

# Plastik İzoleli Sodyum Kablo

Yazan:  
LJE. Humphrey ve  
Arkadaşları (\*\*)

Çeviren:  
Cemâl Pamucak  
Devlet Yatırım Bankası

ö z e t :

*Elektrik enerji endüstrisinde 19. asrın başındanberi standart iletgen olraak kullanılmakta olan bakır, son samanlarda alüminyum rekabetine rağmen birinci sıradaki yerini muhafaza edebilmiştir, imalâtı geliştirilmekte olan sodyum kabloların yakın gelecekte bakırın yerini alacağı tahmin edilmektedir.*

Elektrik enerjisini taşıma ve dağıtımında kullanılmakta olan bakır ve alüminyum kablolar rakip olarak, ekonomik bakımdan- avantajları haiz olan, plastik izoleli sodyum iletgenler geliştirilmektedir. Bu kablolar hafif ve fleksibl oldukları için yer altına döşenmeleri, enerji hatlarında çekilmeleri ve standart kablo sanayiinde kullanılan makinalar ile imâl edilmeleri kolaylıkla mümkün olmaktadır. Tecrübeler sodyum kablolarının sağlam ,dayanıklı ve uzun ömürlü olacağını göstermektedir. Sodyumun elektrik iletgenliği bakır ve alüminyumdan hemen sonra gelmekte ve normal dış tesirler altında 40 yıllık bir teknik ömüre malikolacağı anlaşılmış bulunmaktadır.

Tarihçe:

Sodyumun elektrik kablosu olarak kullanılması fikri oldukça yeni olmakla beraber bu husustaki ilk araştırmalara daha 1901 yılında başlanmış ve bu maksatla İsviçre'de bir patent alınmıştı. Fransız A.G. Betts metaldeki elverişli ekonomik özellikleri göreyerek 1906 tarihinde Fransada ve Amerikada patent hakkı tesis etmişti. 1927 de Amerikada Dow ve Boundy isim-

lerinde iki teknisyen, sodyumu çelik borular içersine koyarak kablolar imal ettiler ve tecrübeler yaptılar. 10 cm. çapında, 6 metre boyunda çelik borular içersine sodyum doldurularak 260 metre uzunluğunda bir hat yapıldı. Bu izolesiz kablo Dow'un fabrikasında 500 - 400 amper doğru akım naklinde takriben on yıl kadar kullanıldı.

1941 yılında Fransız M.S. Cantacuzene, kurşun kılıflı ve onun üzerinde yağlı kâğıt sarılmış olarak ,izole sodyum kablo yapılması teklifini öne sürdü. 1955'te Hollandalı elektrik mühendisi. T. De Koning, sodyum kabloun imali, kullanılışı ve özelliklerini izah eden ve tamamile teoriye dayanan bir kitap yazdı. De Koning sodyumun üzerine yağ emprenye edilmiş bir kâğıt tabaka ile onun dışında kurşun' veya plâstik bir izole bulunacak şekilde kablo imalini teklif ediyordu. Kablo uç ve eklerinin bağlantı şekilleri kitabında tasvir ve izah edilmişti. Asıl en önemli husus, kısa devre anında, bakır ve alüminyuma nazaran, sodyumun haiz olduğu harareti ettirmek hassasının araştırılmış ve bulunmuş olması idi.

1 — Muhtelif Elektrik iletgenlerinin Mukaye-sesi

Metal	(A) öz Direnç Mikro Om-cm 20° C	(B) özgül Ağırlık 20" C	A x B Faktör	Fiat (*) Dolar /kg	Faktör A x B x C	Eglt Akım Taşıma Kapasitesine Göre fiat Muka- yesesi
Bakır	1,72	8,89	15,30	0,80	5,51	6,8
Alüminyum	2,83	2,70	7,64	0,54	1,87	2,3
Sodyum	4,88	0,97	4,74	0,38	0,81	1,0

(\*) Mart 1966 Pazar fiatları

(\*) Bu yazı Amerikan IEEE Spectrum Dergisinin Vol 3, No. 11, Kasım 1966 sayısından kısaltılarak çevrilmiştir.

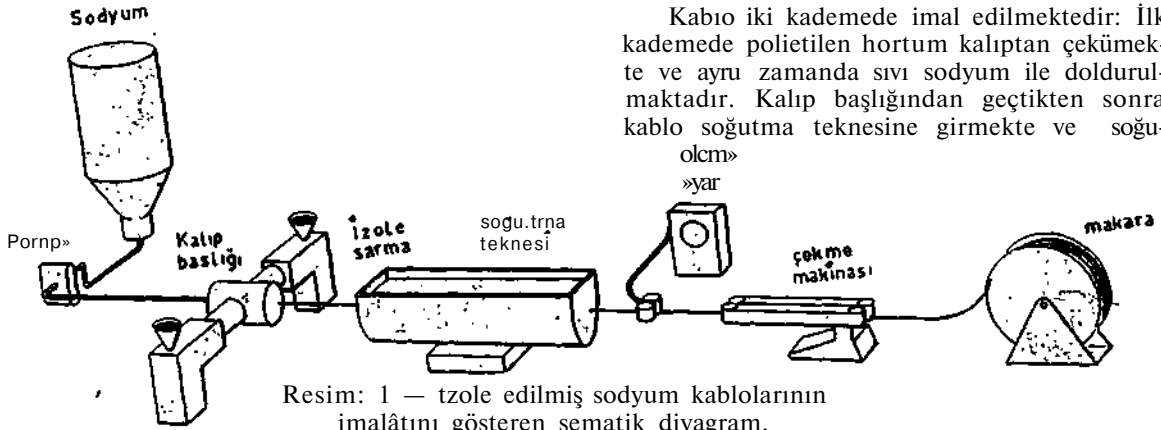
(\*\*) Yazanlar: L E Humphrey, R C Hess, G L Ad-

dis (Union Carbide Corporation) A. E. Ruprecht, P. H Ware (Simplex Wire and Cable Company) E J. Steeve, J A. Schneider (Commonwealth Edison ompany) IF Matthyse, EM. Scoran (Burndy Corporation).

Böylece, geçen 65 yıl zarfında, sodyumun önemli ekonomik vasıfları ve fiziksel özellikleri bulunmuş ve anlaşılmış oldu. 1 kg sodyum 3,25 kg bakırın taşıyabileceği elektrik akımını iletir. Tablo I'de sodyum, elektrik iletgeni olarak bakır ve alüminyum ile mukayese edilmiştir. Sodyumun öz direnci bakıra nazaran 2,8 defa fazla olmakla beraber, özgül ağırlığı bakırın dokuzda biri, birim fiatı da bakırın yarısı kadardır. Böylece, muhayyer bir akım taşıma kapasitesi bakımından, sodyuma nazaran bakır 6,8 defa, alüminyum ise 2,3 defa daha pahalı olmaktadır.

#### Yeni Gelişmeler:

Sodyum tabiatta bol bulunmakta, mevcudiyet bakımından arzın kabuğundaki elementler arasında altıncı sırayı işgal etmektedir. Sodyum klorür (tuz)un elektroliz usulü ile ay-



Resim: 1 — İzole edilmiş sodyum kablolarının imalatını gösteren şematik diyagram.

maktadır (Resim. 1). Bilâhare gerekli tertibat ve uygun kalıplar yardımı ile izolasyon kalınlığı ve iletgen çapı ayarlanmaktadır. Kablo hafif ve fleksibl olduğu için çekme ve makaralara sarma işlerinde kullanılan makineler ve mekanik teçhizat basit yapıdadır.

İmâlatın ikinci kademesinde kablonun üzerine ikinci bir yarı izolan tabaka geçirilmektedir. İzolasyonda kullanılan polietilen enerji kablolarında kullanılan düşük yoğunlukta bir bileşiktir. Sodyum umumiyetle yüzde 99,95 oranında saftır.

#### Deney Sonuçları:

önceleri, sodyumdan yapılacak kabloların hafif ve fleksibi olacakları malûm olmakla beraber, diğer kablolarda bulunan nitelikleri ve teknik özellikleri haiz olup olmayacaktan bilinmiyordu. Union Carbide Lâbratuvarlarında, basit fakat ihtiyacı karşılayacak kablo ek ve uç parçaları imal edilerek bu kablolar üzerinde

deneylerden eleman olarak istihsal edilmektedir. Diğer alkalilerle mukayese edildiğinde, litium, ve kalsiyumun üretilmelerinin sodyuma nazaran daha pahalı olduğu ve elektrik iletimi bakımından fiziksel özelliklerinin elverişli olmadıkları görülür.

Sodyumun elektrik iletgeni olarak üstün vasıflarını takdir eden Amerikadaki Union Carbide Firması mühendisleri plastik izoleli sodyum kablosu imal etmek fikrini tatbik sahasına koydular. Polietilenin rutubete ve hava tesirlerine karşı dayanıklı, sağlam ve izolasyon olarak üstün vasıfları olduğu görüldü. Sodyum kabloların eklerinin yapılması ve uç bağlantıları için özel teçhizat yapıldı ve geliştirildi. Böylece, ilk defa olarak, elektrik enerji endüstrisinde kullanılacak ucuz ve kullanışlı sodyum kablosu imal edilmiş oldu.

#### İmal Şekli ve Malzeme:

Kablo iki kademe imal edilmektedir: İlk kademe polietilen hortum kalıptan çekmekte ve ayrı zamanda sıvı sodyum ile doldurulmaktadır. Kalıp başlığından geçtikten sonra kablo soğutma teknesine girmekte ve soğ-

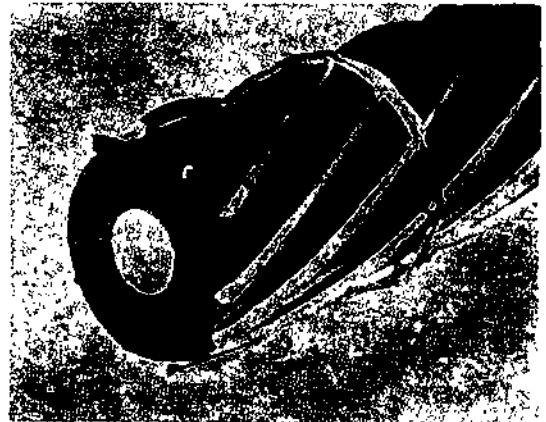
olm

»yar

»yar

muhtelif deneyler yapıldı. Aşağıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere deneylerden gayet olumlu sonuçlar alınmış bulunmaktadır.

Deneylerde 15 KV a kadar muhtelif, izolasyon seviyelerinde kablolar kullanılmıştır. (Re-



Resim: 2 — 15 KVluk yeraltı dağıtım kablosunun kesiti. Sodyum iletgeninin çapı 12,7 mm, polietilen kılıfın kalınlığı 5,6 mm dir.

sim. 2) de, bir mahallî dağıtım şebekesi için imal edilmiş, 15 KV'luk yeraltı kablosu gösterilmiştir. Buradaki sodyumun akım taşıma kapasitesi No: 4 AWG (21,2 mm<sup>2</sup>) bakır kablounkine eşittir. Aralıklı örgü şeklindeki bakır tellerin toplam kesiti de No 4 AWG olarak imal edilmiştir.



**Resim: 3 — 12,7 mm kalınlığında polietilen kılıflı, üç iletgenli 5 KV'luk kablo. Sodyum iletgenler üçgen şeklinde tertip edilmek üzere ve paralel olarak, oluklu saç muhafaza içerisinde yerleştirilmiştir.**

(Resim. 3). deki kablo No. 1 AWG (42,4 mm<sup>2</sup>) kesitinde tipik bir dağıtım kablosudur. Bu, doğrudan doğruya yeraltına döşenebildiği gibi bir askı teli vasıtasıyla havai kablo olarak da kullanılabilir.

Bilindiği üzere bakır ve alüminyum kablolar örgülü tellerden, heliks şeklinde bükülerek imâl edilirler. Bu suretle kablolar esneklik sağlanmaktadır. Böyle yapılmazsa, makaralara sarıldığında yahut ufak çaplı bükülmelerde kablolar deforme olurlar. İki tane üç iletgenli kablo, biri (Resim. 3) deki gibi saç muhafazalı, diğeri kılavuz telsiz havai hat olarak çekilerek deneylere tabi tutulmuşlardır. Sodyumun elastik olması dolayısıyla heliks şeklinde bükülmeye lüzum olmadığı, kabloların deformasyona tabi olmadan kolaylıkla tamburlara şanlabildiği, ufak çaplı kavisler yapılabildiği müşahade edilmiştir.

Laboratuvarlarda sodyum kabloların montaj ve işletme esnasında maruz kalacakları mekanik zorlamalara karşı sağlamlık dereceleri tayin edilmiştir. Dış çapı 1 inch olan 15 KV'luk bir yeraltı kablosunun normal sıcaklıktaki uzama ve esneklik ölçüleri Tablo II'de gösterilmiştir. 20° C de esneklik sınırı 3100 newton (yaklaşık 317 kg kuvvet) olmakla beraber, 75 - 90° C de ani olarak azalmaktadır. Mamafih, polietilenin hararete karşı mukavemetini arttırmak su-

retiyile, kabloların esneklik sınırının düşmesi onlenmektedir.

Sodyum kabloların kullanılışa vasıflardan biri de fazla çekildikleri zaman kopmadan uzayabilmeleri ve serbest bırakıldıklarında tekrar ilk uzunluklarına dönebilmeleri keyfiyetidir. Tablo II'de görüleceği üzere kablo önce normal uzunluğunun % 125 ini alıncaya kadar gerilmekte, sonra serbest bırakılmaktadır. Bu kablo bir dakika içinde ilk uzunluğunun % 105 ine, beş dakikada % 102,5 na, 30 dakika zarfında da ilk haline dönebilmektedir. Kablo aşırı derecede gerilerek serbest bırakıldığı zaman, aradan 24 saat geçmiş olmasına rağmen ilk haline dönmemektedir. İzole sodyum kabloların bu şekilde esnek olmaları tesisat esnasındaki işlemlerde kolaylıklar sağlar. Bakır kablolar aynı şekilde gerildikleri yahut çekildikleri zaman — 15 KV'luk Sodyum Yeraltı Kablosunun Esneklik ve Uzama Şuurları:

Normal uzunluğa nispetle % uzama	İlk duruma dönebilmesi için geçen zaman dakika	İlk duruma dönebilme oranı %
125	1	105
	5	102,5
170	J 30	100
	2	120
	J 1440 (24 Saat)	110

Normal uzunluk 100 alınmıştır.

mañ bu elastikiyeti göstermezler ve normal uzunluğa nazaran % 115 — 125 nispetinde uzamada koparlar.

Sodyumun belirli olan ve üstünlük arzeden diğer üç özelliği şunlardır:

1. Sertleşme karakteristiği göstermeden kolayca tabakalar haline gelebilir.

2. Polietilen izole kılıflar içerisinde, fazla derecede çekilebilir.

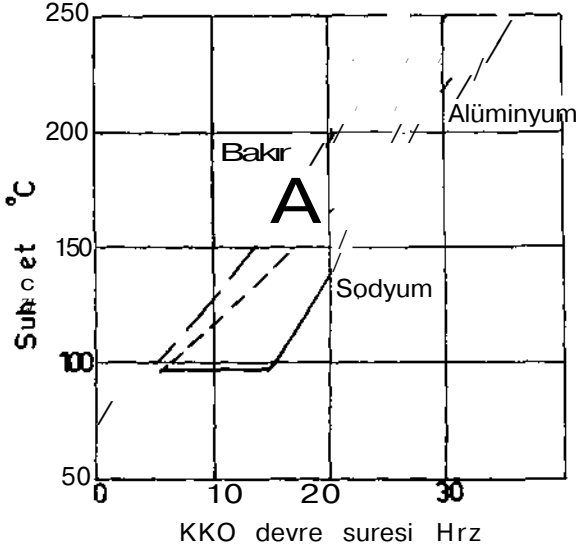
3. Eşdeğerdeki bakır kabloya nazaran daha fleksibl olup, daha çok bükülme kabiliyetini haizdir.

### Elektrik! Değerler:

#### Kısa Devre Karakteristikleri:

Kullanılmakta olan bakır ve alüminyum kablolarında, kısa devre halinde, anı olarak hararetin yükselmesi dolayısıyla izolasyon tah-

rip olmaktadır. Sodyum kablolarında, sodyum iletgen polietilen izole kılıfa nazaran daha alçak sühunette erimekte. Erime olayı süresince sodyumun sühuneti sabit kalmakta ve ısıyı absorbe etmektedir. Tamamen sıvı hale geçince, ergime ısısını almış olduğundan, kısa devre tesiriyle sühunet yükselmekte devam eder. Bu füzyon olayı dolayısıyla, sühunetin zamana göre değişen karakteristik eğrisi, diğer iletgenlere kıyasla farklıdır (Şekil. 4). Sodyum



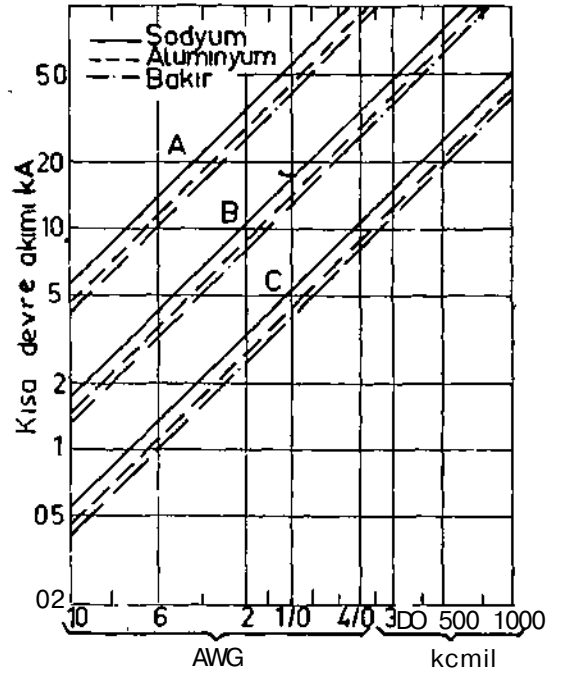
Şekil: 4 — 25°C de eşit dirençleri haiz olan sodyum, bakır ve alüminyum iletgenlerin kısa devre karakteristik eğrileri. Kısa devreden önce, sodyumdaki sıcaklık 75°C ve akım yoğunluğu 78,9 Amper/mm\* olarak alınmıştır.

iletgenin, 25°C de, eşit dirençleri haiz olan bakır ve alüminyuma nazaran daha yüksek kısa devre akım kapasitesine malik olduğu (Şekil. 5) de görülmektedir.

#### Korona Seviyesi:

Korona seviyesi (kablo yapısındaki iyonlaşma olayının durduğu voltaj seviyesi)nin voltaj basıncına nazaran yüksek olması keyfiyeti, kabloların kalitesinin takdirinde önemli bir ölçüdür. İyonlaşma, kablolarında izolasyonun bozulmasına, dolayısıyla arızalara sebep olur. İşletme voltajı seviyesinde iyonlaşma olmaz.

Aşağıda, yapılan deneylerle ilgili bir misal verilmiştir. 12 m uzunluğunda, 15 KV'luk bir sodyum yeraltı kablosu, çapı kablo çapının 7 katı kadar olan bir makaraya sarılmıştır. Kablo makaradan açılmak suretiyle ve ters yönde bükülerek tekrar makaraya sarılmıştır.



Eşdeğer bakır iletken kesiti

Şekil: 5 — Polietilen izoleli kabloların kısa devre akım kapasiteleri. Kısa devreden önceki sühunet 75°C, kabloların azami ısınma değeri 150°C dir.

Bu ameliyeye kabloya birbirinden ters yönde iki bükülme hasıl oluncaya kadar devam edilmiştir. Kabloya deneyden önceki ve bükülmeler meydana geldikten sonraki korona seviyesinin aynı, yani 26 KV, olduğu müşahede edilmiştir.

Korona seviyesinin tespit ve tayıni ile ilgili deneylerin sonuçlarına göre, 15 KV'a kadar olan polietilen izoleli sodyum kablolarında, çok sert bükülmelere karşı dahi herhangi bir muhafaza ve tedbire ihtiyaç olmadığı anlaşılmış bulunmaktadır.

#### Dielektrik Mukavemeti:

Polietilen izoleli 15 KV'luk sodyum yeraltı kablolarından muhtelif numuneler üzerinde 60-Hz alternatif akımla, muayyen zaman aralıklarıyla voltajı kademe kademe arttırarak, dielektrik mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Faz - toprak arasında 44 KV'dan başlayarak, beşer saniyelik fasıllarla ve her kademe voltajı takriben % 20 arttırmak suretiyle, izolasyonda delinme oluncaya kadar ameliyeye devam edilmiştir. Detaylı sonuçlar Tablo III.'de gösterilmiştir.

Deneylere tâbi tutulan sodyum kablolarının dielektrik mukavemetlerinin, aynı cins izolasyonu haiz olan bakır ve alüminyum kablolarına nispetle, ortalama olarak % 20 - 25 kadar daha yüksek olduğu görülmüştür.

### III — Polietilen İzoleli Sodyum Kablolarında A G Dielektrik Mukavemeti Deney Sonuçları

Kablonun Çapı mm.	İzolasyon Kalınlığı mm.	Delinme Voltajı KV	Ortalama Gerilim KV/mm
(5'er dakikalık aralıklarla)			
12,7	5,6	164	29,3
12,7	5,6	157	28,1
12,7	5,6	131	23,4
8,5	5,6	157	28,1
8,5	5,6	157	28,1
8,5	5,6	109	19,5
8,5	5,6	157	28,1
8,5	5,6	157	28,1
8,5	5,6	157	28,1
13,6	5,6	157	28,1
16,5	4,45	87	19,5
(24 Saatlik aralıklarla)			
8,5	5,6	109	19,5

### İmpuls Deneyleri:

1

1—x 40 mikro saniye standart dalga  
2

ile impuls deneyleri yapılmıştır. Başlama voltajı 95 KV alınmış, her kademedede voltaj 20 KV arttırılmak suretiyle üç negatif impulsa tâbi tutulmuştur. Sonuçlar Tablo IV. de gösterilmiştir. Kullanılmakta olan diğer kablolarla kıyasla elde edilen sonuçlar mükemmeldir:

### IV — Polietilen İzoleli Sodyum Kablolarında İmpuls Deneyleri

Kablonun Çapı mm	İzolasyon Kalınlığı mm	İmpuls Gerilimi KV/mm
8,5	5,6	85,0
8,5	5,6	92,5
16,5	4,45	91,4
13,6	5,6	85,0
8,5	5,6	110,0
12,7	5,6	78,7

### Dikkat Edilecek Husus:

Metalik sodyum suya karşı fazla reaktif olduğu için bu hususa her zaman dikkat edilmelidir. Sodyum oda sühnetinde suyla temas ederse, reaksiyon neticesinde sodyum hidroksit ve hidrojen hasil olur. Ekzoterm olan bu olay

dolayısıyla intişar eden ısı tesiriyle sodyum erir. Suya maruz kalan sodyumun yüzeyi fazla ise, reaksiyon hızlı (patlama şeklinde) olur.

Sodyum kablolarında polietilen mekanik sağlamlık ve elektriki izolasyonu sağlar. Diğer taraftan hava tesirlerine ve suya karşı iyi bir muhafaza teşkil eder. İzolasyonda bir delinme yahut hasar olmadıkça, sodyum kimyasal reaksiyonlara maruz kalmaz.

### Tatbikat Sonuçları:

Servisteki kullanılış derecelerini anlamak ve değerlendirmek maksadıyla, sodyum kabloları Commonwealth Edison Kumpanyasının Chicago tesislerinde kullanılmış ve denenmişlerdir. Kabloların yeraltına döşenmeleri sırasında, bu işte çalıştırılan ekip elemanlarına kablonun cinsi hakkında bilgi verilmemiş ve özel bir tertibat alınmamıştır. Bununla beraber tesisat tamamlandıktan sonra yapılmış olan tetkiklerde hasar ve arıza görülmemiştir.

Kullanılmış olan kablolar üzerinde periyodik yüklemeye (muhtelif akım kademelerinde) deneyleri, kısa devre ve arıza testleri olumlu sonuçlar vermiş bulunmaktadır.

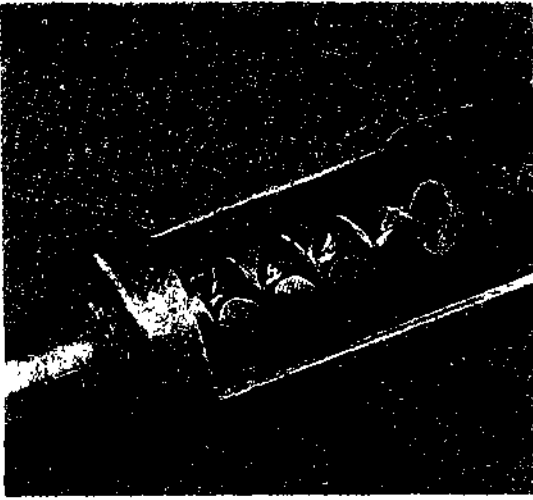
### Kablo Bağlantıları (Uç ve Ekler):

Sodyumun kimyasal bakımdan aktif bir metal olması ve fiziksel özellikleri dolayısıyla (Yumuşak olması gibi), kablo bağlantıları için özel tertibat yapılması icap etmektedir. İzole sodyum iletgenlerde bağlantının tam olabilmesi, izole tabakanın mekanik özelliklerine ve basınç hasil etmeden, bir alçak dirençli kontak yapılabilmesine bağlıdır.

İyi bir bağlantı yapılabilmesi için gerekli olan ölçüler ve şartlar şunlardır:

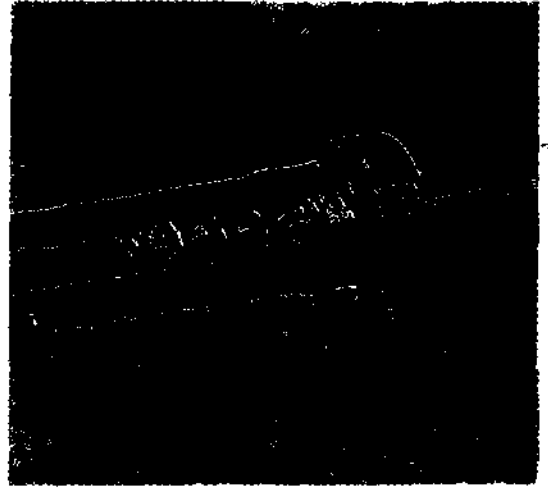
1. Sodyumun kısa bir müddet açıkta (İzolesiz) kalması,
2. İrtibatların sıkıca yapılması ve iyi izole edilmesi,
3. İzolasyonun üzerinde sıkı ve emniyetli olarak kavranması,
4. Sodyum iletgene alçak dirençli devamlı kontak sağlanması,
5. Çabuk ve basit bir enstalasyon tekniği,
6. Bağlantı tertibatının ekonomik olması.

Kablo bağlantıları için, yukarıda sıralanan nitelikleri haiz, basit yapıda ve «mantar burusu» şeklinde, kablo ek ve uçları yapılmıştır (Resim. 6). Bağlantı parçasının burusu sodyum iletgen içerisine girerek geniş bir yüzeyde kontak temin eder. Tüb şeklindeki madeni kısım da polietilen kılıfı sıkı sıkıya kavrar.



**Şekil: 6 — Kabloya takılan bir bağlantı parçasının enine kesiti,  
a) Burgunun sodyuma girmeden önceki durumu.**

Tesisat esnasında ek yahut uç bağlantısı yapılırken, sodyum kısa bir süre hava tesirine maruz kalmaktadır. Fakat dikkat edildiği takdirde bunda bir tehlike yoktur. Kablo özel bir destere ile kolayca kesilebilir. Bilâhare resimde görülen bağlantı parçası derhal kabloya geçirilir. Destere yüzeyinde kalmış sodyum pasçacıkları, varsa, nemli kâğıt parçası yahut bezle silinmelidir. Bağlantı parçası mantar burgusu gibi döndürülerek kabloya sokuulr.



**Şekil: 6  
b) Bağlantı -parçasının yerine ta-kılmış durumu.**

Mukavemet artınca bağlantı parçasının yerine oturmuş olduğu anlaşılır. Sonra izole kılıf üzerine geçmiş olan tub şeklindeki madeni kısım sıkılarak (boğumlar yapılarak) mekanik sağlamlık ve iyi bir izolasyon temin edilmiş olur.

Yapılışının basit olması, entalasyon tekniğindeki kolaylık ve maliyetinin ucuzluğu sebebiyle bu bağlantı parçaları kullanışlı ve uygun bulunmuşlardır.

## ÜYELERİMİZİN DİKKATİNE

*Elektrik Mühendisliği Kuvvetli Akım Tekniği El Kitabından her üyemiz 25.— TL. fiatla bir defa abna hakkına sahiptir. ikinci defa isteklerinde 40.— TL. ödemeleri gereklidir.*

**YÖNETİM KURULU**