

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPILARA ETKİ EDEN RÜZGAR YÜKLERİNİN
EUROCODE 1-4 VE ASCE 7-05 STANDARDLARI
KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Pelin GÜRSES

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPILARA ETKİ EDEN RÜZGAR YÜKLERİNİN
EUROCODE 1-4 VE ASCE 7-05 STANDARDLARI
KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Pelin GÜRSES
(501091157)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cavidan YORGUN

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091157 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Pelin GÜRSES**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YAPILARA ETKİ EDEN RÜZGAR YÜKLERİNİN EUROCODE 1-4 VE ASCE 7-05 STANDARDLARI KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cavidan YORGUN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cavidan YORGUN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI
Yeditepe Üniversitesi

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **8 Haziran 2012**

Aileme,

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı yüksek lisans çalışması olarak sunulan bu çalışmayı yöneten, yakın ilgi ve değerli yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cavidan YORGUN' a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışması boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, çalışmada önemli katkılarda bulunan ve yardımlarını esirgemeyen hocam Dr.-Ing. Stefan Heyde'ye ve arkadaşım İnş. Yük. Müh. Ezgi AYTAÇ'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mayıs 2012

Pelin GÜRSES
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xviii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Rüzgar Tanımı.....	1
1.1.1 Rüzgarın esme yönünü etkileyen faktörler	2
1.2 Rüzgar Hızı	2
1.2.1 Rüzgar hızını etkileyen etmenler	2
1.2.2 Rüzgar etkileri.....	4
1.2.3 Rüzgar hızının rüzgar basıncına çevirilmesi	4
1.2.4 Rüzgar yükleri.....	5
1.2.5 Dinamik yük olarak rüzgar	5
1.2.6 Binada rüzgardan dolayı oluşan maksimum yerdeğiştirmeler ve ivmeler..	8
1.2.7 Vorteks titreşimleri	8
1.2.8 Rüzgar kuyruğu etkileri	9
1.2.9 Rüzgar tüneli deneyleri	9
1.3 Rüzgarın Az Katlı Üzerindeki Etkileri i.....	10
1.3.1 Bina etrafındaki akış	11
1.3.2 Basınç katsayıları	12
1.3.3 Basınç dağılımını etkileyen faktörler	12
1.3.4 Binanın değişik yerlerine etkiyen rüzgar basınçları.....	13
1.4 Rüzgarın Yüksek Yapılar Üzerindeki Etkileri	14
1.4.1 Bina yapımı ve konumlandırması	15
1.4.2 Arazinin etkisi	19
2. EUROCODE 1'E GÖRE RÜZGAR ETKİLERİ.....	21
2.1 Esas Rüzgâr Hızı	21
2.2 Ortalama Rüzgâr Hızı	22
2.3 Arazi Engebeliği.....	22
2.4 Arazi Orografisi	27
2.5 Geniş ve Dikkate Alınmaya Değer Yükseklikteki Komşu Yapılar	32
2.6 Rüzgâr Türbülansı	33
2.7 Tepe Hız Kaynaklı Rüzgar Basıncı.....	34
2.8 Yüzeylerdeki Rüzgâr Basıncı.....	35
2.9 Rüzgar Kuvvetleri	36
2.10 Basınç Katsayıları	37

2.10.1 Düz çatılar için dış basınç katsayıları	43
2.10.2 Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları	45
2.10.3 Tonozlar ve kubbeler için dış basınç katsayıları	48
2.10.4 İç basınç	50
2.10.5 Bağlantısız duvarlar ve parapetler	53
3. ASCE 7-05'E GÖRE RÜZGAR YÜKLERİ	55
3.1 Rüzgar Yüğü Tasarım Yöntemleri	56
3.2 Rüzgar Doğrultu Katsayısı	58
3.3 Önem Katsayısı	60
3.4 Hız Basıncı Maruz Kalma Katsayısı	60
3.5 Topografik Etkiler	61
3.6 Fırtına Etkisi Faktörü	62
3.7 Esnek ve Dinamik Olarak Hassas Yapılar	63
3.8 Rüzgar Hız Basıncı	65
3.9 Basınç ve Kuvvet Katsayıları	65
3.10 Dış Basınç Katsayısı	65
3.11 Kapalı ve kısmen kapalı binalar için tasarım rüzgar yüklerinin hesaplanması	72
4. ÖRNEKLER	75
4.1 Örnek 1	75
4.1.1 Yapı özellikleri	75
4.1.2 Eurocode 1'e göre çözüm	76
4.1.2.1 Yapının düşey duvarlarına etkiyen rüzgar yükü	78
4.1.2.2 Çatı için dış basınç katsayılarının hesaplanması	80
4.1.2.3 Basınç katsayılarının gösterimi ve hesaplanması	83
4.1.2.4 Yüzeylerdeki rüzgar basıncının hesaplanması	89
4.1.3 ASCE 7-05'e göre çözüm	93
4.1.3.1 Rüzgar hız basıncı	93
4.1.3.2 Basınç ve kuvvet katsayıları	94
4.1.3.3 Rüzgar basınçları hesabı	96
4.1.4 Örnek 1 için sonuçların karşılaştırılması	99
4.2 Örnek 2	102
4.2.1 Yapı özellikleri	102
4.2.2 Eurocode 1'e göre çözüm	102
4.2.2.1 Yapının düşey duvarlarına etkiyen rüzgar yükü	105
4.2.2.2 Çatı için dış basınç katsayılarının hesaplanması	106
4.2.2.3 Basınç katsayılarının gösterimi ve hesaplanması	110
4.2.2.4 Yüzeylerdeki rüzgar basıncının hesaplanması	115
4.2.3 ASCE 7-05'e göre çözüm	119
4.2.3.1 Basınç ve kuvvet katsayıları	120
4.2.3.2 Rüzgar basınçları hesabı	123
4.2.4 Örnek 2 için sonuçların karşılaştırılması	126
4.3 Örnek 3	128
4.3.1 Yapı özellikleri	128
4.3.2 Eurocode 1'e göre çözüm	128
4.3.2.1 Yapının düşey duvarlarına etkiyen rüzgar yükü	130
4.3.2.2 Çatı için dış basınç katsayılarının hesaplanması	136
4.3.2.3 Basınç katsayılarının gösterimi ve hesaplanması	136
4.3.2.4 Yüzeylerdeki rüzgar basıncının hesaplanması	137
4.3.3 ASCE 7-05'e göre çözüm	142

4.3.3.1 Rüzgar hız basıncı.....	143
4.3.3.2 Basınç ve kuvvet katsayıları	144
4.3.3.3 Rüzgar basınçları hesabı	145
4.3.4 Örnek 3 için sonuçların karşılaştırılması	150
5. TSE 498'E GÖRE RÜZGAR YÜKLERİ	153
5.1 Örnek 1	155
5.2 Örnek 3	156
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	159
6.1 Parametreler	159
6.1.1 Eurocode 1 için hesap akışı.....	159
6.1.2 ASCE 7-05 için hesap akışı	161
6.2 Sonuçlar ve Öneriler	162
KAYNAKLAR	165
ÖZGEÇMİŞ.....	167

KISALTMALAR

ASCE 7-05 : Amerikan Society of Civil Engineers

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Arazi kategorileri ve arazi parametreleri.....	22
Çizelge 2.2 : x uzunlukları.....	23
Çizelge 2.3 : Etkili uzunluk L_e değerleri.....	28
Çizelge 2.4 : Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri.....	41
Çizelge 2.5 : Düz çatılar için dış basınç katsayıları.....	43
Çizelge 2.6 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları ($\theta = 0^\circ$)	45
Çizelge 2.7 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları($\theta = 90^\circ$).....	46
Çizelge 2.8 : Bağlantısız duvarlar ve parapetlere ait tavsiye edilen $c_{p,net}$ basınç katsayıları	52
Çizelge 3.1 : Rüzgar doğrultu katsayısı, K_d	57
Çizelge 3.2 : Önem katsayısı, I	58
Çizelge 3.3 : Hız basıncı maruz kalma katsayısı, K_z ve K_h	59
Çizelge 3.4 : K_1 faktörü için değerler	61
Çizelge 3.5 : Bölgeler için parametreler	62
Çizelge 3.6 : İç basınç katsayısı, GC_{pi}	64
Çizelge 3.7 : Duvar Basınç Katsayısı, C_p	65
Çizelge 3.8 : Çatı Basınç Katsayısı, C_p	66
Çizelge 3.9 : Tono çatı için dış basınç katsayısı, C_p	68
Çizelge 3.10 : Dış basınç katsayısı, GC_{pf}	70
Çizelge 4.1 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ ve 90° için bölgeler için c_{pe} katsayısı	77
Çizelge 4.2 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler için c_{pe} katsayısı	78
Çizelge 4.3 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler için c_{pe} katsayısı	80
Çizelge 4.4 : Bölgeler için rüzgar basıncı değerleri	87
Çizelge 4.5 : Bölgeler için rüzgar basıncı değerleri	88
Çizelge 4.6 : Farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı değerleri	92
Çizelge 4.7 : Duvarlar için dış basınç katsayısı, C_p	93
Çizelge 4.8 : Çatı için dış basınç katsayısı, C_p	93
Çizelge 4.9 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.....	94
Çizelge 4.10 : Rüzgara dik ve arka duvar için ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre net basınç değerleri.....	97
Çizelge 4.11 : Yan duvar için ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre net basınç değerleri	98
Çizelge 4.12 : Rüzgarın çatı sırtına dik geldiği durum için Eurocode 1'e göre çatıda oluşan net basınç değerleri	98
Çizelge 4.13 : Rüzgarın çatı sırtına paralel geldiği durum için Eurocode 1'e göre çatıda oluşan net basınç değerleri.....	99
Çizelge 4.14 : ASCE 7-05'e göre çatıda oluşan net basınç değerleri.....	99

Çizelge 4.15 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler için c_{pe} katsayısı.....	104
Çizelge 4.16 : Bölgeler için $c_{pe,10}$ katsayıları	106
Çizelge 4.17 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler için c_{pe} katsayısı.....	108
Çizelge 4.18 : Bölgeler için rüzgar basıncı değerleri.....	113
Çizelge 4.19 : Bölgeler için rüzgar basıncı değerleri.....	114
Çizelge 4.20 : Farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı değerleri	117
Çizelge 4.21 : Duvarlar için dış basınç katsayısı, C_p	118
Çizelge 4.22 : Çatı için dışbasınç katsayısı değerleri	119
Çizelge 4.23 : Çatı için dışbasınç katsayısı, C_p	119
Çizelge 4.24 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.....	120
Çizelge 4.25 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.....	122
Çizelge 4.26 : Tonoz çatı için ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre dış basınç katsayıları.....	124
Çizelge 4.27 : Tonoz çatı için ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre dış basınç değerleri	124
Çizelge 4.28 : Yüksekliğe bağlı olarak hesaplanan rüzgar basınçları	129
Çizelge 4.29 : Rüzgârın 28,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda c_{pe} katsayısı	130
Çizelge 4.30 : Yüksekliğe bağlı olarak hesaplanan rüzgar basınçları	131
Çizelge 4.31 : Rüzgârın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda c_{pe} katsayısı	132
Çizelge 4.32 : Bölgeler için c_{pe} katsayısı	134
Çizelge 4.33 : Duvarlarda bölgeler için rüzgar basınçları	135
Çizelge 4.34 : Bölgeler için rüzgar basınçları.....	135
Çizelge 4.35 : D bölgesi için rüzgar basınçları.....	136
Çizelge 4.36 : Bölgeler için rüzgar basınçları.....	136
Çizelge 4.37 : Bölgeler için parametreler	139
Çizelge 4.38 : Farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı değerleri	141
Çizelge 4.39 : Duvarlar için dış basınç katsayısı, C_p	142
Çizelge 4.40 : Çatı için dış basınç katsayısı, C_p	142
Çizelge 4.41 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.....	143
Çizelge 4.42 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.....	145
Çizelge 4.43 : Rüzgar 28,5m'lik duvara dik geldiğinde ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre net basınç değerleri.....	147
Çizelge 4.44 : Rüzgar 16,5m'lik duvara dik geldiğinde ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre net basınç değerleri.....	148
Çizelge 4.45 : Rüzgar 28,5m'lik duvara dik geldiğinde ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre duvarlarda ve çatıda oluşan net basınç değerleri	149
Çizelge 4.46 : Rüzgar 16,5m'lik duvara dik geldiğinde ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre duvarlarda ve çatıda oluşan net basınç değerleri.....	149
Çizelge 5.1 : Rüzgâr hızının yükseklik ile değişimi	150
Çizelge 5.2 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve rüzgar basıncı	153
Çizelge 5.3 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve rüzgar basıncı	154

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Rüzgar türbülans ve ortalama değeri.....	6
Şekil 1.2 : Dikdörtgen kesitli bir yapıda, rüzgar esme yönüne göre yük-titreşim tanımları.	6
Şekil 1.3 : Girdap kopmaları ve etkisi.	7
Şekil 1.4 : Vorteks yüklerinin oluşumu.	8
Şekil 1.5 : Duvar üzerinde rüzgar yönüne dik bölgelerdeki basınç değişimleri.....	10
Şekil 1.6 : Basit bina şeklinin etrafındaki akış çizgileri	11
Şekil 1.7 : Az eğimli çatısı olan bir yapı için rüzgar basınç dağılımları.	12
Şekil 1.8 : Aşağı doğru akım.	15
Şekil 1.9 : Zemin kat köşeleri etrafında ivmelenen akım.	16
Şekil 1.10 : Rüzgara çözüm olarak gölgelik kullanımı.....	16
Şekil 1.11 : Podyum kullanımı.	17
Şekil 1.12 : Açıklıklarda oluşan güçlü akım.....	17
Şekil 1.13 : Çardak yardımıyla rüzgarın yönünün değiştirilmesi.	18
Şekil 1.14 : Köşe akımları.	19
Şekil 2.1 : Arazi engebeliliğinin değerlendirilmesi	25
Şekil 2.2 : Orografik yapı üzerindeki rüzgâr hızının yükselişinin gösterimi.....	26
Şekil 2.3 : Yamaç ve yarlar için s katsayısı.	28
Şekil 2.4 : Yamaç ve yarlar için s katsayısı.	29
Şekil 2.5 : İki farklı komşu yapıya (1 ve 2 nolu yapılar) daha yüksek bir yapının etkisi.	32
Şekil 2.6: Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ 'nin $c_0=1,0$ ve $k_1=1,0$ için grafik gösterimi ..	33
Şekil 2.7 : Yüzeylerdeki basınç.	34
Şekil 2.8 : Değeri 1 m^2 ile 10 m^2 arasında yüklenmiş alanı bulunan binalarda dış basınç katsayısı, c_{pe} 'nin belirlenmesi için tavsiye edilen işlem.	37
Şekil 2.9 : Çıkıntı yapan çatılar için ilgili basınçların gösterimi	38
Şekil 2.10 : h ve b değerlerine bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgâr basıncı profili	39
Şekil 2.11 : Düşey duvarlar için açıklamalar.....	40
Şekil 2.12 : Düz çatılar için açıklamalar.....	42
Şekil 2.13 : Çift eğimli çatılar için açıklamalar.....	44
Şekil 2.14 : Dikdörtgen tabanlı tonozlar için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ dış basınç katsayıları.	47
Şekil 2.15 : Dikdörtgen tabanlı kubbeler için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ dış basınç katsayıları.	48
Şekil 2.16 : Düzgün dağılım gösteren açıklıklar için iç basınç katsayıları.....	50
Şekil 2.17 : Bağlantısız duvarlar ve parapetlere ait bölgeler için açıklamalar.	53

Şekil 3.1 : Topografik parametreler	61
Şekil 3.2 : Dik çatı için dış basınç dağılımı.	65
Şekil 3.3 : Kubbe çatılar için bölgelerin dağılımı	64
Şekil 3.4 : Kubbe çatılar için dış basınç katsayısı, C_p	64
Şekil 3.5 : Rüzgarın çatır sırtına dik geldiği durumda duvarlarda ve çatıda oluşan basınç alanları.....	69
Şekil 3.6 : Rüzgarın çatı sırtına paralel geldiği durumda duvarlarda ve çatıda oluşan basınç alanları.....	70
Şekil 3.7 : Burulmalı yükleme durumu için bölgeler.....	71
Şekil 4.1 : Yapının boyutları.....	73
Şekil 4.2 : Duvarlara etkiyen rüzgar basınç profili	76
Şekil 4.3 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ için bölgeler	76
Şekil 4.4 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ için bölgeler.	77
Şekil 4.5 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler.	78
Şekil 4.6 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler	79
Şekil 4.7 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler	79
Şekil 4.8 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler	80
Şekil 4.9 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	81
Şekil 4.10 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.....	82
Şekil 4.11 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.....	83
Şekil 4.12 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.....	84
Şekil 4.13 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	85
Şekil 4.14 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	86
Şekil 4.15 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı +0,2.	89
Şekil 4.16 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı -0,3	89
Şekil 4.17 : Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ ve iç basınç katsayısı +0,2.	90
Şekil 4.18 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı -0,3	90
Şekil 4.19 : Dik çatı için dış basınç dağılımı	92
Şekil 4.20 : Rüzgar basınç dağılımı	95
Şekil 4.21 : Rüzgar basınç dağılımı	95
Şekil 4.22 : Rüzgar basınç dağılımı	96
Şekil 4.23 : Rüzgar basınç dağılımı	96
Şekil 4.24 : Yapının boyutları.....	100
Şekil 4.25 : Duvarlara etkiyen rüzgar basınç profili	103
Şekil 4.26 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler	103
Şekil 4.27 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler	104
Şekil 4.28 : Dikdörtgen tabanlı tonozlar için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ dış basınç katsayıları	105
Şekil 4.29 : A, B, C bölgeleri için dış basınç dağılımı	106
Şekil 4.30 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler.....	106
Şekil 4.31 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler	107
Şekil 4.32 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler	107
Şekil 4.33 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler	108
Şekil 4.34 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	108
Şekil 4.35 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	109
Şekil 4.36 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	110
Şekil 4.37 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	111
Şekil 4.38 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	111
Şekil 4.39 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı	112

Şekil 4.40 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı +0,2.....	114
Şekil 4.41 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı -0,3.....	115
Şekil 4.42 : Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ ve iç basınç katsayısı +0,2.	115
Şekil 4.43 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı -0,3.....	116
Şekil 4.44 : Tonoz çatı için dış basınç dağılımı.....	118
Şekil 4.45 : Tonoz çatı için bölgeler.....	119
Şekil 4.46 : Rüzgar basınç dağılımı.....	121
Şekil 4.47 : Rüzgar basınç dağılımı.....	121
Şekil 4.48 : Rüzgar basınç dağılımı.....	122
Şekil 4.49 : Rüzgar basınç dağılımı.....	123
Şekil 4.50 : Tnoz çatı için bölgeler.....	123
Şekil 4.51 : Yapının boyutları.....	125
Şekil 4.52 : Duvarlara etkiyen rüzgar basınç profili.....	128
Şekil 4.53 : Rüzgârın 28,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumu için bölgeler.....	129
Şekil 4.54 : Duvarlara etkiyen rüzgar basınç profili.....	130
Şekil 4.55 : Rüzgârın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumu için bölgeler.....	132
Şekil 4.56 : Rüzgârın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumu için bölgeler.....	133
Şekil 4.57 : Rüzgârın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumu için bölgeler.....	133
Şekil 4.58 : Rüzgâr 28,5 m uzunluğundaki duvara dik ve iç basınç katsayısı +0,2 için rüzgar basınç dağılımı	137
Şekil 4.59 : Rüzgâr 28,5 m uzunluğundaki duvara dik ve iç basınç katsayısı -0,3 için rüzgar basınç dağılımı	137
Şekil 4.60 : Rüzgâr 16,5 m uzunluğundaki duvara dik ve iç basınç katsayısı +0,2 için rüzgar basınç dağılımı	138
Şekil 4.61 : Rüzgâr 16,5 m uzunluğundaki duvara dik ve iç basınç katsayısı -0,3 için rüzgar basınç dağılımı	138
Şekil 4.62 : Rüzgar basınç dağılımı.....	144
Şekil 4.63 : Rüzgar basınç dağılımı.....	144
Şekil 4.64 : Rüzgar basınç dağılımı.....	146
Şekil 4.65 : Rüzgar basınç dağılımı.....	146
Şekil 5.1 : Rüzgâr hızının yükseklik ile değişimi	150
Şekil 5.2 : Rüzgâr hızının yükseklik ile değişimi	151
Şekil 5.3 : Rüzgâr hızının yükseklik ile değişimi	152
Şekil 5.4 : Yapı yüzeylerinde oluşan rüzgar basıncı.....	153
Şekil 5.5 : Yapı yüzeylerinde oluşan rüzgar basıncı.....	154

YAPILARA ETKİ EDEN RÜZGAR YÜKLERİNİN EUROCODE 1-4 VE ASCE 7-05 STANDARDLARI KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Mühendislik yapıları beklenen hizmet ve yaşam süreleri boyunca maruz kalacakları olası yükleri karşılayabilecek şekilde tasarlanır ve inşa edilirler. Bir yapı tasarlanırken göz ardı edilemeyecek en önemli unsurlardan biri rüzgar yüküdür.

Bu tez çalışması içerisinde Avrupa’da yaygın olarak kullanılan Eurocode 1-4 ve Amerika’da yaygın olarak kullanılan ASCE 7-05 standartları incelenmiştir. Bu standartlar doğrultusunda, farklı tip yapılarda rüzgar yükleri hesaplanmıştır. Son olarak ise yönetmelikler hesap esasları, göz önüne alınan parametreler, elde edilen yüklere bağlı olarak karşılaştırılmıştır.

Birinci bölümde, rüzgar ile rüzgar hızının tanımı yapılmış ve rüzgar hızını etkileyen etmenlerden bahsedilmiştir. Yapıya etkileyen önemli yüklerden biri olan rüzgar yükü dinamik bir yük olarak ele alınmış ve yapıya olan etkileri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenen değişik yükseklikte olan yapılar açısından rüzgar yükü ele alınmıştır. Rüzgarın az katlı ve çok katlı yapılara olan etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yüksek binalar için yapının konumunun ve şeklinin rüzgar akışına etkilerinden bahsedilmiş ve arazinin bu akışa olan etkisi değerlendirilmiştir.

İkinci bölümde, rüzgar yükü ve rüzgar basıncı hesaplamalarında Avrupa’da yaygın şekilde kullanmakta olan Eurocode 1-4 yönetmeliği incelenmiştir. İnceleme sonucunda bu standard ile ilgili önemli bilgiler özet halinde sunulmuş, şekil ve çizelgeler yardımıyla açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, rüzgar yükü ve rüzgar basıncı hesaplamalarında Amerika’da yaygın olarak kullanılmakta olan ASCE 7-05 yönetmeliği incelenmiştir. İnceleme bu standard ile ilgili önemli bilgiler özet halinde sunulmuş, şekil ve çizelgeler yardımıyla açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, diğer bölümlerde ayrıntılı olarak incelenen standartlar çerçevesinde birbirinden farklı 3 yapı için rüzgar yükleri hesaplanmıştır. Bu standartlarda yer alan bilgiler doğrultusunda; kırık çatılı bir endüstri yapısı, tonoz çatılı bir endüstri yapısı ve çok katlı bir yapı olmak üzere toplamda üç farklı yapı göz önüne alınmıştır.

Yapıların her iki standarda uygun olarak hesaplanan rüzgar yükleri rüzgarın etki ettiği her ayrı bölüm için birbirleriyle karşılaştırılmış ve bu farklılığa neden olabilecek parametreler verilmiştir.

Beşinci bölümde ise TSE 498 ile ilgili bilgiler verilmiştir. ASCE 7-05 ve Eurocode 1’e göre hesaplanan rüzgar yükleri, kırık çatılı endüstri yapısı ve çok katlı yapı için TSE 498’e göre tekrar hesaplanmıştır.

Beşinci bölümde, her iki standard kapsamında belirlenen rüzgar yükleri için hesap akışları verilmiştir. Bu bağlamda rüzgar yükünün hesaplanmasında önem teşkil eden parametrelere değinilmiştir. Eurocode 1-4 ve ASCE 7-05'e göre rüzgar yükü hesabı yapılan yapılar için elde edilen sonuçlar kıyaslanmış ve sonuçlar ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Bu iki standard son olarak TSE 498 ile karşılaştırılmış ve TSE 498'in eksik yönlerine değinilmiştir.

A COMPARISON OF WIND LOADS ACTING ON STRUCTURES BY MEANS OF USING EUROCODE 1-4 AND ASCE 7-05

SUMMARY

The engineering structures are designed and constructed to be able resist against possible load that could be anticipated during expected service and lifetime. First structures must able to resist their internal load and external loads (such as wind and snow), they should not deform due to material degradation and they must not collapse. One of the most important factors in designing a structure is the wind load.

In this study, Eurocode 1-4 and ASCE 7-05 building codes, which are used in Europe and America respectively, are investigated. Using these codes, wind loads in various structures were calculated. Finally, the calculation methods according to codes and the parameters were compared using the calculated loads.

In the first chapter, a brief definition of wind is given, and the factors that effect the wind direction are explained. Wind velocity was defined, and the factors affecting wind velocity were discussed. As it is an important factor that exerts on structures, wind load has been studied as a dynamic load, and its effects on structures have been explored.

In the scope of this study, wind loads affecting structures of varying heights were studied, and its affects on low-rise and tall buildings have been studied.

The pressure fluctuations and suction on a low-rise building depends on how the structure splits the air flow. In flat or low-sloped buildings, that windward side is exposed to pressure; in the other regions, the pressure is below that of ambient pressure. Building shape, openings, wind direction, increase of wind velocity with respect to height, and the cladding are variables that affect pressure distribution.

The effects of building orientation and massing on wind flow has been discussed, and the effect of geographical formations on wind flow has been assessed.

In the second chapter, Eurocode 1-4, which is often used in calculating wind load and wind pressure in Europe, has been analyzed. As a result of this analysis, the information in the standards has been summarized and explained, by means of using figures and charts.

In the third chapter, ASCE 7-05, which is often used in calculating wind load and wind pressure in America, has been analyzed. As a result of this analysis, the information in the standards has been summarized and explained, by means of using figures and charts.

In the fourth chapter, in the light of the codes, wind load for three different buildings have been analysed. By means of using the information gathered from the codes, an industrial structure with a duopitch roof, an industrial structure with a vaulted roof and a tall building have been taken into account.

The wind loads of the duopitch-roofed industrial structure was evaluated using Eurocode 1-4 and ASCE 7-05 respectively. The width of the structure is 30 m, the length 30 m and the height is designed as 7.9 m. The slope of the roof is 5° , and the peak of the building is determined as 9.2 m. The distance between frames are 6 m. The wind velocity, determined according to the structure's orientation, is 25 m/s.

When the first example has been analysed according to Eurocode 1, the wind pressure is calculated by taking parameters such as terrain effects and turbulence intensity into account. Based on the walls effected by the wind/ surface length parallel to wind direction (h/d), the structure is divided into 5 parts (A, B, C, D, and E) and the external pressure coefficients c_{pe} are determined. Based on the slope, the roof is divided in into 5 segments (F, G, H, I and J), and the external pressure coefficients c_{pe} are determined. The internal pressure coefficient, which is dependant on the distribution and dimension of the openings in the building, is determined $+0,2$ or $-0,3$, depending on worst case scenarios.

According to ASCE 7-05, the wind directionality factor, importance factor, velocity pressure exposure coefficient and the wind velocity pressure due to topographical factors are calculated. When the walls exposed to wind are observed, the walls are categorized according to being windward wall, leeward wall and side walls On the windward walls the wind pressure is seperately calculated for varying heights, and for the other walls, a single pressure is calculated.

The external pressure values for walls are determined according to building length/building width (L/B) ratio. For determining external pressure on the roof, the ratio of building height/building length (h/L) is taken into account. For enclosed buildings, the internal pressure coefficient is taken as ± 0.18 . The external wind pressure is calculated related to these parameters.

The wind loads for an industrial structure with a vaulted roof was chosen, and its wind loads were evaluated using Eurocode 1-4 and ASCE 7-05 respectively. The width of the structure is 30 m, the length 30 m and the height is designed as 7.9 m. The peak of the building is determined as 9.2 m. The distance between frames are 6 m. The wind velocity, determined according to the structure's orientation, is 25 m/s.

When the wind pressure is calculated according to Eurocode 1, parameters such as terrain effects and turbulence intensity are taken into account. Based on the walls effected by the wind/ surface length parallel to wind direction (h/d), the structure is divided into 5 parts (A, B, C, D, and E) and the external pressure coefficients c_{pe} are determined. The roof is divided in into 3 segments (A, B, C). In determining the zones, the roof is devided in 4 segments. Zone A and B have 1 segment each, while zone C has 2 segments. The external pressure coefficients are read on graphs according to ratios vault height/structure length and structure height/structure length. The internal pressure coefficient, which is dependant on the distribution and dimension of the openings in the building, is determined $+0,2$ or $-0,3$, depending on worst case scenarios. The wind pressure exerten on external surfaces are calculated, taking these parameters into account.

In the calculations performed according to ASCE 7-05, the wind directionality factor, importance factor, velocity pressure exposure coefficient and the wind velocity pressure due to topographical factors are calculated. When the walls exposed to wind are observed, the walls are categorized according to being windward wall, leeward wall and side walls On the windward walls the wind pressure is seperately calculated for varying heights, and for the other walls, a single pressure is calculated.

The external pressure values for walls are determined according to building length/building width (L/B) ratio. For determining external pressure on the vaulted roof, it is assumed that the roof is made of 3 segments: the windward quarter, the central half quarter and leeward quarter.

The wind loads of the high-rise buildings was evaluated using Eurocode 1-4 and ASCE 7-05 respectively. The width of the structure is 16.5 m, the length 28.5 m and the height is designed as 100 m. The wind velocity, determined according to the structure's orientation, is 25 m/s.

According to Eurocode 1, parameters such as terrain effects and turbulence intensity must be considered. Based on the walls effected by the wind/ surface length parallel to wind direction (h/d), the structure is divided into 5 zones (A, B, C, D, and E) and the external pressure coefficients c_{pe} are determined. Zone D, the section where the wind impacts perpendicularly, can be assumed as an struncture composed of a part up to b (structure width), that is the section from the bottom up to height b , the section from the top down to height b , and the mid-section in between these heights. The roof is divided in into 5 segments (F, G, H,I and J), and the external pressure coefficients c_{pe} are determined. The external pressure coefficients are read on graphs according to ratios vault height/structure length and structure height/structure length. The internal pressure coefficient, which is dependent on the distribution and dimension of the openings in the building, is determined $+0,2$ or $-0,3$, depending on worst case scenarios. The wind pressure exerten on external surfaces are calculated, taking these parameters into account.

By means of using ASCE 7-05, the wind directionality factor, importance factor, velocity pressure exposure coefficient and the wind velocity pressure due to topographical factors are calculated. When the walls exposed to wind are observed, the walls are categorized according to being windward wall, leeward wall and side walls. On the windward walls the wind pressure is seperately calculated for varying heights, and for the other walls, a single pressure is calculated. The external pressure values for walls are determined according to building length/building width (L/B) ratio. For determining external pressure on the roof, the ratio of building height/building length (h/L) is taken into account. For enclosed buildings, the internal pressure coefficient is taken as ± 0.18 .

In the light of these two building codes, the wind loads on all the examples were calculated, their magnitudes were compared, and the parameters that may cause the differences in results were discussed.

In the fifth chapter provides information about TSE 498. Wind pressures, which are calculated according to Eurocode 1 and ASCE 7-05, have been calculated for the industry structure with duopitch roof and high-rise structures according to the TSE 498.

In the sixth chapter, the calculated flow of wind loads are displayed, by means of using both codes. The parameters that are essential in calculating wind loads were discussed. The results of the wind load calculations based on Eurocode 1-4 and ASCE 7-05 are compared, and the results are presented in detail. Finially these two standards have been compared with TSE 498.

1. GİRİŞ

Rüzgar yüklerinin belirlenmesi ve binalara etkisinin hesaplanması bir yapı tasarımının en önemli ilkelerindendir. Bu tez çalışmasında da farklı bölgelerde çeşitli deneyler sonucu oluşturulmuş olan standartlar incelenmiş, bu standartlardan ASCE 7-05 ve Eurocode 1 üzerinde durulmuş ve detaylar sunulmuştur. Her iki standardda yer alan yöntemler ile üç farklı yapı türü esas alınarak elde edilen sonuçlar kıyaslanmış, tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

1.1 Rüzgar Tanımı

Yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru olan, yatay yönlü hava hareketlerine rüzgar denir. Hava hareketlerinin temel belirleyicisi, atmosfer basıncının bölgeler arasında farklı değerlerde bulunmasıdır. Rüzgar, alçak basınçla yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır, daima yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket eder.

İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar büyük olursa, hava akım hızı o kadar fazla olur. İki yer arasındaki basınç eşitlenince rüzgar durur. Rüzgâr sahip olduğu hıza göre esinti, fırtına gibi isimler alır.

Atmosfer basıncı farklarından ve yer kürenin değişik bölgeleri arasındaki sıcaklık farklarından kaynaklanan hava hareketidir. Havanın hareket etmesine kara ve hava sıcaklığındaki değişimler neden olur. Sıcaklık farkları, yüksek, alçak basınç alanlarının doğmasına yol açar. Sıcak bölgelerde alçak basınç, soğuk bölgelerde yüksek basınç alanları oluşur. Bu iki bölge arasında basınç farkının oluşması sonucu hava yer değiştirerek yüksek bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru hareket eder. Havanın bu hareketinin adı olan rüzgârın hızı, havanın hareket hızına bağlıdır. Bu hız saniyede metre ve saatte kilometre olarak açıklanır. Bir yerde, rüzgârın hızlı esmesi, hava olaylarının şiddetli bir biçimde geliştiğini gösterir. Hızla esen rüzgârın yıkıcı etkisi bu başlangıçtan ileri gelir.

1.1.1 Rüzgarın esme yönünü etkileyen faktörler

- Basınç merkezlerinin konumu: Rüzgarlar her zaman yüksek basınçtan alçak basınca doğru eserler.
- Yer şekilleri: Sıradağlar, boğazlar, derin ve uzun vadiler rüzgarların gerçek yönlerini değiştirirler. Rüzgarlar genellikle boğazlara, vadilere uygun eserler.

Herhangi bir yerde rüzgarın yıl içinde en fazla estiği yöne hakim rüzgar yönü denir. Hakim rüzgar yönü ile yer şekillerinin uzanış doğrultusu arasında bir paralellik vardır.

- Dünyanın eksenî çevresindeki hareketi: Bu hareketten dolayı rüzgarlar Kuzey Yarım Küre’de sağa, Güney Yarım Küre’de sola doğru saparak eserler.

1.2 Rüzgar Hızı

Rüzgâr hızı, atmosferdeki rüzgârın, hava veya diğer gazların hareket hızıdır. Hareket vektörünün büyüklüğü, skaler bir niceliktir. Rüzgâr hızı anemometre ile ölçülür.

Rüzgâr hızı, daima dış ortamdaki havanın hareketi anlamına gelir. Fakat içerideki hava hareketinin hızı, meteorolojik, havacılık ve denizcilik işlemlerinde, yapı ve sivil mühendisliği gibi birçok alanda önemlidir.

1.2.1 Rüzgar hızını etkileyen etmenler

Basınç Farkı: Rüzgarın hızını etkileyen temel etmendir. Basınç alanları arasındaki fark ne kadar fazla ise, rüzgar o kadar hızlı eser. İki bölge arasındaki basınç farkının sona ermesi ile rüzgâr etkinliği kaybeder.

Basınç farkının güçlü olduğu yerlerde izobarlar sık, zayıf olduğu yerlerde ise seyrek geçmektedir.

Basınç haritalarında bu değerler deniz seviyesine indirgenmiş olarak kullanılır.

İzobar : Hava basıncının aynı olduğu yerleri birleştiren eğrilere izobar (eş basınç) eğrisi denir. Basınç haritalarında bu değerler deniz seviyesine indirgenmiş olarak kullanılır.

Basınç Merkezlerinin Yakınlığı: Aynı basınç farklarına sahip, birbirinden farklı uzaklıktaki noktalar arasında rüzgârların hızı farklıdır. Alçak ve yüksek basınç merkezleri arasındaki uzaklık arttıkça rüzgarın şiddeti azalır.

Basınç merkezleri birbirine ne kadar yakın ve aradaki basınç farkı ne kadar fazla ise rüzgar o kadar hızlı eser.

Dünya'nın Günlük Hareketi: Dünya'nın günlük hareketinin etkisiyle rüzgarlar esme yönlerinden sapar. Bu nedenle rüzgarlar basınç farkını izlemeyip izobarlara paralel bir şekilde estiklerinden hızları azalır.

Rüzgar yönlerini saptıran etkiye koriyolis (coriolis) gücü denir. Koriyolis gücü ile rüzgarlar Kuzey Yarım Küre'de sağa, Güney Yarım Küre'de sola sapar.

Türkiye'de görülen yerel rüzgarlar, yıldız, poyraz, gün doğusu, keşişleme, kible, lodos, gün batısı ve karayeldir.

Dünya eksenini çevresinde dönmeseydi rüzgarlar yüksek basınçtan alçak basınca doğru en kısa yolu izleyerek daha hızlı eseceklerdi. Ancak Dünya'nın eksenini çevresindeki dönüşünün etkisiyle en kısa yolu izlemeyen rüzgarlar daha yavaş eser.

Rüzgarların sapma gücü enleme ve rüzgarın hızına göre değişir.

Yer şekilleri: Yeryüzünün dağlık ve engebeli arazilerinde rüzgarın sürtünme etkisi arttığından, hızı azalır. Engebeli olmayan alanlarda, deniz ve okyanuslar üzerinde sürtünme etkisi azaldığından rüzgarın hızı artar.

Rüzgarın Yönü: Rüzgarın yönü bulunulan noktaya göre belirlenir ve rüzgar hangi coğrafi yönden geliyorsa ona göre adlandırılır.

Rüzgarın yönü, basınç merkezlerinin konumuna, Dünya'nın günlük hareketine, yer şekillerine bağlı olarak değişir.

Basınç merkezlerinin konumu: Rüzgârlar her zaman yüksek basınçtan alçak basınca doğru eserler. Örneğin gündüz denizden karaya doğru eserken, gece karadan denize doğru esmesi.

Rüzgarın Frekansı (Esme Sıklığı): Rüzgâr her yönden farklı sıklıkta eser. Rüzgârın esme sayısına rüzgâr frekansı denir. Rüzgârın hangi yönden, ne kadar süreyle kaç defa estiğine rüzgar esme sıklığı veya frekansı denir. Rüzgârın frekansı rüzgârgülü diyagramları ile gösterilir.

1.2.2 Rüzgar etkileri

Rüzgar, bina tasarımında dikkate alınması gereken önemli doğal olaylardan birisidir. Kuvvetli rüzgarların uyguladığı yapısal yükün varlığını saptama yöntemleri zor anlaşılır olsa da, bu yüklerin değeri anlaşılmıştır. Ancak, orta şiddetli meltemlerin neden olduğu diğer etkiler kolayca gözden kaçmaktadır, çünkü rüzgar ile binaların davranışı arasında çoğunlukla doğrudan bir bağlantı yoktur.

Rüzgâr etkileri zamana bağlı olarak değişim gösterir ve kapalı yapının dış yüzeyine doğrudan basınç olarak etkidiği gibi yapı dış yüzeyinin gözenekliliği nedeniyle dolaylı olarak yapının iç yüzeylerine de etkir. Bu etkiler, ayrıca dış cephesinde açıklık olan yapılarda da iç yüzeylere doğrudan etkiyebilir. Basınçlar, yapının veya her bir giydirme cephe (kaplama) elemanın yüzey alanına dik kuvvetler oluşturacak şekilde etkir. Buna ek olarak, rüzgârın yaladığı yapı alanların büyük olduğu durumlarda yapı yüzeyine paralel olarak etkiyen sürtünme kuvvetleri de önemli olabilir.

1.2.3 Rüzgar hızının rüzgar basıncına çevirilmesi

Herhangi bir binaya uygulanan rüzgar basıncı rüzgar hızıyla birlikte, binayla hava akımı arasındaki etkileşime bağlıdır. Rüzgar, hareket halinde hava olduğu için binaya uygulayabileceği basınç kinetik enerjisiyle bağlantılıdır. Eğer kinetik enerjinin tamamı basınca dönüştürülürse, basınç artışı Eşitlik 1.1'deki gibi tanımlanır:

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1.1)$$

Bu denlemde ρ özkütle olup, V rüzgar hızıdır. “ q ” değerine statik basınç denir ve bir bina yüzeyine herhangi bir hızda uygulanabilen basınçtaki azami artıştır.

Tasarım basıncı hesaplanırken kullanılacak olan rüzgarın hızı, tasarlanan binanın belli başlı bileşenlerine bağlıdır. Yapısal amaçlar için azami değer gereklidir, ve bu değer coğrafi konumla birlikte değişir. Rüzgar hızının meteorolojik kayıtları, en olası maksimum basıncı belirlemek için incelenir.

Bir endüstriyel bina duvarlarında veya çatısında toplam basınç, dış rüzgar basıncı ve ayrıca iç rüzgar basıncına bağlı olacaktır. İç rüzgar basıncı binaların geçirgenliği bağlıdır. Geçirgenliği küçük bir derecesine sahip binalar için, iç hava basıncı ihmal edilebilir.

1.2.4 Rüzgar yükleri

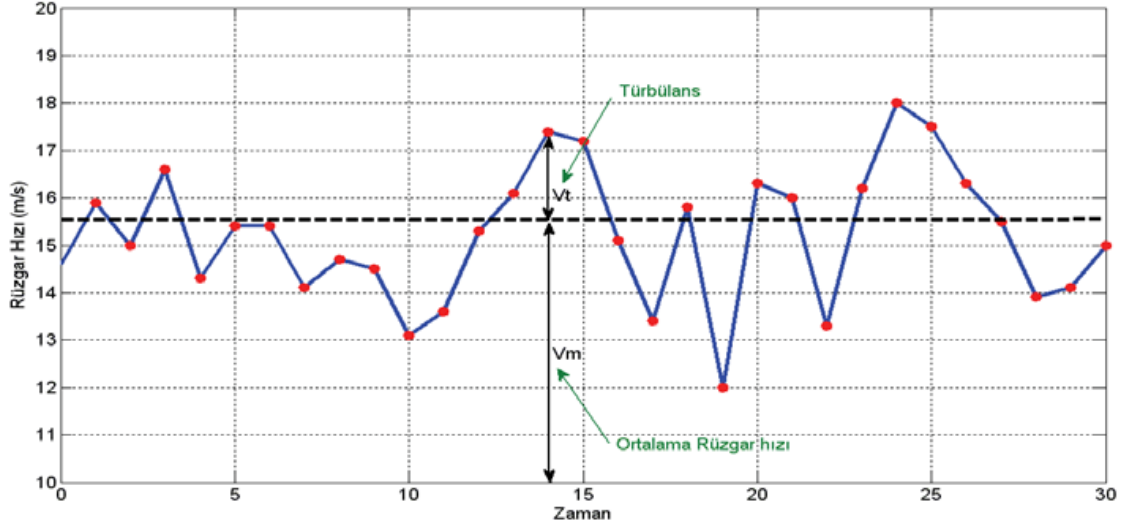
Rüzgar yükleri statik ve dinamik olmak üzere iki kısımdan oluşur. Rüzgar yükleri, binanın rüzgar altında yaptığı statik ve maksimum dinamik yer değiştirmelerin toplamına eşit statik yer değiştirmeye karşı gelen eşdeğer statik yükler olarak ifade edilmiştir.

Statik rüzgar hızı rüzgar hızının seçilen bir zaman aralığındaki ortalama değerini gösterir. Ortalama rüzgar hızının hesabında kullanılan zaman aralığı için yönetmeliklerde farklı değerler kullanılmaktadır. Örneğin Amerikan ASCE 7-05 yönetmeliğinde 3 saniyelik ortalama değer kullanılırken Eurocode-1'de 10 dakikalık ortalama değer kullanılır.

Binanın ana taşıyıcı sistemine gelen toplam rüzgar yükü, binanın tüm yüzeylerine gelen rüzgar yüklerinin vektörel toplamından oluşur.

1.2.5 Dinamik yük olarak rüzgar

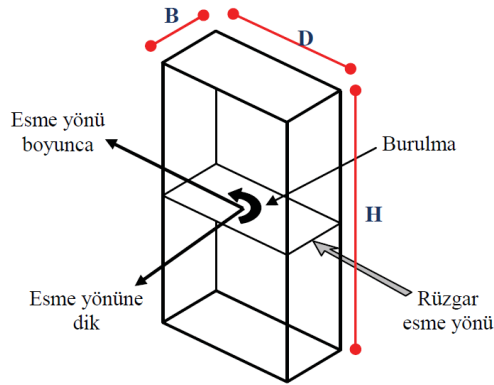
Rüzgar, hızı ve yönü, zamana göre değişken karakter sergileyen, çok karmaşık bir doğa olayıdır. Rüzgar, atmosfer içerisindeki yüksekliğine bağlı olarak farklı istatistiksel özellikler sergileyen dinamik bir yapı gösterebilir. Genellikle rüzgar, ortalama bir hız ile bu ortalama değer etrafında salınım gösteren ve türbülans olarak adlandırılan bir yapı gösterirler. Ortalama rüzgar hızı statik bir yük oluştururken, türbülans, ani ve zamanla değişen çarpma etkisi ile, bina üzerinde dinamik bir etki oluşturur. Türbülansın yapı üzerine etkisi, sadece türbülansın karakterine değil, aynı zamanda yapının boyut ve dinamik karakterlerine de bağlıdır (Aij 2005). Şekil 1.1'de belirli bir zaman aralığı için tanımlanan ortalama rüzgar hızı (V_m) ve ortalamadan olan sapmaları gösteren türbülans (V_t) görülebilir. Toplam rüzgar hızı bu iki bileşenin toplamı olarak ifade edilir.



Şekil 1.1 : Rüzgar türbülans ve ortalama değeri.

Rüzgarın sebep olduğu yapısal titreşimler büyük oranda, yapının şekli, rijitliği (yada esnekliği) ve sönümlenme karakterleri ile ilgilidir. Fakat, bu sadece yapının karakterine değil, aynı zamanda rüzgarın karakterine de bağlıdır. Örneğin, rüzgarın türbülans yapısı, yapıdaki titreşimi etkileyen en büyük etkenlerden birisidir (Liu 1991, Mendis vd. 2007).

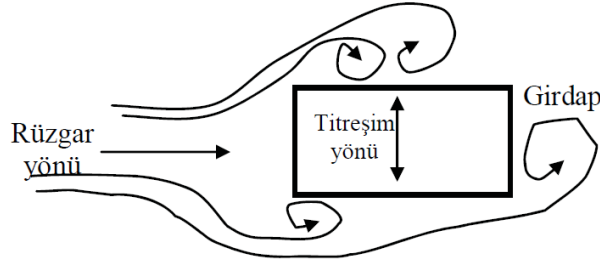
Dinamik yüklerin etkisi altındaki yüksek yapılar rüzgar esme yönü doğrultusunda ve buna dik doğrultuda olmak üzere yapı eksenı boyunca burulma titreşimi yaparlar (Kiljewski& Kareem1998). Şekil 1.2’de yüksekliği H , derinliği D ve genişliği B olan, dikdörtgen kesitli bir yüksek yapıya etkiyen rüzgar yönü ve yapı ana yönleri boyunca oluşabilecek yük titreşim türleri görülebılır (Aij 2005).



Şekil 1.2 : Dikdörtgen kesitli bir yapıda, rüzgar esme yönüne göre yük-titreşim tanımları.

Rüzgar esme yönü boyunca olan titreşimler, binaya ön ve arka yüzeyinden etkiyen rüzgar kuvveti ile oluşurlar. Rüzgar esme yönüne dik yönde olan titreşimler, yapının her iki kenarına etkiyen değişken yapıdaki rüzgar sebebiyle oluşur. Burulma ise, yapıya etkiyen rüzgarın yapı üzerindeki basınç dağılımının düzensizliği sonucu ortaya çıkar (Kiljewski& Kareem 1998). Hem burulma, hem de rüzgar yönüne dik gerçekleşen titreşimler, genellikle yapının yan yüzeylerine etkiyen girdap kopmaları yüzünden (Vorteks) meydana gelmektedir (Aij 2005).

Yapılardaki titreşim, girdap kopmalarının doğasından dolayı titreşimi oldukça karmaşıktır (Şekil 1.3). Girdap kopmaları dar bir frekans bandında etkilidir ve yapıya sinüsoidal bir yük olarak etki ederler.



Şekil 1.3 : Girdap kopmaları ve etkisi.

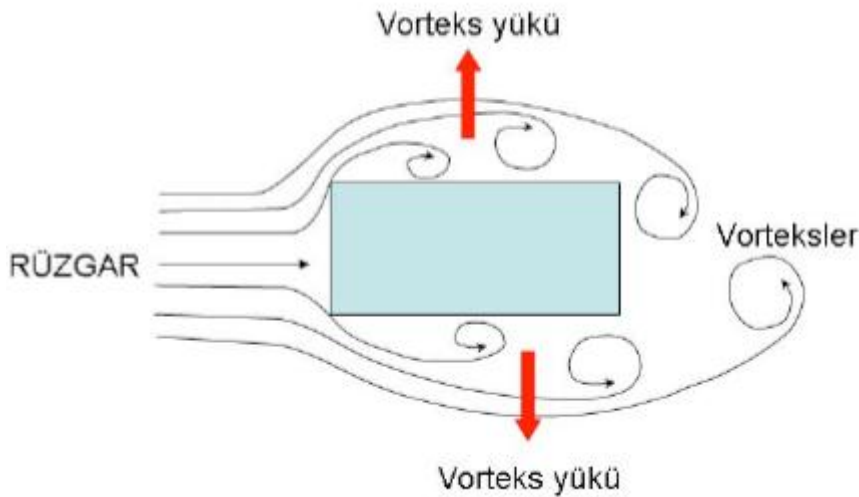
Yapı yüksekliği arttıkça yapının doğal frekansı düşer ve girdap kopmalarının frekansına yaklaşır. Bunun sonucu olarak, yapıda rezonans hareketi artar ve yapının buna olan deplasman cevabı giderek artar (AIJ 2005, LIU 1991). Yapıların rüzgar yüklerine ilişkin kod ve standartları, ülkeden ülkeye değişiklikler göstermektedir. Kiljewski& Kareem tarafından yapılan çalışmalarda, Avustralya, Amerika, Kanada, Çin, Avrupa, İngiltere ve Japonya gibi ülkelerin rüzgar yüklerine ilişkin kodlarını karşılaştırılmalı olarak incelemiş ve değerlendirmiştir. Çalışmanın yapıldığı dönemde, örneğin Japonya rüzgar esme yönü boyunca, rüzgar esme yönüne dik ve burulma etkilerini dikkate alarak tasarım yaparken, Avustralya ve Kanada ilk iki bileşeni dikkate alarak, Amerika ve Avrupa standartları yalnızca ilk bileşene göre yüksek yapıları tasarlamışlardır. Ülkemizde yakın geçmişe kadar yüksek yapılara etkiyen rüzgar yüküne ilişkin detaylı bir standart ve yönetmelik mevcut değil iken, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Boğaziçi Üniversitesi-Kandilli rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı “İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği” isimli bir yönetmelik üzerine çalışmalar yürütmektedir.

1.2.6 Binada rüzgardan dolayı oluşan maksimum yerdeğiştirmeler ve ivmeler

Binadaki en büyük rüzgar yerdeğiştirmesi, 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 Rastgele Titreşim Teorisi (*Random Vibration Theory*) yöntemleri kullanarak yapılır.

1.2.7 Vorteks titreşimleri

Rüzgarın oluşturduğu hava akımı binanın yan yüzleri etrafından geçerken Şekil 1.4'te 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 etkirler. Vorteks yükleri çok belirgin ve dar bir frekans bandında etkidideği için sinüzoidal bir yük olarak tanımlanabilirler.



Şekil 1.4 : Vorteks yüklerinin oluşumu.

Vorteks yüklerinin frekansı, binanın rüzgara dik doğrultudaki doğal frekansına yakın ise yüksek binalarda bu doğrultuda büyük genlikli titreşimler oluşabilir.

1.2.8 Rüzgar kuyruğu etkileri

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 (Wake Buffeting)* olarak adlandırılır.

Rüzgar kuyruğu etkileri iki bina arasındaki uzaklığın, öndeki binanın rüzgara dik doğrultudaki genişliğinin 25 katından daha fazla olması durumunda veya binanın (arkadaki bina) doğal frekansının 1.0 Hz'den daha büyük olması durumunda ihmal edilebilir.

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

1.2.9 Rüzgar tüneli deneyleri

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

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

Rüzgar tüneli deneylerinde aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

- Rüzgar tüneli, binanın bulunduğu bölgedeki atmosferik sınır tabakasını, yani rüzgar hızının yükseklikle değişimini modelleyebilmelidir.
- Türbülansın makro (integral) ve mikro ölçekteki uzunlukları tüneldeki modelde de sağlanmalıdır.
- Bina, etrafındaki yapılar ve bölgenin topoğrafyası geometrik olarak gerçektekine benzer şekilde modellenmelidir.

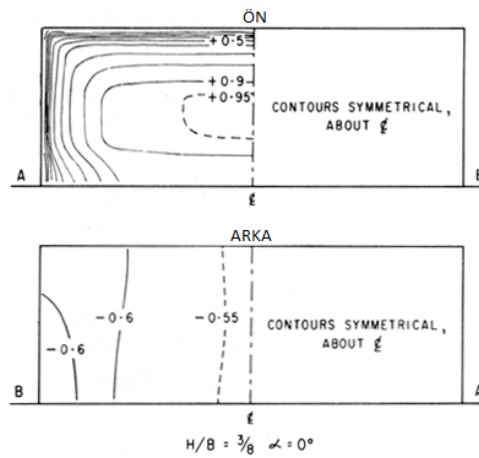
- Model binanın ve etrafındaki yapıların rüzgar doğrultusundaki projeksiyonunun alanı toplam tünel alanının %8 inden fazla olmamalıdır.
- Rüzgar basıncının tünel boyunca değişimi göz önüne alınmalıdır.
- Reynolds sayısının rüzgar basınç ve yüklerindeki etkisi en aza indirilmelidir.
- Deneyde kullanılan ölçme sensörleri ölçülen değerlerin gerektirdiği özelliklere ve hassasiyete sahip olmalıdır.
- 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.

1.3 Rüzgarın Az Katlı Üzerindeki Etkileri

Bina üzerindeki basınç dağılımları ve çekmeler, bu binanın hava akımını nasıl böldüğüne bağlıdır. Bu tartışmada ölçülen basınçlar ve emmelerin alındığı veriler, bozulmamış hava akımındaki ortamın basıncındadır. Rüzgar, serbestçe duran duvar gibi basit yapılara çarptığı zaman, duvarla hizalı olan akış çizgileri ayrılıp duvar kenarından geçmeye zorlanır. Rüzgar hızının yönü ve büyüklüğü bu karşılaşmadan ötürü değişime uğrayıp, basınçta da değişim yaratırlar.

Statik basınç, duvarın merkezine doğru oluşur. Ancak akışın duvar tarafından yön değişimine uğrayıp, duvara paralel gitmeye başladığı yer olan duvar kenarlarında basınç değişimi daha aşırıdır. Şekil 1.5(a) rüzgar alan yüzün maruz kaldığı basınçların grafiğidir.



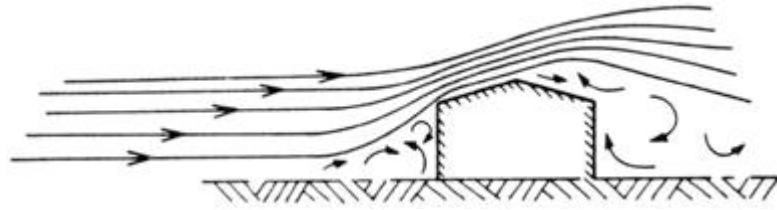
Şekil 1.5 : Duvar üzerinde rüzgar yönüne dik bölgelerdeki basınç değişimleri.

Duvarın arkasındaki durumlar daha farklıdır. Havanın ataletinden dolayı akış çizgileri hemen birleşmez ve duvardan ayrıldıklarında arkalarında girdap bırakırlar. Girdap bölgesindeki hava, hızlı hareket eden akım çizgilerince sürüklenirler, bu sebepten basınç, ortam basıncının altına inip “çekme” yaratır. Şekil 1.5(b) duvarın arkası için basınç dağılımını göstermektedir. İzobarlardaki sayılar, yüzeyin belli noktalarındaki durma basıncını hesaplamak için kullanılan katsayılardır. Bu katsayılar (bazen şekil faktörü de denir) binaya uygulanan basınç ve emmelerin, tasarım basıncıyla karşılaştırılmasını sağlarlar. Negatif değerler basınca işaret eder.

Basınç genellikle duvar veya çatı yüzeyi boyunca sabit değildir, ama tasarım sürecini kolaylaştırmak için belli bir yüzey için ortalama bir katsayı belirlenir; alan ve temel basınçla çarpılınca da yüzeydeki toplam kuvvet hesaplanır. Serbest duvardaki net kuvvet, rüzgar alan taraftaki basınç ile, rüzgar almayan taraftaki çekmenin toplamıdır. Buna bağlı olarak, bir binanın dış duvarı için, duvardaki net basınç, binanın dışındaki ve içindeki basınçların farkı olacaktır. İç basınç binadaki açıklıkların bir fonksiyonudur.

1.3.1 Bina etrafındaki akış

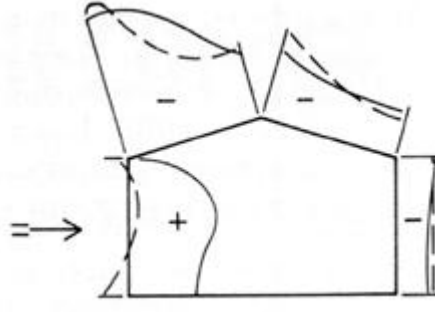
Şekil 1.6’da daha karmaşık bir şekli ve bu şekil etrafındaki akış çizgilerini göstermektedir. Az eğimli veya düz çatılı binalarda, rüzgar alan taraf basınca maruz kalan taraftır; diğer bölgeler, basıncın ortam basıncının altında olduğu bölgelerdedir.



Şekil 1.6 : Basit bina şeklinin etrafındaki akış çizgileri.

Bu olayın sebebi, akış çizgilerinin rüzgara bakan tarafın kenarına tutunamayıp, rüzgar ve bina arasında açıklığın oluşmasıdır.

Şekil 1.7’de bina üzerindeki basınç dağılımının kesiti görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, basınçların düzgün dağılmamış olmasıdır ve bazı noktalarda çekme ortalamanın çok üstündedir.



Şekil 1.7 : Az eğimli çatısı olan bir yapı için rüzgar basınç dağılımları.

1.3.2 Basınç katsayıları

Pratikte kullanılan basınç katsayıları genellikle farklı model yapıları rüzgar tünellerinde test edildikten sonra elde edilir. Sıkça kullanılan katsayılar, yüzey üzerindeki ortalama basınç veya çekmeye karşılık gelir. Teğet geçen kuvvetler hesaba katılmaz, dolayısıyla bahsi geçen kuvvetler yüzeye dik etki eden kuvvetlerdir.

1.3.3 Basınç dağılımını etkileyen faktörler

Bina Şekli: Yapıya etkiyen basınçlar, yapıda meydana gelen şekil değişimlerine çok hassastırlar. Örneğin, çatının rüzgar alan taraftaki eğimlerdeki emmeler, çatının eğimiyle, bina yüksekliğinin enine oranıyla, ve binanın eninin boyuna oranına bağlı olarak değişim gösterir. Rüzgar almayan taraftaki emmeler ise bu değişimlerden etkilenmezler.

Bazen şekillerdeki detaylar, rüzgar basınç dağılımında büyük rol oynarlar. Parapet duvarlar, büyük bacalar, silolar ve çan kulelerinin büyük etkisi olabilmektedir, ve bazen bu etkileri saptamanın tek yolu, ölçekli modelini rüzgar tüneline test etmektir.

Açıklıklar: Kapı ve pencere gibi açıklıkların yeri ve boyutu, duvarlar ve çatıdaki net kuvveti hesaplarken dikkate alınan iç basıncı belirler. İç basınç, açıklıkların baskın olduğu duvardaki değere yakın bir değerdedir.

Rüzgar Yönü: Herhangi bir binanın rüzgara göre konumu, basınç dağılımını büyük ölçüde etkiler; özellikle bu etki çatıların kenarlarında gerçekleşen çekme maksimumlarında gözlenir.

Rüzgarın Hızının Yükseklikle Birlikte Artışı: Rüzgarın hızı, dolayısıyla hız basıncı yerden yükseklikle orantılı olarak artarken, temel basınca yükseklik faktörü eklenir.

Kalkan: Binanın yakınındaki diğer binalar, ağaçlar ve benzerleri basınç dağılımını etkiler. Kalkan etkisini hesaplamak güçtür, dolayısıyla tasarım değerlerini belirlemek için model testlerden faydalanılır. Kalkan etkisinden doğan eksilmeler yapı ömrü boyunca değişken olduğundan hesaba katılması güçtür. Kalkan duvarlar bazı koşullarda yakınlardaki binalar sebebiyle emme katsayıları arttırılmalıdır.

1.3.4 Binanın değişik yerlerine etkiyen rüzgar basınçları

Çatılar: Alçak binaların tasarımında, özellikle yerleşim yapılarında, çatı çoğunlukla kritik bir konumdadır. Hafif maddelerden yapıldığı koşullarda, dayanaklara etki edebilecek emmelerden ötürü önem verilmesi gerekir. Bu çeşit tedbirlere güzel bir örnek, Alp dağı bölgesinde evlerin çatılarını ağır kayalar kullanarak ağırlaştırmaktır.

Rüzgar Gören Eğimdeki Kritik Aç: Her eğimli çatı için, emme katsayısının rüzgar gören eğim üzerinde sayısal maksimuma eriştiği bir eğim açısı mevcuttur. Alçak yapılar için bu açı 5 derece civarındadır; bungalov gibi sıradan şekiller için 5-15 derece arasında değişir. Yüksekliğinin enine oranının 2:1'e ulaştığı daha yüksek olan binalarda kritik açı 25-30 dereceye kadar çıkabilir.

Dik Çatılar: Çatının eğimi arttıkça ortalama basınç katsayısı sıfıra iner ve pozitif yönde artış gösterir. Katsayının sıfıra düştüğü açılar 20 ile 45 derece açısında değişip, binanın yüksekliğinin enine oranına bağlı olarak artış gösterirler.

Duvarlar: Uzun, ince yapılar da duvar ver çerçeve tasarımı, devrilme momenti de hesaba katılarak, kritik önem taşıyabilir. Yüksek binalara ve perde duvar inşasına olan talep, duvar panelleri için bağlantı kuvvetlerini belirlemekte ve eğilmeyi sınırlandırmakta sorunlara neden olabilir. Rüzgar alan köşelerde yüksek çekmeler meydana gelir, ve statik basıncının yüksek olduğu noktalarda (yüksek binaların zirvesine doğru olan yerler) bu yerel emmeler hesaba katılabilir.

Kalkan Etkisi : Bina mesafelerini inceleyen model testler, birbirine çok yakın iki binada rüzgarın “sokağa” paralel estiği yerdeki duvarlarda büyük miktarda çekme olduğunu göstermiştir.

1.4 Rüzgarın Yüksek Yapılar Üzerindeki Etkileri

Mühendislik yapıları beklenen hizmet ve yaşam süreleri boyunca maruz kalacakları olası yükleri karşılayabilecek şekilde tasarlanır ve inşa edilirler. Kule, gökdelen vb. yüksek yapıların tasarımında, az katlı yapıların aksine, yapıya dinamik yük olarak etkileyen depremin yanı sıra, rüzgar yüklerinin de göz önüne alınması gereklidir. Yapıların rüzgar yükü karşısındaki davranışlarının farklı özelliklere sahip sensörlerle izlenmesi, yapı sağlıklarının (emniyetlerinin) değerlendirilmesi, proje kabullerinin kontrol ve kalibrasyonu yanında, gelecek projelere ışık tutan değerli bir veri alt yapısı oluştururlar.

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, gökdelen, yüksek bina, kule vb. yüksek yapıların sayısında dikkate değer bir artış gözlenmektedir. Asma köprüler ve yüksek yapılar, diğer mühendislik yapılarında uygulandığı gibi deprem yüklerini karşılayacak şekilde projelendirilmelerinin yanında, dinamik bir yük oluşturan rüzgar yüklerini de karşılayabilecek şekilde tasarlanmalı ve inşa edilmelidir. Yüksek yapıların, deprem yüküne karşı dirençli olabilmesi yapının olabildiğince hafif-ağırlıklı ve esnek olmasını, şiddetli rüzgarlara karşı yapının dirençli olması ise yapının rijitliğinin olabildiğince yüksek olmasını gerektirmektedir (LI vd. 2008).

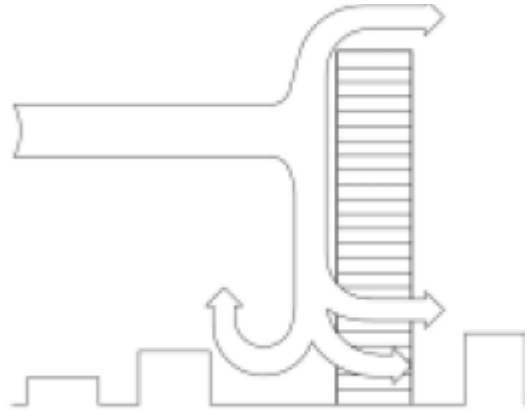
Çok katlı yapıların rüzgar yüklerine karşı davranışı, temel olarak üç bileşen şeklinde olmaktadır. Bu bileşenler ortalama sabit bir yük ile etki eden güçlerin neden olduğu statik bileşen, düşük-frekanslı yüklerin sebep olduğu quasi-statik bileşen ve yapıların 1. moduna yakın olan frekanstaki güçlerin sebep olduğu rezonans (dinamik) bileşendir (Tamura 2003, Li 2006).

Yüksek yapıların rüzgar yüküne karşı davranışlarının değerlendirilmesi ve dinamik karakterlerinin ortaya çıkarılmasında en güvenilir yöntem, tam ölçekli izleme olarak düşünülür (Li vd. 2002). Yapıların tam ölçekli izlenmesi ve dinamik testleri, yapıların davranışları ve performanslarının değerlendirilmesine ilişkin değerli bilgiler sağlarlar. Yapıların modal parametreleri olarak adlandırılan doğal frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm değerleri ile sistem parametreleri olarak adlandırılan rijitlik, kütle ve sönümleme matrisi, ölçülen dinamik cevaplardan(hareketlerden) elde edilebilir. Bu tanımlanmış parametreler daha sonra yapının performansını değerlendirmek için kullanılabilir ve yapının analitik modelleri bu parametreler kullanılarak değerlendirilebilir (Salawu vd. 1995).

Buna ilave olarak, ölçmeler sonucu belirlenen parametreler yardımıyla analitik modele yapılacak yeni ilaveler, daha gerçekçi modellerin elde edilmesini sağlayabilir.

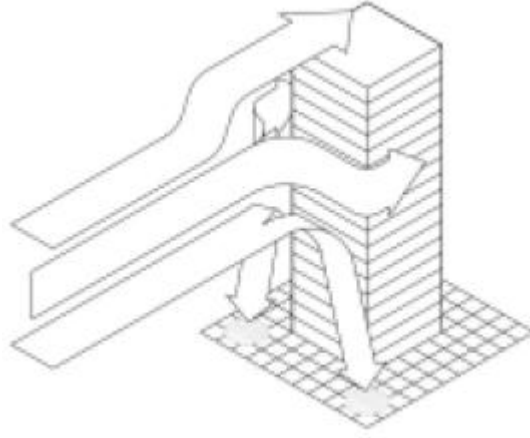
1.4.1 Bina yapımı ve konumlandırması

Bina tasarımının, temelindeki ortam rüzgar kalitesini etkilediği bilinen bir gerçektir. Doğrusal bir kat planına gelen makaslama giydirme cephesi (Yuvarlak şekiller genellikle bu tip akımlara sebep olmazlar), bina yüzüne hızlı rüzgarların etki etmesine neden olduğundan sokak hizasındaki rüzgarları kötüleştiren bir tasarımdır. Bu mekanizmaya “aşağı doğru akım” denir (Şekil 1.8). Aşağı doğru akımlar yayalar için rüzgarlı ortama sebep olabilir. Bu durum özellikle çevre binalardan daha yüksek olan binalar için geçerlidir.



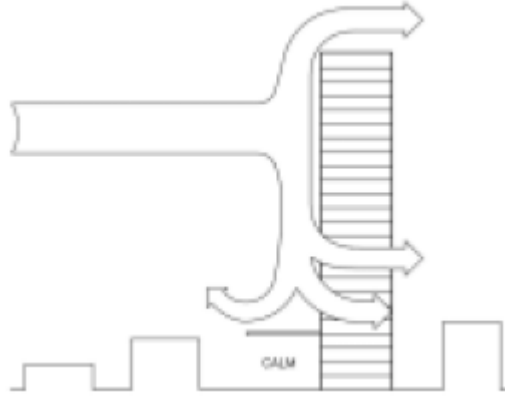
Şekil 1.8 : Aşağı doğru akım.

Rüzgar yere ulaştıktan sonra, zemin kat köşeleri etrafında ivmelenir (bkz. Şekil 1.9). Aşağı doğru akımların ivmelenip sokak boyunca yatay seyrettiği zemin-kat köşelerinde yüksek rüzgar alanları oluştururlar.



Şekil 1.9 : Zemin kat köşeleri etrafında ivmelenen akım.

Akış binanın rüzgar alan yönü boyunca aşağı ilerlerken, bu akışı engellemek için büyük bir gölgelik kullanılabilir. Bu gölgelik aşağı doğru akımı ikinci kat hizasında engelleyeceğinden, binaların girişlerini ve kaldırım kısmını koruyabilir. (Şekil 1.10) Sokak seviyesindeki yaya-rüzgar sorununa büyük gölgelikler sıkça başvurulmuş bir çözüm yöntemidir.



Şekil 1.10 : Rüzgara çözüm olarak gölgelik kullanımı.

Ancak, bu yaklaşım sokağın öbür tarafına rüzgarlı ortamı iletebilir. Büyük gölgelikler, pek çok ofis binasında giriş katına yakın olması sıkça rastlanılan bir durumdur.

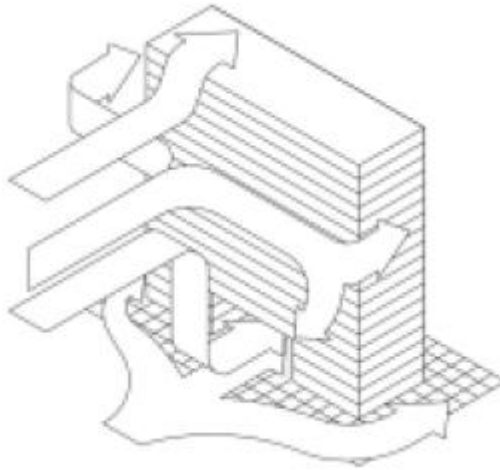
Binayı yapan mimar, yeterli alan ve tasarım şartlarına uyduğu sürece uzatılmış podyum kullanmayı tercih edebilir (Şekil 1.11). Podyum yapıları zemin katta yaşanılabilir şartlar sağlamasıyla birlikte podyumun kendisi kullanılamayabilir.



Şekil 1.11 : Podyum kullanımı.

Son yıllarda yapılan projelerde bu sıkça kullanılan bir yöntem olmaya başlamıştır, ancak mimar podyum çatısına havuz gibi yapılar eklemeyi düşünürse, bu yöntemde sorunlar çıkabilir.

Kuvvetli zemin-katı rüzgarlarına sebep olabilecek başka bir yapı sorunu da, binanın bir yanından öteki yanına doğru olan açıklıklar veya kemerlerdir. Bu açıklıklar, rüzgar alan taraftaki pozitif basınç bölgesiyle rüzgar altı taraftaki negatif basınç bölgesini birleştirir. Açıklıklardan geçen güçlü akımlar sıklıkla Şekil 1.12'deki gibi sonuçlanır. Kemerler veya bina altında açık kolon alanları kuvvetli rüzgarla oluşturur.

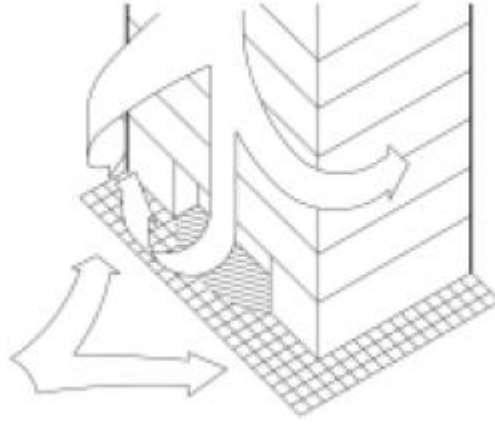


Şekil 1.12 : Açıklıklarda oluşan güçlü akım.

Benzer olaylar, 1960'lı yıllarda popüler olan kolonlarla yükseltilecek çok katlı binalarda görülmüştür (Penwarden ve Wise, 1975). Böylesi açık alanların rüzgarlı doğası, modern çok katlı binalarda bu çeşit mimarinin kullanımını sınırlamıştır. Bir

istisna, fazladan rüzgarın arzulandığı tropik iklimlerdir. Örneğin Singapur'daki Hitachi Binası, zemin kat girişlerinde gölgeli ve serin alanlar sağlamak için bu mimariyi başarıyla uygulamıştır. Ancak bu tasarım, Chicago gibi soğuk kışların olduğu şehirlerde kötü bir seçenek olur.

İnşaat hattının arkasına yapılan çardak, bina ortalarında genellikle daha sakin giriş bölgeleri oluşturur (Şekil 1.13). Bina ortasında kemerli girişler davetkar ve sakin bir ortam sağlar.

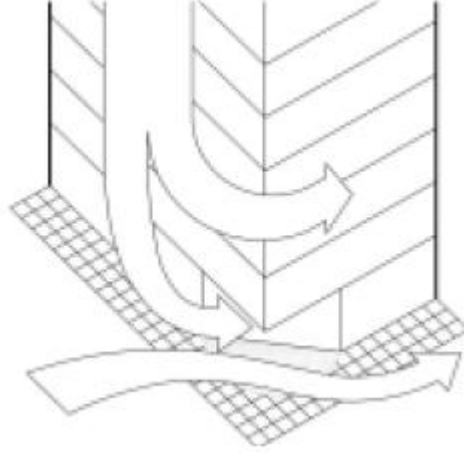


Şekil 1.13 : Çardak yardımıyla rüzgarın yönünün değiştirilmesi.

Bazı durumlarda, bu planlarda gölgeliğe gerek duyulmayabilir. Gölge ihtiyacını, yerel geometri ve rüzgarların özellikleri belirler. Bina köşelerine uygulanan altı oyuk tasarımlar genellikle başarısızlıkla sonuçlanır (Şekil 1.14).

Bunun sebebi, Şekil 1.9'da açıklanan akış mekanizması ile ortamdaki rüzgarların özellikleridir. Bu rüzgar özellikleri genellikle rüzgar gülüyle tasvir edilir. Söz konusu şehirde rüzgar belli bir yönden kuvvetli esiyorsa, ve kenar kapıları bu rüzgarlardan korunduğu durumlarda kenar girişleri işlev görebilir. Ancak, kenar girişlerin bina geometrisi ve şehirdeki kuvvetli rüzgarlardan etkilenme olasılıkları daha yüksektir.

Bu olayın sonuçları basit nahoşluklardan açılmayan kapılara dek değişim gösterir (Şekil 1.14). Aşağı doğru akımdan ötürü meydana gelen ivmeli köşe akımları çoğunlukla sıkıntılı giriş alanlarına sebebiyet verir.



Şekil 1.14 : Köşe akımları.

Binaların dikey hatlarının kesilme biçimi de önemli bir faktör olabilir. Örneğin, kat planlarında alan yükseklikle birlikte azaldığında, rüzgar alan taraf boyunca akış önemli miktarda azalır. Çok büyük bir etkisi olmasa da, çok sayıdaki balkonun varlığı da zemin kat rüzgarlarına benzer bir etki yapar (ancak bu etmen çok somut olmayıp gemometriye daha bağlıdır). Bina uçlarında veya köşelerinde çok sayıda yüksek balkon ve terası olan apartman tasarımları da bu bölgeleri rüzgarlı hale getirmektedir. Genel olarak bina ortalarındaki balkonlar, rüzgar açısından daha sakindirler. Köşe balkonları daha rüzgarlıdır, dolayısıyla mülk sahibini balkonu kullanmada daha seçici davranacaktır, veya rüzgarlı havada da balkonu kullanmak için korunaklı hale getirmelidir.

1.4.2 Arazinin etkisi

Arazi etrafındaki topografik özellikler yayaların durumunu, çevre binaların yapılacak yeni binaları etkilediği gibi etkiler. Tepe gibi oluşumların gölgesinde olmak yaya-rüzgar şartlarını etkiler, ve rüzgar tüneline modelleme yapmak şarttır. Rüzgar tüneline yüksek hızlı rüzgarların (yaya rahatlığı için) ve düşük hızlı rüzgarların (kirliliğin ve virüslerin giderimi için) hesaplanması, insan kökenli çevrenin güvenli biçimde hesaplanmasını sağlar. Bazı koşullarda yeni bina, karmaşık araziye entegre edilir. Bu sayede apartmaların üzerinden geçen akımlarla araziden geçen akım uyumlu olur. Dolayısıyla inşaat arazinin topografisi, binayı koruyarak rüzgar hızını düşürebilir, veya tepelerin varlığından ötürü rüzgar hızı artabilir. Hatta rüzgarın gelme yönüne bağlı olarak her iki oluşum da aynı bina üstünde görülebilir.

2. EUROCODE 1'E GÖRE RÜZGAR ETKİLERİ

Eurocode 1 her bir yük tesir alanı dikkate alınarak, binaların ve inşaat mühendisliği işlerinin yapısal tasarımında doğal rüzgâr etkilerinin tayini için kılavuz bilgileri kapsamaktadır. Bu standard, yüksekliği en fazla 200 m olan binalar ve inşaat mühendisliği işleri ve dinamik tepki kriterlerini sağlaması şartıyla 200 m'den daha az açıklıklı köprüler için geçerlidir. Bu standardta zemine oturan yapılar, bu yapıların bileşenleri ve ekleri üzerindeki karakteristik rüzgâr etkilerinin tahmin edilmesi tasarlanmıştır. Bu bölümde ise Eurocode 1'e göre yapılan rüzgar yükleri hesabında göz önüne alınan kriterler ve parametreler incelenmiştir.

2.1 Esas rüzgâr hızı

Esas rüzgâr hızının temel değeri $v_{b,0}$, yılın herhangi bir bölümünden ve rüzgâr yönünden bağımsız olarak, çayır gibi az bir bitki örtüsüne ve aralarında minimum engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip açık kırsal alanda yer seviyesinden 10 metre yukarıdaki karakteristik 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızı olarak kabul edilmiştir. Esas rüzgâr hızı Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (2.1)$$

Burada; v_b , arazi kategorisi II'de yer seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgar yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgâr hızı olarak tanımlanmıştır. $v_{b,0}$ ise dikkate alınan rüzgârın yönünü ve mevsimleri hesaba katmak için değiştirilmiş temel esas rüzgâr hızının temel değeridir.

c_{dir} doğrultu katsayısıdır ve Eurocode 1'de tavsiye edilen değeri 1'dir. c_{season} mevsim katsayısı geçici yapılar ve uygulama safhasındaki tüm yapılar için kullanılmaktadır. Eurocode 1'de tavsiye edilen değeri 1'dir.

2.2 Ortalama Rüzgâr Hızı

Bir arazide yer seviyesinden z metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$, o arazinin engebeliliğine, orografik özelliklerine ve esas rüzgâr hızı v_b 'ye bağlıdır ve Eşitlik 2.2 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{o(z)} \cdot v_b \quad (2.2)$$

Burada; $c_{r(z)}$ engebelilik katsayısı, $c_{o(z)}$ ise orografi katsayısı olarak tanımlanır. Eurocode 1'e göre esas rüzgâr hızı hesabında orografi dikkate alınırsa tavsiye edilen değer 1,0'dır.

2.3 Arazi Engebeliği

Engelbelilik katsayısı $c_{r(z)}$ ile yapının bulunduğu mahalde, yer seviyesinden olan yüksekliğe ve rüzgârın doğrultusu dikkate alındığında, yapının rüzgârın yaklaştığı yöndeki arazi parçasının engebeliliğine bağlı olarak ortalama rüzgâr hızı değişkenliği hesaplanmaktadır. Rüzgârın geldiği kısımdaki engebeliliği düzgün dağılımlı olan arazinin profil yeterliliğini kararlı şekilde sağlamaya yeterli uzunlukta olması durumunda Eşitlik 2.3 geçerlidir.

$$c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\text{en küçük}}) \quad z \leq z_{\min} \quad (2.3)$$

Burada; z_0 engelbelilik uzunluğu, k_r ise engelbelilik uzunluğu z_0 'a bağlı arazi katsayısıdır. z metre yükseklikteki engelbelilik katsayısının hesaplanması için tavsiye edilen işlem Eşitlik 2.4'te verilmiştir ve bu eşitlik logaritmik hız profiline dayanmaktadır.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,u}}\right)^{0,07} \quad (2.4)$$

Burada; $z_{0,II}$ Çizelge 2.1’de tanımlanan arazi kategorisi II’ye göre belirlenir. Değeri 0,05’tir. z_{en} küçük Çizelge 2.1’de tanımlanan en düşük yüksekliktir. z_{en} büyük için tavsiye edilen değer 200 m’dir. z_0 ve z_{en} küçük arazi kategorisine bağlıdır. Tavsiye edilen değerler, Çizelge 2.1’de beş temsili arazi kategorisi için verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Arazi kategorileri ve arazi parametreleri.

Arazi kategorisi	z_0	z_{en} küçük
	m	m
0 Açık deniz etkisine maruz deniz veya kıyı alanı	0,003	1
I Göller veya ihmal edilebilecek seviyede bitki örtüsü olan ve engebeli olmayan düz ve yatay alan	0,01	1
II Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere (ağaçlar, binalar) sahip alan	0,05	2
III Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alan(kasabalar, yörekent, ormanlık alan gibi)	0,3	5
Yüzeyinin en az % 15’i, yükseklik ortalaması 15 m’yi aşan binalarla kaplı alan	1,0	10

Farklı arazi engebелiliği kategorileri arasındaki geçişler q_p ve $c_s c_d$ değerleri hesaplanırken dikkate alınmalıdır.

İşlem 1

Yapı, arazi engebелiliği değişiminin olduğu bir alana yerleştirilmiş ve;

- Engelibeli olmayan bir arazi kategorisi olan Kategori 0 ‘dan en fazla 2 km uzaklıkta ise,
- Kategori I, Kategori II ve Kategori III’e uzaklığı en fazla 1 km uzaklıkta ise

rüzgârın yaklaştığı yöndeki engebелiliği daha az olan arazi kategorisi kullanılmalıdır.

Engobelilikte değişmelerin bulunduğu k alanlar (sz konusu alanın % 10’undan daha az olan) ihmal edilebilir.

İşlem 2

- Dairesel dilim dikkate alındığında rzgrın yaklaştığı yndeki arazi kategorisi için engobelilik belirlenir.
- Her dairesel dilim için, rzgrın yaklaştığı yndeki engobelilik değişikliğinin olduğu yerin yapıya olan x mesafesi belirlenir.
- Az engobelilik uzunluğuna sahip arazi ile yapı arasındaki mesafe x’in izelge 2.2’de verilen değerlerden daha k olması durumunda, dikkate alınan dairesel dilim için engobelilik uzunluğunun k olan değeri kullanılmalıdır. Bu mesafe x’in izelge 2.2’de verilen değerden b olması durumunda engobelilik uzunluğunun b değeri kullanılmalıdır.

Engobelilikte değişmelerin bulunduğu k alanlar (sz konusu alanın % 10’undan daha az olan) ihmal edilebilir. Çizelge 2.2’de verilmeyen x mesafeleri ve 50 m’den fazla ykseklikler için k engobelilik uzunlukları kullanılmaktadır. Ykseklik z’nin ara değerleri için lineer interpolasyon yapılmaktadır.

Belirli bir arazi kategorisi içerisindeki bir bina, izelge 2.2 de tanımlanan mesafe sınır değerleri dahilinde kalan bir konumda bulunuyorsa k olan arazi kategorisi içerisinde kabul edilmeli ve hesaplamalar buna gre yapılmaktadır.

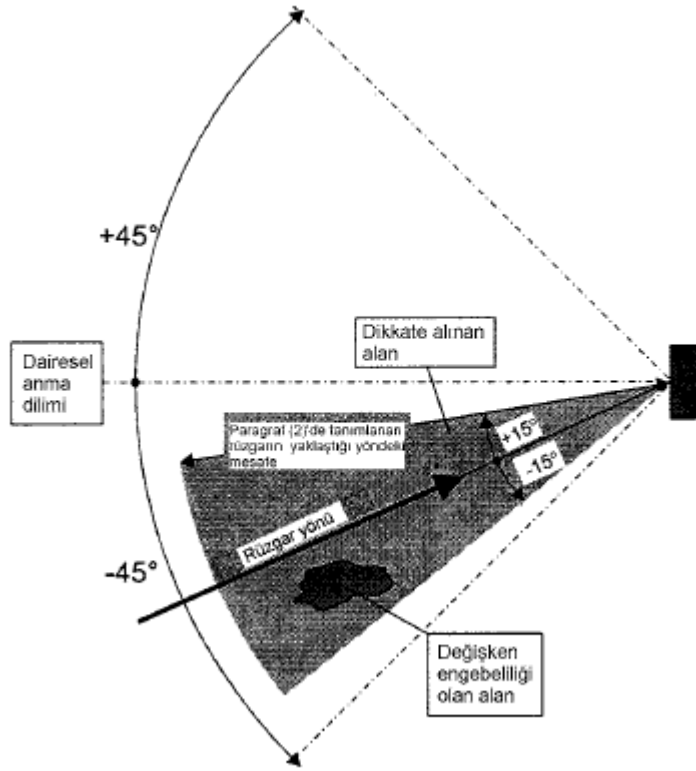
izelge 2.2 : x uzunlukları.

Ykseklik z	Kategori I’dan Kategori II’ye	Kategori I’dan Kategori III’e
5 m	0,50 km	5,00 km
7 m	1,00 km	10,00 km
10 m	2,00 km	20,00 km
15 m	5,00 km	
20 m	12,00 km	
30 m	20,00 km	
50 m	50,00 km	

Yükseklik z	Kategori II'den Kategori III'e	Kategori II'den Kategori IV'e
5 m	0,30km	2,00 km
7 m	0,50 km	3,50 km
10 m	1,00 km	7,00 km
15 m	3,00 km	20,00 km
20 m	7,00 km	
30 m	10,00 km	
50 m	30,00 km	

Yükseklik z	Kategori III ile Kategori IV
5 m	0,20 km
7 m	0,35 km
10 m	0,70 km
15 m	2,00 km
20 m	4,50 km
30 m	7,00 km
50 m	20,00 km

Belirtilen rüzgâr doğrultusu için kullanılacak arazi engebелiliđi, rüzgâr doğrultusu etrafındaki dairesel dilim içerisinde bulunan düzgün yayılı engebелiliđe sahip arazi kısmının uzunluğuna ve yüzey engebелiliđine bağlıdır. Değişken engebелilik gösteren küçük alanlar (dikkate alınan arazinin % 10'undan az) ihmal edilebilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Arazi engebeliliğinin değerlendirilmesi.

Dairesel dilim ve rüzgârın yaklaştığı yöndeki mesafe tanımlamaları verilebilir. Tavsiye edilen dairese dilimin merkez açısı 300 (rüzgâr doğrultusunun her iki tarafında 150) olarak alınmaktadır.

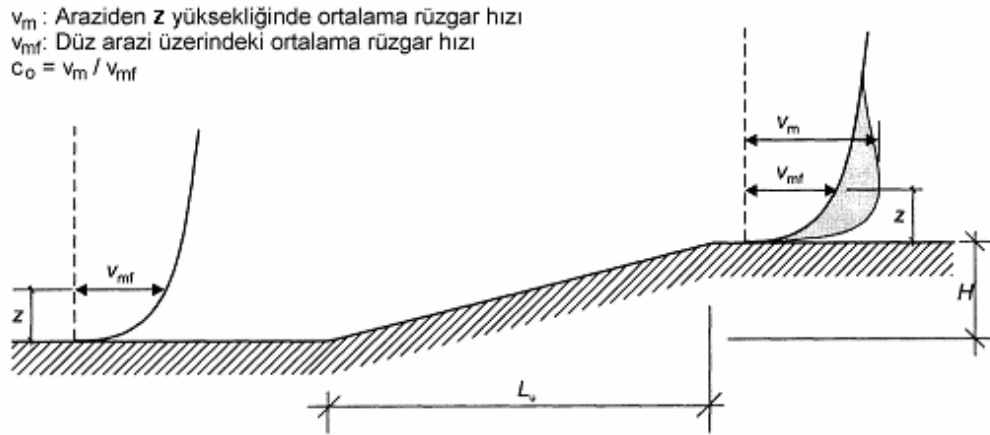
Dairesel anma dilimi için basınç veya kuvvet katsayısının tanımlandığı durumlarda herhangi 30 derecelik dairese dilimdeki en düşük engebelilik uzunluğu kullanılmaktadır.

Verilen arazinin tanımlanması sırasında iki veya daha fazla arazi kategorisi arasında seçim yapılacaksa en düşük engebelilik uzunluğu olan arazi kullanılmaktadır.

2.4 Arazi Orografisi

Orografinin (tepeler,yamaçlar vb.) rüzgâr hızını % 5'ten daha fazla arttırdığı yerlerde bunların tesirleri orografi katsayısı c_o kullanılarak dikkate alınmaktadır.

Birbirinden bağımsız tepeler ve sırtlar veya yamaç ve yarlarda farklı rüzgâr hızları rüzgâr doğrultusunda rüzgârın yaklaştığı yöndeki eğime ($\Phi=H/L_u$) bağlıdır. Yükseklik H ve uzunluk L_u Şekil 2.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Orografik yapı üzerindeki rüzgâr hızının yükselişinin gösterimi.

Rüzgâr hızlarındaki en büyük, artış eğimin tepe noktasında olur ve orografi katsayısı c_o 'dan elde edilir (Şekil 2.2). Eğimin, türbülansın standard sapması üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

Orografi katsayısı $c_o(z) = v_m/v_{mf}$ ile birbirinden ayrılmış tepe ve sırtlar (sıradağlar gibi birbirinden ayrılmamış dağların bulunduğu bölgeler hariç) üzerindeki ortalama rüzgâr hızındaki artışı dikkate alınır. $c_o(z)$, tepe ve sırtın alt noktasındaki rüzgâr hızıyla ilişkilidir. Orografi etkileri aşağıdaki durumlarda dikkate alınmaktadır.

- Tepe ve sırtlarda rüzgârın yaklaştığı yöndeki eğimli kısımda bulunan aşağıdaki özelliklere sahip mahaller için Eşitlik 2.5'ten yararlanılmaktadır.

$$0,05 < \Phi \leq 0,3 \text{ ve } |x| \leq L_u/2 \quad (2.5)$$

- Tepe ve sırtlarda rüzgârın uzaklaştığı yöndeki eğimli kısımda bulunan aşağıdaki özelliklere sahip mahaller için Eşitlik 2.6 ve Eşitlik 2.7'den yararlanılmaktadır.

$$\Phi < 0,3 \text{ ve } x < L_d/2 \quad (2.6)$$

$$\Phi \geq 0,3 \text{ ve } x < 1,6H \quad (2.7)$$

- Yamaç ve yarların rüzgârın yaklaştığı yöndeki eğimli kısımda bulunan aşağıdaki özelliklere sahip mahaller için Eşitlik 2.8'den yararlanılmaktadır.

$$0,05 < \Phi \leq 0,3 \text{ ve } |x| \leq L_u/2 \quad (2.8)$$

- Yamaç ve yarların rüzgârın uzaklaştığı yöndeki eğimli kısımda bulunan aşağıdaki özelliklere sahip mahaller için Eşitlik 2.9 ve Eşitlik 2.10'dan yararlanılmaktadır.

$$\Phi < 0,3 \text{ ve } x < 1,5L_e \quad (2.9)$$

$$\Phi \geq 0,3 \text{ ve } x < 5H \quad (2.10)$$

c_o aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\Phi < 0,05 \quad \text{için} \quad c_o = 1 \quad (2.11)$$

$$0,05 < \Phi \leq 0,3 \quad \text{için} \quad c_o = 1 + 2.s. \Phi \quad (2.12)$$

$$\Phi > 0,3 \quad \text{için} \quad c_o = 1 + 0,6.s \quad (2.13)$$

Burada;

s Rüzgârın yaklaştığı yöndeki etkili eğim uzunluğu L_e için ölçeklendirilmiş

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4 den elde edilen orografik bölge katsayısı,

Φ Rüzgâr doğrultusunda rüzgârın yaklaştığı yöndeki eğim, H/L_u
(Şekil 2.3 ve Şekil 2.4),

L_e Çizelge 2.3 'de belirtilen rüzgârın yaklaştığı yöndeki etkili uzunluk,

L_u Rüzgâr doğrultusunda rüzgârın yaklaştığı yöndeki gerçek uzunluk,

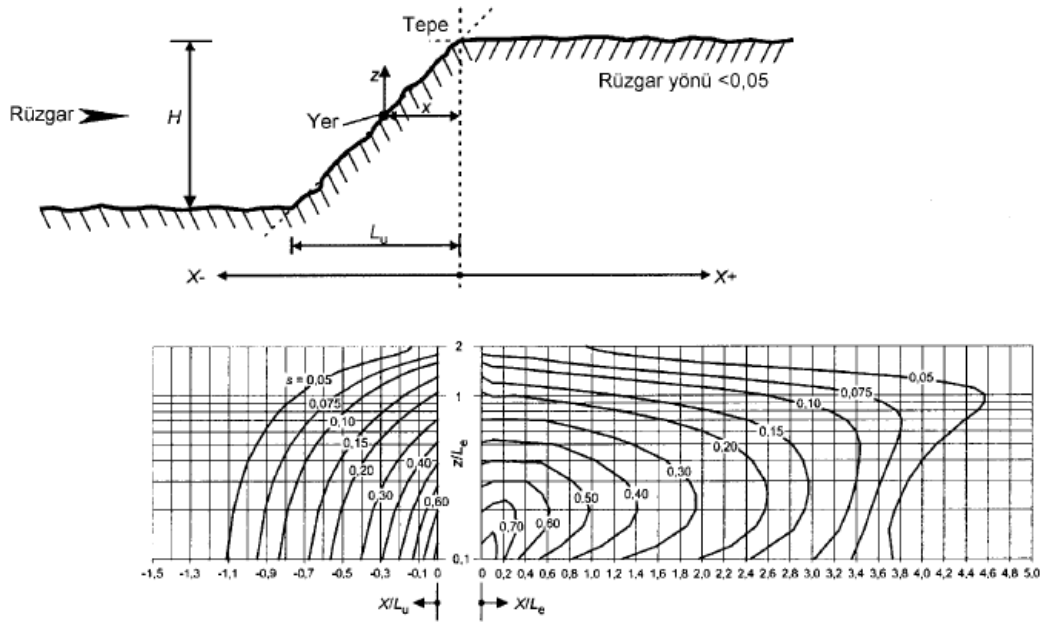
L_d Rüzgâr doğrultusunda rüzgârın uzaklaştığı yöndeki gerçek uzunluk,

- H Eğimin etkili yüksekliği,
x Doruk noktasından yapı mahalline kadar olan yatay mesafe,
z Yapı mahalinin zemininden düşey olarak ölçülen mesafesidir.

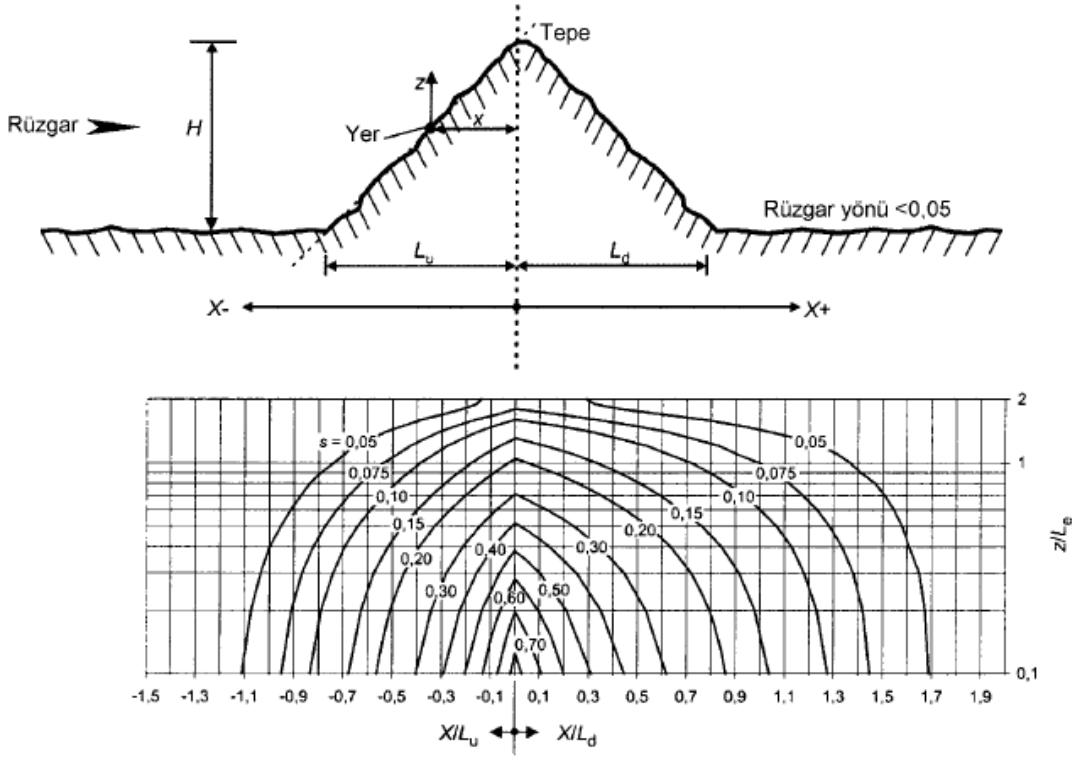
Çizelge 2.3 : Etkili uzunluk L_e değerleri.

Eğimin tipi ($\Phi=H/L_u$)	
Düşük eğim ($0,05 < \Phi < 0,3$)	Yüksek eğim ($\Phi > 0,3$)
$L_e = L_u$	$L_e = H/3$

Vadilerde, hortum tesiri yüzünden herhangi bir hız artışı beklenmiyorsa $c_o(z)$ değeri 1 olarak alınmaktadır. Vadi içerisine inşa edilen yapılar ve dik yamaçlı vadilerde inşa edilmiş köprü açıklıkları için hortum nedeniyle meydana gelecek rüzgâr hızı artışı dikkate alınmaktadır.



Şekil 2.3 : Yamaç ve yarlar için s katsayısı.



Şekil 2.4 : Yamaç ve sırtlar için s katsayısı.

- Bütün orografi için rüzgârın yaklaştığı yöndeki kısım ile ilgili s katsayılarının hesaplanması için Eşitlik 2.14 kullanılır. (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4)

$$-1,5 \leq \frac{X}{L_u} \leq 0 \quad \text{ve} \quad 0 \leq \frac{Z}{L_e} \leq 2,0 \quad (2.14)$$

Sınırları için s aşağıdaki Eşitlik 2.15, Eşitlik 2.16 ve Eşitlik 2.17'den yararlanılmaktadır.

$$s = A \cdot e^{\left[B \cdot \frac{X}{L} \right]} \quad (2.15)$$

Burada;

$$A = 0,1552 \cdot \left[\frac{Z}{L_u} \right]^4 - 0,875 \cdot \left[\frac{Z}{L_u} \right]^3 + 1,8133 \cdot \left[\frac{Z}{L_u} \right]^2 - 1,9115 \cdot \left[\frac{Z}{L_u} \right] + 1,0124 \quad (2.16)$$

$$B = 0,3542 \left[\frac{Z}{L_u} \right]^2 - 1,0577 \cdot \left[\frac{Z}{L_u} \right] + 2,6456 \quad (2.17)$$

$\frac{X}{L_u} < -1,5$ ve $\frac{Z}{L_e} > 2$ sınırları için s değeri 0,0 alınır.

- Yamaç ve yarlar için rüzgâr yönündeki kısım ile ilgili s katsayılarının hesaplanması için Eşitlik 2.18 kullanılır. (Şekil 2.3)

$$0,1 \leq \frac{X}{L_e} \leq 3,5 \quad \text{ve} \quad 0,1 \leq \frac{Z}{L_e} \leq 2,0 \quad (2.18)$$

sınırları için s aşağıdaki Eşitlik 2.19'dan elde edilir.

$$s = A. \left[\log \left(\frac{X}{L_e} \right) \right]^2 + B. \left[\log \left(\frac{X}{L_e} \right) \right] + C \quad (2.19)$$

Burada;

$$A = -1,3420. \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right]^3 - 0,8222 \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right]^2 + 0,4609 \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right] - 0,0791 \quad (2.20)$$

$$B = -1,0196. \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right]^3 - 0,8910 \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right]^2 + 0,5343 \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right] - 0,1156 \quad (2.21)$$

$$C = -0,8030. \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right]^3 - 0,4236 \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right]^2 + 0,5738 \left[\log \left(\frac{Z}{L_e} \right) \right] - 0,1606 \quad (2.22)$$

$0 \leq \frac{X}{L_e} \leq 0,1$ sınırları için

$\frac{X}{L_e} = 0$ (Eşitlik A.5'te $s=A$ 'dır) ile $\frac{X}{L_e} = 0,1$ arasında interpolasyon yapılmaktadır.

$\frac{Z}{L_e} < 0,1$ ise $\frac{Z}{L_e} = 0$ için kullanılan değerler dikkate alınmaktadır.

$\frac{Z}{L_d} > 3,5$ veya $\frac{Z}{L_e} > 2,0$ ise s değeri 0,0 alınmaktadır..

- Tepe ve sırtlar için rüzgâr yönündeki kısım ile ilgili s katsayılarının hesaplanması için Eşitlik 2.23 kullanılır. (Şekil 2.4)

$$0 \leq \frac{X}{L_d} \leq 2,0 \quad \text{ve} \quad 0 \leq \frac{Z}{L_e} \leq 2,0 \quad (2.23)$$

Sınırları için s aşağıdaki Eşitlik 2.24'ten elde edilir:

$$s = A. e^{\left[B. \frac{X}{L_d} \right]} \quad (2.24)$$

Burada;

$$A = 0,1552. \left[\frac{Z}{L_e} \right]^4 - 0,8575. \left[\frac{Z}{L_e} \right]^3 + 1,8133. \left[\frac{Z}{L_e} \right]^2 - 1,9115. \left[\frac{Z}{L_e} \right] + 1,0124 \quad (2.25)$$

$$B = 0,3056 \left[\frac{Z}{L_e} \right]^2 - 1,0212. \left[\frac{Z}{L_e} \right] - 1,7637 \quad (2.26)$$

$\frac{X}{L_d} > 2,0$ ve $\frac{Z}{L_e} > 2$ sınırları için s değeri 0,0 alınmaktadır.

2.5 Geniş ve Dikkate Alınmaya Değer Yükseklikteki Komşu Yapılar

Bir yapı, komşu yapıların ortalama yüksekliklerinin en az 2 katı yüksekliğe sahip bir yapının yakınlarında yer alıyorsa, yapının özelliklerine bağlı olarak, bazı yönlerden yapıya etkiyen rüzgâr hızları artar. Bu gibi durumlar dikkate alınmaktadır.

Bir yapı, komşu yapıların ortalama yüksekliklerinin (h_{ave}) 2 katından daha fazla yüksekliğe sahip ise, birinci yaklaşım olarak, herhangi bir komşu yapının tasarımında zemin üzerinden (Eşitlik 2.27) z_n ($z_e = z_n$) yükseklikteki tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı esas alınmaktadır (Şekil 2.5).

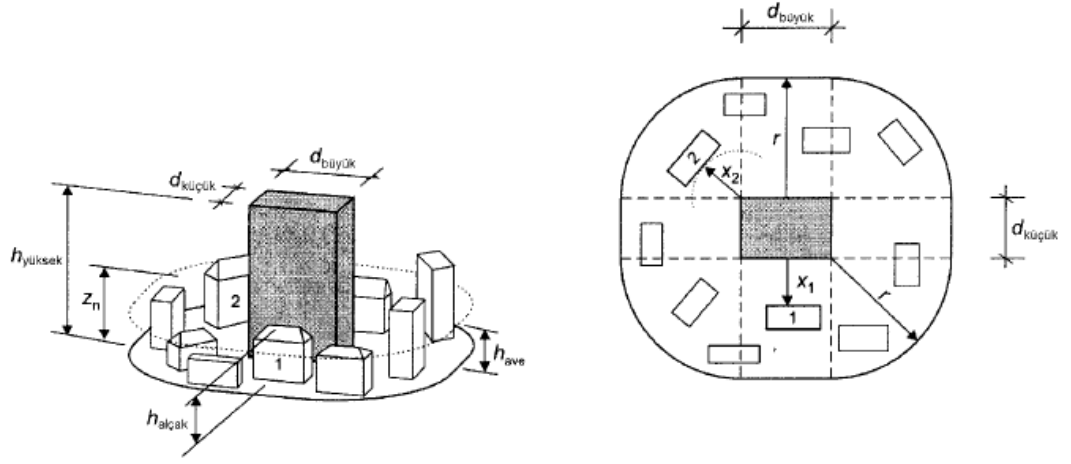
$$\begin{aligned} x \leq r & \quad \text{ise} & \quad z_n = \frac{1}{2} \cdot r \\ r < x < 2r & \quad \text{ise} & \quad z_n = \frac{1}{2} \cdot \left[r - \left(1 - \left(\frac{2h_{low}}{r} \right) \right) \right] \\ x \geq 2r & \quad \text{ise} & \quad z_n = h_{low} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Yukarıdaki r değerleri aşağıdaki şekilde alınır:

$$h_{high} \leq 2 \cdot d_{large} \text{ ise } r = h_{high}$$

$$h_{high} > 2 \cdot d_{large} \text{ ise } r = 2 \cdot d_{large}$$

Yapı yüksekliği h_{low} , yarıçap r , mesafe x ve d_{small} ve d_{large} boyutları Şekil 2.5'te gösterilmiştir. h_{low} , yüksek bina yüksekliği h_{high} değerinin yarısından daha fazlaysa arttırılmış rüzgâr hızları dikkate alınmayabilir (yani $z_n = h_{low}$).



Şekil 2.5 : İki farklı komşu yapıya (1 ve 2 nolu yapılar) daha yüksek bir yapının etkisi.

2.6 Rüzgâr Türbülansı

Rüzgâr hızının türbülans bileşeninin ortalama değeri 0, standart sapması σ_v 'dir. Türbülansın standart sapması σ_v , Eşitlik 2.28 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l \quad (2.28)$$

Arazi katsayısı k_r , Eşitlik 2.4'e, esas rüzgâr hızı v_b , Eşitlik 2.1'e göre hesaplanmaktadır.

z metre yükseklikteki türbülans şiddeti $I_v(z)$, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgâr hızına oranı olarak tanımlanmaktadır. $I_v(z)$ 'nin hesaplanması için tavsiye edilen işlem Eşitlik 2.29'da verilmiştir.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (2.29)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad z < z_{\min}$$

Burada; k_l türbülans katsayısı, c_o orografi katsayısı ve z_0 engebililik uzunluğudur.

2.7 Tepe Hız Kaynaklı Rüzgâr Basıncı

z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içeren tepe rüzgâr basıncı $q_p(z)$ Eşitlik 2.30 ile belirlenmelidir.

$$q_p(z) = (1+7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (2.30)$$

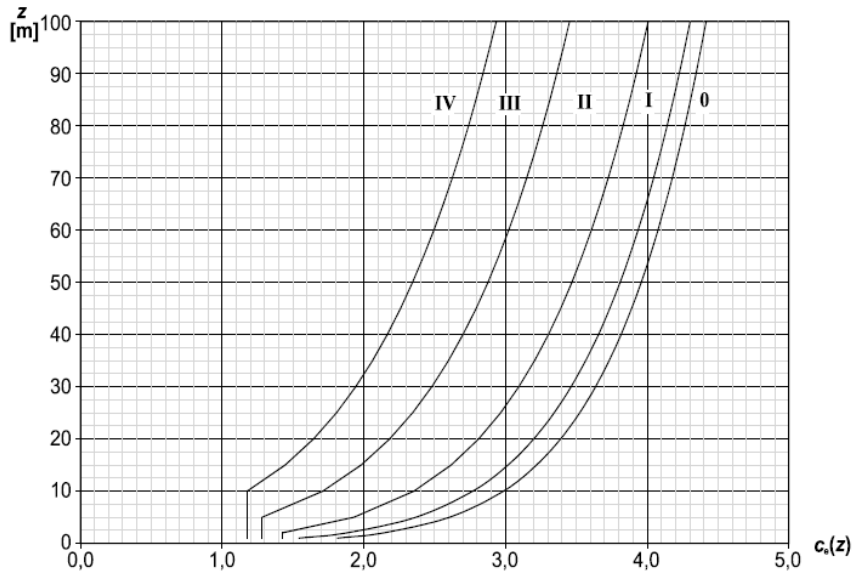
Burada; ρ fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve rakıma bağlı olan hava yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. ρ için tavsiye edilen değer $1,25 \text{ kg/m}^3$ 'dir. $c_e(z)$ ise maruz kalma katsayısıdır. Eşitlik 2.31 ile hesaplanmaktadır.

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (2.31)$$

Burada; q_b esas hız kaynaklı rüzgâr basıncı olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 2.32 ile hesaplanmaktadır.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (2.32)$$

$c_0(z) = 1,0$ olan düz araziler için maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ Şekil 2.6'da yer seviyesinden yüksekliğin ve Çizelge 2.1'de tanımlanan arazi kategorilerinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ 'nin $c_0=1,0$ ve $k_t=1,0$ için grafik gösterimi.

2.8 Yüzeylerdeki Rüzgâr Basıncı

Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı w_e , Eşitlik 2.33 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad (2.33)$$

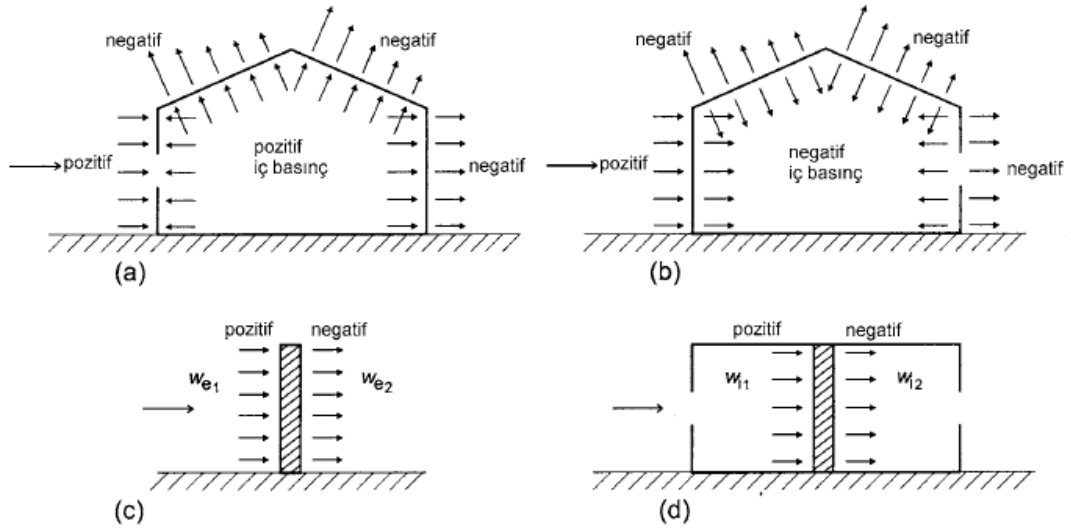
Burada; $q_p(z_e)$ tepe rüzgâr basıncı, z_e dış basınç için referans yükseklik ve c_{pe} dış basınç için verilen basınç katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Bir yapının iç yüzeylerine etkiyen rüzgâr basıncı w_i , Eşitlik 2.34 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (2.34)$$

Burada; $q_p(z_i)$ tepe rüzgâr basıncı, z_i iç basınç için referans yükseklik ve c_{pi} iç basınç için verilen basınç katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Bir duvara, çatıya veya yapı elemanına etkiyen net basınç, elemanların zıt yüzeylerde oluşan basınçların yönleri (işaretleri) de dikkate alınarak hesaplanan farkına eşittir. Yüzeye doğru yönelen basınç pozitif ve yüzeyden uzaklaşan yöndeki basınçlar ise negatif olarak alınır. Örnekleri Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7 : Yüzeylerdeki basınç.

2.9 Rüzgar Kuvvetleri

Yapının tümü veya bir yapısal bileşeni için rüzgâr kuvvetleri, kuvvetlerin kuvvet katsayıları kullanarak hesaplanması ile ya da kuvvetlerin, yüzey basınçları yardımıyla hesaplanması ile belirlenmelidir.

Bir yapıya veya yapının bir bileşenine etkiyen rüzgâr kuvveti F_w doğrudan Eşitlik 2.35 kullanılarak belirlenmektedir.

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (2.35)$$

veya Eşitlik 2.36 kullanılarak her bir yapısal eleman için vektörel toplama yapılarak hesaplanabilir.

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elemanlar}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (2.36)$$

Burada ; $c_s c_d$ yapısal katsayı, c_f yapı veya yapısal eleman için kuvvet katsayısı, $q_p(z_e)$ z_e referans yüksekliğindeki tepe rüzgâr basıncı ve A_{ref} ise yapının veya yapısal elemanın referans alanı olarak tanımlanmaktadır. $c_s c_d$ değeri; yüksekliği 15 m'den az olan binalarda, doğal frekansı 5 Hz'den yüksek olan cephe ve çatı elemanları için, taşıyıcı duvarları olan yüksekliği 100 metreden az ve bu yüksekliğin rüzgâr doğrultusundaki yapı derinliğinin 4 katından daha az olduğu çerçeve sistemli binalarda, yüksekliği 60 metreden ve bu yüksekliği çapının 6,5 katından daha az olan dairesel kesitli bacalar için tavsiye edilen değer 1'dir.

Bir yapıya veya yapının bir bileşenine etkiyen rüzgâr kuvveti F_w , Eşitlikler 2.37 ve 2.38 kullanılarak dış ve iç basınçlardan hesaplanan $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ ve F_{fr} kuvvetleri ile Eşitlik 2.39 kullanılarak hesaplanan dış yüzeylere paralel rüzgâr sürtünmelerinden kaynaklanan sürtünme kuvvetlerinin vektörel olarak toplanmasıyla belirlenebilir.

Dış kuvvetler Eşitlik 2.37 yardımıyla hesaplanır.

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{alanlar}} w_e \cdot A_{ref} \quad (2.37)$$

Burada; $c_s c_d$ yapısal katsayıdır. Yapısal katsayısı $c_s c_d$ 'nin hesaplanmasında, türbülansa bağlı yapı titreşim tesirleriyle (c_d) beraber yüzeylerdeki en yüksek rüzgâr basıncının (c_s) eşzamanlı şekilde meydana gelmemesi nedeniyle rüzgâr etkileri üzerindeki tesirlerini hesaba katılmaktadır.

w_e ise z_e yüksekliğindeki her bir yüzeydeki dış basınç, A_{ref} her bir yüzeyin referans alanıdır. İç kuvvetler Eşitlik 2.38 yardımıyla hesaplanır.

$$F_{w,i} = \sum_{alanlar} w_i \cdot A_{ref} \quad (2.38)$$

Burada; w_i ise z_i yüksekliğindeki her bir yüzeydeki iç basınç, A_{ref} her bir yüzeyin referans alanıdır. Sürtünme kuvvetleri Eşitlik 2.39 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad (2.39)$$

Burada; c_{fr} sürtünme katsayısı ise A_{fr} rüzgâra paralel dış yüzeylerin alanıdır. Sürtünme kuvvetleri F_{fr} , rüzgârın dış yüzeylere paralel bileşenleri doğrultusunda etkir.

2.10 Basınç Katsayıları

Dış basınç katsayıları binanın dış yüzeylerine etki eden rüzgâr tesirini, iç basınç katsayıları ise binanın iç yüzeylerine etki eden rüzgâr tesirini verir.

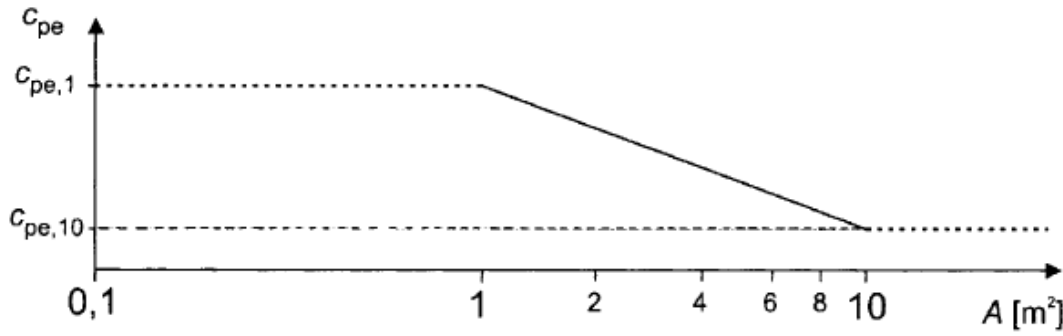
Dış basınç katsayıları genel katsayılar ve kısmi katsayılar olarak ikiye ayrılır. Kısmi katsayılar yüke maruz alanın 1 m^2 veya daha az olduğu durumlara ait basınç katsayısıdır (küçük elemanlar ve sabitleme elemanının tasarımında esas alınır). Genel katsayılar yüke maruz alanın 10 m^2 'den daha fazla olan durumlara ait basınç katsayısıdır.

Net basınç katsayıları bir yapının, yapısal elemanın veya bileşenin birim yüzey alanına etki eden bileşke rüzgâr tesirini verir.

Binalar ve bina bölümleri için dış basınç katsayıları c_{pe} , hesaplama yapılacak kesitteki rüzgâr etkisini oluşturan yüklenmiş yapı alanı A 'nın boyutuna bağlıdır. Dış basınç katsayıları, uygun bina şekilleri için çizelgelerde, değeri 1 m^2 olan yüklenmiş alan A için kısmi katsayı $c_{pe,1}$ olarak, değeri 10 m^2 olan yüklenmiş alan A için ise genel katsayı $c_{pe,10}$ olarak verilmiştir.

$c_{pe,1}$ değerleri cephe ve çatı kaplama elemanları gibi alanı 1 m^2 veya daha az olan küçük elemanlar ve sabitleme elemanlarının tasarımında kullanılmak üzere dikkate alınmaktadır. $c_{pe,10}$ değerleri binanın yük taşıyıcı kısmının tamamının tasarımında kullanılmaktadır.

Dış basınç katsayıları $c_{pe,1}$ ve $c_{pe,10}$ esas alınarak 1 m^2 'nin üzerindeki yüklenmiş alanlara etkiyen dış basınç katsayılarını hesaplamak için kullanılabilecek bir işlem verilmektedir. Değeri en fazla 10 m^2 'ye kadar olan yüklenmiş alanlar için tavsiye edilen işlem Şekil 2.8'de verilmiştir.

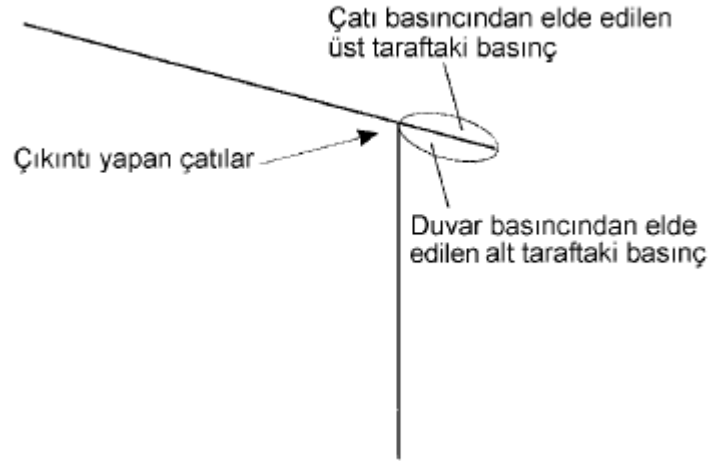


Şekil 2.8 : Değeri 1 m^2 ile 10 m^2 arasında yüklenmiş alanı bulunan binalarda dış basınç katsayısı, c_{pe} 'nin belirlenmesi için tavsiye edilen işlem.

Bu şekil aşağıdaki kabule dayanır.

$$1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$$

Çıkıntı yapan çatılar için çatı konsolunun alt kenarındaki basınç, doğrudan çıkıntı yapan çatıya bağlanan düşey duvarların dikkate alınan bölgesindeki basıncına eşittir. Çatı konsolunun üst kısmındaki basınç ise çatının tamamı dikkate alınarak tanımlanan basınca eşittir (Şekil2.9).

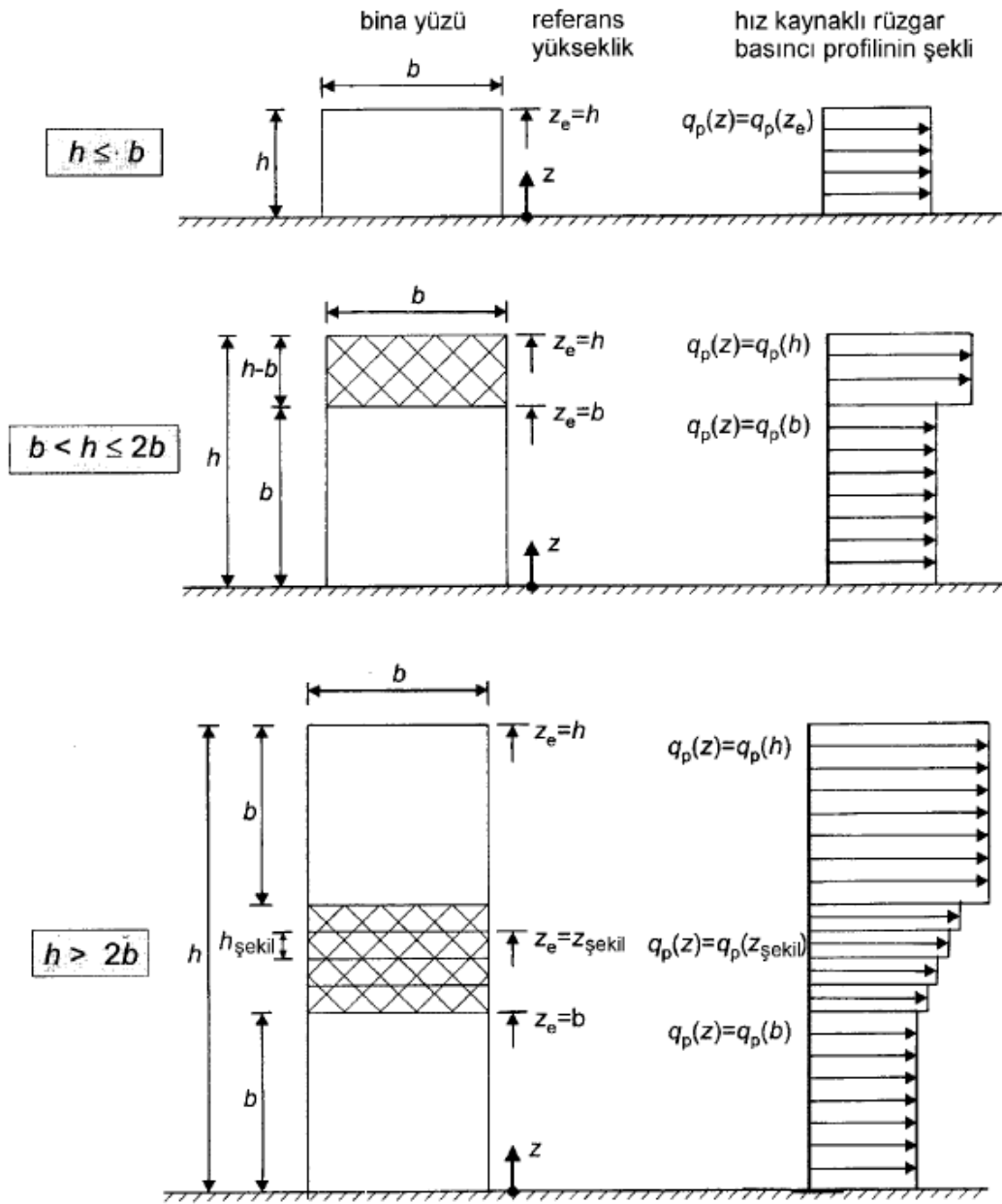


Şekil 2.9 : Çıkıntı yapan çatılar için ilgili basınçların gösterimi.

Dikdörtgen planlı binalar için dış basınç katsayıları aşağıda belirtilen kriterlere bağlı olarak belirlenmektedir.

Dikdörtgen planlı binaların rüzgârın yaklaştığı yöndeki duvarları için (D Bölgesi, Şekil 2.11) z_e referans yükseklikleri, h/b görünüm oranına bağlıdır ve her zaman duvarların değişik kısımlarındaki en büyük yüksekliklere eşittir. Bu yükseklikler aşağıdaki üç durum için Şekil 2.10’da verilmiştir:

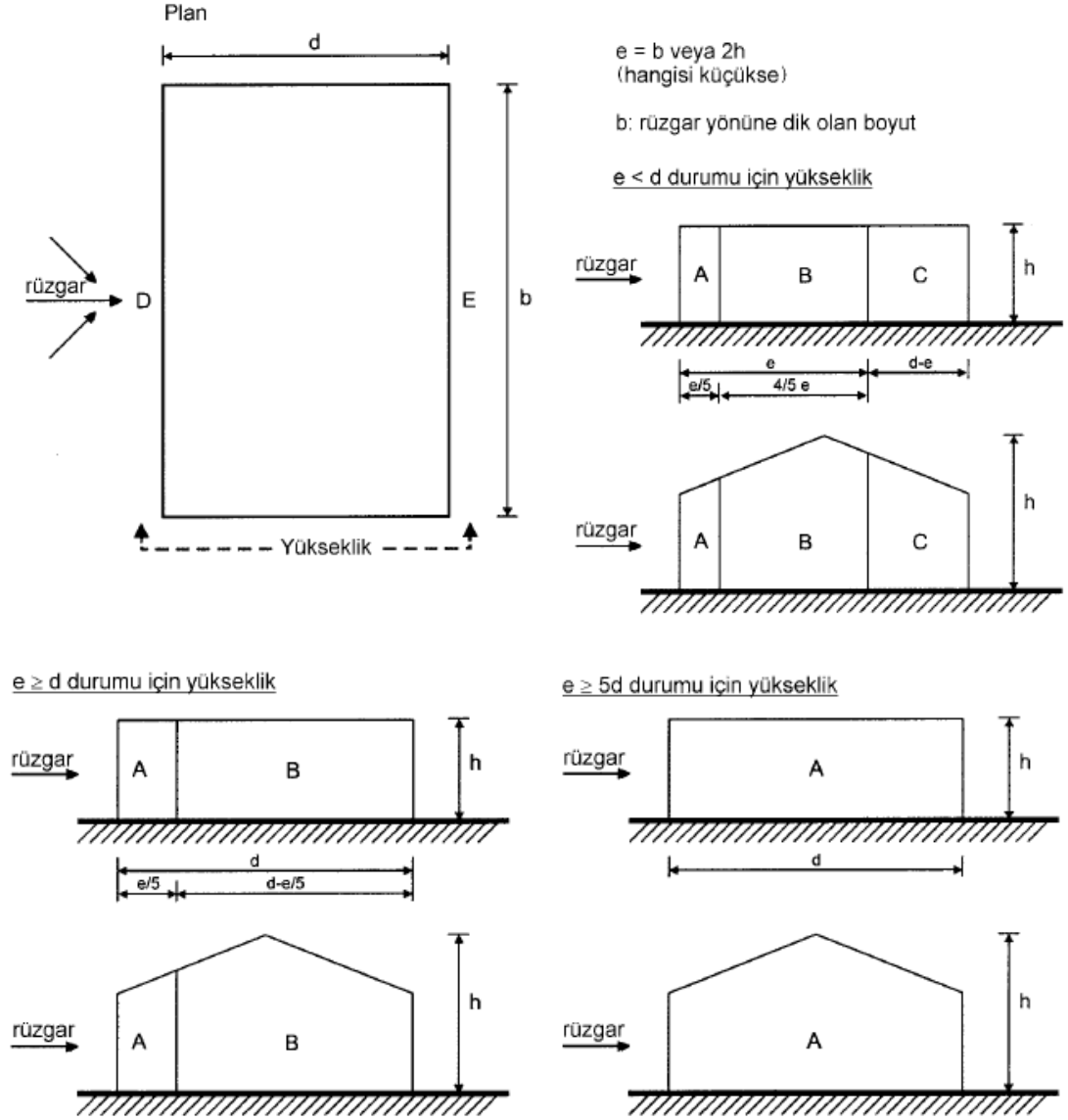
- h yüksekliği b ’den daha az olan bir bina tek parça olarak değerlendirilmektedir.
- h yüksekliği b ’den büyük ancak $2b$ ’den daha az olan bir bina, yer seviyesinden b yüksekliğine kadar olan alt bölümü bir parça ve geri kalan üst bölümü diğer parça olan iki parçalı bina olarak değerlendirilmektedir.
- h yüksekliği $2b$ ’den büyük olan bir bina, yer seviyesinden b yüksekliğine kadar olan alt bölümü; binanın en üstünden aşağıya doğru b yüksekliği kadar uzanan üst bölümü ve üst ve alt bölümlerin arasında Şekil 2.10’da gösterildiği gibi h_{strip} yüksekliğinde yatay şeritlere bölünebilen orta bölümü içeren çok parçalı bina olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2.10 : h ve b değerlerine bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgâr basıncı profili.

Dikkate alınan her yatay şerit için hız kaynaklı rüzgâr basıncının düzgün yayılı olarak etki ettiği kabul edilmelidir.

A, B, C, D ve E Bölgeleri için dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ Şekil 2.11’de tanımlanmıştır.



Şekil 2.11 : Düşey duvarlar için açıklamalar.

$c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ değerleri için tavsiye edilen değerler h/d oranına bağlı olarak izelge 2.4'te verilmiştir. h/d oranının ara değerleri için doğrusal interpolasyon uygulanabilir. Çift eğimli ve tek eğimli gibi yatay olmayan çatısı bulunan binaların duvarları için izelge 2.4'teki değerler de uygulanmaktadır.

Çizelge 2.4 : Dikdörtgen planlı binaların dūřey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri.

Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5.0	-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	
0.25	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		0.7	1.0	-0.3	

Yapı zerindeki rüzgâr kuvvetlerinin, yapının rüzgârın yaklaştığı yönündeki ve rüzgârın uzaklaştığı yöndeki yüzlerine (D ve E Bölgeleri) c_{pe} basınç katsayıları eşzamanlı uygulanarak belirlendiği durumlarda yapının rüzgâr yönündeki ve rüzgârın uzaklaştığı yöndeki yüzleri arasındaki rüzgâr basınçları korelasyonunun eksikliği dikkate alınması önerilmektedir.

Yapının rüzgârın yaklaştığı yöndeki ve rüzgârın uzaklaştığı yöndeki yüzleri arasındaki dūřk rüzgâr basıncı korelasyonu aşağıdaki şekilde dikkate alınması önerilmektedir. $h/d \geq 5$ olan binalar için bileşke kuvvet 1 ile çarpılır. $h/d \leq 1$ olan binalar için bileşke kuvvet 0,85 ile çarpılır. h/d 'nin ara değerleri için doğrusal interpolasyon uygulanmaktadır.

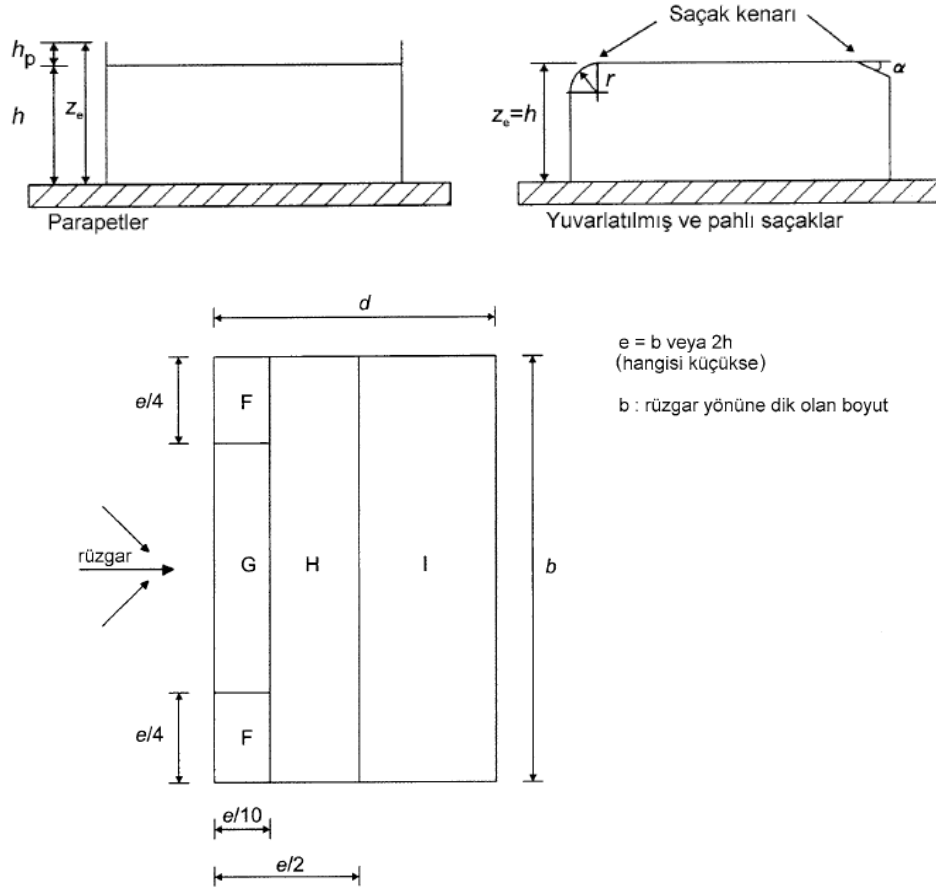
2.10.1 Düz çatılar için dış basınç katsayıları

Eğimi (α), $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$ olan çatılar düz çatı olarak tanımlanır.

Düz çatılar ve saçak kenarları yuvarlatılmış veya pahlı çatılar için referans yükseklik h olarak alınır.

Parapetli düz çatılar için referans yükseklik $h + h_p$ olarak alınır.

Düz çatılar, Şekil 2.12’de gösterildiği gibi bölgelere ayrılmaktadır.



Şekil 2.12 : Düz çatılar için açıklamalar.

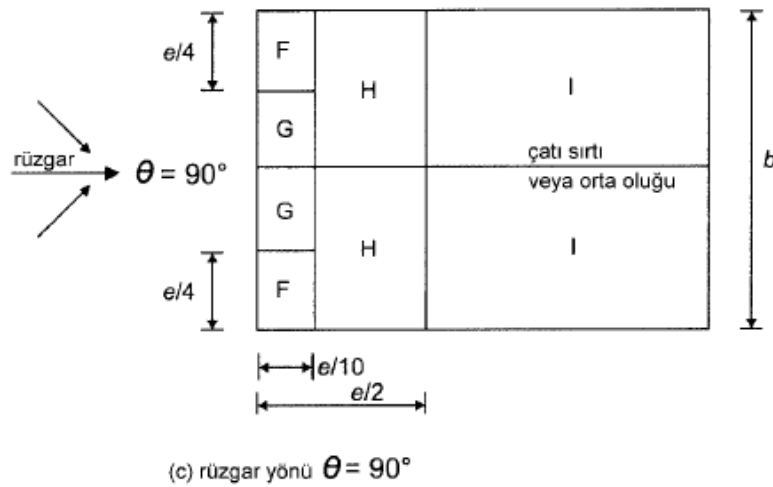
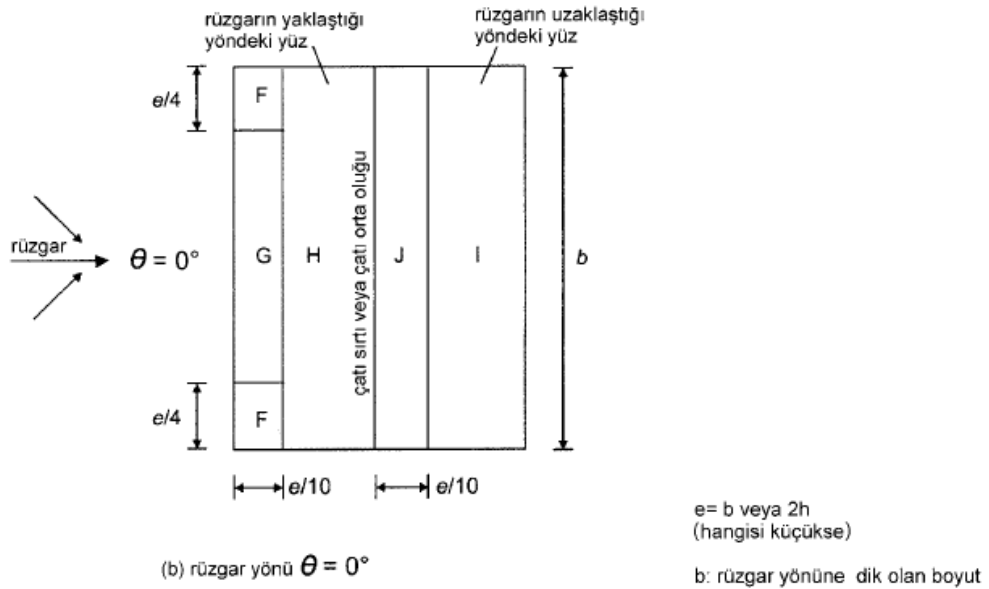
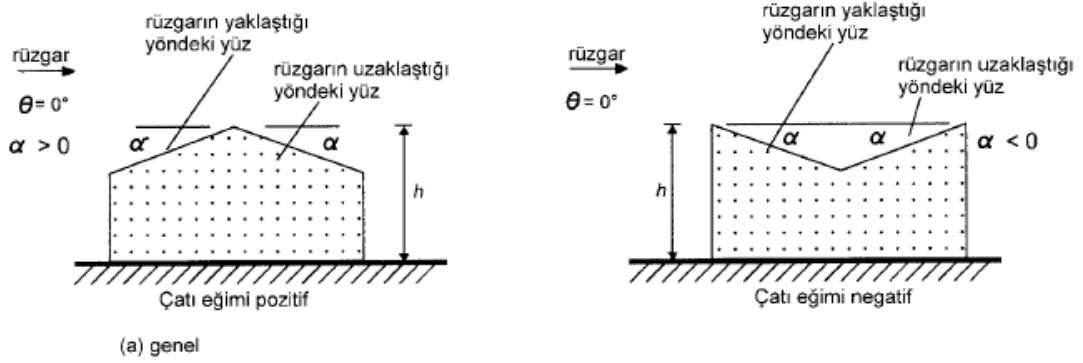
Her çatı tipi için basınç katsayıları Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Düz çatılar için dış basınç katsayıları.

Çatı tipi		Bölge							
		F		G		H		I	
		C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}
Keskin kenarlı saçaklar		-1,8	-2,5	-1,2	-2	-0,7	-1,2	0,2	
								-0,2	
Parapetli	hp/h=0,025	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	0,2	
								-0,2	
	hp/h=0,05	-1,4	-2	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	0,2	
								-0,2	
	hp/h=0,10	1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	0,2	
								-0,2	
Kenarları yuvarlatılmış saçaklı	r/h=0,05	-1	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		0,2	
								-0,2	
	r/h=0,10	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		0,2	
								-0,2	
	r/h=0,20	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		0,2	
								-0,2	
Kenarları pahlı saçaklı	$\alpha = 30^\circ$	-1	-1,5	-1	-1,5	-0,3		0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		0,2	
								-0,2	

2.10.2 Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları

Çıkıntı yapan kısımlar içeren çatılar, Şekil 2.13'te gösterildiği gibi bölgelere ayrılmalıdır. z_e referans yüksekliği, h yüksekliğine eşit alınmaktadır. Her bölge için kullanılması gereken basınç katsayıları Çizelge 2.6 ve 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.13 : Çift eğimli çatılar için açıklamalar.

Çizelge 2.6 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları($\theta = 0^\circ$).

Eğim açısı α	Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	0,2		0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2			0,2	
	0,0		0,0		0,0		-0,6		-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	0,2		0,2		0,2		0,0		0,0	0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	0,7		0,7		0,4		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0		-0,2		-0,3	
45°	0,7		0,7		0,6		0,0		0,0	
60°	0,7		0,7		0,7		-0,2		-0,3	
75°	0,8		0,8		0,8		-0,2		-0,3	

Not 1 - Basınç, $\theta = 0^\circ$ için eğim açısının $\alpha = +5^\circ$ ile $+45^\circ$ arasındaki değerlerinde pozitif ve negatif değerler arasında hızlı bir şekilde değişir. Bu nedenle pozitif ve negatif değerlerin her ikisi de verilmiştir. Bu çatılar için, F, G ve H alanlarındaki en büyük veya en küçük değerlerin I ve J alanlarındaki en büyük veya en küçük değerlerle birlikte kullanıldığı dört durum dikkate alınmalıdır. Aynı yüzde pozitif ve negatif değerlerin bir arada kullanılmasına izin verilmez.

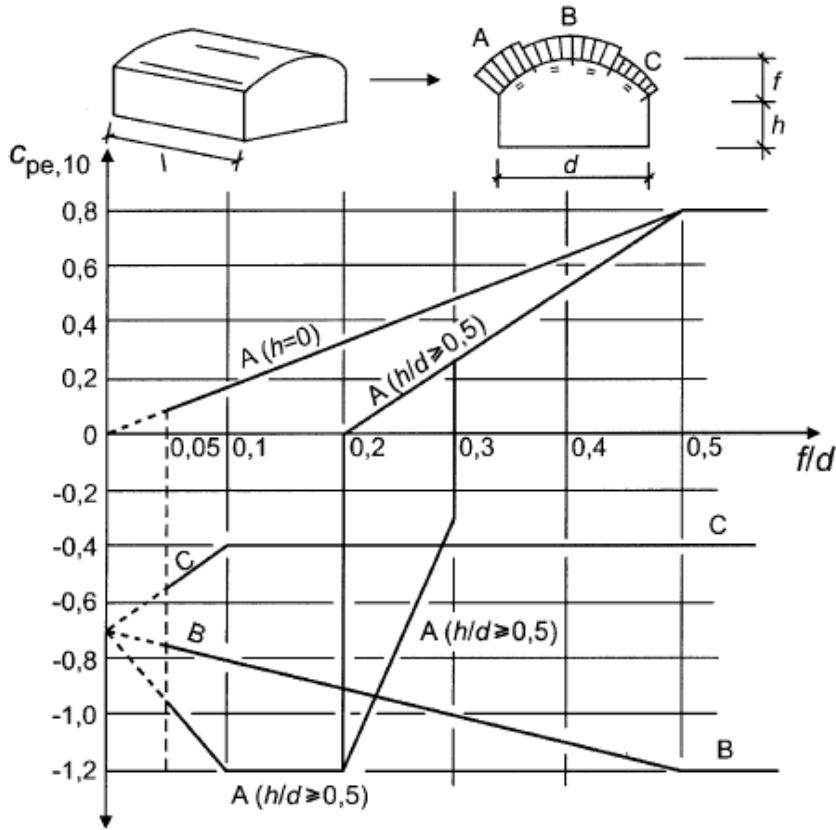
Not 2 - Eğim açısının ara değerleri için aynı işaretli değerler arasında doğrusal interpolasyon yapılabilir ($\alpha = +5^\circ$ ve $\alpha = -5^\circ$ arasında interpolasyon yapılmaz.) 0,0 değerleri interpolasyon amaçlı verilmiştir.

Çizelge 2.7 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları ($\theta = 90^\circ$).

Eğim Açısı	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45	-1.4	-2.0	-1.2	-2.0	-1.0	-1.3	-0.9	-1.2
-30	-1.5	-2.1	-1.2	-2.0	-1.0	-1.3	-0.9	-1.2
-15	-1.9	-2.5	-1.2	-2.0	-0.8	-1.2	-0.8	-1.2
-5	-1.8	-2.5	-1.2	-2.0	-0.7	-1.2	-0.8	-1.2
5	-1.6	-2.2	-1.3	-2.0	-0.7	-1.2	-0.6	
15	-1.3	-2.0	-1.3	-2.0	-0.6	-1.2	-0.5	
30	-1.1	-1.5	-1.4	-2.0	-0.8	-1.2	-0.5	
45	-1.1	-1.5	-1.4	-2.0	-0.9	-1.2	-0.5	
60	-1.1	-1.5	-1.2	-2.0	-0.8	-1.0	-0.5	
75	-1.1	-1.5	-1.2	-2.0	-0.8	-1.0	-0.5	

2.10.3 Tonozlar ve kubbeler için dış basınç katsayıları

Tonoz çatılı bir yapı için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ değerleri değişik bölgeler için Şekil 2.14'te verilmiştir. Referans yükseklik $z_e = h + f$ olarak alınır.



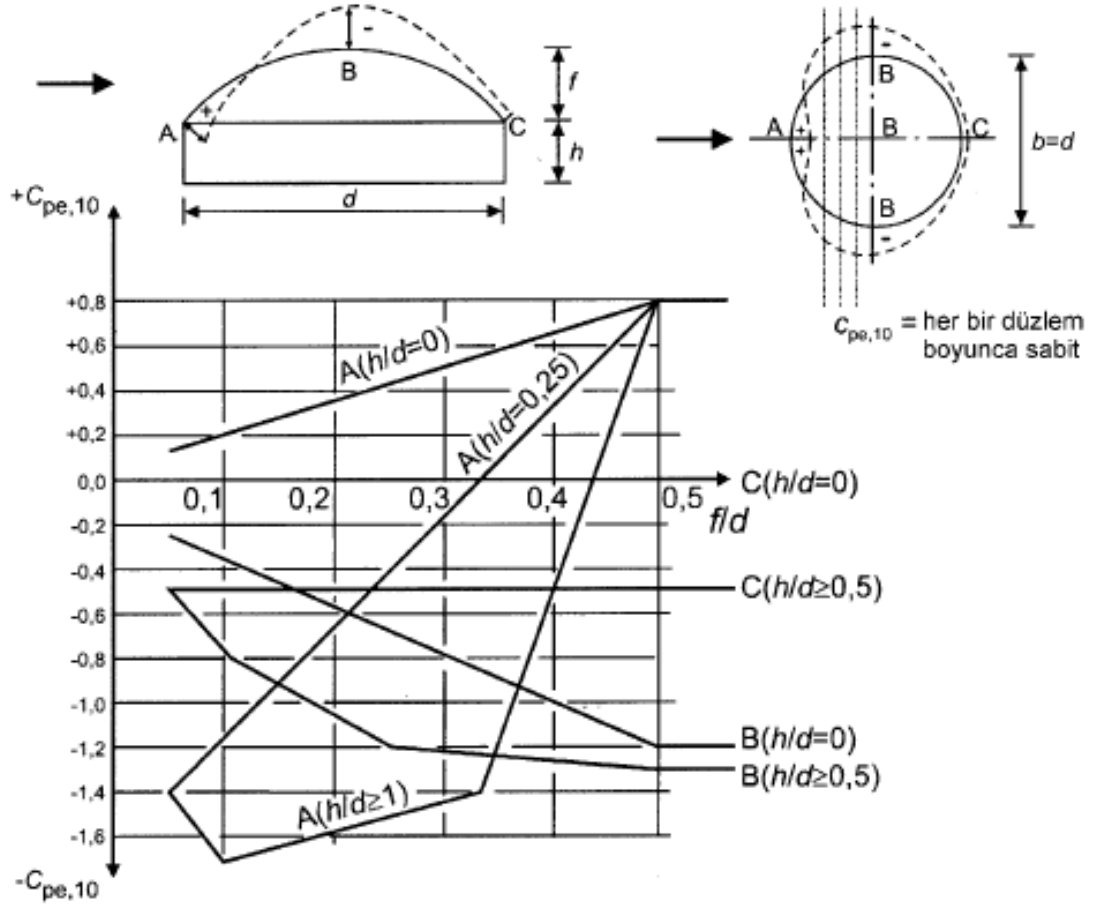
Şekil 2.14 : Dikdörtgen tabanlı tonozlar için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ dış basınç katsayıları.

$0 < h/d < 0,5$ aralığında $c_{pe,10}$ doğrusal interpolasyon ile elde edilir.

$0,2 \leq f/d \leq 0,3$ ve $h/d \geq 0,5$ aralığı için $c_{pe,10}$ 'un iki değeri dikkate alınmalıdır.

Bu grafik düz çatılar için geçerli değildir.

Kubbeler için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ değerleri değişik bölgeler için Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.15 : Dikdörtgen tabanlı kubbeler için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ dış basınç katsayıları.

$c_{pe,10}$, dairelerin yayları, kürelerin kesişim noktaları ve rüzgâra dik düzlemler boyunca sabittir; ilk yaklaşım olarak, rüzgâra paralel daire yayları boyunca A,B ve C noktalarındaki değerler arasında doğrusal interpolasyon yapılarak hesaplanır. Aynı şekilde $0 < h/d < 1$ ise A noktasındaki $c_{pe,10}$ değerleri ve $0 < h/d < 0,5$ ise B ve C noktalarındaki $c_{pe,10}$ değerleri yukarıdaki şekilden doğrusal interpolasyon yapılarak elde edilir.

2.10.4 İç basınç

İç ve dış basınçlar yapıya aynı anda etkiyecek şekilde dikkate alınmaktadır. Yapıda oluşması muhtemel açıklıklar ile rüzgâr akımının sızdığı diğer hatların her bir kombinasyonu için en kötü durumu oluşturan iç ve dış basınç kombinasyonları dikkate alınması önerilir.

İç basınç katsayısı c_{pi} bina cephesindeki açıklıkların boyutuna ve dağılımına bağlıdır. Binanın bir tarafındaki (cephe ve çatı) toplam boşluk alanının o tarafın toplam alanının % 30'undan fazla olması durumu bir binanın en az iki tarafında görüldüğünde, yapıya tesir eden rüzgâr etkileri bu kısımda belirtilen kurallara göre hesaplanmamaktadır.

Bir binadaki açıklıklar; açık pencereler, havalandırma boşlukları, bacalar vb. ile beraber kapılar, pencereler, tesisat civarındaki ve binanın cephesi etrafındaki hava sızıntılarının olduğu geçirgen alan gibi küçük açıklıkları kapsar. Geçirgen alanın tipik değeri yüzey alanının % 0,01'i ile % 0,1'i arasındadır.

Tasarımda taşıma gücü sınır durumunda kapalı kabul edildikleri halde kuvvetli fırtınalar sırasında kapı ve pencere gibi dış açıklıkların açık olması durumunun yapının davranışı üzerinde baskın olabileceği kapı ve pencerelerin açık olması durumu bir kazai tasarım durumu olarak dikkate alınmaktadır.

Binanın cephesindeki açıklıklar nedeniyle bütün dış rüzgâr etkilerini taşımak zorunda kalan yüksek iç duvarlar (tehlike riski yüksek olan) için kazai tasarım durumunun kontrol edilmesi önemlidir.

Dikkate alınan bir binanın bir yüzündeki açıklıkların toplam alanının geri kalan yüzlerdeki toplam açıklık ve sızıntı alanlarının en az iki katı olduğu durumlarda o yüz, baskın yüz olarak dikkate alınmalıdır. Bu durum, aynı zamanda binadaki münferit iç hacimlere de uygulanmaktadır.

Baskın yüzdeki açıklıkların toplam alanı, geriye kalan yüzlerdeki açıklıkların toplamının iki katı olduğu durumlarda iç basınç katsayısı Eşitlik 2.40 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} \quad (2.40)$$

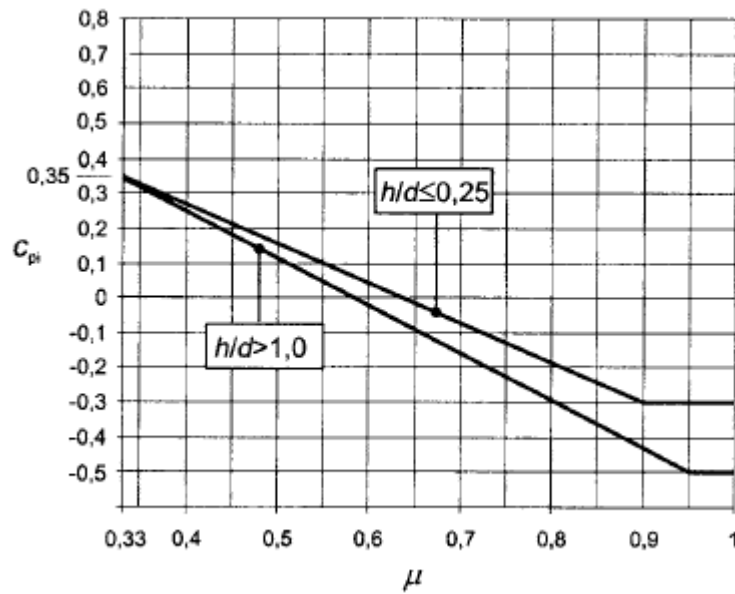
Baskın yüzdeki açıklıkların toplam alanı, geriye kalan yüzlerdeki açıklıkların toplamının en az üç katı olduğu durumlarda iç basınç katsayısı Eşitlik 2.41 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe} \quad (2.41)$$

Burada c_{pe} baskın yüzde bulunan açıklıklardaki dış basınç katsayısı değeridir. Bu açıklıkların değişik dış basınç katsayılarına sahip bölgelerde bulunduğu durumlarda alanlara göre belirlenen ortalama bir c_{pe} değeri kullanılmaktadır.

Baskın yüzdeki açıklık alanları toplamının geri kalan yüzlerdeki açıklık alanları toplamının iki ile üç katı arasında olduğu durumlarda c_{pi} 'yi hesaplamak için doğrusal interpolasyon yapılmaktadır.

Baskın bir yüzü olmayan binalar için iç basınç katsayısı c_{pi} Şekil 2.16 kullanılarak belirlenmelidir. Bu şekilde belirlenen iç basınç katsayısı, bina yüksekliğinin derinliğine oranı (h/d) ile Eşitlik 2.41 kullanılarak belirlenmesi gereken her bir rüzgâr doğrultusu θ için dikkate alınan açıklık oranı μ 'nün bir fonksiyonudur (Eşitlik 2.42).



Şekil 2.16 : Düzgün dağılım gösteren açıklıklar için iç basınç katsayıları.

$h/d=0,25$ ile $h/d=1,0$ değerleri arasında doğrusal interpolasyon yapılabilir.

$$\mu = \frac{\sum c_{pe} \text{ değerinin negatif veya } -0,0 \text{ olduğu açıklık alanı}}{\sum \text{ açıklık alanı}} \quad (2.42)$$

Not 1 - Bu eşitlik, bölme duvarları olan ve olmayan binaların cephe ve çatıları için geçerlidir.

Not 2 - Özel bir durum için μ değeri doğrulanmamış kabul edildiğinde veya bu değerin tahmin edilmesi mümkün olmadığında c_{pi} değeri $+0,2$ ve $-0,3$ değerlerinden en gayrı müsait durumu oluşturanı olarak alınmaktadır.

Yüzeylerindeki açıklıklar nedeniyle iç basınç oluşumuna katkıda bulunan yapı yüzlerinde, iç basınçlar için referans yükseklik z_i dış basınçlar için referans yükseklik z_e 'ye eşit olmalıdır. Çok sayıda açıklık varsa z_i 'yi belirlemek için z_e 'nin en büyük değeri kullanılmaktadır.

Açık silolar ve bacalar için iç basınç katsayısı Eşitlik 2.43'te verilmiştir.

$$c_{pi} = -0,60 \quad (2.43)$$

Küçük açıklıkları bulunan havalandırılmalı tanklar için iç basınç katsayıları Eşitlik 2.44'te verilmiştir.

$$c_{pi} = -0,40 \quad (2.44)$$

z_i referans yüksekliği, yapının yüksekliğine eşittir.

2.10.5 Bağılantısız duvarlar ve parapetler

Bağılantısız duvarlar ve parapetlere ait $c_{p,net}$ bileşke basınç katsayıları Şekil 2.29'da gösterildiği gibi A, B, C ve D bölgeleri için belirlenmektedir.

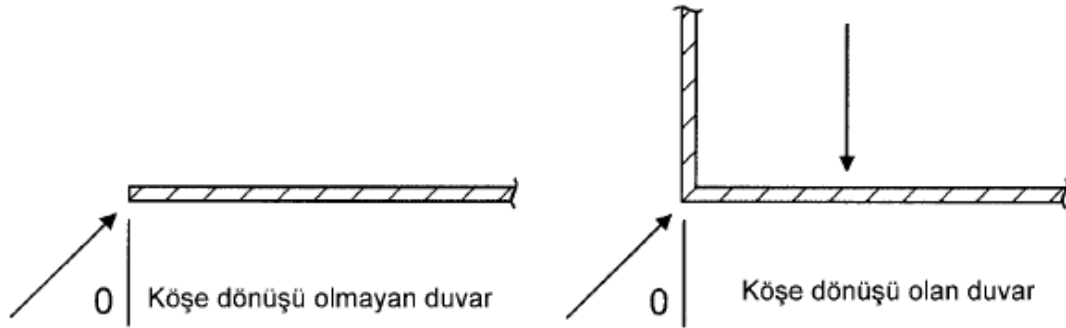
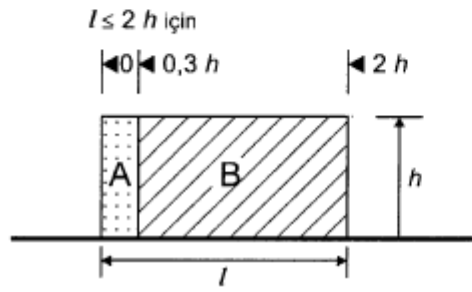
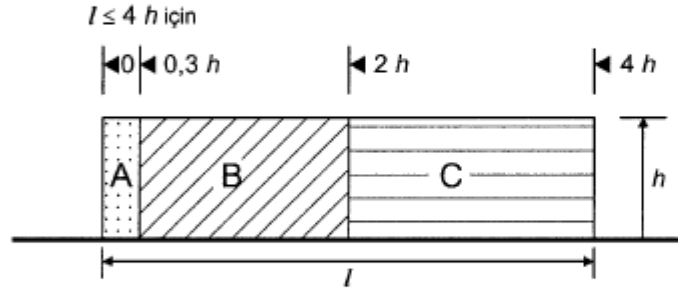
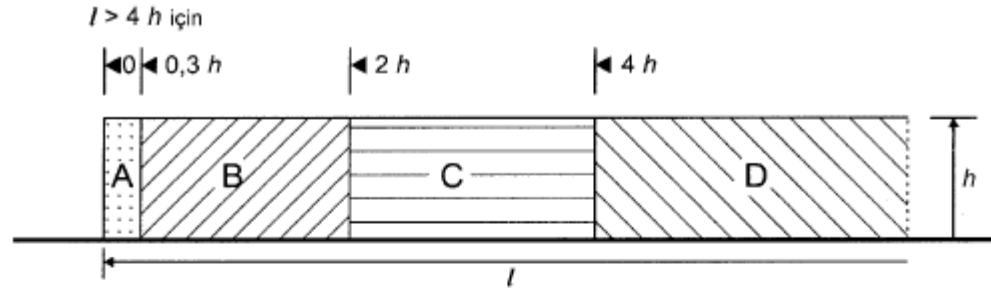
İki farklı doluluk oranı için tavsiye edilen değerler Çizelge 2.8'de verilmiştir. Tavsiye edilen bu değerler köşe dönüşü olmayan (Şekil 2.17) duvarlarda eğik rüzgâr yönüne, köşe dönüşü olan duvarlarda ise Şekil 2.17'de belirtilen iki ters yöne ait değerlere karşılık gelir. Her iki durumda da referans alan brüt alandır. Doluluk oranının 0,8 ile 1 arasındaki değerleri için doğrusal interpolasyon yapılabilir.

Çizelge 2.8 : Bağılantısız duvarlar ve parapetlere ait tavsiye edilen $c_{p,net}$ basınç katsayıları.

Doluluk	Bölge	A	B	C	D
$\varphi = 1$	Köşe	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2
	dönüşü	$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4
	olmayan	$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7
	duvarlar				
	Dönüştü kenar				
$\varphi = 0,8$	uzunluğu $\geq h_a$ olan	2,1	1,8	1,4	1,2
	duvarlar				
		1,2	1,2	1,2	1,2

Değeri 0,0 ile h arasında değişen dönüştü kenar uzunlukları için doğrusal interpolasyon yapılabilir.

Bağılantısız duvarlar için referans yükseklik $z_e = h$ olarak alınmaktadır (Şekil 2.17). Binalardaki parapetler için referans yükseklik $z_e = (h+h_p)$ olarak alınmaktadır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 : Bağlantısız duvarlar ve parapetlere ait bölgeler için açıklamalar.

3. ASCE 7-05'E GÖRE RÜZGAR YÜKLERİ

Bu standardta; binalar ve diğer yapıların, tüm elemanları ve kaplama da dahil olmak üzere burada belirtilen rüzgar yüklerine karşı tasarım esasları yer almaktadır.

Standard kapsamında dikkate alınan açık veya kısmi açık binalarda veya diğer yapılarda tasarımda kullanılacak rüzgar yükünün 0.48 kN/m^2 ile binanın veya yapının dikey düzlemdeki yansımasının varsayılan rüzgar yönüne normalinin çarpımından az olmaması gerekmektedir. Açık bina ve diğer yapılar için olan rüzgar yükü tasarımının 0.48 kN/m^2 ile A_f alanının çarpımından az olmaması gerekmektedir.

Temel Rüzgar Hızı, Kategori C için yerden 10 m yükseklikte üç saniyelik rüzgar hızı olarak tanımlanmıştır.

Az katlı binalar; ortalama tavan yüksekliği 18,3 m'den az veya eşit olan ya da ortalama çatı yüksekliğinin, asgari yatay boyutu aşmadığı kapalı veya kısmen kapalı binalar olarak tanımlanır.

Açık binalar; her duvarın en az % 80 oranında açık olduğu binalar olarak tanımlanır. Bu durum her duvar için $A_o \geq 0.8A_g$ denklemi ile ifade edilir. Burada; A_o pozitif dış basınç alan bir duvarın açıklıklarının toplam alanı olarak A_g ise A_o 'ın belirlendiği duvarın brüt alan olarak tanımlanır.

Kısmen kapalı binalar aşağıdaki koşullardan her ikisine de uygun bir binalar olarak tanımlanmıştır.

- Pozitif dış basınç alan duvardaki toplam açıklıkların alanı, bina cephesi dengesindeki açık alanların toplamının %10 daha fazlasını geçen binalar.
- Pozitif dış basınç alan duvardaki toplam açıklıkların alanı $0,37 \text{ m}^2$ 'yi yada o duvarın 1 %'lik alanını aşan binalar. (Bina cephesindeki dengenin açıklıkların yüzdesi %20'yi geçemesi gerekmektedir.)

Bu koşullar aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilir:

- $A_o > 1.10A_{oi}$
- $A_o > 0,37 \text{ m}^2$ veya $A_o > 0,01 A_g$ (ifadelerinden küçük olanı)
- $A_{oi} / A_{gi} \leq 0,20$

Burada; A_{oi} binadaki açıklıkların alanların toplamı, A_{gi} ise binanın brüt yüzey alanları toplamıdır.

Rijit yapılar, temel frekansı 1 Hz'a eşit veya daha büyük yapılar olarak tanımlanır.

Tasarım basıncı, rüzgar yüklerinin belirlenmesinde kullanılan eşdeğer statik basınç olarak tanımlanır.

Ortalama çatı yüksekliği, çatı saçak yüksekliği ile çatı yüzeyinde en yüksek noktanın yerden yüksekliğin ortalaması olarak tanımlanır.

3.1 Rüzgar Yükü Tasarım Yöntemleri

Yapılar için rüzgar tasarım yüklerinin bulunmasında 3 ayrı yöntem kullanılmaktadır. Yöntem 1 basitleştirilmiş yöntem olarak adlandırılmıştır. Bu yöntemde; düşük-yükseklik basit diyafram binlalarının, dikey ve yatay düzlemde yansımalarına uygulanmış net basınçları(dış ve iç basınçların toplamının) temsil eder. Yatay basınçlar için(A,B,C,D bölgeleri), p_s , rüzgar üstündeki ve altındaki net basıncın kombinasyonudur. p_s aşağıdaki Eşitlik 3.1 kullanılarak belirlenir:

$$p_s = \lambda K_{zt} I p_{s30} \quad (3.1)$$

Burada;

- λ Bina yüksekliği ve maruz kalma için düzeltme faktörü,
 K_{zt} Topoğrafik faktör,
 I Önem faktörü,
 p_{s30} Arazi kategorisi B için basitleştirilmiş tasarım rüzgar basıncıdır.

Tasarım rüzgar baskıların yük etkileri, A, B, C ve D bölgeleri $+0,48 \text{ kN/m}^2$ 'ye eşit E, F, G ve H bölgeleri 0 kN/m^2 varsayıldığında p_s basıncı minimum yük durumundan daha az olmamalıdır.

Net tasarım rüzgar basıncı, p_{net} , Yöntem 1 kullanılarak tasarlanmış binaların bileşenleri ve kaplama, her bina yüzeyi normal uygulanacak net baskılar (iç ve dış toplamı) temsil eder. p_{net} aşağıdaki Eşitlik 3.2 kullanılarak belirlenir:

$$p_s = \lambda K_{zt} I p_{net30} \quad (3.2)$$

Burada;

- λ Bina yüksekliği ve maruz kalma için düzeltme faktörü,
- K_{zt} Topoğrafik faktör,
- I Önem faktörü,
- P_{net30} Arazi kategorisi B için basitleştirilmiş tasarım rüzgar basıncıdır.

Pozitif tasarım rüzgar basınçları, p_{net} , +0,48 kN/m² daha az olmamalıdır. Negatif tasarım rüzgar basınçları, p_{net} , -0,48 kN/m² daha az olmamalıdır.

Yöntem 2 ise analitik yöntem olarak adlandırılır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için bina veya diğer yapılar için tasarım rüzgar yükü, bu bölüm uyarınca belirlenen aşağıdaki koşulların tümünü yerine getirmek zorundadır:

- Yapı, düzgün bir geometriye sahip olmalıdır.
- Bina ya da başka yapının karşı rüzgar yüküne, girdap saçılmasına, gallop ya da çırınmadan nedeniyle oluşan dengesizliğine maruz kalma tepki karakteristiğine sahip değildir yada kanalize efektlerine için mevki konumuna sahip değildir yada rüzgara karşı engel ardındaki buffeting özel dikkat gerektirmektedir.
- Esnek binalar veya diğer yapıların rezonansa neden olduğu yük büyütme etkisi dikkate alınır.

Yöntem 3 ise rüzgar tüneli yöntemi olarak adlandırılır; yöntem 1 ve 2'nin kullanılabileceği herhangi bir yapı için uygulanabilir. Bu yöntemde; ortalama ve değişken yükler ve basıncın belirlenmesi için yapılan testlerin aşağıda verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Doğal atmosferik sınır tabakası yükseklikle rüzgar hızı değişimini açıklamak için modellenmiştir.

- İlgili makro-(entegre) uzunluk ve atmosferik türbülansın boyuna bileşeninin mikro-boy ölçeği, yapıyı modellemek için yaklaşık olarak aynı ölçekte modellenmiştir.
- Modellenen bina veya diğer yapının izdüşüm alanı ve çevresindeki test bölümünün yüzde 8'den daha az olmalıdır.
- Basınç gradiyenti boyuna rüzgar tüneli testi bölümü için muhasebeleştirilir.
- Basınçlar ve kuvvetlerde Reynolds sayısı etkileri en aza indirilmiştir.
- Rüzgar tüneli enstrümantasyonunun tepki özellikleri gerekli ölçümleri ile tutarlı olmalıdır.

Bu bölümde rüzgar yükü için 2. hesap yöntemi kullanılmıştır. Rüzgar yüklerinin hesabında kullanılan parametreler ve hesap esasları aşağıda açıklanmıştır.

3.2 Rüzgar Doğrultu Katsayısı

Yapı tipine göre değişen rüzgar doğrultu katsayısı, K_d , Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Rüzgar doğrultu katsayısı, K_d .

Yapı Tipi	Rüzgar doğrultu katsayısı, K_d
Binalar	
MWFRS	0,85
Elemanlar ve Kaplama	0,85
Kemer Çatılar	0,85
Baca, tank ve benzeri yapılar	
Kare	0,90
Altıgen	0,95
Daire	0,95
İşaret Levhaları	0,85
Boşluklu levhalar ve kafes çerçeve	0,85
Kuleler	
Üçgen, kare ve dikdörtgen	0,85
Diğer kesitler	0,95

3.3 Önem Katsayısı

Bina veya diğer yapılar için yapı önem katsayısı, I, Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Önem katsayısı, I.

Kategori	Kasırğa etkisi olan ve olmayan bölgeler ve Alaska	Kasırğa etkisi olan bölgeler
	V = 38 - 45 m/sn	V > 45 m/sn
I	0,87	0,77
II	1,00	1,00
III	1,15	1,15
IV	1,15	1,15

3.4 Hız Basıncı Maruz Kalma Katsayısı

Bir geçiş bölgesinde yer alan bir sitede zemin yüzey pürüzlülüğü değişikliğine yakın maruz kalma kategorileri için K_z veya K_h ara değerleri rasyonel bir analiz metodu ile tespit edilmektedir.

Bu arazi kategorileri ASCE 7-05’e göre B, C ve D olmak üzere 3 bölümde incelenmektedir.

Arazi kategorisi B, kentsel ve banliyö alanlarını, ormanlık alanları, sık engelli arazi veya tek ailelik konutları ya da daha büyük boyutlara sahip arazileri kapsar.

Arazi kategorisi C, Açık arazide dağınık engelli 9,1 m’den az yüksekliğe sahip arazileri kapsar. Bu kategori düz açık ülkeleri, otlakları ve kasırğa eğilimli bölgelerde tüm su yüzeyleri içerir.

Arazi kategorisi D, düz, engelsiz alanlar ve kasırğa eğilimli bölgeler dışında su yüzeyleri kapsar. Bu kategori yumuşak çamur daireler, tuz daire, ve kırılmamış buz içerir.

Arazi kategorilerine göre belirlenen hız basıncı maruz kalma katsayısı, K_z veya K_h Çizelge 3.3 yardımıyla belirlenir.

Hız basıncı maruz kalma katsayısı, K_z veya K_h Çizelge 3.3 yardımıyla belirlenir.

Çizelge 3.3 : Hız basıncı maruz kalma katsayısı, K_z ve K_h .

Yükseklik		Maruz kalma			
		B		C	D
ft	m	Durum 1	Durum 2	Durum 1 ve 2	Durum 1 ve 2
0-15	0-4,6	0,7	0,57	0,85	1,03
20	6,1	0,7	0,62	0,9	1,08
25	7,6	0,7	0,66	0,94	1,12
30	9,1	0,7	0,7	0,98	1,16
40	12,2	0,76	0,76	1,04	1,22
50	15,2	0,81	0,81	1,09	1,27
60	18	0,85	0,85	1,13	1,31
70	21,3	0,89	0,89	1,17	1,34
80	24,4	0,93	0,93	1,21	1,38
90	27,4	0,96	0,96	1,24	1,4
100	30,5	0,99	0,99	1,26	1,43
120	36,6	1,04	1,04	1,31	1,48
140	42,7	1,09	1,09	1,36	1,52
160	48,8	1,13	1,13	1,39	1,55
180	54,9	1,17	1,17	1,43	1,58
200	61	1,2	1,2	1,46	1,61
250	76,2	1,28	1,28	1,53	1,68
300	91,4	1,35	1,35	1,59	1,73
350	106,7	1,41	1,41	1,64	1,78
400	121,9	1,47	1,47	1,69	1,82
450	137,2	1,52	1,52	1,73	1,86
500	152,4	1,56	1,56	1,77	1,89

Hız basınç maruz katsayısı K_z aşağıdaki Eşitlik 3.3 kullanılarak da belirlenebilir.

$$4,6 m \leq z \leq z_g \quad \text{için} \quad K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

$$z < 4,6m \quad \text{için;} \quad K_z = 2,01 \left(\frac{15}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (3.3)$$

Yükseklik z ara değerleri için doğrusal interpolasyon kabul edilir.

3.5 Topografik Etkiler

İzole tepeler, ani değişiklikler ve genel topografyada herhangi bir maruz kalma kategorisinde yer alan sırtlardaki rüzgar hızını arttıran etkiler, bina ve diğer yapıların saha koşulları ve yerleri aşağıdaki koşulların tümünü karşılayan tasarım dahil edilmektedir.

Rüzgar hızı etkisi, tasarım rüzgar yüklerinin K_{zt} , topografik faktörü kullanarak yapılan hesap dahil edilmektedir. K_{zt} faktörü Eşitlik 3.4'te verilmiştir.

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (3.4)$$

Burada K_1 , topografik şekil faktörüdür. K_1 faktörü Çizelge 3.4 kullanılarak hesaplanır.

Çizelge 3.4 : K_1 faktörü için değerler.

Tepeler ve Yamaçlar için Hız Artırım Parametreleri						
Tepe Şekli	$K_1(H/L_h)$			γ	μ	
	B	C	D		rüzgâra karşı	rüzgâr yönü
boyutlu sırtlar veya vadiler	1,3	1,45	1,55	3	1,5	1,5
boyutlu yamaçlar	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
boyutlu tepeler	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

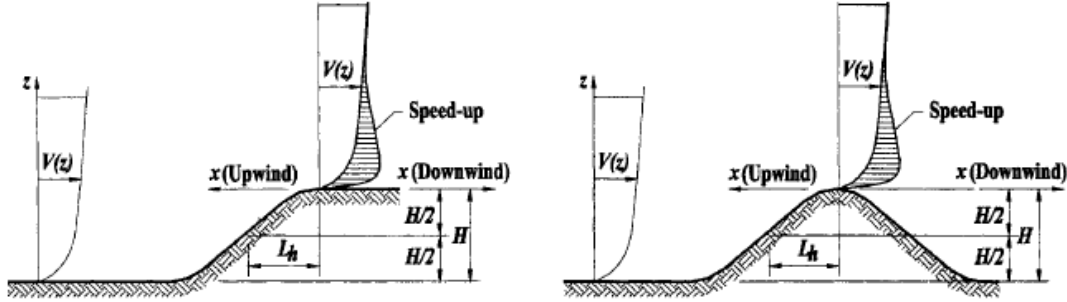
K_2 azaltma faktörü ise Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanır.

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h} \right) \quad (3.5)$$

K_3 faktörü aşağıda verilen Eşitlik 3.6 kullanılarak hesaplanır.

$$K_3 = e^{-\gamma z/L_h} \quad (3.6)$$

Topografik faktörü bulmak için kullanılan parametreler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Topografik parametreler.

Saha koşulları ve tüm yapıların konumları belirlenen koşullara uymuyorsa, K_{zt} faktörü 1 alınır.

3.6 Fırtına Etkisi Faktörü

Rijit yapılar için fırtına etkisi faktörü, G , değeri 0,85 olarak alınabilir ya da Eşitlik 3.7 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$G = 0,925 \left(\frac{1+1,7g_Q I_z Q}{1+1,7g_Q I_z} \right) \quad (3.7)$$

Yapının eşdeğer yüksekliği, $\bar{z}$, yapının yüksekliğinin %60’ı olarak tanımlanır ($\bar{z} = 0,6h$). Bu durum yüksekliği z_{min} yüksekliğinin yapı yüksekliğinden az olduğu yapılar için geçerli değildir. g_Q zemin tepkisi için zirve faktörü ve g_v rüzgara karşı gelen zirve faktörü için tavsiye edilen değer 3,4’tür. $\bar{z}$ yüksekliğindeki türbülans yoğunluğu, I_z , Eşitlik 3.8 kullanılarak hesaplanır.

$$I_z = c \left(\frac{10}{\bar{z}} \right)^{1/6} \quad (3.8)$$

Türbülans yoğunluğu faktörü, c , her bölge için Çizelge 3.5’ten alınır.

Çizelge 3.5 : Bölgeler için parametreler.

Bölge	α	$z_g(m)$	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	l(m)	$\bar{\epsilon}$	$z_{min}(m)$
B	7,00	365,76	1/7	0,45	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,50	274,32	1/9,5	0,65	1/6,5	0,65	0,20	152,40	1/5,0	4,57
D	11,50	213,36	1/11,5	0,80	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

Arka plan tepkisi ,Q, Eşitlik 3.9 yardımıyla hesaplanır.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1+0,63\left(\frac{B+h}{L_{\bar{z}}}\right)^{0,63}}} \quad (3.9)$$

Burada, B ve h yapı boyutları, $L_{\bar{z}}$ ise türbülans uzunluğu olarak tanımlanır.

Türbülans uzunluğu Eşitlik 3.10 yardımıyla hesaplanır.

$$L_{\bar{z}} = l \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (3.10)$$

l uzunluk ölçeği faktörü ve $\bar{\epsilon}$ değerleri Çizelge 3.5'ten alınır.

3.7 Esnek ve Dinamik Olarak Hassas Yapılar

Doğal frekansı 1 Hz'den küçük olarak tanımlanan esnek ve dinamik olarak hassas yapılar için etkili fırtına faktörü, G_f , Eşitlik 3.11 yardımıyla hesaplanır.

$$G_f = 0,925 \left(\frac{1+1,7I_z \sqrt{g^2 Q^2 + g^2 R^2}}{1+1,7g_v I_z} \right) \quad (3.11)$$

g_Q zemin tepkisi için zirve faktörü ve g_v rüzgara karşı gelen zirve faktörü 3,4 olarak alınmalıdır.

Burada, g_R değeri Eşitlik 3.12 yardımıyla hesaplanır.

$$g_R = \sqrt{2\ln(3,600n_1)} + \frac{0,577}{\sqrt{2\ln(3,600n_1)}} \quad (3.12)$$

Rezonans tepki faktörü, R, Eşitlik 3.13 kullanılarak hesaplanır.

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L)} \quad (3.13)$$

R_n değeri Eşitlik 3.14 yardımıyla hesaplanır.

$$R_n = \frac{7,47 N_1}{(1+10,3 N_1)^{5/3}} \quad (3.14)$$

N_1 değeri Eşitlik 3.15 yardımıyla hesaplanır.

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{V_z} \quad (3.15)$$

R_l değeri $\eta > 0$ durumu için Eşitlik 3.16 yardımıyla hesaplanır.

$$R_l = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad (3.16)$$

$\eta = 0$ durumu için $R_l = 1$ olarak hesaplanır (Eşitlik 3.17).

$$R_l = R_h \quad \text{için} \quad \eta = \frac{4,6 n_1}{\bar{V}_z} h$$

$$R_l = R_B \quad \text{için} \quad \eta = \frac{4,6 n_1 B}{\bar{V}_z}$$

$$R_l = R_L \quad \text{için} \quad \eta = \frac{15,4 n_1 L}{\bar{V}_z} \quad (3.17)$$

Burada; n_1 binanın doğal frekansını $\bar{V}_z$ ise z yüksekliğindeki ortalama saatlik rüzgar hızını simgelemektedir.

$\bar{V}_z$ değeri Eşitlik 3.18 kullanılarak hesaplanabilir.

$$V_z = \bar{b} \left(\frac{z}{33} \right)^{\bar{\alpha}} V \quad (3.18)$$

Burada, V temel rüzgar hızıdır. $\bar{b}$ ve $\bar{\alpha}$ değerleri Çizelge 3.5'ten okunur.

3.8 Rüzgar Hız Basıncı

z yüksekliğindeki hız basıncı, q_z , aşağıdaki Eşitlik 3.19 ile hesaplanmalıdır.

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (N/m^2) \quad (3.19)$$

Ortalama çatı yüksekliğinde (h) hız basıncı, q_h , Eşitlik 3.18 ile kullanılarak hesaplanabilir.

3.9 Basınç ve Kuvvet Katsayıları

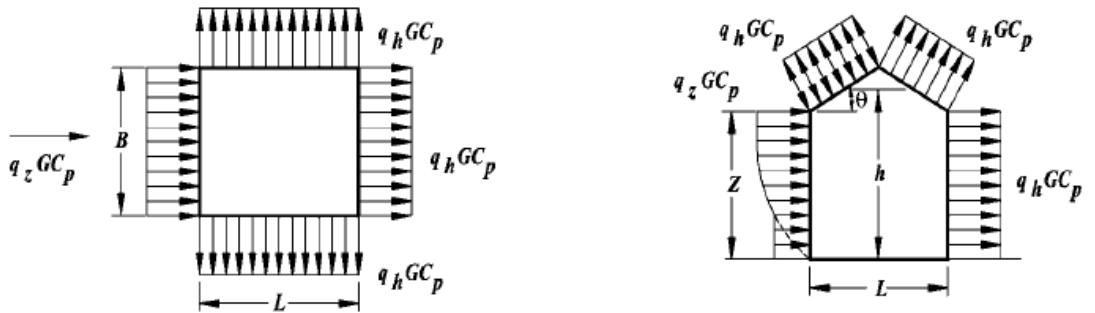
Yapı sınıfları için iç basınç katsayısı GC_{pi} , Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 : İç basınç katsayısı, GC_{pi} .

Yapı Sınıflandırılması	GC_{pi}
Açık yapılar	0,00
Kısmi kapalı yapılar	+0,55
	-0,55
Kapalı yapılar	+0,18
	-0,18

3.10 Dış Basınç Katsayısı

Dik çatı için çatı şekillerine bağlı olarak dış basınç dağılımı Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Dik çatı için dış basınç dağılımı.

Duvarlar için basınç katsayılarının bulunmasında L/B oranı önem taşır. Kapalı veya kısmi kapalı yapıların duvarlar için basınç katsayıları, C_p , Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Duvar Basınç Katsayısı, C_p

Duvar Basınç Katsayısı, C_p			
Yüzey	L/B	C_p	Hız basıncı
Rüzgara dik duvar	Tüm değerler	0,8	q_z
	0-1	-0,5	
	2	-0,3	q_h
Arka duvar	≥ 4	-0,2	
Yan Duvarlar	Tüm değerler	-0,7	q_h

Kapalı veya kısmi kapalı yapıların çatısı için dış basınç katsayıları, C_p , Çizelge 3.8’de verilmiştir.

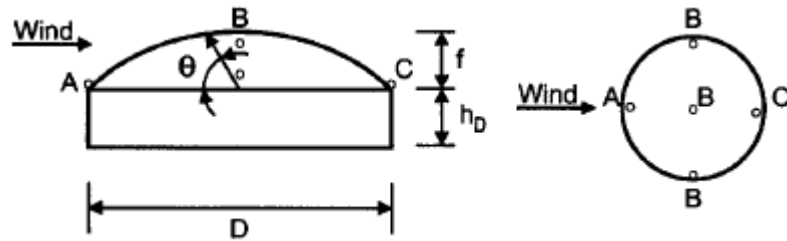
Çizelge 3.8 : Çatı basınç katsayısı, C_p

Çatı basınç katsayıları, C_p , (sadece q_h için)												
Rüzgar yönü	Rüzgara dik duvar								Arka duvar			
	Açı, θ								Açı, θ			
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20
Çatı sırtına dik $\theta > 10^\circ$	$\geq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0	0,4	$0,01\theta$	-0,3	0,5	-0,6
		-0,18	0	0,2	0,3	0,3	0,4					
	$0,5$	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0	$0,01\theta$	-0,5	-	-0,6
		-0,18	-0,18	0	0,2	0,2	0,3	0,4			0,5	
	$\geq 1,0$	-1,3	-1	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0	$0,01\theta$	-0,7	-	-0,6
		-0,18	-0,18	-0,18	0	0,2	0,2	0,3			0,6	
Rüzgara dik duvara yatay												
Çatı		mesafe					C_p	0,0 değeri				
Sırtına		0 - h/2					-0,9	-0,18	interpolasyon için			
Dik	$< 0,5$	h/2 - h					-0,9	-0,18	verilmiştir.			
$\theta < 10$		h - 2h					-0,5	-0,18				
Ve		$> 2h$					-0,3	-0,18	Alan	Azaltma Katsayısı		
Çatı												
Sırtına		0 - h/2					-1,3	-0,18	9,3 m ²	1		
paralel	$\geq 1,0$	$> h/2$					-0,7	-0,18	23,2 m ²	0,9		
									92,9 m ²	0,8		

Çizelgelerin açıklanması için yardımcı notlar aşağıda verilmiştir.

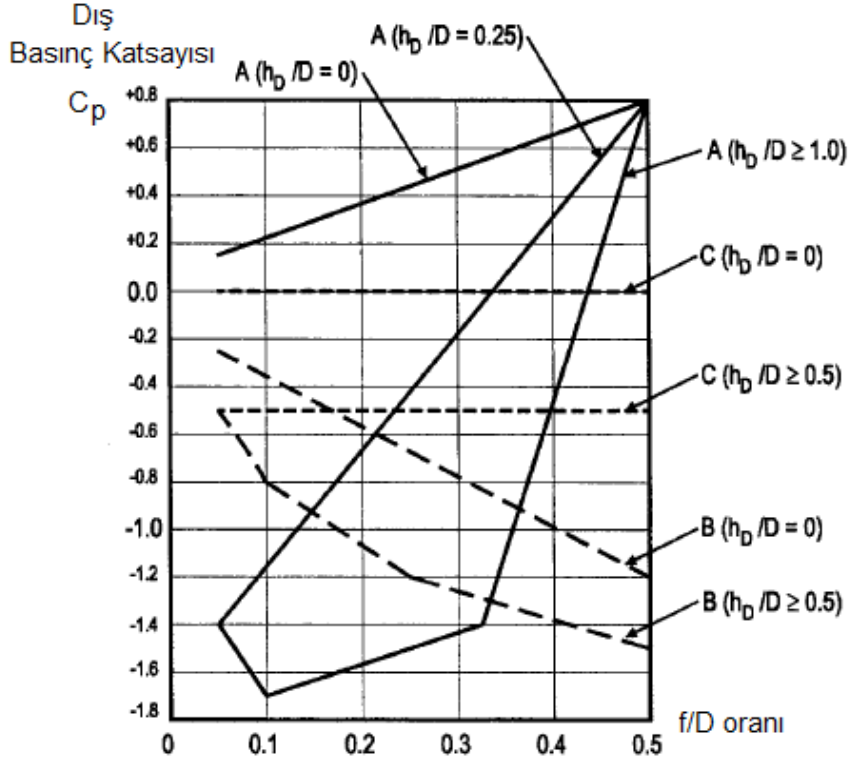
- Pozitif ve negatif basınç değerleri yüzeye yaklaşan ya da uzaklaşan basıncın yönünü göstermektedir.
- L/B , h/L ve θ değerleri için lineer interpolasyon yapılabilir. Bu interpolasyon sadece aynı işarete sahip değerler arasında yapılmalıdır. Aynı işarete değerler bulunmadığında verilen 0,0 değerinin de amacı budur.
- C_p için iki ayrı değer verildiği durumlar bulunmaktadır. Bu durumlarda çatı yüzeyine pozitif veya negatif basınç etki ettiği düşünülür ve her iki durum için dizayn yapılır.
- Tek eğimli çatılar için tüm çatı yüzeyi ya tamamen pozitif ya da tamamen negatif basınç altındadır.
- Mansard çatılar için orta bölüm ve rüzgar arkası eğimli kısım negatif basınç bölgesi olarak nitelendirilir.
- Çatı açısı 80° 'den büyük çatılar için C_p değeri 0,8 alınır.

Kubbe çatılar için bölgelerin dağılımı Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 : Kubbe çatılar için bölgelerin dağılımı.

A, B ve C bölgeleri için dış basınç katsayısı, C_p , Şekil 3.4 yardımıyla bulunur.



Şekil 3.4 : Kubbe çatılar için dış basınç katsayısı, C_p .

Kubbe çatılar için iki farklı yük durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumlar aşağıda verildiği gibidir.

- A ve B arasındaki ve B ve C arasındaki C_p değeri için kubbedeki yaylar boyunca rüzgar yönüne paralel olarak interpolasyon yapılır.
- $\theta \leq 25^\circ$ olduğunda C_p değeri A için sabit bir değer olmalıdır. $\theta > 25^\circ$ için B ve C değeri ise lineer interpolasyon yapılarak bulunmalıdır.

Şekillerin açıklanması için yardımcı notlar aşağıda verilmiştir.

- C_p değeri $q_{(h_D+f)}$ değerinin kubbenin en üst noktasında yüksekliğin h_D+f olduğu durumu ifade eder.
- C_p değeri rüzgarın geldiği yöne dik olan rüzgar yönü için sabittir. Örneğin B-B yayı.
- A, B ve C bölgelerindeki basınç katsayısı, h_D/D oranı linner interpolasyonuyla elde edilir.
- f değeri $\theta = 0^\circ$ olduğundaki yükseklik ile $\theta = 90^\circ$ olduğu yükseklik arasındaki mesafedir.
- f/D oranının 0,05'ten küçük olduğu durumlarda Çizelge kullanılmalıdır.

Tonoz çatılar için C_p değeri yükseklik - açıklık oranı, r ; değerine bağlı olarak değişir. Bu çatılar için dış basınç katsayıları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Tonoz çatı için dış basınç katsayısı, C_p

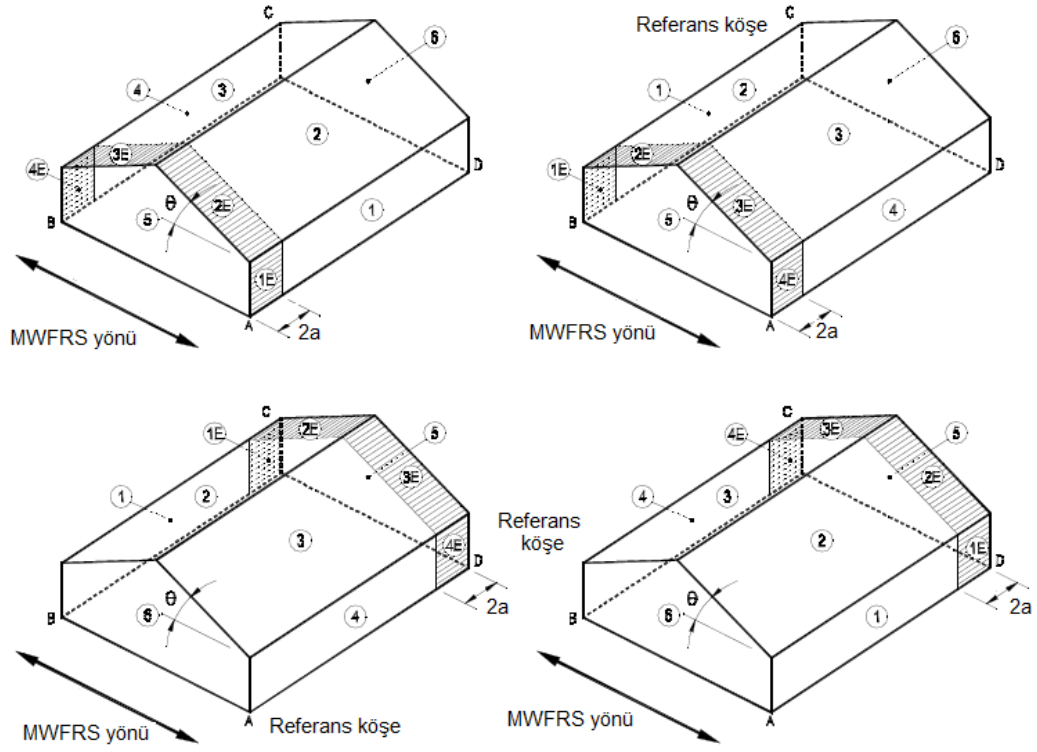
Durumlar	Yükseklik- açıklık oranı, $r=f/D$	C_p		
		Rüzgar yönü çeyreği	Merkez ortası	Arka çeyrek
Belli bir yükseklikteki	$0 < r < 0,2$	-0,9	-0,7 - r	-0,5
binanın çatısı olan	$0,2 \leq r < 0,3^*$	$1,5r - 0,3$	-0,7 - r	-0,5
tonozlar	$0,3 \leq r \leq 0,6$	$2,75r - 0,7$	-0,7 - r	-0,5
Zemin seviyesinden başlayan tonozlar	$0 < r \leq 0,6$	$1,4r$	-0,7 - r	-0,5

* r oranı $0,2 \leq r \leq 0,3$ olduğunda alternatif katsayı olarak $6r-2,1$ rüzgar yönü çeyreği için kullanılabilir.

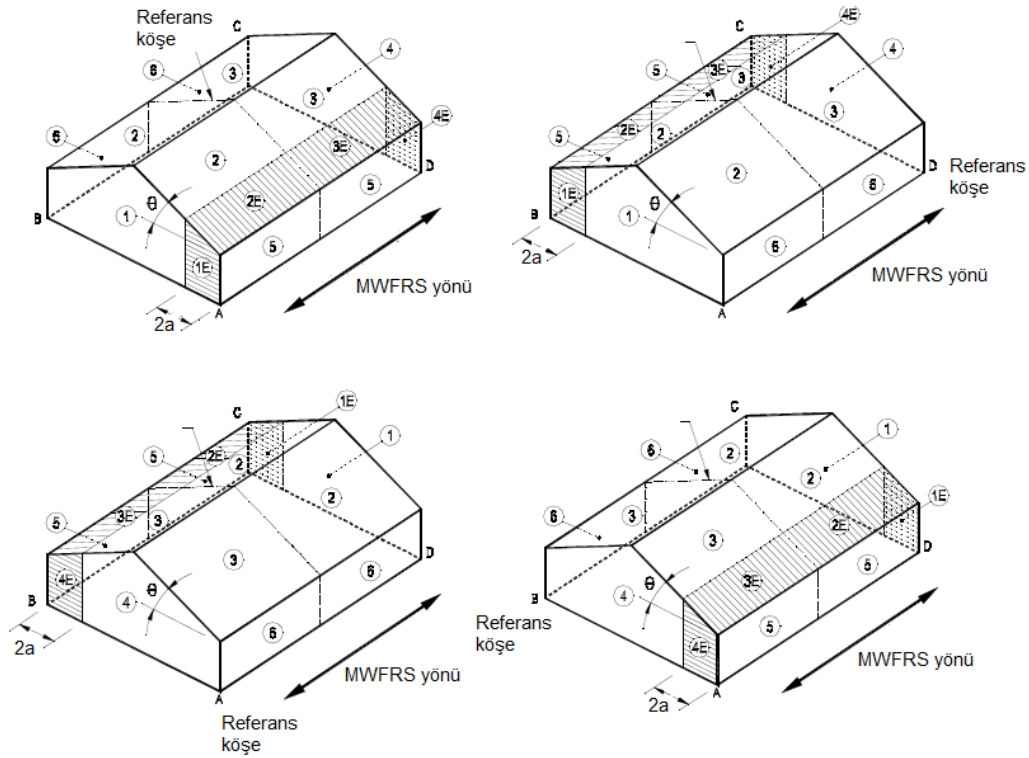
Rüzgar yönü kemerlerin aksına paralel olduğunda Çizelge 3.9'daki değerler kullanılır.

Fırtına etkisi faktörü ile dış basınç katsayısının birleşiminden oluşan GC_{pf} katsayısı 18,3 m'den alçak binalar için kullanılmaktadır. Bu iki katsayı bu durumda birbirinden ayrılmalıdır.

Dış basınç katsayılarının hesaplanması için gerekli şekiller ve yükleme alanları Şekil 3.5'de ve Şekil 3.6'da verilmiştir. 8 adet olarak verilen yükleme durumlardan 4'ü rüzgarın çatı sırtına dik geldiği, diğer 4'ü ise rüzgarın çatı sırtına paralel geldiği durumlar göz önüne alınarak elde edilmiştir.



Şekil 3.5 : Rüzgarın çatır sırtına dik geldiği durumda duvarlarda ve çatıda oluşan basınç alanları.



Şekil 3.6 : Rüzgarın çatı sırtına paralel geldiği durumda duvarlarda ve çatıda oluşan basınç alanları.

Burada;

$a = \min(\text{yatay uzunluğun } \%10'u; 0,4h)$ olarak tanımlanmıştır. Ama bu a değeri yatay uzunluğun $\%4'$ ünden veya $0,9 \text{ m}$ 'den daha düşük olmamalıdır.

Basınç bölgeleri için GC_{pf} katsayısı Çizelge 3.10 yardımıyla bulunabilir.

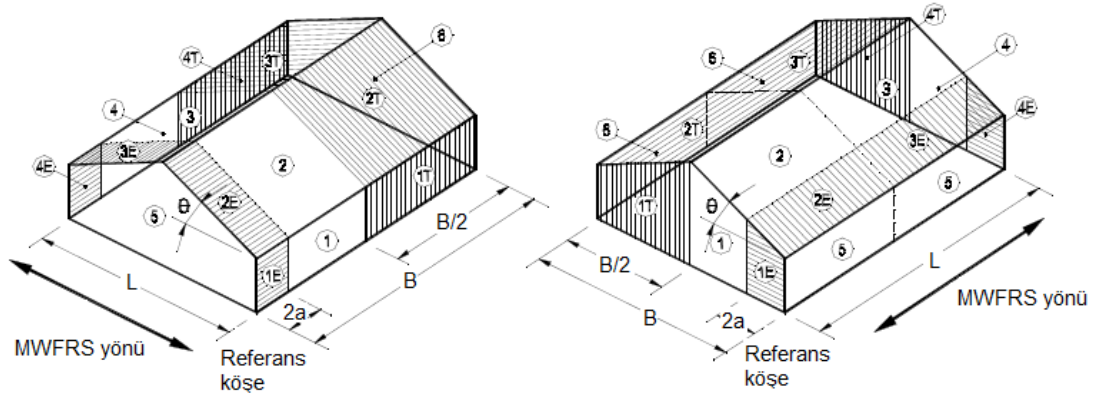
Çizelge 3.10 : Dış basınç katsayısı, GC_{pf} .

Çatı Açısı θ	Bina Yüzeyi									
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E
0 - 5	0,40	-0,69	-0,37	-0,29	-0,45	-0,45	0,61	-1,07	-0,53	-0,43
20	0,53	-0,69	-0,48	-0,48	-0,45	-0,45	0,80	-1,07	-0,69	-0,64
30 - 45	0,56	0,21	-0,43	-0,43	-0,45	-0,45	0,69	0,27	-0,53	-0,48
90	0,56	0,56	-0,37	-0,37	-0,45	-0,45	0,69	0,69	-0,48	-0,48

Verilenlerin dışındaki çatı açısı, θ , değerleri için interpolasyon yapılabilir.

Binalar tüm rüzgar yönlerinde bu 8 örnek yükleme göz önüne alınarak dizayn edilmelidir. Yükleme örnekleri her binaya sırasıyla referans köşeleri esas alınarak uygulanmıştır.

Burulmayla ilgili basınç alanları "T" harfi ile simgelenmiştir. 1T, 2T, 3T ve 4T bölgeleri Şekil 3.7'de verilmiştir. Bu alanlar için rüzgar basınç değeri dizaynda kullanılan değerin $\%25$ 'i olarak alınmalıdır.



Şekil 3.7 : Burulmalı yükleme durumu için bölgeler.

3.11 Kapalı ve kısmen kapalı binalar için tasarım rüzgar yüklerinin hesaplanması

Tasarım rüzgar basınçları binaların yüksekliklerine bağlı olarak aşağıdaki Eşitlik 3.20 kullanılarak elde edilecektir.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (3.20)$$

Burada;

q_z z yüksekliğindeki rüzgar hız basıncı (rüzgar yönünde)

q_h h yüksekliğindeki rüzgar hız basıncı (rüzgar yönü arkasında)

q_i İç basınca bağlı rüzgar hız basıncı

G Fırtına etkisi faktörü

C_p Dış basınç katsayısı

GC_{pi} İç basınç katsayısıdır.

Alçak yapılarda alternatif olarak, düşük katlı binalarda tasarım rüzgar basınçları için aşağıdaki Eşitlik 3.21 kullanılarak elde edilecektir.

$$p = q_h[(GC_{pf}) - (GC_{pi})] \quad (3.21)$$

Burada;

GC_{pf} Dış basınç katsayısı

GC_{pi} İç basınç katsayısıdır.

Esnek binaların tasarım rüzgar basıncı aşağıdaki Eşitlik 3.22 kullanılarak elde edilecektir.

$$p = qG_f C_p - q_i(GC_{pi}) \quad (3.22)$$

Parapet etkisi için tasarım rüzgar basıncı rijit, alçak ya da esnek yapılarda ve düz, beşik ya da kırık çatıya sahip yapılarda aşağıdaki Eşitlik 3.23 ile belirlenir.

$$p_p = q_p GC_{pn} \quad (3.23)$$

Burada;

p_p Parapet üzerindeki net basınç,

q_p Parapetin en yüksek noktasındaki rüzgar basıncı,

GC_{pn} net basınç katsayısıdır.

= +1,5 rüzgar yönü için

= -1,0 rüzgar ters yönü için

Elemanlar ve kaplama için 18,3 m'den alçak yapılarda tasarım rüzgar basıncı aşağıdaki Eşitlik 3.24 yardımıyla hesaplanabilir.

$$p = q_h[(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (3.24)$$

Elemanlar ve kaplama için 18,3 m'den yüksek yapılarda tasarım rüzgar basıncı aşağıdaki Eşitlik 3.25 yardımıyla hesaplanabilir.

$$p = q(GC_p) - q_i(GC_{pi}) \quad (3.25)$$

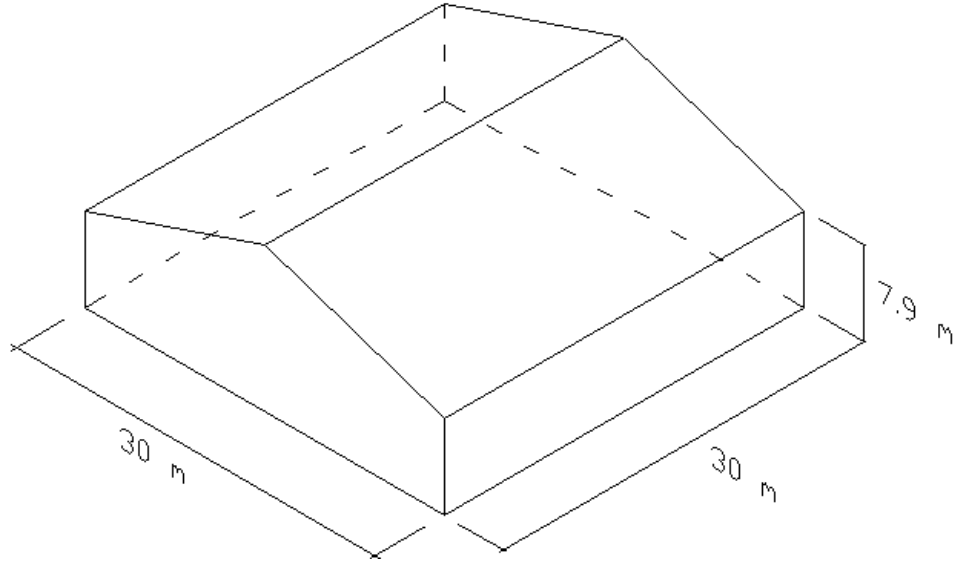
4. ÖRNEKLER

4.1 Örnek 1

Ele alınan bu örnekte, kırık çatıya sahip bir yapı Eurocode 1 ve ASCE 7-05'e göre yapıya etkiyen rüzgar yükleri açısından incelenmiştir.

4.1.1 Yapı özellikleri

Yapı özellikleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Yapının boyutları.

Bina uzunluğu	$b = 30 \text{ m}$
Çerçeveler arasındaki uzaklık	$s = 6 \text{ m}$
Bina genişliği	$d = 30 \text{ m}$
Çatı eğimi	$\alpha = 5^\circ$
Yükseklik (max)	$h = 9.2 \text{ m}$

Verilen bilgiler dahilinde kolon yükseklikleri $h' = 9,2 - \tan 5^\circ = 7.9 \text{ m}$ olarak hesaplanır.

Rüzgâr hızının temel değeri 25 m/s olarak alınmıştır.

4.1.2 Eurocode 1'e göre çözüm

Esas rüzgar hızının temel değeri Eşitlik 4.1 yardımıyla hesaplanabilir. Esas rüzgâr hızının temel değeri $v_{b,0}$ 25 m/s olarak belirlenmiştir. Farklı rüzgâr yönleri için doğrultu katsayısı c_{dir} tavsiye edilen değer olan 1,0 alınmıştır. Yılın herhangi bir zamanında kullanılabilen taşınabilir yapılar için, mevsim katsayısı c_{season} 1,0 alınmıştır.

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1 \times 1 \times 25 = 25 \text{ m/s} \quad (4.1)$$

Arazi kategorisi II'de yer seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgâr yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgâr hızı 25m/s olarak hesaplanmıştır.

z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içeren tepe rüzgâr basıncı q_p Eşitlik 4.2 yardımıyla belirlenmektedir. ρ için kullanılacak değerler tavsiye edilen değer olan 1,25 kg/m³ olarak alınmıştır.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390.625 \text{ N/m}^2 \quad (4.2)$$

$q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$ Eşitlik 4.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{o(z)} \cdot v_b \quad (4.3)$$

Esas rüzgâr hızı hesabında orografi dikkate alınırorsa orografi katsayısı $c_{o(z)}$ için tavsiye edilen değer 1,0'dır.

z metre yükseklikteki engebелilik katsayısı $c_{r(z)}$ 'nin hesaplanması için tavsiye edilen işlem Eşitlik 4.4'te verilmiştir.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4.4)$$

$2 \text{ m} \leq z = 9,2 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$ olduğundan engebelilik katsayısı Eşitlik 4.5'teki gibi hesaplanır.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_o}{z_{0,u}} \right)^{0,07}$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad (4.5)$$

k_r yerine koyulursa;

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln \frac{9,2}{0,05} = 0,99 \quad (4.6)$$

Buna bağlı olarak ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$ Eşitlik 4.7'deki gibi hesaplanır.

$$v_{m(z)} = 0,99 \cdot 1,00 \cdot 25 = 24,75 \text{ m/s} \quad (4.7)$$

z metre yükseklikteki türbülans şiddeti $I_v(z)$, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgâr hızına oranı olarak tanımlanmıştır ve Eşitlik 4.8 yardımıyla hesaplanır.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

$$z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.8)$$

k_I türbülans faktörü ve orografi katsayısı $c_o(z)$ için tavsiye edilen değer 1,0'dır. Türbülans şiddeti $I_v(z)$ Eşitlik 4.9'daki gibi hesaplanır.

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{9,2}{0,05}\right)} = 0,19 \quad (4.9)$$

Tepe rüzgâr basıncı $q_p(z)$ Eşitlik 4.10'daki gibi belirlenmelidir.

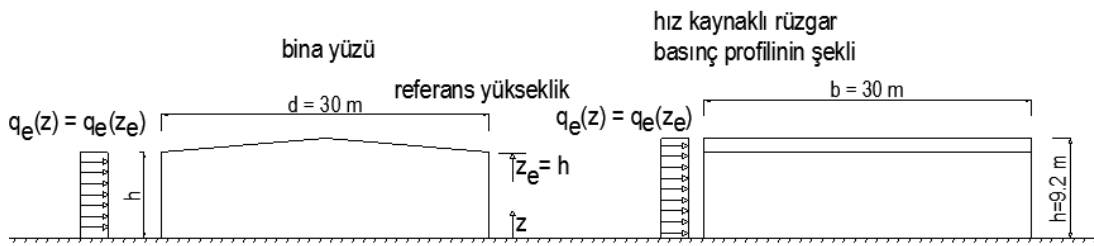
$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.10)$$

Eşitlikte değerler yerine konulursa;

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0,19) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot (24,75)^2 = 0,892 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

4.1.2.1 Yapının düşey duvarlarına etkiyen rüzgar yükü

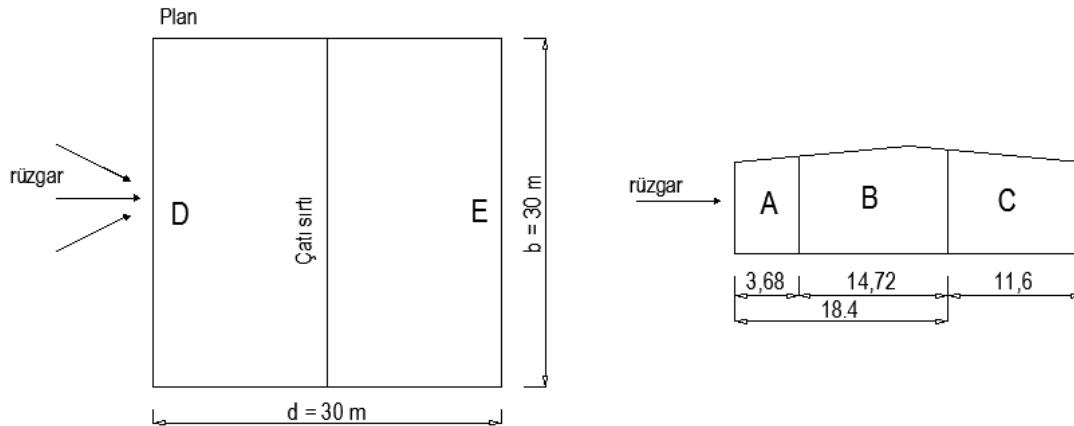
Dikdörtgen planlı yapıda rüzgârın yaklaştığı yöndeki duvarları için referans yükseklikleri her zaman duvarların değişik kısımlarındaki en büyük yüksekliklere eşittir. Bu durumda referans yüksekliği $z_e = h + f = 9,2$ m olarak alınır. h yüksekliği (9,2 m) b 'den (30 m) daha az olduğu için bina tek parça olarak düşünülmelidir. Duvarlara etkiyen rüzgar basıncı Şekil 4.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2 : Duvarlara etkiyen rüzgar basınç profili.

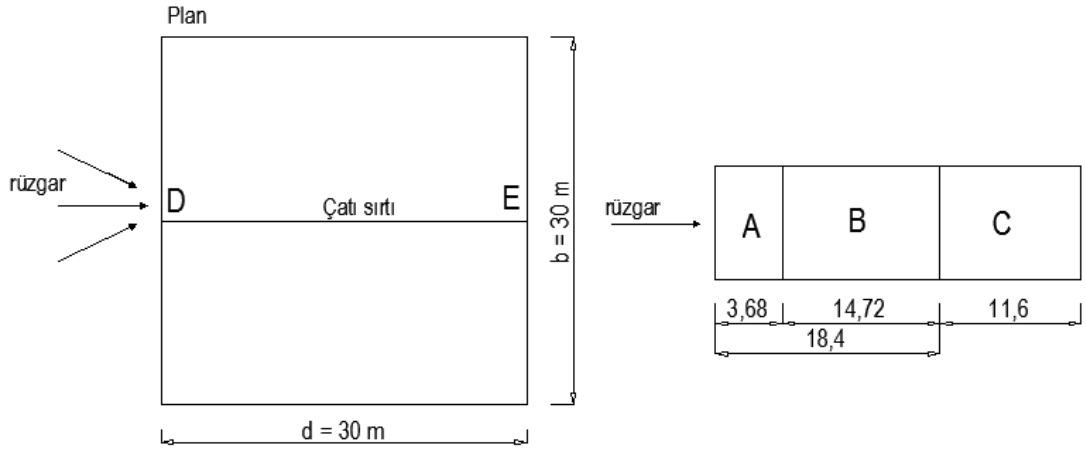
$e = \min(b; 2h) = 2h = 2 \cdot 9,2 = 18,4$ m olarak hesaplanır.

$e = 18,4$ m ve $d = 30$ m ise $e \leq d$ durumu için A, B, C bölgeleri rüzgarın çatı sırtına dik geldiğinde Şekil 4.3'te görüldüğü şekildedir.



Şekil 4.3 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ için bölgeler.

A, B, C bölgeleri rüzgarın çatı sırtına paralel geldiğinde Şekil 4.4'te görüldüğü şekildedir.



Şekil 4.4 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ için bölgeler.

A, B, C, D ve E Bölgeleri için dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ h/d oranına bağlıdır.

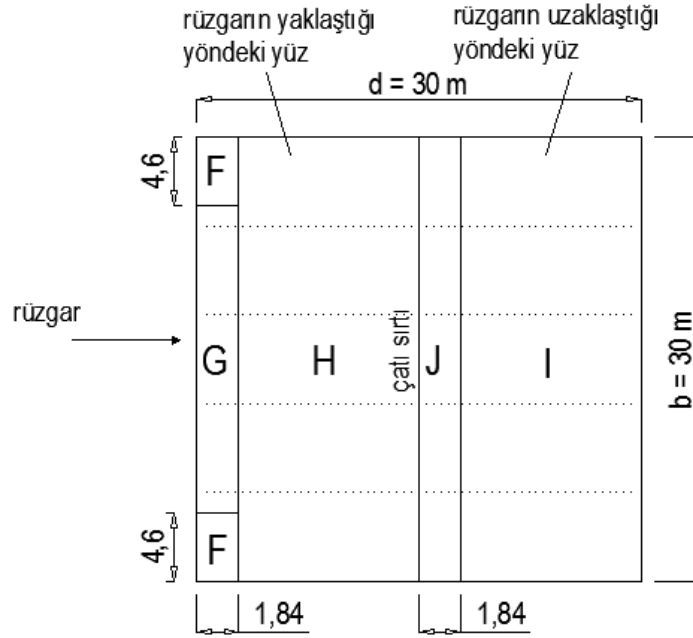
h/d değeri yapı için $7,9 / 30 = 0,26$ olarak bulunur. h/d oranına bağlı dış basınç katsayıları 0,26 gibi bir ara değerler Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi doğrusal interpolasyon yapılarak bulunabilir.

Çizelge 4.1 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ ve 90° için bölgeler için c_{pe} katsayısı.

Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
0,3	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3

4.1.2.2 Çatı için dış basınç katsayılarının hesaplanması

Çift eğimli çatılar, rüzgar yönüne bağlı olarak bölgelere ayrılmıştır. Rüzgarın çatı sırtına dik estiği durumda çatıda oluşan bölgeler Şekil 4.5'te verilmiştir.



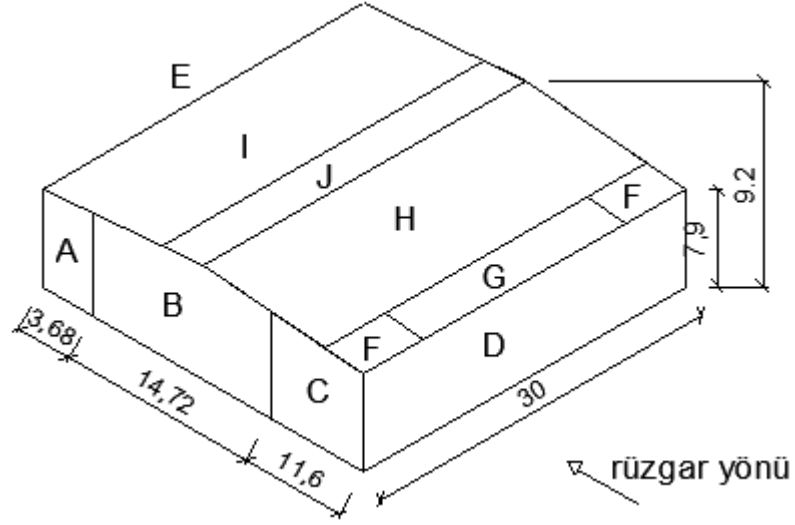
Şekil 4.5 : Rüzgâr yönü $\theta^\circ = 0$ için bölgeler.

Çatı eğim açısı $\alpha = +5^\circ$ için çatı dış basınç katsayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler için c_{pe} katsayısı.

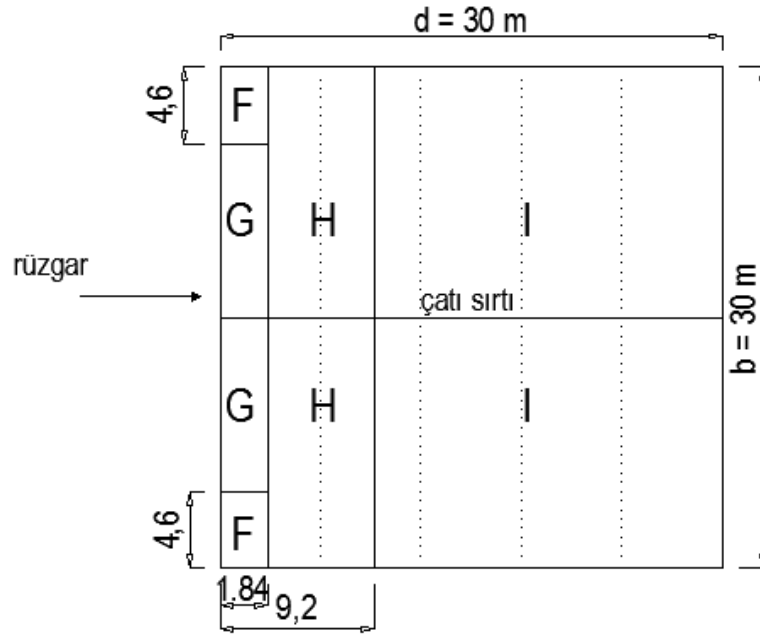
Eğim	F	G	H	I	J
Açısı	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
5°	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	+0,2
					-0,6

Rüzgâr yönü $\theta^0 = 0$ olduğunda, bölgeler Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^0$ için bölgeler.

Rüzgarın çatı sırtına paralel estiği durumda çatıda oluşan bölgeler Şekil 4.7’de verilmiştir.



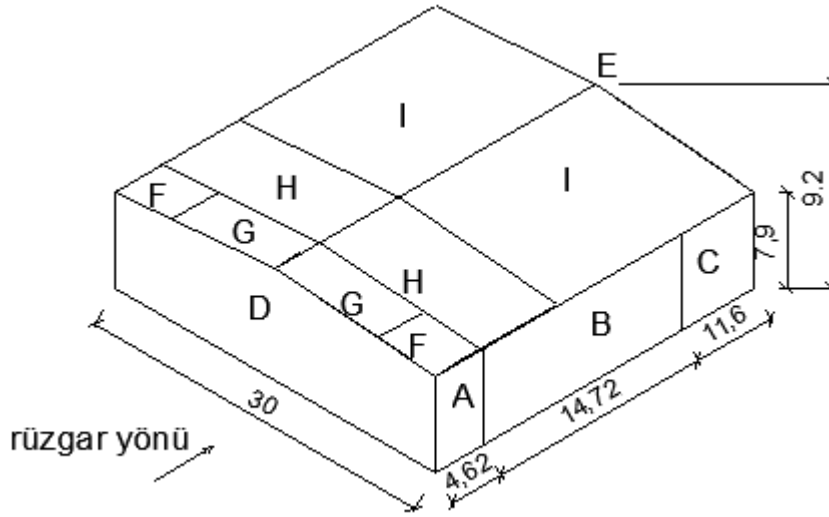
Şekil 4.7 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^0$ için bölgeler.

Rüzgarın çatı sırtına paralel estiği durumda oluşan bölgeler için c_{pe} katsayısı Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler için c_{pe} katsayısı.

Eğim	F	G	H	I
Açısı	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
5°	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6

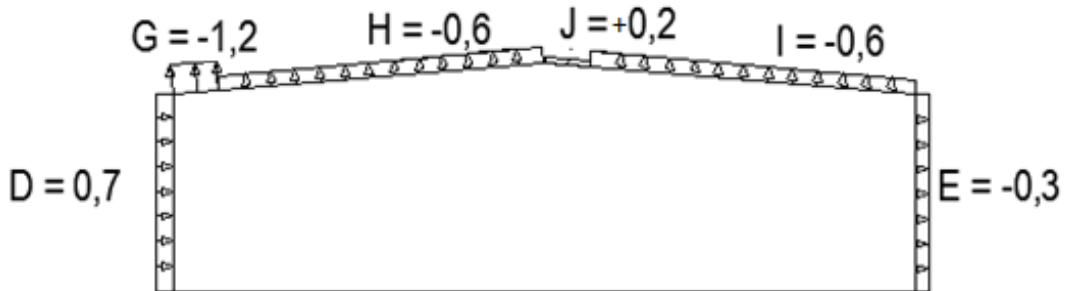
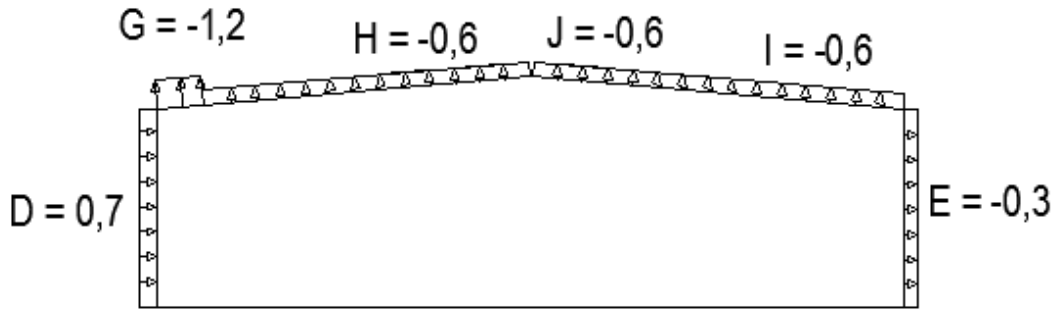
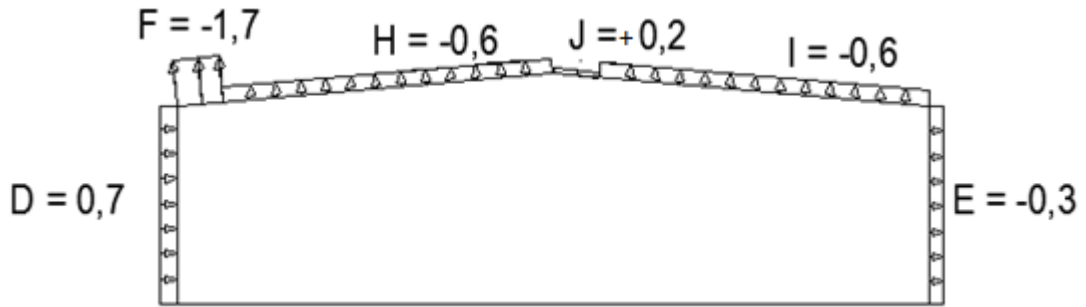
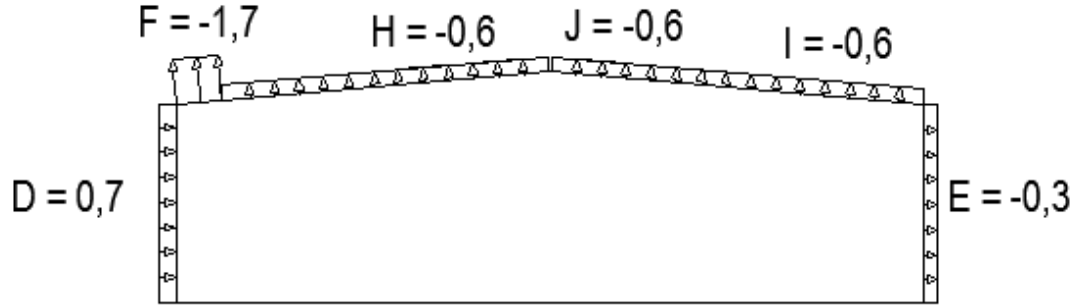
Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ olduğunda, bölgeler Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler.

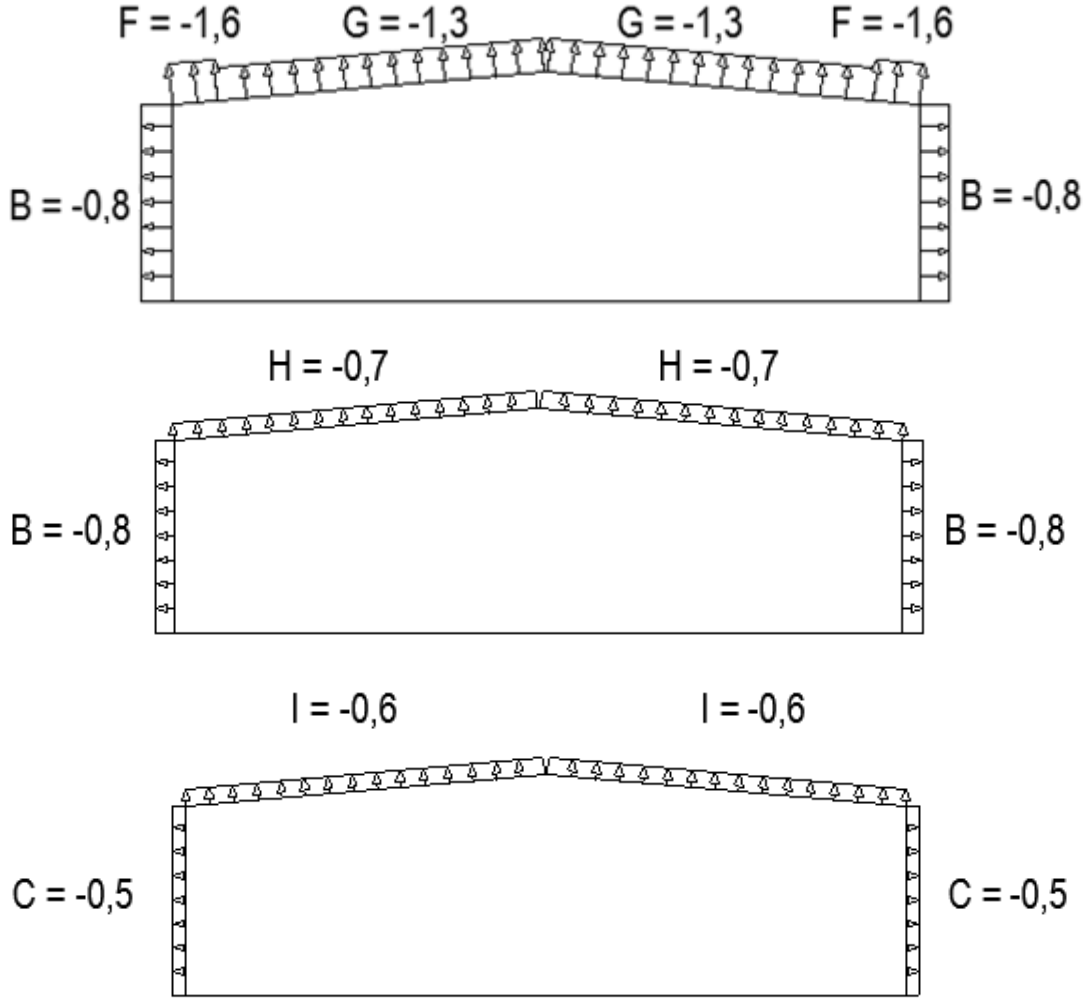
4.1.2.3 Basınç katsayılarının gösterimi

Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ olduğunda çatıya etkiyen dış basınç katsayılarının F, G, H, I ve J bölgeleri için uygun kombinasyonlar ilk ve orta çerçeve için Şekil 4.9'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.9 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.

Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ olduğunda çatıya etkiyen dış basınç katsayılarının F, G, H ve I bölgeleri için uygun kombinasyonlar 4 farklı çerçeve için Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

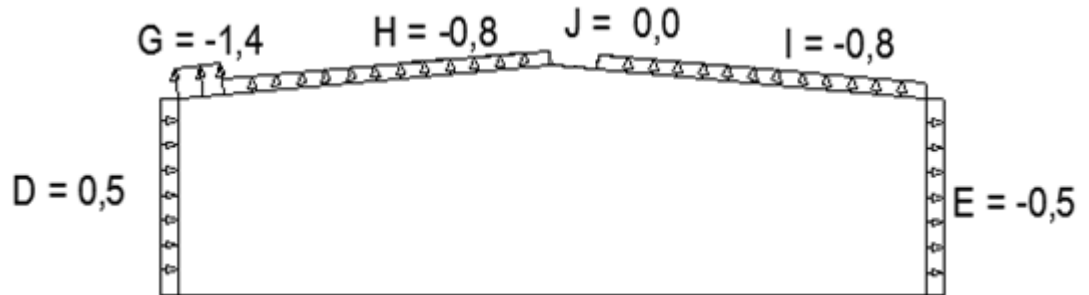
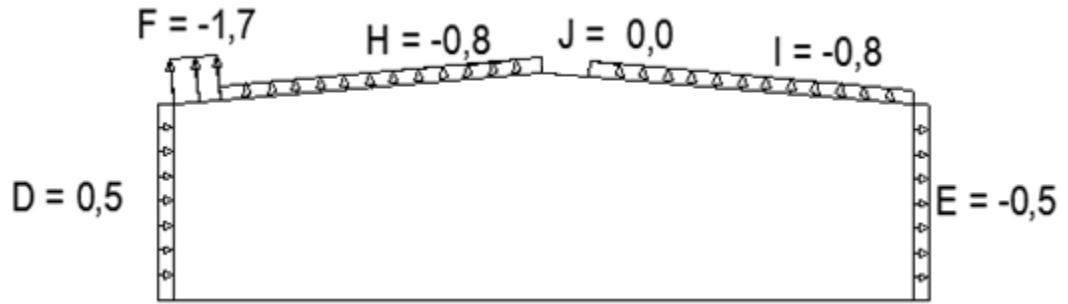
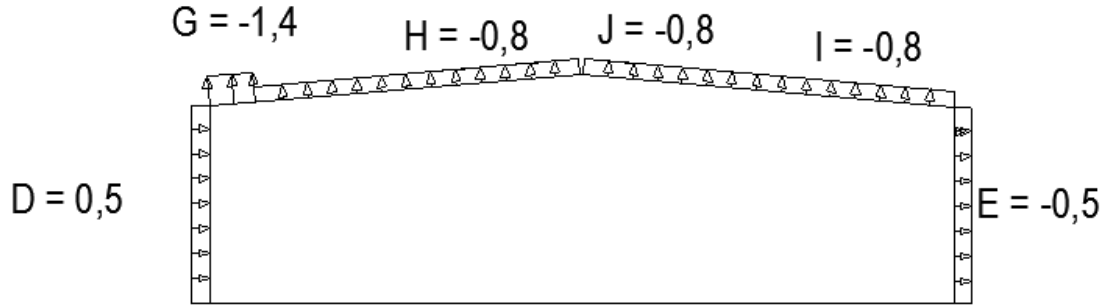
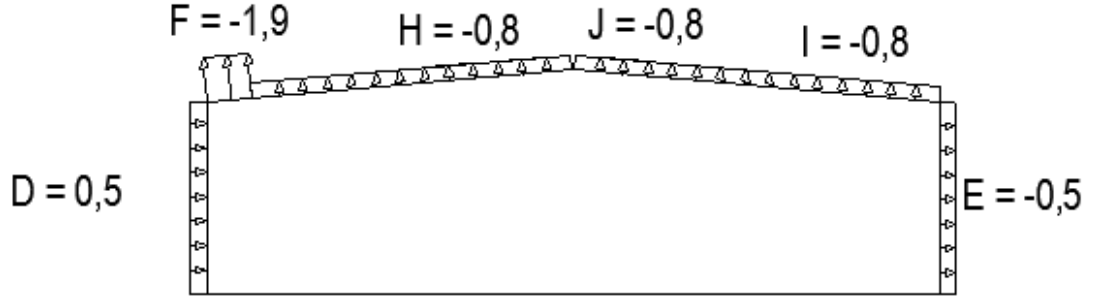


Şekil 4.10 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.

İç basınç katsayısı, bina içinde açıklıkların dağılımına ve boyutunu bağlıdır. Bu örnek için de binanın geçirgenliğini ve açılış oranını tahmin etmek mümkün değildir. Bu nedenle c_{pi} değeri +0,2 veya -0,3 olarak alınmıştır.

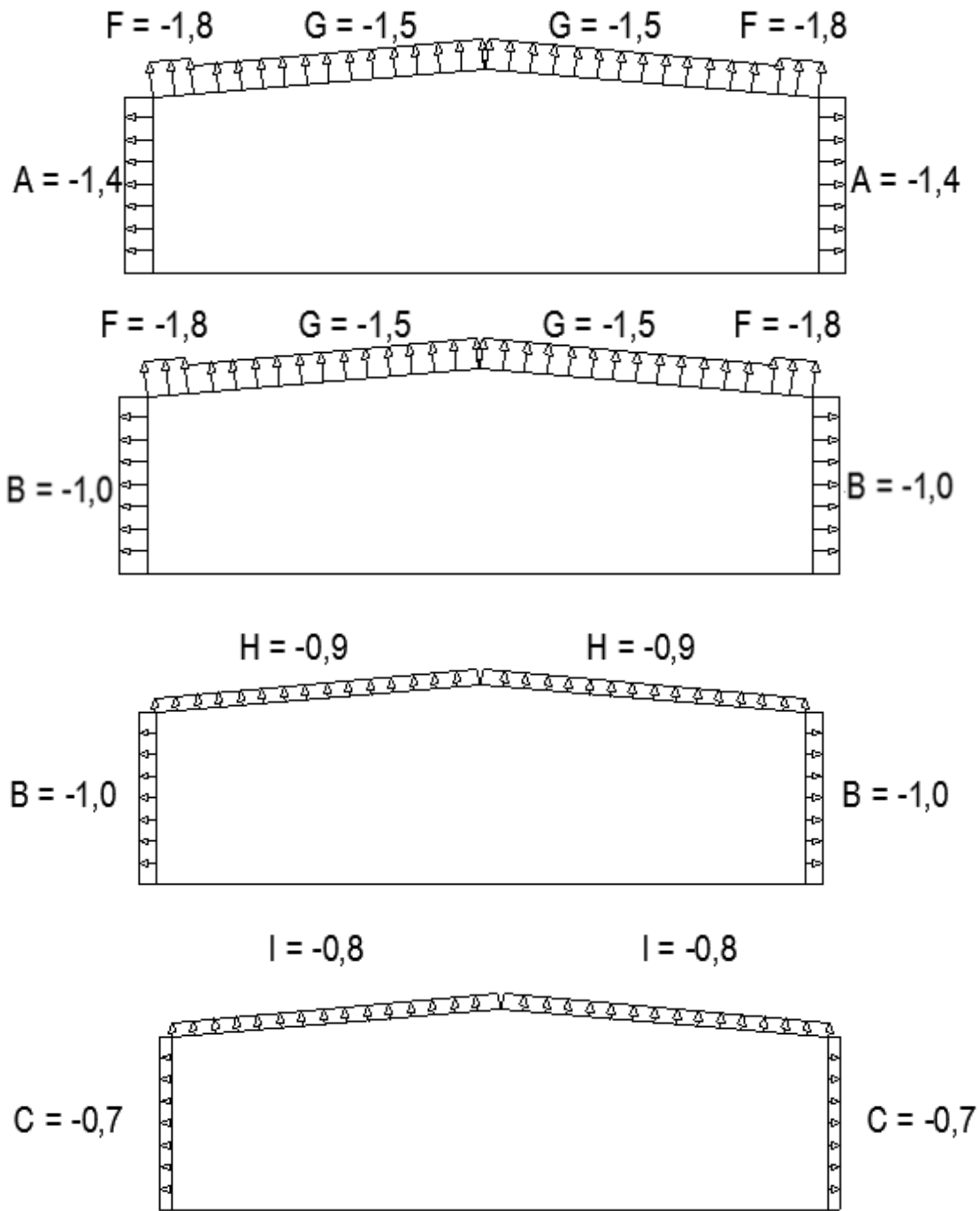
İç basınç katsayısı +0,2 hesaba katıldığında elde edilen iç basınç dağılımları için kombinasyonlar aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibidir.

Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ olduğunda ilk ve orta çerçevede bölgeler için basınç katsayılarının dağılımı Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için basınç katsayılarının dağılımı.

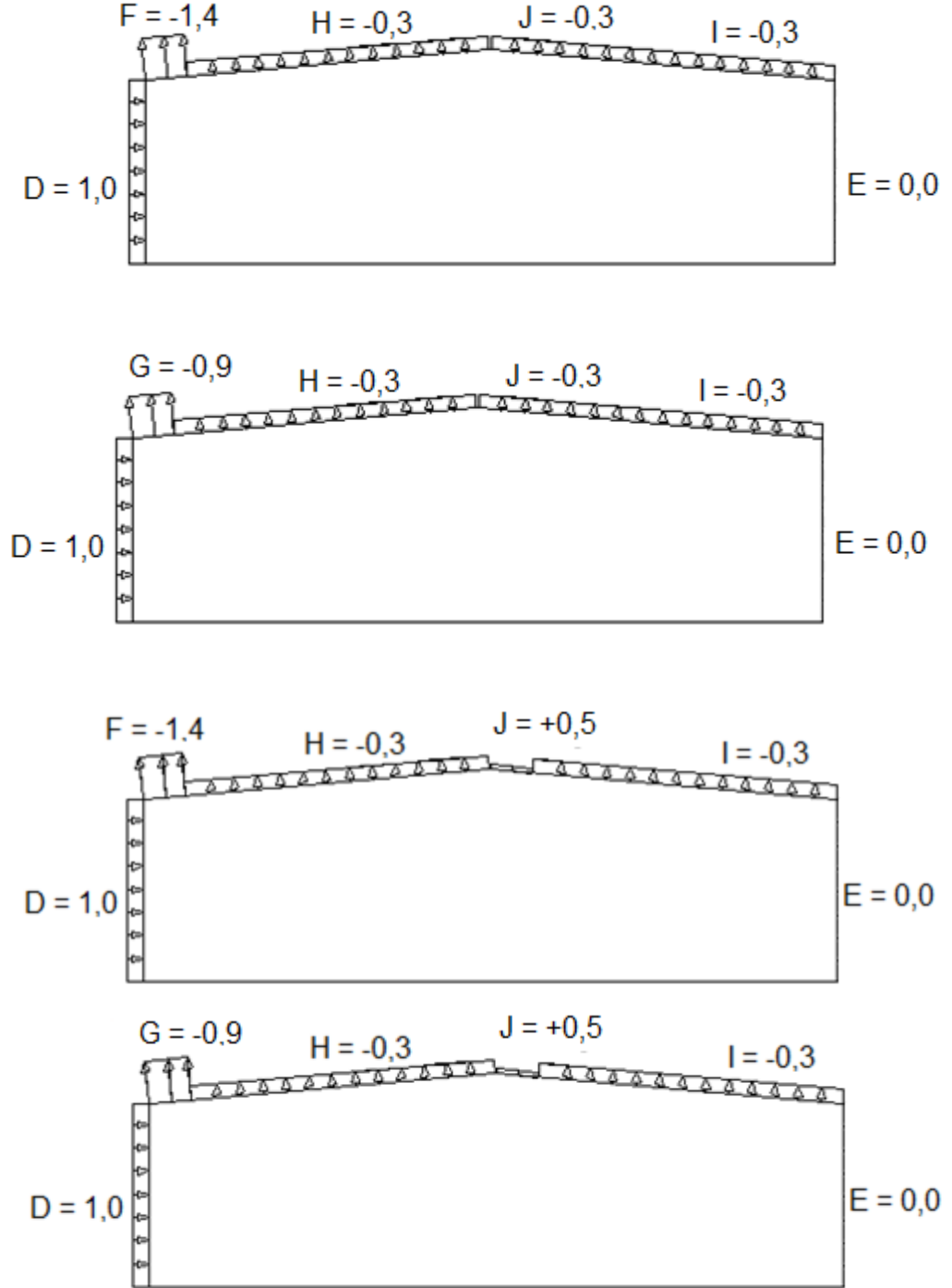
Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ olduğunda 4 ayrı çerçevede bölgeler için basınç katsayılarının dağılımı Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için basınç katsayılarının dağılımı.

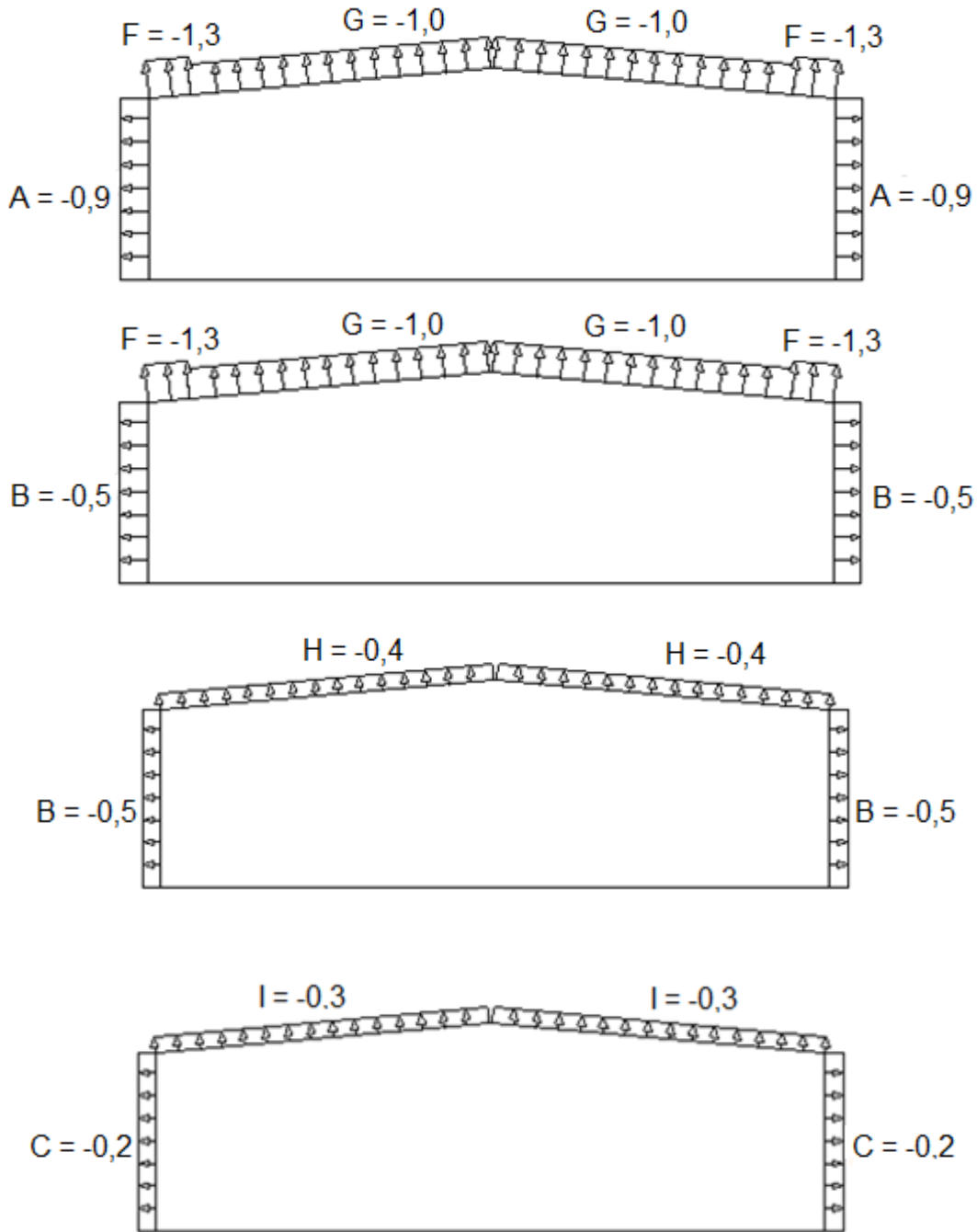
İç basınç katsayısı -0,3 hesaba katıldığında elde edilen iç basınç dağılımları için kombinasyonlar aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibidir.

Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ olduğunda ilk ve orta çerçevede bölgeler için basınç katsayılarının dağılımı Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için basınç katsayılarının dağılımı.

Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ olduğunda 4 ayrı çerçevede bölgeler için basınç katsayılarının dağılımı Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için basınç katsayılarının dağılımı.

4.1.2.4 Yüzeylerdeki rüzgar basıncının hesaplanması

Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı w_e , Eşitlik 4.11 kullanılarak hesaplanır.

$$w = q_p(z) \cdot (C_{pe} + C_{pi}) \quad (4.11)$$

Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ olduğu durumda F, G H, I, J, A, B, C, D ve E bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Bölgeler için rüzgar basıncı değerleri.

Bölge	Dış basınç Katsayısı (C_{pe})	Rüzgar basıncı (w)	
		İç basınç (C_{pi})	İç basınç (C_{pi})
		+0,20 ise	-0,30 ise
A	-1,2	-1,25	-0,80
B	-0,8	-0,89	-0,45
C	-0,5	-0,62	-0,18
D	0,7	0,45	0,89
E	-0,3	-0,45	0,00
F	-1,7	-1,70	-1,25
G	-1,2	-1,25	-0,80
H	-0,6	-0,71	-0,28
I	-0,6	-0,71	-0,28
J	-0,6	-0,71	-0,28

İç basınç katsayısı +0,2 olduğunda taban kesme kuvveti 3,55kN/m, -0,3 olduğuna ise 3,52kN/m olarak hesaplanmıştır.

Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ olduğu durumda F, G H, I, A, B, C, D ve E bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

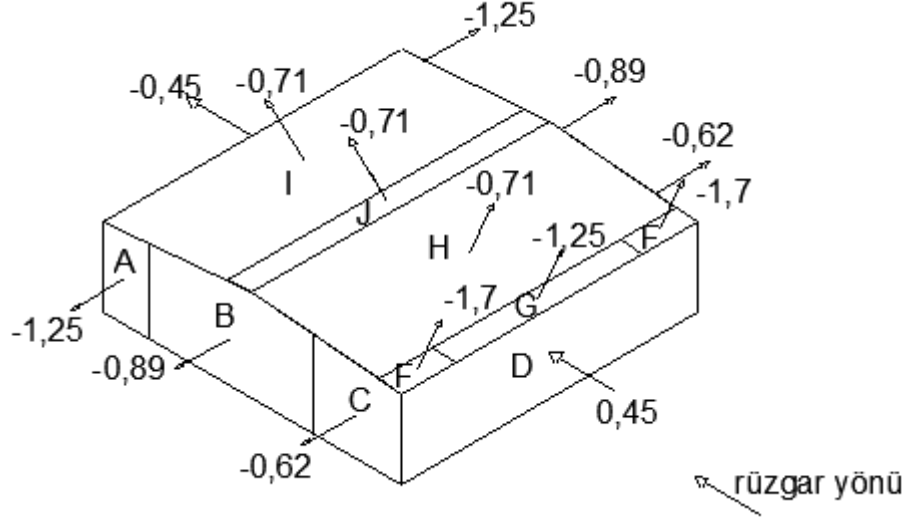
Çizelge 4.5 : Bölgeler için rüzgar basıncı değerleri.

Bölge	Dış basınç Katsayısı (c_{pe})	Rüzgar basıncı (w)	
		İç basınç (c_{pi})	İç basınç (c_{pi})
		+0,20 ise	-0,30 ise
A	-1,2	-1,25	-0,80
B	-0,8	-0,89	-0,45
C	-0,5	-0,62	-0,18
D	0,7	0,45	0,89
E	-0,3	-0,45	0,00
F	-1,6	-1,61	-1,16
G	-1,3	-1,34	-0,89
H	-0,7	-0,80	-0,36
I	-0,6	-0,71	-0,27

İç basınç +0,2 olduğunda taban kesme kuvveti 3,55kN/m, -0,3 olduğuna ise 3,52kN/m olarak hesaplanmıştır.

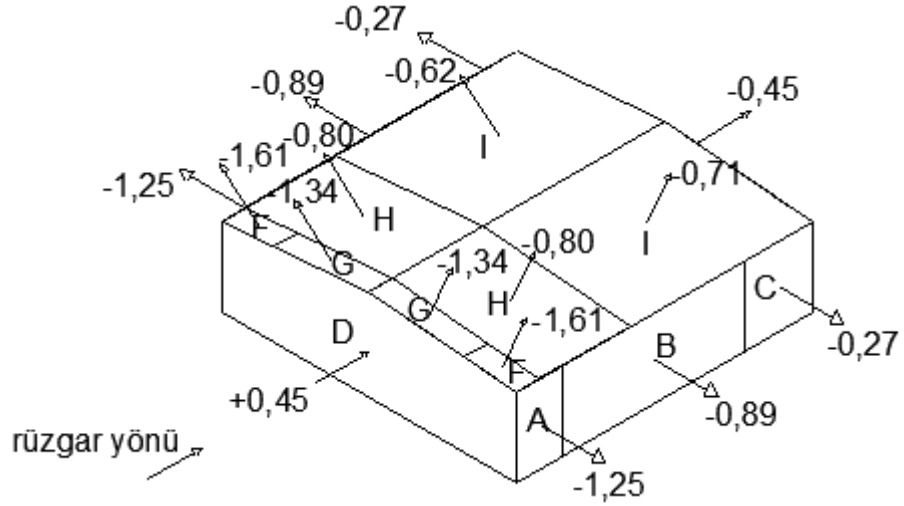
Hesaplanan değerlerin rüzgar yönüne ve iç basıncın negatif ya da pozitif olmasına bağlı olarak en uygunsuz durum kombinasyonları aşağıda verilmiştir.

Rüzgarın çatı sırtına dik etkidği ve iç basınç katsayısının +0,2 olduğu durumda hesaplanan rüzgar basınç dağılımı Şekil 4.15'te verilmiştir.



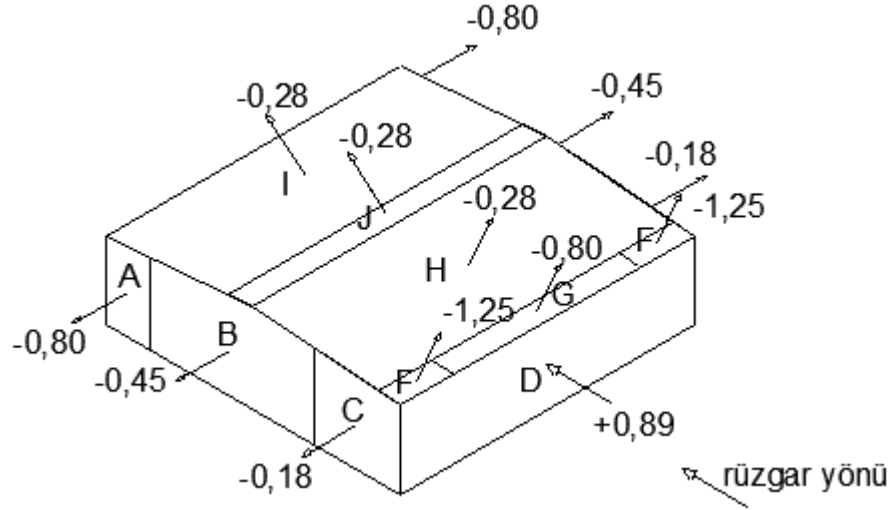
Şekil 4.15 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı +0,2.

Rüzgarın çatı sırtına paralel etkidği ve iç basınç katsayısının +0,2 olduğu durumda hesaplanan rüzgar basınç dağılımı Şekil 4.16'da verilmiştir.



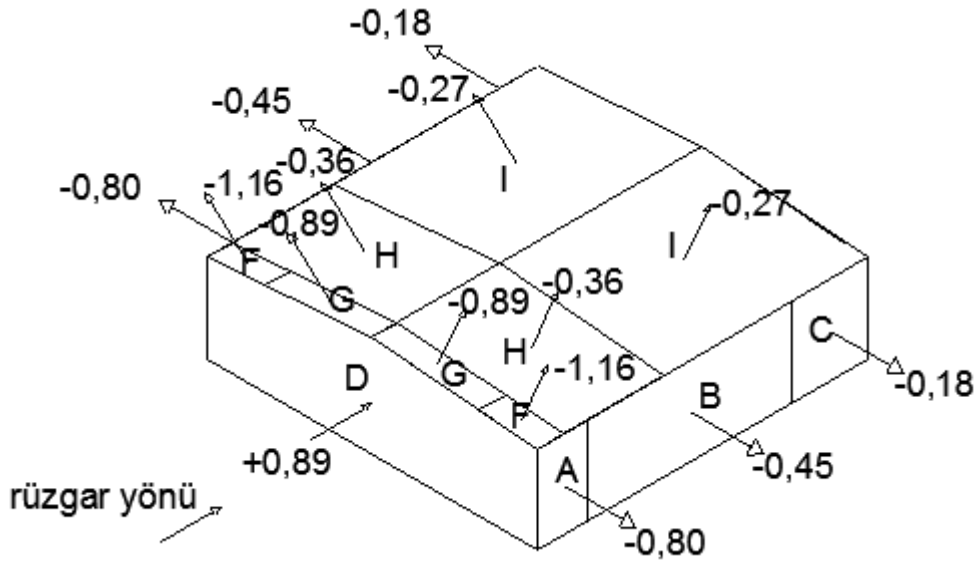
Şekil 4.16 : Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ ve iç basınç katsayısı +0,2.

Rüzgarın çatı sırtına dik etkidği ve iç basınç katsayısının -0,3 olduğu durumda hesaplanan rüzgar basınç dağılımı Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı -0,3.

Rüzgarın çatı sırtına paralel etkidği ve iç basınç katsayısının -0,3 olduğu durumda hesaplanan rüzgar basınç dağılımı Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 : Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ ve iç basınç katsayısı -0,3.

4.1.3 ASCE 7-05'e göre çözüm

Yapı tipine göre değişen rüzgar doğrultu katsayısı, K_d , Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çizelge göz önüne alınarak binalar için rüzgar doğrultu katsayısı 0,85 alınmıştır

Bina veya diğer yapılar için yapı önem katsayısı, I , Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kategori II için rüzgar hızının 25m/sn olduğu durumda önem katsayısı 1,0 olarak alınmıştır.

Hız basıncı maruz kalma katsayısı, K_z Çizelge 3.3 yardımıyla belirlenir. 9,2 m yüksekliğinde ve C kategorisinde bulunan yapı için K_z değeri 0,98 olarak alınmıştır.

K_{zt} faktörü tavsiye edilen değer olan 1 olarak alınmıştır.

Rijit yapılar için fırtına etkisi faktörü, G , değeri 0,85 olarak alınmıştır.

4.1.3.1 Rüzgar hız basıncı

$z = 7,9$ m yüksekliğindeki hız basıncı, q_z , aşağıdaki Eşitlik 4.12 ile hesaplanmalıdır.

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2I \quad (N/m^2)$$

$$q_z = 0,613.0,98.1,00.0,85.(25)^2.1,00 = 0,309 \text{ kN/m}^2 \quad (4.12)$$

Ortalama çatı yüksekliği, h , Eşitlik 4.13'de hesaplanmıştır.

$$h = 7,9 + \frac{\tan(5).15}{2} = 8,6 \text{ m} \quad (4.13)$$

Ortalama çatı yüksekliği $h = 8,6$ m için rüzgar basınç değeri Eşitlik 4.14'te hesaplanmıştır.

$$q_h = 0,613.0,97.1,00.0,85.(25)^2.1,00 = 0,316 \text{ kN/m}^2 \quad (4.14)$$

Yüksekliği bağılı olarak değişen K_z değerleri için farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı farklı değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

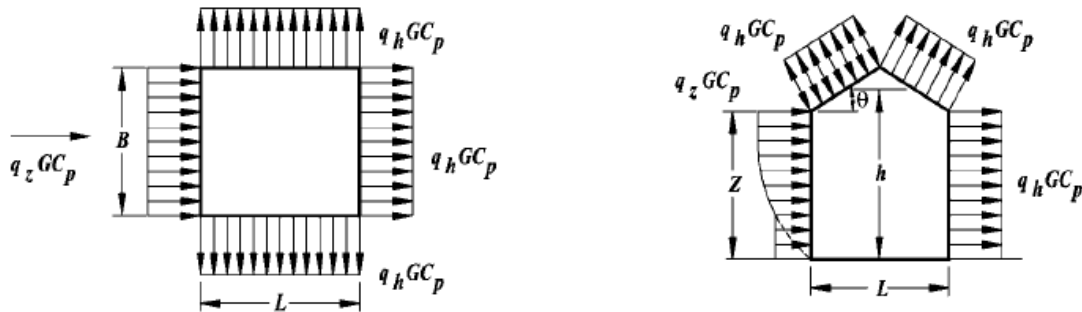
Çizelge 4.6 : Farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı değerleri.

Yükseklik m	K_z	q kN/m^2
0-4,6	0,85	q_z 0,277
6,1	0,9	q_z 0,293
7,6	0,94	q_z 0,306
7,9	0,95	q_z 0,309
8,6	0,97	q_h 0,316
9,1	0,98	q_z 0,319
9,2	0,98	q_z 0,319

4.1.3.2 Basınç ve kuvvet katsayıları

Yapı sınıfları için iç basınç katsayısı GC_{pi} , Çizelge 3.5’te verilmiştir. Kapalı yapılar için iç basınç katsayısı $\mp 0,18$ ‘dir.

Dik çatı için çatı şekillerine bağılı olarak dış basınç dağılımı Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19 : Dik çatı için dış basınç dağılımı.

Kapalı veya kısmi kapalı yapıların duvarlarında dış basınç katsayıları, C_p , Çizelge 3.7’de verilmiştir. Duvarlar için basınç katsayıları L/B oranına bağlı olarak değişir. Hesaplanan yapı için $L/B=30/30=1$ ’dir. C_p değeri, rüzgara dik duvar için +0,8; arka duvar için -0,5; yan duvarlar için de -0,7’dir. Bu değerler Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Duvarlar için dış basınç katsayısı, C_p .

Duvarlar	Rüzgar doğrultusu	L/B	C_p
Rüzgara dik duvar	Tüm	Tüm	+0,8
Arka duvar	Çatı sırtına dik ve paralel	1,00	-0,5
Yan duvarlar	Tüm	Tüm	-0,7

Kapalı veya kısmi kapalı yapıların çatısında MMFRS için dış basınç katsayıları, C_p , Çizelge 3.8’de verilmiştir. h/L değeri $8,6/30 = 0,29$ olarak hesaplanmıştır. Bu orana ve $\theta = 5^\circ < 10^\circ$ olduğunda $h = 8,6$ m için C_p değeri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Çatı için dış basınç katsayısı, C_p .

Çatı Sırtına	Rüzgara dik duvardan yatay mesafe	C_p
Dik		
$\theta < 10^\circ$	0 – 4,3	-0,9 -0,18
$h/L < 0,5$		
ve	4,3 – 8,6	-0,9 -0,18
Çatı Sırtına	8,6 – 17,2	-0,5 -0,18
paralel	>17,2	-0,3 -0,18

4.1.3.3 Rüzgar basınçları hesabı

Tasarım rüzgar basınçları binaların yüksekliklerine bağlı olarak aşağıdaki Eşitlik 4.15 kullanılarak elde edilmiştir.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (4.15)$$

Burada; G fırtına etkisi faktörü 0,85, q_i iç basınç ortalama çatı yüksekliğindeki basınca eşit ve $0,316 \text{ kN/m}^2$, GC_{pi} iç basınç katsayısı $\mp 0,18$ 'dir.

q basınç değeri yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir.

C_p dış basınç katsayısı rüzgarın geldiği yöne bağlı olarak duvarların konumuna göre değişmektedir.

Katsayıların belirlenmesinde kullanılan oranlar her iki rüzgar yönü için aynı olduğundan dış basınç katsayısı C_p iki durum için sadece bir kere hesaplanır.

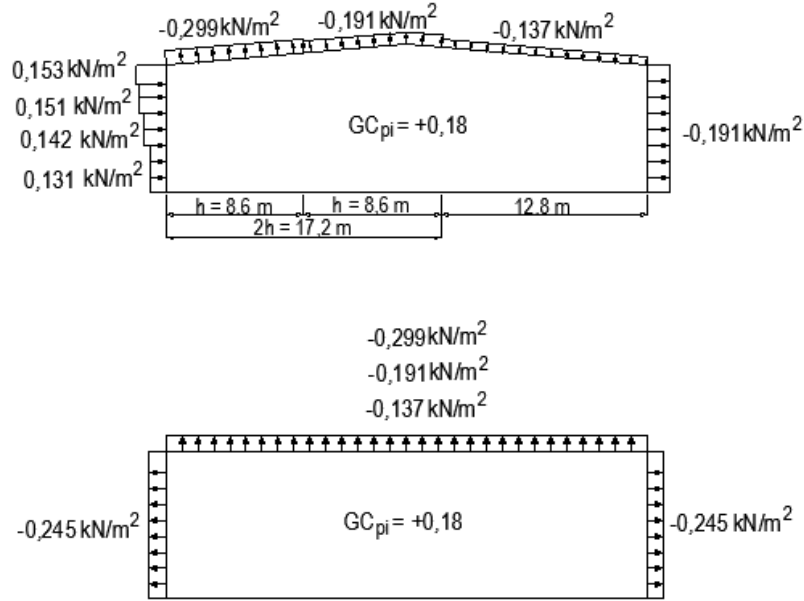
Bu değerlerin tamamı Çizelge 4.9'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.

Yüzey	Yükseklik m	q kN/m ²	C_p	Net basınç, p	
				$GC_{pi} = +0,18$	$GC_{pi} = -0,18$
Rüzgara dik duvar	0-4,6	0,277	0,8	0,131	0,245
	6,1	0,293	0,8	0,142	0,256
	7,6	0,306	0,8	0,151	0,265
	7,9	0,309	0,8	0,153	0,267
	8,6	0,316	0,8	0,158	0,272
	9,1	0,319	0,8	0,16	0,274
	9,2	0,319	0,8	0,16	0,274
	12,2	0,339	0,8	0,174	0,287
Arka duvar	Tüm	0,316	-0,5	-0,191	-0,077
Yan duvarlar	Tüm	0,316	-0,7	-0,245	-0,131
Çatı	0 - h	0,316	-0,9	-0,299	-0,185
	h - 2h	0,316	-0,5	-0,191	-0,077
	>2h	0,316	-0,3	-0,137	-0,024

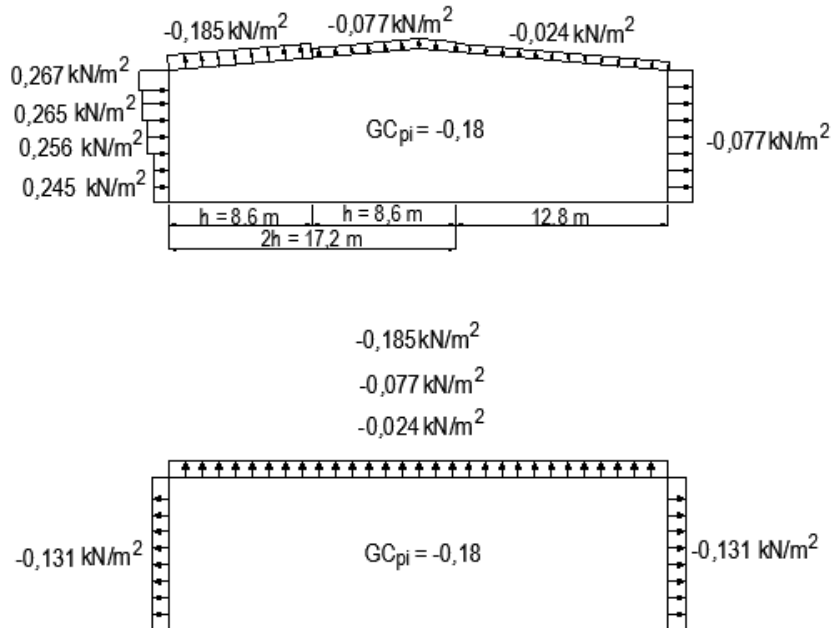
İç basınç katsayısı +0,18 ve -0,18 olduğunda taban kesme kuvveti $1,30 \text{ kN/m}$ olarak hesaplanmıştır.

Rüzgarın çatı sırtına dik geldiği ve iç basıncın pozitif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir.



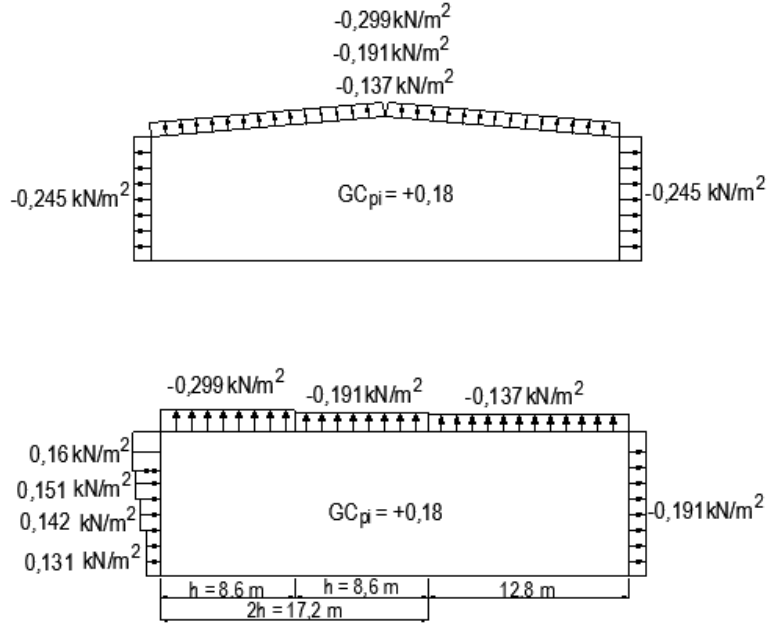
Şekil 4.20 : Rüzgar basınç dağılımı.

Rüzgarın çatı sırtına dik geldiği ve iç basıncın negatif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.21’de verilmiştir.



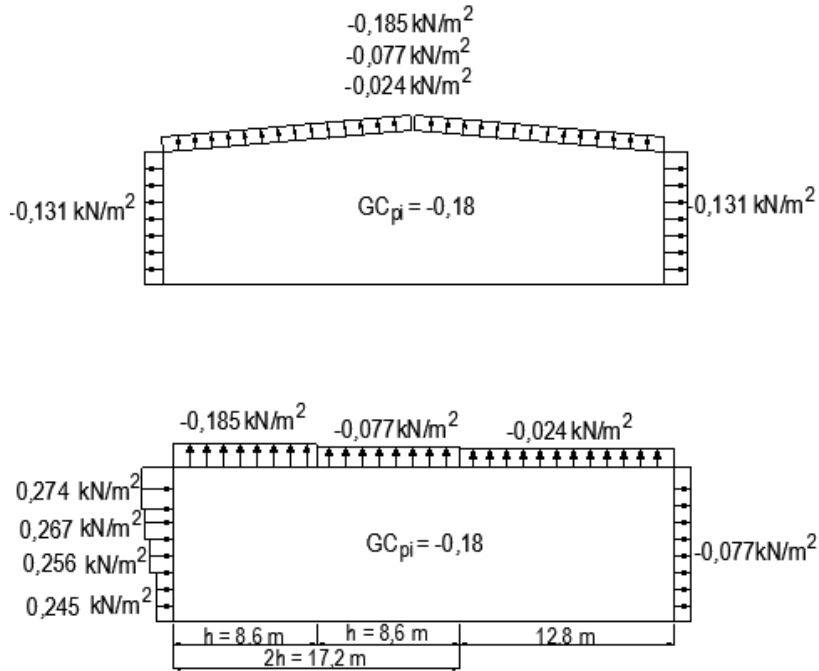
Şekil 4.21 : Rüzgar basınç dağılımı.

Rüzgarın çatı sırtına paralel geldiği ve iç basıncın pozitif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 : Rüzgar basınç dağılımı.

Rüzgarın çatı sırtına paralel geldiği ve iç basıncın negatif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.23’te verilmiştir.



Şekil 4.23 : Rüzgar basınç dağılımı.

4.1.4 Örnek 1 için sonuçların karşılaştırılması

ASCE 7-05 ve Eurocode 1’de duvarlarda oluşan basınçlar değişik şekilde ifade edilmiştir.

ASCE 7-05’de; rüzgara dik duvar için net basınç değeri standardda belirtilen yükseklikler için ayrı ayrı hesaplanır.

Eurocode 1’de ise; rüzgarın dik olarak etki ettiği durum için duvar tek kuşak olarak incelenmektedir. Bina yüksekliğinin net basınç değerine etkisi yoktur.

Arka duvar için ise hem ASCE 7-05’de hem de Eurocode 1’de benzer ifadeler kullanılmıştır. Arka duvar tek kuşak olarak kabul edilmiş ve basınçlar rakamsal olarak birbirine yakındır.

ASCE 7-05 ve Eurocode 1’e göre rüzgara dik ve arka duvar için karşılaştırmalı net basınç değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Rüzgara dik ve arka duvar için ASCE 7-05 ve Eurocode 1’e göre net basınç değerleri.

Yüzey	ASCE'ye göre		Eurocode'a göre		
	Yükseklik	Net basınç, p		Net basınç, p	
	m	iç basınç	iç basınç	iç basınç	iç basınç
		+0,18	-0,18	+0,2	-0,3
	0-4,6	0,131	0,245		
	6,1	0,142	0,256		
Rüzgara	7,6	0,151	0,265		
dik	7,9	0,153	0,267	+0,45	+0,89
duvar	8,6	0,158	0,272		
	9,1	0,16	0,274		
	9,2	0,16	0,274		
Arka duvar	Tüm	-0,191	-0,077	-0,45	0,00

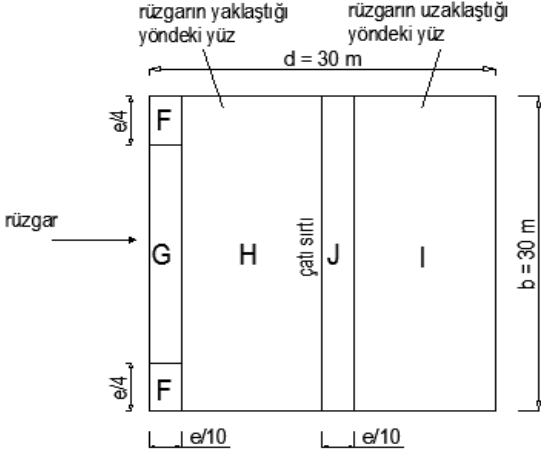
Yan duvarlarda oluşan basınç Eurocode'a göre üç farklı bölgeye ayrılarak incelenir. Fakat ASCE 7-05'e göre yan duvarlar tek kuşak olarak göz önüne alınır. Bu nedenle basınç dayanımlarını karşılaştırmak mümkün değildir. Değerler her iki standard için de Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : Yan duvar için ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre net basınç değerleri.

Yüzey	ASCE'ye göre				Eurocode'a göre	
	Bölge	Net basınç, p		Bölge	Net basınç, p (D Bölgesi)	
		iç basınç	iç basınç		iç basınç	iç basınç
		+0,18	-0,18		+0,2	-0,3
Yan duvarlar	Tüm	-0,191	-0,077	A	-1,25	-0,8
				B	-0,89	-0,45
				C	-0,62	-0,18

ASCE 7-05 ve Eurocode 1'de çatıdaki basınç dağılımını değişik şekilde incelemiştir. Eurocode 1'de basınç bölgeleri rüzgar yönüne bağlı olarak değişir. Rüzgarın çatı sırtına dik ve paralel estiği durumlarda oluşan net basınç değerleri Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.12 : Rüzgarın çatı sırtına dik geldiği durum için Eurocode 1'e göre çatıda oluşan net basınç değerleri.

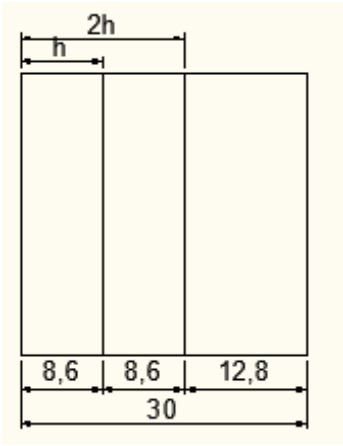
Bölge		Net basınç, p	
		iç basınç=+0,2 iç basınç=-0,3	
	F	-1,7	-1,25
	G	-1,25	-0,8
	H	-0,71	-0,28
	I	-0,71	-0,28
	J	-0,71	-0,28

Çizelge 4.13 : Rüzgarın çatı sırtına paralel geldiği durum için Eurocode 1'e göre çatıda oluşan net basınç değerleri.

Bölge	Net basınç, p	
	$\text{iç basınç} = +0,2$ $\text{iç basınç} = -0,3$	
F	-1,61	-1,16
G	-1,34	-0,89
H	-0,8	-0,36
I	-0,71	-0,27

ASCE 7-05'de çatının bölgelere ayrılmasındaki en önemli kriter çatı açısıdır. Açının 10° 'den büyük olduğu durumda açının büyüklüğüne bağlı olarak basınç değeri belirlenir. Eğer çatı açısı 10° 'den küçük ise çatı h yüksekliğine bağlı olarak 3 bölgeye ayrılır. ASCE 7-05'e göre net basınç değerleri Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14 : ASCE 7-05'e göre çatıda oluşan net basınç değerleri.

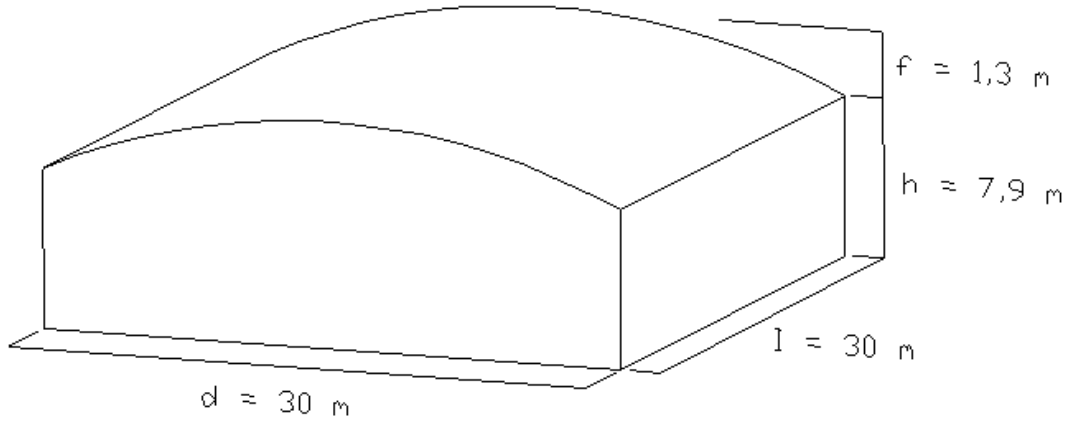
Bölge	Net basınç, p		
	iç basınç=+0,18 iç basınç=-0,18		
0 - h	0 - 8,6m	-0,299	-0,185
h - 2h	8,6m - 17,2m	-0,256	-0,142
>2h	17,2m- 30m	-0,137	-0,024

4.2 Örnek 2

Ele alınan bu örnekte, tonoz çatıya sahip bir yapı Eurocode 1 ve ASCE 7-05'e göre yapıya etkiyen rüzgar yükleri açısından incelenmiştir.

4.2.1 Yapı Özellikleri

Yapı özellikleri Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24 : Yapının boyutları.

Bina uzunluğu	$b = 30 \text{ m}$
Çerçeveler arasındaki uzaklık	$s = 6 \text{ m}$
Bina genişliği	$d = 30 \text{ m}$
Tonoz yüksekliği	$f = 1,3 \text{ m}$
Yükseklik (max)	$h = 9,2 \text{ m}$

Rüzgâr hızının temel değeri 25 m/s olarak alınmıştır.

4.2.2 Eurocode 1'e göre çözüm

Eşitlik 4.16 yardımıyla esas rüzgâr hızının temel değeri hesaplanabilir. Esas rüzgâr hızının temel değeri $v_{b,0}$ 25 m/s olarak alınmıştır. Farklı rüzgâr yönleri için doğrultu katsayısı c_{dir} ve mevsim katsayısı c_{season} tavsiye edilen değer olan 1,0 alınmıştır.

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1 \times 1 \times 25 = 25 \text{ m/s} \quad (4.16)$$

Arazi kategorisi II’de yer seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgâr yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgâr hızı 25m/s olarak hesaplanmıştır.

z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içeren tepe rüzgâr basıncı $q_{p(z)}$ Eşitlik 4.17 yardımıyla belirlenmektedir. ρ için kullanılacak değerler tavsiye edilen değer olan $1,25 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390.625 \text{ N/m}^2 \quad (4.17)$$

$q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$ Eşitlik 4.18 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{o(z)} \cdot v_b \quad (4.18)$$

Esas rüzgâr hızı hesabında orografi dikkate alınırsa orografi katsayısı $c_{o(z)}$ için tavsiye edilen değer 1,0’dır.

z metre yükseklikteki engebелilik katsayısı $c_{r(z)}$ ’nın hesaplanması için tavsiye edilen işlem Eşitlik 4.19’da verilmiştir.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4.19)$$

$2 \text{ m} \leq z = 9,2 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$ olduğundan engebелilik katsayısı Eşitlik 4.20’deki gibi hesaplanır.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,u}} \right)^{0,07}$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad (4.20)$$

k_r yerine koyulursa;

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln \frac{9,2}{0,05} = 0,99 \quad (4.21)$$

Buna bağı olarak ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$ Eşitlik 4.22'deki gibi hesaplanır.

$$v_{m(z)} = 0,99 \cdot 1,00 \cdot 25 = 24,75 \text{ m/s} \quad (4.22)$$

z metre yükseklikteki türbülans şiddeti $I_v(z)$, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgâr hızına oranı olarak tanımlanmıştır ve Eşitlik 4.23 yardımıyla hesaplanır.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (4.23)$$

$$z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

k_l türbülans faktörü ve orografi katsayısı $c_o(z)$ için tavsiye edilen değer 1,0'dır. Türbülans şiddeti $I_v(z)$ Eşitlik 4.24'teki gibi hesaplanır.

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{9,2}{0,05}\right)} = 0,19 \quad (4.24)$$

Tepe rüzgâr basıncı $q_p(z)$ Eşitlik 4.25'teki gibi belirlenmelidir.

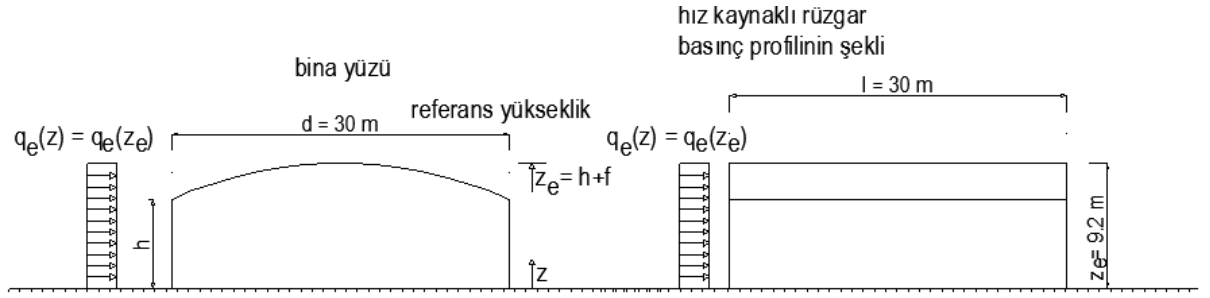
$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.25)$$

Eşitlikte değerler yerine konulursa;

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0,19) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot (24,75)^2 = 0,892 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

4.2.2.1 Yapının düşey duvarlarına etkiyen rüzgar yükü

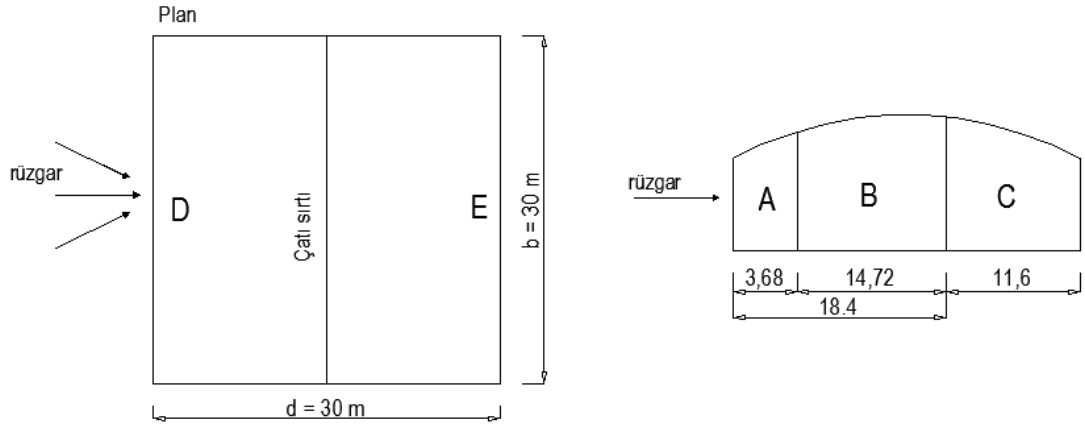
Dikdörtgen planlı yapıda rüzgârın yaklaştığı yöndeki duvarları için referans yükseklikleri her zaman duvarların değişik kısımlarındaki en büyük yüksekliklere eşittir. Bu durumda referans yüksekliği $z_e = h + f = 9,2$ m olarak alınır. h yüksekliği (9,2 m) b 'den (30 m) daha az olduğu için bina tek parça olarak düşünülmelidir. Duvarlara etkiyen rüzgar basıncı Şekil 4.25'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.25 : Duvarlara etkiyen rüzgar basınç profili.

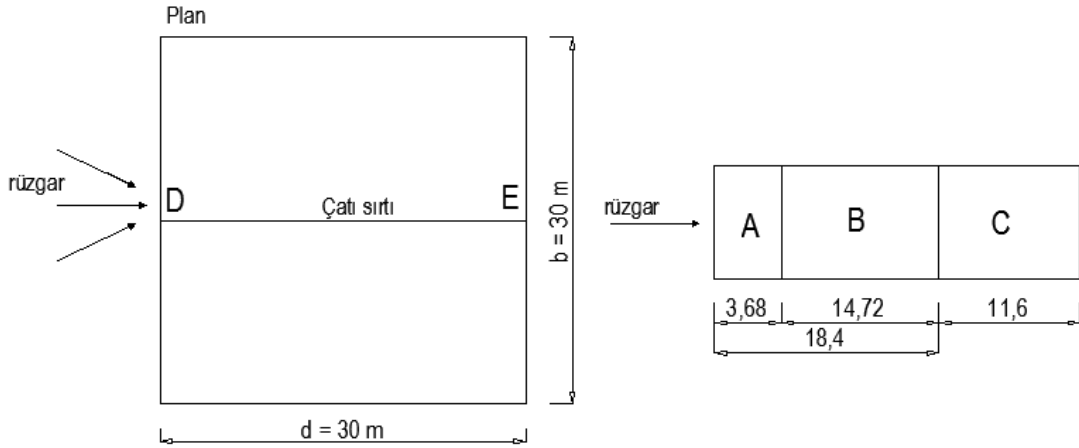
$e = \min (b; 2h) = 2h = 2 \cdot 9,2 = 18,4$ m olarak hesaplanır.

$e = 18,4$ m ve $d = 30$ m ise $e \leq d$ durumu için A, B, C bölgeleri rüzgarın çatı sırtına dik geldiğinde Şekil 4.26'da görüldüğü şekildedir.



Şekil 4.26 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler.

A, B, C bölgeleri rüzgarın çatı sırtına paralel geldiğinde Şekil 4.27’de görüldüğü şekildedir.



Şekil 4.27 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler.

A, B, C, D ve E Bölgeleri için dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ h/d oranına bağlıdır.

h/d değeri yapı için $9,2 / 30 = 0,3$ olarak bulunur. h/d oranına bağlı dış basınç katsayıları 0,3 gibi bir ara değerler Çizelge 4.15’te görüldüğü gibi doğrusal interpolasyon yapılarak bulunabilir.

Çizelge 4.15 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler için c_{pe} katsayısı.

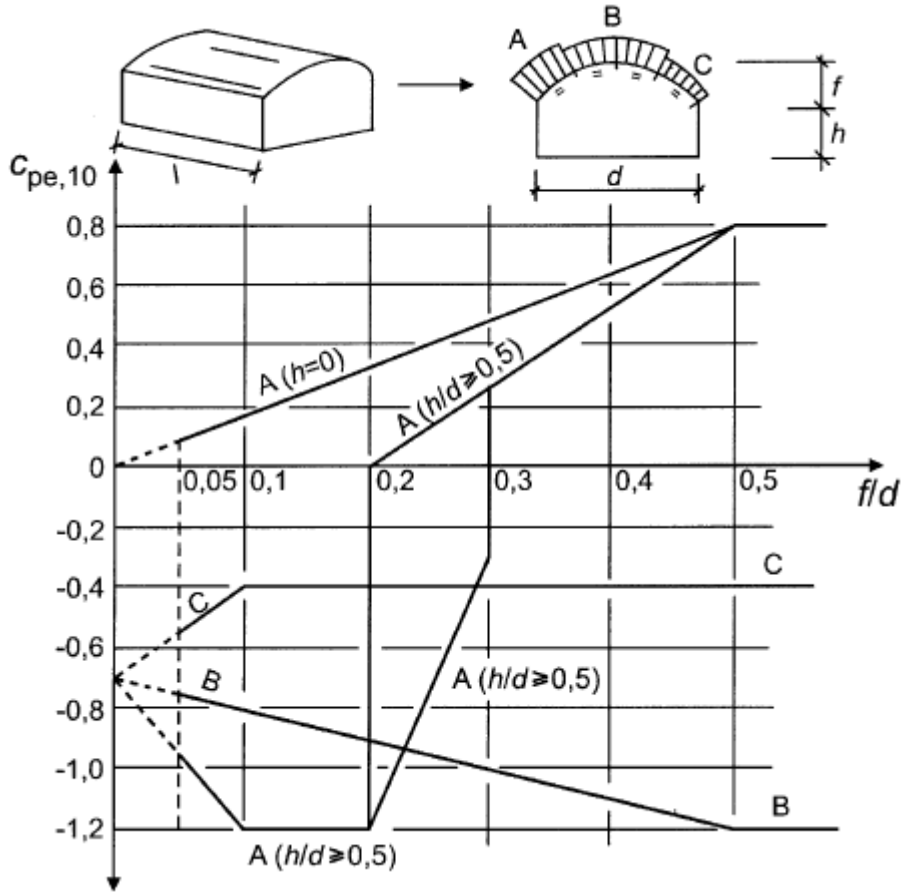
Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
0,3	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

4.2.2.2 Çatı için dış basınç katsayılarının hesaplanması

Dikdörtgen tabanlı tonozlar için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ dış basınç katsayıları değeri Şekil 2.33’ten grafik okunarak elde edilir.

Çatının A, B ve C bölgelerinin yerinin tespit edilmesi için çatı 4 eşit parçaya ayrılmalıdır. Bu paylaşımdan A ve B bir parça, C ise iki parça uzunluğa sahiptir. Bu bölgeler Şekil 4.28’de gösterilmiştir.

A, B ve C bölgeleri için dış basınç katsayıları f/d ve h/d değerlerine bağlı olarak grafik okumasıyla belirlenir.



Şekil 4.28 : Dikdörtgen tabanlı tonozlar için tavsiye edilen $c_{pe,10}$ dış basınç katsayıları.

$$f = 1,3 \text{ m}$$

$$h = 7,9 \text{ m}$$

$d = 30 \text{ m}$ değerleri için h/d ve f/d oranları şöyle hesaplanır.

$$f/d = 1,3 / 30 = 0,04$$

$$h/d = 7,9 / 30 = 0,26$$

$0 < h/d < 0,5$ aralığında $c_{pe,10}$ doğrusal interpolasyon ile elde edilir.

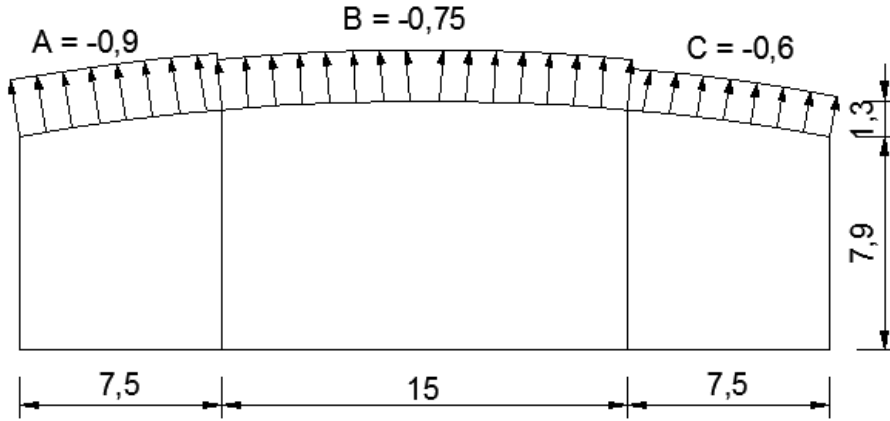
A bölgesi için $h=0$ ve $h/d \geq 0,5$ için okumalar yapılmış ve en elverişsiz durum olan $h/d \geq 0,5$ durumu için okuma yapılmıştır.

Bu oranlara bağlı olarak elde edilen grafik okumaları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16 : Bölgeler için $c_{pe,10}$ katsayıları.

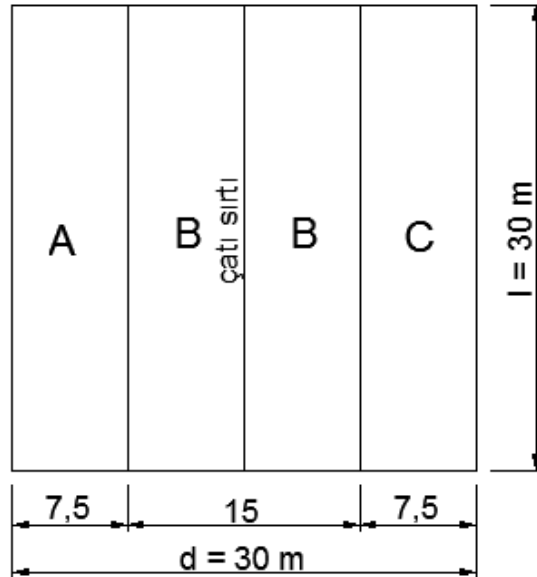
Bölge	A	B	C
$c_{pe,10}$	-0,9	-0,75	-0,6

Bölgelere bağlı olarak dış basınç katsayısı dağılımı Şekil 4.29’da görüldüğü gibidir.



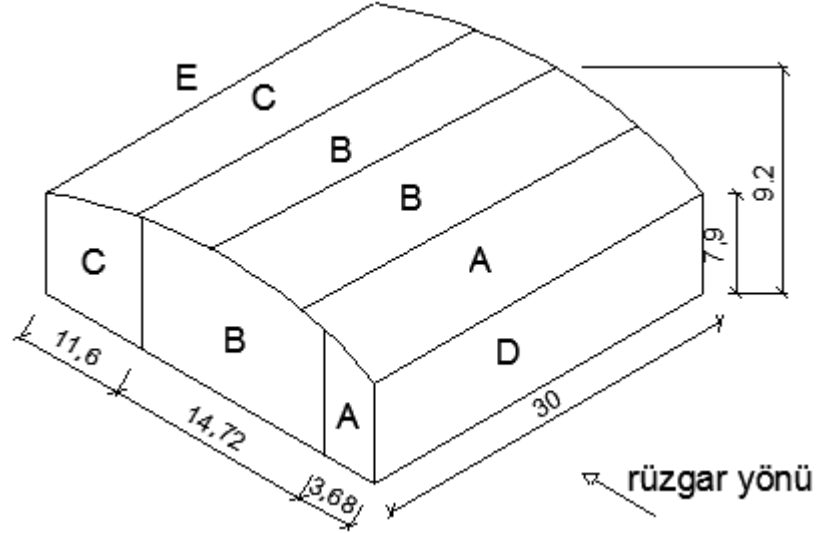
Şekil 4.29 : A, B, C bölgeleri için dış basınç dağılımı.

Rüzgâr yönü $\theta^{\circ} = 0$ olduğunda çatı için bölgeler Şekil 4.30’da gösterilmiştir.



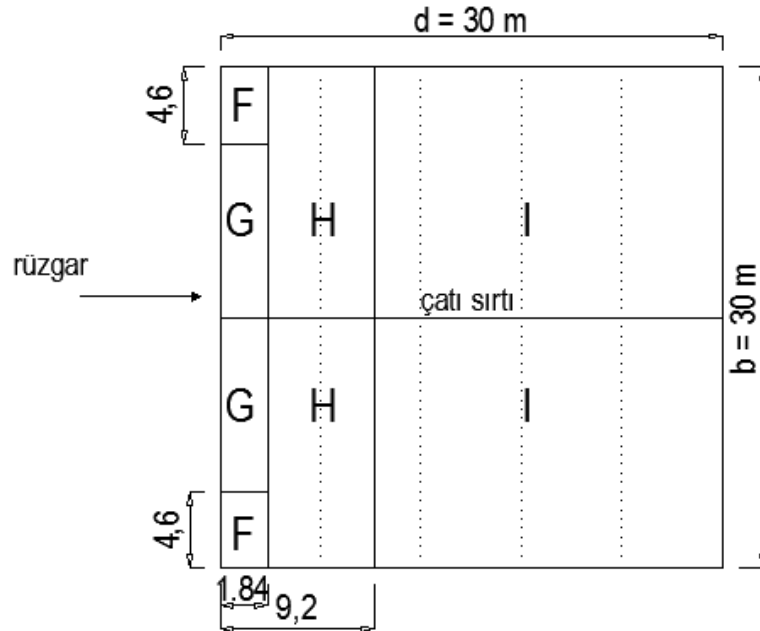
Şekil 4.30 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^{\circ}$ için bölgeler.

Rüzgârın çatı sırtına dik geldiği durumda yapının bölgelendirilme durumu Şekil 4.31’de gösterildiği gibidir.

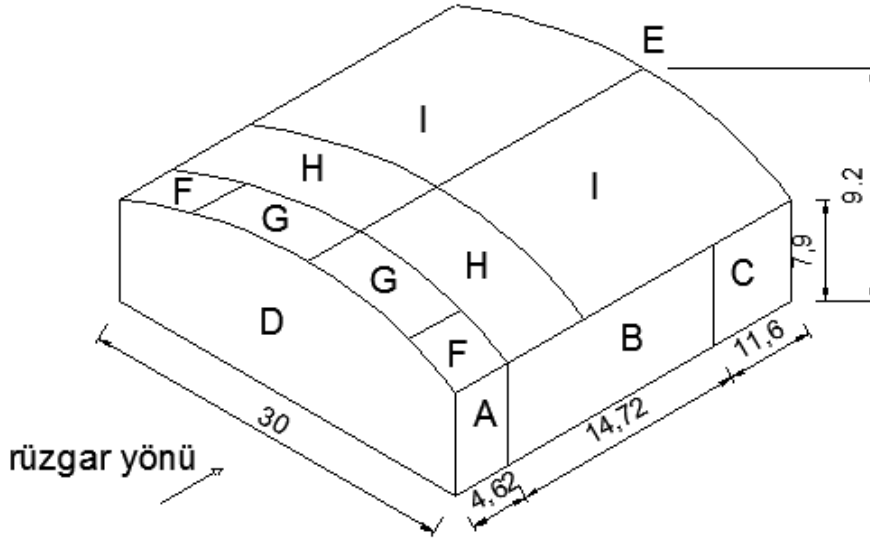


Şekil 4.31 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler.

Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ olduğunda, çift eğimli çatı için kullanılan yöntem kullanılır. Rüzgâr çatı sırtına paralel geldiği durum için basınç bölgeleri Şekil 4.32 ve 4.33’te verilmiştir.



Şekil 4.32 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler.



Şekil 4.33 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler.

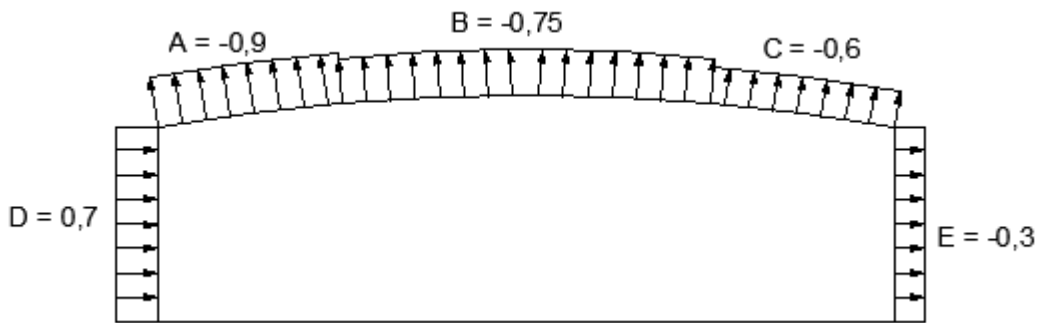
Bölgeler için basınç katsayıları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler için c_{pe} katsayısı.

Eğim	F	G	H	I
Açısı	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
5°	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6

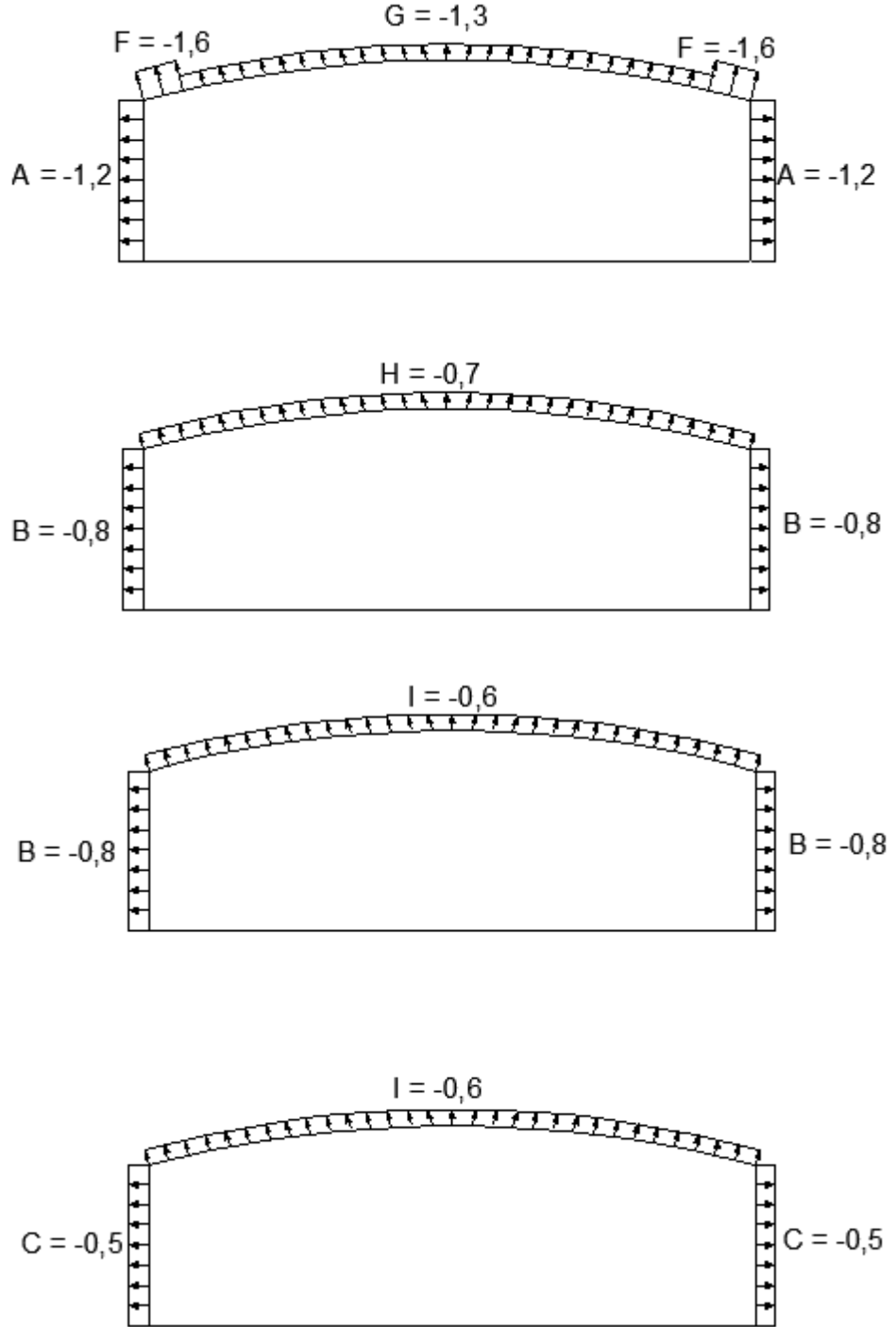
4.2.2.3 Basınç katsayılarının gösterimi ve hesaplanması

Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ olduğunda çatıya etkiyen dış basınç katsayılarının bölgeler için uygun kombinasyonlar Şekil 4.34’te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.34 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.

Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ olduğunda çatıya etkiyen dış basınç katsayılarının bölgeler için uygun kombinasyonlar 4 farklı çerçeve için Şekil 4.35'te gösterilmiştir.

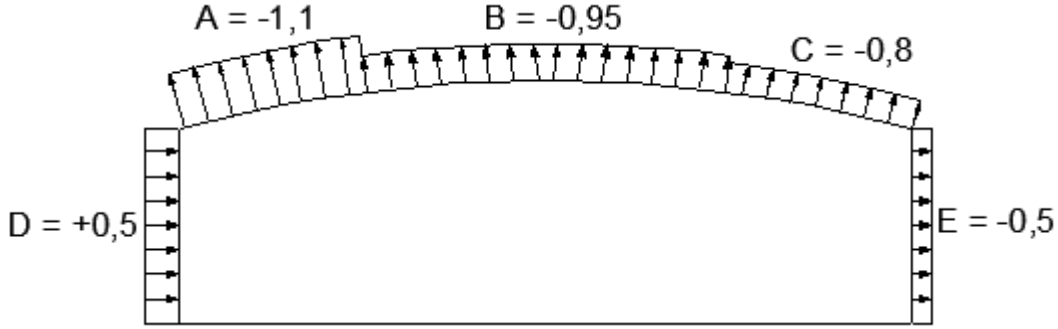


Şekil 4.35 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.

İç basınç katsayısı, bina içinde açıklıkların dağılımına ve boyutunu bağlıdır. Bu örnek için de binanın geçirgenliğini ve açılış oranını tahmin etmek mümkün değildir. Bu nedenle c_{pi} değeri +0,2 veya -0,3 olarak alınmıştır.

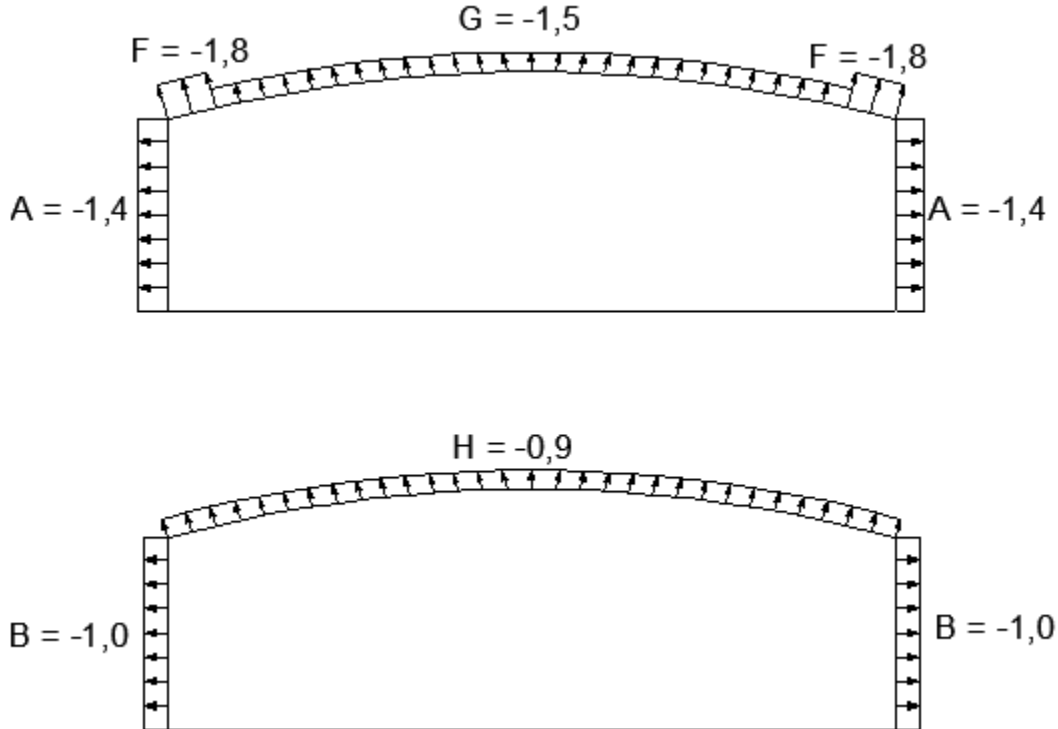
İç basınç katsayısı +0,2 hesaba katıldığında elde edilen iç basınç dağılımları için kombinasyonlar aşağıdaki Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de görüldüğü gibidir.

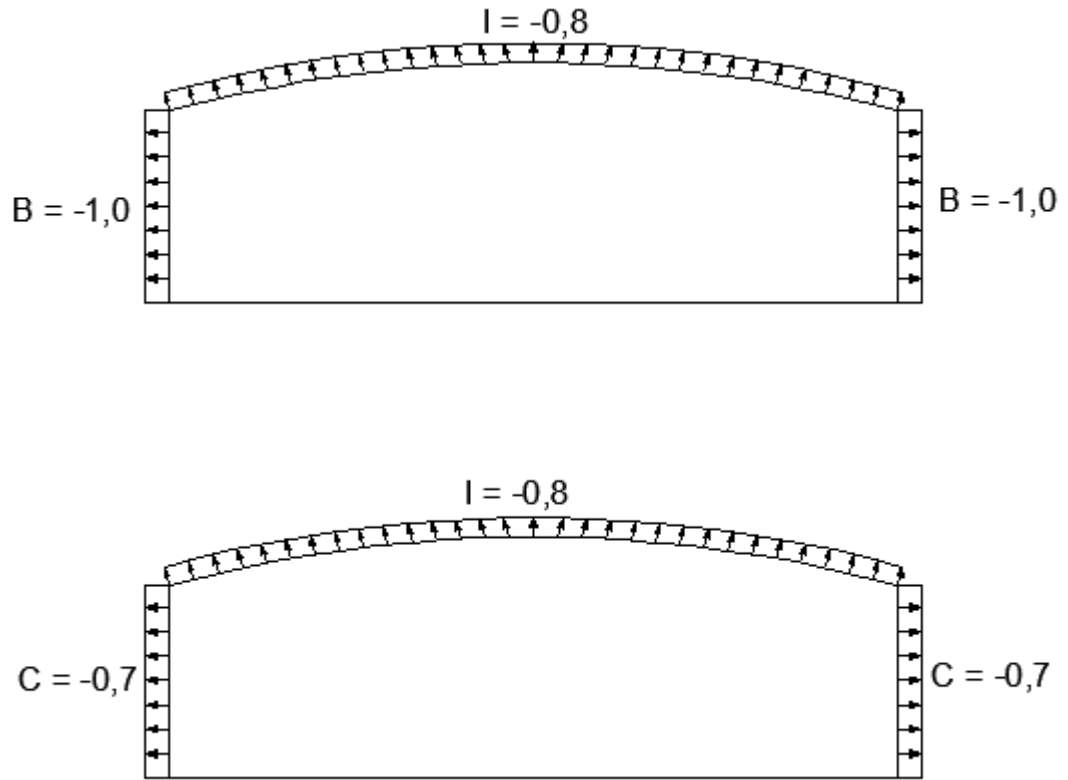
Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ olduğunda;



Şekil 4.36 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.

Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ olduğunda 4 ayrı çerçeve için durum Şekil 4.42’de verilmiştir.

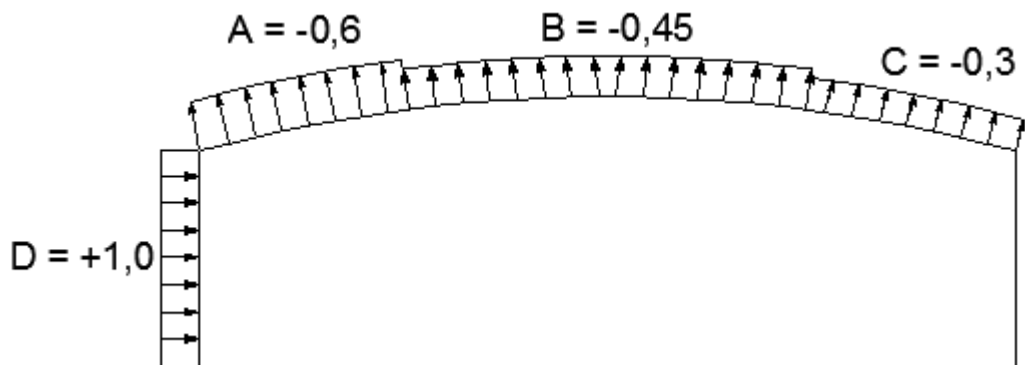




Şekil 4.37 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.

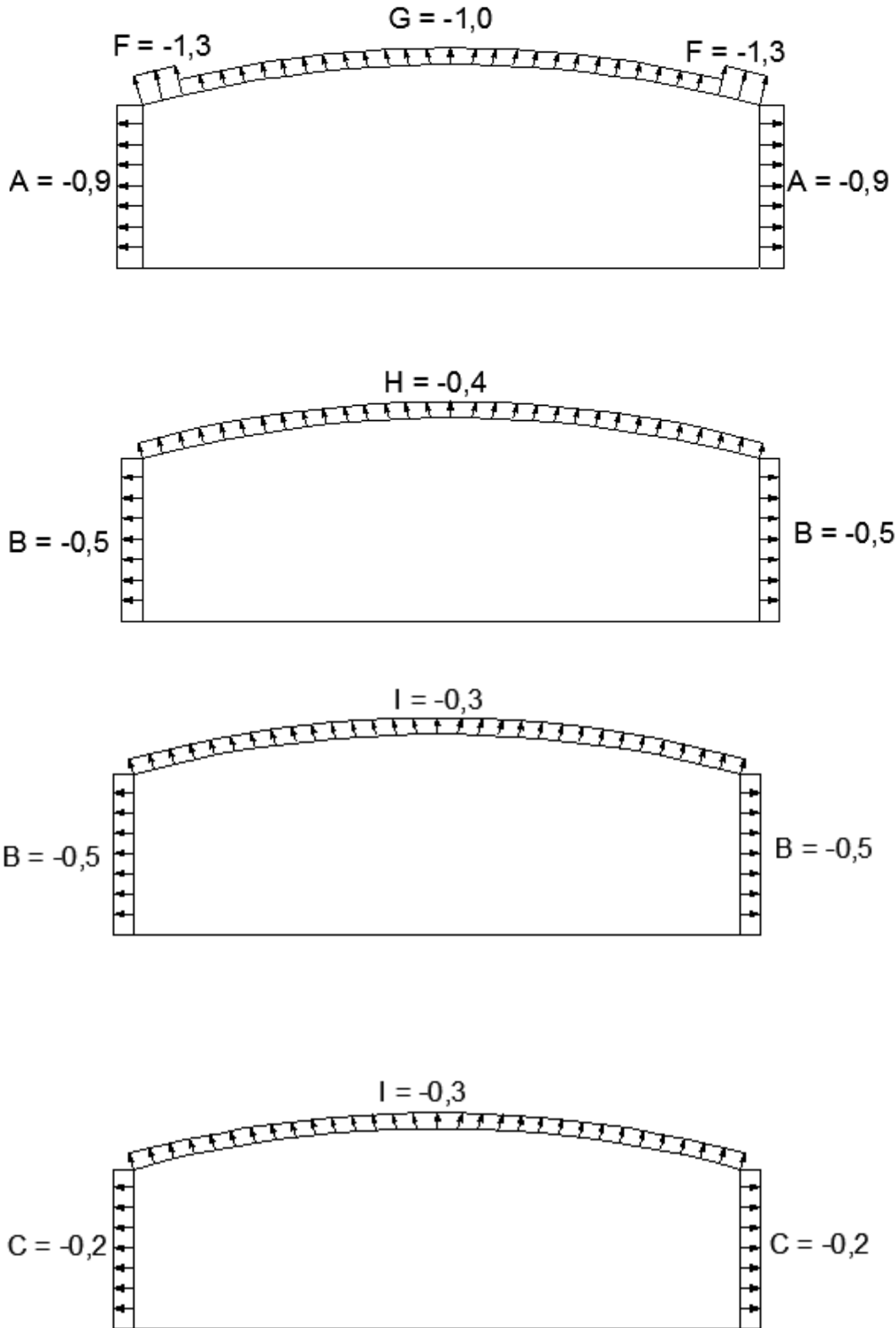
İç basınç katsayısı -0,3 hesaba katıldığında elde edilen iç basınç dağılımları için kombinasyonlar aşağıdaki Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da görüldüğü gibidir.

Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ olduğunda;



Şekil 4.38 : Rüzgâr yönü $\theta = 0^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.

Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ olduğunda 4 ayrı çerçeve için durum Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.39 : Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ için c_{pe} katsayılarının dağılımı.

4.2.2.4 Yüzeylerdeki rüzgar basıncının hesaplanması

Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı w_e , Eşitlik 4.26 kullanılarak hesaplanır.

$$w = q_p(z) \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \quad (4.26)$$

Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ olduğu durumda, bina duvarına ait A, B, C, D ve E bölgeleri için ve çatı yüzeyine ait A, B ve C bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı Çizelge 4.18'de görüldüğü şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.18 : Bölgeler için rüzgar basıncı değerleri.

Yüzey	Bölge	Dış Basıncı katsayısı	Rüzgar Basıncı	
			İç basınç	İç basınç
			0,20	-0,30
Duvarlar	A	-1,2	-1,25	-0,80
	B	-0,8	-0,89	-0,45
	C	-0,5	-0,62	-0,18
	D	0,7	0,45	0,89
	E	-0,3	-0,45	0,00
Çatı	A	-0,9	-0,98	-0,54
	B	-0,75	-0,85	-0,40
	C	-0,6	-0,71	-0,27

İç basınç $+0,2$ olduğunda taban kesme kuvveti $3,55\text{kN/m}$, $-0,3$ olduğuna ise $3,52\text{kN/m}$ olarak hesaplanmıştır.

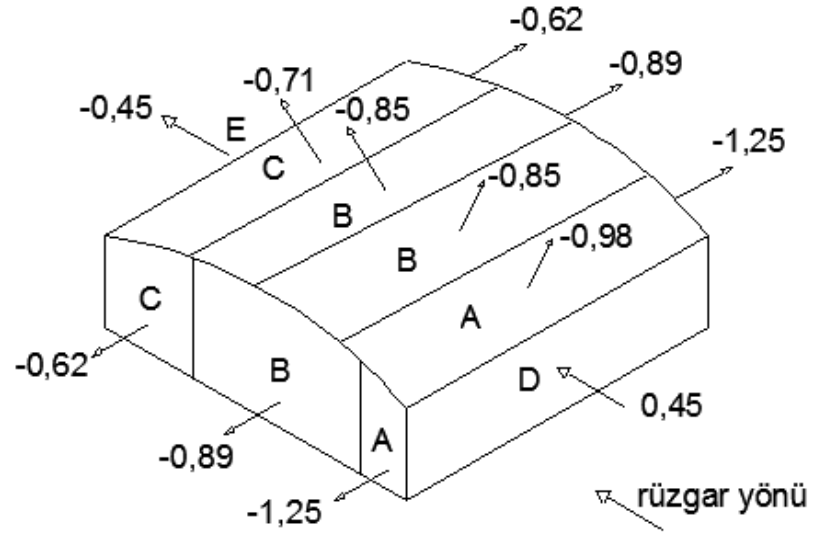
Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ olduğu durumda, bina duvarına ait A, B, C, D ve E bölgeleri için ve çatı yüzeyine ait F,G,H ve I bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı Çizege 4.19’da görüldüğü şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.19 : Bölgeler için rüzgar basıncı değerleri.

Yüzey	Bölge	Dış	Rüzgar Basıncı	
		Basıncı katsayısı	iç basınç 0,20	iç basınç -0,30
Duvarlar	A	-1,2	-1,25	-0,80
	B	-0,8	-0,89	-0,45
	C	-0,5	-0,62	-0,18
	D	0,7	0,45	0,89
	E	-0,3	-0,45	0,00
Çatı	F	-1,6	-1,61	-1,16
	G	-1,3	-1,34	-0,89
	H	-0,7	-0,80	-0,36
	I	-0,6	-0,71	-0,27

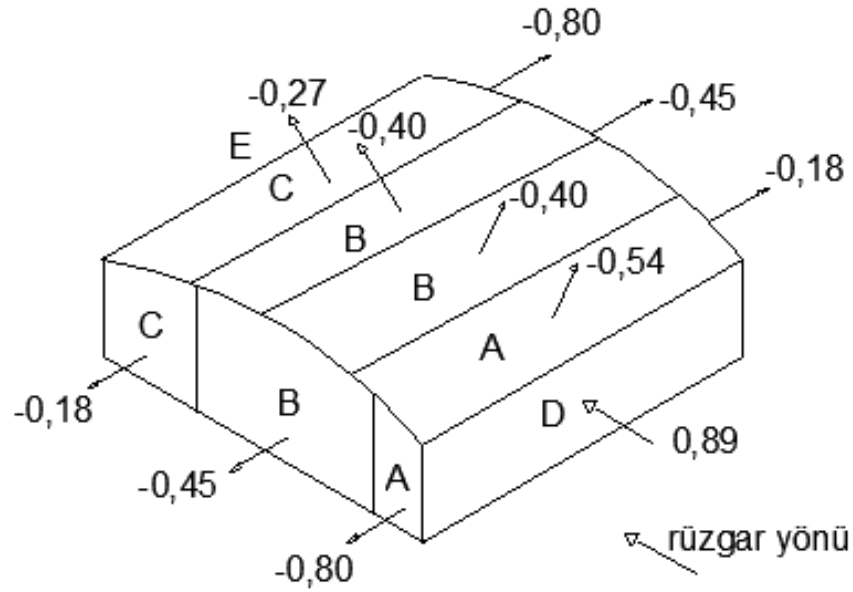
İç basınç katsayısı +0,2 olduğunda taban kesme kuvveti 3,55kN/m, -0,3 olduğuna ise 3,52kN/m olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan değerlerin rüzgar yönüne ve iç basıncın negatif ya da pozitif olmasına bağlı olarak en uygunsuz durum kombinasyonları aşağıda verilmiştir. Rüzgarın çatı sırtına dik etkidği ve iç basınç katsayısının +0,2 olduğu durumda hesaplanan rüzgar basınç dağılımı Şekil 4.40’ta verilmiştir.



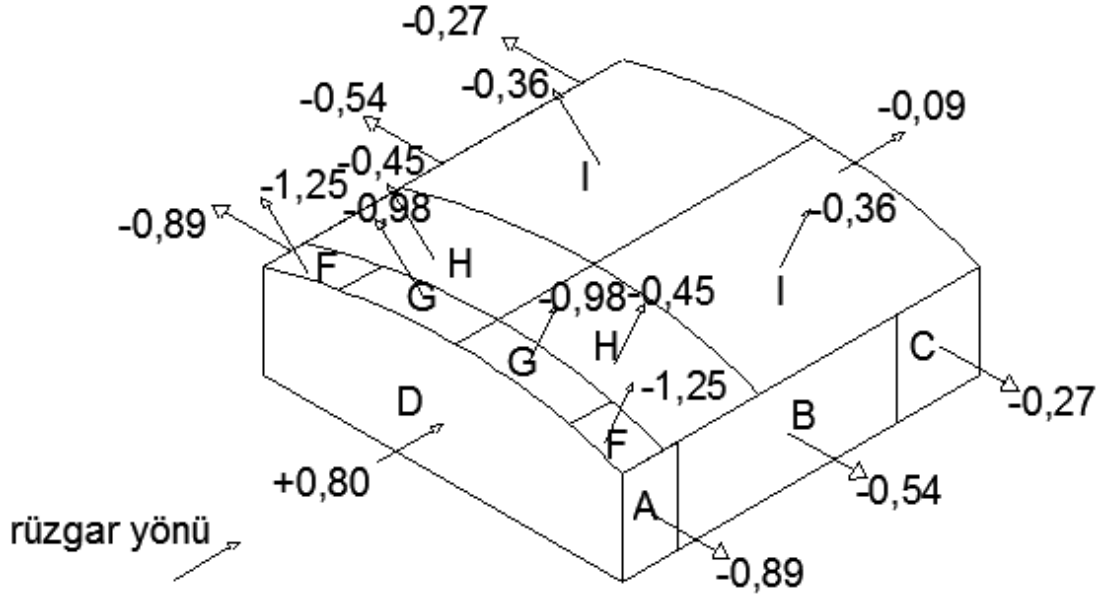
Şekil 4.40 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı $+0.2$.

Rüzgarın çatı sırtına dik etkidği ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durumda hesaplanan rüzgar basınç dağılımı Şekil 4.41’de verilmiştir.



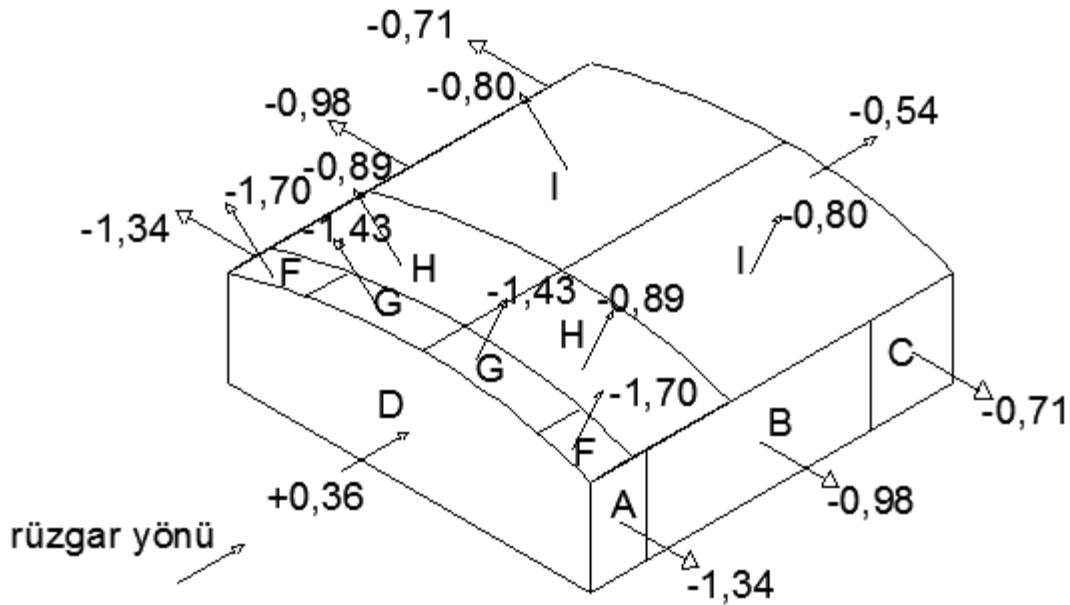
Şekil 4.41 : Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve iç basınç katsayısı -0.3 .

Rüzgarın çatı sırtına paralel etkideği ve iç basınç katsayısının +0,2 olduğu durumda hesaplanan rüzgar basınç dağılımı Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.42 : Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ ve iç basınç katsayısı +0,2.

Rüzgarın çatı sırtına paralel etkideği ve iç basınç katsayısının -0,3 olduğu durumda hesaplanan rüzgar basınç dağılımı Şekil 4.43’te verilmiştir.



Şekil 4.43 : Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ ve iç basınç katsayısı -0,3.

4.2.3 ASCE 7-05'e göre çözüm

Yapı tipine göre değişen rüzgar doğrultu katsayısı, K_d , Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çizelge göz önüne alınarak binalar için rüzgar doğrultu katsayısı 0,85 alınmıştır.

Bina veya diğer yapılar için yapı önem katsayısı, I , Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kategori II için rüzgar hızının 25m/sn olduğu durumda önem katsayısı 1,0 olarak alınmıştır.

Hız basıncı maruz kalma katsayısı, K_z Çizelge 3.3 yardımıyla belirlenir. 9,2 m yüksekliğinde ve C kategorisinde bulunan yapı için K_z değeri 0,98 olarak verilmiştir.

Rijit yapılar için rüzgar etkisi faktörü, G , değeri 0,85 olarak alınabilir.

$z = 7,9$ m yüksekliğindeki hız basıncı, q_z , aşağıdaki Eşitlik 3.27 ile hesaplanmalıdır.

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2I \quad (N/m^2)$$

$$q_z = 0,613.0,98.1,00.0,85.(25)^2.1,00 = 0,309 \text{ kN/m}^2 \quad (3.27)$$

Ortalama çatı yüksekliği, h , Eşitlik 3.28'de hesaplanmıştır.

$$h = 7,9 + \frac{\tan(5).15}{2} = 8,6 \text{ m} \quad (3.28)$$

Ortalama çatı yüksekliği $h = 8,6$ m için rüzgar basınç değeri Eşitlik 3.29'da hesaplanmıştır.

$$q_h = 0,613.0,97.1,00.0,85.(25)^2.1,00 = 0,316 \text{ kN/m}^2 \quad (3.29)$$

Yüksekliği bağılı olarak değişen K_z değerleri için farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı farklı değerleri Çizelge 4.20’de verilmiştir.

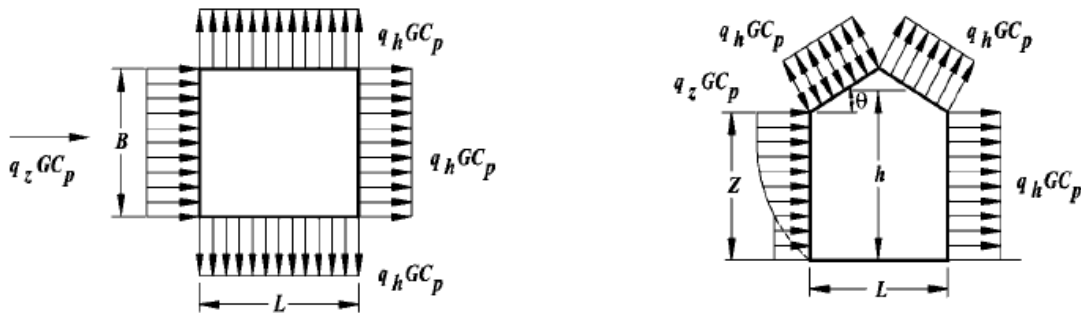
Çizelge 4.20 : Farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı değerleri.

Yükseklik m	K_z	q kN/m^2
0-4,6	0,85	q_z 0,277
6,1	0,9	q_z 0,293
7,6	0,94	q_z 0,306
7,9	0,95	q_z 0,309
8,6	0,97	q_h 0,316
9,1	0,98	q_z 0,319
9,2	0,98	q_z 0,319
12,2	1,04	q_z 0,339

4.2.3.1 Basınç ve kuvvet katsayıları

Yapı sınıfları için iç basınç katsayısı GC_{pi} , Çizelge 3.5’te verilmiştir. Kapalı yapılar için iç basınç katsayısı $\mp 0,18$ ‘dir.

Tonoz çatı için dış basınç dağılımı Şekil 4.44’te verilmiştir.



Şekil 4.44 : Tonoz çatı için dış basınç dağılımı.

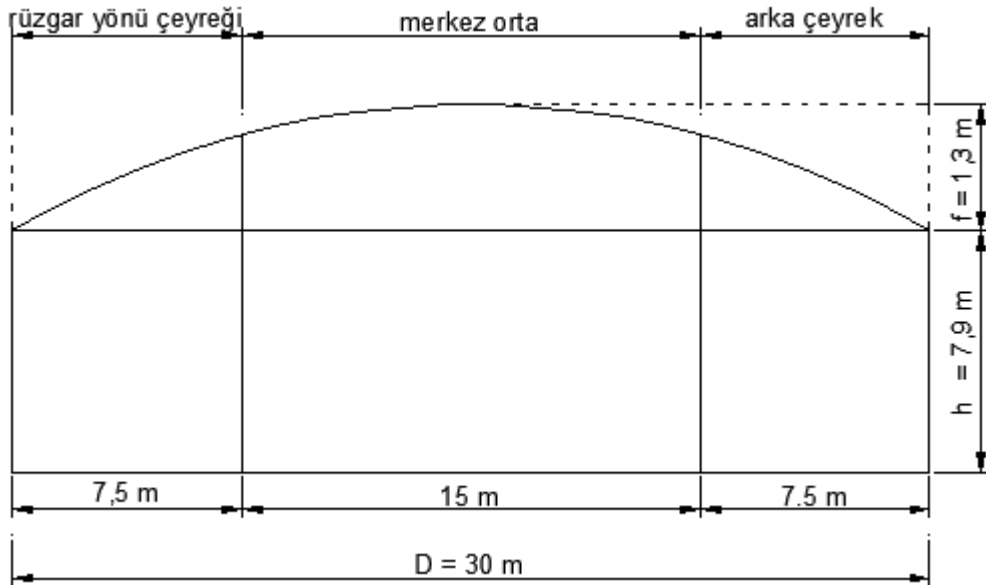
Kapalı veya kısmi kapalı yapıların duvarlarında MMFRS için dış basınç katsayıları, C_p , Çizelge 3.7’de verilmiştir. Duvarlar için basınç katsayıları L/B oranına bağlı olarak değişir. Hesaplanan yapı için $L/B=30/30=1$ ’dir. C_p değeri, rüzgara dik duvar için $+0,8$; arka duvar için $-0,5$; yan duvarlar için de $-0,7$ ’dir. Bu değerler Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21 : Duvarlar için dış basınç katsayısı, C_p .

Duvarlar	Rüzgar doğrultusu	L/B	C_p
Rüzgara dik duvar	Tüm	Tüm	$+0,8$
Arka duvar	Çatı sırtına dik ve paralel	1,00	$-0,5$
Yan duvarlar	Tüm	Tüm	$-0,7$

Kapalı veya kısmi kapalı yapıların çatısında MMFRS için dış basınç katsayıları, C_p , Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Tonoz çatılı yapılarda, dış basınç katsayısı tonozun yüksekliği ile açıklığa bağlıdır. Dış basınç katsayılarının tespit edilmesi için tonoz çatının 3 bölümden oluştuğu düşünülür. Bunlar; rüzgar yönü çeyreği, merkez orta ve arka çeyrek. Bölgeler Şekil 4.45’te gösterilmektedir.



Şekil 4.45 : Tonoz çatı için bölgeler.

Tonoz çatı için dış basınç katsayısı değerleri, C_p , Çizelge 4.22’de verilmiştir. Bu katsayılar sadece rüzgar yönü kemerlerin yönüne paralel olduğunda kullanılmaktadır.

Çizelge 4.22 : Çatı için dış basınç katsayısı değerleri.

Yükseklik-açıklık oranı, $r=f/D$	C_p		
	Rüzgar yönü çeyreği	Merkez ortası	Arka çeyrek
$0 < r = 0,04 < 0,2$	-0,9	$-0,7 - r = -0,74$	-0,5

Rüzgar yönünün kemer yönüne dik olduğu durumda Çizelge 3.8’den yararlanılır. h/L değeri $8,6/30 = 0,29$ olarak hesaplanmıştır. Bu orana ve $\theta = 5^\circ < 10^\circ$ olduğunda $h = 8,6$ m için C_p değeri Çizelge 4.23’te verilmiştir.

Çizelge 4.23 : Çatı için dış basınç katsayısı, C_p .

Çatı Sırtına	Rüzgara dik duvardan yatay mesafe	C_p	
Dik			
$\theta < 10^\circ$	0 – 4,3	-0,9	-0,18
ve $h/L < 0,5$	4,3 – 8,6	-0,9	-0,18
Çatı Sırtına	8,6 – 17,2	-0,5	-0,18
paralel	>17,2	-0,3	-0,18

4.2.3.2 Rüzgar basıncı hesabı

Tasarım rüzgar basınçları binaların yüksekliklerine bağlı olarak aşağıdaki Eşitlik 3.30 kullanılarak elde edilecektir.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (3.30)$$

Burada; G fırtına etkisi faktörü 0,85, q_i iç basınç ortalama çatı yüksekliğindeki basınca eşit ve $0,316 \text{ kN/m}^2$, GC_{pi} iç basınç katsayısı $\mp 0,18$ 'dir. q basınç değeri yüksekliğe bağlı olarak değişir. C_p dış basınç katsayısı rüzgarın geldiği yöne bağlı olarak duvarların konumuna göre değişir.

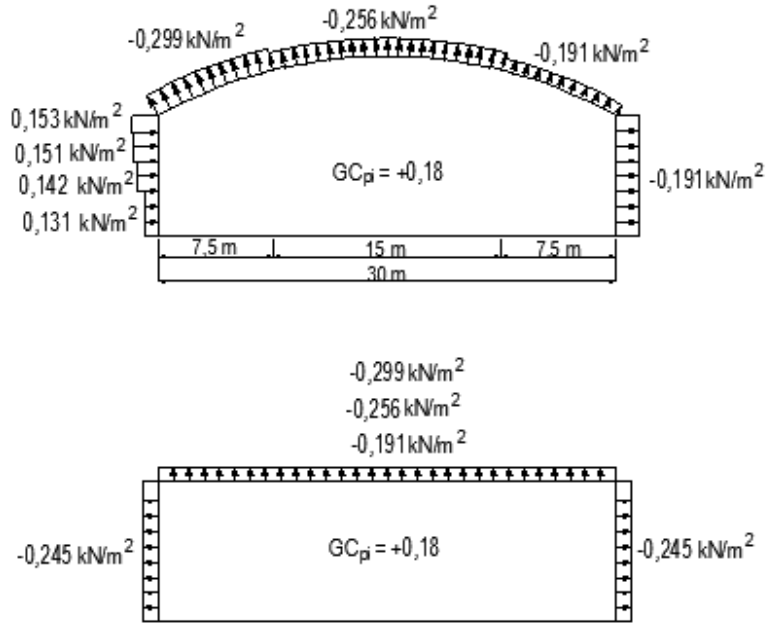
Rüzgarın çatı kemerleri yönünde geldiği durumda oluşan basınç değerleri Çizelge 4.24'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.24 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.

Yüzey	Yükseklik m	q kN/m ²	C_p	Net basınç, p	
				$GC_{pi} = +0,18$	$GC_{pi} = +0,18$
Rüzgara dik duvar	0-4,6	0,277	0,8	0,131	0,245
	6,1	0,293	0,8	0,142	0,256
	7,6	0,306	0,8	0,151	0,265
	7,9	0,309	0,8	0,153	0,267
Arka duvar	Tüm	0,316	-0,5	-0,191	-0,077
Yan duvarlar	Tüm	0,316	-0,7	-0,245	-0,131
Çatı	Rüzgar yönü	0,316	-0,9	-0,299	-0,185
	Merkez orta	0,316	-0,74	-0,256	-0,142
	Arka çeyrek	0,316	-0,5	-0,191	-0,077

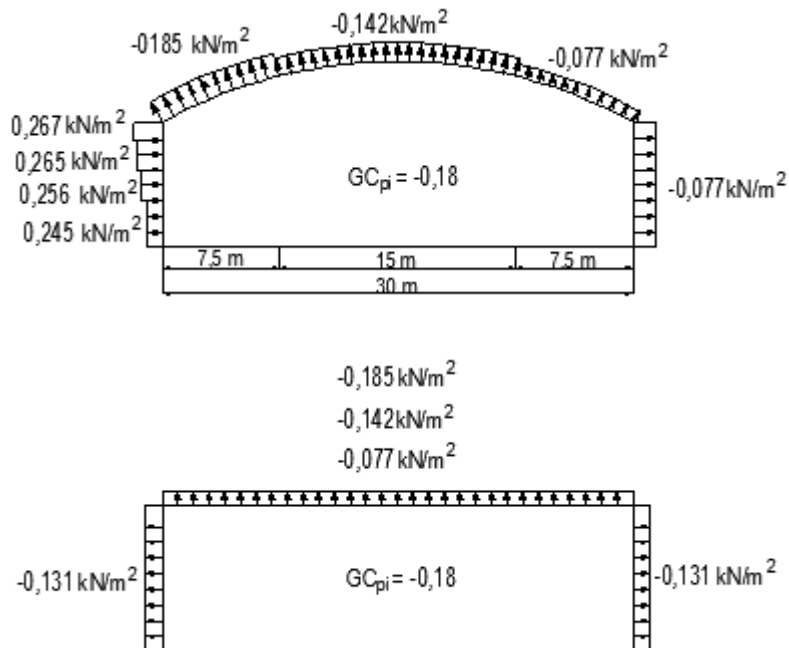
İç basınç katsayısı +0,18 ve -0,18 olduğunda taban kesme kuvveti $1,30 \text{ kN/m}$ olarak hesaplanmıştır.

Rüzgarın çatı sırtına dik geldiğinde iç basıncın pozitif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.46’da verilmiştir.



Şekil 4.46 : Rüzgar basınç dağılımı.

Rüzgarın çatı sırtına dik geldiğinde iç basıncın negatif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.47’de verilmiştir.



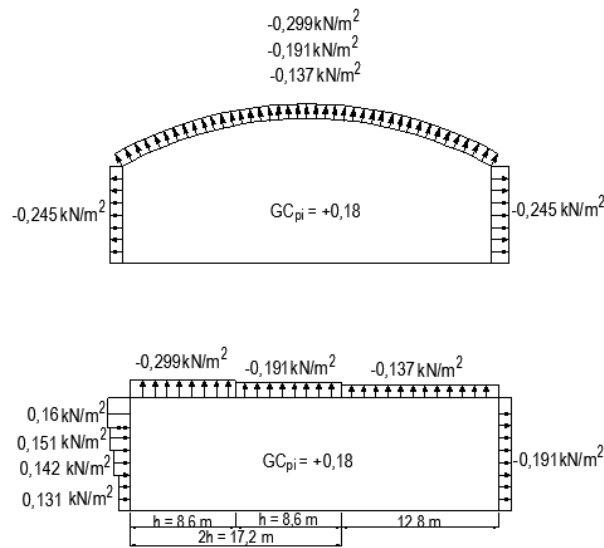
Şekil 4.47 : Rüzgar basınç dağılımı.

Rüzgarın çatı kemerlerine dik geldiği durumda oluşan basınç değerleri Çizelge 4.25'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.25 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.

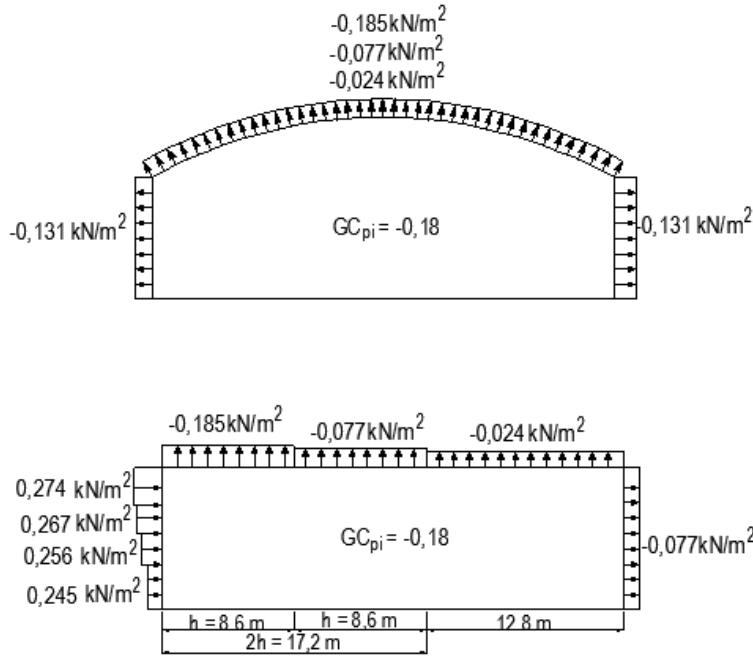
Yüzey	Yükseklik m	q kN/m ²	C _p	Net basınç, p	
				GC _{pi} = +0,18	GC _{pi} = +0,18
Rüzgara dik duvar	0-4,6	0,277	0,8	0,131	0,245
	6,1	0,293	0,8	0,142	0,256
	7,6	0,306	0,8	0,151	0,265
	7,9	0,309	0,8	0,153	0,267
	8,6	0,316	0,8	0,158	0,272
	9,1	0,319	0,8	0,16	0,274
	9,2	0,319	0,8	0,16	0,274
	12,2	0,339	0,8	0,174	0,287
Arka duvar	Tüm	0,316	-0,5	-0,191	-0,077
Yan duvarlar	Tüm	0,316	-0,7	-0,245	-0,131
Çatı	0 - h	0,316	-0,9	-0,299	-0,185
	h - 2h	0,316	-0,5	-0,191	-0,077
	>2h	0,316	-0,3	-0,137	-0,024

Rüzgarın çatı sırtına paralel geldiği ve iç basıncın pozitif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.48 : Rüzgar basınç dağılımı.

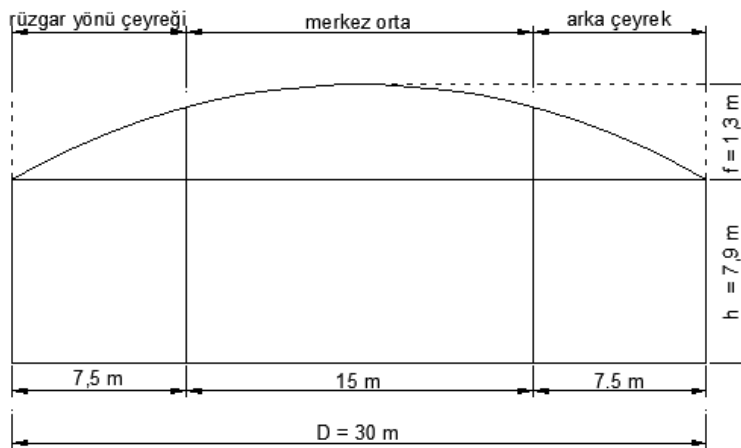
Rüzgarın çatı sırtına paralel geldiğinde iç basıncın negatif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.49 : Rüzgar basınç dağılımı.

4.2.4 Örnek 2 için sonuçların karşılaştırılması

Tonoz çatılı yapılar için ASCE 7-05 ve Eurocode 1’de çatı aynı şekilde bölümlere ayrılmıştır. Bu bölgeler Şekil 4.50’de verilmiştir.



Şekil 4.50 : Tonoz çatı için bölgeler.

Eurocode 1’de dış basınç katsayısı f/d oranına bağlıdır ve grafikten okunarak elde edilir. A bölgesi için katsayının bulunmasında h/d oranı önem taşır. Hesaplanan bu

yapı için grafik çok net olmadığı için f/d oranına karşılık gelen iki farklı değerden daha olumsuz olanına karar verilmiştir.

ASCE 7-05’de ise hesaplamalar daha yalın ve açık olarak verilmiştir. Her iki standard için dış basınç değerleri birbirine çok yakın olup Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.26 : Tonoz çatı için ASCE 7-05 ve Eurocode 1’e göre dış basınç katsayıları.

Bölge	Rüzgar yönü	Merkez orta	Arka çeyrek
	A	B	C
Eurocode	-0,9	-0,75	-0,6
Asce	-0,9	-0,74	-0,5

Dış basınç katsayılarının birbirine çok yakın olmasına rağmen Eurocode 1’de net basınç değerleri ASCE 7-05’den daha büyüktür. Her iki yönetmelik için de iç basıncın negatif olduğu durumda elde edilen net basınç değerleri iç basıncın pozitif olduğu durumdan daha düşüktür. Tonoz çatı için net basınç değerleri Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27 : Tonoz çatı için ASCE 7-05 ve Eurocode 1’e göre net basınç değerleri.

Yüzey	Bölge	ASCE'ye göre		Eurocode'a göre	
		Net basınç, p		Net basınç, p (D Bölgesi)	
		iç basınç	iç basınç	iç basınç	iç basınç
		+0,18	-0,18	+0,2	-0,3
	Rüzgar yönü (A)	-0,299	-0,185	-0,98	-0,54
Çatı	Merkez orta (B)	-0,256	-0,142	-0,85	-0,4
	Arka çeyrek (C)	-0,191	-0,077	-0,71	-0,27

4.3 Örnek 3

Çok katlı olarak nitelendirilen bu yapı için Eurocode 1 ve ASCE 7-05'e göre yapıya etkiyen rüzgar yükleri açısından incelenmiştir.

4.3.1 Yapı özellikleri

Çok katlı bir yapı olarak tasarlanan binanın boyutları Şekil 4.51'de gösterilmiştir.



Şekil 4.51 : Yapının boyutları.

4.3.2 Eurocode 1'e göre çözüm

Eşitlik 4.31 yardımıyla esas rüzgar hızının temel değeri hesaplanabilir. Esas rüzgâr hızının temel değeri $v_{b,0}$ 25 m/s olarak alınmıştır. Farklı rüzgâr yönleri için doğrultu katsayısı c_{dir} ve mevsim katsayısı c_{season} tavsiye edilen değer olan 1,0 alınmıştır.

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1 \times 1 \times 25 = 25 \text{ m/s} \quad (4.31)$$

z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değışikliklerini içeren tepe rüzgâr basıncı q_p Eşitlik 4.32 yardımıyla belirlenmektedir. ρ için kullanılacak değerler tavsiye edilen değer olan $1,25 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390.625 \text{ N/m}^2 \quad (4.32)$$

$q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

Ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$ Eşitlik 4.33 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{o(z)} \cdot v_b \quad (4.33)$$

Esas rüzgâr hızı hesabında orografi dikkate alınırsa orografi katsayısı $c_{o(z)}$ için tavsiye edilen değer 1,0'dır.

z metre yükseklikteki engebililik katsayısı $c_{r(z)}$, nın hesaplanması için tavsiye edilen işlem Eşitlik 4.34'te verilmiştir.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (4.34)$$

$$z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$2 \text{ m} \leq z = 9,2 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$ olduğundan engebililik katsayısı Eşitlik 4.35'teki gibi hesaplanır.

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,u}}\right)^{0,07}$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19 \quad (4.35)$$

k_r yerine koyulursa;

$$c_r(z) = 0,19 \times \ln\frac{100}{0,05} = 1,44 \quad (4.36)$$

Buna bağılı olarak ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$ Eşitlik 4.37'deki gibi hesaplanır.

$$v_{m(z)} = 1,44 \cdot 1,00 \cdot 25 = 36 \text{ m/s} \quad (4.37)$$

z metre yükseklikteki türbülans şiddeti $I_v(z)$, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgâr hızına oranı olarak tanımlanmıştır ve Eşitlik 4.38 yardımıyla hesaplanır.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.38)$$

k_I türbülans faktörü ve orografi katsayısı $c_o(z)$ için tavsiye edilen değer 1,0'dır. Türbülans şiddeti $I_v(z)$ Eşitlik 4.39'daki gibi hesaplanır.

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{100}{0,05}\right)} = 0,13 \quad (4.39)$$

Tepe rüzgâr basıncı $q_p(z)$ Eşitlik 4.40'daki gibi belirlenmelidir.

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.40)$$

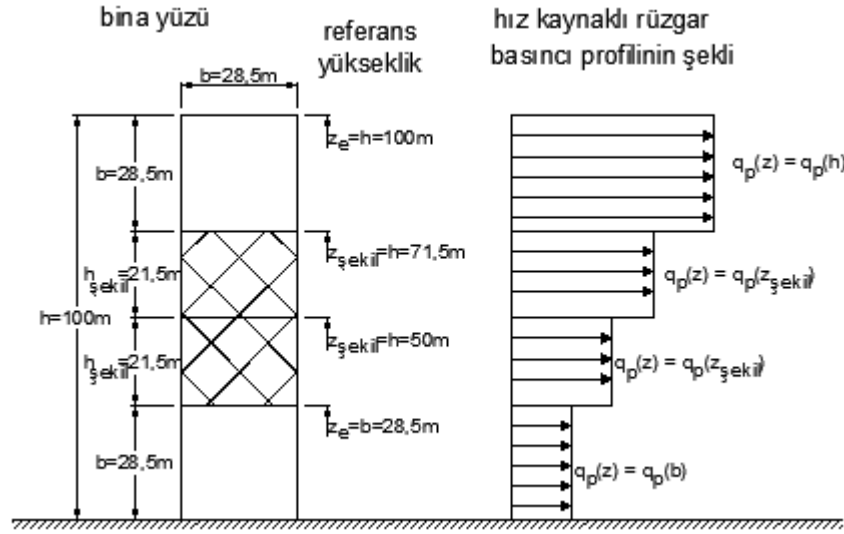
Eşitlikte değerler yerine konulursa;

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0,13) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot (36)^2 = 1,56 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

4.3.2.1 Yapının düşey duvarlarına etkiyen rüzgâr yükü

Dikdörtgen planlı yapıda rüzgârın yaklaştığı yöndeki duvarları için referans yükseklikleri her zaman duvarların değişik kısımlarındaki en büyük yüksekliklere eşittir. Bu durumda referans yüksekliği $z_e = 100$ m olarak alınır. h yüksekliği (100 m) $2b$ 'den büyük olan bir bina, yer seviyesinden b yüksekliğine kadar olan alt bölümü; binanın en üstünden aşağıya doğru b yüksekliği kadar uzanan üst bölümü ve üst ve alt bölümlerin arasında Şekil 2.78'de gösterildiği gibi h_{strip} yüksekliğinde yatay şeritlere bölünebilen orta bölümü içeren çok parçalı bina olarak değerlendirilebilir.

Rüzgar 28,5 m uzunluğundaki duvara dik estiğinde hız kaynaklı rüzgar basınç profilinin şekli Şekil 4.52’de gösterilmiştir.



Şekil 4.52 : Duvarlara etkiyen rüzgar basınç profili.

Şekil 2.58’de gösterilen yüksekliğe bağlı olarak belirlenen rüzgar basınçları $q_p(100)$, $q_p(83,5)$ ve $q_p(16,5)$ için Eşitlik 4.52 kullanılır.

Eşitlik 4.52’da Eşitlik 4.50 ve Eşitlik 4.45’te yerine yazılır. Eşitlik 4.53 yardımıyla istenen rüzgar basınçları hesaplanabilir.

$$q_p(z) = \left(1 + 7 \cdot \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot c_o(z) \cdot v_b\right)^2 \quad (4.53)$$

Değişik yüksekliklerdeki tepe rüzgar basınçları Eşitlik 2.112’de görüldüğü gibidir.

$$q_p(16,5) = \left(1 + 7 \cdot \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{16,5}{0,05}\right)}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot \left(0,19 \cdot \ln\left(\frac{16,5}{0,05}\right) \cdot 1,00 \cdot 25\right)^2 = 1,05$$

$$q_p(83,5) = \left(1 + 7 \cdot \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{83,5}{0,05}\right)}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot \left(0,19 \cdot \ln\left(\frac{83,5}{0,05}\right) \cdot 1,00 \cdot 25\right)^2 = 1,51 \quad (4.54)$$

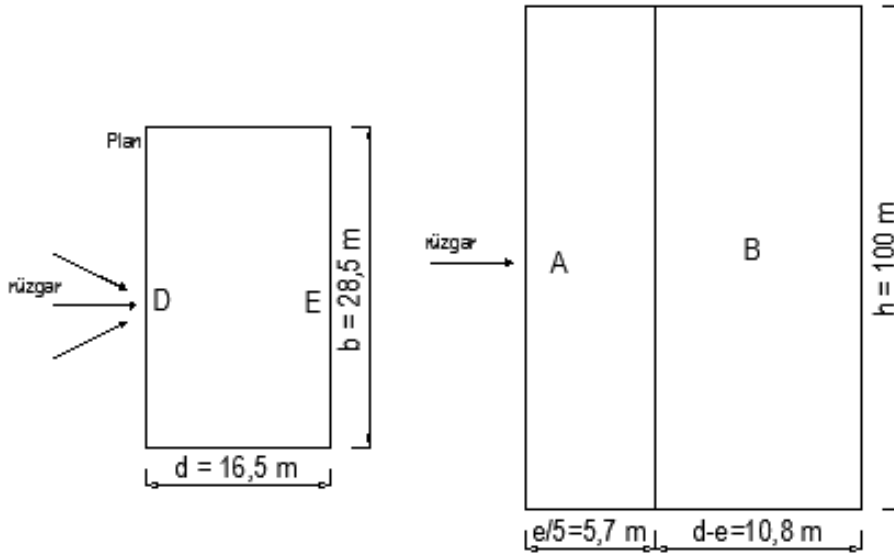
Ara yükseklikler için tepe rüzgar basınçları Çizelge 4.28’te verilmiştir.

Çizelge 4.28 : Yüksekliğe bağlı olarak hesaplanan rüzgar basınçları.

z yükseklik	$q_p(z)$ (kN/m ²)
28,5 m	1,19
30,5 m	1,21
36,6 m	1,26
42,7 m	1,31
48,8 m	1,35
54,6 m	1,38
61,0 m	1,41
71,2 m	1,46
100 m	1,56

$e = \min (b;2h) = b = 28,5 \text{ m}$ olarak hesaplanır.

$e = 28,5 \text{ m}$ ve $d = 16,5 \text{ m}$ ise $e > d$ durumu için A ve B bölgeleri Şekil 4.53’te görüldüğü şekildedir.



Şekil 4.53 : Rüzgârın 28,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumu için bölgeler.

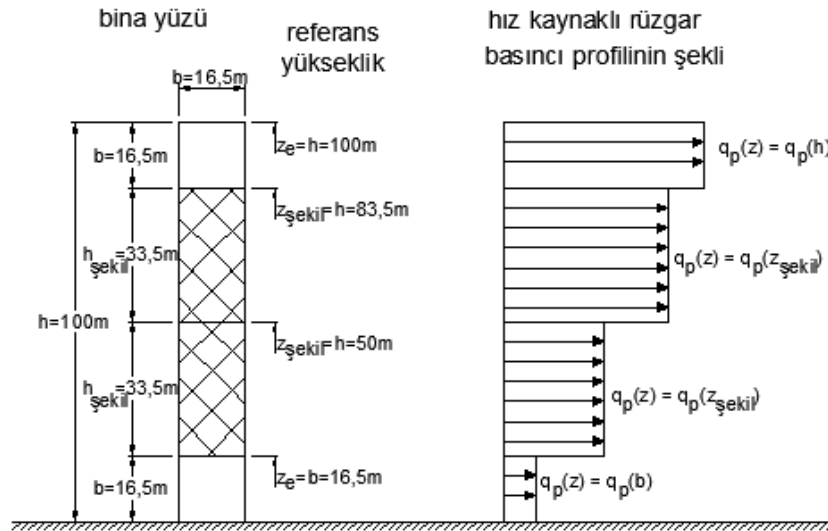
A, B, C, D ve E Bölgeleri için dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ h/d oranına bağlıdır.

h/d değeri yapı için $100 / 16,5 = 6,06$ olarak bulunur. h/d oranına bağlı dış basınç katsayısı en yüksek değer olan 5'e eşit olarak alınır. Değerler Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29 : Rüzgârın 28,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda c_{pe} katsayısı.

Bölge	A		B		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
6,06	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,8	+1,0	-0,7	

Rüzgârın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik estiğinde hız kaynaklı rüzgar basınç profilinin şekli Şekil 4.54'te gösterilmiştir.



Şekil 4.54 : Duvarlara etkiyen rüzgar basınç profili.

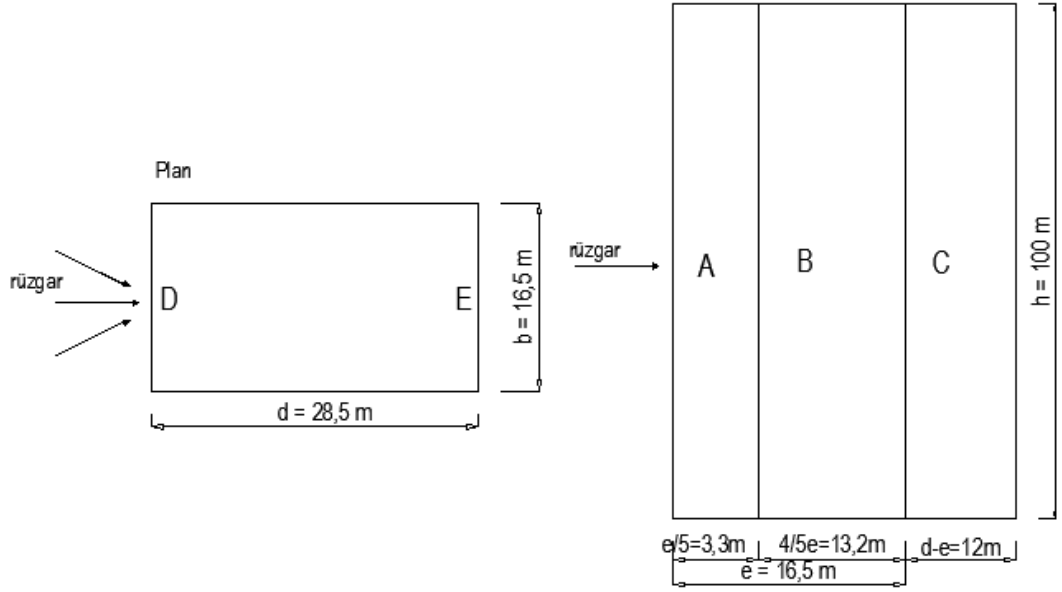
Ara yükseklikler için tepe rüzgar basınçları Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30 : Yüksekliğe bağlı olarak hesaplanan rüzgar basınçları.

z yükseklik	$q_p(z)$ (kN/m^2)
16,5 m	1,05
18,0 m	1,07
21,3 m	1,11
24,4 m	1,15
27,4 m	1,18
30,5 m	1,21
36,6 m	1,26
42,7 m	1,31
48,8 m	1,35
54,6 m	1,38
61,0 m	1,41
76,2 m	1,48
83,5 m	1,51
100 m	1,56

$e = \min (b; 2h) = b = 16,5 \text{ m}$ olarak hesaplanır.

$e = 16,5 \text{ m}$ ve $d = 28,5 \text{ m}$ ise $e \leq d$ durumu için A, B, C bölgeleri Şekil 4.55’te görüldüğü şekildedir.



Şekil 4.55 : Rüzgârın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumu için bölgeler.

A, B, C, D ve E Bölgeleri için dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ h/d oranına bağlıdır.

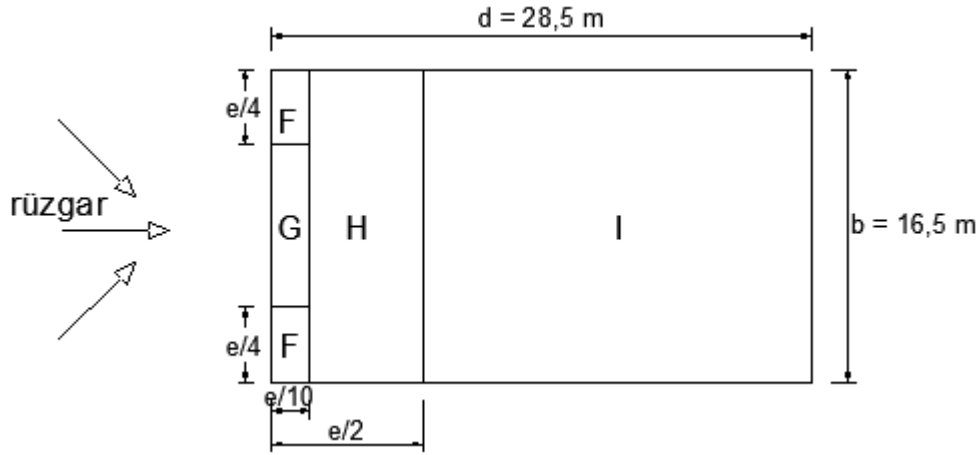
h/d değeri yapı için $100 / 28,5 = 3,5$ olarak bulunur. h/d oranına bağlı dış basınç katsayıları 3,5 gibi bir ara değerler Çizelge 4.31’de görüldüğü gibi doğrusal interpolasyon yapılarak bulunabilir.

Çizelge 4.31 : Rüzgârın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumda c_{pe} katsayısı.

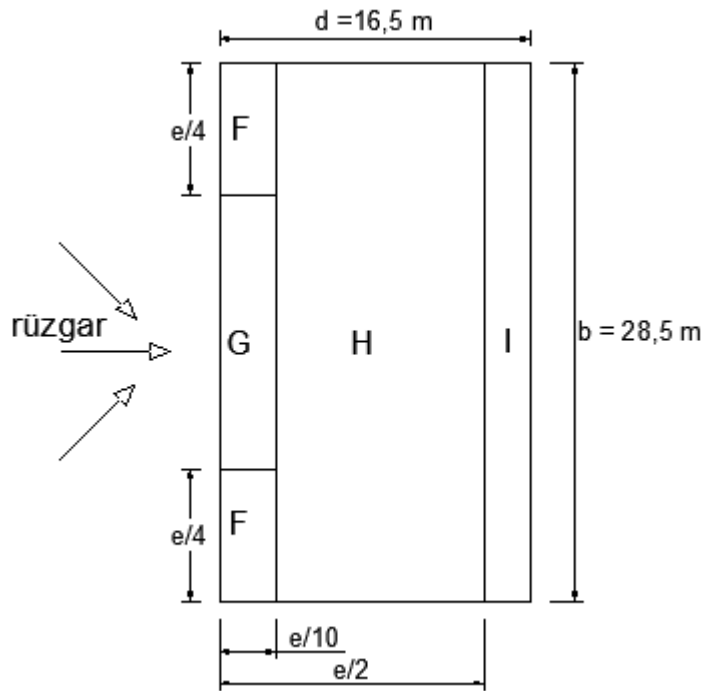
Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
3,5	-1,2	-0,8	-0,5	+0,8	-0,6

4.3.2.2 Çatı için basınç katsayılarının hesaplanması

Eğimi (α), $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$ olan çatılar düz çatı olarak tanımlanır. Eğimi $\alpha = 0^\circ$ olan düz çatılı bina parapetli olarak tasarlanmıştır. Parapetli düz çatılar için referans yükseklik $h + h_p$ olarak alınmalıdır. Düz çatı için bölgeler Şekil 4.56 ve Şekil 4.57’de verilmiştir.



Şekil 4.56 : Rüzgârın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumu için bölgeler.



Şekil 4.57 : Rüzgârın 28,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumu için bölgeler.

F, G, H ve I bölgeleri için dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ h_p/h oranına bağlıdır. h_p/h oranına bağlı dış basınç katsayıları 0,03 gibi bir ara değerler Çizelge. 4.32’de görüldüğü gibi doğrusal interpolasyon yapılarak bulunabilir.

Çizelge 4.32 : Bölgeler için c_{pe} katsayısı.

Çatı tipi	Bölge			
	F	G	H	I
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
Parapetli $h_p/h=0,03$	-1,6	-1,1	-0,7	0,2 -0,2

İç basınç katsayısı, bina içinde açıklıkların dağılımına ve boyutunu bağlıdır. Bu örnek için de binanın geçirgenliğini ve açılış oranını tahmin etmek mümkün değildir. Bu nedenle c_{pi} değeri +0,2 veya -0,3 olarak alınmalıdır. Bu durumda c_{pi} için sakıncalı durum olan +0,2 değerinin alınması daha uygun olacaktır.

4.3.2.3 Yüzeylerdeki rüzgar basıncının hesaplanması

Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı w_e , Eşitlik 4.55 kullanılarak hesaplanır.

$$w = q_p(z) \cdot (c_{pe} + c_{pi})$$

$$w = q_p(z) \cdot (c_f + c_{pi}) \quad (4.55)$$

Burada;

- $q_p(z_e)$ Tepe rüzgâr basıncı,
- z_e dış basınç için referans yükseklik,
- c_{pe} iç basınç için verilen basınç katsayısıdır.
- c_{pi} iç basınç için hesaplanan basınç katsayısıdır.
- c_f yapı veya yapısal eleman için kuvvet katsayısı,

Rüzgâr 28,5 m uzunluğundaki duvara dik geldiği ve iç basınç katsayısının +0,2 ve -0,3 olduğu durumda F, G H, I, A, B, C, D ve E bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı Çizelge 4.33 ve 4.34’te verilmiştir.

Çizelge 4.33 : Duvarlarda bölgeler için rüzgar basınçları.

Bölgeler	yükseklikler (m)	qp(z)	cpe	Rüzgar Basıncı	
				cpi = +0,2	cpi = -0,3
A	Tüm	1,56	-1,2	-2,18	-1,40
B	Tüm	1,56	-0,8	-1,56	-0,78
D	28,5	1,19	0,80	0,72	1,31
	30,5	1,21		0,73	1,33
	36,6	1,26		0,76	1,39
	42,7	1,31		0,79	1,44
	48,8	1,35		0,81	1,48
	54,6	1,38		0,83	1,52
	61	1,41		0,85	1,56
	71,2	1,46		0,88	1,61
	100	1,56		0,94	1,72
E	Tüm	1,56	-0,6	-1,25	-0,47

İç basınç +0,2 olduğunda taban kesme kuvveti 104,02kN/m, -0,3 olduğuna ise 82,55kN/m olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.34 : Bölgeler için rüzgar basınçları.

Bölgeler	qp(z)	cpe	Rüzgar Basıncı	
			cpi = +0,2	cpi = -0,3
F	1,56	-1,6	-2,81	-2,03
G	1,56	-1,1	-2,03	-1,25
H	1,56	-0,7	-1,40	-0,62
I	1,56	-0,2	-0,62	0,16

Rüzgâr 16,5 m uzunluğundaki duvara dik geldiği ve iç basınç katsayısının +0,2 ve -0,3 olduğu durumda F, G H, I, A, B, C, D ve E bölgeleri için 100m, 83,5m, 50m ve 16,5m yükseklikleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı Çizelge 4.35 ve 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.35 : D bölgesi için rüzgar basınçları.

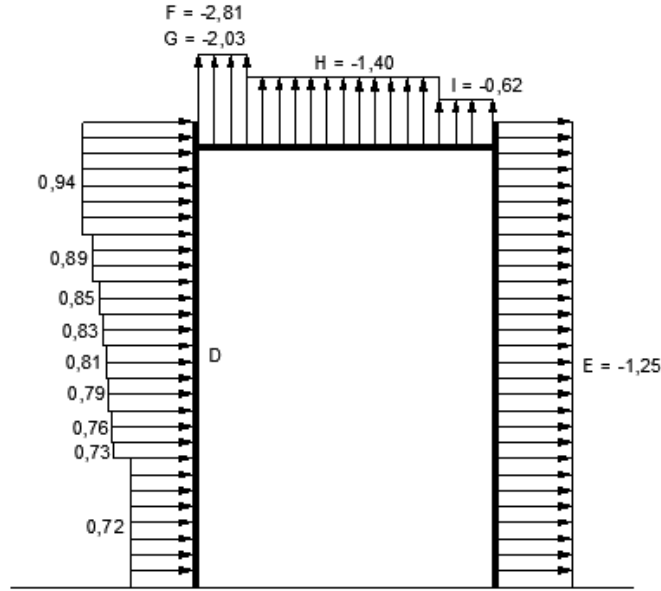
Bölgeler	yükseklikler (m)	$q_p(z)$	c_{pe}	Rüzgar Basıncı	
				$c_{pi} = +0,2$	$c_{pi} = -0,3$
A	Tüm	1,56	-1,2	-2,18	-1,40
B	Tüm	1,56	-0,8	-1,56	-0,78
C	Tüm	1,56	-0,5	-1,09	-0,31
D	16,5	1,05	0,8	0,63	1,15
	18,0	1,07		0,64	1,18
	21,3	1,11		0,67	1,23
	24,4	1,15		0,69	1,27
	27,4	1,18		0,71	1,30
	30,5	1,21		0,73	1,33
	36,6	1,26		0,76	1,39
	42,7	1,31		0,79	1,44
	48,8	1,35		0,81	1,48
	54,6	1,38		0,83	1,52
	61	1,41		0,85	1,56
	76,2	1,48		0,89	1,63
	83,5	1,51		0,91	1,66
	100,0	1,56		0,94	1,72
E	Tüm	1,56	-0,7	-1,40	-0,62

İç basınç katsayısı +0,2 olduğunda taban kesme kuvveti 110,31kN/m, -0,3 olduğuna ise 104,78kN/m olarak hesaplanmıştır.

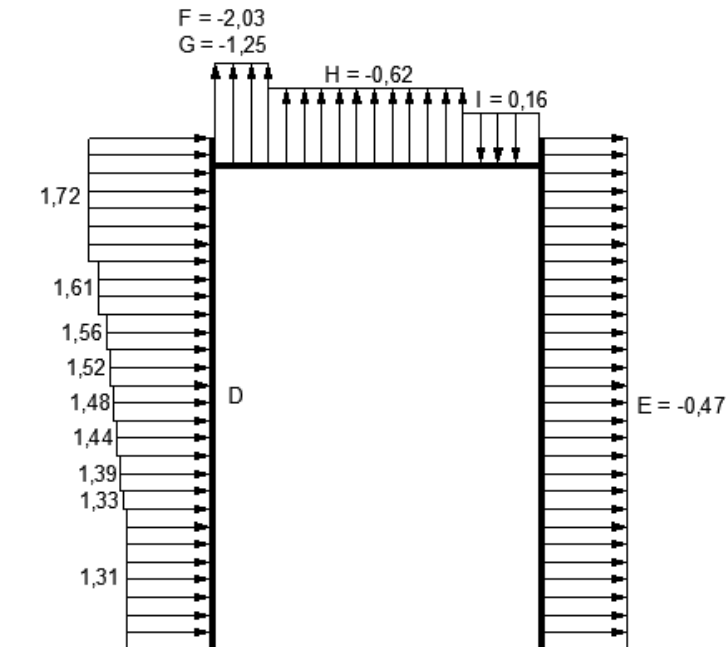
Çizelge 4.36 : Bölgeler için rüzgar basınçları.

Bölgeler	$q_p(z)$	c_{pe}	Rüzgar Basıncı	
			$c_{pi} = +0,2$	$c_{pi} = -0,3$
F	1,56	-1,6	-2,81	-2,03
G	1,56	-1,1	-2,03	-1,25
H	1,56	-0,7	-1,40	-0,62
I	1,56	-0,2	-0,62	0,16

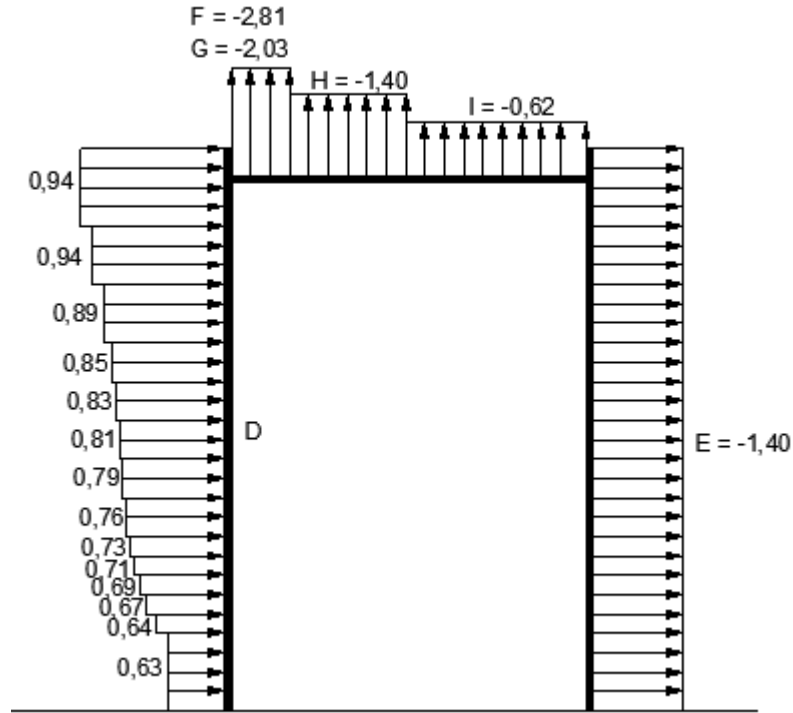
Hesaplanan değerlerin rüzgar yönüne ve iç basıncın negatif ya da pozitif olmasına bağlı olarak en uygunsuz durum kombinasyonları Şekil 4.58, Şekil 4.59, Şekil 4.60 ve Şekil 4.61’de görüldüğü gibidir.



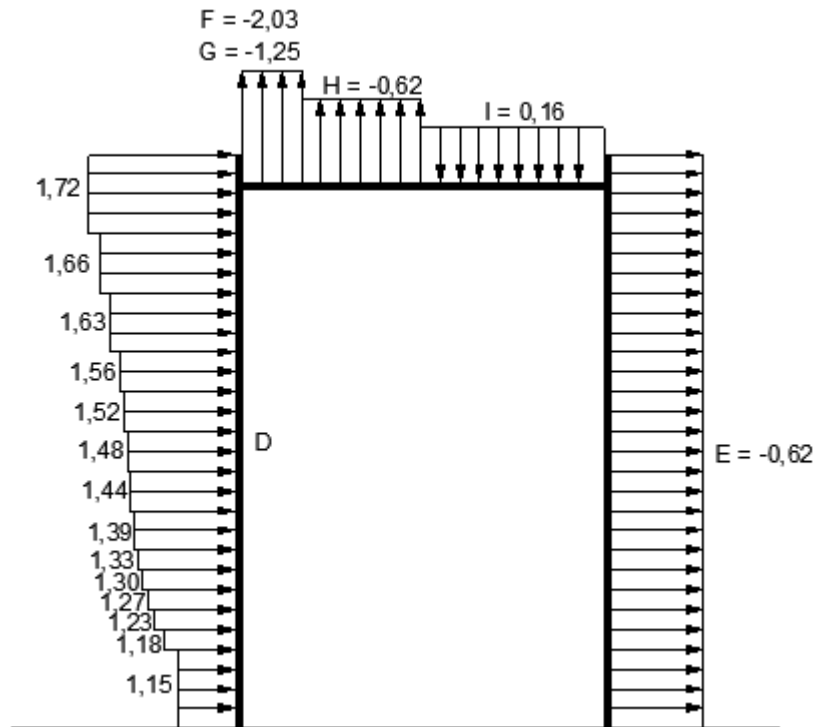
Şekil 4.58 : Rüzgâr 28,5 m uzunluğundaki duvara dik ve iç basınç katsayısı +0,2 için rüzgar basınç dağılımı.



Şekil 4.59 : Rüzgâr 28,5 m uzunluğundaki duvara dik ve iç basınç katsayısı -0,3 için rüzgar basınç dağılımı.



Şekil 4.60 : Rüzgâr 16,5 m uzunluğundaki duvara dik ve iç basınç katsayısı +0,2 için rüzgar basınç dağılımı.



Şekil 4.61 : Rüzgâr 16,5 m uzunluğundaki duvara dik ve iç basınç katsayısı -0,3 için rüzgar basınç dağılımı.

4.3.3 ASCE 7-05'e göre çözüm

Yapı tipine göre değişen rüzgar doğrultu katsayısı, K_d , Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çizelge göz önüne alınarak binalar için rüzgar doğrultu katsayısı 0,85 alınmıştır.

Bina veya diğer yapılar için yapı önem katsayısı, I , Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kategori II için rüzgar hızının 25m/sn olduğu durumda önem katsayısı 1,0 olarak alınmıştır.

100 m yüksekliğinde ve C kategorisinde bulunan yapı için K_z değeri 1,62 olarak alınmıştır.

Rijit yapılar için rüzgar etkisi faktörü, G , Eşitlik 4.56 kullanılarak hesaplanabilir.

$$G = 0,925 \left(\frac{1+1,7g_Q I_z Q}{1+1,7g_Q I_z} \right) \quad (4.56)$$

Yapının eşdeğer yüksekliği, $\bar{z}$, yapının yüksekliğinin %60'ı olarak tanımlanır ($\bar{z} = 0,6h = 0,6.100 = 60$ m). g_Q zemin tepkisi için zirve faktörü ve g_v rüzgara karşı gelen zirve faktörü için tavsiye edilen değer 3,4'tür. Türbülans yoğunluğu faktörü, c , her bölge için Çizelge 4.37'den alınır.

Çizelge 4.37 : Bölgeler için parametreler.

Bölge	α	c	$l(m)$	$\bar{\epsilon}$
C	9,50	0,20	152,40	1/5,0

$\bar{z}$ yüksekliğindeki türbülansyoğunluğu, I_z , Eşitlik 4.57 kullanılarak hesaplanır.

$$I_z = c \left(\frac{10}{\bar{z}} \right)^{1/6} = 0,20 \left(\frac{10}{60} \right)^{1/6} = 0,15 \quad (4.57)$$

Türbülans uzunluğu Eşitlik 4.58 yardımıyla hesaplanır.

$$L_z = l \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}} = 152,40 \left(\frac{60}{10} \right)^{1/5} = 218,08 \quad (4.58)$$

Arka plan tepkisi, Q , Eşitlik 4.59 ve 4.50 yardımıyla hesaplanır. Burada, B ve h yapı boyutları, L_z ise türbülans uzunluğu olarak tanımlanır. B değeri rüzgar yönüne bağlı olarak değişir.

Rüzgarın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik geldiği durumda B değeri 16,5 m olarak alınır.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1+0,63\left(\frac{B+h}{L_z}\right)^{0,63}}} = \sqrt{\frac{1}{1+0,63\left(\frac{16,5+100}{218,08}\right)^{0,63}}} = 0,87 \quad (4.59)$$

Rüzgarın 28,5 m uzunluğundaki duvara dik geldiği durumda B değeri 28,5 m olarak alınır.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1+0,63\left(\frac{B+h}{L_z}\right)^{0,63}}} = \sqrt{\frac{1}{1+0,63\left(\frac{28,5+100}{218,08}\right)^{0,63}}} = 0,85 \quad (4.60)$$

Her iki rüzgar yönü için fırtına etkisi faktörü, G Eşitlik 4.61’de verilmiştir.

$$G = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7g_Q I_z Q}{1 + 1,7g_Q I_z} \right) = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 \cdot 3,4 \cdot 0,15 \cdot 0,87}{1 + 1,7 \cdot 3,4 \cdot 0,15} \right) = 0,87$$

$$G = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7g_Q I_z Q}{1 + 1,7g_Q I_z} \right) = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 \cdot 3,4 \cdot 0,15 \cdot 0,85}{1 + 1,7 \cdot 3,4 \cdot 0,15} \right) = 0,86 \quad (4.61)$$

4.3.3.1 Rüzgar hız basıncı

z = 100 m yüksekliğindeki hız basıncı, q_z, aşağıdaki Eşitlik 4.62 ile hesaplanmalıdır.

$$q_z = 0,613K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (N/m^2)$$

$$q_z = 0,613 \cdot 1,62 \cdot 1,00 \cdot 0,85 \cdot (25)^2 \cdot 1,00 = 0,528 \text{ kN/m}^2 \quad (4.62)$$

Ortalama çatı yüksekliği h = 100 m için rüzgar basınç değeri Eşitlik 4.63’te hesaplanmıştır.

$$q_h = 0,613 \cdot 1,62 \cdot 1,00 \cdot 0,85 \cdot (25)^2 \cdot 1,00 = 0,528 \text{ kN/m}^2 \quad (4.63)$$

Yüksekliği bağılı olarak değişen K_z değerleri için farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı farklı değerleri Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38 : Farklı yüksekliklerdeki q rüzgar basıncı değerleri.

Yükseklik m	K_z	q kN/m^2
0-4,6	0,85	q_z 0,277
6,1	0,9	q_z 0,293
7,6	0,94	q_z 0,306
9,1	0,98	q_z 0,319
12,2	1,04	q_h 0,339
15,2	1,09	q_z 0,355
18	1,13	q_z 0,368
21,3	1,17	q_h 0,381
24,4	1,21	q_z 0,394
27,4	1,24	q_z 0,404
30,5	1,26	q_h 0,410
36,6	1,31	q_z 0,427
42,7	1,36	q_z 0,443
48,8	1,39	q_h 0,453
54,9	1,43	q_z 0,466
61	1,46	q_z 0,475
76,2	1,53	q_h 0,498
91,4	1,59	q_z 0,518
100	1,62	q_z 0,528

4.3.3.2 Basınç ve kuvvet katsayıları

Yapı sınıfları için iç basınç katsayısı GC_{pi} , Çizelge 3.5’te verilmiştir. Kapalı yapılar için iç basınç katsayısı $\mp 0,18$ ‘dir.

Duvarlar için basınç katsayıları L/B oranına bağılı olarak değişir. Rüzgarın 16,5m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda $L/B=16,5/28,5=0,58$ ’dir. Rüzgarın

28,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda $L/B=28,5/16,5=1,73$ 'dür. C_p değerleri her durum için Çizelge 4.39'da verilmiştir.

Çizelge 4.39 : Duvarlar için dış basınç katsayısı, C_p .

Duvarlar	Rüzgar doğrultusu	L/B	C_p
Rüzgara dik duvar	Tüm	Tüm	+0,8
Arka duvar	16,5 m'lik duvara dik	0,58	-0,5
	28,5 m'lik duvara dik	1,73	-0,45
Yan duvarlar	Tüm	Tüm	-0,7

h/L değeri rüzgarın 16,5m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda $100/16,5=6,06$ olarak hesaplanmıştır.

Rüzgarın 28,5m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda ise $100/28,5=3,5$ 'dir.

Bu orana ve $\theta < 10^\circ$ olduğunda $h=100$ m için C_p değeri Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.40 : Çatı için dış basınç katsayısı, C_p .

$\theta < 10^\circ$	$h/L \geq 1$	Rüzgara dik duvardan yatay mesafe	C_p	Azaltma katsayısı	Net C_p
	6,06	0- 16,5 m	-1,3	0,8	-1,04
	3,5	0-28,5 m	-1,3	0,8	-1,04

4.3.3.3 Rüzgar basıncı hesabı

Tasarım rüzgar basınçları binaların yüksekliklerine bağlı olarak aşağıdaki Eşitlik 4.64 kullanılarak elde edilecektir.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (4.64)$$

Burada; G fırtına etkisi faktörü 0,87 ve 0,86, q_i iç basınç çatı yüksekliğindeki basınca eşit ve $0,528 \text{ kN/m}^2$, GC_{pi} iç basınç katsayısı $\mp 0,18$ 'dir.

q basınç değeri yüksekliğe bağlı olarak değişir. C_p dış basınç katsayısı rüzgarın geldiği yöne bağlı olarak duvarların konumuna göre değişir.

Rüzgarın 16,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda oluşan basınç değerleri Çizelge 4.41’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.41 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.

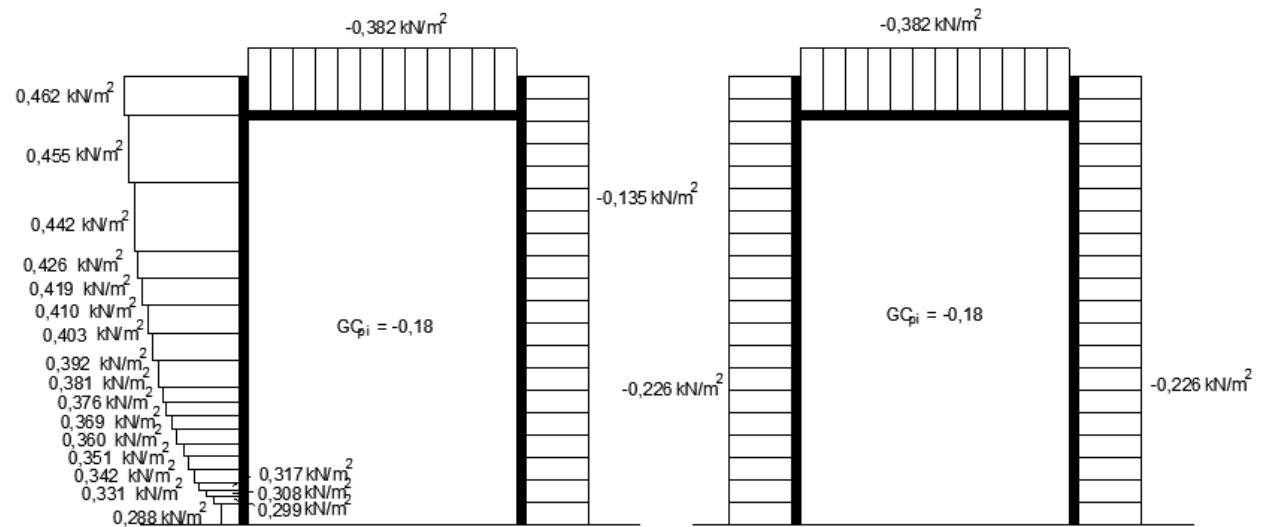
Yüzey	Yükseklik m	q kN/m ²	G	C _p	Net basınç, p	
					GC _{pi} = +0,18	GC _{pi} = -0,18
Rüzgara dik duvar	0-4,6	0,277	0,87	0,8	0,098	0,288
	6,1	0,293	0,87	0,8	0,109	0,299
	7,6	0,306	0,87	0,8	0,118	0,308
	9,1	0,319	0,87	0,8	0,127	0,317
	12,2	0,339	0,87	0,8	0,141	0,331
	15,2	0,355	0,87	0,8	0,152	0,342
	18	0,368	0,87	0,8	0,161	0,351
	21,3	0,381	0,87	0,8	0,170	0,360
	24,4	0,394	0,87	0,8	0,179	0,369
	27,4	0,404	0,87	0,8	0,186	0,376
	30,5	0,410	0,87	0,8	0,191	0,381
	36,6	0,427	0,87	0,8	0,202	0,392
	42,7	0,443	0,87	0,8	0,213	0,403
	48,8	0,453	0,87	0,8	0,220	0,410
	54,9	0,466	0,87	0,8	0,229	0,419
	61	0,475	0,87	0,8	0,236	0,426
	76,2	0,498	0,87	0,8	0,252	0,442
	91,4	0,518	0,87	0,8	0,265	0,455
	100	0,528	0,87	0,8	0,272	0,462
Arka duvar	Tüm	0,528	0,87	-0,5	-0,324	-0,135
Yan duvarlar	Tüm	0,528	0,87	-0,7	-0,416	-0,226
Çatı	Tüm	0,528	0,87	-1,04	-0,572	-0,382

İç basınç katsayısı +0,18 olduğunda taban kesme kuvveti 26,95kN/m, -0,18 olduğuna ise 27kN/m olarak hesaplanmıştır.

The diagram illustrates the distribution of bending moments (M) in kN/m² for two structural frames. The left frame has a total height of 10.00m and a base moment of +0.18 kN/m². The right frame has a total height of 10.00m and a base moment of +0.18 kN/m². The diagrams show the variation of bending moments along the height of the frames, with values ranging from -0.572 kN/m² at the top to -0.416 kN/m² at the base.

Frame	Height (m)	Bending Moment (kN/m²)
Left Frame	0.00	+0.18
	0.50	+0.109
	1.00	+0.118
	1.50	+0.127
	2.00	+0.161
	2.50	+0.170
	3.00	+0.179
	3.50	+0.186
	4.00	+0.191
	4.50	+0.202
Right Frame	0.00	+0.18
	0.50	+0.109
	1.00	+0.118
	1.50	+0.127
	2.00	+0.161
	2.50	+0.170
	3.00	+0.179
	3.50	+0.186
	4.00	+0.191
	4.50	+0.202

İç basıncın negatif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.63'te verilmiştir.



147

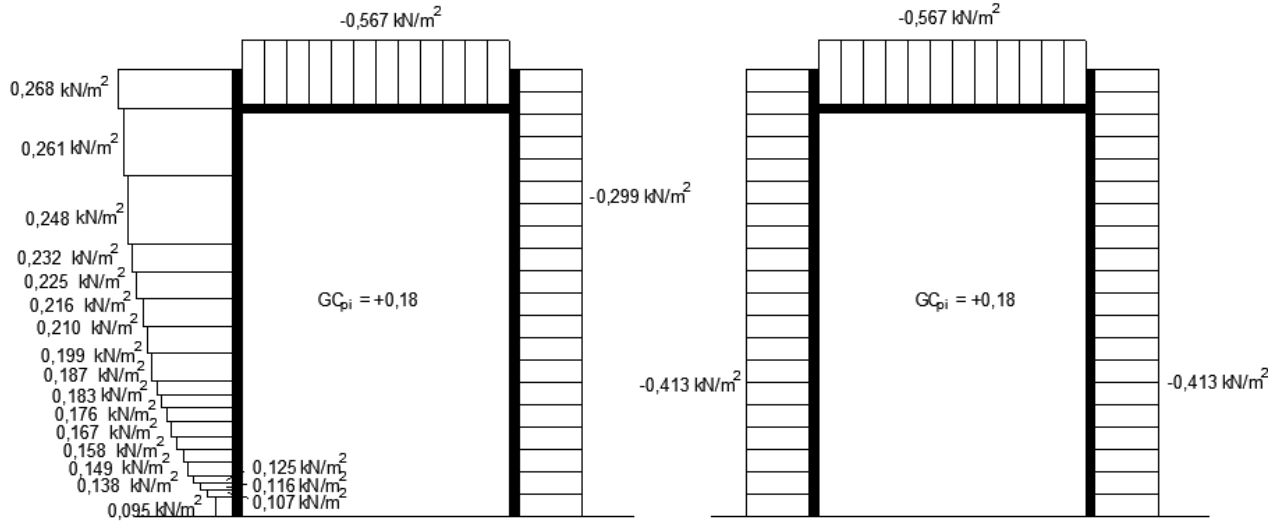
Rüzgarın 28,5 m uzunluğundaki duvara dik gelmesi durumunda oluşan basınç değerleri Çizelge 4.42’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.42 : Yüzeylerde oluşan rüzgar basıncı.

Yüzey	Yükseklik m	q kN/m ²	G	C _p	Net basınç, p	
					GC _{pi} = +0,18	GC _{pi} = -0,18
Rüzgara dik duvar	0-4,6	0,277	0,86	0,8	0,095	0,285
	6,1	0,293	0,86	0,8	0,107	0,297
	7,6	0,306	0,86	0,8	0,116	0,306
	9,1	0,319	0,86	0,8	0,125	0,315
	12,2	0,339	0,86	0,8	0,138	0,328
	15,2	0,355	0,86	0,8	0,149	0,339
	18	0,368	0,86	0,8	0,158	0,348
	21,3	0,381	0,86	0,8	0,167	0,357
	24,4	0,394	0,86	0,8	0,176	0,366
	27,4	0,404	0,86	0,8	0,183	0,373
	30,5	0,410	0,86	0,8	0,187	0,377
	36,6	0,427	0,86	0,8	0,199	0,388
	42,7	0,443	0,86	0,8	0,210	0,400
	48,8	0,453	0,86	0,8	0,216	0,406
	54,9	0,466	0,86	0,8	0,225	0,415
	61	0,475	0,86	0,8	0,232	0,422
	76,2	0,498	0,86	0,8	0,248	0,438
	91,4	0,518	0,86	0,8	0,261	0,451
	100	0,528	0,86	0,8	0,268	0,458
Arka duvar	Tüm	0,528	0,86	-0,45	-0,299	-0,109
Yan duvarlar	Tüm	0,528	0,86	-0,7	-0,413	-0,223
Çatı	Tüm	0,528	0,86	-1,04	-0,567	-0,377

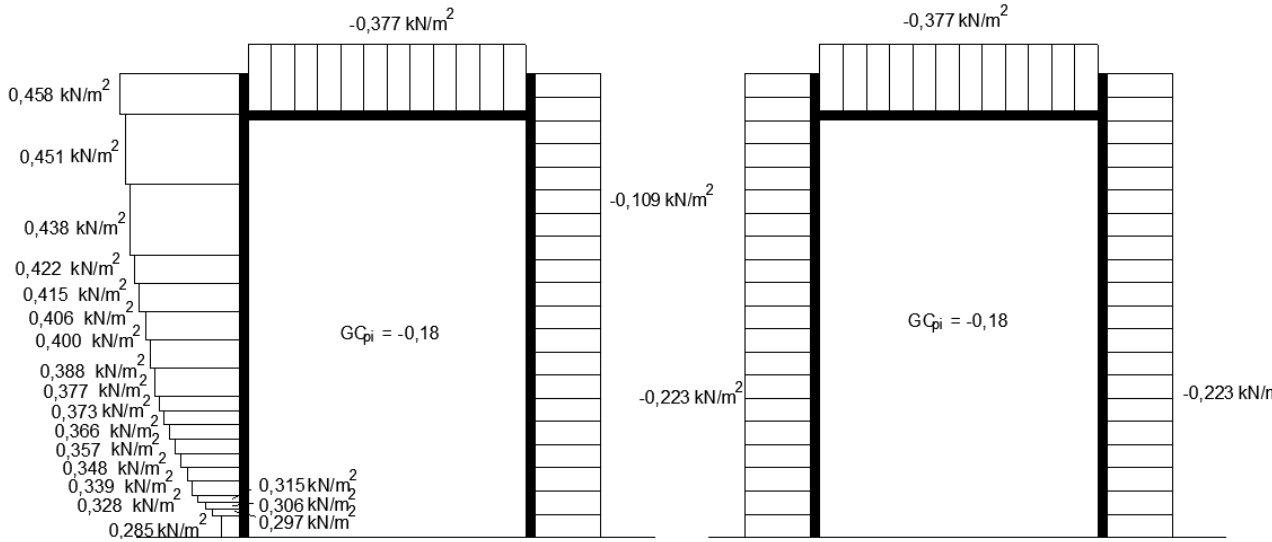
İç basınç katsayısı +0,18 olduğunda taban kesme kuvveti 26,77kN/m, -0,18 olduğuna ise 26,82kN/m olarak hesaplanmıştır.

İç basıncın pozitif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.64'te verilmiştir.



Şekil 4.64 : Rüzgar basınç dağılımı.

İç basıncın negatif olduğu durumda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 4.65'te verilmiştir.



Şekil 4.65 : Rüzgar basınç dağılımı.

4.3.4 Örnek 3 için sonuçların karşılaştırılması

ASCE 7-05'te çok katlı yapılarda rüzgarın dik geldiği duvarda neredeyse her kat için net basınç katsayısı hesaplanmalıdır. Eurocode 1 ise rüzgar doğrultusundaki duvarı binanın altından ve üstünden b uzunluğunda iki bölgeye ayırır. Ortada alan için bölgelendirme yüksekliğini kullanıcısına bırakmıştır. Her iki standarda uygun olarak net basınç değerleri Çizelge 4.43 ve Çizelge 4.44'te verilmiştir.

Çizelge 4.43 : Rüzgar 28,5m'lik duvara dik geldiğinde ASCE 7-05 ve Eurocode 1'e göre net basınç değerleri.

Yüzey	ASCE'ye göre			Eurocode'a göre		
	Yükseklik	Net basınç, p		Yükseklik	Net basınç, p	
	m	İç basınç +0,18	İç basınç -0,18	m	İç basınç +0,20	İç basınç -0,30
Rüzgara dik duvar (28,5m)	0-4,6	0,098	0,288	0- 28,5	0,72	1,31
	6,1	0,109	0,299			
	7,6	0,118	0,308			
	9,1	0,127	0,317			
	12,2	0,141	0,331			
	15,2	0,152	0,342			
	18	0,161	0,351			
	21,3	0,17	0,36			
	24,4	0,179	0,369			
	27,4	0,186	0,376			
	30,5	0,191	0,381	30,5	0,73	1,33
	36,6	0,202	0,392	36,6	0,76	1,39
	42,7	0,213	0,403	42,7	0,79	1,44
	48,8	0,22	0,41	48,8	0,81	1,48
	54,9	0,229	0,419	54,6	0,83	1,52
	61	0,236	0,426	61	0,85	1,56
	76,2	0,252	0,442	71,2	0,88	1,61
	91,4	0,265	0,455	100	0,94	
	100	0,272	0,462			

Çizelge 4.44 : Rüzgar 16,5m’lik duvara dik geldiğinde ASCE 7-05 ve Eurocode 1’e göre net basınç değerleri.

Yüzey	ASCE'ye göre			Eurocode'a göre		
	Yükseklik	Net basınç, p		Yükseklik	Net basınç, p	
	m	İç basınç +0,18	İç basınç -0,18	m	İç basınç +0,20	İç basınç -0,30
Rüzgara dik duvar (16,5m)	0-4,6	0,095	0,285	0-16,5	0,63	1,15
	6,1	0,107	0,297			
	7,6	0,116	0,306			
	9,1	0,125	0,315			
	12,2	0,138	0,328			
	15,2	0,149	0,339	18 21,3 24,4 27,4 30,5 36,6 42,7 48,8 54,6 61 76,2 83,5 100	0,64 0,67 0,69 0,71 0,73 0,76 0,79 0,81 0,83 0,85 0,89 0,91 0,94	1,18 1,23 1,27 1,3 1,33 1,39 1,44 1,48 1,52 1,56 1,63 1,66 1,72
	18	0,158	0,348			
	21,3	0,167	0,357			
	24,4	0,176	0,366			
	27,4	0,183	0,373			
	30,5	0,187	0,377			
	36,6	0,199	0,388			
	42,7	0,21	0,4			
	48,8	0,216	0,406			
	54,9	0,225	0,415			
	61	0,232	0,422			
	76,2	0,248	0,438			
	91,4	0,261	0,451			
	100	0,268	0,458			

Yan duvarlarda oluşan basınç Eurocode'a göre bölgelere ayrılırken ASCE 7-05'e göre yan duvarlar tek bölge olarak göz önüne alınır. Eurocode'a göre çatı 4 bölgeye ayrılmış fakat ASCE 7-05'e göre tek kuşak olarak incelenmiştir.

Değerler her iki standard için de Çizelge 4.45 ve Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.45 : Rüzgar 28,5m’lik duvara dik geldiğinde duvarlarda ve çatıda oluşan net basınç değerleri.

Yüzey	ASCE'ye göre			Eurocode'a göre		
	Bölge	Net basınç, p		Bölge	Net basınç, p	
		iç basınç	iç basınç		iç basınç	iç basınç
		+0,18	-0,18		0,2	-0,3
Yan duvarlar	Tüm	-0,416	-0,226	A	-2,18	-1,4
				B	-1,56	-0,78
Arka duvar	Tüm	-0,324	-0,135	Tüm	-1,25	-0,47
Çatı	Tüm	-0,567	-0,377	F	-2,81	-2,03
				G	-2,03	-1,25
				H	-1,4	-0,62
				I	-0,62	0,16

Çizelge 4.46 : Rüzgar 16,5m’lik duvara dik geldiğinde duvarlarda ve çatıda oluşan net basınç değerleri.

Yüzey	ASCE'ye göre			Eurocode'a göre		
	Bölge	Net basınç, p		Bölge	Net basınç, p (D Bölgesi)	
		iç basınç	iç basınç		iç basınç	iç basınç
		+0,18	-0,18		0,2	-0,3
Yan duvarlar	Tüm	-0,413	-0,223	A	-2,18	-1,4
				B	-1,56	-0,78
				C	-1,09	-0,31
Arka duvar	Tüm	-0,299	-0,109	Tüm	-1,4	-0,62
Çatı	Tüm	-0,572	-0,382	F	-2,81	-2,03
				G	-2,03	-1,25
				H	-1,4	-0,62
				I	-0,62	0,16

Çok katlı yapılar için Eurocode ve ASCE 7-05 karşılaştırıldığında Eurocode’un daha tasarım rüzgar basınçlarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

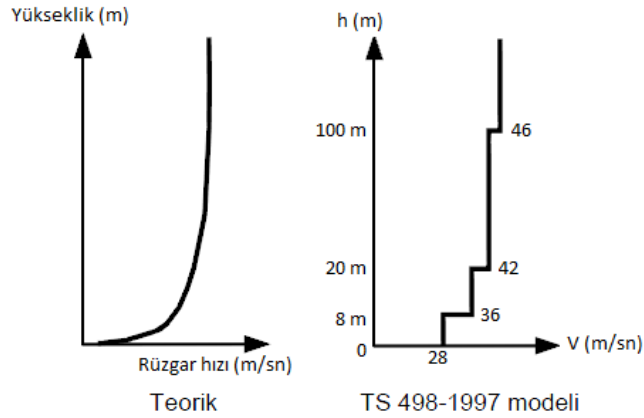
5. TSE 498'E GÖRE RÜZGAR ETKİLERİ

TSE 498 konutlar, bürolar, resmi daireler, okullar, hastaneler, spor tesisleri, eğlence yerleri, garajlar, vb. yapılarıdaki taşıyıcı elemanların (kagir, beton, betonarme, ahşap, çelik, vb.) boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerini kapmaktadır. Statik olduğu kabul edilen ve yapıya yatay etkiyen rüzgar yükü ise TS 498-1997 madde 11.2.3 ve 11.3 e göre hesaplanır.

TSE 498'e göre rüzgar basıncı Eşitlik 5.1'de verilmiştir.

$$q = \frac{V^2}{1600} \quad (5.1)$$

Burada; V rüzgar hızı olarak tanımlanmıştır ve birimi m/sn'dir. Teorik olarak rüzgar hızı eğrisel olarak tanımlanırken TSE 498 modeline göre rüzgar hızı yüksekliğe bağlı olarak belirgin bir değişim gösterir. Standarda göre rüzgar hızı 100 m yükseklikten sonra sabit kalır. Bu değişim Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Rüzgâr hızının yükseklik ile değişimi.

Rüzgar basıncı olarak tanımlanan q ise zeminden yüksekliğe bağlı olarak, rüzgar hızının değişmesi ile değişen bir katsayıdır ve doğrudan doğruya rüzgar hızının bir fonksiyonudur. Bu değişim Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve rüzgar basıncı.

Zeminden Yükseklik h (m)	Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Basıncı (kN/m ²)
0 – 8	28	0,5
8 – 20	36	0,8
20 – 100	42	1,1
> 100	46	1,3

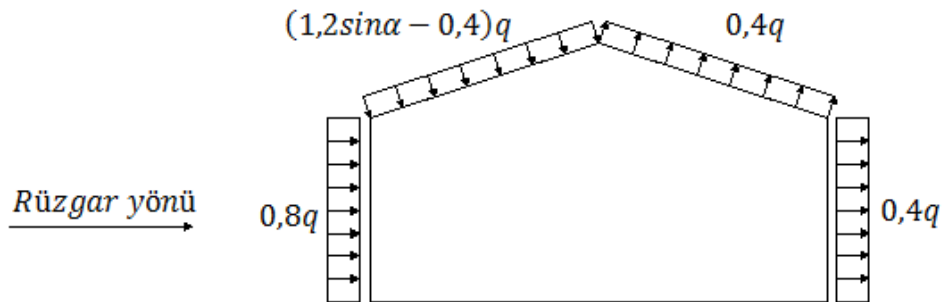
TSE 498’de bir rüzgar haritası yer almamaktadır. Çizelgede belirtilen değerler tüm Türkiye için geçerlidir.

Yapı üst yüzeyine tesir eden rüzgar yükü ise Eşitlik 5.2’de verildiği şekilde hesaplanır.

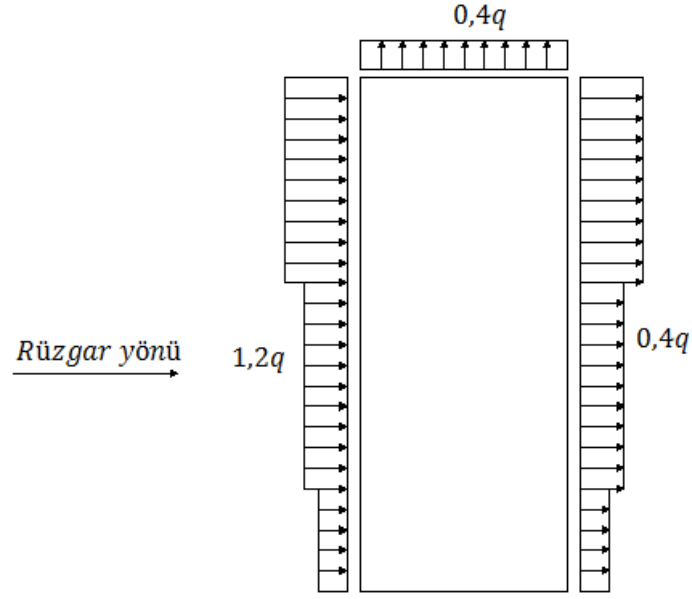
$$w = C_p \cdot q \quad (5.2)$$

Burada; C_p , emme katsayısı olarak tanımlanmıştır ve dikkate alınan yüzey için rüzgarın estiği yöne bağlı olarak belirlenir.

Rüzgar etkileri TSE 498’e göre yapılar düzgün yapılar ve kule tipi yapılar (yüksekliği plandaki eninin 5 katı veya daha fazla olan yapılar) için incelenir. Her iki tip için rüzgar yükleri Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’te verilmiştir. Rüzgârın dik olarak etkideği yapı yüzeylerinde basınç, terk ettiği arka yüzeylerde ve yalayıp geçtiği yüzeylerde emme kuvveti oluşur.



Şekil 5.2 : Rüzgâr hızının yükseklik ile değişimi.



Şekil 5.3 : Rüzgâr hızının yükseklik ile değişimi.

Eurocode 1 ve ASCE 7-05'e göre çözümü yapılan kırık çatılı endüstri yapısı ve yüksek bina için TSE 648'e göre rüzgar yükü hesabı yapılmıştır. Bu örnekler sonraki bölümde verilmiştir.

5.1 Örnek 1

Yüksekliği 7,9 m olarak tasarlanan birinci örnek için rüzgar basıncı Çizelge 5.1'den $0,5 \text{ kN/m}^2$ olarak alınır. Rüzgarın dik geldiği duvar için C_p değeri 0,8 alınır. Rüzgar yükü Eşitlik 5.2'ye hesaplanmış ve Çizelge 5.2'de verilmiştir.

$$w = C_p \cdot q = 0,8 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2 \quad (5.3)$$

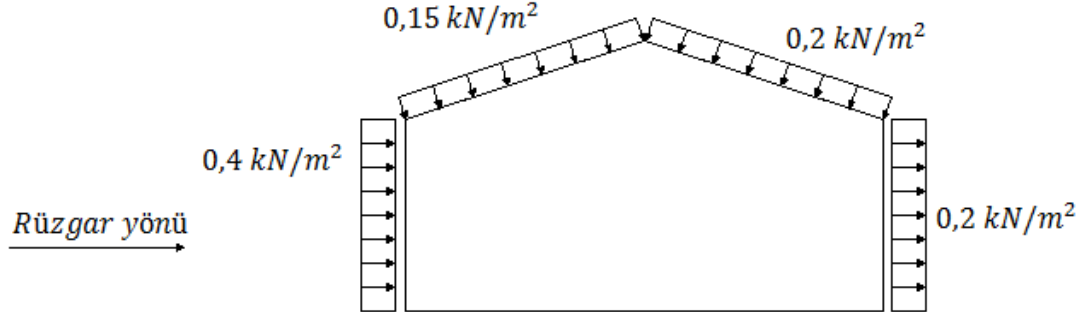
Çatı açısı 5° olduğu bilinen yapının çatı yüzeyi için C_p değeri $1,2\sin\alpha - 0,4$ alınır ve rüzgar yükü Eşitlik 5.4'te görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$w = C_p \cdot q = (1,2\sin 5^\circ - 0,4)0,5 = -0,15 \text{ kN/m}^2 \quad (5.4)$$

Diğer tüm yüzeyler için ise C_p değeri 0,4 alınır ve rüzgar yükü Eşitlik 5.5'te görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$w = C_p \cdot q = 0,4 \cdot 0,5 = 0,2 \text{ kN/m}^2 \quad (5.5)$$

Rüzgar basınç dağılımı Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 : Yapı yüzeylerinde oluşan rüzgar basıncı.

Şekil 5.2'de de görüldüğü gibi TSE 498'e göre yapılan hesaplamaların sonucu Eurocode 1'e ve ASCE 7-05'e göre yapılan sonuçlardan çok daha düşüktür. Ayrıca çatı üzerine gelen yükler için çatı diğer standartlarda olduğu gibi bölümlere ayrılmamış ve tek bir bölüm olarak değerlendirilmiştir.

5.2 Örnek 3

Yüksekliği 100 m olarak tasarlanan üçüncü örnek için rüzgar basıncı Çizelge 5.1'den alınır. Rüzgarın dik geldiği duvar için C_p değeri 1,2 alınır. Rüzgar basıncı Eşitlik 5.2'de görüldüğü şekilde hesaplanmış ve Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve rüzgar basıncı.

Zeminden Yükseklik h (m)	Rüzgar Basıncı (q) (kN/m ²)	Rüzgar Yükü (w) (kN/m ²)
0 – 8	0,5	0,6
8 – 20	0,8	0,96
21 – 100	1,1	1,32

Arka duvar için ise C_p değeri 0,4 alınır. Rüzgar basıncı Eşitlik 5.3'te görüldüğü şekilde hesaplanmış ve Çizelge 5.3'te verilmiştir.

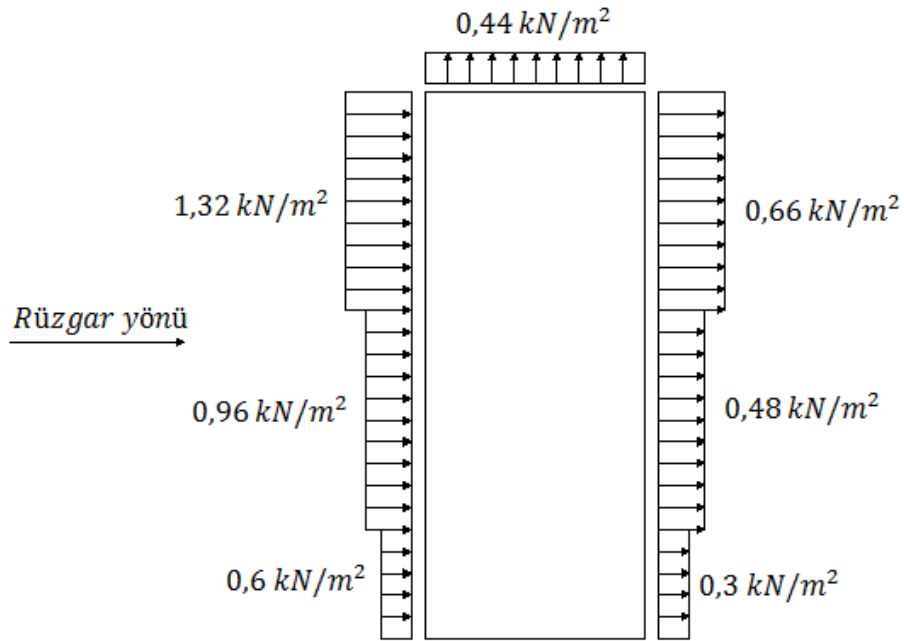
Çizelge 5.3 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve rüzgar basıncı.

Zeminden Yükseklik h (m)	Rüzgar Basıncı (q) (kN/m ²)	Rüzgar Yükü (w) (kN/m ²)
0 – 8	0,5	0,3
8 – 20	0,8	0,48
21 – 100	1,1	0,66

Çatı için ise C_p değeri 0,4 ve q değeri 1,1 alınır ve rüzgar yükü Eşitlik 5.6'da görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$w = C_p \cdot q = 0,4 \cdot 1,1 = 0,44 \text{ kN/m}^2 \quad (5.6)$$

Rüzgar basınç dağılımı Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.5 : Yapı yüzeylerinde oluşan rüzgar basıncı.

Şekil 5.5'te de görüldüğü gibi TSE 498'e göre yapılan hesaplamaların sonucu Eurocode 1'e ve ASCE 7-05'e göre elde edilen sonuçlardan çok daha düşüktür. Ayrıca rüzgarın dik geldiği yüzey için rüzgar yükü yüksekliğe bağlı olarak hesaplanmış olsa da diğer standartlarda yapılan bölümlendirmeden farklı ve yetersizdir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılara etki eden rüzgar yüklerinin hesaplanmasında yararlanılan iki standard , ASCE 7-05 Bölüm 6 ve Eurocode 1 Bölüm 1-4, hesap yöntemleri ve kriterleri açısından incelenmiştir. Standardların karşılaştırılmasına yönelik bu çalışmada, 3 farklı bina tipi göz önüne alınmıştır. Elde edilen sonuçlara dayalı karşılaştırma bu bölümde yapılacaktır.

6.1 Parametreler

Bu tezde karşılaştırdığımız iki standardda göze alınan parametreler ve hesap akışları birbirinden farklıdır.

6.1.1 Eurocode 1 için hesap akışı

Eurocode 1'e göre yapı rüzgar yüklerini bulmak için öncelikle esas rüzgar hızı, v_b ; değeri doğrultu katsayısı, c_{dir} , mevsim katsayısı, c_{season} ve esas rüzgâr hızının temel değeri, $v_{b,0}$, parametrelerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Esas rüzgar hızı v_b ; engebelilik katsayısı $c_{r(z)}$ ve orografi katsayısı $c_{o(z)}$ parametrelerine bağlı olan bir arazide yer seviyesinden z metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$ hesaplanmıştır.

Engebelilik katsayısı, $c_{r(z)}$; engebelilik uzunluğu z_0 'a bağlı arazi katsayısı, k_r , değeriyle doğru orantılı olarak hesap edilmiştir.

z metre yükseklikteki türbülans şiddeti $I_v(z)$; türbülans katsayısı k_l , orografi katsayısı, $c_{o(z)}$ ve engebelilik uzunluğu z_0 'a bağlı olarak hesaplanmıştır.

z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içeren tepe rüzgâr basıncı $q_p(z)$; türbülans şiddeti $I_v(z)$, fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve rakıma bağlı olan hava yoğunluğu ρ ve ortalama rüzgâr hızı $v_{m(z)}$ parametrelerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Dış yüzeylere etkiyen rüzgâr basıncı w_e ; tepe rüzgâr basıncı $q_p(z)$, dış basınç katsayısı c_{pe} ve iç basınç katsayısı c_{pi} parametrelerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Rüzgarın yaklaştığı duvarda bina yüksekliği h , ile yapı genişliği b , uzunluklarının karşılaştırılmasına bağlı olarak 3 ayrı hız kaynaklı rüzgar basıncı profili şekli oluşabilir.

Dış basınç katsayısı c_{pe} , düşey duvarlar ve çatı bölümleri için farklı parametrelere bağlı olarak hesaplanmıştır.

Düşey duvarlar rüzgarın etki ettiği yöne göre bölümlere ayrılırlar. Rüzgarın dik olarak etkidiği düşey duvar D bölgesi, rüzgarın uzaklaştığı yöndeki duvar E bölgesi olarak adlandırılır. Yan duvarlar, bir kuvvetin dış merkezliği veya kenar mesafesi e ile yapının derinliği d parametresinin uzunluğa bağlı olarak karşılaştırılmasına göre A, B ve C olmak üzere üç bölgeye ayrılabilirler. Bütün bölgeler için dış basınç katsayısı h/d oranına bağlı olarak belirlenir.

Yapının çatı bölümünün bölümlere ayrılmasındaki en önemli kriter çatının tipidir. Çatı tipi belirlendikten sonra yönetmelikten bu bölüm için gerekli kriterler incelenmelidir.

Düz çatı için yapı parapetli olarak tasarlandığında parapet yüksekliği h_p 'nin çatı yüksekli h 'ye oranına bağlı olarak F, G, H ve I bölgeleri için dış basınç katsayıları belirlenir.

Çift eğimli çatılarda ise çatıdaki bölgeler rüzgarın çatı sırtına dik veya paralel gelmesi durumuna göre değişkenlik gösterir. Her iki yönde de bölgeler için dış basınç katsayısı eğim açısı α 'ya bağlı olarak belirlenir.

Tonoz çatılarda ise çatı yüzeyi A, B ve C olmak üzere 3 bölgeye ayrılır. Bu bölgeler için dış basınç katsayısı h/d oranı ve f/d oranına bağlı olarak grafik okumasıyla belirlenir.

6.1.2 ASCE 7-05 için hesap akışı

ASCE 7-05'e göre yapı rüzgar yüklerini bulmak için öncelikle z yüksekliğindeki hız basıncı, q_z ; hız basıncı maruz kalma katsayısı, K_z , topografik faktör K_{zt} , doğrultu katsayısı K_d , rüzgar hızı V ve önem katsayısı I 'ya bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Hız basınç değerleri, rüzgarın geldiği yöndeki duvar için yönetmelikte verilen yükseklikler için ayrı ayrı hesaplanır.

Fırtına etkisi faktörü, G ; zemin tepkisi için zirve faktörü g_Q , $\bar{z}$ yüksekliğindeki türbülans yoğunluğu, $I_{\bar{z}}$ ve arka plan tepkisi, Q , parametrelerine bağlı olarak hesaplanır.

Yapı sınıfları için iç basınç katsayısı GC_{pi} , Çizelge 3.5'ten okunur.

Duvarlar için dış basınç katsayısı C_p , bina derinliği L 'nin bina genişliği B 'ye oranına bağlı olarak belirlenir.

Çatı için dış basınç katsayısı çatı eğiminin 10° 'den büyük ya da küçük olduğu duruma bağlı olarak farklı parametrelere göre incelenir. Çatı eğiminin 10° 'den büyük olduğu durumda dış basınç katsayısı h/L oranına ve çatı eğimine bağlı olarak belirlenir. Çatı eğiminin 10° 'den küçük olduğu durumda ise dış basınç katsayısı h/L orana ve rüzgara dik duvara yatay mesafeye bağlı olarak saptanır.

Tonoz çatılar için de çatı, rüzgar yönü çeyreği, merkez ortası ve arka çeyrek olmak üzere 3 ayrı bölgede incelenir. C_p katsayısı bu bölgeler için yapı genişliğinin D , tonoz yüksekliğinin f olduğu durumda f/D oranına bağlı olarak belirlenir.

Tasarım rüzgar basıncı p ; z yüksekliğindeki rüzgar hız basıncı q_z , h yüksekliğindeki rüzgar hız basıncı q_h , iç basınca bağlı rüzgar hız basıncı q_i , fırtına etkisi faktörü G , dış basınç katsayısı C_p ve iç basınç katsayısı GC_{pi} parametrelerine bağlı olarak hesaplanır.

ASCE 7-05 yüksekliği 18m'den az yapılar için alternatif bir yöntem önermektedir. Bu yöntemde yapı 8 ayrı kuşağa ayrılır. Rüzgar yönüne bağlı belirlenen bu kuşaklar için dış basınç katsayısı çatı açısına bağlı olarak saptanır.

Burulmayla ilgili durumda ise 4 ayrı bölge için tasarım rüzgar yükü hesabında belirlenen rüzgar basınçlarının %25'ine eşit olarak alınır.

6.2 Sonuç ve Öneriler

Bu tez kapsamında yapılan incelemeler sonucunda Eurocode 1'e göre yapılan hesaplamalarda elde edilen rüzgar basınç değerlerin ASCE 7-05'e göre daha büyük sonuçlar verdiği görülmüştür. ASCE 7-05'te göz önüne alınan iç basınç etkisinin Eurocode 1'den daha düşüktür.

Eurocode 1'e göre hesaplanan rüzgar basıncı türbülans etkisi göz önüne alınmadan önce ASCE 7-05'e göre hesaplanan rüzgar basıncına yakındır. Türbülans etkisi göz önüne alındığında hesaplanan değer ilk değer neredeyse üç katıdır. ASCE 7-05'te bu parametre fırtına etkisi olarak göz önüne alınmış olsa da rüzgar basıncı değerine etkisi Eurocode 1'e göre hesaplanan değerden çok farklıdır.

ASCE 7-05'in Eurocode 1'e göre kullanıcıya daha net bilgiler verdiği görülmüştür. Eurocode 1'de her bir parametre formüllerle açıklanırken ASCE 7-05 daha yalın bir dil kullanmıştır. Önemli noktalar şekiller ve çizelgelerle desteklenmiş ve formül kalabalığından arındırılmıştır.

ASCE 7-05'te rüzgarın etkidiği yöndeki duvarda oluşan rüzgar basıncı verilen yükseklikler için ayrı ayrı incelenirken Eurocode 1'de bu duvar tek parça olarak alınmış ve bina yüksekliğine bağlı olarak ayrı bir değerlendirmeye yer verilmemiştir.

Arka duvar için ise hem ASCE 7-05'de hem de Eurocode 1'de benzer ifadeler kullanılmıştır. Arka duvar tek parça olarak kabul edilmiş ve basınçlar rakamsal olarak birbirine yakındır.

Yan duvarlarda oluşan basınç Eurocode'a göre üç farklı bölgeye ayrılarak incelenirken ASCE 7-05'e göre yan duvarlar tek kuşak olarak göz önüne alınır.

Eurocode 1 çatıya etkiyen rüzgar yüklerini daha ayrıntılı olarak incelemiş, çatıyı bölümlere ayırarak değerlendirmiştir. ASCE 7-05'te ise çatı kuşaklanması Eurocode 1'den farklıdır. Çatı daha geniş olarak bölümlendirilmiştir.

Tonoz çatılı bir yapı için dış basınç katsayılarının birbirine çok yakın olmasına rağmen Eurocode 1'de net basınç değerleri ASCE 7-05'den daha büyüktür. Her iki standard için de iç basıncın negatif olduğu durumda elde edilen net basınç değerleri iç basıncın pozitif olduğu durumdan daha düşüktür.

ASCE 7-05'te çok katlı yapılarda rüzgarın dik geldiği duvarda neredeyse her kat için rüzgar basıncı hesaplanmaktadır. Eurocode 1 ise rüzgar doğrultusundaki duvarı binanın üst ve alt bölümlerini birer parça olarak inceler. Ortada kalan alan için bölümlendirme sayısı yüksekliğini kullanıcısına bırakmıştır.

TSE 498'e göre yapılan hesaplamalar ise bu iki standaddarttan çok farklı değerler vermektedir.

TSE 498 sadece belirli geometriye sahip yapılar için bilgiler içermektedir.

Bu standardda rüzgar basıncı hesabı yapılırken göz önüne alınan parametreler diğerlerinden farklıdır. Hız basıncı sadece rüzgar hızına bağlı olarak hesaplanır.

Standard kapsamında yapının bulunduğu yerin topoğrafya özelliklerinin rüzgar hızı üzerindeki etkilerinden bahsedilmemiştir.

Rüzgar basıncı hız basıncı ve emme katsayısıyla doğru orantılı olarak değişim göstermektedir.

Çatı için emme katsayısı rüzgarın dik olarak etkidiği yönde çatı açısına bağlı olarak hesaplanır.

Yapının kapalı ya da kısmi kapalı oluşuna bağlı olarak oluşan iç basınç tesirleri göz önüne alınmamıştır.

Standard kapsamında türbulans etkisine değinilmemiştir.

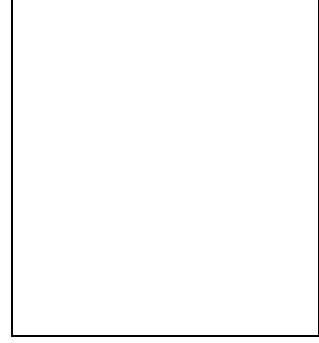
Yapılan karşılaştırmalar doğrultusunda TSE 498, Eurocode 1 ve ASCE 7-05'e göre rüzgar etkilerinin hesaplanmasında yetersiz kalmıştır.

KAYNAKLAR

- AIJ** : Recommendation for Load on Buildings, Architectural Institute of Japan, Japan, 2005
- ANSI Code (1982)**. ANSI A58.1-1982. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American National Standards Institute
- Aslan, Z., Şanlı, A. K., Uzgider E., Güler, K. & Dilmaç, Ş.**, 1991. Türkiye’de rüzgar yükünün istatistiksel dağılımı ve yüksek yapılar üzerindeki etkileri, *VII Mekanik Kongresi*, Antalya, Eylül 1991, pp. 57-66.
- Aygün, C., Başkaya, Ş.**, 2003. Çok katlı bir bina etrafındaki rüzgar akışının oluşturduğu yüzey basınçlarının deneysel olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. Cilt 18, no. 4, 15-31.
- ASCE**, 1999. Wind Tunnel Model Studies of Buildings and Structures, Manual and Reports on Engineering Practice, no. 67 *American Society of Civil Engineers*, New York.
- ASCE 7-05**, 2005. Minimum design loads for buildings and other structures, *American Society of Civil Engineers*, Reston, Virginia.
- Bungale, S., Taranath Ph.D.**, 2005: Wind and Earthquake Resistant Buildings, Los Angeles, California.
- Cochran, L.S.** (1979). "Full Scale Ground Level Wind Study of the AMP Building, Brisbane", *Baccalaureate Thesis*, University of Queensland, Australia.
- Delahey, J. M., Mehta, K. C.** 2004. Guide to the use of the wind load provisions ASCE 7-02. *American Society of Civil Engineers*, Reston, Virginia.
- Eurocode 1**, 2004. Actions on structures/general actions, part 1-4: wind actions, *CEN/TC 250*, Management Centre, Brussels.
- Holmes, J. D.**, 2003: Wind Loading on Structures, SPON PRESS, New Fetter Lane, London.
- Hira A. and Mendis P.** (1995) *Wind Design of Tall Buildings*. Conference on High-rise Buildings in Vietnam. Hanoi, Vietnam, February
- Kjewski, T., Kareem, A.**: Dynamic Wind Effects: a Comparative Study of Provisions in Codes and Standards with Wind Tunnel Data, Wind and Structures, Vol 1, No 1, 77-109, 1998
- LIU, H.**: Wind Engineering - A Handbook for Structural Engineers, 209 page, Prentice-Hall, New Jersey, 1991

- Peköz, T.**, 2011. Çelik Yapılar İle İlgili Avrupa Standartlarına Genel Bakış, 4. *Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, İstanbul, Ekim 2010, pp. 39-50.
- Schneider**, 2010: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnung und Bespielen, Werner Verlag, 19. Auflage, im Juli 2010.
- Şafak, E.**, 2011. Yüksek Yapılardaki Rüzgar Yüklerinin Hesabı, 4. *Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi İstanbul, Ekim 2010, pp. 1-16.
- Tamura, Y., Matsui, M., Paginini, L-C., Ishibashi, R., Yoshida, A.**,
Measurements of wind-induced response of buildings using RTK-GPS., *J Wind eng Ind Areodyn*, 90:1783-93., 2002
- TS 498**. 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Pelin Gürses

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir – 13.05.1987

Adres: İzmir

E-Posta: pelingurses@itu.edu.tr

Lisans: Dokuz Eylül Üniversitesi