

# ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM (6)

## İLETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI

- \* İLETKEN KESİTLERİNİN BELİRLENMESİ
- \* KABLOLARIN YÜKLENME KAPASITESİ HESABI
- \* HAVANIN TERMAL DIRENCİ
- \* KABLOLARIN DÜZENLENMESİ
- \* ORTA GERİLİM SİSTEMLERİNDE BAĞLANTI HATLARININ VE KABLO KESİTİNİN TAYINI
- \* KABLO ISINMA KAYIPLARI
- \* BARA SİSTEMLERİ
- \* BUSBAR TAŞIMA SİSTEMLERİ
- \* KABLOLARIN TESİS TASARIMI
- \* KABLO TAŞIYICILARI



TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası

1954

EMO YAYIN NO:EK/2011/11



# **ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM (6)**

## **İletkenlerin Boyutlandırılması**

---

Notları Derleyen:  
Aydın Bodur  
Emre Metin

Notları Yayına Hazırlayan:  
Aydın Bodur  
Hakkı Ünlü

M.Turgut Odabaşı'na Saygılarımlızla

Elektrik Kuvvetli Akım Notları, Turgut Odabaşı'nın Elektrik Tesisat Mühendisleri Dergisinde yayınladığı yazılarından, 'Elektrik Kuvvetli Akım Tesisat El Kitabı' ile her bölümün sonunda belirtilen ABB, Schneider, Chevron, NAFVAC ve Siemens'in hazırladığı İmalat, Bakım, Montaj El kitaplarından EMO için derlenmiştir.



TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

## ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM (6): İletkenlerin Boyutlandırılması

Notları Derleyen:

Aydın Bodur  
Emre Metin

Notları Yayına Hazırlayan:

Aydın Bodur  
Hakkı Ünlü

**621.31906 BOD 2011**

Elektrik Kuvvetli Akım: İletkenlerin  
Boyutlandırılması / Elektrik Mühendisleri Odası-1.bs-  
ankara,2011

258 s.;24 cm ISBN 978-605-01-0061-7 (EK/2011/11)  
Elektrik

Elektrik Kuvvetli Akım Notları, Turgut Odabaşı'nın Elektrik Tesisat Mühendisleri Dergisinde  
yayınladığı yazılarından, 'Elektrik Kuvvetli Akım Tesisat El Kitabı' ile her bölümün sonunda  
belirtilen ABB, Schneider, Chevron, NAVFAC ve Siemens'in hazırladığı İmalat, Bakım, Montaj El  
kitaplarından EMO için derlenmiştir.

# **İÇİNDEKİLER**

6.1. İletken kesitlerinin belirlenmesi .....	9
6.1.1. Kablo tipinin seçimi .....	10
6.1.2. Kablo kesiti hesaplarında işlem sırası .....	11
6.1.3. Maksimum tasarım akımının belirlenmesi .....	12
6.1.4. Yük kullanma faktörü .....	13
6.1.5. Genel kural .....	14
6.1.5.1. Nominal veya ayar akımı $I_N$ .....	14
6.1.5.2. Klasik açtırma akımı .....	14
6.1.6. Kabloların nominal geriliminin belirlenmesi .....	15
6.1.6.1. Nominal gerilim .....	15
6.1.6.2. İşletme gerilimi .....	16
6.2. Kabloların yüklenme kapasitesi hesabı .....	17
6.2.1 Termal dirençler .....	21
6.2.1.1 Kablonun termal direnci .....	21
6.3. Havanın termal direnci .....	26
6.3.1. Hava yatakları düzenelemesi .....	26
6.3.2. Atmosferik basınç .....	33
6.3.3. Ortam sıcaklığı .....	35
6.4. Kabloların düzenlenmesi .....	36
6.5. Toprağın termal direnci .....	39
6.5.1. Toprak içindeki bir kablonun sıcaklık alanı .....	39
6.5.2. Toprak termal direncinin açıklanması .....	41
6.5.2.1. Günlük yüklenme eğrileri ve karakteristik çap $d_y$ .....	43
Karakteristik çap $d_y$ eşitlik 54'den .....	49
Termal-özgül direnç için $\rho_E = 1$ Km/W .....	49
Örnek: .....	49
Tek damarlı NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 kV farklı işletme şartlarında toprak içine tesis edilmiş .....	49
6.5.3. Toprakta gruplandırma .....	53
6.6. Sapma şartları .....	63

6.6.1. Tesis metotları.....	63
6.6.2. Havada tesis edilen kablolar (havai hatlar) .....	69
6.6.2.1. $f_1$ Düzeltme faktörü .....	70
6.6.2.2. $f_2$ Düzeltme faktörü .....	72
6.6.2.3 Kabloların kesitlerini belirlemek için aşağıda ..	78
6.6.3. Kabloların toprak içinde tesis edilmesi.....	81
6.6.3.1. $f_1$ Düzeltme faktörü .....	81
6.6.3.2. $f_2$ Düzeltme faktörü.....	82
6.6.3.3. $f_2''$ Düzeltme faktörü .....	83
6.6.3.4. $f_3$ Düzeltme faktörü.....	84
6.6.3.5. Kablo kesitinin tayini için işlem sırası.....	84
6.6.4. Dengeli 3-fazlı sistemler üzerine harmonik akımların etkileri: .....	85
6.6.5. Tek sayılı harmoniklerin faz iletkeni üzerindeki etkilerinin göz önüne alınması .....	90
6.6.6. Kısa süreli ve aralıklı çalışma halinde kablo kesitinin belirlenmesi .....	93
6.6.7. Kabloların havalandırmaz kanallarda ve tünelerde tesis edilmesi .....	95
6.7. Orta gerilim sistemlerinde bağlantı hatlarının ve kablo kesitinin tayini .....	98
6.7.1. Kesit tayini için işlem sırası .....	98
6.7.2. Maksimum Dizayn Akımı ( $I_B$ ) tayini.....	99
6.7.3. Kablolar ve bağlantı hatlarında akım taşıma kapasitelerinin tayin edilmesi.....	99
6.8. Gerilim düşümü hesabı .....	104
6.8.1 Ohmik metoda göre gerilim düşümü hesabı .....	104
6.8.2. Uzun kablo halinde gerilim düşümüne göre kablo kesitinin belirlenmesi .....	111
6.8.3. MVA metodu ile gerilim düşümü hesapları.....	115
6.9. Kablo ısınma kayıpları .....	135

---

6.10. Kabloların kısa devre şartları altında açısından kontrolü .....	136
6.10.1 Kısa devre şartları altındaki performans .....	136
6.10.2. Kısa devre çalışması:.....	138
6.10.3 İletkenin kısa devre taşıma kapasitesi .....	140
6.10.4. Kablo ekranlarının, metal mahfazalarının ve zırhların kısa devre dayanım kapasiteleri.....	154
6.10.5. Kablo ekranı topraklama şartları .....	158
6.10.6. Kablo ekranındaki termik etkiler .....	162
6.10.7. Ekranların çapraz bağlanması .....	162
6.10.8. Kısa devre dinamik zorlanma.....	164
6.10.9. Nötr iletkeninin minimum kesitinin tayini.....	167
6.10.10. Koruma (PE) iletkeni .....	170
6.10.11. OG/AG transformatoru ve ana AG panosu arasındaki koruma iletkeni kesitleri .....	175
6.10.12. TT sistemlerde PE koruma iletkeni kesitleri aşağıda verilen değerlerle sınırlandırılır.....	176
6.10.14. Nötr iletkenlerinin kesiti .....	177
6.11. Bara sistemleri.....	180
6.11.1. Giriş.....	180
6.11.2. Bara tipleri.....	181
6.11.4 . Bara malzemelerinin seçimi .....	183
6.11.5. Baraların akım taşıma kapasiteleri .....	185
6.11.5.1. Dizayn şartları .....	185
6.11.5.2. Bara sistemlerindeki alternatif akım etkileri	188
6.11.6. Kısa devre etkileri .....	192
11.6.1.2 Baraların kısa devre akımları etkisiyle ısınması .....	192
6.11.6.2. Kısa devrede elektrodinamik zorlanma.....	193
6.11.7. Baraların bağlanması.....	195
6.11.7.1. Bara bağlantı metotları.....	195
6.11.7.2. Bağlantı direnci .....	196
6.11.7.3. Kontak geçiş direnci.....	198
6.11.7.4. Kontak basıncının etkisi.....	198

---

6.11.7.5. Civata bağlantılarının düzenlenmesi .....	200
6.11.8. Bara empedansları .....	201
6.11.8.1. Direnç .....	201
6.11.8.2. Endüktans ifadeleri .....	204
6.11.9. Baraların boyutlandırılması .....	206
6.11.9.1. Baraların boyutlandırılmasında işlem sırası .....	206
6.11.9.3. Baraların fiziksel karakteristikleri .....	207
6.11.9.4. Termik dayanım .....	207
6.11.9.5. Elektro dinamik dayanım .....	211
6.12. Busbar taşıma sistemleri (BTS) .....	212
6.12.1. Dağıtım busbarları .....	212
6.12.2. Besleme veya bağlantı busbarları .....	213
6.12.3. Koruma elemanları .....	215
6.12.4. Teknik özellikler .....	216
6.12.4.1 Kısa devre şartları altındaki performans .....	216
6.12.5. Besleme sistemi .....	217
6.12.6. BTS geometrisi .....	217
6.12.7. BTS akım taşıma kapasitesinin belirlenmesi .....	218
6.12.8. BTS koruması .....	220
6.12.8.1. BTS Aşırı yükle karşı koruma .....	220
6.12.8.2. BTS kısa devreye karşı koruma .....	221
6.12.9. BTS'lerde gerilim düşümü .....	222
6.12.10. Büyük endüstriyel tesislerde BTS uygulamaları .....	226
6.12.10.1. Üç taraftan beslenen sistemler .....	226
6.12.10.3. İki taraftan beslenen ana dağıtım busbarlı sistemler .....	227
6.13. Kabloların tesis tasarımı .....	228
6.13.1. Kablolarda izin verilen bükülme yarıçapları .....	231
6.13.2. Kabloların beton boru içinde toprakta tesis edilmesi .....	232
6.14. Kablo taşıyıcıları .....	234
6.14.1. Payanda ve tutucu bağlantıları .....	234
6.14.2. Kablo taşıyıcıları ve tutucuları .....	234

---

---

6.14.2.1. Trapez tip tutucu .....	235
6.14.2.4. Merkezi askı tutucu .....	238
6.14.2.5. Tek kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu .....	239
6.14.2.6. İki kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu .....	239
6.14.2.7. Tek raylı kablo askı tutucuları.....	239
6.14.3. Kablo taşıyıcı payandaları.....	240
6.14.4. Taban ve çatı tesisleri.....	240
6.14.5. Düşey uygulamalar.....	241
6.14.5. Kablo taşıyıcılarının doğrusal tesis.....	241
6.14.5.1. Doğrusal bölümde pozisyonlama .....	241
6.14.5.2. Genleşme ek plakaları .....	242
6.14.5.3. Düşey ayarlanabilen bağlantı ek plakaları ..	245
6.14.5.4. Yatay ayarlanabilir bağlantı ek plakaları ....	246
6.14.6. Kablo taşıyıcılarının panoya veya döşenmeye giriş bağlantı plakaları.....	246
6.14.7. Kablo taşıyıcısı redüksiyon (kesit azaltma ) bağlantısı .....	247
6.14.8. Kablo taşıyıcısı yüksekliğini azaltma bağlantı ek plakaları.....	247
6.14.10. Sonlandırma plakaları .....	248
6.14.11. Tek raylı kablo taşıyıcısında montaj bireştiricileri .....	248
6.14.12. Bağlantı tesisleri .....	249
6.14.12.1. Bağlantılar için tavsiye edilen tutucu yerleri .....	249
6.14.12.2. Yatay dirsek tutucuları .....	249
6.14.12.3. Yatay T bağlantı tutucuları .....	250
6.14.12.4. Yatay Y bağlantı tutucuları .....	250
6.14.12.5. Yatay 4lü geçiş bağlantıları tutucuları .....	251
6.14.12.6. Redüksiyon bağlantıları .....	251
6.14.12.7. Düşey kablo taşıyıcı dirsekleri .....	252
6.14.12.8. Düşey kablo taşıyıcıları T bağlantıları .....	252
6.14.12.9. Kablo destek bağlantıları.....	253
6.14.13. Aksesuarlar.....	253

---

6.14.13.1. Bariyer bantları .....	253
6.14.13.2. Kablo taşıyıcılarından çıkışlar .....	254
6.14.13.3. Kablo kanalından kablo taşıyıcısına geçiş	254
6.14.13.4. Kablo tesisat boruları ile kablo taşıyıcıları arasındaki adaptörler .....	255
6.14.14. Topraklama ve bağlantılar .....	256
6.14.14. Ayrı topraklama bağlantı hatlı tesis edilen kablo taşıyıcıları .....	257
6.14.15. Atlama bağlantıları .....	257
6.14.16. Kabloların kablo taşıyıcı üzerine tesisi .....	257
6.14.17. Kablo çekme aparatları .....	258
6.14.18. Kablo çekme makaraları .....	258
6.14.19. Kabloların kablo taşıyıcılarına bağlanması .....	258
FAYDALANILAN KAYNAKLAR .....	259
SON SÖZ .....	259

## 6.1. İletken kesitlerinin belirlenmesi

İletken kesitlerinin hesaplanması ve belirlenmesi için aşağıda belirtilen kriterler göz önüne alınır.

1. İletken, güç kaynağına bağlanan ekipman veya tesis bölümünün çekeceği azami akımı veya yükü herhangi bir zarara ve aşırı ısınmaya uğramadan sürekli olarak taşıyabilecek kapasitede olmalı
2. İletkenin bağlı olduğu cihazlarda ve tüketicilerde gerek geçici çalışma şartlarında gerekse sürekli çalışma şartları altında işletmesinde performans düşüklüğüne neden olacak ve standartlarda öngörülen değerlerden fazla gerilim düşümü meydana getirmemeli
3. Kısa devre veya toprak hatası gibi herhangi bir hata halinde bağlı olduğu koruma cihazında standartların öngördüğü sürede koruma cihazına açma yapabilecek seviyede hata akımı meydana getirmeli ve belirlenen hata açma süresinde meydana gelen hata akımının yol acacağı termik ve elektrodinamik etkilere dayanıklı olmalı ve söz konusu hataların giderilmesi sırasında oluşabilecek gerilim güç frekansındaki gerilim yükselmelerine ve osilasyon frekansındaki gerilim darbelerine karşı uygun izolasyon seviyesinde olmalı.
4. Motorların doğrudan yol alması gibi darbeli yüklenme durumunda oluşabilecek geçici olay sürelerinde uygun gerilim düşümü meydana getirerek şebeke stabilitesini devam ettirebilecek nitelikte olması ve söz konusu sürede geçecek akımın neden olabileceği termik ve elektrodinamik zorlanmalara dayanıklı olması gereklidir.
5. İzolasyon hatasında meydana gelebilecek tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerine karşı insan hayatını

koruma açısından koruma cihazını standartların ön gördüğü sürede açıtırabilecek nitelikte olmalıdır.

### ***6.1.1. Kablo tipinin seçimi***

Kablo tipinin seçiminde seçiminde aşağıdaki özellikler göz önüne alınır.

- İletken malzemesi (Bakır, Alüminyum): Maliyet, akım taşıma kapasitesi, korozyon şartlarına karşı direnci, boyut ve ağırlık gerekliliklerine bağlı olarak seçilir. Genelde bakırın akım taşıma kapasitesi aynı kesitteki aluminyuma göre %30 daha fazladır. Aynı kesitteki aluminyum iletkenin elektrik direnci bakıra göre %60 daha fazla ve ağırlığı %35 kadar azdır.
- İzolasyon malzemesi (PVC, XLPE, EPR) : İzolasyon malzemesi kablunun normal ve kısa devre şartları altında maksimum sıcaklığına dolayısıyla akım taşıma kapasitesine etki eder.
- İletken tipi (tekdamarlı, tekdamarlı ekranalı, çok damarlı): Tesis metodunun gerektirdiği tesis zorluğu (bükülme, güzergah boyunca ekler, izolasyon derecesi, mekanik mukavemeti) dikkate alınarak seçilir.
- Kablolar tesis gerilimleri, kullanılan tesis gerilimleri esas alınarak belirlenmelidir.

Endüstriyel tesislerde  $95 \text{ mm}^2$  den büyük kesitlerdeki kablolar gerek birim  $\text{mm}^2$  deki akım yoğunluğunun düşük olması ve gerekse iletken çapının büyümesinden dolayı skin efekt (iletken cidar/yüzey-kabuk) etkisinin artmasından dolayı nadir olarak kullanılır. Zira  $\text{mm}^2$  başına akım taşıma kapasitesi düşük olacağından ve bakır kayıpları artacağından gerek yatırım maliyetleri ve gerekse işletme giderleri

açısından ekonomik olmaktan çıkar. Bu durumda yüksek değerde yük taşınması durumunda yükün durumuna göre 2 veya 3 adet paralel kablo tesis edilir, daha yüksek yük devrelerinde ve daha uzun mesafelerde OG dağıtım önerilir.

### ***6.1.2. Kablo kesiti hesaplarında işlem sırası***

#### **1. Kademe**

- Beslenecek cihazlara ait yük gücü kullanarak  $I_B$  maksimum dizayn akımı ve Koruma cihazına ait  $I_N$  nominal akımı veya açtırma akım eşik değeri bulunur.
- Kablonun beslediği cihazın terminallerine kadar  $I_{sc}$  kısa devre akımı belirlenerek kablonun aşırı akım ve aşırı yük termik dayanımına uygun ve seçiciliği sağlayabilecek koruma cihazının açma ve kapama kapasitesi ve hata açtırma akım eşik değeri belirlenir.

#### **2. Kademe**

- Tesis şartlarına bağlı olarak (thesis metodu, ortam sıcaklığı vb)  $f$  toplam düzeltme faktörü tayin edilir.
- $I_N$  ve  $f$ ye bağlı olarak kablo imalatçı kataloglarından uygun iletken kesiti seçilir.

#### **3. Kademe**

- İzin verilen maksimum gerilim düşümü kontrol edilir.
- Kısa devre durumunda iletkenlerin termik dayanımları kontrol edilir.
- TN ve IT sistemlerde dolaylı temaslara karşı insan hayatını koruma ile ilgili maksimum hat uzunluğu kontrol edilir.

### **6.1.3. Maksimum tasarım akımının belirlenmesi**

Tesis tipine uygun olarak  $I_B$  maksimum tasarım akımı belirlenir. Her bir cihaz kendine ait güç kaynağı tarafından besleniyorsa;  $I_B$  maksimum dizayn akımı, en az beslenen cihazın nominal akımına eşit olmalıdır. Diğer taraftan hat sistemi, birden fazla cihazı besliyorsa;  $I_B$  maksimum dizayn akımı tesisin kullanma ve eş zamanlık faktörü hesaba katılarak bulunan çekilen akımların toplamlarıdır.

Elektrik motorlarının yol alması veya yüklerin peryodik olarak devreye girmeleri durumunda akım darbeleri, bu sırada oluşacak gerilim düşümleri ve bunların termik etkileri de hesaba katılır.

Bazı tesislerde ilerde olabilecek gelişmelerin de hesaba katılması istenir. Akımlar bu gelişmeler göz önüne alınarak belirlenir ve ilerde olabilecek güç artışları maksimum dizayn akımına ilave edilir.

Tesisteki yüklerin çektiği akımların belirlenmesi:

$$\text{Doğru akım için } I = \frac{P(W)}{U(V)}$$

Alternatif akımda

$$\text{Bir fazlı sistemlerde } I = \frac{S(VA)}{U(V)} \text{ ve 3-fazlı sistemlerde}$$

$$I = \frac{S(VA)}{\sqrt{3}U(V)}$$

$S$  : Görünen güç tüketimi (VA)

$U$  : 1-fazlı güç beslemesinde iki iletken arasındaki gerilim  
3-fazlı güç beslemesinde faz-faz gerilimi

İletkenden harmonik akımları aktığında; bu akımlar hesaba katılır. İletken kesitini seçmek için aşağıda verilen ifade ele alınır.

$$I_{rms} = I_1 + \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2$$

$I_1$  50 Hz frekansta akımın temel dalga değeri

$I_h$  h harmonik sayısına göre akım değeri

Güç faktörü ve verim göz önüne alınarak görünen gücün belirlenmesi

$$S = \frac{P}{\eta \cdot \cos \varphi} \text{ kVA}$$

P aktif güç Kw

$\eta$  Verim %

$\cos \varphi$  güç faktörü

$$a = \frac{1}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

#### **6.1.4. Yük kullanma faktörü**

Endüstriyel tesislerde tayin edilen cihazlar kullanımda hiçbir zaman tam yüküne erişmezler. Kullanım faktörü  $k_U$  genellikle 0,3 ile 1 arasında değişir. *Kullanım faktörü, motorlar için 0,75 ve aydınlatma ve ısıtma yükleri için 1 alınabilir.*

Eş zamanlık faktörü ks: endüstriyel tesislerde aynı besleme sistemi üzerine bağlanan yükler aynı anda devrede olmazlar. Bu durumu göz önüne almak için iletken boyutlandırmasında eş zamanlık faktörü uygulanır. *Eş zamanlık faktörü aydınlatma, aydınlatma ve klima sistemleri*

*icin 1 ve prizler icin 20 adete kadar 0,1 ile 0,2 uygulanır.* Nominal akımları aynı olan devrelerde 2-3 adete kadar eşzamanlık faktörü 0,9; 4-5'e kadar 0,8; 5-9'a kadar 0,7 ve 10 ve daha yukarı adetlerde 0,6 alınabilir.

### **6.1.5. Genel kural**

IEC 364'e göre kesici veya sigorta gibi koruma cihazlarının doğru işlem görebilmesi için besleme hatları için aşağıda belirlenmiş şartların yerine getirilmesi gereklidir.

#### **6.1.5.1. Nominal veya ayar akımı $I_N$**

$I_Z$  kablonun veya besleme hattının azami yük taşıma kapasitesi

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

Röle ayar akımı veya sabit akımlı koruma cihazının (anahtarlı otomatik sigorta ve kesici) açtırma akım eşik değeri maksimum dizayn akımdan büyük, kablonun azami akım taşıma kapasitesinden küçük olmalıdır.

*Not: Motorların direkt yol almasında  $I_Z$  akımı motor besleme kablosunun yol alma süresinde taşıyabileceği akım olacağı göz önüne alınmalıdır.*

#### **6.1.5.2. Klasik açtırma akımı**

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

Kesicilerde

IEC 898 de belirtilen konutlarda ve iş yerlerinde kullanılan kesicilerde

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

IEC 947-2 de belirtilen endüstriyel tesislerde kullanılan kesicilerde

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_{set}$$

$I_N \leq I_Z$  iken  $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$  olacaktır.

Sigortalarda

IEC 269-1 e göre

$$I_2 = k_2 \cdot I_N \Rightarrow k_2 = 1,6 \dots 1,9 \Rightarrow k_3 = \frac{k_2}{1,45}$$

Eğer  $I_N = \frac{I_Z}{k_3}$  ise  $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$  olacaktır

Buna göre g sigortalar için

$$I_N \leq 10A \rightarrow k_3 = 1,31$$

$$10 < I_N \leq 25A \rightarrow k_3 = 1,21$$

$$I_N > 25A \rightarrow k_3 = 1,10$$

## **6.1.6. Kabloların nominal geriliminin belirlenmesi**

### **6.1.6.1. Nominal gerilim**

Güç kablosunun nominal gerilimi ilgili elektriksel karakteristikleri göz önüne alınarak kablonun testinin ve

konstrüksiyonun yapılacağı gerilim değeridir. Nominal gerilim,  $U_0/U$  Volt gibi iki gerilim değeri ile belirlenir.  $U_0$  faz iletkeni ile toprak arasındaki RMS efektif gerilim değeri,  $U$  çok damarlı kablolarда veya tek damarlı kablo sistemlerinde iki faz iletkeni arasındaki RMS efektif gerilim değeridir. Alternatif akım sistemlerinde bir iletkenin nominal gerilimi, en az kabloların tesis edildiği yerdeki sistemin gerilimine eşit olmalıdır. Bu uygulama ya  $U_0$  gerilim veya  $U$  gerilimi esas alınarak gerçekleştirilir. Doğru akım sistemlerinde kabloların nominal gerilimi, sistemin nominal geriliminin 1,5 katı kadar olabilir.

### **6.1.6.2. İşletme gerilimi**

İşletme gerilimi güç sisteminde belirli bir yerde ve zamanda iletkenler arasında veya iletken ile toprak arasında uygulanan gerilimdir.

#### **İzin verilen sürekli işletme gerilimi**

0,6/1 kV gerilime kadar  $U_0/U$  nominal gerilimli kablolar, 3-fazlı ve 1-fazlı AC sistemlerde ve DC tesislerde izin verilen sürekli işletme gerilimleri, nominal gerilim değerlerini aşağıda verilen oranlar kadar aşabilir.

450/750 kV nominal gerilimli kablolarda, %10 ve 0,6/1 kV nominal gerilimli kablolarda, %20'dir.

## 6.2. Kabloların yüklenme kapasitesi hesabı

Kablo iletkeden akan akımdan dolayı iletkende ve kablonun iletken içinden akan akımın neden olduğu metal kılıflarda meydana gelen kayıplardan dolayı ısınır. Burada dielektrik kayıplar ihmali edilecektir. Kararlı hal şartları altında ısı yayılımı, kablodaki tüm kayıpların toplamına eşittir. Isı kayıpları, kablonun yüzeyinden konveksiyon ve radyasyonla ortama yayılır. Kablo toprak altına tesis edilirse; kayıplardan dolayı oluşan ısı, kablo yüzeyinden ve kabloyu saran topraktan çevreşvre atmosfere yayılırlar. İletken sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark, yaklaşık olarak toplam kayıplarla orantılıdır. Isı yayılımının kanunu Ohm kanununa benzerlik arz eder.

$\emptyset$  ısı akışı,  $I$  elektrik akımına,  $\Delta\vartheta_L$  sıcaklık farkı,  $U$  gerilimine ve toplam termik direnç  $\Sigma T$ ,  $R$  elektrik direncine karşılık düşer.

Böylece  $U = I.R$  denkleminden

$$\Delta\vartheta = \Phi \cdot \Sigma T \text{ elde edilir.}$$

$\emptyset$  ısı akışı (kayıplar);  $P'_i$  yük akımına bağlı ısı kayıpları ve  $P'_d$  besleme gerilimi ile ilgili dielektrik kayıpların toplamıdır.

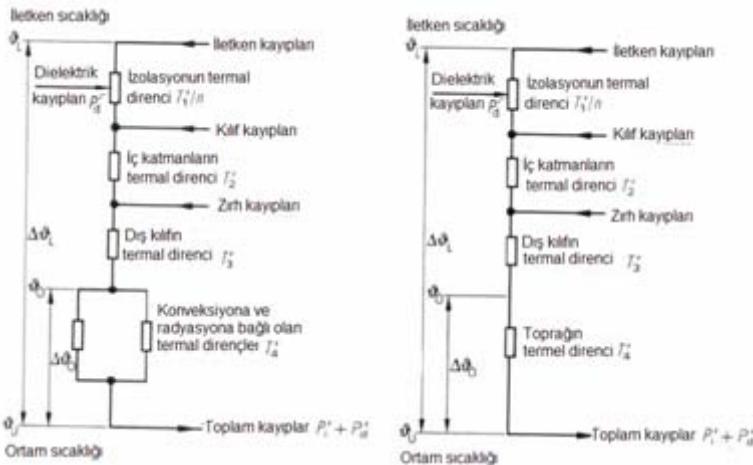
$T'_K$  Kablonu termal direnci

$T'_4$  Konveksiyon ve radyasyona bağlı olan termal direnci

$T'_L$  Havanın termal direnci

$T'_E$  Toprağın termal direnci

Elektrik akımının akışı ile ısı akışı arasındaki benzerliği kullanarak Şekil 6.1 de gösterilen eşdeğer diyagram çizilebilir.



a) Kablonun havada tesisi

b) Kablonun toprakta tesisi

**Şekil 6.1:** Kabloda ısı akışı için eşdeğer devre

$P'_i$  : İletkende, metal bölgelerde ve kablo zırhlarında oluşan yük akımı ile bağlantılı ısı kayipları

$P'_d$  : Kablo izolasyonunda meydana gelen dielektrik kayipları

$\theta_L$  : İletken sıcaklığı,

$\Delta\theta_L$  : İletken sıcaklığındaki artış

$\theta_0$  : Kablo yüzeyinin sıcaklığı

$\Delta\theta_0$  : Kablo yüzeyindeki sıcaklık artışı

$\theta_u$  : Ortam sıcaklığı

$n$  adet iletkenden akım akmasından dolayı bir kabloda oluşan kayiplar

$$P'_i = n \cdot I^2 \cdot R'_{wr}$$

ve dielektrik kayiplar

$$P'_d = n \cdot \omega \cdot C'_b \left( \frac{U}{\sqrt{3}} \right) \cdot \tan \delta$$

$R_{wr}$  efektif direnç müsaade edilen işletme sıcaklığında sabit olup aşağıda gösterilen eşitlikle belirlenir.

$$R'_{wr} = R'_g + \Delta R = R'_g (1 + y_s + y_p) (1 + \lambda_1 + \lambda_2)$$

$\vartheta_{Lr}$  İzin verilen işletme sıcaklığında ki doğru akım direnç değeri

$R'_g = R'_{20} [1 + \alpha_{20} (\vartheta_{Lr} - 20)]$  ve ilave direnç

$$\Delta R' = R'_{wr} - R'_g$$

Alternatif akım kayıplarına bağlı akımların sebeb olduğu iletken direncindeki ölçülebilir yükselme ilave dirençle belirlenir. Bu kayıplar herbir iletkende mevcut olan skin efekt/kabuk etkisi ve proximity efekt/yakınlık etkisi ( $y_s$  ve  $y_p$ ) indüksyon ve eddy akımları tarafından metal ekranada meydana gelen ( $\lambda_1$ ) ve aynı şekilde metal zırh üzerinde ( $\lambda_2$ ) faktörlerine tekabül eden akımların her bir iletken üzerindeki sıcaklık yükselmesi aşağıdaki ifade ile belirlenir.

Kablonun gerçek termal direnç değeri

$$T'_K = \left( \frac{T'_1}{n} \right) + T'_2 + T'_3$$

İfadelerde açıklık ve basitlik elde etmek için; fiktif termal direnç tanımlanır. Akım tesirinden dolayı ısı kayıpları için fiktif termal direnç

$$T'_{Ki} = \frac{\frac{T'_n}{n} + (1 + \lambda_1) T'_2}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} + T'_3$$

Dielektrik kayıplarına bağlı olan fiktif direnç

$$T'_{Kd} = \frac{T'_1}{2n} + T'_2 + T'_3$$

Bu bağlantılardan  $\vartheta_{Lr}$  müsaade edilen işletme sıcaklığı ve  $\vartheta_u$  bir ortam sıcaklığı için

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_u - \Delta \vartheta_d}{n \cdot R'_{wr} (T'_{Ki} - T'_4)}}$$

Dielektrik kayıplarından dolayı sıcaklık yükselmesi

$$\Delta \vartheta_d = P_d \cdot (T'_{Kd} + T'_4)$$

Efektif direnç  $\vartheta_{Lr}$  müsaade edilen işletme sıcaklığına göre hesaplanır. Çevrenin termal direnci  $T'_4$  işletme şartları tarafından belirlenir. Havada tesis edilme durumunda havanın termal direnci  $T'_L$  ile hesap yapılır. Ortam sıcaklığı  $30^0\text{C}$  alınarak

$$I_r = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - 30 - \Delta \vartheta_d}{n \cdot R'_{wr} (T'_{Ki} + T'_{Lu})}}$$

Havada kablonun farklı serilme şekillerinde yüklenme kapasitesi hesabı düzeltme faktörü kullanarak yapılır. Düzeltme faktörü  $f$ ,  $30^0\text{C}$  den farklı ortam sıcaklığı  $\vartheta_u$  ortam sıcaklığında

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_U - \Delta \vartheta_d}{\vartheta_{Lr} - 30 + \Delta \vartheta_d}}$$

Normal olarak  $\Delta \vartheta_d$  kablodaki dielektrik sıcaklık yükselmesi  $U \geq 10$  kV PVC kablolarından ayrı olarak  $U=30$  kV a kadar kablolarla ihmali edilebilir.

### 6.2.1 *Termal dirençler*

#### 6.2.1.1 *Kablonun termal direnci :*

Kablonun termal direnci  $T'_K$  nin hesabında kablo kılıfının ve elektriksel izolasyonun termal izolasyon etkisi göz önüne alınır ve termal dirençler ve kablo inşası verileri kullanılarak hesap yapılmalıdır. Mesela metal kılıflı tek damarlı kablo için



**Şekil 6.2.** *Tek damarlı kabloda  $T'_1$  ve  $T'_3$  termal dirençleri,*

$$T'_K = T'_1 + T'_3 = \frac{\rho_1}{\rho_2} \ln \frac{d_1}{d_L} + \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d}{d_M}$$

$\rho_1$  : İzolasyonun termal özgül direnci direnci

$\rho_3$  : Dış kılıf malzemesinin termal özgül direnç

$d_L$  : İletkenin dış çapı

$d_1$  : Metal kılıf veya ekranın altındaki izolasyonun dış çapı

$d_M$  : Metal kılıf veya ekranın dış çapı

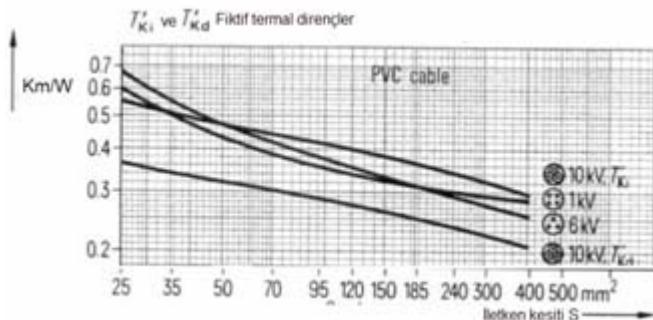
$d$  : Kablonun dış çapı

Metal kaplamanın termal izolasyon etkisi çok küçüktür ve ihmal edilir. Kabloda kullanılan malzemelerin termal direnç değerleri aşağıda verilen Tablo 6.1'e göre bulunabilir.

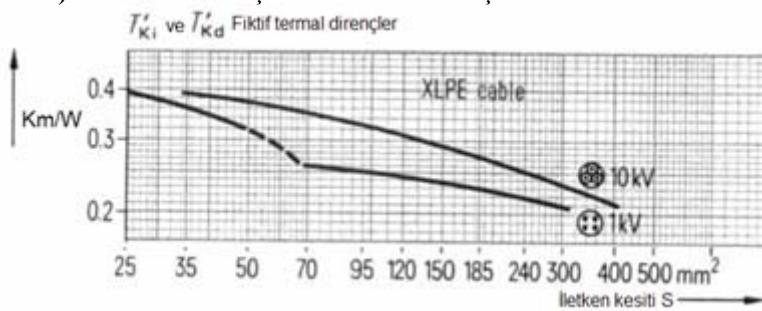
$T'_{Ki}$  fiktif termal direnç ve  $T'_{Kd}$  fiktif termal dirençleri denklemi tabloda verilen eşitliklere göre hesaplanabildiği gibi Şekil 6.3'e göre de belirlenebilir.

Yapı Tarzı	Standart	İzin verilen işletme sıcaklığı °C	İzin verilen sıcaklık yükselmesi		İzolasyon malzemesinin termal dirençleri
			Toprakta K	Havada K	
XLPE Kablo		90			3,5
PE Kablo		90			3,5
PVC Kablo					6,0

**Tablo 6.1.** İzin verilen işletme sıcaklıkları ve termal özgül dirençler.



a) PVC kablolar için fiktif termal dirençler



b) 3-fazlı 3-damarlı XLPE Kablolarda fiktif termal dirençler

Şekil 6.3. Fiktif termal dirençler

Örnek:

Kablo tipi NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 kV 0 °C de  
doğru akım direnci

$$R_{20} = 0.206 \Omega/\text{km}$$

90 °C de efektif direnci havada veya toprakta

Demet şeklinde tesis

$$R'_{wr} = 0.269 \Omega/\text{km}$$

Toprakta yan yana tesis  $R'_{wr} = 0.285 \Omega/\text{km}$

*Yapı şeklinin detayları*

Alımünyum iletkenin  
Çapı ,  $d_L = 14.5 \text{ mm}$

İç iletken katın kalınlığı, 0.1 mm

XLPE izolasyonun kalınlığı, 5.5 mm

Ekran altında koruma kaplamasını ihtiva eden dış iletken kalınlığı, 0.8 mm

Ekran altındaki çap,  $d_1 = 28.5$  mm

Tek ekran hattı çapı, 0.5 mm

Ekran hattının helisel inşasından dolayı boydaki artış  $z = 0.05$  mm (%5)

Çapraz helisel şeritin kalınlığı,  $\delta = 0.2$  mm

Çapraz helisel şeritin genişliği,  $b = 5.0$

Çapraz şeritin helisel inşa tarzından dolayı artışı,  $z = \%5 = 0.05$

Ekranın geometrik kesiti,  $q_M = 25 \text{ mm}^2$

Ekranın elektriksel iletkenliğinin ortalama değeri,  $\chi = 56.10^6 \text{ 1}/\Omega\text{m}$

Dış ekranın çapı,  $d_M = 29.9$  mm

Ekran üzerinde ayrı katman ve koruma katmanlarının kalınlığı, 0.4 mm

Dış PE Kılıfın kalınlığı, 2.5 mm

Dış çap,  $d = 35.7$  mm



**Şekil 6.4.** NA2XS2Y kablo

Tablo 6.1' deki termal özgül direnç değerlerini kullanarak

$$T'_1 = \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d_1}{d_M} = \frac{3.5}{2\pi} \ln \frac{28.5}{14.5} = 0.376 \frac{Km}{W}$$

$$T'_3 = \frac{\rho_3}{2\pi} \ln \frac{d}{d_M} = \frac{3.5}{2\pi} \ln \frac{35.7}{29.9} = 0.099 \frac{Km}{W}$$

$$T'_K = T'_1 + T'_3 = 0.376 + 0.099 = 0.475 \frac{Km}{W}$$

$T'_{Ki}$  fiktif termal direnç hesabında,  $\lambda_1$  kılıf kayıp faktörü aşağıda verilen Tablo 6.2'ye göre bulunur ve  $\lambda_2$  ve  $T'_2$  ekran ve zırh arasındaki koruma kaplaması ve zırh olmadığı müddetçe sıfırdır.

Buna göre

$$T'_{Ki} = \frac{0.376}{1 + 0.016} + 0.099 = 0.469 \frac{Km}{W} \text{ dir.}$$

Düzenleme	$\lambda_1$	$T'_{Ki}$ Denk 9	$T'_{Ki}$ Denk 8
Toprakta demetlenmiş	0.0160	0.469	$\approx 0.52$
Havada demetlenmiş	0.0163	0.601	$\approx 0.645$
Toprakta yan yana	0.0776	0.448	$\approx 0.5$

**Tablo 6.2. Kılıf kayıp faktörleri**

## 6.3.Havanın termal direnci :

### 6.3.1. Havada yatay düzenleme :

Havada tesis edilmiş kablolarla ısı konveksiyon ve radyasyonla yayılır. Havanın termal direnci  $T'_{Lu}$

$$T'_{Lu} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot (f_K \alpha_K + f_S \alpha_S)} \text{ dir.}$$

Burada güneş radyasyonu gibi dış ısı artışları göz önüne alınmamıştır.  $\alpha_K$  ısı transfer kat sayısı 1013 hPa atmosferik basınçta kuru havada

$$\alpha_K = k' \frac{0.0185}{kd} + k'' 1.08 \left( \frac{\Delta \vartheta_0}{kd} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$k' = 0.919 + \frac{\vartheta_m}{369}$$

$$k'' = 1.033 - \frac{\vartheta_m}{909}$$

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_0 + \vartheta_U}{2} \quad \Delta \vartheta_0 = \vartheta_0 - \vartheta_U$$

Radyasyon için termal transfer kat sayısı  $\alpha_S$

$$\alpha_S = \frac{\varepsilon_0 \sigma \left[ (273 + \vartheta_0)^4 - (273 + \vartheta_U)^4 \right]}{\Delta \vartheta_0}$$

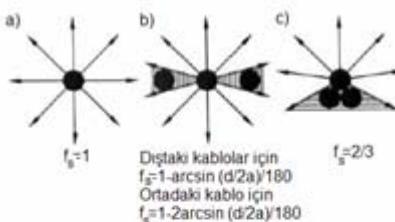
Burada  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$  (Stephan–Boltzman sabiti),  $\varepsilon_0$  kablo yüzeyinin emisyon faktörüdür. Kablo yüzeyi için emisyon faktörü  $\varepsilon_0 = 0.95$  alınabilir.

$$\text{Sıcaklık yükselmesi } \Delta \vartheta_0 = \frac{(\vartheta_{Lr} - \vartheta_U - \Delta \vartheta_d)}{T'_{Ki} + T'_{Lu}} + P'_d T'_{Lu}$$

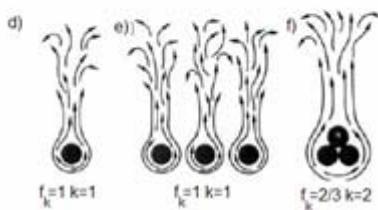
$\Delta \vartheta_0 = P'_d (T'_{Kd} + T'_{Lu})$  Dielektrik kayıpların sebep olduğu sıcaklık yükselmesi  $\Delta \vartheta_0$  Sıcaklık yükselmesi hesabında  $T'_{Lu} = 0.5Km/W$  alınır.  $30^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığında ve dielektrik kayıpsız çok damarlı kablolar için dış termal dirençler, kabul edilebilir doğrulukla aşağıda verilen eğrilerden elde edilebilir. Dielektrik kayıpların ihmali edilebildiği yerlerde aşağıda verilen eşitlik elde edilir

$$\frac{\Delta \vartheta_{Lr}}{\Delta \vartheta_0} = \frac{T'_{Ki} + T'_{Lu}}{T'_{Lu}}$$

$$d_x = 4h_0 \frac{k_x}{k_x^2 - 1}$$

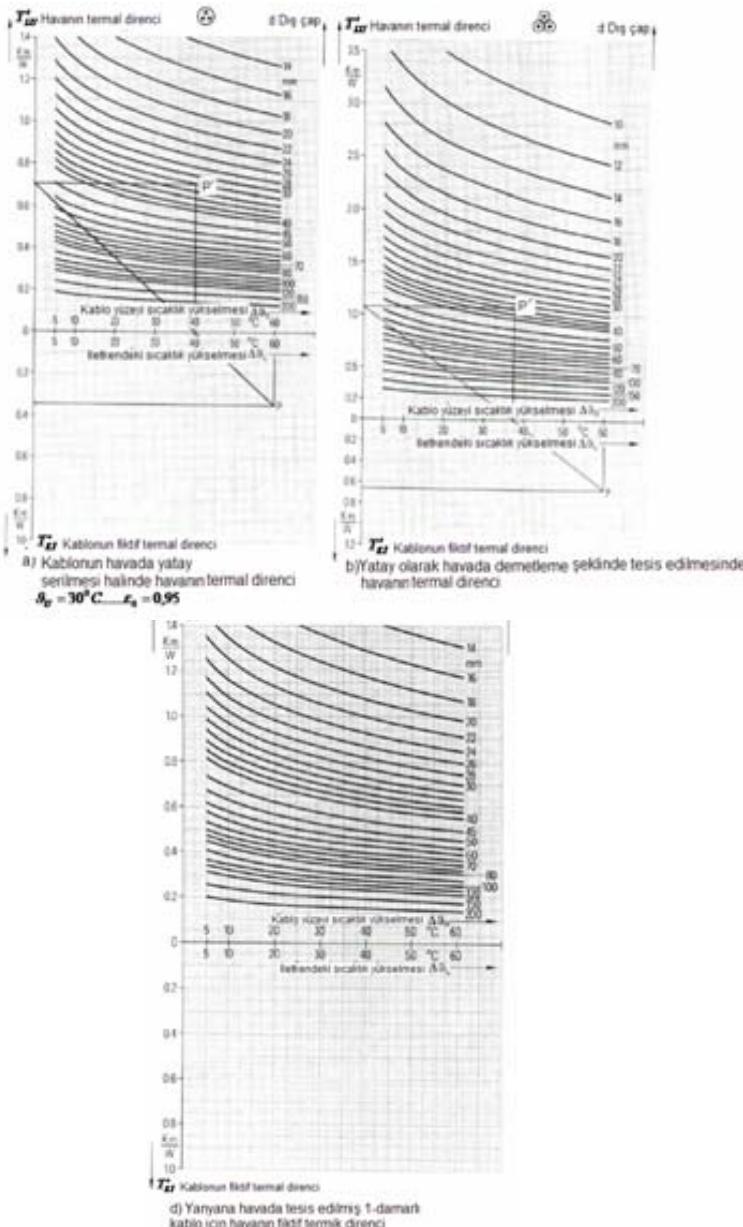


Radyasyonla ısı yayımı



Konveksiyonla ısı yayımı

Şekil 6.5. Hava da tesis edilmiş kablolarla ısı yayımı



**Sekil 6.6.** Kabloların düzenleme şecline bağlı olarak havanın termal direnci

Grafik metotta kablonun fiktif termal direncinin  $T'_{Ki} = 0.35$  Km/W ve müsaade edilen sıcaklık yükselmesi  $\Delta \vartheta_{Lr} = 60$  kabul edilir.

Şekil 6.5'de demetlenmiş tek damarlı kablolar için dış kılıf ve izolasyonun termal direnci ısı yayılımının kısıtlanmasıından dolayı artar. Şekil 6.2'de verilen metal kılıfın termal iletkenliği haiz olmadığı kabloda

$$T'_1 = f_\varphi \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d_1}{d_L}$$

$$T'_3 = f\varphi \frac{\rho_3}{2\pi} \ln \frac{d}{d_M}$$

$$f_\varphi = \frac{\pi}{\pi - \varphi}$$

$$\varphi = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{180^0} \arcsin \left( \frac{d_L}{2d} \right)$$

Metal muhafazalı kablolar ve ısı yayılımı geliştirilmiş kablolar için Tablo 4'de belirtilen ilave bilgiler göz önüne alınarak aşağıdaki ifadeler uygulanır.

$$\frac{1}{T'_1} = \frac{1}{f_\varphi T_1^{\ddot{\cdot}}} + \frac{1}{f_M T_M'}$$

$$T_1^{\ddot{\cdot}} = \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d_1}{d_L}$$

$$T_M' = \sqrt{\frac{\rho_M d_1}{4\delta_M} \pi T_1^{\ddot{\cdot}}} \cot \left[ \varphi \sqrt{\frac{\rho_M}{4\delta_M} \frac{d_1}{\pi T_1^{\ddot{\cdot}}}} \right]$$

$\rho_M$  metal kaplamanın termal direncini belirtir ve Tablo 6.3'den seçilir.

Malzeme	$\rho_M$ Termal direnç Km/W
Bakır	$2,7 \cdot 10^{-3}$
Alimünyum	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Kurşun	$28,7 \cdot 10^{-3}$
Çelik	$19,1 \cdot 10^{-3}$

**Tablo 6.3. Termal dirençler**

	Kılıf ve ekran faktö-rü $f_M$	Kılıf veya ekranın termal efektif kalınlığı $\delta_M$	Metal kılıf veya ekranın ortalama çapı $d_{Mm}$
Metal kılıf	1	$\delta_M$	$d_M - \delta_M$
Aralıklı n sarım	$\frac{\pi \cdot d_{Mm}}{n.b.(1+z)}$	$\delta \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{1+z^2}}$	$d_M - \delta$
n adet çapraz helisel şeritlerde den dolayı %5 artışılı hat ekranı	$\frac{\pi \cdot d_{Mm}}{n.b.(1+z)}$	$\delta \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{1+z^2}}$	$d_M - \delta$
Aşırı sarım uygulanmış şerit $z=0,05$	1	$\approx \delta$	$d_M - 2\delta$
Araliksız iki şerit uygulanmış	1	$\delta \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{1+z^2}} \cdot \frac{n.b.(1+z)}{\pi \cdot d_{Mm}}$	$d_M - 2\delta$

**Tablo 6.4.** Kılıf veya ekranın efektif termal kalınlık hesabı için geçerli şartlar

Tablo 6.4 ile ilgili açıklamalar

$d_M$  : Çapraz helisel şerit metal kılıf veya ekranın dış çapı

$b$  : Çapraz helisel şeritin genişliği

$n$  : Çapraz helisel şeritin adedi

$z$  : Çapraz helisel şeritin helisel sarılmasından dolayı uzunluğunda

$\delta$  : Çapraz helisel şeritlerin her biri

$\delta_M$  : Metal kılıfın kalınlığı

Örnek: Üç adet tek damarlı NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 kV havada tesis edilen demetlenmiş kablo

$$\varphi = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{180} \arcsin\left(\frac{d_L}{2d}\right) = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{180} \left(\frac{14.5}{2 \times 35.7}\right) = 0.728$$

$$f_\varphi = \frac{\pi}{\pi - \varphi} = \frac{\pi}{\pi - 0.728} = 1.302$$

$$T_1^{..} = \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d_1}{d_L} = \frac{3.5}{2\pi} \ln \frac{28.5}{14.5} = 0.376 \text{ Km/W}$$

$$\delta_M = \delta = 0.2$$

$$f_M = \frac{\pi d_{mM}}{nb(1+z)} = \frac{\pi(d_M - \delta)}{nb(1+z)} = \frac{\pi(29.9 - 0.2)}{1 \times 5(1 + 0.30)} = 14.35$$

$$T_M^{'} = \sqrt{\frac{\rho_M d_1}{4\delta_M} \pi T_1^{..}} \coth \left[ \sqrt{\frac{\rho_M d_1}{4\delta_M} \frac{1}{\pi T_1^{..}}} \right] = \\ = \sqrt{\frac{2.7 \times 10^{-3} \times 28.5 \times 10^{-3}}{4 \times 0.2 \times 10^{-3}}} \pi 0.376 \times \coth \left[ 0.728 \sqrt{\frac{2.7 \times 10^{-3} \times 28.5 \times 10^{-3}}{4 \times 0.2 \times 10^{-3}}} \frac{1}{\pi \cdot 0.376} \right] \\ = 1.646 \text{ Km/W}$$

$$\frac{1}{T'_1} = \frac{1}{f_\phi T'_1} + \frac{1}{f_M T'_M} = \frac{1}{1.302x0.376} + \frac{1}{14.35x1.646} = \frac{1}{0.480}$$

$$T'_1 = 0.480$$

$$T'_3 = f_\phi \frac{\rho_3}{2\pi} \ln \frac{d}{d_M} = 1.302 \frac{3.5}{2\pi} \ln \frac{35.7}{29.9} = 0.129 \text{ Km/W}$$

$$T'_{Ki} = \frac{T'_1}{1-\lambda_1} + T'_3 = \frac{0.480}{1+0.0163} + 0.129 = 0.601 \text{ Km/W}$$

$$\Delta \mathcal{G}_0 = \frac{(\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_U) T_{Lu}}{T'_{Ki} + T_{Lu}} = \frac{(90 - 30)60}{0.601 + 1.06} = 38.3 \text{ K}$$

$$\mathcal{G}_0 = \Delta \mathcal{G}_0 + \mathcal{G}_0 = 38.3 + 30 = 68.3 \text{ K}$$

$$\mathcal{G}_m = \frac{\mathcal{G}_0 + \mathcal{G}_U}{2} = \frac{\Delta \mathcal{G}_0 + 2\mathcal{G}_U}{2} = \frac{38.3 + 2x30}{2} = 49.15 \text{ }^0\text{C}$$

$$k' = 0.919 + \frac{\mathcal{G}_m}{369} = 0.919 + \frac{49.15}{369} = 1.05$$

$$k'' = 1.033 - \frac{\mathcal{G}_m}{909} = 1.033 - \frac{49.15}{369} = 0.98$$

Şekil 6.5a ve 6.5b'ye göre  $k = 2, f_s = 2/3, f_k = 2/3$

$$\alpha_k = k' \frac{0.0185}{k.d} + k'' 1.08 \left( \frac{\Delta \mathcal{G}_0}{k.d} \right)^{\frac{1}{4}} = 1.05 \frac{0.0185}{2x35.7x10^{-3}} + 0.98x1.08 \left( \frac{38.3}{2x35.7x10^{-3}} \right)^{\frac{1}{4}} = 5.366 \cdot \frac{\text{W}}{\text{Km}^2}$$

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon_0 \sigma \left[ (273 + \mathcal{G}_0)^4 - (273 + \mathcal{G}_U)^4 \right]}{\Delta \mathcal{G}_0} = \frac{0.95x5.67 \left[ (273 + 68.3)^4 + (273 + 30)^4 \right]}{38.3x10^{-3}} = 1.06 \cdot \frac{\text{Km}}{\text{W}}$$

$$T'_{Lu} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot (f_k \cdot \alpha_k + f_s \cdot \alpha_s)} = \frac{1}{\pi x 35.7 x 10^{-3} \left( \frac{2}{3} \cdot 5.366 + \frac{2}{3} \cdot 7.229 \right)} = 1.06 \cdot \frac{\text{Km}}{\text{W}}$$

$$I_r = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_U}{n \cdot R_{wr} (T'_{Ki} + T'_{Lu})}} = \sqrt{\frac{90 - 30}{1x0.269x10^{-3} (0.601 + 1.06)}} = 366 \text{ A}$$

Dielektrik kayıplar ihmal edilmiştir.

---

### 6.3.2. Atmosferik basınç :

Konveksiyonla olan ısı yayılımı atmosfer basıncının azalmasıyla azalır. Yüksek rakımlarda konveksiyon için olan termal ısı transfer sabitesi aşağıdaki ifade yardımıyla bulunur.

$$\alpha_k = k' \frac{0.0185}{kd} + k'' \cdot 1.08 \left( \frac{\Delta \vartheta_0}{kd} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{p}{1013 \text{ hPa}} \right)^{\frac{1}{4}} \dots$$

Deniz seviyesinden yükseklik m	0	1000	2000	3000	4000
Atmosferik Basınç hPa	1013	899	795	701	616

**Tablo 6.5.** Deniz seviyesinden yüksekliğe göre atmosferik basıncın değişmesi

**Örnek:** Kablo tipi NA2X2Y 1x150 RM/25 12/20 kV

Deniz seviyesinden yükseklik : 3000 m

Bu seviyede atmosferik basınç : 701 hPa

$$\Delta \vartheta_0 = \frac{(\vartheta_{Lr} - \vartheta_U) T'_{Lu}}{T'_{Ki} - T'_{Lu}} = \frac{(90 - 30) \cdot 1,134}{0,601 + 1,134} = 39,22 \cdot K$$

$$\vartheta_0 = \Delta \vartheta_0 + \vartheta_u = 39,22 + 30 = 69,22 \cdot K$$

$$P'_d = 0$$

$$\vartheta_m = \frac{\Delta \vartheta_0 + 2\vartheta_U}{2} = \frac{39,22 + 2 \cdot 30}{2} = 49,61 \cdot {}^0C$$

$$k' = 0,919 + \frac{\vartheta_m}{369} = 1,033 + \frac{49,61}{369} = 1,0534$$

$$k'' = 1,033 - \frac{\vartheta_m}{909} = 1,033 - \frac{49,61}{909} = 0,9784$$

$$\alpha_k = k' \frac{0,0185}{kd} + k'' 1,08 \left( \frac{\Delta \vartheta_0}{kd} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{p}{1013} \right)^{\frac{1}{2}} =$$

$$= 1,0534 \frac{0,0185}{2 \cdot 35,7 \cdot 10^{-3}} + 0,9784 \cdot 1,08 \left( \frac{39,22}{2 \cdot 35,7 \cdot 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{4}} = 4,528 \cdot \frac{W}{Km^2}$$

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon_0 \sigma \left[ (273 + \vartheta_0)^4 - (273 + \vartheta_U)^4 \right]}{\Delta \vartheta_0} = \frac{0,95 \cdot 5,67 \left[ (273 + 69,22)^4 - (273 + 30)^4 \right]}{39,22 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 7,621 \cdot \frac{W}{Km^2}$$

$$T'_{Lu} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot (f_K \cdot \alpha_K + f_S \cdot \alpha_S)} = \frac{1}{\pi \cdot 35,7 \cdot 10^{-3} \left( \frac{2}{3} \cdot 4,528 + \frac{2}{3} \cdot 7,261 \right)} = 1,134 \cdot \frac{Km}{W}$$

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_U}{n \cdot R'_{wr} \cdot (T'_{Ki} + T'_{Lu})}} = \sqrt{\frac{90 - 30}{1 \cdot 0,269 \cdot 10^{-3} (0,601 + 1,134)}} = 359.A$$

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \frac{359}{366} = 0,981\dots$$

### 6.3.3. Ortam sıcaklığı :

Kablo çevresi boyunca havanın termal direnci sabit iletken ve artan ortam sıcaklığında çok az miktarda değişir. Normal olarak tatmin edici bir şekilde denklem farklı ortam sıcaklıklarını için yüklenme kapasitesinin tespitinde aşağıda örnekte verilen eşitlik kullanılır.

**Örnek:**  $30^0C$ 'den sapan  $\vartheta_U = 45^0C$  ortam sıcaklığı için çevirme faktörü

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_U}{\vartheta_{Lr} - 30}} = \sqrt{\frac{90 - 45}{90 - 30}} = 0.87$$

#### Güneş ışığı radyasyonu :

Güneş ışığı radyasyonuna maruz yani güneş ışığı altındaki kablolar ilave bir sıcaklık yükselmesine maruzdurlar. Bu ilave sıcaklık yükselmesi aşağıda verilen ifade ile belirlenir.

$$\Delta \vartheta_S = \alpha_0 \cdot d \cdot E \cdot T'_S \dots (34)$$

Kablo yüzeyinin sıcaklık yükselmesi ortam sıcaklığına bağlı olarak

$$\Delta \vartheta_S = \frac{(\vartheta_{Lr} - \vartheta_U - \Delta \vartheta_d + \alpha_0 \cdot d \cdot E \cdot T'_{Ki}) T'_S}{T'_{Ki} + T'_S} + P'_d \cdot T'_S \text{ ve yüklenme kapasitesi olarak}$$

$$I_Z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_U - \Delta \vartheta_d - \Delta \vartheta_S}{n \cdot R_{wr} \cdot (T'_{Ki} + T'_S)}}$$

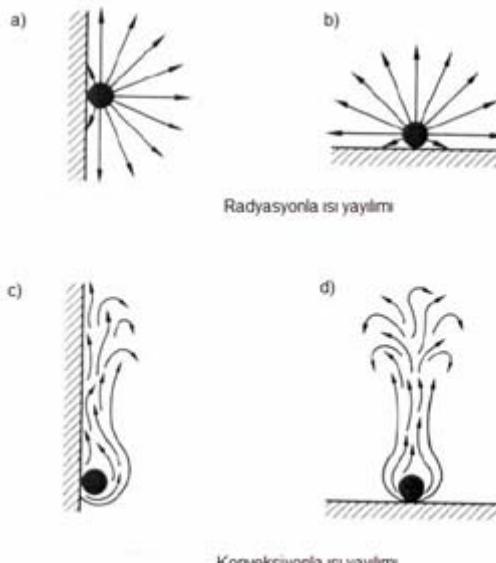
Dış koruma kılıfının Malzemesi	Tutunum Katsayısı $\alpha_0$
Asfaltlanmış Jüt	0.8
PVC	0.6
PE	0.4
Polikloroplen	0.8
Kurşun	0.6

**Tablo 6.6.** *Kablo yüzeyinin güneş ışığını tutunum katsayısı*

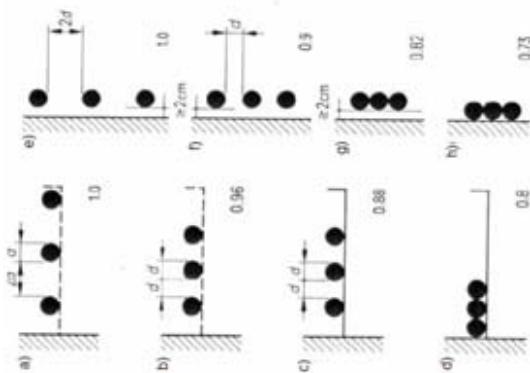
E solar radyasyon yoğunluğu kabloların yatay düzenlemeye ile tesis edilme durumunda en fazla  $1,35 \text{ Kw/m}^2$  değerini alır. Normalde gerçek değerler, yüksekliğe, mevsimlere, hava şartlarına, günün belli saatlerine bağlı olarak bu değerin çok altındadır. Hesaplarda  $E=1 \text{ kW/m}^2$  kullanılır.

## 6.4. Kabloların düzenlenmesi

Kabloların ısı yayılımı duvar, döşeme, tavan yüzeyleri ile temas halinde olması durumunda etkilenir. Temasın olduğu noktada havanın akışı engellenir ve bu nedenle konveksiyonla ısı yayılımı azalır. Radyasyonla ısı yayılımı yayılanma ve temasta olunan komşu alanın sıcaklığı tarafından etkilenir. Şekil 6.7



**Şekil 6.7.** Temas halinde olunan diğer yüzeyler tarafından ısı yayılıminin engellenmesi



**Şekil 6.8.** Havada çeşitli düzenlemeler için azaltma faktörleri

**Örnek:**

Havada demetlenmiş üç adet tek damarlı kablo  
 NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 Kv E=1 kW/m<sup>2</sup>  
 E=1kW/m<sup>2</sup>

$$\Delta \mathcal{G}_{0S} = \frac{(\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_U + \alpha_0 \cdot d \cdot E \cdot T'_{Ki}) T'_S}{T'_{Ki} + T'_S} = \frac{(90 - 30 + 0,4 \cdot 35,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 0,601) \cdot 1,035}{0,601 + 1,035} = 43,39 \cdot K$$

$$\mathcal{G}_0 = \Delta \mathcal{G}_{0S} + \mathcal{G}_U = 43,39 + 30 = 73,39 \cdot K$$

$$\mathcal{G}_m = \frac{\Delta \mathcal{G}_{0S} + 2\mathcal{G}_U}{2} = \frac{43,39 + 2 \cdot 30}{2} = 51,7 \cdot ^0C$$

$$k' = 0,919 + \frac{\mathcal{G}_m}{369} = 1,0591$$

$$k'' = 1,033 - \frac{\mathcal{G}_m}{909} = 0,9761$$

$$\alpha_k = k' \frac{0,0185}{kd} + k'' 1,08 \left( \frac{\Delta \mathcal{G}_{0S}}{kd} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,591 \frac{0,0185}{2 \cdot 35,7 \cdot 10^{-3}} + 0,9761 \cdot 1,08 \left( \frac{43,39}{2 \cdot 35,7 \cdot 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{4}} = 5,509 \cdot \frac{W}{Km^2}$$

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon_0 \sigma [(273 + \mathcal{G}_0)^4 - (273 + \mathcal{G}_U)^4]}{\Delta \mathcal{G}_{0S}} = \frac{0,95 \cdot 5,67 [(273 + 73,39)^4 - (273 + 30)^4]}{14,8} = 7,408 \cdot \frac{W}{Km^2}$$

$$T'_S = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot (f_k \cdot a_k + f_s \cdot \alpha_s)} = \frac{1}{\pi \cdot 35,7 \cdot 10^{-3} \left( \frac{2}{3} \cdot 5,509 + \frac{2}{3} \cdot 7,408 \right)} = 1,035 \cdot \frac{Km}{W}$$

$$\Delta \mathcal{G}_s = \alpha_0 \cdot d \cdot E \cdot T'_S = 0,4 \cdot 35,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 1,035 = 14,8 \cdot K$$

$$I_z = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_U - \Delta \mathcal{G}_s}{n \cdot R_{wr} \cdot (T'_{Ki} + T'_S)}} = \sqrt{\frac{90 - 30 - 14,8}{1 \cdot 0,269 \cdot 10^{-3} \cdot (0,601 + 1,035)}} = 320 \cdot A$$

$$f_s = \frac{I_z}{I_r} = 0,87$$


---

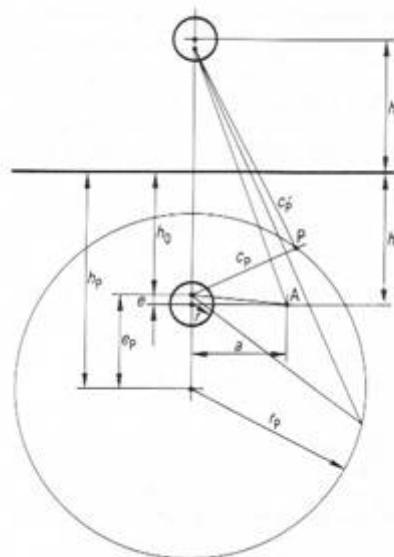
## 6.5. Toprağın termal direnci

### 6.5.1. Toprak içindeki bir kablonun sıcaklık alanı

Kabloda meydana gelen  $P'$  ısı kaybı topraqğa çeper çevre kat ederek yeryüzüne doğru akar ve buradan havaya yayılır. Toprakta bir kablonun sıcaklık alanını izah edebilmek için, toprak yüzeyinin termal transfer direncini ihmal ederek  $\rho_E$  toprak termal direnci ve  $\vartheta_E$  sabit toprak sıcaklığı kabul edilir.

P noktasındaki sıcaklık artıusu

$$\Delta\vartheta_p = P' \frac{\rho_E}{2\pi} \ln \frac{c'_p}{c_p} \dots (37)$$



**Şekil 6.9:** Çapı  $d=2r$  ve gömülme derinliği  $h$  olan kablonun sıcaklık alanı

İzotermal hatlar  $\Delta \mathcal{G}_P = \text{Sabit}$  olma şartına dayandırılarak belirlenir. Bundan dolayı

$$k_P = \frac{c'_P}{c_P} = \text{Sabit olması gereklidir.}$$

İzotermeler için geometrik sabite

$$k_P = \exp\left(\frac{2\pi\Delta \mathcal{G}_P}{\rho_E P'}\right).$$

$d=2r$  kablonun çapı olmak üzere ve  $h$  kablo gömülme derinliğinde Izoter egrilerinin yarı çapı

$$r_P = \frac{2h_0 k_P}{k_P^2 - 1} \dots (39)$$

İzotermin derinliği  $h_P = h_0 (k_P^2 + 1) / (k_P^2 - 1) = h_0 + e_P \dots$

İzotermin ekzantrikliği  $e_P = 2h_0 / (k_P^2 - 1) = h_P - h_0 \dots$

Hat kaynağının derinliği  $h_0 = \sqrt{h^2 - r^2} \dots$

Kablonun ekzantrikliği  $e = h - h_0 = h - \sqrt{h^2 - r^2} \dots$

Eğer izotermin derinliği  $h_P$  ve yarı çapı  $r_P$  biliniyorsa

$$k_P = \frac{h_0 + h_P - r_P}{h_0 - h_P + r_P} \dots$$

$$h_0 = \sqrt{h_P^2 - r_P^2} \dots$$

Toprak yüzeyinin  $c'_P / c_P = 1$  olduğu bir P noktasında sıcaklık yükselmesi sıfırdır.

Kablo ekseninden  $a$  uzaklıkta ve toprak yüzeyinden  $h$  derinlikte bir A noktasında sıcaklık yükselmesi

$$\Delta \vartheta_a = P' \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k_a$$

Karşılıklı ısıtma için geometrik sabit

$$k_a = \sqrt{\frac{(2h-e)^2 + a^2}{e^2 + a^2}} = \sqrt{\frac{(h + \sqrt{h^2 - r^2})^2 + a^2}{(h - \sqrt{h^2 - r^2})^2 + a^2}}.$$

### 6.5.2. Toprak termal direncinin açıklanması

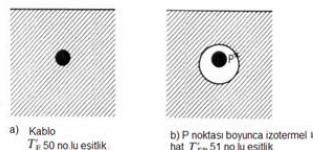
Kablo yüzeyinin ısı yükselmesi ifadesinde  $a = r$  koyarak ve bazı işlemlerden sonra aynı şekilde  $d = 2r$  koyarak

$$\Delta \vartheta_E = P' \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k \dots$$

Kablonun geometrik sabitesi  $k = \frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 - 1}$ .

Bu ise kablonun termal direncinin kablo yüzeyi ile toprak arasındaki termal direnç olduğunu açıklar. (Şekil 6.10a)

$$T'_E = \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k = \frac{\rho_E}{2\pi} \ln \left( \frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 - 1} \right) ..$$



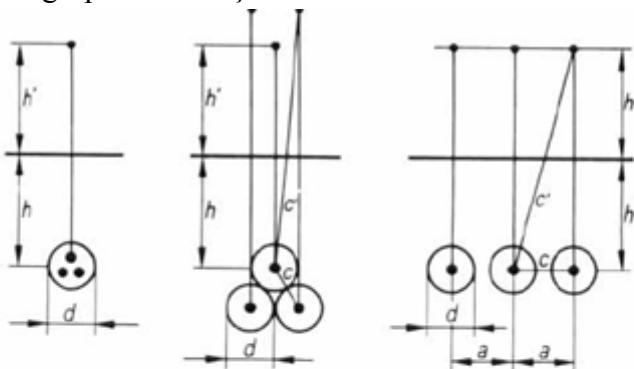
**Şekil 6.10:** Toprak-termal direnci

Aynı şekilde P noktası boyunca izoterm ile toprak yüzeyi arasında ki toprak termal direnci

Şekil 10b'ye göre,

$$T'_{EP} = \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k_p \dots (51)$$

Şekil 6.11 de bir kablonun geometrik sabiti  $k_a \approx 2h/d$  olarak gruplandırma için alınabilir.



$$T_k = \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k \quad (18.45)$$

$$T_k = \frac{\rho_E}{2\pi} (\ln k + 2 \ln k_a) \quad (18.47)$$

$$k = \frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 - 1} \quad (18.44) \quad \text{or} \quad k \approx \frac{4h}{d} \quad (18.49)$$

—	$k_a \approx \frac{2h}{d}$ (18.48)	$k_a \approx \sqrt{\left(\frac{2h}{a}\right)^2 + 1}$ (18.50)
---	------------------------------------	--

a) Çok damarlı kablo

b) Demetlenmiş 1-damarlı kablo

c) Yanyana serili 1-damarlı kablo

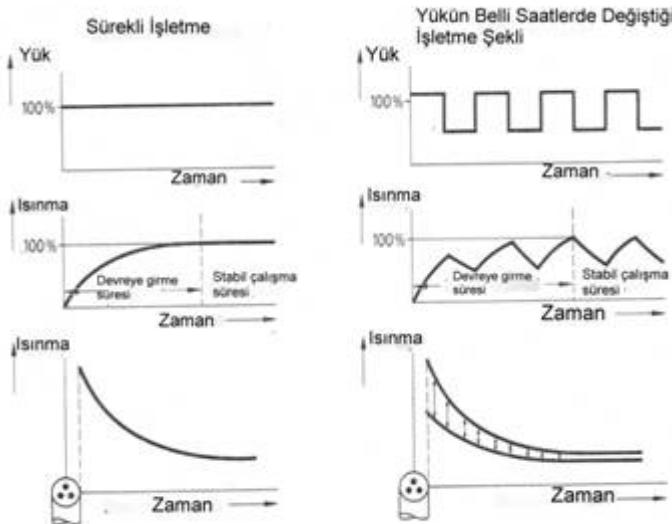
**Şekil 6.11.** Kurumamış toprak ve  $\rho_E$  sabit  $m=10$  olan işletme şartları için toprağın termal direnci

Normal olarak kablo yarı çapına bağlı olarak kabloların gömülme derinliği çok genişir.  $h/d \geq 5$  olan yerlerde Şekil

6.11 de verilen  $k \approx \frac{4h}{d}$  eşitliği kullanıldığında 5.2 paragrafinin başlangıcında verilen eşitlikte bulunan değerden sapması ancak %1 kadardır.

### 6.5.2.1. Günlük yüklenme eğrileri ve karakteristik çap $d_y$

Yükün belirli zamanlarda değiştiği işletme şeklinde Kabloların yüklenme kapasitesi sürekli işletme şeklindeki yüklenme kapasitesine göre çok daha fazladır.



**Şekil 6.12.** Sürekli işletme ve yükün belirli zamanlarda değiştiği işletme sekillerine göre toprağın ısınması

$m$  : Günlük yüklenme faktörü  $0,5 \leq m \leq 1$

$$\mu = 0,3m + 0,7m^2 \dots (52) \quad \text{Kayıp faktörü}$$

Sinüsoidal yük değişimlerinde

$$d_y = \frac{0,205}{\sqrt{w} \left( \frac{\rho_E}{Km/W} \right)^{0,4}}.$$

Dikdörtgen lineer yük değişimlerinde

$$d_y = \frac{0,493 \sqrt{\frac{\mu}{w}}}{\left( \frac{\rho_E}{Km/W} \right)^{0,4}}.$$

Ne sinüsoidal ve ne de dikdörtgen lineer olmayan yüklerde

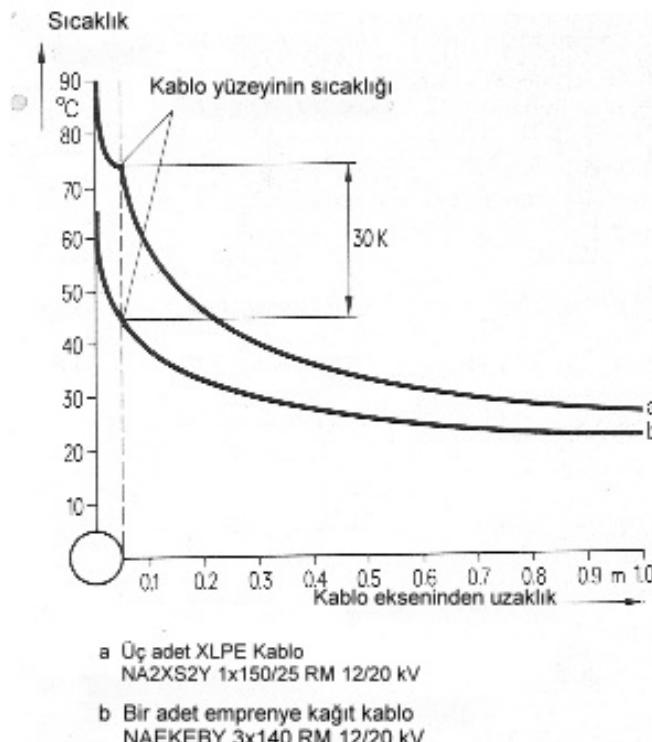
$$d_y = \frac{0,103 + 0,246 \sqrt{\mu}}{\sqrt{w} \left( \frac{\rho_E}{Km/W} \right)^{0,4}}.$$

Yük faktörü m	Kayıp faktörü $\mu$	d <sub>y</sub> Karakteristik çap mm		
		Sinüsoidal yük	Dikdörtgen lineer yük	Karşık yük
0,5	0,325	0,205	0,281	0,243
0,6	0,432	0,205	0,324	0,265
0,7	0,553	0,205	0,367	0,286
0,8	0,688	0,205	0,409	0,307
0,9	0,837	0,205	0,451	0,328

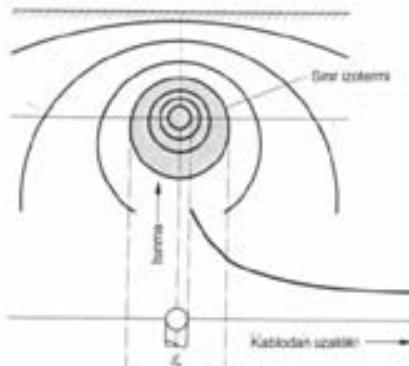
**Tablo 6.7:** Maksimum yüklenme ile günlük yük eğrileri ve toprak termal direnci 1,0 Km/W için kayıp faktörleri ve karakteristik çaplar.

Geometrik sabit ise  $k_y = \frac{2h}{d_y} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_y}\right)^2 - 1} \approx \frac{4h}{d_y} ..$

Toprağın kuruması ve  $d_x$  sınır izotermeleri şekilde görüleceği üzere azami müsaade edilen işletme sıcaklığıyla sınırlandırılmış belirli yükleri haiz farklı yapıda kabloların yüzlerinin farklı sıcaklıkta oldukları farz edilecektir.



**Şekil 6.13.** Farklı kablolar tarafından toprağın ısıtılması



**Şekil 6.14.** Toprağın kurumasından dolayı farklı termal özgül dirençlerde yerin ısınması.

$d_x$  : Kuru sahada sınır izotermi çapı

DIN VDE 0298 Bölüm 2 da verilen şarta dayanarak sıcaklık yükselmesinin sınırlandırılması  $\Delta \vartheta_x$  ;  $\Delta \vartheta_x = 15 + \frac{(1-m)100}{3}$

ve sonuçları

$\Delta \vartheta_x = 15$  K  $m=1.0$  da sürekli işletme için

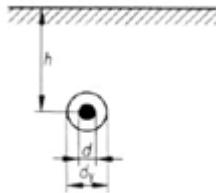
$\Delta \vartheta_x = 25$  K  $m=0.7$  de kullanılan yük işletmesi için

$\Delta \vartheta_x = 32$  K  $m=0.5$  de günlük yük eğrileri için

Sınır izotermal hatları içinde toprak-termal özgül direnci yaklaşık kuru kumtprak veya gömme malzemesi olarak kum kullanıldığında  $\rho_x = 2.5$  Km/W alınabilir. Sınır izotermi dışında ise

$\rho_E = 1.0$  Km/W yaklaşık tabii toprakta alınabilir.

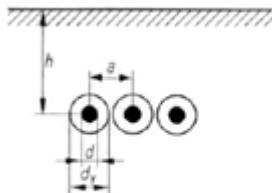
### 6.5.2.2. Fiktif toprak-termal dirençler $T'_x$ ; $T'_{xy}$



$$T'_{xy} = \frac{Q_t}{2\pi} [\ln k + (\mu-1) \ln k_y] \quad 59$$

$$T'_x = \frac{Q_t}{2\pi} \ln k \quad 60$$

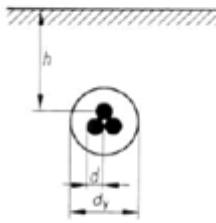
a) Çok damarlı kablo



$$T'_{xy} = \frac{Q_t}{2\pi} [\ln k + (\mu-1) \ln k_y + \mu 2 \ln k_0] \quad 61$$

$$T'_x = \frac{Q_t}{2\pi} (\ln k + 2 \ln k_0) \quad 62$$

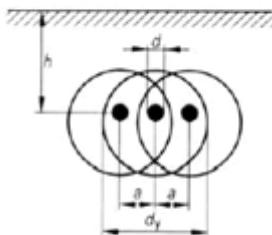
b) Yan tara 1-damarlı kablo  $d_y \leq 2a$



$$T'_{xy} = \frac{Q_t}{2\pi} [\ln k + 3(\mu-1) \ln k_y + 2 \ln k_0] \quad 63$$

$$T'_x = \frac{Q_t}{2\pi} (\ln k + 2 \ln k_0) \quad 64$$

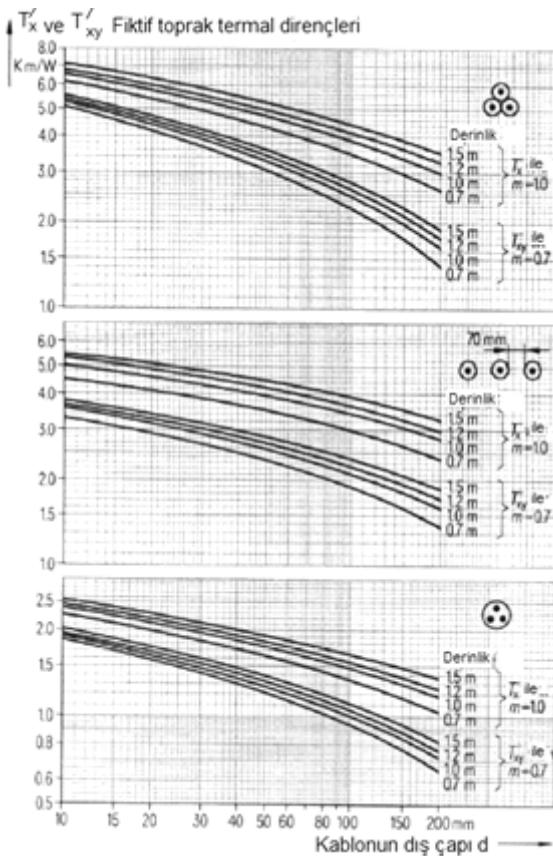
c) Demetlenmiş 1-damarlı kablo



d) Yan yana 1-damarlı kablode  $d_y \geq 2a$

**Şekil .6.15.** Fiktif toprak-termal dirençlerinin  $m < 1.0$  günlük yük çevriminde ve toprağın kurumasında hesaplanmasında kullanılan formüller

$k$  ve  $k_a$  Şekil 6.11 den ve  $k_y$  yukarıda verilen eşitlik den bulunur.



**Şekil 6.16:**  $m=1,0$  da ve  $m=0,7$  de d relatif dış çap , h serilme derinliği

$\rho_X = 2,5 \text{Km/W}$  ve  $\rho_E = 1,0 \text{Km/W}$  özgül toprak termal direğinde  $T'_X$  ve  $T'_{XY}$  fiktif toprak –termal dirençleri

## Yük kapasitesi

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E - P_d'(T_{Kd}' + T_x') + [(\rho_x / \rho_E) - 1]\Delta\vartheta_x]}{nR_{wr}'(T_{Ki}' + T_{xy}'')}}$$

Yük faktörü : yük faktörü eğrilerinden

Kayıp faktörü  $\mu$  eşitlik 52'den

Karakteristik çap dy eşitlik 54'den

Termal-özgül direnç için  $\rho_E = 1$  Km/W

$$\vartheta_0 = \vartheta_{Lr} - P_i' T_{Ki}' P_i' T_{Kd}'$$

$$\vartheta_x = \vartheta_E + \Delta\vartheta_x \quad (67)$$

### Örnek:

Tek damarlı NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 kV farklı işletme şartlarında toprak içine tesis edilmiş

$m=0.7$  ve  $w=1$

$$\mu = 0.3m + 0.7m^2 = 0.3 \times 0.7 + 0.7 \times 0.7^2 = 0.553 \quad (68)$$

$$d_y = \frac{0.103 + 0.246\sqrt{\mu}}{\sqrt{w}(\rho_E)^{0.4}} = \frac{0.103 + 0.246\sqrt{0.553}}{\sqrt{1}(1.0)^{0.4}} = 78.42 \text{ Km/W}$$

$$k = \frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 - 1} = \frac{2 \times 0.7}{35.7 \times 10^{-3}} + \sqrt{\left(\frac{2 \times 0.7}{35.7 \times 10^{-3}}\right)^2 - 1} = 78.42 \text{ Km/W}$$

$$k_y = \frac{2h}{d_y} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_y}\right)^2 - 1} = \frac{2 \times 0.7}{0.286} + \sqrt{\left(\frac{2 \times 0.7}{0.286}\right)^2 - 1} = 9.69 \text{ Km/W}$$

$$k_a \approx \frac{2h}{d} = \frac{2 \times 0.7}{35.7 \times 10^{-3}} = 39.23 \text{ Km/W}$$

$$T_{xy}' = \frac{\rho_x}{2\pi} [\ln k + 3(\mu - 1) \ln k_y + 2 \ln k_a] = \frac{2.5}{2\pi} [\ln 78.42 + 3(0.553 - 1) \ln 9.69 + 2 \ln 39.23] = 3.445 \text{ Km/W}$$

$$T_x' = \frac{\rho_x}{2\pi} [\ln k + 2 \ln k_a] = \frac{2.5}{2\pi} [\ln 78.42 + 2 \ln 39.23] = 3.445 \text{ Km/W}$$

$$\Delta\vartheta_x = 15 + \frac{(1-m)100}{3} = 15 + \frac{(1-0.7)100}{3} = 25K$$

Hesaplar özel işletme şartları için yapılıyorsa

$$P_d' = 0, T_K' = 0.469 \text{ Km/W}, R_{wr} = 0.269 \Omega/\text{km}$$

$$I_r = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E + [(\rho_x / \rho_E) - 1] \Delta \vartheta_x}{n R_{wr}' (T_{ki}' + T_{ki})}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + [(2.5/1.0) - 1]}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.469 + 3.445)}} = 320 \text{ A}$$

$$\vartheta_0 = \vartheta_{Lr} - P_i' T_{ki}' = \vartheta_{Lr} - n \cdot I_r^2 \cdot R_{wr}' \cdot T_{ki}' = 90 - 1 \times 320^2 \times 269 \times 10^{-3} \times 0.469 = 77.1^0 \text{ C}$$

$$P_d' , P_d' = n \cdot \omega \cdot C_b' \cdot \left( \frac{U}{\sqrt{3}} \right) \cdot \tan \delta \quad \text{ve} \quad P_i' = n \cdot I^2 \cdot R_{wr}' \text{ eşitliklerinden}$$

hesaplanır.

$$\vartheta_x = \vartheta_E + \Delta \vartheta_x = 20 + 25 = 45^0 \text{ C}$$

Kabul edilen  $\vartheta_0 > \vartheta_x$  değerinin gerçekleştiği görüldü.

$m=1$  de demetlenmiş tesis  $\mu = 1$  ve  $T_{xy}' = T_x'$

$$\Delta \vartheta_x = 15 + \frac{(1-1) \cdot 100}{3} = 15 \cdot K$$

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E + \left[ \left( \frac{\rho_x}{\rho_E} \right) - 1 \right] \Delta \vartheta_x}{n \cdot R_{wr}' \cdot (T_{ki}' + T_x')}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + \left[ \left( \frac{2.5}{1} \right) - 1 \right] 15}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.469 + 4.656)}} = 259 \text{ A}$$

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \frac{259}{320} = 0,81$$

Yan yana toprak içinde tesis edilme

Bu durumda her bir termal direnç Şekil 6.11, 6.15 deki ifadeler ve Şekil 6.16 daki eğriler kullanarak elde edilir.

$$T_x' = 3.794 \text{ Km/W}$$

Buna göre  $T_{xy}' = 2.583 \text{ Km/W}$  bulunur.

$$T_{ki}' = 0.448 \text{ Km/W}$$

$$R'_{wr} = 0.285 \text{ ohm/km}$$

$$I_r = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E + [(\rho_x / \rho_E) - 1] \Delta \vartheta_x}{n R'_{wr} (T'_{kl} + T'_{Ki})}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + [(2.5/1.0) - 1] 25}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.448 + 2.583)}} = 363 \text{ A}$$

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E + \left[ \left( \rho_x / \rho_E \right) - 1 \right] \Delta \vartheta_x}{n R'_{wr} (T'_{Ki} + T'_{x})}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + \left[ \left( 2.5 / 1 \right) - 1 \right] 25}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.448 + 3.749)}} = 277 \text{ A}$$

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \frac{277}{353} = 0,79$$

$m=0.7$  durumunda

$$\vartheta_0 = 90 - 1 \times 353^2 \times 0.285 \times 10^{-3} \times 0.448 = 74.1^\circ C$$

$$\vartheta_x = 20 + 15 = 35^\circ C$$

$m=1$  için ve demetlenmiş tesiste kuru alanın  $h_x$  serilme derinliği ve  $d_x$  çapının hesabı

$d_x > d_y$  farz edilerek

$$h_0 = \sqrt{h^2 - r^2} = \sqrt{0.7^2 - (35.7 \times 10^{-3} / 2)^2} \approx 0.7 \text{ m}$$

$$k_x = \exp \left[ \frac{2\pi \Delta \vartheta_x}{3\rho_E \mu P'_i} \right] = \exp \left[ \frac{2\pi \cdot 15}{3 \times 1 \times 1.0259^2 \times 0.269 \times 10^{-3}} \right] = 5.70$$

$$d_x = 4h_0 \frac{k_x}{k_x - 1} = 4 \times 0.7 \frac{5.70}{5.70^2 - 1} = 0.51 \text{ m}$$

$$h_x = h_0 \frac{k_x + 1}{k_x^2 - 1} = 0.7 \frac{5.70^2 + 1}{5.70^2 - 1} = 0.74 \text{ m}$$

$$d_y = 0.286 \text{ m} \dots \dots d_x > d_y$$

### Kuru alanın çapı

Öncelikle yük kapasitesinin bilinmesiyle bulunabilir. Hesaplamalar için gerekli geometrik faktör Şekil 6.1' de verilen ifadeler yardımıyla bulunabilir

$d_x > d_y$		$d_x < d_y$	
$k_x = \exp \left[ \frac{2\pi \Delta \vartheta_x}{\varrho_E (\mu P_i + P_d)} \right]$		$k_x = \exp \left[ \left( \frac{2\pi \Delta \vartheta_x}{\varrho_E} + (1-\mu) P_i^* \ln k_y \right) / (P_i^* + P_d^*) \right]$	
$d_x > d_y$		$d_x < d_y$	
$k_x = \exp \left[ \frac{2\pi \Delta \vartheta_x}{3\varrho_E (\mu P_i^* + P_d^*)} \right]$		$k_x = \exp \left[ \left( \frac{2\pi \Delta \vartheta_x}{3\varrho_E} + (1-\mu) P_i^* \ln k_y \right) / (P_i^* + P_d^*) \right]$	
$d_x > d_y > 2a$		$d_x > 2a > d_y$	
$k_x = \exp \left[ 2\pi \Delta \vartheta_x / 3\varrho_E (\mu P_i^* + P_d^*) \right]$			
$d_y = d_x = 2a$		$2a < d_y < d_x$	
$k_x = \exp \left[ \left( \frac{2\pi \Delta \vartheta_x}{3\varrho_E} + (1-\mu) \ln k_y \right) / (P_i^* + P_d^*) \right]$		$k_x = \exp \left[ \left( \frac{2\pi \Delta \vartheta_x}{\varrho_E} - (\mu P_i^* + P_d^*) 2 \ln k_x \right) / (\mu P_i^* + P_d^*) \right]$	
$d_y > 2a > d_{x1}$		$2a > d_y > d_{x1}$	
$k_x = \exp \left[ \frac{2\pi \Delta \vartheta_x / \varrho_E + 3(1-\mu) P_i^* \ln k_y - (P_i^* + P_d^*) 2 \ln k_{x1}}{P_i^* + P_d^*} \right]$		$k_x = \exp \left[ \frac{2\pi \Delta \vartheta_x / \varrho_E + (1-\mu) P_i^* \ln k_y - (\mu P_i^* + P_d^*) 2 \ln k_{x1}}{P_i^* + P_d^*} \right]$	

**Şekil 6.17.** Bir adet 3-damarlı kablo ve üç adet 1- damarlı kablo için kuru alanın geometrik sabitleri.

### Kuru alanın çapı

İsoterm derinliği 
$$h_x = h_0 \frac{k_x^2 + 1}{k_x^2 - 1}$$

Kaynak derinliği 
$$h_0 = \sqrt{h^2 - r^2} \dots (42)$$

### 6.5.3. *Toprakta gruplandırma*

Gruplandırma nedeniyle  $\Delta T'_x$  ve  $\Delta T'_{xy}$  ilave fiktif termal dirençler kabloların ortak bir kablo kanalı içerisinde grup olarak tesisi veya yetersiz açıklıkta diğer bir kabloların tesisi ile karşılıklı ısınma tesiri oluşur. Bundan dolayı kabloların yüklenme kapasitesi daha da azalır.

Çok damarlı kablolar için  $\Delta T'_x$  ve  $\Delta T'_{xy}$  ilave termal dirençler

$$\Delta T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi} \left[ \sum_{i=2}^{N_y} \delta_i + \mu \sum_{N_y+1}^N \delta_i + (N_y - 1)(\mu - 1) L n k_y \right]$$

$m=1$  de sürekli işletme ve dielektrik kayıpları göz önüne alınarak  $\Delta T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi} \cdot \sum_2^N \delta_i$

Benzer şekilde 3-fazlı sistemde üç adet 1-damarlı kablo için ifadeler benzer işlemlerle

$$\Delta T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi} \left[ \sum_{i=4}^{N_y} \delta_i + \mu \sum_{N_y+1}^N \delta_i + (N_y - 3)(\mu - 1) L n k_y \right]$$

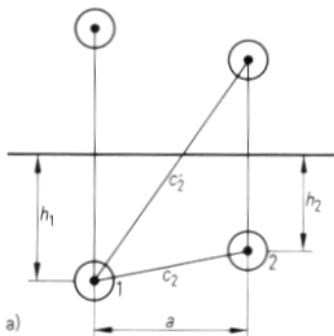
$\Delta T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi} \cdot \sum_4^N \delta_i$  olarak bulunur.

$N_y$ ,  $d_y$  karakteristik çaplı daire içindeki kablo sayısı

$\Sigma \delta_i$  1, 2, 3,.....i, .....N kablo sayısı için gruplandırma faktörü toprakta tesis edilen kablolarla, ortadaki kablo en fazla ısnan kablo olup hesapta göz önüne alınacak kablodur.

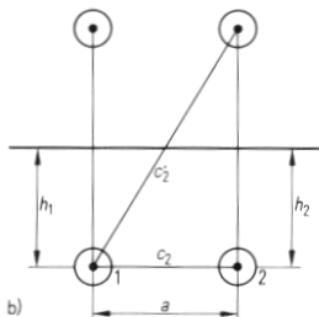
Farklı derinlikte tesis edilen İki kablo için şekil 6.18 a ve 6.18b de gruplandırma faktörleri verilmiştir.

$$\Sigma \delta = Ln \frac{\sqrt{(h_2 + h_2) + a^2}}{(h_2 - h_1) + a^2}$$

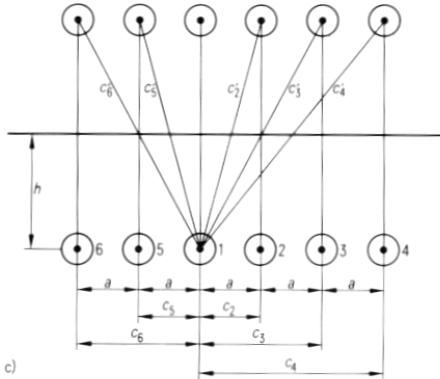


**Şekil 6.18a:** Farklı derinlikte tesis edilen iki kablo

$$\Sigma \delta = \sqrt{\left(\frac{2h}{a}\right)^2 + 1} \approx Lnk_a$$



**Şekil 6.18 b:** Aynı derinlikte tesis edilen İki kablo için gruplandırma faktörü



**Şekil 6.18c:** Aynı derinlikte 2 den fazla sayıda tesis edilen kablo

Aynı derinlikte tesis edilen 6 kablo için gruplandırma faktörü

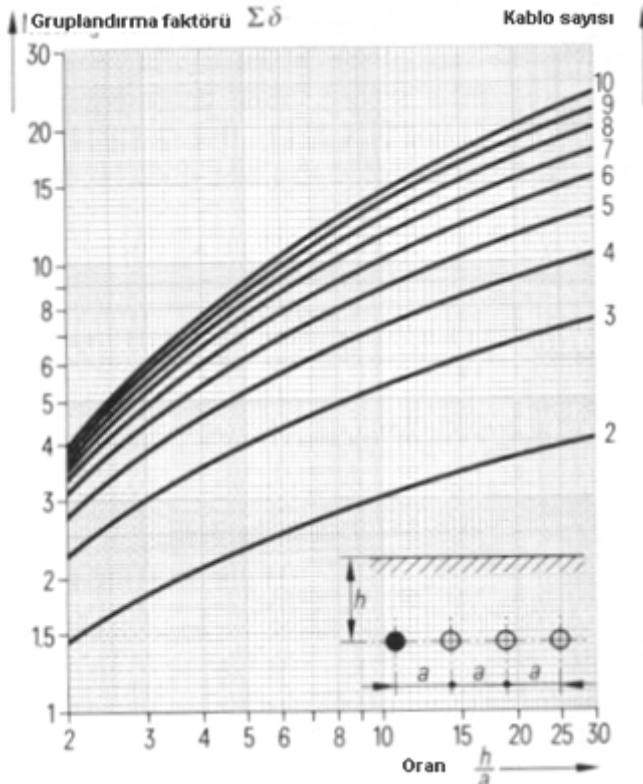
$$\sum_2^6 \delta_i = 2 \cdot \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{a}\right)^2 + 1} + 2 \cdot \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{2a}\right)^2 + 1} + \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{3a}\right)^2 + 1}$$

Demetlenmiş ve demetler arasındaki uzaklık demetin merkezinden merkezine b olan 1-damarlı kabloların gruplandırılmasında basitleştirilmiş hesap kullanılabilir.

Üç adet demetlenmiş kablo için 8 adet 3-fazlı sistem gibi düşünerek

$$\sum_4^{18} \delta_i = 3 \cdot [ 2 \cdot \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{b}\right)^2 + 1} + 2 \cdot \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{2b}\right)^2 + 1} + \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{3b}\right)^2 + 1} ]$$

Gruplandırma faktörü için değerler Şekil 6.19 dan elde edilebilir.



**Şekil 6.19:** *h serilme derinliğinde kablolar arası uzaklık a olan Sistemde  $\Sigma\delta$  gruplandırma faktörü*

Yükleneme kapasitesi

Aynı yüze haiz ve aynı tipte N adet kabloların yükleneme kapasitesi

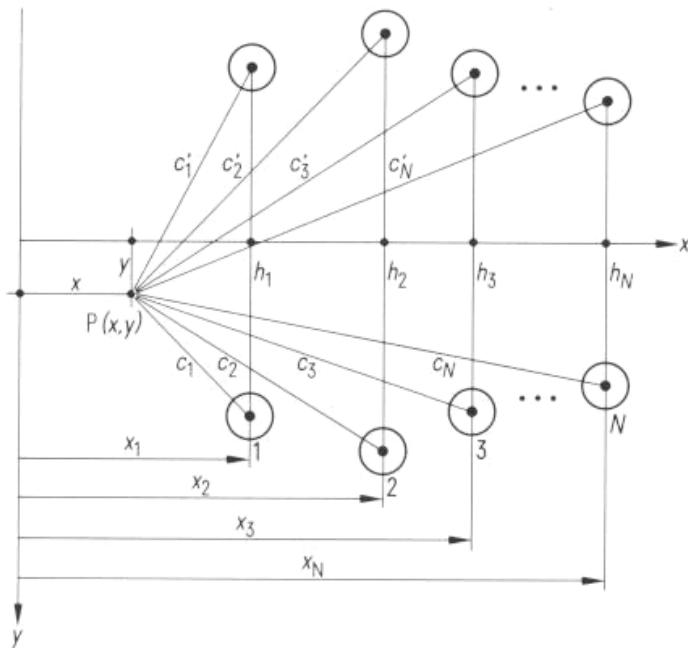
Kuru alanın genişlemesi

$$I_x = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E - P'_d(T'_{Kd} + T'_x + \Delta T'_x) + [(\varrho_x/\varrho_E) - 1] \Delta \vartheta_x}{n R'_{wr}(T'_{Ki} + T'_{xy} + \Delta T'_{xy})}}$$

Kuru alan özel durumda  $d_x$  çapına eşdeğer çaplı daire veya buna yakın şekilde gösterilmesi mümkündür.

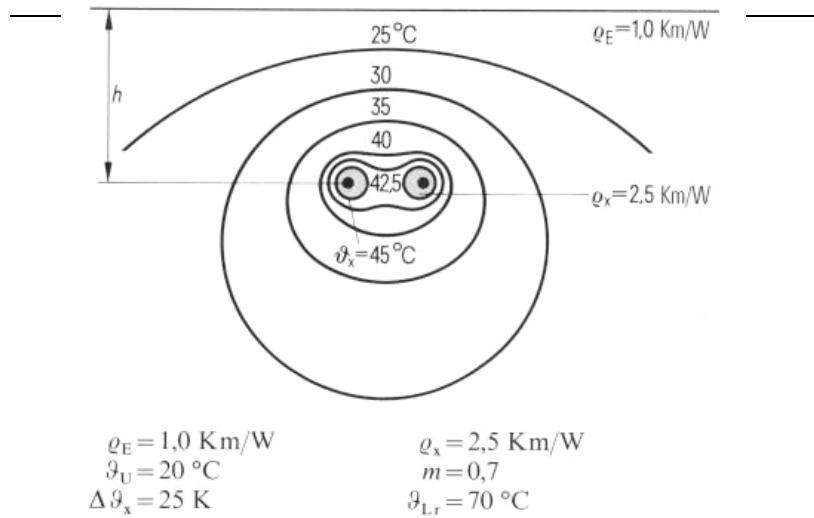
Sınır izotermi

$$\Delta \mathcal{G}_x = \sum_{i=1}^N (\mu_i P_{ii} + P_{di}) x \frac{\rho_E}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{(y + h_i - e_i)^2 + (x_i - x)^2}{(y - h_i + e_i)^2 + (x_i - x)^2}}$$



Şekil 6.20:  $P(x,y)$  noktasının ısıtilması 1..2..3..N adet kablo vasıtayıyla

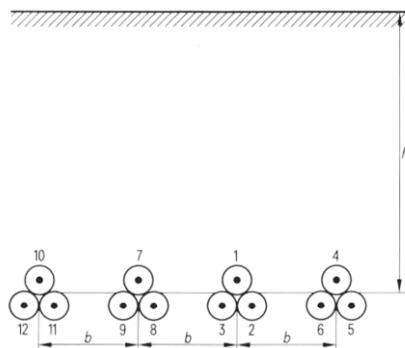
Yukarıdaki ifade yardımıyla nemli alanlardaki izotermlerde tesbit edilir.



**Şekil 6.21:** NYY 3x150 iki adet kabloların sıcaklık sahaları

### Örnek:

Dört devre demetlenmiş 1-damarlı NA2XS2Y 1x50RM/25 kablolar aynı kablo kanalında aralarındaki açıklık 7 cm olacak şekilde tesis edilmiştir. İki demet arasındaki açıklık demet merkezlerinden itibaren d kablo çapı olmak üzere  $b=2d+70 \text{ mm}=2x35,7+70=141,4 \text{ mm}$  dir.



**Şekil 6.22:** Örnek ile ilgili şekil

$$\begin{aligned}
 \Delta T'_{xy} &= \frac{\rho_x}{2\pi} \left[ \sum_4^9 \delta_i + \mu \sum_{9+1}^{12} \delta_i + (9-3)(\mu-1) \ln k_y \right] = \\
 &= \frac{2,5}{2\pi} \left[ 3x2 \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{b}\right)^2 + 1} + \mu \cdot 3x1 \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{2b}\right)^2 + 1} + (9-3)(\mu-1) \ln \frac{4h}{d_y} \right] = \\
 &= \frac{2,5}{2\pi} \left[ 6 \ln \sqrt{\left(\frac{2,0,7}{0,14}\right)^2 + 1} + 0,553x3 \ln \sqrt{\left(\frac{0,7}{0,14}\right)^2 + 1} + 6(0,553-1) \ln \frac{4,0,7}{0,286} \right] = \\
 &= \frac{2,5}{2\pi} [13,85 + 0,553x4,89 - 6,12] = 4,15 \text{ Km} / \text{W}
 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{0,7m}{0,14m} = 5 \text{ için}$$

$$\sum_4^9 \delta_i \approx 3x2x23 = 13,8$$

$$\sum_{10}^{12} \delta_i = \sum_4^{12} \delta_i - \sum_4^9 \delta_i \approx 3.(3,95 - 2,3) = 4,95$$

$$I_Z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E + \left[ \left( \frac{\rho_x}{\rho_E} \right) - 1 \right] \Delta \vartheta_x}{n \cdot R'_{wr} \cdot (T'_{Kl} + T'_{xy} + \Delta T'_{xy})}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + \left[ \left( \frac{2,5}{1,0} \right) - 1 \right] 25}{1x0,269x10^{-3} \cdot (0,469 + 3,445 + 4,15)}} = 223A$$

## Örnek

NYSEY 3x185RM/25 6/10 kV iki adet 3-fazlı kablo aralarında 7 cm mesafe olmak kaydıyla, aynı kablo kanalı içerisinde tesisi edilmişlerdir. Diğer kabloların yerleşimi Şekil 6.23 de görülmektedir. Şekilde görülen diğer kablo yüklü değildir.

Aşağıda verilen elektrik ve termal değerler geçerlidir.

$$R'_{wr} = 0,121 \text{ ohm/km}$$

$$I_r = 394 \text{ A}$$

$$P'_d = 3,7 \text{ W/m}$$

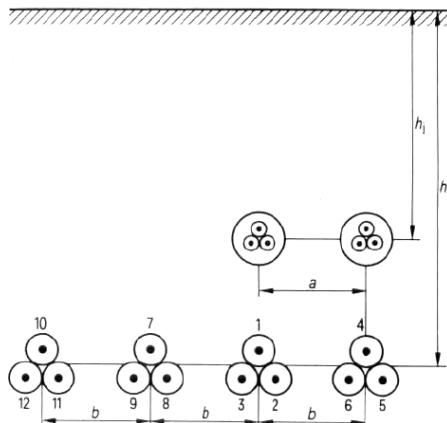
$$d = 68,8 \text{ mm..referans.çap}$$

$$T'_{Kl} = 0,364 \text{ Km/W}$$

$$T'_{Kd} = 0,253 \text{ Km}$$

$$T'_{xy} = 1,071 \text{ Km/W}$$

$$T'_X = 1,474 \text{ Km/W}$$



Şekil 6.23. Yukardaki örnek ile ilgili düzenlemeye şekli

Bir kablonun yüklenebilme kapasitesi

$$I_r = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_E - P'_d(T'_{kd} + T'_{xy}) + \left[ \left( \frac{\rho_X}{\rho_E} \right) - 1 \right] \Delta \mathcal{G}_X}{n \cdot R'_{wr} (T'_{Kl} + T'_{xy})}} = \sqrt{\frac{70 - 20 - 3,7(0,253 + 1,474) + \left[ \left( \frac{2,5}{1,0} \right) - 1 \right] \cdot 25}{3 \cdot 0,121 \cdot 10^{-3} (0,364 + 1,071)}} =$$

$$= 394 \text{ A}$$

$$a = 70 \text{ mm} + d \approx 70 \text{ mm} + 69 \text{ mm} = 139 \text{ mm}$$

$$\frac{h_j}{a} = \frac{0,7 \text{ m}}{0,139 \text{ m}} = 5,04$$

Şekil 6.19 dan  $\sum_1^2 \delta_i = 2,31$

$m=0,7$  yükleme faktörü için Tablo 8.31 den  $\mu = 0,553$  ve  $d_y = 0,286$ . Yukarıdaki örneklerde  $k_y = 9,69$  bulunmuştur

Böylece

$$\Delta T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi} \left[ \sum_2^{N_y} \delta_i + \mu \sum_{N_y+1}^N \delta_i + (N_y - 1)(\mu - 1) \ln k_y \right] = \frac{2,5}{2\pi} [2,31 + 0 + (2-1)(0,553-1) \ln 9,69] = 0,515 Km/W$$

$$N_y = 2 \text{ ve } \sum_2^{N_y} \delta_i = \sum_2^2 \delta_i = 2,31$$

$$\Delta T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi} \cdot \sum_2^N \delta_i = \frac{2,5}{2\pi} x 2,31 = 0,919$$

$$I_z = \sqrt{\frac{70 - 20 - 3,7(0,253 + 1,474 + 0,919) + \left[ \left( \frac{2,5}{1,0} \right) - 1 \right] \cdot 25}{3 \times 0,121 \times 10^{-3} \cdot (0,364 + 1,071 + 0,515)}} = 331A$$

Genellikle kablonun ısınma şartları göz önüne alınarak iletken kesitinin belirlenmesinde, gerek zaman kazanmak gerekse hesapları basitleştirmek amacıyla imalatçı kataloglarından alınan değerlerden hareket edilir. Kablo imalatçı kataloglarında açıkta tesis edilen kablolar için  $30^0C$  hava sıcaklığında 3-damarlı tek kablo veya 3 devreli tek damarlı kablolar için ve toprak altında tesis edilen kablolar için  $20^0C$  toprak sıcaklığında ve 3-damarlı tek kablo veya 3 devreli tek kablo için verilir. Gerçekte bu şartlar uygulamalarda gerçekleştirilemez. Bu nedenle söz konusu sapma şartlarını karakterize eden katsayılarla göre kablo katalogundaki değerler esas alınarak kablonun tesis, ortam

şartlarına göre alabileceği değer hesaplanır. Yukarıdaki hesaplar, tablolarda verilen sapma şartlarından farklı durumları karakterize eden özel hallerde kullanılır.

Söz konusu sapma şartlarında kablonun akım taşıma kapasitesini hesaplamak için hesapları kolaylaştırmak için sonraki bölümde açıklanacak olan belirli sapma şartları göre hazırlanan azaltma veya düzeltme faktörleri gerçek tesis şartlarına göre seçillerek ve dizayn şartlarına göre belirlenen akım taşıma kapasiteleri ile çarpılarak belirlenir.

Bu sapma şartları

1. Değişik tesis metodları
2. Değişik ortam sıcaklığı
3. Değişik kablo tertiplenmesi
4. Değişik toprak termal özgül direnç değerleridir.

Gerçekte imalatçılar tarafından verilen kablo akım taşıma çizelgeleri yukarıda açıklanan işlemler sonucu belirlenir.

İleriki bölümlerde açıklanan sapma şartlarına göre hazırlanan düzeltme veya azaltma faktörleri de yukarıda açıklanan metodlarla belirlenir. Söz konusu sapma şartlarından farklı durumlar ortaya (farklı toprak termal özgül direnci, olagan dışı ortam sıcaklığı veya özel kablo imalatı gibi) yukarıda açıklanan işlemlere başvurulur.

## **6.6. Sapma şartları**

### **6.6.1. Tesis metodları**

Yukarda açıklanan hesaplara kablo kesitinin ısınmaya göre hesabını kolaylaştırmak için belirlenen tesis şartları ve şekilleri esas alınarak belirlenen düzeltme faktörleri

kullanılmak suretiyle büyük yaklaşıklıklarla hesaplar yapılmaktadır.

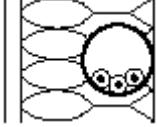
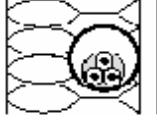
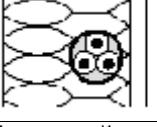
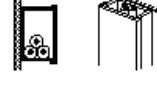
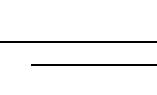
Eğer aşağıda verilen şartların ve şekillerin dışında bir tesis şekli mevcutsa bu durumda yukarıda açıklanan metodlar kullanılarak kabloların ısnınmaya göre hesapları yapılacaktır.

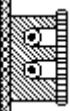
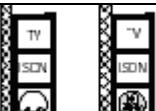
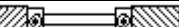
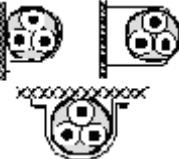
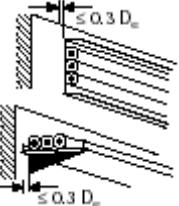
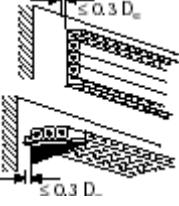
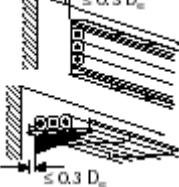
İletkenlerin akım taşıma kapasitelerini belirlemek ve dolayısıyla taşıyabileceği azami yük akımına göre kablo kesitini hesaplamak için kablo tesis metodlarını göz önüne alarak gerçek şartlara göre aşağıda açıklanacak metodlar uygulanarak kabloların azami akım taşıma kapasitesi belirlenecektir.

Tesis Metodu									
Tesis yeri	Kroşesiz	Kroşeli	Boru içinde	Yükseltilmiş taban	Kablo dakları	Kablo merdiveni Kablo tavası Kablo dirsekleri	İzolatör üzerine	Mesnet üzerine	
Bina boşluğu	40,46 15,16	0	15,16	-	0	30,31,32 33,34	-	-	
Kablo kanalı	56	56	54,55	0	44	30,31,32 33,34	-	-	
Toprağa gömülü	72,73	0	70,71	-	70,71	0	-	-	
Yapının içine gömülü	57,58	3	1,2 , 59, 60	50, 51, 52 , 53	44, 45	0	-	-	
Yüzeye monteli	-	21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14	6,7,8,9	30, 31, 32, 33,34	36	-	
Asılı	-	-	0	10, 11	10,11	30, 31, 32, 33,34	36	35	

**Tablo 6.9.** *Tesis metotları*

- Izin verilmez  
0 Pratikte kullanılmaz

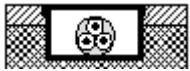
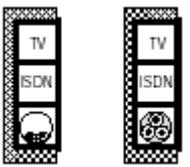
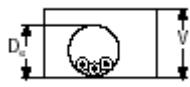
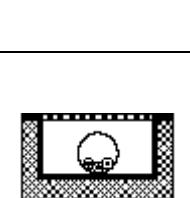
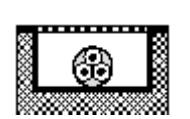
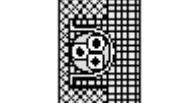
Tesis Metodu	Tesis şekli Sıra no	Açıklama	Kablo akım kapasitesini sağlamak için kullanılacak referans metot
	1	Termal olarak izole edilmiş duvar içine yerleştirilmiş boru içinde tek damarlı kablolar ve hatlar	A1
	2	Termal olarak izole edilmiş duvar içine yerleştirilmiş boru içinde çok damarlı kablolar	A2
	3	Termal olarak izole edilmiş duvar içine doğrudan yerleştirilmiş çok damarlı kablo.	A3
	4	Duvar üzerine veya boru çapının 0,3 katından az mesafede yerleştirilmiş boru içine tesis edilen izole hatlar ve tek damarlı kablo	B1
	5	Duvar üzerine veya boru çapının 0,3 katından az mesafede yerleştirilmiş boru içine tesis edilen izole hatlar ve çok damarlı kablo	B2
	6	Tahta duvar üzerine yerleştirilmiş yatay (6) ve düşey (7) kablo taşıyıcıları içinde tesis edilmiş izole hatlar ve kablolar	B1
	7		
	8	Askılı kablo taşıyıcıları içine tesis edilmiş izole hatlar ve tek damarlı kablolar (8)	B1(8)
	9	Askılı kablo taşıyıcıları içine tesis edilmiş çok damarlı kablolar (9)	B2(9)

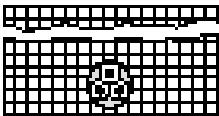
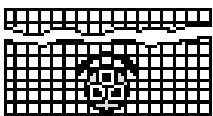
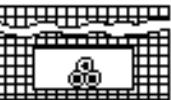
	12	Kapalı kalıplar içine tesis edilmiş izole hatlar ve tek damarlı kablolar	A1
	13 14	Duvara bağlı kapalı kablo taşıyıcıları içinde Tek damarlı(13), çok damarlı(14) kablolar	B1(13) B2(14)
	15	Boru içine tesis edilmiş iletken veya yapı içine yerleştirilmiş tek damarlı kablo	A1
	16	Boru içińr yarılaştırılmış izole iletkenler veya kapı çerçevesine yerleştirilen tek ve çok damarlı kablolar.	A1
	20 21	Tek ve çok damarlı kablolar - duvara sabitlenen veya kablo çapının 0,3 katından az bir uzaklıkta duvara sabitlenen(20) ve tavana sabitlenen(21)	C
	30	Deliksiz kablo taşıyıcıları üzerine	C
	31	Delikli kablo taşıyıcıları üzerine	E veya F
	32	Kablo merdivenleri üzerine	E veya F

**ILETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI -ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM NOTLARI**

(6)

	33	Duvardan kablo çapının 0,3 katından fazla uzaklıkta	E veya F veya G
	34	Kablo merdiveni	E veya F
	35	Askı teli üzerinde asılı tek ve çok damarlı kablo	E veya F
	36	İzolator üzerinde çekili bara veya izole iletken.	B1(8) B2(9)
	40	Bina boşluğuna tesis edilmiş tek ve çok damarlı kablolar	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	24	Bina boşluklarına yerleştirilmiş kablo dakları içine tesis edilmiş izole iletkenler	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	44	Termal direnci 2Km/W dan yüksek beton içindeki kablo dakları içine tesis edilmiş izole iletkenler	$1.5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
	46	Tek ve çok damarlı kablolar -Asma tavan - Yükseltilmiş taban	$1.5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
	50	Zemin içinde kapakları zeminle aynı yüzeyde kablo kanalı içine tesis edilmiş tek damarlı kablolar ve izole iletkenler	B1

	51	Zemin içinde kapakları zeminle aynı yüzeyde kablo kanalı içine tesis edilmiş çok damarlı kablolar	B2
	52 53	Gömülü kablo taşıyıcıları içine tesis edilmiş izole iletken ve tek damarlı kablolar(52) ve çok damarlı kablolar(53)	B1 (52) or B2 (53)
	54	Yatay veya düşey lıak giden havalandırmaz kablo kanalı içine yerleştiririlen boru içine tesis edilen izole hatlar ve tek damarlı kablolar.	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	55	Zemin içinde açık veya havalandırmalı kablo kanalı içindeki boru içine tesis edilen izole iletkenler.	B1
	56	Zemin içinde açık veya havalandırmalı kablo kanalı içindeki boru içine tesis edilen çok damarlı kablolar.	B1
	57	Herhangi bir mekanik koruma olmadan termal direnci $2\text{Km/W}$ dan fazla olan doğrudan tesis edilen tek ve çok damarlı kablo	C
	58	Mekanik korumalı termal direnci $2\text{Km/W}$ dan fazla olan doğrudan tesis edilen tek ve çok damarlı kablo	C
	59	Duvarındaki borulara tesis edilen izole iletkenler ve tek damarlı kablolar	B1
	60	Boru içine yarılaştırılmış izole iletkenler veya kapı çerçevesine yerleştirilen tek ve çok damarlı kablolar.	B2

	70	Toprak içinde kablo dakları veya boru içine tesis edilen çok damarlı kablolar	D
	72	Mekanik koruma olmadan toprak içine doğrudan tesis edilen ekranlı tek damarlı ve çok damarlı kablolar	D
	73	Mekanik korumalı toprak içine doğrudan tesis edilen ekranlı tek damarlı ve çok damarlı kablolar	D
	71	Toprak içinde kablo dakları veya boru içine tesis edilmiş tek damarlı kablolar	D

**Tablo 6.10. Tesis metotları**

### **6.6.2. Havada tesis edilen kablolar (havai hatlar)**

Kablo imalatçı kataloglarında havada tesis edilme şekline göre akım taşıma kapasiteleri kablo başına ve  $30^0\text{C}$  ortam sıcaklık şartları altında verilir. Gerçekte tesis edilme şartları ve tesisin çalışma ortam sıcaklıklarını bu değerlerden çok farklıdır. Kabloların akım taşıma kapasiteleri değişen ortam sıcaklıklarını ve tesis metotlarına göre farklı değerler aldığından kabloların akım taşıma kapasiteleri tesiste olusabilecek en yüksek ortam sıcaklıklarını ve tesis metotlarını göz önüne alınarak yaniden belirlenmelidir. Bu ise düzeltme faktörleri belirlenerek ve toplam düzeltme faktörleri imalatçı katalogunda verilen değerler ile çarpılarak sağlanır.

Havada tesis edilen kabloların akım taşıma kapasitesini elde etmek için aşağıda verilen ifade kullanılır.

$$I_Z = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \text{ (A)} \quad (4.13)$$

- $I_0$  Tek damarlı iletkenin  $30^{\circ}\text{C}$  referans sıcaklığında akım taşıma kapasitesidir.
- $f_1$   $30^{\circ}\text{C}$  den farklı sıcaklıklar için düzeltme faktörü
- $f_2$  Kablonunu demet veya yatay serilme ve tesis şecline göre düzeltme faktörü

### 6.6.2.1. $f_1$ Düzeltme faktörü

Bu sıcaklıktan değişik ortam sıcaklıklarında Tablo 6.11'de verilen değerlerle, bu akım taşıma kapasitesi değeri çarpılarak, ortam sıcaklığına göre akım taşıma kapasitesi bulunur. Düzeltme faktörü belirlenirken kabloların tesis edildiği ortamın ulaşabileceği en yüksek ortam sıcaklığı göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle dizayn işleminin başında meteorolojik veriler ve tesiste ortam sıcaklığını artıtabilecek ısı kaynaklarının varlığı ve sıcaklık derecesinin yükseltmeye olan etkilerinin incelenmesi ve ekonomik olma durumlarına bağlı olarak soğutmayı sağlamak üzere soğutma sistemleri ve hava akış sistemleri tesis edilmelidir.

$30^{\circ}\text{C}$  den farklı sıcaklıklar için düzeltme faktörü aşağıda verilen formüle göre belirlenir.

$$f_1 = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_0}{\theta_p - 30^{\circ}}}$$

$\theta_p$  Kararlı hal çalışması için izin verilen en yüksek sıcaklık  $^{\circ}\text{C}$

$\theta_0$  Ortam sıcaklığı  ${}^0\text{C}$

Ortam sıcaklığı ${}^0\text{C}$	Kablo İzolasyon Tipi			Mineral (*)
	PVC	XLPE ve EPR	PVC kaplı veya çiplak bara $70{}^0\text{C}$	
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1	1	1	1
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,87	0,92
45	0,79	0,87	0,75	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65		0,65		0,70
70		0,58		0,65
75		0,50		0,60
80		0,41		0,54
85				0,47
90				0,40
95				0,32

(\*) Daha yüksek sıcaklıklar için imalatçıya danışılmalı

**Tablo 6.11.**  $30{}^0\text{C}$  farklı ortam sıcaklıklarında  $f_1$  düzeltme faktörü

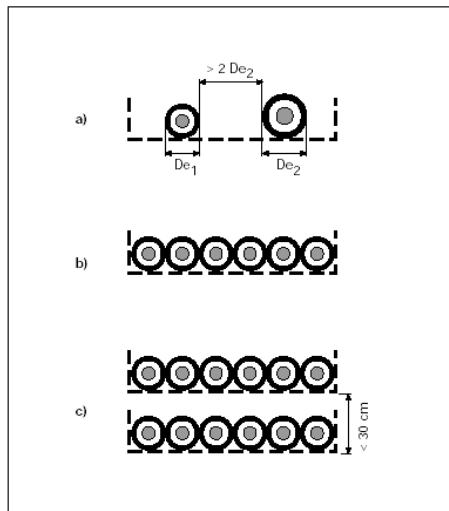
### 6.6.2.2. $f_2$ Düzeltme faktörü

Kabloların akım taşıma kapasiteleri yakınlarına serilen diğer kablolarla  $I^2R$  bakır kayıpları nedeniyle ortaya çıkan ısı yayılımından etkilenir. Tek kablonun ısı yayılımı yanına başka kablo serili aynı kablonun ısı yayılımından farklıdır.

İsı yayılımından etkilenme kablonun yatay olarak ve demetleme şeklinde tesis edilme tarzına göre farklı olacaktır.

Yatay olarak kablo tesisi: Birden fazla kablonun birbirleriyle temas ederek veya aralarında açıklık bulunarak yanyana tesis edilme şeklidir.

Kablolar yanyana, yatay şekilde tavana, duvara sabitlendiği gibi aynı şekilde delikli veya deliksiz kablo tavaları ve kablo merdivenleri üzerine tesis edilirler



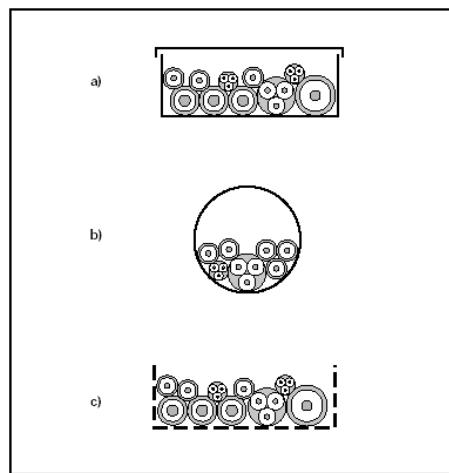
Kabloların serilmesi a) aralarında açıklıklı,  
b)Birleşik , c)Çift katlı serme

Şekil 6.24. Kabloların yatay şekilde havada tesis edilmesi

Demetleme şeklinde kabloların tesis edilmesi: Birden fazla kabloların aralarında açıklık olmadan katmanlar halinde bir arada tesis edilmeleridir.

$f_2$  düzeltme faktörü aşağıdaki şartlar gerçekleştiğinde 1'e eşittir.

- Farklı devrelere ait tek damarlı kablolar arasındaki açıklık, en büyük kesite sahip kabloların dış çapının iki katı değerinde olması halinde
- İki çok damarlı kablo arasındaki açıklık, en büyük kesitli kabloların dış çapının iki katı olması halinde
- Komşu kabloların nominal akım taşıma kapasitesinin %30 değeri ile yüklenmesi halinde.



Demetlenmiş kablolar a) Kablo taşıyıcıları ile  
b) Boru içinde c) Delikli kablo tanvısı ile

Şekil 6.25. Kabloların demetleme şeklinde tesisi

Demetlenmiş veya yatay tesis edilmiş kablolar için azaltma faktörü demetlerin aynı kablolardan ve eşit olarak yükleniği varsayılarak hesap edilir. Akım taşıma kapasitesi hesabı yapılırken aynı tip kabloları ihtiva eden kablo grubunun aynı izin verilen maksimum sıcaklığı esas alınarak ve komşu üç kabloların aynı kesit aralığı (örneğin  $10 \text{ mm}^2$  den  $25 \text{ mm}^2$  ye kadar) olduğu göz önüne alınır. Farklı kesitlerdeki demetlenmiş kablolar için azaltma faktörü hesabı kabloların kesitlerine ve kabloların sayısına bağlıdır.

Boru içindeki farklı kesitlerdeki izole iletkenler ve kablolar için düzeltme faktörü, kablo taşıyıcıları ve kablo daklarında

$$f_2 = \frac{1}{\sqrt{n}} \text{ ifadesiyle bulunur.}$$

*n demetteki devre sayısı*

Bu ifade ile elde edilen düzeltme faktörü daha küçük kesitteki kabloların aşırı yüklenme tehlikesini azaltır fakat kapasitesine göre çok daha büyük kesitte kablo seçimine neden olur. Bu gibi kapasite altı kullanımından büyük ve küçük kablolar, aynı grup içerisinde demetlenmezse sakınılabilir. Aşağıda verilen tabloda azaltma faktörleri gösterilmektedir.

No	Kabloların tesis şekli	Yanyana dizilmiş veya demetlenmiş kablo sayısı										Akım taşıma kapasitesi hesabında kullanılacak referans tesis tipi	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	
1	Yüzey üzerinde, duvara gömülü veya kapalı ortamda demet şeklinde	1,0	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38
2	Duvar, döse-	1,0	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,72	0,71	0,70		

	me veya deliksiz kablo tavası üzerine tek kat yatay tesis		Dokuz devreden fazla veya çok damarlı kablolar için daha düşük değerde azaltma faktörü kullanılamaz.	C
3	Asma tavan altına doğrudan sabitlenmiş tek katlı serme	0,95 0,81 0,72 0,68 0,66 0,64 0,63 0,62 0,61		
4	Delikli kablo tavası üzerine düşey veya yatay tek kat serme	1,0 0,88 0,82 0,77 0,75 0,73 0,73 0,72 0,72		
5	Takozlu veya mesnetli kablo merdiveni üzerine tek katlı yatay serim	1,0 0,87 0,82 0,80 0,80 0,79 0,79 0,78 0,78		E, F

**Tablo 6.12.** Gruplandırılmış kablolar için  $f_2$  düzeltme faktörleri

**Not 1:** Bu faktörler eşit olarak yüklü kabloların aynı gruplarında kullanılırlar.

**Not 2:** Komşu kabloların arasındaki yatay açıklıkların uzunluğu kablo çapının iki katını aştığı yerlerde düzeltme faktörü kullanılmaz.

**Not 3:** Aynı azaltma faktörleri

- iki veya üç adet tek damarlı kablo gruplarında
- Çok damarlı kablolarada kullanılırlar

**Not 4:** Eğer sistem hem iki ve hemde üç damarlı kabloları ihtiva ediyorsa kabloların toplam sayısı devre sayısı olarak alınır

**Not 5:** Eğer grup  $n$  adet tek damarlı kablo ihtiva ederse ya iki iletkeni yüklenmiş  $n/2$  adet devre olarak veya üç iletkeni yüklenmiş  $n/3$  devre olarak göz önüne alınır.

Tablo1 deki tesis metodları		Tava sayısı	3-fazlı devre savısı (not4)			Çarpım değerleri						
			1	2	3							
Deliğli tavalar (not2)	31	Dokunma	1 2 3	0.98 0.96 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	Yatay düzenlemede Üç kablo					
	31	Dokunma	1 2	0.96 0.95	0.86 0.84	— —						
		Dokunma	1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86						
Kablo merdiveni (not2)	32	Dokunma	1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	Yatay düzenlemede Üç kablo					
	33	$\geq 2D_a$	1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86						
	34		1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86						
Deliğli tavalar (not2)	31	$\geq 2D_a$	1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86						
	31		1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86						
			1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90						
Düsey deliği tava (not3)	31	Spaced	$\geq 2D_a$	1 2	0.91 0.90	0.89 0.86	Üçlü düzenlemede Üç kablo					
		$\geq 2D_a$										
Kablo merdiveni (not3)	32	$\geq 2D_a$	$\geq 2D_a$	1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94						
	33			1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94						
	34			1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94						

Tablo 6.13. F tipi tesis metodunda tek damarlı kablolar için  $f_2$  düzeltme faktörü

**Not 1:** Düzeltme faktörleri tek yatay tesis için verilmiş olup(veya üçgen tertip) birbirine dokunan [:touched] birden fazla yatay tesis edilmiş kablolar için kullanılamazlar. Bu gibi tesisler için değerler önemde derecede düşük olabilir ve uygun bir metot vasıtasyyla belirlenmesi gereklidir.

**Not 2:** Değerler tavalar arası düşey açıklığının 300 mm olması hali için verilmiş olup daha az değerde açıklıklar [:spaces] için düzeltme faktörü değeri daha da azalır.

**Not 3:** Değerler arka arkaya olan tavalar arasındaki açıklığın 225 mm olması hali için verilmiş olup herhangi bir tava ile duvar arasındaki mesafe 20 mm olmalıdır.

**Not 4:** Her bir fazda birden fazla kabloya sahip devreler için Her üç faz için bir iletken göz önüne alınır.

Tesis Metodu	Tava Sayısı	Kablo sayısı							
		1	2	3	4	6	9		
Delikli tava (not2)	31	Touching	1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
			2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
			3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
	31	Spaced	1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	—
			2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	—
			3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	—
Dik delikli tavalar (not2)	31	Touching	1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	0.72
			2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	0.70
	31	Spaced	1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	—
			2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	—
Kablo merdivenleri (not2)	32	Temas	1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
			2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73
			3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70
	33 34	Açıklık	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—
			2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	—
			3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	—

**Tablo 6.14.** E tipi tesis metodunda çok damarlı kablolar için  $f_2$  düzeltme faktörü

**Not 1:** Faktörler yukarıdaki tabloda görüldüğü şekilde tek kat serimli Tesislerde uygulanır, birbirine temas eden bir kattan fazla serimlere uygulanmaz. Bu gibi tesisler için düzeltme

faktörlerinin değerleri önemli miktarda düşük olabilir ve bunların yaklaşık metotla tesbit edilmesi gereklidir.

**Not 2:** Düzeltme faktörlerinin değerleri tavalar arası düşey açıklığın 300 mm ve duvarla tava arasındaki açıklığın 20 mm olması hali için verilmiştir. Verilen açıklıklardan daha az açıklıklar için azaltma faktörlerinin değerleri daha da azalır.

**Not 3:** Düzeltme faktörlerinin değerleri arka arkaya monteli tavalar arası açıklığın 225 mm olması hali için verilmiş olup daha az açıklıklar için düzeltme faktörlerinin değerleri azalacaktır.

### **6.6.2.3 Kabloların kesitlerini belirlemek için aşağıda**

**verilen işlem sırası uygulanacaktır.**

1. Tablo 6.10'den tesis metodu belirlenecek.
2. Tablo 6.11'den izolasyon malzemesi ve ortam sıcaklığına göre  $f_1$  düzeltme faktörü belirlenecek.
3. Tablo 6.12, 6.13, 6.14'e göre kullanılan tesis metodu esas alınarak  $f_2$  düzeltme faktörü belirlenecek.
4.  $I_B$  yük akımını (veya koruma cihazının nominal akımını) elde edilen düzeltme faktörlerine bölerek  $I'_B$  akım değeri hesap edilecek

$$I'_B = \frac{I_B}{f_1 \cdot f_2} \text{ (A)}$$

5. Tablo 6.15 veya 6.16'dan tesis metoduna, iletkenin cinsi ve izolasyonuna ve enerjili iletken sayısına bağlı olarak  $I_0 \geq I_b$  akım taşıma kapasiteli kablo kesiti bulunur.
6. Kablonun gerçek akım taşıma kapasitesi  $I_Z = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2$  ifadesiyle bulunur.

Tesis metodu	A1			A2			B1			B2			C			
	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	
İletken	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	
İzolasyon	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC
yüklenen	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Şıvırı İletkenler	19	17	17,5	17,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
	2,5	2,6	2,3	2,0,5	1,8	2,0	1,9	1,7,5	1,4	2,4	2,1	2,5	2,0,5	1,6,5	2,2	1,9,5
	4	5,5	3,1	2,6	2,4	2,1	2,0	1,7,5	1,2	3,2	2,9	2,5	2,0,5	1,6,5	3,0	2,1,5
	6	4,5	4,0	3,4	3,1	3,5	3,2	3,2	2,6	4,2	3,0	3,2	2,8	2,8	5,1	4,4
	10	6,1	5,4	4,6	4,2	4,8	4,4	3,6	3,2	5,7	5,1	4,5	5,0	5,2	4,4	3,9
	16	8,1	7,3	6,1	5,6	6,4	5,0	4,0	4,3	7,6	6,0	5,7	6,0	5,9	7,1	6,6
	25	10,6	9,5	8,0	7,3	8,4	7,6	6,1	5,7	9,9	8,0	7,5	8,3	8,1	9,1	8,9
	35	13,1	11,7	9,9	8,0	10,3	9,4	7,7	7,0	12,1	10,9	9,2	9,6	9,7	10,6	10,1
	50	16,8	14,1	11,9	10,0	12,5	11,3	9,1	7,7	14,5	13,0	11,0	11,4	11,5	12,3	11,1
	70	20,0	17,9	15,1	13,6	15,0	14,2	11,8	10,1	18,3	16,4	13,9	14,5	14,6	17,9	16,6
	90	24,1	21,6	18,6	16,4	19,1	17,1	14,2	12,0	20,1	19,7	16,0	16,9	17,5	20,9	18,7
	120	23,8	24,9	21,0	18,9	22,0	19,7	16,4	14,9	23,3	21,2	18,1	16,1	20,5	23,0	21,1
	150	18,8	24,5	24,0	21,5	22,5	19,2	17,2	17,2	20,1	18,0	15,0	15,4	20,9	25,0	19,7
	170	13,7	16,2	14,1	10,9	15,0	12,0	10,9	10,9	19,6	17,7	15,5	17,2	17,5	23,5	21,1
	200	9,5	11,7	10,0	7,7	12,0	9,7	7,7	7,7	19,6	17,7	15,5	17,2	17,5	23,5	21,1
	250	4,6	4,6	3,7	3,0	4,0	3,0	2,5	2,5	19,6	17,7	15,5	17,2	17,5	23,5	21,1
	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tablo 6.15. PVC ve EPR/XLPE kabloların tesis metoduna göre akım taşıma kapasiteleri

Tesis Ekrani	Tesis metodu	C			E veya F			G		
		Metalik ekran sıcaklığı 70 C PVC kılıfı veya açıkta	Metalik ekran sıcaklığı 105 C Çıplak kablo değirmeni engelli	Metalik ekran sıcaklığı 70 C PVC kılıfı veya açıkta	Metalik ekran sıcaklığı 105 C Çıplak kablo değirmeni engelli	Metalik ekran sıcaklığı 70 C PVC kılıfı veya açıkta	Metalik ekran sıcaklığı 105 C Çıplak kablo değirmeni engelli	Metalik ekran sıcaklığı 70 C PVC kılıfı veya açıkta	Metalik ekran sıcaklığı 105 C Çıplak kablo değirmeni engelli	
ŞİMDİ										
500 V	1,5	23	19	21	28	24	21	23	31	26
	2,5	31	26	29	38	33	33	31	39	34
	4	40	35	38	51	44	47	41	54	45
	1,5	25	21	23	31	26	22	26	33	20
	2,5	34	28	31	42	36	41	34	45	31
	4	45	31	41	55	47	53	45	60	50
	6	51	48	52	70	59	62	51	57	56
	11	77	65	70	96	81	87	77	96	84
	16	102	86	90	121	107	119	92	110	104
	25	133	112	120	166	140	154	142	170	130
	35	163	131	147	203	171	187	174	147	161
	50	212	169	181	261	213	210	215	182	200
	70	241	210	221	307	261	264	223	241	273
	95	295	249	264	369	312	334	317	286	335
	130	340	295	333	424	363	383	364	460	385
	150	380	327	346	456	411	435	377	526	411
	180	440	371	392	590	461	492	412	390	465
	210	514	454	464	544	517	544	465	495	534

Tablo 6.16. Ekranlı kabloların akım taşıma kapasiteleri

### **6.6.3. Kabloların toprak içinde tesis edilmesi**

#### ***Tesis tipi ve akım taşıma kapasitesine göre kablo kesitinin seçimi***

Toprağa içine tesis edilen kabloların akım taşıma kapasitesi aşağıda verilen ifade kullanılarak bulunur.

$$I_Z = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \text{ (A)}$$

Bulunan değer  $I_Z \geq I_B$

$I_0$  Toprak içine gömülü olarak tesis edilen tek damarlı kablonun  $20^0C$  referans sıcaklıkta akım taşıma kapasitesi

$I_B$  Azami dizayn akımı (A)

$f_1$   $20^0C$  den farklı sıcaklıklar için düzeltme faktörü

$f_2$  kablonun yanındaki diğer kablolardan dolayı düzeltme faktörü

$f_3$  toprağın termeldirencinin referans değer 2,5km/W değerinden farklı olması halinde düzeltme faktörü.

#### **6.6.3.1. $f_1$ Düzeltme faktörü**

Toprak sıcaklığı	İzolasyon	
°C	PVC	XLPE ve EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	–	0.60
70	–	0.53
75	–	0.46
80	–	0.38

**Tablo 6.17.**  $20^0C$  den farklı toprak ortam sıcaklığı için düzeltme faktörlerinin değerleri

### 6.6.3.2. $f_2$ Düzeltme faktörü

Kabloların akım taşıma kapasitesi yanındaki diğer kabloların ısı yayılımından etkilenir. Düzeltme faktörü aşağıda verilen ifade yardımıyla hesaplanır.

$$f_2 = f'_2 \cdot f''_2$$

Kablo sayısı	Kablolar temasda	Kablolar arası açıklık(a)			0.5 m
		Bir kablo çapı kadar	0.125 m	0.25 m	
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

Çok damarlı kablolar



Tek damarlı kablolar

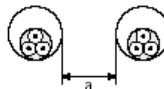


Değerler 0,7 m tesis derinliği ve toprak termal direnci 2,5 km/W için verilmiştir.

**Tablo 6.18.** Doğrudan toprak içine gömülü kablolar için düzeltme faktörü  $f'_2$

Kablo sayısı	Kablolar arası açıklık(a)			
	Kablolar temasda	0.25 m	0.5 m	1.0 m
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90

Çok damarlı kablo



Değerler 0,7 m tesis derinliği ve toprak termal direnci 2,5 km/W için verilmiştir.

**Tablo 6.19.** Toprak içinde kablo dakları içindeki çok damarlı kablolar için  $f'_2$  düzeltme faktörleri

iki veya üç kablo tek damarlı devre sayısı	Daklar arası açıklık(a)			
	Kablo dakları birbir ile temasda	0.25 m	0.5 m	1.0 m
2	0.80	0.90	0.90	0.95
3	0.70	0.80	0.85	0.90
4	0.65	0.75	0.80	0.90
5	0.60	0.70	0.80	0.90
6	0.60	0.70	0.80	0.90

Tek damarlı kablo



Değerler 0,7 m tesis derinliği ve toprak termal direnci 2,5 km/W için verilmiştir.

**Tablo 6.20.** Toprak içinde kablo dakları içindeki tek damarlı kablolar için  $f'_2$  düzeltme faktörleri

### 6.6.3.3. $f''_2$ Düzeltme faktörü

- Toprağa doğrudan gömülü veya aynı dak içinde başka bir kablo bulunmazsa  $f''_2=1$  alınır.

- Eğer aynı dak içinde aynı kesitte iletkenler bulunursa Tablo 6.20 deki 1. sıradaki değerler alınır.
- Eğer iletken büyüklükleri farklı değerlerde ise aşağıdaki ifadeden  $f_2''$  bulunur

$$f_2'' = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

- n: dak içindeki devre sayısı.

#### 6.6.3.4. $f_3$ Düzeltme faktörü

Toprağın termal özgül direnci kablonun ısı yayılımını etkiler.

Termal özgül direnç km/W	1	1.5	2	2.5	3
<b>Düzeltme faktörü</b>	1.18	1.1	1.05	1	0.96

Not1: Düzeltme faktörünün doğruluğu +-%5 toleransları içindedir

Not2: Düzeltme faktörleri torak içindeki daklara serili kablolar içinde uygulanabilir, daha hassas değerlerin istenildiği yerlerde IEC60287 de verilen metod yardımıyla hesaplanabilir.

Not3: Düzeltme faktörleri 0,8 m derinliğe kadar gömülü daklar için uygulanabilir.

**Tablo 6.21.** 2,5 km/W değerlerinden farklı termal özgül dirençleri için  $f_3$  düzeltme faktörü

#### 6.6.3.5. Kablo kesitinin tayini için işlem sırası

- Tablo 6.17'den izolasyon malzemesi ve toprak sıcaklığına göre  $f_1$  düzeltme faktörü belirlenir

Tablo 18,19,20, yi veya farklı boyutta kablolar tesis edilmişse  $f_2'' = \frac{1}{\sqrt{n}}$  ifadesini kullanarak  $f_2''$  Düzeltme faktörü tayin edilir.

- Tablo 6.21'den  $f_3$  düzeltme faktörü belirlenir

- Bu faktörler  $I_B$  yük akımına (veya koruma cihazının nominal akımına) bölünerek  $I'_B$  akımı hesap edilir

$$I'_B = \frac{I_B}{f_1 \cdot f_2 \cdot f_3} \text{ (A)} \quad (4.20)$$

- Tablo 6.22 den tesis metoduna göre  $I_0 \geq I_b$  olacak şekilde kablo kesiti belirlenir
- Seçilen kablonun akım taşıma kapasitesi  $I_Z = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$  (A) (4.21) ifadesi kullanarak bulunur.

S[mm <sup>2</sup> ]	Tesis metodu	D								
										
		iletken <sup>1)</sup>		Cu		Al		PVC		
izolasyon		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		
		Yükü iletkenler	2	3	2	3	2	3	2	3
1.5		26	22	22	18					
2.5		34	29	29	24	26	22	22	18.5	
4		44	37	38	31	34	29	29	24	
6		56	46	47	39	42	36	36	30	
10		73	61	63	52	56	47	48	40	
16		95	79	81	67	73	61	62	52	
25		121	101	104	86	93	78	80	66	
35		146	122	125	103	112	94	96	80	
50		173	144	148	122	132	112	113	94	
70		213	178	183	151	163	138	140	117	
95		252	211	216	179	193	164	166	138	
120		287	240	246	203	220	186	189	157	
150		324	271	278	230	249	210	213	178	
185		363	304	312	258	279	236	240	200	
240		419	351	361	297	322	272	277	230	
300		474	396	408	336	364	308	313	260	

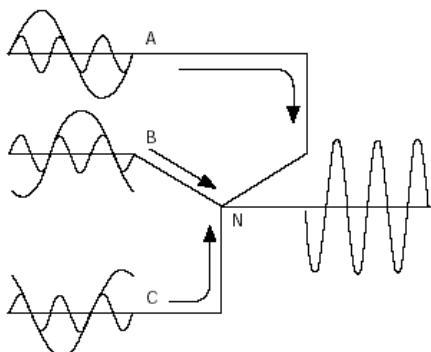
**Tablo 6.22. Toprağa gömülü kabloların akım taşıma kapasiteleri**

#### **6.6.4. Dengeli 3-fazlı sistemler üzerine harmonik akımların etkileri:**

3. harmonik akımlarının nötr iletkeni üzerindeki etkilerinin göz önüne alınması: 4-damarından da akım taşınan 4 veya 5-damarlı kablolararda harmoniklerin etkilerinden dolayı

düzelme faktörü ile çarpılması gereklidir. Nötr hattı üzerinden genellikle yok edilemeyecek önemli miktarda 3. harmonik akımları geçer. 3. harmonik nedeniyle nötr hattı üzerinden geçen akımların değeri 3. faz iletkenlerinden geçen akımların değerini aşabilir. Böyle durumlarda nötr akımlarının, devrede bulunan kabloların akım taşıma kapasiteleri üzerinde önemli etkisi olacaktır.

Tablo 6.22'deki değerler nötr iletkenin kesiti ve malzemesinin faz iletkeni ile aynı olan 4 veya 5-hatlı, 3-fazlı dengeli sistemler için geçerlidir. Bu azaltma faktörleri 3. harmonik akımları esas alınarak belirlenmiştir. Eğer sistemde %10 dan daha fazla değerde yüksek harmonikler varsa veya fazlar arası dengesizliğin %50 lerden fazla olması beklenen sistemlerde daha düşük değerde azaltma faktörü uygulanmalıdır. Bu faktörler sadece yüklü fazlarda akımların gerçek şekilleri göz önüne alınarak hesaplanabilir.



**Şekil 6.26.** Her bir faza ait 3. harmonik akımlarının

Nötr akımının faz akımından daha fazla olması muhtemel yerlerde kablo büyülüüğü nötr akımları esas alınarak belirlenir.

Faz akımındaki üçüncü harmonik miktari %	Azaltma faktörü			
	Faz akımları esas alınarak kesit seçimi, $I_B'$	Kablo seçimi için göz önüne alınan akımlar, $I_B$	Nötr akımı esas alınarak kesit seçimi , $I_N'$	Kablo seçimi için göz önüne alınan akımlar $I_N$
0 ÷ 15	1	$I_B' = \frac{I_B}{k_{tot}}$	-	-
15 ÷ 33	0.86	$I_B' = \frac{I_B}{k_{tot} \cdot 0.86}$	-	-
33 ÷ 45	-	-	0.86	$I_B' = \frac{I_N}{0.86}$
> 45	-	-	1	$I_B' = I_N$

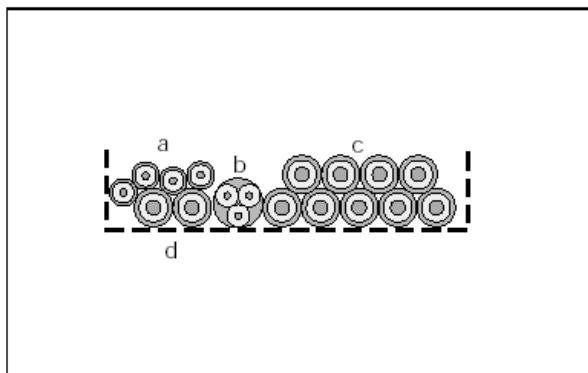
**Tablo 6.23.** 4 veya 5 damarlı kablolarında 3. harmoniklerden dolayı düzeltme faktörü

**Örnek:** 3-fazlı dengeli harmoniksız devrede kablo boyutlandırılması

Boyutlandırılacak kablo ile ilgili karakteristikler:

- İletken malzemesi Bakır
- İzolasyon PVC
- Kablo tipi Çok damarlı
- Tesis şekli Delikli kablo tavası üzerine demetlenmiş kablo
- Yük akımı 100 A
- Tesis şartları  
Ortam sıcaklığı  $40^{\circ}\text{C}$   
Tava içindeki diğer devreler
  - a) 4x50mm<sup>2</sup> 4 adet tek damarlı kablodan meydana gelen 3-fazlı sistem
  - b) 1x(3x50 ) mm<sup>2</sup> 1 adet kablodan ibaret 3-fazlı devre

- c) Herbir faz için 3 kablo olmak üzere  $9 \times 95 \text{ mm}^2$  kesitinde 9 adet tek damarlı kablodan ibaret 3 fazlı devre



**Şekil 6.27.** Yukarda verilen örneğe ait şekil

Tablo 6.22'den E ve 31 referans no.lu tesis şekli söz konusudur.

Tablo 6.17'den  $40^0\text{C}$  ortam sıcaklığına göre düzeltme faktörü  $f_1 = 0,87$

Tablo 6.18 den  $f_2 = 0,73$

$$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2} = \frac{100}{0,87 \cdot 0,73} = 157,4A$$

$I_0 \geq I'_b = 154,7A$  olması gerekiğinden Tablo 6.15'den  $70 \text{ mm}^2$  kesitinde kablo seçildi; söz konusu kablonun normal şartlar altında akım taşıma kapasitesi 196 A dir.

Kablonun belirtilen gerçek şartlar altında akım taşıma kapasitesi

$$I_Z = 157,4 \cdot 0,87 \cdot 0,73 = 124A \text{ dir.}$$

### **Örnek:**

Önemli derecede 3. harmonik ihtiyaca eden 3-fazlı sistemde kablo boyutlandırılması.

Boyutlandırılacak kablonun karakteristikleri

- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| • İletken malzemesi   | Bakır                      |
| • İzolasyon malzemesi | PVC                        |
| • Kablo tipi          | 3 damarlı                  |
| • Tesis tipi          | Yatay delikli kablo tavası |
| • Yük akımı           | 115 A                      |

Tesis şartları

- |                        |      |
|------------------------|------|
| • Ortam sıcaklığı      | 30°C |
| • Yanyana devre sayısı | -    |

İşlem sırası

Tablo 6.9'den 31 referans no.lu E tipi tesis metodu

$f_1$  sıcaklığa bağlı düzeltme faktörü  $f_1=1$  (Tablo 6.11 den 30°C için)

$f_2$  yan yana olan kablo sayısına bağlı düzeltme faktörü  $k_2=1$

$$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2} = \frac{115}{1 \cdot 1} = 115A$$

Eğer sistemde harmonik yok ise Tablo 6.15'den  $I_0 \geq I'_b = 115A$  için  $35mm^2$  kesit bulunur ve standart referans şartlarda bu kablonun taşıyacağı akım 126 A dir.

Gerçek şartlarda akım taşıma kapasitesi  $I_Z = 126 \cdot 1.1 = 126A$  dir.

3. harmonik miktarı %28 ise Tablo 6.23'den azaltma faktörü 0,86 olarak uygulanır.

$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2 \cdot 0,86} = \frac{115}{1 \cdot 1 \cdot 0,86} = 133,7A$  olur ve Tablo 6.15'den gerekli iletken kesiti  $50\text{mm}^2$  olarak bulunur.

3.harmonik miktarı %40 ise kablonun boyutlandırılması nötr iletkeni esas alınarak yapılmalıdır buna göre

$$I_N = \frac{I_b}{f_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III} = \frac{150}{1} \cdot 3 \cdot 0,4 = 138A$$

ve akım değeri  $I'_b = \frac{I_N}{0,86} = \frac{138}{0,86} = 160,5A$

Tablo 6.15'den 196 A akım taşıma kapasiteli  $70\text{ mm}^2$  kablo seçildi.

Eğer sistemdeki 3. harmonik miktarı %60 ise Tablo 6.23'den

$$I_N = \frac{I_b}{f_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III} = \frac{150}{1} \cdot 3 \cdot 0,6 = 207A$$

$$I'_b = I_N = 207A \text{ ve}$$

Tablo 6.15'den 238 akım taşıma kapasiteli  $95\text{ mm}^2$  kablo seçilmelidir.

### **6.6.5. Tek sayılı harmoniklerin faz iletkeni üzerindeki etkilerinin göz önüne alınması**

Azami akım taşıma kapasitesi belirlenirken UPS, frekans konvertörü ve deşarj lambalı aydınlatma armatürleri gibi lineer yükleri besleyen kablolarla cihazın üzerinde verilen güçlerin belirlediği akımın yanında söz konusu cihazları

ürettiği harmonik akımların etkisi aşağıda verilen ifade ile göz önüne alınmalıdır

$$I_{rms} = I_1 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2$$

$I_1$  50 Hz frekansta akımın temel dalga değeri cihazın üzerindeki nominal güçe tekabül eden akım

$I_n$  n harmonik sayısına göre akım değeri. Üretici firma tarafından verilen ve harmonik spektrum cihazı vasıtasyyla yapılan testler sonucu testler sonucu belirlenen harmonik akımlarının değerleri .

Ülkemizde harmonik üreten cihazları besleyen kablolara ait akım taşıma kapasiteleri belirlenirken; ne yazık ki temel akım bileşenine göre hesaplar yapılmakta kablo kesitleri temel akım bileşenine göre belirlenmekte, koruma cihazlarının açtırma değerleri söz konu akımlar esas alınarak ayarlanmakta veya seçilmekte. Tesisin çalışma sırasında koruma cihazlarının açtırma yapması üzerine nedeni araştırılmadan koruma akım ayar değerleri değiştirilmekte veya yüksek akım çeken koruma cihazları takılmaktadır. Sonuçta çeşitli yangınlara neden olunmaktadır.

**Örnek :** 250 kW gücünde bir motor 400 Volt, 300 kVA gücünde bir frekans konvertörü ile tahrik edilecektir. Bu frekans konvertörünün kablo kesiti belirlenecektir. Kablo havada tesis edilecek ve kablo tek olarak çekilecektir. Ortam sıcaklığı 35°C dir.

Frekans konvertörü girişi 6-darbeli doğrultuculu ve herhangi bir harmonik bastırıcı sisteme sahip değildir. Harmonik miktarları aşağıdaki tabloda verilmektedir.

**6-darbeli sistemler (indüktörüsüz)**

Temel harmonik	5 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	11 <sup>th</sup>	13 <sup>th</sup>	17 <sup>th</sup>	19 <sup>th</sup>
100%	63%	54%	10%	6,1%	6,7%	4,8%

Sistemden çekilecek azami temel akım harmonik bileşeni

$$I_1 = \frac{S(VA)}{\sqrt{3}U(V)} = \frac{300.000}{\sqrt{3}.400} = 433A$$

Azami dizayn akımı

$$I_B = I_{rms} = I_1 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 = 433 + 433.[(0,63)^2 + (0,54)^2 + (0,1)^2 + (0,061)^2 + (0,067)^2 + (0,048)^2]$$

Buradan azami dizayn akımı  $I_B = I_{rms} = 749A$  olarak bulunur.

Görüleceği üzere harmonik etkileri göz önüne alınmadan yapılan hesaplamalarda kablo kesiti 433 A akım değerine göre belirlenecek ve koruma akım açtırma değeri ise 500A civarında ve kesici nominal akım değeri ise 630 A olarak belirlenecektir.

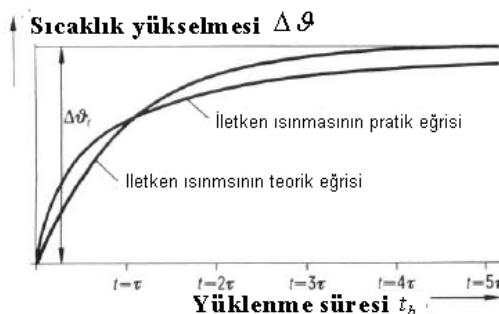
Ancak gerçekte tam kapasite çalışma durumunda kablo üzerinden geçen akım 749A olduğundan kesici en fazla 1-2 dakika içinde açtırma yapacak ve işletmeci tarafından açtırma eşik değeri kesici ayarının son değeri 630A ayarlanacaktır. Bu durumda da kesici 5-10 dakika süre sonunda açtıracak ve işletmeci tarafından 800A nominal değerde kesici takılacaktır. Düzeltme faktörleri göz önüne alındığında seçilen kablonun akım taşıma kapasitesi takriben 0,89 değerinde olacaktır. Eğer işletmeci kesiciyi ve kesici aşırı yük açtırma değerini değiştirirken söz konusu harmonik etkileri göz önüne alarak kablo kesitlerinde değiştirmezse aşırı isınmadan dolayı kablonun erken yıpramasına ve kabloda bir süre sonra yanına neden olacaktır. Bu konular

hakkında detaylı bilgilere güç kalitesi bölümünün harmonikler kısmında ve koruma sistemlerinin incelenmesi bölümünün kabloların aşırı yüklerle karşı korunması kısmından ulaşabilirsiniz.

### **6.6.6. Kısa süreli ve aralıklı çalışma halinde kablo kesitinin belirlenmesi**

Minimum zaman değerinde hesaplama

Tipik sıcaklık yükselme eğrileri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 6.28. Sıcaklık yükselme eğrileri**

Teorik ısınma eğrisinin ifadesi  $\Delta\vartheta = (\vartheta_e - \vartheta_u) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

$\tau$  Zaman sabiti olmak üzere

$$\tau = T \cdot C$$

$T$  termal direnç,  $C$  ısı kapasitesi

Kablonun minimum zaman değeri

$$C = n \cdot c \cdot S$$

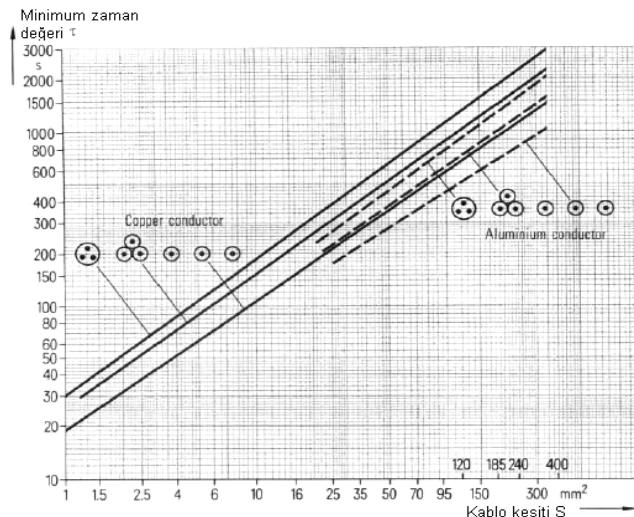
$$\tau = B \left( \frac{S}{I_r} \right)^2 \quad B = \frac{\Delta \vartheta_r \cdot \chi_{20} \cdot c}{1 + \alpha_{20} (\vartheta_{Lr} - 20^{\circ}C)}$$

İletken malzemesi	$\alpha_{20}$ 1/K	$\chi_{20}$ 1/Ω m	$c$ J/K m <sup>3</sup>
Bakır.	0.00393	$56 \times 10^6$	$3.45 \times 10^6$
Aluminyum	0.00403	$34 \times 10^6$	$2.50 \times 10^6$

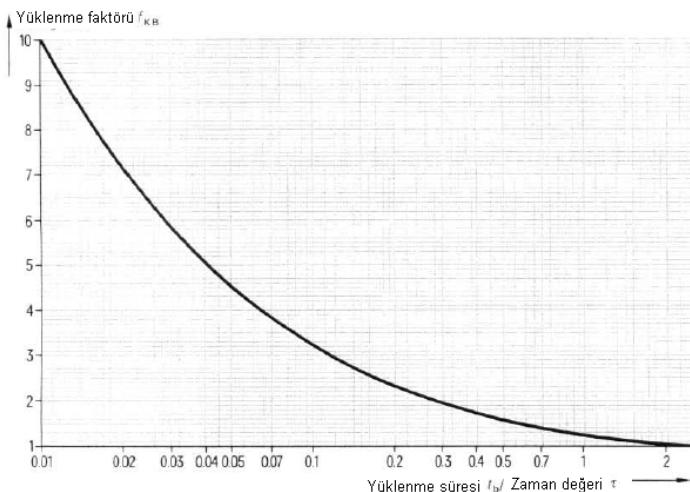
**Tablo 6.24.** Minimum zaman değeri hesabında kullanılan malzeme parametrelerinin değerleri

İletken malzemesi	Izin verilen işletme sıcaklık değerlerinde $B \cdot A^2 s/m^4$ değerleri				
	90 °C	80 °C	70 °C	65 °C	60 °C
Bakır.	$9.09 \times 10^{15}$	$7.82 \times 10^{15}$	$6.46 \times 10^{15}$	$5.75 \times 10^{15}$	$5.01 \times 10^{15}$
Aluminyum	$3.98 \times 10^{15}$	$3.42 \times 10^{15}$	$2.83 \times 10^{15}$	$2.52 \times 10^{15}$	$2.20 \times 10^{15}$

**Tablo 6.25.** Hava da tesis durumunda minimum zaman değeri hesabında kullanılan B değerleri



**Şekil 6.29.** 0,6/1 kV PVC kabloların min. zaman değeri ile ilgili kesitleri



**Şekil 6.30.** Yüklenme eğrisi

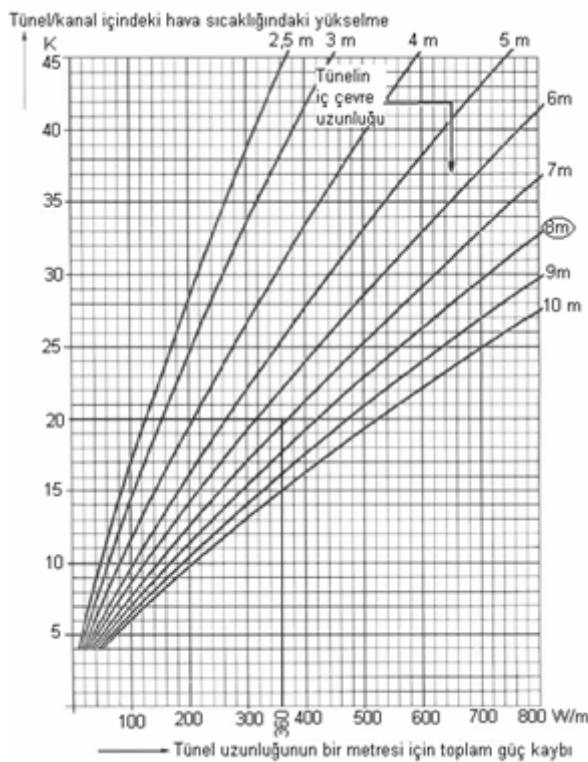
### **6.6.7. Kabloların havalandırmamasız kanallarda ve tünelerde tesis edilmesi**

Havalandırmamasız kapalı kanallar/tünelerde, kablolarla oluşan ısı üretimi sadece duvarlar, taban ve tavan boyunca transfer edilebilir. Tabii havalandırma, çoğunlukla mekan kapalı olduğu için yapılamaz. Bu nedenle ısı akışı engellenir ve kanal içinde kablo çevresinde sıcaklık yükselmesine neden olur. Kanal/tüneldeki havanın sıcaklık yükselmesi kanal/tünelin boyutlarına ve tüm kabloların toplam kayıpların büyüklüğüne bağlıdır.

Aşağıda verilen şekil kullanılarak kanal içindeki kabloların 1-m için kayıpları hesaplanarak tünelin/kanalın çevre uzunluğu

bulunabilir. Örneğin 360 W/m birim toplam kayıp için tünelin / kanalın çevre uzunluğu 8 metre olacaktır.

Tesisin çalışma şekline göre tünel/kanal içindeki kablolar aynı sürede ve aynı akım değerinde yüklenemez. Bundan dolayı bir kablo için güç kaybı hesap edilirken aşağıda verilen ifade ile belirlenen 24 saat yüklenme akımı göz önüne alınır.



**Şekil 6.31.** *Tünel/kanal uzunluğunun 1-metresinde oluşan kablo kayıplarında tünel/kanal hava sıcaklığının artışı*

Bu akım

$$I_{\text{ort}} = \frac{\sqrt{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots}}{\sqrt{t_1 + t_2 + \dots}} \text{ ifadesi ile belirlenir.}$$

$$t_1 + t_2 + \dots = 24 \text{ saat}$$

$I_1, I_2, \dots$  akımları  $t_1, t_2, \dots$  sürelerinde akan akımlardır.

Eğer tünel duvarları boyunca ısı dağılımı yetersiz ise (çoğunlukla toprak içinde olmayan tüneller) tünelin içindeki hava çok ısınır ve iletken sıcaklığı izin verilen sınırların üzerine çıkar. Bu nedenle tüneller mutlaka havalandırılmalıdır.

Çoğu durumlarda hesaplamalar tünelde üretilen toplam kayıplar esas alınarak yapılır. Ancak gerçekte tünel duvarları boyunca yayılan ısı soğutma açısından yeterli değildir. Gerekli soğutmayı sağlamak için yeterli şekilde boyutlandırılan fanlar vasıtasiyla cebri havalandırma sağlamak şarttır.  $\sum V$  kanalda kablolar tarafından üretilen toplam kayıplar, L tünelin uzunluğu ve  $\Delta \vartheta_a$  tünelin giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık yükselmesi, yani sıcaklık farkı olmak üzere Q havalandırma için gerekli hava miktarı

$$Q = 0,77 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sum V \cdot L}{\Delta \vartheta_a} \text{ m}^3/\text{sn} \text{ ifadesi ile belirlenir.}$$

Hava akış hızı  $v$  ve A da tünelin kesiti olmak üzere

$$v = \frac{Q}{A} \text{ m/sn olarak hesaplanır.}$$

## 6.7. Orta gerilim sistemlerinde bağlantı hatlarının ve kablo kesitinin tayini

### 6.7.1. Kesit tayini için işlem sırası

1. Taşınacak veya temin edilecek yüke ait  $I_B$  dizayn akımının belirlenmesi
2. Tesisin çalışacağı şartlar altında kablonun  $S_1$  kesitinin belirlenmesi. Bu işlem için aşağıda verilen bilgilerin sağlanması gereklidir.
  - Gerçek tesis şartları altındaki  $f_1$  düzeltme faktörü
  - Standart tesis şartları altında kablonun veya hat iletkenlerinin çeşitli kesit ve tipleri için imalatçı firma tarafından verilen akım taşıma kapasiteleri
3. Kısa devre halinde kablo ana iletkeninin belirlenen süre içinde (koruma cihazının hata temizleme süresi) termik dayanımı sağlayacak  $S_2$  kesitinin belirlenmesi
4. Bir toprak hatası halinde kablo ekranının termik dayanımı için gereken  $S_3$  kesit değerinin belirlenmesi,
5.  $S_1$  ,  $S_2$  ,  $S_3$  kesitleri arasında en büyük nominal kablo kesiti seçilecektir.
6. Ekonomik kesit için gerekli hesaplar yapılacaktır.

## **6.7.2. *Maksimum Dizayn Akımı ( $I_B$ ) tayini***

Maksimum dizayn akımı hatların veya kabloların beslediği yüklerle ait güçlerin toplamı esas alınarak ve gerekli durumlarda kullanma ve eşzamanlık faktörleri göz önüne alınarak belirlenir.

Orta gerilim sistemlerinde genellikle hatlar, transformatör, motor ve ark ocakları gibi tekil yükleri besler. Böyle durumlarda ( $I_B$ ) akımı bağlanan cihazın nominal akımına eşit alınır ve kesinlikle ne kullanma faktörü ne de eş zamanlılık faktörleri hesaba dahil edilmezler.

## **6.7.3. *Kablolar ve bağlantı hatlarında akım taşıma kapasitelerinin tayin edilmesi***

*Genel kurallar:*

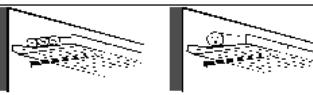
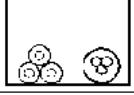
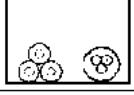
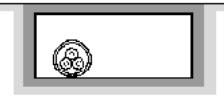
Akım taşıma kapasitesi çalışma ömrünü etkilemeyecek şekilde kabloların taşıyabileceği maksimum akımdır.

Kabloların akım taşıma kapasiteleri standartlarca öngörülen tesis şartları altında imalatçılar tarafından veya standartlar tarafından verilen değerlerdir.

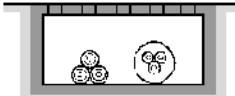
Gerçek tesis şartları altında kabloların akım taşıma kapasitelerini belirlemek için aşağıda açıklanan işlemler sırayla mutlaka gerçekleştirilmelidir.

- Tablo 6.26 da açıklanan tesis metodlarına göre uygulanacak düzeltme faktörleri belirlenir.
- Tablo 6.27 ve 6.28'den kullanılacak düzeltme faktörlerinin değerleri belirlenir.

- $f$  genel düzeltme faktörü belirlenir.
- Tablo 6.26'da emprenye edilmiş kağıt yalıtkanlı kabloların ve Tablo 6.27 ve 6.29'dan sentetik izolasyonlu kablolar için standart şartlar altında kabloların taşıyacağı maksimum  $I_0$  akım belirlenir.
- $I_A = f \cdot I_0$  ifadesi yardımıyla kabloların gerçek tesis şartları altında maksimum akım taşıma kapasitesi bulunur.,

Tesis Metodları	Örnek	Tablo sutunu	Uygulanan düzeltme faktörleri		
			$f_0$	$f_1$	$f_5$
A. Duvarda tesisat boruları içinde		(3)	0,90	$f_1$	$f_5$
B. Duvara gömülü borular içinde		(3)	0,90	$f_1$	$f_5$
F. Kablo taşıyıcıları üzerine		(3)	1	$f_1$	$f_5$
G. Mesnetler üzerine veya kablo merdivenlerine		(3)	1	$f_1$	$f_6$
H. Kapalı kanal içine		(3)	0,90	$f_1$	$f_5$
J. Açık kanal içine		(3)	1	$f_1$	$f_6$
L1. Açıkta borular içinde veya havalandırmalı kanal içinde		(3)i	0,80	$f_1$	$f_5$

Tablo 6.26. Tesis metodları

Tesis Metodu	Örnek	Tablo kolonu	Uygulanan düzeltme faktörleri			
			$f_0$	$f_1$	$f_2$	$f_3$
L3. Açıkta veya Havandırmalı kanalda doğrudan tesis		(3)	0,90.	$f_1$	--	$f_3$
L4. Kapalı kanallarda doğrudan tesis		(3)	0,80	$f_1$	--	$f_3$
L5. İçine kum doldurulmuş kanallarda doğrudan tesis		(3)	0,80	$f_1$	--	$f_3$
N. Duvar içinde : kanallarda tesis		(3)	0,90.	$f_1$	--	$f_3$
P. İmal edilen bloklar içinde		(3)	0,90.	$f_1$	--	$f_3$
S1. Doğrudan toprağa gömülü zırhlı kablolar		P (1) D (2)	1	$f_1$	$f_3$	$f_4$
S2. Toprağa gömülü mekanik korumalı kablolar		(1) (2)	1	$f_2$	$f_3$	$f_4$

P : Sürekli işletme şartları  
D: Kesintili işletme şartları

**Tablo 6.26** Tesis metodları (devam)

Tesis Metodu	Example	Table column		Correction factors to be applied			
		$f_0$		$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
S3. Boru içinde, toprağa gömülü		P (1)	D (2)	0.8	$f_2$	$f_3$	$f_4$
S4. Kablolardan üçgen formasyonda toprağa gömülü prefabrik kanallarda (özel dolgu yapılabılır) tesis		(1)	(2)	0.8	$f_2$	$f_3$	$f_4$
S5 Bir-damarlı kablolardan aynı aynı kanallarda toprak içinde tesis		(1)	(2)	0.8	$f_2$	$f_3$	$f_4$
Bir-damarlı kablolardan aralarında açıklık bulunan prefabrik kanallardated toprak içinde tesis		(1)	(2)	0.8	$f_2$	$f_3$	$f_4$
V. Hava hatları		(3)		1,1	$f_1$	--	--

P : Sürekli işletme şartları; D: Kesintili işletme şartları

**Tablo 6.26.** Tesis metotları (devam)

Sıcaklık °C	İzolasyon malzemesi tipi	
	PVC PE	XLPE EPR
10	1.22	1.15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
30	1.00	1.00
35	0.94	0.96
40	0.87	0.91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0.61	0.76

**Tablo 6.27.** Havada tesis edilen kablolarda  $30^0C$  den değişik ortam sıcaklıklarları için  $f_1$  düzeltme faktörleri

**ILETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI -ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM NOTLARI**

Sıcaklık °C	İzolasyon malzemesi tipi	
	PVC PE	XLPE EPR
0	1.18	1.13
5	1.14	1.10
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
20	1.00	1.00
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
60	0.45	0.65
65	-	0.60
70	-	0.53
75	-	0.46
80	-	0.38

**Tablo 6.28.** Toprakta tesis edilen kablolarla ortam sıcaklığının  $20^{\circ}\text{C}$  den değişik olması durumunda  $f_2$  düzeltme faktörü

Toprak Termal özgül direnci K.m/W	Nem	Toprak Cinsi			3-adet 1-damarlı kablo	3-fazlı kablolar
		Kum	Balçık ve Kireç	Kül ve Klinker		
0.5	Çok nemli toprak Nemli toprak Normal toprak Kuru toprak Çok kuru toprak	Balçık ve Kireç			1.25	1.20
0.7					1.14	1.10
0.85					1.06	1.05
1					1.00	1.00
1.2		Kum			0.93	0.95
1.5					0.85	0.88
2		Kül ve Klinker			0.75	0.79
2.5					0.68	0.72
3					0.62	0.68

**Tablo 6.29.** Toprakta tesis edilen kablolarla  $1\text{K.m/W}$  değerinden değişik toprak termal özgül direnci için  $f_3$  düzeltme faktörü

## 6.8. Gerilim düşümü hesabı

### 6.8.1 Ohmik metoda göre gerilim düşümü hesabı

İletkene bağlı yükün çektiği akımın, iletken kesiti ve iletken uzunluğuna bağlı olarak iletken üzerinde gerilim düşümleri meydana gelir. İletken kesitlerinin akım taşıma kapasiteleri ve kısa devreye dayanma kapasiteleri açısından kesitlerinin belirlenmesinden sonra ekipmanların gerekli çalışma güvenirliliğine ve istenilen performansa sahip olması için cihaz bağlantı yerlerinde gerilim değerlerinin standartlarda belirlenen toleranslar içinde olması gerekmektedir.

S [mm <sup>2</sup> ]	Tek damarlı kablo		İki damarlı/üç damarlı kablo	
	r[Ω/km] @ 80 [°C]	x[Ω/km]	r[Ω/km] @ 80 [°C]	x[Ω/km]
1.5	14.8	0.168	15.1	0.118
2.5	8.91	0.156	9.08	0.109
4	5.57	0.143	5.68	0.101
6	3.71	0.135	3.78	0.0955
10	2.24	0.119	2.27	0.0861
16	1.41	0.112	1.43	0.0817
25	0.889	0.106	0.907	0.0813
35	0.641	0.101	0.654	0.0783
50	0.473	0.101	0.483	0.0779
70	0.328	0.0965	0.334	0.0751
95	0.236	0.0975	0.241	0.0762
120	0.188	0.0939	0.191	0.074
150	0.153	0.0928	0.157	0.0745
185	0.123	0.0908	0.125	0.0742
240	0.0943	0.0902	0.0966	0.0752
300	0.0761	0.0895	0.078	0.075

**Tablo 6.30.** Bakır iletkenli kabloların birim başına uzunluğa göre direnç ve reaktansları

Z empedansını haiz bir iletkendeki gerilim düşümü

$$\Delta U = k.Z.I_b = k.I_b \cdot \frac{L}{n} \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) [V]$$

k=2 tek fazlı sistemlerde

$k=\sqrt{3}$  üç fazlı sistemlerde

$I_b$  (A) yük akımı , eğer yük akımı hakkında herhangi bir bilgi yoksa  $I_Z$  kablonun akım taşıma kapasitesi göz önüne alınacaktır.

L (km) kablonun uzunluğu

n herbir fazdaki paralel iletken sayısı

r (ohm/km) bir kablonun km başına direnci

x (ohm/km) bir kablonun km başına reaktansı

$\cos\varphi$  yükün güç faktörü

Gerilimin düşümünün % değeri  $U_N$  nominal gerilim olmak üzere

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100$$

Kabloların direnç ve reaktans değerleri per-unit uzunluğa göre yukarıdaki ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Verilen değerler 50 Hz frekans için olup, 60 Hz frekans için bu değerler 1,2 ile çarpılacaktır.

S [mm <sup>2</sup> ]	Tek damarlı kablo		İki damarlı/üç damarlı kablo	
	r[Ω/km] @ 80 °C	x[Ω/km]	r[Ω/km] @ 80 °C	x[Ω/km]
1.5	24.384	0.168	24.878	0.118
2.5	14.680	0.156	14.960	0.109
4	9.177	0.143	9.358	0.101
6	6.112	0.135	6.228	0.0955
10	3.691	0.119	3.740	0.0861
16	2.323	0.112	2.356	0.0817
25	1.465	0.106	1.494	0.0813
35	1.056	0.101	1.077	0.0783
50	0.779	0.101	0.796	0.0779
70	0.540	0.0965	0.550	0.0751
95	0.389	0.0975	0.397	0.0762
120	0.310	0.0939	0.315	0.074
150	0.252	0.0928	0.259	0.0745
185	0.203	0.0908	0.206	0.0742
240	0.155	0.0902	0.159	0.0752
300	0.125	0.0895	0.129	0.075

**Tablo 6.31.** Altüminyum iletkenli kabloların per-unit uzunluğa göre direnç ve reaktansları

Gerilim düşümü hesaplarını kolaylaştırmak amacıyla belirlenen güç faktörü değerlerinde kesitlerin birim

uzunluklarına göre özgül gerilim düşümlerini veren tablolar hazırlanır. Yaklaşık güç faktörüne eşit olan özgül gerilim düşümü ele alınarak hesap yapılır.

Aşağıda verilen tablolar ortak  $\cos\varphi$  değerinde kesitlere göre belirlenen  $\Delta U_x$  ( $\frac{V}{A.km}$ ) değerlerini vermektedir.

S[mm <sup>2</sup> ]	$\cos\varphi=1$		iki damarlı 1-faz	üç damarlı 3-faz
	Tekdamarlı kablo 1-faz	3-faz		
1.5	29.60	25.63	30.20	26.15
2.5	17.82	15.43	18.16	15.73
4	11.14	9.65	11.36	9.84
6	7.42	6.43	7.56	6.55
10	4.48	3.88	4.54	3.93
16	2.82	2.44	2.86	2.48
25	1.78	1.54	1.81	1.57
35	1.28	1.11	1.31	1.13
50	0.95	0.82	0.97	0.84
70	0.66	0.57	0.67	0.58
95	0.47	0.41	0.48	0.42
120	0.38	0.33	0.38	0.33
150	0.31	0.27	0.31	0.27
185	0.25	0.21	0.25	0.22
240	0.19	0.16	0.19	0.17
300	0.15	0.13	0.16	0.14

**Tablo 6.32.**  $\cos\varphi = 1$  de bakır iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

S[mm <sup>2</sup> ]	$\cos\varphi=0.9$		iki damarlı 1-faz	üç damarlı 3-faz
	Tekdamarlı kablo 1-faz	3-faz		
1.5	26.79	23.20	27.28	23.63
2.5	16.17	14.01	16.44	14.24
4	10.15	8.79	10.31	8.93
6	6.80	5.89	6.89	5.96
10	4.14	3.58	4.16	3.60
16	2.64	2.28	2.65	2.29
25	1.69	1.47	1.70	1.48
35	1.24	1.08	1.25	1.08
50	0.94	0.81	0.94	0.81
70	0.67	0.58	0.67	0.58
95	0.51	0.44	0.50	0.43
120	0.42	0.36	0.41	0.35
150	0.36	0.31	0.35	0.30
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.25	0.22	0.24	0.21
300	0.22	0.19	0.21	0.18

**Tablo 6.33.**  $\cos \varphi = 0,9$  de bakır kablo için özgül gerilim düşümü

S[mm <sup>2</sup> ]	$\cos \varphi = 0.85$		iki damarlı 1-faz	üç damarlı 3-faz
	Tekdamarlı kablo 1-faz	3-faz		
1.5	25.34	21.94	25.79	22.34
2.5	15.31	13.26	15.55	13.47
4	9.62	8.33	9.76	8.45
6	6.45	5.59	6.53	5.65
10	3.93	3.41	3.95	3.42
16	2.51	2.18	2.52	2.18
25	1.62	1.41	1.63	1.41
35	1.20	1.04	1.19	1.03
50	0.91	0.79	0.90	0.78
70	0.66	0.57	0.65	0.56
95	0.50	0.44	0.49	0.42
120	0.42	0.36	0.40	0.35
150	0.36	0.31	0.35	0.30
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.22	0.24	0.21
300	0.22	0.19	0.21	0.18

**Tablo 6.34.**  $\cos \varphi = 0,85$  de bakır iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

S[mm <sup>2</sup> ]	$\cos \varphi = 0.75$		iki damarlı 1-faz	üç damarlı 3-faz
	Tekdamarlı kablo 1-faz	3-faz		
1.5	22.42	19.42	22.81	19.75
2.5	13.57	11.75	13.76	11.92
4	8.54	7.40	8.65	7.49
6	5.74	4.97	5.80	5.02
10	3.52	3.05	3.52	3.05
16	2.26	1.96	2.25	1.95
25	1.47	1.28	1.47	1.27
35	1.10	0.95	1.08	0.94
50	0.84	0.73	0.83	0.72
70	0.62	0.54	0.60	0.52
95	0.48	0.42	0.46	0.40
120	0.41	0.35	0.38	0.33
150	0.35	0.31	0.33	0.29
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.23	0.24	0.21
300	0.23	0.20	0.22	0.19

**Tablo 6.35.**  $\cos \varphi = 0,75$  de bakır kablolar için özgül gerilim düşümü

S [mm <sup>2</sup> ]	Tekdamarlı kablo		iki damarlı 1-faz	üç damarlı 3-faz
	1-faz	3-faz		
1.5	48.77	42.23	49.76	43.09
2.5	29.36	25.43	29.92	25.91
4	18.35	15.89	18.72	16.21
6	12.22	10.59	12.46	10.79
10	7.38	6.39	7.48	6.48
16	4.65	4.02	4.71	4.08
25	2.93	2.54	2.99	2.59
35	2.11	1.83	2.15	1.87
50	1.56	1.35	1.59	1.38
70	1.08	0.94	1.10	0.95
95	0.78	0.67	0.79	0.69
120	0.62	0.54	0.63	0.55
150	0.50	0.44	0.52	0.45
185	0.41	0.35	0.41	0.36
240	0.31	0.27	0.32	0.28
300	0.25	0.22	0.26	0.22

**Tablo 6.36.**  $\cos \varphi = 1$  de aluminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

S [mm <sup>2</sup> ]	$\cos \varphi = 0.9$			
	single-core cable		two-core cable	
	single-phase	three-phase	single-phase	three-phase
1.5	44.04	38.14	44.88	38.87
2.5	26.56	23.00	27.02	23.40
4	16.64	14.41	16.93	14.66
6	11.12	9.63	11.29	9.78
10	6.75	5.84	6.81	5.89
16	4.28	3.71	4.31	3.73
25	2.73	2.36	2.76	2.39
35	1.99	1.72	2.01	1.74
50	1.49	1.29	1.50	1.30
70	1.06	0.92	1.06	0.91
95	0.78	0.68	0.78	0.68
120	0.64	0.55	0.63	0.55
150	0.53	0.46	0.53	0.46
185	0.44	0.38	0.44	0.38
240	0.36	0.31	0.35	0.30
300	0.30	0.26	0.30	0.26

**Tablo 6.37.**  $\cos \varphi = 0,9$  de aluminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

S [mm <sup>2</sup> ]	$\cos \varphi = 0,8$			
	Tek damarlı kablo	3-fazlı ase	iki damarlı	3-damarlı
1-fazlı	3-fazlı	1-fazlı ase	3-fazlı	
1,5	39,22	33,96	39,95	34,59
2,5	23,67	20,50	24,07	20,84
4	14,85	12,86	15,09	13,07
6	9,94	8,61	10,08	8,73
10	6,05	5,24	6,09	5,27
16	3,85	3,34	3,87	3,35
25	2,47	2,14	2,49	2,16
35	1,81	1,57	1,82	1,57
50	1,37	1,18	1,37	1,18
70	0,98	0,85	0,97	0,84
95	0,74	0,64	0,73	0,63
120	0,61	0,53	0,59	0,51
150	0,51	0,45	0,50	0,44
185	0,43	0,38	0,42	0,36
240	0,36	0,31	0,34	0,30
300	0,31	0,27	0,30	0,26

**Tablo 6.38.**  $\cos \varphi = 0,8$  de aluminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

İletken Kesiti	$\cos \varphi = 0,85$			
	Tek damarlı kablo		2-damarlı	3-damarlı
S (mm <sup>2</sup> )	1-fazlı	3-fazlı	1-fazlı	3-fazlı
1,5	41,63	36,05	42,42	36,73
2,5	25,12	21,75	25,55	22,12
4	15,75	13,63	16,02	13,87
6	10,53	9,12	10,69	9,26
10	6,40	5,54	6,45	5,58
16	4,07	3,52	4,09	3,54
25	2,60	2,25	2,63	2,27
35	1,90	1,65	1,91	1,66
50	1,43	1,24	1,43	1,24
70	1,02	0,88	1,01	0,88
95	0,76	0,66	0,76	0,65
120	0,63	0,54	0,61	0,53
150	0,53	0,46	0,52	0,45
185	0,44	0,38	0,43	0,37
240	0,36	0,31	0,35	0,30
300	0,31	0,27	0,30	0,26

**Tablo 6.39.**  $\cos \varphi = 0,85$  güç faktörü için aluminyum iletkenli kablolar için  
özgül gerilim düşümü  $\cos \varphi = 0,75$

S [mm <sup>2</sup> ]	Tek damarlı kablo		iki damarlı	3-damarlı
	1-fazlı	3-fazlı	1-fazlı	3-fazlı
1,5	36,80	31,87	37,47	32,45
2,5	22,23	19,25	22,58	19,56
4	13,95	12,08	14,17	12,27
6	9,35	8,09	9,47	8,20
10	5,69	4,93	5,72	4,96
16	3,63	3,15	3,64	3,15
25	2,34	2,02	2,35	2,03
35	1,72	1,49	1,72	1,49
50	1,30	1,13	1,30	1,12
70	0,94	0,81	0,92	0,80
95	0,71	0,62	0,70	0,60
120	0,59	0,51	0,57	0,49
150	0,50	0,43	0,49	0,42
185	0,42	0,37	0,41	0,35
240	0,35	0,31	0,34	0,29
300	0,31	0,27	0,29	0,25

**Tablo 6.40.**  $\cos \varphi = 0,75$  de aluminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

### Örnek:

Aşağıda özellikleri verilen kablonun gerilim düşümü hesabı yapılacaktır.

- Nominal gerilim 400 V
- Kablo uzunluğu 25 m
- Kablo tipi Tek damarlı bakır kablo 3x50 mm<sup>2</sup>
- Yük akımı  $I_B = 100$  A
- Güç faktörü  $\cos \varphi = 0,9$

Tablo 6.33'den  $\Delta U_X = 0,81(V / A.km)$  elde edilir.

Kablodaki toplam gerilim düşümü

$$\Delta U = \Delta U_X \cdot I_B \cdot L = 0,81 \cdot 100 \cdot 0,025 = 2,03 \text{ V}$$

Bu gerilim düşümünün % değeri

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{2,03}{400} \cdot 100 = \%0,51$$

**Örnek:**

Aşağıda özellikleri verilen 3-fazlı kabloların gerilim düşümü hesaplanacaktır

- Nominal gerilimi 400 V
- Kablo uzunluğu 50 m
- Kablo tipi Çok damarlı bakır kablo 2x(3x10)
- Yük akımı  $I_b=50$  A
- Güç faktörü  $\cos \varphi = 0,85$

Tablo 6.34'den çok damarlı 10  $\text{mm}^2$  kablo için  $\Delta U_x = 3,42.(V / A \cdot \text{km})$  elde edilir.

Kablodaki toplam gerilim düşümü

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L / 2 = 3,42 \cdot 50 \cdot 0,05 / 2 = 4,28 V$$

Gerilim düşümünün % değeri

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{4,48}{400} \cdot 100 = \%1,07$$

### **6.8.2. Uzun kablo halinde gerilim düşümüne göre kablo kesitinin belirlenmesi**

Kablo kesitini belirlemek için  $\Delta U_{\max}$  gerilim düşümünü hesaplamak için aşağıdaki ifade kullanılır.

$$\Delta U_{X_{\max}} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_B \cdot L}$$

Bulunan değer Tablo 6.33'deki değerlerle karşılaştırılarak  $\Delta U_x$  değeri  $\Delta U_{X_{\max}}$  değerinden küçük alınarak kablo kesiti seçilir.

**Örnek:**

$P_N = 35kW, (U_r = 400V, f = 50Hz, \cos\varphi = 0,9)$  değerindeki bir yük çok damarlı EPR izolasyonlu delikli kablo tavasına serili bir kablo ile beslenecektir. Maksimum izinverilen gerilim düşümü %2 dir.

$$\text{Yük akımı } I_B = I_B = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos\varphi} = \frac{35.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 56.A$$

$$\%2 \text{ gerilim düşümü için } \Delta U_{X_{\max}} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_B \cdot L} = \frac{2\% \cdot 400}{100 \cdot 56 \cdot 0.14} = 1.02 \text{ V/(A} \cdot \text{km)}$$

Tablo 6.33'den  $50 \text{ mm}^2$  kablo seçilebilir.

Bu kesit için  $\Delta U_x = 0.81 < 1.02 \text{ V/(A} \cdot \text{km)}$ .

Elde edilen değer kullanılarak sonuçta

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_B \cdot L = 0.81 \cdot 56 \cdot 0.14 = 6.35 \text{ V}$$

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{6.35}{400} \cdot 100 = 1.6\%$$

bulunur.

Damar adedi ve kesiti  mm <sup>2</sup>	Doğru akım direnci  70 °C $R_d$ $\Omega/km$	Efektif direnç  70 °C $R_w$ $\Omega/km$	Reaktans  $X_L$ $\Omega/km$	$f(q) = R_w \cos \varphi + X_L \sin \varphi$					
				$\cos \varphi =$					
				0.95 $\Omega/km$	0.9 $\Omega/km$	0.8 $\Omega/km$	0.7 $\Omega/km$	0.6 $\Omega/km$	
4 x 1.5 re <sup>a</sup>	14.47	14.47	0.115	13.8	13.1	11.65	10.2	8.77	
4 x 2.5 re	8.71	8.71	0.110	8.31	7.89	7.03	6.18	5.31	
4 x 4 re	5.45	5.45	0.107	5.21	4.95	4.42	3.89	3.36	
4 x 6 re	3.62	3.62	0.100	3.47	3.30	2.96	2.61	2.25	
4 x 10 re	2.16	2.16	0.094	2.08	1.99	1.78	1.58	1.37	
4 x 16 re	1.36	1.36	0.090	1.32	1.26	1.14	1.02	0.888	
4 x 25 re	0.863	0.863	0.086	0.847	0.814	0.742	0.666	0.587	
4 x 35 sm	0.627	0.627	0.083	0.622	0.60	0.55	0.498	0.443	
4 x 35 re (Al)	1.055	1.055	0.083	1.03	0.986	0.894	0.8	0.699	
4 x 50 sm	0.463	0.463	0.083	0.466	0.453	0.42	0.38	0.344	
4 x 50 se (Al)	0.772	0.772	0.083	0.76	0.731	0.667	0.6	0.53	
4 x 70 sm	0.321	0.321	0.082	0.331	0.326	0.306	0.283	0.258	
4 x 70 se (Al)	0.534	0.534	0.082	0.533	0.516	0.476	0.432	0.386	
4 x 95 sm	0.231	0.232	0.082	0.246	0.245	0.235	0.221	0.205	
4 x 95 se (Al)	0.386	0.386	0.082	0.392	0.383	0.358	0.33	0.3	
4 x 120 sm	0.183	0.184	0.080	0.2	0.2	0.195	0.186	0.174	
4 x 120 se (Al)	0.305	0.305	0.080	0.315	0.309	0.292	0.271	0.247	
4 x 150 sm	0.149	0.150	0.080	0.168	0.17	0.168	0.162	0.154	
4 x 150 se (Al)	0.248	0.249	0.080	0.266	0.259	0.247	0.231	0.213	
4 x 185 sm	0.118	0.1202	0.080	0.139	0.143	0.144	0.141	0.136	
4 x 185 se (Al)	0.197	0.198	0.080	0.213	0.213	0.206	0.196	0.183	
4 x 240 sm	0.0901	0.0922	0.079	0.112	0.117	0.121	0.121	0.119	
4 x 300 sm (Al)	0.0718	0.0745	0.079	0.0954	0.101	0.107	0.109	0.108	

Yeterli doğrulukta 2,3,3,1/2 damarlı kablolar içinde geçerlidir.

(Al)

sm örtülü sektör kesitli  
se dolu sektör kesitli  
re dolu direksel kesitli

**Tablo 6.41.** PVC yalıtkanlı kablolar  $\frac{U_0}{U} = \frac{0.6}{1} kV$  (NYY, NYCY, NYCWY, NAYY, NACY, NAYCWW) in direnç reaktans değerleri

Damar adedi ve kesit mm <sup>2</sup>	Doğru akım direnci 90 °C $R_d$ Ω/km	Efektif direnç 90 °C $R_w$ Ω/km	Reaktans $z$ $X_L$ Ω/km	$f(l) = R_w \cos \varphi + X_L \sin \varphi$				
				$\cos \varphi =$				
				0.95	0.9	0.8	0.7	0.6
3 × 25/16 sm <sup>a</sup>	0.921	0.921	0.081	0.900	0.864	0.785	0.703	0.617
3 × 35/16 sm	0.668	0.669	0.078	0.660	0.636	0.582	0.524	0.464
3 × 50/25 sm (Al)	0.494 0.822	0.494 0.822	0.078 0.080	0.494 0.806	0.479 0.775	0.442 0.706	0.401 0.633	0.359 0.557
3 × 70/35 sm (Al)	0.342 0.568	0.342 0.568	0.076 0.079	0.349 0.564	0.341 0.546	0.319 0.502	0.294 0.454	0.266 0.404
3 × 95/50 sm (Al)	0.246 0.410	0.247 0.411	0.075 0.078	0.258 0.415	0.255 0.404	0.243 0.376	0.226 0.343	0.208 0.308
3 × 120/70 sm (Al)	0.195 0.324	0.196 0.325	0.075 0.077	0.210 0.333	0.209 0.326	0.202 0.306	0.191 0.282	0.178 0.257
3 × 150/95 sm (Al)	0.158 0.364	0.160 0.265	0.074 0.078	0.175 0.276	0.176 0.273	0.172 0.256	0.165 0.241	0.155 0.221
3 × 185/95 sm (Al)	0.126 0.210	0.128 0.212	0.075 0.078	0.145 0.226	0.148 0.225	0.147 0.216	0.143 0.204	0.137 0.190
3 × 240/120 sm (Al)	0.0961 0.160	0.0988 0.162	0.074 0.078	0.117 0.178	0.121 0.180	0.123 0.176	0.122 0.169	0.118 0.160
3 × 300/150 sm	0.0766	0.0799	0.074	0.099	0.104	0.108	0.109	0.107

4-damarlı kablolar içinde geçerlidir.

**Tablo 6.42. PVC yalıtkanlı çok damarlı AG kabloların direnç değerleri**

NYFGY BAKIR İLETKENLİ  
NAYFGY ALUMINYUM İLETKENLİ

NYSEY BAKIR İLETKENLİ  
NAYSEY ALUMINYUM İLETKENLİ

Damar adedi ve kesit mm <sup>2</sup>	Doğru akım direnci 20 °C $R_{20}$ Ω/km	İlave direnç $\Delta R$ Ω/km $\times 10^{-3}$	Maksimum sıcaklıkta efektif direnç $R_w$ Ω/km	Damar adedi ve kesit mm <sup>2</sup>	Doğru akım direnci 20 °C $R_{20}$ Ω/km	İlave direnç $\Delta R$ Ω/km $\times 10^{-3}$	Maksimum sıcaklıkta efektif direnç $R_w$ Ω/km
<b>3/5/6 kV</b>							
3 × 25 re	0.722	—	0.863	3 × 25 re/6	0.722	—	0.849
3 × 35 sm	0.524 0.876	1.0 0.9	0.628 1.056	3 × 35 rm/6	0.524 0.876	0.6 0.5	0.617 1.036
3 × 50 sm	0.387 0.641	1.2 1.1	0.464 0.773	3 × 50 rm/6	0.387 0.641	0.7 0.6	0.456 0.758
3 × 70 sm	0.268 0.443	1.5 1.3	0.322 0.535	3 × 70 rm/6	0.268 0.443	1.0 0.7	0.316 0.524
3 × 95 sm	0.193 0.320	1.9 1.6	0.233 0.387	3 × 95 rm/6	0.193 0.320	1.3 0.9	0.228 0.379
3 × 120 sm	0.153 0.253	2.2 1.8	0.185 0.306	3 × 120 rm/6	0.153 0.253	1.6 1.1	0.182 0.300
3 × 150 sm	0.124 0.206	2.6 2.1	0.151 0.250	3 × 150 rm/6	0.124 0.206	2.0 1.4	0.148 0.245
3 × 185 sm	0.0991 0.164	3.1 2.5	0.1216 0.200	3 × 185 rm/6	0.0991 0.164	2.5 1.7	0.1191 0.196
3 × 240 sm	0.0754 0.125	3.8 3.0	0.0939 0.154	3 × 240 rm/6	0.0754 0.125	3.4 2.3	0.0921 0.150

**Tablo 6.43. PVC yalıtkanlı çok damarlı OG kabloların direnç değerleri**

## ILETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI -ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM NOTLARI

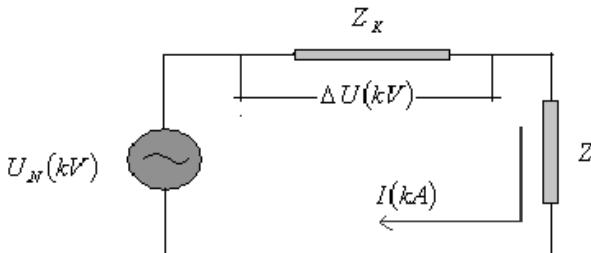
N2SYSY BAKIR İLETKENLİ NA2SYSY ALUMINYUM İLETKENLİ				N2XSY BAKIR İLETKENLİ NA2XSY ALUMINYUM İLETKENLİ			
Damar adedi ve kesit mm <sup>2</sup>	Doğru akım direnci 20°C $R_{20}$ Ω/km	İlave direnç $ΔR$ Ω/km × 10 <sup>-3</sup>	Maksimum sıcaklıkta efektif direnç $R_w$ Ω/km	Damar adedi ve kesit mm <sup>2</sup>	Doğru akım direnci 20°C $R_{20}$ Ω/km	İlave direnç $ΔR$ Ω/km × 10 <sup>-3</sup>	Maksimum sıcaklıkta efektif direnç $R_w$ Ω/km
<b>6/10 kV</b>				<b>6/10 kV</b>			
3 × 35 sm	0.524	0.8	0.6278	3 × 35 sm	0.524	0.8	0.6690
3 × 50 sm	0.387 0.641	0.9 0.8	0.4639 0.7710	3 × 50 sm	0.387 0.641	0.9 0.8	0.4944 0.8226
3 × 70 sm	0.268 0.443	1.1 0.9	0.3218 0.5332	3 × 70 sm	0.268 0.443	1.0 0.9	0.3427 0.5689
3 × 95 sm	0.193 0.320	1.3 1.0	0.2322 0.3855	3 × 95 sm	0.193 0.320	1.2 1.0	0.2473 0.4113
3 × 120 sm	0.153 0.253	1.5 1.2	0.1846 0.3052	3 × 120 sm	0.153 0.253	1.5 1.1	0.1966 0.3255
3 × 150 sm	0.124 0.206	2.2 1.7	0.1506 0.2492	3 × 150 sm	0.124 0.206	2.0 1.6	0.1601 0.2657
3 × 185 sm	0.0991 0.164	2.5 1.9	0.1211 0.1989	3 × 185 sm	0.0991 0.164	2.3 1.8	0.1287 0.2121
3 × 240 sm	0.0754 0.125	3.1 2.3	0.0933 0.1525	3 × 240 sm	0.0754 0.125	2.9 2.1	0.0990 0.1624

**Tablo 6.44.** PE yalıtkanlı kabloların direnç değerleri XLPE yalıtkanlı kabloların direnç değerleri

### 6.8.3. MVA metodu ile gerilim düşümü hesapları

Enerji kaynağı ile tüketici arasındaki devre elemanlarının kısa devre güçlerinden yararlanarak herhangi şebeke boyunca gerilim kademelerinden dolayı eleman empedanslarında herhangi bir gerilim transformasyonuna gerek kalmadan gerilim düşümü hesapları kolayca yapılabilir.

Gerilim düşümü hesapları ile ilgili ifadeler aşağıda verilecektir.



Şekil 6.32. Empedans diyagramı

$Z_K$  (ohm) Tüketici uçlarına kadar olan toplam devre empedansı

$S_{SC}$  (MVA) Tüketici uçlarına kadar olan toplam kısa devre gücü

$Z$  (ohm) Tüketici empedansı

$S_L$  (MVA) Tüketici gücü

Devre empedanslarının kısa devre güçleri ve yükler cinsinden ifadeleri

$$\text{Şebeke empedansı } Z_N = \frac{U_1^2}{S_{SCN}}$$

$$\text{Transformatör empedansı } Z_T = \frac{U_1^2}{S_{SCT}}$$

$$\text{Transformatör kısa devre gücü } S_{SCT} = \frac{S_T}{u_{SCT}}$$

$S_T$  Transformatör gücü

$$\text{Yük empedansları } Z_{L1} = \frac{U_1^2}{S_{L1}}, Z_{L2} = \frac{U_1^2}{S_{L2}}$$

Devreden akan akım

$$I = \frac{U_N(kV)}{\sqrt{3} \cdot (Z_K + Z)}$$

Devrede meydana gelen gerilim düşümü

$$\Delta U(kV) = \sqrt{3} \cdot Z_K \cdot I = \sqrt{3} \cdot Z_K \cdot \frac{U_N(kV)}{\sqrt{3} \cdot (Z_K + Z)} = U_N(kV) \cdot \frac{Z_K}{Z_K + Z}(kV)$$

Tüketici uçlarına kadar olan toplam devre empedansı

$$Z_K = \frac{U_N^2(kV)^2}{S_{SC}(MVA)} \cdot (ohm)$$

Tüketici empedansı

$$Z = \frac{U_N^2}{S_L(MVA)} \cdot (ohm)$$

Empedans değerleri yukarıdaki ifadede yerlerine konursa

$$\Delta U(kV) = U_N \cdot \frac{\frac{U_N^2}{S_{SC}}}{\frac{U_N^2}{S_{SC}} + \frac{U_N^2}{S_L}} = \frac{S_L(MVA)}{S_{SC}'' + S_L(MVA)} \cdot U_N(kV)$$

Gerilim düşümünü % cinsiden bulunmak istenirse

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_L}{S_{SC}'' + S_L} \cdot 100$$

**Örnek:** Şekil 6.33'deki M1 motorunun sürekli çalışmada çekerceği elektriksel güç 2,53 MVA ve yol alma esnasında çekerceği güç ise 12,27 MVA dır. Motorun klemenslerine kadar olan sürekli çalışma ve yol alma hallerine ait gerilim düşümleri bulunacaktır. Kablonun kısa devre gücü:

$$S_{KABM1} = 1102 MVA$$

Motor klemenslerine kadar olan toplam kısa devre gücü

$$S_{K212}'' = \frac{1}{\frac{1}{184,44} + \frac{1}{105} + \frac{1}{1102}} = 63,2 \cdot (MVA)$$

**1. Sürekli çalışma hali için gerilim düşümü**

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_{M1}}{S''_{K212} + S_{M1}} \cdot 100 = \frac{2,53}{63,2 + 2,53} \cdot 100 = \%3,585$$

Bu gerilim düşümü sisteme sadece M1 motoru çalışırken 154kV şebekeden itibaren M3 motorunun klemenslerine kadar olan gerilim düşümüdür. Ancak sistem boyunca TR2 transformatorundan diğer yüklerde çekileceğinden gerilim düşümü daha yüksek olacaktır.

**2. Motorun yol alması halinde motor terminallerine kadar olan gerilim düşümü**

Motorun yol alma esnasında şebekeden çekerceği güç aynı zamanda motorun kısa devre gücü olup

$$S_M = 1900kW, \dots \eta = 0,95, \dots \cos \varphi = 0,85$$

ve

$$S''_{SCM1} = 5,3 \cdot \frac{1900}{0,85 \cdot 0,95} = 12,47(MVA) \text{ dir}$$

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_{SCM1}}{S''_K + S_{SCM1}} \cdot 100 = \frac{12,47}{63,2 + 12,47} \cdot 100 = \%16,47$$

olacaktır.

Eğer TR1 transformatörünün sekonder gerilimi yükte kademe değiştirici vasıtasyyla yük değişimlerinde sabit tutulursa TR1 transformatör sekonder baralarına kadar enerji kaynağı iç direnci sıfır olan enerji kaynağı olarak varsayılabildiğinden  $S_{SCN} = \infty$  dir. Buna göre Motor klemenslerine kadar kısa devre gücü

$$S''_{K212} = \frac{1}{\frac{1}{S_{SCN}} + \frac{1}{S''_{ENH1}} \frac{1}{S''_{TR2}} + \frac{1}{S''_{KABM1}}} = \frac{1}{\frac{1}{\infty} + \frac{1}{3427} + \frac{1}{105} + \frac{1}{1102}} = 93.(MVA)$$

Motorun sürekli çalışma durumunda

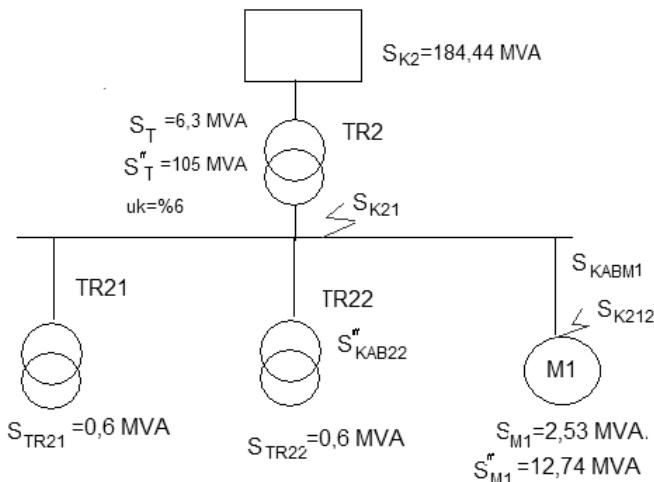
$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_{M1}}{S''_{K212} + S_{M1}} \cdot 100 = \frac{2,35}{93 + 2.35} \cdot 100 = \%2,47$$

Motorun yol alma durumunda

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_{M1}}{S''_K + S_{M1}} \cdot 100 = \frac{12,47}{93 + 12,47} \cdot 100 = \%11,8$$

olacaktır.

Sistemden birden fazla yük çekildiği durumlarda gerilim düşümü hesabı



Şekil 6.33. Sistemde birden fazla yük çekilme hali

Burada iki durumda oluşan gerilim düşümlerinin toplamı göz önüne alınacaktır.

1. Tesiste devrede olan diğer yüklerden dolayı oluşan gerilim düşümü

$$\Delta u_1(\%) = \frac{S}{S''_{K21} + S} \cdot 100 \quad S = S_{TR21} + S_{TR22}$$

2. Motor yükünden oluşan gerilim düşümü

$$\Delta u_2 = \frac{S_{M1}}{S_{K212} + S_{M1}}$$

M1 motorunun bağlantı noktasındaki toplam gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \left( \frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{M1}}{S''_{K212} + S_{M1}} \right) \cdot 100$$

**Örnek:** Şekil 6.33'de verilen tek hat şemasında  $S''_{K21} = 67.(\text{MVA})$  ve  $S''_{K212} = 63,2.(\text{MVA})$  dir. M3 motorunun sürekli çalışmada çekenceği güç 2,53 MVA ve yol alma esnasında çekenceği güç ise 12,27 MVA dir. Transformatorlardan herbirinin çekenceği güç ise 0,6 (MVA) dir. Motorun klemenslerine kadar olan sürekli çalışma ve yol alma hallerine ait gerilim düşümleri bulunacaktır.

Motorun yol alma motor terminallerine kadar olan gerilim düşümü

$$S = S_{TR21} + S_{TR22} = 0,6 + 0,6 = 1,2.(\text{MVA})$$

$$\Delta u(\%) = \left( \frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{SCM1}}{S''_{K212} + S_{SCM1}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,2}{67 + 1,2} + \frac{12,47}{63,2 + 12,47} \right) \cdot 100 = \%18,24$$

Sürekli çalışma halinde motor terminallerine kadar olan gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \left( \frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{M1}}{S''_{K212} + S_{M1}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,2}{67 + 1,2} + \frac{2,53}{63,2 + 2,53} \right) \cdot 100 = \%5,7$$

Sürekli çalışma halinde ise motorun şebekeden çektiği akımı veya gücü motor miline bağlanan yük belirler gerilimin düşmesi halinde dahi motor şebekeden aynı gücü çeker.

TR2 ana besleme barasındaki gerilim düşümü

M1 motorunun yol alması halinde

$$\Delta u(\%) = \left( \frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{SCM1}}{S''_{K21} + S_{SCM1}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,2}{67 + 1,2} + \frac{12,47}{67 + 12,47} \right) \cdot 100 = \%17,45$$

Motorun sürekli çalışması halinde

$$\Delta u(\%) = \left( \frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{M1}}{S''_{K21} + S_{M1}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,2}{67 + 1,2} + \frac{2,53}{67 + 2,53} \right) \cdot 100 = \%5,17$$

Eğer Şekil 6.33'de görülen TR1 ana indirici transformatörün sekonder gerilimi, yüküyken kademe değişimlerine karşı sabit tutulursa; iç direnci sıfır olan besleme kaynağı olarak varsayılar.

Buna göre  $S''_{K1} = \infty$  olduğundan

$$S''_{K212} = \frac{1}{\frac{1}{S''_{ENH1}} + \frac{1}{S''_{TR2}}} = \frac{1}{\frac{1}{3427} + \frac{1}{105}} = 102.(MVA),$$

$S''_{K212} = 93.(MVA)$  olacaktır.

Motorun yol alma motor terminallerine kadar olan gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \left( \frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{SCM1}}{S''_{K212} + S_{SCM1}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,2}{102 + 1,2} + \frac{12,47}{93 + 12,47} \right) \cdot 100 = \%12,36$$

TR2 ana besleme barasındaki gerilim düşümü

M1 motorunun yol alması halinde

$$\Delta u(\%) = \left( \frac{S}{S_{K21}'' + S} + \frac{S_{SCM1}}{S_{K21}'' + S_{SCM1}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,2}{105 + 1,2} + \frac{12,47}{105 + 12,47} \right) \cdot 100 = \%11,8$$

Motorun sürekli çalışması halinde

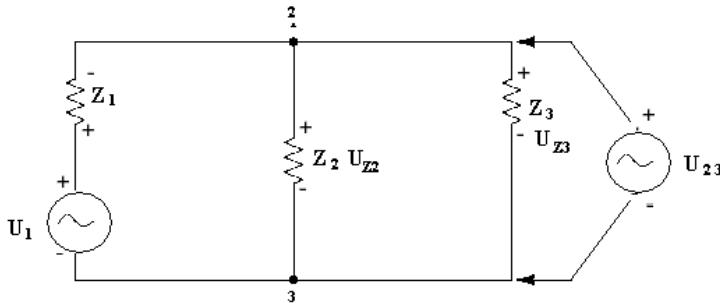
$$\Delta u(\%) = \left( \frac{S}{S_{K21}'' + S} + \frac{S_{M1}}{S_{K21}'' + S_{M1}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{1,2}{105 + 1,2} + \frac{2,53}{105 + 2,53} \right) \cdot 100 = \%3,38$$

#### 6.8.4. Radyal şebekelerde Millman Teoremi yardımıyla dağıtım merkezlerinin ana baralarındaki gerilimin belirlenmesi ve gerilim düşümünün bulunması

Radyal şebekelerin dağıtım merkezlerinde transformatörün regülasyonunu yani dağıtım baralarındaki gerilim ayarını yapabilmek ve bu baralarda bulunan düşük gerilim, aşırı akım, aşırı yük rölelerinin açtırma eşik değeri ve açtırma sürelerini belirleyebilmek ve aynı zamanda şebekenin dinamik stabilitesini görebilmek için gerek sürekli rejim halinde ve gerekse sisteme motorların yol almasında olduğu gibi darbeli yüklenme durumlarında dağıtım merkezlerindeki ana baralarda gerilimin değerinin bilinmesi gerekir. Omik veya diğer adıyla empedans metodu ile yapılan gerilim düşümü hesaplarında işlem adedinin ve işlemdeki küsüratın fazla ve özellikle geniş ve diğer baralarda şebekeden çekilen yük sayısının yüksek oluşu hesap karmaşasına ve hesap hatalarının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle çoğu zaman şebekeler projelendirilirken yük dağılım analizi ve transiyent yüklenmenin ortaya çıkardığı dinamik stabilitenin belirlenmesi gibi bir çalışma yapılmamamaktadır. Sonuçta dağıtım şebekelerinde sık sık enerji kesilmelerine raslanılmaktadır. Aşağıda açıklanacak metotla dağıtım baralarındaki gerilim oldukça işlem basitliği ve çabukluğu sağlamaktadır.

Millman teoreminin açıklanması:

Şekil 6.34'de tek taraftan beslenen radyal şebekenin devre şemasında  $Z_2$  ve  $Z_3$ , 2 barasına paralel bağlı tüketici yük empedansları olup  $Z_1$ , 2 barası ile  $U_1$  güç kaynağı arasındaki bağlantı empedanslarını göstermektedir.



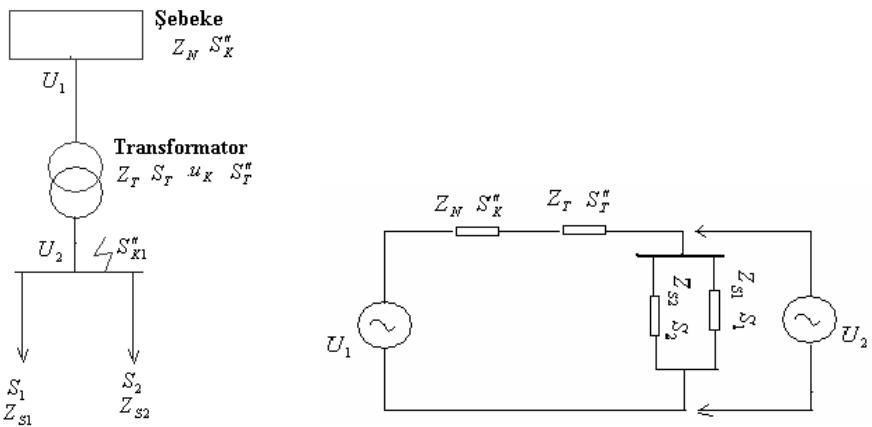
Şekil 6.34. Tek taraftan beslenen elektrik devresi

Yukardaki verilen elektrik devresi için Millman teoremine göre aşağıdaki ifade yazılır

$$U_{23} = \frac{\frac{U_1}{Z_1} + \frac{U_{Z2}}{Z_2} + \frac{U_{Z3}}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} = \frac{\frac{U_1}{Z_1}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} \Rightarrow U_{Z2} = U_{Z3} = 0$$

$Z_2$  ve  $Z_3$  yük empedanslarına ait kollarla herhangi bir güç kaynağı bağlı olmadığından  $U_{Z2}$  ve  $U_{Z3}$  gerilim değerleri sıfır alınacaktır

1-Kademeli radyal şebekede Millman teoremine göre dağıtım barasındaki gerilim ifadesi



**Şekil 6.35.a.** 1-kademeli radyal şebekе **Şekil 6.35.b.** 1-kademeli radyal şebekе devre şeması

$$U_2 = \frac{\frac{U_1}{Z_N + Z_T}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} \cdot U_1$$

Devre empedanslarının kısa devre güçleri ve yükler cinsinden ifadeleri

$$\text{Şebeke empedansı } Z_N = \frac{U_1^2}{S''_K}$$

$$\text{Transformatör empedansı } Z_T = \frac{U_1^2}{S''_T}$$

$$\text{Transformatör kısa devre gücü } S''_T = \frac{S_T}{u_K}$$

$S_T$  Transformatör gücü

$$\text{Yük empedansları } Z_{S1} = \frac{U_1^2}{S_1}, Z_{S2} = \frac{U_1^2}{S_2}$$

(2) ifadesi empedanslar yerine yük güçleri ve kısa devre güçleri cinsinden yazılıp sadeleştirilirse  $U_1$  olarak sekonder bara tarafında transformatörün sekonder boşta gerilimi alınabilir. Yük empedansları yerine yukarıda belirtilen gerilim ve kısa devre güçleri veya yük cinsinden değerleri (2) ifadesi cinsinden yerine konup sadeleştirilirse

$$S''_{K1} = \frac{1}{\frac{1}{S''_K} + \frac{1}{S''_T}} \quad U_2 \quad \text{Barasının kısa devre gücü olmak}$$

üzere

$$U_2 = \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + S_1 + S_2} \cdot U_1 \text{ ifadesi elde edilir.}$$

*Metodun uygulanmasında dikkat edilecek noktalar:*

1. Özellikle şebeke bağlantılarını gerçekleştiren kablo veya enerji nakil hatlarıyla kablo hatlarının kısadevre gücü bulunurken bağlı olduğu taraftaki transformatörün boşta gerilim değeri esas alınacaktır.

2. Gerilim değerleri bulunurken bağlı olduğu kademedeki transformatörün boşta sekonder gerilimi esas alınacaktır.

**Örnek:** Aşağıdaki örneğimize ilişkin Şekil 6.35'de şebeke kısa devre gücü  $S''_K = 1500MVA$ , transformator gücü  $S_T = 25MVA$ , Transformatör empedans gerilimi (nisbi kısa devre gerilimi)  $u_k = \%11$

Transformatörün boşta çevirme oranı 154/31,5 kV.  $U_2$  barasından çekilen güçler:

$$S_1 = 8MVA, S_2 = 10MVA \text{ (sürekli) ve } S_2 = 18MVA$$

(15 sn süreyle darbeli).

31,5 kV barada gerilim değerleri bulunacaktır.

### 1. Darbesiz yük çekme durumu

Transformatörün kısa devre gücü

$$S''_T = \frac{S_T}{u_k} = \frac{25}{\frac{11}{100}} \approx 227,27MVA$$

$$S''_{K1} = \frac{1}{\frac{1}{S''_K} + \frac{1}{S''_T}} = \frac{1}{\frac{1}{1500} + \frac{1}{227,27}} \approx 197,37MVA$$

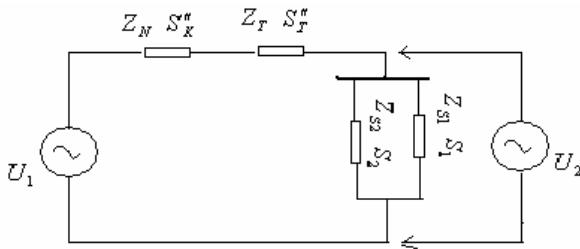
Dağıtım barası gerilimi

$$U_2 = \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + S_1 + S_2} \cdot U_1 = \frac{197,37}{197,37 + 8 + 10} \cdot 31,5 = 28,862kV$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{31,5 - 28,862}{31,5} \cdot 100 = \%8,37$$

Devre omik metotla çözülürse



Devre empedansları

$$\text{Şebeke empedansı } Z_N = \frac{U_1^2}{S''_K} = \frac{(154)^2}{1500} = 15,811 \text{ ohm}$$

31,5 kV tarafına çevrilmesi

Şebeke empedansı

$$Z_N = \frac{U_1^2}{S''_K} \cdot \left( \frac{31,5}{154} \right)^2 = 15,811 \cdot \left( \frac{31,5}{154} \right)^2 = 0,662 \text{ ohm}$$

Transformatör empedansı

$$Z_T = u_K \frac{U_1^2}{S_T} = 0,11 \frac{(31,5)^2}{25} = 4,366 \text{ ohm}$$

Yük empedansları

$$1. \text{ yük empedansı } Z_{S1} = \frac{U_1^2}{S_1} = \frac{(31,5)^2}{8} = 124 \text{ ohm}$$

$$2. \text{ yük empedansı } Z_{S2} = \frac{U_1^2}{S_2} = \frac{(31,5)^2}{10} = 99,23 \text{ ohm}$$

Toplam yük empedansı

$$Z_S = \frac{1}{\frac{1}{Z_{S1}} + \frac{1}{Z_{S2}}} = \frac{1}{\frac{1}{124} + \frac{1}{99,23}} = 55,12 \text{ ohm}$$

Toplam devre direnci

$$\sum Z = Z_N + Z_T + Z_S = 0,662 + 4,366 + 55,12 = 60,15 \text{ ohm}$$

Devreden geçen akım  $I = \frac{U_1}{\sqrt{3} \cdot \sum Z} = \frac{31500}{\sqrt{3} \cdot 60,15} = 302,35 \text{ A}$

$U_2$  barasına kadar gerilim düşümü

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (Z_N + Z_T) I = \sqrt{3} (0,662 + 4,366) \cdot 302,35 = 2633 \text{ Volt}$$

(%) gerilim düşümü  $\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_1} \cdot 100 = \frac{2633}{31500} \cdot 100 = \%8,36$

$U_2$  barasındaki gerilim

$$U_2 = U_1 - \Delta U = 31,5 - 2,633 = 28,867 \text{ Volt}$$

İki metotla da bulunan gerilimler arasındaki fark, 5 Volt olarak görülmektedir. Söz konusu fark, işlem esnasında küsüratların yuvarlatılmasından ileri gelmektedir.

*2. Darbeli yük durumu*

Bu durumda  $S_2 = 18 \text{ MVA}$  olacağından

$$U_2 = \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + S_1 + S_2} \cdot U_1 = \frac{197,37}{197,37 + 8 + 18} \cdot 31,5 = 27,833 \text{ kV}$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{31,5 - 27,833}{31,5} \cdot 100 = \%11,64$$

İndirici merkez ana dağıtım barasında bu derece gerilim düşümü dinamik stabilité açısından çok büyük bir değerdir.

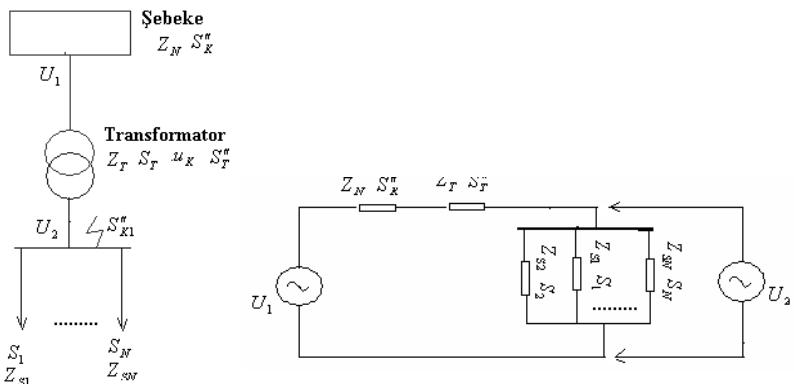
Bu gibi durumlarda yapılabilecekler

- Transformatör gücü büyütülür

- Transformatörün sekonder çıkış kademesi boşta kademe değiştiricisi vasıtasıyla 33kV'a ayarlanır. Bu ise yük değişimleri sık olan şebekelerde yükün az olduğu saatlerde gerilim yükselmelerine neden olur.
- Transformatör yükte kademe değiştirici ile donatılarak sekonder çıkış gerilimi 31,5 kV değerinde sabit tutulur. Gerilimin sabit tutulması durumunda sekonder baralar sonsuz güçlü şebeke gibi kabul edilebilir.

Aynı baradan N sayıda yük çekilmesi durumu

Aynı dağıtım barasından birçok besleme veya nakil hatları çıktıği durumlarda  $U_2$  barasındaki gerilim ifadesi



**Şekil 6.36.a.** 1- kademeli radyal şebekede **Şekil 6.36.b.** Besleme şekline ait devre şeması

N adet yükün besleme durumu

$U_2$  barasındaki gerilim ifadesi

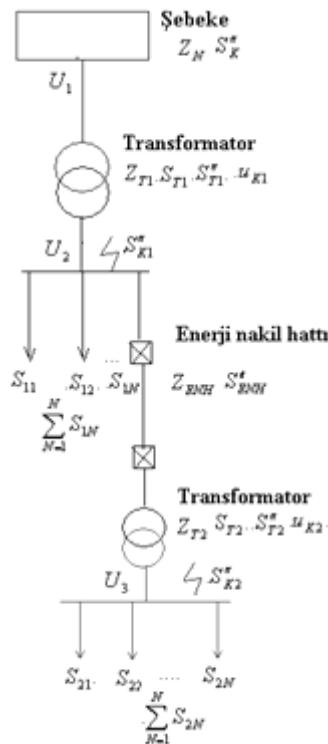
$$U_2 = \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + S_1 + S_2 + \dots + S_N} \cdot U_1 \quad (5)$$

Genel olarak ifade edilirse

$$U_2 = \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + \sum_{N=1}^N S_N} \cdot U_1 \quad (6)$$

yazılır.

2-kademeli radyal şebekede 2.kademedeki dağıtım barasındaki gerilim



**Şekil 6.37.** 2-Kademeli radyal şebekе

İkinci kademedeki  $U_3$  gerilimi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot U_2 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot \frac{S''_{K1}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{1N}} \cdot U_1$$

$U_2$  geriliminin ifadesi yerine konduğunda

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot \frac{S''_{K1}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{1N}} \cdot U_1$$

**Örnek :** Şebeke kısa devre gücü  $S''_K = 1500MVA$ , 1. transformatöre ait değerler transformatör gücü  $S_T = 25MVA$ , transformatör empedans gerilimi (nisbi kısa devre gerilimi)  $u_k = \%11$  transformatorün boşta çevirme oranı  $154/31,5$  kV .  $U_2$  barasından çekilen güçler

$\sum S_{1N} = 10MVA$ ,  $\sum S_{2N} = 2MVA$  (sürekli) ve  $\sum S_{2N} = 13MVA$  (15 saniye süre ile darbeli) gücü 630m uzunlığında 3x3/0 AWG PIGEON hattı ile 31,5 kV ana baraya bağlı 31,5/6,3 kV dağıtım transformatörü üzerinden çekilmektedir. 2. transformatöre ait değerler, transformatör gücü  $S_T = 6,3MVA$ , transformatör empedans gerilimi (nisbi kısa devre gerilimi)  $u_k = \%5,74$  transformatorün boşta çevirme oranı  $31,5/6,3$  kV . 6,3 kV barada gerilim değerleri bulunacaktır.

**Ana indirici merkezdeki transformatörde, yükte kademe değiştircisinin bulunmadığı**

***şebekede darbesiz yük bulunmaması durumunda***

Enerji nakil hattının empedansı

Tek devre 3x3/0 (PIGEON) hattın km başına birim empedansı

$z_{ENH1} = 0,338 + j0,348 \text{ (ohm/km)}$  olup  
 $L_{ENH1} = 0,63 \text{ km}$  dir

Hattın toplam empedansı

$$Z_{ENH1} = 0,63 \cdot \sqrt{0,338^2 + 0,348^2} = 0,306 \text{ ohm}$$

Kısa devre gücü  $S''_{ENH1} = \frac{(31,5)^2}{0,306} = 3427 \text{ MVA}$

1. transformatörün kısa devre gücü

$$S''_{T1} = \frac{S_{T1}}{u_{K1}} = \frac{25}{\frac{11}{100}} \approx 227,27 \text{ MVA}$$

2. transformatörün kısa devre gücü

$$S''_{T2} = \frac{S_{T2}}{u_{K2}} = \frac{6,3}{\frac{5,74}{100}} \approx 110 \text{ MVA}$$

2. kademe dağıtım barasının kısa devre gücü

$$S''_{K2} = \frac{1}{\frac{1}{S''_K} + \frac{1}{S''_{T1}} + \frac{1}{S''_{ENH1}} + \frac{1}{S''_{T2}}} = \frac{1}{\frac{1}{1500} + \frac{1}{227,27} + \frac{1}{3427} + \frac{1}{110}} \approx 69,2 \text{ MVA}$$

2. kademe dağıtım barasındaki gerilim

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + \sum_{N=1}^N S_{1N}} \cdot U_1 = \frac{69,2}{69,2 + 2} \cdot \frac{197,37}{197,37 + 10} \cdot 6,3 = 5,56 \text{ kV}$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{6,3 - 5,56}{6,3} \cdot 100 = \%11,75$$

***darbeli yük çekme durumunda***

2. kademe dağıtım barasına bağlanan motora yol verildiğinde 11MVA değerinde motorun yol verme yükü ile yüklendiğinde

1. kademedeki toplam yük  $\sum S_{1N} = 10 \text{ MVA} + 11 \text{ MVA} = 20 \text{ MVA}$  ve

2. kademedeki toplam yük  $\sum S_{2N} = 2MVA + 11MVA = 13MVA$  olacaktır.

2. kademe baradaki gerilim düşümü

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{\sum_{N=1}^N S''_{K2}} \cdot \frac{S''_{K1}}{\sum_{N=1}^N S''_{K1}} \cdot U_1 = \frac{69,2}{69,2 + 13} \cdot \frac{197,37}{197,37 + 20} \cdot 6,3 = 4,816kV$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{6,3 - 4,816}{6,3} \cdot 100 = \%23,6$$

Görüleceği üzere gerilim düşümünün daha dağıtım baralarında %23,6 olması dolayısıyla motorun yol direkt yol alamayacağı gibi baraya bağlı diğer fiderlerde gerilim düşümünün aşırı derecede olmasından dolayı devre dışı olacaktır. Sistem bu haliyle söz konusu motorun yol alması için uygun değildir.

**2. Ana indirici merkezde 31,5 kV sekonder gerilimi sabit tutmak için yükte kademe değiştiricinin bulunduğu durumlarda ise**

***darbesiz yük çekilme durumunda***

Ana indirici merkezde 31,5 kV sekonder gerilim yükte kademe değiştirici vasıtasıyla sabit tutulduğunda ana dağıtım barası kısa devre gücü  $S''_{K1}$  yaklaşık sonsuz kabul edilebilir.

Bu durumda 2.kademe dağıtım barası kısa devre gücü

$$S''_{K2} = \frac{1}{\frac{1}{S''_{ENH1}} + \frac{1}{S''_{T2}}} = \frac{1}{\frac{1}{3427} + \frac{1}{110}} \approx 106,6MVA$$

Bara gerilimi ise

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot U_1 = \frac{106,6}{106,6 + 2} \cdot 6,3 = 6,184 \text{ kV}$$

Gerilim düşümü ise

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{6,3 - 6,184}{6,3} \cdot 100 = \%1,86 \text{ olacaktır}$$

### **Darbeli yük durumunda**

Bara gerilimi

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot U_1 = \frac{106,6}{106,6 + 13} \cdot 6,3 = 5,615 \text{ kV}$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{6,3 - 5,615}{6,3} \cdot 100 = \%10,9$$

Sistem söz konusu motora yol vermeye uygun hale gelir.

J- Sayıda kademeye sahip Radyal şebekelerde kademesindeki dağıtım barasının  $U_{J+1}$  gerilimi

$$U_{J+1} = \frac{S''_{K1} \cdot S''_{K2} \cdot \dots \cdot S''_{KN}}{\left( S''_{K1} + \sum_{N=1}^N S_{1N} \right) \left( S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N} \right) \dots \left( S''_{KN} + \sum_{N=1}^N S_{JN} \right)} \cdot U_1$$

yazılır ve

Genel olarak gerilim düşümü

$$U_{N+1} = \frac{\prod_{N=1}^N S''_{KN}}{\prod_{J=1}^{J=N} \left( S''_{KJ} + \sum_{N=1}^N S_{JK} \right)} \cdot U_1 \text{ ifadesiyle belirlenir.}$$

## 6.9. Kablo ısınma kayıpları

S [mm <sup>2</sup> ]	Tek damarlı kablo		İki damarlı/üç damarlı kablo	
	Cu	Al	Cu	Al
1.5	14.8	24.384	15.1	24.878
2.5	8.91	14.680	9.08	14.960
4	5.57	9.177	5.68	9.358
6	3.71	6.112	3.78	6.228
10	2.24	3.691	2.27	3.740
16	1.41	2.323	1.43	2.356
25	0.889	1.465	0.907	1.494
35	0.641	1.056	0.654	1.077
50	0.473	0.779	0.483	0.796
70	0.328	0.540	0.334	0.550
95	0.236	0.389	0.241	0.397
120	0.188	0.310	0.191	0.315
150	0.153	0.252	0.157	0.259
185	0.123	0.203	0.125	0.206
240	0.0943	0.155	0.0966	0.159
300	0.0761	0.125	0.078	0.129

**Tablo 6.45.**  $80^{\circ}\text{C}$ ’de tek ve çok damarlı kabloların direnç değerleri (ohm/km)  
3-fazlı sistemde kayıplar  $P_j = \frac{2 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000}$  [W]

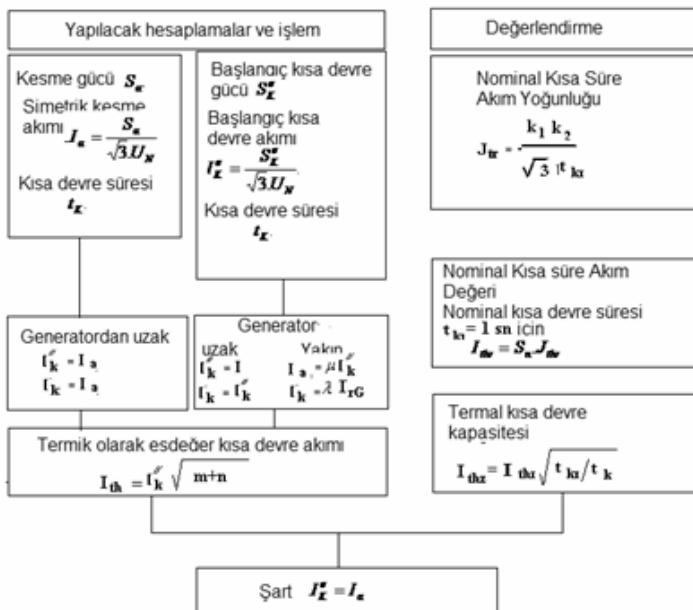
1-fazlı sistemde kayıplar  $P_j = \frac{3 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000}$  [W]  
burada

- $I_b$  yük akımı (A)
- $r$  birim başına kablo uzunluğundaki özgül direnç (Tablo 27)
- $L$  kablo uzunluğu.

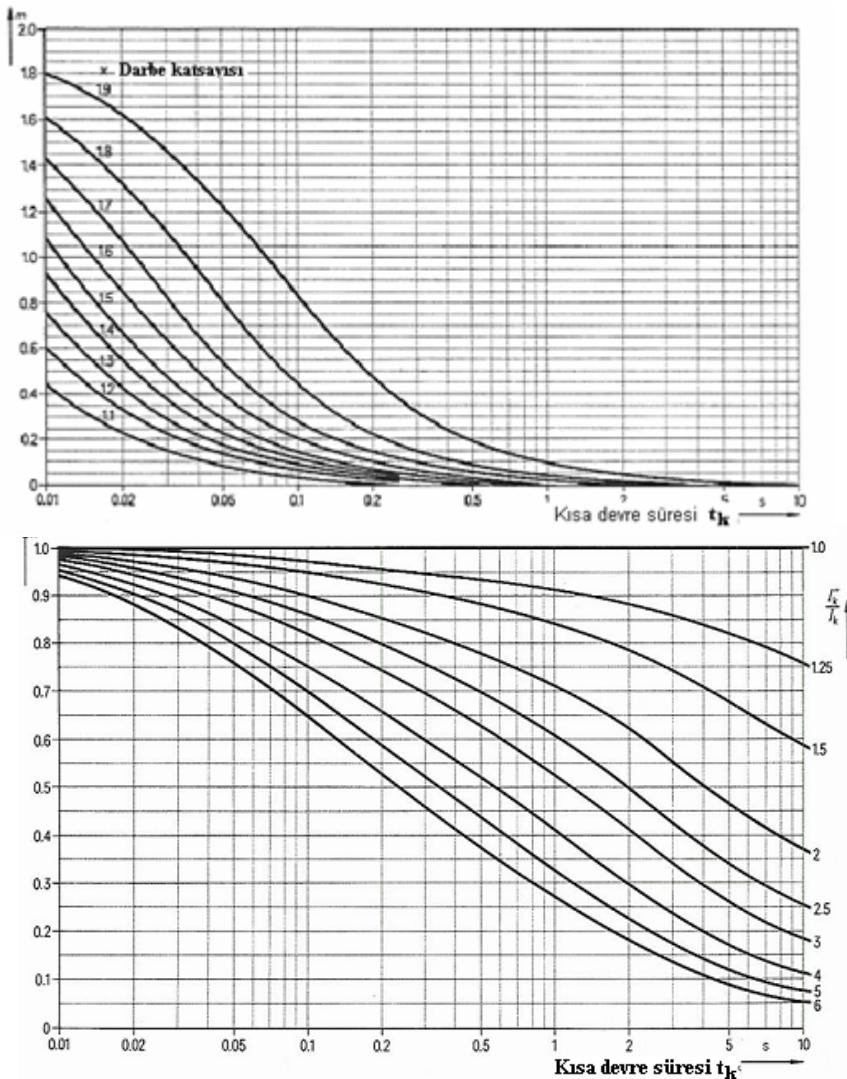
## 6.10. Kabloların kısa devre şartları altında isınma açısından kontrolü

### 6.10.1 Kısa devre şartları altındaki performans

Aşağıdaki şekildeki veriler esas alınarak kısa devre zorlamalara uygun iletken ve ekran kesitinin tesbit edilmesi gereklidir. Bir iletken kesiti,  $t_k$  kısa devre süresinde  $I_{th}$  termal eşdeğer kısa devre akımı olmak üzere  $I_{th} \leq I_{thz}$  şartlarını yerine getirdiğinde uygun olarak seçilmiş demektir. Burada  $I_{thz}$ , termal şartlar tarafından belirlenen termal kısa devre kapasitesidir.



**Şekil 6.38.** Kısa devre şartları altında  $I_{th}$  ve  $I_{thz}$



Şekil 6.39. Eşdeğer kısa devre akımı  $I_{th}$  hesabı için  $m$  ve  $n$  faktörleri

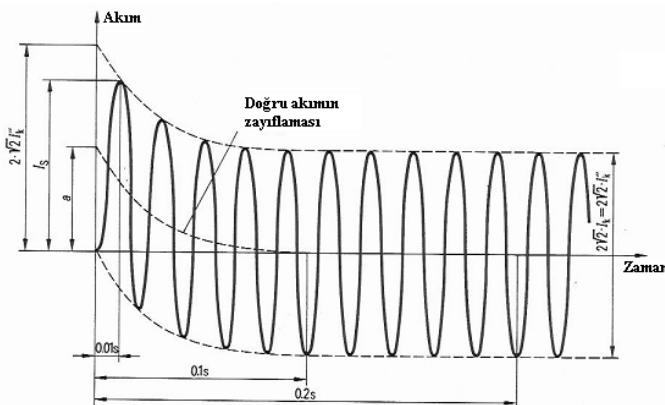
### **6.10.2. Kısa devre çalışması:**

Hesaplamalar için başlangıç simetrik kısa devre gücü  $S_k''$  veya sistemi besleme şebekesine bağlayan kesicinin kısa devre gücü  $S_a$  bilinmelidir. Kısa devre süresinde akan  $I_{th}$  efektif kısa devre akımının termal etkisini belirlemek için en yüksek akım miktarını verecek kısa devre şekli ele alınır.

Termal etki olarak gerçek kısa devre akımı azalan doğru akım bileşeni (faktör m) ve altenatif akım bileşeni (faktör n) den meydana gelir.

Bu faktörlerden termal eşdeğer kısa devre akımı

$I_{th} = I_k'' \sqrt{m+n}$  olarak hesaplanır.



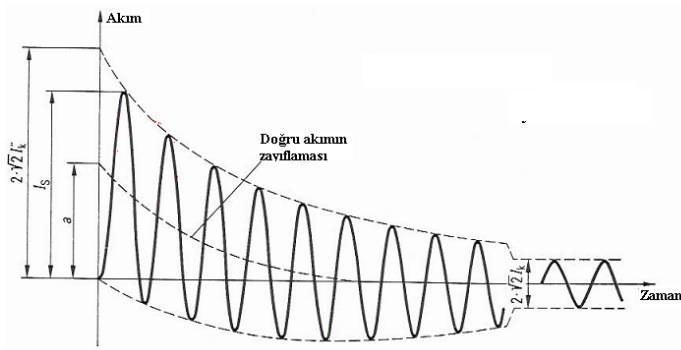
**Sekil 6.40.** Jeneratörden uzak kısa devrede kısa devre akımının gelişimi

Jeneratörden uzak kısa devrelerde kısa devre akımının gelişimi  $n=1$  olmak üzere

$I_k = I_k''$  ve  $I_{th} = I_k''\sqrt{m+1}$  olur.

Kısa devre süresi  $t_k \geq 0,1sn$  için alternatif kesme akımı  $I_a$  başlangıç simetrik kısa devre akımı  $I''_k$  ya eşittir.  $I_s$  darbe kısa devre akımının olduğu yerde darbe katsayısı bilinemiyorsa  $\chi = 1,8$  olarak alınır.

Genellikle meydana gelen kısa devre akımları generatordan uzak kısa devrelerdir. Jeneratör yakını kısa devre elektrik santrallarında veya endüstriyel sistemlerde beslemek üzere tesis edilen jeneratör gruplarının bulunduğu tesislerde meydana gelir.



**Şekil 6.41.** Jeneratör yakını kısa devrede kısa devre akımının gelişimi

Kısa devrenin bu şeklinde  $I_k$  sürekli kısa devre akımı  $I''_k$  başlangıç kısa devre akımından küçüktür yani  $n < 1$  dir. Sürekli kısa devre akımının bilinemediği yede  $n = 1$  alınır.

Eğer sadece  $I''_k$  başlangıç simetrik kısa devre akımı biliniyorsa darbe katsayısı  $\chi = 1,8$  alınır. Temel değer olarak

$I_a$  kullanılacaksa  $I''_k$  başlangıç simetrik kısa devre akımı  $\mu = 0,8$  faktörü ile çarpılır.

### **Örnek:**

Şebeke işletme gerilimi 31,5 kV ve kısa devre kesme gücü 500MVA şebekede  $\chi = 1,8$  ve

$$\mu = 1,0 \text{ dır.}$$

$$I_a = \frac{S_a}{\sqrt{3}U_n} = \frac{500 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 31,5 \cdot 10^3} = 9,2 kA$$

$$I''_k = \frac{I_a}{\mu} = \frac{9,2}{1} = 9,2 kA$$

$$I_s = \chi \sqrt{2} \cdot I''_k = 1,8 \times \sqrt{2} \times 9,2 = 23,4 kA$$

$$I_k \approx I_a = 9,2 kA$$

Kısa devre süresi  $t_k=0,5$  sn'de  $I_k = I''_k$  olmak üzere Şekil 2'den  $m=0,1$  ( $\chi = 1,8$  ve  $t_k=0,5$  sn) ve  $n=1$  ( $\frac{I''_k}{I_k} = 1$ ,  $t_k=0,5$  sn) olmak üzere  $I_{th} = I''_k \sqrt{m+1} = 9,2 \sqrt{0,1+1} = 9,65 kA$

### ***6.10.3 İletkenin kısa devre taşıma kapasitesi***

Kablo kısa devre akım taşıma kapasitesini bulabilmek için uygulanan metodlar aşağıdaki bölümlerde açıklanacaktır

#### **Metot 1:**

Kısa devre oluştuğunda kısa devre akımları tarafından üretilen ısı iletkende depolanır. Bu şartlar altında iletken izin

verilen sıcaklığın ötesinde ısınmamalıdır. Bu sebeple kısa devrenin başlangıcındaki iletken sıcaklığı ile kısa devre süresi mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Kısa devrenin başlangıcındaki  $\vartheta_a$  iletken sıcaklığı kısa devreden önceki yükün durumuna bağlıdır. Eğer  $\vartheta_a$ nın değeri bilinmemiyorsa ve tesis projelendirme safhasında iken Tablo 6.46 ve Tablo 6.47 deki değerler esas alınır.

Yapı tarzı	İzin verilen işletme sıcaklığı $\vartheta_{is}$ 0°C	İzin verilen kısa-devre sıcaklığı $\vartheta_e$ 0°C	Kısa devrenin başlangıcında $\vartheta_a$ iletken sıcaklığı 0°C								
			90	80	70	65	60	50	40	30	20
$t_{kr} = 1\text{sn} \text{ için } J_{thr}\text{A/mm}^2 \text{ nominal kısa devre akım yoğunluğu}$											
Yumuşak kaynaklı bireştirmeler	—	160	100	107	115	119	122	129	136	143	153
XLPE kablolar	90	250	143	148	154	157	159	165	170	176	181
PE kablolar	70	150	—	—	109	113	117	124	131	138	145
PVC kablolar $\leq 300\text{mm}^2$	70	160	—	—	115	119	122	129	136	143	153
$> 300\text{mm}^2$	70	140	—	—	103	107	111	118	126	133	140

$t_k$  kısa devre süresinde  $I_{thr}$  termal kısa devre kapasitesi

$$I_{thr} = q_n \cdot J_{thr} \cdot \sqrt{\frac{t_{kr}}{t_k}}$$

**Tablo 6.46.** İzin verilen kısa devre sıcaklığı ve  $J_{thr}$  nominal kısa zaman akım yoğunluğu Bakır iletkenli kablo için

Yapı tarzı	İzin verilen işletme sıcaklığı $\vartheta_{is}$ 0°C	İzin verilen kısa-devre sıcaklığı $\vartheta_e$ 0°C	Kısa devrenin başlangıcında $\vartheta_a$ iletken sıcaklığı 0°C								
			90	80	70	65	60	50	40	30	20
$t_{kr} = 1\text{sn} \text{ için } J_{thr}\text{A/mm}^2 \text{ nominal kısa devre akım yoğunluğu}$											
XLPE kablolar	90	250	94	98	102	104	105	109	113	116	120
PE kablolar	70	150	—	—	72	75	77	82	87	91	96
PVC kablolar $\leq 300\text{mm}^2$	70	160	—	—	76	78	81	85	90	95	99
$> 300\text{mm}^2$	70	140	—	—	68	71	73	78	83	88	93

**Tablo 6.47.** İzin verilen kısa devre sıcaklığı ve  $J_{thr}$  nominal kısa zaman akım yoğunluğu alüminyum iletkenli kablo için

**Örnek:**

Termal eşdeğer kısa devre akımı  $I_{th} = 15,1 \text{ kA}$   $t_k = 0,5$  kısa devre süresine uygun bakır iletkenli XLPE kablo kesiti belirlenecektir.

$$S_n = \frac{I_{th}}{J_{thr}} \cdot \sqrt{\frac{t_k}{t_{kr}}} = \frac{15,1 \cdot 10^3}{143} \sqrt{\frac{0,5}{1}} = 74,6 \text{ mm}^2 \text{ seçilen kablo kesiti } 95 \text{ mm}^2 \text{ dir.}$$

Bu durumda kabloların kısa devre kapasitesi

$$I_{thz} = 95 \cdot 143 \sqrt{\frac{1}{0,5}} = 19,2 \text{ kA} \text{ olacaktır.}$$

Şekil 5a, 5b, 6a, 6b'deki grafikleri kullanarak izin verilen kısa devre akımlarının bulunması:

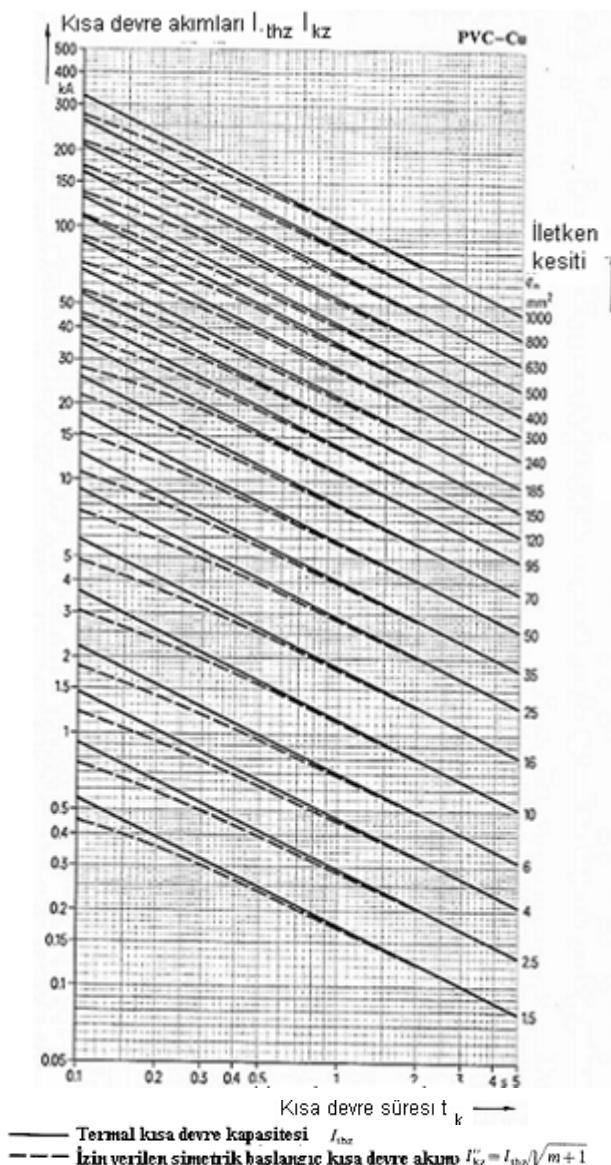
$$I_k'' = \frac{I_{thz}}{\sqrt{m+n}}$$

İzin verilen kesme süresi  $t_{kz}$  ve termal eşdeğer kısa devre akımı  $I_{th}$  değeri için DIN VDE 0100 bölüm 2'ye göre

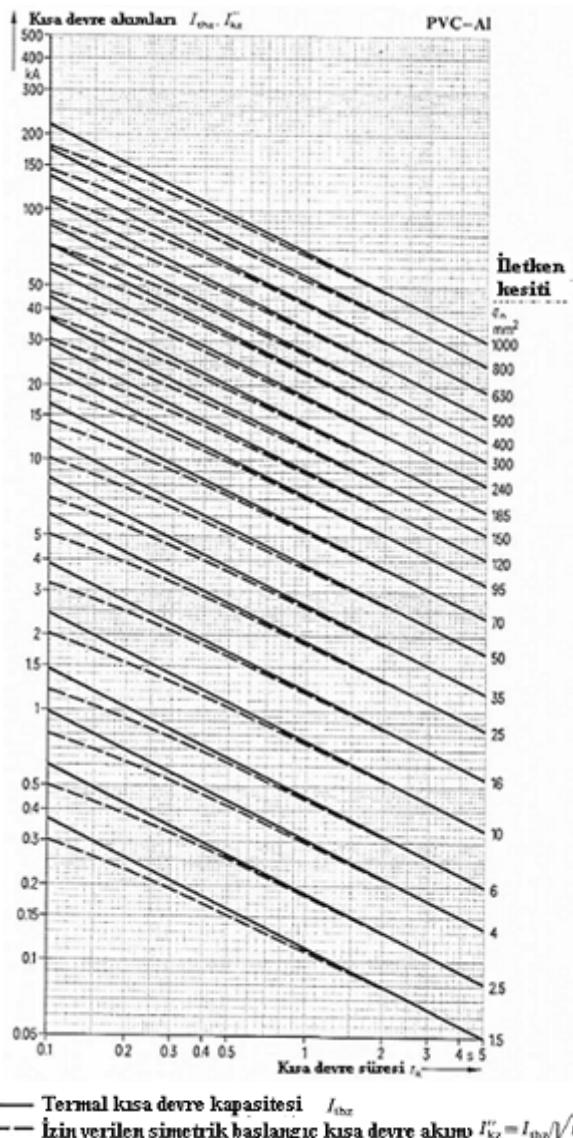
$$t_{kz} = \left( k \frac{S_n}{I_{th}} \right)^2 \quad k = J_{thr} \cdot \sqrt{t_{kr}} \quad t_{kr} = 1 \text{ sn}' \text{ den hesaplanır}$$

**Metot 2:**

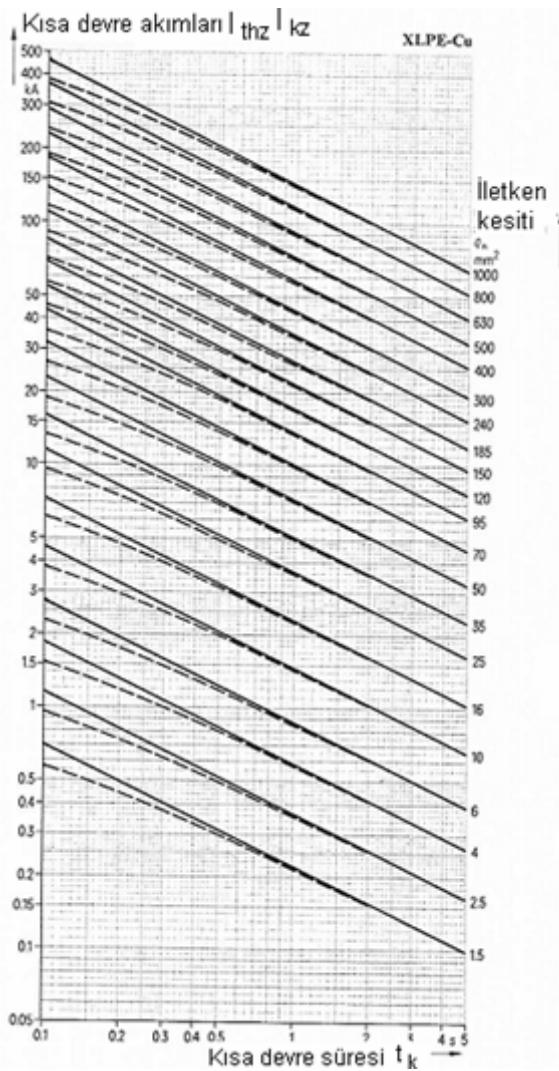
Aşağıda verilen abaklardan sisteme en uygun olanının kullanılması



**Şekil 6.42.a.** Bakır iletkenli PVC kablolarının  $\chi = 1,8$        $\vartheta_a = 70^\circ C$       ve  
 $\vartheta_e = 160(140)^\circ C$  deki kısa devre akımları

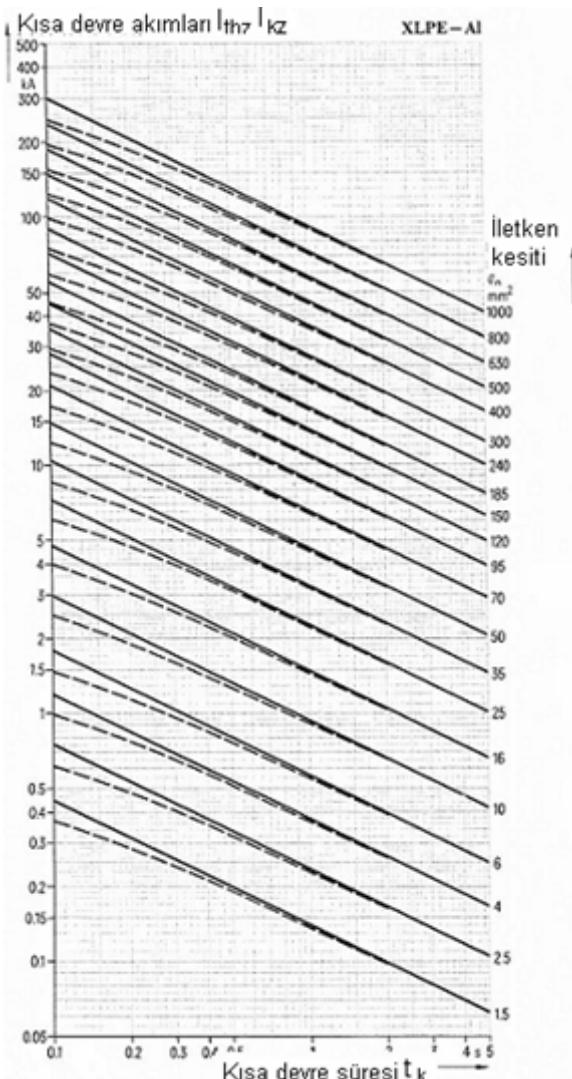


**Şekil 6.42b.** Aluminyum iletkenli PVC kabloların  $\chi = 1,8$        $\vartheta_a = 70^0C$  ve  $\vartheta_e = 160(140)^0C$  deki kısa devre akımları



— Termal kısa devre kapasitesi  $I_{thz}$   
 - - - İzin verilen simetrik başlangıç kısa devre akımı  $I_{thz}'' = I_{thz}/\sqrt{m+1}$

**Şekil 6.43a.** Bakır iletkenli XLPE kabloların  $\chi = 1,8$        $\theta_a = 90^0C$  ve  $\theta_e = 250^0C$  deki kısa devre akımları



Şekil 6.43b. Aluminyum iletkenli XLPE kabloların  $\chi = 1,8$   $\vartheta_a = 90^\circ C$

ve  $\vartheta_e = 250^\circ C$  deki kısa devre akımları

### Metot 3.

Burada etkili kısa devre akımı olarak Şekil 6.39'da verilen abaklar yardımıyla belirlenen  $I_{th}$  eşdeğer kısa devre akımı hesaplarda ele alınır. Ayrıca iletken direncinin sıcaklığa bağlılığı yani sıcaklık değerlerine göre artması, kısa devre şartları altında iletken malzemesinin spesifik ısısı ve gravitesi göz önüne alınarak  $S_n$  iletken kesiti için aşağıda verilen ifade yazılır.

$$S_n = I_{th} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{t}{[\chi_{20} \cdot (\theta + 20) \cdot \gamma \cdot c] \ln \frac{\theta + \nu_e}{\theta + \nu_a}}} \cdot \text{mm}^2$$

veya basit olarak

$$\text{Burada } S_n = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{th} \cdot \sqrt{t} \quad \text{yazılır.}$$

$$K_1 = [\chi_{20} \cdot (\theta + 20) \cdot \gamma \cdot c]^{\frac{1}{2}} \cdot 10^3 \cdot \text{mm}^2 / \text{kAs}^{\frac{1}{2}} \quad \text{materiyal sabiti}$$

$$K_2 = \left[ \ln \frac{\theta + \nu_e}{\theta + \nu_a} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{sıcaklık katsayısı}$$

$I_{th}$  ortalama kısa devre akımı kA

$\chi_{20}$   $20^0\text{C}$  de iletken malzemesinin özgül iletkenliği  $\text{mm/ohm.mm}^2$

$c$  Birim ağırlığın özgül ısısı  $\text{Ws/degC.g}$

$\gamma \cdot c$  Birim hacmin özgül ısısı  $\text{Ws/degC.cm}^3$

$\nu_a$  Başlangıç sıcaklığı  $0^0\text{C}$

$\nu_e$  Son sıcaklık

$\theta$  Sıcaklık sabitesi

Malzeme Cinsi	$\frac{\chi_{20}}{m}$ $\frac{ohm.mm^2}{deg.C.g}$	$\frac{c}{W_s}$ $\frac{deg.C.g}{deg.C.cm^3}$	$\frac{\gamma.c}{W_s}$ $\frac{deg.C.cm^3}{deg.C.cm^3}$	$\theta$ $deg.C$	$\frac{K_1}{mm^2}$ $\frac{1}{kA.s^2}$
Bakır Cu	58	0,389	3,47	234,5	4,41
Aluminyum Al	35,4	0,887	2,39	228	6,9
Demir Fe	7,25	0,481	3,78	202	12,8
Kurşun Pb	4,67	0,129	1,47	230	24,2

**Tablo 6.48.** İletken ve ekran malzemelerinin sabiteleri**Örnek :**

Aşağıda 6 kV tesis için verilen yük ve kısa devre değerlerinde

Asimetrik kısa devre akımı  $I_s = 60kA$  tepe değer

Başlangıç kısa devre akımı  $I''_K = 25kA$  efektif değer

Sürekli kısa devre akımı  $I_K = 10kA$  efektif değer

Açtırma süresi  $t = 0,5$  saniye

Kısa devre süresi boyunca izin verilen son sıcaklık  $180^0C$  olarak göz önüne alınacaktır. Başlangıç sıcaklığı olarak  $80^0C$  olarak kabul edilecektir.

$$\text{Darbe katsayısı } \chi = \frac{I_s}{\sqrt{2} \cdot I''_K} = \frac{60}{\sqrt{2} \cdot 25} = 1,7$$

Şekil 4.15'de verilen abaktan  $\frac{I''_K}{I_K} = \frac{25}{10} = 2,5$  ve  $t = 0,5$  saniye değerlerine göre DC bileşen için faktör  $m=0,06$  ve AC bileşen için  $n = 0,7$  elde edilir.

Buna göre kısa devre akımının ortalama değeri yani eşdeğer kısa devre akımı  $I_{th} = I''_K \cdot \sqrt{m+n} = 25 \cdot \sqrt{0,06+0,7} = 21.0kA$  efektif değer;

Belirlenen kısa devre şeritleri için gerekli bakır iletken kesiti  $S_n = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{th} \cdot \sqrt{t} = 4,41 \cdot 1,9 \cdot 21,8 \cdot \sqrt{0,5} = 130mm^2$  olarak bulunur.

## **Metot 4**

Gerilim altındaki iletkenlerin termik dayanımı mutlaka kablonun bağlandığı yerdeki maksimum kısa devre akım değeri esas alınarak kontrol edilmelidir. Kısa devre hesabı kısa devre yolu üzerinde bulunan transformatör, jenerator, motor ve bağlantı elemanları göz önüne alınarak kısa devre hesapları bölümünde açıklanan metotlardan birisi kullanılarak yapılır. Ancak jenerator grubunun devreye bağlı olması durumunda yaklaşık olarak kısa devreye karşı koruma elemanın kısa devreyi temizleme süresine eşit olan transiyent peryot esnasında meydana gelen kısa devre akım değeri esas alınarak termik kısa devre dayanımı kontrol edilecektir.

### ***Genel metot***

Öncelikle Şekil 6.44 den  $\delta_0$  (Amper / mm<sup>2</sup>) 1-saniye kısa devre süresi için kullanılan kablo tipi için termik kısa devre dayanım yoğunluğu belirlenir. 1-saniyeden farklı kısa devre süreleri için

$$\delta = \frac{\delta_0}{\sqrt{t}}$$
 ifadesi kullanılarak gerçek koruma cihazının açma

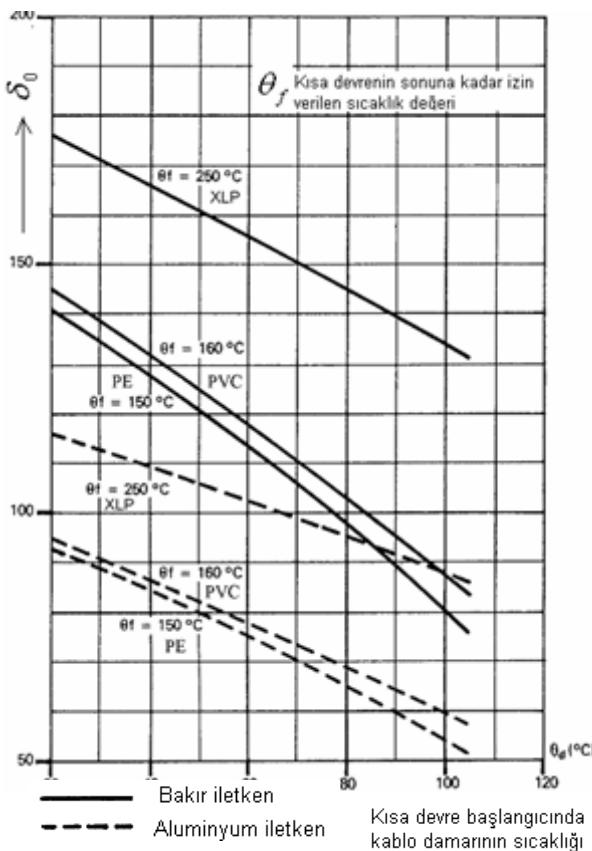
süresi ile belirlenen gerçek kısa devre süresi için termik kısa devre dayanım yoğunluğu bulunur. Bu ifadede  $t$  kısa devre süresidir.

Kısa devre halinde termik dayanıma uygun minimum kablo iletken kesiti

$$S(\text{mm}^2) = \frac{I_k''(\text{Amper})}{\delta(\text{Amper} / \text{mm}^2)}$$
 ifadesiyle belirlenir

Burada

$I_k''(\text{Amper})$  maksimum kısa devre akımı



**Şekil 6.44.** Kısa devre süresinde iletkenin termik kısa devre dayanım yoğunluğu

### **Basitleştirilmiş metot**

Kısa devreden önceki kablo sıcaklığının sürekli çalışma halindeki sıcaklığa eşit olduğu kabul edilecektir. Bu durumda iletken kesiti aşağıda verilen ifade yardımıyla bulunabilir.

$$S \geq \frac{I_K''}{k} \sqrt{t} .$$

Bu ifadede

$I_k''$  (Amper) maksimum kısa devre akımı

$t$  kısa devre süresi

$k$  Tablo 35'de verilen katsayı değeridir.

Koruma iletkenlerinde  $I_E$  toprak hata akımı esas alınarak hesap yapılacaktır.

	İzolasyon Malzemesi			
	PVC PE	XLPE EPR		
<b>Aktif İletken</b>				
- Bakır	115			143
- Aluminyum	74			94
<b>Koruma iletkenleri</b>	a	b	a	b
- Bakır őer	143	115	176	143
- Aluminyum	95	75	116	94
- Çelik	52	—	64	—
a- Kablolarda birleşik olmayan koruma iletkeni b-Kablolarda birleşik olan koruma iletkeni				

**Tablo 6.49.**  $k$  katsayıları değerleri

***Haddelenmiş sentetik izolasyonlu kablo ekranlarında kısa süreli akım dayanımları***

$S_3$  Kesitinin belirlenmesi

Kabloda izin verilen aşırı akımın hesabı ekranın yapısına ve kablonun cinsine bağlıdır.

İzolasyon malzemesinin cinsi	İşletme esnasında ekranın sıcaklığı (°C)	Aşırı akım geçmesi durumunda izin verilen son sıcaklık (°C)
XLPE	70	250
EPR	70	250
PE	60	150
PVC	60	160

**Tablo 6.50.** Hesaplarda kullanılan sıcaklık şartları

Nominal gerilim		6/10 (12) kV			8.7/15 (17.5) kV			12/20 (24) kV			18/30 (36) kV		
Kısa devre süresi		0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s
İletken kesitim mm <sup>2</sup>													
16	1 100	900	650	1 350	1 000	800	1 800	1 400	1 100				
25	1 200	950	700	1 400	1 050	800	1 800	1 400	1 100				
35	1 400	1 000	900	1 650	1 250	1 000	1 850	1 400	1 100				
50	1 600	1 150	1 000	1 750	1 350	1 050	1 900	1 450	1 150	2 500	1 950	1 550	
70	1 750	1 250	1 050	1 900	1 450	1 150	2 100	1 600	1 250	2 700	2 050	1 650	
95	1 850	1 350	1 100	2 050	1 550	1 200	2 200	1 700	1 300	2 800	2 150	1 700	
120	1 900	1 400	1 150	2 150	1 650	1 300	2 500	1 950	1 550	3 100	2 400	1 900	
150	2 150	1 650	1 300	2 400	1 850	1 500	2 600	2 000	1 600	3 150	2 450	1 950	
185	2 400	1 850	1 450	2 600	2 000	1 600	2 750	2 150	1 700	3 350	2 600	2 100	
240	2 700	2 050	1 650	2 800	2 150	1 700	3 100	2 400	1 950	3 600	2 750	2 200	
300	2 800	2 150	1 750	3 150	2 450	1 950	3 300	2 550	2 050	3 800	2 950	2 350	
400	3 050	2 350	1 000	3 450	2 650	2 150	3 650	2 000	2 250	4 200	3 000	2 650	
500	3 400	2 550	1 950	3 800	2 950	2 350	4 100	3 200	2 550	4 550	3 550	2 850	
630	3 750	3 000	2 300	4 250	3 300	2 650	4 420	3 450	2 800	4 950	3 850	3 100	
800	4 400	3 400	2 600	4 650	3 600	2 900	4 820	3 750	3 000	5 300	4 150	3 300	
1 000	5 100	3 900	3 050	5 200	4 050	3 250	5 350	4 200	3 350	5 850	4 550	3 650	
1 200	5 350	4 100	3 300	5 450	4 250	3 400	5 620	4 400	3 550	6 150	4 800	3 850	
1 400	5 600	4 400	3 550	5 900	4 550	3 650	5 920	4 700	3 800	6 550	5 100	4 100	
1 600	6 000	4 700	3 800	6 200	4 850	3 900	6 400	5 000	4 000	6 900	5 350	4 300	

**Tablo 6.51.** 1 veya 3-damarlı her biri ayrı ekranlı XLPE ve EPR izolasyonlu kabloların ekranında izin verilen kısa devre akım değerleri

Nominal gerilim	6/10 (12) kV			8.7/15 (17.5) kV			12/20 (24) kV			18/30 (36) kV		
	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s
SKısa devre süresi												
İletken kesiti mm <sup>2</sup>												
16	800	650	490	1 000	740	560	1 200	870	660			
25	900	700	510	1 000	750	570	1 200	870	660			
35	1 000	750	540	1 100	800	600	1 200	880	660			
50	1 100	800	580	1 150	840	640	1 250	1 000	770	1 750	1 300	990
70	1 300	920	700	1 350	990	760	1 450	1 100	820	1 750	1 300	1 000
95	1 350	1 000	750	1 450	1 050	820	1 550	1 150	880	2 050	1 550	1 200
120	1 450	1 050	800	1 500	1 150	860	1 650	1 200	930	2 150	1 650	1 230
150	1 550	1 100	840	1 600	1 200	910	1 700	1 300	1 000	2 250	1 700	1 300
185	1 650	1 150	900	1 700	1 250	970	2 000	1 500	1 200	2 350	1 800	1 400
240	1 800	1 450	1 100	2 000	1 550	1 200	2 150	1 650	1 250	2 650	2 050	1 600
300	2 000	1 550	1 200	2 150	1 650	1 300	2 300	1 750	1 350	2 800	2 150	1 700
400	2 300	1 750	1 400	2 600	2 000	1 550	2 650	2 050	1 600	3 000	2 300	1 800
500	2 550	1 900	1 500	2 900	2 200	1 750	3 050	2 350	1 850	3 400	2 600	2 050
630	2 750	2 050	1 550	3 000	2 300	1 800	3 150	2 400	1 900	3 500	2 650	2 050
800	3 000	2 250	1 700	3 300	2 500	2 000	3 450	2 600	2 100	3 700	2 800	2 200
1 000	3 300	2 400	1 800	3 500	2 700	2 100	3 650	2 800	2 200	3 950	3 000	2 400
1 200	3 550	2 550	1 900	3 700	2 850	2 200	3 850	2 950	2 300	4 200	3 200	2 550
1 400	3 650	2 750	2 000	3 900	3 000	2 350	4 050	3 100	2 450	4 350	3 350	2 650
1 600	3 750	2 850	2 100	4 000	3 100	2 400	4 150	3 200	2 500	4 500	3 400	2 700

Tablo 6.52. 3-damarlı veya 3-damarlı herbiri ayrı ekranalı PE ve izolasyonlu kabloların ekranında izin verilen kısa devre akım değerleri

İletken kesiti mm <sup>2</sup>	Kısa devre süresi		
	0.5 s	1 s	2 s
10	1 550	1 200	980
16	1 700	1 300	1 050
25	1 950	1 450	1 200
35	2 050	1 550	1 250
50	2 150	1 600	1 300
70	2 300	1 700	1 400
95	2 550	1 900	1 550
120	2 750	2 100	1 650
150	2 900	2 200	1 750
185	3 350	2 450	2 050
240	3 500	2 650	2 200

Tablo 6.53. 7,2 kV nominal gerilimli ortak ekranalı PVC izoleli kabloların ekranından geçmesine izin verilen kısa devre akım değerleri

**Örnek:**

$I_E$  toprak hata akımı 1000 A değerinde sınırlandırılan 10 kV şebekede 1-damarlı PVC kablo göz önüne alınacaktır. PE izolasyonlu ekranların izin verilen maksimum kısa devre akım değerlerini veren tablodan kısa devre süresine bağlı olarak

$$t = 0.5 \text{ s}, \quad S_{\min} = 35 \text{ mm}^2$$

$$t = 1 \text{ s}, \quad S_{\min} = 95 \text{ mm}^2$$

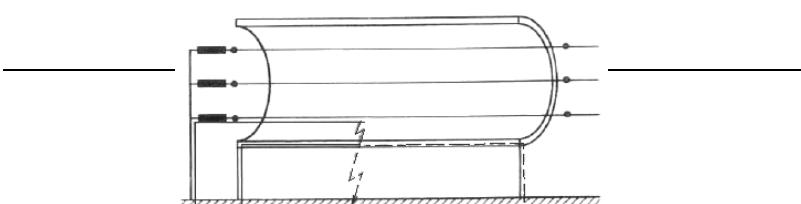
$$t = 2 \text{ s}, \quad S_{\min} = 240 \text{ mm}^2.$$

$S_3$  kesiti koruma cihazının kısa devreyi temizleme süresi ile belirlenen kısa devre süresi ve  $I_E$  toprak hata akımı değeri, gözönüne alınarak seçilir.

#### **6.10.4. Kablo ekranlarının, metal mahfazalarının ve zırhların kısa devre dayanım kapasiteleri**

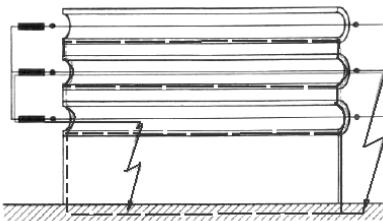
Yıldız noktası yalıtılmış veya söndürme bobini üzerinden topraklanmış şebekelerde iki faz-toprak akımının ekranlar üzerinde en yüksek hata akımını meydana getirirler. İkifaz-toprak hatası sonucu ekranlar, metal kılıflar, zırhlar bu asimetrik kısa devre akımını taşıması sonucu ısınırlar. Kablolar 3-faz kısa devre akımı esas alınıp seçildiğinden kabloların ekranlarının, metal kılıflarının veya zırhların asimetrik kısa devreye dayanma kapasitelerinin de araştırılması gereklidir.

Nötrü doğrudan ve reaktans bobini veya düşük değerli direnç üzerinden topraklı şebekelerde de söz konusu kısa devre dayanım kapasitesi kontrolu yapılır.



**Şekil 6.54.** 1-faz toprak hatası

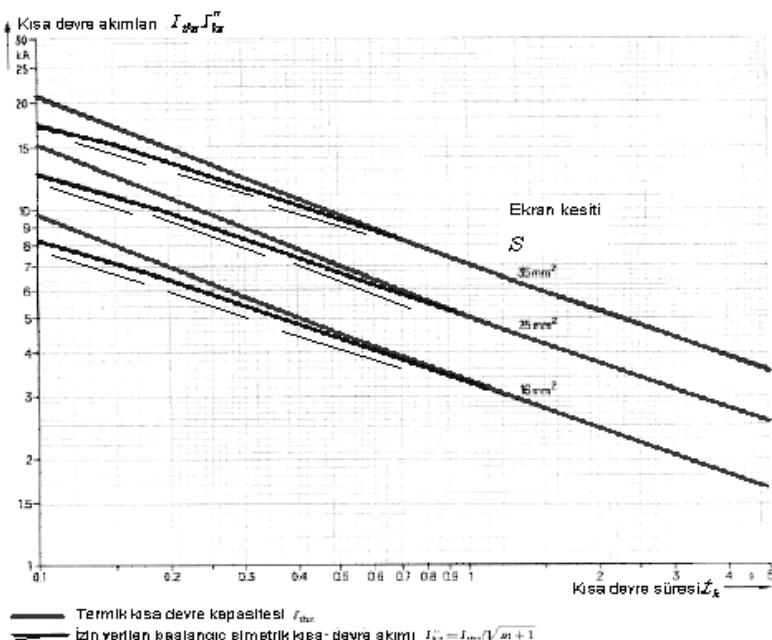
Şekilde görüldüğü gibi ekranla faz iletkeni arasında hata halinde; hata akımı toprak üzerinden hata yolu impedanslarına ters orantılı olarak bölünürler.



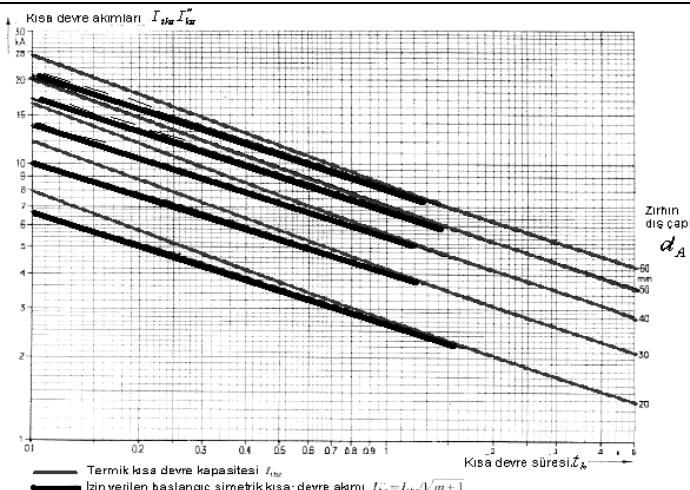
**Şekil 6.55.** 2-faz çift toprak hatası

Havada tesis edilen kablolarla hata yerinde kısa devre akımı bölünmeyip ekran veya metal mahfaza boyunca akar.

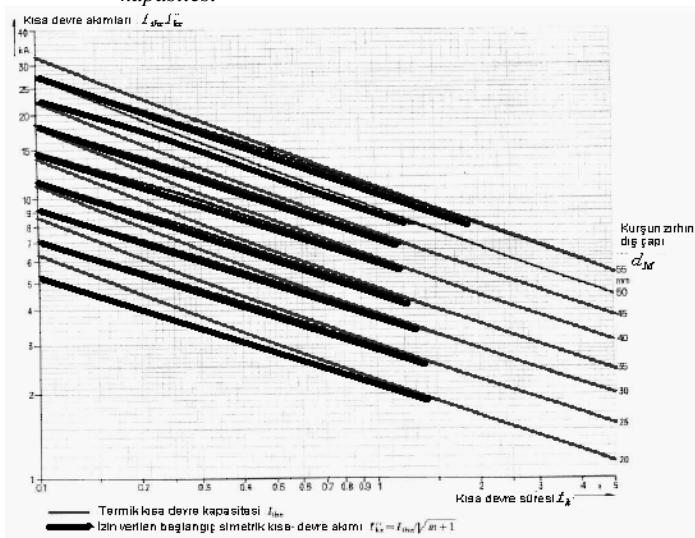
Kısa devre akımlarını ( $I_{thz}$ ), kısa devre süresi ( $t_K$ ) değerine göre belirlemek için aşağıdaki şekillerden yararlanılır.



**Şekil 6.56.** Bakır hat ekranlı  $\chi = 1,8..v_a = 60^0 C..V_c = 200^0 C..b = 0,17 \times 10^{-3} m / \sqrt{s}$  ve ekran yarı çapı  $d_D = 0,7..0,8..0,9 mm$  kabloların bakır ekranının kısa devre kapasitesi



**Şekil 6.57.**  $\chi = 1,8 \cdot v_a = 60^0 C \cdot v_c = 200^0 C \cdot b = 0,17 \times 10^{-3} m / \sqrt{s}$  ve çelik şerit kalınlığı  $\delta_A = 0,8 \text{ mm}$  olan kablonun çelik zırhının kısa devre kapasitesi



**Şekil 6.58.** Kurşun kalıflı kabloların kısa devre kapasitesi

## 6.10.5. Kablo ekranı topraklama şartları

### 1-Damarlı kablolar

Kablonun aktif iletkeninden geçen akım ekranda bir gerilim endükler. Tek damarlı kablolar 1-fazlı veya 3-fazlı AC sistemlerinde çalıştığında metal ekranlarında iletkenden akmak akımın değeriyile, frekansıyla ve iletken ile metal arasındaki karşılıklı endüktans katsayısı ve aynı zamanda kablo uzunluğu ile doğru orantılı gerilim endüklenir. Bu gerilim, kablonun geometrik düzenlemesine, uzunluğuna ve taşıdığı akım miktarına bağlıdır

$$E_0 = 0.145 \times \log_{10} \left( \frac{2a}{d} \right) \times L \times I$$

*a* Kablo eksenileri arasındaki mesafe (mm)

*d* Ekranın ortalama çapı (mm)

*L* Bağlantı uzunluğu (km)

*I* Kablo iletkeninden geçen akım

Normal olarak bağlantı kutularında metal ekranlar bağlanır ve kablo sonlarında topraklanır. İki ucun topraklanması dolayı metal ekranlarda endüklenen akımlar akmaya başlar. Bu akımlar ilave kayıplar meydana getirir ve sonuçta kablonun akım taşıma kapasitesi düşer

İlave kayıplardan dolayı, kablonun sürekli yük akımını taşımamasını sağlamak için bir üst kablo kesiti seçmek zorunda kalınabilir. Kablonun yük kapasitesinin kritik olduğu yerlerde ve ekonomik nedenlerden dolayı bu kayıplardan mutlaka sakınılmalıdır. Bu nedenle uygun olan durumlarda, kablo sonları, tek taraftan topraklanır ve kablonun diğer ucu topraktan izole edilir. Ancak diğer taraftan kablo uzunluğunun artmasıyla kablonun diğer ucundaki gerilim değeri tehlikeli boyutlara ulaşır. Kablo ekranlarında kablo uzunluğunun 500 metreyi aşması halinde topraklanmayan

ucunda tehlikeli gerilimler meydana gelir. Uzunluğu bu değerden fazla olan kabloların tesisinde izolasyon bariyeri ihtiva eden kablo ek kutuları kullanılır. Metal ekraneler, bölmelere ayrılarak sadece bir ucundan topraklanır.

Çok uzun kablolararda  $E_0$  insan hayatı için tehlikeli değerlere ulaştığından; standartlar sürekli işletme şartları altında 50 V sınırının aşılacağı muhtemel durumlarda kablonun her iki ucunun topraklanması tavsiye eder.

Ekranelerin tek taraftan topraklamasının yüksek maliyetler getirmesi yanında başka dezavantajları da vardır. Topraklamanın etkisi çok düşüktür ve eğer bir istasyonda topraklanırsa diğer istasyondaki topraklama ile bağlantısı olmaz. Bu nedenle ayrıntılı topraklama düzenlenmesi gereklidir.

Sadece bir uçtan topraklanan ekranelarda kısa devre meydana gelince ikinci ucta endüklenen potansiyel yüksek olabilir ve bağlılığı yerde ekranelin izolasyonunun bozulmasına neden olabilir ve bu durum göz önüne alınarak gerekli tedbirler alınmalıdır. Ancak her iki uçtan ekraneli topraklaması ekraneli boyunca sürekli sirkülasyon akımlarının akmasına sebep olur.

***Her iki uçtan topraklanmış ekranelarda sirkülasyon akımının hesabı:***

Dengeli sürekli işletme şartlarında (veya 3-fazlı kısa devre durumunda) her iki uçtan topraklanmış ekranda endüklenen gerilim bir üç fazlı akım akmasına sebep olur.

Bu akım yandaki ifade yardımıyla bulunur.  $I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}}$

Burada  $X_s = 0.145 \times \log_{10} \left( \frac{2a}{d} \right) \times L$

- $R_s$  : Ekranın direnci ( $\Omega$ )  
 $X_s$  : Ekran reaktansı ( $\Omega$ )  
 $L$  : Kablo veya hattın uzunluğu (km)

### **Örnek:**

35 kV aluminium 1-damarlı kesiti  $300 \text{ mm}^2$ , PE izolasyonlu ve uzunluğu  $L = 3 \text{ km}$  ve özgül direnci  $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$  olan topraga gömülü hattın karakteristikleri

- $I_{capacity} = 500 \text{ A}$
- $d = 33.5 \text{ mm}$
- $a = 38.5 \text{ mm}$
- $R_s = 0.45 \Omega / \text{km}$

kablo aşağıdaki özelliklere sahip sistemin bağlantısını sağlamaktadır.

- $I_B = 400 \text{ A}$
- $I_{sc} = 8 \text{ kA}$

Sürekli işletme şartları altında endüklenen gerilim

$$E_0 = 0.145 \times \log_{10} \left( \frac{2a}{d} \right) \times I_B \times L = 63V$$

50 Volt sınır değerini geçtiğinden mutlaka iki uçtan topraklanması gereklidir.

Ekrandan akan sirkülasyon akımı

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}}$$

$$R_s = 1.35 \Omega$$

$$X_s = 0.145 \times \log_{10} \left( \frac{2a}{d} \right) \times L = 0.157 \Omega$$

---

$I_0 = 46.4 A$  olarak bulunur.

*Not : Ekranda meydana gelen sirkülasyon akımı kablonun uzunluğundan bağımsızdır.*

Kısa devre durumunda endüklenen gerilim

$$E_{0sc} = 0.145 \times \log_{10} \left( \frac{2a}{d} \right) \times I_{sc} \times L = 1260 V$$

Ekrandaki sirkülasyon akımı

$$I_{0sc} = 927 A$$

Maksimum kısa devre süresinde ekran bu akıma dayanıklı olmalıdır.

*Not : Eğer kablo uzunluğu 2km ise kablonun bir ucundan topraklanmalıdır. Kısa devre esnasında endüklenen gerilim 840 Volta eşit olur. Bu durumda ekran izolasyonunun kontrol edilmesi gereklidir.*

Ekrandaki  $W_s$  ısı kayıplarının hesaplanması

$$W_s = R_s I_s^2$$

$$R_s = 0.45 \Omega / km, \quad L = 3 km \quad \text{ve} \quad I_0 = 46.4 A$$

İçin

$$W_s = 0.45 \times 3 \times (46.4)^2 = 2.9 kW$$

Kablo damarındaki kayıp

$$W_c = R_c \times I_B^2$$

$R_c$  : Damar direnci

$S = 300 mm^2$  kesite,  $R_c = 0.1 \Omega / km$  direnç değerine sahip

aluminyum iletken için  $W_c = 0.1 \times 3 \times (400)^2 = 48 kW$

Aralarındaki oran:  $\frac{W_s}{W_c} = 6 \%$

## **6.10.6. Kablo ekranındaki termik etkiler**

Daha önceki örnekte görüldüğü gibi ekran iki taraftan topraklandığında ekranda endüklenen akımın sürekli siklusyonu kabloda ilave ısınmalara ve buna bağlı olarak kablo akım taşıma kapasitesinin düşmesine neden olur. Genellikle bu düşünce sadece  $240 \text{ mm}^2$  den daha büyük kesitlerdeki kablolar için hesaba katılır.

Aşağıda açıklanan kurallar uygulanır.

$S > 1000 \text{ mm}^2$  de ince zırhsız ekran akım taşıma kapasitesi %5 azalır.

Zırhsız ince olmayan ekran da kablo akım taşıma kapasitesi  
 $240 \text{ mm}^2 \leq S \leq 800 \text{ mm}^2$  için %5

$S > 800 \text{ mm}^2$  için %10 azalır.

Zırhlı ekranlı kablolar, akım taşıma kapasitesi  
 $240 \text{ mm}^2 \leq S \leq 400 \text{ mm}^2$  için %5

$500 \text{ mm}^2 \leq S \leq 800 \text{ mm}^2$  için %10

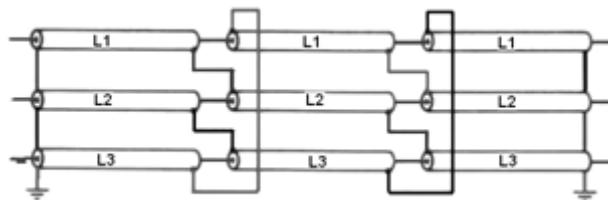
$S > 800 \text{ mm}^2$  için %15

## **6.10.7. Ekranların çapraz bağlanması**

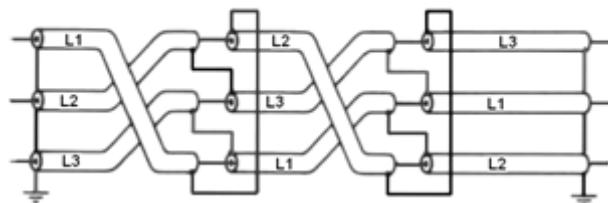
**-kabloların transpozesi:** Ekranlardaki rezidüel akımın ortadan kaldırılması ve endüklenen akımların bastırılması için diğer bir metod ise ekranların metalik devamlılığının sırası ile çaprazlanarak kesilmesidir. Bu bağlantı metodu ile topraklama şartları zayıflatılmaz ve topraklanmamış uç olmadığında tehlikeli gerilimlerden ve gerilim yükselmelerinden sakınılmış olunur.

Kablarda bir uçtan topraklama ve aynı zamanda çaprazlama ekonomik nedenlerden dolayı sadece yüksek gerilim kablo tesislerinde uygulanır. Orta gerilim kablo tesislerinde endüklenen akımların oluşturduğu kayıplar kabul edilebilir sınırlar içerisindedir

a) Ekran/metal kılıf sırası ile çaprazlanması

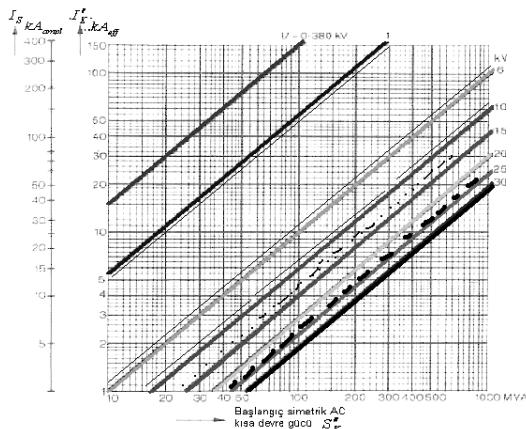


b) Kabloların sırası ile transpoze edilmesi



Şekil 6.59. Kabloların transpozesi

### **6.10.8. Kısa devre dinamik zorlanma**



**Şekil 6.60.** 3-fazlı sistemde başlangıç simetrik  $AC$  kısa devre gücü  $S''_k$ , başlangıç simetrik  $AC$  kısa devre akımı  $I''_k$ , ve  $\chi = 1,8$  için darbe kısa devre akımı  $I_s$

Darbe dinamik zorlanma darbe AC kısa devre akımının karesi ile doğru orantılıdır. Bu kısa devre zorlamaları, kablo içinde geri dönüş akımını taşıyan iletken bulunan yerlerde dış etki göstermez. Bu etkilerden dolayı kablo bağlantı elemanları esnek bağlanmalıdır. İlave ısınmalardan sakınmak için mağnetik olmayan kelepçe veya kroşeler kullanılabilir. Eğer çelik kelepçe veya kroşe kullanılacaksa; bu maksat için açık manyetik devre kullanılmalıdır.

Kısa devre dinamik zorlaması zorlanmanın en yüksek olduğu  $I_s$  darbe kısa devre akım değerine göre yapılır. Öncelikle kabloda meydana gelebilecek maks. başlangıç kısa devre akımı Şekil 6.60 yardımıyla veya

$I_K'' = \frac{S_K''}{\sqrt{3}U_N}$  ifadesiyle belirlenir ve darbe kısa devre akımı

$I_s = \chi \sqrt{2} I_k''$  ifadesiyle belirlenir. Darbe katsayısi genellikle  $\chi = 1,8$  olarak alınır.

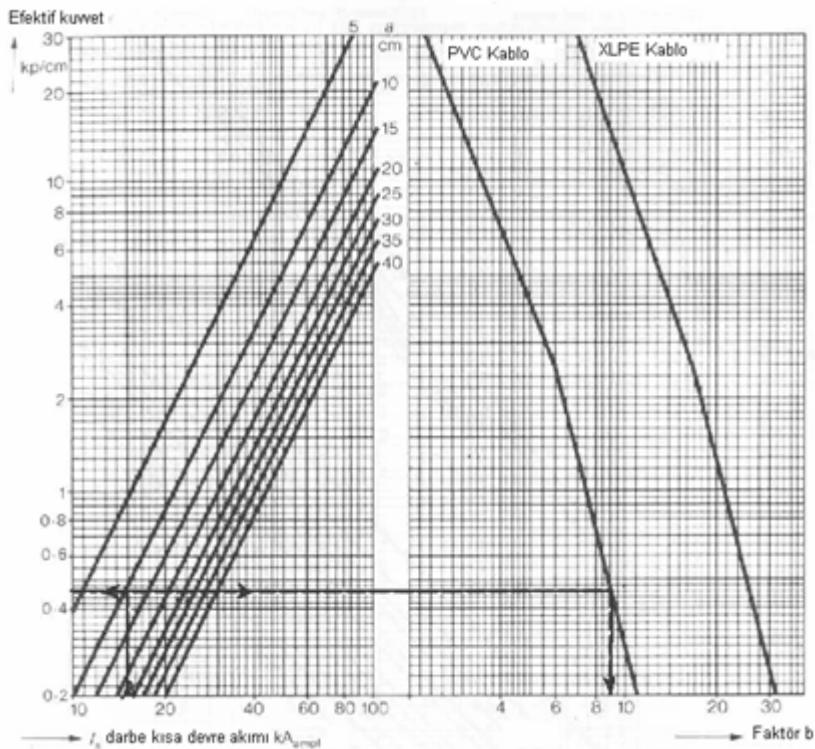
1-damarlı kablolar üzerine etki eden kısa devre kuvvetlerini bulmak için gerekli ifadeler şekil 4.27. de gösterilmiştir.

Fazlar arası kısa devre		$F_{s2} = 0,2 \frac{I_s^2}{\mu} \text{ N/cm}^2$
3-faz kısa devre		$F_{s3} = 0,808 F_{s2} \text{ N/cm}^2$
		$F_{s3} = \frac{\sqrt{3}}{2} F_{s2}$ $= 0,87 \text{ N/cm}^2$
		

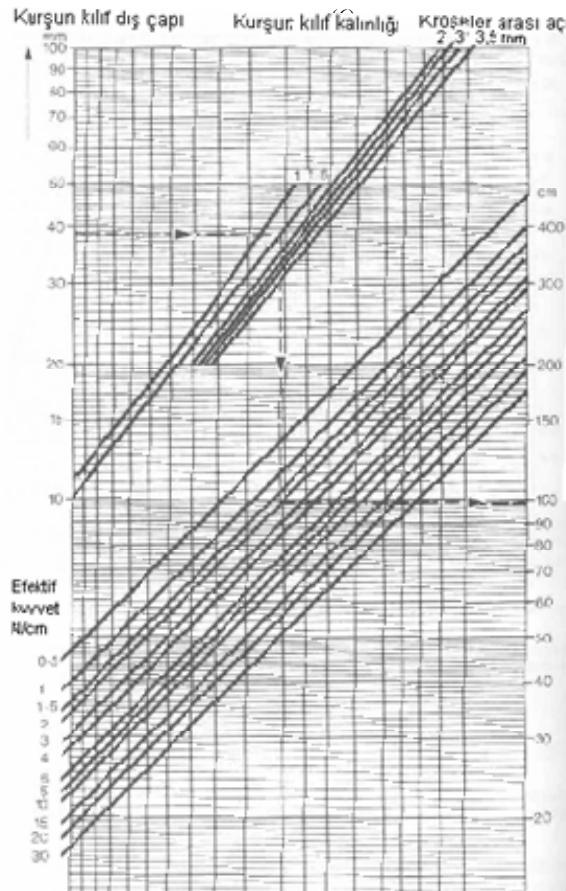
$$* 1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ N}$$

**Şekil 6.61.** İki faz kısa devre halinde kablolar üzerine etki eden kuvvet

Kısa devre de etki eden kuvvetler Şekil 6.61'de verilen ifadeler yardımıyla bulunduktan sonra Şekil 6.62 ve Şekil 6.63'de verilen eğriler yardımıyla kabloları tesbit amacıyla kullanılan kelepçe veya kroşeler arasındaki izin verilen maksimum açıklıklar belirlenir.



**Şekil 6.62.** *PVC ve XLPE kablolarında kablo kelepçeleri veya kroşeleri arasındaki maksimum izin verilen açıklık  $a_s = b \cdot D_a$ ,  $D_a$  kabloların dış çapı*



**Şekil 6.63.** Kurşun kılıflı tekdamarlı kablolar için maksimum izin verilen kroşe veya kelepçe açıklıkları  $a_S$ . Aluminyum kılıflı kablarda bulunana değerler 1,4 faktörü ile çarpılır.

### **6.10.9. Nötr iletkeninin minimum kesitinin tayini**

Nötr iletken aşağıda belirtilen hangi şekilde olursa olsun faz iletkeni ile aynı kesitte olacaktır.

- Tek fazlı sistemlerde kesitin değeri her ne olursa olsun iki hatlı devreler
- 3-fazlı sistemlerde iletken kesiti bakır  $16\text{mm}^2$  ve alüminyum  $25\text{ mm}^2$ , den aşağı ola sistemlerde

Nötr iletken kesitinin  $16\text{mm}^2$  bakır ve  $25\text{ mm}^2$  alüminyundan yüksek faz iletken kesitini haiz sistemlerde, aşağıda belirtilen şartların sağlanması durumunda faz iletkeninden düşük kesitte seçilir.

- Nötr iletken kesiti en az bakır için  $16\text{mm}^2$  ve alüminyum için  $25\text{ mm}^2$  olacak
- Yük akımlarında tüksek harmonik distorsyonları olmayacak. Eğer deşarj lambalı ekipmanlardaki gibi %10 dan daha fazla yüksek harmonik distorsyonları varsa nötr iletkeni kesiti faz iletkeni kesitinden daha küçük olamaz.

	Faz kesiti $S [\text{mm}^2]$	Minimum nötr kesiti $S_N [\text{mm}^2]$
<b>S 1- fazlı / 2 - fazlı devreler</b> BAKIR VE ALUMİNYUM	herhangi bir kesit	$S^*$
<b>3 - fazlı devreler</b> Cu	$S \leq 16$	$S^*$
	$S > 16$	16
<b>3 - fazlı devreler</b> Al	$S \leq 25$	$S^*$
	$S > 25$	25

$S^*$  TN-C sistemlerde standardlar minimum kesit olarak bakır iletken için  $10\text{ mm}^2$  ve alüminyum  $2\text{ mm}^2$  iletken için  $16\text{ mm}^2$  kesit belirlemiştir.

**Tablo 6.54.** Nötr iletkenlerin minimum kesitleri

Doğrudan temmese karga koruma	Topraklama sistemleri			
	TT	TN-C	TNS	IT
Doğrudan temmese karga koruma	RCD ile koruma	$I_a, I_m < I_{SC}$ sigorta veya kesici ile donatılmış	Seçilen koruma metoduuna göre	Birbir grup içinde en az bir topraklama elektroodu bağlı ve sigorta veya kesici ve ilave RCD cihazı ile donatılmış
<b>Korunan devreler:</b>				
1-fazlı F-N faz/nötr				
1-fazlı faz/faz				
3-fazlı 3-hattı				
3-fazlı 4-hattı $S_n = S_{ph}$				
$S_n$ Nötr iletken kesidi $S_{ph}$ Faz iletken kesidi				
$3F-N$ $S_n < S_{ph}$				

**Şekil 6.64.** Farklı topraklama sistemleri için nötr iletkenlerinin korunması

A : TT ve TN sistemlerde devrenin başlangıcına RCD cihazı tesis edilmişse; dağıtım çıkışlarında hiç bir suretle suni nötr noktası yapılmamışsa izin verilir.

B: TT ve TN sistemlerde fazlar için gerçekleştirilen koruma düzenleriyle nötr hattı kısa devreye karşı korunabiliyorsa ve normal işletme akımı nötr hattının akım taşıma kapasitesinden yeteri kadar düşükse izin verilir. Ancak sistemde 3. harmonik akımları tarafından nötr hattının yüklenmesi mutlaka kontrol edilmelidir.

C: Çıkış devrelerinin işletme akımları birbirinin 2-katından fazla değilse ve sistemdeki en küçük kesite haiz devrenin

korunması için %15 den küçük hassasiyete sahip RCD cihazı kullanılıyorsa izin verilir.

### **6.10.10. Koruma (PE) iletkeni**

#### ***Bağlantı ve seçim***

Koruma PE iletkenleri tüm açıkta olan aktif olmayan ve hata halinde potansiyel altında olması muhtemel olan tesisin iletken bölümleri arasında bağlantıyı sağlar ve ana es potansiyel bağlantı sistemini oluşturur. Bu iletkenler faz iletkeni ile aktif olmayan iletken bölümler arasında oluşan hatadan dolayı ortaya çıkan akımı kaynağın nötr toprağına iletir.

Ana topraklama terminalleri topraklama iletkeni vasıtasıyla topraklama elektroduna bağlanır. PE topraklama iletkenleri :

- İzole ve sarı renkte
- Mekanik ve kimyasal etkilere karşı korunmuş olmalıdır.

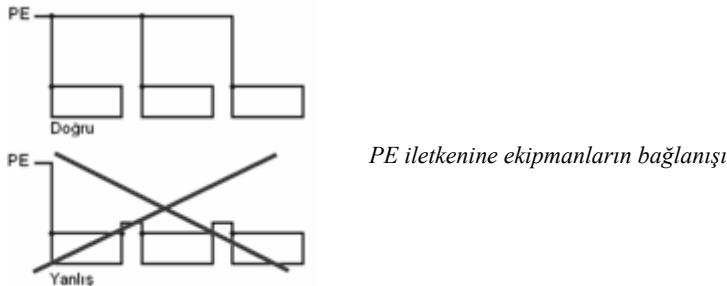
IT ve TN sistemlerde PE iletkeninin ilgili devrenin aktif iletkenlerine yakın tesis edilmesi kuvvetle tavsiye edilir. Bu düzenleme toprak hata akımı taşıyan devrelerde minimum endüktif reaktansı sağlar. Aynı düzenleme, Busbar taşıma sistemlerinde de yapılmalıdır.

#### ***Bağlantı***

PE iletkenlerinde mutlaka :

- Devre sürekliliği sağlanmalı ve devre herhangi bir anahtarla açılılmamalı ve kaldırılabilir bağlantılar yapılmamalıdır.
- Tüm aktif iletkenler teker teker paralel bağlanmalı sarı bağlantından kaçınılmalıdır.

- Dağıtım panolarında ortak topraklama baralarına bağlantısı ayrı ayrı yapılmalıdır.

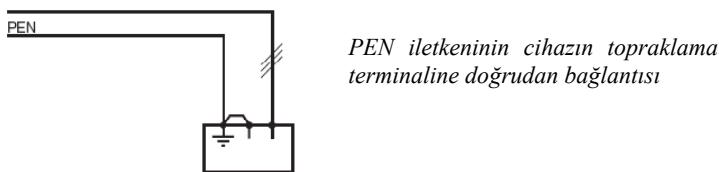


## TT sistemler

TT tesislerinde koruma için kullanılan RCD nin çalışması için yüksek degerde hata akımı gerekmeyeceğinden PE iletkeni ilgili devrenin aktif iletkenine yakın tesis edilmesine gerek yoktur.

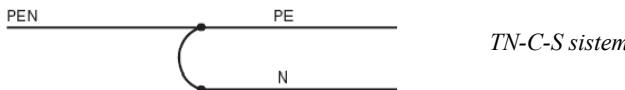
## IT ve TN sistemler

PE veya PEN iletkenler yukarıda açıklandığı gibi devrenin aktif iletkenlerine mümkün olduğunda yakın tesis edilmelidir. Aralarında ferromagnetik materyal bulunmamalıdır. PEN iletkeni daima cihazın topraklama terminalinden nötr terminaline göz yapacak şekilde topraklama terminaline doğrudan bağlanmalıdır.



TN-C sistemlerde nötr ve koruma iletkeni aynıdır. PEN iletkeninde koruma fonksiyonu önceliklidir.

TN-C sistemden TN-S sisteme geçişte PE iletkeni PEN terminaline veya barasına bağlanır. Genellikle tesisin başlangıcında bu bağlantı gerçekleştirilir. Ayrılmanın alt tarafında hiç bie PE iletkeni nötr iletkenle bağlanamaz.



### ***Minimum iletken kesitinin belirlenmesi***

Koruma iletkeninin minimum kesiti aşağıda verilen tablo kullanılarak belirlenir.

Hattın iletken kesiti $S$ [ $\text{mm}^2$ ]	İlgili koruma iletkeninin kesiti [ $\text{mm}^2$ ]
	Eğer koruma iletkeni hat iletkeni ile aynı malzemedense
$S \leq 16$	$S$
	Eğer koruma iletkeni hat iletkeninden farklı malzemedense
$S \leq 16$	$\frac{k_1}{k_2} \cdot S$
$16 < S \leq 25$	$16 \cdot \frac{k_1}{k_2}$
$S > 25$	$\frac{S}{2} \cdot \frac{k_1}{k_2}$

k<sub>1</sub> hat iletkenleri için k faktörü değerleridir Tablo 28 izolasyon ve iletken malzeme sine gore seçiline materials of  
k<sub>2</sub> koruma iletkenleri için k faktörü değerleridir  
PEN iletkeni için kesitin azaltılmasına nötr iletkenlerin boyutlandırılması için verilen kurallara uygun olması kaydıyla izin verili

**Tablo 6.55. Koruma iletkeninin kesiti**

Daha hassas ve bilinen başlangıç sıcaklığından son sıcaklığına kadar adyabatik ısınma ya bağlı hesaplama istendiğinde (bu hesaplama metodu hata uygulama süresi 5 sn'den az olan durumlarda uygulanabilir) Koruma iletkeninin minimum kesiti  $S_{PE}$  aşağıda verilen ifade kullanılarak bulunur.

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

$S_{PE}$  Koruma iletkeninin kesiti  $\text{mm}^2$

$I$  Düşük empedanslı bir hata halinde koruma iletkeni boyunca akan

akımın efektif değeri

$t$  Koruma cihazının kesme süresi

$k$  Koruma iletkeninin malzemesine, izolasyonun tipine ve başlangıç ve

son sıcaklığa bağlı bir sabite olup değerleri ya aşağıdaki ifade

kullanılarak Tablo 39, 40 ve 41'den elde edilir.

$$k = \sqrt{\frac{Q_c \cdot (B + 20)}{\rho_{20}}} \cdot \ln\left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i}\right)$$

$Q_c$  :  $20^0\text{C}$  de iletkenin volumetrik ısı kapasitesi ( $^0\text{C}$ )

$B$  : İletken için  $0^0\text{C}$  de özgül direncin karşılıklı sıcaklık katsayısı ( $^0\text{C}$ )

$\rho_{20}$  :  $20^0\text{C}$  de iletken malzemesinin elektrik özgül direnci ( $\text{ohm} \cdot \text{mm}^2$ )

$\theta_i$  : iletkenin başlangıç sıcaklığı ( $^0\text{C}$ )

$\theta_f$  : İletkenin son sıcaklığı ( $^0\text{C}$ )

Malzeme	B [ $^0\text{C}$ ]	$Q_c$ [ $\text{J}^0\text{C} \cdot \text{mm}^3$ ]	$\rho_{20}$ [ $\Omega \cdot \text{mm}$ ]	$\sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}}}$
Bakır	234.5	$3.45 \cdot 10^{-3}$	$17.241 \cdot 10^{-6}$	226
Aluminiyum	228	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$28.264 \cdot 10^{-6}$	148
Kurşun	230	$1.45 \cdot 10^{-3}$	$214 \cdot 10^{-6}$	41
Çelik	202	$3.8 \cdot 10^{-3}$	$138 \cdot 10^{-6}$	78

**Tablo 6.56.** Değişik malzemelerin parametre değerleri

İletken izolasyonu	Sıcaklık °C <sup>b</sup>		İletken malzemesi		
	Başlangıç	Son	Bakır	Aluminyum	Çelik
			k		
70 °C PVC	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C PVC	30	143/133 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C thermosetting	30	250	176	116	64
60 °C Lastik	30	200	159	105	58
85 °C Lastik	30	220	168	110	60
silikon lastik	30	350	201	133	73

<sup>a</sup> 300 mm<sup>2</sup> den daha büyük kesitlerdeki PVC izoleli iletkenler için daha düşük değerler uygulanır.  
<sup>b</sup> IEC 60724 de izolasyonların çeşitli tipleri için sıcaklık sınırları verilmiştir

**Tablo 6.57:** Diğer kablolarla birleştirilmemiş ve demetlenmemiş izole koruma iletkenleri için k değerleri

İletken izolasyonu	Sıcaklık °C <sup>b</sup>		İletken malzemesi		
	Başlangıç	Son	Bakır	Aluminyum	Çelik
			k		
70 °C PVC	70	160/140 <sup>a</sup>	115/103 <sup>a</sup>	76/68 <sup>a</sup>	42/37 <sup>a</sup>
90 °C PVC	90	160/140 <sup>a</sup>	100/86 <sup>a</sup>	66/57 <sup>a</sup>	36/31 <sup>a</sup>
90 °C thermosetting	90	250	143	94	52
60 °C Lastik	60	200	141	93	51
85 °C Lastik	85	220	134	89	48
silikon lastik	180	350	132	87	47

<sup>a</sup> 300 mm<sup>2</sup> den daha büyük kesitlerdeki PVC izoleli iletkenler için daha düşük değerler uygulanır.  
<sup>b</sup> IEC 60724 de izolasyonların çeşitli tipleri için sıcaklık sınırları verilmiştir

**Tablo 6.58.** Diğer kablolarla birleştirilmiş ve demetlenmiş izole koruma iletkenleri için k değerleri

	İletken izolasyonu					
	PVC ≤ 300 mm <sup>2</sup>	PVC ≤ 300 mm <sup>2</sup>	EPR XLPE	Lastik 60 °C	PVC	Madeni Bare
Başlangıç sıcaklığı °C	70	70	90	60	70	105
Son sıcaklık °C	160	140	250	200	160	250
İletken malzemesi						
Bakır	115	103	143	141	115	135/115 <sup>a</sup>
aluminyum	76	68	94	93	-	-
bakır iletkenlerde lehimli bağlantılar -	115	-	-	-	-	-

<sup>a</sup> Bu değerler dokunmaya maruz çiplak kablolar için kullanılır

**Tablo 6.59.** Faz iletkenlerinin k değerleri

## 6.10.11. OG/AG transformatoru ve ana AG panosu arasındaki koruma iletkeni kesitleri

Transformator gücü (kVA)		İletken tipi		Çiplak iletken			PVC izoleli iletkenler			XLPE izoleli iletkenler		
LV voltage		Bakırer	t (s)	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-
127/220 V	230/400 V	Aluminyum		-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s
≤ 63	≤ 100	Koruma iletkeni kesiti $S_{PE}$ (mm <sup>2</sup> )	-	25	25	25	25	25	25	25	25	25
100	160			25	25	35	25	25	50	25	25	35
125	200			25	35	50	25	35	50	25	25	50
160	250			25	35	70	35	50	70	25	35	50
200	315			35	50	70	35	50	95	35	50	70
250	400			50	70	95	50	70	95	35	50	95
315	500			50	70	120	70	95	120	50	70	95
400	630			70	95	150	70	95	150	70	95	120
500	800			70	120	150	95	120	185	70	95	150
630	1 000			95	120	185	95	120	185	95	120	150
800	1 250			95	150	185	120	150	240	95	120	185

**Tablo 6.60.** Bağlantı iletkenleri seçim tablosu

Tablo 6.60 da

- OG/AG transformatorunun nominal gücü
- OG korumasının t (saniye) işletme süresi (sigorta vasıtasıyla koruma sağlandığında t = 0 sn)
- İletken malzemesinin tipi ve iletkenin ait izolasyon malzemesi göz önüne alınarak belirlenmiştir

AG sisteminde aktif olmayan iletken bölgelere ait PE koruma iletkeni kesiti

$$S_{PH} \leq 16 \cdot mm^2 \text{ ise ,}$$

$$16mm^2 \leq S_{PH} \leq 35mm^2 \text{ ise } S_{PE} = 16mm^2$$

$$S_{PH} > 35mm^2 \text{ ise } S_{PE} = \frac{S_{PH}}{2}$$

PE iletkeni hat sisteminin bir parçası olmadığı zaman kesitler en az

- PE iletkenler için mekanik koruma varsa en az  $2,5\text{mm}^2$
- PE iletkenler için mekanik koruma yoksa en az  $4\text{mm}^2$

### 6.10.12. TT sistemlerde PE koruma iletkeni kesitleri aşağıda verilen değerlerle sınırlanır

Bakır iletkenli PE iletkeni  $25\text{ mm}^2$

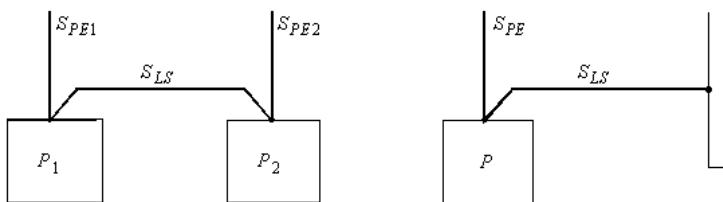
- Alüminyum iletkenli PE  $35\text{ mm}^2$

Eşpotansiyel iletken kesitleri

$$S_{PE1} \leq S_{PE2}$$

$$S_{LS} = S_{PE1}$$

$$S_{LS} = \frac{S_{PE}}{2} \quad (*)$$



Şekil 6.65. Eş potansiyel iletken kesitleri

### 6.10.13. PEN iletkenlerinin kesiti

TN-C topraklama sistemi kullanıldığındaysa koruma iletkeni aynı zamanda nötr iletkeni olarak görev yapar. Bu sistemlerde PEN iletkeni kesitleri en az aşağıda öngörülen değerleri haiz olmak üzere, bu değerlerin üzerinde seçilir.

$S_{PEN}$  enaz  $10\text{ mm}^2$  bakır ve  $16\text{ mm}^2$  alüminyum olarak seçilmelidir.

Ayrıca

- PEN iletkeni PE iletkeni ile ilgili şartlara sahip olacak
- PEN iletkeni nötr iletkeni kesiti ile ilgili gerekli şartlara haiz olacaktır.

#### **6.10.14. Nötr iletkenlerinin kesiti**

3. harmonik etkisinin ihmali edilecek kadar az olduğu veya 3. harmonik akımlarının ortadan kaldırıldığı şebekelerde nötr iletkeni aşağıdaki durumlarda faz iletkeni kesitinde olması şarttır.

- 1-fazlı devrelerde
- 3-fazlı devrelerde  $16 \text{ mm}^2$  bakır kesitten ve  $25 \text{ mm}^2$  aluminyum kesitten küçük faz iletken kesitine sahip devrelerde

Faz iletken kesiti  $16 \text{ mm}^2$  bakır veya  $25 \text{ mm}^2$  aluminyum daha büyük kesitte faz iletkenine sahip 3-fazlı devrelerde nötr iletkeni aşağıda öngörülen şartlar yerine getirilmesi halinde faz iletkeninden daha küçük seçilebilir.

- Devreden geçen muhtemel maksimum akım akım kesitin akım taşıma kapasitesinden küçük olmalıdır. 1-fazlı dengesiz yüklemeler, üç veya üçün katı harmoniğin katı akımlar, nötr iletkeninde toplandığından; faz iletkenin kesitinden daha yüksek kesitte nötr iletkeni kesiti seçilmesini gerektirir (yukarıda açıklanmıştır).
- Böyle durumlarda nötr iletkeni aşırı akım koruma cihazı tarafından korunmalıdır. TN-C nötr iletkeni koruma cihazı vasıtasyyla korunduğunda 4-kutuplu olarak devre açılmalıdır.

## Gerilim düşümlerinin kontrolü

$\Delta V = b \left( \rho_1 \cdot \frac{L}{S_{PH}} \cdot \cos \varphi + \lambda \cdot L \cdot \sin \varphi \right) I_B$  ifadesi kullanarak gerilim düşümü kontrolü yapılır.

$\Delta V$  gerilim düşümü

b katsayı; 3-fazlı devreler için b=1 ve 1-fazlı devreler için b=1

$\rho_1$  iletken özgül direnci

- Bakır iletken için  $\rho_1 = 0,0225 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$
- Aluminyum iletken için  $\rho_1 = 0,036 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

L hat uzunluğu metre

$S_{PH}$  iletken kesiti  $\text{mm}^2$

$\cos \varphi$  güç faktörü. Bilinmediği durumlarda

$\cos \varphi = 0,8 \dots \sin \varphi = 0,6$

$I_B$  maksimum dizayn akımı amper

$\lambda$  birim uzunluktaki iletken reaktansı  $\text{ohm/m}$

alçak gerilim sistemlerinde  $\lambda$  değerleri

$0,08 \dots 10^{-3} \text{ ohm/m}$  3-damarlı kablo 

$0,09 \dots 10^{-3} \text{ ohm/m}$  yatay düzenleme  1-damarlı kablo veya

üçgen düzenleme  1-damarlı kablo

$0,15 \dots 10^{-3} \text{ ohm/m}$   $d=8 \cdot r$     düzenleme 1-damarlı kablolar

$d$  iletkenler arası ortalama mesafe ve

$r$  iletken veya kablo çapı olacaktır.

IEC 364-5-52'ye göre tüketici tesisinin enerji aldığı orijin ile ekipman veya cihazların terminalleri arasındaki gerilim düşümünün nominal gerilime göre %4 den daha fazla olmaması tavsiye edilir. Motor besleme devrelerinde ise gerilim düşümünün hesabı  $I_B$  maksimum dizayn akımı yerine

IMS motor yol alma akımı ele alınarak yapılır. Motorun yol alma esnasında diğer yüklerinde devrede olduğu göz önüne alınarak gerilim düşümünün diğer yükler ve besleme sistemi üzerinde salınımlar olmaması ve motorun düzgün yol alması için motorun besleme fideri çıkışında %10 dan daha büyük olmaması gereklidir.

*TN ve IT sistemlerde dolaylı temaslara karşı koruma için kablo ve hatların azami mesafeleri*

Nominal AC gerilim $V_n / U_n$ (Volts)	Kesme süresi (: saniye.) (*)	
	Nötründen dağıtım yapılmamış sistem	Nötründen dağıtım yapılan sistem
120/240	0.8	5
230/400	0.4	0.8
400/690	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

**Tablo 6.61.** *IT sistemde ikinci hata halinde azami kesme süreleri*

IEC 364 TN ve IT sistemlerde hata halinde insan hayatı açısından hatalı bölümün ayrılmasının için gerekli süreleri aşağıdaki tablolarda verilen değerlerle belirlemiştir.

Nominal AC gerilim $V_n$ (Volts) (**)	Kesme süresi (: saniye.) (*)
120	0.8
230	0.4
277	0.4
400	0.2
> 400	0.1

(\*) Bu değerler banyo ve duş gibi ıslak mahaller için geçerli değildir

(\*\*) AC gerilim değerleri faz-nötr gerilim değerleridir.

**Tablo 6.62.** *TN sistemde azami kesme süresi*

## 6.11. Bara sistemleri

### 6.11.1. Giriş

Elektrik devrelerinde akım taşıyan baraların kayıpları, belirlenen sınırlar içinde tutulmazsa, sistemin performansını bozan yüksek miktarda ısıya dönüşen elektrik enerjisi kayıpları meydana gelir. İletkenin efektif direnci ve çekilen akımın karesi ile doğru orantılı olan bu kayıplar, belirli periyot içinde kayıp enerji olarak enerji maliyetlerine de yansıyacaktır. Düşük değerli direncin daha az kayıp ve daha düşük gerilim düşümü meydana getirdiği gibi akım büyüğünün sistemi bölmek veya iki taraflı veya gözlü besleme metotlarıyla azaltmak suretiyle, kayıpların azaltılması ve gerilim düşümünün uygun hale getirilmesi üzerine çok büyük etkisi vardır.

Modern ve büyük fabrikalara ve endüstriel tesislere ait elektrik sistemlerindeki kapasiteleri ve buna bağlı olarak güç ihtiyacı oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Gerek panolardaki, gerekse Busbar taşıma sistemlerindeki baralar ve tesisde bulan diğer ekipmanlar gibi herhangi bir zarara uğramaksızın termik ve elektromekanik zorlamalara dayanma kapasitesine sahip olmalıdır. Ancak burada önemli olan, kullanılan malzemenin, sistemin akım ihtiyacı ve kısa devre durumunda, kısa devre akımlarına dayanabilecek ve standartların ön gördüğü sıcaklık sınırlarına ve mekanik özelliklere göre seçilmesidir. İletken malzemesinin bakım, enerji tüketimi ve emniyet açısından en düşük işletme

---

masraflarına ve en uygun ve etkin verimi sağlayabilmesi için aşağıda belirtilen özelliklere sahip olması gereklidir.

- Düşük elektrik ve termik direnç
- Kesme, basınç ve çekme kuvvetlerine karşı yüksek dayanım
- Yorulmaya karşı yüksek dayanım
- Skin efekt (cidar etkisi) olayında yüksek etki derinliği ve yüzey filmlerinin düşük elektrik direnci
- İmalatta kolaylık
- Korozyona ve oksidasyona karşı dayanıklılık
- Fiyatlarda düşük maliyet

Yukardaki özellikler ele alınıp incelendiğinde, en uygun özellikte olan malzemenin *bakır* olduğu görülmektedir. Alüminyum, alternatif malzeme olarak ele alınmakla birlikte, iki metalin özellikleri karşılaştırıldığında; bakırın yüksek akım taşıyan ve yüksek elektrodinamik zorlamalara sahip sistemlerde daha üstün olduğu ortaya çıkmaktadır. Alüminyum malzeme, düşük akım çeken yüksek gerilim sistemlerinde tercih edilmektedir.

### **6.11.2. Bara tipleri**

Baraların gerek endüstriyel alanlarda, gerekse enerji üretim ve dağıtım sistemlerinde kullanılan aşağıda belirtilen çeşitli tipleri vardır.

- Hava izoleli açık faz iletkenli bara sistemleri
- Farklı fazlara ait baraların bariyerlerle ayrıldığı hava izoleli bara sistemleri
- Tamamen kapalı ilk iki maddede açıklanan bara sistemleri

- Her bir fazı topraklanmış kapalı mahfazadan ve diğer fazlara ait baralardan hava izoleli bara sistemleri
- Cebri soğutmalı bara sistemleri
- SF6 gaz izoleli bara sistemleri
- Yağ izolasyonlu bara sistemleri

	Özellikler	Üretim	Endüstriyel tesisler
1	Gerilim düşümü	Normal olarak önemli değil	Önemli
2	Sıcaklık yükselmesi	Genellikle maksimum sınırda izin verilir.	Düşük işletme ve yatırım maliyetlerinden dolayı birçok durumlarda düşük
3	Akım aralıkları	0 değerinden 40KA AC değerine kadar	0 dan 200KA e kadar AC ve DC
4	Birleştirme ve bağlantılar	Genellikle civatalı bağlantılar ancak yüksek değerde akırm halinde tamamen kaynaklı .Yüzey işlemesi çok önemli	Genellikle civatalı , bağlantı hazırlığı çok önemli
5	İletken kesiti	Genellikle minimum ancak optimizasyonun gerekliliği olduğu hallerde büyütülür.	Gerilim düşümü ve optimizasyon göz önüne alındığından dolayı genellikle büyük
6	Kelvin kanunu	Uygulanmaz	Uygulanır
7	Yapı şekli	36KV a kadar temel dizayn ve kurallar dahilinde tek tek hesaplanır.	Genellikle alçak gerilim tek tek hesaplanır. Düşük akım ve alçak gerilimlerde standart üretimi
8	Kapalılık	Havalandırmalı veya havalandırmaz tamamen kapalı	Genellikle açık , standart üretim kullanıldığından ekran vasıtıyla korunur ve kapalıdır.
9	Hata kapasitesi	Genellikle büyük toplam sistem gerekliliklerine göre dizayn edilir.	Akım değerleri olarak önemlidir. aynı ancak standart üretimler sistemin kısa devresine uygun olmalıdır
10	Fazların tertiği	Genellikle yatay bazi durumlarda üçgen tertiğ	Normal olarak yatay büyük sistemlerde akım dağılımının düzeltilmesi için transpozisyon
11	Yüklenme faktörü	Genelde yüksek Normal 1,0	Genellikle yüksek,birçok büyük değişken yük sahib
12	Maliyet	Aynı tip tesislerle karşılaştırıldığında düşük	Optimizasyon ve yatırım maliyetleri özellikle göz önüne alınmalıdır.
13	Hatanın etkisi	Önemli derecede yüksek Hata halinde	Bara boyutları ve alçak gerilim tarafından sınırlanır.
14	Bakır tipi	yüksek iletkenlik	yüksek iletkenlik

**Tablo 6.63.** Güç üretim ve endüstriyel işletme sistemleri için tipik dizayn gerekliliklerinin karşılaştırılması

## **6.11.4 . Bara malzemelerinin seçimi**

Zamanımızda baralarda iletken olarak kullanılan malzeme, bakır ve alüminyumdur. Aşağıdaki Tablo 6.64'de söz konusu malzemelerin karşılaştırılması verilmektedir. Söz konusu Tablo 6.64'den bakır iletkenin alüminyum iletkenine göre iletkenlik, dayanma açısından üstün olduğu görülmektedir. Bakırın alüminuma göre dezavantajı, sadece yoğunluktur. Alüminyum, belirlenen akım ve sıcaklık yükselmesi açısından, bakıra göre daha hafif olmasına rağmen; kesit olarak bakırdan daha fazla yer kaplar. Kapalı sistemlerde yer ağırlıktan daha önemlidir.

	Bakır (CW004A)	Alüminyum(1350)	Birim
Elektriksel iletkenlik (tavlı)	101	61	% IACS
Elektriksel direnç (tavlı)	1.72	2.83	$\mu\Omega \text{ cm}$
Direnç sıcaklık katsayısı (tavlı)	0.0039	0.004	/° C
20 °C de termik özgül iletkenlik	397	230	W/mK
Genişleme katsayısı	$17 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	/° C
Çekme dayanımı (tavlı)	200 – 250	50 – 80	N/mm <sup>2</sup>
Çekme dayanımı (yarı tavlı)	260 – 300	85 – 100	N/mm <sup>2</sup>
%2 deney dayanımı (tavlı)	50 – 55	20 – 30	N/mm <sup>2</sup>
%2 deney dayanımı (yarı tavlı)	170 – 200	60 – 65	N/mm <sup>2</sup>
Elastik modülü	116 – 130	70	kN/mm <sup>2</sup>
Spesifik ısı	385	900	J/kg K
Yoğunluk	8.91	2.70	g/cm <sup>3</sup>
Erime noktası	1083	660	°C

**Tablo 6.64.** Bakır ve alüminyumun tipik özelliklerinin karşılaştırılması

Baralarda meydana gelen elektrodinamik zorlanma ağırlığın meydana getirdiği zorlanmadan daha önemlidir. Özellikle yüksek akım taşıyan elemanlar daha büyük boyutlar gerektirir ve kullanılan alan önemli olabilir.

Aşırı yüklenme ve yüksek akımların ortaya çıkardığı termik ve elektrodinamik zorlanmalar göz önüne alındığından bakırın alüminyuma olan üstünlükleri, emniyet açısından bara sistemlerinde bakırın tercih nedeni olmasındaki faktörlerin başında gelmektedir. Diğer taraftan bakırda olan aynı akım taşıma kapasitesi ve dayanım kabiliyetini elde etmek için, alüminyum kesitinin artması ve baralarda daha fazla tesis edilen mesnet izolatörlerinin fazlalığı, ayrı bir maliyet artışı meydana getirir.

Tablo 65. da yüksek iletkenli bakır (HC bakır) ile alüminyumun deney ve yorulma özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmektedir.

**a. Deney özellikleri**

	Test sıcaklığı °C	Herbir 1000 saat için min. deney değeri %	Zorlanma N/mm <sup>2</sup>
Al (1080) (tavlı) ed	20	0.022	26 *
HC Cu (tavlı) ed	150	0.022	26 *
C u-0.086% Ag 50% c.w.	130	0.004	138
C u-0.086% Ag 50% c.w.	225	0.029	96.

**b. Yorulma özellikleri**

Malzeme		Yorulma dayanımı N/mm <sup>2</sup>	Çevrim sayısı x 106
HC Aluminyum	(tavlı)	20	50
	(yarı tavlı) (H8)	46	50
HC Bakır	(tavlı)	62	300
	(yarı tavlı)	115	300

**Tablo 6.65.** Yüksek iletkenli bakır ile alüminyumun deney ve yorulma özelliklerinin karşılaştırılması

## **6.11.5. Baraların akım taşıma kapasiteleri**

### **6.11.5.1. Dizayn şartları**

Baraların akım taşıma kapasiteleri genellikle ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen izin verilen maksimum işletme sıcaklığına göre belirlenir. BS 159, 24 saatlik ortam sıcaklığı  $35^0\text{C}$  ye kadar olan ve en yüksek ortam sıcaklık derecesi  $40^0\text{C}$  olan durumlarda, maksimum sıcaklık artışı olarak  $35^0\text{C}$  yi şart koşmaktadır.

*Dikdörtgen ve silindirik baralarda yaklaşık DC akım değerleri*

Dikdörtgen yassı bara

$$I = 1,02 \cdot \frac{A^{0,5} \cdot p^{0,39} \cdot \theta^{0,61}}{[(1 + \alpha \cdot \theta) \cdot \rho]^{0,5}} \text{ (Amper)}$$

$I$  Baranın akım taşıma kapasitesi (Amper)

$p$  Baranın çevresi (mm)

$A$  Baranın kesiti  $\text{mm}^2$

$\theta$  Baranın bulunduğu ortam ile bara arasındaki sıcaklık farkı

$\alpha$  Ortam sıcaklığında bakırın direnç sıcaklık katsayısı  $^0\text{C}$

$\rho$  Ortam sıcaklığında bakırın özgül direnci ( $\mu\Omega / \text{cm}$ )

*İçi boş yuvarlak baralar*

$$I = 1,13 \cdot \frac{A^{0,5} \cdot p^{0,36} \cdot \theta^{0,61}}{[(1 + \alpha \cdot \theta) \cdot \rho]^{0,5}} \text{ (Amper)}$$

İçi dolu yuvarlak baralar

$$I = 1,78 \cdot \frac{A^{0,68} \cdot \theta^{0,61}}{[(1 + \alpha \cdot \theta) \cdot \rho]^{0,5}} \text{ (Amper)}$$

İletkenin bulunduğu ortam sıcaklığı  $40^0\text{C}$  üzerinde ve sıcaklık yükselmesi  $50^0\text{C}$  ve bakırın özgül direnci  $20^0\text{C}$  de  $1,724 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  ise yukarıdaki formüller

Dikdörtgen yassı bara için

$$I = 7,73 \cdot A^{0,5} \cdot p^{0,39}$$

İçi boş yuvarlak bara için

$$I = 8,63 \cdot A^{0,5} \cdot p^{0,36}$$

İçi dolu silindirik bara için

$$I = 13,6 \cdot A^{0,68}$$

Yüksek iletkenli bakır tüpler için

$$I = 137 \cdot m^{0,5} \cdot d^{0,36}$$

$m$  tüpün birim metre uzunluktaki kütlesi  $\text{kg} \cdot \text{m}$   
 $d$  tüpün dış çapı  $\text{mm}$

Farklı akım ve sıcaklık şartlarındaki yeni değerlerin bulunması

$$\frac{I_1}{I_2} = \left( \frac{\theta_1}{\theta_2} \right)^{0,61} \cdot \left[ \frac{1 + \alpha_{20} \cdot (T_1 - 20)}{1 + \alpha_{20} \cdot (T_2 - 20)} \right]^{0,5}$$

$I_1$  1 şartlarındaki akım (Amper)

$I_2$  2 şartlarındaki akım (Amper)

$\theta_1$  1 şartlarındaki sıcaklık  $^0\text{C}$

$\theta_2$  2 şartlarındaki sıcaklık  $^0\text{C}$

$T_1$  1 şartlarındaki akım için çalışma sıcaklığı  $^0\text{C}$

$T_2$  2 şartlarındaki akım için çalışma sıcaklığı  $^0\text{C}$

$\alpha_{20}$  200C deki direncin sıcaklık katsayısı (0,00393)

Bara sisteminin çalışma sıcaklığı farklı ortam sıcaklıklarında aynı ise yukarıda verilen ifade

$$\frac{I_1}{I_2} = \left( \frac{\theta_1}{\theta_2} \right)^{0,61}$$

Laminantlı baralar (bir fazda birden fazla paralel baranın bulunması)

Aynı fazda birden fazla 6,3 mm kalınlığında 150mm genişliğine kadar ve şeritler arası açıklık 6,3 mm olduğu bara şeritlerinin bağlandığı bir bara sistemidir. Akım taşıma kapasitesi bir şeriti akım taşıma kapasitesi laminant sayısına göre aşağıda verilen Tablo 6.66'daki çarpım faktörleri ile çarpılarak bulunur.

<u>Laminant</u>	<u>Çarpım</u>
<u>sayısı</u>	<u>faktörü</u>

2	1,8
3	2,5
4	3,2
5	3,9
6	4,4
8	5,5
10	6,5

**Tablo 6.66.** Laminant sayısına göre çarpım faktörü

## 6.11.5.2. Bara sistemlerindeki alternatif akım etkileri

Bara sistemlerindeki alternatif akım etkileri aşağıda verilen başlıklar altında incelenecaktır

- Cidar etkisi [: Skin effect]
- Yaklaşma etkisi [:Proximity effect]
- Minimum kayıplar için gereklilikler
- Etki (Nüfuz) derinliği

### ***Cidar etkisi***

İletkenin görünen direnci, daima alternatif akımda doğru akıma göre daha yüksektir. Alternatif manyetik akı iletken üzerinde zıt elektromotor kuvvet oluşturarak iletken üzerinden geçen akımı azaltır. Cidar etkisi denilen bu etkiden dolayı iletkenin direnci artar

### *Skin efekt oranı*

$$S = \frac{R_f}{R_0} \text{ ifadesiyle belirlenir. Bu ifadede}$$

$R_f$  İletkenin alternatif akım direncini

$R_0$  İletkenin doğru akım direncini ifade eder

İçi dolu bakır çubuklar için skin efekt oranı

$$S = \sqrt{\left(1 + \frac{X^4}{48}\right) + 1} \quad X < 3 \text{ ise}$$

$$S = \frac{X}{2\sqrt{2}} + 0,26 \quad X > 3 \text{ ise}$$

$$X = \pi \cdot d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot \mu \cdot 10^{-5}}{\rho}}$$

$d$  çubuğun çapı (mm)

$f$  Frekans (Hz)

$\rho$  İletkenin özgündirenci ( $\mu\Omega \cdot cm$ )

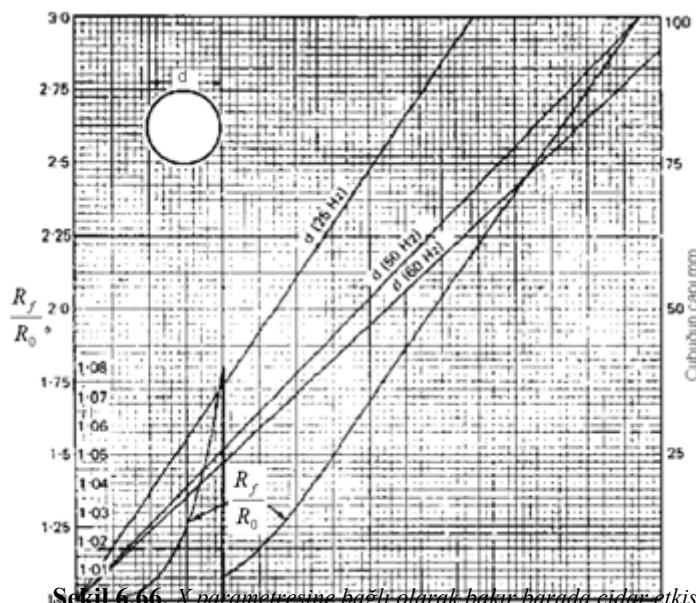
Yüksek iletkenli bakır için  $200C$  de  $\rho = 1,724 \mu\Omega \cdot cm$  olduğundan

$$X = 1,069 \cdot 10^{-2} \cdot d \cdot \sqrt{f} \quad \text{veya}$$

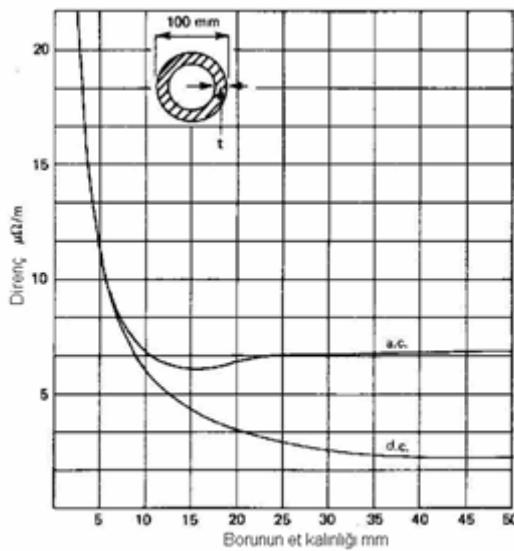
$$X = 1,207 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{A \cdot f} \quad \text{yazılır}$$

$A$  iletken kesiti ( $mm^2$ )

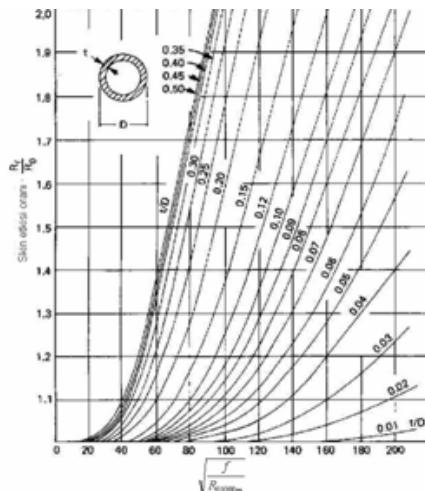
Şekil 6.66'da yüksek iletkenli bakır (HC bakır) çubuktaki cidar etkisi,  $X$  parametresine bağlı olarak bulunabilir.



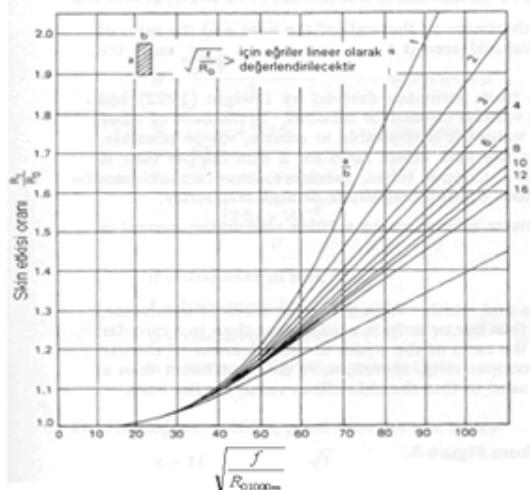
Şekil 6.66.  $X$  parametresine bağlı olarak bakır barada cidar etkisi



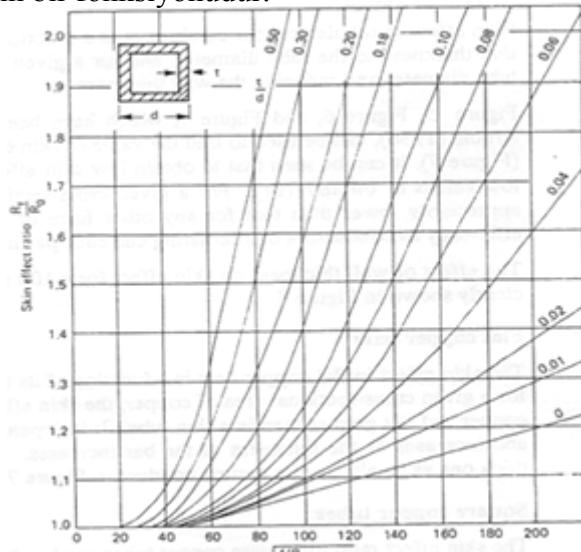
**Şekil 6.67.** 100mm dış çapında HC bakır boru baraların boru et kalınlığına göre  
Doğru Akım ve 50Hz Alternatif Akım dirençleri



**Şekil 6.68.** Çubuk ve boru baralarda cidar etkisi



Dikdörtgen yassı baralarda skin etkisi bara kalınlığının ve genişliğinin bir fonksiyonudur.



## 6.11.6. Kısa devre etkileri

### 11.6.1.2 Baraların kısa devre akımları etkisiyle ısınması

Baralar, normal olarak jeneratör ve transformatör gibi büyük enerji üretim ve taşıma sistemlerinin bir parçasıdır. Bu nedenle normal şartlar altında akım taşıma kapasitesinin belirlenmesi gibi kısa devre şartları altındaki dayanımında kontrol edilmesi gereklidir. Kısa devre akımları sürekli akım taşıma nominal değerinin 10-20 katı akımlar olduğundan, bu akımların ısınma etkileri, mutlaka kontrol edilmelidir. Bu etki özellikle küçük kesitlerdeki baralarda tehlikeli ısınmalara yol açar.

Kısa devre akımlarının ısınma karakteristiklerini tam bir doğrulukla hesaplamak kolay değildir. Ancak birçok amaçla (yeterli doğrulukta) aşağıdaki ifade kullanılabilir.

$$t = 0,051 \cdot \left( \frac{A}{I} \right)^2 \cdot \left( \sqrt{1 - 0,0076 \cdot \theta} - 1 \right)$$

*t* Maksimum kısa devre süresi (saniye)

*A* İletken kesiti ( $\text{mm}^2$ )

*I* İletken üzerinden geçen kısa devre akımı (kA)

*θ* İletkende izin verilen maksimum sıcaklık yükselmesi ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\theta = 300^{\circ}\text{C}$  alınırsa

$$t = 4,14 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{A}{I} \right)^2 \text{ uygulanır.}$$

Sıcaklık yükselmesi birim saniye için aşağıdaki formülden bulunabilir.

$$\theta = 5,2 \left( \frac{I}{A} \right)^2 \cdot 10^3$$

Kabul edilebilir doğruluk için  $\left( \frac{I}{A} \right)^2$  oranı  $0,25'$  den küçük olmalıdır.

Topraklama bara sistemleri için maksimum kısa devre sıcaklığı çoğunlukla  $300^{\circ}\text{C}$  seçilir. Ancak faz iletkenleri için üst sıcaklık sınırları daha düşüktür.

### 6.11.6.2. Kısa devrede elektrodinamik zorlanma

#### ***Maksimum zorlanma***

Bara sistemleri normal çalışma şartları altında baraların statik ağırlıklarından dolayı çok düşük zolamalar altındadır. Kısa devre şartları altında fazlardan geçen kısa devre akımının tepe değeri, normal akım değerinin 30 katı gibi bir değere ulaştığından, yüksek elektrodinamik zorlamalar altında kalır. Elektrodinamik zorlamalar hesaplarında esas olan tam asimetrik kısa devre akımı, diğer bir deyimle darbe kısa devre akımı, güç kısa devrinin meydana geliş anındaki kısa devre akımına bağlıdır.

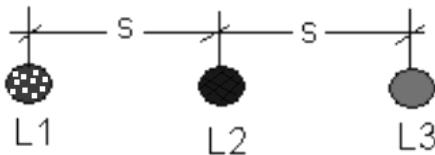
Kısa devrenin meydana geliş anındaki güç faktörü bilinmiyorsa; darbe kısa devre akımı, simetrik subtransiyent kısa devre akımı ve 2,55 darbe katsayı ile çarpılarak belirlenir.

#### 1- fazlı kısa devrede elektrodinamik zorlanma

$$F_{\max} = 2 \cdot \frac{I^2}{s} \cdot 10^{-4}$$

$F_{\max}$  İletken üzerinde meydana gelen kuvvet N/m

- I* Her iki faz üzerinden geçen akım Amper  
*s* Fazlar arasındaki açıklık mm  
 Dengeli 3-faz kısa devre zorlaması



**Şekil 6.71.**

Herhangi bir iletken üzerindeki zorlanma

$$F_{\max} = (0,75)2 \cdot \frac{I^2}{s} \cdot 10^{-4}$$

$L_1$  ve  $L_3$  dış iletkenler artasındaki zorlanma

$$F_{\max} = (0,808)2 \cdot \frac{I^2}{s} \cdot 10^{-4}$$

Ortadaki  $L_2$  iletkeninde zorlanma

$$F_{\max} = (0,866)2 \cdot \frac{I^2}{s} \cdot 10^{-4}$$

$I$  kısa devre darbe akımı, simetrik subtransiyent kısa devre akımıyla  $k$  darbe katsayı ile çarpımından elde edilir. “ $k$ ” darbe katsayı, aşağıda verilen Tablo’dan güç faktörüne göre bulunur.

Güç faktörü	Darbe katsayı $k$
0	2.828
0.07	2.55
0.2	2.2
0.25	2.1
0.3	2
0.5	1.7
0.7	1.5
1.0	1.414

**Tablo 6.67.** Darbe katsayıları

---

## **6.11.7. Baraların bağlanması**

### **6.11.7.1. Bara bağlantı metotları**

Bara bağlantıları, hata halinde elektrodinamik zorlamalara karşı mekanik açıdan sağlam ve kontak geçiş direncinde olan kayıpları azaltmak açısından elektriksel açıdanda düşük dirençli olmalıdır. Zira yüksek akımlı bağlantınlarda kontak geçiş direnci düşük olmadığı durumlarda yüksek kayıplar meydana gelir ve bu elektrik faturalarına yansımakla beraber elektrik panosunda yüksek sıcaklık artışlarına neden olur. Bu nedenle yüksek akımlı bağlantınlarda bir fazdaki bara sayısını artırrarak akımın bölünmesi ve düşük kontak direnci sağlanması zorunludur.

Baralar arasındaki etkili bağlantı civata, köşebent, perçinleme, lehimleme ve kaynakla sağlanır. Kaynaklı bağlantıların avantajı, akım taşıma kapasitesinde distorsyon ve azalma olmaksızın bağlantı noktasında sıfır dirençle sürekli iletkenlik sağlanmasıdır. Civatalı bağlantılar kompakt, mekanik ve elektriksel zorlamalarda güvenilir ve sıkılıkla kullanılan bağlantı şeklidir. Dezavantajı ise, bara üzerinde civata bağlantı deliklerinin açılması ile akım akış hatlarında bazı distorsyonlar ve sıkışmaların meydana gelmesidir. Bu nedenle civatalı birleştirmelerde köşebent bağlantılarında uygulanan bağlantı basıncından daha yüksek bağlantı basıncı gereklidir. Köşebent bağlantılar, bara kesitinde azalma olmaksızın yapımı çok kolay ve güvenilir bir bağlantı şeklidir. Dezavantajı ise, köşebentlerin ve bunlara ait bağlantı elemanlarının neden olduğu ek maliyetlerdir. Perçinli bağlantılar, iyi ve tekniğine uygun yapıldığında etkili ve verimli bir bağlantı şeklidir. Ancak yapımının özel dikkat ve özen gösterilmesini gerektirdiğinden yapımı zor ve zaman

alıcı ve aynı zamanda yüksek maliyetli bir bağlantı şekli olmasından dolayı tercih edilmez. Kaynaklı bağlantılar, kısa devre şartları altında gerekli mekanik ve elektriksel şartlara uygun olmadığından yüksek akım çeken ve yüksek kısa devre akımları altında kalabilecek yerlerde kullanılmazlar.

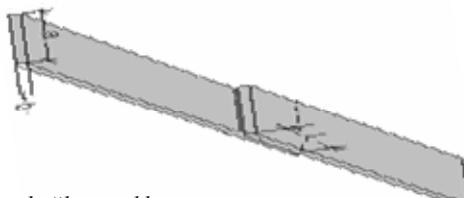
### 6.11.7.2. Bağlantı direnci

Baraların bağlantı direncini etkileyen 2-faktör vardır

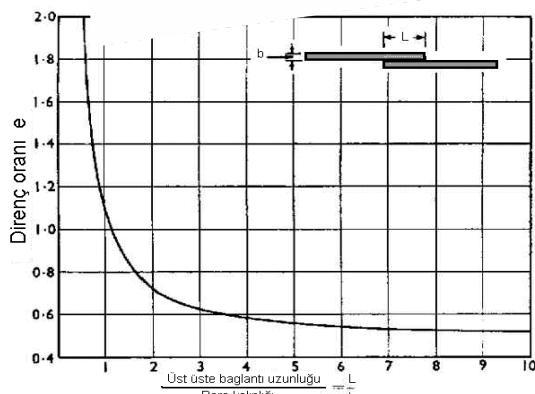
- Akış etkisi ve yayılma direnci  $R_s$
- Kontak direnci veya geçiş direnci  $R_J$

Toplam bağlantı direnci  $R_{TOT} = R_s + R_J$

Akış etkisi veya yayılma direnci



Şekil 6.72. Baraların bağlantı şekli



Şekil 6.73. Baraların civata ile bağlantısında yayılma direncinin oranı

Şekil 6.73'de görünen civata ile bağlantı şeklinde iki bara arasında bağlantı yerinde akım akış yerinde neydana gelen akım akışındaki distorsiyon bağlantı direncine etki eder. Bu etki, akımın tepeden tepeye ve yüzeyden yüzeye akmasıyla ortaya çıkar.

İki yassı dikdörtgen kesitli bara arasındaki civatalı üst üste bağlantı durumunda yayılma direnci etkisi, baraların kalınlığı ile üst üste bağlantının uzunluğunun şekil 6.73'de görüldüğü gibi oranına bağlıdır.

Akım dağılımı, kontak yüzeyi boyunca düzgün olmayıp direnç oranları şekil 6.73'deki eğri kullanılarak belirlenebilir.

Direnç oranı  $e = \frac{R_s}{R_b} = \frac{a \cdot b}{\rho \cdot L} \cdot R_s$  ifadesiyle de bulunabilir. Söz

konusu ifadede

$R_s$  Akış etkisi veya yayılma direnci

$R_b$  Bir iletkenin eşdeğer uzunluktaki direnci mm

$a$  Baranın genişliği mm

$b$  Baranın kalınlığı mm

$L$  Bağlantı yerinde baranın üst üste gelen kısmının uzunluğu mm

$\rho$  İletkenin özgül direnci  $\mu\Omega \cdot mm$

Şekil 6.73'den de görüleceği üzere direnç oranı 7'den sonra pek fazla değişmediğinden; üst üste gelen bara bağlantı uzunluğunun bara kalınlığının 5 katından az olmaması ile birlikte, 7 katından da fazla olmasına gerek yoktur. Örneğin 10 mm kalınlığındaki baraların birleştirilmesinde üst üste gelen bağlantı uzunluğu 50 mm ile 70 mm arasında olmalıdır.

### 6.11.7.3. Kontak geçiş direnci

Kontak geçiş direnci iki ana faktöre bağlıdır.

- Kontak yüzey şartları
- Toplam bağlantı basıncı

#### *Kontak yüzey şartları*

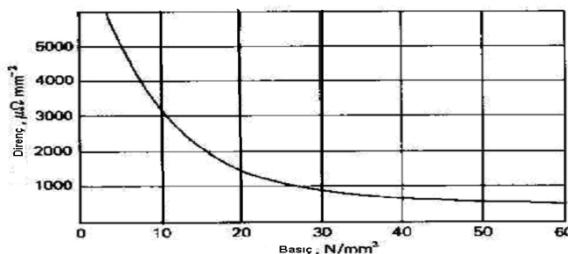
Baraların yüzeyleri düz ve temiz olmalıdır. Herhangi bir fırçalama işlemi yapmaya gerek yoktur. Yüzeyin düzgün, bükümsüz ve temiz olmasını sağlayarak bir çok durumlarda iyi sonuçlar elde edilir.

#### *Bağlantı kontak yüzeylerinin hazırlanması*

Öncelikle kontak yüzeylerinin eğriliği giderilerek düzleştirilir ve gerekiyorsa bağlantı yüzeyleri temizlenir. Bağlantı işlemi sırasında tekrar oksitlenmeyi önlemek amacıyla temizlemeden hemen sonra bağlantı yapılacak bölgenin petrol jeli ile ince film şeklinde kaplanması tavsiye edilir. Bağlantı yeri, petrol jeli ile temizlenmesiyle birlikte civatalanır. Petrol jeli sıkıştırma esnasında bağlantı yerinin dışına taşarak bağlantıyı dış etkilerden korur.

### 6.11.7.4. Kontak basıncının etkisi

Kontak basıncının etkisiyle bağlantı direncinin birim yüzey için alacağı değer, Şekil 6.74'de görülmektedir.



Şekil 6.74. Kontak direncinin birim  $\text{mm}^2$  yüzey için bağlantı basıncıyla değişimi

Bağlantı direnci basıncın artmasıyla hızla düşmekle beraber; bu düşüş, 15 N/mm<sup>2</sup> ye kadar etkili bir şekilde gerçekleşir. Bu değerin üstündeki basınçlar da dirençlerdeki düşüş, etkili bir şekilde olmayıp; 15 N/mm<sup>2</sup> değerinin üstündeki sıkıştırmalara gerek yoktur.

Yük altındaki baraların aşırı ısınmasında bakır ile çeliğin farklı uzama katsayılarına sahip olmasından dolayı bağlantı yerinde gevşemeler meydana gelebilir. Bağlantılarda esas olan kontak basıncının yaklaşık aynı kalmasıdır. Bu nedenle sıcak ve soğuk şartlar altında kontak basıncını sabit tutmak için bağlantılar pul ve yaylı rondelalar ile sağlanmalıdır.

Bağlantı verimi

$$R_S = \frac{\rho \cdot e \cdot L}{a \cdot b} \text{ yayılma direnci}$$

$$R_J = \frac{Y}{a \cdot b} \text{ kontak geçiş direnci}$$

Toplam bağlantı direnci

$$R_{TOT} = R_S + R_J = \frac{\rho \cdot e \cdot L}{a \cdot b} + \frac{Y}{a \cdot L}$$

Baranın eşdeğer uzunluktaki direnci

$$R_B = \frac{\rho \cdot L}{a \cdot b}$$

Bağlantı verimi ise

$$\frac{R_{TOT}}{R_B} = e + \frac{Y \cdot b}{L^2 \cdot \rho}$$

İfadelerde

$Y$  birim yüzey için kontak geçiş direnci. Şekil 11 den alınır.

$a$  bara genişliği mm

$b$  bara kalınlığı mm

*L* bara bağlantı uzunluğu mm  
*e* direnç oranı Şekil 6.74'den alınır.

Kontak basıncı,  $7 \text{ N/mm}^2$  den aşağı değerde olmamalıdır.  $10 \text{ N/mm}^2$  olması tavsiye edilir. Simetri sağlanması açısından bağlantı uzunluğu baranın genişliğine eşdeğer yapılır.

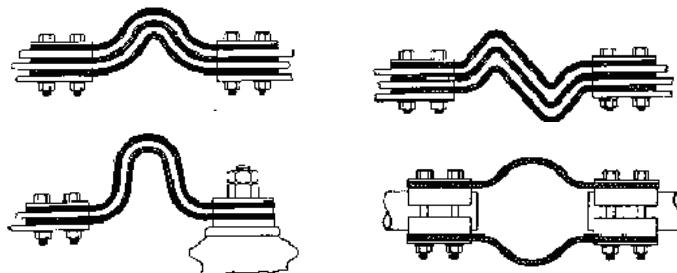
### 6.11.7.5. Civata bağlantılarının düzenlenmesi

İstenen bağlantı verimini ve gerekli kontak basıncını sağlamak için civata bağlantı şekline, boyut ve sayısına karar vermede elektriksel ve mekanik faktörlerin her ikisinin birden göz önüne alınması gereklidir. Civata boyutları bara bağlantılarında genellikle M6 ile M20 arasıdır. Her bağlantı için 4 ile 6 arası civata kullanılmaktayken 4 civatalı bağlantılar tercih sebebidir. Tablo 6.68'de çeşitli bağlantı boyutları için tipik civata bağlantı şıkları gösterilmektedir.

Bara genişliği mm	Bağlantı uzunluğu mm	Bağlantı yüzeyi $\text{mm}^2$	Civata sayısı	Metrik civata boyutu	Civata sıkma momenti Nm	Delik çapı mm	Yaylı rondela çapı mm	Yaylı rondela : kalınlığı mm
16	32	512	2	M6	7.2	7	14	1.8
20	40	800	2	M6	7.2	7	14	1.8
25	60	1500	2	M8	17	10	21	2.0
30	60	1800	2	M8	17	10	21	2.0
40	70	2800	2	M10	28	11.5	24	2.2
50	70	3500	2	M12	45	14	28	2.7
60	60	3600	4	M10	28	11.5	24	2.2
80	80	6400	4	M12	45	14	28	2.7
100	100	10000	5	M12	45	15	28	2.7
120	120	14400	5	M12	45	15	28	2.7
160	160	25600	6	M16	91	20	28	2.7
200	200	40000	8	M16	91	20	28	2.7

**Tablo 6.68.** Tipik civata bağlantı şıkları

Çoğunlukla galvaniz civatalar kullanılmaktadır. Ancak pirinç ve bronz civatalar, bakır iletkenle yaklaşık aynı sıcaklık uzama katsayısına sahip olduğundan, çalışma sıcaklığında kontak basıncı önemli derecede değişmediğinden, tercih edilmelidir. Ayrıca bakır alaşımı civatalar oldukça farklı metal korozyonundan sakınılmış olunur. Bununla birlikte çelik civatalar, ferro-magnetik malzemeler olduğundan; ilave histerizis kayıplarına neden olmakta ve ısınmaktadır.



Şekil 6.75. Baraların genişleme bağlantıları

### 6.11.8. Bara impedansları

#### 6.11.8.1. Direnç

$$R_F = R_0 \cdot S \cdot K$$

$R_F$  verilen frekanstaki direnç

$R_0$  doğru akım direnci

$S$  (cidar etkisi) skin efekt oranı

$K$  (yakınlaşma etkisi) proximity efekt oranı Şekil 6.76'dan alınır.

#### Endüktans (indüktans)

$$X_L = 2\pi f L \text{ endüktif reaktans ohm}$$

$f$  frekans

$L$  endüktans Henry

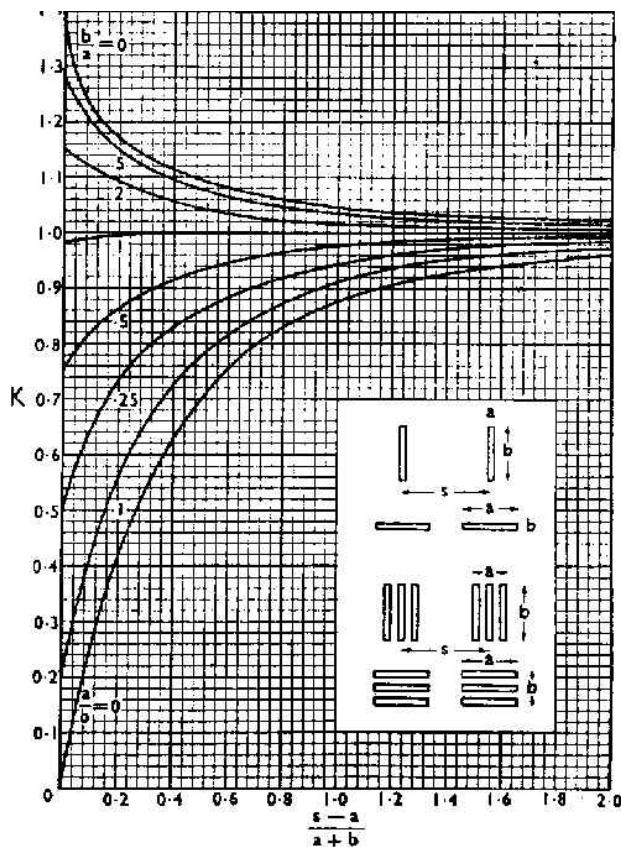
### Kapasitans

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \text{ kapasitif reaktans ohm}$$

$C$  , kapasitans Farad

### Empedans

$$Z = \sqrt{R_f^2 + X^2} \text{ ohm}$$

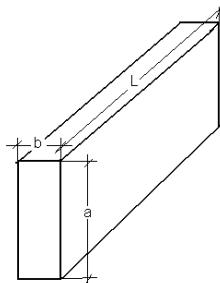


Şekil 6.76. Baraların proximity efekt oranı

### 6.11.8.2. Endüktans ifadeleri

#### Dikdörtgen bara

##### Tek iletken



Şekil 6.77. Tek iletken bara boyutları

Bara endüktansı

$$L_S = 0,002 \cdot L \left( \ln \frac{2 \cdot L}{D_S} - 1 + \frac{D_S}{L} \right) \mu H$$

$L_S (\mu H)$  self endüktans

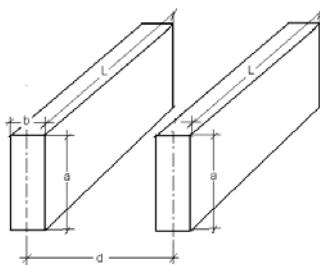
$D_S (cm) = 0,2235 \cdot (a+b)$  geometrik ortalama mesafe

$L (cm)$  bara uzunluğu

#### İki paralel bara iletkeni

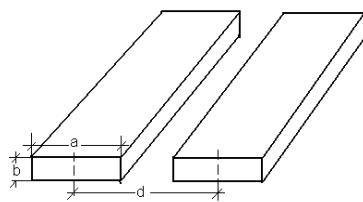
##### Karşılıklı endüktans

$$M = 0,002 \cdot L \left( \ln \frac{2 \cdot L}{D_M} - 1 + \frac{D_M}{L} \right)$$



Şekil 6.78.a. Dikey tertip

Şekil 6.78. İki bara iletken teripleri



Şekil 6.78.b. Yatay tertip

Yukardaki ifadede

$M(\mu H)$  karşılıklı endüktans

$D_M(m)$  geometrik ortalama mesafe (ilerde verilecek)

$L(cm)$  bara uzunluğu

Gidiş dönüş barası

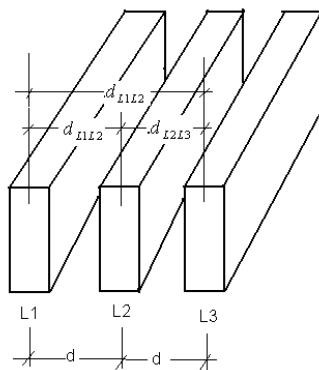
$$L_{GD} = L_S - M$$

$$L_{GD}(\mu H) = 0,002 \cdot L \cdot \ln \frac{D_M}{D_S} \quad \text{veya} \quad L_{GD}(\mu H) = 0,002 \cdot L \cdot \ln \frac{d}{b}$$

Geometrik ortalama mesafe ifadesi

$$D_M = \frac{1}{a^2 \cdot b^2} \cdot \left\{ -\frac{1}{2} \left[ d^2 \left( b^2 - \frac{d^2}{6} \right) - \frac{b^4}{6} \right] \ln \left( d^2 + b^2 \right) + \frac{1}{12} (d+a)^4 \cdot \ln (d+a) + \frac{1}{12} (d-a)^4 \cdot \ln (d-a) - \frac{1}{6} d^4 \cdot \ln d + \frac{1}{3} [b(d+a)^3 - b^3(d+a)] \tan^{-1} \left( \frac{b}{d+a} \right) + \frac{1}{3} [b(d-a)^3 - b^3(d-a)] \tan^{-1} \left( \frac{b}{d-a} \right) - \frac{2}{3} [b \cdot s^3 - b^3 \cdot s] \tan^{-1} \frac{b}{s} - \frac{25}{12} a^2 b^2 \right\}$$

**3-fazlı bara iletkenleri**



**Şekil 6.79.** 3-fazlı bara iletkenleri dikey tertip

$$L_{L_3}(\mu H) = 2 \cdot 10^{-3} \left[ \ln \frac{1}{D_S} + (-0,5 + j0,866) \ln \frac{1}{D_{ML1L2}} + (-0,5 - 0,866) \ln \frac{1}{D_{ML1L3}} \right]$$

$$L_{L_2}(\mu H) = 2 \cdot 10^{-3} \left[ \ln \frac{1}{D_{ML1L2}} + (-0,5 + j0,866) \ln \frac{1}{D_S} + (-0,5 - 0,866) \ln \frac{1}{D_{ML2L3}} \right]$$

$$L_{L_1}(\mu H) = 2 \cdot 10^{-3} \left[ \ln \frac{1}{D_{ML1L3}} + (-0,5 + j0,866) \ln \frac{1}{D_{L3L3}} + (-0,5 - 0,866) \ln \frac{1}{D_S} \right]$$

## 6.11.9. Baraların boyutlandırılması

### 6.11.9.1. Baraların boyutlandırmasında işlem sırası

Baraların boyutlandırmasında öncelikle normal işletme şartları, göz önüne alınır. Tesisin çalışacağı gerilim seviyesine göre faz, iletkenlerinin birbirine ve panonun veya tesisin topraklanmış aktif olmayan metal bölümlerine olan uzaklıği belirlenir. Bara boyunca akan nominal akımla bara iletkeninin kesiti ve baranın bakır veya alüminyum olarak malzemesi belirlenir. Baraların yerleştirildiği mesnet izolatörlerinin mekanik dayanımları ve baraların mekanik ve termik etkilerine dayanımı kısa devre akımları ele alınarak kontrol edilir. Bununla beraber baraların kısa devre durumunda rezonans durumu da kontrol edilir. Bara hesaplarını gerçekleştirmek için bara ile ilgili elektriksel ve fiziksel karakteristiklerinin belirlenmesi gereklidir.

### 6.11.9.2. Baraların elektriksel karakteristikleri

$S''_K$ , Şebeke kısa devre gücü (MVA)

$U_N$ , Nominal gerilim (kV)

$U$  , İşletme gerilimi (kV)

$I_N$  , Nominal akım (A)

### 6.11.9.3. Baraların fiziksel karakteristikleri

$S$  Baranın kesiti (cm<sup>2</sup>)

$d$  Faz iletkenleri arasındaki açıklık (cm)

$l$  Aynı faz iletkenleri üzerinde mesnet izolatörleri arasında açıklık (cm)

$\theta_N$  Ortam sıcaklığı (°C)

$\theta - \theta_N$  İzin verilen sıcaklık yükselmesi

### 6.11.9.4. Termik dayanım

#### *Nominal akım*

İletken için sürekli çalışma şartlarında izin verilen akım

$$I = K \cdot \frac{24,9 \cdot (\theta - \theta_n)^{0,61} \cdot S^{0,5} \cdot p^{0,39}}{\sqrt{\rho_{20} \cdot [1 + \alpha(\theta - 20)]}} \text{ ifadesi ile hesaplanır}$$

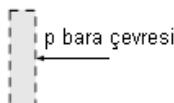
$I$  bara iletkenlerinden geçmesine izin verilen maksimum akım

$\theta_n$  ortam sıcaklığı ( $\theta_n \leq 40^0 C$ )

$(\theta - \theta_n)$  izin verilen sıcaklık yükselmesi

$S$  bara kesiti

$p$  baranın çevresi (cm)

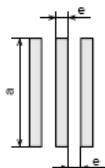


$\rho_{20}$  20°C'de iletken özgül direnci ,bakır için  $0,183\mu\Omega.cm$ , alüminyum için  $0,290\mu\Omega.cm$

$\alpha$  özgül direnç sıcaklık sabiti 0,004

K işletme şartları toplam sabiti  $K=k1.k2.k3.k4.k5.k6$

$k1$  sabiti, her bir fazdaki bara çubuklarının sayısına bağlı olup 1- bara için 1 olmakla beraber 2 veya 3 bara için aşağıdaki değerlere göre belirlenir.



e/a	e/a								
	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
Her bir fazdaki bara sayısı	k1								
2	1.63	1.73	1.76	1.80	1.83	1.85	1.87	1.89	1.91
3	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60	2.63	2.65	2.68	2.70

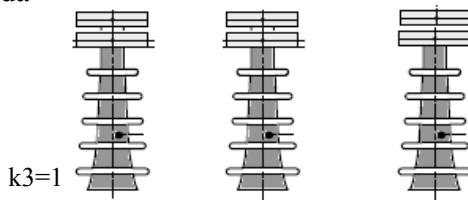
Tablo 6.69  $k1$  sabitinin bara boyutlarına göre değerleri

$k2$  sabiti, bara yüzeyinin işlemesine bağlı olup

- Çıplak bara için  $k2=1$
- Boyalı bara yüzeyi için  $k2=1,15$

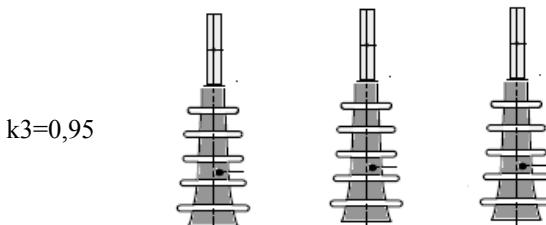
$k3$  sabiti, baraların yerleşim pozisyonuna bağlı sabite olup

- Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi kenar kenara montaj durumunda



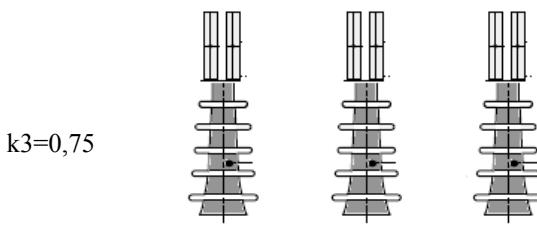
Şekil 6.80. Baraların yatay kenar kenara montajı

- 1-baralı yüzey yüzeye montaj durumunda



**Şekil 6.81.** Baraların 1-fazlı yüzey yüzeye montajı

- Birden fazla baralı yüzey-yüzeye montaj durumunda



**Şekil 6.82.** Birden fazla yüzey yüzeye montaj

k4, baraların tesis edildiği ortama bağlı olup

- Serin iç ortamlarda  $k4=1$
- Serin dış ortamlarda  $k4=1,2$
- Havaalandırmaz kanallar içinde  $k4=0.80$

k5, suni yani cebri havalandırma ile ilgili bir sabit olup suni havalandırma yapılmayan yerlerde  $k5=1$  alınır. Suni havalandırma ortamına göre yapılan testler sonucu, suni havalandırma miktarı kadar sabitin değeri belirlenir.

k6, alternatif akım frekansı  $\leq 60Hz$  olan sistemlerde n bara sayısına ve baralar arasındaki açıklığa göre belirlenen bir sabit olup; bara arası açıklık bara kalınlığına eşit ise

n	1	2	3
k <sub>6</sub>	1	1	0.98

**Tablo 6.70.** *k<sub>6</sub>faktörleri*

değerlerini alacaktır.

### **Kısa süre dayanım akımı**

İzin verilen sıcaklık değerini 1 veya 3 saniye süre ile geçmeyecek maksimum kısa devre akımı değeridir. Aşağıdaki eşitlikten kısa devre halinde sıcaklık yükselmesi bulunabilir.

$$\Delta\theta_{CC} = \frac{0,24 \cdot \rho_{20} \cdot I_{th}^2 \cdot t_k}{(n \cdot S)^2 \cdot c \cdot \delta}$$

$\Delta\theta_{CC}$  Kısa devre sıcaklık yükselmesi

c Metalin özgül ısısı Bakır için  $0,091 \text{ kcal} / \text{daN}^0\text{C}$ , aluminyum için  $0,23 \text{ kcal} / \text{daN}^0\text{C}$

S Baranın kesiti  $\text{cm}^2$

n Her bir fazdaki bara sayısı

$I_{th}$  Kısa süre akım dayanımı (Maksimum kısa devre akımın RMS

değeri) (Amper)

$\theta - \theta_n$  İzin verilen sıcaklık yükselmesi

$\theta$  İletken içi,n izin verilen maksimum sıcaklık

$\theta_n$  Ortam sıcaklığı

$\delta$  Metalin yoğunluğu bakır için  $8,9 \text{ g/cm}^3$  ve aluminyum için  $2,7 \text{ g/cm}^3$

$t_k$  Kısa süre akım dayanımı süresi, 1 veya 3 saniye olarak ele alınır.

$\rho_{20}$  İletkenin  $20^0\text{C}$  deki özgül direnci

Yukardaki ifade, kısa devre akımı uygulaması 5 saniyeye kadar olan durumlar için geçerli olup  $\Delta\theta_{CC} \leq \theta - \theta_n$  olarak

hesaplarda göz önüne alınacaktır. Söz konusu ifade  $I_{th}^2 \cdot t_k$  için düzenlenirse

$I_{th}^2 \cdot t_k = \frac{(n \cdot S)^2 \cdot c \cdot \delta \cdot \Delta \theta_{CC}}{0,24 \cdot \rho_{20}}$  olup belirli malzeme, kesit ve izin verilen sıcaklık yükselmeleri için sabittir.

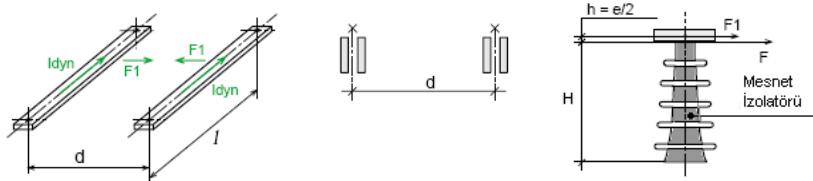
### 6.11.9.5. Elektro dinamik dayanım

Paralel iki iletken arasında kısa devre akımı geçtiğinde meydana gelecek elektrodinamik kuvvetler

$$F_1 = 2 \cdot \frac{l}{d} \cdot I_{dyn}^2 \cdot 10^{-8} \text{ (dAN)} \text{ ifadesiyle belirlenir.}$$

$I_{dyn}$  darbe kısa devre akımı olup

$$I_{dyn} = k \cdot \frac{S''_K}{U \cdot \sqrt{3}} = k \cdot I_{th} \text{ ifadesiyle hesaplanır.}$$



Şekil 6.83. Baraya uygulanan elektro dinamik kuvvetler.

Bu ifadelerde

$S''_K$  (kVA) kısa devre gücü

$I_{th}$  (Amper.rms) kısa süre dayanım akımı

$l$  (cm) aynı fazdaki iki izolatör arasındaki açıklık

$d$  (cm) fazlar arasındaki açıklık

k IEC standartlarına göre 50Hz için 2,5; 60Hz için 2,6 ve ANSI

standartlarına göre 2,7

Mesnet izolatörleri üzerine etki eden kuvvet

$$F = F_l \cdot \frac{H + h}{H}$$

Burada

$F$  İzolatörlerde uygulanan kuvvet

$H$  Mesnet izolatörünün yüksekliği

## 6.12 . Busbar taşıma sistemleri (BTS)

### 6.12.1. Dağıtım busbarları

Busbar sistemleri önceden yükleri belirlenen alanda ortak güç dağıtımını sağlayan sistemlerdir. Kullanım alanları, aydınlatma, fabrika ve ofislerde çevreçvre güç dağıtımını, yüksek yapılarda katlar boyunca her bir kata ait güç panolarına enerji temini için kullanılırlar. Busbar sistemleri yatay, düşey veya her iki tertibin kombinasyonu olarak tesis edilirler. Güç, busbar boyunca belirlenen yerlerde baralara bağlanan ve içerisinde uygun koruma cihazları bulunan güç temini kutuları vasıtasıyla alınır.

Busbar sisteminin kablolara göre avantajları

- Her bir tüketici için kablo tavalarından ayrı bir kablo çekilir. Busbar sisteminde tüketicilere doğru denk bir busbar tesis edilir. Böylece malzemeden, işçilikten, kablo sabitleme elemanlarından ve bunlara ait işçilikten ve montaj süresinden tasarruf edilir.

- Bir çok bağlantı noktası olması nedeniyle enerji sisteminde herhangi bir değişiklik gerek kalmadan cihazların yerleri ve konumları değiştirilebilir.
- Sistem kolaylıkla genişletilebilir. Herhangi bir ilave panoya ve güç sisteminin tesisine gerek kalmadan tesise ilave makina bağlanabilir.

### **6.12.2. Besleme veya bağlantı busbarları**

Güç panolarını veya transformatörle panoları birleştirmek için kullanırlar. Bu tip busbarları kullanmak yüksek akım çeken sistemlerde kablo bağlantılarına göre çok ekonomiktir ve bu sistemlerde gerilim düşümü, çok düşüktür.

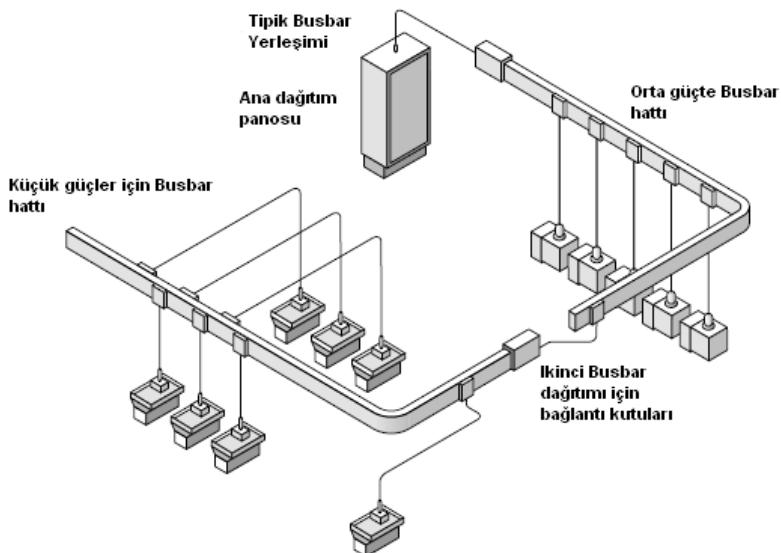
Kabloya göre avantajları

- Uzun hatlarda minimum sabitleme elemanı ve dolayısıyla minimum tesis süresi,
- Kablo taşıyıcıların ortadan kalkması,
- Çok damarlı büyük kablolarla göre daha kolay montaj,
- Panolarda az bağlantı, yer ihtiyacı, kablo birleştirici ek garnitürü gibi ilave gereçlerin olmaması.

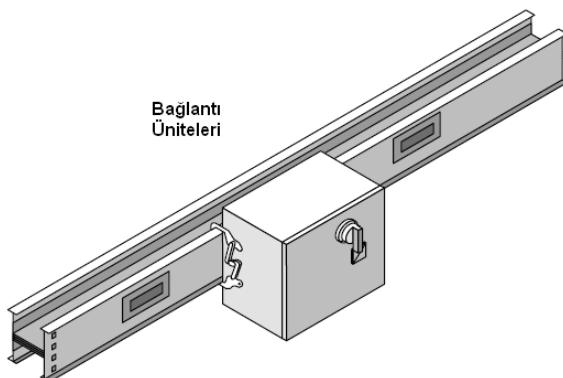
Her iki Busbar sisteminin genel avantajları

- Busbar sistemleri söküllerken herhangi bir modifikasyona gidilmeden diğer yerlerde tekrar monte edilerek kullanılabilir.
- Busbar sistemleri yanına karşı daha dirençlidir.
- Eşdeğer kablo kesitine göre daha düşük değerde gerilim düşümü ve gerilim çökmesi olur.
-

Bağlantı üniteleri ya geçmeli tip ve sabitlemeli tip'tir. Bağlantı kutuları aşırı yük ve kısa devre akımlarına karşı koruma elemanları ile donatılmışlardır.



**Şekil 6.84.** *BTS sisteminin genel görünüsü*



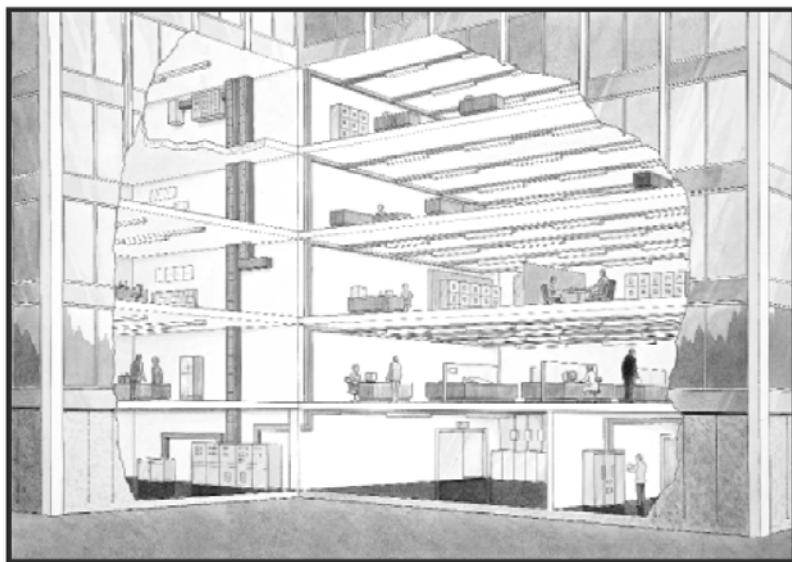
**Şekil 6.85.** *Enerji alma bağlantı ünitesi*

### **6.12.3. Koruma elemanları**

- NH sigortalar
- Anahtarlı sigortalar ve
- Termik-manyetik kesicilerdir.

Busbar sistemlerinin kullanım alanları

- Ofisler
- Apartmanlar
- Okullar
- Oteller
- Hastahaneler
- Alışveriş merkezleri
- Fabrikalar
- Enerji üretim merkezleri
- Petro-kimya endüstrileri
- Petrol ve gaz platformları



**Şekil 6.86. BTS sisteminin yüksek yapıda düzenlenme şekli**

## **6.12.4. Teknik özellikler**

### **6.12.4.1 Kısa devre şartları altındaki performans**

Busbarın enerji aldığı uçtan diğer ucuna kadar yükün çekildiği herhangi bir noktasında meydana gelebilecek kısa devre akımlarının etkilerine dayanıklı olması gereklidir.

#### ***Kısa devre çalışma şartları altında değerler***

Kısa devre dayanım kapasitesi aşağıda açıklanan yollarla ifade edilir

- Kısa-süre dayanım değeri (akım ve süre)
- Darbe akım dayanım değeri
- Kısa devre koruma cihazları ile korunduğunda kısa devre değerleri

#### ***Kısa süre dayanım değeri***

İlerdeki çalışmayı önleyecek şekilde ters ve tahrip edici olmaksızın belirli periyot içinde dayandığı akımın RMS efektif değeridir. Tipik olarak bu periyot süresi kısa devre akımının 1-3 saniye olarak geçtiği değer alınır. Sistem emniyeti ve maliyet açısından kısa devre akımı 50 kA aşmamalıdır.

#### ***Darbe akımı değeri***

Darbe akımı, ani olarak meydana gelir, belirli bir zaman süresinde etkili olur ve bu süre zarfında baralar maksimum zorlama altında kalır. Darbe akımının değeri hata şartları altındaki güç faktörüne bağlı olup sürekli hata akımı değerinin 2,2 katını aşamaz.

#### ***Kısa devreye karşı koruma cihazları ile korunduğunda kısa devre değerleri***

Kısa devreye karşı koruma cihazları, genellikle akım sınırlandırıcı cihazlardır. Bu cihazlar sayesinde kısa devre akımı tepe değerine ulaşmadan yarıy periyodun pek az bir bölümünde kesilirler. Akım sınırlama NH veya HRC sigortalar ile ani açtırma tarzındaki kesicilerle sağlanır.

### **6.12.5. Besleme sistemi**

- Yükleri beslemenin genel tipleri
  1. 1-fazlı
  2. 3-fazlı
- BTS besleme şekli
  1. Tek taraftan besleme
  2. İki uçtan besleme
  3. Merkezi besleme
- Nominal gerilim
- Besleme noktasındaki kısa devre akımı

Yükler: Aynı BTS üzerinden beslenen yüklerin tipi, gücü, güç faktörü, dağılımı ve miktarı

### **6.12.6. BTS geometrisi**

Tesis tipi

- Katlı
- Yanyana
- Düşey

Uzunluk

3-fazlı BTS sisteminde Yük akımları hesabı

$$\sum I_B = \frac{P_T.b}{\sqrt{3}.U_N.Cos\varphi_m} (A)$$

$P_T$ (Watt) tesis edilen yüklerin tamamının aktif güçlerinin toplamı

$b$  besleme faktörü olup BTS tek tarafından besleniyorsa 1, iki taraftan veya merkezden besleniyorsa 2 alınır.

$U_N$  İşletme gerilimi (Volt)

$Cos\varphi_m$  BTS ye bağlanan yüklerin ortalama güç faktörleri

### **6.12.7. BTS akım taşıma kapasitesinin belirlenmesi**

Bara taşıma sistemlerinin belirlenmesinde en kolay yolu imalatçılar tarafından sağlanan verileri kullanmaktadır. Tesis metotları, izolasyon malzemesi, gruplandırma düzeltme faktörleri, bu teknoloji için ilgili parametreler değildir. Verilen herhangi bir modelin imalatçı tarafından belirlenmesi aşağıdaki faktörler esas alınarak yapılır.

- Nominal akım,
- $35^{\circ}\text{C}$  ye eşit bir ortam sıcaklığı
- Yüklü 3-iletken

#### ***Nominal akım***

Nominal akım aşağıdaki durumlar göz önüne alınarak hesaplanır.

- Yerleşim
- Taşıma sistemi boyunca farklı yükler tarafından çekilen akımlar

#### ***Ortam sıcaklığı***

Düzelme faktörü  $35^{\circ}\text{C}$ ’den daha fazla sıcaklıklar için uygulanır. Düzelme faktörü orta ve yüksek güç aralıklarında (4000 A değerine kadar) uygulanır. Tablo 6.71

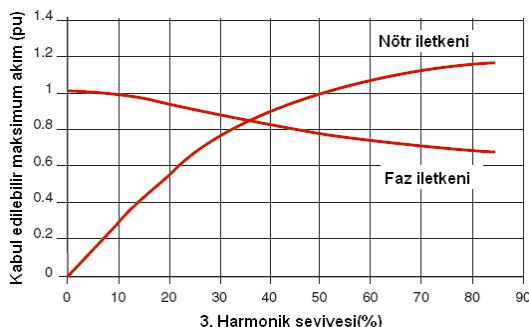
$^{\circ}\text{C}$	35	40	45	50	55
<b>Düzelme faktörü</b>	1	0.97	0.93	0.90	0.86

**Tablo 6.71.**  $35^{\circ}\text{C}$  den yüksek sıcaklıklarda BTS için düzeltme faktörleri

### **Nötr hattı akımı**

3. harmonik akımlarının aktığı yerlerde, nötr iletkeni önemli seviyede akım taşıyabilir ve ilave kayıplar mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Şekil 6.87, 3. harmonik seviyesine ve fonksiyonlar olarak yüksek güçte BTS sisteminde nötr akımlarını kabul edilebilir maksimum faz akımlarını göstermektedir.



**Şekil 6.87.** 3.harmoniğin fonksiyonu olarak maks. kabul edilebilir BTS akımlar

BTS sisteminin yerleşimi akım tüketimlerinin pozisyonlarına, güç kaynağının yerine ve sistemin bağlantı imkanlarına bağlıdır.

- Bir tek dağıtım 4-6 metre alana hizmet verir.
- Akım tüketicileri için koruma cihazları BTS çıkış kutularına yerleştirilir ve buradan doğrudan kullanma noktalarına bağlanır.

- Farklı güçlerdeki tüm akım tüketicileri bir tekli fider tarafından beslenebilir.

Öncelikle BTS yerleşimi kurulur, besleme hattı üzerine bağlanacak tüketicilerin çektiği akı esas alınarak hesaplamalar yapılır.  $I_Z = \Sigma I_B$  BTS sistemine bağlanacak akım tüketicilerin çekeceği toplam akım bulunur. Akım tüketicileri aynı sürede devrede olamayacağından yukarıdaki ifade ile belirlenen akımlar sürekli çekilen akımlar olmayacağından  $k_S$  kullanma faktörünü uygulamak gereklidir. Buna göre BTS sisteminin tasarım akımı  $I_Z = k_S \Sigma I_B$  ifadesi ile belirlenir.

Uygulama	Akım tüketicilerinin sayısı	$k_S$ katsayısı
Aydınlatma, ısıtma		1
Dağıtım (Atölye)	2..3	0.9
	4..5	0.8
	6..9	0.7
	10..40	0.6
	40 ve daha fazla	0.5

**Tablo 6.72.** Akım tüketicilerinin sayılarına göre  $k_S$  kullanma faktörü

*Not: Endüstriyel tesisler için, sistemde ilave makinaların gelecekte tesis edileceği göz ardi edilmemelidir. Bu nedenle tasarım akımı belirlenirken %20 gelecekteki güç artışı için yedek güç ihtiyacı hesaba katılır ve tasarım akımı  $I_Z = k_S \times I_1 \times 1.2 \times \Sigma I_B$  ifadesi ile belirlenir.*

## 6.12.8. BTS koruması

### 6.12.8.1. BTS Aşırı yükle karşı koruma

Aşırı yükle karşı koruma cihazının nominal akımı veya aşırı akım koruma ayar değeri aşağıda verilen formüle göre belirlenir.

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$I_B$  dizayn hesaplarına esas olan BTS sisteminden çekilen maksimum

yük akımı

$I_N$  koruma cihazının nominal akımı veya koruma değerleri ayarlanabilen

koruma cihazlarında cihazın aşırı yük açtırma akım eşik değeri

$I_Z$  BTS nin sürekli akım taşıma kapasitesi

### 6.12.8.2. BTS kısa devreye karşı koruma

Kısa devre akımlarından dolayı meydana gelen termik ve elektrodinamik etkilere ve zorlanmalara karşı BTS mutlaka korunmalıdır. Termik etkilere karşı korumanın belirlenmesinde aşağıdaki ifadeye göre gerçekleştirilir.

$$I^2 \cdot t_{CB} \leq I^2 \cdot t_{BTS}$$

$I^2 \cdot t_{CB}$  Tesisin bir noktasında meydana gelen kısa devre akımında kesicinin taşıyabileceği özgül enerjidir. Bu değer, kesici imalatçıları tarafından kesiciler için verilen egriler yardımıyla bulunur.

$I^2 \cdot t_{BTS}$  BTS'nin dayanım enerjisidir. BTS imalatçıları tarafından hazırlanan kataloglardan bulunur.

Elektrodinamik etkilere ve zorlamalara karşı koruma aşağıda verilen ifade gerçekleştirilecektir.

$$I_{kpCB} \leq I_{kpBTS}$$

$I_{kpCB}$  Maksimum kısa devre akımının kesici tarafından sınırlandırılan tepe değeridir. Kesici kataloglarından alınır.

$I_{kpCB}$  BTS'nin dayanabileceği darbe kısa devre akımının değeridir. BTS kataloglarından bulunur.

### 6.12.9. BTS'lerde gerilim düşümü

BTS özellikle uzun ve yüksek değerde yükler bağlı ise, mutlaka gerilim düşümünün kontrol edilmesi gereklidir. 3-fazlı sistemde güç faktörü  $\cos\varphi_m$  olmak üzere aşağıda verilen basitleştirilmiş formülden hesaplanabilir.

$$\Delta U = \frac{a \cdot \sqrt{3} \cdot I_B \cdot L_B \cdot (r_B \cdot \cos\varphi_m + x_B \cdot \sin\varphi_m)}{1000} \text{ (Volt)}$$

1-fazlı sistemlerde

$$\Delta U = \frac{a \cdot 2 \cdot I_B \cdot L_B \cdot (r_B \cdot \cos\varphi_m + x_B \cdot \sin\varphi_m)}{1000} \text{ (Volt)}$$

$a$  akım dağılım faktörü olup BTS boyunca akım dağılımına ve sistemin beslenme şekline bağlı olarak Tablo 6.73. de verilmektedir.

Besleme tipi	Yüklerin düzenlenmesi	$a$ Akım dağılım faktörü
Sadece 1-taraftan besleme	Yük yoğunluğu sonda Düzenli yayılı yük	1 0.5
İki taraftan,	Düzenli yayılı yük	0.25
Merkezden	Yük yoğunluğu sonda Düzenli yayılı yük	0.25 0.125

**Tablo 6.73.** Akım dağılım faktörü

$I_B$  Yük akımı Amper

$L_B$  BTS uzunluğu

$r_B$  Termik sürekli işletme şartları altında ölçülen BTS nini metre başına birim uzunluktaki direnci ( $m\Omega/m$ )

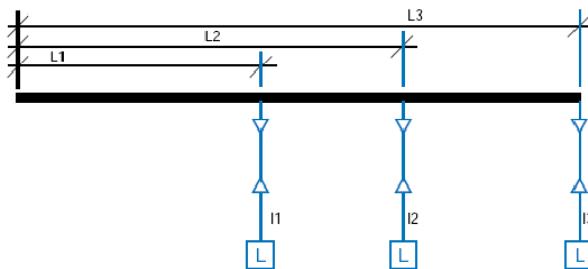
$x_B$  BTS nin metre başına birim uzunluktaki reaktansı ( $m\Omega/m$ )

$\cos\varphi_m$  BTS den çekilen yüklerin ortalama güç faktörü genellikle 0,8 den yukarı değer almaktadır.

Yüzde olarak gerilim düşümü  $\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100$

Çok uzun BTS lerde gerilim düşümünü azaltmak amacıyla ara beslemede yapılır.

Yüklerin BTS üzerinde düzgün yayılmadığı durumlarda gerilim düşümü hesap edilir .

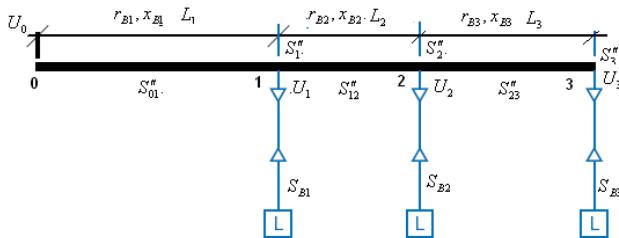


**Şekil 6.88.** Yüklerin BTS üzerinde düzgün dağılmadığı durum

Gerilim düşümü BTS sistemi boyunca malzeme cinsi ve kesitinin sabit olması durumunda aşağıda verilen ifade kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta U = \sqrt{3} [r_B (I_1 \cdot L_1 \cdot \cos \varphi_1 + I_2 \cdot L_2 \cdot \cos \varphi_2 + I_3 \cdot L_3 \cdot \cos \varphi_3) + x_B (I_1 \cdot L_1 \cdot \sin \varphi_1 + I_2 \cdot L_2 \cdot \sin \varphi_2 + I_3 \cdot L_3 \cdot \sin \varphi_3)]$$

Gerilim düşümleri, BTS'den çekilen yüklerin MVA değerleri ve BTS bölümlerinin kısa devre güçleri ele alınarak aşağıda verilen metotla bulunabilir.



**Şekil 6.89.** BTS den çekilen güçler esas alınarak gerilim düşümünün bulunması

BTS bölümlerinin dirençleri

$$0-1 \text{ bölümü} \quad Z_{01} = L_1 \cdot \sqrt{r_{B1}^2 + x_{B1}^2}$$

$$1-2 \text{ bölümü} \quad Z_{12} = L_2 \cdot \sqrt{r_{B2}^2 + x_{B2}^2}$$

$$1-3 \text{ bölümü} \quad Z_{23} = L_3 \cdot \sqrt{r_{B3}^2 + x_{B3}^2}$$

BTS bölümlerinin kısa devre güçleri

$$0-1 \text{ bölümü} \quad S''_{01} = \frac{U_N^2 (kV)^2}{Z_{01} (ohm)} (MVA)$$

$$0-2 \text{ bölümü} \quad S''_{12} = \frac{U_N^2 (kV)^2}{Z_{12} (ohm)} (MVA)$$

$$0-3 \text{ bölümü} \quad S''_{23} = \frac{U_N^2 (kV)^2}{Z_{23} (ohm)} (MVA)$$

Yüklerin çekildiği noktalardaki kısa devre güçleri

$$1 \text{ noktası} \quad S''_1 = \frac{1}{\frac{1}{S''_{01}}} = S''_{01}$$

$$2 \text{ noktası} \quad S''_2 = \frac{1}{\frac{1}{S''_1} + \frac{1}{S''_{12}}} = \frac{1}{\frac{1}{S''_{01}} + \frac{1}{S''_{12}}}$$

$$3 \text{ noktası } S_3'' = \frac{1}{\frac{1}{S_3''} + \frac{1}{S_{23}''}} = \frac{1}{\frac{1}{S_{01}''} + \frac{1}{S_{12}''} + \frac{1}{S_{23}''}}$$

Yüklerin çekildiği noktadaki gerilimler

$U_0 \approx U_N$  kabul edilerek

$$1 \text{ noktasındaki gerilim } U_1 = \frac{S_1''}{S_1'' + (S_1 + S_2 + S_3)} U_N \text{ (Volt)}$$

$$1 \text{ noktasındaki gerilim düşümü } \Delta U_1 = U_N - U_1 \text{ (Volt)}$$

$$1 \text{ noktasındaki \% gerilim düşümü } \Delta u_1(\%) = \frac{U_N - U_1}{U_N} \cdot 100$$

$$2 \text{ noktasındaki gerilim } U_2 = \frac{S_1''}{S_1'' + (S_1)} \cdot \frac{S_2''}{S_2'' + (S_2)} \cdot \frac{S_3''}{S_3'' + (S_3)} U_N \text{ (Volt)}$$

$$2 \text{ noktasındaki gerilim düşümü } \Delta U_2 = U_N - U_2 \text{ (Volt)}$$

$$2 \text{ noktasındaki \% gerilim düşümü } \Delta u_2(\%) = \frac{U_N - U_2}{U_N} \cdot 100$$

3 noktasındaki gerilim

$$U_3 = \frac{S_1''}{S_1'' + (S_1)} \cdot \frac{S_2''}{S_2'' + (S_2)} \cdot \frac{S_3''}{S_3'' + (S_3)} U_N \text{ (Volt)}$$

$$2 \text{ noktasındaki gerilim düşümü } \Delta U_3 = U_N - U_3 \text{ (Volt)}$$

$$2 \text{ noktasındaki \% gerilim düşümü } \Delta u_3(\%) = \frac{U_N - U_3}{U_N} \cdot 100$$

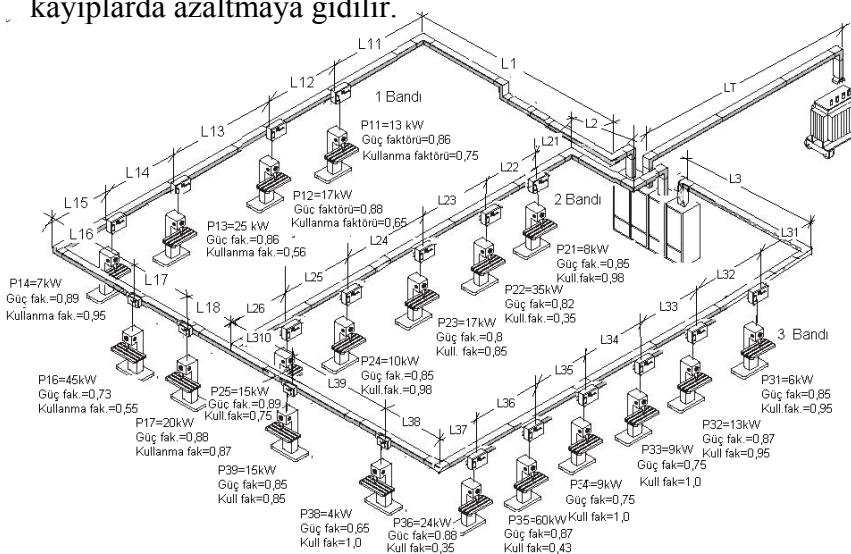
olarak bulunur. Bu metot, BTS sisteminin tamamında bara kesitlerinin aynı kalmayıp yükün miktarına ve besleme noktasına uzaklığuna göre bar kesitlerinin azaldığı sistemlerde de kolaylıkla uygulanır.

## 6.12.10. Büyük endüstriyel tesislerde BTS uygulamaları

Büyük güç sarf eden endüstriyel tesislerde gerek bağlanan cihazların miktarındaki artış, gerekse bu cihazların güçlerinin büyük olması nedeniyle; tek taraflı busbarların, gerek toplam akım miktarlarını karşılamaktaki boyutlarının artması ve gerekse bu akım miktarlarındaki güç kayıplarının yüksek derecelere ulaşmasından dolayı; işletme güvenliği ve enerji verimliliği açısından, busbar sistemlerinde çeşitli konfigürasyonlar uygulanır.

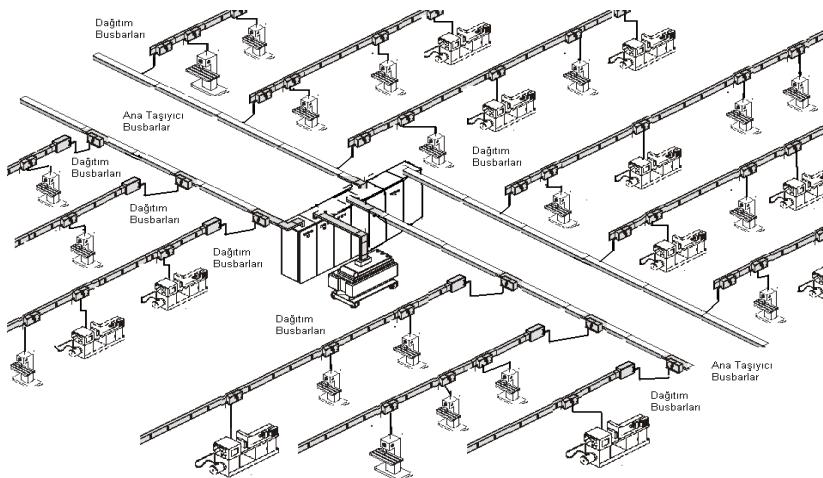
### 6.12.10.1. Üç taraftan beslenen sistemler

Bu sistemle toplam akım 3' e bölünerek busbar kesitinde ve kayiplarda azaltmaya gidilir.



Şekil 6.90. 3-taraflı besleme sistemi

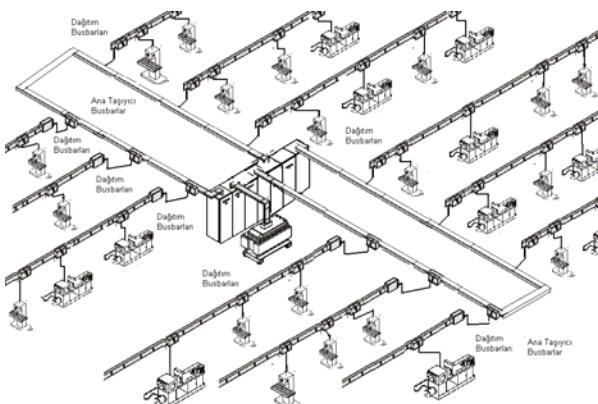
### 6.12.10.2 Tek taraflı beslenen ana taşıyıcı busbar sistemleri



**Şekil 6.91.** Tek taraflı beslenen ana taşıyıcı busbar sistemleri

Bu sistemler güç ihtiyacının sadece dağıtım busbarlarının kullanılmasının ihtiyaci karşılayamaması halinde kullanılan sistemlerdir.

### 6.12.10.3. İki taraftan beslenen ana dağıtım busbarlı sistemler



**Şekil 6.92.** İki taraftan beslenen ana taşıyıcı busbar sistemi

Bu sistemler gerek güç dağılımı ve gerilim stabilitesi gerekse güç kayıplarını azaltma açısından çok uygun sistemlerdir.

## 6.13. Kabloların tesis tasarımı

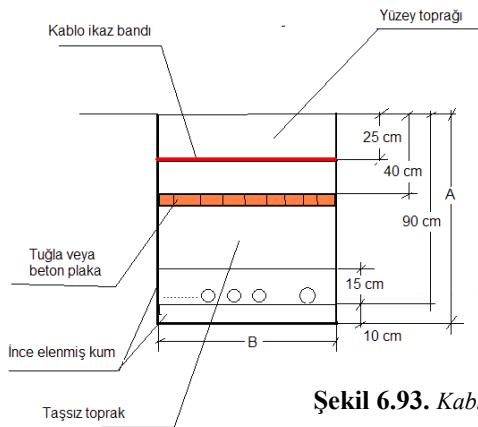
Kablolar yapı ve sistem içinde değişik tiplerde tesis edilirler. Bu tesis edilme şekillerini:

- Toprakta,
  - Doğrudan kablo kanallarında toprak içine
  - Toprağa gömülü boruların içibne
- Havada ,
  - Kablo taşıyıcıları ve kablo borularında,
  - Doğrudan yükseltilmiş taban içine,
  - Kelepçelerle ve kablo boruları içine

biçiminde sıralayabiliriz.

Güç, enstrümantasyon, kontrol ve haberleşme kabloların düzenlenmesi ve güzerhahlarının hazırlanması diğer tesisatların geçtiği yerler ve araç giriş yolları göz önüne alınarak düzenlenmelidir. Güç kabloları kontrol ve enstrüman kabloları üzerinde olabilecek enterferanslardan sakınmak ve ortadan kaldırmak için ayrı kanallarda döşenmelidir. Dış alanlarda doğrudan toprak içine tesis edilecek kablolar da kablo güzergahları mümkün olduğunda az dönüş yapacak şekilde tesbit edilecektir. Kablo kanalının tabanı taşsız yumuşak zemin olacak ve bu zemin boyunca başka bir

tesisata ait boru veya malzeme bulunmayacaktır. Kablo kanalı 1-kablo için 90 cm derinliğinde açılacak ve kanalın tabanına 10 cm kalınlığında tassız kum serilecektir. Birden fazla tek sıralı kablo serilecekse, diğer güç kabloları ile açıklığı en büyük kablo açıklığı kadar olacaktır. Kablo kanalının yüksekliği en az  $A=90$  cm, genişliği ise en az  $B=50$  cm olacaktır. Kablo kanalının tertibi, şekilde görüldüğü gibi tek sıralı kablo serilmeden önce kanal tabanına 10 cm kalınlığında elenmiş kum serilecek üzerine, aralarındaki açıklık en yüksek kablo çapı olmak üzere kablolar sıralanacak ve kabloların üzerine 25 cm kalınlığında ince elenmiş kum serilecektir. Kablo kanalının üzerinden itibaren 45 cm kalınlığında taşsız toprak serilecek ve bunun üzerine tuğla veya beton plakaları örülerektir. Sonra kablo kanalı üzerinden 25 cm kalınlığında toprak örtülecek bunun üzerine kablo kanalı ikaz bantları serilecektir. Kalan kısım yüzey toprağı ile kapatılacaktır.



Şekil 6.93. Kablo kanalının tipik boyutları

Meyilli arazilerde, yağmurda toprak erezyon ve kaymasını önlemek için üst katmana yastıklama veya kaymayı önleyici bariyerler (kanal genişliği boyunca tahta veya içine toprak doldurulmuş yastıklarla) konulmalıdır.

Tek sıralı kablo tesisinde, kablo kanalı yüksekliği  $A=90$  cm olmakla beraber, B kanal genişliği kablo sayısına göre aşağıda verilen ifade yardımıyla belirlenir:

$$B=(n+1).D +(d_1+d_2+d_3+.....+d_n)$$

Burada

D en büyük kesitli kablonun dış çapı

$d_1, d_2, d_3, ..., d_n$  kanal içindeki kabloların çapları

Genellikle kablo kanalı içinde ikiden fazla katlı kablo tesis, gerek bakım ve gerekse kontrollerde büyük sıkıntılar ortaya çıkaracağından tesis edilmezler. Güç kabloları ile entrümantasyon kablolarının ayrı kanallarda tesis edilmesi, elektromanyetik uyumluluk ve diğer etkenlerden dolayı (özellikle kablo patlamasında diğer kabloların zarar görmesi ve onarım esnasında diğer kablolarara zarar verilmesi riski gibi...) gerekliliktir. Buna rağmen aynı kanal içinde güç kablolarıyla birlikte başka kabloların tesis edilmesi zorunluluğu ortaya çıkarsa

1. Öncelikle yüksek gerilim ve alçak gerilim kabloları farklı katlara tesis edilmeli
2. Aralarındaki açıklıkların belirlenmesinde aşağıda tabloda verilen değerlere uyulmalıdır.

Kabloların tabloda verilen açıklıklara göre boyu aşağıda verilen ifade yardımı ile belirlenir.

$$A=L+90 \text{ cm}$$

Burada L aşağıdaki tabloda verilen emniyet açıklıklarıdır. Bakım ve onarım çalışmaları göz önüne alındığında kanal boyu hiç bir zaman  $150 \text{ cm}'i$  aşmamalıdır.

Kablo tipi	Açıklık
Yanyana enstrüman kablosu (Exi)	gerekmez
Yanyaya Ex özelliğe sahip olayan enstrüman veya kontrol kablosu	gerekmez
Yanyana veya üst üste Exi enstrüman kablosu ve Ex olmayan enstrüman ve kontrol kablosu	10 cm
Yan yana veya üst üste enstrüman veya kontrol kablosu ve alçak gerilim kablosu	30 cm
Yanyana veya üst üste alçak gerilim kabloları	en yüksek kablo çapı (5 cm'den daha fazla olamaz)
Yanyana veya üst üste orta gerilim kablosu ve kontrol kablosu	80 cm
Yanyana alçak gerilim kablosu veya orta gerilim kablosu e	20 cm
Yanyana veya üst üste orta gerilim kabloları (3-faz tek damarlı kablolar ve farklı devreli 3-damarlı ve tek damarlı kablolar )	7 cm

**Tablo 6.74.** *Değişik tip kabloların tesis edilmesinde birbirlerine olan minimum açıklıkları*

### **6.13.1. Kablolarda izin verilen bükülme yarıçapları**

Kablolar tesis edilirken dönüş noktalarında belirlenen yarıçaplardan daha az miktarda bükülmelerine izin verilmez. İzin verilen bükülme yarıçapları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

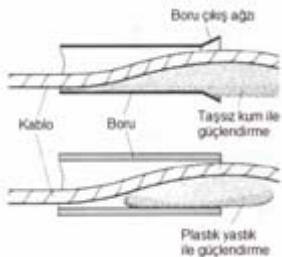
	Kağıt izolasyonlu kablolar		Plastik izolasyonlu kablo	
	Kurşun kılıflı	Yumuşak alüminyum kılıflı	$U_0/U \leq 0.6/1 \text{ kV}$	$U_0/U > 0.6/1 \text{ kV}$
Çok damarlı kablo	$15 \cdot d$	$25 \cdot d$	$12 \cdot d$	$15 \cdot d$
Tek damarlı kablo	$25 \cdot d$	$30 \cdot d$	$15 \cdot d$	$15 \cdot d$

d Kablonun dış çapı (imalatçı kataloglarından belirlenecektir).

**Tablo 6.75. Kablolarda izin verilen bükiülme yarıçapları**

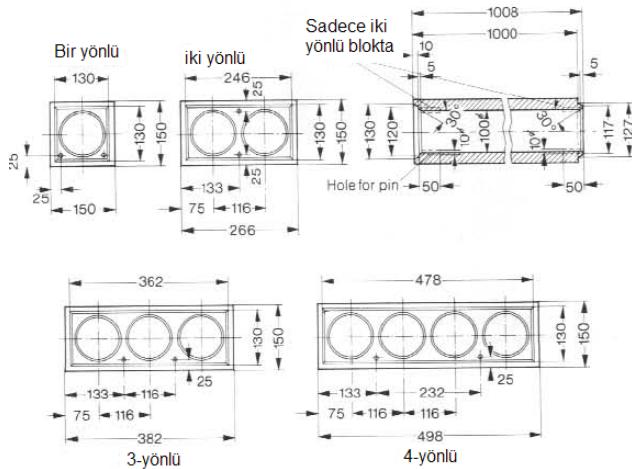
### **6.13.2. Kabloların beton boru içinde toprakta tesis edilmesi**

Kabloların yol geçişlerinin ve diğer geçişlerin altına döşenmesi durumunda veya bina girişlerinde sert plastik, beton veya çelik boru içinden geçirilmesi gerekliliği ortaya çıkabilir. Bina girişleri içinde beton temellere gömülecek sert plastik boruların çapı 160 mm ve kalınlığı 6 mm'den aşağı olmamalıdır. Bu tesisat borularının uzunluğu 6 metreyi aşmamalıdır. Eğer uzun mesafeli tesisat borularının yerleştirilmesi ve dönüşlerin gerektirdiği durumlarda kablo çekimini sağlamak amacıyla 6m aralıklarla ve dönüş yerlerinde rögarlar (manhole, handhole) tesis edilmelidir. Boruların içinden tek güç devresine ait kablolar yerleştirilmeli, diğer devreler için farklı borular kullanılmalıdır. İllerdeki gelişmeler ve genişlemeler göz önüne alınarak yeterli sayıda tesisat boruları yerleştirilmelidir. Bina girişlerinde boru ağızları, bina içine su girmesini önlemek amacıyla poliüretan veya diğer suya dayanıklı sentetik maddelerle kapatılmalıdır. Plastik ve çelik borular arasındaki açıklık 5 cm'den az olmalıdır. Kabloların boru içinde tesis edilmesi durumunda boruların çıkışlarındaki keskin yüzeyler giderilmeli kablo güvenliği için gerekli tedbirler alınmalıdır.

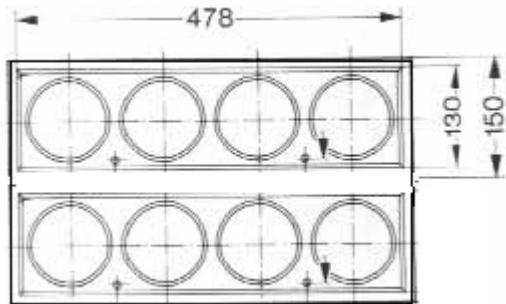


Şekil 6.94. Kabloların boru uçlarından çıkışlarının düzenlenmesi

### 6.13.3. Kablo beton boru blokları



Şekil 6.95. Kablo tek sıralı boru blokları



Şekil 6.96. Kablo çift sıralı boru blokları

## 6.14. Kablo taşıyıcıları

### 6.14.1. Payanda ve tutucu bağlantıları

Ana yükleniciden onay alınmaksızın binanın herhangi bir yeri veya bir bölümü kesilmeyecek ve delinmeyecektir. Aynı şekilde kablo taşıyıcıların projeleri hazırlanırken, bu taşıyıcılara ait güzergah belirlenmesinde ve bağlantı ve payanda yerlerinin belirlenmesinde ana yüklenici ve diğer proje disiplinleri ile koordinasyon sağlanacaktır. Kablo taşıyıcılarının bağlantılarını tesis etmek için, öncelikle kablo taşıyıcılar için gerekli yüksekliğin belirlenmesi gereklidir. Montaj sırasında gerekli hızı sağlamak açısından askı ve bunlara ait bağlantı somunlarının boyutlarının ve payanda şekillerinin önceden ve dikkatlice tesbit edilmesi gereklidir.

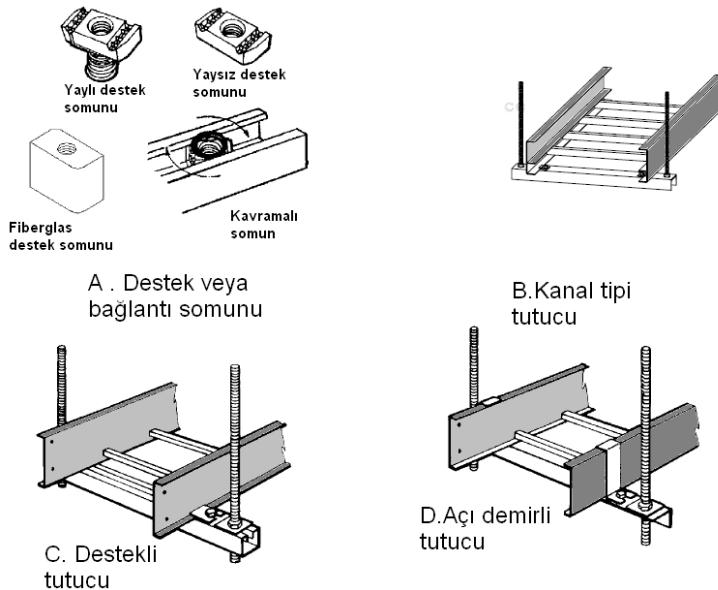
### 6.14.2. Kablo taşıyıcıları ve tutucuları

Kablo tutucularına ait tutucu ve payandaların kablo taşıyıcısının içinde bulunan kabloların yük gerekliliklerini karşılayacak dayanıklılıkta olması gereklidir. Bu nedenle kablo taşıyıcılarının tasarımları yapılmırken taşıyacağı ve ilerde ilave olarak tesis edilme ihtimali olan diğer kabloların ağırlıkları göz önüne alınarak tutucu ve bağlantı sayıları, bunların arasındaki mesafe ve bağlantı yerleri belirlenir. Bu yapılmış imalatçı kataloglarından taşıyıcı elemanlarının karakteristik değerleri dikkate alınır.

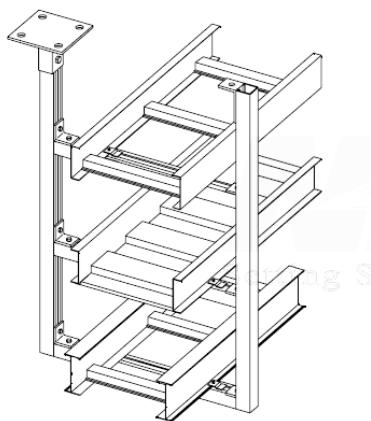
### 6.14.2.1. Trapez tip tutucu

Tesis edilmesi:

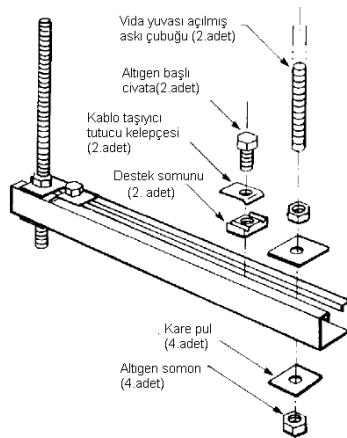
- a. Kablo taşıyıcısının tabanından itibaren yukarı doğru askı çubuğu üzerinde 50 mm kadar bağlanacak somunun boyutuna göre dış açılacak
- b. Bağlantı elemanın ayarlanması sağlayayan kaydırıcı ve kare pulun ikinci ayarı,
- c. Dış açılmış çubuk üzerinden somun vasıtıyla ikinci ayar,
- d. Çaprazı kablo taşıyıcısının altındaki yüzey üzerinde hareket ettirerek taşıyıcının düzenlenmesinin sağlanması,
- e. Civatanın çapraz elemana kadar çevrilerek taşıyıcı elemanın sabitlenmesi,
- f. Çapraz taşıyıcı elemanın seviyesinde olduğundan emin olunması sağlanır.



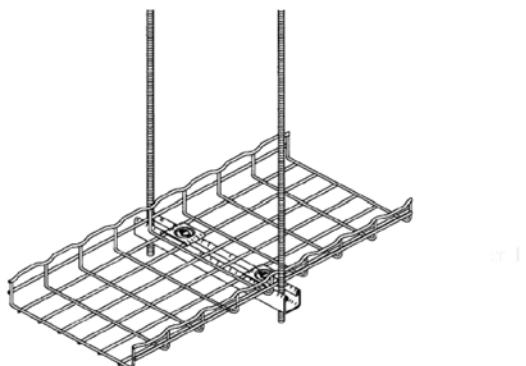
Şekil 6.97. Kablo taşıyıcılarına ait trapez tutucu ve bağlantı tipleri



**Şekil 6.98.** Grup olarak kablo taşıyıcılarının payandali tutucular vasıtasiyla askılı düzenlenmesi

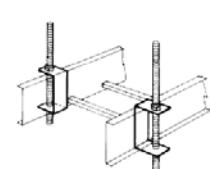


**Şekil 6.99.** Trapez askı tutucu takiminin parçaları

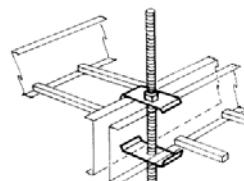


**Şekil 6.100.** Izgara şeklinde kablo taşıyıcı ve trapez askı tutucu takımı

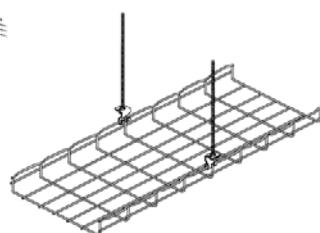
#### 6.14.2.3. Askı çubuğu tutucu



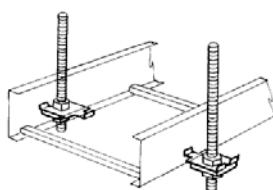
A. Tek kablo taşıyıcı için  
askı çubuğu tutucu Tip 1



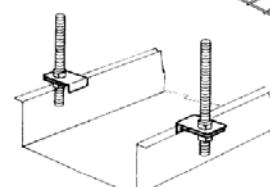
B. İki kablo taşıyıcı için  
askı çubuğu tutucu



E. Izgara şeklinde kablo taşıyıcı  
ve askı çubuğu tutucu



C. Tek kablo taşıyıcı için  
askı çubuğu tutucu Tip 2

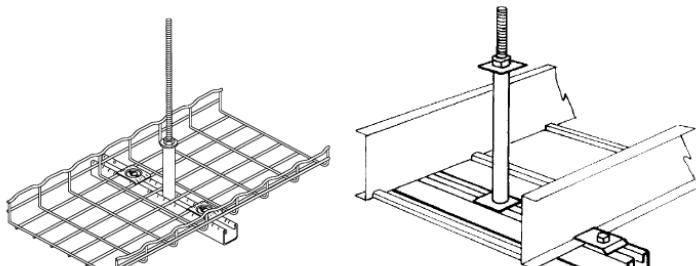


D. Tek kablo taşıyıcı için  
askı çubuğu tutucu Tip 3

**Şekil 6.101.** Askı çubu tutucu montaj şekilleri

Tesis edilmesi

- a. Kablo tavası altından yukarı doğru askı çubuğu boyunca takılacak somunun boyutuna göre 225 mm yüksekliğe kadar dış açılır.
- b. Kablonun ray tarafına kelepçe yerleştirilir.
- c. Kablon taşıyıcısı belirlenen yüksekliğe kadar kaldırılır.
- d. Son seviye düzenlemeleri yapıldıktan sonra somunlar vasıtasyyla sıkılır ve üst somunla sabitlenir.

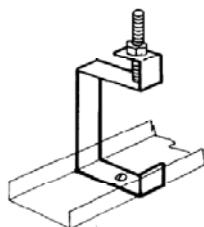
**6.14.2.4. Merkezi askı tutucu**

A. Merkezi askı tutucu ile bağlı izgara şeklinde kablo taşıyıcı

B. Merkezi askı tutucu ile bağlı kablo taşıyıcısı

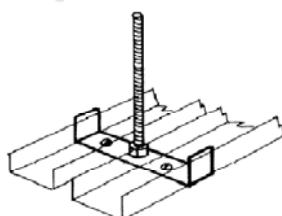
**Şekil 6.102.** Merkezi askı tutucu montaj şekilleri

### 6.14.2.5. Tek kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu



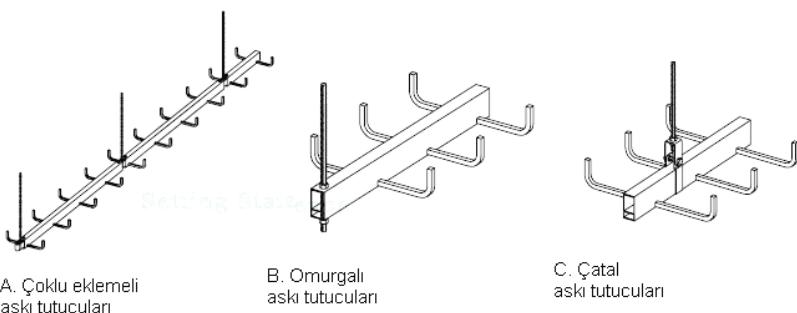
Şekil 6.103. Tek kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu

### 6.14.2.6. İki kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu



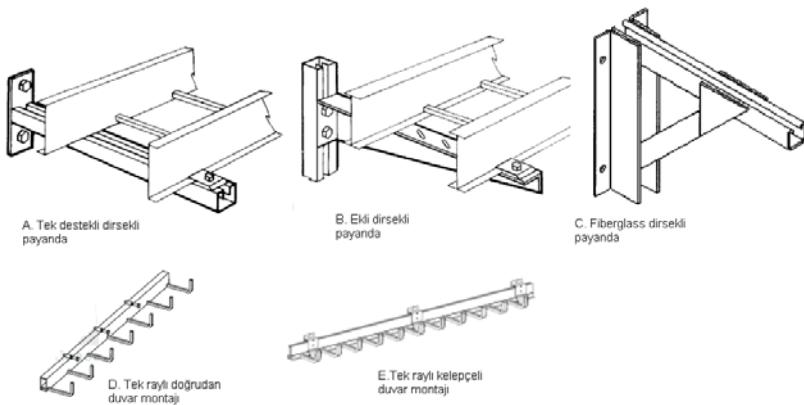
Şekil 6.104. İki kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu

### 6.14.2.7. Tek raylı kablo askı tutucuları



Şekil 6.105. Tek raylı askı tutucuları

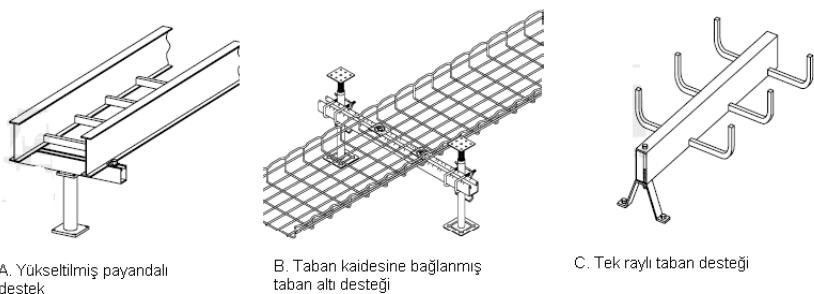
### 6.14.3. Kablo taşıyıcı payandaları



Şekil 6.106. Payandali kablo taşıyıcı montajları

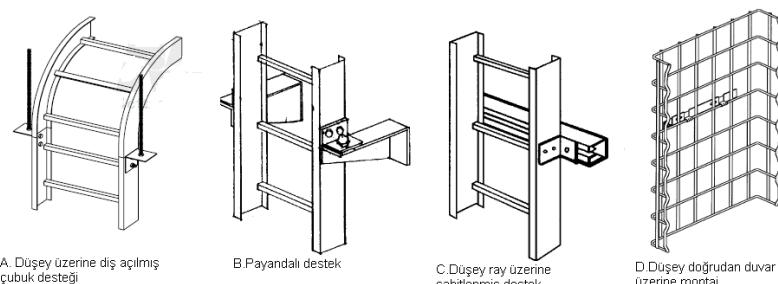
### 6.14.4. Taban ve çatı tesisleri

Kablo taşıyıcılar, doğrudan taban ve çatı zeminleri üzerine yerleştirilmeyip zeminden yeterli yüksekliklerde destekler üzerine yerleştirilirler.



Şekil 6.107. Çatı ve taban payanda ve destekli kablo taşıyıcı montajları

## 6.14.5. Düşey uygulamalar



Şekil 5.108. Kablo taşıyıcılarının düşey olarak tesisi

## 6.14.5. Kablo taşıyıcılarının doğrusal tesisi

Kablo taşıyıcılarının doğrusal olarak montajında taşıyıcılar birbirleri ile aşağıda verilen tork değerlerinde civatalarla sıkılarak birleştirilirler. Civatalar çinko kaplı veya kadmiyum kaplı veya paslanmaz çelikten olacaktır

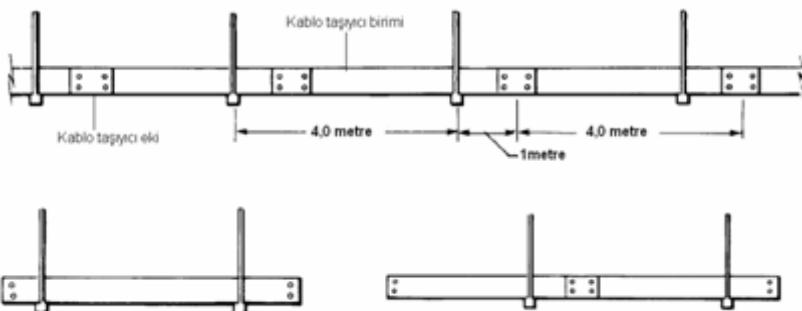
Metrik .Sınıf 5.8

Boyut	N·m
M8 x 1.25	14-16
M10 x 1.5	26-33
M12 x 1.78	45-58

Tablo 6.76. Birleştirme civatalarının sıkma tork değerleri

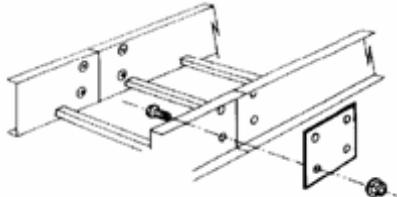
### 6.14.5.1. Doğrusal bölümde pozisyonlama

Kablo askı veya payandalı tutucular yerleştirildikten sonra kablo taşıyıcılarının tesisine başlanabilir.



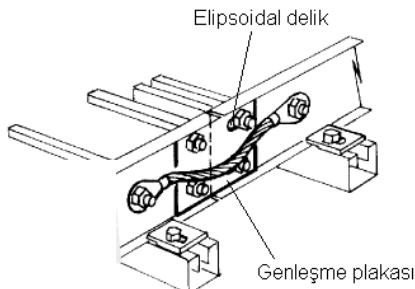
Şekil 6.109. Kablo taşıyıcısı bağlantıları (doğrusal pozisyonlama)

Kablo taşıyıcılarının doğrusal pozisyonlaması yapılırken mutlaka imalatçı firma kataloglarında verilen ölçülendirmelere ve tavsiyelere kesinlikle uyulmalıdır.



Şekil 6.110. kablo taşıyıcısı ekinin yapılması

#### 6.14.5.2. Genleşme ek plakaları



Kablo taşıyıcıları tesis edilirken sıcaklık

Şekil 6.111 . Genleşme plakasının montajı

değişmelerinin yol açtığı metallerin uzamaları ve kısalmaları mutlaka göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle kablo taşıyıcıları belirli mesafelerde birleştirilmeleri genleşme plakaları vasıtasyyla yapılmalıdır. Genleşme noktaları arasındaki açıklık tesis ortamındaki yıllık sıcaklık farkına göre aşağıdaki Tablo 6.77 ye göre belirlenir.

Sıcaklık farkı	Çelik	Aluminyum	Fiberglass
(°C)	(m)	(m)	(m)
(14)	(156)	(79)	(203)
(28)	(78)	(40)	(102)
(42)	(52)	(27)	(68)
(56)	(39)	(20)	(51)
(70)	(31)	(16)	(41)
(83)	(26)	(13)	(34)
(97)	(22)	(11)	(29)

**Tablo 6.77.** Ortam sıcaklık farkına göre farklı materyallerden yapılan kablo taşıyıcılarının düzenlenmesinde genleşme bağlantıları arasındaki açıklık.

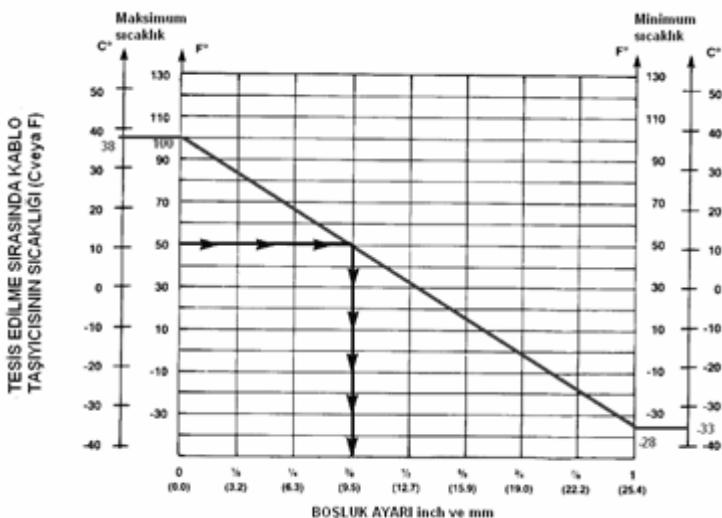
Sıcaklık farkı belirlenirken tesisin bulunduğu ortamın yıllık en yüksek sıcaklığı ve en düşük sıcaklığı arasındaki fark göz önüne alınır. Kablo taşıyıcısı genleşme bağlantısının arasındaki orta noktasına yakın yerde tutucular tarafından sabitlenir. Diğer bağlantı yerleri genleşme kılavuzları (genleşmeye uygun serbest bağlantılı tutucu) tarafından emniyet altına alınır.



**Şekil 6.112.** Sabit bağlantılı tutucu ve genleşmeye uygun serbest bağlantılı tutucu

Kablo taşıyıcılarının sabitlenen noktadan her iki yöne genleşmeden dolayı olacak hareketinin sağlanması gereklidir. Genleşme bağlantılarının uygun bir şekilde çalışması için bağlantının yapılabacağı yerde kablo taşıyıcısının iki parçası arasında uygun doğrulukta boşluk bırakılması gereklidir. Şekil

6.113'den faydalananarak aşağıda açıklanan örneğe göre montaj sırasında boşluk bırakılır.



**Şekil 6.113.** Genleşme ek plakasının boşluk ayarı

Genleşme boşluğunun tayini için aşağıda açıklanan işlem sırası uygulanır.

- Tesis ortamında ulaşılabilecek en yüksek sıcaklık derecesi işaretlenir.

Örneğin, 100°F (38°C)

- Tesis ortamında ulaşılabilecek en düşük sıcaklık derecesi işaretlenir.

Örneğin, -28°F (-33°C)

- Maksimum ve minimum noktalar arasında bir doğru çizilir

- Tesis sırasındaki sıcaklık derecesi işaretlenerek ya da eksene paralel bir doğru çizilir; doğrunun maksimum ve minimum arasında çizilen doğruya kestiği noktadan, düşey doğruya paralel bir doğru daha çizilir; bu doğrunun yatay ekseni kestiği noktada okunan değer montaj sırasında

bırakılacak genleşme boşluğu değeridir. Örnekte bu değer 9,5 mm dir.

Genleşme ek yerleri yapılırken:

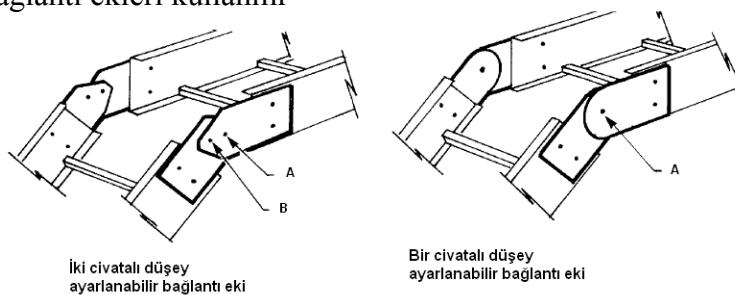
1. Maksimum ve minimum sıcaklıklar olarak yılın en yüksek ve endüskük sıcaklıklarını esas alınız.
2. Tasarım sırasında bu genleşme boşlukları 16 mm olarak göz önüne alınacaktır.

Metal kablo taşıyıcılarının genleşme bağlantısında elektriksel süreklilik için Şekil 6.113'de verilen bağlantının yapılması gerekmektedir.

Genleşme bağlantısının her birinin her iki tarafına 600 mm mesafede tutucu yerleştirmek gerekmektedir. Genleşme aralığı 25 mm'yi aşmamalıdır.

#### **6.14.5.3. Düşey ayarlanabilen bağlantı ek plakaları**

Düşey yöndeği değişimlerde dönüş elemanına gerek olmayıp, bağlantı ekleri kullanılır



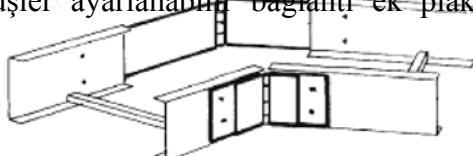
**Şekil 6.114. Düşey ayarlanabilir ek plakaları**

Tutucular düşey ayarlanabilir bağlantı eklerinin her iki tarafına bunlardan 600mm mesafede yerleştirilmelidir. Metal

kablo taşıyıcıları için gerekli elektriksel sürekliliğini sağlamak için atlama bağlantıları yapılmasına gerek duyulmaktadır.

#### **6.14.5.4. Yatay ayarlanabilir bağlantı ek plakaları**

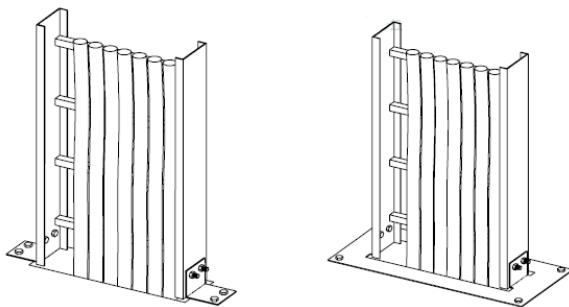
Yatay yöndeki değişimler için dönüş ek bağlantılarına gerek yoktur. Bu dönüşler ayarlanabilir bağlantı ek plakalarıyla gerçekleştirilir.



**Şekil 6.115. Yatay ayarlanabilir bağlantı ek plakası**

Metal kablo taşıyıcıları için gerekli elektriksel sürekliliğini sağlamak için atlama bağlantıları yapılmasına gerek duyulmaktadır.

#### **6.14.6. Kablo taşıyıcılarının panoya veya döşemmeye giriş bağlantı plakaları**



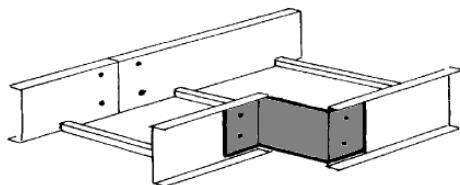
**Kablo kanalının panoya /döşemeye giriş bağlantısı**

**Kablo taşıyıcısının panoya giriş bireştirme plakası**

**Şekil 6.116. Kablo taşıyıcılarının panoya ve döşemeye bağlantı şekilleri**

### **6.14.7. Kablo taşıyıcısı redüksiyon (kesit azaltma ) bağlantısı**

Kablo taşıyıcısı genişliğinin değiştirilmesinde bu bağlantı kullanılır.

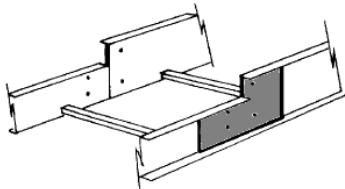


**Şekil 6.117. Kablo taşıyıcısı redüksiyon bağlantı ek plakası**

Tutucular redüksiyon bağlantı eklerinin her iki tarafına bunlardan 600 mm mesafede yerleştirilmelidir

### **6.14.8. Kablo taşıyıcısı yüksekliğini azaltma bağlantı ek plakaları**

Değişik yüksekliğe sahip kablo taşıyıcılarının birbirleriyle bağlantısında kullanılır.



**Şekil 6.118 . Değişik yükseklikteki taşıyıcıların birbirleri ile bağlantısı**

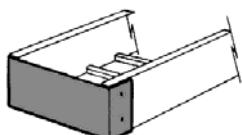
## Düsey tutucu plakaları

Düsey genişleme bağlantıları kuvvetlendirmek için kullanılır.



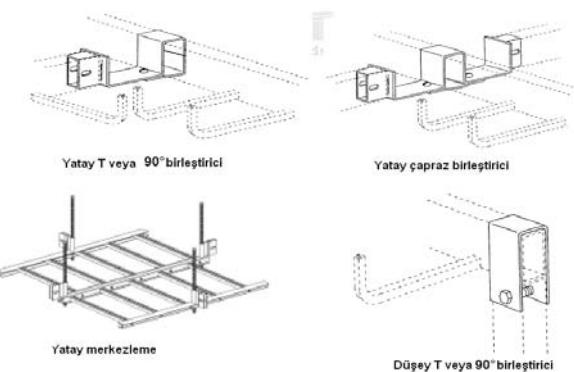
Şekil 6.119. Düsey tutucu plakaları

## 6.14.10. Sonlandırma plakaları



Şekil 6.120. Sonlandırma plakası

## 6.14.11. Tek raylı kablo taşıyıcısında montaj birleştiricileri



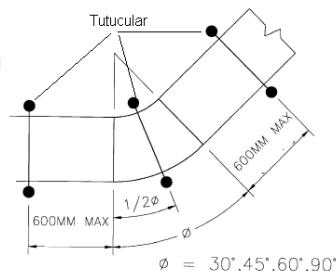
Şekil 6.121. Tek raylı kablo taşıyıcılarının birleştirme şekilleri

## 6.14.12. Bağlantı tesisleri

### 6.14.12.1. Bağlantılar için tavsiye edilen tutucu yerleri

Kesinlikle üretici firmanın tavsiyeleri göz önünde bulundurulacaktır.

### 6.14.12.2. Yatay dirsek tutucuları



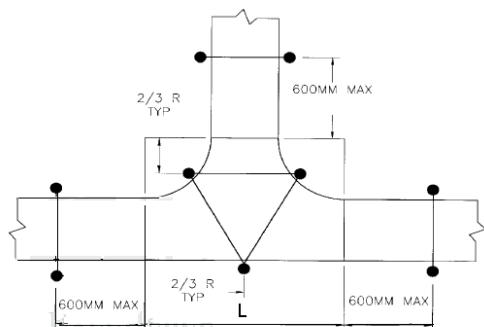
30° ve 45° bağlantılar da 300mm yarıçapda merkezi tutucu gereklidir.

**Şekil 6.122.** Yatay dirsek için tutucu yerleri

Yatay kablo taşıyıcı bağlantılarında tutucular her bir bağlantının çıkışlarında 600m açıklık içerisinde aşağıda açıklanan şekilde yerleştirilmelidirler.

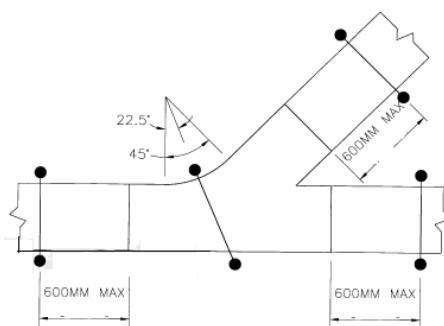
- Yayın  $45^\circ$  noktasında yaya  $90^\circ$  açıda tutucu .
- Yayın  $30^\circ$  noktasında  $60^\circ$  açıda tutucu.
- Yayın  $22-1/2^\circ$  noktasında  $45^\circ$  açıda tutucu (300 mm yarıçap hariç ).
- Yayın  $15^\circ$  noktasında  $30^\circ$  açıda tutucu

### 6.14.12.3. Yatay T bağlantısı tutucuları



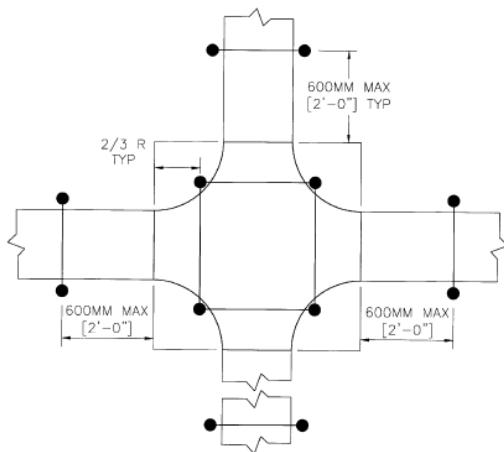
Şekil 6.123. *T* bağlantısı ve turucuları

### 6.14.12.4. Yatay Y bağlantısı tutucuları



Şekil 6.124. *Yatay Y* bağlantısı

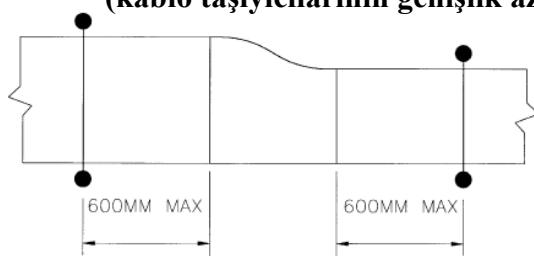
### 6.14.12.5. Yatay 4lü geçiş bağlantıları tutucuları



Şekil 6.125. Yatay 4 lü geçiş

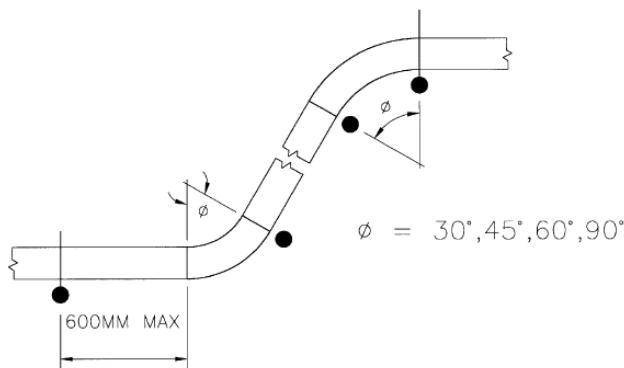
### 6.14.12.6. Redüksiyon bağlantıları

(kablo taşıyıcılarının genişlik azaltma)



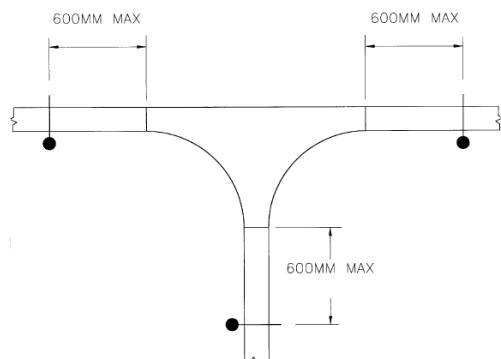
Şekil 6.126. Kablo taşıyıcıları redüksiyon bağlantısı ve tutucuları

#### 6.14.12.7. Düşey kablo taşıyıcı dirsekleri



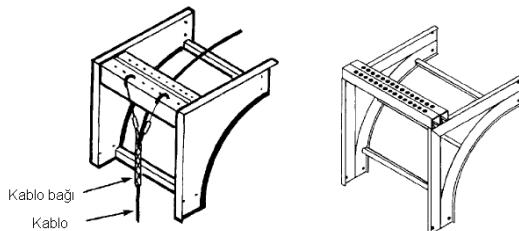
Şekil 6.127. Düşey kablo taşıyıcı dirsekleri ve tutucuları

#### 6.14.12.8. Düşey kablo taşıyıcıları T bağlantıları



Şekil 6.128. Kablo taşıyıcıları düşey

### 6.14.12.9. Kablo destek bağlantıları

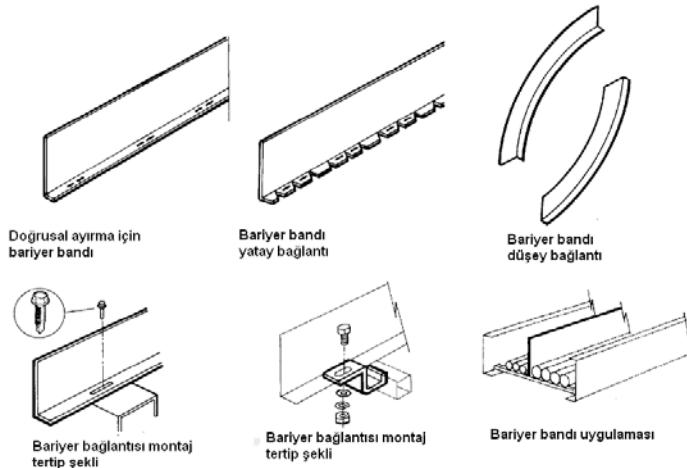


Şekil 6.129. Düşey kablo destek bağlantıları

### 6.14.13. Aksesuarlar

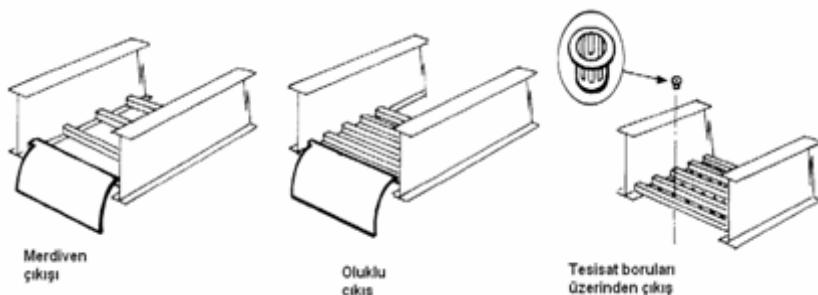
#### 6.14.13.1. Bariyer bantları

İki farklı kablolo tipinin birbirine olan etkisini hafifletmek veya ortadan kaldırmak için ayrı tipte kabloların kablo taşıyıcıları içinde ayırmada kullanır.



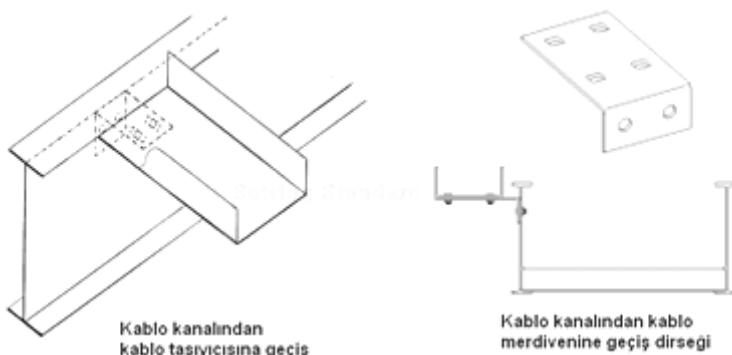
Şekil 6.130. Kablo taşıyıcılarında bariyer bantlarının kullanımı

### 6.14.13.2. Kablo taşıyıcılarından çıkışlar



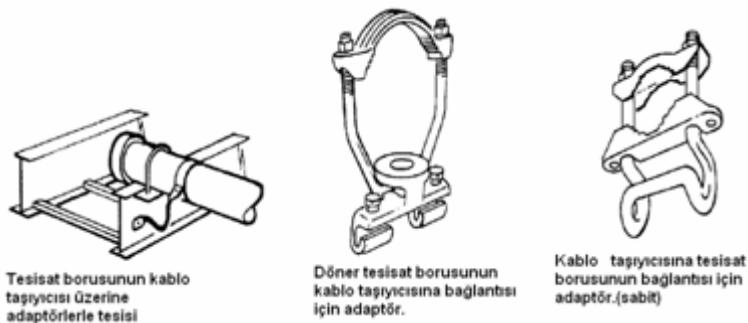
Şekil 6.131. Kablo taşıyıcı üzerinden çıkışlar.

### 6.14.13.3. Kablo kanalından kablo taşıyıcısına geçiş



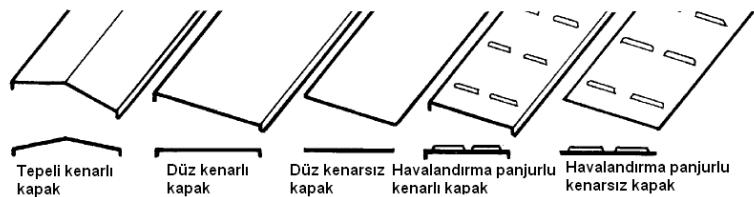
Şekil 6.132. Kablo kanalı kablo taşıyıcıları geçişleri

#### 6.14.13.4. Kablo tesisat boruları ile kablo taşıyıcıları arasındaki adaptörler

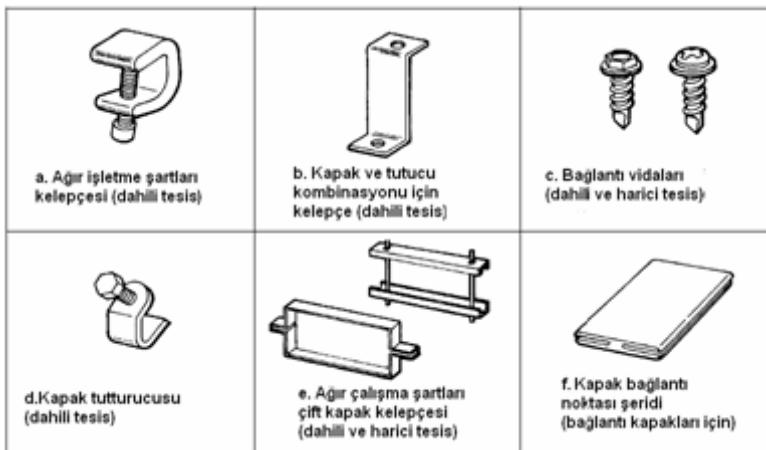


**Şekil 6.133.** Kablo taşıyıcılar üzerine kablo tesisat borularının bağlantısı ve adaptörler.

Kablo taşıyıcı kapakları ve bağlantı kelepçeleri



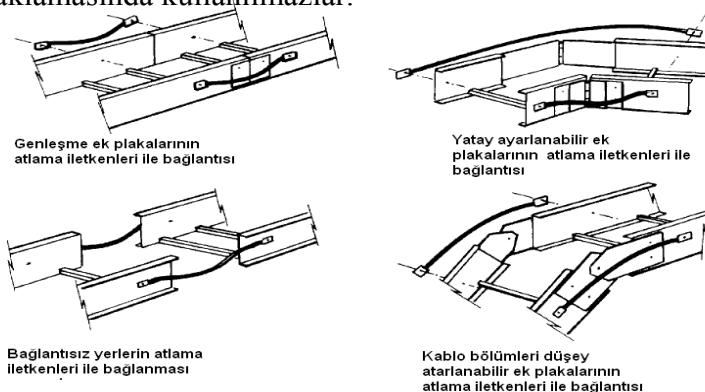
**Şekil 6.133.** Kablo taşıyıcıları kapakları



**Şekil 6.135.** Kablo kapak kelepçeleri

#### **6.14.14. Topraklama ve bağlantılar**

Kablo taşıyıcıları topraklanırlar ve özel alanlarda kablo taşıyıcı elemanlarının birleştiği yerlerde ilave atlama iletkenler vasıtasyyla birbirlerine bağlanırlar. Metalik olmayan kablo taşıyıcılarının kendileri iletken olarak işlev göremezler. Örgülü kablo taşıyıcıları ekipman topraklamasında kullanılmazlar.



**Şekil 6.136.** Kablo taşıyıcılar ek yerlerinin elektriksel sürekliliği sağlamak amacıyla atlama iletkenleri ile bağlantısı.

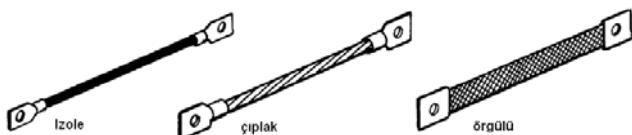
### **6.14.14. Ayrı topraklama bağlantı hatlı tesis edilen kablo taşıyıcıları**

Bu durumda ayrı bir topraklama hattı kablo taşıyıcıları üzerine topraklama iletkeni bağlama kelepçeleri vasıtasıyla tesis edilir.



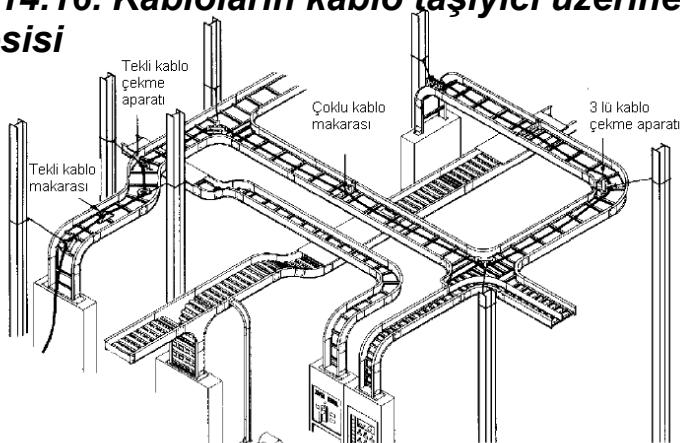
Şekil 6.137. Topraklama kelepçeleri

### **6.14.15. Atlama bağlantıları**



Şekil 6.138. Atlama bağlantı tipleri

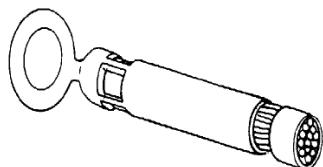
### **6.14.16. Kabloların kablo taşıyıcı üzerine tesis**



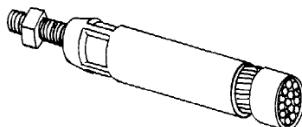
Şekil 6.139. Kabloların kablo taşıyıcıları üzerine tesis edilmesi

Kablolar taşıyıcılar üzerinde kablo çekme aparatları ve kablo makaraları kullanılarak yerleştirilirler.

#### 6.14.17. Kablo çekme aparatları



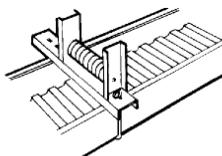
Çekme gözü



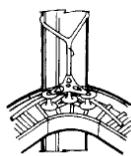
Çekme civatası

Şekil 6.140. Kablo çekme aparatları

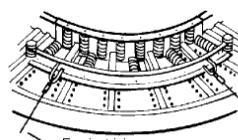
#### 6.14.18. Kablo çekme makaraları



Doğrusal çekme makarası



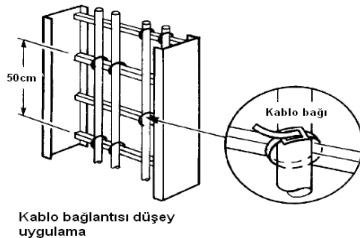
Üçlü dönüş makarası

Emniyet için yapıyı bağlantı  
90° dönüş çekme makarası

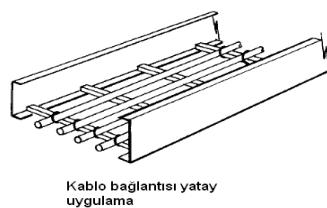
Şekil 6.141. Kablo çekme makaraları

#### 6.14.19. Kabloların kablo taşıyıcılarına bağlanması

Kablolar kablo taşıyıcılarına kablo bağlantıları ile sabitlenir. Her bir 50 cm'de kabloların kablo taşıyıcılarına bağlanması gereklidir.



Kablo bağlantısı düşey uygulama



Kablo bağlantısı yatay uygulama

Şekil 6.142. Kabloların kablo taşıyıcılarına bağlantısı

---

## FAYDALANILAN KAYNAKLAR

1. Electrical Installation Design Guide .....Group Schneider
2. Electerical Installation Handbook .....Siemens
3. Industrial electrical Network Design Guide .....Group Schneider
4. Electrical Installation Handbook .....ABB
5. Elektrik Santralları ve Şebekeleri .....Prof.Dr. Mustafa BAYRAM
6. Orta Gerilim Şebekeleri .....Prof. Dr. Mehmet İNAN
7. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri El Kitabı .....T.Odabaşı
8. ETMD Dergisi 2005-2006 dönemi sayıları

## SON SÖZ

Bu notların hazırlanmasında 2009'da yitirdiğimiz Sayın M.Turgut Odabaşı'nın değerli katkılarını anmadan geçmemeyiz. Botaş'ta Elektrik Mühendisliği yapmakta olan Turgut Odabaşı, çeşitli kaynaklardan hazırladığı notları önce Elektrik Tesisat Mühendisleri Dergisinin çeşitli sayılarında meslektaşlarına yararlı olmak üzere yayınladı. Nur içinde yatsın.

Kendisinin hazırladığı notlardan yararlanarak, notlarının bir kısmını Bileşim Yayınevi aracılığı ile yayımlamıştık. Onun notlarından ve diğer kaynaklardan yapacağımız diğer derlemeleri ise EMO kanalıyla yayınlanması kendi isteği idi. Ancak bu isteğini hemen gerçekleştirmek mümkün olmadı. Elektrik Tesisat Notları olarak, Sayın Odabaşı'nın değerli çalışmasından da yararlanarak hazırladığımız bu derlemenin EMO kanalı ile yayınlanması için başından beri destekini esirgemeyen Orhan (Örücü) Ağabeyimize, derlemenin hazırlanmasında katkılarından dolayı Emre (Metin) ve Hakkı (Ünlü) kardeşlerime teşekkürü borç bilirim.

Bu tür mesleki yayınların e-kitap olarak çok düşük bedeller ile meslektaşlarına kazandırmak için bu yayın portalını oluşturma kararı alan 42. Dönem EMO Yönetimine öncü rölünden dolayı teşekkür ederim.

E-Kitabı Derleyen ve Yayına Hazırlayan  
İbrahim Aydin Bodur, Hakkı ÜNLÜ

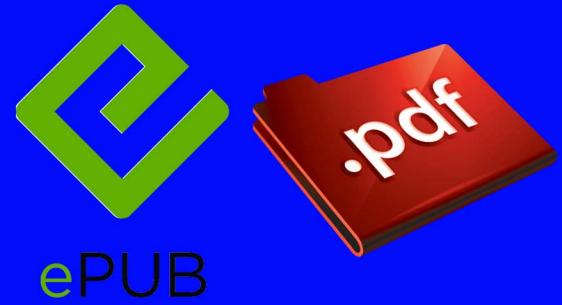




# ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM (6)

## ILETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI

### TURGUT ODABAŞI



EMO Yönetim Kurulu 42. Dönem'de (Kasım 2010) bir yayın portalı oluşturdu. Bu yayın portalı üzerinde, daha önce de sürdürmekte olduğumuz, basılı dergilerimizin İnternet sürümleri, basılı kitaplarımızın tanıtımları ve çevrim içi satın alma olanakları ile doğrudan İnternet üzerinden bilgisayarınıza indirebileceğiniz e-kitapları çok düşük bedellerle edinebilme olanağına sahip olacaksınız.

İnternet sitemiz üzerinden e-kitap dağıtım hizmetini, yakında hizmete girecek olan EMO Yayın Portalı'nın öncülü olan, sitemizin yayın bölümünde yer alan e-kitaplarla uzunca bir süredir veriyorduk. Yayınlamızı izleyenler hatırlayacaktır, ilk e-kitabımız, EMO Üyesi Arif Künar'ın "Neden Nükleer Santrallere Hayır" kitabının PDF baskısıydı. Hükümetin Akkuyu'da nükleer santral kurma inadı maalesef hala kırılamadı. Dört yıl önce başlığımız bu kitap hala güncel!....

EMO'nun İnternet sitesi üzerinden hizmete giren bu yeni sitemizde yeni e-kitaplarla hizmete açıldı. Sizlerde varsa yayımlamak istediğiniz kitaplarınızı, notlarınızı bize iletebilirsiniz. Bu yayınlar yayın komsiyonumuzun değerlendirmesinden sonra uygun bulunursa yayınlanacak ve eser sahibine EMO ücret tarifesine göre ücret ödenecektir. E-Kitaplar tarafımızdan yayınlandıça üyelerimize ayrıca eposta ile iletilicektir.

#### Saygılarımızla

Elektrik Mühendisleri Odası  
42. Dönem Yönetim Kurulu

**TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası**

Ihlamur Sokak No:10 Kat:2 Kızılay/Ankara  
Tel: (312) 425 32 72 Faks: (312) 417 38 18  
<http://www.emo.org.tr> E-Posta: [emo@emo.org.tr](mailto:emo@emo.org.tr)

EMO YAYIN NO:EK/2011/10