

## KABLO İZOLASYON MALZEMELERİ

### Türk Prysmian Kablo ve Sistemleri A.Ş.

Murat ÇAKIRKAPLAN

Türk Prysmian Kablo ve Sistemleri A.Ş. Ömerbey mah. Bursa Asfaltı Cad. No: 51 16941 Mudanya/Bursa

Tel: + 90 224 2703107 Fax : + 90224 2703029

e-posta: [murat.cakirkaplan@prysmiangroup.com](mailto:murat.cakirkaplan@prysmiangroup.com)

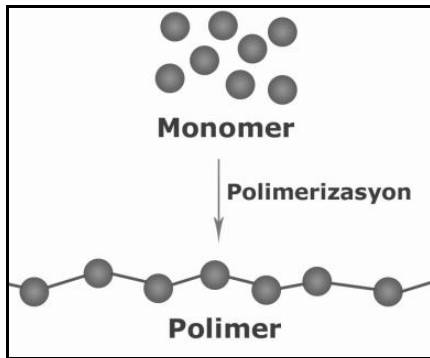
### GİRİŞ

*İzolasyon malzemelerinin görevi nedir? Malzemenin karakteri, gerçekten bir kablunun performansını, ömrünü ve dayanıklılığını etkiler mi?*

*Birçok uygulamada gerek fiziksel dayanım, gerekse de kimyasal dayanım amacıyla kullanılan izolasyon malzemeleri hangi tanımlar ve sınıflandırmalar ile kullanılıyor? Bu malzemelerin birbirlerine olan üstünlükleri ve zayıflıkları, moleküler yapıları ve bilinmeyenleri nelerdir?*

### Plastik/Polimer tanımı

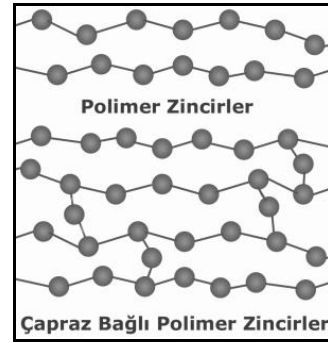
Monomer adı verilen ünitelerin birbiri ardından tekrarlanması ile oluşan çok yüksek molekül ağırlıklı organik bileşiklere plastik/polimer denir. Plastik malzemeler petrol, doğal gaz, kömür gibi doğal kaynaklardan elde edilen malzemelerdir. Polimerler ise, doğal ve sentetik olarak iki farklı şekilde elde edilebilir. Selüloz (pamuk ve ahşap malzemeler) doğal polimerlere; polietilen, polipropilen, polistiren, polimetilmetaakrilat, polikarbonat, politetrafloretilen ve poliamid ise, sentetik polimerlere örnek olarak gösterilebilir.



Resim 1: Polimerizasyon

### Monomer/Polimer nedir?

Mono-mer, polimer grubunu oluşturan küçük molekül anlamına gelir. Poly-mer ise, çok sayıda monomerden meydana gelen kimyasal bileşik anlamındadır. Yani yüzlerce, binlerce monomerin birleşmesinden oluşan çok daha büyük makro moleküllere polimer adı verilir.



Resim 2: Örnek polimer moleküler yapısı

**Monomerler** birbirlerine **kovalent bağlarla** bağlanarak kendilerinden daha büyük moleküller oluştururlar. Polimer molekülü boyunca birbiri ardına bağlanarak, zincirin ana iskeletini oluşturan kısmına ana zincir denir. **Poly-mer** kelimesi Yunanca'dan gelmektedir. "**Poly**"nin anlamı "çok", "**meros**"un anlamı ise ünite/birim anlamına gelmektedir. "**Plastikos**"un anlamı da "eritilebilir"dir. Plastikler ısı ve basınçla şekillendirilebilen sentetik polimerlerdir. **Kovalent bağ** ise, her bir atomun son yörüngesindeki bir veya birden fazla elektronun diğer bir atomla paylaşılmasıdır.

### İzolasyonun tarihsel gelişimi

Kristof Kolomb, 1493 yılında Amerika'ya yaptığı ikinci yolculuk sırasında Haiti Adası'nda, yerlilerin tuhaf bir maddeden yapılmış bir topla oynadıklarını

gördü. Bu öyle bir toptu ki, yere vurdukça zıplıyordu. Diğer yanda ise, bu malzemenin kaynağı olan ağaçtan elde ettikleri süt gibi maddenin içine ayaklarını batırıp çıkardıklarını ve kuruduktan sonra çarığa benzer bir çeşit ayakkabı oluşturduklarını gözlemledi. Kauçuğun plastik teknolojisindeki yolculuğu, bu keşifler ile başladı.

1839 yılına gelindiğinde, Charles Goodyear adındaki Amerikalı'nın bir raslantı sonucu bulunduğu sistem, lastik sanayiinde devrim yarattı. Goodyear, lateksi ısıtıp kükürtle işleyerek, daha elastiki ve dayanıklı bir duruma getirdi. Böylece, kauçuğa hava şartlarından etkilenmez bir nitelik kazandırdı. Bu işleme, "Vulkanizasyon" denir.



Resim 3: Kauçuk ağaçları

Charles Goodyear, yönteminin Amerika'daki patentini almayı başardı; ancak Fransa ve İngiltere'den yasal formaliteler nedeniyle, patent alamadı. Goodyear, Paris'te borçları nedeniyle hapis yattıktan sonra, Amerika'ya döndü; ancak patentleri ortakları tarafından yağmalandığından, yoksulluk içinde öldü. En azından "Goodyear Tyre" ve "Rubber Company" gibi şirketler onun isminin gelecek kuşaklar tarafından da anılmasını sağladı.

Bu devrim, özellikle 1930'lu yıllardan sonra daha hızlı bir ivme kazandı ve günümüzde de devam eden teknoloji çalışmalarının da temellerini atmış oldu.



Resim 4: Vulkanizasyon işlemi

## Kabloda izolasyon

Kablo endüstrisinde kullanılan izolasyon malzemeleri ekstrüzyon metodu ile kullanılır. Ekstrüzyonda kullanılan makine, bir motor ısıtıcı ile kaplanmış bir kovan içindeki vidayı döndürerek, sıcaklık ve basınç altında plastik granüllerin eriyik hale gelmesini sağlar.

Eriyik haldeki plastik, meme ve ağızlık yardımı ile, genelde hortum biçimiyle, istenen malzeme üzerine bir çeşit kaplama yapılır. Soğuması için su kanalı içine girer. Kablo endüstrisinde kullanılan izolasyon malzemeleri; termoplastik, termoset, silikon ve kağıt bazlı izolasyon malzemeleridir.

## Termoplastik izolasyonlar

Termoplastik bileşikler, ısıtıldıklarında yumuşayabilen, soğutulduklarında tekrar sertleşebilen plastikler grubudur.

- **PVC (Polivinil Klorür);** kabloda en yaygın olarak kullanılan termoplastik yalıtıcıdır. PVC malzeme ucuz, dayanıklı ve yaygın olarak kullanılabilir; ancak PVC'de bulunan klor (halojen) yandığında kalın, zehirli ve siyah duman üretimine neden olur. Bu da duman yoğunluğu ve toksisitenin istenmediği yerlerde (tüneller, insanların yoğun yaşadığı kapalı mekanlar gibi) ciddi sağlık tehditleri oluşturur. Normal çalışma sıcaklıkları (PVC türüne bağlı olarak) 70°C ve 105°C arasında değişir. Kısa devre sıcaklık limiti, 160°C (<300 mm<sup>2</sup>) ve 140°C (>300mm<sup>2</sup>) aralıklarındadır.

- **PE (Polietilen);** poliolefin olarak adlandırılan polimer sınıfının bir üyesidir. Polietilenin PVC'den daha düşük dielektrik kayıpları vardır ve gerilim stresi altında neme karşı duyarlıdır (Özellikle yüksek gerilimler için).

## Termoset izolasyonlar

Isıtıldıklarında sertleşen ve bu halini sürekli koruyabilen bileşiklerdir. Hem zincir içinde hem de zincirlerarası kovalent bağlara sahiptir. Isıtılınca önce yumuşar fakat yumuşarken aynı anda cross-link (çapraz bağlanma) olduğu için sertleşmeye başlar. Kovalent bağlarla bağlı olduğundan, tekrar ısıtılınca yumuşatmak mümkün değildir. Çok ısıtıldığı durumda ise çapraz bağlar kopar ve aşırı derecede sertleşir. Geri dönüşümleri vardır, ancak çok maliyetlidir. Bu nedenle tercih edilmez.

- **XLPE (çapraz bağlanmış polietilen);** birbirine bağlanmış farklı polietilen zincirleri yüksek sıcaklıklarda erimesini ya da ayrılmasını önlemeye yardımcı polimerlere (çapraz bağlama) sahiptir. Bu nedenle XLPE yüksek sıcaklık uygulamalarında daha avantajlıdır. XLPE'nin PE'ye oranla daha yüksek dielektrik kayıpları vardır; ancak diğer yandan daha iyi yaşlanma özelliklerine ve "water treeing" (Ağaçlanma) direncine sahiptir. Normal çalışma sıcaklıkları 90°C ila 110°C arasındadır. Kısa devre sıcaklığı 250°C dir.

- **EPR (Etilen Propilen Kauçuk);** etilen ve propilenin bir kopolimeridir. EPR, PE ve XLPE den daha esnektir, ancak her ikisinden de daha yüksek dielektrik kayıplarına sahiptir. Normal çalışma sıcaklıkları genellikle 90 °C ila 110 °C arasındadır. Kısa devre sıcaklığı 250°C dir.

## Silikon izolasyonlar

Silikon, kauçuk-silikon'dan oluşan bir elastomerdir (kauçuk-benzeri malzeme). Silikon kauçuklar, genellikle bir ya da iki parçalı polimerlerdir ve özelliklerini geliştirmek ve maliyet düşürmek için dolgu maddeleri de içerebilirler. Genellikle -55° C ila +300 ° C sıcaklıklarda, reaktif olmayan, istikrarlı ve dayanıklı malzemelerdir.

## Kağıt bazlı izolasyon

Kağıt, enerji kabloları yalıtımı için eski bir yöntemdir; ancak halen yüksek gerilim kabloları için kullanılabilir. Kağıt izolasyon, dielektrik bir akışkan (örneğin yağ ya da sentetik reçine sıvı) ile emprenye edilir (emdirilir). Kağıdın neme karşı hassas olmasından dolayı, yalıtıma su veya nem girişini engelleyebilme adına yalıtımın üzerine kurşun kılıf uygulaması yapılır.

Malzeme karşılaştırma tablosundan da (Tablo 2) anlaşılacağı üzere, her izolasyon malzemesinin kendine özgü özellikleri olduğu gibi, birbirlerine karşı üstünlükleri ve zayıflıkları da vardır. Yani, izolasyon malzemelerinin seçimi, önce ulusal ve uluslararası standartlara, daha sonra da çalışma şartlarına ve taleplere dayanmalıdır.

## Malzemelerin karşılaştırması

Malzeme	Avantajlar	Dezavantajlar
PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ucuz</li> <li>• Dayanıklı</li> <li>• Yaygın kullanım</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek dielektrik kayıpları</li> <li>• Yüksek ısılarda erime</li> <li>• Halojen içermesi</li> <li>• MV / HV için elverişli değil</li> </ul>
PE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük dielektrik kayıpları</li> <li>• Yüksek başlangıç dielektrik dayanıklılığı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek hassaslık water treeing için</li> <li>• Yüksek sıcaklıklarda malzeme kopmaları</li> </ul>
XLPE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük dielektrik kayıpları</li> <li>• Yüksek sıcaklıklarda geliştirilmiş malzeme özellikleri</li> <li>• Erimez, termal genişleme meydana gelir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PE'ye göre zor proses şartları</li> <li>• Katkılarından dolayı PE'ye göre dielektrik özelliklerinde kötüleşme</li> <li>• Tutuştuğunda alevin kendiliğinden ilerlemesi</li> </ul>
EPR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek esneklik</li> <li>• Düşük ısı genişleme (XLPE'ye göre)</li> <li>• Düşük hassaslık water treeing için</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek dielektrik kayıpları</li> <li>• İnorganik dolgu maddesi / katkı maddesi gerektirmesi</li> </ul>
Silikon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek sıcaklıklarda çalışma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük mekanik özellikler</li> </ul>
Paper / Oil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük-Orta dielektrik kayıpları</li> <li>• DC teste dayanıklı</li> <li>• Uzun tecrübe zamanı nedeni güvenilirlik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek ağırlık</li> <li>• Yüksek maliyet</li> <li>• Sıvı yalıtım için hidrolik basınç / pompa gerektirmesi</li> <li>• Tamiri çok zor</li> <li>• Nem ile bozulma</li> </ul>

Tablo 2: İzolasyon malzemeleri karşılaştırma tablosu

## Elektriksel sistemlerde izolasyon

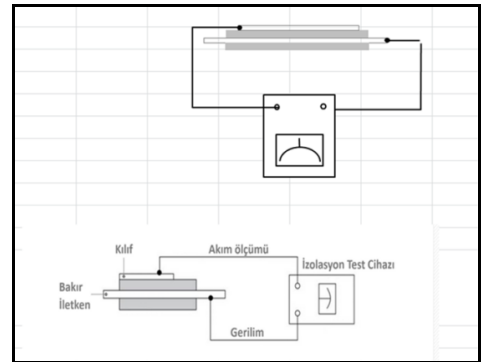
Sistemlerin izolasyonuna "iyi" diyebilmek için, yüksek direnç gereksinimlerini ölçmek ve bunu değerlendirebilmek gerekir. "İyi midir?" sorusunun cevabı; izolasyon direncinin ölçülmesinde gizlidir.

Hiçbir izolasyon malzemesi, sonsuz direnç sağlamaz. İzolasyonlar, pratik amaçlardan en kritik durumlara kadar kullanılabileceğinden, toleransları belirlenmeli ve buna göre değerlendirilmelidir.

İzolasyon direnci ölçümünü anlamamızın anahtarı, Ohm kanunundadır. Direnç değeri hesaplanmasında,

sisteme sabit bir gerilim uygulanır ve akım değeri ölçülür. Uygulanan gerilim ve akımın oranları izolasyon direncine ulaşmamızı sağlar.

$$R(\text{direnç}) = \frac{U(\text{gerilim})}{I(\text{akım})}$$



Resim 5: İzolasyon ölçüm devresi

Tesiste yeni kablo montajında olabilecek izolasyon hasarlarının kontrolü, daha sonraki sürelerde kablo izolasyonlarının takibi, kontrolü ve kabul edilebilirlik değerleri IEEE 525'te verilmiş olan formülle hesaplanıp, yine verilmiş olan tabloya göre değerlendirilebilir.

$$R(\text{izolasyon}) = V(\text{kablo gerilimi} + 1) \cdot (1000/L)$$

Feet birim ile ölçüm yapılacaksa formülde 1000 (m) yerine 304.8 yazılmalıdır.

Uygulanacak minimum test gerilimi 500 V dc olmalıdır.

Uzunluk m (ft)	Mimumum Direnç Değerleri m.Ω
30.5(100)	16
61.0(200)	8
91.4(300)	5.3
122(400)	4.1
152(500)	3.2
183(600)	2.7
213(700)	2.3
244(800)	2
274(900)	1.8
305(1000)	1.6

Tablo 3: Kabul edilebilir minimum direnç değerleri

### İzolasyonu kötüleştiren etkenler

İzolasyon, zamanla etkileşime girdiği diğer etkenler nedeni ile yalıtım kalitesini düşürebilir. Bu etkenleri 5 madde halinde ele alabiliriz:

- **Elektriksel stres:** İzolasyon belirli bir uygulama için tasarlanır. Aşırı yüksek ve alçak gerilimler, yalıtım içinde anormal streslenmeye yol açar ve bu olay izolasyonun çatlamasına ya da delaminasyonuna neden olabilir.
- **Mekanik stres:** Kablo montajı sırasında oluşan hasarlar, gözle görülebilir düzeyde olabilir. Diğer yandan; makinaların sık sık duruş ve kalkışları ve sürekli vibrasyon altında çalışması, izolasyon içinde kusurlara neden olabilir.
- **Kimyasal etkenler:** Bu etkenlerin başlıcası, aşındırıcı buhardır. Yağ ve hidro karbon gibi etkenler de izolasyonun kalitesini hızlıca düşürürler.
- **Termal stres:** Aşırı ısınma ve soğumaların oluşturduğu genişleme ve büzüşmeler, izolasyon içinde çatlamalar gibi kusurlara neden olabilir.

Makine kullanımlarındaki tüm kalkış ve duruşlar, ısı gerilmelerin en yüksek olduğu periyotlardır. Diğer sistemlerde de kablonun yük altına girmesi, çıkması izolasyon yaşlanması açısından olumsuzluk yaratacaktır.

- **Çevresel kirlilik:** Kemirgenler, haşereler ya da nem gibi etkenler, kablo izolasyonunda yalıtımı etkileyecek hasarlar oluşturabilirler ya da zamanla oluşabilecek kusurlara zemin hazırlayabilir. İzolasyon üzerinde oluşan kirlilik, yüzeysel kaçak akımlar oluşturur. Bu kuru ve temiz yüzeylere kıyasla daha büyüktür. Potansiyele göre değişen ciddi hasarlara neden olabilirler.

Tesislerde izolasyonlar periyodik olarak ölçülüp değerlendirilmelidir. Bu periyodik kontroller, doğabilecek büyük kayıpları engelleyebilir. Belki olumsuzluğun tespiti ile alınacak basit önlemlerle, tesis çok uzun yıllar korunabilir. Değerlendirmede tablolar oluşturulabileceği gibi, bu kontrolleri sistematik tutabilen cihazları kullanmak da diğer bir seçenek olacaktır.

Bahsettiğimiz konulara ek olarak, kablo yapım standartlarında yer alan konulardan biri de hacimsel öz dirençtir.

**Hacimsel öz direnç,** ölçülen yalıtım direncinden aşağıdaki formülle hesaplanmalıdır:

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times l \times R}{\ln \frac{D}{d}}$$

Burada;

$\rho$  : Hacimsel öz direnç, ohm. santimetre,  
R: Ölçülen yalıtım direnci, ohm,  
l: Kablo uzunluğu, santimetre,  
D: Yalıtımın dış çapı, milimetre,  
d: Yalıtımın iç çapı, milimetredir.

Yalıtım direnci sabiti  $K_i$ , aşağıdaki formül kullanılarak da hesaplanabilir:

$$K_i = \frac{l \times R \times 10^{-11}}{\lg \frac{D}{d}} = 10^{-11} \times 0,367 \times \rho$$

Bileşiklerin gösterişi (Madde 4.2)	Birim	PVC/A	EPR/HEPR	XLPE
Normal çalışmada en büyük iletken sıcaklığı (Madde 4.2)	°C	70	90	90
Hacimsel öz direnç, $\rho$ - 20°C'da (Madde 17.1)	$\Omega.cm$	$10^{13}$	-	-
- Normal çalışmada en büyük iletken sıcaklığında (Madde 17.2)	$\Omega.cm$	$10^{10}$	$10^{12}$	$10^{12}$
Yalıtım direnci sabiti, $K_i$ - 20°C'de (Madde 17.1)	M $\Omega.km$	36,7	-	-
- Normal çalışmada en büyük iletken sıcaklığında (Madde 17.2)	M $\Omega.km$	0,037	3,67	3,67

Tablo 4: Yalıtım bileşikleri için elektriksel tip deney özellikleri

Çok geniş içeriğe sahip olan "izolasyon" başlığı, gerek yapım, gerekse de test standartlarında ayrıntılı bir şekilde bulunabilir.

Prysmian Group Türkiye olarak, çalışmalarımız kapsamında tüm detaylara önem veriyoruz. Bu doğrultuda da, kullanılan izolasyon malzemelerinin önemine, bir kez daha dikkat çekmek isteriz.

[www.prysmiangroup.com.tr](http://www.prysmiangroup.com.tr)  
[www.prysmianperformanstesti.com](http://www.prysmianperformanstesti.com)

## Referanslar

- 1 IEC 60502-2:2007 BEYAN GERİLİMLERİ 1 kV'DAN ( $U_m = 1,2$  kV) 30 kV'A ( $U_m = 36$  kV) KADAR OLAN YALITIMI EKSTRÜZYONLA ÇEKİLMİŞ GÜÇ KABLOLARI VE BUNLARIN YARDIMCI DONANIMLARI - BÖLÜM 2: BEYAN GERİLİMLERİ 6 kV'DAN ( $U_m = 7,2$  kV) 30 kV ( $U_m = 36$  kV)'A KADAR OLAN KABLOLAR
- 2 Prof.Dr.Hüseyin ÜNAL, Polimer/Monomer Eğitim Dokümanları
- 3 Power Cables and their Applications, 3rd edition, 1990, Lothar Heinhold - Siemens
- 4 Megger kataloğu
- 5 IEEE 525 dökümanları

## Prysmian Group Türkiye Hakkında

Prysmian Group Türkiye; merkezi 1964 yılından bu yana, Mudanya'da (Bursa) yer alan Türk Prysmian Kablo ve Sistemleri A.Ş. ile 2011 yılında gruba dahil olan Draka Comteq Kablo ve Ltd.Şti. ve Draka İstanbul Asansör İth. İhr. Üretim Tic. Ltd. Şti. firmalarından oluşmaktadır. Prysmian Group Türkiye bünyesinde, bugün yaklaşık 550 kişi çalışmaktadır. Prysmian Group Türkiye'nin ürün yelpazesi kapsamında 220 kV'a kadar olan tüm enerji kabloları, 3.600 çiftte kadar bakır iletkenli haberleşme kabloları ile fiber optik kabloları bulunmaktadır. Ayrıca, Draka ile, sadece ana ortaklar seviyesinde gerçekleşen birleşme sonucunda, demiryolu sinyalizasyon kabloları, asansör sistemleri, stüdyo broadcast kabloları ve özel kablolar ürün yelpazesine eklenmiştir. Prysmian Group içinde öncelikli bir ihracat merkezi olan ve 2013 yılında toplam yaklaşık 822 milyon TL olan cirosunun %34'ünü ihraç eden Türk Prysmian Kablo, Borsa İstanbul'da işlem görmektedir. Daha fazla bilgi için : [www.prysmiangroup.com.tr](http://www.prysmiangroup.com.tr)