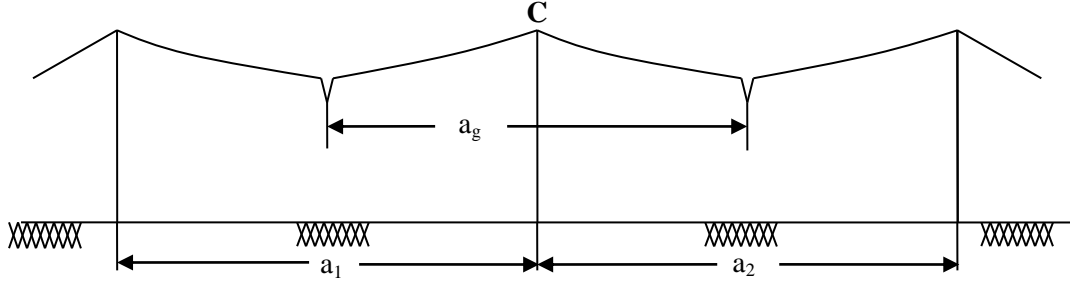


### 3.4. DİREKLERE ETKİ EDEN KUVVETLER

Orta gerilim hatlarındaki direklere, yatay ve düşey olmak üzere başlıca iki kuvvet etkisinin olduğu kabul edilir. Bu kuvvetleri kısaca açıklayalım;

#### 3.4.1. DÜŞEY KUVVETLER

**3.4.1.1. İletken Ağırlığı ( $G_i$ ) :** Aşağıda verilen bir iletim hattındaki (C) direğine etki eden düşey ağırlık  $G_i=P_0 \cdot a_g$  bağıntısıyla bulunur. Burada  $P_0$ , iletkenin 1 m'sinin çıplak ağırlığı (kg/m),  $a_g$  ise, aşağıdaki (C) direğinin ağırlık menzili olup, bu değer metre olarak ifade edilir.

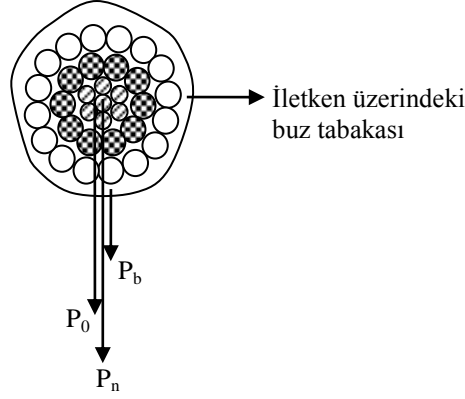


**3.4.1.2. İzolatör Ağırlığı ( $G_{iz}$ ) :** Elektrik ve mekanik olarak uygun şekilde seçilen izolatör veya izolatör zincirinin ağırlığı imalatçı firma kataloglarından saptanır. Bu ağırlığa, izolatör için kullanılacak izolatör demiri, askı veya gergi takımı gibi yardımcı elemanların ağırlığı da dahildir. Bunun yanı sıra, izolatörün kullanıldığı bölgenin buzlu ya da buzsuz olmasının, izolatör ağırlığı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı kabul edilir.

**3.4.1.3. Montör Ağırlığı ( $G_m$ ) :** Direk üzerinde çalışan montörün, direkte düşey bir kuvvet oluşturduğu varsayılır. Projelerde, yönetmelik gereği montör ağırlığı 100 kg olarak alınır.

**3.4.1.4. Direğin Kendi Ağırlığı ( $G_d$ ) :** Direk ağırlıkları iki şekilde belirlenir. Birinci yöntem; üretici firmanın direkler için belirlemiş olduğu direk ağırlıklarından belirlenir. İkinci yöntem ise; demir direği oluşturan profillerin birim ağırlıklarının hesaplanması ile direk ağırlığı belirlenir. Direk tepesinde ve traverslerin üzerinde biriken kar ya da buz ağırlıkları ihmal edilerek, bu ağırlıklar direk ağırlığına dahil edilmez.

**3.4.1.5. İletkene Etki Eden Ek-Buz Yüğü ( $P_b$ ) :** Havalarda soğumasıyla birlikte iletken üzerinde buz birikir. İletken üzerinde biriken buz, ek bir kuvvet oluşturup, direk tepe kuvvetini etkiler. Buzlanma en çok  $-8^{\circ}\text{C}$  ile  $2^{\circ}\text{C}$  arasında oluşur.  $-10^{\circ}\text{C}$ 'den daha düşük sıcaklıklarda ise, havadaki nem oranı düştüğünden buz oluşmaz. Yönetmeliğe göre buz oluşum sıcaklığı  $-5^{\circ}\text{C}$ 'de olduğu varsayılmaktadır. Ülkemizde 5 farklı buz yükü bölgesi mevcut olup, her bölgedeki buz yükü hesabı için  $P_b = k\sqrt{d}$  (kg/m) bağıntısı kullanılmaktadır. Şekil 3.24.'de iletkene etki eden ek-buz yükü gösterilmiştir. (Çeşitli bölge ve iletkenlere ait buz yükü hesaplamaları, kitabın demir direkler kısmında verilmiştir.).



Şekil-3.24. İletkene etki eden ek-buz yükü

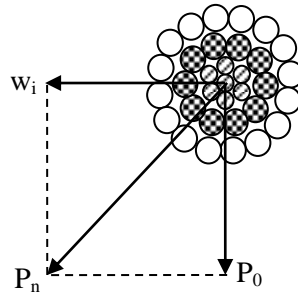
### 3.4.2. YATAY KUVVETLER

**3.4.2.1. İletken Çekme (Germe) Kuvveti ( $T_m$ ) :** Kesiti  $S$  ( $\text{mm}^2$ ) olan iletkendeki gerilmenin  $\sigma$  ( $\text{kg/mm}^2$ ) olduğu kabul edilirse, iletkenin oluşturduğu çekme kuvveti  $T_m = \sigma \cdot S$  (kg) bağıntısıyla bulunur. Hesaplamalarda  $\sigma$  yerine, iletkendeki maksimum gerilme olan  $\sigma_{\max}$  alınırsa maksimum çekme kuvveti bulunur. O halde;  $\sigma = \sigma_{\max} \Rightarrow T_m = T_{\max} = \sigma_{\max} \cdot S$  (kg) şeklinde yazılır.

**3.4.2.2. İletkene Etki Eden Ek Rüzgar Yükü ( $W_i$ ) :** Rüzgar yükünün  $+5$   $^{\circ}\text{C}$ 'de etkili olduğu varsayılır. Ek rüzgar yükü  $w_i = c \cdot q \cdot d \cdot 10^{-3}$  (kg/m) bağıntısı ile hesaplanır. Burada;  $d$ , mm cinsinden iletkenin çapıdır. İletkene etki eden rüzgar kuvveti ise;  $P_w = c \cdot q \cdot F$  (kg/m) bağıntısı ile hesaplanır. Bağıntıdaki  $F$ , iletkenin rüzgara maruz kalan yüzeyi olup, iletkenin ekseninden geçen düşey bir düzlemle iletkenin ara kesitidir. Birimi ( $\text{m}^2$ )'dir.  $F = d \cdot a_w \cdot 10^{-3}$  ifadesinden bulunur. Burada  $a_w$ , direğin rüzgar menzili olup, direğin her iki yanındaki açıklıkların toplamının yarısıdır.  $a_w > 200$  m olan rüzgar açıklıkları için

$$P_w = c \cdot q \cdot d (80 + 0,6 \cdot a_w) \cdot 10^{-3}$$

bağıntısıyla rüzgar kuvveti hesaplanır. Aşağıdaki şekilde  $P_0$ , iletkenin çıplak ağırlığı,  $P_n$  ise rüzgar yükü ile iletkenin çıplak ağırlığının bileşkesidir.



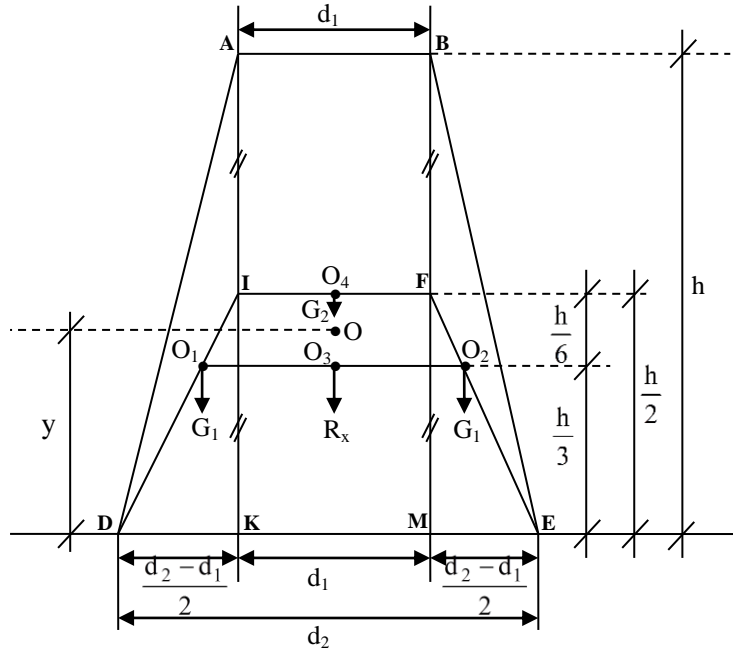
Şekil-3.25. İletkene etki eden ek rüzgar yükü

**3.4.2.3. Rüzgar Kuvveti ( $W_d$ ) :** Direklere etki eden kuvvet yatay kuvvet olup, direğin rüzgara maruz kalan alanın düşey düzlemdeki izdüşümünün ( $F$ ), dinamik rüzgar basıncı ( $q$ ) ve dinamik rüzgar basınç katsayısı ( $c$ ) ile çarpımı olarak tanımlanan bir büyüklüktür. Yani direğe etki eden rüzgar kuvveti  $W_d = c.q.F$  bağıntısı ile bulunur. Burada  $F$ ; rüzgara maruz kalan direk alanının düşey düzlemdeki izdüşümü olup, birimi ( $m^2$ )'dir.  $q$ ; dinamik rüzgar basıncı ( $kg/m^2$ ) olup, 3/0 AWG, 266 MCM ve 477 MCM iletkenli beton ve demir direkli orta gerilim hava hattı direk ve iletken hesaplarında, 0,40 m'de, direk, travers ve izolatörler için  $70 kg/m^2$ , iletkenler için ise  $53 kg/m^2$  alınması uygundur. Ayrıca  $c$ ; dinamik rüzgar basınç katsayısıdır. Bu değer, direk cinsine, rüzgarın etki ettiği yüzey şekline, boyutlarına ve yapısına bağlı olup, Tablo 3.5.'den seçilir.

Buradan da anlaşıldığı gibi,  $c$  ve  $q$  değerleri tablolardan seçildiği için, direk rüzgar kuvvetinin bulunmasında asıl amaç ( $F$ )'in bulunması olacaktır.

### 3.4.3. $F$ 'nin Bulunması

Tepe çapı  $d_1$ , dip çapı  $d_2$  olan bir beton direk üzerinde, direğin rüzgara maruz kalan alanının düşey izdüşümü olan  $F$ 'yi bulalım. Beton direğin birim alanına etki eden  $w$  rüzgar kuvvetinin bileşkesi olan  $W_d$ 'nin, rüzgarın dik olarak kestiği direk kesitinin ağırlık merkezinde etkili olduğu kabul edilir. Rüzgarın direği dik kestiği alan bir yamuk alanıdır. Direğe etki eden rüzgar kuvvetinin bulunması için, sözü edilen yamuğun ağırlık merkezinin yere olan mesafesi ( $c$ ) bulunmalıdır. Aşağıda, ağırlıkları ve ölçüleriyle birlikte yamuk şeklindeki direk kesiti gösterilmiştir.



Şekil-3.26. Basit bir beton direk kesiti

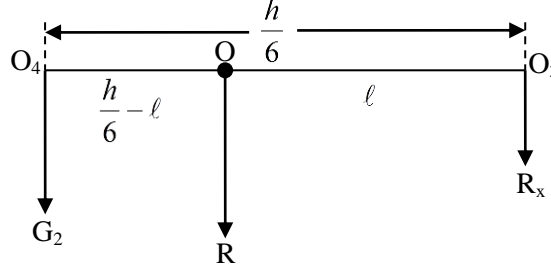
$G_1$  kesit ağırlığı ( $ADK$ ) üçgeninin alanı olduğuna göre ( $AI=IK=h/2$ );

$$G_1 = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot \frac{h}{2} \Rightarrow G_1 = \frac{d_2 - d_1}{4}$$

bulunur. Ağırlıkları  $G_1$  olan **(ADK)** ve **(BEM)** üçgenlerin ağırlıklarının bileşkesi  $R_x$  olduğuna göre  $R_x$  değeri;

$$R_x = 2G_1 = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot h$$

olur. **(ABMK)** dikdörtgen ağırlığı,  $G_2 = d_1 \cdot h$  olarak elde edilir. **(O<sub>3</sub>-O<sub>4</sub>)** arası uzaklık  $\frac{h}{6}$ 'dır. **(O-O<sub>3</sub>)** arası uzaklığa  $\ell$  dersek,



Buradan direğin ağırlık merkezi olan **(O)** noktasına göre moment alınırsa;

$$G_2 \left( \frac{h}{6} - \ell \right) = R_x \cdot \ell \text{ olur. Bu ifadede } G_2 \text{ ve } R_x \text{ yerine yukarıdaki değerleri yazılırsa;}$$

$$d_1 \cdot h \left( \frac{h}{6} - \ell \right) = \frac{d_2 - d_1}{2} h \cdot \ell \Rightarrow \frac{d_1 \cdot h^2}{6} - d_1 \cdot h \cdot \ell = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot h \cdot \ell$$

$$h \cdot \left( \frac{d_1 \cdot h}{6} - d_1 \cdot \ell \right) = h \cdot \left( \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot \ell \right)$$

bu ifadede gerekli kısaltmalar yapılırsa;

$$\frac{d_1 \cdot h}{6} - d_1 \cdot \ell = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot \ell \Rightarrow \frac{d_1 \cdot h}{6} = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot \ell + d_1 \cdot \ell$$

olur. İfadenin sağ tarafı  $\ell$  ortak parantezine alıp,  $\ell$  değeri çekilirse;

$$\frac{d_1 \cdot h}{6} = \left( \frac{d_2 - d_1}{2} + d_1 \right) \cdot \ell \Rightarrow \frac{d_1 \cdot h}{6} = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \ell \Rightarrow \ell = \frac{d_1 \cdot h}{3(d_1 + d_2)}$$

olur. Direk ağırlık merkezinin yerden yüksekliği  $y = \ell + \frac{h}{3}$  olduğuna göre yukarıda bulduğumuz  $\ell$  değeri yerine yazılırsa;

$$y = \frac{d_1 \cdot h}{3(d_1 + d_2)} + \frac{h}{3} = \frac{d_1 \cdot h + d_1 \cdot h + d_2 \cdot h}{3(d_1 + d_2)}$$

bulunur. Buradan  $y$  değeri;

$$y = \frac{2d_1 + d_2}{3(d_1 + d_2)} \cdot h \quad \text{bağıntısı yardımıyla bulunur.}$$

**Örnek (3.7)** Direk tepe çapı 36 cm, boyu 17 m olan H/35 santrifüj betonarme direğine etki eden rüzgar kuvvetini bulunuz.

**Çözüm (3.7)** Tüm betonarme direklerde tepeden aşağı doğru inildikçe kalınlaşma, her 1 m'de ortalama 15 mm artar. 17 m'lik direğin 2 m'si temel (t) altında kaldığı için rüzgarın etkili olduğu direk boyu (h) 15 m'dir. Burada direk tepe çapı verildiğine göre, direğin taban çapı ( $d_2$ );

$$h = (H - t) = 17 - 2 = 15 \text{ m}$$

$$d_2 = d_1 + 15 \cdot h \Rightarrow d_2 = d_1 + 15 \cdot 15 \Rightarrow d_2 = 360 + 15 \cdot 15 = 585 \text{ mm}$$

olur. Bulunan  $d_1$  ve  $d_2$  değerlerini kullanarak, direğin ağırlık merkezinin yere olan mesafesi (y);

$$y = \frac{2d_1 + d_2}{3(d_1 + d_2)} \cdot h \Rightarrow \frac{2 \cdot 0,360 + 0,585}{3(0,360 + 0,585)} \cdot 15 = \frac{1,305}{2,835} \cdot 15 \Rightarrow y = 6,90 \text{ m}$$

bulunur. Şekildeki (ABDE) yamuğunun alanı, direğin rüzgara maruz kalan alanının düşey izdüşümü olan (F) değerini vereceğinden;

$$F = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot h \Rightarrow F = \frac{0,360 + 0,585}{2} \cdot 15 = 7,08 \text{ m}^2$$

olur. Buradan (c) ve (q) değerleri, direğin özelliğine göre Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.'dan bulunarak rüzgar yükü ifadesinde yerine yazılırsa;

$$W_d = c \cdot q \cdot F \Rightarrow W_d = 0,7 \cdot 70 \cdot 7,08 = 346,92 \text{ kg}$$

bulunur. Bu değer in direk tepesine indirgenmiş hali ( $W'_d$ ) ise;

$$W_d \cdot y = W'_d \cdot h \Rightarrow W'_d = \frac{W_d \cdot y}{h} \Rightarrow W'_d = \frac{346,92 \cdot 6,90}{15} \Rightarrow W'_d = 159,58 \text{ kg olur.}$$