

# NİKEL KAPLI BAKIR TELİN KULLANIM ALANLARI

Selçuk HARPUT

Candan AYHAN

Ar – Ge Müdürü

Proses Araştırma Şefi

Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi ve Tic. A.Ş. Çayırova /GEBZE

## ÖZET:

Bu çalışmada nikel kaplı bakır telin teknolojik önemi ve kullanım alanları irdelenmiş, özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için vazgeçilmez ve ülkemize önemli oranda katma değer sağlayacak bir malzeme olan nikel kaplı bakır telin kullanım alanlarına ve sıcaklığa göre seçimi detaylı olarak ele alınmıştır.

İhracat ve ithalat kalemlerimiz incelendiğinde, genellikle ara ürün ihraç edip bitmiş ürün ithal edildiği görülmektedir. Benzer durum nikel kaplı bakır tel ihracı ile, yüksek sıcaklığa dayanıklı kablo ithalinde de sözkonusudur. Yapılan araştırmalarda, özellikle Türkiye kablo sektöründe, nikel kaplı tellerden üretilen yüksek sıcaklığa dayanıklı kablolar ve bunların kullanım yerleri hakkında yeterince bilgi birikimine sahip olunmadığı anlaşılmıştır.

Bu bildiriye, elektrik ve ısı iletkenliği yüksek bakır ile yüksek sıcaklıkta kararlı, korozyona dayanıklı nikeli bir arada içeren bir malzeme olan nikel kaplı bakır telin özelliklerinin ve kullanım yerlerinin tanıtılması amaçlanmıştır.

## ABSTRACT:

This research has been conducted to set forth in detail the properties of nickel plated copper wire primarily for high temperature applications and highlight its technological and strategic importance to the economy.

Through study undertaken to search foreign trade statistics has shown that like many other metallic materials the nickel plated copper wire is exported in semi-finished form and is imported back in the form of high temperature resistant cables. It is clearly evident that the national cable producers are not well aware of high temperature properties of the nickel plated copper wire which is readily available to them.

It is the aim of this paper to introduce a material in which combined are the high electrical and thermal conduction properties of copper and the high temperature and corrosion resistance properties of nickel, together with its particular applications.

## 1- BAKIR TELLERDE KULLANILAN KAPLAMA TÜRLERİ

Yüksek elektriksel iletkenlik gerektiren koşullarda kullanılan elektrolitik bakır teller, özellikle kullandıkları ortamlara uyum sağlanabilmesi amacıyla çeşitli metallerle kaplama işlemine tabi tutulurlar. Böylece bakırın yüksek iletkenliğine ek olarak, kaplanan metalin özellikleri de kullanılarak daha özel kullanım alanları da yaratılmış olur. Üretim teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak nikel kaplı tellerin kullanım alanları hızla yaygınlaşmaktadır. Nikel kaplı tel 750°C sıcaklığa kadar korozyon dayancı bulunan bir malzemedir. Ayrıca ısıl şoklara karşı direncinin yüksek olması da özellikle uzay ve uçak sanayiinde, sürekli yüksek sıcaklığa maruz kalan makina ve ekipmandan, ütü, ekmek kızartma makinası, fırın gibi ev gereçlerine kadar birçok alanda kullanılabilen ve başka seçeneği bulunmayan bir malzemedir.

## 2- NİKEL KAPLI TEL VE KABLO ÜRETİMİ

Ülkemizde nikel kaplı tel, kendi teknik birikimi ile geliştirdiği kaplama sistemi ve özel tel çekme teknikleri ile sadece Sarkuysan tarafından üretilmektedir. Üretilen nikel kaplı telin tamamı ihraç edilmekte, Türkiye’de kabloya dönüştürülmemektedir. İthal edilen birçok makina ve ekipmanda kullanılan nikel kaplı kablolar, ABD, Almanya, İngiltere, İtalya, Fransa gibi ülkelerde üretilmekte ve Türkiye’ye kablo olarak geri gelmektedir. Çalışma koşullarına uygun izolasyon malzemesi ve kablo üretim tekniği gerektiren nikel kaplı bakır kablolar, üretim zorluğunun yanında yüksek katma değere sahip ürünlerdir. Özellikle Türkiye gibi hammadde açısından dışa bağımlı ülkelerin katma değeri yüksek ürünlere yönelmesi, bilgi birikiminin ve işgücünün değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir. Nikel kaplı bakır kablo üretiminin birinci adımı olan nikel kaplı bakır tel üretimi gerçekleştirilmiş durumdadır. İkinci adım olan kablo üretimi için kablo üreticilerimizin bu konu üzerine yoğunlaşması ile hem katma değeri ve rekabet gücü yüksek bir ürün piyasaya sürülmüş olacak hem de ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlanacaktır.

Nikel kaplı bakır kabloların (yüksek ısı dayanımlı kablolar) üretiminde genellikle önceden elde edilen deneyimlere dayanılmaktadır. Edinilen deneyimlerin yeni uygulama alanları için uygun olmaması durumunda sürpriz sonuçlarla karşılaşılabilir. Bunun nedeni, bugün kablo ve telleri değişik yüksek sıcaklık uygulamaları ile eşleştirecek endüstriyel bir standartlaşma olmamasıdır. Potansiyel olarak en iyi performansı zaman içerisinde sağlamak amacı ile, dizayncıların uygulama ortamı, kablo ve tel izolasyon malzemeleri, saklama koşulları ve kullanımı konularında bilgilendirilmeleri gereklidir. Optimum kablo ve tel performansının sağlanması bu faktörleri göz önünde bulundurarak mümkün olabilir. Örnek olarak bir uzay mekiğindeki kablolar mekikle birlikte uzaya taşınmaktadır. Vakum, radyant ısı, yüksek radyasyon gibi ortam faktörleri ile neredeyse bütün izolasyon polimer türevleri ya iletken olur yada bozunuma uğrar. Böyle uç çevresel koşullar altında, dizayncıların kablo yada tel izolasyonundaki seçenekleri sadece inorganik malzemeler olan fiberglas, seramik ve fiberler olabilmektedir. Ekvator kuşağındaki herhangi bir hava alanından havalanan bir yolcu uçağında kullanılan malzemeler ve kabloların sıcaklıkları yaklaşık (+50) – (+60)°C’den, 10 – 15 dakika içerisinde (-45) – (-50)°C’lere düşmektedir. Bu koşullarda kullanılan kabloların karşılaşılan ısıl şoktan etkilenmemesi hayati bir zorunluluktur. Yeryüzündeki uygulamalarda ise yüksek ısı dayanımlı kablolar yüksek ısı, ısıl şok gibi etkenlerin yanında nem etkisi altına da girmektedir. Bu durumda kablonun nemli ortamlardan da korunması için önlem alınması gerekmektedir. Bu bildirinin amacı, kablo dizayncıları için özel durumlarda kullanılan yüksek ısı dayanımlı kablo üretiminde kullanılan tel ve malzeme seçimi için izlenecek yol ve kullanılması gerekli malzemeler hakkında bilgi vermeye çalışmaktır.

### 3- YÜKSEK ISI DAYANIMLI KABLONUN KRİTERLERİ

Yüksek ısı dayanımlı kablo üretimi için temel olarak aşağıdaki kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir:

- Kablonun çalışacağı ortamın tanımlanması
- Kablo ve tel malzemesi seçimi
- Ortama uygun kablo dizaynı
- Yüksek ısı dayanımlı kabloların saklama koşullarının belirlenmesi
- Üretim teknikleri

#### 3.1- KABLONUN ÇALIŞACAĞI ORTAMIN TANIMLANMASI

Kullanılan ortamda sıcaklığın yanında, kablo ve tel seçiminin doğru yapılmasını etkileyen başka faktörler de vardır. Bu parametreler arasında voltaj, akım, kVA yüklenmesi, dielektrik dayanımı, voltaj düşüklük toleransı yer almaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çalışacak kablo yada tel için önemli nokta, çalışma ortamının durumu ve bu ortama etki eden faktörler bütünüdür.

Aşağıda bazı çevresel etkenler ve kablo seçiminde neden bu etkenlerin göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir:

Sıcaklık: Yüksek sıcaklığa uzun süre maruz kalma kablonun ve izolasyon malzemesinin daha kısa sürede kullanım süresini doldurmasına neden olur. Bunun sonucunda, izolasyon malzemesinin yanması, çatlaması gibi sorunlarla karşı karşıya kalınır. Ayrıca, yüksek sıcaklık ortamında çalışan bir kablo komşu kablolarla da zarar verebilir. Böylece, komşu kabloları da yüksek ısı dayanımlı olarak dizayn etmek yada, komşu kabloya ısı geçişini engelleyici önlemler almak gerekir. Sıcaklık, kablo içerisinden geçen elektrik akımı ile oluşan sıcaklık ile ortamın sıcaklığının toplamı olarak belirtilir.

Nem: Islak yada nemli ortamlarda, izolasyon malzemesinin nem geçirmezlik özelliği önem taşır. Eğer su izolasyon malzemesi tarafından emilirse, izolasyon duvarında elektrik kaçaklarına neden olur. Böylece devreyi çalıştırmak için daha fazla enerji gereksinimi olur. Kablonun boyu boyunca direnç artar. Devreden beklenen verimlilik elde edilemez.

Ateş Dayanımı: Herhangi bir kaza sonucunda oluşan devre bozukluklarında devre bütünlüğünü korumak amacı ile yüksek sıcaklık kablolarından ateşe dayanıklılık istenmektedir. Örnek olarak, yangın durumlarında, proses güvenli bir şekilde kapatılır ve yangın söndürme pompaları gibi kritik devreler operasyonlarına devam edebilirler.

Mekanik yorulma: Büküm, darbe ve aşınma sonucunda her kablo bir miktar zarar görmektedir. Bu gibi koşullar altında en uygun kablo seçimi kompozit izolasyon malzemeli olanlarıdır. Dıştaki izolasyon yüzeyi çevre koşullarına karşı korurken, iç kısım da elektriksel izolasyonu sağlar.

Ergimiş malzeme dökülmesi: Kimi zaman kaza ile kablo yada tel yoğun ısı ortamlara maruz kalmaktadır. Bu gibi durumlar sonucunda kabloda ağır çapta zarar meydana gelmektedir.

Asit, yağ, solvent ve diğer kimyasallara maruz kalma: Seyreltilmiş durumda da olsa, birçok izolasyon malzemesi bu gibi kimyasalların bulunduğu ortamlara maruz kalmaktadırlar. Bu gibi durumlarda çalışan kablolar için, yüzeyini zararlı ortama karşı koruyucu kaplama iyi sonuç vermektedir.

Ozon geçirgenliği: Ozon, serbest halde dolaştığında izolasyon malzemeleri ile bağ oluşturma eğilimindedir. Bu gibi bir durum, proseste hasar oluşmasına yol açar. Ozon elektrik yada karbon kıvılcımları ile de oluşmaktadır. Silikon lastik gibi malzemeler bu gibi durumlara karşı etkilidirler.

Duşuk yanma gazı: Yöresel olarak güvenlik prosedürleri gereği, trenler gemiler vb. gibi kapalı ortamlarda bulunan kabloların yandığı zaman gaz emisyonunun duşuk olma zorunluluğu vardır. Teflon, fiberglas gibi inorganik malzemeler yandıkları zaman diğer izolasyon malzemelerine oranla daha az gaz çıkartırlar.

Radyasyon: Bu tip ortam faktörü, malzemenin kimyasal kompozisyonunun bozunmasına yol açar. Uzay sektörü gibi ortamlarda özellikle bu gibi durumlara maruz kalınır. Ayrıca kaza durumlarında da bu gibi ortam oluşumuna zemin hazırlanmış olur. řu anda yüksek radyasyon aralarında bile izolasyon özellikleri bozulmayan kablolar mevcuttur.

Çok duşuk sıcaklık: İzolasyon malemesi, çok duşuk sıcaklıklarda kırılğan olabilir. Bu ve mekanik stres, titreşim vb. faktörler izolasyon malzemesinde çatlak oluşumuna sebebiyet verebilir. FEP ve teflon gibi malzemeler, -166 C° gibi sıcaklıklarda bile kırılmazlar.

Tesisat Karakteri: Yeraltı, hava hatları, denizaltı kabloları gibi her uygulama alanı için özel yalıtım tiplerinin geliştirilmesi gereklidir. Örnek olarak, yeraltı kabloları için darbe dayanımı ön plandadır.

Yukarıda belirtilenler gibi çevresel faktörler, özel bir kullanım alanı için problemin açık olarak ortaya konulmasını ve buna bağlı olarak çözümün kısa sürede etkili olarak üretilmesini sağlar.

Kullanım ortamının doğru bir şekilde ortaya konmasının ardından ikinci adım, uygun kablo malzemesinin seçilmesidir. Bu adımda olumlu sonuç elde edebilmek için, kullanılacak alana göre uygun kablo/tel malzemesini seçmek gerekir. Kablo, merkezde iletken malzemesi, onun üzerinde izolasyon malzemesi, ceket, kalkan gibi katmanlardan oluşur. İletken ve katmanlar, çalışma koşullarına göre kablodan beklenen optimum verimi sağlamak amacıyla uygun malzeme ve yapıda seçilmiş olmalıdır.

### **3.2- İletken malzemesi:**

NEC tarafından uygun görülen üç çeşit metalik kablo tipi vardır: Alüminyum, Bakır, Nikel. Bu üç temel malzemeye ek olarak daha da üstün özellikleri sağlayabilmek için, alüminyum giydirilmiş bakır, nikel kaplı bakır veya gümüş kaplı bakır seçenekleri de kullanılır. Nikel yada gümüş kaplı bakır tel, gelişmiş korozyon dayanımı ve iletkenlik açısından önem taşımaktadır. Tablo-1'de çeşitli iletken türlerinin uzun süreli çalışma sıcaklıkları görülmektedir.

UL standardına (Underwriter's Laboratories) göre, 0,381mm'nin altındaki çaplarda ve 200°C sıcaklıkta, iletkenin nikel veya gümüş ile kaplanmış olma zorunluluğu getirilmiştir. 200°C sıcaklığın üzerinde sadece nikel kaplı bakır tel kullanımına izin verilmektedir. Gerekeşi, duşuk çaplı iletkenlerde oksidasyon etkisinin daha fazla olması nedeniyle iletken yüzeyinin korunmasının gerekliliğidir. Kaplama metali olarak nikelin kullanılma nedeni oldukça nettir. Bilindiği gibi nikel, yüksek sıcaklıklardaki ivmelenen oksidasyona kolayca dayanım gösteren bir metaldir. Ayrıca nikelin ergime sıcaklığı (1453°C) bakırın ergime sıcaklığından (1083°C) yaklaşık 1/3 oranından daha yüksektir. Bu özelliği nedeniyle de nikel, bakır iletkene aşırı yüksek sıcaklıklarda önemli bir destek görevi yapar. Örneğin jet motorlarında oluşan yangın

nedeniyle motordaki haberleşme ve enerji kabloları, bakırın ergime sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara maruz kalır. Bu durumda (%10 nikel kaplı iletken kullanılır.) nikel kaplama, sıvılaştırmış bakırın etrafında metal bir boru görevi üstlenerek en az 10 dakika kablonun görev yapmasını sağlar. Bu 10 dakika, yangının söndürülebilmesi için pilota tanınan hayati bir süredir.

**Tablo-1: İletkenlerin sıcaklık dayanımları**

İletken	Maksimum Çalışma Sıcaklığı, °C
Çıplak Bakır Ø0,381mm'den küçük (BC)	60
Kalay Kaplı Bakır Ø0,381mm'den küçük (TC)	150
Çıplak Bakır Ø0,381mm'den büyük (BC)	200
Kalay Kaplı Bakır Ø0,381mm'den büyük (TC)	200
%2 Nikel Kaplı Bakır (NPC)	250
%4 Nikel Kaplı Bakır (NPC)	350
%10 Nikel Kaplı Bakır (NPC)	450
%27 Nikel Kaplı Bakır (NCC)	550
Gümüş Kaplı Bakır (SPC)	200
Nikel Kaplı Çelik (NPI)	250
Nikel (NA)	550

Bakır – nikel kombinasyonundaki nikel elektriksel dirençte önemsiz bir artış yaratmasına karşın, büyük ölçüde kullanım fleksibilitesi ve yorulma dayanımı sağlar. 250°C sıcaklıklarda, ağırlık olarak %2 nikel kaplı iletkenler yeterlidir. 450°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise özellikle ABD'de kaplama kalınlığı daha yüksek olan %27 nikelli iletkenler kullanılmaktadır. Nikel kaplı tel direncindeki küçük çaplı yükselmeye rağmen yüksek ısı dayanımı nedeniyle, yanyana çalışan kabloların aynı özelliği taşıması koşuluyla, akım kapasiteleri, kalaylı tele oranla daha yüksektir. Akım taşıma kapasiteleri ile ilgili detaylar, NEC (National Electrical Code) Madde 310, Tablo 310-18 ve Tablo 310-19'da verilmiştir. Bu değerler Tablo-2'de ve Tablo-3'te sunulmuştur.

Tablo-2 ve Tablo-3'ten de görülebileceği gibi, nikel kaplı tellerin akım taşıma kapasiteleri daha yüksektir ve alandan kazanılmasını sağlar. Tablolardan elde edilen sonuçlar tam anlamı ile gerçeği yansıtan değerler değildir. Bu değerler sadece başlangıç noktası olarak ele alınacak değerler olup, kablolama dizaynı, çevresel koşullar, aynı bölgedeki kablo sayısı, kablodaki iletkenin geometrisi ve izolasyon tiplerine bağlı olarak daha yüksek veya daha düşük fiili değerlere sahip olabilir. Daha doğru değerlere "1996 National Electrical Code Handbook, Article 310-15; 310-84"te ulaşılabilir. Daha fazla detay gereksiniminde de, AIEE tarafından hazırlanan "AIEE Transactions, Bölüm 3 (power apparatus and systems) , Cilt 76, Ekim 1957 sayfa 752-772"den yararlanılabilir.

**Tablo-2** Akım taşıma kapasiteleri (Baz sıcaklık: 40°C)

Çap (mm)	150°C	200°C	250°C	250°C	450°C	450°C
	Kalaylı Bakır	Kalaylı Bakır %2-%10NPC	%2-%10 NPC	Nikel	%27-NCC	Nikel
0,51	6.6	7.2	8	4	9	4.3
0,64	9	9.6	10.8	5	12	5.6
0,81	13	14	15	7	18	8
1,02	17	18	20	9.4	23	11
1,29	22	24	26	12	30	14
1,63	34	36	39	18	45	21
2,05	43	45	54	25	56	26
2,59	55	60	73	34	75	35
3,26	76	83	93	43	104	49
4,12	96	110	117	55	138	65
5,19	120	125	148	69	162	76
5,83	143	152	166	78	182	85
6,54	160	171	191	90	210	99
7,35	186	197	215	101	236	110
8,25	215	229	244	114	268	126
9,27	251	260	273	128	300	141
10,41	288	297	308	144	338	159
11,69	332	346	361	169	397	186

40°C'den farklı ortam sıcaklıkları için akım kapasiteleri, Tablo-2'deki değerlerle Tablo-3'teki uygun faktörün çarpımı ile bulunabilir.

**Tablo-3** Sıcaklık uyarlama faktörleri

Ortam Sıcaklığı (°C)	200°C	250°C	450°C
41-50	0.97	0.98	0.99
51-60	0.94	0.95	0.99
61-70	0.90	0.93	0.96
71-80	0.87	0.90	0.95
81-90	0.83	0.87	0.93
91-100	0.79	0.85	0.92
101-120	0.71	0.79	0.89
121-140	0.61	0.72	0.86
141-160	0.50	0.65	0.84
161-180	0.35	0.58	0.81
181-200	--	0.49	0.78
201-225	--	0.35	0.74
226-250	--	--	0.69
251-275	--	--	0.65
276-300	--	--	0.60
301-325	--	--	0.55
326-350	--	--	0.49
351-375	--	--	0.42
376-400	--	--	0.34

İletken teller tek telli veya bükülmüş çoktelli olarak kullanılmaktadır. Tek telli kablolar, kaynak yapılması açısından daha avantajlıdır ve korozif ortamlara düşük yüzey alanı nedeniyle daha dayanıklıdır. Bükümlü çok telli kablo ise daha elastik yapıda olup, mekanik streslere daha dayanıklıdır. Bu nedenle, hareketin ve titreşimin fazla olduğu ortamlarda çoktelli iletkenler daha uygun seçimdir. Ayrıca çoktelli kablolarda özellikle üretim aşamasında oluşan çizikler, tek kalın telli iletkenlere göre daha az önemlidirler. AWG'ye göre (American Wire Gauge), AWG22 (~0,65mm) tek telli iletken, genel olarak 7 telli AWG30 (7x0,254mm) iletkenine eşdeğerdir.

### **3.3- İzolasyon Malzemesi:**

İzolasyon katmanları ve metal kalkanlar değişik elektrikli ve fiziksel amaçlar doğrultusunda uygulanır. Bunlar kablo seçiminde gözönünde bulundurulması gereken önemli parametrelerdir. Genel olarak birincil izolasyon, elektrikli açıdan tam bir yalıtımlığı sağlamalı ve ikincil izolasyon katmanı da çevrede oluşabilecek fiziksel hasarlara karşı koruma sağlamalıdır. Metalik kalkan da ağır koşullara karşı koruma sağlamanın yanında, kablo ile taşınan sinyalin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek interferanstan da koruma görevi üstlenir. Bu interferans kablo yakınında çalışan bir motor veya benzeri elektrikli bir ekipman tarafından üretilirler. Özellikle düşük voltajlarla çalışan elektronik devreleri mekanik olarak korumak için etkilidirler. Bu tip koruma aşamaları tek başına veya kombine olarak yüksek ısı dayanımını sağlamak amacı ile kullanılırlar. Uygun kabloyu seçmek, istenen ve tolerans gösterilebilen özellikler arasında bir çeşit denge sağlamaktır. Örneğin, mika 450C ° sıcaklıklarda çok rahat çalışabilirken uzun metrajlarda eğilme bükülme gibi zorlamalara dayanıklı değildir. Bu gibi ortamlarda mika kullanıldığı takdirde, malzemenin yüksek ısıdaki kırılmalık özelliğinden dolayı başarı sağlanamaz. Başka bir alternatif olarak PTFE ve üzerine fiberglas katmanı sayılabilir. Bu tipte bir kablo, yeteri kadar elastik olmakla beraber mikanın dayandığı sıcaklıklara dayanamaz. Böylece kullanım süresi fazla uzun olmaz.

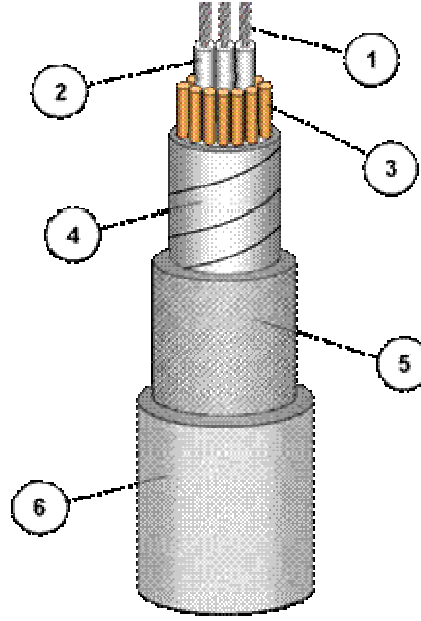
Mika malzemesinin üzerine fiberglas kaplama ve tekrar mika ve tekrar onların üzerine fiberglas kaplama yapıldığı takdirde, bu kabloda mikanın yüksek sıcaklık dayanımından yararlanılırken, katmanlı yapı ile de yeterli elastikiyet sağlanmış olur. Kablodaki tüm katmanlar birer zincir halkası gibi düşünülecek olursa kablonun dayanımı, zincirin en zayıf halkası tarafından belirlenir. Bu nedenle, kablo üretiminde kullanılan her malzemenin özelliği ve birbiri ile uyumu çok önemlidir.

Yüksek ısı dayanımlı bir kablo için malzeme seçerken, normal koşullardaki kablolar için gerekli olan akım kapasitesi, voltaj dayanımı, izolasyonun dielektrik dayanımı gibi temel gereksinimlere ek olarak, her bir malzemenin özel çalışma ortamına uygun olarak tek tek dikkatle seçilmesi gerekir. Yüksek ısı dayanımlı kablo katmanlarında kullanılan malzemeler şekil-1'deki gibi gruplandırılabilir.

Kablo üretiminde kullanılan bazı izolasyon malzemeleri aşağıya çıkarılmıştır.

#### **3.4.1- Aramid:**

DuPont tarafından üretilen Aramid elyafı aromatik poliamidlerden oluşur. Aramidin iki versiyonu "Kevlar" ve "Nomex" olarak bilinir. Bu malzeme, çevresel ve termal stabilitesi ile yorulma ve darbe direncinin yüksekliği ile tanınır. Farklı şekillerde üretilen bu malzemelerden Nomex, bant olarak üretilir ve yüksek ısı kablolarında bağlayıcı bant olarak kullanılır. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: Nomex : 220°C; Kevlar: 180°C.



Katman	Malzeme
1	Çalışma sıcaklığına bağlı olarak kalay – nikel kaplı bakır veya saf nikel iletken.
2	Birincil izolasyon kademesi, silikon, teflon veya mika.
3	Birincil izolasyon koruyucusu olarak genellikle örgülü ve sınıflama için gerekli renk kodu bulunan cam elyaf.
4	Özellikle ısı ve alev koruma engeli gerektiren koşullarda bağlayıcı bant olarak, mikalı kompozit bant.
5	Nem ve kimyasal akışkana karşı korunma gerektiğinde genellikle teflon.
6	Dış koruyucu ceket olarak cam elyaf veya aramid (Kevlar) tipi malzeme. Gerektiğinde bunun dışına da metalik örgülü zırh kullanılabilir.

Şekil-1 Yüksek ısı dayanımlı kablo katmanları ve katmanlarda kullanılan malzemeler

#### 3.4.2- Klorosülfonathı Polietilen:

Ticari adı olan “Hypalon” olarak bilinir. Birçok ametalik malzemeye zararveren ozona karşı direnç gösterir. Ayrıca, atmosferik koşullara, ısıya, aleve, oksitleyici kimyasallara karşı dayanıklıdır. Mekanik özellikleri ve çekme dayanımı yüksek, yorulma ve aşınma direnci yüksek, nem çekme özelliği de düşüktür. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 160°C

#### 3.4.3- Kross Link Polietilen:

Bu tip izolasyon malzemeleri genellikle ekonomik termoset olarak kullanılırlar. Kimyasal direnci çok yüksektir, sürtünme katsayısı düşüktür. Nem çekme özelliği hemen hemen sıfırdır. Kullanımı kolaydır. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 125 – 150°C



#### **3.4.4- Floropolimerler:**

Florokarbon sınıfında olduğundan, tüm organik solventlere, reaktif organik ve inorganik bileşiklere karşı dirençlidir. Kablo üretiminde genellikle Polytetrafluorethylene (PTFE), Fluorinated Ethylene Propylene (FEP) ve Perfluoroalkoxy (PFA) tipleri kullanılır. PTFE'nin uzunluğu fazla kablolar için ekstrüzyonunun zorluğu nedeniyle bant olarak veya sıvı halde camelyaf örgülerinin emprenye edilmesi ile kullanılır. Bu malzemeler DuPont'un patentli adı olan "Teflon" olarak bilinirler. Maksimum sürekli çalışma sıcaklıkları: FEP: 200°C (UL) - 180°C (CSA); PFA: 250°C; PTFE: 250°C

#### **3.4.5- Mika:**

Mika bandı, mika mineralinin laminasyonu ve ısıya dayanıklı rezinlerle bağlanması ile üretilir. Dielektrik direnci yüksektir ve uzun süre yüksek sıcaklığa karşı dayanıklıdır. Kırılgenliği nedeniyle kabloların ikincil izolasyonu olarak örgü, ceket veya kılıf olarak kullanılır. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 1000°C

#### **3.4.6- Neopren:**

Geniş sentetik kauçuk ailesinin genel adıdır. Yağ, ozon ve oksidasyon direnci yüksektir. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 150°C

#### **3.4.7- Polyester:**

Polyester bantları genellikle ikincil izolasyonda ilave dayanım sağlamak amacıyla kullanılırlar. Mylar olarak ta anılmaktadır. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 177°C

#### **3.4.8- Poliimidler:**

Polimerler içerisinde en yüksek sıcaklık dayancına sahip bir malzemedir. Kapton olarak ta adlandırılan sert poliimid filmi darbeye, oksidasyona, atmosferik koşullara ve kuvvetli bazlar dışındaki kimyasallara karşı dayanıklıdır. Kablo uygulamalarında -269°C ile 400°C aralığında kullanılabilir. Günümüzde, uzun süreli çalışma sıcaklığı olarak maksimum 250°C ve kısa süreli ekstrem sıcaklıklara maruz kalınan ortamlar için üretilen kablolarda kullanılmaktadır. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 250°C

#### **3.4.9- Polivinil Klorür (PVC):**

PVC, aşınma direnci yüksek bir malzemedir. Katı olmayan karışımlar elde edilerek haberleşme kabloları ile düşük güç ve gerilim gerektiren bina içi enerji kablolarında kullanılır. Ucuz ve izolasyon kalınlığı düşük olduğu için daha az yer kaplayan bir çözümdür. 105°C sıcaklığın altındaki ortamlarda kullanılır. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 105°C

#### **3.4.10- Silikon Kauçuk:**

Silikon, çok yüksek esnekliği, neme, ısıya, kimyasallara ve atmosferik koşullara dayanımı olan bir malzemedir. Dielektrik dayanımı çok yüksektir. Akım kaçaklarına, neme karşı dayanıklıdır. 250°C'de ısıl kararlılığı yüksektir. Silikon izolasyonun dış kısmına cam elyaf örgü yapılarak kablonun kopma ve aşınma dayancı artırılır ve mekanik sertlik kazandırılır. Cam elyaf kullanılmadan üretilen kabloların uç kısımları kolay ve problemsiz olarak sıyrılır. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 250°C

#### **3.4.11- Termoplastik Kauçuk (TPR):**

Termoplastik kauçukların özellikleri, yüksek aşınma dayancı dışında vulkanize termoset kauçuklara benzer. Termoplastik malzemeler gibi ekstrüzyon yolu ile kablo üretimi yapılabilir. Diğer tüm kauçuklarda olduğu gibi yağlar, ozon, kimyasallar ve diğer çevresel etkenlere karşı dirençlidir. Su emme özelliği çok düşük olup, elektriksel özellikleri kablo

üretimine uygundur. Çok esnek bir malzeme olduğu için kullanımı kolaydır. Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı: 125°C

#### **4- Çalışma ortamına uygunluk**

Elektrik ve sıcaklık dayanımı yönüyle kablo ve izolasyon malzemesi seçimi yapıldıktan sonra, özel çevresel koşullara uyan kablo dizaynı yapma aşamasına gelinir. En önemli olan çevresel koşullar seçilerek bunlara uygun seçim yapılmaya çalışılır. Enerji iletimi için öncelikle bakır düşünülür. Ancak özellikle 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bakır hızla oksitlenir. Bu nedenle de, yüksek sıcaklıklarda oksidasyona dayanıklı metal olan nikel ile kaplanmış bakır tercih edilir.

İletkende hesaba katılması gereken ikinci husus ta uygun akım taşıma kapasitesinin belirlenmesidir. Akım taşıma kapasitesini belirlemede aşağıdaki konu başlıkları anahtar olarak kullanılır:

İletken boyutu ve malzemesi: İletken olarak kullanılan malzemenin özgül ohmik direnci ve iletkenin kesit alanı, akım taşıma kapasitesinin birinci derecede önemli kriterleridir. Özgül direnci yüksek olan iletkenin akım kapasitesi daha yüksek, kesit alanı daha yüksek olan iletkenin de akım taşıma kapasitesi daha yüksektir.

Amperaj: Akım artırıldıkça, iletkenin ohmik direnci ile orantılı olarak ısı açığa çıkar. Örneğin 30°C ortam sıcaklığında 1,29mm çapında mono bakır telin 19 amperlik akım geçirmesi sırasında sıcaklığı 80°C'ye çıkar. Aynı tele 22 amper uygulandığında sıcaklık 90°C'ye çıkar.

Ortam sıcaklığı: Akım kapasitesinin hesaplanmasında dikkate alınacak diğer bir parametre de, iletkenin bulunduğu ortamın sıcaklığıdır. Telde açığa çıkan ısıyı, teli çevreleyen havanın absorbe etmesi gerekir. Bu nedenle düşük ortam sıcaklığı yüksek akım kapasitesi sağlar.

İzolasyon tipi: İzolasyon malzemesinin ısıl geçirgenliği de akım kapasitesini etkileyen bir diğer faktördür.

Çalışma ortamına göre seçilmesi gereken bir başka iletken özelliği de, iletkenin tek telli veya çok telli ve bükülmüş olmasıdır. Çok telden belirli bir geometride bükülen tellerin tercih edilmesinin nedeni, tek tele oranla daha esnek yapıya sahip olması, tesisat çekiminde kolaylık sağlaması ve vibrasyona karşı direncinin yüksek olmasıdır.

#### **5- YÜKSEK ISI DAYANIMLI KABLOLARDA UYGULANAN STANDARTLAR**

Kablo üretimi ve seçimi yapılırken bazı standart koşulların yerine getirilmesi gerekir. Bu koşullar özellikle sigorta şirketlerinin ülke yasalarına uygun hale getirilmiş olan versiyonları ile tanımlanır. Yüksek ısı dayanımlı kablolar için en önemli standartlar UL (Underwriters Laboratories) ve CSA (The Canadian Standards Association) standartlarıdır.

UL: Yüksek ısı dayanımlı kablo kullanıcıları, satın alma sırasında kablonun UL standartlarına uygun olup olmadığına bakarlar. Böyle bir kablonun üretiminde kullanılacak olan izolasyon malzemelerinin UL standardındaki uygun malzemeler listesinde bulunmasına dikkat edilmelidir.

CSA: Bu standart, UL'nin Kanada'ya uyarlanmış halidir. CSA standardı bazı izolasyon malzemelerinde UL'ye göre daha katıdır. CSA'ya göre seçilebilen malzemeler daha yüksek

fiyatlı olduğu için üretilen kablo maliyeti de yüksek olur. Bu nedenle CSA standardına uygunluk sadece gerektiğinde aranmalıdır.

Military Specifications: Kısaca “Mil Specs” olarak adlandırılan bu standartta genellikle askeri amaçlı yüksek ısı dayanımlı kablolar için koşullar bulunur. MIL-16878/11, Type K ve MIL-16878/12, Type KK standartları yüksek ısı dayanımlı kabloları kapsayanlardır. MIL-W-22759/41 ve 42’de yüksek ısı dayanımlı kablolar için referans alınabilecek diğer maddelerdir.

ICS: “American Gas Association (AGA)”nın yeni adı olan bu standartta gaz yakıtlı ortamlarda kullanılacak olan yüksek ısı dayanımlı kablolar için istenen koşullar belirtilmiştir. Örneğin gaz ateşleme kablosu için özellikler SGI-250’de tanımlanmıştır.

ASTM (American Society for Testing and Materials): ASTM standartlarında, iletken metaller ve izolasyon malzemeleri ile çeşitli test yöntemlerine yönelik maddeler mevcuttur. Örneğin, yüksek ısı dayanımlı kablolarda kullanılan nikel kaplı bakır teller ASTM B 355’te tanımlanmıştır.

NEMA (National Electrical Manufacturers Association): NEMA, ABD’nin yaklaşık 500 adet ticari elektrik malzemesi üreticilerinin oluşturduğu en büyük gruptan biridir. NEMA standardı UL ve CSA’nın birleşimi sayılabilecek bir standarttır ancak her ikisinin de yerine geçmez.

## **6- SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

Yüksek ısı dayanımlı kablolar hakkında verilen bu bilgiler, özellikle kablo sektöründe konu ile ilgili yeterli bilgi olmadığı düşüncesi ile hazırlanmıştır. Verilen bilgiler tek başına kablo üretim prosesinin tüm detaylarını kapsamasa da, başlangıç için önemli bir adım olacağı düşünülmektedir.

## **7- YARARLANILAN KAYNAKLAR**

- 1- Copper Wire Production IWMA text book
- 2- AESF SUR/FIN 2000 – 2001 – 2002 – 2003 Proceedings
- 2- [www.radix-wire.com/guide/index.html](http://www.radix-wire.com/guide/index.html)
- 4- [www.elproman.se/eng/produkter/kabel/varm.html](http://www.elproman.se/eng/produkter/kabel/varm.html)
- 5- [www.tefkot.com](http://www.tefkot.com)
- 6- [www.cambion.co.uk/Main/Material\\_Specs.htm](http://www.cambion.co.uk/Main/Material_Specs.htm)
- 7- [caltechplating.com/Approvals.htm](http://caltechplating.com/Approvals.htm)
- 8- [www.wirenet.org/technical/abstract/Abs\\_Detail.cfm?ID=1355](http://www.wirenet.org/technical/abstract/Abs_Detail.cfm?ID=1355)