5
750 kV (r=20 cm)	135	94,1	22,5	72,0	24,4	10,0
1000 kV (r=26 cm)	173	118	28,2	90,0	30,4	12,5

Çizelge 1. kV/m cinsinden alan yeğinliği.

l	Baş Akımı	Vücut Akımı	Toplam Akım
225 kV'luk hat	11,3	23,6	34,9
400 kV'luk hat	25,6	54,4	80,0
750 kV'luk hat	46,5	98,9	145
1000 kV'luk hat	58,2	124	182

Çizelge 2. Endüklenen akım (iA olarak).

Alan çarpım katsayısı :

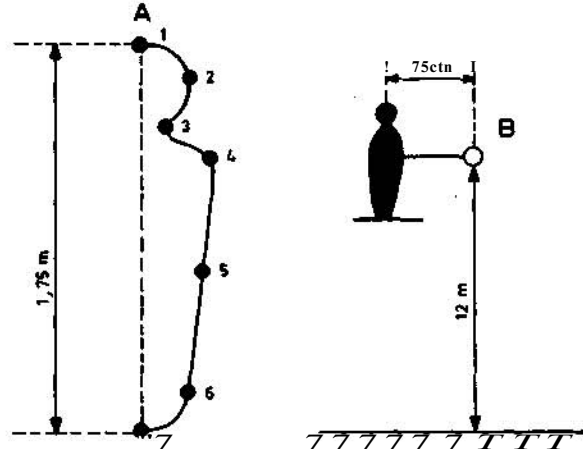
$$\frac{\text{başdaki alan yeğinliği}}{\text{özgün alan yeğinliği}} = 13,5$$

adamın içinde bulunduğu elektriksel koşulları belirlemede de kullanıldı. Bu hesaplama için Şekil 9'daki durum gözönüne alındı. 1 nolu çizelgede vücudun çeşitli yerlerindeki yüzey alan yoğunlukları, 2 nolu çizelgede de vücuda giren akım, ense yoluyla başa giren akım ve hattan çekilen toplam akım değerleri verilmektedir. Değerler bu özel çalışma koşullarında akımın hat gerilimi 220 kV'u aştıktan sonra hissedilir olduğunu göstermektedir. Akım hissedilir olsa da 1000 kV'a kadar öldürücü büyüklüğe ulaşmamaktadır.

Böyle çalışmada kazaları önlemek için hat iletkenine bağlı bir ekran kullanılmalıdır. Bir iletken önlük de koruma işi görebilir. Başı korumak için de iletken bir miğfer bu önlüğe ilaştırılır.

4. DIŞARDA YAPILAN ÖLÇMELERLE KARŞILAŞTIRMA - SONUÇ

Dışarda, üzerinde en fazla sayıda ölçme yapılan durum, bir hattın altında ve toprak üzerindeki



Şekil 9. Hat geriliminde çalışan adamın elektriksel koşulları.

A = hesaplama için seçilen profil
B = hat iletkeninin yarıçapı

Nokta	1	2	3	4	5	6	7
220 kV'luk hat (r = 1,5 cm)	630	480	600	440	220	390	580
400 kV'luk hat (r = 7 cm)	930	700	1200	620	320	590	880
750 kV'luk hat (r = 20 cm)	1200	900	1700	680	350	880	1200
1000 kV'luk hat (r = 26 cm)	1700	1300	2500	980	460	1200	1700

Çizelge 1. kV/m cinsinden alan yoğunluğu.

i	Baş Akımı	Vücut Akımı	Toplam (kolda)
220 kV luk hat	175	980	1155 (1,15 mA)
400 kV luk hat	320	1500	1820 (1,8 mA)
750 kV luk hat	500	2200	2700 (2,7 mA)
1000 kV'luk hat	700	3200	3900 (3,9 mA)

Çizelge 2. Endüklenen akım (mA):

adam durumuydu. Bizim 'yaklaşık' ve 'tam' olarak ayırdığımız iki çözüm yöntemi ile bulunan vücut akımları (ayaktan giren) Fillipov'un [2] ölçtükları ile aşağıdaki çizelgede karşılaştırılmaktadır.

Toprak üzerindeki Alan Yoğunluğu (kV/m)	Yaklaşık Çözüm	Akım (yA)	
		Tam Çözüm	Ölçme
12	180	175	160
17	260	247	220

Bu sonuçlar ayrıca Schneider, Weck ve diğerlerinin [3] yayınladıkları ölçme sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır. Bu araştırmacılar alanın etkisinde kalan bir kişi üzerinde yaptıkları ölçmelerde vücuda giren toplam akımın hat gerilimindeki her kV/m için 14 yA olduğunu gösterdiler. Baştan giren toplam akım bunun üçte biri yani 5 yA kadardı. Yaklaşık çözüm 15 yA ve 5 yA, tam çözüm de 14,5 yA ve 4,65 yA değerlerini vermektedir. Bu araştırmacılar aynı zamanda başın en üst noktasındaki akım yoğunluğunun her kV/m için 0,48 mA/m² olduğunu da gösterdiler. Akım yoğunluğu için yaklaşık çözüm 0,44 mA/m², tam çözüm 0,37 mA/m² değerlerini veriyordu.

Bütün olarak bakıldığında, dışarda yayınlanan çeşitli ölçme değerleri ile bizce yapılan hesaplamaların sonuçları arasında iyi bir uyum görülmektedir. Elektriksel görüntü yöntemi basit olmakla birlikte verdiği sonuçlar bakımından oldukça yeterli sayılabilir. Burada gerekli olan özgün elektrik alanının insan vücudunun bulunduğu bölgede düzgün olarak dağıldığını varsayabilmektir. Bu varsayımda hatların topraktan yüksekliği 3 metreyi, baraların yerden yüksekliği de 2 metreyi geçmiyorsa geçerlilik kazanmaktadır.

Bu yazıda varılan sonuç, hesaplamaların doğrudan yapılan ölçmelerle yeterli derecede çakışıyor olmasıdır. Bu da, özellikle cismi çevreleyen özgün alan ile yüzey yükleri ve vücutta oluşan akımlar arasındaki ilişkiyi belirleyen elektriksel olayın doğru anlaşılması olduğunu gösterir.

KAYNAKLAR

- [1] Singer, H., H.Steinbigler ve P.fleiss, "A charge simulation method for the calculation of high voltage fields." T 74085-7, IEEE Winter meeting, Ocak 1974.
- [2] Fillipov, V., "Action des champs électriques alterriatifs sur l'homme et mesures. de protection." (2° Colloque international pour la prévention des risques professionnels dus à l'électricite - Cologne, Aralık 1972).
- [3] Schneider, K.H., H.Studinger, K.H.Weck, H.Steinbigler, D.Utmischi ve J.füesinger, "Courants de déplacement vers le corps humain causés par le champ diélectrique sous les lignes de transport d'énergie." CIGRE, Oturum 1974, Rapor 3604.