

# Emprenye Edilmiş Kâğıt İzoleli, Kurşun Kılıflı Kabloların + 5° C dan Düşük Sıcaklıklarda Döşenmesi [\*]

Yazanlar :  
R. Bernard, G. Martin,  
O. Weissenberger

Çeviren:  
Talisin ARMAY  
Yük. Müh.  
İller Bankası

**ÖZET:** Avrupa'da geçen 1962-1963 şiddetli kışın dolayısıyla soğukta kabloların döşenmesi gü-  
nün konusu olarak yeniden ortaya çıkmış ve bu maksatla, bu şekilde kablo döşenmesine tesir eden  
esaslı /aktörlerin yeniden etüdedilmesinin faydalı olacağı düşünülmüştür.

Katlama (bükülme) deneylerinde elde edilen pratik sonuçlara göre + 5°C'den aşağı bir sıcak-  
lıkta kabloları döşemek tehlikeli olmuştur. Kabloları döşmeden önce, onları ısıtma imkânları, döşe-  
me mahallerinde, çadır altında bunların elektrik akımına tabi tutulması etüd edilmiştir

Elde edilen sonuçlarla lüzumlu ısınma süresini takriben hesaplamaya imkân veren formüllerin  
tesis sağlanmıştır. Kritik sıcaklığın altında kabloların döşenmesinin zorunlu bulunduğu hallerde,  
kablodaki kurgun kılıfın + 5°C'dan az olmayacak bir sıcaklığa kadar sıcaklığın saklanması ve müm-  
kün olduğu kadar kablounun yavaş soğuması lüzumdur.

Homogen bir silindire benzetilen bir kablounun soğumasının tam hesabını yapmak mümkündür.  
Fakat pratik bakımdan bu hesabın kullanılması çok uzun bir zamana ihtiyaç göstermektedir. Başlıca  
kablo tiplerinin döşeme süresini tayin için lüzumlu basların tesisine yarayan deney sonuçlarının, for-  
müllerle hesaplanan sonuçları doğruladığı görülmüştür.

## 1 — Giriş :

İyl mevsimlerde olduğu gibi kış aylarında da  
kablolan döşeme lüzumu çoğu kere ortaya çık-  
maktadır. 1962 - 1963 yıllarından daha soğuk kış-  
larda, asgari olarak kabul edilen sıcaklıkları da-  
ima muhafaza etmek mümkün olmamaktadır. Bu  
bakımdan, işviçre kablo İmalâtçıları, muhtelif  
kablolar için aşağıda belirtilen asgarî sıcaklık  
derecelerini tesbit etmişlerdir :

Kablo tipleri	En düşük döşeme's.- caMigi °C
— Akışkan yağlı yüksek gerilim- li kablolar	-5
— Yağ ve reçine karışımıyla emp- renye edilmiş yüksek gerilimli kablolar	+5
• — Yağ ve reçine karışımıyla emp- renye edilmiş alçak gerilimli kablolar	+1
— Termoplastik izolasyonlu yük- sek gerilimli kablolar	-5
— Kuru kâğıt izoleli telefon kab- loları	-5

60 KV'a kadar kurşun kılıflı, reçine - yağ  
karışımıyla emprenye edilmiş kâğıt izoleli kab-  
loların + 5°C'nin altındaki sıcaklıklarda döşene-  
bilme şartlarını etüdeden yazarlar, bütün döşe-  
[\*] (Büyük elektrik şebekeleri milletlerarası (CIGBE) konferansının 1964 dönemi 206 No. lu raporun-  
dan özetlenmiştir).

me süresince- kurgun kılıf sıcaklığı kritik sıcak-  
lıktan yüksek olacak şekilde, kabloların önce ısı-  
tılması gerektiğini ortaya koymuşlardır,

## % — Kabloların ısıtılması:

21 — Bir Sıcaklıkta veya ısıtılmış bir  
mahalde ısıtma :

Eğer ısıtılmış bir (yerde bulunan) bir kablo  
bobinini homogen bir cisme benzetirsek, bu cis-

Verilen ÜS olacaktır:

$$G = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad W$$

Burada;

— Sıcak kablo ile kablounun mahal ara-  
sındaki sıcaklık farkı;

t, zamanı;

r, kablounun zaman sabitesini; gösterir,

Bu zaman sabitesi şu formüle bağlıdır:

$$r = G.C/A.0 \quad (2)$$

Burada;

G, Kablounun toplam ağırlığını,

C, Kablounun özgül ısısını,

A, Kablounun ısınma yüzeyini,

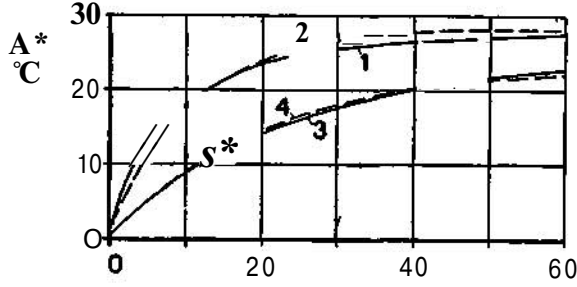
p, Kablounun ısı iletme faktörünü, gösterir.

Homogen olmayan bir cisim için, kıyaslama ile şu formülü kabul edebiliriz :

$$r = \% G.C./A.t \quad (3)$$

Burada  $\% G.C$  miktarı, bakırın, izolasyon tabakalarının ve kurgun kılıfın, muhtemel olarak çelik zırhın termik kapasiteleri toplamıdır.

Şekil (1) den de görüleceği üzere, yapılan bir çok deneylerden, 5 saat kadar devam ettirilen birinci periyotta, ısınma eğrisinin tam bir eksponansiyel'i takip etmekte olduğu, buradan bir bobin üzerine sarılmış bir kablo için termik bir zaman sabitesinin çıkarılabileceği anlaşılmaktadır. Kablonun ağaç bir bobin üzerine veya demirden bir bobin üzerine sarılmış olmasına göre kablonun ısınma (yayıma) yüzeyi çok değişik olacaktır. Kablo bobininin ağaç olması halinde, ağacın termik izolasyon gibi rol oynadığı ve yalnız silindirin dış yüzeyinin göz önünde tutulabileceği, demirden bir bobin halinde bütün kablo makarası yüzeyinin hesaba katılması gerektiği anlaşılır.



Şekil : 1 — Bir mahalde kabloların ısınması.  
1. 60 KV. luk, 1 x 400 mmt lik, 510m lik, demirden bobin üzerine sarılı kablo.  
2. = 10 saatlik zaman kat sayısına göre eksponansiyel eğri.  
3. 1 KV. luk 4tc 150 mmt lik, 759 m. lik ağaçtan bobin üzerine sarılı kablo  
4. = 20 saatlik zaman kat sayısına göre eksponansiyel eğri.

Deneyle zaman sabitesini tayin için,  $t_{-}$ , kabul edilerek,

$A_0 = 0,63 A_{0_{max}}$  bulunmuştur, yani, kablodaki nihai ısınmanın % 63'ne kadar ulaşabilmesi için, kabloya lüzumlu ısınma zamanının T-ye eşit olduğu görülür. /3'nün tayini için (3) formülünden hareketle :

$$p = 2 G.C./A.t$$

Muhtelif kesitli ve muhtelif gerilimli kablolar üzerinde yapılan çok sayıda ölçülerden elde edilen sonuçlara göre,  $p$  miktarının 4 ila  $6 W/m^2$ . °C arasında değiştiği görülmüştür. Bu değer in alt limiti 20 ilâ 35 milimetre çaplı kablolar; üst limiti de 60 mm. den büyük çaplı kablolarla kabul etmektedir.

Misal olarak; 1000 metrelik, 1 KV. luk, 4 x 50 mm<sup>2</sup> ilk ısınma yüzeyi 6,5 m<sup>2</sup> olan ağaçtan tambur üzerine sarılmış bir kablo için,  $t_{-} = 18$  saat

bulunmuştur. Ayrıca verilen miktarlar şunlardır? :

$$G_{m} = 1840 \text{ kg}, \quad G_{izol} = 441 \text{ kg}, \quad G_{pb} = 1715 \text{ kg}$$

$$C_{cu} = 0,40 \text{ KW.s/kg.}^{\circ}\text{C}, \quad C_{a} = 1,63 \text{ KW.s/kg.}^{\circ}\text{C},$$

$$C_{pb} = 0,13 \text{ KW.s/kg.}^{\circ}\text{C}$$

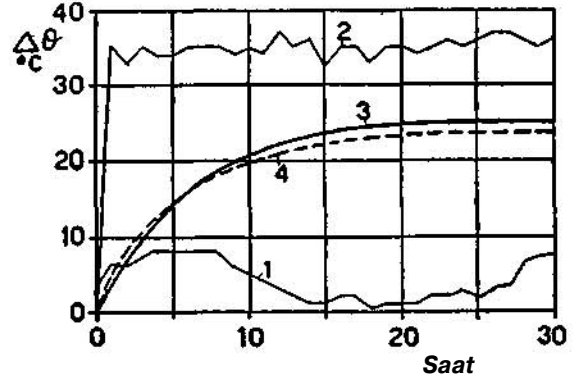
Buna göre  $p$  için şu değer bulunur.:

$$p = G.C./A.t = 1678.10V6.5 \times 18 \times 3600$$

$$= 4W/m^2.^{\circ}\text{C}$$

Isıtılmış mahallin sıcaklık derecesine ulaştırılması için kablonun zaman sabitesinin üç katına eşit bir zamana ihtiyaç bulunduğu kabul edilirse, demirden bobin için 36 saat ve ağaçtan bobin için 72 saate lüzum vardır.

Sıcak bir kaynağın meselâ bir gaz brülörünün bulunduğu bir çadır altında bir kablonun ısıtılması, aynı kanunları takip eder. Fakat çadırın içindeki sıcaklığı iyice tesbit etmek güç olduğundan, bu takdirde kablonun sıcaklığını kontrol etmek lâzımdır. Böyle bir halde sıcaklığın değişmesi şekil (2) de görülmektedir.



Şekil : 2 — 261 m. boyunda, 220 KV. luk, 1 x 200 mmt lik, bir kablonun demirden bir bobin üzerinde, bir çadır içinde ısınması,  
1. Dış sıcaklığın değişmesi,  
2. Bir çadır içindeki havanın ısınması  
3. Bakırın ısınması,  
4. Kurşunun ısınması.

## 2.2 — Jul tesiriyle kablonun ısınması :

Elde lüzumlu bir akım kaynağının bulunması şartına göre, bakırda veya izole edilmiş kurşun kılıfdaki Jul kayıplarıyla kablonun ısıtılması mümkündür. Kurşun kılıf vasıtasıyla kablonun ısıtılması tercih edilir. Zira, bakır vasıtasıyla ısıtılma nazaran kablonun bütün kitlesi aynı sıcaklık derecesine daha kolay ulaşır.

Bakır ile ısıtmada, bakır ile kurşun arasında meydana gelen sıcaklık düşüşünden dolayı, kâğıt izolasyonun dış tabakaları daha az sıcak olur ve kabloda yığılmış toplam termik enerji miktarı daha az seviyede bulunur. Bununla beraber, kurşun kılıfın soğuması, bakır iletkenin soğumasından daha hızlı olmaktadır.

-Kurgun vasıtasıyla ısınma halinde, zamana bağlı olarak sıcaklığı hesaplamak için, yeniden (1) formülünden hareketle kablonun konulduğu mahallin  $AQ_m$ , sıcaklık farkını formülden çıkarmamız mümkün bulunmaktadır.

$$12. Rg = A_a \cdot A0_m \ll (4)$$

Burada :

$I$ , ısıtma akımı,  
 $R0$ ,  $0$  sıcaklığında kurşunun direnci;  
 $A_a$ , soğuma yüzeyi;  
 $a$ , ısının nakledilme faktörü;

$a$  miktarı,  $A0$  ve  $A'$ 'ya ve havanın hızına bağlı olup 5 ilâ 7  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  arasında bir değerde olduğu kabul edilebilir.

Hava ile kurşun kılıf arasındaki  $A0_{maj}$  sıcaklık farkını bulmak için lüzumlu asgari akım şiddeti :

$$I = \sqrt{A_a \cdot \alpha \cdot \Delta\theta_{max} / R\theta}$$

Misal olarak :

4x50 mm' İlk, 1 KV lik, 500 metrelik ve demirden bobin üzerine sarılmış bir kabloda :  
 $A = 8,8 \text{ m}^2$ ;  $R_{s0} = 0,72 \text{ ohm}$ ;  $\ll = 6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$   
 $A0 \gg \ll = 20 \gg C$  için:

$$I = 4 \sqrt{8,8 \times 6 \times 20 / 0,72} = 39 \text{ Amper}$$

$$r = X G.C / A_a = 4,4 \text{ saat bulunur.}$$

### S. Kablonun soğuması :

Aşağıda görüleceği üzere,  $+5^\circ C$ 'in altında bir sıcaklıkta bulunan bir kablonun bükülmesi sırasında, kağıt izolasyonda bir takım çatlaklar meydana gelmektedir. Kablonun bükülmesinden doğan bütün tehlikeleri önlemek için, kurşun sıcaklığının  $+5^\circ C$ 'in altına düşmemesi zorunlu bulunmaktadır. Eğer havanın sıcaklığı daha düşük olursa, bütün döşeme süresince kablonun sıcaklığı  $+5^\circ C$ 'dan büyük olacak şekilde kablonun ısıtılması yoluna gidilir. Kablolar kendi bobinleri üzerinde bırakıldığı takdirde, soğuma nisbeten yavaş olmaktadır.

Bir mahalde kablonun ısıtılması için lüzumlu zaman sabitesi, kablonun soğumasındaki zaman sabitesinin aynıdır. Buna mukabil, eğer kablo döşeme makaraları (galet'ler) üzerine serilmiş (açılmış) bulunursa, bu takdirde kablonun soğuması çok daha hızlı olmaktadır.

### 3.1 — Homogen bir silindir gibi kabul edilen bir kablonun soğumasının hesabı :

Gröber ve Erk tarafından hazırlanan kitabın (1) 56. ci sahife ve şekil 23 de görüleceği üzere, yayılan enerji ile kayıp olan enerji miktarı arasındaki diferansiyel denklem kullanılmak suretiyle silindirin yüzey sıcaklığını tam olarak hesaplamak mümkündür. Bunun için, limit şartlar

göz önünde tutularak bu diferansiyel denklemi kısaltmak lâzımdır. Bu suretle 0 ve 1 mertebesinde Bessel fonksiyonu elde edilir. Hesap sırasında, seri halinde konulmuş muntelif bütün termik İletkenlerin toplam termik iletkenliği olarak  $(\lambda)$ 'yi denkleme ithal etmek lâzımdır.

$$\lambda_t = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{cu} d} + \frac{1}{2A_{izo}} \cdot \ln\left(\frac{d_1}{d_i}\right) + \frac{1}{2h_{pb}} \cdot x + \ln\left(\frac{d_e}{d_i}\right) + 1/\alpha_L \cdot d_e} \quad (6)$$

Burada :  $\alpha_{cu}$ , bakır ile izolan arasındaki ısının iletme kat sayısı olup, takriben  $130 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$ 'e eşittir.

$d$ , Bakır iletkenin çapı;

$\lambda_{zol}$ , izolanın termik iletkenliği olup,  $1,5 \text{ ilâ } 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm} \cdot ^\circ C$

$d_i$ , Kurşun kılıf altındaki kablo çapı;

$\lambda_{pb}$ , Kurşunun termik iletkenliği olup,  $350 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm} \cdot ^\circ C$ 'e eşittir.

$d_e$ , Kablonun dış çapı;

$\alpha_L$ , Kablonun havaya ısı İletme kat sayısı olup,  $8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$ 'dir.

Ortalama olarak hacim özgül ısısı  $C_v$  ise, birim hacim başına termik enerji toplamı, santigrat derece basma :

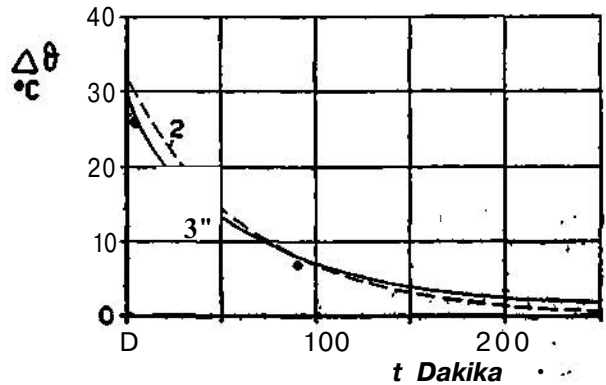
$$C_v = \% V.C / 2 V \quad (7)$$

60 KV. luk  $1 \times 240 \text{ mm}^2$  lik bir kablo için yapılacak hesapda :  $d_e = 60 \text{ mm}$ . olduğuna göre :

$$\lambda_t = 6,7 \cdot 10^3 \text{ W/cm} \cdot ^\circ C$$

$$C_v = 1,84 \text{ W.s/cm}^3 \cdot ^\circ C \text{ bulunmuştur.}$$

Kablonun yüzey sıcaklığı için hesaplanmış değerler (Şekil 3)'e aktarırsa, ölçülmüş değerlere çok yakın olarak eksponansiyel soğuma diyagramına İtibak ettiği görülür.



Şekil : 3 — 60 KV. luk,  $1 \times 240 \text{ mm}^2$  lik, çıplak bir kablonun soğuması.

1. Kurşun üzerinde ölçülen sıcaklık farkı.
2. = 65 dakikalık zaman kat sayısına göre eksponansiyel eğri
3. Kurşun üzerinde hesaplanmış sıcaklık farkları.

(1) Gröber et Erk, Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, Springer Verlag, 195B.

### 3.2 — Yaklaşık hesap :

Yukarıda sözü geçen hesap metodunun bir şantiyede kullanılması çok fazla zaman kaybına yol açmaktadır. Bunun için :

$$A0 = A0^{TM*} e^{-1/T} \quad (8)$$

formülünden hareketle daha pratik bir metod aranmasına çalışılmıştır. Burada :

$A0_{mu}$  miktarı, kurşun kılıf ile hava arasındaki max. sıcaklık farkını;  $t_r$  miktarı, kablunun soğuma zaman sabitesini; göstermektedir, yapılan bir çok deneyler sonunda :  $T/2$  den küçük bir süre içinde kablunun soğuma eğrisinin eksponansiyel bir şekil takip ettiği ve  $A0$  sıcaklık farkının  $0,37 \times A0_{mu}$  değerine ulaşmaya kadar lüzumlu zamanın  $t_r$  olduğu ve bu eksponansiyel şekil için işlenen hatanın ihmal edilebileceği anlaşılmıştır. Bu  $T$  zaman sabitesinin değeri :

$$T = \% G.C/A_{a0} \quad (9)$$

Yukarıda belirtildiği gibi burada da :

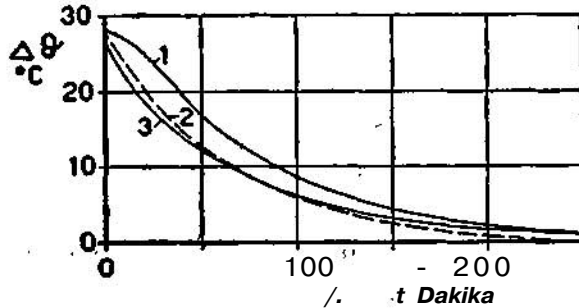
G miktarı, ağırlıkları;

C miktarı, özgül ısıyı;

A miktarı, soğuma yüzeyini;

$a_{a0}$  miktarı, kablo ile hava arasındaki ısı iletme kat sayısını; göstermektedir.

$a_{a0}$  kat sayısı sabit olmayıp kablunun çapına, sıcaklık farkına ve kablunun yüzeyindeki havanın hareketine bağlıdır. Bu kat sayısını tayin için, kablunun döşeneceği mahalde elektrikle ısıtılmış bir kabloya tekabül eden (4) formülünden hareket edebiliriz. Fakat bu sefa bir bobin üzerine sarnılı olarak değil de, yere serili makaralar (galefler) üzerine yerleştirilmiş bulunmaktadır.



Şekil: 4 — 60 KV.luk, 11x240 mm UM, plâstik kılıflı bir kablunun soğuması.

1. Bakırın sıcaklık farkı,
2. ≈ 65 dakikalık zaman kat sayısına göre eksponansiyel eğri.
3. Kurşunun sıcaklık farkı.

Bu formülden şu bağıntıyı çıkarabiliriz :

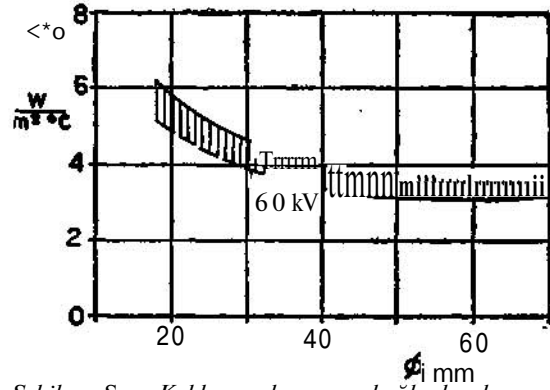
$$a_{a0} = 12. Rg/Ag \quad (10)$$

Pratik olarak kat sayısının :

$$a_{a0} = a_0 \sqrt{VA_1} + a_v \quad (11)$$

şeklinde olduğu bulunmuştur.

$a_{a0}$  (Şekil 5) de kablo çapının bir fonksiyonu olarak verilmiştir.  $a_v$  miktarını, saniyede metre olarak V hava hızına bağlı olup, 7.VV değerine eşit kabul edilmektedir.



Şekil • S — Kablunun dış çapına bağlı olarak ısının nakil kat sayısı ( $a_{a0}$ )

Meseleyi daha iyi aydınlatmak için, 1 KV. hık  $4 \times 185 \text{ mm}^2$  lik bir kablunun aşağıdaki üç hale göre  $30^\circ\text{C}$ 'e kadar ısıtıldığı kabul edilerek, kablunun zaman sabitesi hesaplanabilir :

1 pı hil : Havanın sıcaklığı  $0^\circ\text{C}$  ve rüzgâr yok;

2 ci hal : Havamn sıcaklığı  $-10^\circ\text{C}$  ve rüzgâr yok;

3 ci hal : Havanın sıcaklığı  $0^\circ\text{C}$  ve ortalama rüzgâr hızı 3 m/s;

Kablunun ölçüleri :

$d_{d0}$ = 55 mm.,	A = 0,173 mVm.
$G_{cu}$ = 6,81 kg/m	$C_{ra}$ = 0,40 KW.S/Kg. °C
$G_{201}$ = 1,21 "	$C_{1201}$ = 1,63 "
$G_{pb}$ = 4,34 "	$C_{pb}$ = 0,13 "

1 ci hal 2ci hal Scilhal

$\alpha$ (°y/°Ozn^L) =	9	10	9
$a_v$ =	0	0	16
$\alpha$ =	9	10	25

Buna göre;  $t_r = X G.C/A_{a0}$  için aşağıdaki değerler bulunur :

1 ci hal: = $\frac{5260}{0,173 \times 9 \times 60} = 57$ dakika,
2ci hal: = ..... = 53 >
3cü hal: = ..... = 20 >

Kablunun döşenmesi için lüzumlu zamanın hesaplanmasında, (8) denkleminde hareketle  $t_r$  oranını çıkarmamız lâzımdır. Buradan:

$$ka (\hat{a}0ma^*/A0) = t_r \quad (12)$$

Yukarıda da belirttiğimiz gibi, kablunun sıcaklık derecesinin  $+25^\circ\text{C}$  dan aşağı düşmemesi için :

	1 d hal	2cl hal	Sccthal
A0 (°C) .....	5	15	5
A0max (°C) .....	30	40	30
40max / A0 .....	6	2,66	6
t/Tr .....	1,79	0,98	1,79
t (dakika) .....	102	52	36