

## 13. ÜNİTE

# ENERJİ İLETİM VE DAĞITIMINDA İLETKEN KESİTİ

### KONULAR

1. İzin Verilen Gerilim Düşümü
2. İletken Kesitlerinin Hesaplanması

## 13.1. İZİN VERİLEN GERİLİM DÜŞÜMÜ

### 13.1.1. İletkenlerin Gerilim Düşümüne Göre Boyutlandırılması

Üç fazlı bir sistemde enerjiyi belli bir uzaklığa iletmek için kullanılan iletkenler gerilim düşümü ve güç kaybı oluştururlar. Kullanılan şebeke çeşidine göre uygun görülen gerilim düşümü yüzdesinin belirli bir değerin üstünde olmaması gerekir. İletken kesitlerinin izin verilen gerilim düşümünden daha fazla bir gerilim düşümüne sebep olmaması istenir. Ayrıca iletken kesiti gereğinden fazla kalınlıkta tespit edilirse ekonomik olmaz. Bu sebeple elektrik enerjisi iletim ve dağıtım şebekelerinde kullanılan iletkenlerin kesitleri, izin verilen gerilim düşümü yüzdelerine uygun kalınlıkta hesap edilmelidir.

Elektrik enerjisi iletim ve dağıtımında kullanılan iletkenlerin aşağıda belirtilen gerilim düşümü değerinden daha fazla olmaması istenir. Bu gerilim düşümü değerleri şunlardır:

- Alçak gerilimli dağıtım şebeke ve hatlarında % 5'ten daha fazla gerilim düşümüne müsaade edilmez.
- Orta gerilimli şebeke ve hatlarında % 10'dan daha fazla olmamalıdır.
- Yüksek gerilimli şebeke hatlarında % 2,5 – 5'ten daha fazla alınmaz.
- İletken kesitlerinin normalin üstünde bir gerilim düşümü vermemeleri için uygun görülen enerji kaybının % değeri ise;
  - Yakıt olarak fuel-oil veya kömür kullanan termik santrallerde üretilen elektrik enerjisinin iletilmesinde %6-7 alınabilir.
  - Hidroelektrik santrallerde üretilen elektrik enerjisinin iletilmesinde ise %10-12'den daha fazla olmamalıdır.

#### 13.1.1.1. Gerilim Düşümü ve Güç Kaybı Hesabı

Bilindiği gibi enerji nakil hatlarında ve enerji dağıtım şebeke hatlarında üç fazlı alternatif akımlar kullanılır. Üç fazlı sistemde hatlar üzerinde düşen gerilim düşümünün vektörel toplamı veya yüzde değeri hat gerilimi dikkate alınarak hesaplanır.

Gerilim düşümü hesaplarında aşağıdaki semboller kullanılır:

$\Delta U$ = Hatta meydana gelen toplam gerilim düşümü (V)

% e= Hatta meydana gelen toplam gerilim düşümünün % değeri

U=Hat başı fazlar arası toplam gerilim (V)

R= Hattın bir faz iletkeninin direnci (R)

## 1. SINIF ELEKTRİK TESİSATÇILIĞI

# ENERJİ ÜRETİMİ, İLETİMİ ve DAĞITIMI

$k$  = Hat iletkeninin öz iletkenliği  $m/\Omega.mm^2$

$S$  = Hattın iletken kesiti  $mm^2$

$I$  = Hat akımı (A)

$L$  = Sadece gidiş veya dönüş olmak üzere hattın uzunluğu (m)

$P$  = Aktif güç (W)

$\cos\varphi$  = Güç katsayısı

Akım belli ise fazlar arası gerilime göre gerilim düşümünün vektörel toplamı  $\Delta U$  aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot R \cdot I \cdot \cos\varphi \quad R = \frac{L}{k \cdot S}$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{k \cdot S}$$

Akım belli iken %e'nin hesabı:

$$\%e = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{k \cdot S \cdot U}$$

Güç belli ise  $\Delta U$ 'nun hesabı:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

$$\Delta U = \frac{L \cdot P}{k \cdot S \cdot U}$$

Güç belli iken %e'nin hesabı:

$$\%e = \frac{100 \cdot L \cdot P}{k \cdot S \cdot U^2}$$

Enerji nakil hatlarında kullanılan iletkenlerin kesitleri, hatlarda meydana gelen güç kaybına göre de hesaplanır. Güç kaybının hesaplanmasında aşağıdaki semboller kullanılır:

$\Delta P =$  Hattaki güç kaybı

$P =$  Enerji nakil hatlarındaki güç (W)

$\%P =$  Güç kaybının % olarak değeri

$\%P = I^2.R$

Eğer hatlar gidiş ve geliş olarak dikkate alınırsa  $\%P = 2.(I^2.R)$  olur.

$R = \frac{L}{k.S}$  Olduğuna göre formülde yerine konacak olursa güç kaybının yüzde değeri şu şekilde hesaplanır;

$$\% = \frac{2.L.I^2}{k.S.P} .100 \text{ veya } \% = \frac{R}{P} .100$$

## 13.2. İLETKEN KESİTLERİNİN HESAPLANMASI

### 13.2.1. Uygun Kesit Seçimi

Enerji nakil hatlarında elektrik enerjisinin iletimi alternatif akımla yapılır. Bilindiği gibi alternatif akım transformatörler yardımı ile istenilen değere düşürülür veya yükseltilir. Bu sebeple iletimde verim yüksek olur. Verimin yüksekliği hava hatlarındaki güç kaybının azaltılması ile sağlanır. Güç kaybının azaltılması ise uygun iletken kesitinin seçilmesi ile mümkündür. Alternatif akımdaki yükler omik, endüktif veya kapasitiftir. Ancak üç fazlı alternatif akımda yükler daha çok endüktiftir.

Üç fazlı hatlarda kullanılan iletkenlerin kesitlerinin hesabında gerilim düşümünden ve güç kaybından yararlanır.

Akım belli ise fazlar arası gerilim dikkate alındığında iletken kesiti;

$$S = \frac{\sqrt{3}.L.I.\cos\varphi}{k.e.U}$$

veya toplam gerilim düşümü belli ise;

$$S = \frac{\sqrt{3}.L.I.\cos\varphi}{k.\Delta u}$$

formülü ile hesaplanır.

# 1. SINIF ELEKTRİK TESİSATÇILIĞI

## ENERJİ ÜRETİMİ, İLETİMİ ve DAĞITIMI

Güç belli ise iletken kesitinin hesabı;

$$S = \frac{L.P}{k.\Delta u.U} \quad \text{veya} \quad S = \frac{100.L.P}{k.e.U^2}$$

Güç kaybı belli ise ;

$$S = \frac{2.L.I^2}{\Delta P.k} \text{ mm}^2$$

olarak hesap edilir.

Ayrıca iletken kesitinin tespit edilmesinde hesaplamalar sonucunda çıkan değerlere göre kitabımızda verilen iletkenlerin mekanik ve elektriksel özelliğini gösteren tablo 4:7'den yararlanılır.

### ÖRNEK:

Bir elektrik santralindeki şalt sahasından 110 km uzaklıktaki düşürücü trafo merkezine 380 kV, 100 MW ve güç katsayısı 0,8 olan üç fazlı bir elektrik enerjisi iletilecektir. Enerji nakil hattı alüminyum iletkenli ve enerji taşınmasında %5'lik gerilim düşümüne müsaade edildiğine göre;

- Enerji nakil hattının alüminyum iletkenin kesitini hesaplayınız.
- Standart kesite göre toplam gerilim düşümünü ve yüzdesini hesaplayınız.
- Enerji nakil hattındaki güç kaybını hesaplayarak gerilim düşümü ve güç kaybına göre hesap edilen iletken kesitini karşılaştırınız.

### ÇÖZÜM:

a) Güç belli olduğuna göre iletken kesiti;

$$P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}.U.\cos\varphi} = \frac{100.000.000}{1,73.380000.0,8} = \frac{100.000}{1,73.380.0,8} = \frac{100.000}{525,92} = 190,14A$$

$$\%e = \frac{100.L.P}{k.S.U^2} \rightarrow S = \frac{100.L.P}{k.e.U^2}$$

Alüminyum iletken için  $k = 35$ 'tir.

$$S = \frac{100 \cdot (110 \cdot 10^3) \cdot (100 \cdot 10^6)}{35 \cdot 5 \cdot (154 \cdot 10^3)^2} = 265 \text{ mm}^2$$

Bulunan değere en yakın üst değerdeki iletken seçilir.

Normal kesit Hawk 477 MCM  $\rightarrow 280,84 \text{ mm}^2$

b)

$$\Delta U = \frac{L \cdot P}{k \cdot S \cdot U} = \frac{(110 \cdot 10^3) \cdot (100 \cdot 10^6)}{35 \cdot 280,84 \cdot (154 \cdot 10^3)} = \frac{110 \cdot 10^8}{1513727,6} = 7266,82 \text{ V}$$

$$\%e = \frac{100 \cdot L \cdot P}{k \cdot S \cdot U^2} = \frac{100 \cdot (110 \cdot 10^3) \cdot (100 \cdot 10^6)}{35 \cdot 280,84 \cdot (154 \cdot 10^3)^2} = 4,71$$

$\%4,71 < \%5$  kesit uygundur.

c)

$$\Delta P = \frac{2 \cdot L \cdot I^2}{k \cdot S} = \frac{2 \cdot (110 \cdot 10^3) \cdot (190,14)^2}{35 \cdot 280,84} = 809175,36 \text{ W}$$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I^2}{\Delta P \cdot k} = \frac{2 \cdot (110 \cdot 10^3) \cdot (190,14)^2}{809175,36 \cdot 35} = 280,84 \text{ mm}^2$$

İletken kesiti gerilim düşümü ve güç kaybına göre aynı değerlerdir.

### 13.2.2. İletken Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler

Elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine iletimi ve dağıtımı iletkenlerle yapılır. Kullanılan iletkenler iletken özelliği yüksek olan örgülü bakır alüminyum, çelik örgülü alüminyum ve aldrey gibi metallerden imal edilir. Enerji nakil hatlarında (ENH) ve dağıtım hatlarında kullanılan iletkenlerin görevlerini iyi bir şekilde yerine getirebilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir.

Eğer iletkenlerin sahip oldukları kriterler önceden bilinirse gerilimin büyüklüğüne ve hattın özelliğine göre iletkenlerin seçilmesi daha iyi olur. Bu duruma göre

iletkenlerin seçilmesinde dikkat edilmesi gereken kriterler şunlardır:

### 13.2.2.1. İletkenlik

Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında en çok bakır ve alüminyumdan yapılan iletkenler kullanılır. İletkenlik veya geçirgenlik, kullanılan metalin cinsine göre değişir. Gümüş çok iyi iletken olmasına rağmen pahalı olması sebebi ile tercih edilmez. Bakır iletken de alüminyum iletkene göre daha iyi iletken olmasına rağmen ağır ve pahalı olduğundan dolayı seçilmez. Galvanizlenmiş çelik tel ile tam alüminyum veya alüminyum alaşımı olan alüminyum iletkenler hava hatlarında çok kullanılır. İki ayrı metalden yapılan iletkenini kullanışlı olmasının nedeni çelik tel ile alüminyum tel arasında hiçbir kimyevi bağıntının olmaması ile sağlanır. Çelik tel sadece dayanım bakımından önemlidir. Esas iletkenlik görevini Alüminyum tel yerine getirir.

### 13.2.2.2. Korona'ya Karşı Dayanıklılık

Hava hatlarında uygulanan gerilime bağlı olarak özellikle nemli havalarda iletkenin etrafında mor renkli bir ışık demeti görülür. Eğer iletkenin etrafında bir zedelenme varsa ve iletkenin etrafındaki bu ışıklı silindirler birbirine temas edecek olursa iletken yüzeyinde delinmeler olur. Dolayısıyla bu durum iletken yüzeyinin iyonize olarak aşınmasına sebep olur. Hava hatlarında kullanılan iletkenlerin korona olayının bu olumsuz etkisine karşı dayanıklı ve yüzeyinin düzgün olmasına dikkat edilmelidir.

### 13.2.2.3. Çap

Yüksek gerilimli hava hatlarında örgülü alüminyum veya çelik örgülü alüminyum iletkenler kullanılır. Alüminyum iletkenler bakır iletkenlere göre daha az iletken olduğundan çapları daha fazla olur. İletken çapı üzerinde buz ve rüzgâr yükü etkili olduğundan, iletkenlerin seçilmesinde bu durum göz önüne alınmalıdır.

### 13.2.2.4. Özgül Ağırlık

Hava hatlarında kullanılan iletkenlerin özgül ağırlıkları az olursa durdurucu direğe gelen çekme kuvveti de az olur. İletkenlerin mekanik olarak zorlanmasına özgül ağırlığının etkisi büyüktür. Bu sebeple hava hatlarında kullanılan iletkenlerin özgül ağırlığının küçük olması gerekir. Özgül ağırlığının küçük olmasıyla direk ve hava hattı donanım malzemelerinde ekonomi sağlanır.

### 13.2.2.5. Sehim (Fleş)

Yüksek gerilim enerji nakil hatlarında direkler arasına çekilen bir enerji nakil iletkeni kendi ağırlığı nedeniyle sarkar. Gerilmiş olan iletken uçlarının bağlı olduğu iki izolâtör arasındaki var sayılan doğru çizgi ile iletkenin en çok sarktığı yer arasın-

daki uzaklığa *fleş* denir.

Hava hattı iletkenleri durdurucu direkler arasında iletkenin cer (çekme ve gerilme) kuvveti, ağırlığı, rüzgar yükü, buz yükü, iklim şartları ve direkler arası uzaklık dikkate alınarak çekilir. Sehim hava hattı direklerinin geçeceği yerin arazi şekli ve iklim koşullarına göre ayrılmış, bölgelerin durumlarına göre hazırlanmış olan cetvel-lerden veya formüllerden hesap edilir.

$$f = \frac{G \cdot a^2}{8 \cdot P}$$

f = Sehim (m)

P = Gerilme (Kg/cm<sup>2</sup>)

G = İletkenin yoğunluğu (Kg/dm<sup>3</sup>)

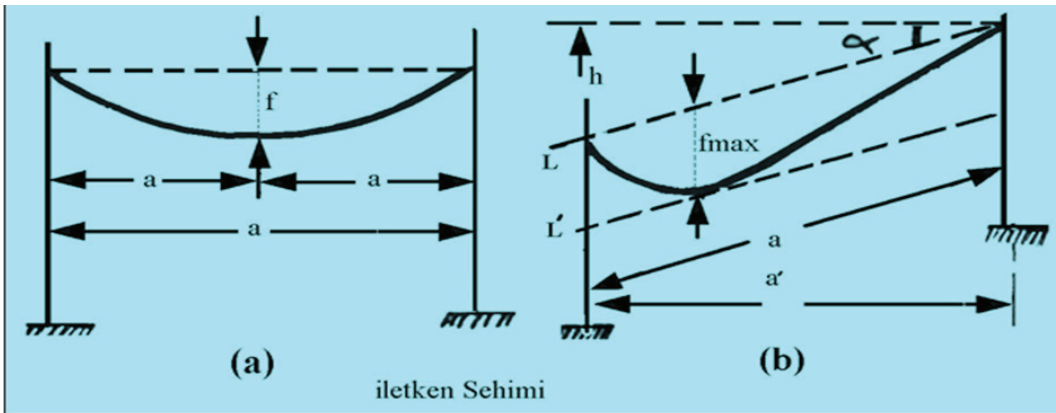
a = İki direk arasındaki uzaklık (m)

İletkenin iki tarafında bulunan direkler aynı yükseklikte ise teldeki en büyük fleş, direkler arası uzaklığın tam ortasıdır.

Farklı yükseklikteki direkler arasında gerili iletkenin en büyük fleşi ise daha düşük seviyede bulunan direğe yakındır. Kot farkı olan direkler arasındaki fleş şekil 13.1-b'de görüldüğü gibidir.

İki direk arasında gerili bulunan iletkenin boyu aşağıdaki formül ile hesap edilir:

$$L = a + \frac{8 \cdot f}{3 \cdot a} \quad (\text{m})$$

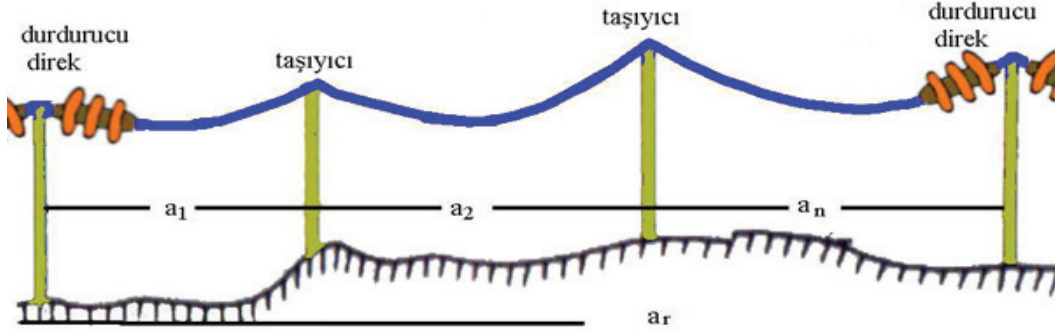


Şekil 13.1 a) Aynı seviyedeki iki direk arasındaki iletkenin sehim b) Seviye (kot) farkı olan iki direk arasındaki iletkenin sehim



# 1. SINIF ELEKTRİK TESİSATÇILIĞI

## ENERJİ ÜRETİMİ, İLETİMİ ve DAĞITIMI



Şekil 13.2 Taşıyıcı, durdurucu direkler ve iletken sehimini

Sehim hesabı; iki durdurucu arasındaki ortalama menzile (aralık) göre yapılır. Tesis yapılırken iki direk arasında yapılan ölçme yeterlidir. Bileşik kaplardaki sıvılar gibi bütün aralıklarda istenilen sehim değeri gerçekleşir.

### 13.2.2.6. Mekanik Dayanıklılık

Enerji nakil hatlarında kullanılan iletkenlerin mekanik dayanımlarının önceden bilinmesi önemlidir. Hava hatlarında kullanılan iletkenler dış tesirlerin etkisinde kalırlar. Rüzgâr, buz, kar, sıcak ve soğuk havanın etkisinde bulunan iletkenler tüm bu olumsuz şartlara dayanıklı olmalıdır. İletkenlerin mekaniksel olarak dayanıklılığı örgülü alüminyum tellerin iç kısmında ve orta yerde bulunan galvanizli çelik tellerle sağlanır. Eğer iletkenin mekaniksel dayanımı az olursa dış tesirlerin etkisiyle kopabilir. Kopan iletken başka bir hat üzerine düşebilir. Bütün bu durumların önlenmesi için mekanik kopma dayanıklılığının yüksek olması gereklidir.

### 13.2.2.7. Isıya Karşı Dayanıklılık

Yüksek gerilim hava hatlarında örgülü çelik alüminyum iletkenler çok kullanılır. Bilindiği gibi üzerinden akım geçen bir iletken ısınır. İletken yaz aylarında havanın sıcaklığı dolayısıyla da ısınır. İletkenin bu ısı artışı sonucu boyu uzar ve sarkma olur. Havanın sıcaklığından dolayı ısı artışı neticesi iletkendeki sarkma sehim hesaplarında dikkate alınmalıdır.

Alüminyum iletkenler havadaki hafif bir rüzgârla bile soğuyabilir. Ancak rüzgâr olmadığı ve hava sıcaklığı fazla olduğu zaman iletkendeki uzama çok fazla olur. Bu sebeple alüminyum iletkenin sıcaklıkla orantılı olarak uzama katsayısının önceden bilinmesinde fayda vardır. Tablo 5:2'de kullanılan iletkenlerin uzama kat sayıları verilmiştir.

# 1. SINIF ELEKTRİK TESİSATÇILIĞI ENERJİ ÜRETİMİ, İLETİMİ ve DAĞITIMI

MALZEME	Daimî gerilme (kg/mm <sup>2</sup> )	Tecrübe gerilmesi (kg/mm <sup>2</sup> )	Yoğunluk (kg/cm <sup>3</sup> )	Sıcaklık katsayısı 10 °C için	Elastikiyet katsayısı (cm <sup>2</sup> / kg)
Alüminyum	12	18	2,7 . 10 <sup>-3</sup>	2,3 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{0,5 \cdot 10^6}$
Aldrey	24	30	2,7 . 10 <sup>-3</sup>	1,23 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{0,6 \cdot 10^6}$
Çelik St. I.	32	40	7,8 . 10 <sup>-3</sup>	1,23 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{1,2 \cdot 10^6}$
Çelik St II	56	70	7,8 . 10 <sup>-3</sup>	1,1 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{1,8 \cdot 10^6}$
Çelik St III	90	120	7,8 . 10 <sup>-3</sup>	1,1 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{2,0 \cdot 10^6}$
Çelik St IV.	110	150	7,8 . 10 <sup>-3</sup>	1,1 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{2,0 \cdot 10^6}$
Çelik alüminyum St /Al: 1/6	21	-	3,45 . 10 <sup>-3</sup>	1,95 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{0,3 \cdot 10^6}$
St/Al:1/4,3	24	-	3,5 . 10 <sup>-3</sup>	1,76 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{0,9 \cdot 10^6}$
St/Al = 1/3	28	-	3,98 . 10 <sup>-3</sup>	1,66 . 10 <sup>-5</sup>	$\frac{1}{0,8 \cdot 10^6}$

Tablo 13.1 Çeşitli iletkenlerin karakteristik değerleri

## DEĞERLENDİRME SORULARI

*Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.*

1. ( ) Alçak gerilimli (AG) dağıtım şebeke ve hatlarında %5'ten daha fazla gerilim düşümüne müsaade edilmez.
2. ( ) Hidroelektri santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin iletilmesinde gerilim düşümü %10-12'den fazla olmamalıdır.
3. ( ) Üç fazlı sistemlerde hatlar üzerinde düşen gerilim düşümünün vektörel toplamı % değeri hat gerilimi dikkate alınmadan hesaplanır.
4. ( ) Enerji nakil hatlarında kullanılan iletkenlerin kesitleri hatlara meydana gelen güç kaybına göre hesaplanır.
5. ( ) İletkenlerin seçilmesinde iletkenin çapı dikkat edilmesi gereken kriterlerden değildir.