

## 1 KABLO | TEKNİK MAKALE

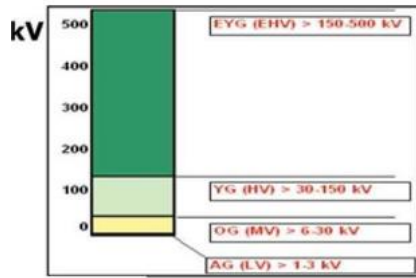
# Yüksek gerilim yeraltı kabloları

Hazırlayan: Prysmian Group Türkiye

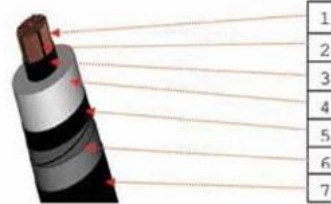
**T**üm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de enerjiye olan talebin artması ile birlikte, enerji iletiminin en az kayıp, en az arıza, en yüksek verim ile, ekonomik ve güvenli bir biçimde aktarılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Özellikle, yüksek nüfuslu şehirleşmiş bölgelerde, yüksek gerilim yeraltı kablolarının, havai hat iletim hatlarına göre avantajları olması nedeni ile, yeraltı kabloları önem kazanmaktadır. Yüksek gerilim yeraltı kabloları gelişmiş ülkelerde yüksek oranda kullanılırken, ülkemizde bu oran, oldukça sınırlıdır. Bu yazımızın amacı; XLPE izoleli yüksek gerilim yeraltı kablolarının performansını / kalitesini belirleyen ve etkileyen, tasarım, malzeme, testler, mevcut uluslararası standartlar gibi konular hakkında, okuyucuları genel olarak bilgilendirmektir.

### IEC'DE GERİLİM SEVİYESİNE GÖRE ENERJİ KABLO VE TEST STANDARTLARI

Standart	Kapsam
• IEC 62067	> 150-500 kV arası (Extra Yüksek G-EHV)
• IEC 60840	> 30-150 kV arası (Yüksek G – HV)
• IEC 60502-2	> 6-30 kV arası (Orta G – MV)
• IEC 60502-1	> 1-3 kV arası (Alçak G – LV)



IEC'deki gerilim seviyesi dağılımı



Yüksek gerilim yer altı kablo yapısı

(Alçak G – LV)

### YILLARA GÖRE TARİHSEL GELİŞİM

1936: 220 kV kağıt izoleli, yağ-dolgu  
 1974: 500 kV kağıt izoleli, yağ-dolgu  
 1979: 275 kV XLPE izoleli  
 1988: 500 kV XLPE izoleli kablolar

### Elektriksel Olmayan Testler:

TESTLER	AMAÇ
Mekanik özelliklerin kontrolü	İzole ve kılıf malzemelerinin Çekme Sağlamlığı - Uzama testleri ile mekaniksel dayanımlarının kontrolü
Yaşlandırma sonrası mekanik özelliklerin kontrolü	Malzemelerin ısı ile yaşlandırılarak öncesi ve sonrasında değişim oranlarının belirlenmesi
Isı şoku testi (PVC)	Malzemenin ısıya maruz kalması durumunda fiziksel deformasyonu
Hot-set testi (EPR, HEPR, XLPE )	Malzemenin çapraz bağlanma (cross-link) prosesinin kontrolü
Kütle kaybı testi (PVC)	Malzemenin ısı altında kütle kaybı
Karbon siyahı testi (PE)	Malzeme içindeki dış ortam şartlarına dayanıklılığı sağlayan karbon miktarı kontrolü
Düşük sıcaklıkta mekanik testler (PVC)	Kablo ve malzemenin düşük sıcaklığa mekaniksel dayanımı
Büzüşme testi (PE, HDPE, XLPE)	Malzemenin ısı altında büzüşmesi
Sertlik testi (HEPR)	Malzemenin sertliğinin kontrolü
Elastik modül testi (HDPE)	Malzemenin elastikiyetinin kontrolü
Malzeme yoğunluk testi	Malzeme yoğunluğunun kontrolü
Alev ilerleme testi	Alev altında kablo boyunca alevin ilerlememesinin kontrolü
Su sızdırmazlık testi	Kablo boyunca iletken ve metal ekran bölgelerinde suyun ilerlememesinin kontrolü
Boylamasına uygulanan metal folyenin uygunluk testi	Metal folyenin kılıfa yapışmasının kontrolü

Testler ve Amaçları

### POLİMER İZOLELİ YÜKSEK GERİLİM YERALTI KABLO YAPISI

Polimer izoleli kablolar, yapıdaki katmanların görevleri ve amaçları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

#### 1-İletken

- Akım taşıma elemanı
- AC/DC direncinin düşük olması için, genellikle segmentlerden oluşmaktadır. (daha düşük skin (ks) ve proximity (kp) katsayısı)

#### 2-Yarı İletken Yataklama Bandı

- Üzerine püskürtülmüş iç yarı iletken tabakanın, iletken tellerin arasına

girmesini önler.

- Montaj kolaylığı sağlar.

### 3-İç Yarı İletken Ekran

- İletken ile izolasyon arayüzeyini düzgünleştirir.
- İletken ile izole arasında, boşluk ve açıklık kalmasını engelleyerek, kısmi boşalmaları önler.
- İzolasyondaki radyal elektriksel alanı limitlendirir ve homojen dağılımını sağlar.
- Termal bariyer oluşturur.

### 4-İzolasyon

- İletkeni dış katmanlardan, elektriksel olarak izole eder.

### 5-Dış Yarı İletken Ekran

- İzolasyon ile dış metalik katmanların arayüzeyini düzgünleştirir.

### 6-Metalik Ekran/Kılıf

- Deşarj akımlarının iletimi,
- Radyal nem ve su bariyeri oluşturma,
- İletken hata akımlarının iletilmesi,
- Mekanik koruma ve
- Ekranlama görevi görür.

### 7-Kılıf

- Metalik ekranı korozyon gibi dış etkilerden korur.
- Kablo döşenmesi ve çekilmesi sırasında mekanik koruma sağlar.

### Triple-tandem prosesi:

Üç katmanın (3,4,5) aynı anda extrude edilmesiyle, yüksek gerilim stres noktaları oluşumuna neden olabilecek, katmanlar arasındaki çıkıntı ve düzensizlikler önlenir.

### TESTLER

#### Örnek Malzeme Testleri:

- 1-Silikon Banyosunda Temizlik Testi: Numuneler fırında 100°C'de 5-6 saat gaz çıkışı için bekletilir.
- Dış yarı iletken tabaka sıyrılır.
- Silikon banyosunda 2-3 saat, 125°C'de XLPE izolasyon saydam oluncaya kadar bekletilir.

#### Kuvvetli LCD lamba ile;

- İletken - iç yarı iletken arasındaki düzensizliklerin,



**Hot-Set Testi**

- İç yarı iletken tabakanın izolasyona girmesinin,
- Boşluk ve yabancı cisim kontrolleri yapılır.



**Silikon Banyosunda Temizlik Testi**

2-Hot-Set Testi (Sıcakta Uzama Deneyi):

- Kablo numunesi dilimleme aparatında yaklaşık 1 mm kalınlığında dilimlenir.
- Kaşık (halter) şeklinde numune çıkarılır.
- Kaşık (halter) şeklinde numunenin kalınlık ve genişliği ölçülür.
- Kalınlık x Genişlik x 20 formülü ile asılacak yük hesaplanır.
- Numunenin ortasına 20 mm (L1) işaretlenir.
- Numune 200°C'de, 15 dakika yük altında bekletildikten sonra uzaması (L2) ölçülür.

$$\text{Hot-Set} = \frac{L2 - L1}{L1} \times 100$$

formülüyle hesaplanır.

- Numune fırından çıkarılmadan, altındaki yük kesilir ve 5 dakika sonra numunenin kalıcı uzaması ölçülür.

### Elektriksel ve Boyutsal Testler:

#### Standart: IEC 60840

#### i) Rutin Testler

#### ii) Özel Testler

#### iii) Tip Testler

- Rutin testler: (Her makaraya uygulanan testlerdir.)

#### 1) Kısmi boşalma testi:

Test gerilimi 1,75 U<sub>0</sub>'a yükseltilir, 10 s beklendikten sonra 1,5 U<sub>0</sub>'a düşürülür. Ölçülen kısmi boşalma 10 pC'yi geçmemelidir. Amaç izolasyon, iç ve dış yarı iletkenlerdeki problemleri (elektrik alan çizgilerindeki homojen dağılımı ve dielektrik dayanımı bozan etkenleri) tespit etmektir.

#### 2) Gerilim testi:

Şebeke frekanslı 2,5 U<sub>0</sub> değerinde bir gerilim 30 dk boyunca iletken ile metalik ekran arasına uygulanır. İzolasyonda delinme olmamalıdır.

3) Dış kılıfa uygulanan d.c. gerilim testi: Metalik ekran ile dış kılıf arasına, 25 kV'u geçmemek kaydıyla, dış kılıf kalınlığının mm.si başına 8 kV düşecek şekilde, bir d.c. gerilim uygulanır. Dış kılıfta delinme olmamalıdır.

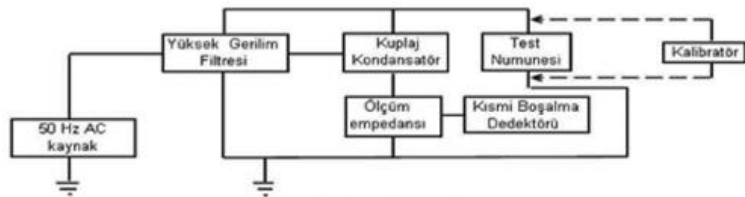
#### ii) Özel testler:

Her partiden alınan numuneler üzerinde yapılır. Su sızdırmazlık ve metal folye üzerinde uygulanacak testler 20 km.nin üzerindeki siparişler için uygulanır.

#### 1) İletkenin muayenesi:

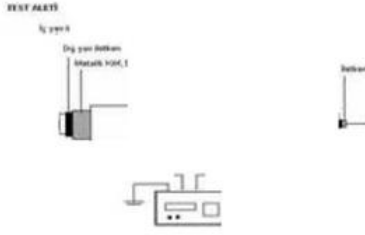
IEC 60228'e göre gözle kontrol yapılır.

2) İletkenin ve metalik ekranın elektriksel



**Kısmi Boşalma Testi**

## KABLO | TEKNİK MAKALE



**İletkenin ve Metalik Ekranın Elektriksel Direncinin Ölçülmesi**

direncinin ölçülmesi:

Ölçülen değerler, standartlarda belirtilen değerleri geçmemelidir.

3) İzolasyon ve dış kılıf kalınlığının ölçülmesi:

Test edilecek kablunun bir ucundan numune alınır ve profil projektör yardımıyla ölçüm yapılır. Ölçülen değerler, standartlarda belirtilen değerlerin altına düşmemelidir.

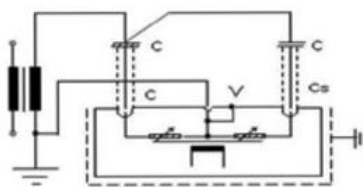
4) Metal kılıf kalınlığının ölçülmesi:

4.1 Şerit metodu:

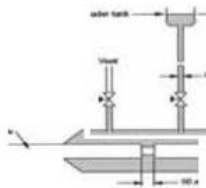
Ölçüm, kablolardan alınan yaklaşık 50 mm uzunluğundaki numune üzerinde, kenarlardan en az 10 mm içeride kalacak şekilde, yeterli sayıda ölçüm alınarak yapılır. Doğruluğu  $\pm 0,01$  mm olan ve düz çeneli, çene çapı 4 mm ile 8 mm arasında değişen bir mikrometre kullanılmalıdır.

4.2 Ring metodu:

Ring şeklinde alınan numune üzerinde, yeterli sayıda ölçüm alınarak yapılmalıdır. Doğruluğu  $\pm 0,01$  mm olan ve bir tarafı düz diğer tarafı



**Kapasitenin Ölçümü**



**Su Sızdırmazlık Testi**

küresel çeneli olan bir mikrometre kullanılmalıdır. Ölçüm alınırken, minimum kalınlığın tespit edildiğinden emin olunmalıdır. Değerler, standartta belirtilen değerlerin altına düşmemelidir.

5) Dış çapların ölçülmesi:

Damar ve kablo dış çapı, profil project yardımı ile ölçülür. Değerler, standartta belirtilen değerlerin altına düşmemelidir.

6) Hot set test:

Bkz.: Örnek Malzeme Testi 2

7) Kapasitenin ölçülmesi:

Aşağıdaki sistem yardımıyla, kablunun kapasitesi ölçülür. Bulunan değer, garanti edilen değerlerin %8 fazlasını geçmemelidir.

8) Su sızdırmazlık testi:

6 m uzunluğunda bükme testine tabi tutulmuş numunenin ortasından, yaklaşık 50 mm genişliğindeki kısım, su sızdırmazlığın garanti edildiği katmanlara kadar çıkarılır. Tüp su ile doldurulduktan sonra, 24 saat beklenir. Daha sonra, kablo numune iletkeninden akım geçirilmek suretiyle ısıtılır. Isıtma süresi en az 8 saat olmalı ve numune, maksimum iletken sıcaklığının  $5^{\circ}\text{C}$  (XLPE için bu sıcaklık  $95^{\circ}\text{C}$ ) üzerinde en az 2 saat tutulmalı; daha sonra, çevre sıcaklığında en az 16 saatlik doğal soğutmaya tabi tutulmalıdır. Bu döngü, 10 kez tekrarlanmalı ve döngülerin bitiminde kablo uçlarından su damlamamalıdır.

9) Alüminyum folyenin sıyrılma testleri

a) Görsel kontrol

b) Folyenin dış kılıfa yapışma kuvveti

c) Folyenin üst üste binen kısmının birbirine yapışma kuvveti 50 mm/dk bir hızla çekme işlemi yapılır. Yapışma kuvveti, uygulanan kuvvetin, test numunesinin genişliğine bölünmesi ile bulunur. En az beş numune, bu teste tabi tutulmalı ve bulunan minimum değer  $0,5 \text{ N/mm}^2$ 'den az olmamalıdır.

iii) Tip testler:

(İlk defa üretilen kablolar üzerinde yapılır.)

**Ardışık testler:**

a) Bükme testi ve bunu takip eden kısmi boşalma testi: Numuneye uygun çaplı bir silindir üzerinde bükme testi yapılmalı ve daha sonra, kısmi boşalması ölçülmelidir. Ölçülen kısmi

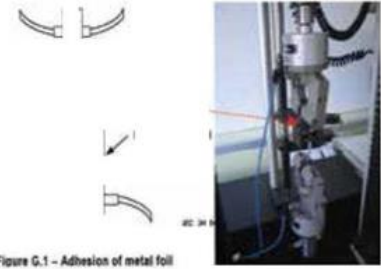
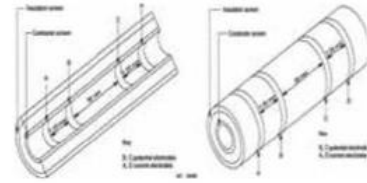


Figure G.1 - Adhesion of metal foil

**Alüminyum Folyunun Sıyrılma Testleri**



**İç ve Dış Yariiletkenlerinin Özdirençlerinin Ölçülmesi**

boşalma,  $5 \text{ pC}$ 'yi geçmemelidir. Makara çapı, kablo tipine göre iletken ve kablo dış çapı dikkate alınarak, standartta verilen formüllerle hesaplanır.

b) Isı döngüsü testi ve bunu takip eden kısmi boşalma testi:

Numune  $2xU_0$  gerilim altında, 20 çevrim ısıtma testine tabi tutulur. Daha sonra, kısmi boşalması ölçülür. Ölçülen kısmi boşalma,  $5 \text{ pC}$ 'yi geçmemelidir.

c) Yıldırım darbe testi ve bunu takip eden gerilim testi:

Numune beyan gerilimine göre 10 pozitif, 10 negatif yıldırım gerilim darbesine, sonrasında ise şebeke frekanslı  $2,5xU_0$  değerinde bir gerilime 15 dk boyunca tabi tutulur. İzolasyonda delinme olmamalıdır.

**Sıra takip etmeyen testler:**

1) tan  $\delta$  ölçümü:

Numunenin iletken sıcaklığı, maksimum iletken sıcaklığının  $5^{\circ}\text{C}$  ile  $10^{\circ}\text{C}$  (XLPE için bu sıcaklık  $95^{\circ}\text{C}$  ile  $100^{\circ}\text{C}$ ) üzerine çıkarılır ve  $2xU_0$  altında tan  $\delta \leq 10 \cdot 10^{-4}$  (XLPE izolasyonlu kablolar için) olmalıdır.

2) İç ve dış yariiletkenlerinin özdirençlerinin ölçülmesi:

Önce, numunelerin yaşlandırmadan önceki özdirençleri, numuneler en az 30 dk boyunca maksimum iletken sıcaklığındaki ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) bir ortamda

**4 KABLO | TEKNİK MAKALE**

tutulduktan sonra ölçülür. Daha sonra numuneler, 7 gün boyunca, maksimum iletken sıcaklığının (10 ± 2) °C üzerindeki bir ortamda yaşlandırılarak, öz dirençleri (numuneler sıcakken) tekrar ölçülür. Ölçülen değerler, (hem yaşlandırma öncesi hem yaşlandırma sonrası) iç yarı iletken için 1000 · Ωm'yi, dış yarıiletken için 500 · Ωm'yi geçmemelidir.

**5. AKIM TAŞIMA KAPASİTE HESABI (IEC 60287)**

Bir alternatif akım kablosunun müsaade edilen akım değeri, ortam sıcaklığının üzerindeki sıcaklık artışı ile;

$$(\Delta\theta) = (I^2R + 1/2Wd)T1 + [I^2R(1+\lambda1) + Wd]nT2 + [I^2R(1+\lambda1+\lambda2) + Wd]n(T3 + T4)$$

I= İletken üzerinden akan akım (A),  
 II= Ortam sıcaklığının üzerindeki sıcaklık artışı (K),

R= En büyük çalışma sıcaklığında iletkenin birim uzunluğu başına düşen alternatif akım direnci (Ω/m),

Wd= İletkeni çevreleyen yalıtım için birim uzunluk başına düşen dielektrik kayıp (W/m),

T1= Bir iletken ile kılıf arasındaki birim uzunluk başına düşen ısı direnci (K.m/W),

T2= Zırh ile kılıf arasındaki yataklamanın birim uzunluğu başına düşen ısı direnci (K.m/W),

T3= Harici işletmedeki kablonun birim uzunluğu başına düşen ısı direnci (K.m/W),

T4= IEC 60287-2, Madde 2.2'den elde edildiği gibi, çevreleyen ortam ve kablo yüzeyi arasındaki birim uzunluk başına düşen ısı direnci (K.m/W),

n= Kablolarda yük taşıyıcı iletkenlerin sayısı (aynı yükü taşıyan ve eşit ölçüdeki iletkenler),

λ1= Metal kılıftaki kayıpların, kablodaki tüm iletkenlerdeki kayıplara oranı,

λ2= Zırhtaki kayıpların, kablodaki tüm iletkenlerdeki kayıplara oranı, yukarıdaki formülden, aşağıda verildiği gibi elde edilir;

$$I = \left( \frac{\Delta\theta - Wd[0,5T1 + n(T2 + T3 + T4)]}{R[1 + nR(1 + \lambda1)T2 + nR(1 + \lambda1 + \lambda2)(T3 + T4)]} \right)^{0,5}$$

**6.KABLODAKİ EŞDEĞER TERMAL DEVRE**

Yukarıdaki tabloda (Resim 11) T1, T3 kesin olarak tanımlanabilen değerler olmasına karşın, T4'ü (kabloyu çevreleyen ortam ısı direnci) oluşturan parametrelerde, en kötü koşulların göz önüne alınması gerekir. Kablodaki kayıplar, iletken kayıpları, dielektrik kayıpları ve metalik kılıf kayıpları olarak oluşmaktadır.



Örnek Proje Çizimi

**7. YÜKSEK GERİLİM KABLOSUNUN YER ALTINA DÖŞENMESİ**

Yoğun nüfus, trafik ve şehirleşmenin olduğu bölgelerde kablolar, örnek projede olduğu gibi, PE boru içine dönebilmektedir.

**ÖRNEK PROJE: SERİLME VERİLERİ VE ÇEVRESEL FAKTÖRLER**

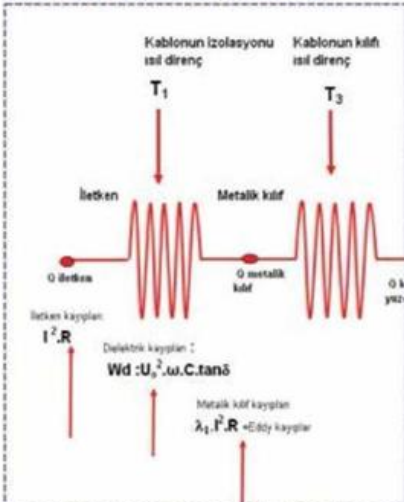
**PE boruda döşeme**

Kablo serilmesi: Direkt toprakta, boruda  
 Serilme derinliği: 1300 mm  
 Serilme düzeni: Yatay (yan-yana)  
 Boru malzemesi: PE  
 Boru çapı (iç/dış): 225/250 mm  
 Boru doldurma malzemesi: Boş boru  
 Fazlar arası mesafe: 400 mm  
 Toprak sıcaklığı: 250C  
 Toprağın termal direnci: 1,2 K.m/W  
 Kılıf topraklama: Çapraz bağlı  
 Maksimum akım taşıma kapasitesi: 1509 A

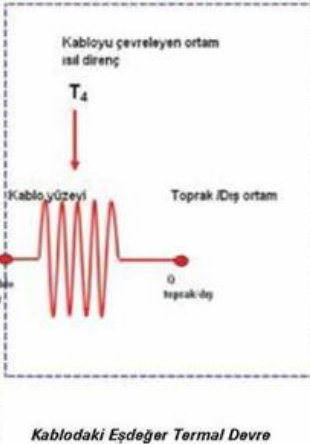
**KAYNAKLAR**

- [1] Cable Systems for High and Extra-High Voltage; Development, Manufacture, Tesing, Installation and Operation of Cables and their Accessories ;E.Peschke, R.von Olshausen.
- [2] International Standard; Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um=36 kV) up to 150 kV (Um=170 kV)-Test methods and their requirements.
- [3]Türk Standardı TS IEC 60287-2-1; Kablolar – Akım Değerlerinin Hesaplanması – Bölüm2: Isıl Direnç – Kısım 1:Isıl Direncin Hesaplanması. 4

**Kesin olarak tanımlanabilen parametreler**



**En kötü koşulların göz önüne alınması**



Kablodaki Eşdeğer Termal Devre