

# Kablo Kesitlerinin Rasyonel Seçimi

Yazan:

J. BADOUX

ACEC Kablo Bölümü Mühendisi

Çeviren:

Mesut A. ŞENYOL

Y. Müh. - E. I. E.

Verilen bir gücün, verilen bir gerilimde nakli için lüzumlu kabloların iletken kesitlerinin seçimi, umumiyetle, iletkende müsaade edilen azamî sıcaklık yükselmesine göre yapılır. Sıcaklık yükselmesi, kayıplar sebebi ile güç israfına sebep olur ve bu israf dirence tesir eder.

tyi tesbit edilmiş hallerde, standard şartnameler, (NBN 14 gibi) azamî akımı, iletken kesitinin bir fonksiyonu olarak verirler. Kablo uzunluğunun belli bir değeri aştığı durumlarda, yüke nisbetle tayin edilen azamî gerilim düşümü, çok daha kötü bir kriter tesbit eder.

Bir üçüncü ekonomik düşünce, kullanan bakımından, diğer iki klâsik metoda daha az mühim olmamak üzere ilâve edilebilir ki, birlikte teknik olarak müdafaası yapılabilecek bir çözüm verirler. Belli bir kullanma katsayısı (yıllık efektif çalışma saati) alındığı zaman kayıpların değerlendirilmesi ihmal edilemez hal alır. Böyle hallerde toplam en az masrafı (ilk yatırım, teçhizat ve kayıpların değeri) veren kesit aranmalıdır.

Aşağıdaki tez, değişik faktörleri detaylı olarak vermek iddiasında değildir. Bizim mütevazî maksadımız her Üç halî: sıcaklık yükselmesi, gerilim düşümü ve kabloların kullanılmasındaki umumi ekonomiyi —hususiyile 1 kV. tan 15kV'a kadar çalışanlarda— (Belçika NBN 14 standard şartnamesi) gözönüne serecek faktörleri toplamaktır.

Böylece kullanan, bu üç kriterden biri ile nominal kesiti seçebilecektir.

## I — TERMİK DÜŞÜNCELER:

A — Kayıpların Hesabı

I — İletkenlerin direnci :

a) Doğru Akımı için :

İletkenlerin omik direnci aşağıdaki formüllerle verilir:

a) Doğru akım için :

$$R_{cc} = \frac{\rho_{20} [1 + \alpha (t - 20)] (1 + k)}{S}$$

Burada:

R<sub>cc</sub> = D.C. direnci n/km.P<sub>20</sub> = Bakırın özgül direnci 20°C'ta

17.24 ft/mmVkm.

a sıcaklık katsayısı 0.004/°C

(1 - f k) tel, örgü kayıp katsayısı, ortalama değeri 1.015

S — tek tek tellerin kesitlerinin toplamıdır.

b) Alternatif akım halinde :

Akımın kesitteki homogen dağılımını iki faktör bozar.

— 50 periyotta Skin Effect :

Bu, sinüsoidal akımlarda, faz akımının kendi magnetik tesiri ile akım akış çizgilerinin merkezden muhite doğru yer değiştirmesi sebebi ile meydana gelir.

Normal olarak, pratikte, ekseri hallerde bu tesir ihmal edilebilir. 240 mm<sup>2</sup> ye kadar olan kesitlerde, (0.09 n/km. den daha büyük dirençlerde), % 1 den azdır.

— Muhit tesiri (The Proximity Effect) •

Üç iletkenli kablolar halinde, üç fazın bir grup teşkil ederek birbirine tesir etmesi, kesitte akım dağılımının gayri muntazam olmasına diğer bir sebeptir. Hâdiseye fazlar arasındaki endüksiyon sebep olmaktadır. Alelade kablolar (1 ilâ 15 kV.) halinde bu tesir 0,5 % dir.

Yukarıda iki faktörün tesiri kabaca R<sub>cc</sub> nin 1 % i olarak alınabilir.

Böylece formül şu şekli alır:

$$R_e = \frac{17.24 [1 + 0.004(t - 20)] 11.015 X 1.01}{S}$$

burada R<sub>e</sub> n/km. ve S mm<sup>2</sup> cinsindedir.

2 — Zırh ve kurşun kılıftaki kayıplardan dolayı zahiri dirençteki artış :

Aşağıda, üç iletkenli kuşaklı kabloları ele almakla iktifa edeceğiz. Üç iletkenli S. L veya tek çekirdekli kablolarında hesap biraz daha uzundur.

Üç simetrik akımın istihsal ettiği toplam magnetik alan zırhta olsun, kurşun kılıfta olsun hiçbir zaman tam mânasile sıfır olmaz. Bu sebeple akımlar, kablounun bu kısımların endüklerler ve ilâve olarak zırh belli bir histerizis tesirine sebep olur.

Hernekadar pek önemli değilse de, bu kayıplar iletkendeki ohmik kayıpların % 2 ilâ 4 üne erişebilir. (1 -15 kV. kablolarında).

\* Bu yazı «ACEC BEVIEW No. 1 -1960» dan çevrilmiştir.

Bu kayıplar aşağıdaki şekilde faz direnci artırılarak hesaba katılabilir.

$$A R_e = A R_p^b + A R^a + A R^{U1} H$$

Burada :  
A<sup>p</sup> b kurşun kılıftaki kayıpları

AR<sup>11\*</sup> zırhtaki kayıpları

A R<sup>U1</sup> H zırhtaki histerezis kayıplarını gösterir.

Çabuk hesaplama maksadı ile, üç iletkenli kablolar düşünüldüğünde ortalama bir değer olarak

$$A R_{ca} = 0.03 R_{ca}$$

alınabilir.

### 3 — Dielektrik kayıplar

Faz başına kayıplar iyi bilinen aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$W = w C \cdot V_o^2 \cdot t g S \cdot 10^{-3}$$

burada:

W faz başına dielektrik kayıplardır W/m.

C bir faza irca edilmiş işletme kapasitesi, pF/km.

$$V_o \text{ yıldız gerilimi, } \frac{V}{\sqrt{3}} = kV.$$

S kayıp açısı

1 ilâ 15 kV.'luk normal, kâğıt izolasyonlu kablolar halinde bu kayıpların mertebeleri bir Watt/m'den azdır. Dolayısı ile bunun sebep olduğu sıcaklık yükselmesi *primal* edilir.

Hülâsa olarak, (1 ilâ 15 kV.) normal hallerde süratli hesaplama için, üç iletkenli kabloların kayıpları

$$W = 3 R_{top} I \quad \text{Watt/km.}$$

olarak tahmin edilebilir.

$$R_{top} = \frac{17.24[1+0.004(t-20)]1.015 \times 1.01 \times 1.03 \text{ n/km.}}{S \text{ (mm}^2\text{)}}$$

İlk yaklaşıklık olarak şu kısaltma yapılabilir.

$$R_{top} = \frac{18[1 + 0.004(t-20)]}{S \text{ mm}^2} \cdot \text{n/km. (1)}$$

Alternatif akımın sebep olduğu ilâve kayıpların tâyininde bakır sıcaklığı ancak  $\pm 2.5^\circ\text{C}$  farkla bilinirken,  $\pm 1\%$  den daha fazla yaklaşıklık temini için çalışmak, daha hassas değerlerin elde edilmesi pratik olarak imkânsız olduğundan, lüzumsuzdur.

### B — Termik Dirençlerin Hesabı :

Toplam termik direne değişik ehemmiyette üç terimden müteşekkildir.

Dielektriğin termik direnci,  $R_d^1$

Koruyucu kılıfların termik direnci:  $R_{U_p}$

Kabloyu saran ortamın termik direnci, toprak veya hava:  $R^{U1} t$

Bu son terim üçünün en büyüğüdür, bilhassa kablo ehemmiyetli bir derinlikte ve diğer kabloların civarında döşenmişse.

Bu üç terimi sırası ile görelim:

/ — Dielektriğin termik direnci :  $R_d^1$ .

Üç kısımlı iletkenler halinde, kabul edilebilir ki bir fazın termik direnci, üç iletkeni çevreleyen dairenin yarıçapının eşit  $d_r$  yarıçaplı tek iletkeninkine benzetilebilir, (dairesele iletkenler halinde, kabul edilen eşdeğer yarıçap bu çapın 0.9 mislidir).

Böylece problem.özümlü termik direnci  $p, h$  ( $\frac{^\circ\text{C} \cdot \text{cm}}{\text{W}}$ ), olan bir ortamla ayrılmış iç çapı

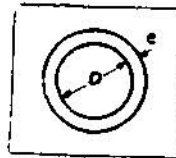
$d$ , ve dış çapı  $D$ , olan iki silindirin arasındaki termik direnci, basit haline getirilmiş olur.

$$R_{d^1} = 0,366 \cdot 10^{-2} p_{th} \cdot \log_{10} \frac{D_i}{d_r} \\ = 0,366 \cdot 10^{-2} pA \cdot \log_{10} \frac{D+2e}{D}$$

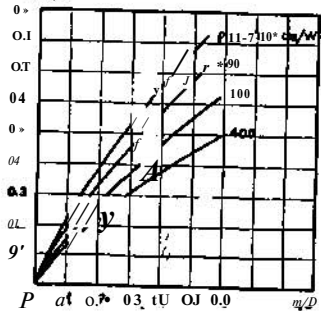
$R_{d^1}$  şekil: 1 deki diagramlarda  $^\circ\text{C} \text{ cm/W}$  cinsinden verilmiştir.

### 2 — Koruyucu kılıfların termik direnci : $R_{U_p}$ .

Kurşun kılıf ve çelik bantların termik dirençleri ihmal edilebilir. Neopren, jüt ve P.V.C. gibi dış koruyucu tabakaların direnci, yukarıdaki (a) paragrafındakine identik bir formülle bulunabilir (Keza Şekil: 1 deki diagramda verilmiştir.)



Silindirik arasındaki termik direnç, şu Emperyanza edilmis kâğıt (oe Vcm/W) Zırtın t Minütne 550 fi ve. (Aby vny. chlonis) 700 Kambre 650 Kompound jüt 700



(Şekil: 1)

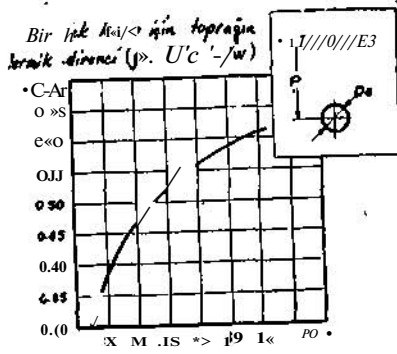
Kompound jüt için  $p_{th} = 700 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{cm/W}$  değeri kullanılabilir.

3 — Kabloyu saran ortamın termik direnci, toprak veya hava : R<sub>th</sub>

Bu faktörün tâyini birçok değişkenlerin tesiri ettiği her iki halde de hayli karışıktır.

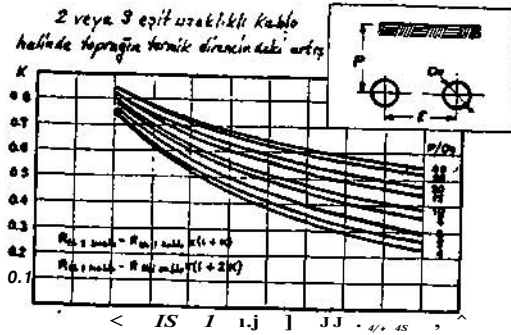
• Mamafih, normal hallerde müsaade edilen yaklaşık hesaplar için (Şekil: 2, 3 ve 4) eğrileri verilmiştir. Böylece aşağıdaki üç halde termik direncin tahmini mümkün olmaktadır.

— gömülmüş kablo (Şekil :2) zeminin özgül termik direnci  
 $p_{th} = 80 \text{ } ^\circ\text{C.cm/W}$



(Şekil: 2)

— iki veya üç identik gömülmüş kablo (Şekil :3)

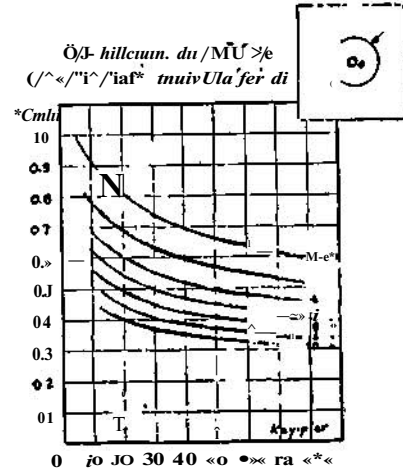


(Şekil: 3)

— hava ile çevrili bir tek kablo (Şekil: 4)  
 C — iletkenin Termik Durumu :

1 — Devamlı müsaade edilebilir sıcaklıklar

- (a) Kâğıt izolasyonlu kablolar :
- |    |     |       |              |
|----|-----|-------|--------------|
| kV | 1-6 | 10-20 | 26 ve yukarı |
| °C | 65  | 55    | 45           |
- (b) Yağlı veya gazlı kablolar: 85°C  
 (c) Lâstik izolasyonlu kablolar : 60 °C  
 (d) P.V.C. - izolasyonlu kablolar • 65° C



(Şekil : 4)

2 — Geçici durum kısaca devre) :

ilk yaklaşıklık olarak kabul edilebilir ki, iletken bir saniyelik bir müddet için 110-120°C'lık bir sıcaklığa dayanabilir.

Böyle bir kısa müddet zarfında, sıcaklık bakımında birikmiş olarak kalır ve sıcaklık 55°C'lık bir ortalama sıcaklığa başlıyarak bir saniye sonra maksimum değerine eriştiğinde akım yoğunluğu j yaklaşık olarak 100 A/mm<sup>2</sup> olur.

Eğer değişik bir kısa devre müddeti almak arzu edilirse, j<sup>2</sup>.t nin sabit tutulması icab ettiği unutulmamalıdır.

100

$$j \text{ (A/mm}^2\text{)} = \frac{100}{\sqrt{t}}$$

Kısa devre müddeti (saniye olarak) Üve olarak, kurşun kılıf veya bir koruyucu iletkenin herhangi birinden bir homopolar arıza akımı aktığında bu ikincinin sıcaklık yükselmesi gözönüne alınmalıdır.\*

n — KESİT SEÇİMİNDE GERİLİM DÜŞÜMÜNÜN TESİRİ :

Üç fazlı simetrik bir sistemde, fazlar arasındaki gerilim düşümü:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I (R \cos \phi + a; L \sin \phi) \times l \quad (4)$$

ile verilir, veya simetrik empedans notasyonu ile :

$$R = Z \cos \phi$$

$$L = Z \sin \phi$$

$$\Delta V = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot I \cdot Z \cdot \cos(\phi - \alpha) \times l \quad (4)$$

Şekil: 5. te Belçika NBN 14 Standard şartnamelerine göre imal edilen 1-15 KV'luk kâğıt izolasyonlu kabloların L değerleri verilmiştir.

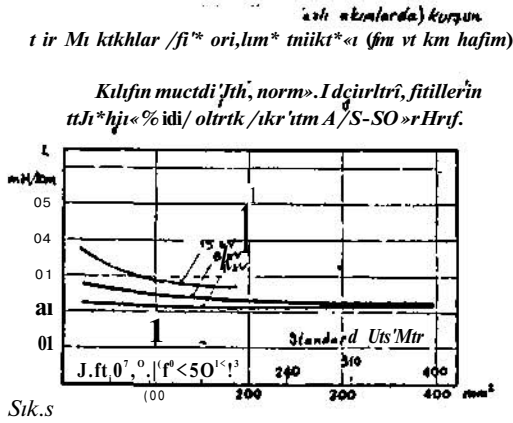
95 mm<sup>2</sup> ye kadar olan kesitlerde R ve Z arasındaki fark çok küçüktür. Maksimum geçici veya devamlı gerilim düşümünün tahmini kulla-

• Daha fazla bilgi için, M. GIARO'nun Societâ Belge des Electriciens Bulletin No 4 - 1963 teki makalesine bakılmalıdır

nana aittir ki o kendi hususi yüküne (aydınlatma, sincap kafesli motor, v.s.) göre lüzumlu değerleri alabilir.

Hattın / uzunluğu ve güç faktörü ile kritik akım I'den tayin edilmiş  $\sqrt{V}$  değeri için, Zve R nin bir maksimum değeri, netice olarak, bir minimum kesit bulunabilir

Hat uzunluğunun izafi olarak büyük olduğu yerlerde, alçak gerilimle besleme hallerinde, bir minimum kesit için gerilim düşümünün belirttiği sınır, ısınma noktası nazarından şartnamelerin tavsiye ettiğinden daha büyüktür.



m — KESİT SEÇİMİNDE HAT KAYIPLARININ EKONOMİK DURUMUNUN TESİRİ:

Gerilim düşümü ve sıcaklık yükselmesinin belirttiği sınırlara ilâve olarak, yeni bir faktör kablonun kullanma katsayısı bin saati veya eş-değeri yıllık efektif işletmeyi aştığı zaman göz-önüne alınmalıdır. Bu faktör hat kayıplarının ekonomik tesiridir.

Klasik haller (üç çekirdekli kablolar) düşünül-duğünde, kayıpların büyük kısmı, kısım I de çıkarılmış olan formüldeki gibi iletkenlerin ısınması ile hesap edilir.

Kayıpların bedeli ve tesis maliyeti toplamı iki değişik bakımdan ele alınabilir.

(a) Amortisman periyodunu  $r$  faiz haddinde  $n$  yılda sabit tutarak tesis masrafı ve toplam kayıpların bedeli  $n$  yıl süresince aynı esaslar dahilinde kapitalize edilebilir.

Eğer  $C_0$  tesisin başlangıçtaki bedelini ve  $P$  kayıpların yıllık değerini gösteriyorsa, bu toplam :

$$C_0 (1 + r)^n + P \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

ile gösterilir. Bunlar iyi bilinen irca formülleridir

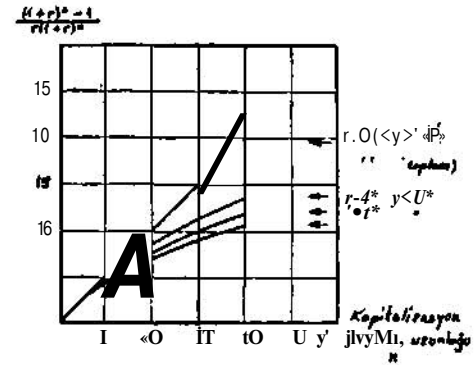
Bu toplamı tesisin kuruluş yılına irca etmek daha kullanışlı bir değer verecektir.

Böylece toplam irca edilmiş masraflar:

$$C_0 + P \left( \frac{(1 + r)^n - 1}{r (1 + r)^n} \right)$$

olur.

Bu formül mukayese bakımından evvelkinin aynıdır, ancak sabit başlangıç masrafı  $C_0$  kayıp bedelinden açıkça ayrılmıştır. Kapitalizasyon katsayısı  $\frac{(1 + r)^n - 1}{r (1 + r)^n}$  hesaplanabileceği gibi,  $n$  ve  $r$ ' in normal değerleri için Şekil: 6 da diagramlar halinde de verilmiştir.



Şek. 6.

$r$  faizle  $n$  yıllık ünika itatisifan  
katsa D:Ur i/r Afih, /s/ f\*fi r » Uuio  
/t\*Ut, n yi /fm, hur y,l trm'k ktykr karyhğ  
a/trmk I F(rif\* Ti) iJmuk, /'m itfUnyil'  
iHftMİ thttı i'lumı i'rmji müfari

(Şekil: 6)

(b) Diğer bir bakımdan bu probleme, «bir büyük yeni tesis için uzun vadeli borç bulma» halinde rastlanır.

Yıl be yıl, kayıplar ve borçlanılan sermayenin toplamı cinsinden yıllık mali külfetleri tayin etmek mümkündür. Böylece,  $r$  faiz haddinde  $n$  yıllık ödeme için ilk yıl esnasındaki mali külfet üç terimin toplamı ile gösterilir,

$$C_0 \left( r + \frac{1}{(1 + r)^n} \right) + P$$

burada terimler sırası ile borcun yıllık faizi, yıllık ödeme taksiti ve kayıpların değeridir.

Bu miktar yıldan yıla azalır. Meselâ ikinci yıl esnasında,

$$C_0 \left( \left( 1 - \frac{1}{n} \right) r + \frac{1}{n} \right) + P$$

değerine düşer.

Maamafih bizim esas mevzuumuz aynı müddet için değişik çözümlerin mukayesesidir

Yukarıdaki ifadeyi  $(r + \frac{1}{n})$  ye bölerek

$$C_0 + \frac{1}{r + \frac{1}{n}} \quad (6)$$

elde edilir.

Bu formülün avantajı, kablonun başlangıçtaki yatırımı ile kayıpların bedelinin izafi bağıntısını göstermesidir (formül 5 halindeki gibi).

$$\text{Bu hipotezde } \frac{1}{r + \frac{1}{n}} \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}$$

faktörü yerine gelmiştir.

Aşağıdaki misalde, aynı problemin bu iki ayın gösterilişinin pratikte tamamen identik olduğunu tekrar göstereceğiz.

(a) Hipotezi halinde 20 yıllık müddet için  $r = 6\%$  yıllık faiz alalım. Kapitalizasyon katsayısı :

$$\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} = 10.8 \text{ dir.}$$

(b) Hipotezine göre, 30 yıllık ödeme müddeti için gene yıllık  $r = 6\%$  faiz alalım. Bu kabulleyle

$$\frac{1}{r + \frac{1}{n}} = \frac{1}{0.0933} = 10.8$$

buluruz ki, evvelki değere çok yakındır.

İlmen kabul edilir ki, amortismanın hesap edildiği müddet, uzun vadeli borç alma halindeki ödeme müddetinden daha kısa olmalıdır.

Aşağıdaki muhakeme için ortalama 11 değerini alalım :

Her iki hipotez için en ekonomik çözümün bulunmasında kullanılacak miktar:

$$\text{Toplam masraf} = C_0 + 11 P \quad (7)$$

Burada :

$C_0$  = Başlangıçtaki masraf

$P$  = Kayıpların yıllık değeridir.

1 - 15 kV. Kâğıt - izolasyonlu kablolar için esas formül :

Kâğıt izolasyonlu üç - çekirdekli kabloların (1-6-15 kV. - NBN 14) birim uzunluğunun fiatı nominal keşide nisbet edilerek çizildiği zaman görülür ki fiat, nominal kesidin (S) hemen hemen lineer bir fonksiyonudur.

Döşeme ve teçhizat masrafları, mümkün se çim bölgesinde, nominal kesit S ten hemen hemen müstakildir  $C_0 = A + BS$  şeklinde ifade edilebilir ki, A terimi nominal kesitten müs-

takildir ve B, 1 ilâ 15 k/V. arasında pek az değişir. Yazı yazıldığı sırada ortalama değer 2.200 F/km. mm<sup>2</sup> (396 TL/km, mm<sup>2</sup>) (nominal kesitteki artışla, mm<sup>2</sup> ve birim uzunluk başına fiattaki artış).

Diğer taraftan kayıplar

$$\frac{3 p I^2}{-q} *$$

olarak ifade edilebilir.

(\*) aynı yıllık kayıpları veren, tam yüke tekabül eden saat adedi)

Yıllık masraflar

$$P = \frac{3 p I^2}{-q} \cdot 7 \cdot p \quad (p = \text{kWh fiatı}) \text{ olur.}$$

Böylece birim uzunluk başına toplam masraflar

$$(A + BS) + 11 X \frac{3 p I^2}{-q} \cdot 7 \cdot p, \quad (8)$$

ki bundan bir minimum için

$$S = \text{Optimum kesit} = i \cdot yj \frac{3 p \eta \rho}{B} \cdot il \quad (9)$$

bulunur.

Optimum kesit aşağıdaki dört faktörün çarpımlarına irca edilmiş oldu.

Bunlar sırası ile:

- Nominal akım I

- Bir ekonomik faktör :

$$\sqrt{\frac{p}{B}} = \sqrt{\frac{\text{kWh. fiatı}}{\text{nominal kesitteki artışla mm}^2 \text{ ve birim uzunluk başına fiattaki artış}}}$$

ki bu işletme şartlarından müstakildir.

- Bir servis faktörü

$$\cdot \sqrt{yj} = \sqrt{\text{aynı yıllık kayıpları veren, tam yüke tekabül eden saat adedi.}}$$

- Bir mali faktör 11,  $n = 20$  yıl ve yıllık

$$r = 6\% \text{ faiz için } \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \text{ iñ yaklaşık}$$

olarak verdiği değerdir.

Esas formülün pratik tatbikatı

$$p \text{ toplam} = 20 \text{ ohm/mmVkm (45°Cda)}$$

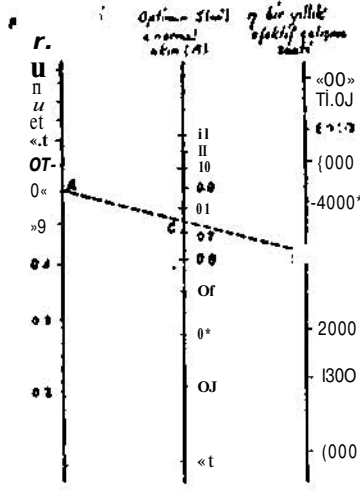
$$B = 396 \text{ TL/km mm}^2$$

$$S_{opt} = I_{nom} X 0,0173 X \sqrt{\sim} T^7$$

ki burada :

$$S_{opt} \text{ mm}^2, I_{nom} \text{ amper, } T \text{ saat/yıl ve } > \text{krş/kWh}$$

olarak ifade edilmişlerdir. Bu ifade  $t/p$  ve S arasındaki bir abakla Şekil: 7 de belirtilmiştir.



Şık 7- NBN « i/f » /-« 15 kV kağıt izolasyonlu, üç şerhdeki, kuzaklı, kabloların optimum kesitlerinin hesabı için abak.

Gislifiltin Ku'ztlit 1 normml mim T'20ö/t.  
p. 06 r/hH. (te.t \* > i/iWI) (Anotftu ) ,  
q- 3000 » • « / / s / ( a naki \* i i ) , t f w. 8 ' y i '  
t i ' r / i ) H ' r ' S n r f o f v ü t r i ' n j i , C n t k i a s i ,  
S / Z » 0.7 \* m \* ! / / } » t r ' i f S u r m d a n ı  
3 \* f l . ' 0 - 7 \* > t o o S i n m f b u l u / v i C

Böylece kullanan, değişik kullanma katsayıları ve kWh. flatları için  $S_{opt}$  / I nom. oranlarını tayin edebilir.

Şekil 7 üzerinde bir misal yapılmıştır.

Eşit kesitli, paralel birkaç kablo hali (1-15 kV -Belçika NBN 14 standart şartnameleri).

Eğer nakledilen akım en büyük standard kesitle müsaade edilen maksimumu aşarsa, paralel birkaç kablo yerleştirmeyi düşünmek mecburiyeti vardır.

Bir basit hesap (burada izah etmek uzun sürecektir) gösterir ki, ekonomik noktadan, mümkün en az sayıda kablo paralel olarak kullanılmalıdır.

Diğer bir deyişle, akım tek bir kablo ile taşınmadığı takdirde toplam nominal akım 2. 3. 4 .... ile bölünür ve yukarıdaki formül bu kısmi akımlara tatbik edilir. Fakat bölme işlemine, standard kademe içine düşen ilk kesit elde edildiği an son verilmelidir

**Yüksek gerilim kabloları.**

Standard olmayan yüksek gerilim kablolarının kesiti ile, kayıplar ve masraf arasında her hal için değişik münasebetler vardır. Optimum kesit nominal akımın bir fonksiyonu olarak kolayca gösterilemez. Her halde kilometrik kayıpların (kW/km. tam yükte) başlangıca irca edilmiş eşdeğerleri düşünülerek değişik kesitler veya değişik tipteki kabloların (yağlı, gazlı, masif tip) arasındaki çözüm hayli basitleştirilebilir.

Yukarıda göstermiştik ki, irca edilmiş kayıpların hakiki kapitalize değeri, bu kayıpların yıllık değerinin 11 katına eşittir.

Böylece kilometrik kayıpların her kW'nın fiat artışıdaki eşdeğerinin  $\frac{1}{2} A_v C_o = 11X7)Xj!$  (hattın km. başına) olduğunu kabul edebiliriz.

Bir misal olarak, bir 100 MVA, 150 kV. çok yüksek gerilimli kablo halini deneyelim.

**Çözüm I:**

$$C_o = 2.500.000 \text{ F/km.} \\ = 450.000 \text{ TL/km.}$$

Kayıplar = 100 kW/km tam yükte

$$7) = 4.000 \text{ saat/yıl } p = 0.6$$

$$\text{F/kWh} = 0,11 \text{ TL/kWh.}$$

$$A C_o = 11 \times 4.000 \times 0.6 \times 100 = 2.640.000 \text{ F/km.} = 475.200 \text{ TL/ km.}$$

Toplam masraf:

$$C_o + A C_o = 2.500.000 + 2.640.000 = 5.140.000 \text{ F/km.} \\ = 450.000 + 475.200 = 925.200 \text{ TL/km.}$$

**Çözüm n :**

$$C_o = 2.300.000 \text{ F/km.} \\ = 414.000 \text{ TL/km.}$$

Kayıplar = 115 kW/km.

v) ve p nin değerleri çözüm I aynı.

$$\frac{1}{2} A C_o = 11 \times 4.000 \times 0,6 \times 115 = 3.040.000 \text{ F/km.} \\ = 547.200 \text{ TL/km.}$$

Toplam masraf:

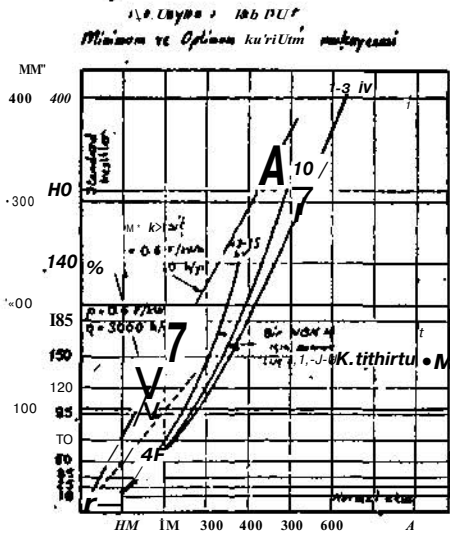
$$C_o + A C_o = 2.300.000 + 3.040.000 = 5.340.000 \text{ F/km.} \\ = 414.000 + 547.200 = 961.200$$

Daha yüksek ilk tesis masrafı yerine, kayıpların kapitalizasyonu düşünüldüğü zaman çözüm I, daha ekonomiktir.

**Mühim Not:**

Kâğıt izolasyonlu 1-15 kV. kablolar için (Belçika NBN 14 standart şartnameleri), kullanma katsayısı (yıllık efektif çalışma saatinin) 1500 saati aşan değerlere eriştiğinde en ekonomik kesitler talimatnamelerde tavsiye edilenlerden daha büyüktür (Bak Şek. 8).

Derhal görülemeyen ekonomik avantajın inkâr edilememesinden sarfınazar, Kesitin büyümesi :



- Kısa devre kapasitesini arttırır,
- Gerilim düşümünü azaltır,
- Yükün, sıcaklık yükselmesine tabi olarak müsaade edilen maksimum değere kadar yükselmesini mümkün kılar.

H ü l a s a :

Bir güç kablosunun rasyonel seçiminde üç kriterin ayrı ayrı tetkikine dayanılmadır

(I) Tam yükte maksimum sıcaklık yükselmesi (bak kısım I),

(II) Belli bir yük için müsaade edilen maksimum gerilim düşümü (bak kısım H),

(IH) Kapitalize edilmiş kayıplar ve tesis maliyeti toplamının minimum değeri (bak kısım HI).

Belli şartlara göre, minimum kesit bu kriterlerin biri veya diğeri ile tayin edilir.

Onun için bir yeraltı kablosunun (verilen çalışma geriliminde) planlanmasında kullanılan aşağıdaki bilgileri tayin etmesi lüzumludur.

- Nakledilecek maksimum devamlı yük,
- Kısa devre kapasitesi ve koruma cihazlarının çalışma hızı,
- Ortalama güç faktörü, akımın tabiatine (geçici veya devamlı) göre müsaade edilen gerilim düşümü, kablonun uzunluğu,
- Kablonun döşenme şartları: derinlik, ter tip,
- Kullanma katsayısı (yıllık, efektif işletme saati) ve müstehlikteki kWh. maliyet fiatı.

Bu bilgiler, bir kablo dağıtım şebekesi yatırımı düşünüldüğü zaman dahi bir fazlalık göstermezler.

#### IV — BİR HATTIN HESABINA AITT NÜMERİK MİSAL:

6 kV'ta maksimum 2,6 MVA taşıyabilecek kapasitede 1500 m. uzunlukta bir yer altı kablosunun tesisi isteniyor.

Diğer şartlar şunlardır:

- Simetrik kısa devre gücü: 40 MVA -1 saniye,
- Kablonun sonunda işletme esnasında maksimum gerilim düşümü : 5 %
- Kablo normal toprakta 0.80 m derinlikte döşenmiştir. ( $p^{\wedge}$  = 80 °C. cm/W, maksimum sıcaklık 20°C)
- Aynı kapasitede bir kablo, mevzuu bahis kabloya 6 cm açıklıkta 400 m. paralel olarak gitmektedir.
- Kablo, 48 hafta, haftada 5 iş gününden aşağıdaki yükler altında serviste bulunmaktadır : tam yükte 6 şar saatlik iki periyod, bunların arasında yarı yükte 2 saatlik bir periyod ve bunları takiben 1/4 yükte 10 saatlik bir periyod.
- Kablonun müstehlikinde kWh. bedeli 0.60 F (10,8 krş.).

Bir kâğıt izolasyonlu, kurşun kılıflı ve zırlı kablo için en avantajlı kesidin tayıni.

I — Sıcaklık yükselmesi :

Tam yükte:

$$i_n = \frac{2600}{\sqrt{3} \times 6} = 250 \text{ A.}$$

Belçika NBN 14 standard şartnamelerine göre verilen minimum kesit 95 mm<sup>2</sup> dir. Bu kesitteki kablonun sıcaklık şartlarını kontrol edelim.

(a) Kablonun Karakteristikleri:

1,92 mm. çaplı 33 telli	
Kâğıt izolasyon kalınlığı: 2 mm.	
Üç fazın birlikte dış çapı	30.2
Kuşak kalınlığı 1 mm.	32.2
Kurşun kılıf kalınlığı 1,8 mm.	35.8
2 ziftli kâğıt tabaka	37.0
Jüt	39.8
2 şerit 40 x 0,7	42.6
Jüt	42.6

(b) Kayıplar sebebi ile kaydedilen maksimum gücün hesabı.

Maksimum sıcaklık : 65° C

İletkenin

$$18 [1 + 0,004 (65 - 20)]$$

$$\frac{18 [1 + 0,004 (65 - 20)]}{95} = 0,225 \text{ fi/km.}$$

95

Kayıplar :

$$3 \times I^2 \times R = \frac{3 \times 250^2 \times 0,225}{10^3} = 42,5 \text{ W/m.}$$

(c) Kablonun termik direncinin hesabı  
Bu dirençler her üç faz için hesaplanır.

(1) İzolasyonun termik direnci  
 $e = 2 + 1 = 3 \text{ mm.}$

(Kalınlık : izolasyon + kuşak  
Üç fazın birlikte dış çapı  
 $\frac{30,2 - 4}{3} = 26,2 \text{ mm.}$

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{26,2} = 0,1145$$

Şekil 1 den :

$$R_a = 0,21 \text{ } ^\circ\text{C. m/W}$$

(2) Ziftli kâğıdın termik direnci  
( $p_{th} = 600 \text{ } ^\circ\text{C.cm/W}$ )

$$e = 0,6 \text{ mm.} \quad D = 35,8 \text{ mm.} \quad \frac{e}{D} = 0,017$$

Şekil 1'den.

$$R_b = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C. m/W}$$

(3) Birinci jüt tabakasının direnci  
( $p_{th} = 700 \text{ } ^\circ\text{C. cm/W}$ )

$$e = 1,4 \quad D = 37 \quad \frac{e}{D} = \frac{1,4}{37} = 0,038$$

Şekil 1 den:

$$R_3 = 0,11 \text{ } ^\circ\text{C m/W.}$$

(4) ikinci jüt tabakasının direnci  
( $p_{th} = 700 \text{ } ^\circ\text{C. cm/W}$ )

$$e = 2 \quad D = 42,6 \quad \frac{e}{D} = \frac{2}{42,6} = 0,047$$

Şekil 1'den:

$$R_4 = 0,13 \text{ } ^\circ\text{C.m/W}$$

(5) Toprağın direnci  
( $p_{\theta} = 80 \text{ } ^\circ\text{C. cm/W}$ )

$$D_e = 46,6 \quad D = 800 \text{ mm.} \quad \frac{P}{D_e} = \frac{800}{46,6} = 17,2$$

Şekil 2'den

$$R_5 = 0,536$$

(6) Bir kablunun toplam direnci

$$R_{th} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \\ = 0,21 + 0,05 + 0,11 + 0,13 + 0,536 = 1,036 \text{ } ^\circ\text{C.m/W}$$

(7) Paralel ikinci bir kablo halinde toplam direne kabloların eksenleri arasındaki mesafe E .

$$E = D_e + 60 = 46,6 + 60 = 106,6 \text{ mm.}$$

$$\frac{P}{D_e} = 17,2 \quad \frac{P}{E} = \frac{106,6}{46,6} = 2,3$$

Şekil 3'den :

E.M.M. 68

$$R_{\gg 1} = R_5 \times d + 0,64 = 0,536 \times 1,64 \\ = 0,878 \text{ } ^\circ\text{C.m/W}$$

Paralel iki kablo için

$$R_{top} = 0,21 + 0,05 + 0,11 + 0,13 + 0,878 \\ = 1,378 \text{ } ^\circ\text{C.m/W}$$

(8) Termik şartlar

(a) Tek kablo

$$A t = (\text{kayıplar}) \times (R) = 42,5 \times 1,036 = 44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t (\text{bakırın}) = 20 + 44 = 64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ki bu değer üst limit olarak tesbit edilen 65°C tan azdır.

(b) İki paralel kablo

Azalma katsayısı:

$$\frac{1}{V} \frac{R_{h, \text{ bir kablo}}}{R_{h, \text{ iki kablo}}} = \frac{1,036}{1,378} = 0,87$$

Bu değer NBN 14 te verilen 0,9 değerine yakın olduğu görülmektedir, iki identik kablunun paralel olduğu hat bölümünde, minimum kesit 120 mm<sup>2</sup> olur. NBN 14 e göre

$$I_{max} = 285 \times 0,9 = 255 \text{ A.}$$

(c) Eğer kablunun etrafı hava ile çevrili olsaydı:

Şekil 4'den 42,5 W/m kayıp ve  $D_e = 4,7 \text{ cm.}$  için

$$R_{h-hav_3} = 0,63 \text{ } ^\circ\text{C.m/W}$$

ve topraktaki 1,036 değeri yerine de

$$R_{top} = 1,13 \text{ } ^\circ\text{C.m/W}$$

elde edilecekti.

Havadaki maksimum sıcaklık 30°C (Topraktaki 20°C yerine) kabul edilerek ve maksimum bakır sıcaklığı 65°C ta aynı bırakılarak, akımın azalması:

$$\sqrt{\frac{1,036}{1,13} \times \frac{44}{44}} = 0,71 = 0,85$$

bulunacaktı.

II — Gerilim Düşümü Kriteri:

95 mm<sup>2</sup> kesitli kablo aşağıdaki karakteristikleri haizdir:

$$R = 0,225 \text{ n /km. } 65^\circ\text{O ta}$$

$$w L = 314 \times 0,24 \cdot 10^{-3} = 0,076 \text{ n/km.}$$

Bu değerlerde ilk yaklaşıklık için zırhın tesiri ihmal edilmiştir.

Bu halde gerilim düşümü :

$$AV/\text{km} = I \times VI ( R C S V + w L \sin < p ) \\ = 250 \times \wedge / T ( 0,225 \cdot 0,8 + 0,076 \cdot 0,6 ) \\ = 97 \text{ V/km.}$$

Kilometre başına 1,6 % gerilim düşümü veya tam yükte 1,5 km'lik uzunluğun tamamı için:

$$1,5 \times 1,6 = 2,4 \%$$



Bu halde görülmektedir ki tesbit edilen maksimum 5 % gerilim düşümü aşılmamaktadır.

III — Mali Kriter:

Verilenlerden, yıllık tam yükte işletme saati:

$$\eta = 48 \times 5 \left( \frac{1^2}{2} + \frac{1^2}{4} \right) + 6 + 6 + 2 \cdot (-I) + 10 \cdot (-) J$$
$$= 3140$$

Yuvarlak bir rakam olarak 3000 alalım.

Şekil 7 deki abaktan  $p=0,6$  F/kWh (10,8 krs/kWh) ve  $Y = 3000$  saat/yıl için .

Sop,  $/IA = 0,74$

ve buradan  $S_{opt} = 0,74 \times 250 = 185 \text{ mm}^2$

Optimum çözümün kabulü ile temin edilen ekonomiyi hesapla gösterelim.

*Minimum kesit :*

6 kV'ta 3 x 95 mm<sup>2</sup>

a) Satış fiyatı: 280.000 F/km. (50.400 TL/km) (yazının yazıldığı tarihteki fiyat, izah için alınmıştır.)

b) Kayıpların kapitalize değeri:

$$11 \times 3 \times 0,225 \times 3.000 \times \frac{0,6}{10^3} = 830.000 \text{ F/km}$$
$$= 149.400 \text{ TL/km,}$$

hemen hemen kablo bedelinin üç katı.

c) Toplam maliyet:

$$280.000 + 830.000 = 1.110.000 \text{ F/kW.}$$
$$50.400 + 149.400 = 199.800 \text{ TL/km.}$$

*Optimum kesit :*

6 kV'ta 3 X 185 mm<sup>2</sup>

a) Satış fiyatı: 480.000 F/km. (86.400 TL/km) (yazının yazıldığı tarihteki, 3 X 95 mm<sup>2</sup> gibi)

b) Kayıpların kapitalize değeri:

$$11 \times 3 \times 0,117 \times 3.000 \times \frac{0,6}{10^3} = 435.000 \text{ F/km.}$$
$$= 78.300 \text{ TL/km.}$$

c) Toplam maliyet:

$$480.000 + 435.000 = 915.000 \text{ F/km.}$$
$$= 164.700 \text{ TL/km.}$$

Buradan hakiki tasarruf:

$$1.110.000 - 915.000 = 195.000 \text{ F/km.}$$

$$199.800 - 164.700 = 35.100 \text{ TL/km,}$$

ki bu minimum kesitli kablunun

$$\frac{195.000}{280.000} = 70\%$$

$$\frac{35.100}{50.400} = 70\%$$

nisbetine tekabül eder.

120 mm<sup>2</sup> lik kesit içinde benzer bir hesap yapılabilir.

IV — Rasyonel seçim kriterlerinin tatbikinin hülâsası.

(1) Sıcaklık yükselmesi

3 x 95 uzunluk 1.100 m. (tek kablo)

3 x 120 uzunluk 400 m. (2 kablo yan yana)

(2) Gerilim düşümü

3 x 95 uzunluk 1.500 m.

(3) Mali

3 x 185 mm<sup>2</sup>, yıllık efektif çalışma saatinin 3000 saati aştığı haller için.

Yukarıda etraflıca izah edilen şartlarda rasyonel kesit 3 X 185 mm<sup>2</sup> dir.

V — N E T İ C E :

Bir müşahhas misalle, bir hattın planlanmasında toplanan malûmatın pratik değeri ve verilen kesitteki bir kablunun ekonomisine kayıpların tesirinin ne vüsatta olduğu gösterilmiştir.

Bu etütte gösterildiği gibi, rasyonel kesit seçimi, umumi sistem ekonomisinde ekseriya tatbik edildiği gibi kati bir faktör olarak, yalnız düşüncelere dayandırılmamalıdır.

L İ T E R A T Ü R :

Aldo MORELLO — Calcolo delle portate di corrente nei cavi per trasmissione d'energia. Elettrotecnica-Vol. XLVI - No. 1/1959 (formül ve diğer değerler için).

J. A. GIARO Les courants de court - circuit dans les réseaux électriques et leurs effets nuisibles sur les câbles de puissance. Bulletin S.B.E. no. 4 - Octobre - Décembre 1953

M. GOUIX. Étude d'un transport d'énergie - Détermination de la solution économique. Revue Jeumont no. 39. Juillet - Septembre 1957.

T. CHAMCHINE et A. COIGNARD - Étude comparative des normes NFC 7 de novembre 1950 et C33 - 100 du 25 juin 1957 pour câbles à moyenne tension isolés au papier imprégné du type solide. Revue générale d'Electricité Tome 67-no. 12 - Décembre 1950-p. 655.

H. GOLDENBERG — The Calculation of Continuous Current Ratings and Rating Factors for Transmission and Distribution Cables • The British\* Electrical and Allied Industries Research Association. Technical Report F/T 187-1958

O. SEIBERT et. E. KUHN - Zulässiger Dauerstrom für in Erdboden verlegte Kabel. Elektrotechnische Zeitschrift 72 jahrg. Heft 3 - 1. Februar 1951.