

ALÜMİNYUM İLETKENLİ HAVAI VE YERALTI KABLOLARININ TEKNİK VE EKONOMİK BAKIMDAN İNCELENMESİ

Nusret ALPERÖZ

Y. Elektrik Müh.

İ.T.Ü. El. F. Emeldi Öğr. Görevlisi

ÖZET:

Kırsal bölgelerde veya çok yoğun olmayan şehir bölgelerinde, alçak gerilim şebekelerinde alüminyum iletkenler yerine, askı telli ve plastik yalıtımlı havai kabloların kullanılması işletme güvenliğini arttırmakta ve tesis giderlerini % 22'ye kadar azaltmaktadır.

Şehir şebekelerinde ise, bakır iletkenli yeraltı kabloları yerine alüminyum iletkenli yeraltı kablolarının kullanılması, kablo giderlerini kesite göre % 15 ila % 30 kadar azaltmaktadır.

Elektrik şebekelerinin tesisinde tercihler bu ekonomik sonuçlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Mühendisliğin, teknik sorunları en ekonomik bir şekilde çözme ilkesi, Ülkemiz gibi nüfus artışının fazla, buna karşılık olanakların kısıtlı olduğu ülkelerde daha da önem kazanmaktadır.

Bu görüşe önem verdiğimiz takdirde, üzerine eğilmemiz gereken konulardan biri de, elektrik şebekelerinde alüminyum iletkenli kabloların kullanılmasıdır.

Kırsal bölgelerde veya çok yoğun olmayan şehir bölgelerinde alçak gerilim şebekelerinde, alüminyum iletken ve polietilen yalıtımlı havai kablolar, çıplak iletkenli hatlara nazaran daha büyük bir işletme güvenliği sağladığı gibi, ilk tesis ve işletme giderlerini de azaltmaktadır. Bunlarda :

- Dış etkilerle meydana gelen arızalar azalmakta, faz iletkenleri yalıtılmış olduğundan, can güvenliği artmakta ve aynı nedenle elektrik çalmaları da azalmaktadır. Özellikle gecekondu bölgelerinde fazla olan elektrik çalma olasılığını önemli derecede azalttığı deneyle sabit olmuştur.
- İletkenler birbirilerine yakın olduğundan, hattın reaktansı ve dolayısıyla gerilim düşümleri ve reaktif güç kayıpları azalmaktadır.
- Direk boylan Ver metre kısaldığından, travers ve izolatörlere gerek kalmadığından ve ayrıca direk ve iletken montajı ile ilgili giderler azaldığından, hattın maliyeti bir fazlı hatlarda % 9,4, üç fazlı hatlarda % 22 kadar azalmaktadır.

- Yalnız, bunların yüklenebilme akımları çıplak iletkenli hatlara nazaran yaklaşık % 40 kadar daha azdır. PE yalıtkanın 65°C'a kadar ısınmasına müsaade edildiğinden, 35°C'lık rüzgarsız bir ortamda ortam üstü 30°C ısınmalarına müsaade edilmektedir.

Ancak alçak gerilim şebekelerinde en büyük yükler genellikle ortam sıcaklığının düşük olduğu akşam saatlerinde meydana geldiğinden ve esasen çıplak iletkenli hatlar da gerilim düşümü bakımından her zaman tam yük akımları ile yüklenemediklerinden, bu önemli bir sakınca teşkil etmemektedir. Bununla beraber, bunlarda gerilim düşümüne göre bulunan kesitlerin ısınmaya göre kontrolü ihmal edilmemelidir.

Yeraltı kablolarına gelince, ülkemizde halen genellikle bakır iletkenli yeraltı kabloları kullanılmaktadır. Oysa alüminyum iletkenli yeraltı kablolarının kullanılmasıyla önemli tasarruflar sağlanması mümkündür. Bu konudaki karşılaştırmalara geçmeden evvel bakır ve alüminyumun elektrik sanayiinde kullanılmasının tarihi gelişimini ve bazı özelliklerini kısaca gözden geçirmekte fayda vardır.

Bakır M.O. 4500 tarihinden beri kullanılmaktadır. 19.uncu yüzyıldan sonra elektrik endüstrisinin doğması ile kullanma alanı ve üretimi çok artmıştır. 150 sene öncesinde yıllık üretim 18.000 ton iken, günümüzde 4.000.000 tona ulaşmıştır. Başlıca Amerika, Kanada, Kuzey Rodezya ve Belçika Kongosunda üretilmektedir. Rafinasyon genellikle madenin yakınında kurulan tesislerde elektroliz yoluyla yapılmaktadır.

Bakırın elektrik endüstrisinde kullanılmasının başlıca nedeni elektriksel iletkenliğinin yüksek olmasıdır.

Bakır, yeryüzünde alüminyuma nazaran daha az bulunan bir metaldir. Gün geçtikçe üretimi azalmakta, bu da fiyatının artmasına neden olmaktadır. Fiyatı sık olarak dalgalanmakta, buna karşılık alüminyum fiyatları daha istikrarlı bir değişim göstermektedir. İkinci Dünya Savaşı sonrasında bakır fiyatları artarak alüminyum fiyatını geçmiş, özellikle 1956-58 yıllarında bakır, alüminyuma nazaran çok pahalı bir maden haline gelmiştir. Bakır, üstünlüğünü 1955 senesine kadar koruyabilmiş, bu tarihten sonra yıllık alüminyum üretimi bakır üretimini geçmiş ve bakırın yıllık üretim artışı % 3 iken alüminyumunki % 10 olmuştur.

Alüminyum yeryüzünde en çok mevcut olan metallere biridir, ilk olarak 1827 yılında arıtılıp, 1855 yılında Paris sergisinde halka gösterilmiştir. Serbest halde bulunmaz. Fakat bileşikleri bütün kayalarda, bitki ve hayvanlarda vardır. Dünya dış kabuğunun yaklaşık, hacim olarak % 15'i, ağırlık olarak % 8'i alüminyum oksittir.

Oksijene karşı olan ilgisi dolayısıyla diğer metallere elde edilmesindeki metotlarla serbest hale getirilemez. Elektroliz yoluyla elde edilebilir. Asitlerden kolayca etkile-

nen bir madendir. Oksijen ile birleşme kabiliyeti yüksektir. 1900 senelerinde 7.000 ton olan üretim 1956'da 3.000.000 ton'a ulaşmıştır. Alüminyum ticari alanda yalnız elementin kendisi anlamına gelmemekte, 200'den fazla alaşım ailesini de temsil etmektedir. Dünyadaki rezerv bolluğu, her alanda kullanma isteğini artırmakta, ayrıca hafif ve dekoratif oluşu tercih edilmesine neden olmaktadır. Elektrik endüstrisinde ekonomik nedenlerle bakırın yerini almaktadır.

Alüminyum'un fiyatında rol oynayan faktör, rafinasyon tesislerinin çok pahalı oluşudur. Yani bakırdakinin tersi-ne hammadde bol, fakat arıtma işlemi pahalıdır.

Alüminyum serbest halde bulunduğu zaman gayet sert bir oksit tabakası ile örtülmektedir. Bu oksit tabakası erime noktasına kadar sertliğini muhafaza etmekte ve oksidasyonun ilerlemesine engel olmaktadır. Bakırda ise oluşan oksit tabakası tam bir koruma yapamamakta, zamanla oksit tabakasının kalınlığı artmakta ve metal devamlı kayba uğramaktadır. Buna mukabil bakır oksitleri iletken, alüminyum oksit ile yalıtkan bir maddedir. Bu nedenle ek yapılırken alüminyum oksit temas yüzeylerinden uzaklaştırılmalıdır.

Alüminyum iletkenlerin diğer yararlı bir yanı da ark oluşumunda meydana gelebilen ve cihazlar üzerine çöke-bilen yanma ürünlerinin, elektriksel bakımdan yalıtkan alüminyum oksit olmasıdır. Bakır iletkenler halinde bu çökeltiler iletkenlerdir. Bu da cihazların ıslahını ve yeniden kullanılabilir hale getirilmesini zorlaştırır.

Bakır ve alüminyumun iletkenlikleri arasındaki oran $56/35 = 1,6$ olduğundan, aynı uzunlukta aynı direnci elde edebilmek için alüminyum iletkenin kesiti bakır iletkenin kesitinin 1,6 katı olmalıdır.

Buna göre, eşdeğer kesitteki alüminyum ve bakır iletkenli kabloların fiyatları, yüklenebilen akımları ve ağırlıkları ektteki cetvelde karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, daha çok şehir şebekelerinde kullanılan NAYFGbY ve NYFGbY tipi çelik zırlı kablolar kullanılmıştır. Cetvel-den görüldüğü üzere alüminyum iletkenli kablolar eşdeğer kesitteki bakır iletkenli kablolarla nazaran kesite göre % 15 ila % 30 kadar daha ucuzdur.

Alüminyum iletkenli kabloların diğer bir avantajı da ağırlıklarının azlığıdır. Gene ekli cetvelden görüleceği üzere Al. iletkenli kabloların ağırlığı özellikle büyük kesitlerde eşdeğer kesitli bakır iletkenli kablolarla nazaran kesite göre % 6 ila % 43 kadar daha azdır ki, bu da nakliye ve montajda kolaylık ve ucuzluk sağlar.

Alüminyum iletkenli kablolarla karşı yapılan itirazlar başlıca 3 noktada toplanmaktadır :

- Korozyona karşı dayanıklılığının azlığı,
- Ek yapılmasındaki zorluklar,

c) Kısa devreye dayanıklılığının azlığı.
Şimdi bunları sırayla gözden geçirelim :

a) Alüminyumun asitlerden kolayca etkilendiğine yukarıda işaret etmiştik. Ancak alüminyum iletken, dış etkilere karşı PVC yalıtkan ve çelik zırlı kablolarla ayrıca çelik zırlı ve bunun üzerindeki PVC dış kılıf tarafından korunmaktadır. Asitli ortamlar PVC üzerine etki etmezler. Yeraltında asitli ortam genellikle ancak kimya sanayiinin bazı kollarında vardır. Bu gibi yerlerde bakır iletkenli kablolar tercih edilmelidir. Ancak ortam asitli dahi olsa, yeraltı kablolarında meydana gelen bir arıza hemen farkedilip tamiri, cihe-tine gidileceğinden, bu kısa süre zarfından kabloda kayda değer bir korozyon ve tahribat meydana gelme-si söz konusu değildir.

b) Ek için, iletken uçları açılıp üzerindeki oksit tabakası ince çelik telli bir fırça veya zımpara kağıdı ile temizlendikten sonra, üzerine yeniden oksitlenmemesi için sarı macun sürülür ve sonra ek borusu veya kablo pa-bucu geçirilerek sıkma pensesi ile sıkılır. Kullanılan ek borusu veya kablo panuçlarının da iletken üzerine geçirilecek iç yüzeyleri oksitten arındırılmış ve sarı macun sürülmüş olarak hazırlanmalıdır. Böylece iyi bir geçiş direnci elde edilir ve ek yeri herhangi bir sorun yaratmaz.

c) VDE 0298'e göre PVC yalıtkanlı bakır veya alümin-yum iletkenli kabloların normal işlemede 70°C'a, kısa devrede ise 160°C'a kadar ısınmasına müsaade edil-mektedir. Kısa devre hali çok kısa bir süre devam etti-ğinden, bu süre zarfından meydana gelen jul ısısının tamamen iletken tarafından alındığı kabul edilmekte-dir.

dt zamanı zarfından 1^{\wedge} (kA) kısa devre akımının R diren-cinde meydana getirdiği ısıyı dQ ile gösterirsek;

$$dQ = (I_k \cdot 10^3)^2 \cdot R \cdot dt = \frac{I_k^2 \cdot 10^6}{q} \cdot \frac{t}{20} \cdot [1 + a_{20}(0 - 20)] \cdot dt \quad (D)$$

Bu ısının tamamen iletken tarafından alındığı varsayıldı-ğından, bu zaman zarfından iletkenin aldığı ısı :

$$dQ = M \cdot c \cdot d\theta = q \cdot t \cdot 7 \cdot c \cdot d\theta \quad (2)$$

Bu iki ifade eşitlenip, düzenlenip, integral alınarak :

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{d\theta}{1 + a_{20}(0 - 20)} = \frac{I_k^2 \cdot 10^6 \cdot \varphi_{20}}{q^2 - 7 \cdot c} \cdot \frac{t_k}{8} \cdot \frac{1}{<20} \cdot \ln [1 + a_{20} \cdot (0_2 - 0_1)] = \frac{I_k^2 \cdot 10^6 \cdot \varphi_{20}}{q^2 - 7 \cdot c} \cdot t_k$$

Buradan kesit hesaplanarak ve $a_{2,0} = 1/r + 20$ konulup düzenlenerek :

$$q = I_k \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{t_k}{\gamma c_{30} (r + 20) \ln \frac{T + e_2}{T + \theta_1}}} \quad (3)$$

bulunur.

Bu formülde bulunan karakteristik değerler Al ve Cu için aşağıdaki gibidir:

Karakteristik Değerler	Al	Cu
θ_1 (°C)	70	70
θ_2 (°C)	160	160
γ (g/cm ³)	2,7	8,9
c (Ws/g.°C)	0,904	0,85
$3f_{20}$ (Ohm . mm ² /m)	35	56
T (°C)	228	234,5

Yukarıdaki formülde (3), bir defa Al'a bir defa da Cu'a ait karakteristik değerler konularak :

$$q_{Al} = 13,37 \cdot I_k \cdot \sqrt{t_k} \quad (\text{mm}^2) \quad (4)$$

$$q_{Cu} = 8,89 \cdot I_k \cdot \sqrt{t_k} \quad (\text{mm}^2) \quad (5)$$

bulunur.

Generatöre uzak kısa devrelerde I. yerine $\frac{I}{K}$ alınabilir.

örneğin kısa devre akımının $I_k = 35$ kA ve kısa devrenin

devam süresinin $t = 0,001$ s olduğunu kabul edersek, bu kısa devre akımının termik etkilerine bu süre ile dayanabilmeleri için alüminyum ve bakır iletkenli kabloların kesitlerinin yukarıdaki bağıntılara göre sırasıyla en az $q_{Al} = 14,8$ mm², norm olarak 16 mm² ve

$q_{Cu} = 9,8$ mm², norm olarak 10 mm² olması gerekir.

Yukarıdaki (4) ve (5) bağıntılarını taraf tarafa oranlarsak

$$q_{Al} / q_{Cu} > C_{Cu}^{-1,5}$$

bulunur.

Yani aynı zaman zarfında aynı kısa devre akımına dayanabilmesi için alüminyum iletkenli kabloda iletken kesiti, bakır iletkenli kablodaki iletken kesitinin 1,5 katı olmalıdır.

Oysa alüminyum iletken halinde eşdeğer kesit, bakır iletkenin kesitinin 1,6 katı olarak alındığından, bu kesitin aynı süreyle aynı kısa devre akımına rahatlıkla dayanabileceği anlaşılır.

Netice olarak yukarıda üç madde altında toplanan alüminyum iletkenli kablolar karşı görüşler gerçek bir nedene dayanmamaktadır.

Doğu bloku ülkelerin hemen hemen hepsinde, Fransa'da ve daha birçok ülkede alüminyum iletkenli yeraltı kabloları başarı ile kullanılmakta ve böylece ekonomik yönden büyük tasarruflar sağlanmaktadır. Ülkemizde de kullanılmaması için hiçbir neden yoktur.

Alüminyum Kablo NAYGÖY				Bakır Kablo IFGÖY				Oranlar Alüminyum/Bakır:			
Sad. Kesit	Fiat TL/ş	Yüklen. Akımı (A)	Ağırlık Kg/a	Kesit	Fiat TL/ş	Yüklen. Akımı (A)	Ağırlık Kg/a	Keait (t)	Fiat (0)	Yüklen. Akımı (1)	Ağırlık (D)
4 x 16	1.100	7b	1,05	4 x 10	1.300	77	1,12	1,6	0,85	1,01	0,94
3 x 25 + 16	1.600	100	1,35	4 x 16	1.900	100	1,5	1,56	0,84	1,00	0,90
3 x 50 + 25	2.000	145	1,5	3 x 25 + 16	2.250	130	1,98	2	0,89	1,12	0,76
3 x 70 + 35	2.500	175	1,85	3 x 35 + 16	2.950	155	2,47	2"	0,85	1,13	0,75
3 x 95 + 50	3.300	215	2,35	3 x 50 + 25	3.750	185	3,38	1,9	0,88	1,16	0,70
3 x 120 + 70	4.000	245	2,8	3 x 70 + 35	5.250	230	4,33	1,71	0,76	1,07	0,65
3 x 150 + 70	5.000	275	3,3	3 x 9b + 50	7.100	275	5,8	1,58	0,70	1,00	0,57
3 x 185 + 95	6.300	310	3,95	3 x 120 + 70	8.900	315	6,98	1,54	0,71	0,98	0,57
3 x 240 + 120	7.700	360	4,95	3 x 150 + 70	10.800	355	8,67	1,6	0,71	1,01	0,57

NOT: Bu cetveldeki fiyat, yüklenilme akımı ve ağırlıklar TEK'In 1985 yılı Birim Fiyat Cetvelinden alınmıştır.