

## Hava Hattı İletkenlerine Gelen Ek Yükler

Enerji iletim hava hatları, ülkemiz genelinde farklı iklim şartları altında çalışmaktadır. Bu hatların projelendirilmesi sırasında elektriksel analizlerin yanı sıra, iklim şartlarının neden olduğu *ek yükler* in de dikkate alınması gerekmektedir.

İletkenlere gelen ek yükler:

1-Buz yükü

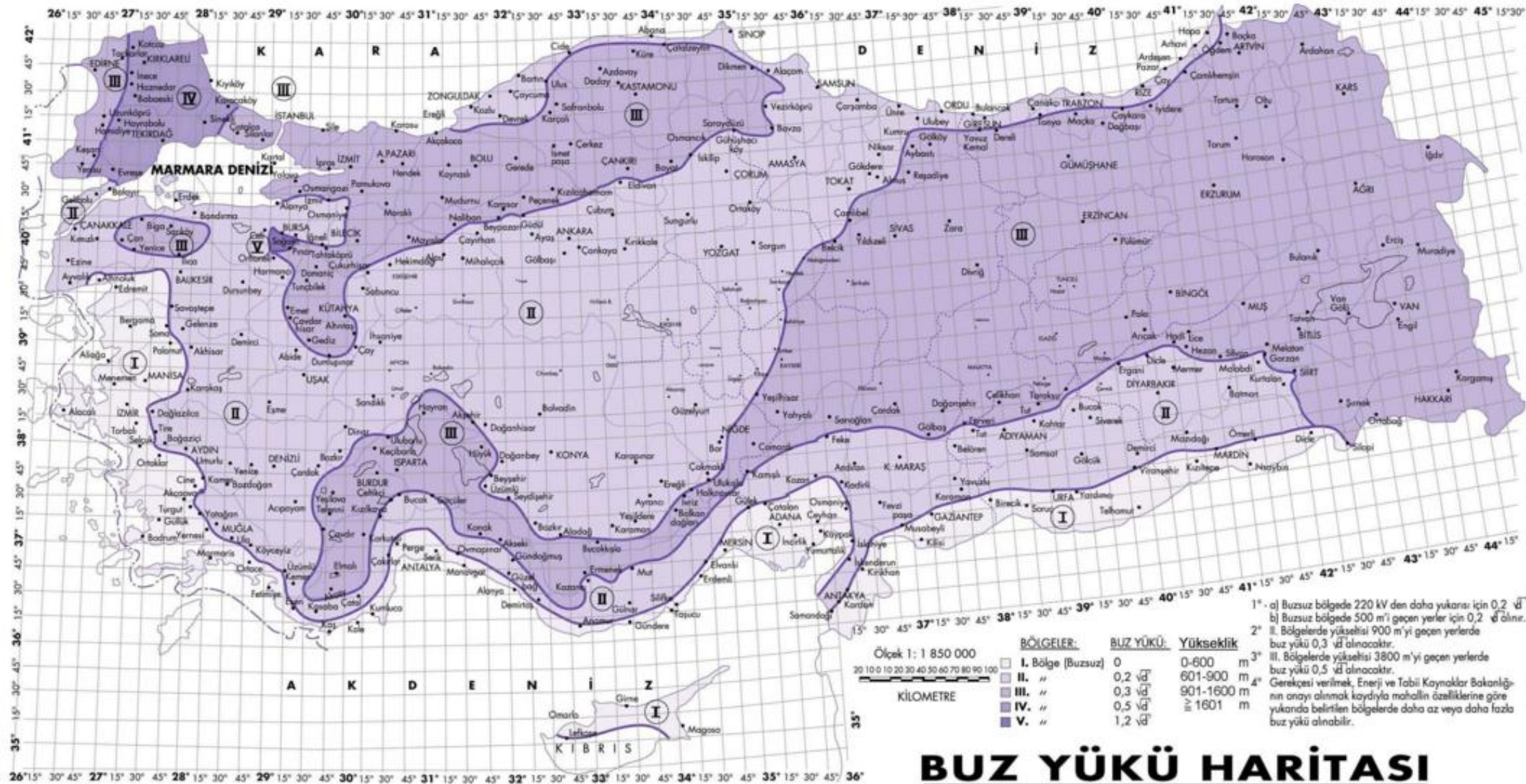
2-Rüzgar yükü

3-Buz+rüzgar yükü

olarak hesaplarda göz önüne alınır.

## 1) Ek Buz Yüğü ( $P_b$ ):

- Buz yüğü genellikle -8 derece ile +2 derece arasında meydana gelir. Yönetmeliğe göre buz -5 derecede oluşur ve buna göre hesaplamalar yapılır.
- Kıracağı, kristal buz ve kar yüğü gibi türleri olan buz yükünün oluşumuna yol açan etkenler; sıcaklık, nem (%90 'dan büyük olmalı), rüzgar hızı ve yönü, arazini yüksekliği ve direk boyu olarak göz önüne alınabilir.
- Ülkemiz buz yüğü bakımından beş bölgeye ayrılmıştır.





Buz yükü aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P_b = k\sqrt{d}$$

$P_b$  = Buz ağırlığı (kg/m)

$k$  = Bölgelere göre belirlenmiş buz yükü katsayısı

$d$  = İletken çapı

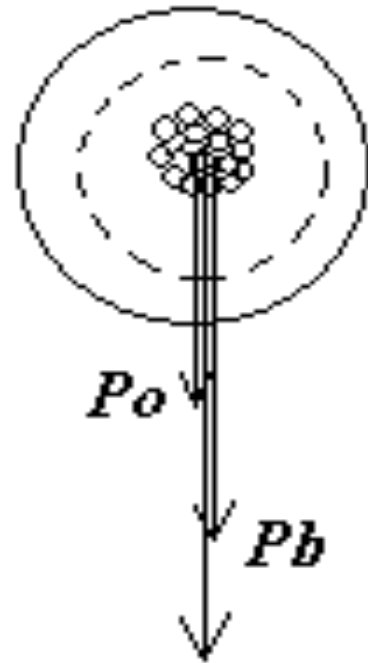
**Tablo.** Bölgelere göre buz yükü katsayısı değerleri

| Bölge No | k   | Ortam Sıcaklığı<br>(°C ) |     |
|----------|-----|--------------------------|-----|
|          |     | Min                      | Max |
| I        | 0   | -10                      | 50  |
| II       | 0,2 | -15                      | 45  |
| III      | 0,3 | -25                      | 40  |
| IV       | 0,5 | -30                      | 40  |
| V        | 1,2 | -30                      | 40  |

- 1. bölgede bulunup yükseltisi (kotu) 600 metre den fazla olan yerlerde hatların hesabı 2. bölge şartlarına göre;
- 2. bölgede bulunup yükseltisi 900 metre den fazla olan yerlerde hatların hesabı 3. bölge şartlarına göre;
- 3. bölgede bulunup yükseltisi 1600 metreden fazla olan yerlerde hatların hesabı 4. bölge şartlarına göre yapılacaktır. Ancak hat birden fazla bölgeden geçerse, her bölgedeki hat bölümü o bölgeye ilişkin değerlere göre hesaplanmalıdır.



- Bir bölge için  $k$  değerin yüksek olması buzlanmanın daha fazla olduğu anlamına gelir.
- Buz yükü hesaplanırken, buz tabakasının iletken boyunca silindirik olarak iletken etrafında olduğu kabul edilmektedir.



$$P_n = P_o + P_b$$

Şekil. İletkene gelen ek buz yükü

**Örnek:** 3. buz yükü bölgesinde 3/0 AWG iletkeninin buzlu ağırlığını hesaplayınız.

**Çözüm:**

Tablo 'dan (OG, YG ve ÇYG 'li hava hatlarında kullanılan örgülü St-Al iletkenler) 3/0 AWG kesitli iletken *Pigeon* olarak bulunur. Bu iletkenin *kesiti: 99,3 mm<sup>2</sup>, toplam çapı: d=12,75 mm ve birim ağırlığı: 343.9 kg/km* olarak alınır.

Ayrıca buz yükü katsayısı, Tablodan 3. bölge için  $k=0,3$  olduğu görülür. Buradan:

$$P_b = k\sqrt{d} = 0.3\sqrt{12.75} = 1.0712 \text{ kg/m hesaplanır.}$$

Pigeon iletkeninin ağırlığı  $P_o=0,3439 \text{ kg/m}$  olarak tablodan alınırsa:

$$P_n = P_o + P_b = 0,3439 + 1,0712 = 1,4151 \text{ kg/m bulunur.}$$



|                                                 | <b>Çelik Özlü Al</b><br><b>(Kanada Standardındaki)</b> |                               | <b>Kesit</b>                     | <b>Mekanik Özellikleri</b> |                                    |                                           |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Anma<br/>değeri Al/Cu<br/>mm<sup>2</sup></b> | <b>Adı</b>                                             | <b>Kesiti AWG<br/>veya CM</b> | <b>Toplam<br/>mm<sup>2</sup></b> | <b>Anma çapı<br/>mm</b>    | <b>Anma<br/>kopma<br/>yükü, kg</b> | <b>Anma birim<br/>ağırlığı,<br/>kg/km</b> |
| 27/4                                            | SWALLOW                                                | 3                             | 31,14                            | 7,14                       | 1023                               | 107,8                                     |
| 54/9                                            | RAVEN                                                  | 1/0                           | 62,44                            | 10,11                      | 1945                               | 216,2                                     |
| 85/14                                           | PİGEON                                                 | 3/0                           | 99,3                             | 12,75                      | 3035                               | 343,9                                     |
| 135/22                                          | PATRİDGE                                               | 266800                        | 156,86                           | 16,28                      | 5096                               | 543,8                                     |
| 242/39                                          | HAWK                                                   | 477000                        | 280,84                           | 21,77                      | 8798                               | 972                                       |
| 403/65                                          | DRAKE                                                  | 797000                        | 468                              | 28,11                      | 14165                              | 1621,9                                    |
| 485/63                                          | CARDİNAL                                               | 954000                        | 547,34                           | 30,42                      | 15589                              | 1829,8                                    |

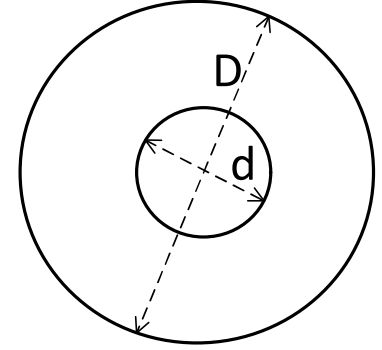
### Buz kalınlığının hesabı:

Ülkemizde şimdiye kadar ölçülen ortalama buz yükü yoğunluğu  $0.4 \leq p \leq 0.8$  (kg/dm<sup>3</sup>) arasında ölçülmüştür.

D: Buzlu iletkenin dış çapı;

d: İletkenin çapı;

$\rho = 0.6$  (kg/dm<sup>3</sup>) = 600 (kg/m<sup>3</sup>) buz yoğunluğudur.



Buz yükü almış bir iletkenin her bölge için D buz çapını hesaplayalım. Buz yükünü şekildeki buz ağırlığına eşitlersek:

$$k\sqrt{d} = \pi \left( \frac{D^2 - d^2}{4} \right) \rho$$

Buradan buzlu iletken çapı:

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

olarak bulunur.

Yönetmelikte I. Bölgede buz yükü oluşmadığı kabul edildiğinden diğer bölgeler için buzlu iletken çapı D:

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

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

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

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

olur.

**Örnek:** 5. buz yükü bölgesinde kullanılan 954 MCM (Cardinal) iletkeninin buzlu haldeki çapını ve net buz kalınlığını hesaplayınız.

**Çözüm:**

Tablo 'dan Cardinal iletkeninin çapı  $d=30.42$  mm olarak alınır:

$$D = \sqrt{d^2 + 2545\sqrt{d}} \text{ (mm)}$$

$$D = \sqrt{30.42^2 + 2545\sqrt{30.42}} = 122.32 \text{ mm}$$

Net buz kalınlığı ise:

$$b = D - d = 122.32 - 30.42 = 91.9 \text{ mm}$$

**Örnek:** Bir önceki örnekte hesaplanan Cardinal iletkeninin  $a=300$  m rüzgar açıklığı için buzun toplam ağırlığını hesaplayınız.

**Çözüm:**

Buz yükünün de iletken gibi silindirik yapıda olduğu göz önüne alınırsa:

$$M=300*600*(\pi/4)*(122.32^2 - 30.42^2 )*10^{-6} =1984.4 \text{ kg}$$

**Örnek:** Bir önceki örnekte hesaplanan Cardinal iletkeninin buz yükünü hesaplayınız (V. Bölgede).

**Çözüm:**

$$\text{Buz yükü } P_b = k\sqrt{d} = 1.2\sqrt{30.42} = 6.62 \text{ kg/m}$$

Tablodan *Cardinal* iletkeninin birim ağırlığı

$$P_o = 1829.8 \text{ kg/km} = 1.8298 \text{ kg/m olduğundan}$$

$$P_n = P_b + P_o = 6.62 + 1.8298 = 8.45 \text{ kg/m}$$

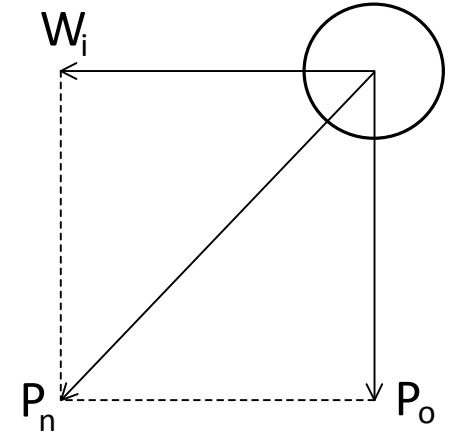
## 2) Ek Rüzgar Yüğü ( $W_i$ ):

Yönetmelik, rüzgar yükünün daha çok +5 °C sıcaklıkta en etkin olduğunu kabul etmektedir. Bu yük, en fazla rüzgarın iletkene yatay doğrultuda dik olarak esmesi halinde etkilidir.

Şekilde bir iletkene gelen ( $W_i$ ) rüzgar kuvveti ve iletkenin kendi ( $P_o$ ) ağırlığı gösterilmiştir.

Şekilden, iletkenin kendi ağırlığının yere dik rüzgar kuvvetinin ise yere paralel olarak etki

ettiği görülmektedir. Şu halde iletkene, bu iki kuvvetin bileşkesi olan ( $P_n$ ) kuvveti etki etmektedir.





Şekilden bu iki kuvvetin bileşkesi olan ( $P_n$ ) kuvvetinin;

$$P_n = \sqrt{P_o^2 + W_i^2}$$

şeklinde hesaplanır. rüzgar kuvveti;

**a)** İletkenin rüzgâr menzili  $a < 200$  metre ise;

iletkene gelen rüzgâr kuvveti  $W_i = a * p * d * c$  (kg) ile hesaplanmalıdır.

**b)** İletkenin rüzgar menzili  $a > 200$  metre ise;

iletkene gelen rüzgâr kuvveti  $W_i = c * p * d * (80 + 0.6 * a)$  (kg) ile hesaplanmalıdır.

*a: Bir direğin sağ ve solundaki açıklıkların toplamının yarısına eşit olan rüzgâr açıklığı (m)*

*d: iletken çapı (m)*

*p: Dinamik rüzgâr basıncı (kg/m<sup>2</sup>)*

*c: Dinamik rüzgar basınç katsayısı (pürüzlülük katsayısı)*

**Tablo.** Dinamik rüzgar basıncı (p)

|                                | Dinamik Rüzgar Basıncı (kg/m <sup>2</sup> ) |            |
|--------------------------------|---------------------------------------------|------------|
| Arazi Üzerindeki Yükseklik (m) | Direk,Travers,İzalatör                      | İletkenler |
| 0-15                           | 55                                          | 44(*)      |
| 15-40                          | 70                                          | 53         |
| 40-100                         | 90                                          | 68         |
| 100-150                        | 115                                         | 86         |
| 150-200                        | 125                                         | 95         |

(\*)Not: Uzun aralıklı hatlarda bu değer 53 olarak alınacaktır.

**Tablo.** Dinamik rüzgar basıncı katsayıları (c)

| Rüzgarın Etkisinde Bulunan Öğeler     | (c) Katsayısı |
|---------------------------------------|---------------|
| Çapı 12.5 mm'ye kadar olan iletkenler | 1.2           |
| Çapı 12.5<d<15.8 mm olan iletkenlerde | 1.1           |
| Çapı 15.8 den büyük olan iletkenlerde | 1.0           |

**Örnek:** Yukarıda örnek verilen 954 MCM (Cardinal) iletkenin 4. bölgede kullanılması halinde rüzgar açıklığının 200 m'den küçük ve büyük olması durumları için rüzgar kuvvetini hesaplayınız (Arazi yüksekliği 30 m alınacak).

**Çözüm:**

a) Bu iletkenin rüzgar menzili  $a=175$  m olsun.

Tablodan iletkenin çapı  $d=30.42$  mm =  $30.42 \cdot 10^{-3}$  m,  $d > 15.8$  mm<sup>2</sup> olduğundan dinamik rüzgar basıncı katsayısı  $c=1$ ,

Arazi yüksekliği 30 m verildiğinden  $p=53$  kg/m ve

Tablodan Cardinal iletkeninin birim ağırlığı  $p_0=1.8298$  kg/m olduğundan

rüzgâr kuvveti;

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

Bu iletkene etki eden bileşke kuvvet

$$P_n = \sqrt{P_o^2 + W_i^2} = \sqrt{(175 * 1.8298)^2 + 282.15^2} = 426.78 \text{ kg}$$

**b)** Bu iletkenin rüzgar menzili  $a=300$  m olsun.

Bu iletkene etki eden rüzgâr kuvveti

$$W_i = c * p * d * (80 + 0.6 * a) = 1 * 53 * 30.42 * 10^{-3} * (80 + 0.6 * 300) = 419.19 \text{ kg}$$

Bu iletkene etki eden bileşke kuvvet

$$P_n = \sqrt{P_o^2 + W_i^2} = \sqrt{(300 * 1.8298)^2 + 419.19^2} = 690.69 \text{ kg}$$

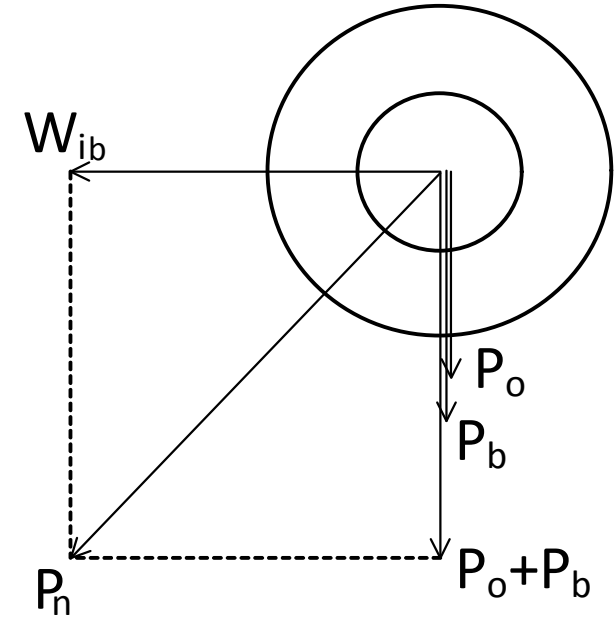
olarak hesaplanır.

### 3) Buz+rüzgar yükü (eş zamanlı yük) :

380 kV 'luk hatlarda her iki yükün eşzamanlı etki ettiği kabul edilmektedir.

$$P_n = \sqrt{(P_o + P_b)^2 + W_{ib}^2}$$

Burada yapılacak olan  $W_{ib}$  rüzgar hesabında iletkenin çapı değil buzlu iletkenin çapı dikkate alınmalıdır.



**Örnek:** IV. Bölgede kullanılan, birim ağırlığı 1.5 kg/m olan bir iletken üzerinde oluşan birim buz yükünün 2.5 kg/m ve çapının iletken çapının 2 katı olduğu bilinmektedir. Pürüzlülük katsayısı 1.0 ve dinamik rüzgar basıncı 53 kg/m<sup>2</sup> ise, eş zamanlı yük için birim eşdeğer ağırlığı bulunuz.

**Çözüm:**

IV. Bölgede  $k=0.5$  olduğundan

$P_b = k\sqrt{d}$  ifadesinden  $2.5 = 0.5\sqrt{d}$  ve  $d=25$  mm bulunur.

Soruda; oluşan buz çapının, iletkenin çapının 2 katı olduğu dikkate alınarak:

$D= 2d=50$  mm olur.

$W_{ib}=p*d*c=53*50*10^{-3}*1=2.65$  kg/m

$$P_n = \sqrt{(P_o + P_b)^2 + W_{ib}^2} = \sqrt{(1.5 + 2.5)^2 + 2.65^2} = 4.798 \text{ kg/m}$$

**Örnek:** Çapı 21.7 mm, birim ağırlığı 0.912 kg/m olan bir iletken III. Bölgede 400 m lik direk açıklığında gerilmiştir. Eşzamanlı yük etkimesi halinde, menzil boyunca bileşke yükü bulunuz. Buzun fiziksel yoğunluğu 0.4 kg/dm<sup>3</sup> ve dinamik rüzgar basıncı 30 kg/m<sup>2</sup> olup D-c ilişkisi aşağıdaki şekilde verilmiştir:

| D(mm) | c   |
|-------|-----|
| 55-65 | 1.8 |
| 66-75 | 2.0 |
| 76-85 | 2.2 |

### Çözüm:

Eş zamanlı yük için önce buz çapını bulalım:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4k}{\rho\pi} \sqrt{d}} = \sqrt{21.7^2 + \frac{4000 * 0.3}{0.4 * \pi} \sqrt{21.7}} = 70.13 \text{ mm}$$

Buna göre D-c tablosundan  $c=2$  alınacaktır.

$$W_{ib} = p * d * c = 30 * 70.13 * 10^{-3} * 2 = 4.207 \text{ kg/m}$$

Toplam düşey kuvvet  $P_o + P_b$ :

$$P_b = k \sqrt{d} = 0.3 \sqrt{21.7} = 1.39 \text{ kg/m}$$

$$P_o + P_b = 1.39 + 0.912 = 2.302 \text{ kg/m olur.}$$

Toplam bileşke yük:

$$P_n = \sqrt{(P_o + P_b)^2 + W_{ib}^2} = \sqrt{2.302^2 + 4.207^2} = 4.8 \text{ kg/m}$$

$$P_{nT} = 400 * 4.8 = 1920 \text{ kg}$$