



HAVAİ HAT İLETKENLERİ VE HAT SABİTELERİ

1.1. Havai Hat İletkenleri

1.1.1. Tanım

Yüksek gerilim hava hatlarında kullanılan iletkenlerin hem enerji taşıması hem de mekanik yönden uygun olarak seçilmesi gerekir. İletkenlerin gerekli esnekliği sağlamak, askı ve gergi noktalarında oluşan titreşimler sebebiyle kopmasını önlemek 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.

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.

Hava hatlarında kullanılan iletkenler, masif tel yani içi dolu som tel ile masif örgülü bakır veya alüminyum tellerden yapılır. Masif telden yapılan iletkenler bir cins malzemedir ve 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.

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.

3 AWG=3 AWG Swallow (Kırlangıç)

0 AWG=1/0 AWG Raven (Kuzgun)

000 AWG=3/0 AWG Pigeon (Güvercin)

St-Al iletkenlerinin proje sembolleridir.

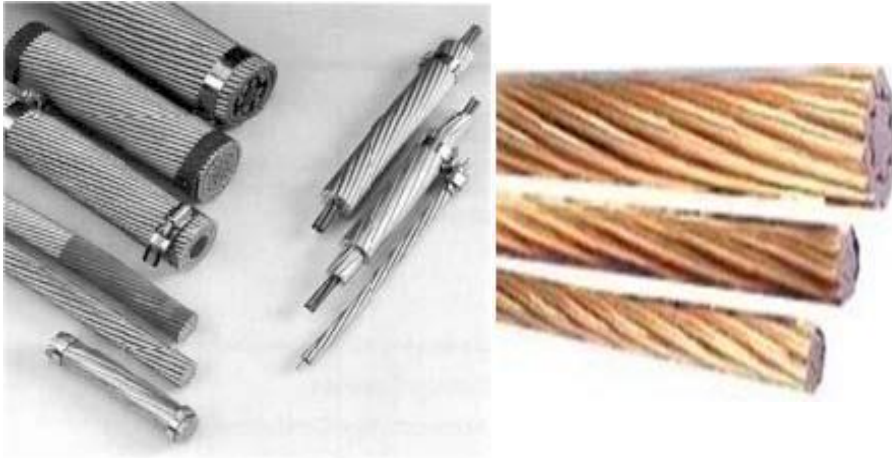
MCM: Daha büyük kesitteki St-Al iletkenler (266,8 MCM, 477 MCM) ise; ABD'de iletken kesitlerini ifade etmekte kullanılan CM(Circular Mile) olarak belirtilmiştir. 1cm, çapı 0,001 inch olan daire yüzeyine eşittir.

Al kesiti: $266,8 \times 0,5067 = 135,18 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 135 \text{ mm}^2$

Al kesiti: $477 \times 0,5067 = 241,69 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 242 \text{ mm}^2$

1.1.2. Yapılarına Göre Çeşitleri ve Özellikleri

Elektrik enerjisinin taşınması ve dağıtılmasında genel olarak bakır, tam alüminyum (AAC) ve çelik özlü alüminyum (ACSR) iletkenler kullanılır.



1.1.2.1. 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.

1.1.2.2. Alüminyum İletkenler (AAC)

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementir. Günümüzde enerji nakil hatları alüminyumdan yapılmaktadır.

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.



Resim 1.3: Çeşitli çap ve kesitte alüminyum iletkenler

Resim 1.4: Çelik özlü alüminyum ve alüminyum iletkenler

- İletken Makarasının İşaretlenmesi

Üreticinin adı, üretim yılı ve standardı, iletkenin cinsi, anma adı, kesiti, çapı, parça adet X uzunluğu, alıcı ve sipariş kodu, makaranın tipi, numarası, brüt ve net ağırlığını belirten



madeni bir etiket makara yanağı üzerine yerleştirilmiştir. Makaranın taşınma ve açılma yönü, yanak üzerinde bir ok işareti ile belirtilmiştir.

- Bakır ve Alüminyumun Teknik Değerlendirmesi

Aşağıdaki tabloda, iletken ve kabloların müşterek malzemesi olan E-Cu (Elektrolitik bakır), E-Al (Elektrolitik Alüminyum) ile bazı hava hatları ve kablolarda da kullanılan alüminyum alaşım AlMgSi' yunun fiziksel özellikleri bulunmaktadır. Bakır ve Alüminyum iletkenlerin belirtilen özellikleri karşılaştırılmak suretiyle çeşitli değerler verilmiştir. Bu değerlerin ışığında; Bakır, Cu, iletken ile eşit uzunlukta, eşit dirençte ve gerilim düşümündeki Alüminyum iletken Bakır iletkenin ağırlığının yarısı kadardır.

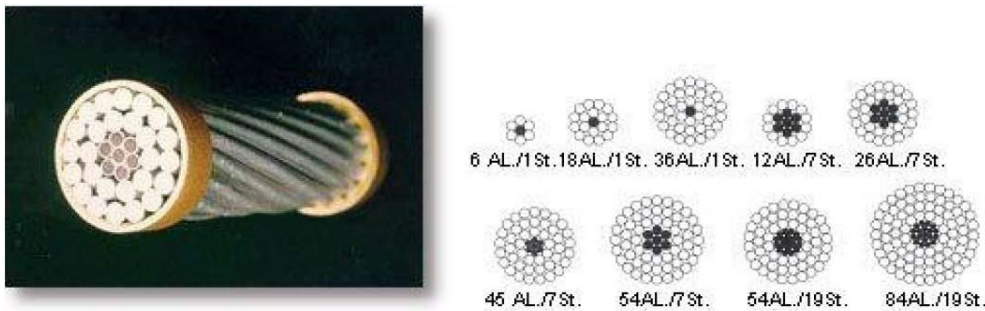
Tablo 1.1: Bakır iletken değerleri 1 olarak kabul edilmek şartı ile eşdeğer Alüminyum çıplak yuvarlak iletkenin fiziksel karşılaştırılması

Ş a r t l a r	B a k ı r	A l ü m i n y u m
Eşit Kesit	1	1
* Ağırlık	1	0,3
* İletkenlik	1	0,625
*AkımTaşıma Kapasitesi	1	0,8
Eşit İletkenlik	1	1
* Kesit Alanı	1	1,6
* Çap	1	1,3
* Ağırlık	1	0,49
Eşit Sıcaklık Artışı	1	1
* Kesit Alanı	1	1,4
* Çap	1	1,17
* Ağırlık	1	0,42

1.1.2.3. Çelik Özlü Alüminyum İletkenler(ACSR)

Alüminyum iletkenlerin orta kısmına çelik damarlı teller yerleştirilmiş ve gerilme dayanımının artması sağlanmıştır. Yani alüminyumun iletkenliğinden, çelik telinde mukavemetinden yararlanılmıştır. Bu iletkenler Kanada normuna göre imal edilmişlerdir. Bugün için memleketimizde OG'li iletim ve dağıtım hatlarında çoğunlukla SWALLOW, RAVEN ve PIGEON türleri tercih edilir. Çelik alüminyum iletkenlerin SWALLOW'dan PARTRIDGE'ye kadar olanları 7 damarlıdır. Bu damarlardan ortada olanı çelik, bunun etrafında olan diğer 6 katı da alüminyumdur. Örgülü iletkenlerde katmanlar birbirine zıt yönde sarılmıştır. Bunun nedeni burulmalarda tellerin açılması ve zıt yönde oluşan manyetik alan birbirini yok eder.

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. İstek üzerine CSA, ASTM, DIN, BS, SFS, NF gibi diğer ülke standartlarına uygun üretim yapılmaktadır. Genel olarak iletkenler, standart ağaç makaralar üzerinde teslim edilir.



Resim 1.5: Çelik özlü alüminyum iletken ve perspektif görünüşleri

1.1.3. Gerilim Değerlerine Göre Çeşitleri ve Özellikleri

1.1.3.1. Alçak Gerilim İletkenleri AG (1V– 1000 Volt arası)

Alçak gerilim elektrik enerjisinin yerleşim yerlerinde abonelere dağıtılması ve sokak aydınlatılması için kullanılan iletkenlerdir. Kopmaya karşı dayanıklı ve elektriksel geçirgenliğinin iyi olması sebebiyle bakır örgülü iletkenler kullanılırdı. Ancak bakır örgülü iletkenlerin pahalı ve ağır olmaları sebebiyle vazgeçilmiştir. Bunun yerine ekonomik ve hafif olmaları nedeniyle yerini şehir içlerinde Alpek kablolar, şehir dışlarında ise alüminyum örgülü iletkenler kullanılır. ROSE, LILY, IRIS, PANSY, PAPPY, ASTER, PHLOX ve OXLIP sembolü ile verilen iletkenler alçak gerilimde kullanılan iletkenlerdir. Bu isimler İngilizce çiçek adlarıdır.

Askı telli, demet biçimli, alüminyum iletkenli hava hattı kabloları (AER) 1960'dan beri tüm dünyada alçak ve orta gerilimde, 1971 yılından itibaren de ülkemizde kullanılmaktadır. Bunun tercih edilmesinin nedenleri güvenli, emniyetli ve ekonomik olmasıdır.



Resim 1.6: Alpek kablonun makara üzerindeki görünüşü



Resim 1.7: Alpek kablonun taşıt üzerindeki görünüşü

Tablo 1.2: Alpek kabloların akım taşıma kapasitesi faktörleri

ALPEK® İletken Adedi ve Kesiti mm ²	Yalıtılmış Faz İletkenleri				Nötr Askı Teli		Tüm Kablo		Standart İmalat Uzunluğu m
	Dağıtım hattı		Sokak		Kesit mm ²	KopmaYükü kgf	Dış Çap mm	Ağırlık kg/km	
	AdetxKesit mm ²	Azami Akım Amper	AdetxKesit mm ²	Azami Akım Amper					
1×10+16	1×10	55	-	-	16	480	12	100	1000
3×10+16	3×10	50	-	-	16	480	20	200	1000
1×16+25	1×16	70	-	-	25	750	14	140	1000
1×25+35	1×25	100	-	-	35	1050	17	200	1000
1×35+50	1×35	125	-	-	50	1500	20	275	1000
3×16+25	3×16	70	-	-	25	750	22	275	1000
3×25+35	3×25	90	-	-	35	1050	26	400	1000
3×35+50	3×35	115	-	-	50	1500	30	575	1000
3×50+70	3×50	140	-	-	70	2100	35	750	1000
3×70+95	3×70	180	-	-	95	2850	41	1050	1000

1×16+25	-	-	1×16	75	25	750	14	140	1000
1×16+1×16+25	1×16	70	1×16	60	25	750	15	225	1000
3×16+1×16+25	3×16	60	1×16	60	25	750	22	350	1000
3×25+1×16+35	3×25	80	1×16	60	35	1050	26	475	1000
3×35+1×16+50	3×35	95	1×16	60	50	1500	30	625	1000
3×50+1×16+70	3×50	120	1×16	60	70	2100	35	800	1000
3×70+1×16+95	3×70	150	1×16	60	95	2850	41	1100	1000

9

KABLO YAPISI

Faz iletkenleri	: 16 mm ² dairesel kesitili som, 25... 70 mm ² sıkıştırılmış, çok telli yuvarlak alüminyum. Diğer kesitler istek üzerine üretilir.
Nötr-Askı iletkeni	: Faz iletkenlerinin bir üst kesitinde, çıplak, sıkıştırılmış, çok telli yuvarlak alüminyum alaşım (294 N/mm ²).
Yalıtım	: TS -11654 şartlarını karşılayan ve dış hava şartlarına dayanıklı, siyah renkli polietilen.
	ALPEK kablolar, dış hava şartlarına dayanıklı siyah polietilen ile yalıtılmış
Yapı	: alüminyum iletkenlerin, tüm mekanik yükleri taşıyan alüminyum alaşımdan yapılmış çıplak bir askı teli etrafına bükülerek sarılması ile oluşturulur. İstek üzerine 16 mm ² sokak aydınlatma fazı eklenebilir.
Fazların Ayırımı	: Fazlar, tüm kablo boyunca kesintisiz, dayanıklı iki, üç veya dört adet tırnak ile birbirlerinden ayrılır. Sokak aydınlatma fazı üzerinde tırnak yoktur.
	İki tırnaklı faz iletkeni yalıtkanı üzerinde, üretici firma adı, kablo adı, kesiti,
İşaretleme	: işletme gerilimi, TSE garanti işareti, standart nu.su ve üretim yılı kabartma olarak basılı.
Standart	: TS -11654 (SFS 2200)

1.1.3.2. Orta Gerilim İletkenleri (O.G)

1-35kV arasında kullanılan çelik özlü iletkenlerdir. Köy ve kasaba hatları ile şehir içindeki dağıtım hatlarında kullanılır. Tablo 1.6'da verilen Swallow, Raven, Pigeon tipi iletkenler orta gerilimde kullanılır. Vadi ve nehir atlamalarındaki çok geniş aralıklarda bazen YG iletkenleri kullanılabilir.

1.1.3.3. Yüksek Gerilim İletkenleri (36 kV – 154 KV Arası)

154 KV iletim hatları, standart 468 mm 2 795 MCM Drake, 546 mm 2 954 MCM

Cardinal ve 726 mm 2 1272 MCM Pheasant olan çelik takviyeli (ACSR) alüminyum iletker ve tek veya çift devre direkleri kullanılarak tesis edilir. 154 KV hatlarda genellikle her fazda bir iletker bulunur. Çok yüksek talep bölgelerinde iletim hatlarının taşıma kapasitesini artırmak için 154 kV ikili demet cardinal iletkerli çift devre stratejik kısa hatlar tesis edilir.

Havai hatların güzergâhının temin edilemediği yoğun yerleşim bölgelerinde standart

olarak 154 KV, 630 mm 2 veya 1000 mm 2 kesitli XLPE bakır iletkerli yer altı kablosu tesis edilir.

154 KV iletim sisteminde enerji akışlarının planlanmasında kullanılan iletker termik kapasiteleri ve sınırları ile yer altı güç kablolarının tipleri ve kapasiteleri tablo 1.11'de düzenlenmiştir.

Tablo 1.3: 154 KV İletim hatlarında kullanılan iletkerlerin tipleri ve kapasiteleri						
TİP	Toplam İletker Alanı (mm2)	MCM	Akım Taşıma Kapasitesi (A)***	Yazlık Kapasite (MVA)	Bahar/ Sonbahar Kapasite (MVA)	Termik Kapasite (MVA)
Hawk	281	477	496	110	180	132
Drake	468,4	795	683	153	250	182
Cardinal	547	954	765	171	280	204
2B Cardinal	2×547	2×954	2×765	342	560	408
Pheasant	726	1272	925	206	336	247

*: İletker Sıcaklığı: 80 oC, Hava Sıcaklığı: 40 oC, Rüzgâr Hızı: 0,1 m/s ** : İletker Sıcaklığı: 80 oC, Hava Sıcaklığı: 40 oC, Rüzgar Hızı: 0,5 m/s *** : İletker Sıcaklığı: 80 oC, Hava Sıcaklığı: 40 oC, Rüzgâr Hızı:0,25m/s 2B ikili iletker demetini temsil eder.

Tablo 1.4: 154 KV İletim hatlarında kullanılan yer altı güç kablolarının tipleri ve kapasiteleri			
TİP	Toplam İletker Alanı (mm2)	Akım Taşıma Kapasitesi (A)	İletim Kapasitesi (MVA)
XLPE Kablo (Bakır)	1000	935	250
XLPE Kablo (Bakır)	630	655	175

1.1.3.4. Çok Yüksek Gerilim İletkerleri (154 KV'tan Yukarısı)

380 KV iletim hatları, standart 954 MCM Cardinal (546 mm 2) ve 1272 MCMP

heasant (726 mm²) kesitli, her bir fazda iki veya üçlü demet halinde çelik takviyeli (ACSR) alüminyum iletkenler kullanılarak tesis edilir. Uygun iklim ve hat profili/mekanik yüklenme şartlarına göre tasarlanan standart tek devre direkler üzerinde yukarıda tanımlanan iletken karakteristikli 380 KV hatlar kullanılır. Yoğun yerleşim bölgeleri gibi istisnai durumlarda tek bir direk üzerinde birden fazla devre kullanılabilir.

İstisnai veya aşırı yükün olabileceği 1600 m yüksekliğin üzerindeki güzergâhlar gibi ilave emniyet gerektiren durumlarda, 1–20 km arasındaki kısıtlı mesafeler için özel tasarlanmış direkler üzerine, her demetteki iki veya üç iletken yerine, bunlara elektriksel

olarak eş değer özelliklere sahip 2027 mm² kesitli tek iletken tesis edilir.

Havai hatların güzergâhının temin edilemediği yoğun yerleşim bölgelerinde standart

olarak 380 KV 2000 mm² kesitli XLPE bakır iletkenli yer altı kablosu tesis edilir.

380 KV iletim sisteminde enerji akışlarının planlanmasında kullanılan iletken termik kapasiteleri tablo 1.13'te düzenlenmiştir.

Tablo 1.5: 380 KV İletim hatlarında kullanılan iletkenlerin tipleri ve kapasiteleri						
TİP	Toplam İletken Alanı (mm ²)	MCM	Akım Taşıma Kapasitesi (A)***	Yazlık Kapasite (MVA)*	Bahar/Sonbahar Kapasite (MVA)**	Termik Kapasite (MVA)***
2B, Rail	2×517	2×954	2×755	832	1360	995
2B, Cardinal	2×547	2×954	2×765	845	1360	1005
3B, Cardinal	3×547	3×954	3×765	1268	2070	1510
3B, Pheasant	3×726	3×1272	3×925	1524	2480	1825

*: İletken Sıcaklığı: 80 oC, Hava Sıcaklığı: 40 oC, Rüzgâr Hızı: 0,1 m/s ** : İletken Sıcaklığı: 80 oC, Hava Sıcaklığı: 25 oC, Rüzgâr Hızı: 0,5 m/s *** : İletken Sıcaklığı: 80 oC, Hava Sıcaklığı: 40 oC, Rüzgâr Hızı: 0,25 m/s

2B ve 3B, sırasıyla ikili ve üçlü iletken demetlerini temsil eder.

1.1.4. İletken Üretim Standartları

- Bu standartlara ulaşmak için aşağıdaki internet adresine veya TSE'ye gidebilirsiniz. <http://www.teias.gov.tr> adresinden Yayın-Raporlar kısmından Standartlar linkine tıklayarak ulaşabilirsiniz. Orada verilen dosyaları kontrol ederek mevcut bulunan standartlara ulaşabilirsiniz. Bizim kullanacağımız standart TSEN-50182,TSEN50189,TS11654 tür. Üretim standartlarında uluslararası kuruluşlar şunlardır.

1.1.4.1. TSE,IEC,VDE

- TSE (Türk Standartları Enstitüsü)

Türk Standartları Enstitüsü; her türlü madde ve mamuller ile usul ve hizmet standartlarını yapmak amacıyla 18.11.1960 tarih ve 132 sayılı kanunla kurulmuştur. Bir standardın mecburi kılınabilmesi için Türk Standardı olması şarttır. Mecburi kılınan standartlar Resmî Gazete’de yayımlanır.

Türk Standartları Enstitüsü’nün görevleri şunlardır:

- Her türlü standardı hazırlamak ve hazırlatmak.
- Enstitü bünyesinde veya hariçte hazırlanan standartları tetkik etmek ve uygun bulunduğu takdirde Türk Standartları olarak kabul etmek.
- Kabul edilen standartları yayımlamak ve ihtiyari olarak uygulanmalarını teşvik etmek, mecburi olarak yürürlüğe konmalarında fayda görülenleri ilgili bakanlığın onayına sunmak.
- Kamu sektörü ve özel sektörün talebi üzerine standartları veya projelerini hazırlamak ve görüş bildirmek.
- Standartlar konusunda her türlü bilimsel teknik incelemelerle araştırmalarda bulunmak, yabancı ülkelerdeki benzer çalışmaları takip etmek, uluslararası ve yabancı standard kurumları ile ilişkiler kurmak ve bunlarla işbirliği yapmak.
- Üniversiteler, diğer bilimsel ve teknik kurum ve kuruluşlarla iş birliği sağlamak, standardizasyon konularında yayım yapmak, ulusal ve uluslararası standartlardan arşivler oluşturmak ve ilgililerin faydalanmalarına sunmak.
- Standartlarla ilgili araştırma yapmak ve ihtiyari standartların uygulanmasını kontrol etmek için laboratuvarlar kurmak, kamu sektörü veya özel sektörün isteyeceği teknik çalışmaları yapmak ve rapor vermek.
- Yurtta standart işlerini yerleştirmek ve geliştirmek için elemanlar yetiştirmek ve bu amaçla kurslar açmak ve seminerler düzenlemek.
- Standartlara uygun ve kaliteli üretimi teşvik edecek çalışmalar yapmak ve bunlarla ilgili belgeleri düzenlemek.
- Metalurji ve kalibrasyon ile ilgili araştırma, geliştirme çalışmaları yapmak ve gerekli laboratuvarları kurmak.

1.1.4.2. IEC (International Electrotechnical Commission)

IEC: (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) 1906 yılında elektrik, elektronik ve ilgili teknolojiler konusunda uluslararası standart hazırlama çalışmalarına başlayan ve halen 51 üyesi bulunan IEC (www.iec.ch) ’ye TSE 1956 yılında üye olmuştur. IEC’nin hedefleri global pazar gerekliliklerini karşılamak, ürünlerin ve hizmetlerin kalitesini artırmak, insan sağlığı ve güvenliğine katkıda bulunmak, çevrenin korunmasına katkı sağlamaktır. 200’den fazla komiteye ve 700 çalışma grubuna sahiptir. İlk IEC güvenlik el kitabı 1985’te yayınlanmıştır.

1.1.4.3. DIN (Alman Standartlar Enstitüsü)

1917’de kuruldu. Genel olarak tekniğin ve fen bilimlerinin her alanını temsil eder. Tüm mühendislik dallarında kendi özel sembollerini ve değerlerini oluşturmuştur.

1.1.5. İletken Seçiminde Kriterler

Elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine iletimi ve dağıtımını 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 bilirse gerilimin büyüklüğüne ve hattın özelliğine göre iletkenlerin seçilmesi daha iyi olur. Bu duruma göre iletkenlerin seçilmesinde dikkat edilmesi gereken kriterler şunlardır.

1.1.5.1. 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 iletkenine göre daha iyi iletken olmasına rağmen ağır ve pahalı olduğundan dolayı seçilmez. Galvanizlenmiş çelik tel ile tam alüminyum veya alüminyum alaşımı olan aldrey iletkenler hava hatlarında çok kullanılır. İki aynı metalden yapılan iletkenin kullanışlı olmasının nedeni çelik tel ile alüminyum tel arasında hiçbir kimyevi bağının olmamasıdır. Çelik tel sadece dayanım bakımından önemlidir. Esas iletkenlik görevini Alüminyum tel yerine getirir.

1.1.5.2. Koronaya Karşı Dayanıklılık

Hava hatlarında uygulanan gerilime bağlı olarak özellikle nemli ve sisli havalarda iletkenin etrafında mor renkli ışık halkaları görülür. Buna korona olayı denir. Eğer iletkenin etrafında bir zedelenme varsa ve iletkenin etrafındaki bu ışıklı silindirler birbirine temas edecek olursa iletkenin 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.

1.1.5.3. Çap

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

1.1.5.4. 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.

1.1.5.5. Sehim (Salgı)

Yüksek gerilim enerji nakil hatlarında direkler arasına çekilen bir enerji nakil iletkeni kendi ağırlığı nedeni ile sarkar. Gerilmiş olan iletken uçlarının bağlı olduğu iki izolatör arasındaki var sayılan doğru çizgi ile iletkenin en çok sarktığı yer arasındaki uzaklığa sehim denir.

Hava hattı iletkenleri durdurucu direkler arasına iletkenin cer (çekme ve gerilme) kuvveti, ağırlığı, rüzgâr 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 cetvellerden veya formüllerden hesap edilir.

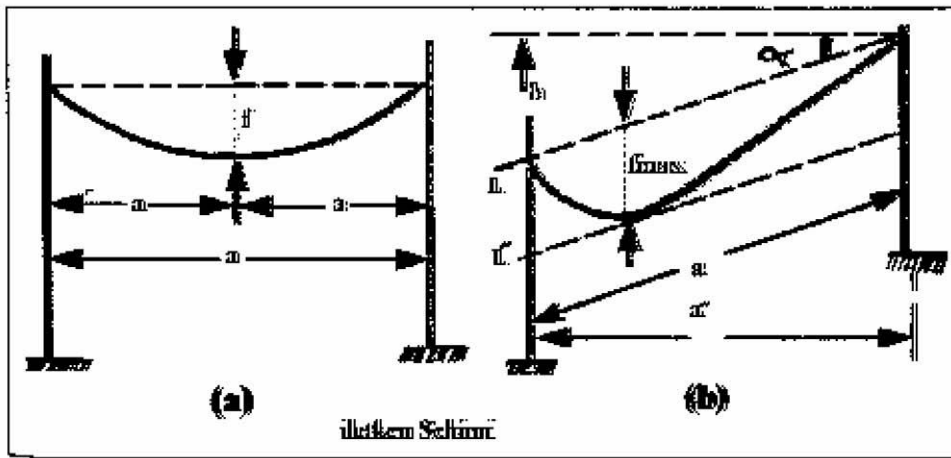
G.a2 f =

8.p

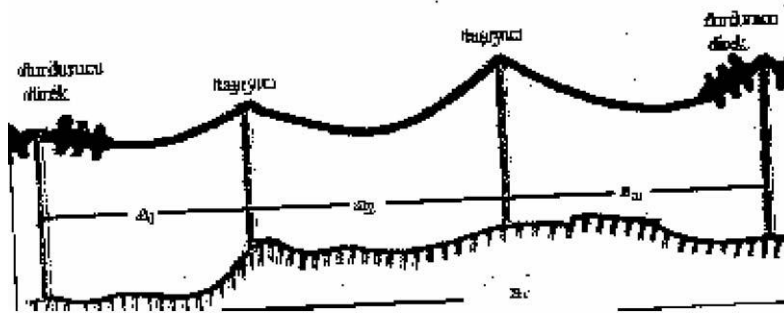
f = Sehim (m) P = Gerilme (kg/cm²) G= İletkenin yoğunluğu (kg/dm³) a= İki direk arasındaki uzaklık (m)

İletkenin iki tarafında bulunan direkler aynı yükseklikte ise teldeki en büyük sehimi direkler arası uzaklığın tam ortasındadır (Şekil 1.3 a).

Farklı yükseklikteki direkler arasına gerili iletkenin en büyük sehimi ise daha düşük seviyede bulunan direğe yakındır. Kot farkı olan direkler arasındaki sehim Şekil 1 .3-b’de görüldüğü gibidir.



Şekil 1.1: a) Aynı seviyedeki iki direk arasındaki iletkenin sehimi
b)Seviye kot farkı olan iki direk arasındaki iletkenin sehimi



Şekil 1.2: Taşıyıcı, durdurucu direkler ve iletken sehimi

Sehim hesabı, iki durdurucu arasındaki ortalama menzile (aralık) göre yapılır (Şekil 1.2).Tesis yapılırken iki direk arasında yapılan ölçme yeterlidir. Bileşik kaplardaki sıvılar gibi bütün aralıklarda istenilen sehim değeri gerçekleşir.

Tablo 1.6: Çelik özlü alüminyum iletkenlerde”sehim”cetveli

ar, Birim açıklık		SALGI (FLEŞ) -[metre] 1. Bölge						
I.Bölge ? max. 11kg/mm2	metre	+5°C	+10°C	+15°C	+ 20°C	+25°C	+ 30°C	+35°C
	80	0,74	0,81	0,89	0,98	1,06	1,14	1,22
	90	1,09	1,18	1,27	1,35	1,43	1,5	1,59
	100	1,54	1,63	1,72	1,81	1,89	1,97	2,06
	110	2,02	2,11	2,20	2,28	2,37	2,46	2,50
	120	2,58	2,67	2,75	2,84	2,92	3,00	3,08
	130	3,15	3,24	3,33	3,40	3,50	3,57	3,65
	140	3,81	3,90	3,97	4,05	4,15	4,21	4,29
	150	4,47	4,58	4,63	4,72	4,79	4,88	4,96
	160	5,21	5,31	5,39	5,47	5,56	5,64	5,69
	170	5,99	6,06	6,12	6,21	6,31	6,37	6,44
	180	6,82	6,89	6,99	7,06	7,13	7,21	7,28
	190	7,65	7,73	7,81	7,89	7,97	8,05	8,13
		Gerilme ?r kg/mm2						

1.1.5.6. Mekanik Dayanıklılık

Enerji nakil hatlarında kullanılan iletkenlerin mekanik dayanımlarının önceden bilinmesi önemlidir. Hava hatlarında kullanılan iletkenler dış tesirlerin etkisinde kalır. 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.

Tablo 1.7: Çeşitli iletkenlerin mekanik dayanıklılık karakteristik değerleri

MALZEME	Daimi gerilme (kg/mm2)	Tecrübe gerilmesi (kg/mm2)	Yoğunluk (kg/cm2)	Sıcaklık kat sayısı 10 0C için	Elastikiyet kat sayısı (cm2/ kg)
Alüminyum	12	18	2,7 . 10-3	2,3 .10-5	1 0,56.106
Aldrey	24	30	2,7 . 10-3	1,23. 10-5	1 0,60. 106
Çelik St.I.	32	40	7,8. 10-3	1,23. 10-5	1 1,92. 106
Çelik St II.	56	70	7,8. 10-3	1,1.10-5	1 1,96. 106
Çelik St III	90	120	7,8. 10-3	1,1. 10-5	1 2,0. 106
Çelik St IV.	110	150	7,8. 10-3	1,1. 10-5	1 2,0. 106

Çelik Alüminyum St/Al: 1/6	21	-	3,45. 10-3	1,95. 10-5	1 0,75. 106
St/ Al: 1/4,3	24	-	3,5. 10-3	1,76. 10-5	1 0,79. 106
St/ Al = 1/3	28	-	3,98. 10-3	1,66 . 10-5	1 0,87. 106

1.1.5.7. Isıya Karşı Dayanıklılık

YG hava hatlarında örgülü çelik alüminyum iletkenler çok kullanılır. Bilindiği gibi üzerinden akım geçen iletken ısınır. İletkenler yaz aylarında hava sıcaklığının artması dolayısıyla daha da ısınır. İletkenin bu ısı artışı sonucu boyu uzar ve sarkma olur. Havanın sıcaklığından dolayısı 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 kat sayısının önceden bilinmesinde fayda vardır. Tablo 1.15'te kullanılan iletkenlerin uzama kat sayıları verilmiştir.

1.2. Hat Sabiteleri

1.2.1. Direnç

Elektrik enerjisi, iletim ve dağıtım hatlarında gerilim düşümü ve güç kaybının meydana gelmesine sebep olan hat sabitesidir. Bu nedenle direncin iyi hesaplanması gerekir. Hatların direnci alternatif akımdaki etkin dirençtir. İletkende meydana gelen aktif güç kaybının geçen akımın karesine bölünmesiyle hesaplanır.

$$R = \frac{P}{I^2} = W / A^2 = \Omega$$

İletkenin doğru akım direnci ise;

$$R = \frac{L}{K.S} = \Omega$$

P=Aktif güç (W)

I=Akım (A)

R=Direnç (Ω)

L=İletkenin uzunluğu (m)

K=İletkenlik kat sayısı (m/ohm.mm²)

S=İletkenin kesiti (mm²)

Alüminyum için 20oC'deki K=35m/Ω.mm²' dir.

İçi dolu som enternasyonal tavlı bakır için K= 56 m/Ω.mm² olarak alınır.

Hava hatlarında çelik alüminyum (St-Al) iletkenler kullanılmışsa, ortada bulunan çelik tellerin kesitleri ihmal edilir. Direnç hesabında sadece alüminyum kesit hesaplanır.

Hava hattı iletkenlerinin damarları birbirleri üzerine spiral şeklinde sarılmış olduğundan iletkenin direnci %2 oranında artar. İletkenlerin doğru akım dirençleri ile alternatif akımdaki etkin dirençleri farklıdır. Özellikle iletkenin damarları spiral şeklinde sarılı olduğu için etkin direnç doğru akım direncinden daha fazla olur. Bu sebeple hat iletkenlerinin etkin direncinin hesap edilebilmesi için doğru akımdaki direncinin bilinmesi gerekir. Hava sıcaklığının değişmesi ile hava hattı iletkenlerinin dirençleri de değişir.

İletkenin ısı derecesinin düşmesiyle direnç azalır. İletkenin ısı derecesi -273 dereceye indiği an direnci sıfır olur. Bu durumdaki iletkeni süper iletken denir. Aşağıdaki tabloda değişik sıcaklık derecesindeki dirençleri görebiliriz.

Tablo 1.8: Değişik sıcaklıklarda iletken dirençleri								
Malzemenin Cinsi	T ₀ oC	?0	?20	?25	?50	?75	?80	?100
%100 Geçirgenliğe Sahip Bakır	234,5	0,00427	0,00393	0,00385	0,00352	0,00325	0,00318	0,00299
%97,5 Geçirgenliğe Sahip Bakır	241	0,00415	0,00383	0,00376	0,00344	0,00316	0,00312	0,002930
%61 Geçirgenliğe Sahip	228,1	0,00438	0,00403	0,00395	0,00360	0,00330	0,00325	0,00305

ÖRNEK:

Bir enerji nakil hattının frekansı 50 Hz'dir. Kullanılan iletkenin anma kesiti 241,65mm² olan Hawk 477 000 AWG çelik alüminyum iletkenin çekilmesi uygun görülmüştür. Bu durumda;

- Enerji nakil hattının 1km'sinin 200C deki direncini hesaplayınız.
- ENH iletkenin 1 km'sinin 35 0C'deki direncini hesaplayınız.
- 350C'deki direncin iletken damarlarındaki spiralliğin göz önüne alınması durumundaki direnç değerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM:

241,65mm² alüminyum kesiti olan iletkenin çelik kesiti 39,19mm² ve toplam iletken çapı da 21,77 mm'dir. (Çelik-Alüminyum iletkenlerle ilgili tabloya bak.)

$$\text{➤ } R_{20}^0 = \frac{L}{K.S} = \frac{1000}{35.241,65} = 0,118 \Omega / km$$

$$\text{➤ } R_{35}^0 = R_{20}^0 \left[\frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \right]^{-0,118} = 0,118 \cdot \left[\frac{228,1 + 35}{228,1 + 20} \right]^{-0,118} = 0,125 \Omega / km$$

- Damarlar birbirleri üzerine spiral şeklinde sarılı olduğundan %2 fazlası alınır.

$$R_{35}^0 = 0,125 \cdot 1,02 = 0,127 \Omega / km \text{ dir.}$$

1.2.2. Endüktans

Üzerinden akım geçen bir iletkenin çevresinde bir manyetik alan oluşur. Eğer oluşan manyetik alan ve iletkenin geçen akım zamana göre değişirse, bu iletkenin bir endüktansı oluşur. Eğer endüktans tarif edilecek olursa, manyetik akı değişiminin akım değişimine oranıdır ($L = \frac{d\Phi}{di}$). Devreden geçen akımın bir frekansı olduğundan, devrede endüktif reaktans (X_L) meydana gelir. Endüktif reaktans gerilim düşümüne sebep olur. Fakat aktif güç kaybına bir etkisi yoktur.

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \ (\Omega)$$

X_L : Endüktif direnç (Ω)

f: Şebeke frekansı (Hz)

π : Pi sabit sayısı (3.14)

L: Bobinin endüktansı (Henry)

Bir iletkenin endüktansı iletkenin etrafındaki manyetik alan hatları ile ilgilidir. Gidiş ve dönüş iletkenlerinde meydana gelen tek fazlı hatların her ikisinde de manyetik alanlar meydana gelir. Bunların birbirlerine olan etkileri sebebi ile manyetik alan hatlarının iletkenin merkezine göre simetrisi bozulur.

Enerji nakil hatlarının endüktansı, iletkenin cinsine, örgü şekline ve fazlara ait iletkenlerin birbirlerine göre bağlantı durumlarına bağlı olarak değişir. Üç fazlı çelik alüminyum iletkenli bir enerji nakil hattının endüktansı ;

$$L = \left[4,6 \cdot \log \frac{GMD}{GMR} \right] \cdot 10^{-4} \text{ H / km}$$

GMD: Geometrik olarak iletkenler arası uzaklıktır.

GMR: İletkenin geometrik ortalama yarıçapı (Tablodan yararlanılır.)

$GMD = \sqrt{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ac}}$ formülü ile hesaplanır.

1.2.3. Kapasitans

Bir iletkenin yükünün potansiyeline oranına iletkenin kapasitesi denir ($C = Q/V$). Kapasitenin birimi Farad'dır. F ile gösterilir. Farad çok büyük bir kapasite birimi olduğu için uygulamada daha çok Farad'ın milyonda biri (1×10^{-6}) olan mikrofara (µF) kullanılır. Hava ile birbirinden ayrılmış karşılıklı duran iki iletken kondansatör denir. Enerji nakil hava hatlarındaki iletkenler kendi aralarında kondansatör özelliği gösterir. Hava hattı iletkenleri kendi aralarında olduğu gibi toprak zeminle de kondansatör özelliği gösterir. Aynı durum yer altı kablolarında da görülür.

Kapasite 66 kV'luk gerilimden yüksek olan enerji iletim hatlarında dikkate alınır. Daha düşük gerilimlerde kapasite değeri dikkate alınmaz.

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} (\Omega)$$

X_c : Kapasitif direnç (Ω)

Π : Pi sabit sayı (3.714)

f : Şebeke frekansı (Hz)

C : Kondansatör kapasitesi (F)

Yüksek gerilim enerji nakil hatlarına uygulanan alternatif gerilimin değişken özelliğinden dolayı elektrik yükünün miktarı da değişir. Elektrik yükündeki bu değişim bir elektrik akımı oluşturur. Elektrik yükündeki bu değişim sebebi ile meydana gelen bu elektrik akımına şarj akımı denir. Enerji nakil hattı hava açık olsa bile bir şarj akımı olur. Hava hatlarındaki bu şarj akımı, hattın geriliminin düşmesinde, güç kat sayısının, veriminin ve iletim stabilizesinin değişmesinde etkili olur.

Enerji nakil hattında faz başına kapasitans değeri şu formülle hesaplanır:

$$C = \frac{L}{18.10^9 \cdot \log \frac{GMD}{r}}$$

L : hattın uzunluğu (km)

GMD : Hava hattı faz iletkenleri arası geometrik uzaklık

GMR : Hava hattı iletkeninin geometrik ortalama yarıçapı (r) mm

1.2.4. Korona Olayı

Nemli ve sisli havalarda enerji nakil hattı faz iletkenlerinin yüzeyinde havanın iyonize olması ile mor renkli, ışıklı halkalar görülür. Bu duruma korona olayı denir. İletkenin yüzeyindeki bu mor renkli, ışıklı silindirler birbirine temas edecek olursa iletkenin yüzeyinde delinmeler olur. Bu sırada ısı sesine benzer ses titreşimleri duyulabilir. Bu olaya daha çok aralarında 15 iletken yarıçapından daha az mesafe bulunan faz iletkenleri üzerinde rastlanır.

Nemli ve sisli havanın iletken yüzeyine temas ederek çarpması neticesinde iyonize olan gerilime, kritik korona (U_0) denir. Faz iletkenleri etrafında mor renkli, parlak ışıklı silindir halkaların görüldüğü veya deşarjın devamlı bir şekilde kendini beslediği gerilime ise görünür korona gerilimi (U_k) denir. Korona olayısı, ses ve kimyasal reaksiyonlar şeklinde kendini gösteren bir enerji kaybıdır. Enerji nakil hatlarında korona olayı sonucu meydana gelen kayıpları azaltmak için iletkenlerin yüzeyleri oldukça düzgün ve parlak bir sırla kaplanır. Faz iletkenlerinin demetler halinde tesis edilmeleri halinde de korona kayıpları azaltılır.

Korona iletilen enerji bakımından bir kayıptır. Nakil içindeki enerjinin dışarıya kaçmasından başka bir şey değildir. Bu durumu şu örnekle açıklamak daha uygundur. Üzerinde çok sayıda delikleri bulunan su borusundan gönderilen belli bir miktar su, borunun öbür ucundan aynı miktarda alınamaz. Belki de hiç su alınamayacaktır, suyun tamamı deliklerden akıp giderse , elektrik enerjisi de tam korona deşarjı ile nakil hattının diğer ucuna gidemeyebilir.

Korona olayı sonucu meydana gelen kayıplara işletme gerilimi, frekansı, iletkenin yarıçapı ve faz iletkenleri arasındaki uzaklık etkilidir. Ayrıca havanın nemli, sisli, yağmurlu ve karlı oluşu da bu kaybı artırır. İletkenin yüzeyinin düzgün olmaması ve damar sayısı da korona olayı

sonucunda meydana gelen kayıpları artırır. Korona kayıplarını hesaplayabilmek için PEEK ve PETERSAN formülleri kullanılır.

1.2.5. Kaçak Geçirgenlik

Dağıtım ve enerji nakil hatlarında faz iletkenlerinin kendi aralarında ve toprak arasındaki kaçak akımların etkisiyle meydana gelen bir hat sabitesidir. Kaçak akımlar hatlarda aktif güç kaybına sebep olur. Ancak çok küçük değerde olduğu için ihmal edilir. 30 km uzunluğundaki 6,3 KV bir enerji iletim hattında kaçak geçirgenliğin etkisiyle meydana gelen kaçak akımların sonucunda 10 W'lık bir aktif güç kaybı olur.

Elektrik enerjisi dağıtım ve iletim tesislerinin proje çizimi, hesaplamaları ve yapımında hat sabitelerinin önemi büyüktür. Eğer enerji nakil ve dağıtım hatlarının empedansını hesaplamak için, kapasitans dikkate alınmazsa;

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

formülü ile bulunur.

Z: Empedans (?)

R: Omik direnç (?)

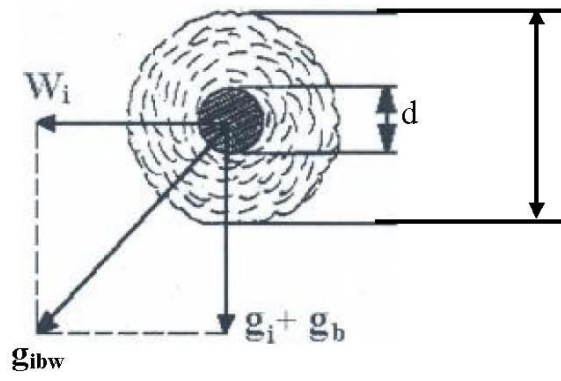
XL: Endüktif direnç (?)

1.3. İletkenlere Gelen Rüzgar ve Buz Yüğü Etkisi

Ağır iklim şartlarının bulunduğu bölgelerden geçen iletim hatları üzerinde meydana gelen buz tabakasının etkisiyle iletkenler kopabilir. Enerji nakil hatları tesis edilirken bu durum göz önüne alınmalıdır.(Buz yüğü bölgesi iklime ve zemin yüksekliğine göre değişir.)



Resim 1.8: Buzun iletkenlere etkisi



Şekil 1.3: Buz ve rüzgâr yükünün iletkenlere etkisinin vektörlerle gösterilmesi

g_{bw}

Hava hatları, düşey buz yüklerinin etkisinde kaldığı gibi yatay rüzgâr kuvvetlerinin etkisinde kalır. Bu sebeple hesaplamalarda rüzgâr kuvvetlerinin dikkate alınması gerekir. Rüzgâr kuvvetleri iletkenlerin ve izolatörlerin salınımları ile direklerin statik hesaplarında dikkate alınmalıdır.

Elektrik kuvvetli akım tesisleri yönetmeliğinde, 380 kV'un üstündeki hava hatlarının projelendirilmesinde buz yükü üzerine 20 kg/m² rüzgâr yükünün etki edeceği kabul edilmiştir.

Ülkemiz buz yükü bakımından beş ayrı bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölgede buzun oluşmadığı kabul edilmiştir.

Tablo 1.9: Bölgelere ilişkin buz yükleri ve ortam sıcaklıkları

Bölge Nu.	Buz yükü kat sayısı k	Buz yükü kg/m	Ortam sıcaklığı (°C) En düşük En yüksek	
1	0	0	-10	50
2	0,2	0,2?d	-15	45
3	0,3	0,3?d	-25	40
4	0,5	0,5?d	-30	40
5	1,2	1,2?d	-30	40

Buzlu iletken üzerine rüzgâr estiği zaman buz ve rüzgâr yüklü iletkenin ağırlığını ve yoğunluğunu hesaplayalım. Hesaplarımızda buzlu telin çapı d_b olsun. Bir metre uzunluğundaki iletkenin üzerine toplanan buz kılıfının ağırlığı, buzun-fiziksel yoğunluğu $D=0,6 \text{ g/cm}^3$ olarak kabul edelim.

Buz yükü bölgeleri için ayrı ayrı olmak üzere metre başına buz yükü değerleri formülünden hesaplanarak buzlu iletken çapı bulunur.

II.Bölge için ; $200\sqrt{d} = 0,6 \frac{\pi}{4} (d_b^2 - d^2)$ formülünden

$$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4.200}{0,6.\pi} \cdot \sqrt{d}} = \sqrt{d^2 + 424,4\sqrt{d}} \text{ mm}$$

d: İletkenin çapı

d_b : Buzlu iletken çapı

g_i : İletkenin bir metresinin çıplak ağırlığı (kg/m)

g_b : İletkenin bir metresinde toplam buz ağırlığı (kg/m)

g_{ib} : İletkenin bir metresinin buzlu ağırlığı

w_i : İletkenin bir metresine etki eden rüzgar kuvveti (kg/m)

g_{iw} : İletkenin %100 rüzgarlı metrik ağırlığı

g_{iw70} : İletkenin bir metresinin %70 rüzgarlı ağırlığı (kg/m)

g_{ibw} : Buz ve rüzgârın vektörel kuvveti

İletkenin buzlu haldeki çapı d_b hesaplandıktan sonra aşağıdaki verilere göre iletkene etki eden rüzgâr yükü hesaplanır.

Örnek olarak nominal kesiti 120 mm², hakiki kesiti 117 mm², çapı 14 mm olan nakille menzil açıklığı 300 m olan üç fazlı iletimde 4. bölgede direğe gelen ek kuvvet (buz+rüzgâr) 1600 kg civarındadır. Bu durum nakil hatlarında dayanım hesabının önemini göstermektedir.

Rüzgar kuvveti

Faz ve toprak iletkenlerine etki eden rüzgar kuvvetinin hesaplanmasında:

200 m'ye kadar olan rüzgâr açıklıkları için,

$W = c.p.d.a_w$ (kg) bağıntısı,

200 m'den büyük olan rüzgâr açıklıkları için,

$W = c.p.d.(80+0,6.a_w)$ (kg) bağıntısı kullanılacaktır.

Not: Arazi koşulları zorunlu kılmadıkça direk açıklıklarının birbirinden çok farklı olmamasına dikkat edilecektir.

Not: Arazi koşulları zorunlu kılmadıkça direk açıklıklarının birbirinden çok farklı olmamasına dikkat edilecektir.

Burada;

c: Rüzgârın etkisinde olan öğenin biçimine, büyüklüğüne ve yatay niteliğine bağlı

dinamik rüzgar basınç kat sayısı (Çizelge-10'a bakınız.), p inamik rüzgâr basıncı (kg/m²) (Çizelge-11'e bakınız.),

v: Rüzgar hızı (m/s), a_w : Varsayılan rüzgâr açıklığı (m),

d: Örgülü ya da tek telli iletkenin çapı (m)'dir.

Tablo 1.10: Dinamik rüzgâr basınç kat sayıları (c) değerleri

Nu	Rüzgârın etkisinde bulunan öğeler	c
1	Profil demirinden yapılmış tek yüzlü kafesler	1,6
2	Profil demirinden yapılmış kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direkler	2,8
3	Borulardan yapılmış tek yüzlü kafesler	1,2
4	Borulardan yapılmış kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direkler	2,1
5	Daire kesitli ağaç, çelik boru ve beton direkler	0,7
6	Altıgen ve sekizgen kesitli çelik boru ve beton direkler	1,0
7	Çapı 12,5 mm'ye kadar olan iletkenler	1,2
8	Çapı 12,5 ile 15,8 mm'ye kadar olan iletkenler	1,1
9	Çapı 15,8 mm'den büyük olan iletkenler	1,0



Resim 1.9: Buz yükü ölçer



Resim 1.10: Vibrasyon ölçer

Tablo 1.11: Dinamik rüzgâr basıncı (p)

Arazi üzerindeki yükseklik (m)	Dinamik rüzgâr basıncı(kg/ m2)	
	Direkler, traversler ve izolatörler	İletkenler
0-15	55	44(*)
15-40	70	53
40-100	90	68
100-150	115	86
150-200	125	95

(*) Uzun aralıklı hatlarda bu değer 53 kg/m2 olarak alınacaktır. 25

ÖRNEK: 70 mm²'lik tek metalle enerji iletimi yapılan hattın c=1,2'dir. Bu iletkenin gerçek kesiti 65,8 mm² ve çapı 10,5 mm olan bakır iletken yerden 40 metre yüksekliktedir. İletkenin özgül ağırlığı 8,9.10⁻³ kg/m.mm²'dir. Buna göre bu hattın özgül rüzgâr yükünü ve bileşke özgül yükünü hesaplayınız.

ÇÖZÜM: Bu iletkenin, kendi özgül ağırlığı, iletkeni dikey doğrultuda aşağıya doğru zorlarken, rüzgârda yatay yönde zorlayacaktır. Bu durumda nakil bileşke kuvvetle zorlanacaktır.

$$\begin{aligned} c &= 1,2 \\ s &= 65,8 \text{ mm}^2 \\ d &= 10,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$p = 53$$

$$g_s = 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$W = c \cdot p \cdot d \cdot a \cdot w \text{ (kg) bağıntısı.}$$

$$\begin{aligned} W &= 1,2 \cdot 53 \cdot 10,5 \cdot 10^{-3} \\ &= 667,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$w_i = \frac{w}{s} = \frac{667,8 \cdot 10^{-3}}{65,8} = 10,14 \cdot 10^{-3} \text{ kg / m.mm}^2$$

$$g_{ibw} = \sqrt{(g_i + g_b)^2 + w_i^2} = \sqrt{(8,9 \cdot 10^{-3})^2 + (10,14 \cdot 10^{-3})^2} = 13,49 \cdot 10^{-3} \text{ kg / m.mm}^2$$