

# ENERJİLİ HAT ÇALIŞMASINDA ELEKTRİK ALANLARININ ÖLÇÜMÜ VE VÜCUT AKIMLARI

derleyen:  
haluk tosun  
güneş ertuğrul

UDK: 621.317.328:621.315.1:62 8.518

## ÖZET

*Enerji taşıyan iletim hatlarında, alışlagelen sıcak çubuk ve çıplak el yöntemleri ile çalışan, hat işçilerinin vücutlarında 60 Hz'lik elektrik alanlarının doğurduğu elektrik akımlarının incelenmesinde kullanılan, çeşitli aygıtlar tanıtılmaktadır. Bu aygıtlar arasında 1) hat işçisinin vücudunun değişik bölümlerinde etkili olan elektrik alanlarının yoğunluklarını ölçmekte kullanılan gradyenmetre, 2) toplam vücut akımının, bütün vücut üzerindeki birim alanları üzerine düşen elektrik alanının oluşturduğu aynı alan üzerindeki yüklem akımının toplamına eşit olduğunu göstermek için kullanılan "yirmiyüzlü", 3) bir elektrik alanına yerleştirilmiş izoleli geçirgen nesnenin içinden akacak elektrik akımının büyüklüğünü ölçmekte kullanılan dipol, yer almaktadır.*

*Bu aygıtların her biriyle yapılan tipik ölçümler eklenmiş, vücut akım ölçümlerinden bazıları çizelge halinde verilmiştir.*

## SUMMARY

*Several devices are described that have been used recently in studying electric currents induced by 60-Hz electric fields in the bodies of linemen working on energized power lines using both the conventional hot stick method and the barehand method. These devices include: 1) the gradient meter, used to measure the intensity of electric fields impinging on different areas of the lineman's body, 2) the icosahedron, used to demonstrate that total body current is the summation of unit area charging currents resulting from the electric field impinging on unit areas over the entire body, and 3) the dipole, used to measure the magnitude of electric currents flowing in an isolated conducting body located in an electric field. Typical measurements obtained with each of these devices are included. Also several body current measurement results are tabulated.*

## GİRİŞ

Elektrik enerjisi kullanımının gün geçtikçe artması, daha fazla güç taşıyabilecek, daha yüksek gerilimli iletim hatlarına gereksinim doğurdu. İletimin sürekliliği bu yüksek gerilim hatlarının kesintisiz çalışması ile olanaklıdır. Bu nedenle hatlar enerjiyi ve güç iletir durumdayken bakımlarını yapmak gerekir.

Güç iletim hatlarının enerjili durumdayken bakımı Amerika Birleşik Devletleri'nde uzun yıllardan beri yapılmaktadır. Hat bakımında halen iki genel yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan 'alışılmalı gelen yöntem' olarak bilinen işçi yaklaşık olarak toprak gerilimindedir ve enerjili hat üzerinde uygun hat aletleriyle yada 'sıcak-çubuk'larla çalışır. 1960'lardan bu yana kullanılmakta olan yeni yöntem 'çıplak-el' yöntemi olarak bilinir; bunda işçi hat ile aynı gerilimdedir ve bağlı olduğu enerjili iletken üzerinde çalışırken çıplak elle sıradan bakım aletlerini kullanabilir.

Enerji taşıyan hatların yakınında, her iletkeni çevreleyen bir elektrik alanı oluşur. Hat işçisi alışılmalı gelen yöntem yada çıplak-el yöntemiyle hatta çalışırken bu elektrik alanının içerisinde yer alır. Bunun sonucunda elektrik alanının yeğlinliğine bağlı olarak, vücudun çeşitli bölgelerinde değişik büyüklüklerde akımlar oluşur. Bu yazıda, elektrik alanı içinde çalışan hat işçilerinin üzerinde yapılan kapsamlı bir incelemenin bir bölümü yer almaktadır. İncelemenin diğer yönleri ilgili makalelerde [1, 2, 3, 4] bulunabilir.

İşçinin ve çalışma aletlerinin alan içinde bulunması alanın dağılımını geniş ölçüde değiştirir. Bu nedenle, herhangi bir çalışma konumunda elektrik alan yeğlinliğinin hesaplanması pratik olarak geçerli bir çözüm değildir. Üstelik çıplak-el yöntemiyle enerjili hat üzerinde çalışan işçiyi hatların çevresindeki kuvvetli elektrik alanının etkilerinden korumak için iletken ekranlar kullanılır. Ekranın varlığı hesaplamaları daha da güçleştirir ve işçinin vücudunun çeşitli yerlerini etkileyen alan yeğlinliğini hesaplayarak bulmak olanaksızlaşır. Bu nedenle vücut akımlarının bulunmasında, elektrik alanının yeğlinliğini ölçmek için basit bazı yöntemler kullanmak gereklidir.

Bu araştırma için bir alan yeğlinliği ölçüm aleti yada gradyen metre yapıldı. Gradyen metre ile ilk incelemeler gerçekleştirildikten sonra, elektrik alanının içindeki katı, iletken bir cisimden geçen toplam akımı bulmak için ikinci bir alet, 'yirmiyüzlü', geliştirildi. Son olarak, elektrik alanı içine konulan bir iletkenin içerisinde oluşan akımları incelemek amacıyla 'dipol' tasarımı yapıldı. Bu yazının amacı bu üç aleti ayrıntılı olarak tanıtmak, elektrik alan ölçümlerinde nasıl kullanıldıklarını göstermek ve vücut akımları üzerine yapılan gözlemlerin sonuçlarını sıralamaktır. Bu iletkenlerle elde edilen bazı sonuçların kritik bir çözümlemesi ilgili bir başka yazıda ele alınmaktadır [1].

## GRADYEN METRE

Ana ilke:

Gradyen metrenin ana ilkesi Şekil 1'de açıklanmaktadır. Proben merkez elektrodu üzerinde sonlanan 60 Hz'lik elektriksel akı, ortak eksenli kablunun iç iletkeni boyunca akan bir yüklemeye akımına (I<sub>1</sub>) dönüşür ve alması akım mikroampermetresine gelir. Akım buradan aletin ekranına ve aleti tutan işçinin ellerine geçer. Merkez elektrodunu çevreleyen koruyucu elektrodun ve aletin koruyucu elektroda bağlı açığındaki diğer metal kısımlarının üzerine düşen tüm elektriksel akı da I<sub>2</sub> yüklemeye akımı olarak işçinin ellerine kadar gelir, ancak bu akım mikroampermetreden geçmez. Buna göre, mikroampermetreden geçen I<sub>1</sub> yüklemeye akımı, probun merkez elektrodu üzerine etkiyen elektrik alan yeğlinliğinin doğrudan bir ölçüsüdür.

Merkez elektrodunun boyutları uygun biçimde seçilerek, 1 kV/inch'lik alan yeğlinliğine karşı ampermetreden 1 pA'lik akım geçmesi sağlanabilir. Böyle bir aletle alan yeğlinliğini doğrudan kV/inch cinsinden okumak olanaklıdır (alet mikroamper gösterecek biçimde ayarlandığında).

### Modelleme:

Merkez elektrodunun çapı, onu, elektrodları arasındaki uzaklık 1 inch olan bir 'paralel levha sığaç'ının bir parçası gibi düşünerek hesaplanır. Bu hesaplama da saçak akısının gözönüne alınması gerekmektedir, çünkü koruyucu elektrodun kullanımı ile merkez elektrodundaki akı saçaklanması hemen hemen tümüyle önlenmiştir.

60 Hz'de 1 kV'luk gerilim için 1 pA'lik yüklemeye akımı 10<sup>9</sup> Ohm'luk bir sığasal reaktansa karşılık gelir. Bu reaktans değeri için sığa

$$C = \frac{1}{377 \times 10^9} = \frac{1/10^9}{377} = 2,652 \times 10^{-12} \text{ farad'dır.}$$

Paralel levhali sığaç için sığayı veren bağıntı

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} = \epsilon \cdot f^2 A \text{ pF'dir.} \quad (2)$$

(bu bağıntıdaki boyutlar inch cinsindedir)

(2) nolu bağıntıdan:

$$A = \frac{C \cdot d}{\epsilon} = \frac{2,652 \times 10^{-12} \cdot 1}{0,2244} \text{ in}^2 \quad (3)$$

bulunur.

C = 2,652 pF ve d = 1 inch için:

$$A = \frac{2,652 \times 10^{-12}}{0,2244} = 1,182 \times 10^{-11} \text{ in}^2 \quad (4)$$

elde edilir.

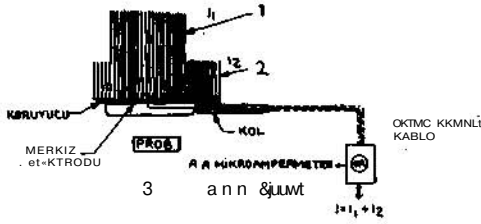
Çembersel bir elektrod için çap;

$$D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{1,182 \times 10^{-11}}{3,1416}} = 3,88 \text{ inch'dir.} \quad (5)$$

Şematik olarak Şekil 1'de ve resim olarak da Şekil 2'de görülen gradyen metrenin kalınlığı çok az olup, kolu probun kenarından dışarı çıkar. Probu bu fiziksel yapısı, doğrudan aletin arkasını hat işçisinin vücudunun alan yeğinliğinin ölçüleceği çeşitli bölgelerine dayayarak, ölçümün yapılmasını sağlar.

Ayarlama:

Gradyen metrenin duyarlılığını saptamak için, Şekil 3'de şematik olarak gösterilen ayarlama yapılıdır. 24 inch çapında bir YG elektrodu probun merkez elektrodunun 1,2 yada 4 inch üzerine yerleştirilir. Probu koruyucu elektrodunun çapı, merkez elektrodu üzerinde (ayarlama sırasında ve özellikle de elektrodlar arasındaki uzaklığın bü-



Şekil 1. Gradyen metrenin ilkesi.

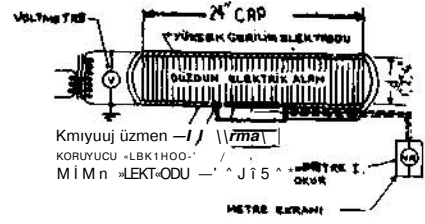
- 1) Merkez elektrodu üzerinde sonlanan elektriksel akı mikroampermetreden  $I_1$  yüklemeye akımı olarak geçer.
- 2) Koruyucu elektrot ve kol üzerinde sonlanan elektriksel akı mikroampermetreden geçmeyen bir  $I_2$  yüklemeye akımı meydana getirir.
- 3) Toplam yüklemeye akımı  $I$ , gradyen metreyi tutan hat işçisinin ellerine akar.



Şekil 2. Hat işçisinin vücudu üzerindeki elektrik alan yeğinliğini ölçen gradyen metre.

yük değerleri için) düzgün bir elektrik alan elde edilmek üzere genişletilir.

Elektrodlar arası uzaklığın her değeri için, test gerilimi (V) ve buna karşılık gelen akımın ( $I_1$ )



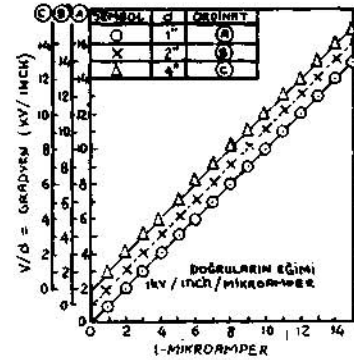
Şekil 3. Gradyen metrenin ayarlanması için düzenek.

değerleri okunur ve kaydedilir. Bu testlerin sonuçları Şekil 4'de çizilmiştir. Elektrodlar arası uzaklığın her değeri için elektrik gradyeni test gerilimini  $d$  uzaklığına bölerek bulunur. Bu hesaplama, birbirine koşut plakalı bir sığacın saçaklarına etkilerinin olmayacağı orta bölümlerinde elektrik alan dağılımı düzgün olduğu için geçerlidir.

Şekil 4'de gösterildiği gibi, mikroamper cinsinden akım değeri, kV/inch cinsinden ilgili gradyen değeriyle sayısal olarak uyuşur ve gerilimle olan değişim de doğrusaldır. Ayrıca aletin gösterdiği gradyen değeri ile plakalar arasındaki açıklığın çeşitli değerleri için hesaplanan gradyen değerleride çakışmaktadır. Bu sonuçlar, gradyen metrenin, merkez elektrodu üzerindeki elektrik alanının yeğinliğini doğru ölçebildiğini göstermektedir.

#### Uygulama:

Gradyen metre, çeşitli gerilim hatlarında, hem alışlagelen sıcak-çubuk, hem de daha yeni çıplak-el yöntemleriyle çalışan ve elektrik alan içerisinde çeşitli çalışma konumlarında yer alan işçilerin vücut akımlarının incelenmesinde kullanılmıştır. Çeşitli durumlar için elde edilen alan yeğinliği değerlerinin birbiriyle karşılaştırılabilir nitelikte olması ve yapılan testlerin böy-



Şekil 4. Gradyen metrenin Şekil 3'deki yöntemle ayarlanması.

lelikle birbiçimliliğinin sağlanması için gradyen ölçmeleri vücut üzerinde seçilen birbirinden farklı 11 bölgede yapılır. Her gradyen ölçümünde işçi, probun arkasını vücuduna dayamakta ve probun bu konumu için aletin gösterdiği değer okunmaktadır.

Gradyen metrenin uygulanmasına bir örnek olarak, Çizelge 1'de bazı gradyen ölçüm sonuçları verilmektedir. Bu ölçmeler çelik bir kulenin ortadaki çapraz kolu üzerine dayalı tahta bir merdivenin en alt basamağında duran bir işçi tarafından yapılmıştır. İşçinin sağında ve kendisinden yaklaşık 10 feet uzaklıkta 345 kV'luk (fazdan faza) bir enerji hattı vardır.

Bu testin ve daha birçok başka testlerin sonuçları Kouvenhoven tarafından yayımlanmıştır [2]. Kouvenhoven makalesinde test sonuçlarını akım yoğunluğu ( $\mu A/inch^2$ ) değerleri olarak vermektedir. Bu değerler, Çizelge 1'de gösterilen gradyen değerlerini, gradyen metre probunun merkez elektrodunun  $inch^2$  cinsinden alanı olan 11,82 ye bölerek elde edilmiştir.

Probu Yeri	Gradyen, kV/inch olarak	
	İşçi Kuleden Yalıtılmışken	İşçi Kuleye Bağlıyken
Başın tepesi	2,0	3,0
<u>Göğsün</u>		
önü	0	1,0
Solu	0	0,3
Arkası	0	2,0
Sağı	2,0	5,0
<u>Dizin</u>		
önü	1,0	2,5
Solu	0	1,0
Arkası	0	3,2
Sağı	2,0	5,0
Ayakların tabanı	0	0,5
Kasık	0	0,3

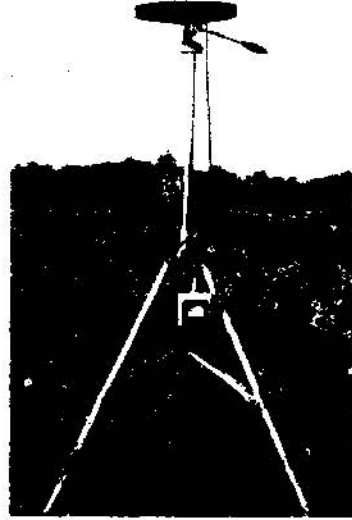
Çizelge 1.

üat işçisinin vücudu üzerindeki gradyen ölçümleri. ölçmeyi yapan kişi çelik bir kulenin ortadaki çapraz kolunun üzerine dayalı tahta bir merdivenin en alt basamağında durmaktadır ve sağında, yaklaşık 10 feet uzaklıkta 345 kV'luk bir enerji hattı vardır.

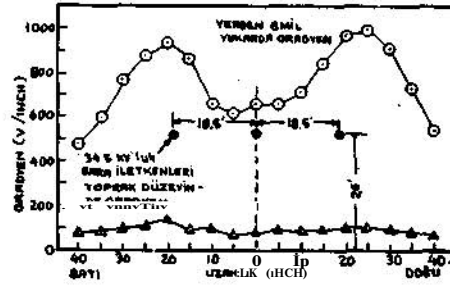
İşçi kuleye bağlı durumdayken, toplam vücut akımı, sağ kol vücuda yapışmışken = 253  $\mu A$   
sağ kol hatta doğru uzatılmışken = 395  $\mu A$ 'dir.

#### DÜŞÜK ALAN YEĞİNLİKLERİ İÇİN GRADYEN METRE

Bir YG hattının altında, yerden birkaç feet yükseklikte yada bir indirici merkezde görülen düşük reğinlikli elektrik alanlarını ölçmek için, merkez elektrodunun alanı her zaman kullanılan probunkilin on katı olan bir gradyen metre yapıldı. Bu netrede 100/inch'lik bir elektrik alanı 1  $\mu A$ 'lik



Şekil 5. Düşük alan yeğİnliği ölçen gradyen metre.



Şekil 6. 345 kV'luk indirici merkez barası altında gradyen profili.

bir akıma yol açar. Her zaman kullanılan gradyen metre ile aynı çalışma ilkesine sahip olan bu alet Şekil 5'de gösterilmiştir. Düşük alan yeğİnliklerinin ölçümünde kullanılan gradyen metreyle yapılan bir ölçmenin sonuçları Şekil 6'da verilmektedir. Bu şekildeki eğriler 345 kV'luk bir indirici merkezde, 3 fazlı baranın altındaki gradyen profilini göstermektedir (bara iletkenlerinin yükseklİği ve yerleşimide Şekilde görülmektedir). Yerden 6 feet yükseklikteki gradyen profili prob üç ayaklı bir sehpanın üzerine konularak, toprak düzeyindeki profilede probu arkası üstü yere yatırarak çıkartıldı. Değerlerin her okunmasında ölçmeyi yapan kişi, gradyen ölçüm değerini etkileme-



Şekil 7. Miller'in yirmiyüzlüsü.

mek için probdan yeterince uzak durmaya dikkat ediyordu.

#### YİRMİYÜZLÜ (THE İCOSAHEDRON)

Bir hat işçisinin vücudundan geçen toplam akımın, duruk elektrik akı yoğunluğunun işçinin alan etkisine uğrayan yüzeyi üzerindeki tümlevine eşit olduğunu göstermek için, tümlev alıcı bir alet geliştirildi. Bu alet, herbiri diğerinden yalıtılmış 20 tane eşkenar üçgen biçiminde plakadan oluşan bir 'yirmiyüzlü'dür. Her üçgen plakasının alanı, gradyen metrenin merkez elektrodunun alanına eşit seçilmiştir. Bu düzende her plakadan geçen yüklem akımı (yA cinsinden), bu plakalar üzerinde sonlanan ortalama duruk elektrik akı yoğunluğuna (kV/inch cinsinden) eşittir. Şekil 7'de yirmiyüzlünün fotoğrafı görülmektedir. Şekil 8'de de aletin fiziksel yapısının bazı ana ayrıntıları verilmiştir.

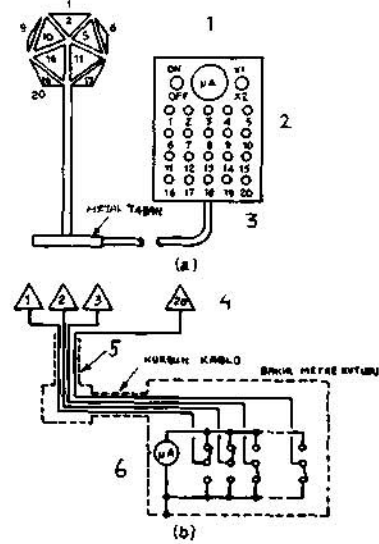
20 plakanın herbiri kendi kablosu ile o plakaya ilişkin DPDT anahtarının merkez noktasına bağlıdır (Şekil 8). Bu anahtar YUKARI konumundayken plakadan geçen akım mikroampermetreden geçer, anahtar AŞAĞI konumunda ise plakadan geçen akım metreye uğramaz, tki durumda da her plaka metal tabana bağlanmış durumdadır. Benzer şekilde, bakır metre-anahtar kutusunda, 20 bağlantı kablosunu ekranlayan bakır örgü yoluyla metal tabana bağlanır. Bu düzenek ile her plaka kendisine komşu diğer üç plakayla korunur ve böylece hiçbir plaka da saçak akı oluşmaz. Bütün ara bağlantı kabloları tümüyle ekranlandığından, her kablodaki akım, yalnızca her üçgen plakanın gerçek etkilenme yüzeyi üzerinde sonlanan duruk elektrik akıdan meydana gelir.

Yirmiyüzlü elektrik alanı içindeyken, her ayrı plakadan geçen yüklem akımının değeri, yirmiyüzlünün akım yoğunluğu olarak kabul edilebilir,

çünkü her plakanın yüzey alanı 1 birim alan seçilmiştir. 20 anahtarın hepsi de YUKARI konumundayken alet duruk elektrik akı yoğunluğunun tüm etkime alanı boyunca tümlevini alır (alet bu durumda ayrı ayrı yüklem akımlarının toplamını okumaktadır).

Yirmiyüzlünün plakalarını ayırdedebilmek için her plakaya 1'den 20'ye kadar numara verilmiştir; bunlardan 1 numara en tepedeki, 20 numara da tabandaki plakayı gösterir (Şekil 9).

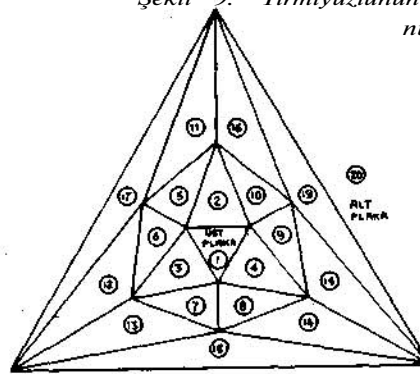
345 kV'luk bir hattın çevresinde, bir hava asansörünün kovasına konulan yirmiyüzlü ile birçok test yapılmıştır (Şekil 10). Bütün testlerde 2 nolu

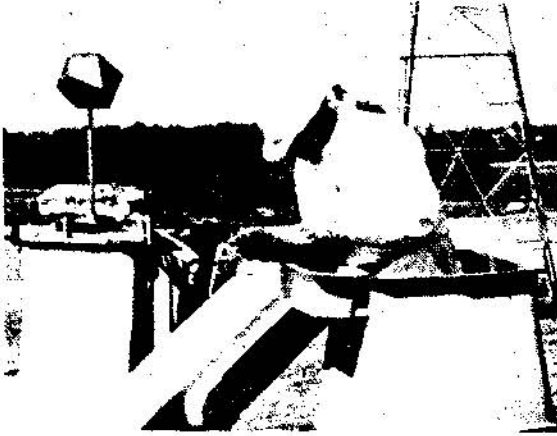


Şekil 8. Toplam vücut akımı incelemesinde kullanılan yirmiyüzlünün ayrıntıları, (a) fiziksel düzenek, (b) şematik devre çizimi.

- 1) 20 yalıtılmış bakır plakalı yirmiyüzlü. Her plaka kenar uzunluğu 5i ineh olan eşkenar üçgendir
- 2) İçinde mikroampermetre ve anahtarlar olan bakır kutu
- 3) 54 inch uzunluğunda, bakır örtüyle kaplı, 20 telli kablo
- 4) Yirmiyüzlünün tek tek plakaları
- 5) Metal taban
- 6> Anahtar YUKARI konumundayken plaka akımı metreden geçer, anahtar AŞAĞI konumundayken akım metreden geçmez

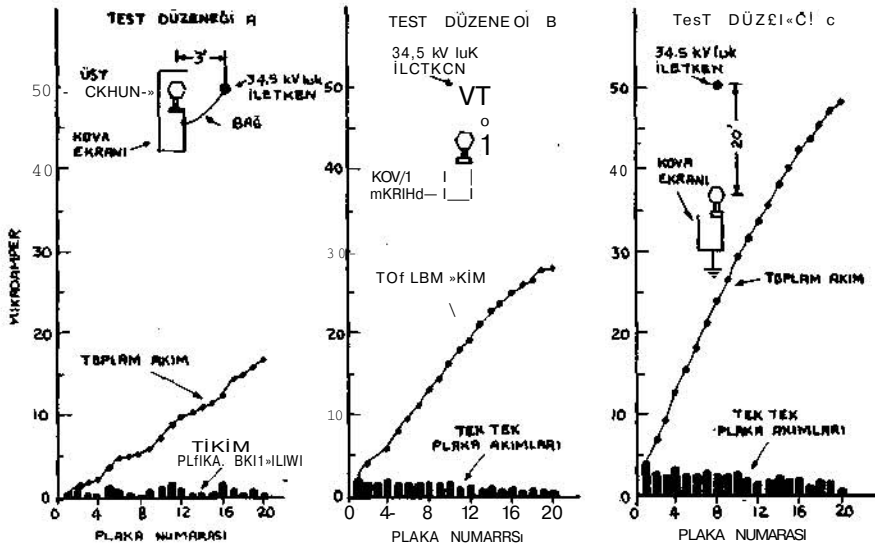
Şekil 9. Yirmiyüzlünün plakalarının numarai anması.





Şekil 10. Yirmiyüzlü ile akım yoğunluğunun tümlevinin alınması.

plaka enerjili iletkene bakar durumdadır. İşletmeci, ampennetre-anahtar kutusuyla birlikte diğer kovaya yerleşmiştir. Aletin metal tabanı kovanın ekranına bağlıdır. Bu düzenek ile, yirmiyüzlünün her plakasından geçen akım ayrı ayrı ölçülmüş ve bu ölçmelerin sonuçları çubuk eğriler biçiminde kaydedilmiştir (Şekil 11). Kovanın üç farklı konumu ve ekranlama derecesi için sonuçlarda bu şekilde verilmektedir.



Şekil 11. Çeşitli test düzenekleri için yirmiyüzlünün tek tek plaka akımlarının toplanması.

Daha sonra her anahtar sırasıyla YUKARI konumuna getirilerek, yükleme akımlarının birer birer bir birine eklenmesi gözlenmiştir. Bu durumda yirmiyüzlüye giren toplam yükleme akımı mikroampermetreden okunur. Bu testlerin sonuçları Şekil 11'de 'toplam akım' eğrileri adıyla gösterilmiştir. Her durumda metrede okunan toplam akım, aletin duyarlılık sınırları içinde, ayrı ayrı plaka akımlarının toplamına eşit bulunmuştur.

Hat işçisi, kendisini kova ekranına elektriksel olarak bağlayan iletken tabanlı ayakkabılar giymiş olarak kova içinde durduğunda, vücudu üzerinde sonlanan tüm duruk elektrik akı vücut boyunca akan bir yükleme akımı meydana getirir. Birim

alandan geçen akım, bu alan üzerindeki elektrik alan yoğunluğuna bağlıdır. Vücuda giren toplam akım vücut yüzeyi üzerinde sonlanan akı çizgilerinin toplanmasıyla oluşur.

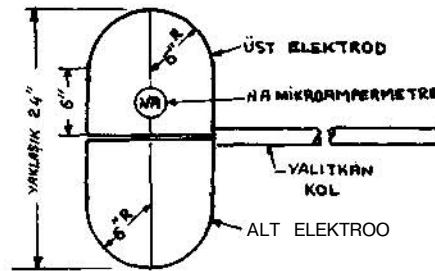
#### DİPOL

Bir hat işçisi, hem topraktan hem de enerjili iletkenlerden yalıtılmış olarak, elektrik alanı içinde çalışırken, vücudundan geçen akımların ölçülmesi olanaksızdır, çünkü mikroampermetrenin bağlanacağı bir başvuru potansiyeli yoktur. Ancak, bir gradyen metre kullanarak işçinin vücudunun bütün bölgelerinde alan yoğunluk ölçümü yapılabilir; böylece vücuttan geçen elektrik akımında ölçülmüş olur.

Hat işçisinin bir yanı genellikle enerjili iletkene, diğer yanı da toprağa yada farklı potansiyeldeki bir başka iletkene dönük olduğundan, yüklemeye akımı vücudun bir yanından girecek, vücut boyunca akarak öbür yandan dışarı çıkacaktır.

Bu kuramı doğrulamak ve bu durumun matematiksel çözümlemesinde yararlı olacak verileri toplamak için, şematik olarak Şekil 12'de, fotoğraf olarak Şekil 13'de görülen 'dipol' geliştirildi.

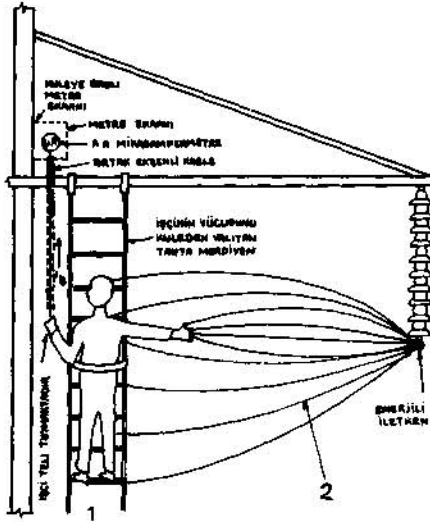
Dipolün iki tane benzer elektrodu vardır; bunlar 6 inch uzunluğunda 12 inch çapında ve bir ucunda 12 inch çapla bakır yarıküresi olan bakır siliö-



Şekil 12. Dipolün şematik yapısı.

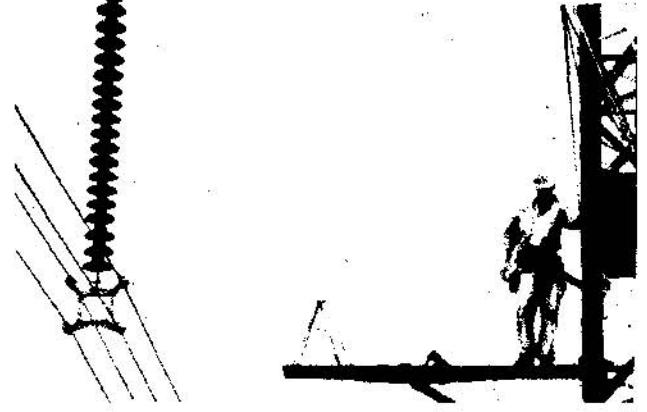


Şekil 13. Dipol.



Şekil 14. Hat işçisi çelik kule üzerinde iken vücut akımını ölçme yöntemi.

- 1) Hat işçisinin vücudu mikroampermetreyle çelik kulede topraklanmıştır
- 2) Hat işçisinin vücudu üzerinde sonlanan elektriksel akı  $I_b$  yüklemesini meydana getirir.



Şekil 15. İletken giysi kullanarak ekranlanmış bir işçinin Coldwater da yapılan vücut akımı ölçmeleri.

dir biçimindedir. Elektrodlar birbirinden 1/4 inch açıklıkla yerleştirilir. Tümüyle dipolün içinde kalan uygun bir mikroampermetre iki elektrodu elektriksel olarak birbirine bağlar. Küçük bir pencere ile mikroampermetrenin dipolün dışından görülmesi sağlanır. Dipolün bir hava asansörünün kovanından uygun uzaklıkta ve boşlukta yalıtılmış olarak tutulabilmesini sağlamak için, takılıp çıkartılabilen, uzun, yalıtkan bir kol kullanılır. Ayrıca üstteki elektroda tutturulan bir çengel ile dipol enerjili iletkenin yada başka bir destekten uygun bir ip yardımıyla sarkıtılabilir.

Dipol, yalıtkan kolun ekseni etrafında döndürülerek farklı doğrultulara yönlenebilir. Metre en büyük değeri dipolün boyuna ekseni elektrik alanına koşturduğunda okur, eksen alana dik durumda ise metre hemen hemen sıfır değerini gösterir. Bu konumda iki elektrod da alanın eşit ölçüde etkisinde kaldığından, aralarından bir akım geçmez.

Örnek olarak, yerden 26 feet yükseklikteki 345 kV'luk baranın en dış fazının altında, bir propelin ip ile farklı uzaklıklara sarkıtılan dipolün ölçtüğü değerler Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çizelgedeki sonuçlar, elektrik alanı içinde, çevresinden yalıtılmış durumda bulunan iletken bir cismin içerisinde akım geçeceğini kesinlikle göstermektedir. Bu akımın büyüklüğü cismin elektrik alanı içerisindeki konumuna bağlıdır.

Yerden 26 feet yükseklikteki 345 kV'luk bara iletkeninin dış fazının altına sarkıtılan dipolün ölçtüğü değerler.

Dipolün üst ucundan iletken olan uzaklık (inch)	Dipol Akımı (mA)	Dipolün tepesindeki gradyen (kV/inch)
33	60	6,5
57	36	3,8
72	27	
81	24	2,3
105	18	1,5
129	14	1,1
153	11	0,8
177	10	
225	7	
273	6	0,28

Çizelge 2.

Vücut akımları ölçümlerinin incelenmesine geçmeden önce şimdiki değin ayrıntılı biçimde anlatılmış olan üç aletini işlevi ve çalışma ilkesini özet olarak yinlemek yararlıdır.

1) Gradyen metre, alışılagelen sıcak-çubuk yada çıplak-el yöntemleriyle enerjili hat çalışması yapan hat işçisinin vücudunun çeşitli bölgelerindeki 60 Hz'lik elektrik alanını ölçmede kullanılan uygun ve duyarlılığı yüksek bir alettir.

2) Yirmiyüzlü, elektrik alanı içinde çalışan hat işçisinin vücudundaki toplam akımın, her birim alan üzerindeki elektrik alanının neden olduğu tek tek akımların toplamına eşit olduğunu gösteren bir alettir.

3) Dipol, bir enerji hattının elektrik alanı içinde, çevresinden yalıtılmış olarak duran iletken bir cisim içerisinden akım geçeceğini ve bu akımın büyüklüğünün içeririnde yer alınan özgün alanın yeğinliğine bağlı olduğunu gösteren bir alettir.

#### VÜCUT AKIMI ÖLÇÜMLERİ

Bir hat işçisi elektrik alanının etkisi altındayken, vücudunun her 11,82 inch<sup>2</sup>'lik yüzeyinden, 1 kV/inch'lik bir alan yeğinliği için 1 pA'lık bir yüklem akımı geçer (11,82 sayısı gradyen metrenin katsayısıdır). Bu, 1 kV/inch'lik alanın birim gradyen değeri için 0,0846 yA/inch<sup>2</sup>'lik bir akım yoğunluğu demektir.

Hat işçisinin vücudunun elektrik alanının etkisinde kalan kısımlarında her inch<sup>2</sup>'lik alandan geçen akım ölçülebilirse, toplam vücut akımı bu tek tek ölçümlerin verdiği değerleri toplayarak bulunabilir. Ancak toplam akımın bu yolla bulunması hem sordur hem de sıkıcı bir uğraş gerektirir.

İat işçisinin toplam vücut akımı, uygun bir ampermetre, başvuru potansiyelinin tanımlandığı nokta ile vücut arasında bağlanarak kolaylıkla ölçülebilir. Bunun için yerine getirilmesi gereken iki koşul vardır.

1) Hat işçisinin vücudu başvuru potansiyelinin tanımlandığı noktadan elektriksel olarak yalıtılmalıdır. Aradaki tek bağlantı mikroampermetre ile yapılmalıdır.

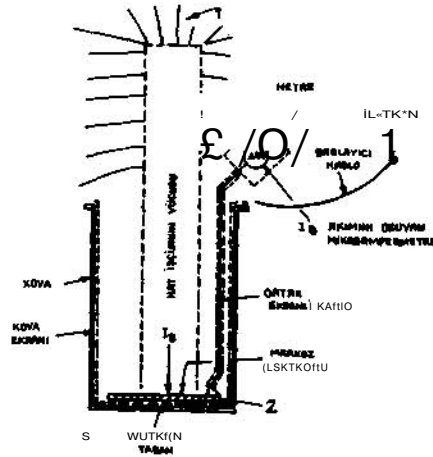
2) Ampermetreyi işçinin vücuduna ve başvuru noktasına bağlayan kablolar, herhangi bir yerden yüklem akımı kapmayacak biçimde ekranlanmalıdır; aksi durumda bu yüklem akımı vücut akımı ölçmelerinin doğruluğunu olumsuz yönde etkiler.

2'lik kulenin çapraz koluna dayalı bir merdiven üzerindeki işçinin vücuduna giren toplam yüklem akımı, uygun bir mikroampermetre işçinin vücuduna kule arasına bağlanarak ölçülür (Şekil 14). İşçi Şekil 15'de görüldüğü gibi, yalıtkan bir platform üzerinde duruyorsa, ölçme, mikroampermetrenin bir ucu kuleye bağlanmış, diğer ucuda işçiye değer durumda yapılır. Şekil 14 ve 15'deki her iki durumda da çalışma ilkesi aynıdır.

Şekil 16'da verilen vücut akımı değerleri hat işçisini uygun bir ampermetreyle çelik kuleye bağlayarak ölçüldü. Sağ kolu vücuduna bitişik olan vücut akımı 253 yA, enerjili iletkene doğru atılmış durumdayken 395 yA olarak bulunmuş-

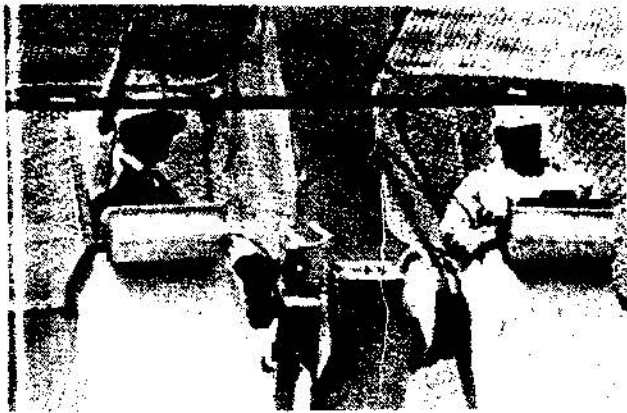
Şekil 16'da görülen düzenek işçinin hava asansöründe olduğu durum için kullanıldı. Burada işçi hat ile aynı gerilimdedir. Vücut akımı, işçiyi kova ekranından yalıtılarak (normal olarak işçi bu ekraan iletken ayakkabılarla elektriksel olarak bağlıdır) -ki bu tahta bir platform, bir kauçuk battaniye yada başka bir yalıtkan taban üzerinde durularak sağlanır- ve uygun bir mikroampermetreyle hatta bağlayarak ölçülür. Şekil 17'de hava asansörünün kovasındaki işçi sağ kolunu uzatmış durumdayken yapılan ölçme gösterilmektedir.

Elektrik alanının etkilerinden korunmak için metal giysi kullanan bir hat işçisinin vücudu bu giysiden yalıtılmalıdır. Giysi ile işçinin vücudu arasındaki tek bağlantı mikroampermetre ile yapılmalıdır (giysi enerjili iletkene bağlanmıştır).



Şekil 16. Bir hava asansörünün kovasında çalışan hat işçisinin vücut akımlarını ölçme yöntemi.

- 1) Elektriksel akı çizgileri hat işçisinin vücudunun kova ekranı içinde ger almayan kısımları üzerinde sonlanır.
- 2) Koruyucu elektrot yalıtkan tabanın altını kaplar ve kova ekraanıyla elektriksel teması vardır.
- 3)  $I_g$  = Hat işçisinin vücudunun ekranla anmamış kısımları üzerinde sonlanan elektriksel akımın neden olduğu vücut akımı.



Şekil 17. 345 kV'da, enerjili ekranlanmış kova içinde vücut akımının ölçülmesi.



Bu durumda mikroampermetre, işçinin vücudunun giysi ile korunmayan kısımlarından giren toplam yüklemeye akımının değerini okur.

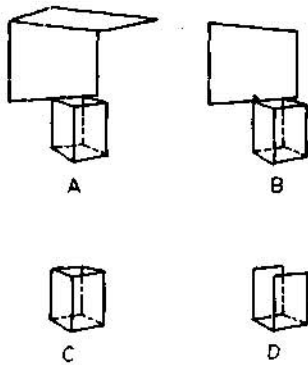
Çelik kulenin çapraz koluna dayalı bir tahta merdiven üzerinde çalışan hat işçisi, elektrik alanı içerisinde çevresinden tümüyle yalıtılmış durumdadır. Toplam vücut akımının ölçülmesi bu durum için olanaksızdır, çünkü mikroampermetrenin bağlanacağı bir başvuru noktası bulunmamaktadır. Daha önce açıklanan dipol bu durumda vücut akımının ölçülmesinde kullanılır.

#### EKRANLAMA DERECELERİ

Bir güç hattının çevresindeki elektrik alan yoğunluğu enerjili iletkenlerin yakınında diğer bütün noktalarından çok daha büyüktür. 100 yıl önce Michael Faraday iletken bir kafesin içerisinde, kafesin dış yüzündeki elektrik yükleri ne olursa olsun, elektrik alanı olmadığını göstermişti. Buna göre, hava asansörünün kovanında çıplak-el yöntemiyle çalışan işçilerin ekranlanması için genellikle bir kafes parçası kullanmak adet olmuştur.

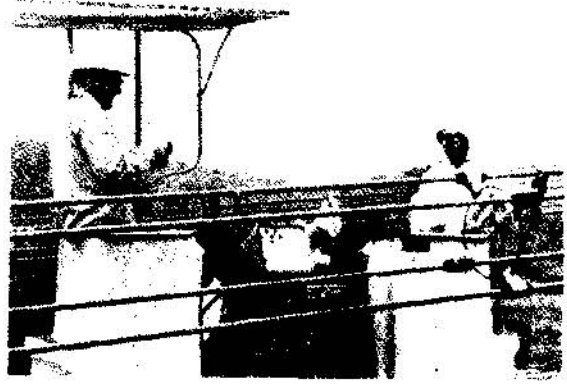
İşçi tam bir ekranın içerisine alınırsa alan etkisinden bütünüyle korunur. Ancak çıplak-el çalışma yönteminde bunun pratik olmadığı açıktır. Bu yüzden kısmi ekranlama uygulanır. İşçinin rahat çalışmasına izin veren ekranlama derecesi hattın gerilimine bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan ekranlama biçimleri Şekil 18'de gösterilmiştir.

Tam ekranlamaya en yakın uygulama hat işçisinin iletken bir giysi kullanması durumudur. Burada ekranın yüzey alanı işçininkinden biraz büyüktür ve bu nedenle, işçinin bu biçimde ekranlanmasının toplam yüklemeye akımında meydana getireceği değişim çok küçüktür. Öte yandan bu durumuyla iletken giysi hemen hemen tam bir Faraday karesi gibidir (iletken yüzey elektriksel olarak enerjili iletkene bağlandığında). Böylece akımın büyük bölümünün işçinin vücudundan geçmesi önlenmiş olur. Adı geçen metal giysi biçimindeki ekran Şekil 15'de



Şekil 18. Çeşitli ekranlama dereceleri.

- A. Arka duvarı ve üst: örtüsü ile birlikte tam kova ekranı
- B. Arka duvar ile birlikte tam kova ekranı
- C. Tam kova ekranı
- D. Kısmi kova ekranı



Şekil 19. Apple Grove'daki bir hava asansörü içinde iletken giysi kullanarak vücut akımı ölçülmesi.



Şekil 20. 345 kV'luk hatta asılı durumdaki, iletken giysi kullanarak vücut akımı ölçülmesi.

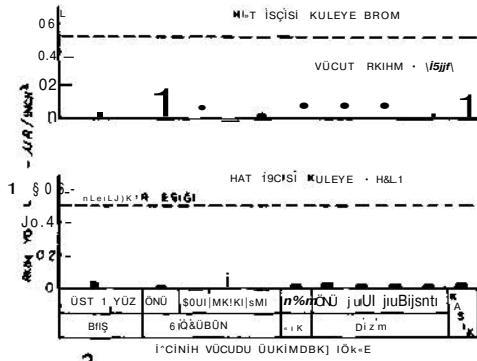
görülmektedir. Şekil 19'da çıplak-el yöntemiyle Apple Grove test bölgesinde yapılan ölçmelere ilişkin bir resim yer almaktadır. Şekil 20'de 345 kV'luk hatta asılı kova içinde oturan ve iletken giysi kullanan hat işçisinin vücut akımlarının ölçümü gösterilmiştir.

#### ALAN YEĞİNLİKLERİ ve VÜCUT AKIMLARI ÜZERİNE GÖZLEMLER

Bir kulede olağan çalışma konumunda, alışlagelen enerjili hat aletleriyle çalışan ve hava asansör-

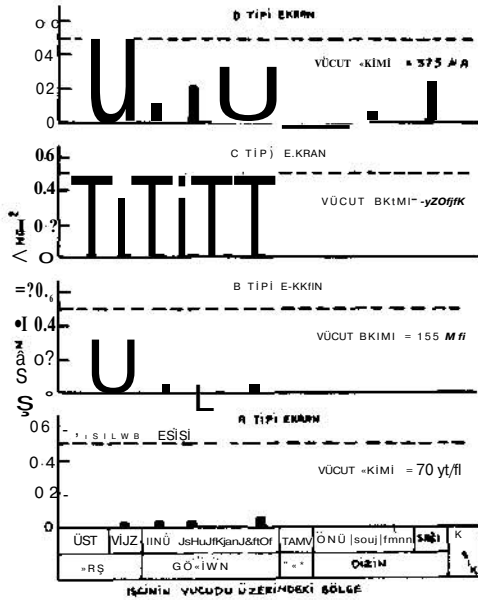
rünün kovanında çıplak-el yöntemiyle iş gören işçilerin 138 ve 345 kV'da, vücutlarındaki alan yeğinlikleri ve akımlara ilişkin yoğun ölçmeler yapılmıştır. Bu ölçmelerin bazılarının sonuçları Şekil 21 ve 24'de verilmektedir. Bu şekillerde alan yeğinlikleri  $\mu A/inch^2$  cinsinden eşdeğer akım yoğunluğu ile ifade edilmiştir, vücut akımları da  $\mu A$  cinsindedir. Şekil 25'de iki farklı konum ve gerilim için vücut akımları karşılaştırılmaktadır. 138 kV'un altındaki gerilimlerde, alan yeğinliği ve vücut akımı değerleri önemli olmayacak derecede küçüktür.

Hat işçisi kulede iken, alan yeğinliği ölçümleri, işçinin kuleye bağlı ve bağlı olmayan durumları

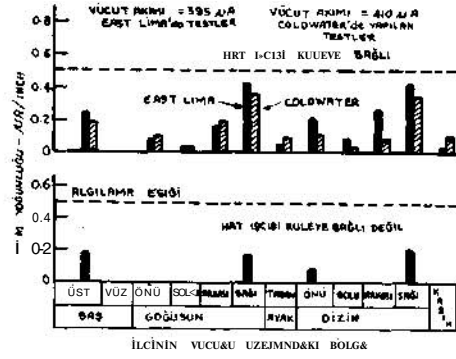


Şekil 21. East Lima da 138 kV'luk çelik kulede çalışan hat işçisinin vücudunda gözlenen akım yoğunlukları.

- 1) Akım yoğunluğu -  $\mu A/inch^2$
- 2) Kulenin çapraz koluna dayanan tahta merdivenin en alt basamağında duran ve sağ yanında 138 kV'da enerjilenmiş tek bir ileten bulunan hat işçisi durumu.

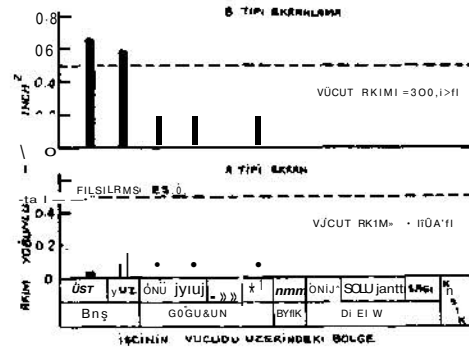


Şekil 22. 138 kV'luk tek bir enerjili iletenin karşısında ve ona bağlı bir hava asansörü içinde çalışan işçinin vücudunda gözlenen akım yoğunluğu değerleri.

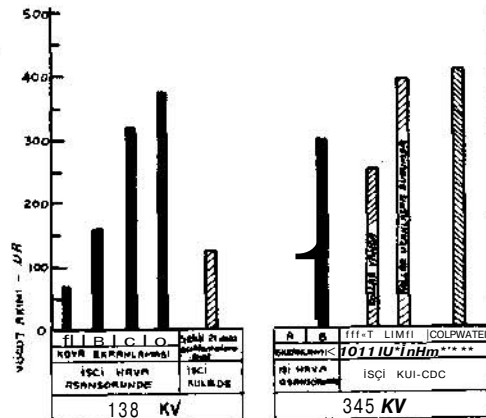


Şekil 23. East Lima ve Coldwater da, 345 kV'luk hattın çelik kulesinde çalışan işçinin vücudunda gözlenen akım yoğunluğu değerleri.

- 1) Doğu Lima da: Hat işçisi kulenin ortadaki çapraz koluna dayalı tahta merdivenin en alt basamağında ve sağında 345 kV'luk tek bir enerjili ileten vardır.
- 2) Coldwater da: Hat işçisi çelik kuleye iletenin 2 feet aşağısında tutturulmuş tahta bir taban üzerindedir ve sağında, 10'-6" uzaklıkta 345 kV'luk dört iletenli bir demet vardır.



Şekil 24. 345 kV'luk tek bir enerjili iletenin karşısında ve ona bağlı bir hava asansörü içinde çalışan işçinin vücudunda gözlenen akım yoğunluğu değerleri.



Şekil 25. vücut akımı ölçümlerinin karşılaştırılması.

için yapıldı. Şekil 21 ve 23'de görüldüğü gibi, her iki hat geriliminde de, işçinin vücudu üzerinde ölçülen alan yoğunluğu işçi kuleye bağlı iken daha küçük bulundu (bağlı olmadığı zaman ölçülen değere göre). İşçi kuleye bağlı değilken vücut akımı ölçümü uygun değildir, çünkü mikro-ampmetre bağlantısı süreyi topraklar.

Kova içinde çalışan işçinin ne ölçüde alan etkisinde kalacağı ekranlamanın derecesine bağlı olduğundan, ölçmeler 138 kV'da dört farklı ekranlama ile (Şekil 22) ve 345 kV'da 2 farklı ekranlama ile (Şekil 24) yapıldı.

Hat işçisinin içerisinde çalışacağı elektrik alanının yoğunluğu ekranlama ile kolayca denetlenir. Çizelge 3'de çeşitli ekranlama durumları için, elektrik alanının etkileme dereceleri karşılaştırılmaktadır. En büyük akım yoğunluğu değerleri ve vücut akımları, kulede ve kova içinde çalışan işçi durumları için ve çeşitli ekranlama dereceleriyle verilmektedir.

İşçinin bulunduğu yer	Ekranlama	138 kV		345 kV	
		En büyük akım yoğunluğu $\mu A/inch^2$	Vücut akımı $\mu A$	En büyük akım yoğunluğu $\mu A/inch^2$	Vücut akımı $\mu A$
Kulede*	Yok	0,18	125	0,4	395
Kovada	A	0,06	70	0,09	130
Kovada	B	0,34	155	0,67	300
Kovada	C	0,50	320	--	--
Kovada	D	0,50	375	--	--

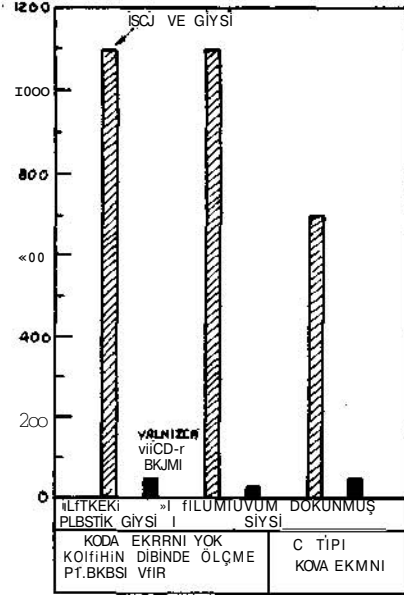
\*138 kV'lık hattın yaklaşık 5 feeti 345 kV'lık hattın da 10 1/2 feet uzaklıktadır.

Çizelge 3.

Çizelge 3'e bakılarak şu karşılaştırmalar yapılabilir:

- 1) A tipi ekranlama ile (bu, kovayı örten tam ekran, bir arka duvar ve bir üst örtüden oluşur) kovada çıplak-el yöntemiyle çalışan işçi, alışlagelen enerjili hat aletleriyle kulede çalışan bir diğerinden daha az elektrik alan etkimesine uğrar (hem 138 hem de 345 kV'da).
- 2) B tipi ekranlama ile (kovayı örten tam ekran ve bir arka duvar) kovada çıplak-el yöntemiyle çalışan işçi, 138 kV'da, alışlagelen enerjili hat aletleriyle kulede çalışan bir diğerine yaklaşık aynı düzeyde (yada biraz daha fazla) alan etkimesine uğrar. Bu etkime kulede çalışan işçide (hat gerilimi 345 kV), kovada çalışana (hat gerilimi 138 kV) göre daha azdır.
- 3) C tipi ekranlama ile (kovayı örten tam ekran kovada çıplak-el yöntemiyle çalışan işçi (138 kV'da), alışlagelen enerjili hat aletleriyle kulede çalışan diğerine (hat gerilimi 345 kV) aynı düzeyde (yada biraz daha az) alan etkimesine uğrar. Eğer kulede çalışma durumunda hat gerilimi 138 kV ise, çıplak-el yöntemiyle çalışan işçi alandan daha fazla etkilenir.

Çizelge 3'den, her iki çalışma yöntemi için, en büyük vücut akımı değeri 345 kV'da yaklaşık 400  $\mu A$  olarak bulunur. Bu değer, algılanabilen en küçük akımın yarısından küçüktür. Hava asansöründe çalışırken, 345 kV'da B ekranlaması, 138 kV'da da C ekranlaması işçilerin rahat



Şekil 26. 345 kV da hava asansörü içinde, iletken giysili bir işçinin vücut akımı ölçmeleri.

1) \* Bu plastik maddenin direniliği birim alan için 3000'dür.

çalışmaları için yeterli sayılır. Bu durumda vücut akımları algılama eşiği kabul edilen 1000  $\mu A$  in oldukça altındadır. 100 kV'un altındaki gerilimlerde, Şekil 18c'de gösterilen kova ekranlaması oldukça yeterlidir. Dağıtım gerilimleri içinde Şekil 18d'deki ekran da yeterli sayılır.

Herhangi bir ekran kullanmadan, 345 kV'da, çıplak-el yöntemiyle çalışan bir işçide algılama eşiğine varan hatta onu geçen vücut akımlarına rastlanır. Bu akımların iletken giysi biçiminde ekran kullanılarak ne ölçüde düşürüldüğü Şekil 26'da gösterilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Bames, H.C. et al., "Rational analysis of electric fields in live line vorking", IEEE Trans. on Power App. Syst., Cilt 86, No.4, 1967, s.482.
- [2] Kouwenhoven, M.B., et al., "Body currents in live line working", IEEE Trans. on Power App. Syst., Cilt 85, No.4, 1966, s.403.
- [3] Knickerbocker, G.G., et al., "Exposure of mice to a strong ac electric field-An experimental study", IEEE Trans. on Power App. Syst., Cilt 86, No.4, 1967, s.498.
- [4] Kouwenhoven, H.B. et al., "Medical evaluation of man vorking in ac electric fields", IEEE Trans. on Power App. Syst., Cilt 86, No.4, 1967, s.506.