



**İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR  
BELEDİYESİ  
İMAR MÜDÜRLÜĞÜ**

# **İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR RÜZGAR YÖNETMELİĞİ**



**Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü  
Boğaziçi Üniversitesi  
Çengelköy, İstanbul**

**Versiyon – V**

**Ağustos 2009**

# İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR RÜZGAR YÖNETMELİĞİ (İYBRY)

VERSİYON – V  
Ağustos 2009

## İÇİNDEKİLER

### 1. GENEL HÜKÜMLER

1.1. SİMGELER

1.2. KAPSAM

### 2. RÜZGAR YÜKLERİNE İLİŞKİN GENEL HÜKÜMLER

### 3. RÜZGAR HIZI

3.1. ORTALAMA RÜZGAR HIZI

3.1.1. Temel rüzgar hızı

3.1.2. Yüzey pürüzlülük katsayısı

3.1.3.  $C_t$  topoğrafya katsayısı

3.1.4. Çevredeki yapıların ortalama rüzgar hızı profiline etkisi

3.2. DİNAMİK RÜZGAR HIZI (RÜZGAR TÜRBÜLANSI)

3.2.1. Türbülans şiddeti

3.2.2. Türbülans uzunluğu

3.2.3. Türbülans Güç Yoğunluk Fonksiyonu

3.3. MAKSİMUM RÜZGAR HIZI

### 4. RÜZGAR BASINCI

4.1. BİR NOKTAYA ETKİYEN MAKSİMUM RÜZGAR BASINCI

4.2. BİR YÜZEYE ETKİYEN MAKSİMUM RÜZGAR YÜKÜ

### 5. BİNALARA ETKİYEN RÜZGAR YÜKLERİ

5.1. PLANDA DIKDÖRTGEN KESİTLİ BİNALARA ETKİYEN RÜZGAR YÜKLERİ

5.2. PLANDA DIKDÖRTGEN KESİTLİ OLMAYAN BİNALARA ETKİYEN  
RÜZGAR YÜKLERİ

### 6. BİNADA RÜZGARDAN OLUŞAN MAKSİMUM YERDEĞİŞTİRMELER VE İVMELER

### 7. VORTEKS TİTREŞİMLERİ

### 8. RÜZGAR KUYRUĞU ETKİLERİ

### 9. RÜZGAR TÜNELİ DENEYLERİ

### 10. BAĞIMSIZ TASARIM KONTROLÜ

10.1. BAĞIMSIZ KONTROL KURULU

10.2. BAĞIMSIZ UZMANLARIN NİTELİKLERİ

10.3. İSTANBUL YÜKSEK BİNALAR MÜHENDİSLİK ÜST KURULU

### 11. YÜRÜRLÜK

# 1. GENEL HÜKÜMLER

## 1.1. SİMGELER

- $A$  = Yüzey alanı  
 $b$  = Binanın rüzgara dik doğrultudaki genişliği ( $m$ )  
 $B^2$  = Korelasyon faktörü  
 $C_d$  = Rezonans katsayısı  
 $C_e(z)$  = Zemin yüzeyinden ölçülen yükseklikle değişen yüzey pürüzlülük katsayısı  
 $C_p$  = Yüzey basınç katsayısı  
 $C_q(z)$  = Zemin yüzeyinden ölçülen yükseklikle değişen etkilenme katsayısı  
 $C_s$  = Yük korelasyon katsayısı  
 $C_t$  = Topoğrafya katsayısı  
 $d$  = Binanın rüzgara paralel doğrultudaki genişliği ( $m$ )  
 $F$  = Planda dikdörtgen kesitli bir binaya etkiyen toplam rüzgar yükü  
 $f_L(z,f)$  = Normalize edilmiş boyutsuz frekans ( $Hz$ )  
 $f_o$  = Binanın birinci doğal titreşim frekansı ( $Hz$ )  
 $h$  = Binanın yüksekliğini ( $m$ )  
 $h_y$  = Zemin seviyesini fiktif olarak yükseltmek için tanımlanan düşey mesafe  
 $I_w(z)$  = Zemin yüzeyinden ölçülen yükseklikle değişen türbülans şiddeti  
 $L(z)$  = Zemin yüzeyinden ölçülen yükseklikle değişen türbülans uzunluğu  
 $Q(z)$  = Rüzgara dik doğrultudaki düzlemde  $z$  yüksekliğindeki bir yüzeye etkiyen maksimum rüzgar yükü  
 $q_b$  = Temel rüzgar basıncı  
 $q_p(z)$  = Rüzgara dik doğrultudaki düzlemde  $z$  yüksekliğindeki bir birim alana gelen maksimum rüzgar basıncı  
 $R^2$  = Rezonans faktörü  
 $R_b(\eta_b)$  = Yatay doğrultudaki aerodinamik kabul fonksiyonu  
 $R_h(\eta_h)$  = Düşey doğrultudaki aerodinamik kabul fonksiyonu  
 $S_L(z,f)$  = Türbülans Güç Spektrumu Yoğunluk Fonksiyonu  
 $S_t$  = *Strouhal sayısı*  
 $V_b$  = Temel rüzgar hızı  
 $V(z,t)$  = Zemin yüzeyinden ölçülen yükseklik  $z$ 'ye ve zamana ( $t$ ) bağlı olarak tanımlanan toplam rüzgar hızı  
 $|V(z,t)|_{\max}$  =  $z$  yüksekliğinde etki eden maksimum rüzgar hızı  
 $V_{cr}$  = Kritik rüzgar hızı ( $m/s$ )  
 $V_m(z)$  = Zemin yüzeyinden ölçülen yükseklik  $z$ 'ye bağlı olarak tanımlanan ortalama rüzgar hızı  
 $w(z,t)$  = Ortalama değerlerin etrafındaki hız değişimlerini (türbülans) ifade eden dinamik rüzgar hızı  
 $\bar{w}_{\max}$  = Maksimum türbülans rüzgar hızı,  
 $z_o$  = Yüzey pürüzlülük uzunluğu ( $m$ )  
 $z_{\min}$  = Yüzey pürüzlülük katsayısının sabit olduğu minimum yükseklik ( $m$ )  
 $\delta$  = Binanın birinci moduna karşı gelen logaritmik azalım katsayısı  
 $\Delta$  = Yapının bulunduğu yerin deniz seviyesinden olan yüksekliği ( $m$ )  
 $\xi_o$  = Binanın birinci moduna karşı gelen sönüm katsayısı  
 $\rho$  = Havanın yoğunluğu ( $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ )  
 $\sigma_w$  = Türbülansın standart sapması

## 1.2. KAPSAM

Bu yönetmelik, yüksek binaların ana taşıyıcı sistemlerinin, dış cephe elemanlarının ve rüzgar yüklerine maruz yapısal ve yapısal olmayan diğer elemanların rüzgara karşı tasarımında kullanılacak minimum rüzgar yüklerini belirler.

## 2. RÜZGAR YÜKLERİNE İLİŞKİN GENEL HÜKÜMLER

**2.1** – Rüzgar yükleri statik ve dinamik olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bu yönetmelikte verilen rüzgar yükleri, binanın rüzgar altında yaptığı statik ve maksimum dinamik yerdeğiştirmelerin toplamına eşit statik yerdeğiştirmeye karşı gelen eşdeğer statik yükler olarak ifade edilmiştir.

**2.2** – Bina ana taşıyıcı sistemine gelen toplam rüzgar yükü, binanın tüm yüzeylerine gelen rüzgar yüklerinin vektörel toplamından oluşur.

**2.3** – Bina ana taşıyıcı sistemine, dış cephe kaplamalarına ve rüzgara maruz yapısal ve yapısal olmayan diğer elemanlara gelen rüzgar yükleri  $0.5 \text{ kN/m}^2$  den daha az olamaz.

## 3. RÜZGAR HIZI

Binaya etkiyen rüzgar hızı genel olarak **Denk.(3.1)** ile tanımlanır.

$$V(z,t) = V_m(z) + w(z,t) \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda  $V(z,t)$ , hem zemin yüzeyinden ölçülen yükseklik  $z$ 'ye, hem de zamana ( $t$ ) bağlı olarak tanımlanan *toplam rüzgar hızı*'ni göstermektedir. *Ortalama rüzgar hızı*  $V_m(z)$ , rüzgarın statik bileşeni olarak adlandırılır ve binaya etki eden rüzgar hızlarının seçilen bir zaman aralığındaki ortalamasına karşı gelir.  $w(z,t)$  ise ortalama değer etrafındaki hız değişimlerini (türbülans) ifade eden *dinamik rüzgar hızı*'dir.

### 3.1. ORTALAMA RÜZGAR HIZI

Herhangi bir bölge ve yükseklikteki ortalama rüzgar hızı  $V_m(z)$  aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$V_m(z) = C_e(z) C_t V_b \quad (3.2)$$

Bu bağıntıda  $V_b$  *temel rüzgar hızı*'ni,  $C_e(z)$  yükseklikle değişen *yüzey pürüzlülük katsayısı*'ni ve  $C_t$  *topoğrafya katsayısı*'ni göstermektedir.

#### 3.1.1. Temel rüzgar hızı

Temel rüzgar hızı açık bir arazide (örneğin hava alanları gibi), yerden  $10 \text{ m}$  yükseklikte herhangi bir yönde ölçülen 10 dakikalık ortalama rüzgar hızlarından 50 yılda en az bir kere aşılma olasılığına karşı gelen rüzgar hızıdır. İstanbul Atatürk Havaalanı'nda sürekli olarak 1 dakika ara ile yapılan rüzgar hızı ölçüm verilerinin analizi sonucunda, İstanbul ve civarı için temel rüzgar hızı  $V_b = 25 \text{ m/s}$  olarak tanımlanmıştır.

### 3.1.2. Yüzey pürüzlülük katsayısı

Yüzey pürüzlülük katsayısı, rüzgarın geldiği doğrultudaki yüzey pürüzlülüğünün ortalama rüzgar hızına ve hızın yükseklikle değişimine yaptığı etkileri tanımlayan bir katsayıdır. Bu katsayı aşağıdaki bağıntılarla tanımlanır:

$$\begin{aligned} z > z_{\min} \text{ için } C_e(z) &= k_r \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) & ; & \quad k_r = 0.23(z_o)^{0.07} \\ z \leq z_{\min} \text{ için } C_e(z) &= C_e(z_{\min}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki bağıntılarda  $z_o$  yüzey pürüzlülük uzunluğu'nu ( $m$ ),  $z_{\min}$  ise yüzey pürüzlülük katsayısının sabit olduğu minimum yüksekliği ( $m$ ) göstermektedir. Beş değişik arazi tipi için  $z_o$  ve  $z_{\min}$  değerleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Yüzey pürüzlülük uzunlukları ( $z_o$ ) ve minimum yükseklikler ( $z_{\min}$ )

Arazi Tip No	Arazi Tipi	$z_o$ (m)	$z_{\min}$ (m)
0	Denize açık kıyı şeritleri	0.003	1
I	Göl çevreleri veya engebesiz düz ve geniş alanlar	0.01	1
II	Seyrek ağaçların ve yapıların olduğu ova, çayır tipi alanlar (engebe aralıkları ortalama engebe yüksekliğinin 20 katından fazla)	0.05	2
III	Köyler, banliyöler, ormanlık alanlar (engebe aralıkları ortalama engebe yüksekliğinin 20 katından az)	0.3	5
IV	Şehir merkezleri ve benzeri en az %15 oranında ortalama yüksekliği 15m ve üzeri yapılarla kaplı alanlar.	1.0	10

### 3.1.3. $C_t$ topoğrafya katsayısı

İstanbul'daki bütün bölgeler için topoğrafya katsayısı aşağıdaki gibi alınacaktır:

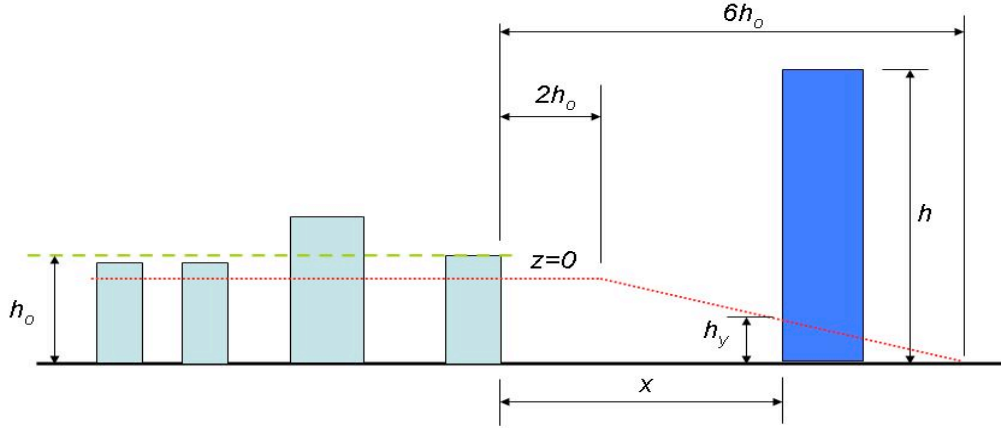
$$C_t = 1.0 + 0.001 \Delta \quad (3.4)$$

Bu bağıntıda  $\Delta$  yapının bulunduğu yerin  $m$  cinsinden deniz seviyesinden olan yüksekliğini gösterir.

### 3.1.4. Çevredeki yapıların ortalama rüzgar hızı profiline etkisi

Şehir merkezlerinde (Arazi tipi IV) etrafı daha alçak yapılarla çevrili yüksek bir yapıya gelen rüzgar yüklerinin hesabında, rüzgarın alçak yapılar tarafından bloke edilmesinin etkisi, zemin seviyesini fiktif olarak yükselterek gözönüne alınır. Yükseltme ile ilgili kurallar aşağıda **Denk.(3.5)** ve **Şekil 3.1**'de verilmiştir. Yüksek yapının rüzgar hesabı normal koşullarda yapıya etkiyen rüzgar profili ve yüklerini düşey yönde  $h_y$  kadar öteleyerek yapılır.

$$\begin{aligned}
x \leq 2h_o & \text{ ise } h_y = \min [0.8h_o, 0.6h] \\
2h_o < x < 6h_o & \text{ ise } h_y = \min [1.2h_o - 0.2x, 0.6h] \\
x \geq 6h_o & \text{ ise } h_y = 0
\end{aligned} \tag{3.5}$$



**Şekil 3.1.** Çevredeki yapıların ortalama rüzgar hızı profiline etkisi

Çevre yapıların yüksekliği konusunda detaylı bilginin olmadığı durumlarda  $h_o=15 \text{ m}$  alınacaktır.

### 3.2. DİNAMİK RÜZGAR HIZI (RÜZGAR TÜRBÜLANSI)

Dinamik rüzgar hızı *rüzgar türbülansı* olarak adlandırılır. Rüzgar türbülansı, ortalama değeri sıfır olan normal dağılımlı rastgele (random) süreç olarak modellenir ve türbülansın standart sapması  $\sigma_w$  cinsinden aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\sigma_w = k_r V_b \tag{3.6}$$

Binalara etkisi açısından, ortalama maksimum türbülans rüzgar hızı,  $\bar{w}_{\max}$ , standart sapmanın 3.5 katı olarak alınır:

$$\bar{w}_{\max} = 3.5 \sigma_w \tag{3.7}$$

#### 3.2.1. Türbülans şiddeti

Türbülansın ortalama rüzgar hızına göre relatif genliği, aşağıda tanımlanan ve yükseklikle değişen *türbülans şiddeti*  $I_w(z)$  cinsinden belirlenir.

$$\begin{aligned}
z > z_{\min} & \text{ için } I_w(z) = \frac{\sigma_w}{V_m(z)} = \frac{1}{C_t \ln(z/z_o)} \\
z \leq z_{\min} & \text{ için } I_w(z) = I_w(z_{\min})
\end{aligned} \tag{3.8}$$

$z_o$  ve  $z_{\min}$  değerleri yukarıda **Tablo 3.1**'de verilmiştir.

### 3.2.2. Türbülans uzunluğu

Türbülansın büyüklüğünü tanımlayan ikinci parametre, türbülans uzunluğudur. *Türbülans uzunluğu*,  $L(z)$ , türbülansı yaratan rüzgar dalgalarının ortalama dalga boyunu gösterir ve yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} z \geq z_{\min} \text{ için } L(z) &= 300 \left( \frac{z}{200} \right)^{\alpha} & ; & \quad \alpha = 0.67 + 0.05 \ln(z_0) \\ z < z_{\min} \text{ için } L(z) &= L(z_{\min}) \end{aligned} \quad (3.9)$$

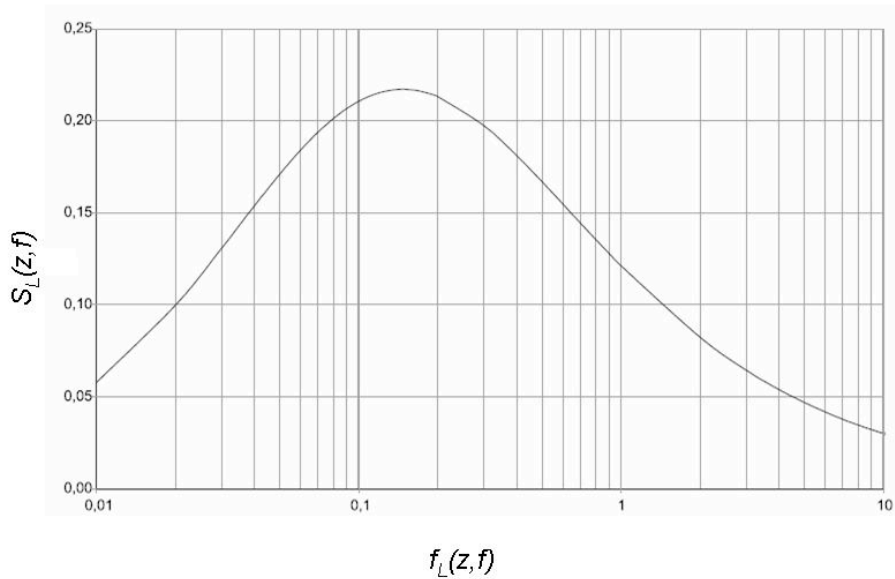
$z_0$  ve  $z_{\min}$  değerleri yukarıda **Tablo 3.1**'de verilmiştir.

### 3.2.3. Türbülans Güç Yoğunluk Fonksiyonu

Türbülans enerjisinin frekans tanım alanındaki dağılımı, yükseklikle değişen *Türbülans Güç Spektrumu Yoğunluk Fonksiyonu*  $S_L(z,f)$  ile *normalize edilmiş boyutsuz frekans*  $f_L(z,f)$  cinsinden aşağıdaki şekilde tanımlanır :

$$S_L(z,f) = \frac{6.8 f_L(z,f)}{[1 + 10.2 f_L(z,f)]^{5/3}} & ; & \quad f_L(z,f) = \frac{f L(z)}{V_m(z)} \quad (3.10)$$

Burada  $f$  frekansı (Hz) göstermektedir.  $S_L(z,f)$ 'nin  $f_L(z,f)$ 'e göre değişimi **Şekil 3.2**'de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansla değişimi.

### 3.3. MAKSİMUM RÜZGAR HIZI

**Denk.(3.1)** ve **Denk.(3.7)**'den yararlanılarak maksimum rüzgar hızı  $|V(z,t)|_{\max}$  aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$|V(z,t)|_{\max} = V_m(z) + \bar{w}_{\max} \quad (3.11)$$

## 4. RÜZGAR BASINCI

### 4.1. BİR NOKTAYA ETKİYEN MAKSİMUM RÜZGAR BASINCI

Rüzgar basıncı havanın kütle yoğunluğu ve rüzgar hızının karesi ile orantılıdır. Rüzgara dik doğrultudaki düzlemde  $z$  yüksekliğindeki bir birim alana gelen maksimum rüzgar basıncı  $q_p(z)$  **Denk.(4.1)** ile hesaplanır:

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho |V(z,t)|_{\max}^2 \quad (4.1)$$

Yukarıdaki bağıntıda,  $|V(z,t)|_{\max}$  **Denk.(3.11)**'e göre  $z$  yüksekliğinde etki eden maksimum rüzgar hızını,  $\rho$  ise havanın yoğunluğunu göstermektedir ( $\rho = 1.25 \text{ N/m}^3$ ). **Denk.(3.11)** **Denk.(4.1)**'de yerine konular ve  $\bar{w}_{\max} = V_m(z)$  olduğu gözönüne alınırsa, maximum rüzgar basıncı için aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$q_p(z) \approx \frac{1}{2} \rho V_m^2(z) + \rho V_m(z) \cdot \bar{w}_{\max} \quad (4.2)$$

**Denk.(3.7)** ve **Denk.(3.8)**'den yararlanılarak

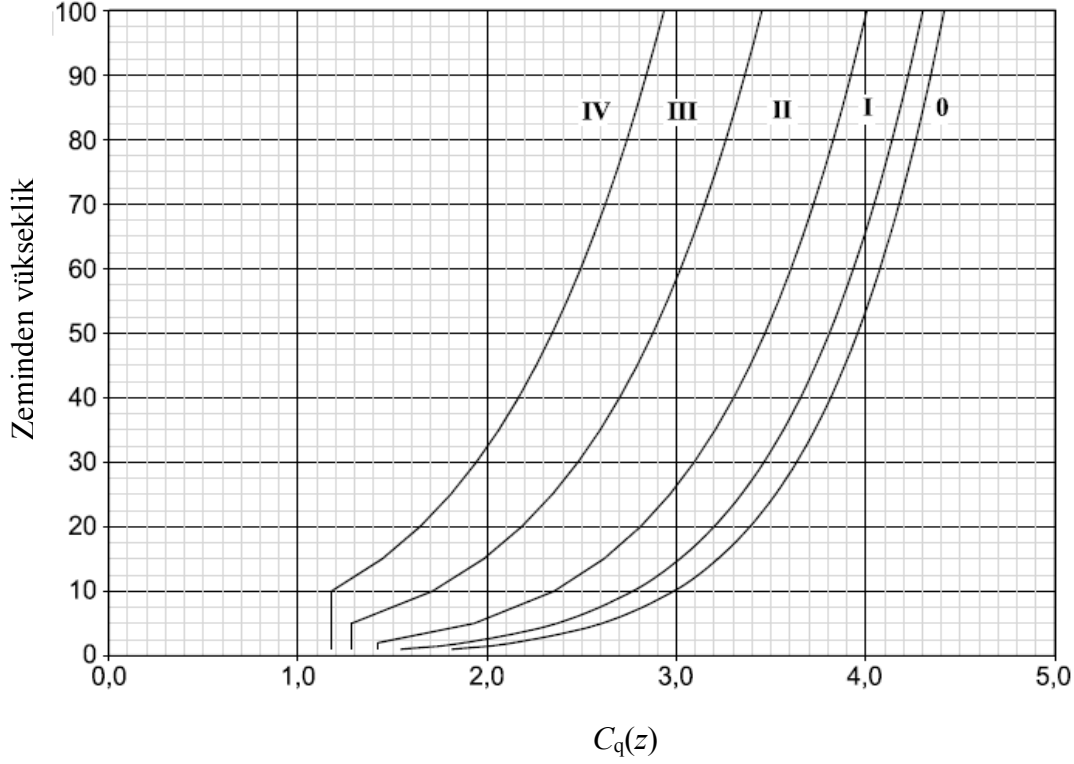
$$q_p(z) \approx \frac{1}{2} \rho V_m^2(z) [1 + 7 I_w(z)] \quad \rightarrow \quad q_p(z) \approx C_q(z) q_b \quad (4.3)$$

Bu bağıntıda yer alan *temel rüzgar basıncı*  $q_b$  ve yükseklikle değişen *etkilenme katsayısı*  $C_q(z)$ , **Denk.(3.2)**'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho V_b^2(z) \quad ; \quad C_q(z) = C_e^2(z) C_t^2 [1 + 7 I_w(z)] \quad (4.4)$$

**Tablo 3.1**'de verilen beş arazi tipi için  $C_q(z)$ 'nin yükseklikle değişimi,  $C_t$  topoğrafya katsayısı 1.0 kabul edilerek, **Şekil 4.1**'de verilmiştir.





**Şekil 4.1.**  $C_q(z)$ 'nin yükseklikle değişimi (topoğrafya katsayısı  $C_t = 1$  alınmıştır)

## 4.2. BİR YÜZEYE ETKİYEN MAKSİMUM RÜZGAR YÜKÜ

Rüzgara dik doğrultudaki düzlemde  $z$  yüksekliğindeki bir yüzeye etkiyen maksimum rüzgar yükü  $Q(z)$ , maksimum rüzgar basıncı  $q_p(z)$ 'nin yüzey alanı  $A$  ve yüzey basınç katsayısı  $C_p$  ile çarpılmasıyla bulunur:

$$Q(z) = q_p(z) C_p A \quad (4.5)$$

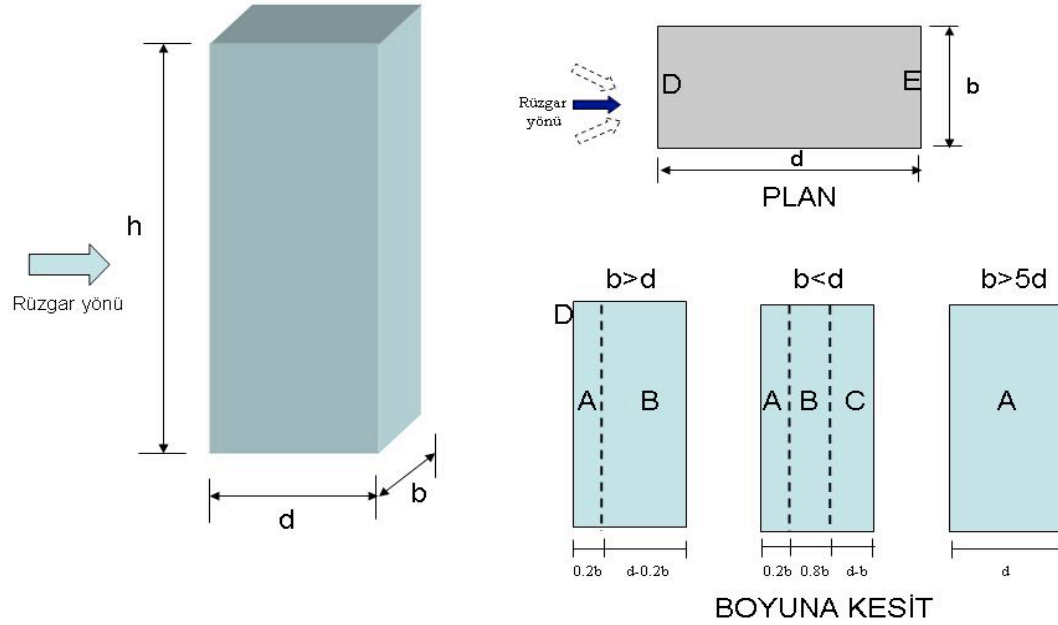
$C_p$  katsayısının değeri ve işareti yüzeyin binadaki konumuna göre (örneğin, binanın rüzgara göre ön yüzünde, arka yüzünde, yan yüzünde, çatıda, veya yapının içinde olmasına göre) değişir. Artı işaretli katsayılar yüzeye dik doğrultudaki basıncı, eksi işaretli katsayılar ise yüzeye dik doğrultudaki çekmeyi gösterir.

Binaya ve bina elemanlarına gelen rüzgar yüklerinin hesabında kullanılacak  $C_p$  katsayısının değeri rüzgara maruz yüzeyin büyüklüğüne göre değişir.  $1.0 m^2$  veya daha küçük alanlar için  $C_{p,1}$  katsayısı,  $10.0 m^2$  veya daha büyük alanlar için  $C_{p,10}$  katsayısı kullanılır. Aradaki alan değerlerine karşı gelen  $C_{p,A}$  değerleri logaritmik interpolasyonla aşağıdaki denklemde gösterildiği şekilde bulunur :

$$C_{p,A} = C_{p,1} - (C_{p,1} - C_{p,10}) \log_{10} A \quad (1m^2 \leq A \leq 10m^2) \quad (4.6)$$

Genel olarak,  $C_{p,1}$  katsayısı yapısal olmayan elemanlara ve bağlantılarına gelen rüzgar yüklerinin hesabında,  $C_{p,10}$  katsayısı ise yapının taşıyıcı sistemine gelen yüklerin hesabında kullanılır.

Dikdörtgen kesitli yapılar için yapının rüzgar yükleri açısından değişik bölgeleri Şekil 4.2’de, her bölgeye karşı gelen  $C_{p,1}$  ve  $C_{p,10}$  katsayıları ise **Tablo 4.1**’de verilmiştir.



**Şekil 4.2.** Dikdörtgen kesitli binalar için basınç katsayısı bölgeleri

**TABLO 4.1.** Dikdörtgen kesitli binalar için basınç katsayıları

h/d	A (yan yüz)		B (yan yüz)		C (yan yüz)		D (ön yüz)		E (arka yüz)	
	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$
5	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5	-	+0.8	+1.0	-0.7	-
1	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5	-	+0.8	+1.0	-0.5	-

Not:  $h/d$  nin ara değerlerine karşı gelen katsayılar interpolasyonla bulunur.  $h/d > 5$  için  $h/d=5$  değerleri kullanılabilir.

### 4.3. ÇATILARA VE DİĞER YÜZEYLERE ETKİYEN RÜZGAR YÜKLERİ

Çatılara ve diğer yüzeylere (parapetler, tabelalar, vb. gibi) gelen rüzgar yüklerinin hesabı Eurocode [1] de verilen esaslar dahilinde yapılacaktır.

## 5. BİNALARA ETKİYEN RÜZGAR YÜKLERİ

### 5.1. PLANDA DİKDÖRTGEN KESİTLİ BİNALARA ETKİYEN RÜZGAR YÜKLERİ

Planda dikdörtgen kesitli bir binaya etkiyen toplam rüzgar yükü  $F$  aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$F = F_{ex} + F_{in} + F_{fr}$$

ve

(5.1)

$$F_{ex} = C_s \cdot C_d \cdot \sum_{\text{yüzey alanı}} q_p(z_e) C_{pe} A_{ex}$$

$$F_{in} = \sum_{\text{yüzey alanı}} q_p(z_i) C_{pi} A_{in}$$

$$F_{fr} = \sum_{\text{yüzey alanı}} q_p(z_e) C_{fr} A_{fr}$$

burada

$F_{ex}$  = Dış yüzeylere etkiyen yükler

$F_{in}$  = İç yüzeylere etkiyen yükler

$F_{fr}$  = Yan yüzlere etkiyen sürtünme yükleri

$C_s$  = Yük korelasyon katsayısı

$C_d$  = Dinamik rezonans katsayısı

$q_p(z_e)$  = Dış yükseklik  $z_e$  deki maksimum basınç

$q_p(z_i)$  = İç yükseklik  $z_i$  deki maksimum basınç

$C_{pe}$  = Dış basınç katsayısı

$C_{pi}$  = İç basınç katsayısı

$C_{fr}$  = Sürtünme katsayısı

$A_{ex}$  = Referans dış yüzey alanı

$A_{in}$  = Referans iç yüzey alanı

$A_{fr}$  = Referans yan yüzey alanı (referans sürtünme alanı)

İç basınç katsayıları bina yüzündeki açıklıkların boyutu ve sıklığı ile değişir. Bir yüzdeki açıklıklar diğer yüzdeki açıklıkların en az iki katı veya daha fazla ise, o yüz iç basınçlar açısından binanın hakim yüzü olarak adlandırılır. Hesaplarda pencere ve kapı boşluklarının

açık olacağı kabul edilir. İç basınç katsayıları açıklık oranına bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

Eğer yüzeydeki açık alanlar diğer yüzeylerdeki açık alanların toplamının en az iki katı ise:

$$C_{pi} = 0.75C_{pe}$$

Eğer yüzeydeki açık alanlar diğer yüzeylerdeki açık alanların toplamının en az üç katı ise:

$$C_{pi} = 0.90C_{pe}$$

Burada  $C_{pe}$  hakim yüzdeki dış basınç katsayısını gösterir. Eğer açık alanlar değişik basınç katsayısına sahip bölgelerde ise,  $C_{pe}$  alan-ağırlıklı ortalama alınarak hesaplanır.

Duvarlar, parapetler, ve çatı yüzeyleri için sürtünme katsayıları aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

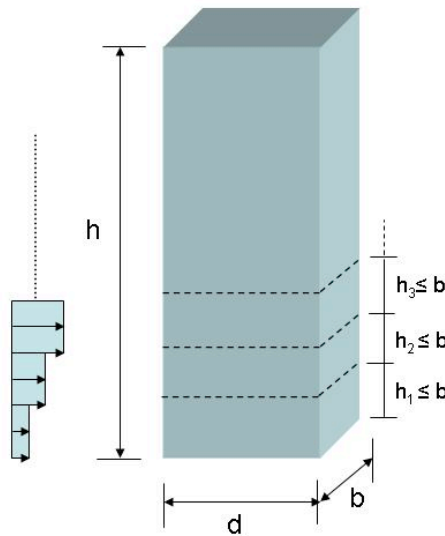
$C_{fr} = 0.01$  - pürüzsüz yüzeyler için (örn., çelik, düzgün beton gibi)

$C_{fr} = 0.02$  - pürüzlü yüzeyler için (örn., düzgün olmayan beton, asfalt kaplamalı yüzeyler gibi)

$C_{fr} = 0.04$  - Çok pürüzlü yüzeyler için (örn., ondelalı çatı kaplamaları gibi)

Sürtünme yüzeyi rüzgar yönü doğrultusundaki dış yüzeylerden oluşur. Düşey duvarlar için, sürtünme alanı rüzgar yönündeki toplam düşey duvar alanıdır. Çatılar için sürtünme alanı rüzgarın geldiği taraftaki çatı kenarından ( $2 \times$  ön yüz genişliği) veya ( $4 \times$  çatı yüksekliği) değerlerinden küçük olan kadar uzaklaştıktan sonra geriye kalan çatı alanıdır.

Binaya gelen toplam yükleri hesaplarırken bina düşey doğrultuda **Şekil 5.1**'de gösterildiği gibi dilimlere ayrılır ve her dilime gelen yükler ayrı ayrı hesaplanır. Dilimlerin yüksekliği rüzgara dik yöndeki bina genişliğinden daha fazla olmamalıdır. Yatay doğrultuda yüklerin düzgün olarak dağıldığı kabul edilecektir.



**Şekil 5.1.** Rüzgar yüklerinin düşey doğrultuda değişiminin gözönüne alınması

$C_s$  katsayısı ile, maksimum rüzgar yüklerinin bina yüzeyine her noktada aynı anda (tam korelasyonlu) etki etmediği gözönüne alınır.  $C_d$  katsayısı ise, dinamik rüzgar yükleri altında yapının dinamik davranışı (titreşimi) ve rezonans nedeniyle yerdeğiştirmelerde meydana gelen artışı gözönüne alır.  $C_s$  ve  $C_d$  katsayıları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$C_s = \frac{1 + 7I_w(z_r)\sqrt{B^2}}{1 + 7I_w(z_r)} \quad ; \quad C_d = \frac{1 + 7I_w(z_r)\sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_w(z_r)\sqrt{B^2}} \quad (5.2)$$

veya

$$C_s C_d = \frac{1 + 7I_w(z_r)\sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_w(z_r)}$$

Yukarıdaki bağıntılarda  $z_r$  referans yüksekliği (m) (toplam yüksekliğin %60'ı olarak alınabilir  $z_r = 0.6h$ ),  $I_w(z_r)$  referans yükseklikteki türbülans şiddetini (Bkz. **Denk.(3.8)**),  $B^2$  korelasyon faktörü'nü ve  $R^2$  ise rezonans faktörü'nü göstermektedir. Yukarıdaki bağıntılar, rüzgar doğrultusundaki titreşimlere birinci modun hakim olduğu planda dikdörtgen binalar için geçerlidir. Korelasyon faktörü  $B^2$  aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \left[ \frac{b+h}{L(z_r)} \right]^{0.63}} \quad (5.3)$$

Bu bağıntıda,  $b$  binanın rüzgara dik doğrultudaki genişliğini (m),  $h$  binanın yüksekliğini (m),  $L(z_r)$  ise referans yükseklik  $z_r$ 'deki ( $z_r = 0.6h$ ) türbülans uzunluğunu (m) göstermektedir (Bkz. **Denk.(3.9)**). Rezonans faktörü  $R^2$  aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$R^2 = \frac{2}{2\delta} \cdot S_L(z_r, f_0) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \quad (5.4)$$

Bu bağıntıda,  $\delta$  binanın birinci moduna karşı gelen *logaritmik azalım katsayısı*'nı,  $f_0$  binanın *birinci doğal titreşim frekansı*'nı (Hz),  $S_L(z_r, f_0)$  türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun  $z_r$  ve  $f_0$ 'daki değeri (Bkz. **Denk.(3.10)**),  $R_h(\eta_h)$  düşey doğrultudaki *aerodinamik kabul fonksiyonu*'nu,  $R_b(\eta_b)$  ise yatay doğrultudaki *aerodinamik kabul fonksiyonu*'nu göstermektedir. Logaritmik azalım katsayısı  $\delta$ , binanın birinci moduna karşı gelen sönüm katsayısı  $\xi_0$  cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\delta = \frac{2 \xi_0}{\sqrt{1 - \xi_0^2}} \approx 2 \xi_0 \quad (5.5)$$

Birinci modun hakim olduğu bina titreşimleri için  $R_h(\eta_h)$  ve  $R_b(\eta_b)$  fonksiyonları aşağıdaki bağıntılardan elde edilir:

$$\begin{aligned}
R_h(\eta_h) &= \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}) \quad ; \quad \eta_h = \frac{4.6h}{L(z_r)} f_L(z_r, f_o) \quad [\eta_h = 0 \text{ ise } R_h(\eta_h) = 1] \\
R_b(\eta_b) &= \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}) \quad ; \quad \eta_b = \frac{4.6b}{L(z_r)} f_L(z_r, f_o) \quad [\eta_b = 0 \text{ ise } R_b(\eta_b) = 1]
\end{aligned} \tag{5.6}$$

Yukarıdaki bağıntılarda  $h$  binanın yüksekliğini ( $m$ ),  $b$  rüzgara dik doğrultudaki genişliğini ( $m$ ),  $z_r$  referans yüksekliği ( $z_r = 0.6h$ ),  $f_L(z_r, f_o)$  normalize edilmiş boyutsuz frekansı (Bkz. **Denk.(3.10)**),  $L(z_r)$  ise referans yükseklik  $z_r$ 'deki ( $z_r = 0.6h$ ) türbülans uzunluğunu ( $m$ ) göstermektedir (Bkz. **Denk.(3.9)**).

## 5.2. DAİRESEL KESİTLİ BİNALARA ETKİYEN RÜZGAR YÜKLERİ

Dairesel kesitli binalara etkiyen rüzgar yükleri dikdörtgen kesitli binalara etkiyen rüzgar yüklerine benzer şekilde hesaplanır. Tek fark basınç katsayısı  $C_p$  nin hesabındaki değişikliktir.

Dairesel kesitlerde, basınç katsayısı  $C_p$  aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$C_p = C_{p,0} \cdot \psi_\alpha \tag{5.7}$$

Burada

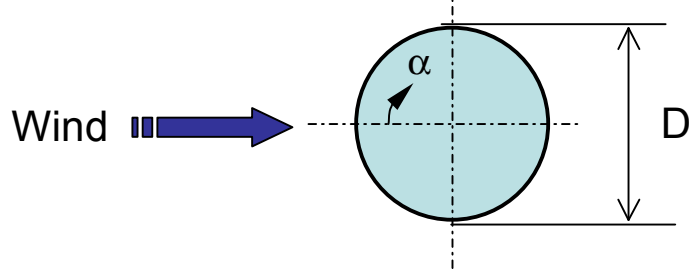
$C_{p,0}$  : *End - Effect*'siz basınç katsayısı.

$\psi_\alpha$  : *End - Effect* faktörü

*End-Effect* faktörü dairesel kesitte  $\alpha$  açısına bağlıdır (Bk. **Şekil 5.2**) ve aşağıda verildiği şekilde tanımlanır:

$$\begin{aligned}
0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min} & : \quad \psi_\alpha = 1 \\
\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_A & : \quad \psi_\alpha = \psi_A + (1 - \psi_A) \cdot \cos \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \left( \frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}} \right) \right] \\
\alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ & : \quad \psi_\alpha = \psi_A
\end{aligned} \tag{5.8}$$

$\alpha_{\min}$  ve  $\alpha_A$  minimum basınç ve akımın ayrılma noktalarına karşı gelen  $\alpha$  değerlerini gösterir. Bu değerler **Tablo 5.1** de verilmiştir.



**Şekil 5.2.** Dairesel kesitlerde rüzgar akımı.

**Tablo 5.1.** Dairesel kesitlerde basınç dağılımını kontrol eden parametreler.

$\alpha_{min}$	$C_{p0,min}$	$\alpha_A$	$C_{p0,A}$
75	-1.5	105	-0.8

### 5.3. PLANDA DİKDÖRTGEN VEYA DAİRESEL OLMAYAN BİNALARA ETKİYEN RÜZGAR YÜKLERİ

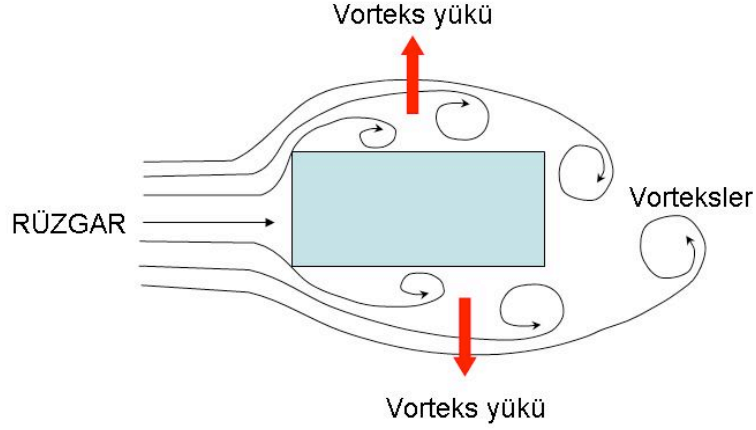
Planda dikdörtgen veya dairesel olmayan yüksek yapılara gelen rüzgar yüklerinin hesabı daha detaylı analiz gerektirir. Bu analizler mevcut literatürde kabul edilmiş yöntemleri kullanarak veya özel tipteki yapılar için rüzgar tüneli testleri ile yapılabilir.

## 6. BİNADA RÜZGARDAN OLUŞAN MAKSİMUM YERDEĞİŞTİRMELER VE İVMELER

Binadaki en büyük rüzgar yerdeğiştirmesi, yukarıda verilen rüzgar yüklerini yapıya statik yük olarak uygulayarak hesaplanır. Binadaki titreşimlerinin dinamik özelliklerinin de hesaplanması gerektiğinde (örneğin, oturanların konforunu açısından binadaki en büyük ivme değeri istendiğinde) detaylı dinamik analiz yapılması gerekir. Titreşimleri yaratan türbülans yükleri gelişigüzel yükler olduğu ve ancak istatistiki yöntemlerle (örneğin, güç spektral yoğunluk fonksiyonu ile) tanımlanabildiği için dinamik analiz genelde Gelişigüzel Titreşim Teorisi (*Random Vibration Theory*) yöntemleri kullanılarak yapılır.

## 7. VORTEKS TİTREŞİMLERİ

Rüzgarın oluşturduğu hava akımı binanın yan yüzleri etrafından geçerken Şekil 7.1’de şematik olarak gösterildiği türde vorteksler oluşur. Vorteksler değişken olarak (önce bir yan yüzde, sonra diğer yan yüzde) oluştuğu için vortekslerin yarattığı dinamik yükler de değişken yönlü olup rüzgar akış yönüne dik doğrultuda etkilir. Vorteks yükleri çok belirgin ve dar bir frekans bandında etkidiği için sinüzoidal bir yük olarak tanımlanabilirler.



Şekil 7.1. Vorteks yüklerinin oluşumu.

Vorteks yüklerinin frekansı, binanın rüzgara dik doğrultudaki doğal frekansına yakın ise yüksek binalarda bu doğrultuda büyük genlikli titreşimler oluşabilir. Aşağıdaki durumlarda vorteks titreşimleri ihmal edilebilir:

$$\begin{aligned} h/d_{\min} &< 6 \\ V_{cr} &> 1.25V_m(H) \end{aligned} \quad (7.1)$$

Bu bağıntılarda  $h$  binanın yüksekliğini,  $d_{\min}$  rüzgara dik doğrultudaki en kısa genişliğini,  $V_m(H)$  binanın tepesindeki ortalama rüzgar hızını ( $m/s$ ),  $V_{cr}$  ise aşağıda tanımlanan *kritik rüzgar hızı*'ni ( $m/s$ ) göstermektedir.

$$V_{cr} = \frac{b f_{oy}}{S_t} \quad (7.2)$$

Bu bağıntıda,  $b$  rüzgarın geldiği yüzdeki genişliğini ( $m$ ),  $f_{oy}$  binanın rüzgara dik doğrultudaki doğal frekansını ( $Hz$ ),  $S_t$  ise *Strouhal sayısı*'ni göstermektedir. Planda dairesel binalar için Strouhal sayısı 0.18 dir. Enkesiti keskin köşeli dikdörtgen yapılar için Strouhal sayısı kesitin *derinlik/genişlik* ( $d/b$ ) oranına göre aşağıdaki **Tablo 7.1**'de verilmiştir. Ara  $d/b$  değerleri için lineer interpolasyon yapılabilir.



**TABLO 7.1.** *Strouhal sayısı'nın kesitin derinlik/genişlik (d/b) oranına göre değişimi*

$d/b$	1	2	3	3.5	5	10
$S_t$	0.12	0.06	0.06	0.15	0.11	0.09

Vorteks titreşimleri rezonant tipi titreşimler olduğu için, genlikleri çok yüksek değerlere ulaşabilir. Yukarıdaki kriterler çerçevesinde vorteks olasılığı varsa, binaya vortekslerin oluşmasını önleyici aerodinamik elemanlar veya vorteks titreşimlerinin genliğini azaltıcı sönüm sistemleri eklenir.

Vorteks titreşimlerinin yaratacağı maksimum ivme ve yerdeğiştirmeler için literatürde hesap yöntemleri mevcuttur. Detaylı analiz bir uzman yardımını gerektirir.

## 8. RÜZGAR KUYRUĞU ETKİLERİ

Yüksekliğinin genişliğine oranı 4 veya daha büyük ve başka bir yüksek binanın arkasında yer alan yüksek binalar, öndeki binanın rüzgar akışında yaptığı etkiler nedeniyle ilave türbülans etkilerine maruz kalırlar. Bu etki *Rüzgar Kuyruğu Etkileri* (İngilizcede *Wake Buffeting*) olarak adlandırılır.

Rüzgar kuyruğu etkileri aşağıdaki iki koşuldaki birinin sağlandığı durumlarda ihmal edilebilir:

- (a) İki bina arasındaki uzaklığın, öndeki binanın rüzgara dik doğrultudaki genişliğinin 25 katından daha fazla olması durumu,
- (b) Binanın (arkadaki bina) doğal frekansının 1.0 Hz'den daha büyük olması durumu.

Aksi taktirde rüzgar kuyruğu etkileri gözönüne alınmalıdır. Çözüm için rüzgar tüneli deneyleri veya uzman tavsiyesi gerekebilir.

## 9. RÜZGAR TÜNELİ DENEYLERİ

Mimarisi, yapısal özellikleri veya konumu nedeniyle (örneğin geometrisi, yüksekliği, kesiti, kullanılan malzeme, bulunduğu mevki veya çevresindeki yapılar gibi) standard olmayan yüksek yapıların rüzgar davranışının ortaya çıkarılabilmesi için genelde rüzgar tüneli deneyleri gerekir. Bunlar arasında aşağıdaki bina tiplerini sayabiliriz:

- (a) Çok yüksek ve düzgün olmayan en kesitlere sahip binalar.
- (b) Çok esnek binalar (örn. tabii frekansı 1,0 Hz ün altında olan binalar).
- (c) Vorteks titreşimlerine, kuyruk çarpmalarına, ve benzer aerodinamik stabilite problemlerine maruz olabilecek binalar.
- (d) İçinde yaşayanları rahatsız edecek ölçüde titreşim yapması beklenen binalar.
- (e) Yapısal sisteme ve elemanlarına gelen rüzgar yüklerinin çok daha hassas olarak hesaplanmasını gerektiren binalar.

Rüzgar tüneli deneylerinde aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

- (a) Rüzgar tüneli, binanın bulunduğu bölgedeki atmosferik sınır tabakasını, yani rüzgar hızının yükseklikle değişimini modelleyebilmelidir.
- (b) Türbülansın makro (integral) ve mikro ölçekteki uzunlukları tüneldeki modelde de sağlanmalıdır.
- (c) Bina, etrafındaki yapılar ve bölgenin topoğrafyası geometrik olarak gerçektekine benzer şekilde modellenmelidir.
- (d) Model binanın ve etrafındaki yapıların rüzgar doğrultusundaki projeksiyonunun alanı toplam tünel alanının %8 inden fazla olmamalıdır.
- (e) Rüzgar basıncının tünel boyunca değişimi gözönüne alınmalıdır.
- (f) Reynolds sayısının rüzgar basınç ve yüklerindeki etkisi en aza indirilmelidir.
- (g) Deneyde kullanılan ölçme sensörleri ölçülen değerlerin gerektirdiği özelliklere ve hassasiyete sahip olmalıdır.
- (h) Rüzgar yüklerinin yanı sıra binanın dinamik davranışı da ölçülecekse, dinamik davranışı kontrol eden parametreler (kütle, rijitlik, sönüm gibi) modelde gerçekçi şekilde temsil edilmelidir.

Rüzgar tüneli deneyleri yukarıda verilen bütün hesap yöntemlerine alternatif olarak kullanılabilir.

## 10. BAĞIMSIZ TASARIM KONTROLU

### 10.1. BAĞIMSIZ KONTROL KURULU

Yüksek binaların bu yönetmelik kapsamında yapılacak rüzgar yüklerine göre tasarımlarının, bu alanda teorik ve pratik bilgi ve deneyim sahibi bağımsız uzmanlardan oluşan bir *Bağımsız Kontrol Kurulu* tarafından tasarımın başlangıcından (taşıyıcı sistem seçimi aşamasından) itibaren bütün aşamalarında kontrol edilerek onaylanması zorunludur. Bu onayın alınmaması durumunda inşaat ruhsatı tanzim edilmeyecektir.

*Bağımsız Kontrol Kurulu*, projenin boyutu ve özelliğine bağlı olarak iki veya üç bağımsız uzmandan oluşur. Bağımsız uzmanlar, *İstanbul Yüksek Binalar Mühendislik Üst Kurulu* tarafından oluşturulacak bir havuzdan seçilerek yine aynı kurul tarafından proje bazında atanır. Bağımsız uzmanların hizmet karşılıklarına ilişkin hususlar ayrı bir yönetmelikle düzenlenir.

## 10.2. BAĞIMSIZ UZMANLARIN NİTELİKLERİ

*Bağımsız Kontrol Kurulları*'nı oluşturacak uzmanların asgari koşul olarak, yapı veya deprem mühendisliği bakımından önemli yapı projelerinde tasarımcı veya danışman olarak en az 10 yıllık deneyim sahibi olmaları ve bunu belgelemeleri gereklidir. Uzmanların ayrıca yapı veya deprem mühendisliği konusunda master/doktora yapmış olmaları ve master/doktora tezi yönetmiş olmaları tercih nedeni olabilir.

## 10.3. İSTANBUL YÜKSEK BINALAR MÜHENDİSLİK ÜST KURULU

İstanbul Yüksek Binalar Deprem ve Rüzgar Yönetmelikleri'nin zaman içinde bilimsel gelişmelere paralel olarak geliştirilmesi, revize edilmesi, yenilenmesi, uygulamada ortaya çıkacak sorunların giderilmesi, *Bağımsız Kontrol Kurulları*'nı oluşturacak uzmanların seçilmesi ve proje bazında atanması, ilgili yönetmelik çerçevesinde hizmet karşılıklarının belirlenmesi vb gibi konularda sürekli olarak görev yapmak üzere, deprem ve rüzgar mühendisliği konularında birikim ve deneyim sahibi üniversite öğretim üyelerinden oluşan 7 kişilik *İstanbul Yüksek Binalar Mühendislik Üst Kurulu* oluşturulur. Bu kurul ayrıca yüksek binaların genel anlamda tasarımı ve yapımı ile ilgili diğer yönetmeliklerin oluşturulması, uygulamada ortaya çıkacak ihtilaf konusu hususların çözümü için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne danışmanlık görevi yapar. *İstanbul Yüksek Binalar Mühendislik Üst Kurulu*'nun görevlendirme ve çalışma esasları ayrı bir yönetmelikle düzenlenir.

## 11. YÜRÜRLÜK

11.1 – Bu Yönetmelik, yayını tarihinden itibaren bir yıl sonra yürürlüğe girer.

11.2 – Bu Yönetmelik, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Müdürlüğü tarafından yürütülür.