

Telekomünikasyon Hatlarının Mekanik Hesabı

Hasan YILDIRIM
TCDD

ÖZET

Değişik' hava şartlarında iyi bir haberleşmenin sağlanabilmesi için, iyi inşa edilmiş havai hatlara ihtiyaç vardır. Bu paıda ısı, rüzgâr, buz yükü tesiri etüd edilerek mekanik hesaplamalar yapılmış, örnekler verilmiştir.

SUMMARY

it is necessary to have good oonstruced open tvire line in order to provide good communication under dif/erent climate conditions. in this article, temperature, tvind, ice load effects are taken into consideration and mechanioal calculations are done and some eramples are given.

GİBİŞ

TCDD Telekomünikasyon hatları 3 mm çapında bakır İle 3,26 mm (AWG-8) ve 2,54 mm (AWG-10) copenveldden yapılmaktadır. Bakır ve copenveldi kısaca İnceleyelim.

Bakır

İletkenliği yüksek, mekanik mukavemeti fazla bir elementtir. İçinde çok az miktarda dahi yabancı madde bulunması özelliklerini bozar. Bu bakımdan havai hat İnşasında kullanılan bakırın elektrolitik ve haddeden geçirilmiş olması lâzımdır. Sert bakırın bazı fiziki özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

özgül ağırlığı : 8,96 gr/cm³

Isı uzama katsayısı : 1,7.10⁻⁵ 1/°C

Elâstiki uzama katsayısı : 1/1,3.10⁸ cm²/kg

Kopma gerilmesi : 40,000 kg/mm²

Tatbik edilebilir maksimum gerilme :
18,000 kg/mm²

Telekomünikasyon hatlarında yan sert çekilmiş bakır nakillerde kullanılabilir. Bakırın yukarıda izah ettiğimiz çok iyi fiziki özellikleri yanında temin edilmesinin güçlüğü, oksitlenme neticesi mukavemetinin düşmesi sebebi ile yeni nakillerin araştırılmasına zaruret hasıl olmuştur.

Copperveld

Çelik blok kaynama sıcaklığındaki erimiş bakır içine daldırıldıktan sonra blokun yüzeyinde demir-bakır karışımı meydana gelir. Bakır ile çelik arasında arzu edilen birleşme nisbetini elde edinceye kadar yüzeyi bakır ile karışım yapan çelik bloka mayi halinde bakır dökülmeye devam edilir. Bu şekilde meydana gelen bakır-çelik bloku haddeye sokularak istenilen kalmükta tel İmâl edilir. Her iki metal de yekdiğerine gayet sıkı bir şekilde bağlandığından hadde- den geçirilirken bu bağ çözülmediği gibi metal- lerin miktarca nisbetleri bloktakinin aynı kalır.

Copperweldin çekirdek kısmını saf çelik, üst tabakasını saf bakır ve ikisinin arasındaki birleşme tabakasını yekdiğerine kaynamış bakır-çelik karışımı teşkil eder.

Bakır ve çeliğin farklı uzama katsayılarından doğabilecek mekanik gerilmeler bu ara tabakalar tarafından giderildiğinden bakır zırh, çelik çekirdeğe sıkı bir şekilde yapışık kalır, üzerinde çatlaklar vs. teşekkül etmez. Isı uzama katsayısı bakırınkinden küçük olduğundan yüksek sıcaklıklardaki seMm değişimi daha azdır. Elastikiyet sınırının bakırınkinden büyük olması dolayısıyla da bakıra nazaran kopma gerilimi daha yüksektir. Copenvelde ait bazı fiziki özellikler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

özgül ağırlığı (yaklaşık): 8,3 gr/cm³ (farklı olabilir)

Isı uzama katsayısı : 1,2.10⁻⁵ 1/°C

Elâstiki uzama katsayısı : 1/2,1.10⁸ om²/kg

Kopma gerilmesi : 90,000 kg/mm²

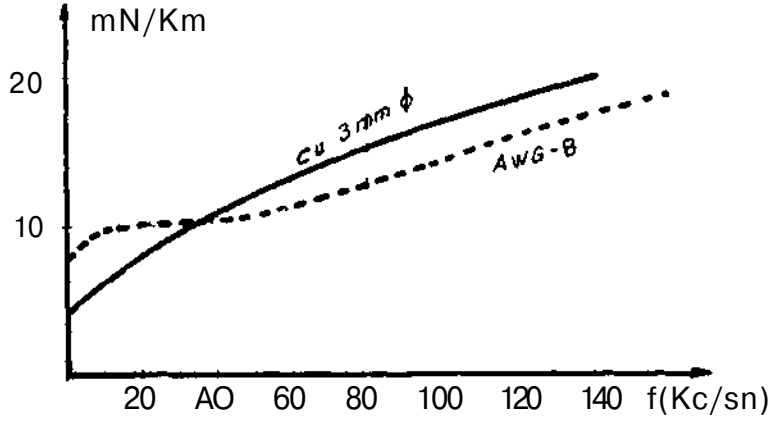
HAVAI HATLARIN İNŞAATI VE MEKANİK HESAPLAMALAR

Nakiller direklerle çekilirken malzeme gerilmesinin en gayri müsait hallerde dahi, —en düşük sıcaklık derecesi veya maksimum buz yükü—, kopma gerilmesinden bir hayli küçük olacak şekilde bir cer gerilmesi seçilir. Sanayi Bakanlığı dış tesisat yönetmeliğine göre havai hatlarda kullanılacak tellerin maksimum cer gerilmesinin —bakır için— kopma gerilmesinin % 45 ini geçmemesi şart koşulmaktadır.

Kopma gerilmesi

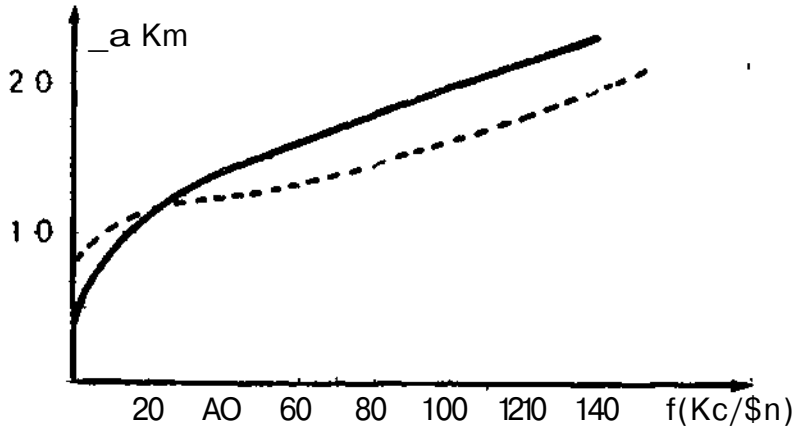
Kopma gerilmesi. % 45

olarak tarif edilmektedir ki emniyet katsayısı Türkiye'de 2,2; Almanya'da 2,1; ve İsvöç'te 1,5 alınmaktadır. Sert bakırın kopma gerilmesi 40 kg/mm² olduğundan maksimum cer gerilmesi,



Cu 3mm ϕ ve AWG- 8 in kilo metrik zayıflaması

ŞEKİL.1



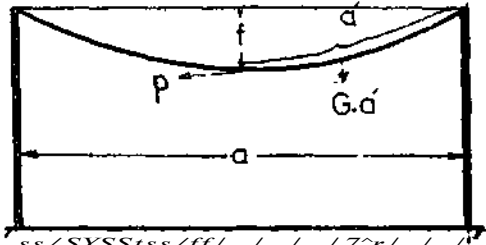
Cu 3mm (ϕ) ve AWG 8 in kilometrik direnci

ŞEKİL.2

$\rho_{\text{Cu}} = 40.45 = 18 \text{ kg/mm}^2$
olarak bulunur.

Şehim Formülünün Çıkarılması

Şekil 3'de P gerilme kuvvetinin ve G.a' ağırlığının A noktasına göre momentini alırsak,



ŞKKTl · 3

$$P \cdot f = (G \cdot a) \cdot (a/2)$$

$$P \cdot f = G \cdot a^2/8$$

Sıcaklığa Bağlı Şehim Eğrisinin Hesabı

Direkler arası a, iletkenin t_j sıcaklığındaki yoğunluğu g_1 , cer gerilmesi a_1 ise iletkenin boyu,

$$L_1 = a \left[1 + \frac{8}{3} (V a) - \frac{32}{5} (f_1/a)^2 + \frac{256}{7} (f_1/a)^4 \dots \right] \quad [2]$$

t_2 başlangıç sıcaklığındaki yoğunluğu g_2 , cer gerilmesi f_2 ve iletkenin bu şartlardaki boyu,

$$L_2 = a \left[1 + \frac{8}{3} (f_2/a)^2 - \frac{32}{5} (f_2/a)^4 + \frac{256}{7} (f_2/a)^6 \dots \right]$$

formülleri ile hesaplanır. Buz yüksüz hesaplamalar için $g_1 = g_2$ alınır. Bu formüllerde ilk iki terim alınır, diğerleri çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu takdirde,

$$f = g \sqrt{8 a^3 / P}, \text{ değeri yerine konursa}$$

$$L_1 = a[1 + (a\sqrt{24}) (g_1/\sigma_1)^2]$$

$$L_2 = a[1 + (a^2/24) (g_2/\sigma_2)^2]$$

$$L_1 - L_2 = \Delta L = (a^2/24) [(g_1/\sigma_1)^2 - (g_2/\sigma_2)^2]$$

Diğer taraftan bdr İletkenin sıcaklığı t_2 den t_1 °C'ye çıkarsa ısı uzama katsayısı α olduğuna göre boy değişimi,

$$L = L_2 (t_1 - y_a)$$

Isı uzaması neticesi boyu AL kadar uzayan iletken üzerindeki cer gerilmesi $g_2 - f$ kadar azalacağından,

$$\Delta L_E = L_2 (\sigma_2 - \sigma_1) / E$$

kadar elâstiki kısalma olacaktır. Netice boy değişimi:

$$AL = L_2 (t_1 - t_2)_a - L_1 - \alpha J / E \text{ olup,}$$

bu ise $(a^3/24)[(g_1/\sigma_1)^2 - (g_2/\sigma_2)^2]$ ye eşittir.

Bu iki eşitlikten ve $a^2 L_2$ alınarak,

$$t_1 = t_2 + (a^2/24\alpha) [(g_1/\sigma_1)^2 - (g_2/\sigma_2)^2] + (\sigma_2 - \sigma_1) / E \alpha$$

bulunur. Burada:

g_1 (kg/cm³): t_1 sıcaklığındaki yoğunluğunu,

g_2 (kg/cm³): t_2 sıcaklığındaki yoğunluğunu,

α (1/°C): t_1 sıcaklığındaki cer gerilmesini

σ_2 (kg/mm²): t_2 sıcaklığındaki cer gerilmesini

α (1/°C): Isı uzama katsayısını,

E (kg/cm²): Elastikiyet modülünü göstermektedir.

ÖRNEK

Direkler arası 60 m olan havai hatta sert bakır ve AWG-8 İçin sehimin, sıcaklığa bağlı değişiminin hesaplanması:

1. Sert (bakır için):

$$g_1 = g_2 = 8.96 \cdot 10^{-10} \text{ kg/cm}^3$$

$$\alpha = 18,00 \cdot 10^{-6} \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 1,3 \cdot 10^8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1,70 \cdot 10^{-5} \text{ 1/°C}$$

$$t_2 = -20 \text{ °C}$$

Bu değerleri yukarıdaki formülde yerine koyup gerekli kısaltmalar yapılnca,

$$t_1 = t_2 + \frac{709,689}{\sigma_1^2} - 4,524 \cdot \sigma_1 + 79,242$$

denklemleri elde edilir.

Bu Q_3 e göre üçüncü dereceden bir denklemdir ve çözümü oldukça güçtür. Bu bakımdan m e c_{max} dan küçük değerler verilerek bu değerlere tekabül eden t_1 değerleri bulunur ve $\sigma_1 = f(t_1)$ eğrisi çizilir. Belirli sıcaklıklara tekabül eden değerler:

$$f = ga^2/8\sigma_1$$

formülünde yerlerine konularak hesaplanıp aşağıdaki tabloda gösterilen değerlere göre $f = f(t_1)$ eğrisi çizilebilir.

c_1 (kg/nam ³)	c_2 (kg/nam ³)	f (cm)
6	51	67,2
7	42	61,0
8	34	53,0
9	27	47,0
10	21	42,0
11	15	38,0
12	10	35,0
13	5	33,0
14	0	30,0
15	-5	28,0
16	-10	26,0
17	-15	25,0
18	-20	23,0

Rüzgâr Kuvveti

Telekomünikasyon hatlarının sehimine tesir eden önemli faktörlerden biri de rüzgâr kuvvetidir. Sehima lüzumundan fazla olması rüzgârlı havalarda melânja sebebiyet verebilir. Bir iletken kendi ağırlığı ile buna tesir rüzgâr kuvvetinin etkisinde bu iki kuvvetin bileşkesi ile hareket edecektir. Aerodinamik bir formül ile S yüzeyine rüzgârın yaptığı maksimum, kuvvet etkisi,

$$F_{max} = c_q \cdot S \text{ kg. dır.}$$

c : serpinti katsayısı olup düz silindirik teller için $a=1,2$ alınmaktadır.

S (m²): yüzey

q (kg/mi²): teorik dinamik basınçtır ve

$$q = \frac{a^2}{2g} \rho v^2 \text{ olup, burada}$$

$a = 1,225 \text{ kg/m}^3$, havanın 15°C, 76 mm cıva basıncında metreküpünün ağırlığı,

$$g = 9,81 \text{ m/sn}^2, \text{ yer çekimi ivmesidir.}$$

Rüzgâr kuvveti hattın her noktasında aynı şiddette olmadığından, bir iletken açıklığı üzerine tesir eden efektif F_{ef} değeri, F_{max} dan küçüktür. Bu halde:

$$F_{ef} = c_{pc} S = F_{max} \cdot x \text{ veya}$$

$$F_{ef} / F_{max} = x \text{ dır.}$$

Burada $x < 1$ olup, rüzgâr kuvvetinin hat boyunca dağılımını veren azaltma katsayısıdır, q dinamik basıncının azaltılarak qx değerini aldığı görülür. qx efektif dinamik basınç olarak tariflenir.

Elde edilen deney sonuçlarına göre :

$$v \text{ (rüzgâr hızı)} < 15 \text{ m/sn için } x = 1$$

$$v > 15 \text{ m/sn için } x < 1$$

$v = 31$ m/sn için $x = 0,5$ alınmalıdır. Memleketimizdeki duruma gelince $v^2/16 = q$ münasabıyla bulunan teorik dinamik basınç gözönünde tutulmakta, efektif dinamik basınç kavramı söz konusu olmamaktadır. Bu husus direk hesaplarında maliyete tesir eder, havai hat hesaplarında ise senime tesir eder, fakat maliyeti etkilemez.

tsveç, İngiltere, Fransa ve Belçika gibi Avrupa memleketlerinde teorik rüzgâr basıncı 126 km/saat (35 m/sn) alınmakta, iletkenler için $x = 0,5$, konsol ve izolatörlerde $X = 0,8$ kabul edilmektedir.

CEİ, CNR ve VDE nizamnamelerinde rüzgâr kuvveti için aynı ampirik formül kullanılmakta ise de formüldeki katsayıda bazı değişiklikler yapılmaktadır.

CNR Nizamnamesine göre

$$F = (1 - K) \cdot c q S \text{ olup bu formülde,}$$

$$c = 1,2$$

$$S = dL \text{ (m}^2\text{)}$$

$$q = v\sqrt{16}$$

$$v \text{ (km/saat) = rüzgâr hızı}$$

$$K = \text{izdüşüm yüzey/silindirik yüzey} \quad [3]$$

CEİ Nizamnamesine göre

$$F = 0,0045 v^2 dL$$

$$d = \text{iletkenin çapı (m)}$$

$$L = \text{direkler arası mesafe (m)}$$

VDE Nizamnamesine göre

$$F = oqS$$

$$c = 1,2$$

$$q = 52,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$S = m^2 \text{ (kesit)}$$

Şimdi VDE nizamnamesinde tanımlanan bu formülü problemimize uygulayalım,

$S = dL \cdot = 3.10-3.60 \text{ (m}^2\text{)}$ değerini formülde yerine koyarsak,

$$F = 11,340 \text{ kg. bulunur.}$$

Diğer taraftan iki direk arasındaki telin ağırlığı, tam ortada toplanmış gibi düşünülebilir. Bu takdirde,

$$P = GL$$

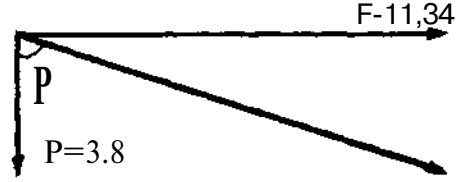
$$G = 63,347 \text{ gr/m}$$

$$L = 60,00 \text{ m}$$

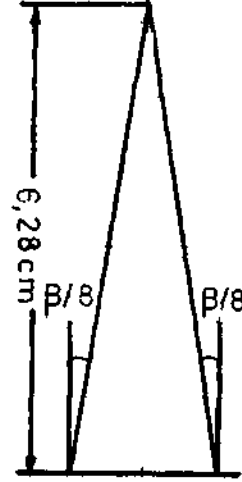
$P = 3,800$ kg tel ağırlığı toplamı bulunur. Telin yerçekimi doğrultusundan sapma miktarı, Şekil 4 yardımı ile bulunabilir.

$$tg\phi = F/P = 11,340/3,800 = 2,984,$$

$p = 72,4^\circ$ bulunur. Buradan $p/8 = 9^\circ$ tesbit olunur ve buna göre şekil 5 çizilerek maksimum sehim $F = 62,8 \text{ cm}$ bulunur. Bu ise maksimum sıcaklığa tekabül eder.



SEKİL 4



ŞEKİL 15

2. Copperveld (AWG - 8) için :

$$\rho = 8,3 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma = 18,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$E = 2,1.10^8 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = 1,2.10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

$t_1 = t_2 + \frac{a^2}{24 a} [(g_1/\sigma_1)^2 - g_2/\sigma_2^2] + (\sigma_2 - \sigma_1)/E\alpha$ formülünde copperveld için verilen fiziki değerleri yerlerine koyarsak,

$$t_1 = 861/2 - 3,960 + 70,94 - t_2$$

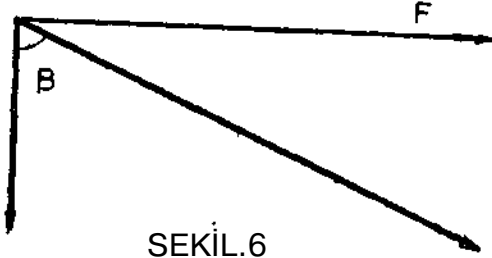
denklemini elde ederiz. Bu denkleminde $C_r e^{-\alpha \Delta T}$ dan küçük değerler verilerek tablodaki değerler tesbit olunur.

ρ (kg/mm ³)	α (°C)	f (cm)
6	51	62,5
8	33	47,0
10	20	37,5
12	9	31,5
13	5	29,0
14	0	27,0
15	-5	25,0
16	-9	23,5
17	-14	22,0
18	-18	21,0
18,5	-20	20,5

Rüzgâr Yüğü :

VDE nizamnamesine göre rüzgâr yüğü $P = cqS$ formülünden $c = 1,2$; $q = 52,5 \text{ kg/m}^2$; $S = ad = 60.3.26.10^{-3}$ değerleri ile $F = 12,6 \text{ kg}$ olarak I: ulunur.

$P = Ga = 69,5.10^{-1} 60 = 4170 \text{ kg}$ dir. Cetkenin yer çekimi doğrultusundan, sapma mlktan Şekil 6 yardımı ile bulunabilir.

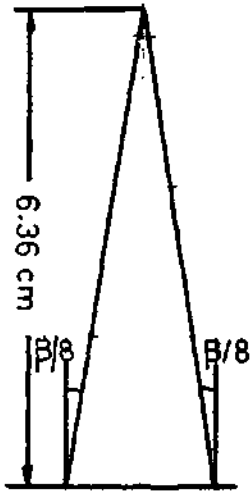


SEKİL.6

$$\tan \alpha = F/P = 12,6/4,17 = 3,0$$

$$\alpha = 71,8^\circ$$

$\alpha/8 = 8,975^\circ$ tesbit olunur ve buna göre Şekil 7 çizilerek maksimum sênim $f_{BH} = 63,6 \text{ cm}$ bulunur. Bu ise maksimum sıcaklığa tekabül eder.



ŞEKİL.7

BUZ YÜKÜ TESİRLERİ

Muhtelif memleketlerde bugüne kadar yapılan rasatlar iletkenler üzerindeki buz yüğü ağırlığının, iletken çapının karekökü ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir.

$$G = k\sqrt{d} \text{ kg/m}$$

Burada :

k = buz yüğü şartlarına bağıl katsayı

d = iletkenin çapı (mim)

1956 yılından beri uygulanan dış tesisat yönetmeliğine göre yurdumuz buz yüğü bakımın-

dan iki İklim bölgesine ayrılmıştır. Bu bölgelerden biricisi Anadolu'nun takriben ortasını İkiye bölen hattın batısına kapsamakta ve bu bölgede buz yüğü $0,2\%/d$ kg/m , doğusundaki ikinci bölgede ise $0,3\sqrt{d}$ kg/m kabul edilmektedir.

Buzlanmaların oluş şartlarına göre şekil ve cinsleri muhtelifdir. Tesir eden faktörler : Bölgenin deniz seviyesinden yüksekliği, hava sıcaklığının değişim infercali, rüzgâr, nem ve yüzey şeklidir. Dış görünüş ve özelliklerine göre 4 kısımda incelenir.

1. Kırığı : Rüzgârsız veya hafif rüzgârlı, açık havalarda az meyilli yüzeylerde 0°C in altında teşekkül eder. Havai hatlar için tehlikesizdir.

2. Kristal Kırığı : Kristal bir yapıya sahiptir. Tutunma kabiliyeti zayıftır. Çok hafif rüzgârdaki (2 m/sn) dökülür. -1°C de $0,2 \text{ kg/dm}^3$ zerrelere sahiptir. -20°C de $0,05 \text{ kg/dm}^3$ zerre ihtiva eder.

3. Don : Tane yapısındadır. -2 ilâ -4°C arasında teşekkül eder. Soğuma arttıkça parçalanır ve dökülür ($0,5 \text{ kg/dm}^3$).

4. Kristal Buz: Kristal yapıya sahiptir. -4°C de teşekkül eder. Memleketimizde az görülür. -4°C de $0,8 \text{ kg/dm}^3$ dür. Alçak ve yüksek basınç merkezleri teşekkül etmediği için $0,6 \text{ kg/dm}^3$ den büyük zerrelere teşekkül etmez. En çok $0,15 - 0,30 \text{ kg/dm}^3$ den büyük zerrelere teşekkül etmez. En çok $0,15 - 0,30 \text{ kg/dm}^3$ olanı rastlanır.

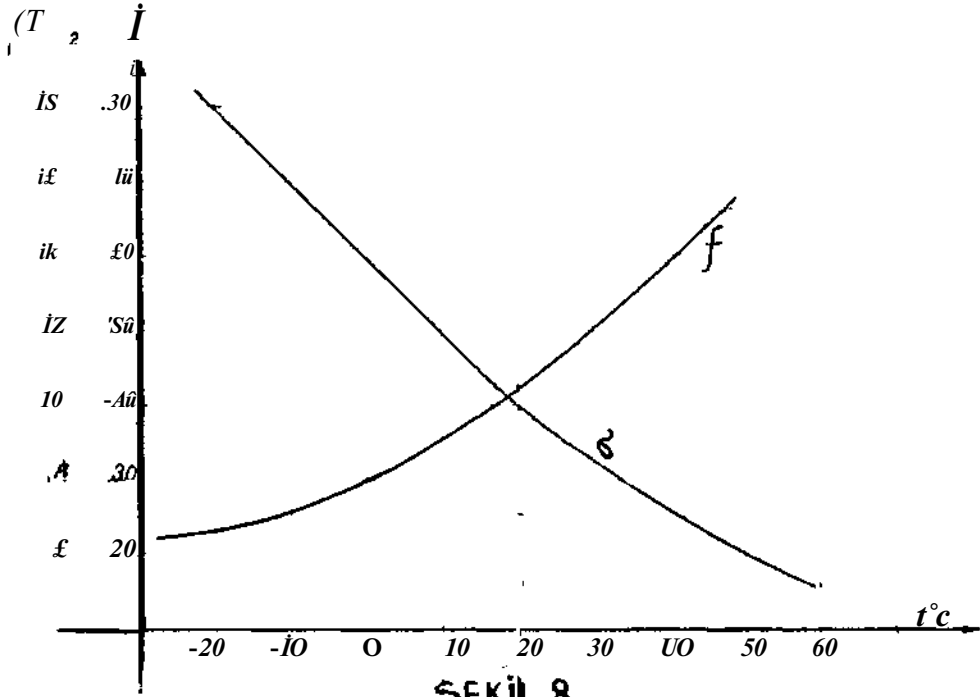
Türkiye de kristal kırığı kristal buz teşekkülüne nazaran % 95 fazladır. Buzlanma 2°C ilâ -4°C arasında, donma -3 ilâ -7°C arasında teşekkül eder. Kristal buz ise en çok 0°C civarında teşekkül eder.

SONUÇ

Türkiye de ender rastlanan kristal buz fükü nazara allamazsa mekanik havai hat hüsaplarmda -5°C in altında buz yüğü ihmal edilebilir. Yani maksimum buzyükü, maksimum cer gerilmesi ve maksimum sênim -5°C dadır. Ancak -5°C da rüzgârın olmadığı kabul edildiğinden sehimin fazlalığı bir mahzur teşkil etmez.

Birinci bölge için buz yüğü $0,2\sqrt{a}$ a/S formülü ile hesap edilebilir, örnek 1 için buz yükünü hesap edersek.

$0,2\sqrt{a}$ a/S = $2,94 \text{ kg/mm}^2$ bulunur. Şekil 8 de buz yüksüz havai hat için şehlan ve cer gerilmesi eğrisinde görüldüğü gibi -5°C de buz yüksüz gerilme 15 kg/mm^2 dir. Buna $2,94 \text{ kg/mm}^2$ buz yüğü yoğunluğunu ilâve edersek buz yüklü hattaki cer gerilmesi $17,94 \text{ kg/mm}^2$



ŞEKİL 8

bulunur ki bu maksimum cer gerilmesinden hayli küçüktür.

ikinci bölge için aynı şekilde hesaplamalar yapıldığında $0,3 \text{ ylf a/S} = 3,6 \text{ kg/mm}^2$, bu değeri buz yüksüz haldekine ilâve edersek $18,6 \text{ kg/mm}^2$ bulunur ki bu da bizim kabul ettiğimiz cer gerilmesinin üstünde bir değe" olmakla beraber bazı Avrupa memleketlerinin kabul ettiği maksimum cer gerilmesinin çok altında kalır. Şu halde tablo ve $c_r = f(t)$ ile $f = F(t)$ eğrilerine göre İnga edilecek havai hatlar buz yükü ve rüzgâr yükü bakımından da uygundur.

Yukarıdaki hesaplamalarda, Bayındırlık Bakanlığı Dış, Tesiat Yönetmeliğine göre :

1. iletkenin $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ da rüzgârsız ve buz yüksüz olduğu,
2. İletkende $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ da rüzgarsız bir ortamda metre başına

- a) I. bölgede $200 \sqrt{d}$ gr,
- b) ü. ci bölgede $300 \sqrt{d}$ gr, buz yükü teşekkül ettiği,
3. iletkenlerin :
 - a) I. d bölgede $45 \text{ }^\circ\text{C}$ da,
 - b) H. ci bölgede $40 \text{ }^\circ\text{C}$ da rüzgâr yüküne maruz kalmadığı kabul edilmiştir.

REFERANSLAR :

1. Elektrische Krafhverke und Netze, H. Hapoldt.
2. Der Durchhang von Starkstrom - Freileitungen und seine Berechnung, Goerge Flegel.
3. Fundamental Data and Criteria Mikrowave Radio - Link Design, Telettra Telefonla Electronica E Radio, Milan, September 1962.

DUYURU

AZOT SANAYİİ T.A.Ş.

Samsun Azot Fabrikaları Müdürlüğü Elektrik Yüksek Mühendisi veya Mühendisi arıyor.

İstihdam 657 vej 1327 sayılı kanunlara uygun olacak, lojman verilecektir.