

# Elektrik Enerjisi Hava İletim Hatlarında Buz ve Rüzgar Yüklerinin İncelenmesi

## 2. BÖLÜM

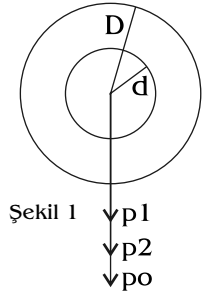
Elektrik Mühendisi **A. Kadir DEĞİRMENCİOĞLU**  
abdulkadir.degirmencioglu@emo.org.tr

### A-İLETKENLERDE BUZ YÜKÜ HESABI

**Y**önetmelik, buz oluşumunun daha ziyade -5 °C de meydana geldiğini kabul etmektedir. Şu halde hatların hesabı yapılırken değişik haller denkleminde, bu sıcaklık önemlidir. Bir iletken üstündeki buz yükü, iletkene düşey doğrultuda ek bir kuvvet demektir. İletkene tesir eden toplam yükü bulmak için, hesaplanacak bu yükün iletkenin toplam ağırlığıyla toplanması gerekir.

Şekil - 1 de buz yüklü bir iletkenin kesiti gösterilmiştir. Bu şekilde:

D: Buzlu iletkenin dış çapı;  
d: İletkenin çapı;  
p1: Düşey buz yükü ağırlığı (kuvveti);  
p2: İletkenin kendi ağırlığı (kuvveti);  
po: İletkenin düşey yönde toplam ağırlığını (kuvvetini) göstermektedir.  
 $\rho = 600 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  buz yoğunluğudur.



Önce buz yükü almış bir iletkenin, her bölge için D buzlu çapını bulalım. Bunun için yönetmelikte verilen buz yükünün, iletkenin buzlu haldeki ağırlığına eşit olması gerektiği açıktır. Yani (iletkenin uzunluğu bağıntının her iki tarafta olduğundan etkisizdir);

$k\sqrt{d} = \rho(D^2 - d^2)$  olmalıdır. Buradan D bulunursa;

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4k}{\rho}\sqrt{d}}$$

Olarak bulunur. Bilinen değerler bu eşitlikte yerlerine konulursa, iletken çapına bağlı olarak her bölgede buz yüklü iletkenin

D çapı bulunur. Yönetmelik gereği 1. bölgede buz yükünün oluşmadığı kabul edildiğinden diğer bölgelerin buzlu iletkenin D çapı:

2. Bölgede:  $D = \sqrt{d^2 + 424.4\sqrt{d}}$  (mm)

3. Bölgede:  $D = \sqrt{d^2 + 636.3\sqrt{d}}$  (mm)

4. Bölgede:  $D = \sqrt{d^2 + 1060.5\sqrt{d}}$  (mm)

5. Bölgede:  $D = \sqrt{d^2 + 2545\sqrt{d}}$  (mm) olur.

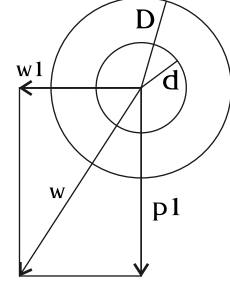
380 kV ta kullanılan 954 MCM (Cardinal) iletkenin çapı Tablo-4 den  $d=30.42$  mm olduğu görülmektedir. Bu iletkenin 5. bölgede kullanılması halinde buz yükü altında iletken çapı;

$D = \sqrt{30.42^2 + 2545\sqrt{30.42}} = 122.32$  (mm) olacaktır. Net buz kalınlığı ise  $b=D-d=122.32-30.42=91.9$  (mm) dır. Görüldüğü üzere, iletken üzerinde göz ardı edilemeyecek kalınlıkta bir buz kuşağı oluşmaktadır. Bu iletkende  $a=300$  m rüzgar menziline ki oluşan buzun toplam ağırlığı ağırlığı;

$M=300*600*(\pi/4)*(122.32^2-30.42^2)*10^{-6}=1984.4$  kg olacaktır. Şimdi bu iletken için aynı bölgede buz yükünü hesaplayalım. (5. Bölgede  $k=1.2$  dir)  
 $P1=k\sqrt{d}=1.2\sqrt{30.42}=6.62$  (kg/m) olarak bulunur. Bu iletkenin 5. bölgede birim ağırlığı Tablo-4 den  $p2=1829.8$  kg/km= $1.8298$  kg/m olduğundan;  $po=p1+p2=6.62+1.8298=8.45$  kg/m olarak bulunur. Belli bir aralık (menzilde) iletkene gelen toplam düşey kuvveti bulabilmek için bu değer ilgili aralıkla çarpılmalıdır.

## B-İLETKENLERDE RÜZGAR YÜKÜ HESABI

Yönetmelik, rüzgar yükünün daha çok  $+5$  °C sıcaklıkta en etkin olduğunu kabul etmektedir. İletkene bu sıcaklıkta gelecek rüzgar yükünü hesaplamak için gerekli bağıntılar 6/4 bölümünde verilmiştir. Bu yük, rüzgarın en fazla iletkene yatay doğrultuda dik olarak esmesi halinde etkilidir. Hesapların buna göre yapılması gerekir. Yanda Şekil-2 de bir iletkene gelen ( $w1$ ) rüzgar kuvveti ve iletkenin kendi ( $p1$ ) ağırlığı gösterilmiştir. Şekilden, iletkenin kendi ağırlığının yere dik rüzgar kuvvetinin ise yere koşut (paralel) olarak etki ettiği görülmektedir. Şu halde iletkene, bu iki kuvvetin bileşkesi olan ( $w$ ) kuvveti etki etmektedir. Şekilden bu iki kuvvetin bileşkesi olan ( $w$ ) kuvvetinin;



$w = \sqrt{(w1)^2 + (p1)^2}$  şeklinde hesaplanacağı görülmektedir.

Buz yükünü anlatırken, bunun izalatör, travers ve direklere etkisinin az olduğunu bu nedenle hattın direklerinin boyutlandırılmasında ihmal edilebileceğini belirtmiştik. Aynı şeyi rüzgar yükü için yapamayız; zira rüzgar yükü hem iletkenin kesit yüzeyine, hem de izalatör, travers ve direğin rüzgarın etkisine muhatap toplam dik yüzeylerine (bu yüzey daire, kare, dikdörtgen olabilir) etki ettiğinden ortaya çıkan rüzgar kuvveti artık göz ardı edilemeyecek bir büyüklüktedir. Bu kuvvetin, iletkenlerin ve direklerin boyutlandırılmasında dikkate alınması gereklidir. Şu halde rüzgar kuvveti;

a) İletkenin rüzgar menzili ( $a$ ) metre ve  $a < 200$  metre ise; iletkene gelen rüzgar kuvveti  $w1 = a * p * d * c$  (kg) ile hesaplanmalıdır.

b) İletkenin rüzgar menzili ( $a$ ) metre ve  $a > 200$  metre ise; iletkene gelen rüzgar kuvveti  $w1 = c * p * d * (80 + 0.6 * a)$  (kg) ile hesaplanmalıdır.

Yukarıda örnek verilen 954 MCM (Cardinal) iletkenin 4. bölgede kullanılması halinde her iki durum için rüzgar kuvvetini hesaplayalım:

a) Bu iletkenin rüzgar menzili  $a=175$  m olsun. Bu iletkenin  $d=30.42$  mm= $30.42 * 10^{-3}$  m,  $d > 15.8$  mm olduğundan Tablo-3 den  $c=1$ ,  $p=53$  kg/m<sup>2</sup> ve Tablo-4 ten  $p1=1.8298$  kg/m olduğundan rüzgar kuvveti;

$$w1 = a * p * d * c = 175 * 53 * 30.42 * 10^{-3} * 1 = 282.15 \text{ kg}$$

yani hattın birim uzunluğuna  $282.15/175=1.612$  kg/m rüzgar yükü düşmektedir. Bu iletkene tesir eden bileşke kuvvet ise;

$$w = \sqrt{(w1)^2 + (p1)^2} = \sqrt{(175 * 1.8298)^2 + 282.15^2} = 426.78 \text{ kg}$$

Hattın birim uzunluğuna düşen bileşke kuvvet ise,  $426.78/175=2.44$  kg/m dir.

b) Bu iletkenin rüzgar menzili  $a=300$  m olsun. Bu iletkenin  $d=30.42$  mm= $30.42 * 10^{-3}$  m,  $d > 15.8$  mm olduğundan Tablo-3 den  $c=1$ ,  $p=53$  kg/m<sup>2</sup> ve Tablo-4 ten  $p1=1.8298$  kg/m dir; şu halde bu iletkenin rüzgar kuvveti;

$w1 = c * p * d * (80 + 0.6 * a) = 1 * 53 * 30.42 * 10^{-3} * (80 + 0.6 * 300) = 419.19$  kg olacaktır. Bu iletkene tesir eden bileşke kuvvet ise;

$$w = \sqrt{(w1)^2 + (p1)^2} = \sqrt{(300 * 1.8298)^2 + 419.19^2} = 690.69 \text{ kg olarak bulunur.}$$

Dikkat edilirse  $a > 200$  m olması halinde hattın birim uzunluğuna düşen rüzgar kuvveti; ( $w1 = c * p * d * (80 + 0.6 * a)$ ) ifadesi  $a^2$  ayıracağına (parantezine) alınıp kök dışına çıkarılmadığından bulunamamaktadır.  $a > 200$  m halinde her rüzgar menzili için ( $w1$ ) ayrı olarak hesaplanmalıdır.

Rüzgar kuvvetinin iletken dışında hatta kullanılan travers, izalatör ve direklerin; rüzgar yönüne dik yüzeylerine de etki ettiğini belirtmiştik. Bu kuvvetinde değeri büyük olduğundan bu öğeler için de

hesaplanması gerekir. Ancak, izalatör ve traverslere gelen rüzgâr kuvveti direğe gelen rüzgâr kuvvet yanında küçük olduğundan bunları göz ardı ederek sadece direk yüzeyine gelen rüzgâr kuvvetini inceleyelim (Bazı büyük hatlarda izalatör ve traverslere gelen rüzgâr kuvveti de fazla olduğundan göz ardı edilemez). Şuna hemen işaret edelim: Direk yüzeyine etki eden rüzgâr kuvveti direğin tüm yüzey noktalarına düzgün yayılı bir kuvvet olarak etki ettiğinden bu yayılı yükün direğin tepesinde yaratacağı momente eş kuvvetin bulunup, hesaplarda iletkene gelen bileşke kuvvetle toplanarak, direğin boyutlandırılmasında bu toplam kuvvet göz önüne alınmalıdır. Şimdi direğin rüzgârın esme yönüne maruz olan dik kesitine  $S_d$  ( $m^2$ ) diyelim. Şu halde bu direğe gelecek yayılı rüzgâr kuvveti;  $F_d = p \cdot c \cdot S_d$  (kg) olacaktır. Yukarıda ki örneğimizde, direğin profil demirden yapılmış kare kafesli ve yüksekliğini de  $H = 15$  m,  $S_d = 5$   $m^2$  olduğunu kabul edersek ,Tablo-2 ve Tablo-3 den  $d = 2.8$  ve  $p = 55$   $kg/m^2$  saptanz. Bu değerlerle, direk yüzeyine gelen yayılı  $F_d$  kuvveti;

$$F_d = p \cdot c \cdot S_d = 55 \cdot 2.8 \cdot 5 = 770 \text{ kg}$$

olarak buluruz. Bu yayılı  $F_d$  kuvvetinin direkte yaratacağı devrilme momentine eşit bir moment yaratacak şekilde direğin tepesinden bu momente eş bir moment doğuracak kuvvetin bulunması, yani bu kuvvetin direğin tepesine aktarılması gerekir. Şimdi ayrıntıya girmeden bunu gösterelim:

$H$  = Direğin toprak üstündeki yüksekliği olsun;

$L_1$  = Direğin tepesinin kafes yapısının bir kenar uzunluğu. (Direğin tepede kafes yapısı kare ise karenin bir kenarı, daire ise dairenin çapı)

$L_2$  = Direğin toprağa girdiği noktadaki kafes yapısının bir kenar uzunluğu (Direğin tepede kafes yapısı kare ise karenin bir kenarı, daire ise dairenin çapı) olsun. Yayılı  $F_d$  kuvvetinin toplu bir kuvvet gibi etki ettiği noktanın yerden yüksekliği (yani moment kolu) olan ( $e$ );

$$e = \frac{(2L_1 + L_2)}{3(L_1 + L_2)} H \text{ (m)}$$

bağıntısından hesaplanır. Şu halde  $F_d$  yayılı kuvvetin, direğin tepesine aktarılmış değeri olan  $F_e$  kuvveti,  $e \cdot F_d = H \cdot F_e$  momentlerin eşitliğinden;

$$F_e = \frac{(2L_1 + L_2)}{3(L_1 + L_2)} F_d \text{ (kg)}$$

olarak bulunur.

Yukarıda verilen örnekte  $L_1 = 1$  m,  $L_2 = 4$  m kabul edilirse; bulunan  $F_d = 770$  kg yayılı rüzgâr kuvvetinin yerden itibaren etki noktasının yüksekliği,  $e = ((2 \cdot 1 + 4) / (3 \cdot (1 + 4))) \cdot 15 = 6$  m ve tepeye aktarılmış değeri ise  $F_e = ((2 \cdot 1 + 4) / (3 \cdot (1 + 4))) \cdot 770 = 308$  kg olarak bulunur. Şu halde örnek aldığımız direğin tepesinden etki eden yatay devirme kuvveti  $a = 175$  m için  $F = 282.15 + 308 = 590.15$  kg ve  $a = 300$  m için  $F = 419.19 + 308 = 727.19$  kg olacaktır. Bu toplam yatay kuvvetin yanında direğe etki eden düşey kuvvetler de dikkate alınarak direk boyutlandırılır.

## SONUÇ

Son olarak buz ve rüzgâr yüklerinin etkilerini maddeler halinde yazalım:

1-Buz oluşumu yönetmelik gereği  $-5$  °C meydana gelir. Oluşturacağı buz yükü direğe düşey yönde bir kuvvetle etki ederek direklerin bası yönünde boyutlandırılmasında dikkate alınmalıdır.

2-Yönetmeliğe göre rüzgâr yükünün en etkili olacağı sıcaklık  $+5$  °C dır. Rüzgâr yükü direğe yatay yönde tesir eden bir kuvvet uygular. Buda direklerin eğilme bakımından boyutlandırılmasında etkili bir kuvvettir.

3-Rüzgâr ve buz yükünden dolayı ortaya çıkan kuvvetler hat iletkeninin seçilmesinde de etkili bir rol oynarlar. Bu yükler dikkate alınmadan iletken seçimi yapılamaz.

4-Çok özel koşullar hariç, genellikle buz yükü rüzgâr yükünden büyüktür.

5-İletim hatları bu kuvvetler dikkate alınarak boyutlandırılrsa dahi işletmede ek bazı sorunlarda ortaya çıkarırlar. Bunlar hatların normal ömürlerinin kısılması, titreşimlere neden olarak iletken kopması gibi nedenlerdir.



## KAYNAKÇA

- 1- Gönenc, İzzet; Yüksek Gerilim Tekniği Cilt-I, 1977 İstanbul
- 2- Özkaya, Muzaffer; Yüksek Gerilim Tekniği Cilt-I ve II, 1988 İstanbul
- 3- Özkaya, Muzaffer; Yüksek Gerilim Tekniğinde Ölçme, İ.T.Ü 1966 İstanbul
- 4- Akhunlar, Ahmet; Statik Elektrik Alanı, 1995 İstanbul