

Havai Hatlarda Toprak İletkenlerinin Kullanılmasındaki Gerilim Sınırları

Yazan : Eririn STOLTE

Çeviren: Fevzi ÖZTÜRK
Y Müh - E E 1

Elektrik tesislerinin aşın gerilimlere karşı korunmasına ait kaideleri ihtiva eden VDE 0675/9 57 de, 60 kv ve daha düşük gerilimli havai hatlarda toprak iletkeninin yıldırım koruması noktai nazarından pratik bir fayda temin etmeyeceğine işaret edilmiştir. Teknik çevrelerde bu gerilim sınırının yüksekliği hakkında farklı düşünceler ortaya çıktığından aşağıdaki yazıda «Yükselt Gerilim Tesisleri İnceleme Cemiyeti - Studiengesellschaft für Hochspannungsanlagen» nın daha önce yapmış çelik çubuk sistemi ölçülerinin elde mevcut neticeleri, 30 ve 110 kV için mukayeseli olarak incelenmiş ve bu fikrin husulüne yol açan esaslar olarak ibraz edilmiştir

UMUMÎ HUSUSLAR :

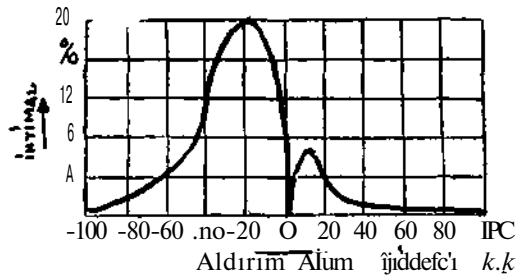
Toprak iletkeni, muayyen kabuller tahtında, havai hatlarda koruma topraklaması ve direkt yıldırım isabetlerine karşı hususî bir kıymeti haiz olan yıldırım koruması içindir. Direkt, yan direkt ve çok küçük omik dirençler üzerinden topraklanmış olan şebekelerde, toprak iletkeni koruma topraklaması olarak ancak kötü topraklama şartlarında, pylon toprak dirençlerinin çok yüksek olması ve yüksek kısa devre akımlarında icabeden temas gerilim değerine toprak iletkeni olmadan erişilmemesi halinde bir mâna ifade eder. Pylon üzerindeki toprak iletkeni yerine bu maksatla zemine ferşedilmiş bir «Zemin iletkeni - Bodenleiter» tercih edilebilir ki, o takdirde de direkler için ayrı toprak iletkeni babında fazla bir yük tahmili icabetmez. Endüktif topraklanmış şebekelerde ve söndürme bobinli şebekelerde cüz'î toprak akımları muvacehesinde, toprak temas gerilimi aşılmayacağından ve ele alınan bu hal için daha başka tedbirler de alınabileceğinden koruma topraklaması olarak bir toprak iletkeni lüzumlu değildir. Pylon tepesine çekilmiş toprak iletkenleri vasıtasıyla, ancak iletkenleri doğru yani kâfi açıklıkla tertiplenmiş havai hatlarda, faz iletkenlerine direkt yıldırım, isabetleri önlenemez. Aksi takdirde, yakın tesisler dik alınlı gezici dalgalara maruz kalırlar ve trans-

formatorlerde delinmelere yok açacak yüksek sarım gerilimleri husule gelebilir.

Hattın bir toprak iletkeni vasıtasıyla direkt ve yarı direkt yıldırım tesirlerine karşı korunması birtakım şartlara tâbidir. Bu şartların eski hatlarda ve hattâ bugün nisbeten daha alçak gerilimli hatlarda nazarı itibara alınmamış olması kâfi bir koruma tesirine erişilinememesine sebep olmuştur. Hattan 200 m. uzaklıktaki mesafeler dahiline düşen yıldırımlarda indüklenen gerilimler toprak iletkeni sayesinde küçük tutulurlar. Fakat buna rağmen bir gerilim indüklenmesinin önüne geçilemez. Bu tarz hâdiselerde yüksek izolasyon seviyeli meselâ 110 kV. luk hatlar 30 ve 10 kV luk hatlara nazaran daha az müteessir olurlar. Eğer yıldırım isabet noktası hattan daha uzak mesafede ise (200 m. den uzak) o takdirde indüklenen gerilimler iletkenler için bir tehlike teşkil etmezler.

GEÇİŞ DİRENÇLERİ :

Hatta direkt yıldırım isabeti hallerinde, yıldırım akımının tevlit ettiği pylon tepesi geriliminin hat izolasyonunun % 50 - atlama darbe gerilim değerinden daha küçük kalabilmesi ve bu suretle geri atlamalara mani olunabilmesi için iyi bir pylon topraklaması elzemdir. B a a t z' m donelerine göre * akım şiddetlerinin mertebesi 400 kA, e balığ olabilen yıldırım pozitif veya negatif yüklü bulutlardan hasil olabilir. (Şekil 1) de yıldırımın akım şiddetlerine ve polaritesine tâbi olarak ihtimalât dağılışı eğrisi verilmiştir.



ŞEKİL : 1

Yıldırım akımlarının Polaritelerine tâbi olarak İhtimalât dağılışı

Bu malzemede S . X değen (11) denklemini göre daima S . k kıymetine eşittir. O halde ordinat eksenleri:

Çıplak nakil için S . X = 120
 Buzlu nakil için S . X = 120 . 5,81 = 698
 2 x buzlu nakil için S . X = 120.10,62 = 1276
 Rüzgârlı nakil için S . X = 120 . 2,49 = 299
 noktalarının «O» noktasına birleştirilmesi ile ortaya çıkar. Durum, verilen abak üzerinde kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Buzlu haldeki A noktasına tekabül eden sıcaklık C noktasında - 5 derece olmalıdır. (10) Denkleminde **göre apsis ekseninin** ölçeği:

$$0 - 0,945. t$$

dir. Normal olarak bakır nakillerde ısı uzama

katsayısı $1,8.10^5$ olduğundan bunlar için $0 = t$ olacaktır. Sırf bir açıklama maksadıyla burada böyle bir fark ele alınmıştır. Bu ölçek dahilinde istenen sıcaklıklar C noktasına göre işaretlenir Her bir sıcaklık noktasından da istenilen durumdaki (buzlu, rüzgârlı v.s.) sistem içerisinde M ve F değerleri okunur. Bu tarzda hareketle Tablo : 6 daki kıymetler elde edilir.

Anlatıldığı için uzun gibi görünen, fakat hakikatte, alışıldıktan sonra çok az hesaba ihtiyaç gösteren bu usul ile tabloların bir başka menzil için hemen yapılması imkân dahilindedir.

TABLO : 6

S = 120 m için Fleş - Gerilme - Sıcaklık Tablosu

Sıcaklık °C	- 25 Buz	- 5 2 xBuz	- 5	0	5	5 Rüz.	15	25	40
Abaktaki Nok.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M	2,750	2,495	2,365	2,678	2,643	2,584	2,610	2,576	2,531
F %	4,645	5,13	5,43	4,77	4,830	4,94	4,90	4,96	5,06
m	2,703	2,444	2,311	2,630	2,595	2,535	2,561	2,526	2,4904
T kg.	—	—	425	—	—	—	—	—	—
T ₀ kg.	45,7	240	415	44,5	43,9	106,4	43,4	42,7	42,1
f m.	5,57	6,16	—	5,72	5,80	5,92	5,88	5,95	6,08

1 J HERZOG Über den Durchhang von weichen Kupferdraeten bei Freileitungen ETZ 9 August 1934 B • XV S. 437

2 JACOBSEN Abaque universel pour chainettes asymetriques C1.GBE. 24 Juin 3 Juillet 1948 Raport No. 229

3 G SILVA Contribution à l'etude mécanique des lignes aériennes d'après les lois de la chaînette EGE, 8 et 16 Fevrier 1930 t XXVII p • 195 - 206 et 242 - 246

4 L TRDXA Abaques pour le calcul de la flèche et de la tension des conducteurs. R G E. 23 Fevrier 1924 t XV p. 338-326

5 F BESSER • Einheitskurve für Durchaenge und Zugspannungen bei Freileitungen E.T. Z 14 und 21 Juli 1938, B XL, S 751-752 und 774- 776

« K GİRKMANN und E KÖNIGSHOFER. Die Hochspannungs - Freileitungen. Wien-Sprlinger-Verlag 1952.

7 G MARKT • Freileitungen an Hangisolatoren. ETZ 12 Juni 1924, B : XLV, 8 620

» O STRAND . über ungleichmaessig verteilte Zusatzlast bei Hochspannungsleitungen mit Hangisolatoren ETZ. 5 Maerz 1931, B • IJI, S . 316-320

» M CANAY Havai Hat Nakillerinde Fleş ve Gerilme Hesabı Metodlan ve Yeni Bir Metod

Nakilin lineer ağırlığı :

$$p = 0,830 \text{ kg/m (Tablo : 3).}$$

(4) İfadesine göre fiktif genime :

$$M = 950/450 \cdot 0,830 = 2,55$$

Bu değere karşılık abaktan okunacak fiktif fleş :

$$F = \% 5,015$$

O halde •

Yatay germe kuvveti:

$$450 \cdot 0,830 (2,55 - 0,05015) = 935 \text{ kg}$$

Hakiki fleş :

$$450 \cdot 0,05015 = 2,26 \text{ m.}$$

2 — Türkiye'nin II. Bölgesinde bulunan, 120-m yatay menzilli bir yüksek gerilim hattı 16 mm² lik bakır nakillerle çekilecektir. Bakırın ısı uzama katsayısı $1,7 \cdot 10^{-5}$ alınacaktır. Maximum yatay gerilme 15 kg/mm² yi geçmeyecektir. Bu asılma halı için fleş - gerilme - sıcaklık tablosunu yapınız

Problemin çözümünde evvelce verilen sırayı aynen takip edeceğiz.

a) Seçilecek menzil venlmıştır

$$S = 120 \text{ m} \quad h = 0 \text{ m}$$

Bu menzil şekil: 2 de verilen sınırın sonunda kaldığından uygundur.

b) Yükleme faktörleri Tablo : 3 ten alınır, k (çıplak nakil) = 1

$$k_R = 2,49$$

$$k_B = 5,81$$

$$k = 10,62$$

c) Tablo : 5 yardımı ile kritik menzil ve sıcaklığı hesap edelim. (14) ve (15) numaralı eşitlikler kullanılacaktır. Menzil, 120 m. II. Bölge için hesap edilerek bulunacak kritik menzil 31,5 m den büyük olduğu için maximum gerilme -5 derecede, buz yükü altında teşekkül edecektir.

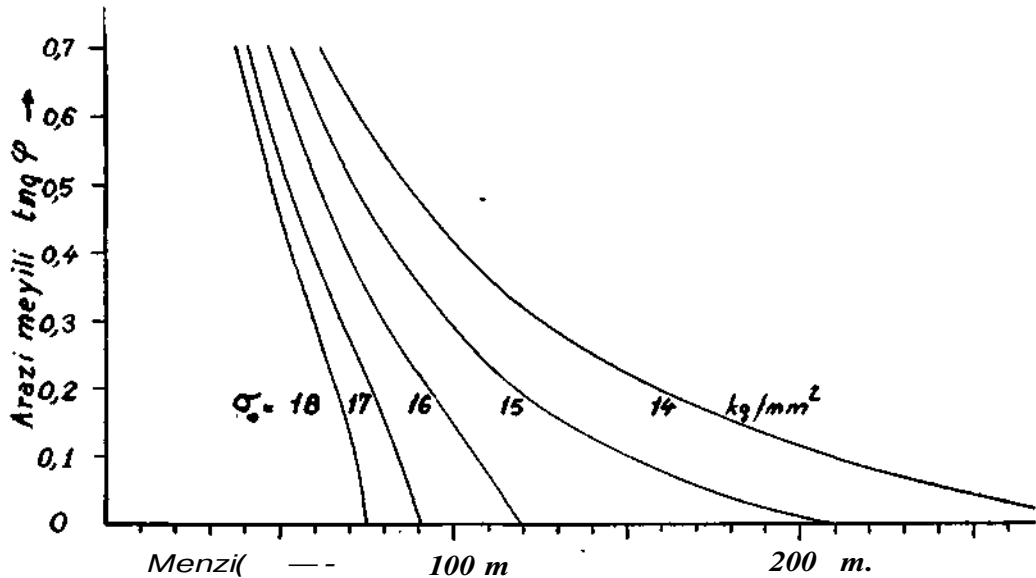
Mahallî en yüksek sühunet 40 derece (II. Bölge için) hesapla bulunacak kritik sıcaklık 51,1 dereceden küçük olduğuna göre maximum fleş yine - 5 derece sıcaklıkta ve buz yükü altında husule gelir.

d) Buzlu haldeki yatay gerilme (1) şartını sağlayacağına göre fiktif yatay gerilme :

$$m = 15,16/120 \cdot 0,141 \cdot 5,81 = 2,444$$

dir. (6) Eşitliği göz önünde tutularak basit bir tatonmanla abak üzerinde bu duruma ait nokta tesbit edilir (A noktası).

$$M = 2,4953 \quad F = 0,0513 \quad m = 2,444$$



ŞEKİL: 3

24 mm² İlk bakır nakilin kullanılabilir menzil sınırları

gun şekilde sapmaları neticesi bir dengeleme hasil olursa da, sabit izolatörler halinde bu zorlamalar direğe aynen intikal eder. Bu husus Çekoslovakya yönetmeliğinden başka maalesef hiçbir yönetmelikte esaslı bir şekilde ele alınmamıştır⁶. Mevzu ile ilgilenenlere bu mevzudaki ilk çalışmayı⁷ ve Strand'ın etüdünü " tavsiye ederek probleme girmekten ve mevzuu dağıtmaktan çekinilmiştir.

e) Maximum menzil sınırının tayini :

En başta bahsedildiği gibi, yönetmeliğimiz askı noktalarında husule gelebilecek azamî gerilmenin sıfır derece sıcaklıkta ve normal şartların iki misli buz yükü altında malzemenin kopma gerilmesinin % 70' ini aşmamasını şart koşmaktadır (eşitlik: 2). Bu şart her nakilin kabili tecviz olan direk arası mesafesini, seçilen maximum yatay gerilmeye ve menzil eğimine göre tahdit eder. Bu mesafe, arazinin eğimi arttıkça düşer ve yatay gerilmenin değeri azaldıkça da artar.

Büyük kesitli kuvvetli nakiller için maximum menzil kıymetleri, kullanılan normal direk açıklıklarının oldukça üzerinde bulunduğundan bu sınır, büyük kesitli nakillerde önemli değildir. Küçük kesitli nakillerde ise maximum menzil kullanılan direk açıklıkları mertebesindedir. Dolayısıyla küçük kesitli nakillerde herhangi bir yanlışlığa meydan vermemek gayesiyle bu sınırın evvelden tayini yerinde bir harekettir. Aksi halde, hiç farkına varılmadan bazı eğik menzillerde (2) ifadesi ile verilen şart yerine getirilmemiş olur.

Bu menzillerin tayininde takip edilecek usul şudur. Muayyen bir menzil (S, 0) seçil-

dikten sonra maksimum yatay gerilme seçilir. Evvelce anlatıldığı gibi bu gerilmeden hareketle sıfır derece sühnette ve iki misli buz yükü altındaki M fiktik gerilme ve buradan da askı noktasındaki hakiki gerilme bulunur. Eğor bu kıymet

$$0.70 T_{kwmn}$$

, dan küçükse menzil biraz büyütülür ve hesap tekrar edilir. Bu şekilde tatonman yoluyla,

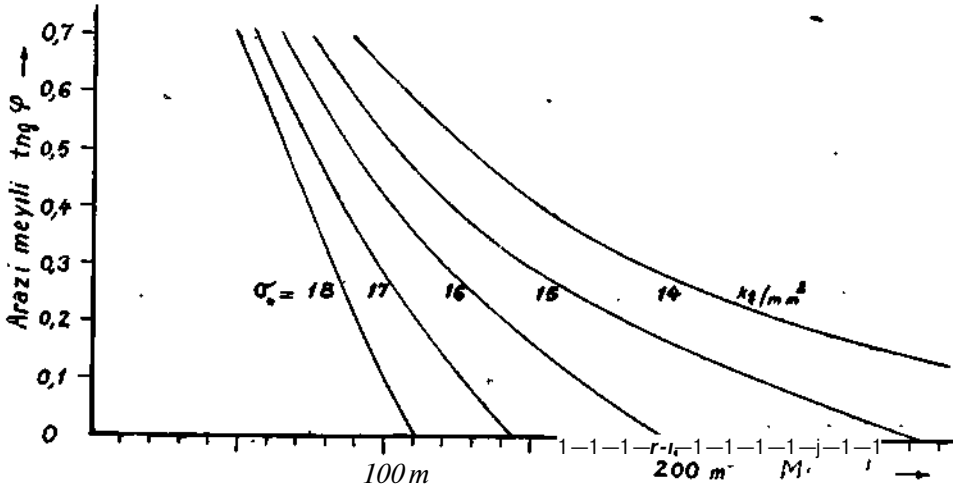
$$T' = -0.7 T_{\max -2 \text{ buz- } v, 1v J. \hat{A} o p_{\max}}$$

eşitliğini sağlayan (S, 0) çiftleri elde edilerek bir eğri çizilir Yönetmelik esaslarına uygun bütün eğik ve yatay menziller bu eğrilerin sınırladığı sahanın solunda bulunmalıdırlar.

Verilen izahattan kolayca anlaşılacağı üzere böyle bir hesabın yapılması zaman ve sabır istiyecektir. Fakat bu hesabın bütün nakiller için bir kere yapıldıktan sonra herkes tarafından kullanılması mümkündür. Yüksek gerilimde kullanılmasına müsaade edilen en zayıf nakillerden 16 ve 25 mm² likleri için bu hesap tarafımdan yapılmıştır. Hesap neticeleri şekil: 2 ve 3 deki grafiklerde görülmektedir. Çelik gibi daha kuvvetli malzemenin imal edilmiş olan nakillerin maksimum menzilleri daha büyük kıymetlerde olacaklarından 16 ve 25 mm² lik hatların sırf bu eğrilere göre kontrolü mümkündür.

5 — MİSALLER :

1 — Yatay olarak 450 m. lik bir menzile 95 mm² kesitinde bakır bir nakil askı noktalarındaki gerilme 10 kg/mm² yi geçmeyecek şekilde geriliyor Yatay germe kuvveti ve fleş miktarı nedir ?



ŞEKİL : 2

16 mm² lik bakır nakilin, kullanılabilecek menzil sınırları.

k (rüzgârlı nakil) kıymetinin hesabında munzam rüzgâr kuvvetinin yatay olarak geldiği göz önünde bulundurulmalıdır. Tablo : 2, 3 ve 4 te bu hesaplar yapılmış ve gerek munzam yükler ve gerekse k değerleri her nakil kesiti karşısında verilmiştir. İki misli^buz yüküne ait k kıymeti ise •

$$k_{2B} = 2.k_B - 1 \quad (13)$$

formülü ılc kolayca hesap edilebilir.

c) Maximum germe ve maximum fleşin hangi yükleme durumunda husule geleceğini evvelden tâyin için kritik menzil ve kritik sıcaklığın hesabı

Kritik menzil ve kritik sıcaklığın hesaplanması için aşağıdaki basitleştirilmiş ifadeler kullanılır.

$$S_{kritik} = \frac{T_p}{p} \sqrt{\frac{A \cdot a}{V \cdot \rho \cdot \gamma - 1}} \quad (14)$$

$$t_{kritik} = \frac{q \cdot E \cdot a}{k} + B \quad (15)$$

Burada yeni olarak rastlanılan notasyonlardan q (cm²) olarak nakilin hakiki toplam kesitini göstermektedir. A ve B ise, değerleri her bölgeye göre tablo : 5 ten alınacak birer katsayıdır.

TABLO: 5

Mevzu Bölge	A	B	k	S h/hk	t Antik
I	2+0	-51	Buzlu	S ₁	*/
E	480	-5"	Buzla	S ₂	t _z

Buz yükü rüzgâr yükünden daima büyüktür ve ayrıca buzlu haldeki muhit sıcaklığı (-5 derece) rüzgâr yükünün teşekkülünde kabul ettiğimiz sühunetten (5 derece) küçüktür. O halde muayyen bir menzilde buzlu haldeki gerilme rüzgârlı haldeki gerilmeye nazaran daima daha büyük olacaktır. Bu sebepten S_k kritik menzili, eskiden olduğu gibi buzlu hal ile mahallî en düşük sühunette çıplak nakil arasında yapılacak bir mukayeseye göre tâyin edilmelidir.

Seçilen yatay menzilin aşağıdaki mukayeselerine göre maximum yatay gerilmenin hangi halde teşekkül edeceği bilinebilir.

$$1. \quad S < S_1, S_2$$

Bu menzillerin tâyininde takip edilecek usul şudur. Muayyen bir menzil (S, 0) seçil-

dikten sonra maximum yatay gerilme seçilir. Evvelce anlatıldığı gibi bu gerilmeden hareketle s;fir derece sühunette ve iki misli buz yükü altındaki M fiktif gerilme ve buradan da askı noktasındaki hakiki gerilime, bulunur. Eğer bu kıymet;

$$0-70 T_{kopmam}$$

maximum gerilme mahallî en düşük sühunette teşekkül eder.

$$2. \quad S_1, S_2 < S$$

maximum genime - 5 derece sıcaklığında ve buz yükü altında teşekkül eder.

Maximum fleşin teşekkülü için de buzlu hal, çıplak nakilin mahallî en yüksek sühunetteki durumu ile mukayese edilmelidir. Rüzgârlı haldeki fleş, rüzgârın fleş düzlemini eğmesinden dolayı düşey sarkmaya nazaran daima daha küçüktür. Burada da 2 hal mevcuttur.

$$1. \quad t < t_1, t_2$$

maximum fleş - 5 derece sıcaklığında ve buz yükü altında teşekkül eder.

$$2. \quad t_1, t_2 < t$$

maximum fleş mahallî en yüksek sühunette meydana gelir

d) Seçilen normal menzil etrafında muhtelif açıklıklar için fleş - gerilme - sıcaklık tablolarının çıkarılması:

Maximum gerilmenin teşekkül edeceği hal yukarıdaki tarzda tesbit edildikten sonra abak üzerinde bu noktanın yeri belli demektir. (A noktası). Bu duruma ait S. i. nin tâyini ile apsis eksenî üzerindeki sıcaklık noktası (Şekil : 1 deki C noktası) tesbit edilir. Bunu müteakip herhangi bir t sıcaklığındaki C noktası (10) eşitliği ile verilen ölçek dahilinde kolayca bulunur. Herhangi bir yükleme durumu altındaki asılmayı karakterize eden A' noktası ise, tablo: 2, 3 ve 4 te verilen k yükleme faktörü yardımı ile S. X (k eşit değil 1) dan elde edilecek eğik ordinat eksenî içerisinde C noktasından hareketle bulunacaktır. Mekanik bir iki işlemden (paralel çizme v.s.) ibaret olan bu metotla çok kıra bir zamanda muhtelif menziller için fleş - gerilme - sıcaklık tablolarının hazırlanması mümkündür. Her konumdaki boyutsuz M, F değerlerinden (3), (4), (5) ve (6) eşitliklerini kullanarak hakiki boyutlu kıymetlere geçilir.

Bir germe menzili içerisindeki bütün açıklıkların birbirine eşit olmamasından dolayı askı noktalarını zorlayan bir takım munzam gerilmeler husule gelir. Zincir izolatörlerin kullanılması halinde bu cins izolatörlerin uy-

TABLO:4

Çelik Kabloların Karakteristik Değerleri

Çap ve Kes ££ 5\$	\ fmm,mm ² \ ²				Munzam Yüklerle/m]				Mw, Yük Fak Hruk			
	Hakiki Kesit	Tel Sayısı	c 5	fctç	Buz		Rüzgâr		Buzlu		Rüzgarlı	
					I. Böl.	E. Böl.	44 kg/m ²	52,5 k\$/(m ²)	I. Böl.	II BÜ	44 4fmm	52.5 V*
25	15,9	7	5,1	0,12*	0,576	0,802	0,393	0,587	1,65	6,47	3,60	3,60
25	24.Z	7	6,3	0,189	0,691	0,9*1	0,522	0,587	3,66	4,38	2,76	3,10
35	34.4	m	7,5	0,268	0,816	1,090	0,66	0,7*2	3,05	4,07	2,48	2,77
50	19.5	ii	9,0	0,386	0,986	£286	0,86/	0,35*	2,55	3,35	2,23	2,47
50	48,3	19	9,0	0,377	0,977	1,277	0,852	0,915	2,59	3,38	2,26	2,51
70	£5,8	"	10,5	0,569	1,236	1,563	tm	1,248	2,10	2,66	1,35	2,14
95	33,2	w	12,5	0,728	1,434	1,789	1,333	1,51	1,97	2,45	1,83	1,93

yını mümkündür İlerideki misallerimizde bu hususa tekrardan döneceğimizden burada daha fazla detaya girmeyeceğiz.

Sühunetin değişmesi halinde apsis eksenindeki kayma miktarını (Şekil: 1 de CC mesafesini) doğru olarak hesap edebilmek için bu eksen ölçüğünü tanımamız gerekir. Eksen 0 fiktik sıcaklığına göre taksimatlanmıştır. Hakiki muhit sühunetinde dt sıcaklık farkı, kablo malzemesine tâbi olarak bu eksen ölçüğünde dO milimetre miktarında alınmalıdır. Her iki büyüklük arasında aşağıdaki bağlantı mevcuttur.

$$d0 = \frac{\alpha}{1,8 \cdot 10^{-1}} \cdot \frac{1}{\cos^2 \theta} dt \quad (10)$$

Burada α kablonun ısı uzama katsayısıdır. Bakır nakiller için (ısı uzama katsayısı 1,8. 10⁻⁵ olmak şartı ile) düz menzillerde 1 derece 1 mm'ye tekabül eder.

Ordinat ekseninin konumu menzil, malzeme ve munzam yük ile alâkalı olarak değişmekteydi. Bu eksen, apsis eksenini üzerindeki büyük «O» noktasının, abağın ortalarındaki S. X skalası üzerinde bu asılma konumuna ait S. X değerine tekabül eden nokta ile birleştirilmesiyle eLde edilir.

$$S. X = \frac{1,3 \cdot 10^8}{E} \cdot \frac{g}{0,0089} \cdot \frac{k}{\cos^2 \theta} \quad (11)$$

Burada:

g : Nakilin toplam yoğunluğunu (kg/cm³)

E : Nakilin elâstisitesini (kg/cm²)

ve k katsayısı da :

$$k = \frac{\text{Munzam yukiu halde kablo linier ağırlığı}}{\text{Munzam yüksüz halde kablo linier ağırlığı}} \quad (12)$$

olarak yükleme katsayısını gösterir.

S. Kıymeti verilen malzeme ve menzile göie bir kere hesap edilir (k = 1 için) ve sonra her yeni'yükleme durumunda k katsayısı ile çarpılır.

4 _ NAFİA VEKÂLETİ YÖNETMELİĞİNE UYGUN OLARAK YAPILACAK NAKİL MEKANİK HESABI VE İŞLEM SIRASI :

İki hal mevcuttur:

1. Menzilin bilinmesi (S ve h belli)
2. Güzergâhın bilinmesi.

İlk hal, ikincinin özel bir durumu olduğu için burada bununla fazla meşgul olmayacağız. İkinci hal ise en ziyadesiyle rastlanan durumdur. Hesap sırasında aşağıdaki sıranın takibi tavsiye edilir.

a) Verilen donelere göre (hat gerilimi, malzeme v.s.) normal direk açıklığı «S» in tâyini ve (1) ifadesine uygun maximum yatay gerilmenin tesbiti

b) Kablo lineer ağırlığının, her bir yükleme hali için tâyini ve buradan k yükleme faktörünün tesbiti.

k (çıplak nakil) = 1

k (rüzgârlı nakil)

k (buzlu nakil)

k (2 x buzlu nakil)