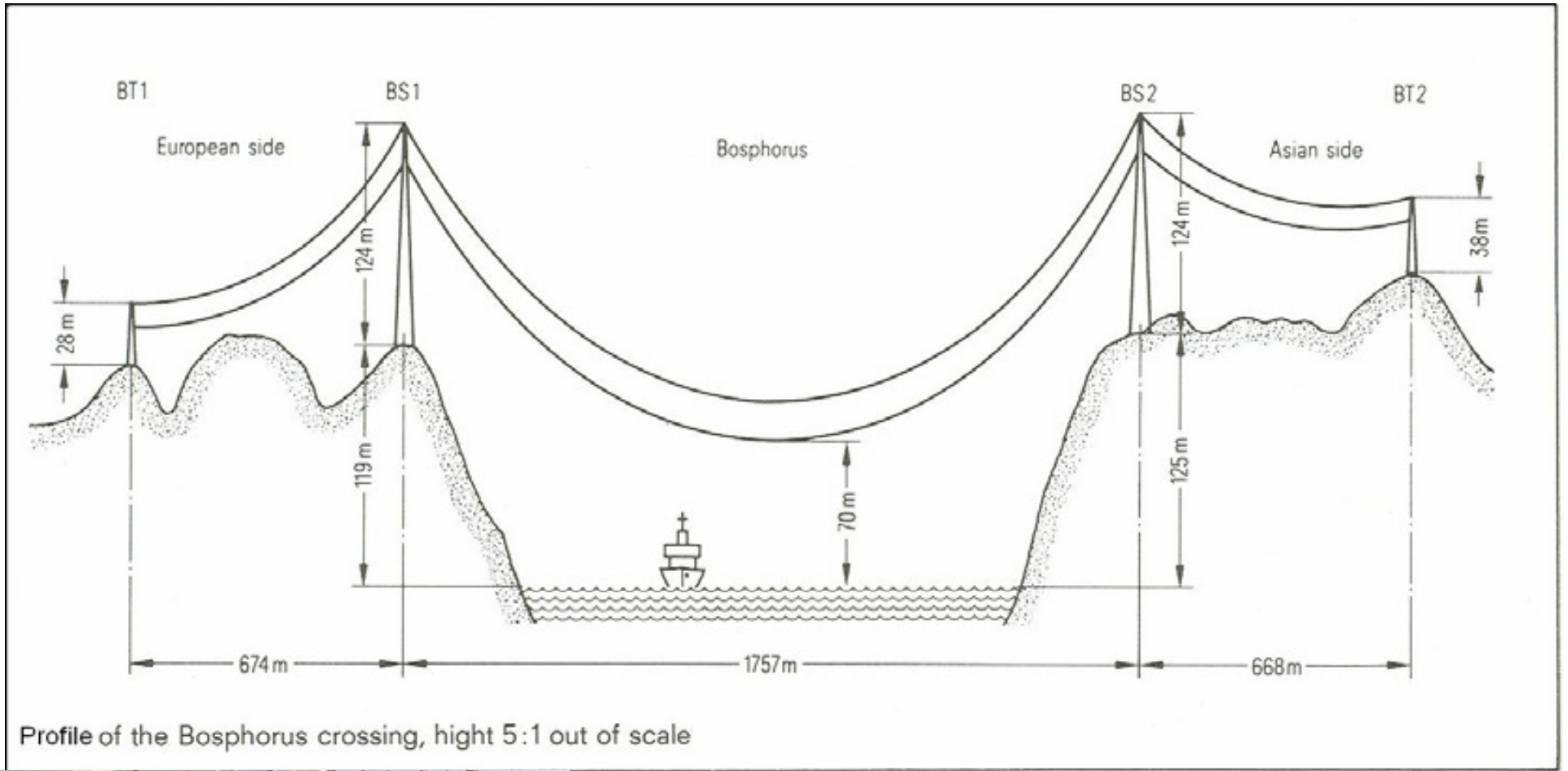


YG ELEKTRİK ENERJİ İLETİMİ



Doç. Dr. Şükrü ÖZEN
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü



Elektrik iletimi, yüksek gerilimin yalıtım problemlerinden dolayı havai hatlarla yapılır

conductors

insulator

structure

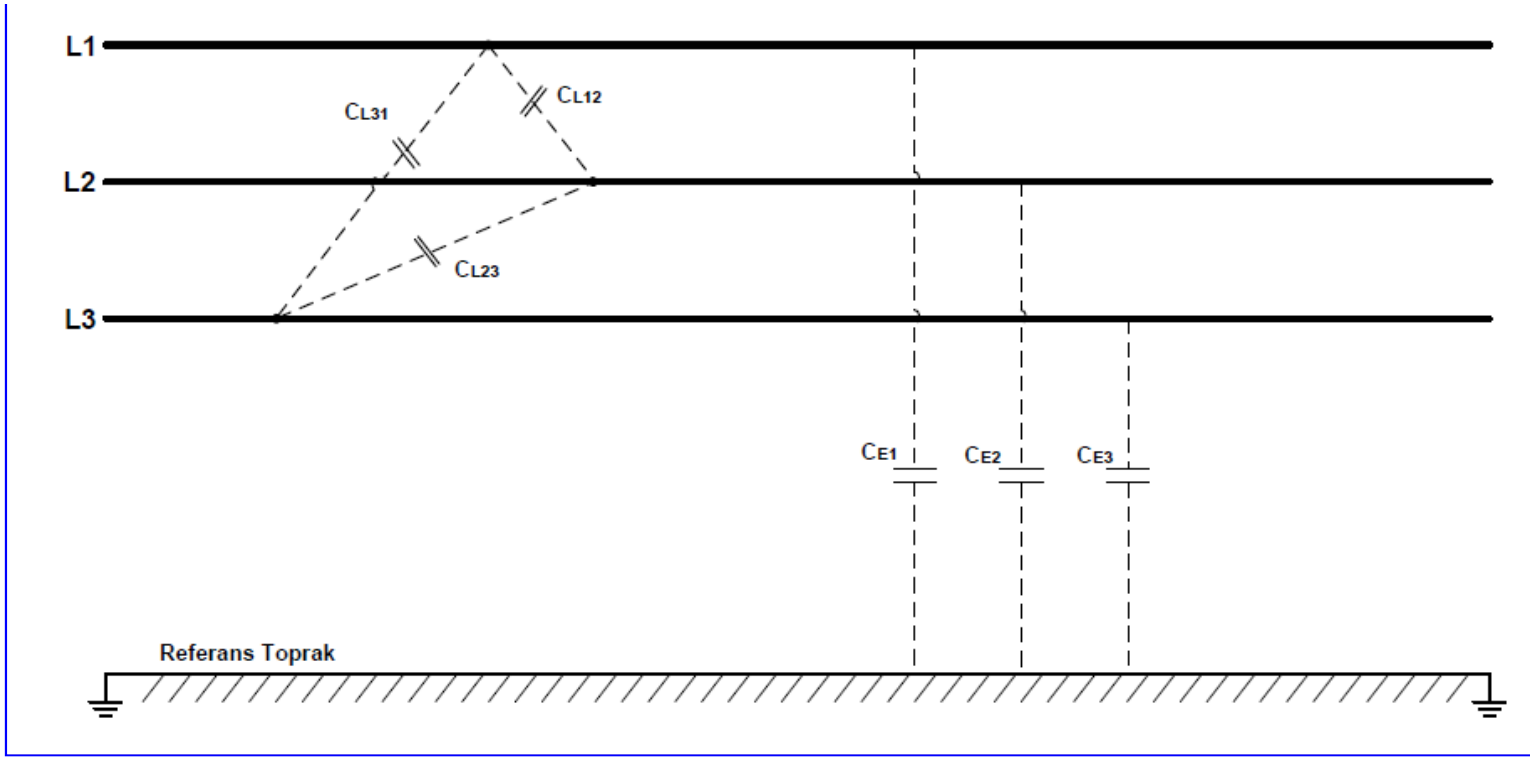


static lines

GİRİŞ

- Günümüzde **elektrik enerjisi** kullanışlı ve oldukça ekonomik olması nedeniyle insan hayatında vazgeçilmez bir konuma sabittir.
- Bilindiği gibi elektrik enerjisi, **hidroelektrik, termik, nükleer, rüzgâr ve güneş santralleri gibi** enerji üretim merkezlerinde üretilmektedir.
- Genellikle **bu üretim merkezleri** gerek hammadde gerekse, insan sağlığına olan olumsuz etkileri nedeniyle, tüketim merkezleri konumundaki yerleşim birimlerine yakın olarak inşa edilmemektedir.
- Dolayısıyla **yerleşim biriminden oldukça uzak bir noktadaki üretim merkezlerinde üretilen elektrik enerjisinin, tüketim merkezlerine ulaştırılması sorunu ortaya çıkmaktadır.**
- İşte bu sorunu ortadan kaldırıp, **üretilen elektrik enerjisini tüketim merkezlerine ulaştıran hatlara —enerji iletim hatları**, yapılan işleme de —**enerji iletimi** adı verilir.
- Tüketim merkezlerinden gelen ve yaklaşık her on yılda bir iki katına çıkan çok büyük güç talepleri karşısında **enerji iletimi başlı başına bir mühendislik dalı haline gelmiştir.**
- Günümüzde Megavolt'lar(MV) mertebesindeki gerilimler altında çok büyük güçlerin kilometrelerce uzağa nakledilmesi mümkün olmaktadır.

- Enerji iletimi genellikle **3 fazlı alternatif akımla** yapılmasına rağmen özellikle son yıllarda, yarı iletken güç elektroniği elemanlarındaki gelişmelere paralel olarak **DC** taşıma hatları yaygınlaşmaktadır.
- Doğru akımla enerji taşınmasının bazı dezavantajlarına rağmen çok büyük avantajları vardır.
- Elektrik enerjisinin kullanımı açısından hayati öneme sahip enerji iletim hatlarının incelenmesi için elektriksels eşdeğer devrelerden yararlanılır.
- Bu eşdeğer devreler **hattın uzunluğu ile orantılı olarak değerleri değişen R, L, ve C elemanlarından** oluşmaktadır.
- Burada, **R; hattın omik direncini**, **L; hattın endüktansını** ve **C de hat iletkenlerinin birbiri arasındaki (C_{LE}) ve hattın toprağa göre (C_E) kapasitelerinin toplamını** temsil etmektedir. Şekil 'de hat iletkenlerinin birbiri arasındaki ve toprağa göre olan kapasiteleri gösterilmiştir.



Şekil. Enerji iletim hatlarında hatlar arasındaki ($C_{L\Delta}$) ve hat-toprak arasındaki (C_E) kapasiteler.
Üç fazlı dengeli sistemde;

$$C_{L12} = C_{L23} = C_{L31} = C_{L\Delta}$$

ve

$$C_{E1} = C_{E2} = C_{E3} = C_E$$

Hatlar arasındaki kapasiteler için Y/ Δ dönüşümü yapılırsa ;

$$C_Y = 3C_{L\Delta}$$

olduğuna göre bir faz eşdeğer evresinde faz-nörl arasında ki eşdeğer kapasite;

$$C = C_E + 3C_{L\Delta}$$

olmaktadır.

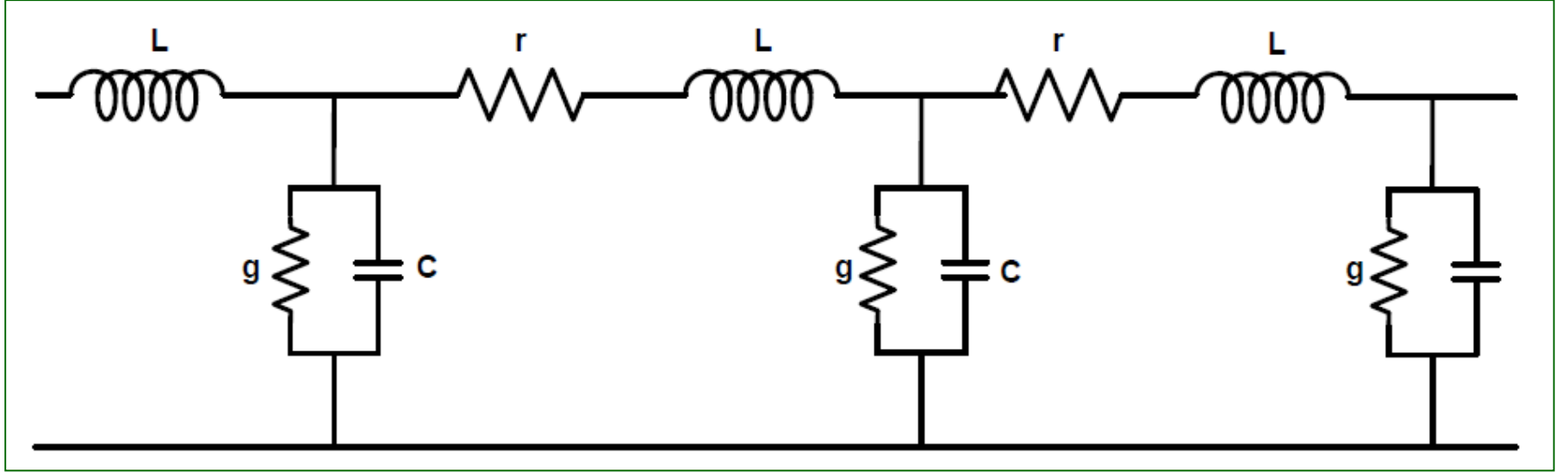
R hattın direnci, L hattın endüktansı ve f frekans olmak üzere hattın bir faz eşdeğer devresindeki seri empedans;

$$Z = R + j2\pi fL \quad \text{Olmaktadır.}$$

G hattın kaçak geçirgenliği (Kondüktans), C hattın eşdeğer kapasitesi ve f frekans olmak üzere hattın bir faz eşdeğer devresinin toplam admitansı;

$$Y = G + j2\pi fC \quad \text{olur.}$$

Şekil . Bir Enerji iletim hattının gerçək eşdeğer devresini göstermektedir.



❖ Enerji iletim hatlarında **G** kaçak geçirgenliğinden akan akım **hattın C eşdeğer kapasitesinden geçen akıma göre çok küçük olduğundan eşdeğer devredeki G parametresi genellikle ihmal edilir.**

❖ Enerji iletim hattına ait **R, L ve C** değerleri hattın uzunluğu ile orantılı olarak artmaktadır.

Enerji İletim Hatlarının Mesafeye Göre Sınıflandırılması

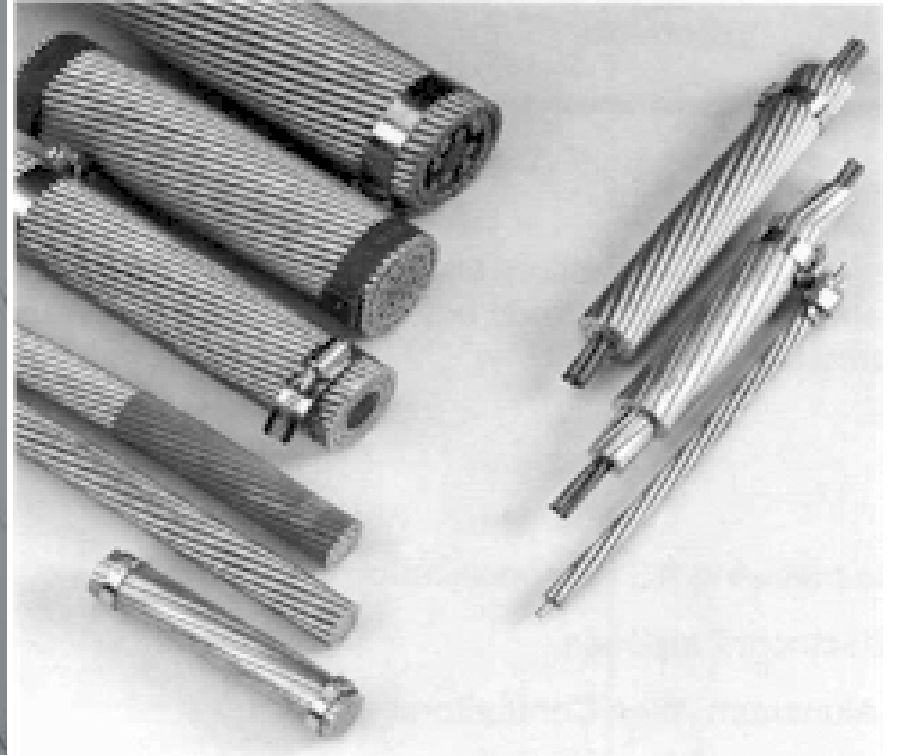
- **Hatlar uzunluklarına göre:**
 - ❖ *ısa iletim hatları,*
 - ❖ *orta uzunluktaki iletim hatları ve*
 - ❖ *uzun iletim hatları*

olarak başlıca üç grupta incelenmektedir.
- *Hatlar uzunluklarına göre aşağıdaki gibi gruplandırılmaktadır. (L = hat uzunluğu)*
 - **L = 0 – 80 km : Kısa iletim hatları,**
 - **L= 80 – 240 km : Orta uzunluktaki iletim hatları,**
 - **L= > 240 km : Uzun iletim hatları.**

İletim Uzunluğunun Etkili Olduğu Temel Büyüklükler

- **A) Gerilim Kademesi:** Ülkemizde YG Enerji İletiminde 154kV ve 380kV gerilim kademeleri kullanılmaktadır.
 - ❖ Yüksek gerilim sabit güç altında akımı düşüreceği için hat kayıplarını düşürmektedir.
- **B) İletken Sayısı ve cinsi:** Güç iletiminde mesafenin artmasına bağlı olarak, daha fazla güç iletebilmek için çift devreleri hatlar kullanılmaktadır.
 - ❖ İletkenler ise yapı itibarı ile St/Al ve de “Demet” olarak kullanılmaktadır.
 - ❖ Altı fazlı hatlarda nadiren de olsa kullanılmaktadır.
- **C) Akım Cinsi:** Genel olarak enerji iletim hatları sinüzoidal AC gerilimle işletilmektedir. Doğru akımla enerji iletimi de yapılabilmektedir.

HAVAI HAT İLETKENLERİ



Havai Hat İletkenleri

- Yüksek gerilim hava hatlarında kullanılan iletkenlerin, **hem enerji taşıma kapasitesi** bakımından hem de **mekanik dayanım** yönden uygun olarak seçilmesi gerekir.
- İletkenler, gerekli **esnekliği sağlamak**, **askı ve gergi noktalarında oluşan titreşimler** sebebiyle **kopmanın önlenmesi** amacıyla **spiral şekilde örgülü** olarak yapılır.
- Spiral şeklinde örgülü yapılmış iletkenlerde **her bir damarın yüzeyinde meydana gelen kir ve oksit tabakaları** sebebiyle akım, damardan damara değil de **spiral örgünün içinde akar**.
- Bu bakımdan **örgülü iletkenlerin direnç ve endüktansları, dolayısıyla endüktif reaktansları** aynı kesit ve cinsteki örgülü olmayan iletkenlere göre daha büyüktür.
- **Endüktans artışını azaltmak için**, **katlardaki damarlar birbirlerini izleyen katlarda ters yönde konsantrik** olarak yapılır.

Havai Hat İletkenleri

- Seçilecek iletkenin tipi tespit edilirken elektrik enerjisinin taşınmasında **elektriksel etkilerin** olduğu gibi **mekaniksel yapısı da dikkate** alınmalıdır.
- **Mekaniksel yapı** izolatörlere ve direklere etki edeceğinden, elektriksel değerlerle birlikte göz önünde bulundurulmalıdır.
- **İletken seçiminde;**
 - en çok enerji kaybı,
 - optimal maliyet,
 - gerilim düşümü,
 - ısınma durumu ve
 - korona kaybı dikkate alınmalıdır.
- Ayrıca iletim hatlarının geçtiği güzergâhlarda **buz yükleri** de dikkate alınmak zorundadır. Ülkemizde **5 buz yükü bölgesi** olduğu unutulmamalıdır.

Havai Hat İletkenleri

- Hava hatlarında kullanılan iletkenler, **masif tel yani içi dolu som tel** ile **masif örgülü bakır veya alüminyum tellerden** yapılır.
- Masif telden yapılan iletkenler içi **dolu bir tek tel halinde 10 mm² kesite kadar** imal edilir.
- Bazı **özel durumlar için 16 mm²'lik** olanları da yapılmaktadır.
- Masif örgülü iletkenler ise aynı veya aynı cins metalden imal edilir. **İnce tellerin spiral şekilde örülmesiyle meydana getirilen çıplak iletkenlerdir.**
- Örgülü iletkenler **büyük kesitlerde montaj kolaylığı, esnek oluşu, kangal haline getirilebilmeleri ve taşınma kolaylığı** sebebiyle tercih edilir.

Havai Hat İletkenleri

- Bugün için ülkemizde YG enerji naklinde
 - 3AWG
 - 1/0AWG
 - 3/0AWG
 - 266 MCM ve 477 MCM St-Al iletkenler kullanılmaktadır.
- **AWG:** American Wire Gauge (Amerikan Tel Ölçülerinin)'nin baş harfleridir.
- Kısaltma amacıyla
 - 0000=4/0
 - 000=3/0
 - 00=2/0
 - 0=1/0 şeklinde gösterilir.

Havai Hat İletkenleri

- **MCM:** Daha büyük kesitteki St-Al iletkenler (**266,8 MCM, 477 MCM**) ise; ABD'de iletken kesitlerini ifade etmekte kullanılan **CM(Circular Mile)** olarak belirtilmiştir.
- **1CM, çapı 0,001 inch olan daire yüzeyine eşittir.**
- Al kesiti: $266,8 \times 0,5067 = 135,18 \text{ mm}^2 \dots 135 \text{ mm}^2$
- Al kesiti: $477 \times 0,5067 = 241,69 \text{ mm}^2 \dots 242 \text{ mm}^2$

$$1 \text{ CM} = 5067 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^2 \\ = 0,5067 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ MCM} = 10^3 \cdot \text{CM} = 0,5067 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ MCM} \cong 0,5067 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ CM} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi}{4} (0.001 \text{ inch})^2 \\ = \frac{\pi}{4} (0.001 \times 25.4)^2 = 5067 \times 10^{-7} \text{ mm}^2$$

Yapılarına Göre Havai Hat İletkenlerinin Çeşitleri ve Özellikleri

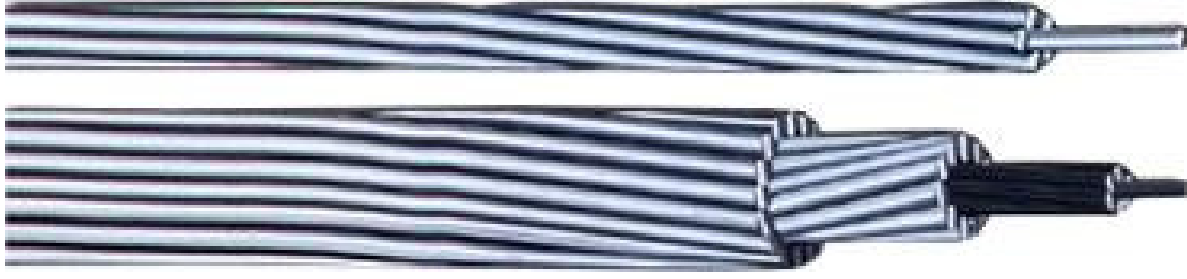
- Elektrik enerjisinin **taşınması ve dağıtılmasında** genel olarak **bakır, tam alüminyum (AAC) ve çelik özlü alüminyum (ACSR) iletkenler** kullanılır.
 - **AAC:**Tamamen Alüminyum İletkenler (all-aluminium-alloy conductors)
 - **AAAC:**Tamamen Alüminyum Alaşım İletkenler (all-aluminium-conductors)
 - **ACSR:**Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (aluminium-conductors, steel-reinforced)
 - **ACAR:** Alaşım Takviyeli Alüminyum İletkenler (aluminium conductors – alloy-reinforced)

• Bakır İletkenler:

Mekanik mukavemetin ve elektriksel geçirgenliğin yüksek oluşu nedeniyle tercih edilir. Kopmaya karşı dayanıklı olması için soğuk haddeden geçirilmesi gereklidir. Bakırın pahalı ve özgül ağırlığının fazla oluşundan dolayı bugün hava hatlarında **yerini daha ucuz ve hafif olan alüminyum iletkenlere** bırakmıştır.

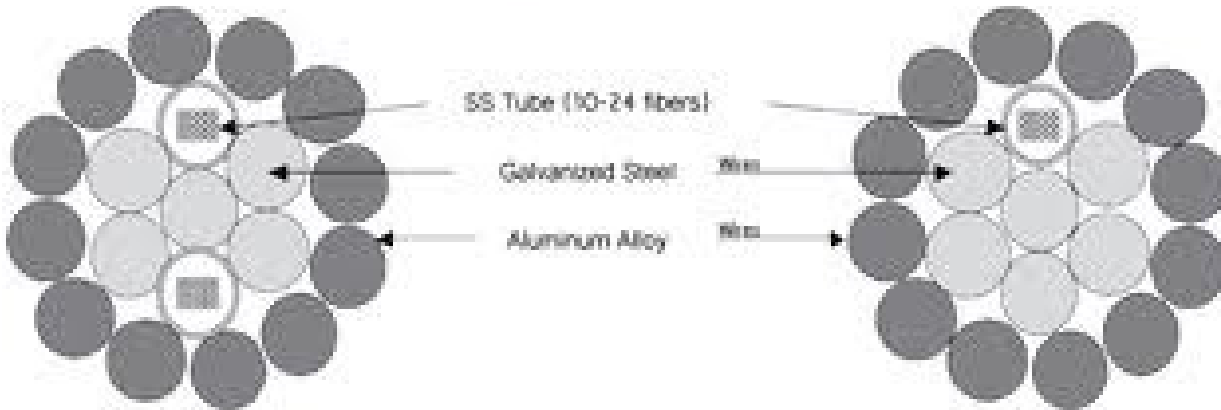
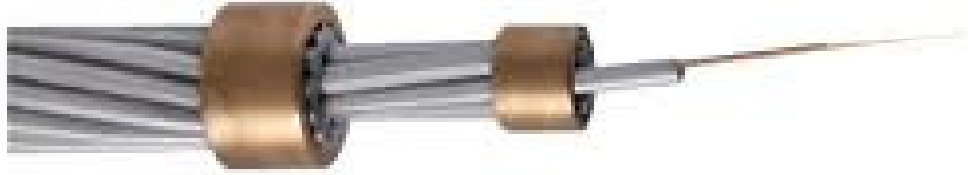
AAC:Tamamen Alüminyum İletkenler (all-aluminium-conductors)

- **Alüminyum**, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir.
- Pek çok ülkede, **alüminyumun iletim ve dağıtım sistemlerinin tüm elemanları için bakırın yerine**, ana iletken malzemesi olarak kabul edilmesinde pek çok neden bulunmaktadır.
- **Alüminyum bakıra göre çok hafiftir, alüminyumun yoğunluğu, yaklaşık olarak bakırın % 30'u kadardır.**
- Özellikle, hava **hattı direk yapılarında hafiflik çok önemlidir**; çünkü ağır iletkenler, ağır direk yapılarına ihtiyaç gösterir.
- Ayrıca, alüminyum iletkenlerin **taşınması, işlenmesi ve montajı, ağır bakır iletkenlere göre daha kolaydır.**
- Alüminyumun hafifliği, ağır bakır iletkenlere göre birçok avantaj sağlamaktadır.



Çelik Özlü Alüminyum İletkenler:

Orta ve yüksek gerilim iletim hatlarında kullanılan çıplak çelik özlü alüminyum iletkenler, Türk Standardı TS-IEC 1089' a uygun olarak, 15...750 mm² kesitleri arasında üretilmektedir.



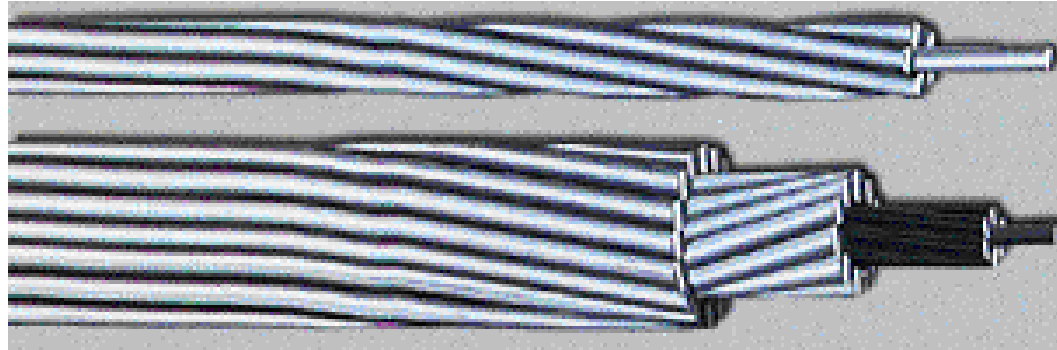
Çelik Özlü Alüminyum İletkenler

- 477 MCM ACSR HAWK
- 795 MCM ACSR DRAKE
- 954 MCM ACSR CARDINAL
- 954 MCM ACSR RAIL
- 1272 MCM ACSR PHEASANT

- ✓ O.G.'de kullanılan iletkenler: Swallow (kırlangıç), Raven (kuzgun), Pigeon (güvercin) (St-Al iletkenler)
- ✓ A.G.'de kullanılan iletkenler saf Al iletkenlerdir.

Yüksek gerilim iletim hatlarında malzeme olarak çelik özlü alüminyum iletkenler kullanılır.

- (ACSR –Aluminium Conductor Steel Reinforced)
Kanada standardı olarak tüm dünyada kuş isimleri ile karakteristik adları bilinen ACSR iletkenler **AWG** veya **MCM** ölçekleriyle anılan kesitlere sahiptirler ve **ülkemizde de TS-IEC 1089'** a uygun olarak, **15...750 mm² kesitleri arasında** üretilmektedir.



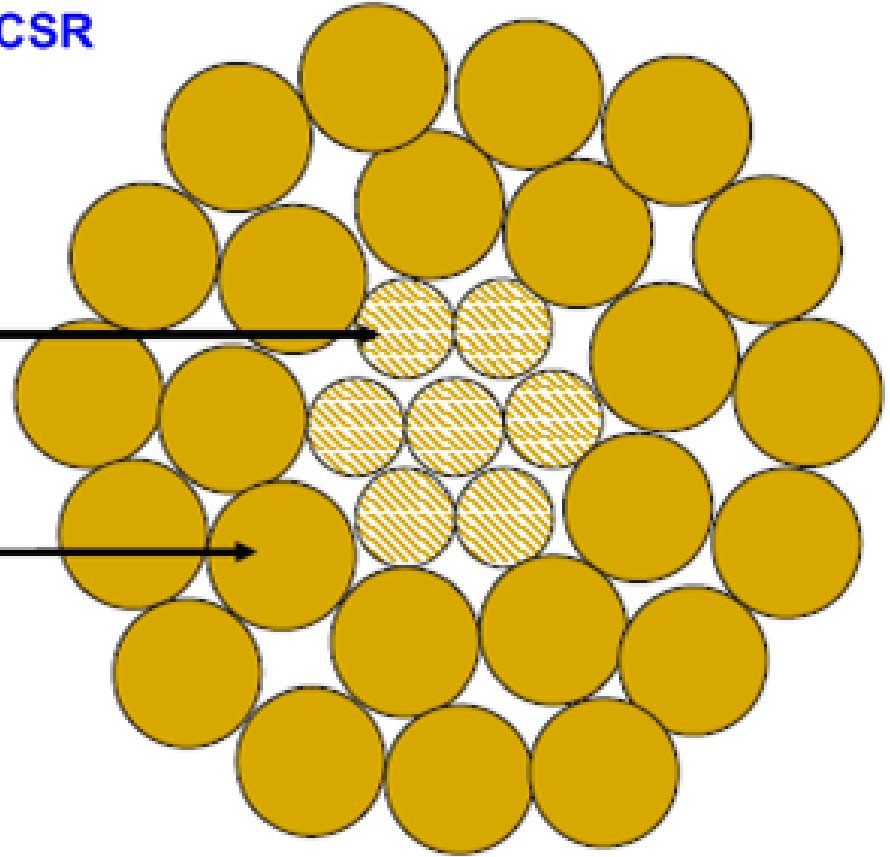
Sekil. ACSR iletken

ACSR 24/7

Çelik Katkılı Al İletken ACSR

7 Adet Çelik İletken (Damar)

24 Adet Al
İletken (Damar)



İletken Kesiti Alanı

Ulusal Enerjide Şebekesinde Kullanılan İletkenler

- **154kV EİH larında genel olarak:**
 - 477000CM=477MCM (Hawk)
 - 795MCM(Drake)
 - Nadiren de 266.8 MCM (Patridge)
- **380kV EİH larında genel olarak:**
 - 954MCM (Rail yada Cardinal) tipi iletkenler kullanılmaktadır.
- **Dağıtım ve Kırsal hatlarda ise çoğunlukla (OG Hatları)**
- 3AWG (Swallow)
- 1/0 AWG (Rawen)
- 3/0 AWG(Piegon)
- Tipi Çelik-Alimünyum iletkenler kullanılmaktadır.
- Özel durumlarda, **31.5 ve 34.5 kV OG hatlarında** için **266.8MCM ve 477MCM** tipi iletkenlerde kullanılmaktadır.

ÇELİK ÖZLÜ ALÜMİYUM İLETKENLER (OG ve YG)

Anma Adı	Kesit		Tel Çapları Sayıları Adet X çap (mm)		Eşdeğer Bakır kesiti mm ²	20°C'de DC direnci	Anma birim Ağırlığı kg/km	Akım Taşıma Kapasitesi		
	AWG veya cir.mil	Toplam İletken Kesidi (mm ²)	Alümin- yum	Çelik				Amper		
								I	II	III
Swallow	3	31,14	6x2,38	1x2,38	16,78	1,0742	107,8	120	160	180
Sparrow	2	39,19	6x2,67	1x2,67	21,09	0,8543	135,7	140	180	200
Robione	88,22	52,15	6x3,08	1x3,08	28,11	0,641	179,3	175	200	230
Raven	1/0	62,44	6x3,37	1x3,37	33,73	0,5362	216,2	195	230	280
Pigeon	3/0	99,3	6x4,25	1x4,25	53,52	0,3366	343,9	275	300	360
Partridge	266800	156,86	26x2,57	7x2,00	85,17	0,214	543,8	245	460	51
Ostrich	300000	176,9	26x2,73	7x2,12	95,6	0,1847	612,9	410	490	540
Hawk	477000	280,84	26x3,44	7x2,67	152	0,1194	972,8	540	670	740
Drake	795000	468	26x4,44	7x3,45	253,3	0,0715	1621,5	760	900	1020
Condor	795000	454,48	54x3,08	7x3,08	253,3	0,0718	1519,7	760	900	1020
Rail	954000	517	45x3,70	7x2,47	300	0,0599	1600,2	860	1010	1100
Cardinal	954000	547,34	54x3,38	7x3,38	304	0,0597	1829,8	860	1010	1090
Pheasant	1272000	726,79	54x3,90	19x2,34	405,7	0,0499	2423,5	1000(4)	1160(5)	1300(6)

ALÜMİYUM İLETKENLER

AG- HAVA HATLARINDA KULLANILIRLAR

Anma Adı	Kesit		Tel Çapları Sayıları Adet X çap (mm)	İletken Anma Çapı (mm)	Eşdeğer Bakır kesiti mm ²	20°C'de DC direnci	Anma birim Ağırlığı kg/km	Akım Taşıma Kapasitesi		
	AWG veya cir.mil	Toplam İletken Kesidi (mm ²)						Amper		
								I	II	III
ROSE	4	21,14	7x1,96	5,88	13,3	1,354	58	110	140	150
LILY	3	26,66	7x2,20	6,61	16,78	1,074	73	125	160	170
PANSY	1	42,37	7x2,78	8,33	26,57	0,6752	116	165	200	230
POPPY	0	53,49	7x3,12	9,36	33,73	0,5351	146	193	230	270
ASTER	0	67,45	7x3,50	10,51	42,32	0,4245	184	225	260	300
PHLOX	0	84,99	7x3,93	11,8	53,52	0,3366	232	262	300	340
OXLIP	0	107,3	7x4,42	13,25	67,5	0,2671	294	306	370	400
DAISY	266,8	132,5	7x4,96	14,87	85,17	0,2131	369			
PEONY	300	152,1	19x3,19	15,96	95,66	0,1893	417			
TULIP	336,4	170,6	19x3,38	16,9	107,2	0,169	469			
CANNA	397,5	201,3	19x3,67	18,36	126,7	0,1427	554			

AKIM TAŞIMA KAPASİTESİ FAKTÖRLERİ

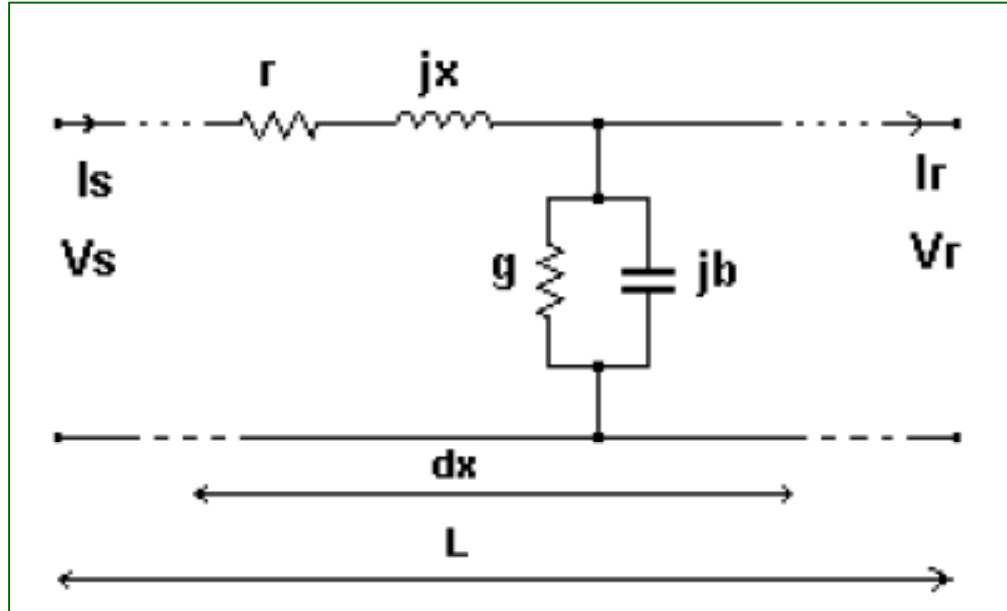
	1	2	3	4	5	6
Rüzgar Hızı (m/sn)	0	0,6096	0,6	0,6	0,6	0,6
Ortam Sıcaklığı (°C)	40	25	20	45	35	25
Max. İletken Sıcaklığı (°C)	80	75	80	80	80	80
Frekans (Hz)	50	60	50	50	50	50
İletken Yüzeyi		Parlaklığını kaybetmiş				
Güneş Isısı (kW/m ²)	-	-	-	-	1,2	1,2

OG HAVA HATLARINDA :

Kısaltma	Tanım
3 AWG=3 AWG	Swallow (Kırlangıç)
0 AWG=1/0 AWG	Raven (Kuzgun)
000 AWG=3/0 AWG	Pigeon (Güvercin)

St-Al İletken	Kesit (mm ²)		Ağırlık (kg/km)	Kopma Dayanımı(kg)	Çelik Çapı (mm)	Toplam Çap (mm)
	Al	St				
Swallow (3 AWG)	26,69	4,45	108	1023	2,38	7,14
Raven (1/0 AWG)	53,49	8,89	215,9	1940	3,37	10,11
Pigeon (3/0 AWG)	85,01	14,22	342,9	3030	4,25	12,75
Partridge (266 MCM)	135,2	22	545,4	5100	6,00	16,28
Hawk (477 MCM)	241,7	39,4	974,9	8820	8,04	21,80

Hava hatlarında, İletkende seri olarak tel direnci ve magnetik alandan doğan reaktans ile şönt olarak elektrik alandan doğan toprak kapasitesi mevcuttur.



Sekil Bir EİH nın (dx) sonsuz küçük parçasındaki (dağıtılmış) hat parametreleri

- r : Hattın seri omik direnci (rezistans);**
- x : Hattın seri enduktif direnci (reaktans),**
- g : Hattın kacak iletkenliği, (Konduktans),**
- b : Hattın kacak kapasitesini (suseptans)**
- $L(\text{km})$: hat boyu**

Dağıtılmış parametreleri ile hatlar:

- a-) Yüksek frekanslı iletimde (haberleşme hatları)
- b-) Geçici olaylar sonucu oluşan yürüyen dalga analizlerinde
- c-) Uzun mesafeli enerji iletiminde

Göz önüne alınır.

- **Bunun ötesinde daha çok hatların parametrik değerleri:**
 - " **z : kilometre basına seri empedans- ohm/km** "
 - veya " **y : kilometre basına şönt admitans 1/ohm.km** " olarak birim
- uzunluk basına verilmektedir.

Hatların admitans ve empedans etkileri, hat uzunluğuna bağlıdır.

$Z = z.L = r.L + j x.L$	(ohm)	Hattın toplam seri empedansı,
$Y = y.L = g.L + j b.L$	(1/ohm)	Hattın toplam şönt admitansı