

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ASCE 7-05, EUROCODE 1-4 VE TS 498 YÖNETMELİKLERİ
KULLANILARAK YAPILARA GELEN RÜZGAR YÜKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özgün Onur POLAT**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ASCE 7-05, EUROCODE 1-4 VE TS 498 YÖNETMELİKLERİ
KULLANILARAK YAPILARA GELEN RÜZGAR YÜKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özgün Onur POLAT
501081061**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cavidan YORGUN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (Yeditepe
Üni.)
Prof. Dr. Kadir GÜLER (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan sayın hocam Prof. Dr. Cavidan Yorgun'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecindeki değerli katkıları için; İnş. Yük. Müh. Emre Yılmaz'a ve İnş. Yük. Müh. Özgecan Işıltan'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi açıdan her türlü desteği gösteren aileme, tüm kalbimle teşekkür ederim.

Mayıs 2010

Özgün Onur POLAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Rüzgarın Meteorolojik Yönü	1
1.2.1 Basınç Gradyenti.....	2
1.2.2 Coriolis Kuvveti (Holmes, 2003).....	2
1.2.3 Geostropik Rüzgar	4
1.2.4 Gradyent Rüzgar	5
1.2.5 Sürtünme Etkisi.....	5
1.3 Rüzgarın Sınıflandırılması	6
1.3.1 Atmosferik Hareketler.....	6
1.3.2 Genel Çevrim	7
1.3.3 Rüzgar Tiplerinin Sınıflandırılması	7
1.3.3.1 Tropikal Siklonlar.....	8
1.3.3.2 Hortumlar.....	9
2. ATMOSFERİK SINIR KATMANLARI VE RÜZGAR TÜRBÜLANSI.....	11
2.1 Giriş.....	11
2.2 Ortalama Rüzgar Hızı Profilleri	11
2.2.1 Logaritma Yasası	11
2.2.2 Güç Yasası	14
2.2.3 Tropikal Çevrimlerde Rüzgar Profilleri.....	15
2.2.4 Yıldırımli Fırnalarda Rüzgar Profili	15
2.3 Atmosferik Türbülans	15
2.3.1 Türbülansın Şiddeti	16
2.3.2 Fırtına Faktörü.....	17
2.3.3 Rüzgar Spektrası	18
2.4 Topoğrafyanın Rüzgar Akımı Üzerindeki Modifikasyonu	18
2.4.1 Topoğrafyanın Genel Etkileri	19
2.4.2 Topoğrafik çarpanlar.....	20
2.4.2.1 Yüzeysel Tepeler.....	20
2.4.2.2 Dik Tepeler, Uçurumlar veya Dik Yamaçlar	20
2.4.3 Arazi Değişimi	21
3. İÇ BASINÇ	23
3.1 Giriş.....	23
3.2 Rüzgar Yönündeki Cephe Meydana Gelen Tek Açıklık.....	23
3.2.1 Tepki Süresi	24

3.2.2 Helmholtz Rezonans Modeli.....	25
3.2.3 Yapının Rüzgar Yönündeki Cephesinin Ani açılması ve Atalet Etkileri ...	26
3.3 Hem Rüzgar Cephesinde Hemde Arka Cephe Açıklıklar	26
3.3.1 Ortalama İç Basınç	26
4. STANDARTLAR	29
4.1 Giriş	29
4.2 ASCE 7-05 Bölüm 6 Rüzgar Yüğü	30
4.2.1 Tanımlar	30
4.2.2 Rüzgar Yüğü Tasarım Yöntemleri	31
4.2.3 Tasarım Aşamaları	32
4.2.3.1 Hız Basıncı.....	32
4.2.3.2 Rüzgar Basıncı Maruz Kalma Katsayısı, K_z	32
4.2.3.3 Önem Katsayısı, I	33
4.2.3.4 Topoğrafya Etkisi, K_{zt}	34
4.2.3.5 Rüzgar Doğrultu Katsayısı, K_d	35
4.2.4 Yöntem 1, Basitleştirilmiş Yöntem.....	36
4.2.5 Yöntem 2, Analitik Yöntem.....	36
4.2.5.1 Yapılar için Tasarım Basınçlarının Hesabı.....	37
4.2.5.2 Fırtına Faktörü, G	38
4.2.5.3 MWFRS için Dış Basınç Katsayısı, C_p	40
4.2.5.4 C&C için Dış basınç Katsayıları, GC_p	44
4.2.6 Tasarım Kuvvetleri.....	44
4.2.6.1 Kuvvet Katsayıları, C_f	44
4.2.7 Rüzgar Tüneli Prosedürü.....	46
4.2.8 Örnek Hesap 1	46
4.2.8.1 Rüzgar Basıncının Hesabı.....	47
4.2.8.2 Tasarım Rüzgar Basınçları.....	48
4.2.8.3 MWFRS'e Göre Yapıya Gelen Rüzgar Basınçları Hesabı.....	48
4.2.8.4 Duvarlar İçin Dış Basınç Katsayıları.....	48
4.2.8.5 İç Basınç Katsayısının Hesabı.....	49
4.2.8.6 MWFRS İçin Net Basınçların Hesabı.....	49
4.2.8.7 Kaplama ve Bileşenler, C&C İçin Rüzgar Basıncın Hesaplanması...	53
4.2.8.8 Duvar Basınç Katsayılarının Hesabı, GC_p	54
4.2.8.9 C&C Çatı Basınçları.....	56
4.2.8.10 Alternatif Yöntem.....	57
4.2.8.11 Dış Basınç Katsayılarının (GC_{pf}) Kararı.....	58
4.2.8.12 Burulmayla ilgili yükleme Durumları.....	62
4.2.9 Örnek Hesap 2.....	64
4.2.9.1 Rüzgar Hız Basıncının Hesabı.....	64
4.2.9.2 Tasarım Rüzgar Basıncı Hesabı.....	65
4.2.9.3 Fırtına Faktörünün Hesabı, G	65
4.2.9.4 Dış Basınç Katsayılarının Tayini.....	66
4.2.9.5 Çatı Dış Basınç Katsayılarının Tayini.....	66
4.2.9.6 Parapet Yüğü'nün Hesaplanması.....	71
4.2.10 İşarat Levhası Örneği	71
4.2.10.1 Yapı İle İlgili Bilgiler.....	72
4.2.10.2 Etkili Hız Basıncı Hesabı.....	72
4.2.10.3 MWFRS İçin Tasarım Kuvveti.....	73
4.2.10.4 Kuvvet Katsayılarının Hesabı.....	73
4.2.10.5 Etkili Fırtına Faktörü G_f 'in Hesabı.....	74

4.2.10.6 Türbülans Şiddeti I_z 'nin Hesabı.....	74
4.2.10.7 Rezonans Tepkisinin Karekökü R 'nin Hesabı.....	75
4.2.10.8 Tasarım Kuvvetleri Hesabı.....	78
4.3 Eurocode 1-4 Rüzgar Etkileri.....	79
4.3.1 Semboller	79
4.3.2 Rüzgar Etkilerinin Modellenmesi	84
4.3.3 Rüzgar Etkilerinin Temsili.....	84
4.3.3.1 Karakteristik Değerler.....	84
4.3.3.2 Modeller.....	84
4.3.4 EN 1991-1-4 Hesap Aşamaları	85
4.3.4.1 Hızın Tepe Değere Ulaştığı Rüzgar Basıncının (q_p) Hesabı.....	85
4.3.4.2 Esas Rüzgar Hızı (V_b) Değerinin Hesaplanması.....	85
4.3.5 Arazi Orografisi	85
4.3.5.1 Orografi Katsayısının Sayısal Hesabı.....	85
4.3.5.2 Arazi Engebeliği.....	90
4.3.5.3 Esas Rüzgar Hızı Temel Değerleri.....	92
4.3.6 Ortalama Rüzgar Hızı:	92
4.3.6.1 Yüksekliğe Bağlı Değişim.....	92
4.3.6.2 Geniş ve Dikkate Alınmaya Değer Yükseklikteki Komşu Yapılar... ..	93
4.3.6.3 Sıkışık Binalar ve Engeller.....	94
4.3.6.4 Tepe Hız Kaynaklı Rüzgar Basıncı.....	95
4.3.6.5 Türbülans Şiddeti.....	96
4.3.7 Rüzgar Basıncı Hesaplanması (Sabitleme Elemanları, Yapısal Parçalar ve Kaplamlar için)	96
4.3.7.1 Yüzeylerdeki Rüzgar Basıncı.....	96
4.3.7.2 Dış Basınc Katsayısı C_{pe}	97
4.3.7.3 Dikdörtgen Planlı Binaların Düşey Duvarlar.....	98
4.3.7.4 Düz Çatılar.....	101
4.3.7.5 Tek Eğimli Çatılar.....	103
4.3.7.6 Çift Eğimli Çatılar.....	105
4.3.7.7 Beşik Çatılar.....	107
4.3.7.8 Çok Açıklıklı Çatılar.....	107
4.3.7.9 Tonozlar ve Kubbeler.....	108
4.3.7.10 İç Basıncı.....	110
4.3.7.11 Birden Fazla Tabakalı Duvarlar veya Çatılar Üzerindeki Basıncı..	112
4.3.7.12 Rüzgar Kuvvetleri.....	114
4.3.7.13 Yapısal Katsayı, $C_s C_d$	115
4.3.7.14 $C_s C_d$ 'nin Belirlenmesi.....	116
4.3.8 Yapı veya Yapısal Eleman İçin Kuvvet Katsayısı, C_f	118
4.3.8.1 Dikdörtgen Kesitli Yapı Elemanları.....	118
4.3.8.2 Keskin Kenarlı Kesitleri Olan Yapı Elemanları.....	119
4.3.8.3 Düzgün Çokgen Kesitli Yapı Elemanları.....	120
4.3.8.4 Etkili Narinlik λ ve Uç Tesir Katsayısı ψ_λ	121
4.3.8.5 Sürtünme Katsayıları, C_{fr}	123
4.3.9 Örnek 4.....	125
4.3.9.1 Esas Rüzgar Hızı Değeri Hesabı.....	126
4.3.9.2 Ortalama Rüzgar Hızı V_m 'nin Hesabı.....	126
4.3.9.3 Arazi Engebелilik Katsayısı.....	126
4.3.9.4 Rüzgar Türbülansı $I_v(z)$	127
4.3.9.5 Tepe Hız Kaynaklı Rüzgar Basıncı $q_p(z)$ Hesabı.....	128

4.3.9.6 Duvarlara Gelen Rüzgar Basıncı Hesabı.....	128
4.3.9.7 Düşey duvarlar için Rüzgar Basınç Katsayıları $C_{pe,1}$ ve $C_{pe,10}$ Tayini.....	129
4.3.9.8 Çatı Basınç Katsayılarının Tayini.....	130
4.3.9.9 İç Basınç Katsayıları.....	132
4.3.9.10 Yüzeylere Etkiyen Net Basınç Katsayılarının Hesabı.....	132
4.3.9.11 Yüzeylerde Meydana Gelen Rüzgar Basıncının Hesabı.....	135
4.3.10 Örnek 5.....	138
4.3.10.1 Esas Rüzgar Hızının Tayini.....	138
4.3.10.2 Ortalama Rüzgar Hızının Tayini.....	139
4.3.10.3 Rüzgar Türbülansı Hesabı.....	140
4.3.10.4 Tepe hız kaynaklı Rüzgar Hızı Basıncı.....	140
4.3.10.5 Yüzeylerdeki Rüzgar Basıncı.....	140
4.3.10.6 Dış Basınç Katsayılarının Tayini.....	141
4.3.10.7 Yüzeylerdeki Tasarım Rüzgar Basıncı Hesabı.....	142
4.3.10.8 Parapet Yükünün Hesabı.....	144
4.3.11 Örnek 6.....	146
4.3.11.1 Yapı ile İlgili Genel Bilgiler.....	146
4.3.11.2 Esas Rüzgar Hızının Tayini.....	146
4.3.11.3 Ortalama Rüzgar Hızı, V_m 'nin Hesabı.....	147
4.3.11.4 Arazi Engebелilik Katsayısı, $C_r(z)$ 'nin Hesabı.....	147
4.3.11.5 Türbülans Şiddeti, $I_v(z)$ 'nin Hesabı.....	148
4.3.11.6 Tepe Rüzgar Basıncı, $q_p(z)$ 'nin Hesabı.....	148
4.3.11.7 İşaret Levhası Üzerine Gelen Rüzgar Kuvveti, F_w 'nin Hesabı.....	148
4.3.11.8 Yapısal Katsayı $C_s C_d$ 'nin Hesabı.....	149
4.3.11.9 Rüzgar Türbülans Uzunluğu $L(z)$ 'nin Hesabı.....	149
4.3.11.10 Taşıyıcı eleman için kuvvet katsayısı, C_f Belirlenmesi.....	153
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	155
5.1 Kullanılan Standartlar.....	155
5.1.1 ASCE 7-05 Rüzgar Basıncı Hesap Akışı.....	155
5.1.1.1 Eurocode 1 Rüzgar Basıncı Hesap Akışı.....	156
5.1.2 Örnek Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	156
5.1.2.1 Örnek 1 İçin Sonuçların Karşılaştırılması.....	157
5.1.2.2 Örnek 2 İçin Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	157
5.1.2.3 Örnek 3 İçin Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	158
5.1.3 TS 498.....	158
5.1.3.1 TS 498'e Göre Örnek 1 Hesap Sonuçları.....	158
5.1.3.2 TS 498'e Göre Örnek 2'nin Çözümü.....	159
5.1.3.3 TS 498'e Göre Örnek 3'ün Çözümü.....	159
5.2 Sonuç ve Öneriler.....	160
KAYNAKLAR.....	163

KISALTMALAR

ASCE 7-05	: American Society of Civil Engineers
C & C	: Component and Cladding (Kaplama ve Bileşenler)
MWFRS	: Mean Wind Force Resisting System (Ortalama Rüzgar Dayanım Sistemi)
TS	: Türk Standartı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yeryüzü şekillerine göre pürüzlülük uzunluğu ve yüzey sürtünme katsayısı (Holmes, 2003).....	13
Çizelge 2.2 : Kırsal arazilerde eksenel doğrultudaki türbülans şiddeti değerleri (Holmes, 2003).....	17
Çizelge 4.1 : Arazi katagorileri (ASCE 7-05).....	33
Çizelge 4.2 : Nominal yükseklik değerleri (ASCE 7-05).....	33
Çizelge 4.3 : Önem Katsayıları (ASCE 7-05).....	33
Çizelge 4.4 : Maruz kalma katsayıları (ASCE 7-05).....	34
Çizelge 4.5 : K_1 değerleri (ASCE 7-05).....	35
Çizelge 4.6 : Rüzgar doğrultu katsayısı (ASCE 7-05).....	36
Çizelge 4.7 : İç basınç katsayıları, GC_{pi} (ASCE 7-05).....	37
Çizelge 4.8 : Dış basınç katsayıları (ASCE 7-05).....	41
Çizelge 4.9 : Çatı dış basınç katsayıları (ASCE 7-05).....	41
Çizelge 4.10 : Çatı dış basınç katsayıları (ASCE 7-05).....	42
Çizelge 4.11 : Alanlar için dış basınç katsayıları, GC_{pf} (ASCE 7-05).....	43
Çizelge 4.12 : Durum A ve Durum B için kuvvet katsayıları (ASCE 7-05).....	45
Çizelge 4.13 : Durum C için kuvvet katsayıları (ASCE 7-05).....	45
Çizelge 4.14 : Baca, çatı ışıklığı ve benzer yapı elemanları için kuvvet katsayıları (ASCE 7-05).....	45
Çizelge 4.15 : Yapı ile ilgili genel bilgiler.....	46
Çizelge 4.16 : Yüksekliğine bağlı rüzgar basıncı değerleri.....	48
Çizelge 4.17 : Duvar dış basınç katsayıları.....	49
Çizelge 4.18 : Çatı dış basınç katsayıları.....	49
Çizelge 4.19 : MWFRS için iç basıncın pozitif ve negatif olması durumuna göre yapı yüzeylerine etkiyen net basınçlar.....	50
Çizelge 4.20 : Çatı dış basınç katsayıları.....	51
Çizelge 4.21 : Rüzgar çatı sırtına paralel gelmesi durumunda rüzgar basınçları.....	52
Çizelge 4.22 : Şekil 4.11'den alınan duvar katsayıları.....	54
Çizelge 4.23 : Duvar elemanlar için basınçlar.....	55
Çizelge 4.24 : Çatı elemanlar için basınçlar.....	57
Çizelge 4.25 : Çatı elemanları rüzgar basınçları.....	57
Çizelge 4.26 : Enine doğrultu ($\theta = 18,4^0$).....	58
Çizelge 4.27 : Boyuna doğrultu ($\theta = 0^0$).....	58
Çizelge 4.28 : Enine doğrultu için tasarım rüzgar basınçları.....	59
Çizelge 4.29 : Boyuna doğrultu için tasarım rüzgar basınçları.....	59
Çizelge 4.30 : Rüzgar Çatı sırtına dik gelmesi durumunda.....	62
Çizelge 4.31 : Rüzgar Çatı sırtına paralel gelmesi durumunda.....	62
Çizelge 4.32 : Yüksekliğe bağlı değişen rüzgar hız basınçları.....	65
Çizelge 4.33 : Çatı basınç katsayıları.....	67
Çizelge 4.34 : Çatı basınç katsayıları.....	67

Çizelge 4.35 : Dış basınç katsayıları.....	67
Çizelge 4.36 : MWFRS için tasarım rüzgar basınçları kN/m^2	68
Çizelge 4.37 : MWFRS için tasarım rüzgar basınçları kN/m^2	69
Çizelge 4.38 : MWFRS için tasarım rüzgar basınçları kN/m^2	69
Çizelge 4.39 : Etkili hız basınçları.....	73
Çizelge 4.40 : Etkili uzunluk L_e değerleri(Eurocode 1).....	87
Çizelge 4.41 : Arazi katagorileri ve arazi parametreleri (Eurocode 1).....	91
Çizelge 4.42 : Dikdörtgen planlı binaların duvarları için tavsiye edilen C_{pe} katsayıları (Eurocode 1).....	100
Çizelge 4.43 : Düz çatılar için basınç katsayıları(Eurocode 1).....	102
Çizelge 4.44 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (Eurocode 1).	106
Çizelge 4.45 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (Eurocode 1).	106
Çizelge 4.46 : Düzgün çokgen kesitler için kuvvet katsayıları, $C_{f,0}$ (Eurocode 1)..	120
Çizelge 4.47 : Elemanı kesitler ve kafes yapıları için tavsiye edilen λ (Eurocode 1).	122
Çizelge 4.48 : Duvarlar, parapetler ve çatı yüzeyleri için sürtünme katsayıları C_{fr} (Eurocode 1).	124
Çizelge 4.49 : Yapı ile ilgili genel bilgiler.....	125
Çizelge 4.50 : Rüzgar çatı sırtına dik gelmesi durumunda duvarlar için basınç C_{pe}	129
Çizelge 4.51 : Rüzgar çatı sırtına dik gelmesi durumunda duvarlar için C_{pe}	130
Çizelge 4.52 : Rüzgar çatı sırtına dik olması durumunda çatı basınç katsayıları. ...	131
Çizelge 4.53 : Rüzgar çatı sırtına paralel olması durumunda çatı basınç katsayıları	132
Çizelge 4.54 : Rüzgar 60 m'lik duvara dik gelmesi durumunda basınç katsayıları.	142
Çizelge 4.55 : Rüzgar 60 m'lik duvara dik gelmesi durumunda basınç katsayıları.	142
Çizelge 4.56 : Rüzgar 60 m'lik duvara dik eserse çatı basınç katsayıları.	142
Çizelge 4.57 : Rüzgar 30 m'lik duvara dik eserse çatı basınç katsayıları.	142
Çizelge 4.58 : Parapet için basınç katsayıları, $C_{p,net}$ (Eurocode 1).....	144
Çizelge 4.59 : Alanlara gelen rüzgar basınçlarının değerleri kN/m^2	145
Çizelge 4.60 : Alanlara gelen rüzgar kuvvetlerinin değerleri kN/m	145
Çizelge 4.61 : Alanlara gelen rüzgar kuvvetlerinin değerleri kN/m	145
Çizelge 5.1 : ASCE 7-05 için hesap aşamaları.	155
Çizelge 5.2 : Eurocode için hesap akışı	156

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Basınç Gradyeni şematik gösterimi (Holmes, 2003).....	2
Şekil 1.2 : Coriolis kuvveti şematik gösterimi.....	3
Şekil 1.3 : Kuzey ve güney yarım küreler için Geostropik akım (Holmes, 2003).	4
Şekil 1.4 : Sürtünme etkisinin şematik gösterimi (Holmes,2003).	6
Şekil 1.5 : Tropikal çevrimin şematik gösterimi (Holmes, 2003)	8
Şekil 2.1 : Rüzgar Profilleri (Holmes, 2003).....	14
Şekil 2.2 : Yüzeysel veya dik topoğrafyada hava akımları (Holmes, 2003).	19
Şekil 2.3 : Dik kayalıklarda rüzgar istikametinde meydana gelen ayrılmalar (Holmes, 2003).....	21
Şekil 2.4 : Dik kayalıklarda rüzgar akışı (Holmes, 2003).	21
Şekil 2.5 : Değişen arazi pürüzlülüğünde oluşan iç sınır katmanı (Holmes, 2003)...	21
Şekil 3.1 : Tek büyük açıklıkta dalgalanan iç basıncın Helmholtz rezonans modeli (Holmes, 2003).....	25
Şekil 3.2 : Açıklığın alanına göre iç basınç değişim katsayıları (Holmes 2003).....	26
Şekil 3.3 : Yapı cephesindeki açıklıklar ve hava akışı (Holmes, 2003).	27
Şekil 3.4 : Ortalama iç basınç katsayıları grafiği (Holmes, 2003).....	27
Şekil 4.1 : Topoğrafik parametreler (ASCE 7-05).....	35
Şekil 4.2 : Rüzgar enine doğru gelirse duvarlarda ve çatılarda oluşan basınç alanları (ASCE 7-05).....	42
Şekil 4.3 : Rüzgar boyuna doğru gelirse duvarlarda ve çatıda oluşan basınç alanları (ASCE 7-05).....	43
Şekil 4.4 : Burulmayla ilgili yükleme durumları (ASCE 7-05).....	43
Şekil 4.5 : Kuvvet katsayıları için parametreler (ASCE 7-05).	44
Şekil 4.6 : Yapı uzunlukları ve elemanları.	46
Şekil 4.7 : Yapı yüzeylerinde meydana gelen net basınç.	50
Şekil 4.8 : Yapı yüzeylerinde meydana gelen net basınç.	51
Şekil 4.9 : Yapı yüzeylerinde meydana gelen net basınç.	52
Şekil 4.10 : Yapı yüzeylerinde meydana gelen net basınç.	53
Şekil 4.11 : Standartta verilen basınç katsayıları ve basınç alanları (ASCE 7-05)....	54
Şekil 4.12 : Standartta verilen şekil ve grafik (ASCE 7-05).....	56
Şekil 4.13 : Pozitif iç basınçlar ile enine doğrultuda tasarım basınçları (kN/m ²).....	60
Şekil 4.14 : Negatif iç basınçlar ile enine doğrultuda tasarım basınçları (kN/m ²)....	61
Şekil 4.15 : Pozitif iç basınçlar ile boyuna doğrultudaki dizyan basınçları (kN/m ²). 61	
Şekil 4.16 : Negatif iç basınçlar ile boyuna doğrultudaki dizyan basınçları (kN/ m ²)	61
Şekil 4.17 : Pozitif iç basınçlar ile enine doğrultudaki tasarım basınçları (kN/ m ²). 62	
Şekil 4.18 : Negatif iç basınçlar ile enine doğrultudaki tasarım basınçları (kN/ m ²)	63

Şekil 4.19 : Pozitif iç basınçlar ile Boyuna doğrultudaki tasarım basınçları (kN/ m^2).	63
Şekil 4.20 : Negatif iç basınçlar ile Boyuna doğrultudaki tasarım basınçları (kN/ m^2).	63
Şekil 4.21 : Çok katlı yüksek bina.	64
Şekil 4.22 : Rüzgar 60 m'lik duvara dik esmesi durumunda yüzeylerde oluşan basınçlar kN/m^2	70
Şekil 4.23 : Rüzgar 30 m'lik duvara dik esmesi durumunda yüzeylerde oluşan basınçlar kN/m^2	70
Şekil 4.24 : İşaret levhası.	71
Şekil 4.25 : Yapının boyutları.	72
Şekil 4.26 : Reklam panosuna etkiyen rüzgar kuvvetleri.	78
Şekil 4.27 : Orografik yapı üzerindeki rüzgar hızının yükselişinin gösterilmesi (Eurocode 1).	85
Şekil 4.28 : Yamaç ve yar için s katayısı (Eurocode 1).	87
Şekil 4.29 : Tepe ve sırtlar için s katsayısı(Eurocode 1).	88
Şekil 4.30 : Arazi engebелiliğinin değerlendirilmesi (Eurocode 1).	91
Şekil 4.31 : İki farklı komşu yapıya daha yüksek bir yapının etkisi (Eurocode 1)...	94
Şekil 4.32 : Engel yüksekliği ve rüzgarın yaklaştığı yöndeki açıklık (Eurocode 1)..	94
Şekil 4.33 : Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ 'nin $c_0=1,0$ ve $k_1=1,0$ için grafik gösterimi (Eurocode 1).	95
Şekil 4.34 : Yüzeylerdeki basınç (Eurocode 1).	97
Şekil 4.35 : Değeri 1 m^2 ile 10 m^2 arasında yülenmiş alanı bulunan binalarda dış basınç katsayısı (Eurocode 1).	98
Şekil 4.36 : Çıkıntı yapan çatılar için ilgili basınçların gösterimi (Eurocode 1).	98
Şekil 4.37 : h ve b değerlerine bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşış gelen hız kaynaklı rüzgar basınç profilleri(Eurocode 1).	99
Şekil 4.38 : Düşey duvarlar için açıklamalar (Eurocode 1).	100
Şekil 4.39 : Düz çatılar için açıklamalar (Eurocode 1).	101
Şekil 4.40 : Tek eğimli çatılar için açıklamalar(Eurocode 1).	103
Şekil 4.41 : Tek eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (Eurocode 1).	104
Şekil 4.42 : Tek eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (Eurocode 1).	104
Şekil 4.43 : Çift eğimli çatılar için açıklamalar(Eurocode 1).	105
Şekil 4.44 : Beşik çatılar için açıklamalar (Eurocode 1).	107
Şekil 4.45 : Çok açıklıklı çatılar için açıklamalar (Eurocode 1).	108
Şekil 4.46 : Dikdörtgen tabanlı tonozlar için tavsiye edilen dış basınç katsayıları (Eurocode 1).	109
Şekil 4.47 : Dairesel tabanlı kubbeler için $C_{pe,10}$ dış basınç katsayıları (Eurocode 1).	109
Şekil 4.48 : Düzgün dağılım gösteren açıklıklar için iç basınç katsayıları (Eurocode 1).	111
Şekil 4.49 : Tabakalar arasındaki katman uçlarının kapalı olması hali (Eurocode 1).	114
Şekil 4.50 : Tabakalar arasındaki katman uçlarının katman uçlarının açık olması hali (Eurocode 1).	114
Şekil 4.51 : Tasarım işlemi kapsamında olan genel yapı şekilleri (Eurocode 1)....	117
Şekil 4.52 : Keskin kenarlı ve serbest uç akımı olmayan dikdörtgen kesitler için $C_{f,0}$ katsayıları (Eurocode 1).	118
Şekil 4.53 : Keskin kenarlı yapı elemanı kesitleri (Eurocode 1).	119
Şekil 4.54 : Düzgün çokgen kesitler (Eurocode 1).	121

Şekil 4.55 : λ Narinlik değerlerine karşı uç tesir katsayısı ψ_λ 'nın gösterge niteliğindeki değerleri (Eurocode 1).	123
Şekil 4.56 : Doluluk oranı ϕ 'nin tanımı (Eurocode 1).	123
Şekil 4.57 : Sürtünme için referans alan.	124
Şekil 4.58 : Yapı uzunlukları ve elemanları.	125
Şekil 4.59 : Duvarlara gelen rüzgar basıncının şematik gösterimi.	128
Şekil 4.60 : Dikdörtgen planlı binalar duvarlar basınç alanlarının şematik gösterimi.	129
Şekil 4.61 : Dikdörtgen planlı binalar duvarlar basınç alanlarının şematik gösterimi.	130
Şekil 4.62 : Rüzgarın çatı sırtında oluşturduğu basınç alanları	131
Şekil 4.63 : Rüzgarın çatı sırtında oluşturduğu basınç alanları	131
Şekil 4.64 : Basınç katsayıları 1. kombinasyon	132
Şekil 4.65 : Basınç katsayıları 2. kombinasyon	132
Şekil 4.66 : Basınç katsayıları 3. kombinasyon	133
Şekil 4.67 : Basınç katsayıları 4. kombinasyon	133
Şekil 4.68 : Pozitif iç basınç olması durumunda duvarlar ve çatıdaki $C_{pe,10}$	133
Şekil 4.69 : Negatif iç basınç olması durumunda duvarlar ve çatıdaki $C_{pe,10}$	134
Şekil 4.70 : Rüzgar çatı sırtına paralel gelmesi durumunda yapıda oluşan $C_{pe,10}$	134
Şekil 4.71 : Rüzgar çatı sırtına paralel gelmesi sonucu yapıda oluşan $C_{pe,10}$	134
Şekil 4.72 : Duvar ve çatıda oluşan en kötü durum	135
Şekil 4.73 : Duvar ve çatıda oluşan dış basınçlar.	136
Şekil 4.74 : Duvarlar ve çatıda oluşan dış basınçlar.	136
Şekil 4.75 : İç basınç pozitif olursa yan duvarlarda oluşan dış basınçlar. (kN/m^2).	137
Şekil 4.76 : İç basınç negatif olursa yan duvarlarda oluşan dış basınçlar. (kN/m^2)	137
Şekil 4.77 : İç basınç pozitif olursa yan duvarlarda oluşan dış basınçlar. (kN/m^2).	137
Şekil 4.78 : İç basınç negatif olursa yan duvarlarda oluşan dış basınçlar. (kN/m^2)	138
Şekil 4.79 : Yüksek katlı yapı örneği	138
Şekil 4.80 : Rüzgar 30 m'lik duvara dik eserse rüzgar basınçlarının şematik gösterimi.	140
Şekil 4.81 : Rüzgar 60 m'lik duvara dik eserse rüzgar basınçlarının şematik gösterimi.	141
Şekil 4.82 : Rüzgar 60 m'lik duvara dik gelmesi durumunda yapı yüzeyinde oluşan dış basınçlar.	143
Şekil 4.83 : Rüzgar 30 m'lik duvara dik gelmesi durumunda yapı yüzeyinde oluşan dış basınçlar.	143
Şekil 4.84 : Parapetler için basınç alanları (Eurocode 1)	144
Şekil 4.85 : İşaret levhası	146
Şekil 4.86 : Yapı boyutları	146
Şekil 4.87 : İşaret levhası boyutlarının gösterimi.	149
Şekil 4.88 : Yapı üzerine gelen rüzgar kuvvetleri.	154
Şekil 5.1 : Rüzgar çatı sırtına dik gelmesi sonucu yapı yüzeylerinde oluşan rüzgar basınçları.	158
Şekil 5.2 : Yapı üzerine gelen rüzgar yükleri.	160

ASCE 7-05, EUROCODE 1-4 VE TS 498 KULLANARAK YAPILARA GELEN RÜZGAR YÜKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Rüzgar yükleri birçok ülke için yapı tasarımında etkin rol oynamaktadır. Bu konu ile ilgili binlerce makale yayımlanmış ve deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucu elde edilen veriler standartlar haline dönüştürülerek kullanıma sokulmuştur. Tezin kapsamı içerisinde:

Birinci bölümde rüzgarın meteorojik özellikleri üzerinde durulmuştur. Bu bölümde rüzgar hareketleri ve bu hareketler sonucu yeryüzünde oluşan kuvvetler incelenmiştir.

İkinci bölümde atmosferik sınır katmanları ve rüzgar türbülansı konusu işlenmiştir. bu kısımda rüzgar hızının zamana bağlı bileşenlerinin yükseklikle değişimi üzerinde durulmuş ve topoğrafyanın rüzgar akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde ise; rüzgar etkisine maruz kalan yapıların dış çeperlerinde meydana gelen açıklıkların yapının iç kısmında oluşturduğu iç basınçların hesaplanması için gereken parametreler verilmiştir.

Dördüncü kısımda dünyada mühendislerin yaygın olarak kullandığı rüzgar yönetmeliklerinde ikisi olan ASCE 7-05 ve Eurocode 1'in yapılar üzerine gelen rüzgar yüklerinin ve rüzgar basınçlarının bulunması için kullanılan yöntemler ve kriterler üzerinde durulmuştur. Bu bölümde aynı zamanda he rijit bir yapı hemde esnek bir yapı için her iki yönetmelik kullanılarak örnek hesaplar yapılmıştır.

Son bölümde ise; dördüncü bölümlerde işlenen yönetmeliklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Dördüncü bölümde çözülen örneklerin sonuçları ve karşılaştırılması bu bölümde verilmiştir.

COMPARISION OF WIND LOADING ON BUILDINGS BY USING ASCE 7-05, EUROCODE 1-4 AND TS 498

SUMMARY

The wind loading plays an important role for designing building in many countries. Several thousand reserarch papers have been published in journals and made several experimants in all aspects of this subject. After these experiments the test result are transformed into regulations to evaluate design wind pressures or wind forces for buildings which are exposed to wind effects. The scope of this thesis is summarized in the consecutive paragraphs.

In first chapter, the meteorological aspects of wind is explained. In this chapter movement of wind and forces which are caused by movement of wind are studied.

Secondly, the atmospheric boundry layer and wind turbulance are explained. The scope of the second chapter consist of the variation of the mean wind speed with height above the ground near the surface and modification of wind flow by topography.

In third chapter, the fundementals of the prediction of wind induced internal pressure within enclosed buildings and sudden opennings of windward wall which is caused internal pressure are explained.

In forth chapter, the wind regulations either ASCE 7-05 or Eurocode 1 which are widely used by civil engineers to evaluate the wind pressures or wind forces. The scope of this chapter is method of evaluating the wind forces and wind pressures in addition to this calculation criterions by using both of these standarts. This chapter also includes examples both rigid building or flexible building that are evaluated wind effets by using these standards.

The last chapter consists of the comparison of ASCE 7-05 and Eurocode 1. In this chapter, the result of examples that are calculated in part four is compared.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

1.1 Giriş

Teknolojik imkanların artması ile daha yüksek boyutlarda inşa edilen bina konstrüksiyonları, döner kule asma köprü gibi yüksek yapıların tasarımında yalnız mimari ve statik etkiler değil kullanım ömürleri boyunca maruz kalacakları aerodinamik etkilerinde göz önüne alınmalıdır.

Rüzgarın yapılar üzerindeki etkisi rüzgarın hızına, yapının yerden yüksekliğine, geometrisine ve civarındaki yapıların konumuna bağlıdır. Genel olarak rüzgar etkilerinin belirlenmesinde hava yoğunluğu ve rüzgar şiddetinin karesinin fonksiyonu olan dinamik etki esas alınmaktadır (Aslan ve diğ., 1991).

Yapılara rüzgar tesiri dış çevre tesirlerinden en az sismik etkiler kadar etkilidir. Hemen hemen yılın her günü yeryüzünün herhangi bir yerinde şiddetli rüzgarlar meydana gelmektedir. Özellikle tropikal bölgelerde oldukça şiddetli rüzgarlar oluşmakta ve bu şiddetli rüzgarlar kıyı şeridini harap edebilmektedir. Giriş bölümünden fırtınaların meteorolojik özelliklerinden boranlardan, tropikal siklonlardan, kasırgalardan bahsedilecektir.

Rüzgarın yapılar üzerinde bıraktığı tahribatlar son otuz beş yıldır tartışılmaktadır. Özellikle 1970'li yıllarda yoğun çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar değişik cisimler üzerinde geçen farklı şartlar altındaki akışkanların cisim üzerinde meydana getirdiği basınç dağılımları ve buna bağlı olarak cisme etkileyen yüklerin hesaplanması konusunda yoğun olarak devam etmiştir.

1.2 Rüzgarın Meteorolojik Yönü

Rüzgar güneş ışınlarının yer yüzüne farklı açılardan gelmesi sonucu oluşan sıcaklık farklarından veya dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu oluşan hava hareketlerinin genel adıdır. Farklı ısınan yer kürede basınç farklılıkları oluşmaktadır. Hava kütlesi daima yüksek basınçtan alçak basınca doğru hareket eder. İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar fazla ise rüzgarın hızı ve şiddeti o kadar fazla olur.

Bu basınç farkı ve dünyanın kendi etrafındaki dönüşü ile birlikte atmosferde büyük yatay ve düşey hava sirkülasyonlarını meydana getirmektedir (Holmes, 2003).

Yerel rüzgarlar yerel taşınım etkisinden (yıldırım fırtınalardan) veya sıra dağlardan hava kütlelerinin yükselmesi (eğim rüzgarı) sonucu oluşur (Şekil 1.1). Şiddetli tropik çevrimler tayfunlar ve kasırgalar genellikle şiddetli rüzgarlardır ve tropikal alanlarda ve 10. ile 30. enlemler arasındaki kıyı şeritlerinde görülmektedir. Bütün şiddetli rüzgarlar atmosferde girdaplar oluşturmaktadır. Bu girdap etkisi ile birlikte yeryüzü sınır katmanında sürtünme kuvveti ve kesme kuvveti oluşturmaktadır (Holmes, 2003).

1.2.1 Basınç Gradyenti

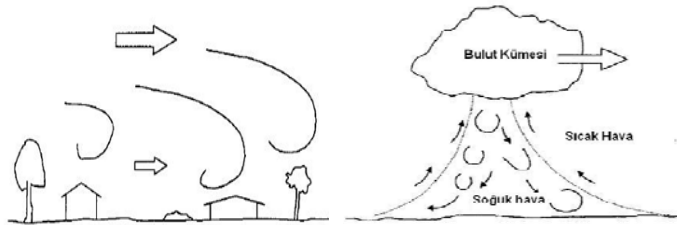
Yeryüzü sınır katmanı ile atmosfer boşluğu arasında iki önemli kuvvet oluşmaktadır. Bunlardan biri basınç gradyenti diğeri ise coriolis kuvvetidir.

Basınç gradyenti akışkanlar mekaniğindeki gibi hava kütlesi Kartezyen koordinat sisteminde x doğrultusundaki birim kütle için elde edilen basınç gradyenti ($\partial p / \partial x$) ile hesaplanabilir. Birim kütle için elde edilen kuvvet Denklem 1.1 kullanılarak hesaplanabilir (Holmes, 2003).

$$\left(\frac{1}{\rho_a} \right) \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1.1)$$

Burada; ρ_a havanın özgül ağırlığıdır.

Bu kuvvet daima yüksek basınçtan düşük basınca doğru hareket eder.

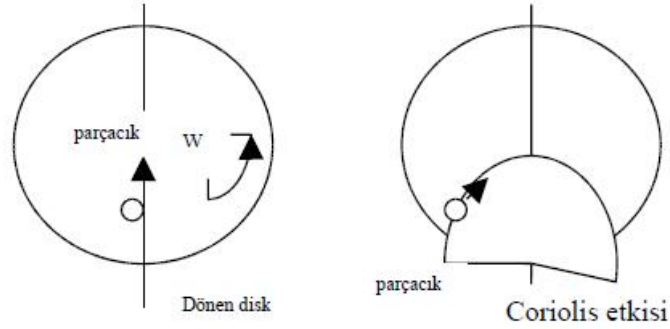


Şekil 1.1 : Basınç Gradyeni şematik gösterimi (Holmes, 2003).

1.2.2 Coriolis Kuvveti (Holmes, 2003)

Coriolis kuvveti dünyanın kendi etrafında dönmesinden ileri gelir. Bunun fiziksel kaynağını anlamak için düz, dönen bir disk düşünelim. Bir parçacığı diskin bir

tarafından diğer tarafına hiç kuvvet etkimeksizin hareket ettiğini kabul edelim. Bu durumda eylemsiz bir gözlemci onun çap boyunca karşı tarafa doğru bir çizgi üzerinde hareket ettiğini görür. Disk dönmesi nedeniyle diskin üzerindeki gözlemci, parçacığı ardışık yarıçapların kesiştiği yerden geçen eğri bir yol çizdiğini görür. Eğer diskin döndüğünün farkında değilse, parçacığın yolundaki eğriliği parçacık üzerine etkiyen ve onun hızının sağa doğru bükülmesine neden olan kuvvetten kaynaklandığını sanacaktır. İşte bu coriolis kuvvetidir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Coriolis kuvveti şematik gösterimi (Url-1).

Coriolis kuvvetini atmosferde hareket eden bir hava kütlesi için yorumlarsak; P, Güney yarım kürede, U, hızı ile A, doğrultusunda (şekil 1.3, sol) yatay olarak hareket eden hava kütlesi düşünelim. Dünya Ω açısal hızı ile saat yönünde dönerken, A noktası B noktasına doğru hareket edecek. A' noktası ise A noktasına hareket edecek. Dünya yüzeyine oranla, hava kütlesi PA' yolunu izleyecek. Fakat bu yolu izlerken dünyanın dönmesinden dolayı hava kütlesinin yolunda sola doğru bir sapma gerçekleşecek (şekil 1.3, sağ). Böylece Coriolis etkisindeki bir hava parçacığı kuzey yarım kürede sağa, güney yarım kürede ise sola doğru saptığını görürüz. Ekvator bölgesinde Coriolis kuvveti sıfırdır. Aynı şekilde hem güney yarım kürede hemde kuzey yarım kürede 5 derecelik enlemlerde de Coriolis kuvveti sıfır alınabilir.

Denklem 1.2'de Coriolis ivmesi verilmiştir.

$$a = 2U\Omega \quad (1.2)$$

Burada; a coriolis ivmesini; U hava hareketinin hızını ve Ω ise dünyanın açısal hızını simgelemektedir.

1.2.3 Geostropik Rüzgar

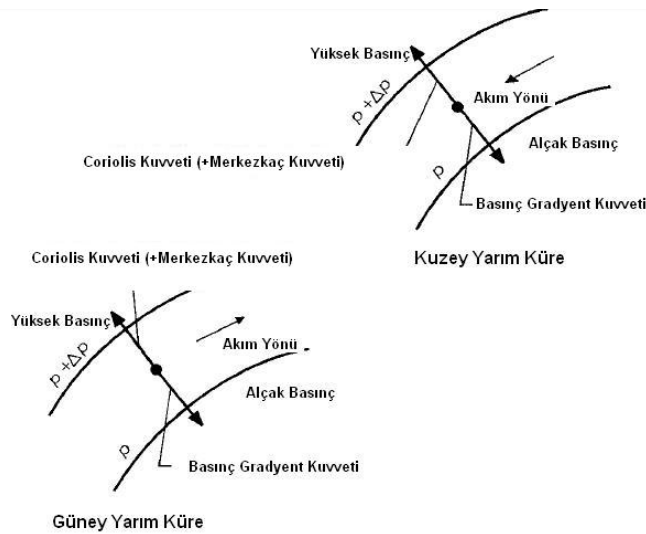
Basınç gradyenti ve Coriolis kuvveti eşit ve zıt değerlerinin altında sabit akıma “Dengeli Geostropik Akım” adı verilir. Basınç gradyentinin hesabı Denklem 1.3’de verilmişti. Basınç gradyanti denklemi ile Coriolis kuvveti denklemleri eşitlenirse;

$$U = -\left(\frac{1}{\rho af}\right) \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1.3)$$

elde edilir (Holmes, 2003).

Burada; U geostropik rüzgar hızını simgelemektedir.

Basınç Granyenti, Coriolis kuvveti ve akım yönü hem kuzey yarım küre hemde güney yarım küre için aşağıdaki Şekil 1.3 de gösterilmiştir. Rüzgar akım yönü iki yarım kürede de eş basınç eğrilerine (izobarlara) paraleldir. Kuzey yarım kürede, bazı nedenlerle bir alçak basınç bölgesi oluştuğunu varsayalım. Bunlar havanın basınç gradyenti tarafından içe doğru çekilir. Hava hareket etmeye başladığında bununla beraber, Coriolis kuvveti onu sağa doğru bükmeye zorlar. Böylece kuzey yarım kürede alçak basınç bölgesi etrafında saatin tersi yönünde güney yarım kürede ise saat yönünde dönme başlar. Bu çevrim alçak basınç merkezi etrafında gerçekleşir. Bu süreç içe doğru etkiyen basınç ve dışa doğru etkiyen Coriolis kuvveti birbirine eşit oluncaya kadar devam eder. konfigürasyon, ılıman enlemlerde yaşayanların alışık olduğu, bir siklon veya depresyon durumudur. tam tersi durum olan yüksek basınç etrafındaki çevrim ise anti siklon olarak adlandırılır (Holmes, 2003).



Şekil 1.3 : Kuzey ve güney yarım küreler için Geostropik akım (Holmes, 2003).

1.2.4 Gradyent Rüzgar

Eğer izobarlar önemli bir eğriliğe sahipse, parçacık üzerine etkiye merkezkaç kuvveti ihmal edilemez. Bu durumda merkezkaç kuvvetinin Coriolis kuvvetine eklenmesi gerekir. Birim kütle için merkezkaç kuvveti (U^2/r)'dir. Burada; U merkezkaç kuvveti; r ise izobarın eğrilik yarıçapıdır. Eğer rüzgar çevrimi yüksek basınç merkezi etrafında ise (anti siklon); merkezkaç kuvveti ve basınç gradyenti ise aynı yönlü, Coriolis kuvveti ile ters yönlüdür. Eğer hava akımı alçak basınç merkezi çevresinde (siklon) ise; merkezkaç kuvveti Coriolis kuvveti ile aynı yönlü, Basınç Gradyenti ile ters yönlüdür.

Sabit hızla hareket (U) ile hareket eden birim kütle için hem siklon Denklem 1.4 hemde anti siklon Denklem 1.5 için hareket denklemleri aşağıda verilmiştir.

Bu iki denklem hem güney yarım kürede hemde kuzey yarım kürede kullanılabilir. Eğer basınç gradyenti sıfır ise; U sıfır olmalı bundan dolayı denklemler aşağıdaki gibi olur (Holmes, 2003).

Anti siklon için

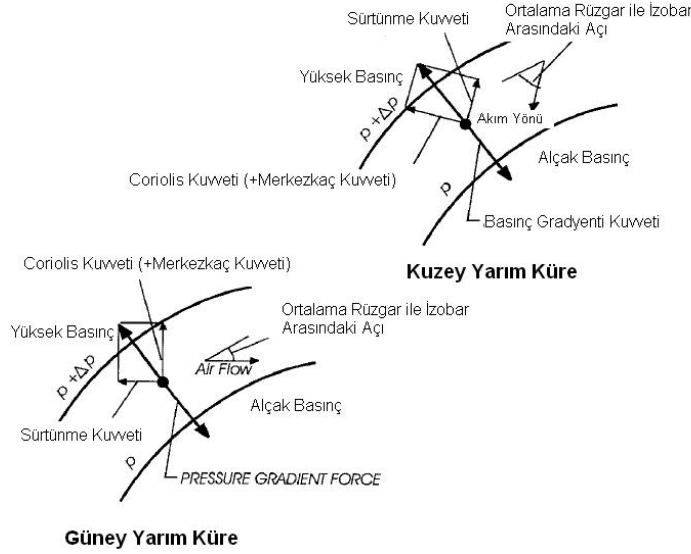
$$U = \frac{|f|r}{2} - \sqrt[2]{\left(\frac{f^2 r^2}{4} - \frac{r}{\rho a} \left| \frac{\partial p}{\partial r} \right| \right)} \quad (1.4)$$

Siklon için

$$U = \frac{|f|r}{2} + \sqrt[2]{\left(\frac{f^2 r^2}{4} - \frac{r}{\rho a} \left| \frac{\partial p}{\partial r} \right| \right)} \quad (1.5)$$

1.2.5 Sürtünme Etkisi

Sürtünme kuvveti hava hareketinin başlamasıyla ortaya çıkan bir kuvvettir. Atmosferden yeryüzüne yaklaşıldığında rüzgar akım yönü alçak basınç bölgesine doğru olmaktadır (Şekil 1.4). Yüksekliğin artmasıyla hava akım hızı artmasına rağmen; hava akım yönü ve izobarlar arasındaki açı azalmakta ve yeterli yükseklikte paralel olmaktadır. Buna bağlı olarak sürtünme kuvveti de azalmaktadır. yeryüzü çevresinde hava akım yönü ile izobarlar arasında 30 derece civarında olmaktadır. Bu etkiye “Ekman Spirali” etkisi adı verilir (Holmes, 2003).



Şekil 1.4 : Sürtünme etkisinin şematik gösterimi (Holmes,2003).

1.3 Rüzgarın Sınıflandırılması

1.3.1 Atmosferik Hareketler

Birçok atmosferik hareket daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi rüzgar hızı (yatay ve düşey) basınca, sıcaklığa, yoğunluğa ve neme bağlı tanımlanabilir. Bu altı özellik altı denklem ile ifade edilebilir. Bunlar; hal denklemleri, termodinamiğin birinci denklemleri, kütle ve nem süreklilik denklemleri, yatay ve düşey denge denklemleridir. Gelişen teknoloji ile uydulardan yapılan gözlemler ve bilgisayar tabanlı yaklaşım metodları kullanılarak başlangıç koşulları ve özellikleri elde edilen veriler yukardaki verilen denklemlerin çözümü için gerekli datayı elde etmemize yardımcı olur (Holmes, 2003).

Atmosferik hareketler bağımlı akım karakterlerinin süperpozisyonu olarak ifade edilebilir. Meteorolojide atmosferik büyüklükler üç ana grupta toplanır. Bunlar mikro ölçekli, orta ölçekli ve sinoptik ölçekli hareketlerdir. Bu sınıflandırmaya göre sinoptik ölçekli hareketler 500 km mesafede ve karakteristik zaman ölçeği 2 gün veya daha fazla olan hareketlerdir. Mikro ölçekli hareketler ise karakteristik mesafe ölçeği 20 km'den daha az ve zaman ölçeği 1 saatten az olan hareketleri içermektedir. Orta ölçekli hareketler ise bu yukarda tanımlanan özellikteki hareketlerin arasında kalan değerleri içermektedir (Holmes, 2003).

1.3.2 Genel Çevrim

Atmosferik genel çevrimlerin yüksek basınç bölgesine düşük basınç bölgesine doğru olduğu daha önceki bölümlerde ifade edilmişti.

Gerçekte meridyenel çevrimler coğrafi ve mevsimsel etkilerinden dolayı oldukça karışıktır. Mevsimsel ekiler basınç kuşaklarının pozisyonunun şiddetini ve şiddetin özelliklerini içermektedir. Coğrafi etkiler ise değişken fiziksel etkilerin ortaya çıkmasında etklidir (Url-1, 2010).

Deniz okyanus yüzeyine nazaran geç ısınıp, geç soğumaktadır. Akışkanlar soğuk bölgelerden sıcak bölgelere doğru hareket etmesi özellikle ve yaz aylarında basınç gradyan kuvvetinin deniz yüzeyinden kara yüzeyine doğru olmaktadır. Bunun tam tersi özellik kış aylarında gerçekleşir. Kış aylarında kara yüzeyinin soğuk deniz yüzeyinin sıcak olmasından dolayı deniz yüzeyi sıcak hava kaynağı haline geldiği görülür (Url-1, 2010).

1.3.3 Rüzgar Tiplerinin Sınıflandırılması

Rüzgarlar meydana geliş nedenlerine göre isim alırlar. Atmosferin genel olarak devir daiminden meydana gelen rüzgarlar;

- Kutuplara doğru esen Kutup Rüzgarları,
- 40. ve 60. enlemler arasında esen kuvvetli Batı Rüzgarları,
- Kuzey yarımkürede kuzeydoğu yönünden, güney yarımkürede güneydoğu yönünde daima kuru esen Alize Rüzgarları.

Yaz ve kış atmosfer basıncında ters yönde değişiklik olması ve bölgede basınç alanları arasında büyük fark olmasından meydana gelen rüzgârlara ise muson rüzgârları denir. Yazın karaya, kışın denize doğru eser. Kış musonu soğuk ve kuru, yaz musonu oldukça nemlidir (Url-1, 2010).

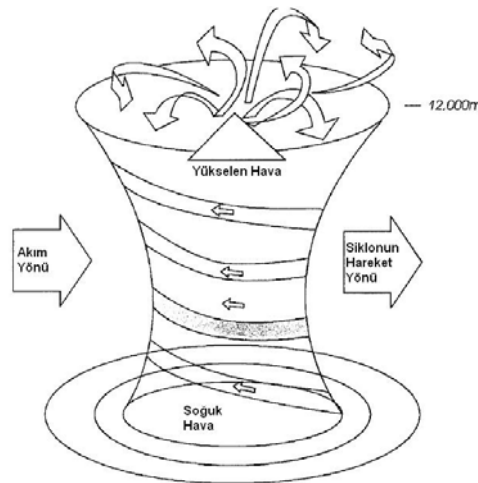
Rüzgarlar bulundukları bölgelere göre de isim alırlar.

Meltemler; kara ile deniz arasında eser. Öğle vakitleri karalar ısınıp, alçak basınç sahası meydana getirince denizden karaya doğru eser. Gece bunun tesiri çok daha yavaş olur. Bu hava akımları vadilerle dağlar arasında da meydana gelir (Url-1, 2010).

- Soğuk mahallî (yerel) rüzgârlar zaman zaman meydana gelen basınç farkından olur. Adriyatik Denizi ile Fransa'nın Akdeniz sahillerinde eser. Bora ismini de alır(Url-1, 2010).
- Sıcak yerel rüzgârlar, İsviçre Alpleri kuzey yamaçlarını etkileyen kuru sıcak rüzgârlardır. Fön (Föhn) de denir (Url-1, 2010).

1.3.3.1 Tropikal Siklonlar

Tropikal bölgelerde kararlı-durgun karakter taşıyan hava kütlelerindeki dengenin bozulmasıyla, havanın ani olarak dikey yükselmesi ile ortaya çıkar. Buradaki dengenin bozulmasında havanın sıcaklık ve nem miktarı artışının önemli bir etkisi vardır. Dikey olarak yükselen hava külesini, çevreden merkeze doğru gelen hava kütleleri besler. Hava kütlelerinin hareketi. Coriolis etkisi ile merkeze (alçak basınç alanına doğru) sarmal bir harekettir. Bu hareket çok hızlı fırtınalar halinde beliren rüzgarlar şeklinde olur Şekil1.6 (Holmes, 2003).



Şekil 1.5 : Tropikal çevrimin şematik gösterimi (Holmes, 2003)

Çok önceden beri Hindistan'da kullanılan "siklon" terimi, dünyanın her yerinde aynı şekilde beliren bütün hava hareketleri için de kullanılmıştır. Tropikal siklonlar Hint okyanusunda Siklon, Büyük okyanusta Tayfun (typhoon), Meksika körfezinde harikeyn (Hurricane), Güney Amerika'da Tornado, Filipinlerde baguio, Avustralya'da Willy adı verilir (Holmes, 2003)

Saatteki hızı 160 km'den fazla olan bu rüzgarlar, geçtikleri yerlerde çok büyük yıkımlara, can ve mal kaybına, tarım alanlarının yok olmasına neden olur. Yıkımları güçlü yağmurlarda daha da artar. Alçak arazilere su basar. Kıyılarda, kuvvetli rüzgar

ve dalgaların etkisi ile deniz yüzeyi 2-3 metre kabarır. Böyle bir fırtınaya yakalanan bir Amerikan ağır Kruvazörü ikiye bölünmüştür (Url-1, 2010).

1.3.3.2 Hortumlar

Bu tür fırtınalar, sıcak-nemli bir hava kütesinin üzerine, soğuk-kuru hava kütesinin gelmesi ile oluşur. Tornado veya hortumlar, sarmal bir biçimde çok güçlü konveksiyonel hareketle yükselen bir hava kütesinin merkezinde oluşturduğu girdap şeklinde belirir. Bunlar tropikal siklonlara göre çok daha küçük ve dar alanlı olmakla birlikte Dünya’da bilinen en güçlü en yıkıcı fırtınalarıdır (Holmes, 2003). Genellikle hortumun yakınlarında rüzgar hızı, saatte 500 ile 700 km’yi, dikey akımların ise saatte 350 km’yi bulduğu tahmin edilmektedir. Bu güçlü hava akımları ağaçları kökünden söker, evleri yıkar; sonra dikey hava hareketi de yıkılanları havaya uçurur. Bu olay genellikle 1-2 saat sürer (Url-1, 2010).

2. ATMOSFERİK SINIR KATMANLARI VE RÜZGAR TÜRBÜLANSI

2.1 Giriş

Yeryüzüne yaklaşıldıkça, sürtünme kuvveti hareket eden hava üzerindeki kuvvetlerin dengelenmesinde önemli bir role sahiptir. Büyük fırtınalarda ekstra tropikal rüzgarlarda atmosferik sınır tabakası 500m ile 1000m arasında bir yüksekliğe kadar genişleyebilirken, yıldırımlı fırtınalarda ise bu sınır katmanı yüksekliği 100m civarlarında veya daha az olmaktadır. İşte sürtünme kuvvetinin etkili olduğu bu alana Atmosferik sınır katmanı adı verilmektedir. Atmosferik sınır katmanının derinliği rüzgarın şiddetine, arazinin pürüzlülüğüne ve enlem açısına bağlı bir değerdir (Holmes, 2003). Rüzgar hızı yüksekliğin artması ile artmakta ve bu sınır tabakası en üst noktasındaki hız büyüklüğüne “gradyan hız” adı verilmektedir. Bu sınır tabakasının dışında yani atmosfer boşluğunda rüzgar izobarlar boyunca gradyen hız ile akmaktadır (Holmes, 2003).

Coriolis kuvveti yeryüzüne yaklaştıkça rüzgar hızının azalmasıyla beraber öneminde kaybetmektedir. Bu durum geostropik dengenin oluşmasına neden olmaktadır. İzobarlara paralel olan rüzgar yönü yüksekliğin azalması ile beraber alçak basınca yöneldiği görülmektedir. Böylece ortalama rüzgar vektörünün yönü yükseklik arttıkça değişmektedir. Bu etkiye “Ekman Spirali” olarak bilinmekte ve rüzgar mühendisiliğindeki etkisi göz önüne alınmamaktadır (Holmes, 2003).

2.2 Ortalama Rüzgar Hızı Profilleri

2.2.1 Logaritma Yasası

Bu bölümde ortalama veya ortalama zamana bağlı hız bileşenlerinin yükseklik ile değişim sonucu oluşan varyasyonlar üzerinde durulacaktır. Güçlü rüzgarlar için en doğru matematik ifade logaritma yasasıdır. Logaritmik yasa ilk olarak türbülans sınır katmanı için türetilmiştir, bununla beraber bu ifade yeryüzüne yakın atmosferik sınır tabakasında meydana gelen güçlü rüzgarlar içinde kullanılabilir. Bu ifade oldukça basit ve boyut analizi için iyi bir formdur (Holmes 2003).

Rüzgarın yükseklik ile değişimi veya ortalama rüzgar hızının değişimi, $\bar{U}$ ile gösterirsek bu değer aşağıdaki bileşenlerin birer fonksiyonu olmaktadır.

- Yeryüzünden olan yükseklik, z
- Yeryüzü kayma gerilmesi, τ_0
- Havanın özgül ağırlığı, ρ_0

Yeryüzü yakınlarında coriolis kuvveti sıfır kabul edilirse; rüzgar değişim boyutsuz olarak aşağıda Denklem 2.1’de verilen matematik form ile ifade edilebilir (Holmes 2003).

$$\frac{d\bar{U}}{dz} z \sqrt{\frac{\rho_0}{\tau_0}} \quad (2.1)$$

Burada; $\left(\tau_0/\rho_0\right)$, Hızın bir boyutu olup sürtünme hızı; u_* , Sürtünme hızı fiziksel bir hız değildir.

Buna göre; denklem en son şu şekli almaktadır.

$$\frac{d\bar{U}}{dz} \frac{z}{u_*} = a \text{ sabit ve } \frac{1}{k} \quad (2.2)$$

Yukardaki değeri integre edersek;

$$\bar{U}_{(z)} = \frac{u_*}{k} (\log_e z - \log_e z_0) = \frac{u_*}{k} \log_e (z/z_0) \quad (2.3)$$

z_0 , integrasyon sabiti olup pürüzlülük uzunluğu olarak isimlendirilmektedir.

Denklem 2.3 logaritmik yasanın en genel kullanımıdır. k , Von Karman sabitidir ve değeri 0.4 civarındadır. z_0 , yeryüzü pürüzlülüğünün bir ölçüsüdür.

Diğer bir arazi pürüzlülük ölçüsünde yüzey sürtünme katsayısı olan K ‘dır.

$$K = \frac{\tau_0}{\rho \bar{U}_{10}^2} = \frac{u_*^2}{\bar{U}_{10}^2} \quad (2.4)$$

$\bar{U}_{10}$, 10 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızını ifade etmektedir.

Arazinin çok pürüzlü olduğu kentsel ve ormansal alanlarda Denklem 2.3’de verilen z yüksekliği etkili yükseklik olan z - z_h ile değiştirilebilir. z_h, sıfır yüzeyi deplasmanı adı verilmektedir (Holmes, 2003).

Genele olarak z_h hesap yaparken genel çatı yüksekliğinin 3/4 ‘ü olarak alınabilir.

Farklı yüksekliklerdeki birbirine bağlı ortalama rüzgar hızları;

$$\kappa = \frac{\bar{U}_{(z_1)}}{\bar{U}_{(z_2)}} = \frac{\log_e \left[(z_1 - z_h) / z_0 \right]}{\log_e \left[(z_2 - z_h) / z_0 \right]} \quad (2.5)$$

Denklem 2.4 ve Denklem 2.5’de z=10 m alınarak birbirine eşitlenirse; yüzey sürtünme katsayısı ve pürüzlülük uzunluğu aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\kappa = \frac{k}{\log_e \left(\frac{10}{z_0} \right)} \quad (2.6)$$

Çizelge 2.1 : Yeryüzü şekillerine göre pürüzlülük uzunluğu ve yüzey sürtünme katsayısı (Holmes, 2003).

Yeryüzü Tipi	z ₀ (cm)	K (10 ⁻³)
Kumlu Arazi	0,01 - 0,1	1.2 - 1.9
Karlı Yüzey	0,1 - 0,6	1.9 - 2.9
Biçilmiş Çim (0.01m)	0.1 - 1,0	1.9 - 3.4
Düşük Çim, Bozkır	1,0 - 4,0	3.4 - 5.2
Nadas Alanı	2,0 - 3,0	4.1 - 4.7
Yüksek Çim	4,0 -- 10,0	5.2 - 7.6
Palmiyeli Alan	10,0 - 30,0	7,6 - 13,0
Çam Ormanı (ortalama ağaç yüksekliği 15	90,0 - 100,0	28,0 - 30,0
Sık İnşaa edilmemiş şehir civarı	20,0 - 40,0	10,5 - 15,4
Yoğun inşaa edilmiş şehir civarı	80,0 - 120,0	25,1 - 35,6
Büyük Şehirlerin merkezi	200,0 - 300,0	61,8 - 110,4

Negatif sayıların logaritması alınamadığından ve logaritmik yasanın integrasyonu alınmasının zorluğundan dolayı Güç yasasını kullanmakla daha doğru sonuçlar elde edilebilir (Holmes, 2003).

2.2.2 Güç Yasası

Güç yasasının teorik bir alt yapısı yoktur fakat her yükseklik için kolay integre edilebildiğinden ve yüksek yapılarda tabanda meydana gelen eğilme momentinin kararında daha uygun sonuçlar verdiği için rüzgar mühendisleri tarafından tercih edilmektedir.

Z yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı ile 10 m yükseklikte ortalama rüzgar hızı engebeli (pürüzlü) arazi üzerindeki ilişkisi güç yasası ile aşağıdaki formda yazılabilir.

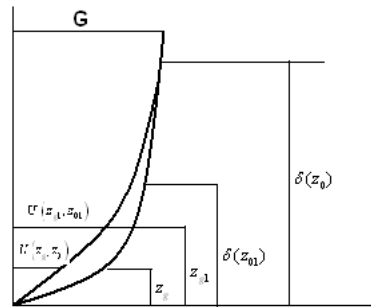
$$\bar{U}_{(z)} = \bar{U}_{(10)} \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad (2.7)$$

Denklem 2.7’de verilen α üssü arazinin pürüzlülüğüne göre değişmektedir, arazi pürüzlülük uzunluğu ile α arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \left(\frac{1}{\log_e (z_{ref}/z_0)} \right) \quad (2.8)$$

Burada; z_{ref} , referans yüksekliğidir ve ortalama yükseklik ya da maksimum yüksekliğin yarısı olarak alınabilir (Holmes, 2003).

Birbirine çok yakın iki arazi, ve bu iki arazinin üniform arazi pürüzlülüğüne sahip olduğunu düşünelim. Arazilerin pürüzlülük uzunluğuna z_{01} ve z_0 dersek ve $z_{01} < z_0$ olduğunu kabul edersek; pürüzlü arazi üzerinde akımın gecikmesine neden olan sürtünme kuvveti daha etkili olacaktır. Eğer gestropik hız aynı yükseklikte eşit olduğu düşünülürse; pürüzlü arazi üzerinde ortalama rüzgar hızı daha düşük olacaktır. Şekil 2.2’de bu duruma karşı gelen rüzgar profilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Rüzgar Profilleri (Holmes, 2003).

Pürüzlü arazi üzerinde rüzgar hızı biliniyorsa, $U(z_{g1}, z_{01})$; diğer arazi üzerindeki rüzgar hızını hesaplayabilmek için, herbir profil için Denklem 2.7 yazılarak eşitlenirse hız bulunabilir.

2.2.3 Tropikal Çevrimlerde Rüzgar Profilleri

Tropikal çevrimlerde rüzgar hızı profili aşağıdaki formül kullanılarak karar verilebilir.

$$\bar{U}_{(z)} = \bar{U}_{(10)} \frac{\log_e(z/0.3)}{\log_e(10/0.3)}, \text{ 100 m den az yükseklikler için;} \quad (2.9)$$

$$\bar{U}_{(z)} = \bar{U}_{(100)}, \text{ 100 m ve daha fazla yükseklikler için;} \quad (2.10)$$

Yukarıdaki formüller hem okyanus yüzeyi için hemde kıyı şeridinde çok yakın alanlar için kullanılabilir.

2.2.4 Yıldırım Fırtınalarda Rüzgar Profili

Yoğun bulutlardan aşağı yönlü oluşan güçlü hava patlamaları kısa zamanda oldukça şiddetli rüzgarları da beraberinde getirmektedirler. Bu durum doğa üzerinde geçici bir durumdur. Bu tür durumlarda rüzgar hızı için ortalama kavramının geliştirilmesi gerekmektedir.

2.3 Atmosferik Türbülans

Atmosferik türbülansın yapı üzerindeki etkileri yapı mühendisliği uygulamalarında üç ana nedenden dolayı önemlidir.

Bunlar;

- Rijit yapılarda veya rijit yapı elemanlarında zamana bağlı yükleme atmosferik türbülansın bir parçası olan dalgalanma ile olan ilişkisini bulmak için,
- Esnek yapılarda, rüzgar hızındaki dalgalanmaların neden olduğu rezonans büyütücü etkileri göstermek amacıyla,
- Yapıların aerodinamik özelliklerini belirlemek amacıyla

atmosferik türbülansın incelenmesi gerekmektedir.

Zamana bağılı elde edilen fırtınalı veya türbülanslı durumun standart sapması veya ortalama karakökü alınarak genel bir yaklaşım elde edilebilir. Matematik olarak standart sapma formülü Denklem 2.11’de verilmiştir (Holmes, 2003).

$$\sigma_u = \left\{ \frac{1}{T} \int [U_{(t)} - \bar{U}]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

Denklem 2.11’de ki $U_{(t)}$ ortalama hız doğrultusundaki toplam hız bileşeni; $U_{(t)}$ değeri $U+u_{(t)}$ değerine eşittir. Buradaki $u_{(t)}$ eksenel doğrultudaki türbülans bileşenidir (Holmes, 2003).

2.3.1 Türbülansın Şiddeti

Herbir kararsız bileşen ve dalgalanan bileşenin standart sapması oranının ortalaması türbülans şiddeti olarak isimlendirilir.

$$I_u = \sigma_u / \bar{U} \quad \text{Eksenel doğrultuda} \quad (2.12)$$

$$I_v = \sigma_v / \bar{U} \quad \text{Yatay doğrultuda} \quad (2.13)$$

$$I_w = \sigma_w / \bar{U} \quad \text{Düşey doğrultuda} \quad (2.14)$$

Deneyler sonucu elde edilen eksenel rüzgar hızının standart sapması değeri, σ_u ’yu $2.5u_*$ ’a eşitlemek bize iyi bir yaklaşım sağlamaktadır. Burada u_* sürtünme kuvvetini göstermektedir ve fiziksel bir anlamı yoktur. Türbülans şiddeti Denklem 2.15’de verilmiştir (Holmes, 2003).

$$I_u = \frac{2.5u_*}{(u_* / 0.4) \log_e(z / z_0)} = \frac{1}{\log_e(z / z_0)} \quad (2.15)$$

Denklem 2.15’de görüldüğü gibi türbülans şiddeti yeryüzü pürüzlülüğü ile ilişkilidir. Kırsal arazilerde bu değer, $z_0 = 0,04$ olarak alınarak elde edilen farklı yüksekliklerdeki türbülans şiddeti Çizelge 2.2’de verilmiştir. bu çizelgede $z_0 = 0,04$ olarak alınmıştır (Holmes, 2003).

Çizelge 2.2 : Kırsal arazilerde eksenel doğrultudaki türbülans şiddeti değerleri (Holmes, 2003)

Yükseklik, z (m)	I_u
2	0.26
5	0,21
10	0,18
20	0,16
50	0,14
100	0,13

Yatay ve düşey türbülans şiddeti değerleri genel olarak eksenel doğrultudaki türbülans şiddeti değerinden daha küçüktür. Bu bileşenler Denklem 2.16 ve Denklem 2.17’de verilen formüllerle hesaplanabilir.

$$I_v = 0.88 / \log_e (z / z_0) \quad (2.16)$$

$$I_w = 0.55 / \log_e (z / z_0) \quad (2.17)$$

2.3.2 Fırtına Faktörü

Birçok rüzgar rüzgar yüklemesi standartlarında dizayn için bir fırtına faktörü kullanılmaktadır. Fırtına faktörünü 10 dakikalık periyotlar içerisinde beklenen veya ortalama değer olarak tanımlayabiliriz. Eksenel rüzgar hızının Gaussian olasılık dağılımına sahip olduğu kabul edilirse; beklenen anlık rüzgar hızı yaklaşık olarak hesabı Denklem 2.18’de verilmiştir.

$$\hat{U} = \bar{U} + g\sigma_u \quad (2.18)$$

Burada; g, pik faktörüdür ve değeri 3,5 civarındadır.

Fırtına faktörü, G, fırtına anında maksimum rüzgar hızının ortalama rüzgar hızına oranı olarak ifade edilebilir (Holmes, 2003).

$$G = \frac{\hat{U}}{\bar{U}} \quad (2.19)$$

2.3.3 Rüzgar Spektrası

Olasılık yoğunluk fonksiyonu rüzgarın vektörel hızının büyüklüğü hakkında bize fikir verir fakat zamana bağlı ifadeler hakkında bilgi içermemektedir. Bundan dolayı türbülans dağılımının sıklıkla ilişkisini içere spektral yoğunluk ya da spektrum adı verilen bir fonksiyon kullanarak tanımlamak daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Standart sapmanın karesi, σ_u^2 , n'den n+dn'ye kadar olan frekans aralığı ve türbülans bileşeni olan $u_{(t)}$ için spektral yoğunluk fonksiyonu, $S_n(n)$, Denklem 2.20'de verilen şekilde integre edilirse; dağılımın varyansı elde edilebilir (Holmes 2003).

$$\sigma_u^2 = \int S_n(n) dn \text{ (Denklem 2.27)} \quad (2.20)$$

$S_n(n)$ 'e karar verebilmek için hem meteorolijide hemde rüzgar mühendisliğinde birçok matematiksel formlardan faydanılır. Eksenel doğrultudaki vektörel hız bileşeni (ortalama rüzgar doğrultusuna paralel) için oluşturulan ve en çok kullanılan matematiksel ifade von Karman/Harris formudur. Bu form birçok şekilde yazılabilir. Denklem 2.21'de ise en çok kullanılan boyutsuz formu verilmiştir (Holmes 2003).

$$\frac{n S_n(n)}{\sigma_u^2} = \frac{4 \left(\frac{n l_u}{U} \right)}{\left[1 + 70.8 \left(\frac{n l_u}{U} \right)^2 \right]^{5/6}} \quad (2.21)$$

Burada; l_u , Türbülans uzunluk ölçeğini simgelemektedir.

2.4 Topoğrafyanın Rüzgar Akımı Üzerindeki Modifikasyonu

Dik kayalıklar, toprak setler, dağ sıraları, uçurumlar ve tepeler gibi formlara sahip doğal veya insan yapımı topoğrafyalar ortalama veya ani (gust) rüzgar hızında önemli derecede değişikliklere neden olurlar. Bu etkiler 1970 ve 1980'ler de birçok çalışmanın konusunu oluşturmaktaydı. Bu çalışmalar sığ topoğrafya özelliklerine sahip araziler üzerinde ortalama rüzgar hızı tahminlerinde oldukça gelişmiştir (Holmes, 2003).

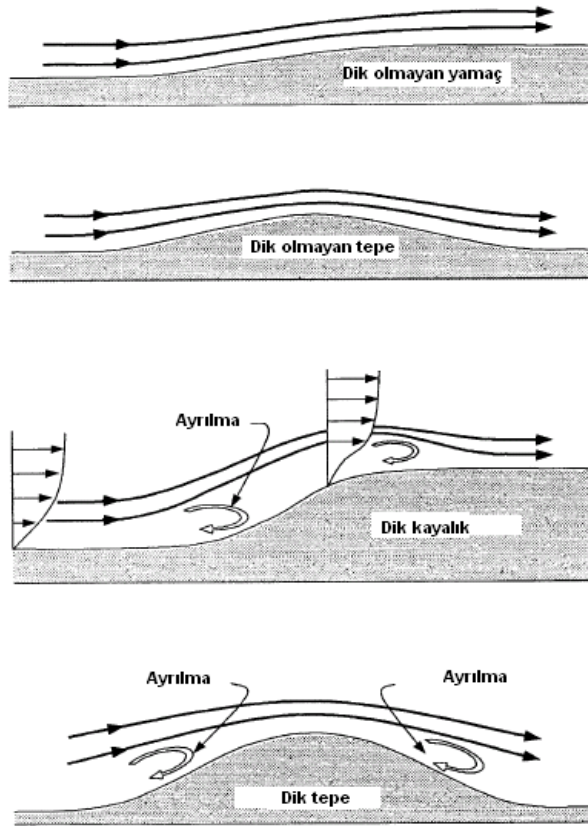
2.4.1 Topoğrafyanın Genel Etkileri

Şekil 2.3 dik olmayan yamaçlarda ve dik olan dağ sıralarında meydana gelen rüzgar akımı sınır katmanını genel özellikleri gösterilmiştir.

Yüzeysel (dik olmayan) özellikteki bir topoğrafyada rüzgar yaklaşımlarında; rüzgar eğimin başladığı yerle karşılaştığında ilk olarak rüzgar hızında bir parça azalma görülmektedir. Daha sonra rüzgar tepe eğim yönünü takip ederek giderek artmaktadır. En fazla hız artım tepe noktasında görülmektedir. Tepenin ardında akım hızı giderek azalmaktadır (Holmes, 2003).

Dik özelliğe sahip arazi üzerinde akım rüzgar doğrultusundaki basınç gradyanının üstesinden gelememekte ve akım üzerinde ‘Ayrılma’ adı verilen parçalar oluşmaktadır. Bu parçalar yukarıya doğru hareket eden rüzgarı eğiminin başladığı yerde ve tepe noktasında aşağıya doğru inen rüzgarda görülmektedir.

Rüzgar arttırım etkisi yeryüzü yakınlarında en fazladır, yeryüzünde yukarıya doğru gidildikçe etkisi azlamaktadır.



Şekil 2.2 : Yüzeysel veya dik topoğrafyada hava akımları (Holmes, 2003).

2.4.2 Topoğrafik çarpanlar

Topoğrafik çarpanı tanımı aşağıda verilen Denklem 2.22 ile hesaplanabilir.

$$\text{Topoğrafik Çarpan} = \frac{\text{Rüzgarın z yüksekliğindeki hızı, engebeli arazi üzerinde}}{\text{Rüzgarın z yüksekliğindeki hızı, rüzgar istikametinde düzgün yeryüzü üzerinde}} \quad (2.22)$$

Topoğrafik çarpanlar tam ölçekli deneylerde veya rüzgar tünelleri denklemlerinde hesaplanabileceği gibi bilgisayar tabanlı hesap yöntemleri ile de elde edilebilir (Holmes, 2003).

2.4.2.1 Yüzeysel Tepeler

Yüzelsel tepelerde rüzgar akımı ortalama sınır katmanı için elde ettikleri topoğrafik çarpan Denklem 2.23’de verilmiştir.

$$k' = \frac{k}{1 + g \left(\frac{\sigma_u}{\bar{U}} \right)} \quad (2.23)$$

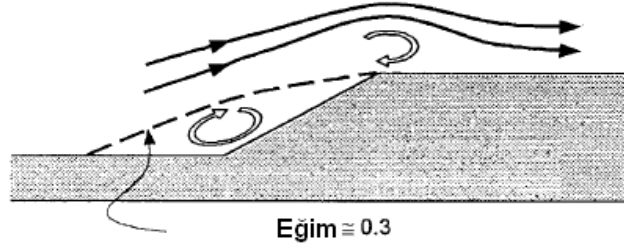
$\left(\frac{\sigma_u}{\bar{U}} \right)$, eksenel türbülans şiddetini göstermektedir.

k sabitleri topoğrafya şekline bağlı olarak elde edilir ve değerleri aşağıdaki gibidir.

- İki boyutlu dağ sırası için, 4.0
- İki boyutlu dik kayalık için, 1.6
- Üç boyutlu tepeler için, 3.2

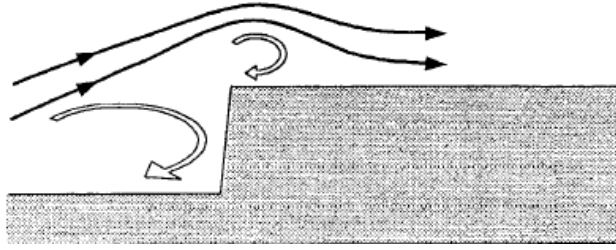
2.4.2.2 Dik Tepeler, Uçurumlar veya Dik Yamaçlar

İlk olarak yamaç eğimi veya tepe eğimi %30’a ulaşan (17 derece civarında) bu tür topoğrafik özelliğe sahip alanlarda rüzgar istikametinde ayrılmalar gerçekleşir bundan dolayı bölüm 2.4.2.1 de verilen basit formüller uygulanamaz (Holmes, 2003).
. Bu durum için ayrı hesap formülleri gerekmektedir.



Şekil 2.3 : Dik kayalıklarda rüzgar istikametinde meydana gelen ayrılmalar (Holmes, 2003).

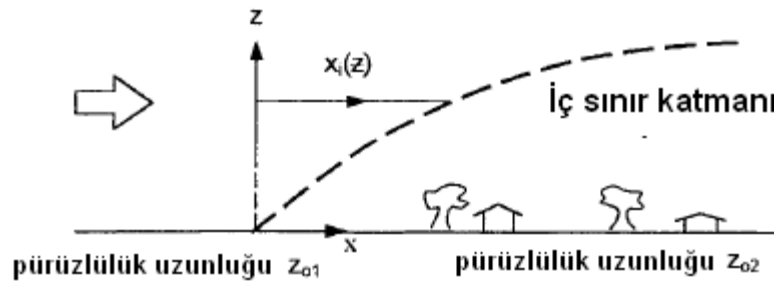
Eğim 0.3 ile 1 arasında olan (17 derece ile 45 derece arasında) arazilerde Bölüm 2.4.2.1’de bahsedilen topoğrafik çarpan tanımını uygulanabilir.



Şekil 2.4 : Dik kayalıklarda rüzgar akışı (Holmes, 2003).

2.4.3 Arazi Değişimi

Tam olarak gelişmemiş sınır katmanına sahip güçlü fırtınalar, değişik arazi pürüzlülüğü ile karşılaştıklarında; örneğin açık alandan bir kasaba merkezine doğru akan rüzgar akımı türbülans sınır akım özellikleri içerisinde uyum süreci de gelişir. Farklı pürüzlülüğe sahip bu iki arazi arasındaki uyum yeryüzünden giderek yukarıya doğru harekete başlar. Bunun sonucu olarak yeni arazi üzerinde iç sınır tabakası meydana gelir. Şekil 2.5 bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Değişen arazi pürüzlülüğünde oluşan iç sınır katmanı (Holmes, 2003).

Düz araziden (Pürüzlülük uzunluğu z_{01}) engebeli araziye (Pürüzlülük uzunluğu z_{02}) doğru bir akım için ($z_{02} > z_{01}$) yüksekliğe bağlı değişen iç sınır katmanının yatay uzaklığı aşağıdaki denklem 2.24’de verilmiştir (Holmes 2003).

$$x_i(z) = z_{02} \left(\frac{z}{0.36z_{02}} \right)^{4/3} \quad (2.24)$$

Engeli araziden (Pürüzlülük uzunluğu z_{01}) düz araziye (Pürüzlülük uzunluğu z_{02}) doğru akan hava akımında yüksekliğe bağlı iç sınır katmanı yatay uzaklığı Denklem 2.25’de verilen formülle bulunabilir.

$$x_i(z) = 14z \left(\frac{z_{01}}{z_{02}} \right)^{1/2} \quad (2.25)$$

3. İÇ BASINÇ

3.1 Giriş

Rüzgar bazı durumlarda toplam rüzgar yüklemesinde önemli derecede etkili olan iç basınçlar oluşturmaktadır. Örneğin; az katlı bir yapının duvarlarında meydana gelebilecek büyük bir açıklık iç basınç oluşturan bir durumda beraberinde getirmektedir. Özellikle çok katlı yapılarda pencerenin fırtına esnasında açılması veya enkazların çarpması sonucu camın kırılmasında böyle bir durumun oluşmasında etkin rol oynayacaktır (Holmes, 2003).

Bu bölümde rüzgarın neden olduğu iç basınç tahminleri üzerinde durulacak ve tek bir duvarda büyük açıklıkların olması veya iki duvarda meydana gelebilecek açıklıkların olması durumu düşünülecektir.

3.2 Rüzgar Yönündeki Cephede Meydana Gelen Tek Açıklık

İlk olarak; şiddetli fırtınalarda meydana gelen camların uçan parçalarla kırılması durumu veya cephede meydana gelebilecek büyük bir açıklığın olması durumunu düşünelim. Sürekli bir akış durumunda iç basınç hızlı bir şekilde büyüyerek rüzgar yönünde bulunan duvardaki açıklığın etrafındaki dış basınca eşit olur. Bununla birlikte; bir yapı türbülans sınır katmanı içerisine girerse; dış basınca yüksek dalgalanmalara karşı iç basınçta dalgalanmalar gerçekleşecektir (Holmes, 2003). Dış basıncın iç basınca oranla daha büyük olmasından dolayı yapı içerisi hava ile dolacak, yapının hacmi sabit kaldığından yapı içerisindeki iç basınç artacaktır. Rüzgar tarafından oluşturulan basınç değişimleri atmosfer basıncının ancak %1'i kadardır.

Dalgalanan iç basınç katsayısı; $C_{pi}(t)$ aşağıda verilen Denklem 3.1 ile yazılabilir.

$$C_{pi} = \frac{p_i - p_0}{\frac{1}{2} \rho_a U^2} = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5) \quad (3.1)$$

Bu denklemde;

$$\pi_1 = A^{3/2} / V_0 \quad (3.2)$$

Burada ; A , Açıklığın alanı; V_0 , da iç hacimi simgelemektedir.

$$\pi_2 = \frac{P_0}{\frac{1}{2} \rho_a U^2} \quad (3.3)$$

Burada; p_0 , Atmosfer basıncını simgelemektedir.

$$\pi_3 = \rho_a U A^{1/2} / \mu \quad (3.4)$$

Burada μ havanın dinamik viskozitesini simgelemektedir (Reynold sayısı).

$$\pi_4 = \frac{\sigma_u}{U} \quad (3.5)$$

Burada; σ_u , eksenel doğrultudaki türbülanslı vektörel hızın standart sapmasını simgelemektedir.

$$\pi_5 = l_u / \sqrt{A} \quad (3.6)$$

Burada; l_u , türbülansın uzunluk ölçeğini simgelemektedir.

3.2.1 Tepki Süresi

Kütlenin korunumu yasasına göre açıklıktan içeriye doğru kütle akış hızının iç hacimdeki kütle artış hızına eşit olması gerekmektedir (Holmes, 2003).

$$p_i Q = \left(\frac{d\rho_i}{dt} \right) \quad (3.7)$$

Burada; ρ_i , içerdeki havanın yoğunluğunu göstermektedir.

Delğe doğru türbülanslı akımın debisi, Q ile deliğin iç tarafı ile dış tarafı arasındaki basınç farkı, $p_e - p_i$ uygulaması aşağıdaki Denklem 3.8’de verilmiştir.

$$Q = kA \sqrt{\frac{2(p_e - p_i)}{\rho_a}} \quad (3.8)$$

Burada k delik katsayısıdır ve değeri 0,6 civarındadır.

Aşağıdaki denklemler basınçların basınç katsayıları şeklinde yazılmış halini göstermektedir

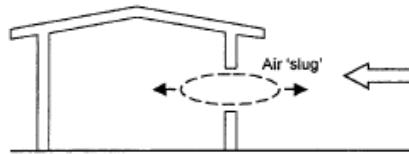
$$C_{pe} = \frac{p_e - p_0}{\frac{1}{2} \rho_a \bar{U}^2} \quad (3.9)$$

$$C_{pi} = \frac{p_i - p_0}{\frac{1}{2} \rho_a \bar{U}^2} \quad (3.10)$$

3.2.2 Helmholtz Rezonans Modeli

Bu başlık altında türbülanslı dış basınca karşılık iç basıncın genel bir modelini oluşturmak amacıyla Helmholtz rezonans modeli kullanılacaktır.

Şekil 3.1 de yapı içersindeki iç basınç uygulamalarının şematik gösterimidir. Bu modelde açıklığın içersinde veya dışarısında hareket eden havanın dış basınç değişimlerinden kaynaklandığı kabul edilir.



Şekil 3.1 : Tek büyük açıklıkta dalgalanan iç basıncın Helmholtz rezonans modeli (Holmes, 2003).

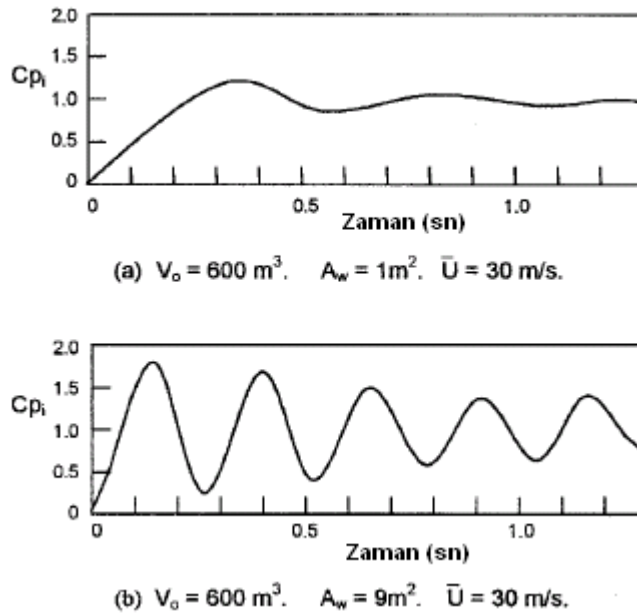
Helmholtz frekansı hem rüzgar tünelleri deneylerinden hemde tam ölçekli deneyler sonucu elde edilen frekans değerlerine yakın olmaktadır.

$$n_H = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\gamma p_0 A}{\rho_a l_e V_0 [1 + (K_A / K_B)]}} \quad (3.8)$$

Burada kullanılan K_A havanın toplu modülüdür, $(\rho_a \Delta p)/\Delta p$ değeri γp_0 eğerine eşittir. K_B ise yapının toplu modülüdür. K_A/K_B oranı az katlı yapılarda değeri 0.2 ile 5 arasında değişmektedir (Holmes, 2003).

3.2.3 Yapının Rüzgar Yönündeki Cephesinin Ani açılması ve Atalet Etkileri

Şekil 3.2(a) ve (b)'de 600 m^3 hacime karşılık gelen ve yapı çeperindeki açıklığın alanı 1 ile 9 m^2 arasında olan bir modelde iç basınç katsayısı grafiği verilmektedir. Bu simülasyon için efektif uzunluk, l_e değeri $0.96\sqrt{A}$ ve yük boşaltma katsayısı, k' 'nin değeri 0.6 alınabilir. Şekillerden de kolaylıkla anlaşılacağı üzere şekil 3.2(b) de açıklık alanı büyük olduğundan sönüm terimi oldukça küçük değer almaktadır (Holmes, 2003).



Şekil 3.2 : Açıklığın alanına göre iç basınç değişim katsayıları (Holmes 2003).

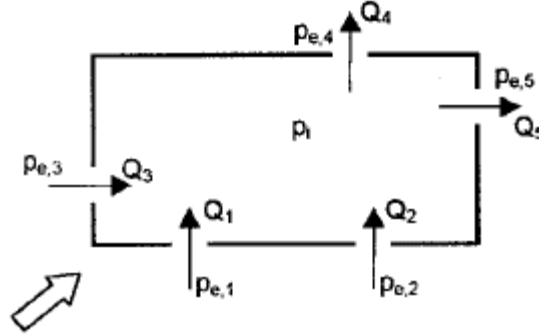
3.3 Hem Rüzgar Cephesinde Hemde Arka Cephede Açıklıklar

3.3.1 Ortalama İç Basınç

Rüzgar yönündeki cephesinde açıklık alanı, A_w ve arka cephe açıklık alanı, A_L olan bir yapı için basınç katsayıları Denklem 3.9 ve kütle korunumu yasasından faydalanılarak türetilir.

$$\sum_{j=1}^N \rho_a Q_j = 0 \quad (3.9)$$

Şekil 3.3 bir yapının dış çeperindeki beş açıklıktan hava akışı yönlerini göstermektedir.



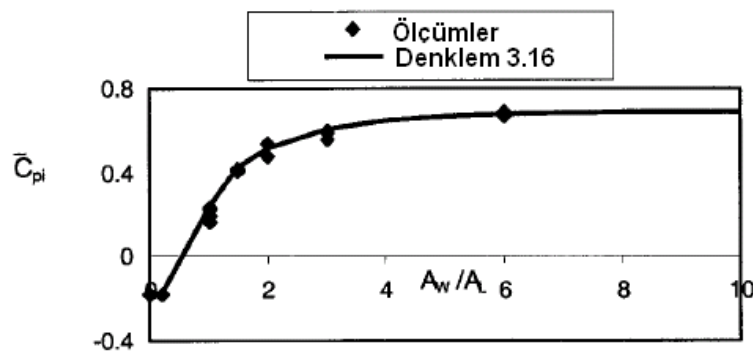
Şekil 3.3 : Yapı cephesindeki açıklıklar ve hava akışı (Holmes, 2003).

İç basınç katsayısı Denklem 3.9’da verilmiştir.

$$C_{pi} = \frac{C_{pw}}{1 + \left(\frac{A_L}{A_w}\right)^2} + \frac{C_{pL}}{1 + \left(\frac{A_w}{A_L}\right)^2} \quad (3.9)$$

Denklem 3.19’da A_w , rüzgar yönündeki cephede birkaç açıklığın kombinasyonu şeklinde alınabilir. C_{pw} , rüzgar yönündeki cephede ortalama basınç katsayısıdır. C_{pL} , arka veya yan cephedeki ortalama basınç katsayısıdır.

Şekil 3.4 de yapı modellerinde rüzgar cephesi/rüzgar cephesinin tam tersi cephe açıklıkları değişim oranı verilmiştir.



Şekil 3.4 : Ortalama iç basınç katsayıları grafiği (Holmes, 2003).

4. STANDARTLAR

4.1 Giriş

Yapılara etkiyen rüzgar yüklerinin yapının kullanım süresi boyunca tahmini oldukça zordur. Bu yüzden standartlar yapıya etkiyen olası rüzgar hızları ve yapı yüzeyine etkiyen rüzgar kuvvetlerini ekonomik ve güvenli bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlar. Yapıya etkiyen rüzgar yükü hesabında maksimum rüzgar hızı kullanılarak hesaplama yapılabilir fakat bu şekilde yapılan hesaplamalar gereksiz ve ekonomik olmayan verileri bize verecektir.

Standart dökümanları yaygın olarak inşa edilen yapılara uygun örnekleri, geçmiş deneyimleri, araştırmalar sonucu elde edilmiş olan bilgileri içermektedir. Birçok standartta konuyla ilgili şirketlerin ve devlete ait birimlerin çalışmalarının sonucunda geliştirilmiştir. Bir standartın geliştirilmesinde çeşitli birimlerde görev alan mühendislerin ortak kararlarından ve görüşlerinden faydalanılır. Bu duruma ek olarak inşaat endüstrisinin sosyal, ekonomik ve politik görüşlerinin tartışılmasının ardından kullanıma sunulur.

Tezin bu bölümünde dünya çapında yaygın olarak kullanılan iki standart incelenip karşılaştırması yapılmıştır. Bu bölümde esas olarak alınan yönetmelikler ASCE 7-05 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures) Bölüm 6 Rüzgar Yükü ve diğer yönetmelik Eurocode 1 (Actions on structures/General Actions, part 1-4) tür. Bu iki standartta verilen kriterlere göre üç farklı örnek çözülmüştür. Bu örneklerde ilki az katlı yüksekliği 20 m'den az olan ve eğimli bir çatıya sahip yapı örneğidir. İkinci örnek yüksekliği 100 m olan çok katlı ve çatı parapete sahip yapı örneğidir. Son örnek ise yaygın olarak yapılan ve rüzgarın aktif olarak etkideği esnek yapı örneği olan tabele yapısıdır. Tezin bu bölümünde örneklerin yönetmeliklerin kullanım şekilleri ve elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir. Bulunan sonuçlar hakkında daha detaylı bilgiler ve bizim ülkemizde yaygın olarak kullanılan yönetmelik TS 498' e (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin

Hesap Değerleri) kullanılarak bulunan sonuçlar diğer yönetmeliklerle karşılaştırılması yapılmıştır.

4.2 ASCE 7-05 Bölüm 6 Rüzgar Yükü

4.2.1 Tanımlar

Temel Rüzgar Hızı : Arazi katagorisi C ve yerden 10 m yükseklikteki rüzgar hızı

Kapalı Yapılar : Kısmen veya açık yapılar tanımına uymayan yapı tipleri

Yapı Çeperi : Kaplamalar, çatı kaplamaları, duvar kaplamaları, kapı ve pencere elemanları, çatı ısıklıkları gibi elemanlar.

Esnek yapılar : Doğal frekansı 1 Hz'den küçük olan yapılardır.

Düşük Yükseklikli Yapılar: Ortalama çatı yüksekliği 18 m'den az olan veya ortalama çatı yüksekliği en küçük yatay uzunluğu geçmeyen yapılardır.

Açık Yapılar : Her bir duvar için en az %80 oranında açık olan yapılardır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. $A_0 \geq 0,8 A_g$ burada, A_0 yapı duvarında bulunan ve pozitif dış basınç alan toplam açıklık alanı, A_g ise duvarın brüt alanını simgelemektedir.

Kısmen Kapalı Yapılar: Aşağıda verilen durumların her ikisinde uyan yapı tipidir.

1. Yapının herhangi bir duvarındaki pozitif dış basınca maruz kalan toplam açık alanın, yapının toplamındaki açık alanların %10'undan fazla olan yapılar
2. Yapının herhangi bir duvarında pozitif dış basınca maruz kalan açık alanların toplamı $0,37 \text{ m}^2$ 'yi geçen ya da o duvardaki toplam alanın %1'inden fazla olan yapılardır. Bütün yüzeylerdeki açık alanların toplamının yapının brüt alanı ile oranı %20'yi geçen yapılar olarak düşünülebilir. Buna göre iki durum aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

1. $A_0 > 1,10 A_{0i}$

2. $A_0 > 0,37 \text{ m}^2$ ya da $> 0,01 A_0$ veya $A_0 / A_{gi} \leq 0,20$

Düzgün Şekilli Yapılar : Sıra dışı geometrik yüzeylere sahip olmayan yapı tipidir.

Rijit Yapı : Doğal titreşim frekansları 1 Hz'den büyük veya eşit olan yapı tipidir.

Tasarım Kuvveti, F : Yapı yüzeyine etkiyen rüzgar yükünün eş değer statik değeridir.

Tasarım Basıncı, q : Yapı yüzeylerine gelen rüzgar yükünün oluşturduğu eş değer statik basınçtır.

Saçak Yüksekliği, h : Çatı saçağının yerden olan yüksekliğidir. Eğer bir yapıda birden fazla çatı saçak yüksekliği varsa; bu değerlerin ortalaması alınır. Ortalama çatı yüksekliği olarakta ifade edilebilir.

Etkili Rüzgar Alanı, A : Dış basınç katsayılarının kararı için kullanılan alandır.

4.2.2 Rüzgar Yüğü Tasarım Yöntemleri

Bu standartta yapıya gelen rüzgar yüklerinin hesaplanmasında 3 farklı yöntem önerilmektedir. Bu yöntemler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Yöntem 1, Basitleştirilmiş Yöntem

ASCE 7-05, Bölüm 6.4'te belirtilen Ortalama Rüzgar Kuvveti Dayanım

Sistemi (MWFRS) ve Bileşen ve Kaplama (C&C) olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır.

2. Yöntem 2, Analitik Yöntem

ASCE 7-05, Bölüm 6.5'de belirtilen binalara ve diğer yapılara uygulanabilecek bir hesap prosedürüdür.

3. Yöntem 3, Rüzgar Tüneli Yöntem

Analitik yöntem Test tekniklerine dayalı bir hesap yöntemidir. Hem basitleştirilmiş hemde analitik yöntemde yapılara gelen rüzgar yükleri Ortalama Rüzgar Kuvveti Dayanım Sistemi (MWFRS) ve Bileşen ve Kaplama (C&C) olmak üzere iki basamaktan oluşmaktadır. Ortalama Rüzgar Dayanım sistemi (MWFRS) yapı yüzeyine etkiyen rüzgar yükünün tüm yapı yüzeylerine etkisi detaylı olarak hesaplama imkanı sunmaktadır. Ayrıca yapı kaplamasının doğrudan aldığı rüzgar yükü ve bu yükün yapı bileşenlerine olan etkisini hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Rüzgar yükü hesaplamasında Analitik Prosedür için kullanılan denklemler standart içerisinde belirtilmiş, önemli görülen notlar figürler ve tablolarla desteklenmiştir (Delahey & Mehta, 2004).

4.2.3 Tasarım Aşamaları

4.2.3.1 Hız Basıncı

Hız basıncı hesabında Bernoulli Akışkanlar Denklemi kullanılmaktadır. Bu denklem aşağıda Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (4.1)$$

Bu değerler Bernoulli Akışkanlar Denkleminde yerine yazılırsa Denklem 4.2’den elde edilir. Denklem 4.2’de hız birimi m/sn, havanın özgül ağırlığı kg/m³ ve yer çekim ivmesinin m/sn² olarak alınmıştır.

$$q_z = 0.613 V^2 \quad (4.2)$$

Burada; q_z, yerden z yüksekliğinde veya ortalama çatı yüksekliğindeki hız basıncı; q_h, Ortalama çatı yüksekliğindeki hız basıncı Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanır.

$$q_z, q_h = 0,613 . K_z . K_{zt} . K_d . V^2 . I \text{ [N/ m2]} \quad (4.3)$$

Burada; q_z ,q_h ,etkili hız basınçlarını; K_z, rüzgar basıncı maruz kalma katsayısı, K_{zt}, Topoğrafya etkisi katsayısı; K_d, rügar doğrultu katsayısını; V, Rüzgar hızı, I, Önem katsayısı Bu katsayılar aşağıda teker teker incelenmiştir.

4.2.3.2 Rüzgar Basıncı Maruz Kalma Katsayısı, K_z

Değerleri arazi engebелiliğine, arazi katagorisine ve yapı yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Arazi katagorileri Çizelge 4.1 den takip edilebilir. Yapı yüksekliğine bağlı olarak değişen maruz kalma katsayıları Çizelge 4.2’de verilmiştir. K_z ve K_h’ın değerleri aşağıda verilen Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 kullanılarak hesaplanabilir.

Aşağıdaki denklemlerde z_g nominal yüksekliği simgelemektedir. Nominal yükseklik değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

15 ft (4.6 m) ≤ z ≤ z_g için;

$$K_z = 2.01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{(2/\alpha)} \quad (4.4)$$

$z \leq 15 \text{ ft (4,6 m)}$ için;

$$K_z = 2.01 \left(\frac{15}{z_g} \right)^{\left(\frac{2}{\alpha} \right)} \quad (4.5)$$

Çizelge 4.1 : Arazi katagorileri (ASCE 7-05).

Arazi Katagorisi	Katagori	Zg (m)	α
Kent içi, Yörekent ve ağaçlık alanlar için	B	366	7
B ve D haricinde kalan alanlar için	C	274	9,5
Düz, Önünde herhangi bir engel olmayan alan, su yüzeyi ve fırtınanın etkin olduğu alanlar için	D	213	11,5

Çizelge 4.2 : Nominal yükseklik değerleri (ASCE 7-05).

Katagori	α	zg(m)	a	b	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	l (m)	$\bar{c}$	Zmin
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,40	1/5,0	4,6
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2

Maruz kalma katsayılarının tayininde yapı yüksekliğine bağlı olarak aşağıda verilen Çizelge 4.4 kullanılır.

4.2.3.3 Önem Katsayısı, I

Yapıların önem derecesinin sınıflandırılması Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Önem Katsayıları (ASCE 7-05).

Katagori	Fıtına etkisinin etkin olmadığı alanlar V=38-45 m/sn	Fıtına etkisinin etkin olduğu alanlar V>45 m/sn
I	0,87	0,77
II	1,00	1,0
III	1,15	1,15
IV	1,15	1,15

Çizelge 4.4 : Maruz kalma katsayıları (ASCE 7-05).

Yerden (ft-h)	Yükseklik z (ft-h)	Katagori			
		B		C	D
ft	m	Durum 1	Durum 2	Durum 1&2	Durum 1&2
0-15	0-4,6	0,70	0,57	0,85	1,03
20	6,1	0,70	0,62	0,90	1,08
25	7,6	0,70	0,66	0,94	1,12
30	9,1	0,70	0,70	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	1,40
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	61,0	1,20	1,20	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

4.2.3.4 Topoğrafya Etkisi, K_{zt}

Rüzgar artış hızının kayalıklar ya da tepe üzerinde değişimini ifade etmektedir.

K_{zt} 'nin değerleri aşağıda verilen Denklem 4.6 kullanılarak hesaplanabilir.

$$K_{zt} = (1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2 \quad (4.6)$$

Burada; K_1 , topoğrafik şekil faktörünü simgelemektedir.

K_1 değeri aşağıda verilen Çizelge 4.5 kullanılarak değerlerine karar verilebilir.

Çizelge 4.5 : K_1 değerleri (ASCE 7-05).

Yamaçlar veya Tepelerdeki Rüzgar Hız Artırım Parametreleri						
Tepe Şekli	$K_1 / (H / L_h)$			γ	μ	
	B	C	D		Tepe rüzgar yönü	Tepe rüzgar yönü arkası
Vadi	1,30	1,45	1,55	3	1,5	1,5
2-Boyutlu kayalık	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
3- Boyutlu tepeler	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

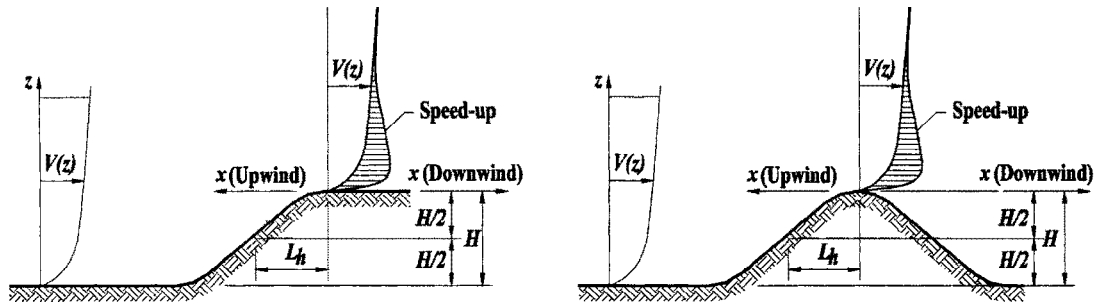
K₂ değeri ise aşağıda verilen Denklem 4.7 kullanılarak bulunur.

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right) \quad (4.7)$$

K_3 'ün değeri ise Denklem 4.8 kullanılarak hesaplanır.

$$K_3 = e^{-\gamma z/L_h} \quad (4.8)$$

Yukarda verilen denklemlerdeki parametreler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Topoğrafik parametreler (ASCE 7-05).

4.2.3.5 Rüzgar Doğrultu Katsayısı, K_d

Rüzgar doğrultu katsayısı iki amaç için kullanılır. Bunlardan birincisi herhangi bir doğrultudan gelen maksimum rüzgar olasılığını azaltmak, diğeri ise herhangi bir rüzgar doğrultusunda meydana çıkabilecek olan maksimum rüzgar basıncı olasılığını azaltmaktır. Yapı tipine göre değeri 0.85 ile 0.95 arasında değişmektedir. Rüzgar yönlendirme faktörü Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Rüzgar doğrultu katsayısı (ASCE 7-05).

Yapı Tİpi	Yönlendirme Faktörü
Binalar	0,85
MWFRS	0,85
C&C	0,85
Kemer çatılar	0,85
Baca, Tank ve benzeri yapılar	
Kare planlı	0,90
Altıgen planlı	0,95
Daire planlı	0,95
İşaret levhaları (içi dolu)	0,85
Boşluklu levhalar ve	0,85
Kuleler	
Üçgen, kare ve dikdörtgen	0,85
Diğer kesitler	0,95

4.2.4 Yöntem 1, Basitleştirilmiş Yöntem

İlk olarak ASCE 7-98’de yaygın ve düzgün şekilli yapılara gelebilecek rüzgar yükü hesabı için kullanılmıştır. ASCE 7-02’de bu metodun kullanımı önemli ölçüde gözden geçirilmiştir. Basitleştirilmiş metodun kullanımı ASCE 7-05’de Ortalama Rüzgar Kuvveti Dayanım sistemi (MWFRS) ve Kaplama ve Bileşenler (C&C) tanımları yapılmıştır. Yöntem 1’de Rüzgar doğrultusundaki duvar ve arka duvar için yatay rüzgar basıncını içermektedir. İç basınç bu Yöntemde göz önüne alınmamıştır. Çatıdaki maksimum rüzgar kuvvetleri MWFRS için pozitif iç basınç kontrol durumu olarak temellendirilmiştir. C&C sisteminde tam olarak kapatılmış yapılarda net basınç (İç ve dış basınç toplamı) olarak yüzeye etkidiği kabulü yapılmıştır (Delahey & Mehta, 2004).

4.2.5 Yöntem 2, Analitik Yöntem

Analitik yöntem yapının tüm yükseklikleri ya da ortalama çatı yüksekliği 18m’den düşük veya eşit olan yapılar ve tam olarak kapatılmamış yapılar için kullanılabilir. Tasarım aşamaları her yapı için standartta belirtilmiştir. Hız basınçları olan Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanır. Tasarım basınçları MWFRS ve C&C için ayrı ayrı karar

verilmesi gerekmektedir. Genel olarak; C&C tasarım basıncı MWFRS de hesaplanan değerden daha büyük olacaktır bunun nedeni yerel yüksek basınçların küçük alanlar üzerinde daha etkili olmasıdır (Delahey & Mehta, 2004).

4.2.5.1 Yapılar için Tasarım Basınçlarının Hesabı

MWFRS’de rijit yapıların bütün yükseklikleri için tasarım rüzgar basıncı aşağıda verilen Denklem 4.9 kullanılarak hesaplanır.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (4.9)$$

Burada, q_i , iç basınç; GC_{pi} İç basınç katsayısı; G , Fırtına faktörü; q_z , z yüksekliğindeki rüzgar hız basıncını ifade etmektedir. Yapılara gelen rüzgar hız basıncı hesabında iç basınç q_i ortalama çatı yüksekliğindeki basınç, q_h olarak kullanılabilir. İç basınç katsayısı olan GC_{pi} ’nin değerleri yapı çeperindeki açık alanların oranına bağlı olarak değişmektedir. Yapı çeperindeki açık alanların tanımları ve buna bağlı değişen yapı sınıflarının tanımı Bölüm 4.2.1’de verilmişti. Yapı sınıflarına bağlı iç basınç katsayılarının değerleri aşağıdaki Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : İç basınç katsayıları, GC_{pi} (ASCE 7-05).

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

Tanımı Bölüm 4.2.1’de yapılan düşük yükseklikli yapılar için MWFRS tasarım basınçlar alternatif olarak aşağıda verilen Denklem 4.10 kullanılarak hesaplanabilir. .

$$p = q_h \left[(GC_{pf}) - (GC_{pi}) \right] \quad (4.10)$$

Burada; GC_{pf} , düşük yükseklikli yapılar için dış basınç katsayısıdır.

Esnek yapılar ya da frekansı 1Hz'den küçük olan yapıların üzerine gelen rüzgar basınçları Denklem 4.11 kullanılarak hesaplanır.

$$p = qG_f C_p - q_i(GC_{pi}) \quad (4.11)$$

Burada; C_p , dış basınç katsayısıdır. Değerleri Bölüm 4.2.6.3 te verilmiştir. G_f , etkili fırtına faktörüdür hesabı Bölüm 4.2.6.2'de verilmiştir.

C&C hesap prosedüründe yüksekliği 18 m'den az olan yapılar için rüzgar basıncı aşağıda verilen Denklem 4.12 kullanılarak tayin edilir.

$$p = q_h [(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (4.12)$$

Burada; GC_p , C&C için dış basınç katsayısıdır.

Yüksekliği 18 m'den fazla olan yapılarda C&C hesap prosedürü rüzgar basıncı hesabı aşağıda verilen Denklem 4.13 kullanılarak karar verilir.

$$p = q(GC_p) - q_i(GC_{pi}) \quad (4.13)$$

Burada; q 'nın değerleri yapı yüksekliğe bağlı olarak değişen q_z , rüzgar basıncıdır.

Ortalama çatı yüksekliği $18 \text{ m} < h = 27 \text{ m}$ olan yapılarda C&C için rüzgar basıncı hesabında Denklem 4.12 de kullanılan basınç katsayıları kullanılarak hesap yapılabilir.

4.2.5.2 Fırtına Faktörü, G

Değeri aşağıda verilen Denklem 4.14 ile bulunur

$$G = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7g_Q I_z Q}{1 + 1,7g_v I_z} \right) \quad (4.14)$$

Burada, I_z z yüksekliğindeki türbülans şiddetidir. g_Q zemin tepkisi için zirve faktörüdür standartta tavsiye edilen değeri 3,4'tür. g_v Rüzgara karşı gelen zirve faktörüdür standartta tavsiye edilen değeri 3,4'tür. Q Geri plan tepkisi faktörüdür.

Türbülans şiddeti aşağıda verilen Denklem 4.15 kullanılarak bulunur.

$$I_z = c \left(\frac{10}{\bar{Z}} \right)^{1/6} \quad (4.15)$$

Yukardaki denklemde z değeri yapı yüksekliğinin %60'ı olarak alınır ($z = 0,6h$). z değeri Çizelge 4.2 de verilen $z_{\min}$ değerinden küçük olmamalıdır. c değeri Çizelge 4.2'den alınır.

Geri plan tepkisi olan Q aşağıda verilen Denklem 4.16 kullanılarak hesaplanır.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{B+h}{L_z} \right)^{0,63}}} \quad (4.16)$$

Burada, B ve h yapı boyutlarını, L_z Türbülans uzunluğunu simgelemektedir. Türbülans uzunluğu aşağıda verilen Denklem 4.17 kullanılarak hesaplanır.

$$L_z = l(\bar{Z}/10)^{\bar{\varepsilon}} \quad (4.17)$$

Burada l ve $\bar{\varepsilon}$ değerleri Çizelge 4.2 den alınır.

Rijit yapılar için fırtına faktörünün standartta tavsiye edilen değeri 0,85'tir.

Etkili Fırtına Faktörü, G_f Esnek veya dinamik etkilerin önemli olduğu yapılar için kullanılır değeri aşağıda verilen Denklem 4.18 kullanılarak hesaplanır.

$$G_f = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_r^2 R^2}}{1 + 1,7 g_v I_z} \right) \quad (4.18)$$

Burada, g_r değeri aşağıda verilen Denklem 4.19 kullanılarak hesaplanır.

$$g_r = \sqrt{2 \ln(3600 n_1)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600 n_1)}} \quad (4.19)$$

Denklem 4.15'te; g_r , Tepe faktörü, n_1 , Yapının 1. doğal frekansdır.

Temel mod şekli için aerodinamik kabul fonksiyonları R_1 aşağıdaki Denklem 4.20 de verilmiştir.

$$R_l = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad (4.20)$$

Burada;

$$R_l = R_h \text{ için } \eta = \frac{4,6n_1h}{\overline{V}_{(z)}}$$

$$R_l = R_B \text{ için } \eta = \frac{4,6n_1B}{\overline{V}_{(z)}}$$

$$R_l = R_h \text{ için } \eta = \frac{15,4n_1L}{\overline{V}_{(z)}}$$

$\overline{V}_{(z)}$, z yüksekliğindeki ortalama hızı ifade eder ve aşağıda verilen Denklem 4.21 kullanılarak hesaplanır.

$$\overline{V}_{(z)} = \bar{b} \left(\frac{z}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V \quad (4.21)$$

$\bar{b}$ ve $\bar{\alpha}$ değerleri Çizelge 4.2 den alınır.

Rezonans tepkisinin karakökü, R aşağıda verilen Denklem 4.22 kullanılarak hesaplanır.

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L)} \quad (4.22)$$

β , Sönüm oranıdır.

4.2.5.3 MWFRS için Dış Basınç Katsayısı, C_p

MWFRS için basınç katsayıları rüzgarın doğrultusuna bağlı olarak yatay uzunlukların oranının fonksiyonudur. Değerleri aşağıda Çizelge 4.8'de verilmiştir. Aşağıdaki çizelgede de görüldüğü gibi Yan duvarlar ve arka duvar için ortalama çatı yüksekliğindeki basınç kullanılır. Rüzgara dik duvarda ise her bir yükseklik için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Çizelge 4.8 : Dış basınç katsayıları (ASCE 7-05).

Duvar Basınç Katsayıları, C_p			
Yüzey	L/B	C_p	Basınç
Rüzgara dik duvar	Tüm değerler	0,8	q_z
	0-1	-0,5	
Arkar duvar	2	-0,3	q_h
	≥ 4	-0,2	
Yan duvarlar	Tüm değerler	-0,7	q_h

Yukardaki çizelgede de görüldüğü gibi Yan duvarlar ve arka duvar için ortalama çatı yüksekliğindeki basınç kullanılır. Rüzgara dik duvarda ise her bir yükseklik için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Çatılarda basınç katsayılarını hesaplamak için aşağıda Çizelge 4.9 verilmiştir. Buradaki katsayılar çatı eğimine ve rüzgarın estiği doğrultuya dik duvarın yatay uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda çatı basınçları hesabında ortalama çatı yüksekliğindeki basınç q_h kullanılmaktadır. Çatı eğim açılarının aralarındaki değerlerde tablodan lineer interpolasyon yapılarak basınç katsayıları belirlenebilir. Kubbe çatılar ve tonoz çatılar için basınç katsayısı değerleri standartta çizelgeler halinde verilmiştir. Bu çizelgeler kullanılarak rüzgarın estiği doğrultuya göre kubbe çatılar ve tonoz çatılar için gerekli olan basınç katsayıları elde edilebilir.

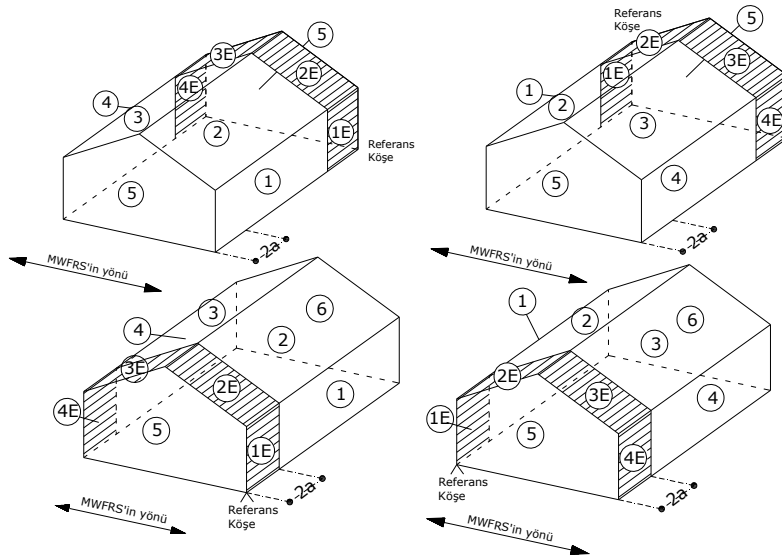
Çizelge 4.9 : Çatı dış basınç katsayıları (ASCE 7-05).

Rüzgar	Çatı Basınç Katsayıları C _p (Sadece q _h ile kullanılır)												
Doğrul tusu	Rüzgara Dik Duvar								Arka Duvar				
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	≥ 60	10	15	≥ 20	
Çatı sırtına dik	≤0,25	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0			0,01 θ	-0,3	-0,5	-0,6
		-0,18	0,0	-0,2	0,3	0,3	0,4	0,4					
θ > 10	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0		0,01 θ	-0,5	-0,5	-0,6
		-0,18	-0,18	-0,0	0,2	0,2	0,3	0,4					
	≥1,0	-1,3	-1,0	-0,7	-	-0,3	-0,2	0,0	0,01 θ	-0,7	-0,6	-0,6	

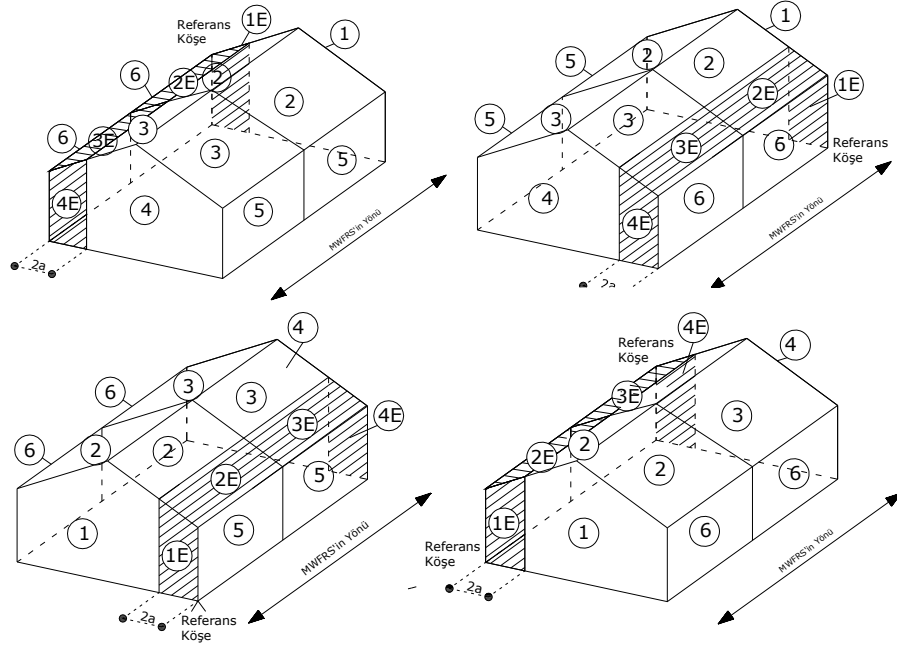
Çizelge 4.10 : Çatı dış basınç katsayıları (ASCE 7-05).

Rüzgara dik duvar		C_p			
Çatı sırtına dik $\theta < 10$	$0-h/2$	-0,9	-0,18	*0,0 değerleri lineer interpolasyon yapılması amacıyla verilmiştir.	
	$h/2-h$	-0,9	-0,18		
	$h-2h$	-0,5	-0,18		
	$\geq 2h$	-0,3	-0,18		
Ve Çatı sırtına paralel	$0-h/2$	-1,3	-0,18	Alan	Azaltma
	$\geq 1,0$			$\leq 100 \text{ m}^2$	1,0
	$>h/2$	-0,7	-0,18	200 m^2	0,9
				$\geq 1000 \text{ m}^2$	0,8

Yüksekliği 18 m'den az olan yapılar için Bölüm 4.2.6.1 de verilen alternatif yöntemde kullanılan GC_{pf} dış basınç katsayıları Çizelge 4.11 kullanılarak belirlenir. Alternatif hesap yöntemi için gerekli olan şekiller ve yükleme alanları aşağıda Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 de verilmiştir. çözüm yapılırken pozitif ve negatif yükleme durumları göz önüne alınırsa 16 adet farklı yükleme durumu oluşacaktır fakat yapı simetrik ise 8 adet yükleme yapılarak çözüm yapılabilir. alternatif yöntem için basınç kuşakları ve bu kuşakların dış basınç katsayıları aşağıda verilen Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile beraber Çizelge 4.11 kullanılarak tayin edilebilir.



Şekil 4.2 : Rüzgar enine doğru gelirse duvarlarda ve çatılarda oluşan basınç alanları (ASCE 7-05).

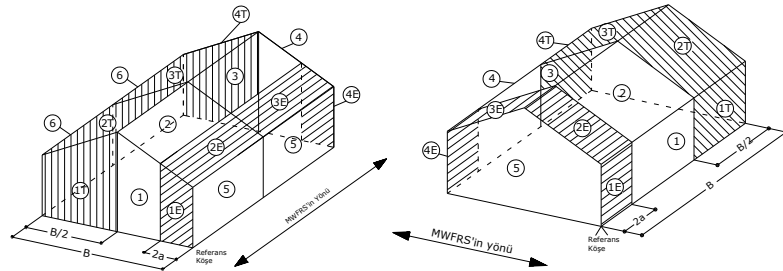


Şekil 4.3 : Rüzgar boyuna doğru gelirse duvarlarda ve çatıda oluşan basınç alanları (ASCE 7-05).

Çizelge 4.11 : Alanlar için dış basınç katsayıları, G_{Cpf} (ASCE 7-05).

Çatı Açısı, θ (derece)	Yapı 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	-0,43	-0,45	-0,45	0,80	-1,07	-0,69	-0,69
30-45	0,56	0,21	-0,43	-0,37	-0,45	-0,45	0,27	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

Eğer ortalama çatı yüksekliği 9 m'den yüksek ve çatı için rijit diyafram kabulü yapılırsa; burulmayla ilgili yükleme durumları göz önüne alınmalıdır. Burulmayla ilgili yükleme için alanlar Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 : Burulmayla ilgili yükleme durumları (ASCE 7-05).

Yüzeylere gelen rüzgar basınçları rüzgar doğrultusuna bağlı olarak alternatif yöntemde hesaplanan değerlerin %25'i olarak alınmaktadır. Hesap aşamaları Bölüm 4.2.9'da verilmiştir.

4.2.5.4 C&C için Dış basınç Katsayıları, GC_p

Dış basınç katsayıları, GC_p katsayıları kaplama veya bileşenlerin etkili alanlarına bağlı bir fonksiyondur. Bu fonksiyonlar rüzgar tünelleri testleri sonucunda elde edilmiştir ve bu testlerde etkili alanla basınç katsayısı arasında logaritmik bir bağıntının olduğu ortaya çıkarılmıştır.

4.2.6 Tasarım Kuvvetleri

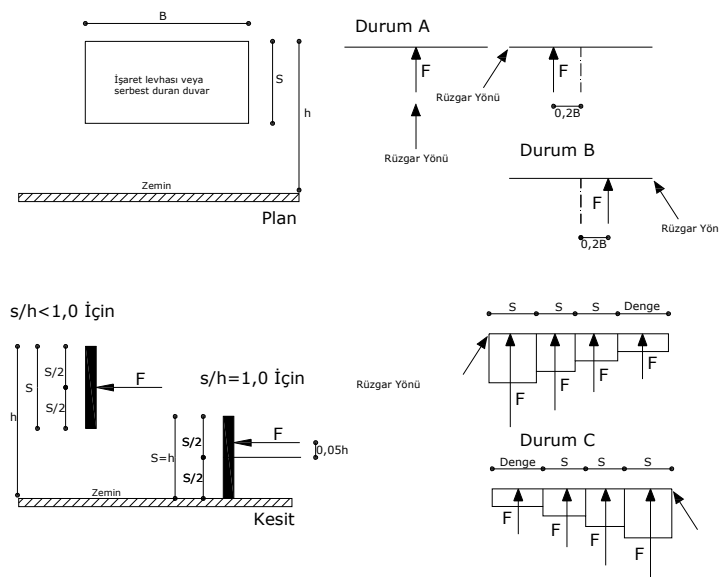
Tasarım Rüzgar Kuvvetleri Tasarım rüzgar yükleri için aşağıda verilen Denklem 4.23 kullanılır.

$$F = q_z GC_f A_f \quad (4.23)$$

Yukardaki Denklemtte A_f Yüzey alanını, C_f Kuvvet katsayısını ifade etmektedir.

4.2.6.1 Kuvvet Katsayıları, C_f

İşaret levhaları ve serbest duran duvarlar gibi yapılar için kuvvet katsayıları yapı boyutlarına bağlı olarak değişmektedir. Yapı boyutları ve kuvvet yükleme durumları aşağıdaki Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5 : Kuvvet katsayıları için parametreler (ASCE 7-05).

Bu parametrelere bağı kuvvet katsayıları için aşağıda verilen Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13 kullanılabilir.

Çizelge 4.12 : Durum A ve Durum B için kuvvet katsayıları (ASCE 7-05).

S/h Oranı	B/S Oranı											
	≤0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	4	5	10	20	30	≥45
1,0	1,80	1,70	1,65	1,55	1,45	1,40	1,35	1,35	1,30	1,30	1,30	1,30
0,9	1,85	1,75	1,70	1,60	1,55	1,50	1,45	1,45	1,40	1,40	1,40	1,40
0,7	1,90	1,85	1,75	1,70	1,65	1,60	1,60	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
0,5	1,95	1,85	1,80	1,75	1,75	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,75
0,3	1,95	1,90	1,85	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,85	1,85	1,85
0,2	1,95	1,90	1,85	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,85	1,90	1,90	1,95
≤0,16	1,95	1,90	1,85	1,85	1,80	1,80	1,85	1,85	1,85	1,90	1,90	1,95

Ara değerler için çizelgeden lineer interpolasyon yapılabilir.

Çizelge 4.13 : Durum C için kuvvet katsayıları (ASCE 7-05).

Yatay uzunluklar	B/S Oranı									Yatay uzunluk	B/S Oranı	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10		13	≥45
0-S	2,25	2,60	2,90	3,10	3,30	3,40	3,55	3,65	3,75	0-S	4,00	4,30
S-2S	1,50	1,70	1,90	2,00	2,15	2,25	2,30	2,35	2,45	S-2S	2,60	2,55
2S-3S		1,15	1,30	1,45	1,55	1,65	1,70	1,75	1,85	2S-3S	2,00	1,95
3S-10S			1,10	1,40	1,05	1,05	1,05	1,00	0,95	3S-4S	1,50	1,85
										4S-5S	1,35	1,85
										5S-10S	0,90	1,10
										≥ 10S	0,55	0,55

Aşağıdaki çizelgede D, Dairesel elemanlar için çapı ve dikdörtgen şekilli elemanlar için en küçük yatay uzunluk; D', Elemanın kalınlığı; h, Yapı elemanının yüksekliğidir

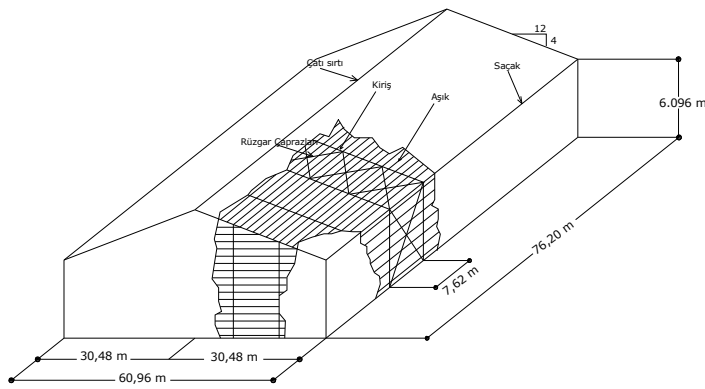
Çizelge 4.14 : Baca, çatı ışıklığı ve benzer yapı elemanları için kuvvet katsayıları (ASCE 7-05).

Kesit	Yüzey Tipi	h/D		
		1	7	25
Kare (Rüzgara dik doğrultudaki yüzey)	Tüm	1,3	1,4	2,0
Kare (Rüzgara çapraz olan yüzey)	Tüm	1,0	1,1	1,5
Altıgen veya sekizgen	Tüm	1,0	1,2	1,4
Daire $D\sqrt{q_z} \geq 5,3$	Kısmen düz	0,5	0,6	0,7
	Pürüzlü ($D'/D=0,02$)	0,7	0,8	0,9
	Çok Pürüzlü ($D'/D=0,08$)	0,8	1,0	0,2
Daire $D\sqrt{q_z} \leq 5,3$	Tüm	0,7	0,8	1,2

4.2.7 Rüzgar Tüneli Prosedürü

Analitik prosedürün yetersiz kaldığı durumlarda daha doğru rüzgar basıncı hesaplamak amacıyla rüzgar tüneller testleri uygulanmaktadır. Rüzgar tüneli testleri genellikle düzgün olmayan şekle sahip yapılar için rüzgar basınç dağılımları hakkında detaylı bilgi edinmek amacıyla modeller oluşturulur. Küçük yapılar için model ölçeği 1/50 olurken büyük yapılarda bu ölçek 1/400'e kadar küçültülebilir (Delahey & Mehta 2004).

4.2.8 Örnek Hesap 1



Şekil 4.6 : Yapı uzunlukları ve elemanları.

Çizelge 4.15 : Yapı ile ilgili genel bilgiler.

Arazi	Açık Arazi Planda 60,96 m x 76,20 m
Yapı uzunlukları	Saçak Yüksekliği 6,096 m Çatı eğimi 4:12 Rijit kirişler 60,96 m doğrultusunda yerleştirilmiştir.
Kirişler	Rijit kirişler 7,62 m aralıklarla yerleştirilmiştir Rüzgar çaprazları 76,20 m doğrultusunda yerleştirilmiştir. Aşıklar ve Kuşak elemanları (7,62 m) Kuşak elamanları aralığı 2,033 m Aşık aralığı 1,524 m Çatı Panelleri genişliği 0,6096
Kaplama	Duvar panelleri boyutları 0,6096 m x 6,096 m Açıklılar düzgün olarak dağıtılmıştır.

Bu ASCE 7-05'e göre hesap yapılacaktır. Yapı özellikleri Çizelge 4.15 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

Yapı düz ve açık arazi üzerinde bulunduğundan arazi katagorisi Çizelge 4.1'den C olarak karar verilmiştir. Yapı ticaret ve sanayi yapısı ve aynı anda yaklaşık 300 kişiye hizmet verebilme kapasitesine sahiptir bu yüzden yapı önem katsayısı standartta karşılık gelen derecesi II'dir.

Rüzgar hızı $V=40,23$ m/sn

4.2.8.1 Rüzgar Basıncının Hesabı

Rüzgar basıncı Denklem 4.3 kullanılarak karar verilir.

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (4.24)$$

Burada, Önem derecesi, I değeri Çizelge 4.3'den; Doğrultu katsayısı, K_d değeri Çizelge 4.5'den alınmıştır.

$K_{zt} = 1,0$ (Topoğrafya etkisi yok),

$I = 1,0$ Katagorisi II için,

$K_d = 0,85$

Buna göre;

$$q_z = 0,613 K_z (1,0) x (0,85) x (40,23)^2 x (1,0) = 0,843 K_z \text{ kN/m}^2 \quad (4.25)$$

Yüksekliğe bağlı rüzgar basınçları değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Ortalama Çatı yüksekliği

$$h = 6,096m + \frac{\tan(18,4^\circ) x 30,48m}{2} = 11,2m \quad (4.26)$$

Ortalama çatı yüksekliğindeki basınç yan duvarlara, arka duvara ve iç basınç hesabında kullanılan ortalama bir değerdir.

Çizelge 4.16 : Yüksekliğine bağlı rüzgar basıncı değerleri.

Yükseklik m	m	K _z	q _z kN/m ²
	0-4,6 m	0,85	0,717
Saçak	6,1 m	0,90	0,759
	7,6 m	0,98	0,826
h	11,2 m *	1,02	0,860 *
	12,19 m	1,04	0,877
	15,2 m	1,09	0,919
Çatı sırtı	16,25 m	1,10	0,927

$$q_h = 0,860 \text{ kN/m}^2$$

* Ortalama çatı yüksekliğindeki basınç değeri

4.2.8.2 Tasarım Rüzgar Basınçları

Rüzgar basıncı hesaplama işlemi iki aşamada incelenecektir. İlk olarak yapının bütün yükseklikleri için hesap yapılacak daha sonra standartta düşük yükseklikli yapılar için önerilen alternatif yöntem kullanılacaktır.

4.2.8.3 MWFRS'e Göre Yapıya Gelen Rüzgar Basınçları Hesabı

Denklem 4.9 kullanılarak yapının her yüksekliğine gelen rüzgar basınçları hesaplanabilir.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (4.27)$$

Burada; q_z, Rüzgara dik olan duvar üzerindeki basınçlarını; q_h, Arka duvar, yan duvarlar ve çatı için rüzgar basınçlarını; q_i, İç basıncı; G, Fırtına faktörünü; GC_{pi}, İç basınç katsayısını; C_p, Dış basınç katsayısını ifade etmektedir. Denklem 4.25 de iç basınç, q_i ortalama çatı yükeklüğindeki basınç q_h' a eşit alınır. Fırtına faktörü olan G rijit yapılar için hesap edilmeden 0,85 olarak alınabilir.

4.2.8.4 Duvarlar İçin Dış Basınç Katsayıları

Basınç katsayıları yapının yatay uzunluklarının oranı olan L/B'nin bir fonksiyonudur. Değerleri Çizelge 4.8'de rüzgara dik olan duvarlar ve yan duvarlar için tüm L/B oranlarındaki dış basınç katsayı değerleri sırasıyla +0,8 ve -0,7 olmaktadır. Arka duvar dış basınç katsayısı, rüzgar çatı sırtına dik doğrultuda etkirse;

$L/B = 60,96/76,20 = 0,8$ için dış basınç katsayısı $C_p = 0,8$ olarak alınacaktır. Buna göre aşağıdaki Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18 de dış basınç katsayıları toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.17 : Duvar dış basınç katsayıları.

Yüzey	Rüzgar Doğrultusu	L/B	C_n
Rüzgara dik duvar	Tüm	Tüm	+0,80
Arka duvar	Çatı sırtına dik	0,8	-0,50
	Çatı sırtına paralel	1,25	-0,45*
Yan duvarlar	Tüm	Tüm	-0,70

* Lineer interpolasyonla bulunmuştur.

Çizelge 4.18 : Çatı dış basınç katsayıları

Yüzey	15°	18,4°	20°
Rüzgara dik olan çatı	-0,5	-0,36*	-0,3
	0,0	0,14*	0,2
Arka çatı	-0,5	-0,57*	-0,6

* Lineer interpolasyonla bulunmuştur.

4.2.8.5 İç Basınç Katsayısının Hesabı

İç basınç katsayıları standartta Çizelge 4.7 kullanılarak tayin edilir. Bu örnekte tamamen kapalı yapılar için iç basınç katsayısı $\pm 0,18$ olarak alınacaktır.

4.2.8.6 MWFRS İçin Net Basınçların Hesabı

Yukarda bulunan katsayılar Denklem 4.27 de yerine yerleştirilirse; Denklem 4.28 elde edilir.

$$p = q(0,85)C_p - q_i(\pm 0,18) \quad (4.28)$$

Buna göre, Çizelge 4.17'den alınan rüzgar basınç değerleri yerine yazılarak pozitif ve negatif iç basınca karşılık gelen net basınçlar hesaplanabilir. Örnek olarak rüzgara dik ve 0-4,6 m duvar yüksekliğindeki net basınç aşağıdaki Denklem 4.28'da ki gibi hesaplanabilir.

$$p = 0,717 \times 0,85 \times 0,80 - 0,860 \times (\pm 0,18) \quad (4.29)$$

$P = 0,333 \text{ kN/m}^2$ Pozitif iç basınç olması durumunda,

$P = 0,642 \text{ kN/m}^2$ Negatif iç basınç olması durumunda,

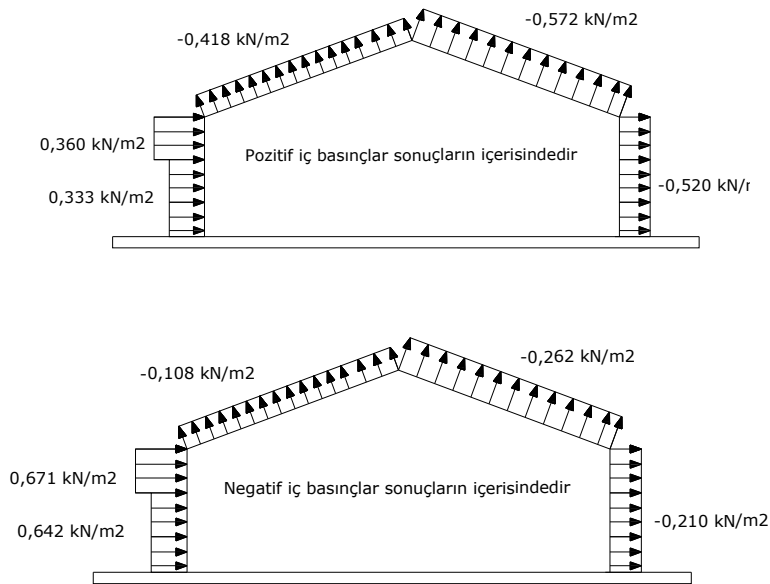
Diğer yükseklikler için net basınçlar aşağıdaki Çizelge 4.19 da verilmiştir.

Çizelge 4.19 : MWFRS için iç basıncın pozitif ve negatif olması durumuna göre yapı yüzeylerine etkiyen net basınçlar.

Yüzey	z (m)	q kN/ m ²	G	C _p	NetBasınçlar	
					+GC _{pi}	-GC _{pi}
Rüzgara dik duvar	0-4,6	0,717	0,85	+0,8	+0,333	+0,642
	6,1	0,759	0,85	+0,8	+0,360	+0,671
Arka duvar	Tüm	0,860	0,85	-0,50	-0,520	-0,210
Yan duvarlar	Tüm	0,860	0,85	-0,70	-0,667	-0,360
Çatı (Rüzgara dik)	-	0,860	0,85	-0,36	-0,418	-0,108
		0,860	0,85	+0,14	-0,052	+0,257
Arka çatı	-	0,860	0,85	-0,57	-0,572	-0,262

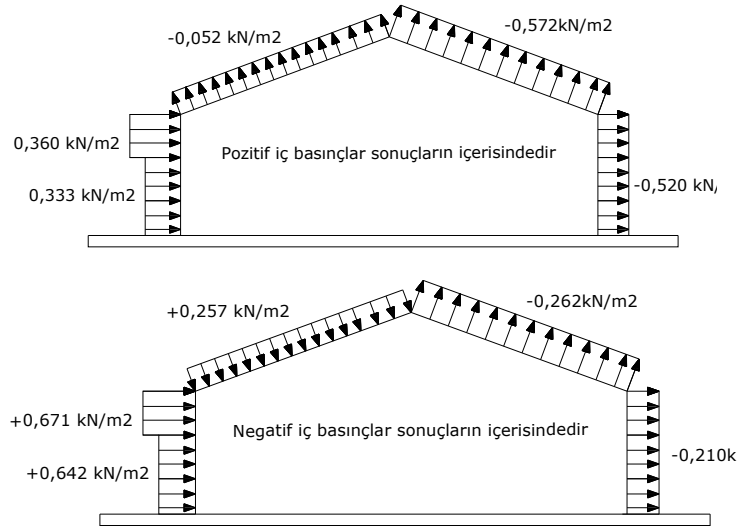
$q_h = 0,860 \text{ kN/ m}^2$, $\pm GC_{pi} = \pm 0,18$

Rüzgarın çatı sırtına dik gelmesi ve çatı ön yüzünde negatif basınçların oluşması durumu Şekil 4.7 de verilmiştir.



Şekil 4.7 : Yapı yüzeylerinde meydana gelen net basınç.

Çatı ön yüzünde pozitif basınçların oluşması durumunda meydana gelen rüzgar basınçları Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Yapı yüzeylerinde meydana gelen net basınç.

Rüzgar çatı sırtına paralel gelmesi sonucu yüzeylerde meydana gelen rüzgar basınçlarının hesabı için yukarıdaki izlenen yol aynen tekrarlanacaktır.

$L = 76,20$, $B = 0,96$, $L/B = 1,25$ buna göre Çizelge 4.21’de lineer interpolasyon yapılırsa; arka duvar için dış basınç katsayısı $C_p = 0,45$ elde edilir. Buna göre rüzgar çatı sırtına paralel gelmesi sonucu yüzeylere etkiyen net rüzgar basınçları Denklem 4.25 kullanılarak hesaplanan değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir. Burada h ortalama çatı yüksekliğini L ise rüzgar doğrultusundaki yatay uzunluğu ifade etmektedir.

$$h/L = 11,20/76,20 = 0,147$$

Çizelge 4.20 : Çatı dış basınç katsayıları.

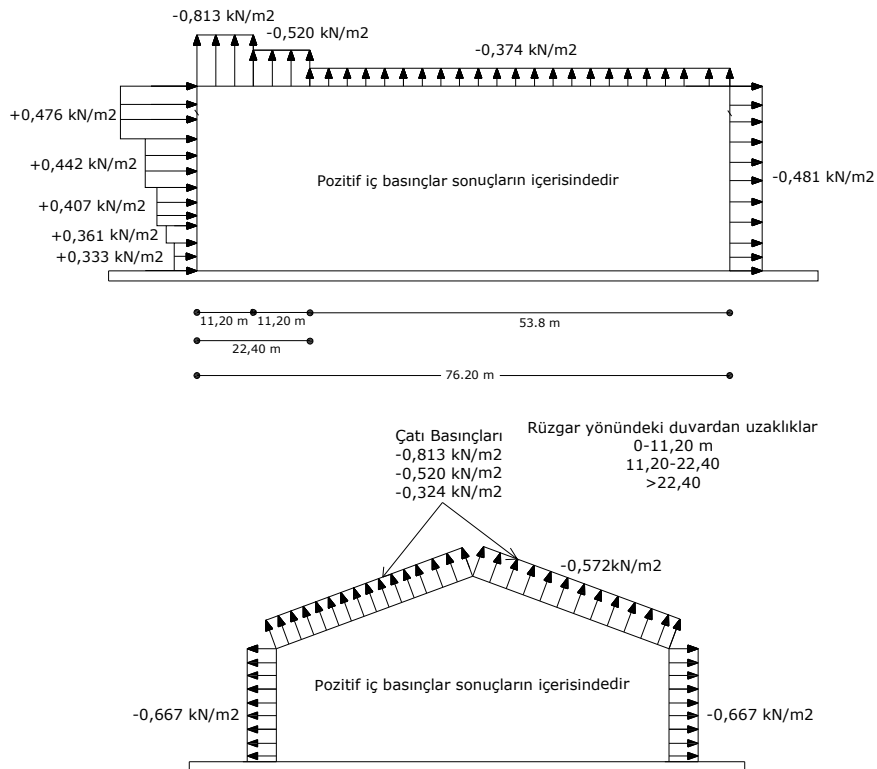
Yüzey	h/L	kenardan uzaklık	C_p
		0-h	-0,90
	$\leq 0,5$	h-2h	-0,50
		>2h	-0,30

Çizelge 4.21 : Rüzgar çatı sırtına paralel gelmesi durumunda rüzgar basınçları.

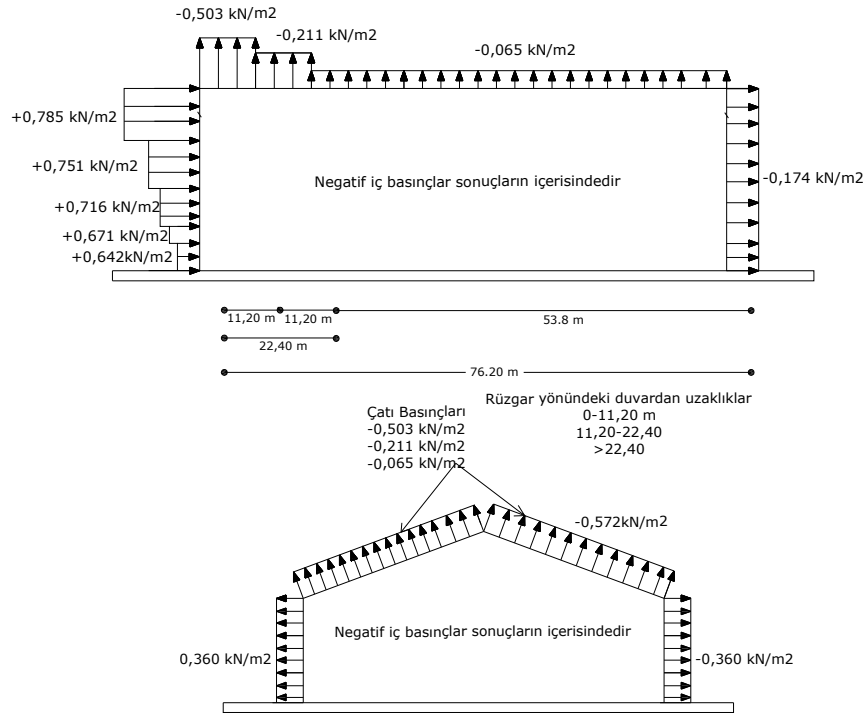
Yüzey	z (m)	q kN/ m ²	G	C _p	Net Basınçlar	
					+GC _{pi}	-GC _{pi}
Rüzgara dik duvar	0-4,6	0,717	0,85	0,8	0,333	0,642
	6,1	0,759	0,85	0,8	0,361	0,671
	9,1	0,826	0,85	0,8	0,407	0,716
	12,2	0,877	0,85	0,8	0,442	0,751
	16,25	0,927	0,85	0,8	0,476	0,785
Arka duvar	Tüm	0,860	0,85	-0,45	-0,484	-0,174
Yan duvarlar	Tüm	0,860	0,85	-0,70	-0,667	-0,360
Çatı	0-h	0,860	0,85	-0,90	-0,813	-0,503
	h-2h	0,860	0,85	-0,50	-0,520	-0,211
	>2h	0,860	0,85	-0,30	-0,374	-0,065

$$q_h = 0,860 \text{ kN/ m}^2, \pm GC_{pi} = \pm 0,18$$

Bulunan sonuçlar şekiller üzerinde gösterilirse;



Şekil 4.9 : Yapı yüzeylerinde meydana gelen net basınç.



Şekil 4.10 : Yapı yüzeylerinde meydana gelen net basınç.

4.2.8.7 Kaplama ve Bileşenler, C&C İçin Rüzgar Basıncın Hesaplanması

C&C'ye göre Tasarım rüzgar basıncı için gerekli olan formül daha önce Denklem 4.12'de verilmiştir.

$$p = q_h \left[(GC_p) - (GC_{pi}) \right] \quad (4.30)$$

Duvarlar için C&C basınçlarının hesabı aşağıda verilen Çizelge 4.22'de belirtilmiştir. Çizlegede bulunan değerler etkili rüzgar alanının bir fonksiyonudur. Kaplama ya da bileşenler üzerine gelen rüzgar basıncı hesabını yapmadan önce etkili alanların hesaplanması gerekmektedir. Etkili alan standartta yapı eleman uzunluğunun etkili genişlik ile çarpımı olarak belirtilmiştir yalnız elaman uzunluğunun genişliğin üçte birinden az olmamalıdır bu yüzden kontroller yapılmalıdır.

Buna göre;

Kuşak elemanı için etkili alan,

Büyük olan değer;

$$A = 7,62 \times 2,033 = 15,50 m^2 \text{ veya } A = 7,62 \times \frac{7,62}{3} = 19,40 m^2 \quad (4.31)$$

Duvar Paneli için etkili alan,

Büyük olan değer;

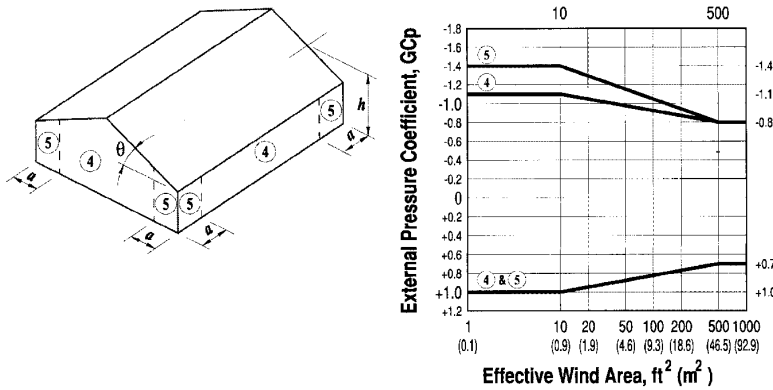
$$A = 2,033 \times 0,610 = 1,24 m^2 \text{ veya } A = 2,033 \times \frac{2,033}{3} = 1,38 m^2 \quad (4.32)$$

Bağlama elemanları için etkili alan;

$$A = 2,033 \times 0,308 = 0,63 m^2 \quad (4.33)$$

4.2.8.8 Duvar Basınç Katsayılarının Hesabı, GC_p

Duvar basınç katsayılarının hesabı için standartta verilen çizelgelerden faydalanılacaktır.



Şekil 4.11 : Standartta verilen basınç katsayıları ve basınç alanları (ASCE 7-05).

Çizelge 4.22 : Şekil 4.11’den alınan duvar katsayıları.

C&C	A= m ²	Basınç katsayı GC_p		
		Alan 4 ve 5	Alan 4	Alan 5
Kuşak	19,40	0,77	-0,87	-0,93
Panel	1,38	0,97	-1,07	-1,34
Bağlama elemanı	0,63	1,00	-1,10	-1,40
Diğer**	≤ 0,93	1,00	-1,10	-1,40
Diğer**	≥ 46,45	0,70	-0,80	-0,80

**Diğer: kapı, pencere gibi

Duvar elemanları üzerine gelen basınçların hesabı için Denklem 4.30 kullanılır. Burada bulunan değerlerden büyük olan kontrol değeridir ve kaplama ya da bileşen elemanlarının tasarımında kullanılacak değer olmaktadır. Kuşak elemanı üzerine gelen rüzgar basıncı örnek olarak aşağıda hesaplanacaktır. Diğer elemanlar için net basınçlar Çizelge 4.22’de verilmiştir.

$$p = 0,860[(-0,87) - (\pm 0,18)] \quad (4.34)$$

$p = -0,593 \text{ kN/m}^2$ Negatif iç basınç (kontrol)

$p = -0,903 \text{ kN/m}^2$ Pozitif iç basınç

Maksimum pozitif basınç

$$p = 0,860[(0,77) - (\pm 0,18)] \quad (4.35)$$

$p = +0,818 \text{ kN/m}^2$ Negatif iç basınç (kontrol)

$p = +0,574 \text{ kN/m}^2$ Pozitif iç basınç

Diğer elemanlar üzerine gelen basınçlar aşağıdaki Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23 : Duvar elemanlar için basınçlar.

	Kontrol tasarım basınçları			
	Alan 4		Alan 5	
	Pozitif	Negatif	pozitif	Negatif
C&C				
Kuşak	+0,817	-0,903	+0,817	-0,958
Panel	+0,989	-1,075	+0,989	-1,312
Bağlama elemanı	+1,015	-1,10	+1,015	-1,360
Diğer	+1,015	-1,10	+1,015	-1,360
Diğer	+0,757	-0,843	+0,757	-0,843

4.2.8.9 C&C Çatı Basınçları

Etkili çatı alanları

Aşıklar için;

Büyük olan değer,

$$A = 7,62 \times 1,524 = 11,61 m^2 \text{ veya } A = 7,62 \times \frac{7,62}{3} = 19,35 m^2 \quad (4.36)$$

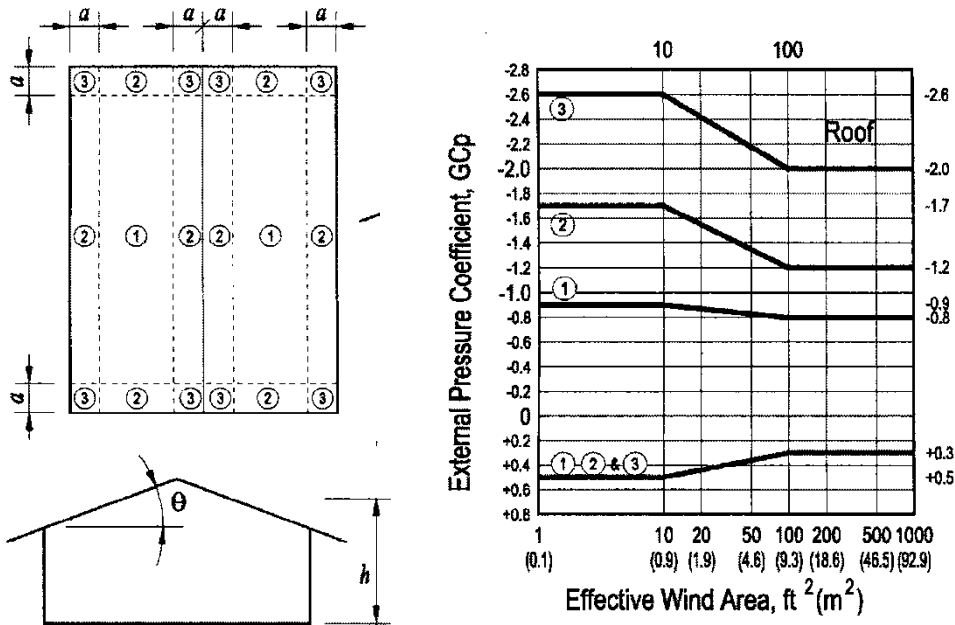
Çatı panelleri için;

$$A = 1,524 \times 0,6096 = 0,93 m^2 \text{ veya } A = 1,524 \times \frac{1,524}{3} = 0,77 m^2 \quad (4.37)$$

Bağlayıcı elemanlar için;

$$A = 1,524 \times 0,3048 = 0,46 m^2 \quad (4.38)$$

Çatı için standartta verilen Çizelge Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 : Standartta verilen şekil ve grafik (ASCE 7-05).

Çatı için elde edilen basınç katsayıları aşağıdaki Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24 : Çatı elemanlar için basınçlar.

C&C	A= m ²	katsayı GC _p			
		Alan 1,2,3	Alan 1	Alan 2	Alan 3
Aşık	19,35	0,3	-0,8	-1,2	-2,0
Panel	0,93	0,5	-0,9	-1,7	-2,6
Bağlama elemanı	0,63	0,5	-0,9	-1,7	-2,6
Diğer**	≤0,93	0,5	-0,9	-1,7	-2,6
Diğer**	≥46,45	0,5	-0,8	-1,7	-2,0

** Diğer: kapı pencere ve çatı ışıklığı gibi

Çizelge 4.25 : Çatı elemanları rüzgar basınçları.

C&C	Dizayn Basınçları			
	Pozitif	Negatif		
	Alan1,2,3	Alan 1	Alan 2	Alan 3
Aşık	+0,479	-0,843	-1,187	-1,877
Panel	+0,584	-0,939	-1,618	-2,394
Bağlama elemanı	+0,584	-0,939	-1,618	-2,394
Diğer**	+0,584	-0,939	-1,618	-2,394
Diğer**	+0,479	-0,843	-1,187	-1,877

Aşıklar için basınç aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$p = 0,860[(0,3) - (\pm 0,18)] \quad (4.39)$$

$p = 0,103 \text{ kN/m}^2$ pozitif iç basınç,

$p = 0,413 \text{ kN/m}^2$ negatif iç basınç

Standartta minimum basınç $p = 0,479 \text{ kN/m}^2$ olarak verilmiştir. bu yüzden aşıklar için bu değer alınacaktır.

4.2.8.10 Alternatif Yöntem

Yapı yüksekliği 18 m'den az olan yapılar için yüzeylere gelen rüzgar basıncı hesabı Denklem 4.10 kullanılarak da hesaplanabilir.

$$p = q_h \left[(GC_{pf}) - (GC_{pi}) \right] \quad (4.40)$$

Yapı aşağıdaki Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilen 8 adet farklı yükleme durumuna göre tasarımı yapılmalıdır. Her bir yükleme durumu için pozitif ve negatif yükleme durumları göz önüne alınarak 16 adet farklı yükleme durumu elde edilir. Eğer yapı simetrik ise bu 16 adet farklı yükleme durumu 8 adet yükleme durumu yapılarak çözülebilir. Yükleme alanları için dış basınç katsayıları GC_{pf} değerleri Çizelge 4.12 kullanılarak tayin edilir.

4.2.8.11 Dış Basınç Katsayılarının (GC_{pf}) Kararı

Çatı ve duvarlar için dış basınç katsayısı GC_{pf} ’nin değerleri çatı eğimine bağlı olarak karar verilir. Çatı eğimi ara değerleri için linner interpolasyon yapılarak karar verilir.

Çizelge 4.26 : Enine doğrultu ($\theta = 18,4^0$)

Yapı yüzeyleri										
GC_{pf}^*	1	2	3	4	5	6	1E	2E	31E	4E
	0,52	-0,69	-0,47	-0,42	-0,45	-0,45	0,78	-1,07	-0,67	-0,62

*Lineer interpolasyonla karar verilmiştir.

Çizelge 4.27 : Boyuna doğrultu ($\theta = 0^0$)

Yapı yüzeyleri										
GC_{pf}^*	1	2	3	4	5	6	1E	2E	31E	4E
	0,40	-0,69	-0,37	-0,29	-0,45	-0,45	0,61	-1,07	-0,53	-0,43

*Lineer interpolasyonla karar verilmiştir.

1. Yüzey için Denklem 4.40 kullanırsak;

$$p = 0,860[(0,52) - (\pm 0,18)] \quad (4.41)$$

$p = 0,292 \text{ kN/m}^2$ pozitif iç basınç,

$p = 0,602 \text{ kN/m}^2$ negatif iç basınç.

Diğer yüzeyler içinde aynı hesap yapılarak enine ve boyuna doğrultudaki rüzgar basınçları Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29 da verilmiştir.

Çizelge 4.28 : Enine doğrultu için tasarım rüzgar basınçları.

Yapı yüzeyi	GC _{pf}	Tasarım basınçları	
		+ GC _{pf}	- GC _{pf}
1	+0,52	+0,292	+0,602
2	-0,69	-0,748	-0,439
3	-0,47	-0,560	-0,249
4	-0,42	-0,516	-0,206
5	-0,45	-0,542	-0,232
6	-0,45	-0,542	-0,232
1E	+0,78	+0,516	+0,826
2E	-1,07	-1,075	-0,765
3E	-0,67	-0,731	-0,421
4E	-0,62	-0,688	-0,378

Çizelge 4.29 : Boyuna doğrultu için tasarım rüzgar basınçları.

Yapı yüzeyi	GC _{pf}	Tasarım basınçları	
		+ GC _{pf}	- GC _{pf}
1	+0,40	+0,189	+0,500
2	-0,69	-0,748	-0,439
3	-0,37	-0,473	-0,163
4	-0,29	-0,404	-0,095
5	-0,45	-0,542	-0,232
6	-0,45	-0,542	-0,232
1E	+0,61	+0,370	+0,679
2E	-1,07	-1,075	-0,765
3E	-0,53	-0,611	-0,301
4E	-0,43	-0,525	-0,215

Not: Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilen a genişliği en kısa kenar uzunluğunun %10’u yada 0,4h değerlerinden küçük olan değer olmaktadır bunun yanında kısa kenarın %4’ünden ve 0,9 m’den az olmamalıdır.

Buna göre;

Küçük olan değer,

$$2a = 2(0,1)(60,96) = 12,2m \text{ veya } 2a = 2(0,4)(11,2) = 8,96m \quad (4.42)$$

Ama,

$$2a = 2(0,04)(60,96) = 4,88m \text{ veya } 2a = 1,8m \quad (4.43)$$

Değerlerinden herhangi birinden küçük olmamalıdır. Bu durumda 2a genişliği 8,96 m olarak alınacaktır. Çatı basınç katsayıları GC_{pf} değerleri negatif olduğunda Alan 2 genişliği yatay uzunluğun yarısı ya da ortalama çatı yüksekliği h değerinin 2,5 katı değerlerinden küçük olan uzunluk alınır.

Buna göre;

$$0,5(60,96) = 30,58m \text{ veya } 0,5(76,20) = 38,1m \text{ veya } 2,5(11,2) = 28m \quad (4.44)$$

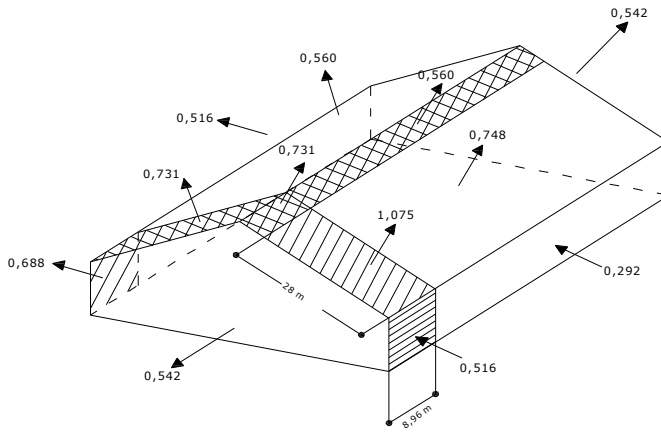
Değerlerinden küçük olan 28 m değeri alınır.

Alan 2 genişliği

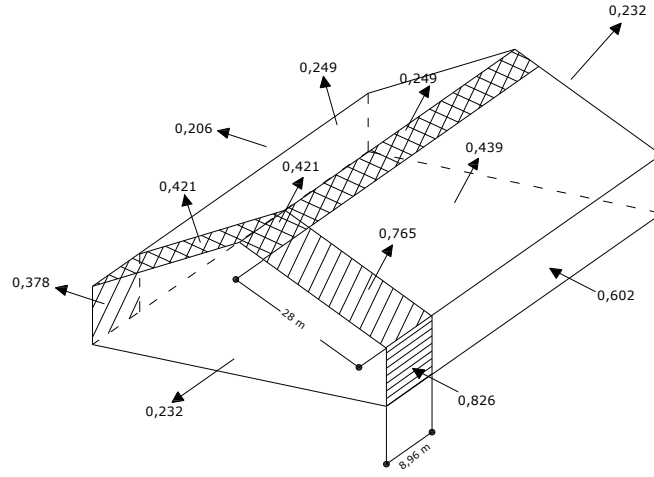
$$32,13m - 28m = 4,12m \quad (4.45)$$

olarak bulunur.

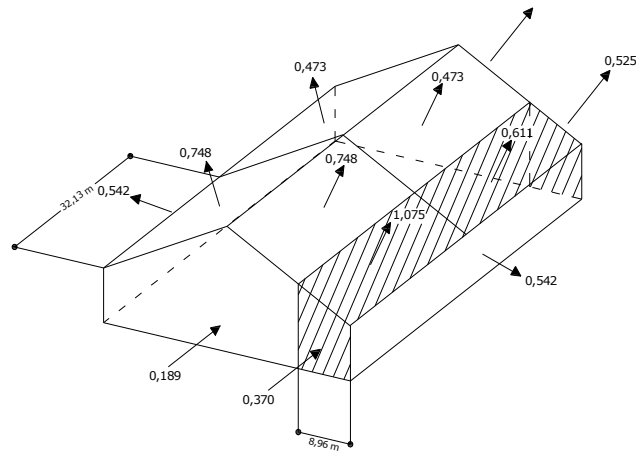
Yukarda bulunan Çizelge 4.29 ve 4.30'da bulunan basınç değerleri şekiller üzerinde gösterilirse;



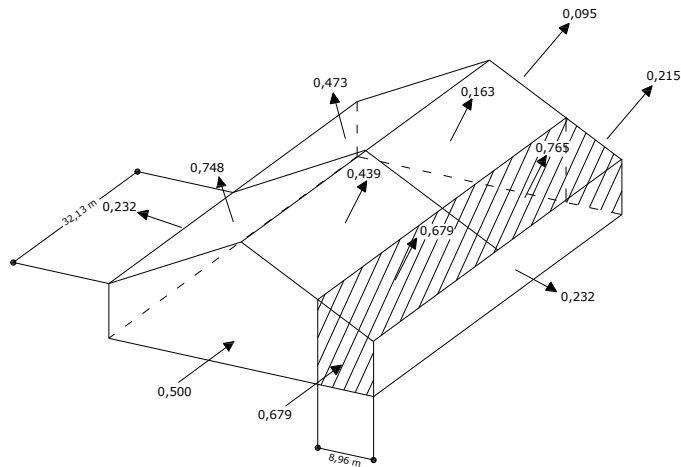
Şekil 4.13 : Pozitif iç basınçlar ile enine doğrultuda tasarım basınçları (kN/m^2).



Şekil 4.14 : Negatif iç basınçlar ile enine doğrultuda tasarım basınçları (kN/m²).



Şekil 4.15 : Pozitif iç basınçlar ile boyuna doğrultudaki dizyan basınçları (kN/m²).



Şekil 4.16 : Negatif iç basınçlar ile boyuna doğrultudaki dizyan basınçları (kN/ m²)

4.2.8.12 Burulmayla ilgili yükleme Durumları

Eğer ortalama çatı yüksekliği 9 m'den yüksek ve çatı için rijit diyafram kabulü yapılırsa; burulmayla ilgili yükleme durumları göz önüne alınmalıdır. Burulmayla ilgili yükleme için alanlar Şekil 4.4'de verilmiştir.

Şekil 4.4'de 1T, 2T, 3T ve 4T ile gösterilen alanların üzerine gelen rüzgar yükleri tasarım rüzgar yükü hesabında hesaplanan rüzgar basınçlarının %25'ine eşit olarak alınacaktır. Buna göre 1T, 2T, 3T ve 4T üzerine gelen tasarım basınçları aşağıdaki Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31'de verilmiştir.

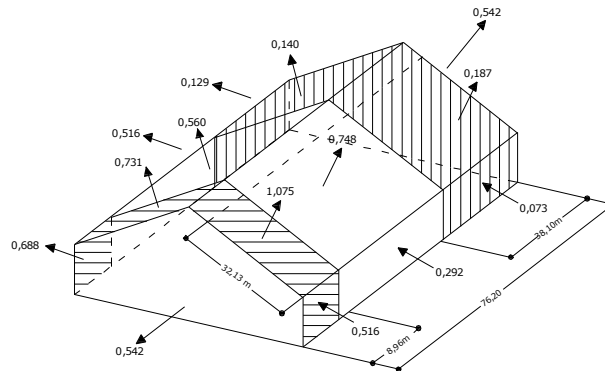
Çizelge 4.30 : Rüzgar Çatı sırtına dik gelmesi durumunda.

Yapı Yüzeyi	Tasarım Basınçları	
	+GC _{pi}	-GC _{pi}
1T	0,073	0,151
2T	0,187	0,110
3T	0,140	0,062
4T	0,129	0,052

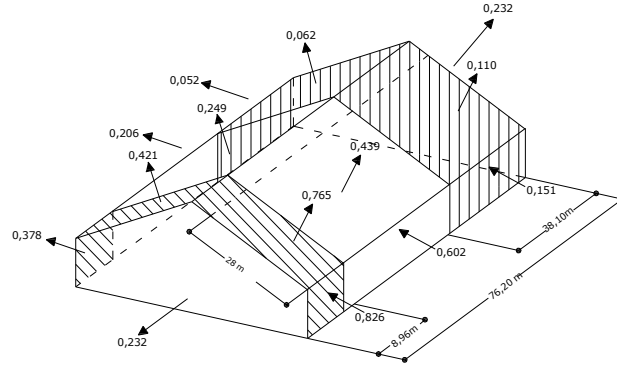
Çizelge 4.31 : Rüzgar Çatı sırtına paralel gelmesi durumunda.

Yapı Yüzeyi	Tasarım Basınçları	
	+GC _{pi}	-GC _{pi}
1T	0 047	0 125
2T	0 187	0 187
3T	0 118	0 118
4T	0,101	0,024

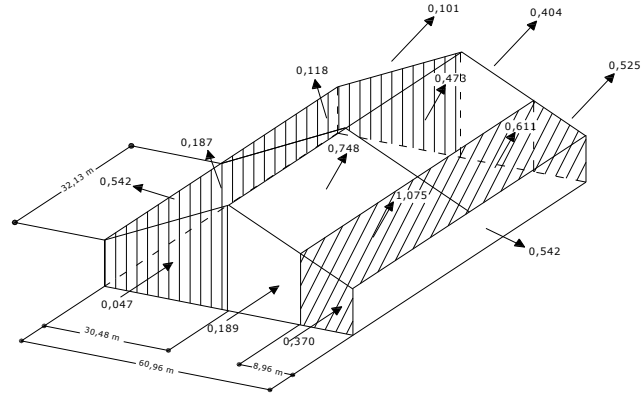
Yukarda bulunan sonuçlar şematik olarak gösterilirse; GC_{pi}



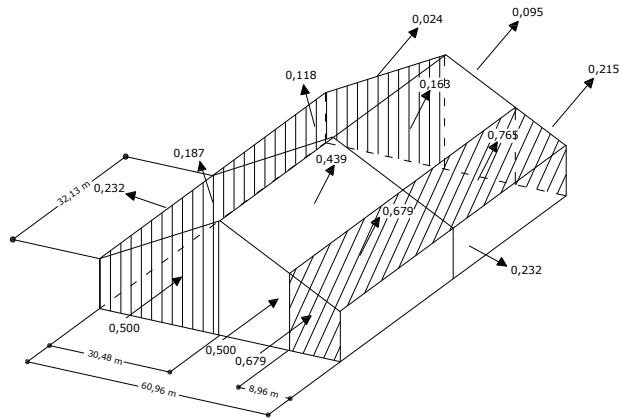
Şekil 4.17 : Pozitif iç basınçlar ile enine doğrultudaki tasarım basınçları (kN/ m²)



Şekil 4.18 : Negatif iç basınçlar ile enine doğrultudaki tasarım basınçları (kN/ m²)

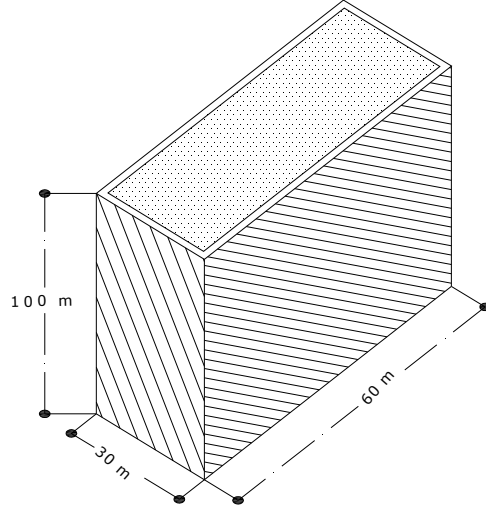


Şekil 4.19 : Pozitif iç basınçlar ile Boyuna doğrultudaki tasarım basınçları (kN/ m²).



Şekil 4.20 : Negatif iç basınçlar ile Boyuna doğrultudaki tasarım basınçları (kN/ m²).

4.2.9 Örnek Hesap 2



Şekil 4.21 : Çok katlı yüksek bina.

Şekil 4.21’den de anlaşılacağı üzere yapı taban boyutları 60 m x 30 m yüksekliği 100 m olan binanın üzerine gelen rüzgar basınçları ASCE 7-05 kullanılarak hesaplanacaktır. Yapı şehir içerisinde bulunmaktadır buna göre Çizelge 4.1 kullanılarak arazi katagorisi B olarak belirlenmiştir. Rüzgar bu bölgede fırtına olasılığının fazla olduğu düşünülerek rüzgar hızı, $V = 50$ m/sn olarak alınacaktır.

Bu yapı için ortalama çatı yüksekliği, $h = 98$ m ve parapet yüksekliği 2 m’dir.

4.2.9.1 Rüzgar Hız Basıncının Hesabı

Rüzgar hız basıncı Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıda tekrar verilmiştir.

$$q_z, q_h = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \cdot I \text{ [N/ m}^2\text{]} \quad (4.46)$$

Bu denklemde;

K_{zt} : 1,0 (Homojen arazi için;)

K_d : 0,85

I : 1,0 (Katagori II)

K_z : Değerleri Çizelge 4.3’den alınacaktır.

Buna göre;

$$q_z, q_h = 0,613.K_z.(1,0).(0,85).(50)^2.(1,0) = 1,302 \text{ [kN/ m}^2\text{]} \quad (4.47)$$

Yüksekliğe bağlı rüzgar hız basınçları aşağıda Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.32 : Yüksekliğe bağlı değişen rüzgar hız basınçları

h (m)	C&C	MWFRS	C&C	MWFRS
0-4,6	0,70	0,57	0,911	0,742
10	0,70	0,70	0,911	0,911
30	0,99	0,99	1,289	1,289
50	1,14	1,14	1,484	1,484
80	1,30	1,30	1,693	1,693
98	1,38	1,38	1,810	1,810
100	1,39	1,39	1,812	1,812

4.2.9.2 Tasarım Rüzgar Basıncı Hesabı

MWFRS için tasarım rüzgar basıncı tez içerisinde verilen Denklem 4.9 kullanılarak hesaplanır bu denklem aşağıda Denklem 4.47 olarak verilmiştir.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (4.47)$$

Bu denklemde; q, Çizelge 4.33’de verilen rüzgar hız basınç değerlerini; q_i, iç basıncı; q_h, yan duvarlar ve arka duvar için dış basıncı; G, Fırtına faktörünü; C_p, dış basıncı katsayısını; GC_{pi}, iç basınç katsayısını simgelemektedir.

4.2.9.3 Fırtına Faktörünün Hesabı, G

Fırtına faktörü, G Denklem 4.48 kullanılarak hesaplanır.

$$G = \left\{ \frac{(1+1,7g_Q.I_z.Q)}{(1+1,7g_v.I_z)} \right\} \quad (4.48)$$

Bu denklemde verilen; g_v ve g_q değerleri için standartta tavsiye edilen değer 3,4’tür.

I_z, Türbülansın şiddetini; Q, geri plan tepki faktörüdür.

$$\bar{z} = 0,6.(98) = 58,8 \text{ m} \quad (4.49)$$

$$c = 0,30 \quad (4.50)$$

$$I_z = c \cdot \left(\frac{10}{z} \right)^{1/6} = 0,30 \cdot \left(\frac{10}{58,8} \right)^{1/6} = 0,22 \quad (4.51)$$

$$L_z = l \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{1/3} = 97,536 \cdot \left(\frac{58,8}{10} \right)^{1/3} = 176,045 \text{ m} \quad (4.52)$$

Denklem 4.52’de verilen l, değeri Çizelge 4.2’den arazi katagorisine göre belirlenen değerdir. Geri plan teki faktörü, Q Denklem 4.16 kullanılarak hesaplanır ve değeri aşağıda verilmiştir.

$$Q = \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + 0,63 \left(\frac{30 + 98}{176,045} \right)^{0,63}}} \right\} = 0,81 \quad (4.53)$$

Denklem 4.53’de yapının kısa kenarına göre hesaplanmıştır bunun nedeni kısa değerlerin fırtına faktörünün hesabında büyük fırtına faktörü değeri vereceğindendir.

Buna göre fırtına faktörü, G aşağıda verilen şekilde hesaplanır.

$$G = \left\{ \frac{(1 + 1,7 \cdot (3,4) \cdot (0,22) \cdot (0,81))}{1 + 1,7 \cdot (3,4) \cdot (0,22)} \right\} = 0,83 \quad (4.54)$$

4.2.9.4 Dış Basınç Katsayılarının Tayini

Rüzgara dik doğrultudaki duvar dış basınç katsayısı, C_p değeri 0,8; yan duvarlar için ise değeri 0,7 olarak alınacaktır (Çizelge 4.8). Arka duvar için dış basınç katsayısı rüzgarın estiği doğrultuya ve L/B oranına bağlı olarak değişmektedir. Rüzgar 60 m olan duvara dik doğrultuda eserse; $L/B = 30/60 = 0,5$ ve bu duvara ait dış basınç katsayısı Çizelge 4.9’dan değeri -0,5 olmaktadır. Eğer rüzgar 30 m olan duvara dik gelirse; $L/B = 60/30 = 2$ den C_p değeri -0,3 olmaktadır.

4.2.9.5 Çatı Dış Basınç Katsayılarının Tayini

Çatı basınç katsayıları Çizelge 4.11 kullanılarak hesaplanır. Çatı basınç katsayıları h/L oranına bağlıdır. Buna göre; Rüzgar 60 m olan duvara dik doğrultuda eserse; $h/L = 98/30 = 3,27$ ve çatı eğim açısı $\theta < 10$ ise çatı dış basınç katsayıları aşağıdaki gibi olur.

- $0-h/2 \dots C_p = -1,3$ (Standartta yapı yüzey alanına bağlı olarak dış basınç azaltma katsayıları verilmiştir bu yapı için dış basınç azaltma katsayısı 0,8 dir)
- $> h/2 \dots C_p = -0,7$

Rüzgar 60 m'lik duvara dik gelirse; çatı dış basınç katsayıları aşağıda verilen çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.33 : Çatı basınç katsayıları.

Köşelerden olan uzaklık	C_p
0-h	-1,04
>h/2	-0,70

Rüzgar 30 m'lik duvara dik gelirse; çatı basınç katsayıları aşağıdaki gibi olur.

Çizelge 4.34 : Çatı basınç katsayıları.

Köşelerden olan uzaklık	C_p
0-h	-1,04
>h/2	-0,70

Yukarda bulunan dış basınç katsayıları çizelge halinde aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.35 : Dış basınç katsayıları.

Yüzey	Rüzgar Doğrultusu	L/B	C_p
Rüzgara dik doğrultudaki duvarlar	Tüm	Tüm	0,8
Arka duvar	60 m'li duvara dik	0,5	-0,5
	60m'lik duvara paralel	2	-0,3
Yan duvarlar	Tüm	Tüm	-0,70

MWFRS için Tasarım Dış Basınçlarının Hesabı Rüzgar 60 m'li duvara dik doğrultuda esmesi durumunda çatı ve duvarlarda meydana tasarım dış basınçları Denklem 4.47 kullanılarak hesaplanır.

İç basınç hesabı için gereken katsayısı Çizelge 4.7 yardımıyla tayin edilir. Bu yapı için kısmi kapalı yapı olarak düşünülmüştür. Bu yüzden iç basınç katsayısı, GC_{pi} değeri $\pm 0,55$ olarak alınacaktır. Yapı içerisinde oluşan basınçların tayininde

kullanılan rüzgar hız basınçların için aşağıda verieln durumlar göz önüne alınarak hesaplanmalıdır.

- Negatif iç basınç hesabında çatı yüksekliğindeki rüzgar hız basıncı kullanılır. Buna göre; Negatif iç basınç değeri $1,810 \times (-0,55) = -0,996 \text{ kN/m}^2$
- Pozitif iç basınç hesabında ise; çevre binaların yüksekliği referans alınır ve bu binların ortalama yüksekliğinden 30ft veya 9 m yükseklikteki hız basıncı kullanılır. Buna göre; pozitif iç basınç $1,562 \times (+0,55) = 0,859 \text{ kN/}$ olarak bulunur.

Yapı üzerine etkiyen dış basınçlar ise aşağıda verilen Çizelgelerden takip edilebilir.

Rüzgar 60 m’lik duvara dik gelmesi durumunda yapı üzerinde oluşan dış basınçlar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.36 : MWFRS için tasarım rüzgar basınçları kN/m^2

Yüzey	h (m)	q	Cp	MWFRS için Tasarım Rüzgar Basıncı
Rüzgara Dik Doğrultudaki Duvar	0-4,6	0,742	0,80	0,594
	10	0,911	0,80	0,729
	30	1,289	0,80	1,031
	50	1,484	0,80	1,187
	80	1,693	0,80	1,354
	98	1,810	0,80	1,448
Arka Duvar	Tüm	1,810	-0,5	-0,905
Yan Duvarlar	Tüm	1,810	-0,70	-1,267
Çatı	0-50 m	1,810	-1,04	-1,882
	>50 m	1,810	-0,70	-1,267

Rüzgar eğer yapının kısa doğrultusu olan 30 m’lik duvara dik esmesi durumunda yapı yüzeylerinde meydana gelen tasarım rüzgar basınçları aşağıda verilen Çizelge 4.37’den takip edilebilir.

Çizelge 4.37 : MWFRS için tasarım rüzgar basınçları kN/m^2 .

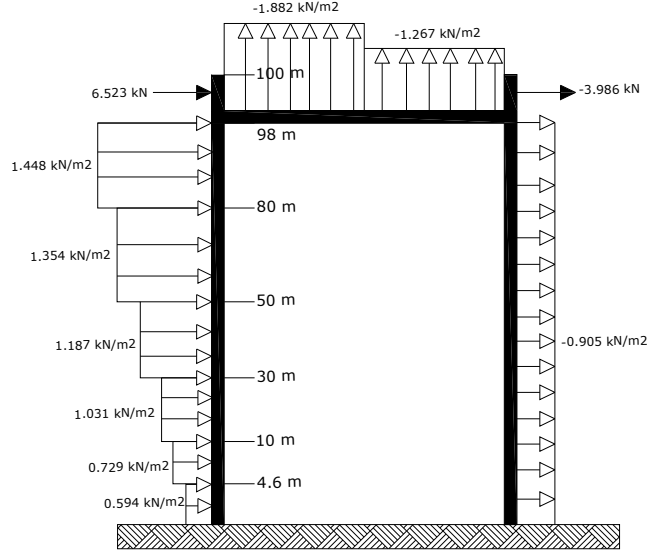
Yüzey	h (m)	q	Cp	MWFRS için Tasarım Rüzgar Basıncı
Rüzgara Dik Doğrultudaki Duvar	0-4,6	0,742	0,80	0,594
	10	0,911	0,80	0,729
	30	1,289	0,80	1,031
	50	1,484	0,80	1,187
	80	1,693	0,80	1,354
	98	1,810	0,80	1,448
Arka Duvar	Tüm	1,810	-0,30	-0,543
Yan Duvarlar	Tüm	1,810	-0,70	-1,267
Çatı	0-50 m	1,810	-1,04	-1,882
	>50 m	1,810	-0,70	-1,267

Yukarıda verilen çizelgelerdeki basınçlar şematik olarak gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar iç basınçlar $-0,996 \text{ kN/m}^2$ ve $+0,859 \text{ kN/m}^2$ tasarım rüzgar basınçlarına eklenmelidir.

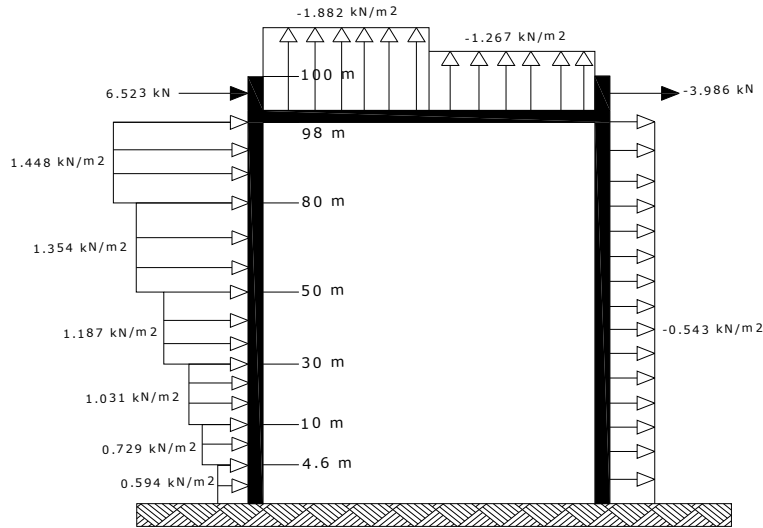
Çizelge 4.38 : MWFRS için tasarım rüzgar basınçları kN/m^2 .

Yüzey	h (m)	q	Cp	MWFRS için Tasarım Rüzgar Basıncı
Rüzgara Dik Doğrultudaki Duvar	0-4.6	0.742	0.80	0.594
	10	0.911	0.80	0.729
	30	1.289	0.80	1.031
	50	1.484	0.80	1.187
	80	1.693	0.80	1.354
	98	1.810	0.80	1.448
Arka Duvar	Tüm	1,810	-0,30	-0,543
Yan Duvarlar	Tüm	1,810	-0,70	-1,267
Çatı	0-50 m	1,810	-1,04	-1,882
	>50 m	1,810	-0,70	-1,267

Yukarıda verilen çizelgelerdeki basınçlar şematik olarak gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar iç basınçlar $-0,996 \text{ kN/m}^2$ ve $+0,859 \text{ kN/m}^2$ tasarım rüzgar basınçlarına eklenmelidir.



Şekil 4.22 : Rüzgar 60 m'lik duvara dik esmesi durumunda yüzeylerde oluşan basınçlar kN/m^2



Şekil 4.23 : Rüzgar 30 m'lik duvara dik esmesi durumunda yüzeylerde oluşan basınçlar kN/m^2

4.2.9.6 Parapet Yükünün Hesaplanması

Parapet yükü aşağıda verilen Denklem 4.55 kullanılarak hesaplanır.

$$p_p = q_p GC_{pn} \quad (4.55)$$

Burada; GC_{pn} , basınç katsayısıdır ve standartta tavsiye edilen değeri rüzgar doğrultusuna dik doğrultudaki duvarda $GC_{pn} = 1,8$ ve arka duvar için değeri $GC_{pn} = -1,1$ olarak verilmiştir. Bu durumda parapetlere gelen tekil rüzgar kuvvetleri aşağıda hesaplanmıştır.

Rüzgara dik doğrultudaki duvarda bulunan parapete gelen rüzgar kuvveti

$$F = 1,812.(1,8).(2) = 6,523 \text{ kN} \quad (4.56)$$

$$F = 1,812.(-1,1).(2) = -3,986 \text{ kN} \quad (4.57)$$

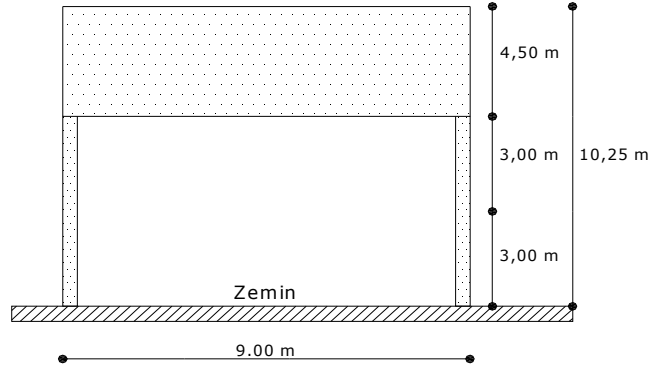
Yapıda kullanılan yapı bileşenleri ve kaplamaları ile ilgili detaylar bilinmediğinden bu örnekte C&C tasarım rüzgar basıncı hesabı yapılmayacaktır. Ama istendiği takdirde örnek 1’de verilen yöntemle hesap yapılabilir.

4.2.10 İşarat Levhası Örneği



Şekil 4.24 : İşaret levhası.

4.2.10.1 Yapı İle İlgili Bilgiler



Şekil 4.25 : Yapının boyutları.

Yapı reklam panosu olarak tasarlanmıştır. Bu tip yapılar dış çevre unsuru olan rüzgar etkilerine önemli derecede maruz kaldıklarından bu tip yapıların taşıyıcı sistemini boyutlandırmasında rüzgar tesirleri dikkate alınmalıdır. bu bölümde bu tip yapılar üzerine gelen rüzgar kuvveti hesabı yapılacaktır.

4.2.10.2 Etkili Hız Basıncı Hesabı

Etkili hız basıncı Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıda Denklem 4.58 olarak verilmiştir.

$$q_z, q_h = 0,613.K_z.K_{zt}.K_d.V^2.I \quad (4.58)$$

Burada, q_z ve q_h yüksekliğe bağlı rüzgar hız basınçlarıdır. K_{zt} topoğrafya faktörüdür ve değeri topoğrafya etkisinin olmadığı arazilerde 1,0 olarak alınır aksi takdirde Denklem 4.6 kullanılarak değerleri hesaplanır. K_d Rüzgar doğrultu faktörüdür. Değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. V , Rüzgar hızıdır. I , önem katsayısıdır. Değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Buna göre K_z , maruz kalma katsayısıdır. Değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Bu yapı için yukarıda verilen katsayılar aşağıdaki gibi olur.

$$K_{zt} = 1,0$$

$$K_d = 0,85$$

$$I = 0,87$$

Yapının bulunduğu arazi katagorisi çizelge 4.1'den tayin edilir. Bu örnek için arazi katagorisi C olarak kullanılacaktır. Bu arazi için etkili rüzgar hızı 22,35 m/sn'dir.

Buna göre etkili hız basıncı;

$$q_z, q_h = 0,613 \times 1,0 \times 0,85 \times 22,35^2 \times 0,87 = 0,226 K_z \text{ kN/ m}^2 \quad (4.59)$$

olur.

Yüksekliğe bağlı etkili hız basıncıları maruz kalma katsayıları Çizelge 4.3'den faydalanılarak hesaplanır. Değerleri aşağıda verilen Çizelge 4.39'da görülebilir. Ara değerler çizelgede lineer interpolasyon yapılar hesaplanmıştır.

Çizelge 4.39 : Etkili hız basınçları.

Yükseklik	K_z	q_z
3	0,85	0,192
6	0,90	0,203
8,25	0,96	0,217
10,25	1,00	0,226

4.2.10.3 MWFRS İçin Tasarım Kuvveti

Tasarım kuvveti Denklem 4.23 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıda Denklem 4.60 olarak verilmiştir.

$$F = q_z G C_f A_f \quad (4.60)$$

Burada G fırtına faktörüdür. Değeri Denklem 4.18 kullanılarak hesaplanmalıdır. C_f kuvvet katsayısıdır. Değerleri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.5 kullanılarak hesaplanır. A_f , Referans alandır.

4.2.10.4 Kuvvet Katsayılarının Hesabı

Kuvvet katsayıları yapının boyutlarına göre Çizelge 4.13 kullanılarak hesaplanır. Burada $B = 9,00 \text{ m}$, $S = 4,50 \text{ m}$, $h = 10,5 \text{ m}$ ise $B/L = 2$ ve $S/h = 0,43$ Çizelge 4.13 den lineer interpolasyonla pano için kuvvet katsayısı $C_f = 1,74$ olarak tayin edilir.

Taşıyıcı elemanlar $20 \times 20 \times 2,5$ olan kutu profil olarak seçilmiş. Bu yapı elemanları için kuvvet katsayısı Çizelge 4.14 kullanılarak bulunur. Buna göre $h = 10,5 \text{ m}$, $D = 0,20 \text{ m}$ ise $h/D = 52,5$ 'dir. Çizelgeden C_f değeri 2,0 olarak bulunmuştur.

4.2.10.5 Etkili Fırtına Faktörü G_f 'in Hesabı

Yapı rijit bir yapı olmadığından fırtına faktörünün hesaplanması gerekmektedir. Etkili fırtına faktörü Denklem 4.18 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$G_f = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1,7 g_v I_z} \right) \quad (4.61)$$

Bu denklemde; I_z , Türbülans şiddetidir. Q , Zemin tepkisidir; q_Q , q_R ve q_v Zemine rüzgara karşı gelen zirve faktörüdür.

4.2.10.6 Türbülans Şiddeti I_z 'nin Hesabı

Türbülans şiddeti Denklem 4.15 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$I_z = c \left(\frac{10}{Z} \right)^{1/6} \quad (4.62)$$

Bu denklemde z panonun ağırlık merkezinin yerden olan yüksekliğidir. Bu örnekte değeri 8,25 m'dir. c parametresinin değeri Çizelge 4.2'den alınır ve örnekteki değeri 0,20'dir. Bu veriler Denklem 4.62'de yerine yerleştirilirse;

$$I_z = 0,20 \left(\frac{10}{8,25} \right)^{1/6} = 0,207 \quad (4.63)$$

elde edilir.

q_Q ve q_v 'nin değerleri standartta 3,4 olarak alınması tavsiye edilmektedir.

Geri plan tepkisi Q değeri Denklem 4.16 kullanılarak hesaplanır bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{B + h}{L_z} \right)^{0,63}}} \quad (4.64)$$

Bu denklemde, B ve h yapı boyutlarıdır. L_z türbülans uzunluğudur ve değeri Denklem 4.17 kullanılarak hesaplanır.

$$L_z = l(\bar{Z}/10)^{\bar{\varepsilon}} \quad (4.65)$$

Burada, $\bar{\varepsilon}$ ve l değerleri Çizelge 4.2'den alınır.

Buna göre;

$$L_z = 154,4 \left(\frac{8,25}{10,50} \right)^{1/5} = 146,648 \text{ m} \quad (4.66)$$

elde edilir.

Yukarda bulunan parametreler Denklem 4.64'de yerine yazılırsa;

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{9,00 + 4,50}{146,648} \right)^{0,63}}} = 0,93 \quad (4.67)$$

Reklam panosunun ağırlık merkezine gelen rüzgarın hızı Denklem 4.21 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıdaki gibidir.

$$\bar{V}_{(z)} = \bar{b} \left(\frac{z}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V \text{ m/sn} \quad (4.68)$$

$\bar{b}$ ve $\bar{\alpha}$ değerleri Çizelge 4.2'den takip edilebilir. Bu örnek için $\bar{b} = 0,65$ ve $\bar{\alpha} = 1/6,5$ olarak alınırsa;

$$\bar{V}_{(z)} = 0,65 \left(\frac{8,25}{10} \right)^{1/6,5} \times 22,35 = 14,104 \text{ m/sn} \quad (4.69)$$

elde edilir.

4.2.10.7 Rezonans Tepkisinin Karekökü R'nin Hesabı

Rezonans tepkisinin karekökü olan R Denklem 4.22 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem şu şekildedir.

$$. R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L)} \quad (4.70)$$

Bu denklemde β sönüm oranını simgelemektedir ve değeri 0,01 dir. R_n , R_h , R_b aşağıda verilen deklemler yardımıyla hesaplanır.

$$. N_1 = \frac{n_1 L_z}{V_z} \quad (4.71)$$

n_1 yapının doğal titreşim frenaksıdır. Bu tip yapılar için değeri 0,70 Hz olarak alınabilir. L_z türbülansın uzunluğu, V_z ortalama rüzgar hızı değeridir. yukarıda bulunan değerler Denklem 4.59'da yerine yazılırsa;

$$. N_1 = \frac{0,70 \times 146,648}{14,104} = 7,278 \quad (4.72)$$

R_n 'in değeri aşağıda verilen Denklem 4.61 kullanılarak hesaplanır.

$$. R_n = \frac{7,47 N_1}{(1 + 10,3 N_1)^{5/3}} \quad (4.73)$$

Denklem 4.54 de bulunan N_1 değeri Denklem 4.73'de yerine yazılırsa;

$$. R_n = \frac{7,477,278}{(1 + 10,3 \times 7,278)^{5/3}} = 0,040 \quad (4.74)$$

R_h 'ın hesabı için aşağıdaki denklemde verilen μ 'nün hesaplanması gerekmektedir.

$$. \mu = \frac{4,6 n_1 h}{V_z} \quad (4.75)$$

Bu denklemde n_1 yapının 1. doğal titreşim frekansıdır ve değeri 0,70'dir. h panonun yüksekliğidir ve değeri 10,5 m'dir. V_z , panonun ağırlık merkezine gelen ortalama rüzgar hızını göstermektedir değeri 14,104 m/sn olarak hesaplanmıştır.

Buna göre;

$$. \mu = \frac{4,6 \times 0,70 \times 10,50}{14,104} = 2,340 \quad (4.76)$$

elde edilir. Bulunan bu sonuç Denklem 4.20’de yerine yazılırsa;

$$. R_h = \frac{1}{2,340} - \frac{1}{2 \times 2,340^2} (1 - e^{-2 \times 2,340}) = 0,337 \quad (4.77)$$

R_B ‘nin hesabı için yularıda verilen hesaplar tekrarlanır fakat h yerine $B = 9,00$ m alınarak hesaba devam edilmelidir.

$$. \mu = \frac{4,6 \times 0,70 \times 9,00}{14,104} = 2,055 \quad (4.78)$$

$$. R_h = \frac{1}{2,055} - \frac{1}{2 \times 2,055^2} (1 - e^{-2 \times 2,055}) = 0,370 \quad (4.79)$$

Eğer panonun kalınlığı 0,60 m olarak alınırsa;

$$. \mu = \frac{15,4 \times 0,70 \times 0,60}{14,104} = 0,459 \quad (4.80)$$

elde edilir ve R_L değeri aşağıda verilen şekilde hesaplanır.

$$. R_h = \frac{1}{0,459} - \frac{1}{2 \times 0,459^2} (1 - e^{-2 \times 0,459}) = 0,753 \quad (4.81)$$

Buna göre rezonans değerinin karekökü R Denklem 4.69 kullanılarak hesaplanırsa;

$$. R = \sqrt{\frac{1}{0,01} 0,040 \times 0,337 \times 0,370 \times (0,53 + 0,47 \times 0,753)} = 0,441 \quad (4.82)$$

olarak bulunur.

Tepkinin dalgalı bölümünün en büyük değerinin onun standart sapması oranı olarak tanımlanan tepe katsayısı hesabı için g_R ’nin hesaplanması gerekmektedir. g_R , Denklem 4.19 kullanılarak hesaplanır.

$$. g_r = \sqrt{2 \ln(3600 \times 0,70)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600 \times 0,70)}} = 4,1 \quad (4.83)$$

olarak bulunur.

Yukarda bulunan değerler Denklem 4.61’de yerine yerleştirilirse Etkili fırtına faktörü bulunur.

$$G_f = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7x0,207\sqrt{3,4^2 + 4,1^2}}{1 + 1,7x3,4x0,207} \right) = 0,961 \quad (4.84)$$

4.2.10.8 Tasarım Kuvvetleri Hesabı

Yapı üzerine gelen rüzgar kuvvetleri Denklem 4.23 kullanılarak hesaplanır.

Taşıyıcı elemanların 0-3 m yüksekliğindeki rüzgar kuvveti;

$$F = 0,192x0,961x2x0,20 = 0,074 \text{ kN/m} \quad (4.84)$$

Taşıyıcı elemanların 3-6 m yüksekliğindeki rüzgar kuvveti;

$$F = 0,203x0,961x2x0,20 = 0,078 \text{ kN/m} \quad (4.85)$$

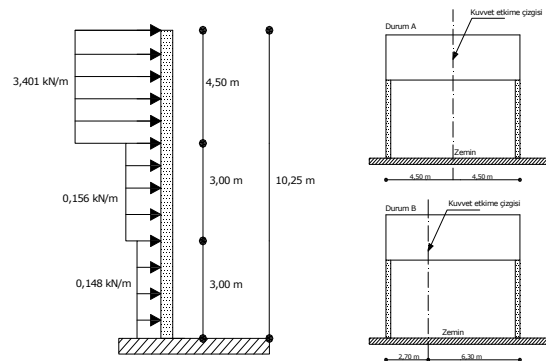
Panonun üzerine gelen rüzgar kuvveti;

1 m yatay şerit için;

$$F = 0,226x0,961x1,74x9,00 = 3,401 \text{ kN/m} \quad (4.86)$$

Bulunan bu kuvvetler şematik olarak aşağıdaki şekil 4.23 de verilmiştir.

Yapıda iki tane şatıyıcı eleman bulunduğundan Denklem 4.84 ve Denklem 4.85 de bulunan değerler iki ile çarpılacaktır. Buna göre yapı üzerine gelen toplam rüzgar yükleri aşağıdaki şekil 4.23 de verilmiştir. rüzgar kuvvetinin pano üzerinde etkidiğı noktalar şekil 4.5 de gösterilmiştir.



şekil 4.26 : Reklam panosuna etkiyen rüzgar kuvvetleri.

4.3 Eurocode 1-4 Rüzgar Etkileri

Bu standart her bir yük tesiri alanı dikkate alınarak, binaların ve inşaat mühendisliğindeki işlerin yapısal tasarımında doğal rüzgar etkilerinin tayini için kılavuz bilgiler içermektedir. Yükün tesir ettiği alanlar, yapının tüm kısmı veya bir kısmı veya bileşenler, kaplamalar ve bunları sabitleme elemanları, güvenlik ve ses bariyerleri gibi yapıya monte edilmiş elemanlardır. Bu standart yüksekliği 200 m olan binalar veya inşaat mühendisliği işleri veya dinamik tepki kriterlerini sağlaması şartıyla 200 m'den daha az açıklıklı köprüler üzerine gelen rüzgar yüklerinin hesabına olanak sağlanmaktadır, fakat tez içerisinde sadece yapılar üzerine gelen rüzgar yükü hesap aşamaları incelenecektir.

Bu standart içerisinde geçen semboller aşağıda Bölüm 4.3.1 de verilmiştir.

4.3.1 Semboller

Büyük Latin harfleriyle gösterilen semboller:

A Alan

A_{fr} Rüzgârın yaladığı (temas edip geçtiği) alan

A_{ref} Referans alan

B_2 Tepki bölgesi

C Köprüler için rüzgâr yük katsayısı

E Elastisite modülü

F_{fr} Toplam sürtünme kuvveti

F_j Yapının j noktasına etki eden girdap kuvveti

F_w Toplam rüzgâr kuvveti

H Topoğrafik unsurun yüksekliği

Iv Türbülans şiddeti

K Mod şekil katsayısı; şekil parametresi

K_{iv} Girdap akımlarının girişim katsayısı

K_{rd} Parapetler için azaltma katsayısı

K_w	Korelasyon uzunluk katsayısı
K_x	Boyutsuz katsayı
L	Köprü tabliyesinin açıklık uzunluğu; türbülans uzunluk ölçeği
L_d	Rüzgâr uzaklaştığı yöndeki eğimli kısmın gerçek uzunluğu
L_e	Rüzgârın yaklaştığı yöndeki eğimli kısmın etkili uzunluğu
L_j	Korelasyon uzunluğu
L_u	Rüzgârın yaklaştığı yöndeki eğimli kısmın gerçek uzunluğu
N	Girdap akımları nedeniyle oluşan çevrim sayısı
N_g	Hamle tepkisi için yük adedi
R_2	Rezonans tepki bölümü
Re	Reynolds sayısı
R_h	Aerodinamik kabul
R_b	Aerodinamik kabul
S	Rüzgâr etkisi
Sc	Scruton sayısı
S_L	Boyutsuz spektral güç yoğunluk fonksiyonu
St	Strouhal sayısı
W_s	Bacanın rijitliğine katkıda bulunan yapısal kısımların ağırlığı
W_t	Bacanın toplam ağırlığı

Küçük Latin harfleriyle gösterilen semboller:

a_G	Çalkanım kararsızlık katsayısı
a_{IG}	Girişimli çalkalanım için birleşik kararlılık parametresi
b	Yapının genişliği (aksi belirtilmediyse, rüzgâr yönüne dik doğrultudaki yüzey uzunluğu)
C_{alt}	Rakım katsayısı
C_d	Dinamik katsayı

C_{dir}	Yön katsayısı
$C_{e(z)}$	Maruz kalma katsayısı
$C_{f,0}$	Serbest rüzgar uç akımı olmayan yapı veya yapı elemanları için kuvvet katsayısı
$C_{f,l}$	Kaldırma kuvveti katsayısı
C_{fr}	Sürtünme katsayısı
C_{lat}	Aerodinamik tahrik katsayısı
C_M	Mometn katsayısı
C_p	Basınç katsayısı
C_{prop}	Olasılık katsayısı
C_r	Egebelilik katsayısı
C_0	Orografi katsayısı
C_s	Boyut katsayısı
C_{season}	Mevsim katsayısı
e	Bir kuvvetin dış merkezliliği veya kenar mesafesi
d	Yapı derinliği
f_L	Boyutsuz frekans
h	Yapı yüksekliği
h_{ave}	Engel yüksekliği
h_{dis}	Yer değiştirme yüksekliği
k	Eşdeğer engebelilik
k_p	Tepe (peak) katsayısı
k_r	Arazi katsayısı
k_θ	Burulma rijitliği
l	Yapının yatay uzunluğu
m	Birim uzunluk kütlesi

m_1	Eşdeğer birim uzunluk kütlesi
n_i	Yapının i'inci modunun doğal frekansı
$n_{1,x}$	Rüzgar doğrultusundaki titreşim temel frekansı
$n_{1,y}$	Rüzgar doğrultusuna dik doğrultudaki titreşim temel frekansı
n_0	Oval şekil frekansı
p	Yıllık aşılma ihtimali
q_b	Referans ortalama hız kaynaklı rüzgar basıncı
q_p	Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı
r	Yarı çap
s	Katsayı, koordinat
t	Referans rüzgar hızının ortalama süresi, plaka kalınlığı
V_{CG}	Çalkanın için başlangıç rüzgar hızı
V_{CIG}	Girişimli çalkanım için kritik rüzgar hızı
V_{crit}	Girdap akımı için kritik rüzgar hızı
V_{div}	Dağılan rüzgar hızı
V_m	Ortalama rüzgar hızı
$V_{b,0}$	Esas rüzgar hızının temel değeri
V_b	Esas rüzgar hızı
w	Rüzgar basıncı
x	Mahalin bir tepenin zirvesine olan yatay uzaklığı
$y_{enbüyük}$	Kritik rüzgar hızında rüzgara dik yöndeki en büyük genlik
z	Yer seviyesinden en büyük yükseklik
z_{ave}	Ortalama yükseklik
z_0	Engebelilik uzunluğu
z_e, z_i	Dış rüzgar etkisi için referans yükseklik, iç basınç
z_g	Dikkate alınan yapı elemanının yer seviyesinden yüksekliği

$z_{enbüyük}$ En büyük yükseklik

$z_{enküçük}$ En küçük yükseklik

z_s Yapısal katsayıyı belirlemek için referans yükseklik

Küçük yunan harfleri ile gösterilen semboller:

α_G Çalkanım kararsızlık parametresi

α_{IG} Girişimli çalkanım'ın birleşik kararlılık parametresi

δ Logaritmik sönümleme oranı

δ_a Sönümlemenin aerodinamik azalımı

δ Özel aletlere bağlı sönümlemenin aerodinamik logaritmik azalımı

δ_s Sönümlemenin yapısal logaritmik azalımı

ε Katsayı

ε_0 Frekans aralığı katsayısı

ε_1 Frekans katsayısı

η Değişken

φ Doluluk oranı, sundurma blokajı

λ Narinlik oranı

μ Boşluk oranı yüzeyin geçirgenliği

ν Üst geçiş frekansı, poisson oranı, kinematik viskozite

θ Burulma açısı, rüzgar yönü

ρ Hava yoğunluğu

σ_v Türbülansın standart sapması

$\sigma_{a,x}$ Rüzgar yönündeki ivmenin standart sapması

ψ_{mc} Çok katlı sundurma için azaltma katsayısı

ψ_r Köşeleri yuvarlatılmış dikdörtgen kesitler için kuvvet katsayısına ait azaltma katsayısı

ψ_λ Uç tesirli yapısal elemanların kuvvet katsayısına ait azaltma katsayısı

$\psi_{\lambda\alpha}$	Dairesel kesitli silindirler için uç tesiri katsayısı
ψ_s	Duvarlar ve çitlerin yapıyı rüzgardan koruma katsayısı
ζ	Mod şeklinin üssü

4.3.2 Rüzgar Etkilerinin Modellenmesi

Rüzgar 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 yüzeylerinede etkir. Bu etkiler ayrıca, dış cephede açıklık olan yapılarda da iç yüzeylere doğrudan etkiyebilir. Basınçlar yapının veya herbir giydirme cephe (kaplama) elemanının yüzey alanına dik kuvvetler oluşturacak şekilde etkir. Buna ek olarak, rüzgarın yaladığı yapı alanlarının büyük olduğu durumlarda yapı yüzeylerine paralel olarak etkiyen sürtünme kuvvetleride önemlidir.

4.3.3 Rüzgar Etkilerinin Temsili

Rüzgar etkisi, en kritik türbülanslı rüzgar tesirlerine eşdeğer tesirler meydana getiren basitleştirilmiş basınç ve kuvvet grupları ile temsil edilir.

4.3.3.1 Karakteristik Değerler

EN 1991-1-4 kullanılarak hesaplanan rüzgar etkileri karakteristik değerleridir. Bu değerler, rüzgar hızının veya hız kaynaklı rüzgar basıncının esas değerleri kullanılarak hesaplanır. Bu esas değerler ortalama tekerrür süresi 50 yıla eşit ve yıllık aşılma olasılığı 0.02 olan karakteristik değerlerdir. Buna göre esas değerlerden rüzgar etkilerini elde etmek için kullanılan bütün katsayılar veya modeller, hesaplanan rüzgar etkilerinin olasılığı esas değerlerin olasılığını geçmeyecek şekilde seçilir.

4.3.3.2 Modeller

Yapı üzerindeki rüzgar tesirleri o yapının boyutuna, şekline ve dinamik özelliklerine bağlıdır. Bu standarta göre, rüzgar yönündeki türbülansın, rüzgar yönündeki türbülansın, rüzgar yönündeki sabit işaretli temel eğilme modu titreşimiyle örtüşmesinin neden olduğu dinamik tepkileri kapsar. Yapı tepkisi doğal yapısı korunmuş rüzgar alanındaki referans yükseklikte meydana gelen tepe hız kaynaklı

rüzgar basıncı q_p , kuvvet ve basınç katsayısı ve yapısal katsayı $C_s C_d$ kullanılarak hesaplanır. Bu katsayılar ve rüzgar basıncı ileriki bölümlerde açıklanacaktır.

4.3.4 EN 1991-1-4 Hesap Aşamaları

4.3.4.1 Hızın Tepe Değere Ulaştığı Rüzgar Basıncının (q_p) Hesabı

q_p değeri, z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içeren tepe rüzgar basıncı $q_p(z)$ rüzgarın özelliklerine, arazinin engebeliliğine, orografik özelliklere ve referans yüksekliğine bağlıdır. Aynı zamanda q_p değeri, kısa süreli basınç değerleri ile ortalama hız kaynaklı rüzgar basıncının toplamına eşittir.

4.3.4.2 Esas Rüzgar Hızı (V_b) Değerinin Hesaplanması

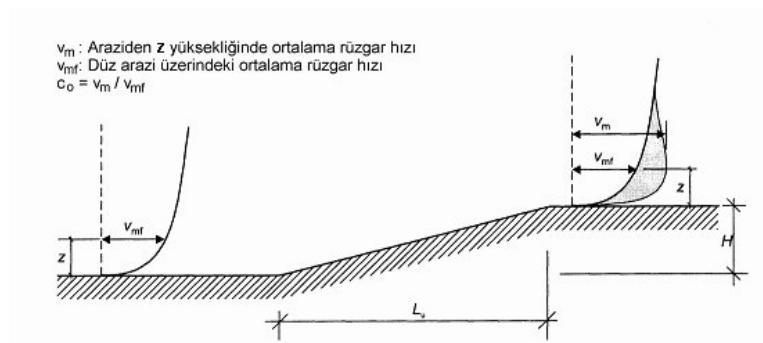
Rüzgar hızı ve hız kaynaklı rüzgar basıncı, ortalama ve değişken bileşenlerden oluşmaktadır. Ortalama rüzgar hızı V_m ve rüzgarın özelliklerine bağlı olan rüzgar hızı V_b arazi engebeliliğine ve orografik yapıya bağlı olan rüzgarın yükseklikle değişimi kullanılarak belirlenir.

4.3.5 Arazi Orografisi

Orografinin (tepeler, yamaçlar vb) rüzgar hızının % 5'ten daha fazla arttığı yerlerde bunların tesirleri orografi katsayısı C_0 kullanılarak dikkate alınır.

4.3.5.1 Orografi Katsayısının Sayısal Hesabı

Birbirinden bağımsız tepeler ve sırtlar veya yarlarda farklı rüzgar hızları rüzgar doğrultusunda rüzgarın yaklaştığı yöndeki eğime ($\Phi = H/L$) bağlıdır. Yükseklik H ve uzunluk L_u Şekil 4.24 de gösterilmiştir.



Şekil 4.27 : Orografik yapı üzerindeki rüzgar hızının yükselişinin gösterilmesi (Eurocode 1).

Rüzgar hızındaki en büyük artış eğimin tepe noktasında olur ve orografi katsayısı c_0 'dan elde edilir. Orografi katsayısı $C_0(z) = V_m/V_{mf}$ ile birbirinden ayrılmış tepe ve sırtlar (sıradağlar gibi) birbirinden ayrılmamış dağların bulunduğu bölgeler hariç rüzgar hızıyla ilişkilidir. Orografi etkileri aşağıdaki durumlarda dikkate alınmalıdır.

- a) Tepe ve sırtlarda rüzgarın yaklaştığı yöndeki eğimli kısımda bulunan aşağıdaki mahaller için;

$$0.05 < \Phi \leq 0.3 \text{ ve } |x| \leq L_u / 2 \quad (4.87)$$

$$0.05 < \Phi \leq 0.3 \text{ ve } |x| \leq L_u / 2 \quad (4.88)$$

- b)Tepe ve sırlarda rüzgarın uzaklaştığı yöndeki eğimli kısımda bulunan aşağıdaki Sahip mahaller için;

$$\Phi \leq 0.3 \text{ ve } x < L_d / 2 \quad (4.89)$$

$$\Phi \geq 0.3 \text{ ve } x < 1.6H \quad (4.90)$$

- c) Yamaç ve yarların rüzgarın yaklaştığı yöndeki eğimli kısımda bulunan aşağıdaki özelliklere sahip mahaller için;

$$0.05 < \Phi \leq 0.3 \text{ ve } |x| \leq L_d / 2 \quad (4.91)$$

$$0.05 < \Phi \leq 0.3 \text{ ve } |x| \leq L_d / 2 \quad (4.92)$$

- d) Yamaç ve yarların rüzgarın yaklaştığı yöndeki eğimli kısımda bulunan aşağıdaki özelliklere sahip mahaller için;

$$\Phi < 0.3 \text{ ve } x < 1.5L_e \quad (4.93)$$

$$\Phi \geq 0.3 \text{ ve } x < 5H \quad (4.94)$$

C_0 ise aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\Phi < 0.05 \quad \text{için} \quad c_0 = 1 \quad (4.95)$$

$$0.05 < \Phi < 0.3 \quad \text{için} \quad c_0 = 1 + 2.s.\Phi \quad (4.96)$$

$$\Phi > 0.3 \quad \text{için} \quad c_0 = 1 + 0.6.s \quad (4.97)$$

Burada;

s Rüzgarın yaklaştığı yöndeki etkili eğim uzunluğu L_e için ölçeklendirilmiş

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 da elde edilen orografik bölge katsayısı,

Φ Rüzgar doğrultusunda rüzgarın yaklaştığı yöndeki eğim, H/L (Şekil 4.28 ve Şekil 4.29)

L_e Çizelge 4.39 da belirlenen rüzgarın yaklaştığı yöndeki etkili uzunluk,

L_u Rüzgar doğrultusunda rüzgarın yaklaştığı yöndeki gerçek uzunluk,

L_d Rüzgar doğrultusunda rüzgarın uzaklaştığı yöndeki gerçek uzunluk,

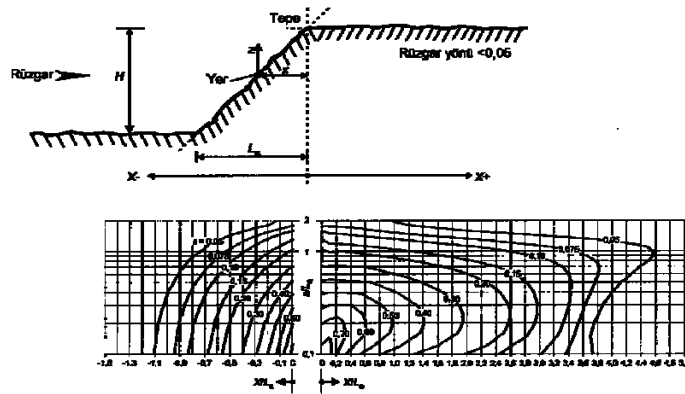
H Eğimin etkili yüksekliği,

Z Yapı mahalının zeminden düşey olarak ölçülen mesafesi

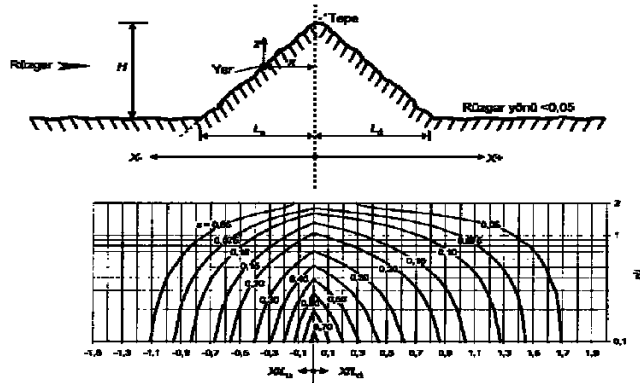
dir.

Çizelge 4.40 : Etkili uzunluk L_e değerleri(Eurocode 1).

Eğim Tipi ($\Phi = H/L$)	
Düşük Eğim ($0,05 < \Phi < 0,3$)	Yüksek Eğim ($\Phi > 0,3$)
$L_e = L_u$	$L_e = H / 3$



Şekil 4.28 : Yamaç ve yar için s katayısı (Eurocode 1).



Şekil 4.29 : Tepe ve sırtlar için s katsayısı(Eurocode 1).

- a) Bütün orografi için rüzgarın yaklaştığı yöndeki kısım ile ilgili s katsayısının hesaplanması (Şekil 4.28 ve Şekil 4.29)

$$-1.5 \leq \frac{x}{L_u} \leq 0 \text{ ve } 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2.0 \quad (4.98)$$

Denklem 4.98 sınırları için s katsayısı aşağıda verilen Denklem 4.99 kullanılarak elde edilir.

$$s = Ae^{\left[B \frac{x}{L_u} \right]} \quad (4.99)$$

Burada;

$$A = 0.1552 \left[\frac{z}{L_e} \right]^4 - 0.8575 \left[\frac{z}{L_e} \right]^3 + 1.8133 \left[\frac{z}{L_e} \right]^2 - 1.9115 \left[\frac{z}{L_e} \right] + 1.0124 \quad (4.100)$$

$$A = 0.3542 \left[\frac{z}{L_e} \right]^2 - 1.0577 \left[\frac{z}{L_e} \right] + 2.6456 \quad (4.101)$$

$$\frac{x}{L_u} < -1.5 \text{ ve } \frac{z}{L_e} > 2 \text{ sınırları için } s \text{ değeri } 0.0 \text{ alınır.} \quad (4.102)$$

- b) Yamaç ve yarlar için rüzgar yönündeki kısım ile ilgili s katsayılarının hesaplanması (Şekil 4.27).

$$0.1 < \frac{x}{L_e} < 3.5 \text{ ve } 0.1 < \frac{z}{L_e} < 2.0 \quad (4.103)$$

Sınırları için aşağıda verilen Denklem 4.104 kullanılır.

$$s = A \left[\log \left(\frac{x}{L_e} \right) \right]^2 + B \left[\log \left(\frac{x}{L_e} \right) \right] + C \quad (4.104)$$

Burada;

$$A = -1.3420 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right)^3 - 0.8222 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right)^2 + 0.4609 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right) - 0.0791 \quad (4.105)$$

$$B = -1.0196 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right)^3 - 0.8910 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right)^2 + 0.5343 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right) - 0.1156 \quad (4.106)$$

$$C = -0.8030 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right)^3 - 0.4236 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right)^2 + 0.5738 \left(\log \left(\frac{z}{L_e} \right) \right) - 0.1606 \quad (4.107)$$

$$0 \leq \frac{x}{L_e} < 0.1 \text{ sınırı için;}$$

$\frac{x}{L_e} < 0$ (Denklem 4.89 da $s=A$) ile $\frac{x}{L_e} < 0.1$ arasında interpolasyon yapılır.

$\frac{z}{L_e} < 0.1$ ise $\frac{z}{L_e} = 0.1$ için kullanılan değerler dikkate alınmalıdır.

c) Tepe ve sırtlar için rüzgar yönündeki kısım ile ilgili s katsayısının hesaplanması (Şekil A.3)

$0 \leq \frac{x}{L_d} < 2.0$ ve $0 \leq \frac{x}{L_e} < 2.0$ sınırları için s aşağıdaki Denklemden faydalanılır

$$s = A e^{\left[B \frac{x}{L_u} \right]} \quad (4.108)$$

Burada;

$$A = 0.1552 \left[\frac{z}{L_e} \right]^4 - 0.8575 \left[\frac{z}{L_e} \right]^3 + 1.8133 \left[\frac{z}{L_e} \right]^2 - 1.9115 \left[\frac{z}{L_e} \right] + 1.0124 \quad (4.109)$$

$$A = -0.3056 \left[\frac{z}{L_e} \right]^2 + 1.0212 \left[\frac{z}{L_e} \right] - 1.7637 \quad (4.110)$$

$\frac{x}{L_d} > 2.0$ ve $\frac{x}{L_e} > 2.0$ sınırları için s değeri 0.0 alınır.

4.3.5.2 Arazi Engebeliği

Engebelilik katsayısı $C_r(z)$ ile yapının bulunduğu mahalde aşağıda belirtilen durumlara bağlı olarak ortalama rüzgar hızı değişkenliği hesaba katılır. z metre yükseklikteki engebelilik katsayısının hesabı için standartta tavsiye edilen denklem aşağıda Denklem 4.111 ve Denklem 112’de verilmiştir.

$$c_r(Z) = k_r \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.111)$$

$$C_r(z) = C_r(z_{\text{enküçük}}) \quad z \leq z_{\min} \quad (4.112)$$

Burada z_0 Engebelilik uzunluğunu, k_r Denklem 4.113 kullanılarak hesaplanan arazi katsayısıdır.

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \quad (4.113)$$

Burada; $z_{0,II}$ arazi katagorisi II için değeri 0,05 (Çizelge 4.35), $z_{\text{enküçük}}$ Çizelge 4.35 de tanımlanan en düşük yükseklik ve $z_{\text{enbüyük}}$ standartta tavsiye edilen değer 200 m’dir.

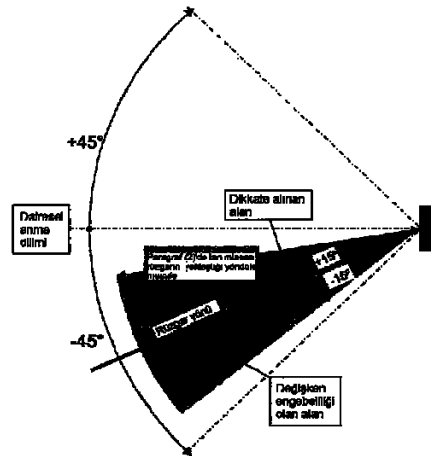
Rüzgarın geldiği kısımdaki engebeliliği düzgün dağılımlı olanın arazinin profil yeterliliğini kararlı şekilde sağlamaya yeterli uzunlukta olması durumunda Denklem 4.100 veya Denklem 4.101 kullanılır.

Belirtilen rüzgar doğrultusu için kullanılacak arazi engebeliliği, rüzgar doğrultusu etrafındaki dairesel dilim içerisinde bulunan düzgün yayılı engebeliliğe sahip arazi

kısımının uzunluğuna ve yüzey engebелiliğine bağlıdır. Değişken engebелilik gösteren küçük alanlar (dikkate alınan arazinin %10'undan az) ihmal edilebilir (Şekil 4.30)

Çizelge 4.41 : Arazi katagorileri ve arazi parametreleri (Eurocode 1).

Arazi kategorisi	Z_0 (m)	$Z_{enküçük}$ (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 (ağaç ve 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
IV Yüzeyin en az %15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan	1.0	10



Şekil 4.30 : Arazi engebелiliğinin değerlendirilmesi (Eurocode 1).

Dairesel anma dilimi için basınç veya kuvvet katsayısının tanımladığı durumlarda herhangi 30 derecelik daire dilimindeki en düşük engebелilik uzunluğu olan arazi kullanılmalıdır. Verilen arazinin tanımlanması sırasında iki veya daha fazla arazi katagorisi arasında seçim yapılacaksa en düşük engebелilik uzunluğu olan arazi kullanılmalıdır.

4.3.5.3 Esas Rüzgar Hızı Temel Değerleri

Esas rüzgar hızının temel değeri $V_{b,0}$ yılın herhangi bir bölümünden ve rüzgar yönünden bağımsız olarak çayır gibi az bir bitki örtüsüne ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafede bulunan engellere sahip açık kırsal alanda yer seviyesinden 10 metre yukardaki karakteristik 10 dakikalık ortalama rüzgar hızıdır. Esas rüzgar hızı aşağıdaki Denklem 4.114 kullanılarak hesaplanır.

$$v_b = C_{dir} C_{season} v_{b,0} \quad (4.114)$$

Burada, $V_{b,0}$ Esas rüzgar hızının temel değeri, C_{dir} doğrultu katsayısıdır. Doğrultu katsayısı için standartta tavsiye edilen değer 1,0'dır. C_{season} mevsim katsayısını simgelemektedir. Mevsim katsayısı için standartta tavsiye edilen değer 1,0'dır.

Yıllık aşılma olasılığı p olan 10 dakikalık ortalama rüzgar hızı, Esas rüzgar hızı V_b ile Denklem 4.104 ile hesaplanan olasılık katsayısı C_{prop} 'un çarpımı sonucu elde edilir.

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \ln(-\ln(0.98))} \right)^n \quad (4.115)$$

Burada; K üst sınır uç dğer dağılımının değişkenlik katsayısına bağlı olan şekil parametresini, n ise üstel sayıyı göstermektedir. Standartta K için tavsiye edilen sayı 0,2 ve n için tavsiye edilen sayı 0,5'tir.

Geçici yapılar ve uygulama safhasındaki tüm yapılar için mevsim katsayısı C_{season} kullanılabilir. Yılın herhangi bir zamanında kullanılabilen taşınabilir yapılar için, mevsim katsayısı C_{season} standartta tavsiye edilen değeri 1.0'dır.

4.3.6 Ortalama Rüzgar Hızı:

4.3.6.1 Yüksekliğe Bağlı Değişim:

Bir arazide yer seviyesinden z metre yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı aşağıda verilen Denklem 4.116 kullanılarak hesaplanır.

$$v_m(Z) = c_r(Z) \cdot c_0(Z) \cdot v_b \quad (4.116)$$

Burada; $C_r(z)$ Bölüm 4.3.5.2 de verilen arazi engebeliliği, $C_0(z)$ Bölüm 4.3.5’de verilen orografi katsayısıdır.

Planlama çalışmaları sırasında bir bina, çevresinden bağımsız düşünülemez. Arazi ve çevredeki yapıların etkisi büyüktür. Değişik yönlerden esen rüzgarların özellikle gökdelenler, kuleler gibi yüksek binalarda oluşturacağı etkinin bilinmesi emniyet faktörleri açısından çok önemlidir (Aslan ve diğ., 1991). Bu yüzden komşu yapıların rüzgar hızı üzerindeki tesirleri dikkate alınmalıdır.

4.3.6.2 Geniş ve Dikkate Alınmaya Değer Yükseklikteki Komşu Yapılar

Bir yapı komşu yapıların ortalama yüksekliklerinin en az iki katı yüksekliğe sahip bir yapınyakınlarında yer alıyorsa, yapının özelliklerine bağlı olarak, bazı yönlerden yapıya etkiyen rüzgar hızları artabilir. Bu gibi durumlar dikkate alınmalıdır. Standartta tavsiye edilen güvenli tarafta kalan işlemi için komşu yapıların ortalama yüksekliklerinin (h_{ave}) 2 katından daha fazla yüksekliğe sahip ise, birinci yaklaşım olarak, herhangi bir komşu yapının tasarımında zemin üzerinden z_n ($z_e = z_n$) yükseklikteki tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı esas alınabilir (Şekil 4.31).

$$x \leq r \quad \text{ise} \quad z_n = \frac{1}{2} r \quad (4.117)$$

$$r < x < 2r \quad \text{ise} \quad z_n = \frac{1}{2} \left[r - \left(1 - \frac{2h_{low}}{r} \right) (x - r) \right] \quad (4.118)$$

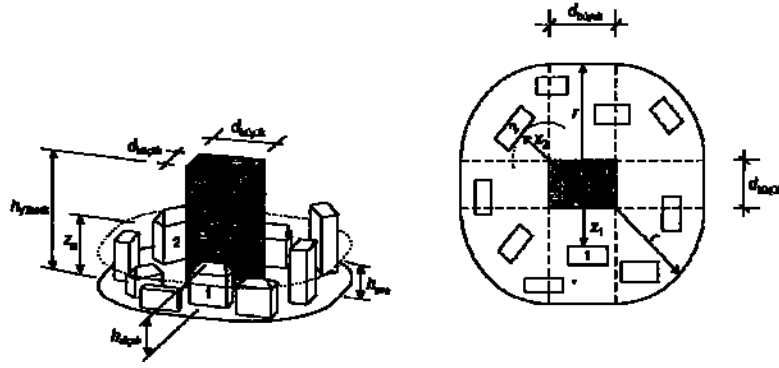
$$x \geq 2r \quad \text{ise} \quad z_n = h_{low} \quad (4.119)$$

Yukardaki r değerleri aşağıdaki verilen denklemler ile hesaplanır.

$$h_{high} \leq 2d_{large} \quad \text{ise} \quad r = h_{high} \quad (4.120)$$

$$h_{high} > 2d_{large} \quad \text{ise} \quad r = 2d_{large} \quad (4.121)$$

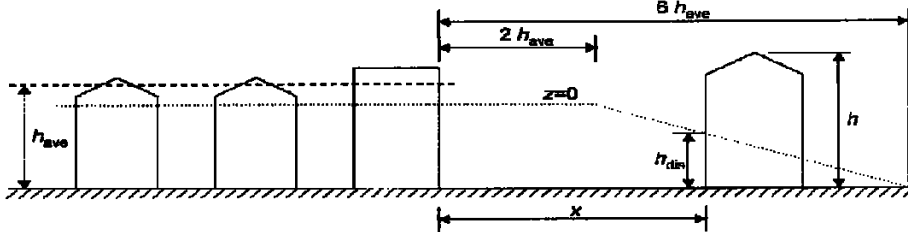
Yukardaki denklemlerde; h_{low} yapı yüksekliğini, r yarıçapı, x mesafeyi, d_{small} ve d_{large} boyutları ifade etmektedir. bu parametreler Şekil 4.31 de gösterilmiştir.



Şekil 4.31 : İki farklı komşu yapıya daha yüksek bir yapının etkisi (Eurocode 1).

4.3.6.3 Sıkışık Binalar ve Engeller

Engelibeli arazilerde sıkışık binalar, zemine yakın yerlerdeki ortalama rüzgar akımını değiştirir. Bu değişim, zemin seviyesinin yerdeğiştirme yüksekliği h_{dis} olarak adlandırılan bir yüksekliğe kadar çıkartılmasıyla oluşan değişime benzerdir. Arazi katagorisi IV içerisinde bulunan yapılar için, birbirine yakın olarak yerleştirilmiş binalar ve diğer engeller sanki zemin seviyesinin yerdeğiştirme yüksekliği h_{dis} seviyesine yükseltilmesiyle oluşan benzer rüzgar davranışına neden olurlar. h_{dis} aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak tayin edilir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 : Engel yüksekliği ve rüzgarın yaklaştığı yöndeki açıklık (Eurocode 1).

- $x \leq 2h_{ave}$ ise h_{dis} değeri olarak, $0,8h_{ave}$ veya $0,6h$ bağıntıları kullanılarak elde edilen değerlerden küçüğü alınır,
- $2h_{ave} < x < 6h_{ave}$ ise h_{dis} değeri olarak, $1,2h_{ave}-0,2x$ veya $0,6h$ bağıntılarından değeri küçük olan alınır.
- $x > 6h_{ave}$ ise $h_{dis}=0,0$ dır.

Engel yüksekliği hakkında daha doğru bilginin olmadığı durumlarda, arazi katagorisi IV için, ortalama engel yüksekliği $h_{ave}=15$ m olarak alınabilir.

4.3.6.4 Tepe Hız Kaynaklı Rüzgar Basıncı

z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değışikliklerini içeren tepe rüzgar basıncı $q_p(z)$ belirlenmesi için Denklem 4.122 kullanılır.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho V_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (4.122)$$

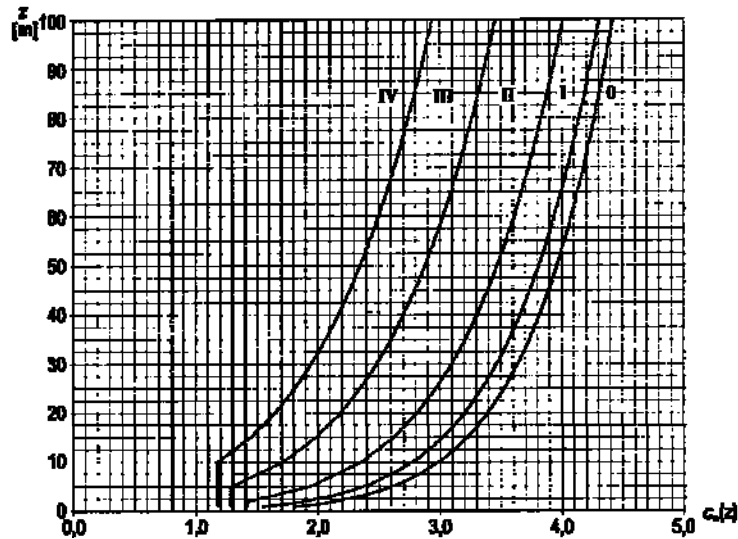
Burada; ρ fırtına esnasında olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçta rakıma bağı olan hava yoğunluğunu gösterir, standartta tavsiye edilen değeri $1,25 \text{ kg/m}^3$ 'tür. $C_e(z)$ maruz kalma katsayısıdır ve Denklem 4.123 kullanılarak değeri hesaplanır.

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (4.123)$$

Burada; q_b esas hız kaynaklı rüzgar basıncıdır ve Denklem 4.124 kullanılarak hesaplanır.

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \quad (4.124)$$

Düz araziler için maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ Şekil 4.33 da yer seviyesinden yüksekliğin Çizelge 4.40 da tanımlanan arazi kategorilerinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.33 : Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ 'nin $c_0=1,0$ ve $k_1=1,0$ için grafik gösterimi (Eurocode 1).

4.3.6.5 Türbülans Şiddeti

z metre yükseklikteki türbülans şiddeti $I_v(z)$, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgar hızına oranı olarak tanımlanır. Rüzga hızının türbülans bileşeninin değeri 0, standart sapması σ_v 'dir. Türbülansın standart sapması aşağıda verilen Denklem 4.125 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\sigma_v = k_r v_b k_t \quad (4.125)$$

Burada, k_t türbülans katsayısıdır ve standartta tavsiye edilen değeri 1,0'dır. k_r arazi katsayısıdır. Denklem 4.102 kullanılarak değeri hesaplanır. $C_o(z)$, orografi katsayısıdır. z_0 , Çizelge 4.41'de verilen engebelilik uzunluğudur.

Türbülans şiddeti, $I_v(z)$ Denklem 4.113 ve Denklem 4.114 kullanılarak hesaplanır.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_t}{c_0(z) \ln(z/z_0)} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.126)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad z < z_{\min} \quad (4.127)$$

4.3.7 Rüzgar Basıncı Hesaplanması (Sabitleme Elemanları, Yapısal Parçalar ve Kaplamalar için)

4.3.7.1 Yüzeylerdeki Rüzgar Basıncı

Dış yüzeylere etkiyen rüzgar basıncı w_e , aşağıda verilen Denklem 4.128 kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe} \quad (4.128)$$

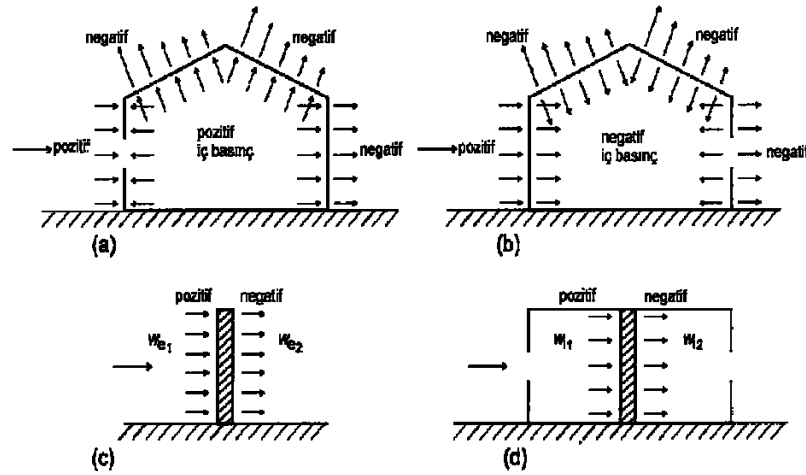
Burada, $q_p(z_e)$ tepe rüzgar basıncını, z_e dış basınç için referans yüksekliği, C_{pe} dış basınç katsayısını göstermektedir.

Bir yapının iç yüzeylerine etkiyen rüzgar basıncı w_i , Denklem 4.129 kullanılarak hesaplanır.

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi} \quad (4.129)$$

Burada, $q_p(z_i)$ tepe hız kaynaklı rüzgar basıncını, z_i iç basınç referans yüksekliğini, C_{pi} iç basınç katsayısını simgelemektedir.

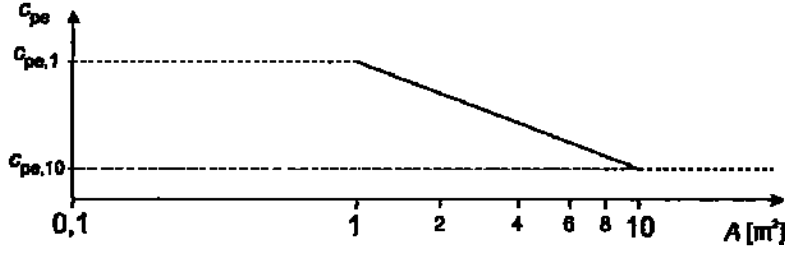
Bir duvara, çatıya veya yapı elemanlarına etkiyen net basınç elemanların zıt yüzeylerinde oluşan basınçların yönleri (işaretleri) de dikkate alınarak hesaplanan değerlerin farkına eşittir. Yüzeye doğru yönelen basınç pozitif ve yüzeyden uzaklaşan yöndeki basınçlar ise negatif olarak alınır. Örnekler Şekil 4.34 de verilmiştir.



Şekil 4.34 : Yüzeylerdeki basınç (Eurocode 1).

4.3.7.2 Dış Basınç Katsayısı C_{pe}

Binalar ve bina bölümleri için dış basınç katsayıları C_{pe} , hesaplama yapılacak kesitteki rüzgar etkisini oluturan yüklenmiş yapı alanı A 'nın boyutuna bağlıdır. Dış basınç katsayıları, uygun bina şekilleri için çizelgelerde değeri $1m^2$ olan yüklenmiş alan A için kısmi katsayı $C_{pe,1}$ olarak, değeri $10m^2$ olan yüklenmiş alan A için ise genel katsayı $C_{pe,10}$ olarak belirtilmiştir. $C_{pe,1}$ değerleri cephe ve çatı kaplama elemanları gibi alanı $1m^2$ veya daha az olan küçük elemanlar ve sabitleme elemanlarının tasarımında kullanılmak üzere dikkate alınır. $C_{pe,10}$ değerleri binanın yük taşıyıcı kısmının tamamının tasarımında kullanılabilir. Değer en fazla $10m^2$ 'ye kadar olan yüklenmiş alanlar için tavsiye edilen işlem aşağıda Şekil 4.35 de verilmiştir.

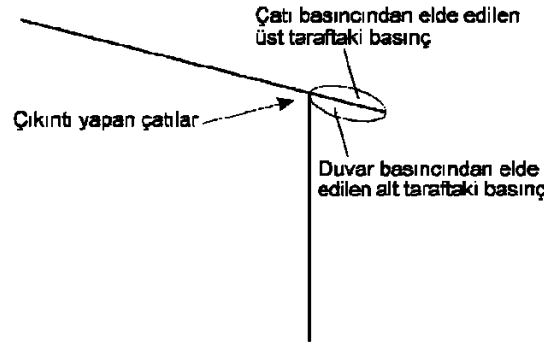


Şekil 4.35 : Değeri 1 m² ile 10 m² arasında yülenmiş alanı bulunan binalarda dış basınç katsayısı (Eurocode 1).

C_{pe} 'nin belirlenmesi için Denklem 4.130 da kullanılabilir.

$$1m^2 < A < 10 \quad c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A \quad (4.130)$$

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



Şekil 4.36 : Çıkıntı yapan çatılar için ilgili basınçların gösterimi (Eurocode 1).

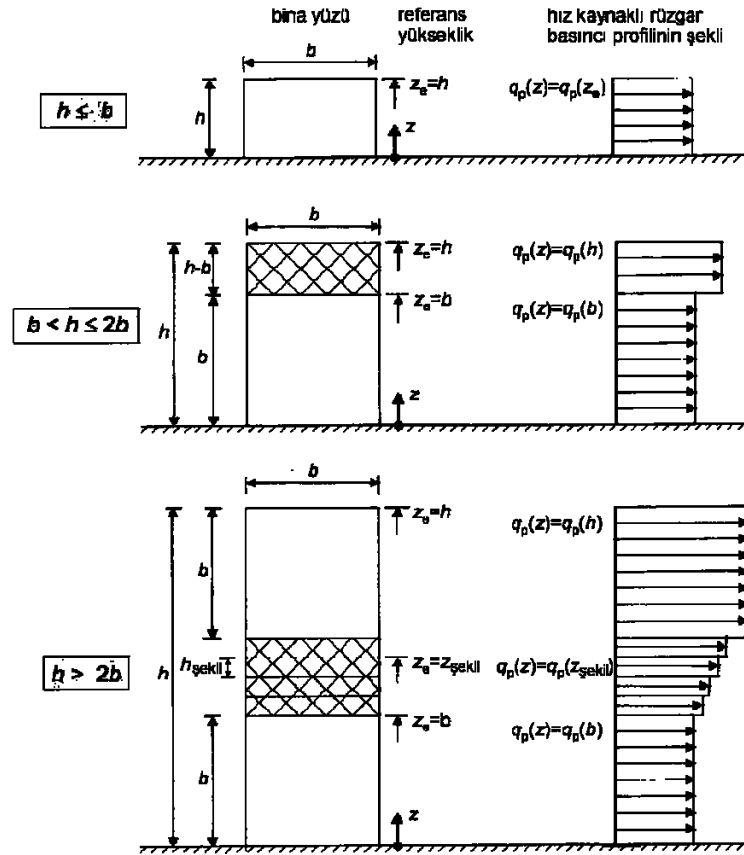
Aşağıda verilen Çizelge 3'ten Çizelge 8'e kadar verilen $C_{pe,1}$ ve $C_{pe,10}$ değerleri 0°, 90° ve 180° 'lik ortogonal rüzgar doğrultuları için kullanılmalıdır. Bu değerler ilgili ortogonal doğrultunun her iki tarafından $\theta = \pm 45^\circ$ 'lik bölgede elde edilen gayri müsahit değerleri yansıtmaktadır.

4.3.7.3 Dikdörtgen Planlı Binaların Düşey Duvarlar

Dikdörtgen planlı binaların rüzgarın yaklaştığı yöndeki duvarları için (D bölgesi, Şekil 4.35) 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 4.37 de verilmiştir.

- h yüksekliği b 'den daha az olan bir bina tek parça olarak değerlendirilebilir.
- 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 değerlendirilebilir.
- h yüksekliği $2b$ 'den büyük olan bir bina, yer seviyesinden b yüksekliğine kadar olan alt bölümü; binanın en üst başından aşağıya doğru b yüksekliği kadar uzanan üst yüksekliği kadar uzanan üst bölümü ve üst ve alt bölümlerin arasında Şekil 11'de gösterildiği gibi h_{strip} yüksekliğinde yatay şeritlere bölünebilen orta bölümü içeren çok katlı bina olarak değerlendirilebilir.

Rüzgarın uzaklaştığı yöndeki duvarlar ve yan duvarlar için (A,B,C ve E Bölgeleri, Şekil 4.35) hız kaynaklı rüzgar basınç dağılımı özel projeler için tanımlanabilir fakat standartta tavsiye edilen referans yüksekliği bina yüksekliğine eşit olarak almaktır.



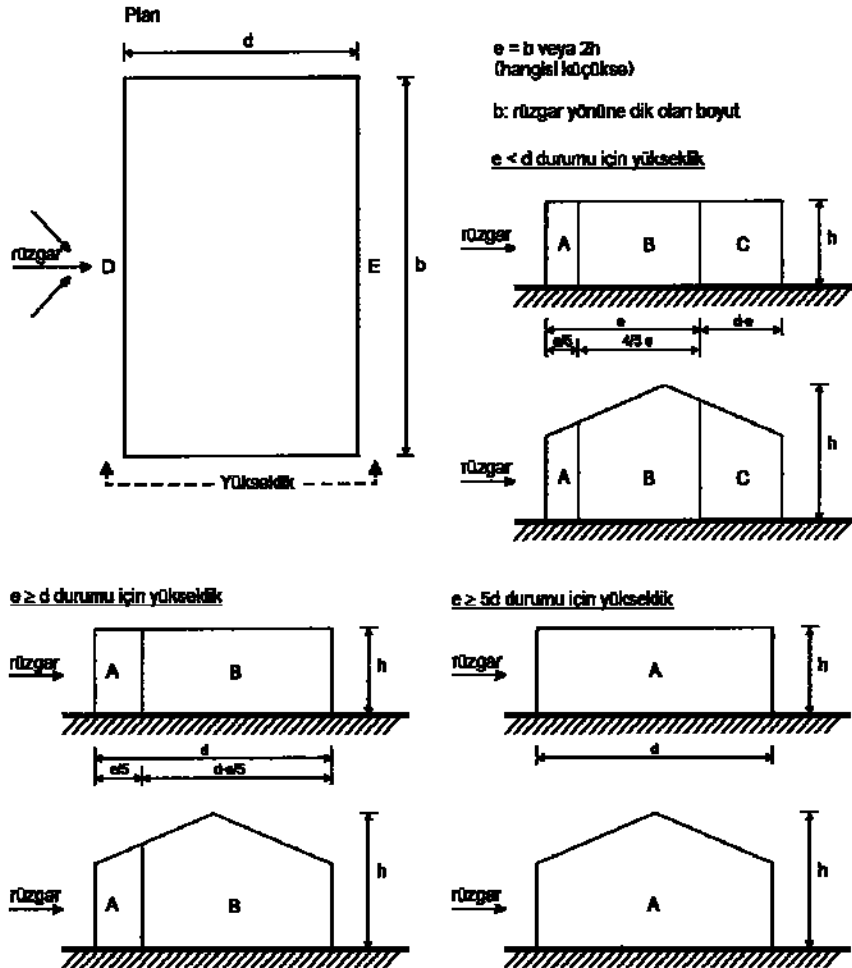
Şekil 4.37 : h ve b değerlerine bağlı z_e referans yüksekliği ve buna karşılıklı gelen hız kaynaklı rüzgar basınç profilleri(Eurocode 1).

Dikkate alınan her yata şerit için hız kaynaklı rüzgar basıncının düzgün yayılı olarak etkidığı kabul edilmektedir.

A, B, C, D ve E Bölgeleri için dış basınç katsayıları $C_{pe,1}$ ve $C_{pe,10}$ Çizelge 4.41 da verilmiştir. Çizelgede verilen alanlar Şekil 4.38’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.42 : Dikdörtgen planlı binaların duvarları için tavsiye edilen C_{pe} katsayıları (Eurocode 1).

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	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,7	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,5	-0,5
≤ 0.25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,7	+1,0	-0,3	-0,3



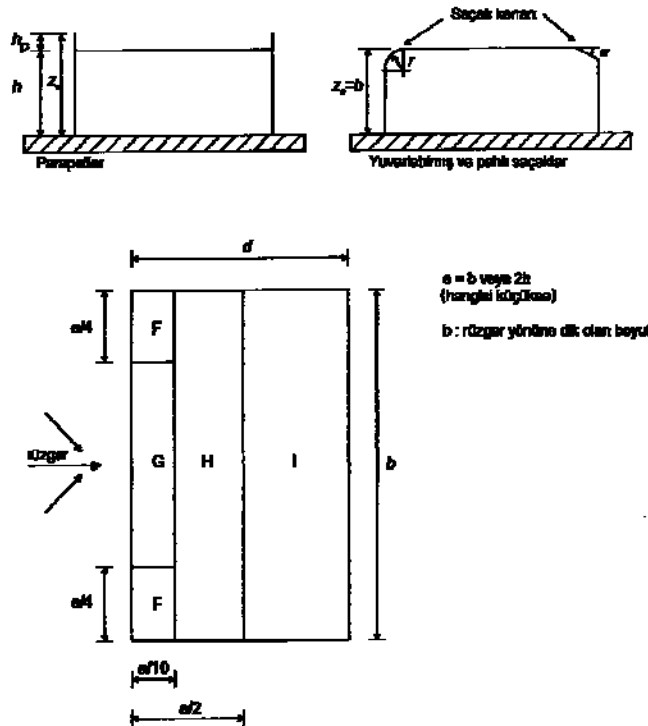
Şekil 4.38 : Düşey duvarlar için açıklamalar (Eurocode 1).

Dış basınç katsayıları $C_{pe,1}$ ve $C_{pe,10}$ için standartta tavsiye edilen değerler aşağıda verilen Çizelge 4.38 de verilmiştir. h/d oranının ara değerleri için interpolasyon uygulanabilir.

Yapı üzerindeki rüzgar kuvvetlerinin, yapının rüzgarın yaklaştığı yöndeki ve rüzgarın uzaklaştığı yöndeki yüzlerine (D ve E Bölgeleri) C_{pe} basınç katsayıları eş zamanlı uygulanarak belirlendiği durumlarda yapının rüzgar yönündeki ve rüzgarın uzaklaştığı yöndeki yüzleri arasında rüzgar basınçları korelasyonunun eksikliği dikkate alınmalıdır. Yapının rüzgarın yaklaştığı yöndeki ve rüzgarın uzaklaştığı yöndeki yüzleri arasındaki düşük rüzgar basıncı $h/d \geq 5$ 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 lineer interpolasyon uygulanabilir.

4.3.7.4 Düz Çatılar

Eğimi $-5 < \alpha < 5$ olan çatılar düz çatı olarak tanımlanır. Çatı Şekil 4.36 daki gibi bölümlere ayrılarak her bir bölüm için basınç katsayıları Çizelge 4.42'nin yardımıyla bulunur. Düz çatılar ve saçak kenarları yuvarlatılmış veya pahlı çatılar için referans yükseklik h olarak alınmalıdır. Parapetli düz çatılar için referans yükseklik $h+h_p$ olarak alınmalıdır (Şekil 4.39).



Şekil 4.39 : Düz çatılar için açıklamalar (Eurocode 1).

Çizelge 4.43 : Düz çatılar için basınç katsayıları(Eurocode 1).

Çatı Tipi	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	-0,7	-1,2	+0 2	-0 2
Parapetli	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0 2
								-0 2
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0 2
								-0 2
Kenarları	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0 2
								-0 2
Yuvarlatılmış	$h_p/h=0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0 2
								-0 2
Saçaklı	$h_p/h=0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0 2
								-0 2
Saçaklı	$h_p/h=0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0 2
								-0 2
Kenarlar	$\alpha=30^0$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0 2
								-0 2
Pahlı	$\alpha=45^0$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0 2
								-0 2
Saçaklı	$\alpha=60^0$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0 2
								-0 2

Not 1- Parapetli veya kenarları yuvarlatılmış parapetli duvarlar için h_p/h ve r/h oranlarının ara değerleri için doğrusal interpolasyon yapılabilir .

Not 2- Kenarları pahlı saçaklı çatılar için $\alpha=30^0$, $\alpha=45^0$, $\alpha=60^0$ aralarında doğrusal interpolasyon yapılabilir. $\alpha > 60^0$ olan durumlarda $\alpha=60^0$ ile keskin kenarlı saçaklı düz çatılar için verilen değerler arasında lineer interpolasyon yapılır.

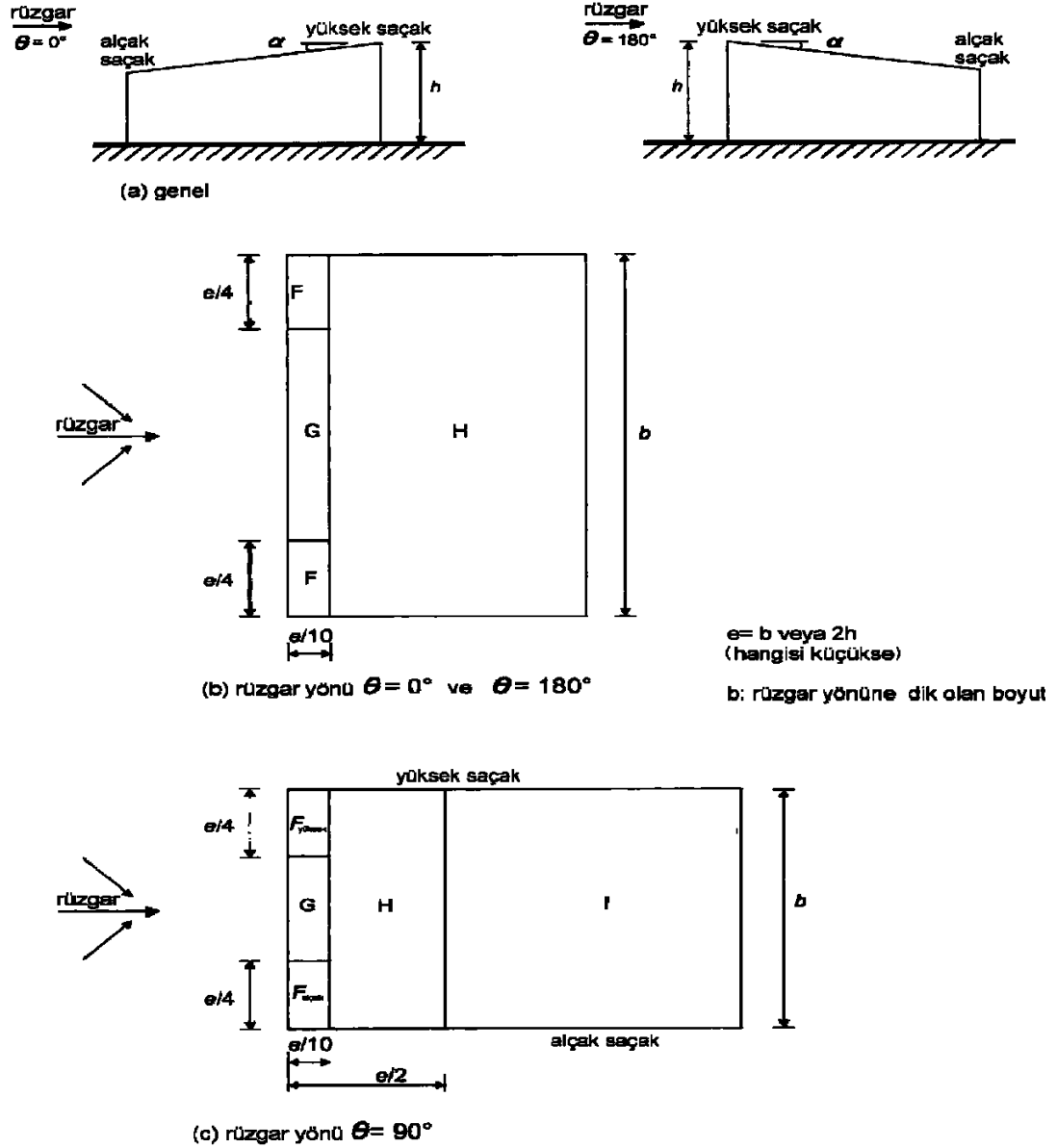
Not 3- Pozitif ve negatif değerlerin verildiği 1. Bölgede her iki değerde dikkate alınmalıdır.

Not 4- Kenarları pahlı saçığın kendisi için, dış basınç katsayıları, “Çift eğimli çatılar için dış Basınç katsayıları” isimli Çizelge 6’da verilmiştir. Bu çizelgelerde rüzgarın 0^0 ’lık bir açıyla etkidiği durum göz önüne alınmıştır. F ve G bölgeleri mansard saçığın eğim derecesine α bağlı olarak değişir.

Not 5- Kenarları yuvarlatılmış saçığın kendisi için, dış basınç katsayıları eğri boyunca duvar zerindeki değerler arasında doğrusal interpolasyon ile elde edilir.

4.3.7.5 Tek Eğimli Çatılar

Çıkıntı yapan kısımlar içeren çatılar Şekil 4.40 da gösterildiği gibi bölümlere ayrılmıştır. z_e referans yüksekliği h yüksekliğine eşit alınmalıdır. Her bölge için kullanılması gereken basınç katsayıları Çizelge 4.38 ve Çizelge 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.40 : Tek eğimli çatılar için açıklamalar(Eurocode 1).

Şekil 4.41 : Tek eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (Eurocode 1).

Eğim Açısı (α)	Rüzgar yönü $\theta=0^0$ için bölgeler						Rüzgar yönü $\theta=180^0$ için bölgeler					
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5^0	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
10^0	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30^0	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45^0	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60^0	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75^0	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Şekil 4.42 : Tek eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (Eurocode 1).

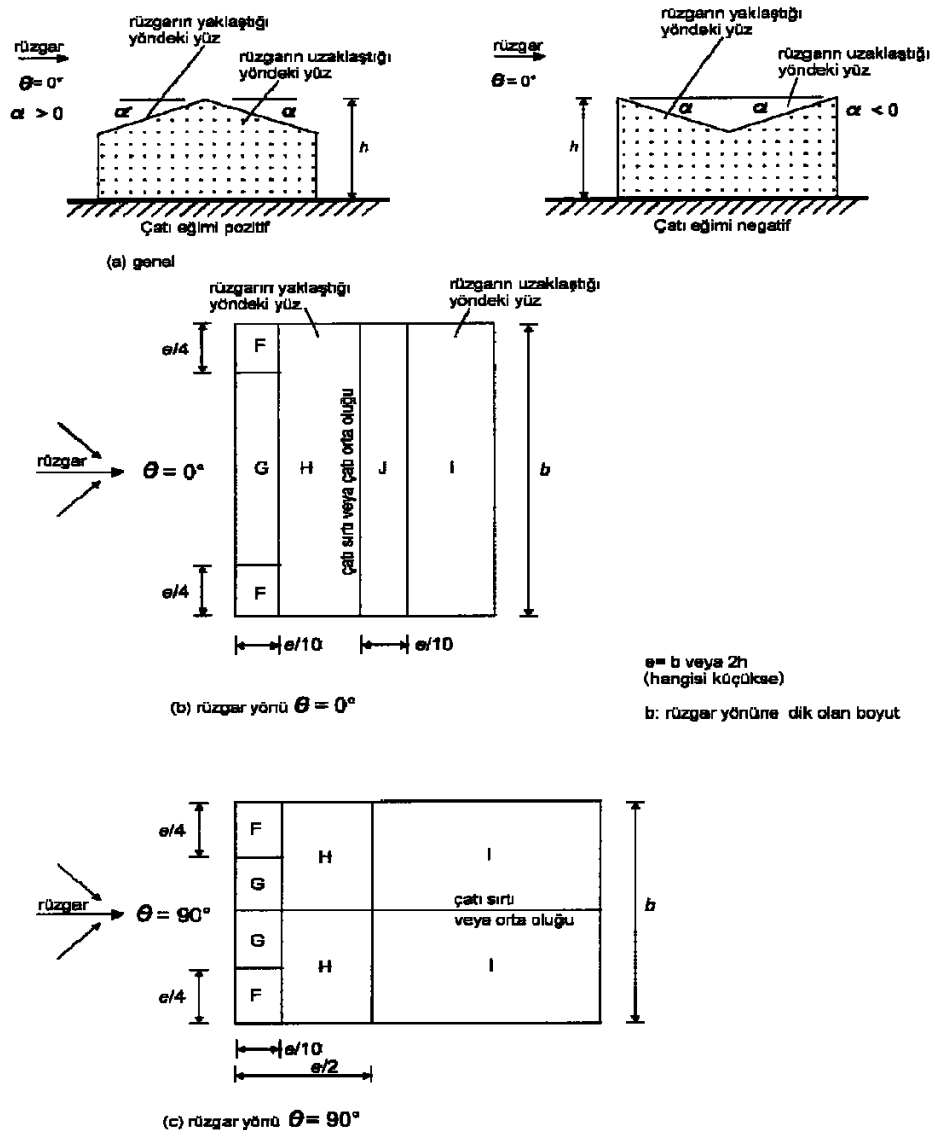
Eğim Açısı (α)	Rüzgar yönü $\theta=90^0$ için bölgeler									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5^0	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
10^0	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30^0	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45^0	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60^0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75^0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

Not 1- Basınç, $\theta=0^0$ için Çizelge 4.38’de eğim açısının $\alpha = 5^0$ ile 45^0 arasındaki Değerlerde pozitif ve negatif değerler arasında hızlı bir şekilde değişir. Bu nedenle pozitif ve negatif değerlerin her ikisinde verilmiştir. Bu tür çatılar için tüm pozitif değerlerin ve tüm negatif değerlerin göz önüne alındığı 2 durum vardır. Aynı yüzey için pozitif ve negatif değerlerin bir arada kullanılmasına izin verilmez.

Not 2- Eğim açısının ara değerleri için aynı işaretli değerler arasında doğrusal interpolasyon yapılabilir. 0,0 değerleri interpolasyon amaçlı verilmiştir.

4.3.7.6 Çift Eğimli Çatılar

Çıkıntı yapan kısımlar içeren çatılar Şekil 4.41 de gösterildiği gibi bölümlere ayrılmıştır. z_e referans yüksekliği h yüksekliğine eşit alınmalıdır. Her bölge için kullanılması gereken basınç katsayıları Çizelge 4.45 de gösterilmiştir.



Şekil 4.43 : Çift eğimli çatılar için açıklamalar(Eurocode 1).

Çizelge 4.44 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (Eurocode 1).

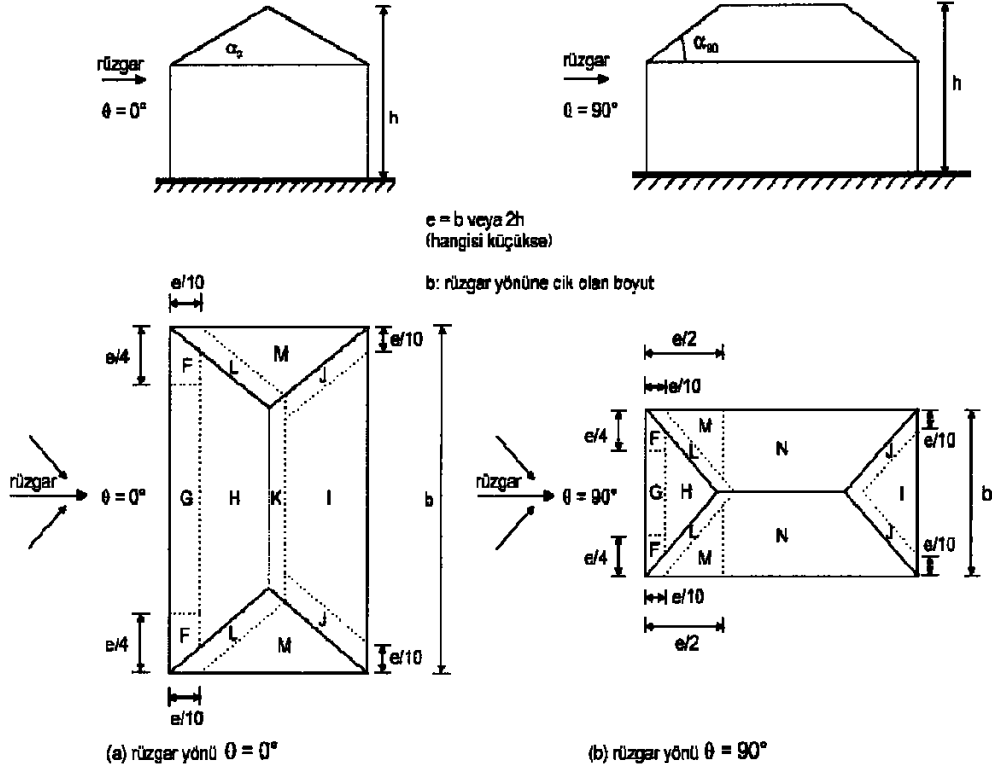
Eğim Açısı (α)	Rüzgar yönü $\theta=0^0$ için bölgeler									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45^0	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30^0	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15^0	-2,5	-2,8	-1,3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

Çizelge 4.45 : Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (Eurocode 1).

Eğim Açısı (α)	Rüzgar yönü $\theta=90^0$ için bölgeler							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45^0	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30^0	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15^0	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5^0	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5^0	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15^0	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30^0	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45^0	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60^0	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75^0	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

4.3.7.7 Beşik Çatılar

Çıkıntı yapan kısımlar içeren çatılar Şekil 4.42 de gösterildiği gibi bölümlere ayrılmıştır. z_e referan yüksekliği h yüksekliğine eşit alınmalıdır. basınç katsayıları

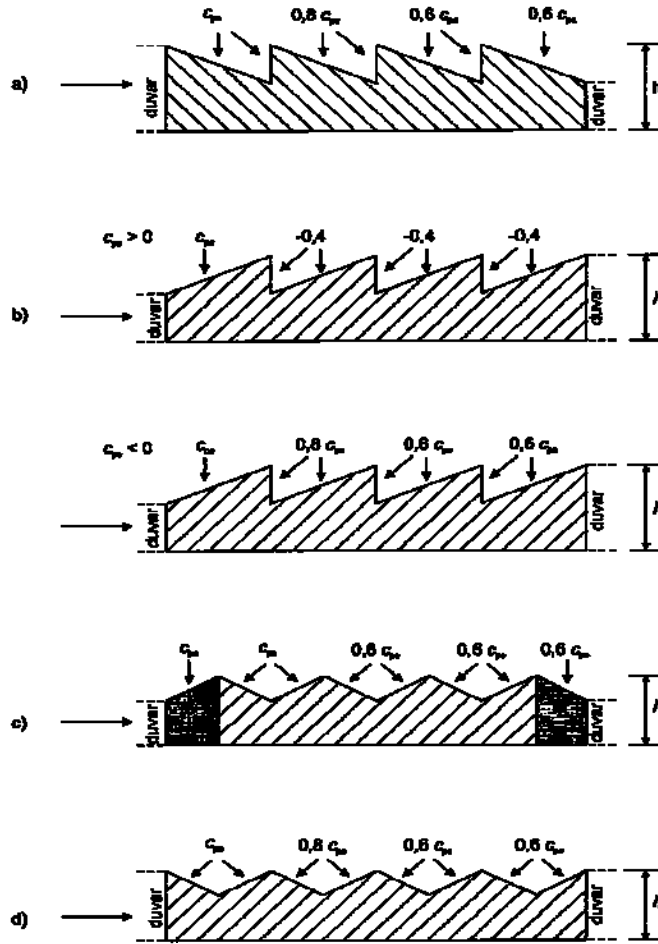


Şekil 4.44 : Beşik çatılar için açıklamalar (Eurocode 1).

4.3.7.8 Çok Açıklıklı Çatılar

Çok açıklıklı bir çatının her bir açıklılığının 0° , 90° ve 180° 'lik rüzgar yönleri için basınç katsayıları her bir açıklığın kendi basınç katsayıları kullanılarak elde edilebilir. Her bir açıklıktaki açıklılığının 0° ve 180° 'lik yönleri için kısmi ve genel basınçlara uygulanacak değiştirme katsayıları; tek eğimli çatıların, Şekil 4.40 a göre konumları değiştirilerek ve $\alpha < 0$ olan çift eğimli çatıların, Şekil 4.41 e göre konumları değiştirilerek elde edilir. F, G, J bölgelerinin kullanımı sadece yapının rüzgar yönüne karşı yüzü için dikkate alınır. H ve I bölgeleri çok açıklıklı çatıların her bir açıklığı için dikkate alınır. Burada diğer bölümlerde olduğu gibi z_e referans yüksekliği h yüksekliğine eşit alınmalıdır.

Çok açıklıklı çatılar için basınç katsayıları aşağıda verilen Şekil 4.41 den yararlanılabilir.



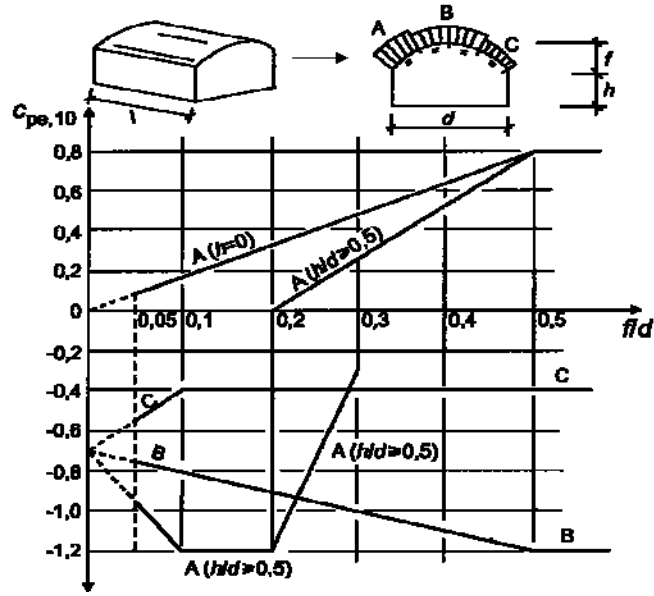
Şekil 4.45 : Çok açıklıklı çatılar için açıklamalar (Eurocode 1).

Not 1- b maddesinde verilen görünümde ilk kattaki çatı üzerinde basınç katsayısı C_{pe} 'nin işaretine bağlı olarak iki durum dikkate alınmalıdır.

Not 2-c maddesinde görülen ilk C_{pe} tek eğimli çatılar için olan C_{pe} ikinci ve takip eden diğer Bütün C_{pe} 'ler oluklu çift eğimli çatılar için olan C_{pe} 'dir.

4.3.7.9 Tonozlar ve Kubbeler

Tonozlar ve kubbeler için rüzgar basınç dağılımları ve dış basınç katsayıları sırasıyla Şekil 4.44 ve Şekil 4.45 den yararlanılır.

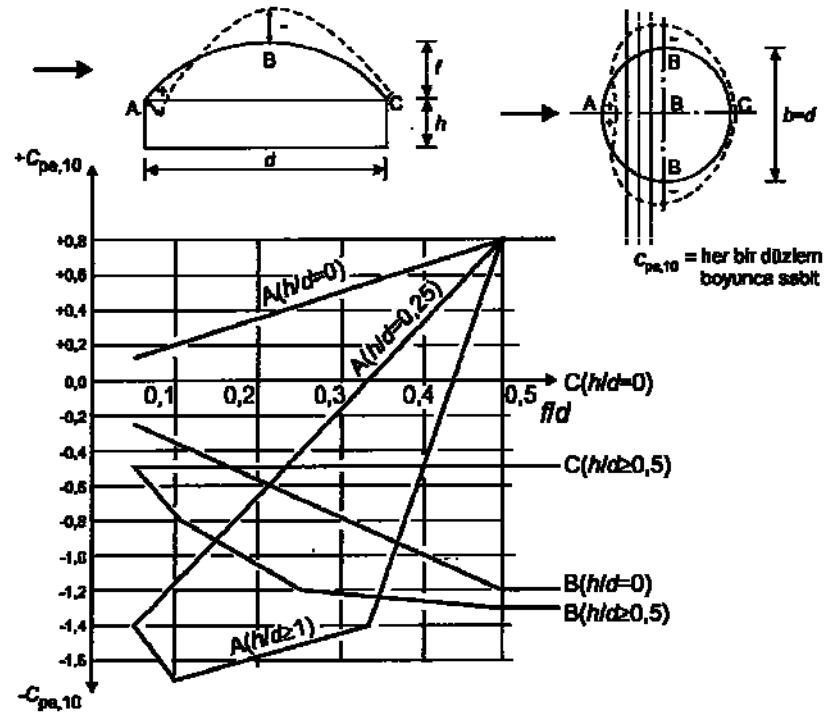


Şekil 4.46 : Dikdörtgen tabanlı tonozlar için tavsiye edilen dış basınç katsayıları (Eurocode 1).

$0 < h/d < 0,5$ aralığında $C_{pe,10}$ lineer interpolasyonla karar verilebilir.

$0,2 < f/d < 0,3$ ve $h/d \geq 0,5$ aralığı için $C_{pe,10}$ iki değerde dikkate alınmalıdır.

Yukarda verilen Şekil 4.42'de ki grafik düz çatılar içinde geçerlidir.



Şekil 4.47 : Dairesel tabanlı kubbeler için $C_{pe,10}$ dış basınç katsayıları (Eurocode 1).

$C_{pe,10}$ dairelerin yayları, kürelerin kesişim noktaları ve rüzgara dik düzlemler boyunca sabittir. İlk yaklaşım olarak, rüzgara paralel daire boyunca A, B ve C noktalarındaki değerler arasında lineer interpolasyon yapılarak hesaplanabilir. Aynı şekilde $0 < h < 1$ aralığında ise A noktasındaki $C_{pe,10}$ değerleri $0 < h/d < 0,5$ ise B ve C noktalarındaki $C_{pe,10}$ değerleri yukarıdaki Şekil 4.45 de verilen grafikte lineer interpolasyon yapılarına elde edilebilir.

4.3.7.10 İç Basınç

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

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 yani sundurma çatılar, bağlantısız duvarlar, parapetler, çitler ve direkli işaret levhaları için hesap yukarıda anlatılan şekilde olmamalıdır.

Geçirgenlik alanının 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 durumun yapının davranışı üzerinde baskın olabileceği yerlerde bir kazai durum olarak dikkate alınmalıdır. Aynı zamanda dış rüzgar etkilerini taşımak zorunda kalan yüksek iç duvarlar içinde kazai durumun kontrol edilmesi gerekir.

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 uygulanabilir.

Baskın bir yüzü olan bir binadaki iç basınçlar, baskın yüzde bulunan açıklıklardaki dış basınçların bir oranı olarak alınmalıdır. Bunun için aşağıda verilen Denklem 4.131 ve Deklem 4.132'de verilen değerler kullanılmalıdır.

Baskın yüzdeki açıklıkların toplam alanı, geriye kalan yüzlerdeki açıklıkların toplamının iki katı olduğu durumlarda;

$$c_{pi} = 0.75c_{pe} \quad (4.131)$$

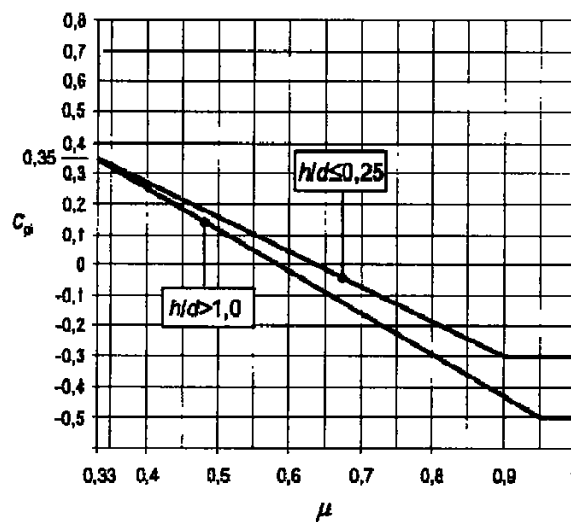
Baskın yüzdeki açıklıkların toplam alanını, geriye kalan yüzlerdeki açıklıkların toplamının en az üç katı olduğu durumlarda;

$$c_{pi} = 0.90c_{pe} \quad (4.132)$$

kullanılır.

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 kullanılmalıdır.

Baskın yüzlerdeki açıklık alanlar toplamının geri alan yüzlerdeki açıklık alanları toplamının iki ile üç katı arasında olduğu durumlarda C_{pi} 'yi hesaplamak için doğrusal interpolasyon yapılabilir. Baskın bir yüzü olmayan binalar için iç basınç katsayısı C_{pi} Şekil 4.48 kullanılarak belirlenebilir. Bu şekilde belirlenen iç basınç katsayısı, bina yüksekliğinin derinliğe oranı h/d ile Denklem 4.133 de elde edilen μ kullanılarak elde edilebilir. Belirlenmesi gereken her bir rüzgar doğrultusu θ için dikkate alınan açıklık oranı μ 'nün bir fonksiyonudur.



Şekil 4.48 : Düzgün dağılım gösteren açıklıklar için iç basınç katsayıları (Eurocode 1).

Not- Şekil 4.44 deki grafikte $h/d = 0,25$ ile $h/d = 0,1$ değreleri arasında doğrusal interpolasyon yapılabilir.

Açıklık oranı katsayısı aşağıda verilen Denklem 4.133 kullanılarak hesaplanır.

$$\mu = \frac{\sum c_{pe} \text{ degerinin negatif veya } -0,0 \text{ olduğu açıklık alanı}}{\sum \text{ açıklık alanı}} \quad (4.133)$$

Not 1-Bu Denklem, 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 gayri müsahtit durumu oluşturanı olarak alınmalıdır.

Yüzeylerdeki açıklık nedeniyle iç basınç oluşturan katkıda bulunan yapı yüzeyleride, iç basınçlar için referans yükseklik z_i dış basınçlar için referans yükseklik z_e 'ye eşit olmalıdır. Yapıda çok sayıda yükseklik varsa z_i belirlemek için z_e 'nin en büyük değeri kullanılmalıdır.

Açık silolar ve bacalar için iç basınç katsayısı Denklem 4.134 verilmiştir.

$$c_{pi} = -0.60 \quad (4.134)$$

Küçük açıklıkları bulunan havalandırma tankları için iç basınç katsayıları Denklem 4.135 kullanılır.

$$c_{pi} = -0.40 \quad (4.135)$$

z_i referans yüksekliği, yapının yüksekliğine eşittir.

4.3.7.11 Birden Fazla Tabakalı Duvarlar veya Çatılar Üzerindeki Basınç

Her tabaka üzerindeki rüzgar kuvveti ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Bir tabakanın geçirgenliği, μ açıklıkların toplam alanının tabakanın toplam alanına oranı olarak tanımlanmıştır. Bir tabaka için $\mu \%0,1$ 'den daha küçük ise o tabaka geçirimsiz olarak tanımlanır.

Sadece bir tabaka geçirgen ise geçirimsiz tabakadaki toplam rüzgar kuvvetleri iç ve dış rüzgar basınçları arasındaki farktan belirlenmelidir. Birden fazla tabaka geçirgen ise her tabakadaki rüzgar kuvvetleri aşağıdakilere bağlıdır.

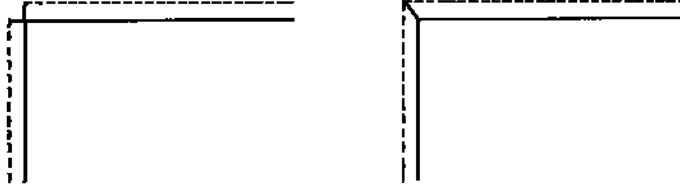
- Tabakaların bağıl rijitlikleri,
- Dış ve iç basınçlar,
- Tabakalar arasındaki mesafe,
- Tabakaların geçirgenliği,
- Tabakalar arasındaki katmanın uçlarındaki açıklıklar.

Not 1- Birden fazla tabakalı çatılar ve dış duvarlar için rüzgar tesirleri için ilk yaklaşım olarak en rijit tabakalardaki rüzgar basıncının, iç ve dış basınçlar arasındaki farka eşit alınması tavsiye edilir.

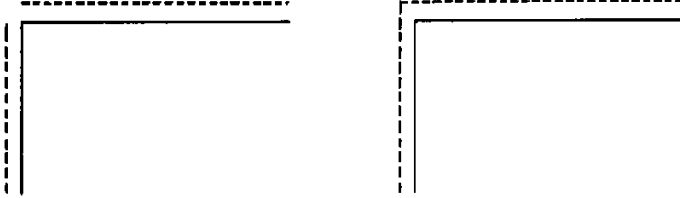
Not 2- Tabakalar arasındaki katmanların uçlarının hava geçirmez olduğunda Şekil 4.45 de ve tabaklar arasındaki net mesafenin 100 mm'den daha az olduğu durumlarda (tabakalardan birine, yalıtım malzemesi nedeniyle hiçbir hava akımı oluşmaması şartıyla, ısı yalıtım malzemesi yerleştirilmiş olabilir) ilk yaklaşım olarak aşağıda verilen kurallar uygulanabilir.

- Geçirimsiz bir iç tabakası ve yaklaşı düzgün dağılım gösteren açıklıkları bulunan ve geçirimli bir dış tabakası olan çatılar ve duvarlar için dış tabakadaki rüzgar kuvveti yüksek basınç için $C_{p,net} = 2/3 C_{pe}$ eşitliği kullanarak, düşük basınç için ise $C_{p,net} = 1/3 C_{pe}$ eşitliği kullanarak hesaplanabilir. İç taraftaki tabakaya etkiyen rüzgar kuvveti $C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi}$ eşitliğiyle hesaplanabilir.
- Geçirimsiz bir iç tabakası ve yine geçirimsiz fakat daha rijit bir dış tabakası olan çatılar ve duvarlar için dış taraftaki tabakaya etkiyen rüzgar kuvveti $C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi}$ eşitliğiyle hesaplanabilir.
- Yaklaşık düzgün dağılım gösteren açıklıkları olan geçirimli bir iç tabakası ve geçirimsiz bir dış tabakası bulunan çatılar ve duvarlar için dış taraftaki tabakaya etkiyen rüzgar kuvveti $C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi}$ eşitliğiyle, iç taraftaki tabakaya etkiyen rüzgar kuvveti ise $C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi}$ eşitliğiyle hesaplanabilir.

Tabakalar arasındaki hava katmanı, duvarın konumlandığı bina yüzünden (Şekil 4.49) binanın diğer yüzeylerine doğru hareket ettiren hava girişinin bulunması halinde, yukarda verilen kurallar uygulanmaz.



Şekil 4.49 : Tabakalar arasındaki katman uçlarının kapalı olması hali (Eurocode 1).



Şekil 4.50 : Tabakalar arasındaki katman uçlarının katman uçlarının açık olması hali (Eurocode 1).

4.3.7.12 Rüzgar Kuvvetleri

Yapın tümü veya bir yapısal bileşeni için rüzgar kuvvetleri aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

- Kuvvetlerin kuvvet katsayısı ile hesabı
- Kuvvetlerin yüzey basınçları yardımıyla hesaplanması

Kuvvet katsayıları ile hesapta; bir yapıya veya bir yapı bileşenine etkiyen rüzgar kuvveti F_w doğrudan aşağıda verilen Denklem 4.122 kullanılarak doğrudan hesaplanabilir.

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.136)$$

Burada; $C_s C_d$ yapısal katsayı, C_f kuvvet katsayısı, $q_p(z_e)$ referans yüksekliğindeki rüzgar basıncı ve A_{ref} referans alanı göstermektedir.

Yapı veya yapı bileşeni üzerine gelen rüzgar kuvveti aşağıda verilen Denklem 4.137 kullanılarak hesaplanması mümkündür.

$$F_w = c_s c_d \sum c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.137)$$

Bir yapıya veya yapının bir bileşenine etkiyen rüzgar kuvveti F_w , Aşağıda verilen Denklem 4.138 ve Denklem 4.139 kullanılarak hesaplanan iç ve dış basınçlar $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ ve kuvvetleri ile Denklem 4.140 da hesaplanan sürtünme kuvveti F_{fr} 'nin vektörel toplanması ile belirlenebilir.

Dış kuvvetler:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum w_e \cdot A_{ref} \quad (4.138)$$

İç kuvvetler:

$$F_{w,i} = \sum w_i \cdot A_{ref} \quad (4.139)$$

Sürtünme Kuvveti:

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.140)$$

Burada; $C_s C_d$ yapısal katsayı, C_f kuvvet katsayısı, $q_p(z_e)$ referans yüksekliğindeki rüzgar basıncı, A_{ref} referans alanı, C_{fr} Sürtünme katsayısı, w_i z_i yüksekliğindeki iç basıncı, w_e z_e yüksekliğindeki her bir yüzeydeki dış basıncı A_{fr} rüzgara paralel dış yüzey alanını göstermektedir.

Not 1- Duvar ve çatı gibi elemanlar için rüzgar kuvveti, dış ve iç bileşke kuvvetler arasındaki farka eşit hale gelir.

Not 2- Sürtünme kuvveti F_{fr} , rüzgarın dış yüzeylere paralel bileşenleri doğrultusunda etkir.

Yüzeydeki rüzgar sürtünmesinin tesirleri, rüzgara paralel (veya arasındaki açının az olduğu) yüzeylerin toplam alanının rüzgara dik tüm alanların toplamına eşit veya dört katından az olduğu durumlarda göz ardı edilebilir.

Binalara etkiyen rüzgar kuvvetlerinin toplanmasında rüzgar yaklaştığı yöndeki basınçların korelasyon eksikliği hesaba katılabilir.

4.3.7.13 Yapısal Katsayı, $C_s C_d$

Yapısal katsayı $C_s C_d$ 'nin hesaplanmasında, türbülansa bağlı yapı titreşim tesiriyle C_d beraber yüzeylerdeki en yüksek rüzgar basıncı C_s eş zamanlı şekilde meydana gelmesi nedeniyle rüzgar etkileri üzerindeki tesirlerini hesaba katmalıdır.

Yapısal katsayı $C_s C_d$ boyut katsayısı C_s ve dinamik katsayı C_d olarak ikiye ayrılabilir.

4.3.7.14 $C_s C_d$ 'nin Belirlenmesi

$C_s C_d$ aşağıda verilenlere göre belirlenebilir.

- Yüksekliği 15 m'den az olan binalarda $C_s C_d$ değeri 1,0 alınabilir.
- Doğal frekansı 5 Hz'den yüksek olan cephe ve çatı elemanları için $C_s C_d$ değeri 1,0 alınabilir.
- Taşıyıcı duvarları olan yüksekliği 100 m'den az olan ve bu yüksekliğin rüzgar doğrultusundaki yapı derinliğinin 4 katından daha az olduğu çerçeve sistemli binalar için $C_s C_d$ değeri 1,0 olarak alınabilir.
- Yüksekliği 60 m'den ve bu yüksekliğin çapının 6,5 katından daha az olan dairesel kesitli bacalar için $C_s C_d$ değeri 1 olarak alınabilir.
- Yukarıda belirtilen a), b), c) ve d) durumlarına ek olarak aşağıda verilen Denklem 4.141 kullanılarak elde edilebilir.

$$C_s C_d = \frac{1 + 2.k_p.I_v(z_s).\sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \quad (4.141)$$

Burada, z_s yapısal katsayısı belirlemek için referans yükseklik (Şekil 4.47), k_p yapı tepkisinin değişim gösteren bölümündeki en yüksek değer standard sapmasına oranı olarak tanımlanan tepe katsayısı, I_v türbülans şiddetini, B^2 yapı yüzeylerindeki basıncın tam korelasyonunun eksikliğine izi veren katsayısını, R^2 türbülansın titreşim moduyla rezonansına izin veren tepki katsayısını göstermektedir.

Not 1-Boyut katsayısı C_s ile yüzey üzerindeki tepe rüzgar basıncının eş zamanlı meydana gelmesine bağlı olarak rüzgar etkilerindeki azalma tesirleri hesaba katılır ve bu katsayı, aşağıda verilen Denklem 4.142 kullanılarak elde edilir.

$$C_s = \frac{1 + 2.k_p.I_v(z_s).\sqrt{B^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \quad (4.142)$$

Burada, z_s yapısal katsayısı belirlemek için referans yükseklik (Şekil 4.49), k_p yapı tepkisinin değişim gösteren bölümündeki en yüksek değer standard sapmasına

oranı olarak tanımlanan tepe katsayısı, I_v türbülans şiddetini, B^2 yapı yüzeylerindeki basıncın tam korelasyonunun eksikliğine izi veren katsayısını göstermektedir.

Not 2-Dinamik katsayı C_d ile, yapıyla rezonansa giren türbülansın neden olduğu titreşimlerin arttırıcı tesirini hesaba katar ve bu katsayı aşağıda Denklem 4.143 kullanılarak elde edilebilir.

$$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}} \quad (4.143)$$

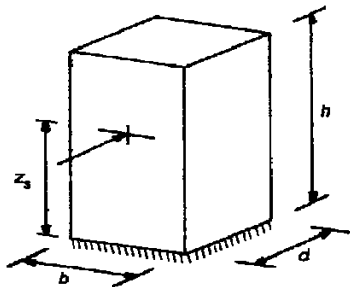
Denklem 4.143 sadece aşağıda belirtilerin sağlandığı durumlarda kullanılmalıdır.

- Yapının Şekil 4.49’da gösterilen genel biçimlerden birine uygun olması,
- Sadece temel moddaki rüzgar doğrultusundaki titreşim baskın olması ve bu mod şeklinin sabit işaretli olması.

Not- Rüzgar doğrultusundaki ikinci veya daha yüksek dereceli titreşim modlarının yapı tepkisine katkısı ihmal edilebilir.

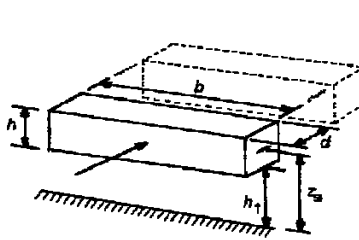
a) Binalar gibi Düşey

Yapılar



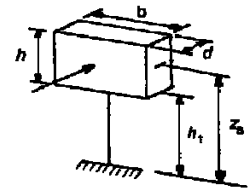
b) Paralel salınım yapan

elemanlar (Kirişler gibi
yatay elemanlar)



c) Direktili işaret

levhaları gibi
noktasal yapılar



$$z_s = 0,6h \geq z_{\text{enküçük}}$$

$$z_s = h_1 + h/2 \geq z_{\text{enküçük}}$$

$$z_s = h_1 + h/2 \geq z_{\text{enküçük}}$$

Şekil 4.51 : Tasarım işlemi kapsamında olan genel yapı şekilleri (Eurocode 1).

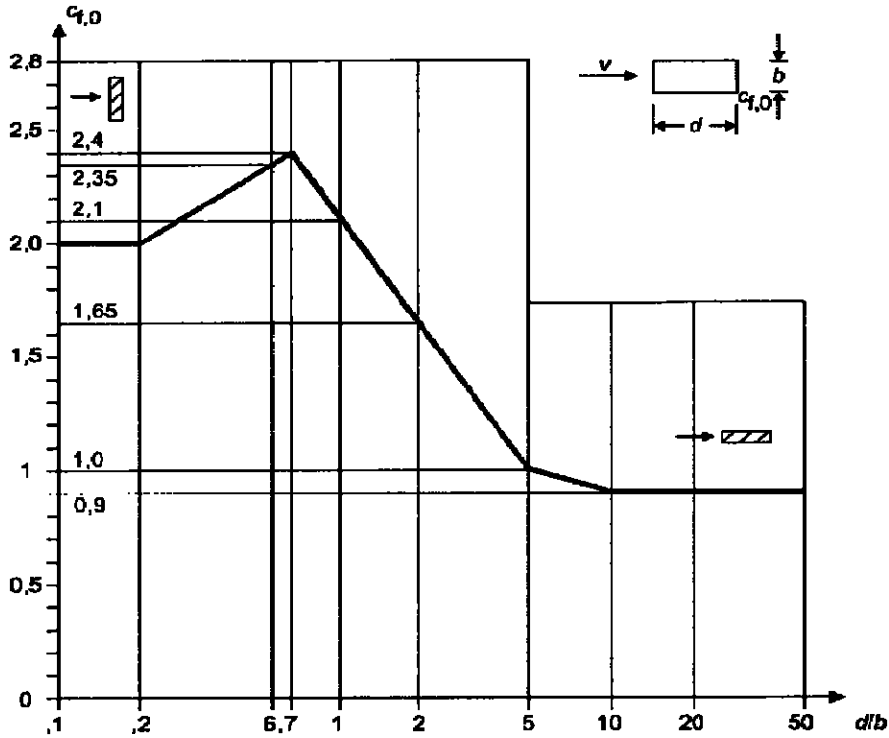
4.3.8 Yapı veya Yapısal Eleman İçin Kuvvet Katsayısı, C_f

4.3.8.1 Dikdörtgen Kesitli Yapı Elemanları

Rüzgarın yüzeye dik estiği dikdörtgen kesitli yapı elemanları için kuvvet katsayısı C_f Denklem 4.144 kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$C_f = C_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (4.144)$$

Burada, $C_{f,0}$ keskin köşeli ve Şekil 4.50 de gösterildiği gibi serbest uç akımı olmayan dikdörtgen kesitler için kuvvet katsayısını, ψ_r reynold sayısına bağlı olan yuvarlatılmış köşeli kare kesitler için azaltma katsayısını, ψ_λ serbest uç akımı olan elemanlar için uç tesir katsayısını göstermektedir.



Şekil 4.52 : Keskin kenarlı ve serbest uç akımı olmayan dikdörtgen kesitler için $C_{f,0}$ katsayıları (Eurocode 1).

A_{ref} referans alanı Denklem 4.145 kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$A_{ref} = l \cdot b \quad (4.145)$$

Burada, l dikkate alınan yapı uzunluğunu göstermektedir.

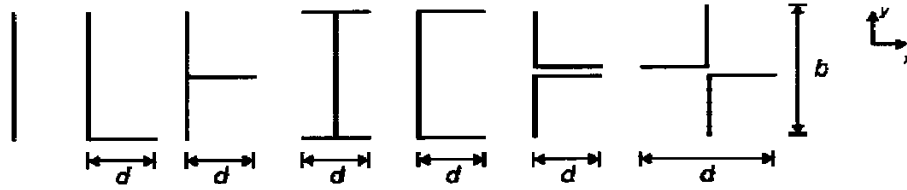
z_e , referans yüksekliği dikkate alınan kesitin zemin seviyesinden olan en büyük yüksekliğe eşittir. Plak benzeri kesitlere $d/b < 0,2$ rüzgarın belirli açılarla etkimesi ile oluşan kaldırma kuvvetleri, C_f 'nin yüksek değerlerini en fazla % 25 oranında artırabilir.

4.3.8.2 Keskin Kenarlı Kesitleri Olan Yapı Elemanları

Keskin kenarlı kesitleri olan yapı elemanları (Şekil 4.51 deki kesitleri olan elemanlar gibi) için C_f kuvvet katsayıları Denklem 4.146 kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (4.146)$$

Burada; $C_{f,0}$ keskin köşeli ve Şekil 4.51 de gösterildiği gibi serbest uç akımı olmayan dikdörtgen kesitler için kuvvet katsayısını, ψ_λ serbest uç akımı olan elemanlar için uç tesir katsayısını göstermektedir.



Şekil 4.53 : Keskin kenarlı yapı elemanı kesitleri (Eurocode 1).

Not 1- $C_{f,0}$ değerleri serbest uç akımı olmayan bütün elemanlar için standartta tavsiye edilen değer 2,0'dır. Bu değer, düşük türbülanslı durumlarda yapılan ölçmelere dayanır. Bu değerler üyenli olarak kabul edilir.

Referans alanlar aşağıda belirtildiği gibi alınmalıdır.

$$X - \text{Yönünde: } A_{ref,x} = l \cdot b \quad (4.147)$$

$$Y - \text{Yönünde: } A_{ref,y} = l \cdot b \quad (4.148)$$

Burada, l dikkate alınan yapı uzunluğudur.

Her durumda z_e referans yüksekliği, dikkate alınan kesitin zemin seviyesinden olan en büyük yüksekliğe eşit alınmalıdır.

4.3.8.3 Düzgün Çokgen Kesitli Yapı Elemanları

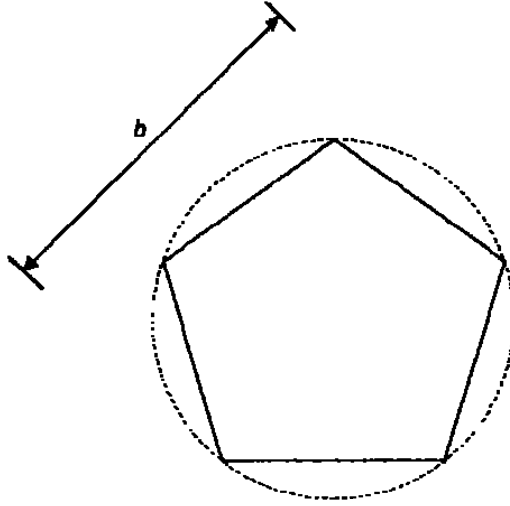
5 veya daha fazla kenarlı düzgün çokgen kesitli yapı elemanları için kuvvet katsayısı Denklem 4.149 kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (4.149)$$

Düşük türbülanslı durumlarda yapılan ölçümlere dayanan güvenli tarafta kalınmasını sağlayan ve standartta tavsiye edilen değerler Çizelge 4.47 de verilmiştir.

Çizelge 4.46 : Düzgün çokgen kesitler için kuvvet katsayıları, $C_{f,0}$ (Eurocode 1).

Kenar sayısı	Kesitler	Yüzey ve Köşelerin Nihai	Reynold sayısı Re	$C_{f,0}$
5	Beşgen	Bütün durumlar	Hepsi	1,80
6	Altıgen	Bütün durumlar	Hepsi	1,60
8	Sekizgen	Pürüzsüz yüzey $r/b < 0,075$	$Re \leq 2,4 \cdot 10^5$	1,45
		Pürüzsüz yüzey $r/b \geq 0,075$	$Re \geq 3 \cdot 10^5$	1,30
			$Re \leq 2 \cdot 10^5$	1,30
10	Ongen	Pürüzsüz yüzey $r/b \geq 0,075$	$Re \geq 7 \cdot 10^5$	1,10
		Bütün durumlar	hepsi	1,30
12	Onikigen	Pürüzsüz yüzeyköşeleri yuvarlatılmış	$2 \cdot 10^5 < Re < 1,2 \cdot 10^5$	0,90
		Diğer hepsi	$Re < 4 \cdot 10^5$	1,30
	16 ila 18 adet iç açısı bulunan çokgen	Diğer hepsi	$Re > 4 \cdot 10^5$	1,10
16-18		Pürüzsüz yüzey köşeleri yuvarlatılmış	$Re \leq 2,4 \cdot 10^5$	Dairesel kesitli silindir gibi kabul edilir
			$2 \cdot 10^5 < Re < 1,2 \cdot 10^5$	0,70



Şekil 4.54 : Düzgün çokgen kesitler (Eurocode 1).

Referans alan A_{ref} Denklem 4.150 kullanılarak elde edilir.

$$A_{ref} = l.b \quad (4.150)$$

Burada l dikkate alınan yapı elemanının uzunluğunu, b çokgenin köşe kenarlarından geçen çemberin çapıdır.

4.3.8.4 Etkili Narinlik λ ve Uç Tesir Katsayısı ψ_λ

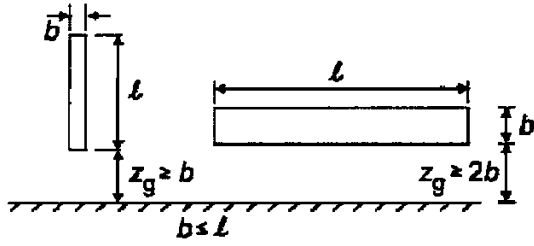
Dikkate alınması halinde, uç tesir katsayısı ψ_λ , narinlik oranı λ 'nın bir fonksiyonu olarak belirlenmelidir. Kuvvet katsayıları $C_{f,0}$ zemin seviyesinden yukarda serbest uç akımı olmayan yapılarda yapılan ölçümlere dayanır. Uç tesiri katsayısıyla, yapının uçlarındaki (uç tesiri) rüzgar akımlarının sebep olduğu azaltılmış yapı dayanımı dikkate alınır. Şekil 4.53 ve Çizelge 4.48 de verilen düşük türbülanslı akım durumlarında yapılan ölçümlere dayanır.

Etkili narinlik katsayısı λ yapının, boyutlarına ve konumuna bağlı olarak tanımlanmalıdır.

Çizelge 4.47 : Elemanı kesitler ve kafes yapıları için tavsiye edilen λ (Eurocode 1).

Yapının Konumu Rüzgar Sayfa Düzenine Dik

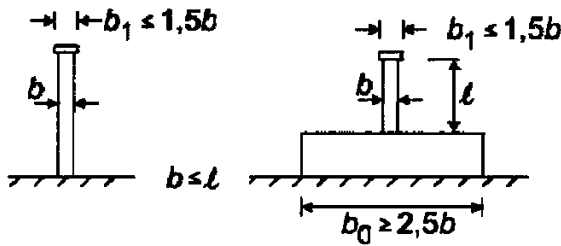
Etkili Narinlik λ



Çokgen, dikdörtgen ve keskin kenarlı kesitler ve kafes yapılar için

$l \geq 50m$ için, $\lambda = 1,4l/b$ veya $\lambda = 70$ 'den küçük olanı

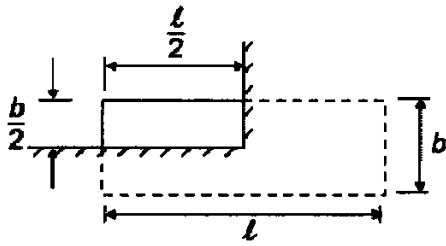
$l < 15m$ için, $\lambda = 2l/b$ veya $\lambda = 70$ 'den küçük olanı



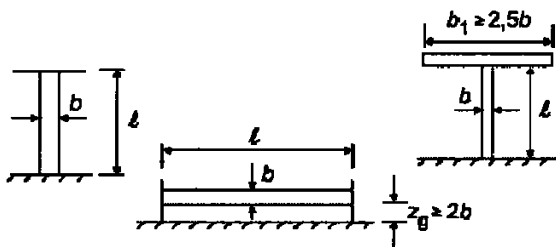
Dairesel kesitli silindirler için

$l \geq 50m$ için, $\lambda = 0,7l/b$ veya $\lambda = 70$ 'den küçük olanı

$l < 15m$ için, $\lambda = l/b$ veya $\lambda = 70$ 'den küçük olanı



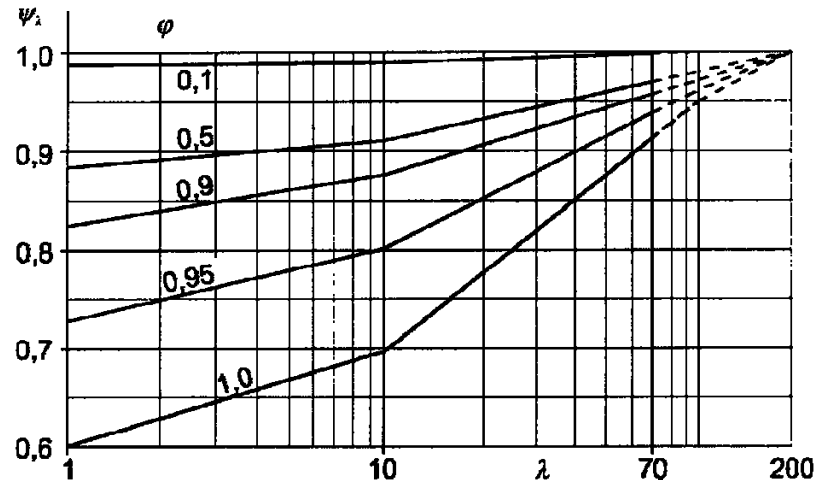
l 'nin ara değerleri için doğrusal interpolasyon yapılır.



$l \geq 50m$ için, $\lambda = 0,7l/b$ veya $\lambda = 70$ 'den büyük olanı

$l < 15m$ için, $\lambda = l/b$ veya $\lambda = 70$ 'den büyük olanı

l 'nin ara değerleri için doğrusal interpolasyon yapılır.

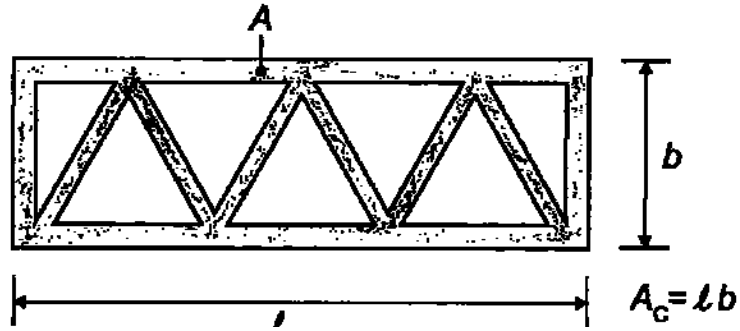


Şekil 4.55 : λ Narinlik değerlerine karşı uç tesir katsayısı ψ_λ 'nın gösterge niteliğindeki değerleri (Eurocode 1).

Doluluk oranı φ , Şekil 4.55 ve Denklem 4.151 de ifade edilmiştir.

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (4.151)$$

Burada; A elemanın izdüşüm alanları toplamını, A_c toplam yüzey alanını göstermektedir.



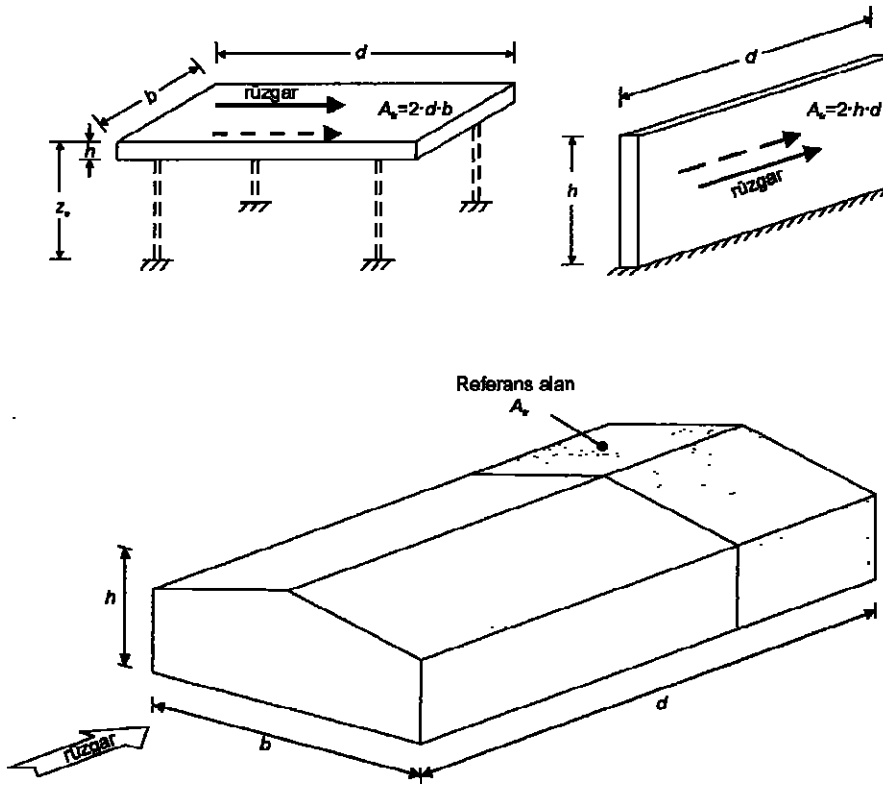
Şekil 4.56 : Doluluk oranı φ 'nin tanımı (Eurocode 1).

4.3.8.5 Sürtünme Katsayıları, C_{fr}

Duvarlar ve çatı yüzeyleri için Çizelge 4.49 da verilen sürtünme katsayıları kullanılmalıdır. Referans alan A_{fr} Şekil 4.55 de verilmiştir. Sürtünme kuvvetleri rüzgarın yaklaştığı yöndeki saçaklar veya köşelerden $2.b$ veya $4.h$ 'den küçük olanı kadar mesafede bulunan rüzgara paralel dış yüzeylerdeki bölümlere uygulanmalıdır. Referans yükseklik z_e yapının zeminden olan yüksekliği veya bina yüksekliği h 'ye eşit alınmalıdır.

Çizelge 4.48 : Duvarlar, parapetler ve çatı yüzeyleri için sürtünme katsayıları C_{fr} (Eurocode 1).

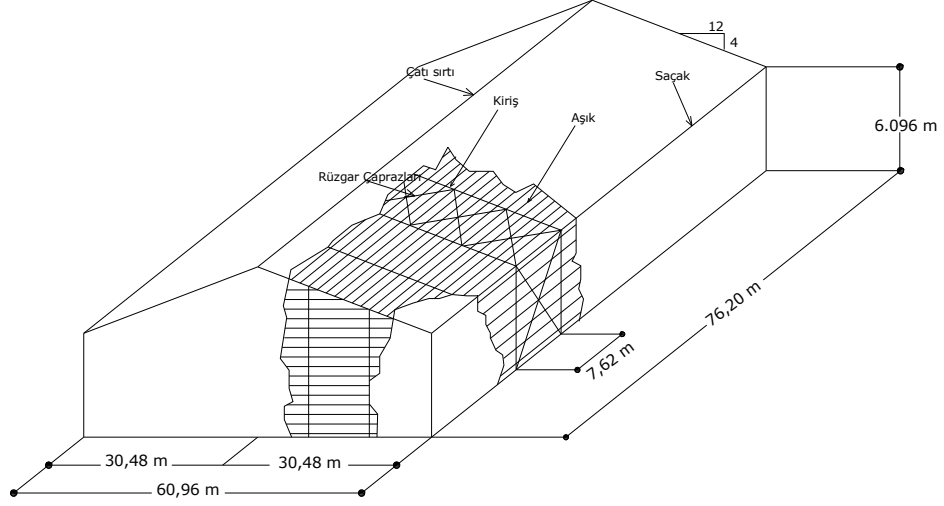
Yüzey	Sürtünme katsayısı C_{fr}
Pürüzsüz (örneğin çelik, bürüzsüz beton yüzeyi)	0,01
Pürüzlü (örneğin pürüzlü beton, katranlı levha yüzeyi)	0,02
Çok pürüzlü (örneğin dalgalı, çıkıntılı , kıvrımlı yüzeyler)	0,04



Şekil 4.57 : Sürtünme için referans alan.

4.3.9 Örnek 4

ASCE 7-05 için çözülen örnek EUROCOD 1-4 için de çözülecektir.



Şekil 4.58 : Yapı uzunlukları ve elemanları.

Çizelge 4.49 : Yapı ile ilgili genel bilgiler.

Arazi	Düz çiftlik alanı
Yapı uzunlukları	Planda 60,96 m x 76,20 m
	Saçak Yüksekliği 6,096 m
	Çatı eğimi 4:12
	Rijit kirişler 60,96 m doğrultusunda yerleştirilmiştir.
Kirişler	Rijit kirişler 7,62 m aralıklarla yerleştirilmiştir
	Rüzgar çaprazları 76,20 m doğrultusunda yerleştirilmiştir.
	Aşıklar ve Kuşak elemanları (7,62 m)
	Kuşak elamanları aralığı 2,033 m
	Aşık aralığı 1,524 m
Kaplama	Çatı Panelleri genişliği 0,6096
	Duvar panelleri boyutları 0,6096 m x 6,096 m
	Açıklılar düzgün olarak dağıtılmıştır.

Rüzgar hızı $V_{b,0} = 40,23$ m/sn

4.3.9.1 Esas Rüzgar Hızı Değeri Hesabı

Esas rüzgar hızı V_b Denklem 4.103 kullanılarak hesaplanır bu denklem aşağıda Denklem 4.114 olarak verilmiştir.

$$V_b = c_{dir} c_{season} V_{b,0} \quad (4.152)$$

Burada, V_b Çizelge 4.40 da verilen arazi katagorisi II'de yer seviyesinden 10 m yükseklikteki yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgar yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgar hızını, C_{dir} doğrultu katsayısını (standartta tavsiye edilen değeri 1,0) C_{season} mevsim katsayısını (standartta tavsiye edilen değer 1,0) $V_{b,0}$ esas rüzgar hızını simgelemektedir.

Yukarda verilen parametreler Denklem 4.152 da yerine yazılırsa;

$$V_b = 1,0 \times 1,0 \times 40,23 = 40,23 \text{ m/sn} \quad (4.153)$$

olarak bulunur.

4.3.9.2 Ortalama Rüzgar Hızı V_m 'nin Hesabı

Ortalama rüzgar hızı Denklem 4.116 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıdaki gibidir.

$$V_m(Z) = C_r(Z) \cdot C_0(Z) \cdot V_b \quad (4.154)$$

Burada; $C_r(z)$ arazi engebelilik katsayısını, $C_0(z)$ orografi katsayısını göstermektedir.

4.3.9.3 Arazi Engebelilik Katsayısı

Arazi engebelilik katsayısı Denklem 4.111 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem şu şekildedir.

$$c_r(Z) = k_r \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.155)$$

z_0 ,engebelilik uzunluğu arazi katagorisine bağlıdır. Bu örnek için Çizelge 4.40 da arazi katagorisi IV'e denk gelmektedir. z yapı yüksekliğidir. örnek için yapı yüksek

16,25 m'dir. k_r engebелilik uzunluğuna bağlı arazi katsayısıdır değeri Denklem 4.113 kullanılarak hesaplanır bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0.11}} \right)^{0.07} \quad (4.156)$$

Burada; z_0 ve $z_{0.11}$ Çizelge 4.40 dan alınan engebелilik uzunluğudur. Buna göre arazi engebелilik katsayısı aşağıdaki gibi olur.

$$k_r = 0.19 \left(\frac{1,00}{1,00} \right)^{0.07} = 0,19 \quad (4.157)$$

olur.

Arazi engebелilik katsayısı Denklem 4.156 da yerine yerleştirilirse;

$$C_r(Z) = 0,19 \ln \left(\frac{16,25}{1,00} \right) = 0,530 \quad (4.158)$$

olarak bulunur.

Buna göre ortalama rüzgar hızı aşağıdaki gibi olur.

$$V_m(Z) = 0,530 \times 1,00 \times 40,23 = 21,31 \text{ m/sn} \quad (4.159)$$

4.3.9.4 Rüzgar Türbülansı $I_v(z)$

Rüzgar türbülansı hesabı Denklem 4.125 kullanılarak hesaplanır bu denklem şu şekildedir.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_t}{C_0(z) \ln(z/z_0)} \quad (4.160)$$

Bu denklemde; k_t türbülans katsayısını ifade etmektedir ve standartta tavsiye edilen değeri 1,00'dır. $C_0(z)$ orografi katsayısıdır ve değeri 1,00'dır. z_0 arazi engebелilik uzunluğudur ve Çizelge 4.40 da değeri 1,0'dır. Buna göre türbülans şiddeti, $I_v(z)$ 'nin değeri aşağıdadır.

$$I_v(z) \frac{1,00}{1,00 \times \ln\left(\frac{16,25}{1,00}\right)} = 0,359 \quad (4.161)$$

4.3.9.5 Tepe Hız Kaynaklı Rüzgar Basıncı $q_p(z)$ Hesabı

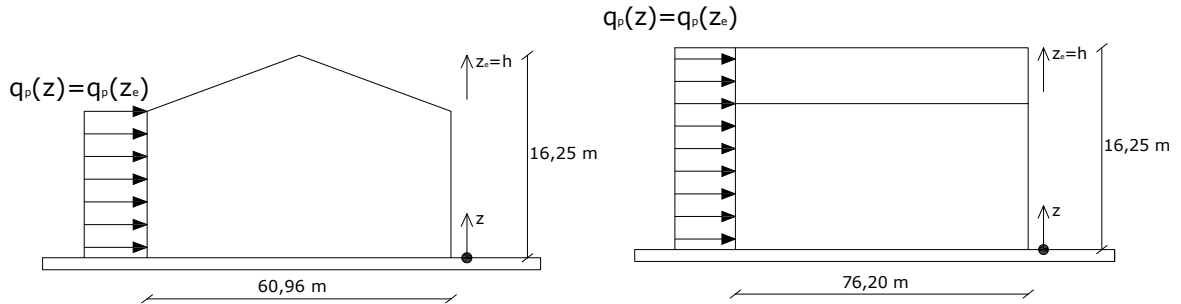
Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı Denklem 4.122 da verilen Denklem kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (4.162)$$

Bu denklemde; ρ fırtına esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve rakıma bağlı olan hava yoğunluğudur. Standartta verilen değeri ise $1,25 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Denklem 4.159 ve Denklem 4.161 de bulunan değerler Denklem 4.162 de yerine yazılırsa tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı elde edilir.

$$q_p(z) = [1 + 7 \times 0,359] \frac{1}{2} \times 1,25 \times (21,31)^2 = 0,997 \text{ kN/m}^2 \quad (4.163)$$

4.3.9.6 Duvarlara Gelen Rüzgar Basıncı Hesabı

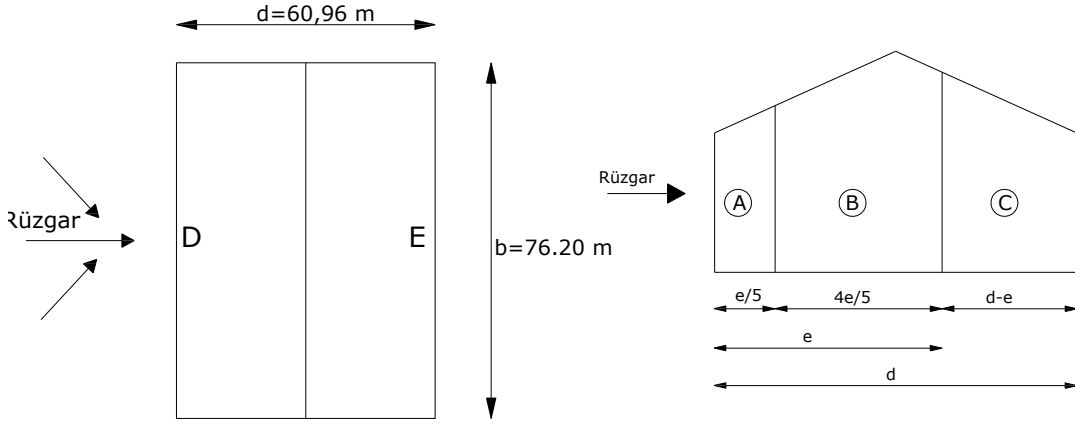


Şekil 4.59 : Duvarlara gelen rüzgar basıncının şematik gösterimi.

Çatı sırtına gelen rüzgar basınç dağılımı Eurocode 1'e göre yukardaki Şekil 4.59'da verilmiştir. Duvarlara gelen rüzgar basıncı için referans yüksekliği rüzgarın doğrultusuna göre yüksekliği en fazla olan duvar olarak almak mümkündür.

4.3.9.7 Düşey duvarlar için Rüzgar Basınç Katsayıları $C_{pe,1}$ ve $C_{pe,10}$ Tayini

Rüzgar çatı sırtına dik gelmesi durumunda;



Şekil 4.60 : Dikdörtgen planlı binalar duvarlar basınç alanlarının şematik gösterimi.

$$e = \min (b; 2h)$$

$$b = 76,20\text{m ve } 2h = 32,50\text{m}$$

$$e = (\min 76,20\text{m}; 32,50\text{m}) = 32,50 \text{ m olarak bulunur.}$$

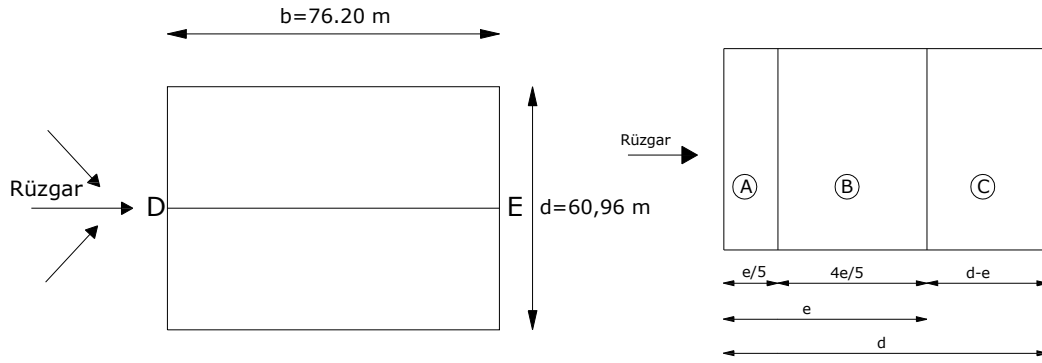
$$d = 60,96 \text{ m ise } e \leq d$$

Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için basınç katsayıları Çizelge 4.51 kullanılarak tayin edilir. Ara değerler için lineer interpolasyon uygulanmıştır. Düşey duvarlar için basınç katsayıları aşağıdaki Çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.50 : Rüzgar çatı sırtına dik gelmesi durumunda duvarlar için basınç C_{pe} .

Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
0,267	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,7	+1,0		-0,3	

Rüzgar çatı sırtına paralel gelirse duvarlardaki basınç dağılımı aşağıda verilen Şekil 4.61'den takip edilebilir. Duvarlardaki rüzgar basınç katsayıları Çizelge 4.51'de verilmiştir.



Şekil 4.61 : Dikdörtgen planlı binalar duvarlar basınç alanlarının şematik gösterimi.

$$e = \min (b; 2h)$$

$$b = 60,96\text{m ve } 2h = 32,50\text{m}$$

$$e = (\min 60,96\text{m}; 32,50\text{m}) = 32,50 \text{ m olarak bulunur.}$$

$$d = 76,20 \text{ m ise } e \leq d$$

Rüzgar çatı sırtına paralel gelmesi sonucu duvarlardaki rüzgar basınç katsayıları Çizelge 4.52 de verilmiştir.

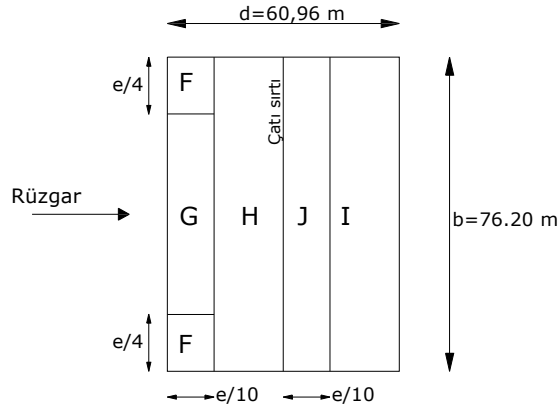
Çizelge 4.51 : Rüzgar çatı sırtına dik gelmesi durumunda duvarlar için C_{pe} .

Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
0,213	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

4.3.9.8 Çatı Basınç Katsayılarının Tayini

Çatı basınç katsayıları Çizelge 4.45 ve 4.46 kullanılarak tayin edilir.

Rüzgar yönü ($\theta = 0^0$) ise;



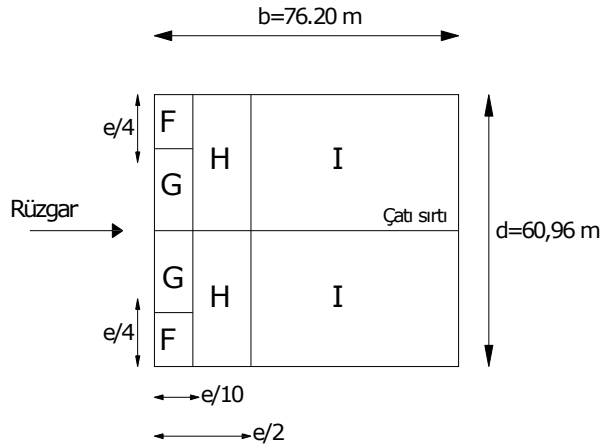
Şekil 4.62 : Rüzgarın çatı sırtında oluşturduğu basınç alanları

Çatı eğim açısı $\alpha = 18,4^0$ Çizelge 4.40 kullanılarak çatı eğimine karşı gelen rüzgar basınçları aşağıda verilen Çizelge 4.53 de gösterilmiştir. Çizelgede bulunan değerler lineer interpolasyonla elde edilmiştir.

Çizelge 4.52 : Rüzgar çatı sırtına dik olması durumunda çatı basınç katsayıları.

Eğim Açısı (α)	Rüzgar yönü $\theta = 0^0$ için bölgeler									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
$18,4^0$	-0,81	-1,89	-0,73	-1,5	-0,28		-0,40		-0,89	
		+0,31		+0,31		+0,25		+0,00		+0,00

Rüzgar yönü $\theta = 90^0$ ise;



Şekil 4.63 : Rüzgarın çatı sırtında oluşturduğu basınç alanları

Çizelge 4.53 : Rüzgar çatı sırtına paralel olması durumunda çatı basınç katsayıları

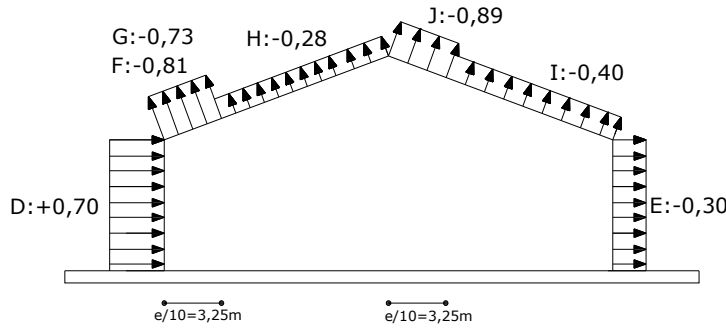
Eğim Açısı (α)	Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
$18,4^\circ$	-1,25	-1,89	-1,28	-2,0	-0,65	-1,2	-0,5	

4.3.9.9 İç Basınç Katsayıları

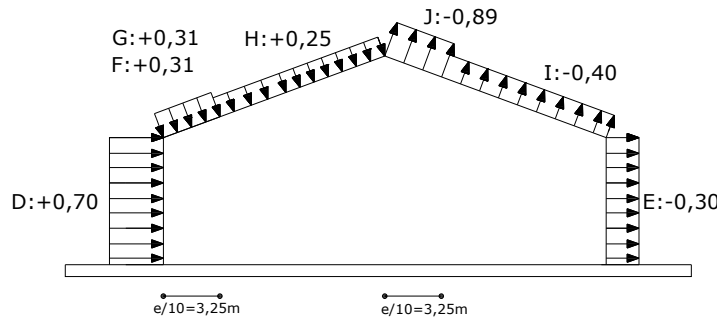
Yüzey geçirgenliği, μ 'nün tam olarak değerinin tahmin edilemediği durumlarda standartta C_{pi} değerleri +0,2 ve -0,3 değerlerinden en gayri müsaht olan değer alınacaktır.

4.3.9.10 Yüzeylere Etkiyen Net Basınç Katsayılarının Hesabı

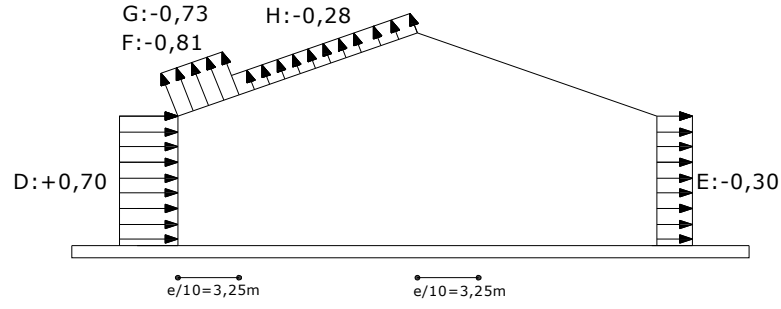
Çatılar için F, G ve H alanlarındaki en büyük veya en küçük değerlerin I ve J alanlarındaki en büyük veya en küçük değerlerle birlikte kullanıldığı dört durum dikkate alınacaktır. Aynı yüzde pozitif ve negatif değerler birlikte kullanılmaz. Aşağıdaki şekillerde rüzgarın çatı sırtına dik gelmesinden dolayı çatı ve duvarlardaki basınç katsayıları verilmiştir.



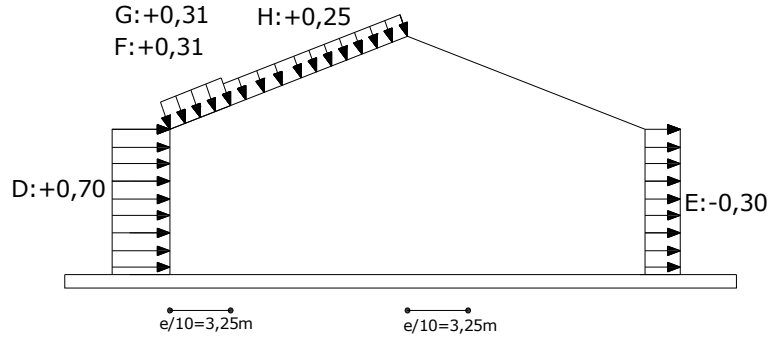
Şekil 4.64 : Basınç katsayıları 1. kombinasyon



Şekil 4.65 : Basınç katsayıları 2. kombinasyon



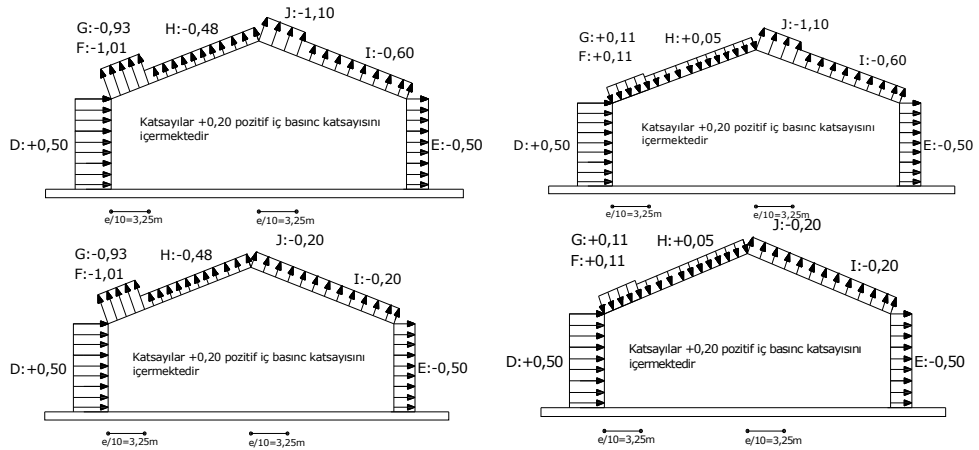
Şekil 4.66 : Basınç katsayıları 3. kombinasyon



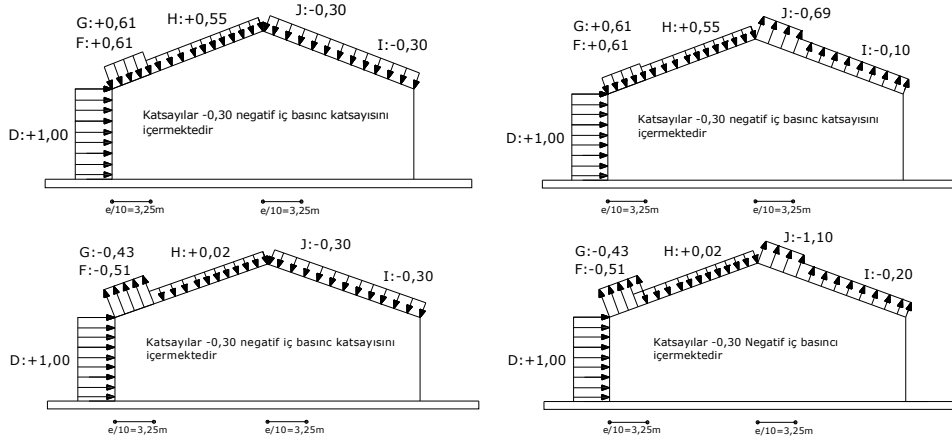
Şekil 4.67 : Basınç katsayıları 4. kombinasyon

İç basıncın pozitif ve negatif olması durumunun bu dört ayrı kombinasyonda ayrı ayrı düşünülmesi üzerine yeni oluşan basınç katsayıları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

İç basıncın pozitif ve negatif olmasında;

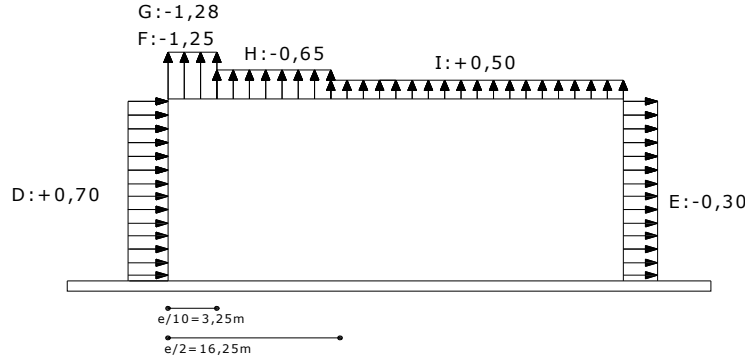


Şekil 4.68 : Pozitif iç basınç olması durumunda duvarlar ve çatıdaki $C_{pe,10}$

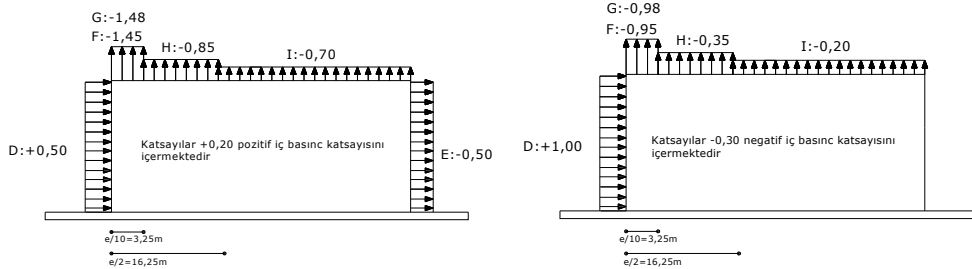


Yukarıda bulunan 8 adet dış basınç katsayıları kombinasyonu arasında yapıda en kötü durum oluşturan kombinasyon seçilecektir.

Rüzgarın çatı sırtına paralel gelmesi durumunda duvarların ve çatının maruz kaldığı dış basınç katsayıları Şekil 4.70 ve Şekli 4.71'deki gibi olur.



İç basıncın pozitif veya negatif olması durumunda;



4.3.9.11 Yüzeylerde Meydana Gelen Rüzgar Basıncının Hesabı

Dış yüzeylere etkiyen rüzgar basıncı w_e , aşağıda verilen Denklemlerle hesaplanır.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (4.164)$$

Burada, $q_p(z_e)$ tepe rüzgar basıncını göstermektedir ve değeri Denklem 4.146 da hesaplanmıştır. z_e referans yüksekliğidir ve değeri yapı yüksekliği olan 16,25 m'dir. C_{pe} dış basınç katsayısıdır.

Bir yapının ç yüzyelerine etkiyen rüzgar basıncı aşağıda verilen Denklem 4.163 kullanılarak hesaplanır.

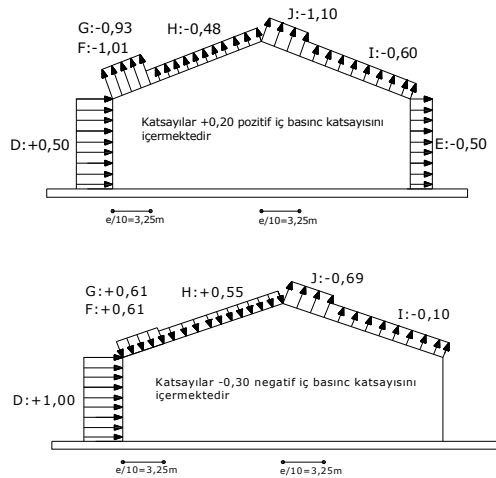
$$w_e = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (4.165)$$

Burada, $q_p(z_i)$ tepe rüzgar basıncını göstermektedir ve değeri Denklem 4.163 de hesaplanmıştır. z_i referans yüksekliğidir ve değeri yapı yüksekliği olan 16,25 m'dir. C_{pi} iç basınç katsayısıdır.

Yapıya etkiyen net rüzgar basıncı iç basınç ile dış basıncın aynı anda etkidiği varsayılırsa;

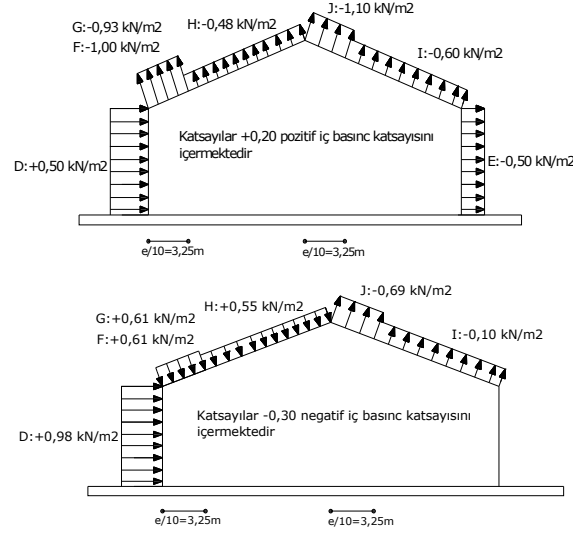
$$w_e = q_p \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \quad (4.166)$$

Net rüzgar basıncı hesabında yapıya etkiyen rüzgar basınçları kombinasyonunda en kötü durum göz önüne alınacaktır. Rüzgarın çatı sırtına dik gelmesi durumunda oluşan en kötü durumlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



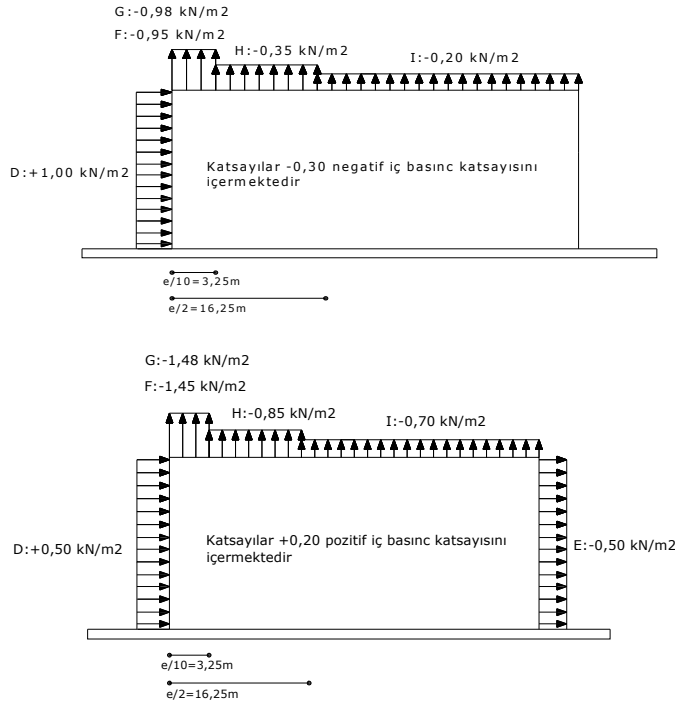
Şekil 4.72 : Duvar ve çatıda oluşan en kötü durum

Yukardaki Şekil 4.72’de verilen en kötü dış basınç katsayısı kombinansyonları kullanılarak yapıya gelen rüzgar basıncı hesaplanır bulunan değerler aşağıda verilen Şekil 4.73’de gösterilmiştir.



Şekil 4.73 : Duvar ve çatıda oluşan dış basınçlar.

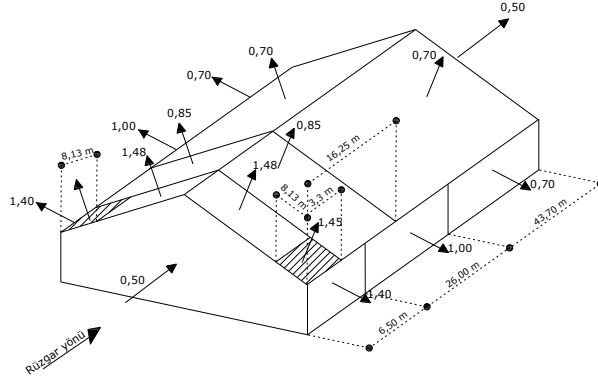
Rüzgar çatı sırtına dik paralel gelmesi sonucu yapıda meydana gelen dış basınçlar Şeki 4.73’de gösterilmiştir.



Şekil 4.74 : Duvarlar ve çatıda oluşan dış basınçlar.

A 3D perspective view of a roof structure. The wind direction is indicated by an arrow labeled "Rüzgar Yönü" (Wind Direction) pointing towards the structure. Various dimensions and coefficients are labeled: 0,20, 0,10, 0,69, 0,55, 0,50, 0,61, 0,90, 1,00, 3,3 m, 28,5 m, 26,0 m, 22,5 m, 0,50, 0,90, 0,5 m, 3,3 m, 0,20, 0,61, 0,20. The roof is shown with a gabled structure and a central ridge.

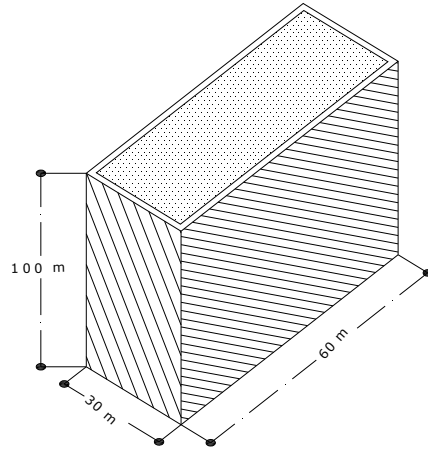
137



Şekil 4.78 : İç basınç negatif olursa yan duvarlarda oluşan dış basınçlar. (kN/m²)

4.3.10 Örnek 5

Bu örnekte ASCE 7-05 için çözülen yüksek bina örneği Eurcode 1 için de tekrarlanacaktır.



Şekil 4.79 : Yüksek katlı yapı örneği.

4.3.10.1 Esas Rüzgar Hızının Tayini

Rüzgar hızı ASCE de verilen rüzgar hızı bu örnek içinde geçerlidir. Bu yüzden esas rüzgar hızı, $V_{b,0} = 50$ m/sn olarak kullanılmıştır.

Buna göre esas rüzgar hızı tez içerisinde Denklem 4.114 kullanılarak hesaplanır bu denklem aşağıda Denklem aşağıda 4.167 olarak verilmiştir.

$$v_b = C_{dir} C_{season} v_{b,0} \quad (4.167)$$

Burada; C_{dir} ve C_{season} , rüzgadoğrultusu ve mevsim katsayılarıdır ve standartta tavsiye edilen değerleri 1,0 olarak kullanılmıştır; $V_{b,0}$, Esas rüzgar hızının temel değeridir ve 50 m/sn olarak alınmıştır.

Buna göre esas rüzr hızının değeri aşağıdaki gibi olur.

$$v_b = (1, 0).(1, 0).(50) = 50 \text{ m/sn} \quad (4.168)$$

4.3.10.2 Ortalama Rüzgar Hızının Tayini

Ortalama rüzgar hızı tez içerisinde verilen Denklem 4.114 kullanılarak hesaplanır.

$$v_m(Z) = c_r(Z).c_0(Z).v_b \quad (4.169)$$

Burada; $C_{0(z)}$ orografi katsayısıdır ve bu örnek için değeri 1,0 olarak alınmıştır; $C_{r(z)}$ arazi katsayısıdır ve değeri arazi katagorisine bağlı olarak değişir hesabı aşağıda verildiği gibi yapılmaktadır.

$$c_r(Z) = k_r \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.170)$$

$$C_r(z) = C_r(z_{\text{enküçük}}) \quad z \leq z_{\min} \quad (4.171)$$

Bu denklemlerde; z ve z_0 değerleri arazi katagorisine göre değişmektedir. Arazi katagorileri Çizelge 4.41'de verilmiştir. bu yapı için arazi katagorisi IV olarak düşünülmüştür.

Buna göre arazi katsayısı;

$$c_r(Z) = 0,19 \ln \left(\frac{100}{1} \right) = 0,875 \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.172)$$

$Z_{\max}$ 'ın değeri 200 m ve $z_{\min}$ 'in değeri ise 1 m'dir

Buna göre 100 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı değeri aşağıdaki gibi olur.

$$v_m(100) = (0,875).(1, 0).(50) = 43,75 \text{ m/sn} \quad (4.173)$$

4.3.10.3 Rüzgar Türbülansı Hesabı

Rüzgar türbülansı Bölüm 4.3.6.5 de anlatıldığı gibi yapılmaktadır. Buna göre 100 m yükselikteki rüzgar hızı türbülansı değeri;

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{1,0}{(1,0) \ln(100/1)} = 0,217 \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.174)$$

olur.

4.3.10.4 Tepe hız kaynaklı Rüzgar Hızı Basıncı

Tepe hız kaynaklı rüzgar hız basıncı Denklem 4.175 kullanılarak hesaplanır.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho V_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (4.175)$$

Buna göre 100 m yükseklikte rüzgar hız basıncı değeri;

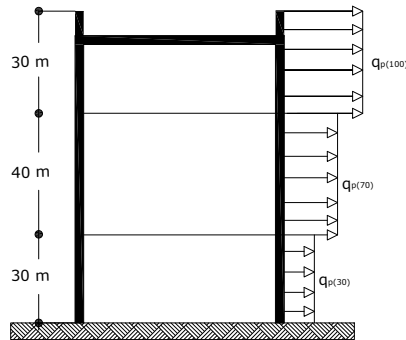
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot (0,217)] \frac{1}{2} 1,2 \cdot (43,75)^2 = 3,013 \text{ kN/m}^2 \quad (4.176)$$

olarak bulunur.

4.3.10.5 Yüzeylerdeki Rüzgar Basıncı

Rüzgarın estiği doğrultuya göre yapı üzerine gelen rüzgar basınç değerleri tez kapsamı içerisinde Bölüm 4.3.7.3’de verilmiştir. Şekil 4.37 kullanılarak duvarlara gelen rüzgar basınç yükseklikleri ve referans yüksekliklerine göre gelen rüzgar basınçlarının hesabı aşağıdaki gibi olur.

Rüzgar 30 m’lik duvara dik eserse;



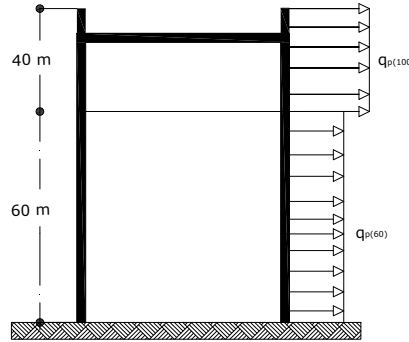
Şekil 4.80 : Rüzgar 30 m’lik duvara dik eserse rüzgar basınçlarının şematik gösterimi.

Şeki 4.80 de verilen $q_{p(100)}$, $q_{p(70)}$, $q_{p(30)}$ değerleri yüksekliğe bağlı tepe rüzgar hızı basınçlarını simgelemektedir. Bu değerlerin hesabı 100 yükseklikteki rüzgar basıncı hesabı ile aynıdır. Buna göre bu yüksekliklerdeki rüzgar basınçları kN/m^2 değerinden aşağıdaki gibi olur.

$$q_p(70) = \left[1 + 7 \left(\frac{1,0}{1,0x \ln \left(\frac{70}{1} \right)} \right) \right] x \frac{1}{2} x 1,25x \left(0,19x \ln \left(\frac{70}{1} \right) x 1,0x50 \right)^2 = 2.695 \quad (4.177)$$

$$q_p(30) = \left[1 + 7 \left(\frac{1,0}{1,0x \ln \left(\frac{30}{1} \right)} \right) \right] x \frac{1}{2} x 1,25x \left(0,19x \ln \left(\frac{30}{1} \right) x 1,0x50 \right)^2 = 1.995 \quad (4.178)$$

Rüzgar 60 m'lik duvara dik eserse; basınç dağılımları Şekil 4.34'den yararlanılarak hesaplanabilir.



Şekil 4.81 : Rüzgar 60 m'lik duvara dik eserse rüzgar basınçlarının şematik gösterimi.

$$q_p(60) = \left[1 + 7 \left(\frac{1,0}{1,0x \ln \left(\frac{60}{1} \right)} \right) \right] x \frac{1}{2} x 1,25x \left(0,19x \ln \left(\frac{60}{1} \right) x 1,0x50 \right)^2 = 2.562 \quad (4.179)$$

olarak bulunur.

4.3.10.6 Dış Basınç Katsayılarının Tayini

Dış basınç katsayıları C_{pe} Bölüm 4.3.7.3 de verilen tablolar ve şekiller yardımıyla tayin edilebilir. Bu örnek için basınç katsayıları aşağıda çizelgelere verilmiştir.

Çizelge 4.54 : Rüzgar 60 m’lik duvara dik gelmesi durumunda basınç katsayıları.

Bölge	A		B		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
0,267	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,8	+1,0	-0,5	

Çizelge 4.55 : Rüzgar 60 m’lik duvara dik gelmesi durumunda basınç katsayıları.

Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
0,213	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	

A, B, C, D, E bölgeleri Şekil 4.38 de verilmiştir.

Bu yapının çatısı düz ve parapetli olarak düşünülmektedir bu yüzden çatının basınç dağılımları ve basınç katsayıları tez içerisinde verilen Çizelge 4.41 ve Şekil 4.37 kullanılarak bölgelere için basınç katsayıları tayin edilebilir. Bu örnek için basınç katsayıları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.56 : Rüzgar 60 m’lik duvara dik eserse çatı basınç katsayıları.

Çatı Tipi		F		G		H	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Parapetli	hp/h=0,02	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2

Çizelge 4.57 : Rüzgar 30 m’lik duvara dik eserse çatı basınç katsayıları.

Çatı Tipi		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Parapetli	hp/h=0,02	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2

4.3.10.7 Yüzeylerdeki Tasarım Rüzgar Basıncı Hesabı

Tasarım rüzgar basıncı Bölüm 4.3.7.1 de verilen yöntem kullanılarak hesaplanır.

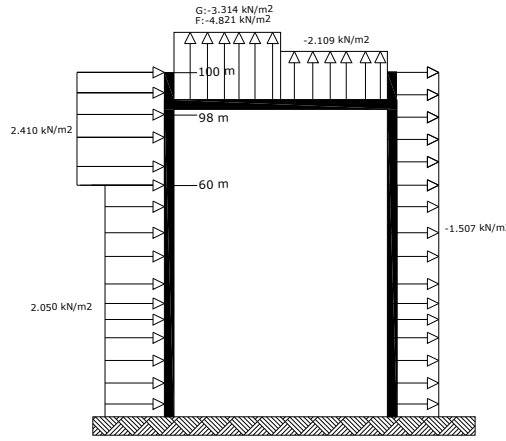
Dış yüzeylere etkiyen rüzgar basıncı aşağıda verilen Denklem 4.180 kullanılarak hesaplanır.

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe} \quad (4.180)$$

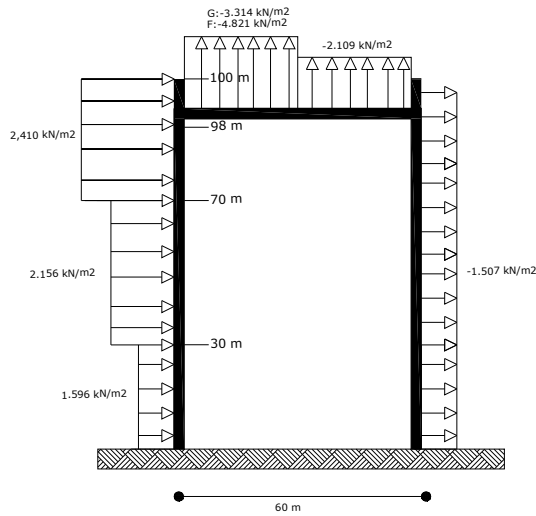
İç basınç ise Denklem 4.181 kullanılarak hesaplanır.

$$w_i = q_p(z_i)c_{pi} \quad (4.181)$$

Bu yapı için yapının dış çevresini kaplayan çeper ile ilgili herhangi bir bilgi bulunmadığından C_{pi} değeri +0,2 ve -0,3 değerlerinden en gayri müsahtit durum göz önüne alınacaktır. buna göre yüzeylerdeki rüzgar basınçları aşağıda verilen şekillerden kontrol edilebilir.



Şekil 4.82 : Rüzgar 60 m’lik duvara dik gelmesi durumunda yapı yüzeyinde oluşan dış basınçlar.



Şekil 4.83 : Rüzgar 30 m’lik duvara dik gelmesi durumunda yapı yüzeyinde oluşan dış basınçlar.

Yukarda bulunan basınçlara iç basınç etkitilmemiştir iç basınç değerleri ise $+0,602 \text{ kN/m}^2$ ve $-0,904 \text{ kN/m}^2$ değerlerinden en gayri müsaht olan iç basınç durumu etkitilir.

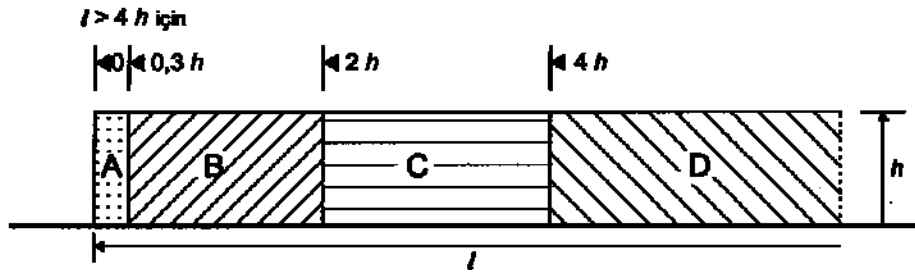
4.3.10.8 Parapet Yükünün Hesabı

Parapet üzerine gelen kuvvet aşağıda verilen denklem yardımıyla hesaplanır.

$$F_w = C_s C_d \cdot C_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.182)$$

Burada; $C_s C_d$, yapısal katsayını; C_f , kuvvet katsayısını; $q_p(z_e)$, referas yüksekliğindeki rüzgar basıncını; A_{ref} ise referans alanını göstermektedir.

Parapetler için standartta verilen basınç katsayıları $C_{p,net}$ alanlara göre dağılımı aşağıdaki şekil ve çizelgede verilmiştir.



Şekil 4.84 : Parapetler için basınç alanları (Eurocode 1).

Bu alanlar için basınç katsayıları, $C_{p,net}$ aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.58 : Parapet için basınç katsayıları, $C_{p,net}$ (Eurocode 1).

Doluluk	Bölge	A	B	C	D
$\phi = 1,0$	Dönüşlü kenar uzunluğu $\geq h^a$ olan duvarlar	2,1	1,8	1,4	1,2

Parapet duvar için referans yükseklik, $z_e = (h+h_p) = 100 \text{ m}$ olarak alınacaktır.

Buna göre; 100 m yükseklikteki hız basıncı daha önceki bölümlerde hesaplanmıştır. Bu değer $q_p(z_{100}) = 3,013 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Parapet üzerindeki basınç kuşaklarına gelen rüzgar basınçları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.59 : Alanlara gelen rüzgar basınçlarının değerleri kN/m²

Doluluk	Bölge	A	B	C	D
$q_p(z_{100})$	Dönüşlü kenar uzunluğu $\geq h^a$ olan duvarlar	6,327	5,243	4,218	3,616

Parapet için kuvvet katsayısı tez içerisinde verilen Şekil 4.50 ve Çizelge 4.48 kullanılarak hesaplanır. Buna göre rüzgar 60 m'lik duvara dik esmesi sonucu elde edilen kuvvet katsayısı; $C_f = 0,77$ olarak bulunur. Rüzgar 30 m'lik duvara dik esmesi durumunda ise $C_f = 0,74$ olarak bulunur.

Bölgeler üzerine düşen parapet yükü Denklem 4.182 de yerine yazarsak;

Rüzgar 60 m'lik duvara dik eserse;

Çizelge 4.60 : Alanlara gelen rüzgar kuvvetlerinin değerleri kN/m

Doluluk	Bölge	A	B	C	D
$q_p(z_{100})$	Dönüşlü kenar uzunluğu $\geq h^a$ olan duvarlar	9,44	8,07	6,50	5,57

Rüzgar 30 m'lik duvara dik eserse;

Çizelge 4.61 : Alanlara gelen rüzgar kuvvetlerinin değerleri kN/m

Doluluk	Bölge	A	B	C	D
$q_p(z_{100})$	Dönüşlü kenar uzunluğu $\geq h^a$ olan duvarlar	9,36	7,74	6,24	5,35

olarak bulunur.

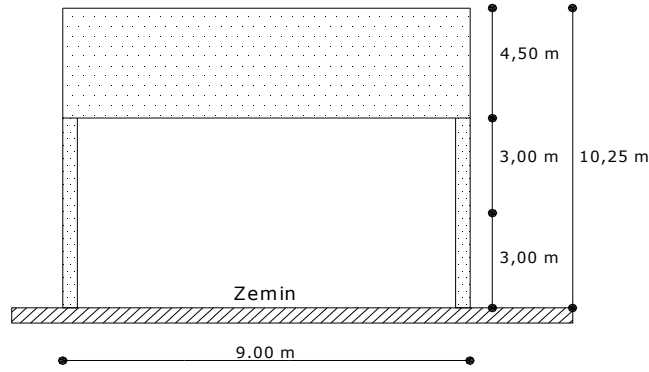
Ykuardaki hesaplarda $C_s C_d$ değeri 1,0 olarak hesaplanmıştır daha kesin sonuçlar için bu değer standartta verilen hesa yöntemi ile de hesaplanabilir fakat bu değer 1,0'a yakın bir değer olacağından hesaplanmamıştır. $C_s C_d$ için ayrıntılı hesap örneği Bölüm 4.3.11'de verilmiştir. oradan takip edilerek kesin hesap yapılması mümkündür.

4.3.11 Örnek 6



Şekil 4.85 : İşaret levhası.

4.3.11.1 Yapı ile İlgili Genel Bilgiler



Şekil 4.86 : Yapı boyutları.

Bu örnek daha önce ASCE 7-05 standartına göre yapı yüzeylerine gelen rüzgar yükleri bulunmuştu. Bu bölümde Eurocode 1-4'e göre rüzgar yükü hesabı yapılacaktır.

Rüzgar hızı $V_{b,0} = 22,35 \text{ m/sn}$

4.3.11.2 Esas Rüzgar Hızının Tayini

Esas rüzgar hızı Denklem 4.114 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} \quad (4.183)$$

Burada; C_{dir} doğrultu katsayısını gösterir. Standartta tavsiye edilen değeri 1,0'dır. C_{season} mevsim katsayısıdır ve 1,0 olarak alınacaktır. Buna göre esas rüzgar hızı değeri aşağıdaki gibi olur.

$$V_b = 1,0 \times 1,0 \times 22,35 = 22,35 \text{ m/sn} \quad (4.184)$$

4.3.11.3 Ortalama Rüzgar Hızı, V_m 'nin Hesabı

Ortalama rüzgar hızı, V_m Denklem 4.116 kullanılarak hesaplanır.

$$V_m(Z) = C_r(Z) \cdot C_o(Z) \cdot V_b \quad (4.185)$$

$C_r(z)$, arazi engebelilik katsayısını; $C_o(z)$, orografi katsayısını göstermektedir.

4.3.11.4 Arazi Engebelilik Katsayısı, $C_r(z)$ 'nin Hesabı

Arazi engebelilik katsayısı Denklem 4.111 kullanılarak hesaplanır. Bu denklem şu şekildedir.

$$C_r(Z) = k_r \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.186)$$

z_0 , engebelilik uzunluğu arazi katagorisine bağlıdır. Bu örnek için Çizelge 4.41'de arazi katagorisi IV'e denk gelmektedir. z , yapı yüksekliğidir. Bu örnek için referans yapı yüksekliği (6 m + 4,5/2 m) 8,25 m'dir. k_r , engebelilik uzunluğuna bağlı arazi katsayısıdır değeri Denklem 4.113 kullanılarak hesaplanır ve bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \quad (4.187)$$

Burada; z_0 ve $z_{0,II}$ Çizelge 4.41'den alınan engebelilik uzunluğudur. Buna göre arazi engebelilik katsayısı aşağıdaki gibi olur.

$$k_r = 0.19 \left(\frac{1,0}{1,0} \right)^{0.07} = 0,19 \quad (4.188)$$

olur.

Arazi engebелilik katsayısı Denklem 4.186'da yerine yerleştirilirse;

$$C_r(8,25m) = 0,19 \ln\left(\frac{8,25}{1,0}\right) = 0,400 \quad (4.189)$$

olarak bulunur.

Buna göre ortalama rüzgar hızı aşağıdaki gibi olur.

$$V_m(8,25m) = 0,400 \times 1,00 \times 22,35 = 8,96 \text{ m/sn} \quad (4.190)$$

4.3.11.5 Türbülans Şiddeti, $I_v(z)$ 'nin Hesabı

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_t}{c_0(z) \ln(z/z_0)} \quad (4.191)$$

$C_0(z)$ orografi katsayısıdır ve değeri 1,0'dır. z referans yüksekliğidir ve bu tip yapılar için tabelanın ağırlık merkezinin yere lan uzaklığı alınabilir. Bu örnek için değeri 8,25 m'dir. z_0 arazi engebелilik uzunluğudur ve değeri Çizelge 4.41'den 0,03'tür.

Buna göre türbülans şiddeti aşağıdaki gibi olur.

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \times \ln(8,25/1,0)} = 0,474 \quad (4.192)$$

4.3.11.6 Tepe Rüzar Basıncı, $q_p(z)$ 'nin Hesabı

Tepe rüzgar basıncı Denklem 4.122 kullanılacaktır.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho V_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (4.193)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \times 0,474] \frac{1}{2} \times 1,25 \times 8,96^2 = 0,217 \quad (4.194)$$

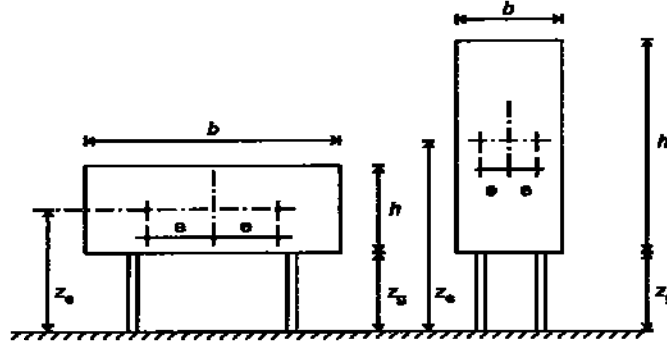
4.3.11.7 İşaret Levhası Üzerine Gelen Rüzgar Kuvveti, F_w 'nin Hesabı

İşaret levhası üzerine gelen rüzgar yükü hesabı için daha önce verilen Denklem 4.136 kullanılır. Bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$F_w = C_s C_d \cdot C_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.195)$$

Bu denklemde; $C_s C_d$ yapısal katsayıyı, C_f kuvvet katsayısını A_{ref} ise referans alanı vermektedir.

Kuvvet katsayısı için standartta zeminden ölçülen referans z_g yüksekliği $h/4$ 'ten daha büyük olan direkli işaret levhaları için kuvvet katsayısı, C_f 'in değeri 1,80 olarak verilmiştir. Referans alan olan $A_{ref} = b.h$ olarak verilmiştir bu parametreler aşağıda verilen Şekil 4.77 de verilmiştir.



Şekil 4.87 : İşaret levhası boyutlarının gösterimi.

4.3.11.8 Yapısal Katsayı $C_s C_d$ 'nin Hesabı

Yapısal katsayı daha önce verilen Denklem 4.141 kullanılarak hesaplanır.

$$c_s c_d = \frac{1 + 2.k_p . I_v(z_s) . \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \quad (4.196)$$

Bu denklemde; k_p yapının tepkisinin değişim gösteren bölümündeki en yüksek değer in standart sapmasına oranı olarak tanımlanan tepe katsayısını, B^2 yapı yüzeyindeki basıncın tam korelasyonunun eksikliğine izin veren katsayısını, R^2 türbülansın titreşim moduyla rezonansına izin veren rezonans tepki katsayısını göstermektedir.

4.3.11.9 Rüzgar Türbülans Uzunluğu $L(z)$ 'nin Hesabı

Türbülans uzunluğu aşağıda verilen Denklem 4.197 kullanılarak hesaplanır.

$$L(z) = L_t \left[\frac{z}{z_t} \right]^\alpha \quad (4.197)$$

Bu denklemde referans yüksekliği $z_t = 200$ m, referans uzunluk ölçüsü $L_t = 300$ m ve $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$ 'dir.

Buna göre türbülans uzunluğu aşağıdaki gibi olur.

$$L(z) = 300 \left[\frac{8,25}{200} \right]^{0,610} = 42,934 \text{ m} \quad (4.198)$$

Rüzgar frekansları üzerindeki rüzgar dağılımı aşağıda verilen Denklem 4.199 kullanılarak belirlenmiş boyutsuz güç spektral yoğunluk fonksiyonu $S_L(z,n)$ dikkate alınara ifade edilebilir.

$$S_L(z,n) = \frac{6,8 f_L(z,n)}{(1+10,2 \cdot f_L(z,n))^{5/3}} \quad (4.199)$$

Bu Denklemden $f_L(z,n)$ yapının Hz birimli doğal frekansdır ve aşağıda verilen Denklem 4.200 kullanılarak hesaplanır.

$$f_L(z,n) = \frac{n \cdot L(z)}{V_m(z)} \quad (4.200)$$

n yapının 1. doğal titreşiminin frekansdır. Bu örnek için değeri 0,70 Hz olarak alınmıştır.

$$f_L(z,n) = \frac{0,70 \times 42,134}{14,07} = 2,10 \text{ Hz} \quad (4.201)$$

olarak bulunur. Denklem 4.201’de bulunan değer Denklem 4.199 de yerine yazılırsa;

$$S_L(z,n) = \frac{6,8 \times 2,10}{(1+10,2 \times 2,10)^{5/3}} = 0.08 \quad (4.202)$$

elde edilir.

Bir temel mod şekli için aerodinamik kabul fonksiyonları R_h ve R_b aşağıda verilen Denklem 4.203 ve Denklem 4.204 kullanılarak hesaplanır.

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}) \quad (4.203)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}) \quad (4.204)$$

Bu denklemlerde η_h η_b aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$\eta_h = \frac{4,6h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (4.205)$$

$$\eta_h = \frac{4,6.10,50}{42,934} x 2,10 = 2,362 \quad (4.206)$$

$$\eta_b = \frac{4,6b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (4.207)$$

$$\eta_h = \frac{4,6.9}{42,934} x 2,10 = 2,025 \quad (4.208)$$

Bulunan bu η_h , η_b değerleri Denklem 4.203 ve 4.204'de yerine yazılırsa;

$$R_h = \frac{1}{2,362} - \frac{1}{2(2,362)^2} (1 - e^{-2(2,362)}) = 0,335 \quad (4.209)$$

$$R_b = \frac{1}{2,025} - \frac{1}{2(2,025)^2} (1 - e^{-2(2,025)}) = 0,374 \quad (4.210)$$

olarak bulunur.

Rezonans tepki katsayısı R^2 aşağıda verilen Denklem 4.211 kullanılarak hesaplanır.

$$R^2 = \frac{\Pi^2}{2\delta} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \quad (4.211)$$

Yukardaki Denklemtte δ sönümlenmenin toplam logaritmik azalımını, R_h ve R_b ise Denklem 4.209 ve Denklem 4.210 kullanılarak hesaplanan değerlerdir.

Sönümlerin logaritmik azalımı 0,05 alınarak hesaplara devam edilmiştir.

$$R^2 = \frac{\Pi^2}{2x0,05} 0,08x0,335x0,374 = 0,989 \quad (4.212)$$

tepki katsayısı B^2 aşağıda verilen Denklem 4.213 kullanılarak hesaplanır.

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (4.213)$$

Bu denlemde b ve h yapı boyutlarını, $L(z_s)$ Denklem 4.163 de hesaplanan türbülansın uzunluğunu göstermektedir. Buna göre;

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left(\frac{10,5+9}{42,934} \right)^{0,63}} = 0,646 \quad (4.214)$$

olarak elde edilir.

Üst geçiş frekansı v aşağıda verilen Denklem 4.215 kullanılarak hesaplanır.

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad (4.215)$$

Bu denklemde $n_{1,x}$ yapının birinci doğal frekansdır ve değeri 0,70 Hz olarak alınmıştır. R rezonans tepki sayısını, B ise geri plan tepki sayısını göstermektedir.

$$v = 0,70x \sqrt{\frac{0,989}{0,646 + 0,989}} = 0,54 \quad (4.216)$$

Tepe katsayısı k_p Denklem 4.216 kullanılarak hesaplanır.

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \quad (4.217)$$

Bu denklemde v üst geçiş frekansını, T ise ortalama rüzgar için ortalama süreyi ($T=600$ saniye) göstermektedir.

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(0,54x600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0,54x600)}} = 3,58 \quad (4.218)$$

Tepe katsayısı, k_p 'nin değeri 3'ten büyük olduğunda değeri 3 alınır.

Yapısal katsayı $C_s C_d$ daha önce verilen Denklem 4.196 de yukarıda bulunan tepe katsayısı yazılırsa;

$$c_s c_d = \frac{1 + 2x3x0,474x\sqrt{0,646 + 0,989}}{1 + 7x0,474} = 1,073 \quad (4.219)$$

Yapı üzerine gelen rüzgar kuvveti Denklem 4.195 kullanarak;

$$F_w = 1,074x1,80x0,217x9 = 3,775 \text{ kN/m} \quad (4.220)$$

olarak bulunur. Denklem 4.186'da bulunan sonuç reklam panosunun ağırlık merkezine gelen rüzgar kuvvetidir. Taşıyıcı elemanlara gelen rüzgar kuvveti için 6 m yükseklikteki rüzgar basıncı hesaplanacaktır.

6 m yükseklikli taşıyıcı elemana gelen rüzgar kuvveti Denklem 4.221 deki gibi olur.

$$q_{p(6m)} = \left[1 + 7x \frac{1}{\ln\left(\frac{6,00}{1,00}\right)} \right] x \frac{1}{2} x 1,25 x 22,35^2$$

$$x \left[0,19x \ln\left(\frac{1,00}{1,00}\right)^{0,07} x 1,00x \ln\left(\frac{6,00}{1,00}\right) \right]^2 = 0,178 kN / m^2$$
(4.221)

olarak bulunur.

4.3.11.10 Taşıyıcı eleman için kuvvet katsayısı, C_f Belirlenmesi

Bölüm 4.3.2.8 de anlatılan keskin kenarlı kesitleri olan yapı elemanları için kuvvet katsayısı aşağıda verilen deklemler yardımıyla bulunur. Bu örnekteki yapı elemanlarının boyutu 20x20x2 kutu taşıyıcı olarak verilmiştir.

$$C_f = C_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$
(4.222)

Burada Ψ_λ uç tesir katsayısıdır ve değeri Çizelge 4.48 ve Şekil 4.53 de verilen grafik yardımıyla değeri bulunur. Bu örnek için $\Psi_\lambda = 0,90$ 'dır. $C_{f,0}$ dikdörtgen kesitler için kuvvet katsayısıdır. Değeri Şekil 4.48 de verilen grafik kullanılacaktır. Bu örnek için $d/b = 1$ ise $C_{f,0} = 2,1$ olarak alınır. Ψ_r serbest uç akımı olan elemanlar için uç tesir katsayısıdır. Değeri keskin kenarlı yapının elemanı için 1,0'dır.

Yukarıda bulunan değerler Denklem 4.221 de yerine yazılırsa;

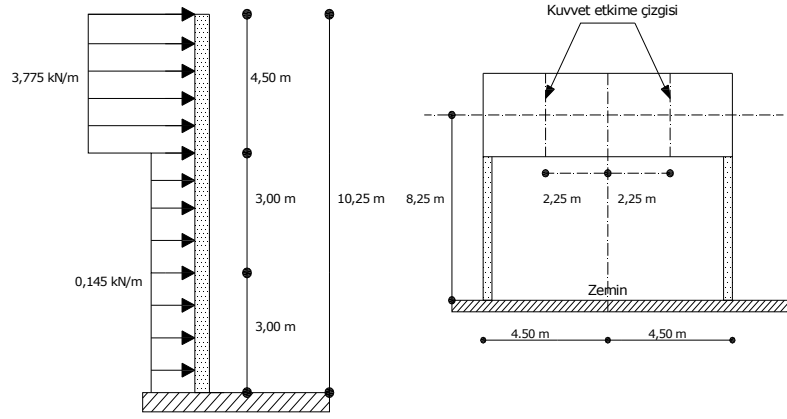
$$C_f = 2,1 x 1,0 x 0,90 = 1,89$$
(4.223)

olarak bulunur.

Yapı elemanı üzerine gelen rüzgar kuvveti Denklem 4.195'de yerine yazılırsa;

$$F_w = 1,074 x 1,89 x 0,178 x 0,20 = 0,072 kN/m$$
(4.224)

elde edilir. Bu yapı için iki taşıyıcı eleman olduğundan $2 x 0,072 = 0,144 kN/m$ olarak bulunur. Bulunan değerler aşağıda Şekil 4.88'de verilmiştir.



Şekil 4.88 : Yapı üzerine gelen rüzgar kuvvetleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde yapıların maruz kaldığı rüzgar yüklerinin hesaplanması için dünyada yaygın olarak kullanılan iki yönetmelik, ASCE 7-05 Bölüm 6 ve Eurocode 1 Bölüm 1-4'ün hesap yöntemleri ve kriterleri incelenmiştir. Bu iki yönetmelik kullanılarak hem rijit bir yapı hemde esnek bir yapı üzerine gelen rüzgar yükleri hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar bu bölümde karşılaştırılacaktır.

5.1 Kullanılan Standartlar

5.1.1 ASCE 7-05 Rüzgar Basıncı Hesap Akışı

Çizelge 5.1 : ASCE 7-05 için hesap aşamaları.

Parametre	Referans
Hızın tepe değere ulaştığı rüzgar basıncı, q_p	Bölüm 4.2.3.1
Topoğrafya katsayısı, K_{zt}	Bölüm 4.2.3.4
Referans yükseklik, z_e ve z_h	
Doğrultu katsayısı, K_d	Bölüm 4.2.3.5
Önem katsayısı, I	Bölüm 4.2.3.3
Maruz kalma katsayıları, K_z	Bölüm 4.2.3.2
Tasarım basıncı, q	Bölüm 4.2.5.1
Fırtına Faktörü, G	Bölüm 4.2.5.2
İç basınç katsayısı, GC_{pi}	Çizelge 4.7
Dış basınç katsayısı, C_p	Bölüm 4.2.5.3
Kaplama ve bileşenler için rüzgar basıncı hesabı	
Dış basınç katsayısı, GC_p	Bölüm 4.2.5.4
Tasarım kuvveti hesabı, F	Bölüm 4.2.6
Kuvvet katsayıları, C_f	Bölüm 4.2.6.1

5.1.1.1 Eurocode 1 Rüzgar Basıncı Hesap Akışı

Çizelge 5.2 : Eurocode için hesap akışı

Parametre	Referans
Hızın tepe değere ulaştığı rüzgar basıncı, q_p	
Esas rüzgar hızı, v_b	Bölüm 4.3.5.3
Referans yükseklik, z_e	
Karakteristik tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı q_p	Bölüm 4.3.6.4
Türbülansın Şiddeti I_v	Bölüm 4.3.6.5
Ortalama rüzgar hızı v_m	Bölüm 4.3.6
Orografi katsayısı, $C_o(z)$	Bölüm 4.3.5
Engebelilik katsayısı, $C_r(z)$	Bölüm 4.3.5.2
Rüzgar basıncı (sabitlenme elemanları ve kaplamalar için)	
Dış basınç katsayısı, C_{pe}	Bölüm 4.3.7.2
İç basınç katsayısı, C_{pi}	Bölüm 4.3.7.10
Net basınç katsayısı, $C_{p,net}$	
Dış rüzgar basıncı : $W_e = q_p C_{pe}$	Bölüm 4.3.7.1
Yapıya etkiyen rüzgar basıncı (Bütün rüzgar tesirleri için)	
Yapısal katsayı, $C_s C_d$	Bölüm 4.3.7.13
Kuvvet katsayıları ile hesaplanan rüzgar kuvveti, F_w	Bölüm 4.3.7.12
Basınç katsayıları ile hesaplanan rüzgar kuvveti, F_w	Bölüm 4.3.7.12

5.1.2 Örnek Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde ASCE 7-05 ve Eurocode 1 kullanılarak çözülen örneklerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda bu örnekler bizim ülkemizde yaygın olarak kullanılan yük yönetmeliği TS 498'e göre hesaplanarak sonuçları diğer yönetmeliklerde bulunan sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

5.1.2.1 Örnek 1 İçin Sonuçların Karşılaştırılması

ASCE 7-05 hem iç basınç olması durumu hemde dış basınç oluşması durumu için ayrı ayrı hesap yapmayı önermektedir. ASCE 7-05’de rüzgar estiği doğrultuda üç ayrı basınç bölgesi, yan duvarlarda tek basınç bölgesi, çatıda ise üç ayrı basınç bölgesi oluşturduğunu varsaymaktadır.

Eurocode 1’de ise; duvarlarda oluşan basınçlar ASCE 7-05’de önerilenin tam aksi basınç dağılımlılarının olduğunu söylemektedir. Eurocode 1’e göre rüzgarın estiği istikamette tek basınç kuşağı, yan duvarlarda üç basınç kuşağının oluştuğunu varsaymaktadır. Bu yüzden duvarlarda bulunan basınçları tam olarak karşılaştırılması mümkün değildir fakat duvarlarda oluşan maksimum basınçlar rakamsal olarak birbirine yakın olduğu söylenebilir.

İç basınç Eurocode 1’de ASCE 7-05’e göre daha etkin rol oynamaktadır. Eurocode 1’de iç basınç katsayıları hem büyük hemde iç basınç hesabında kullanılan referans yüksekliği ASCE 7-05’de alınan referans yüksekliğinden fazladır.

Duvarlarda oluşan basınç dağılımlarının farklı olması beraberinde dış basınç katsayılarının da farklı olmasına neden olmaktadır, bundan dolayı yan duvarlarda meydana gelen emme basınçlarında birbirinden oldukça farklıdır.

Her iki yönetmelikte çatıyı üç ayrı alanda incelemiştir. Hem basınç bölgelerinin alanları hemde basınçlar birbirinden farklıdır.

5.1.2.2 Örnek 2 İçin Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması

Örnek 2 100 m yüksekliğinde bir yapı üzerine gelen rüzgar yüklerinin ve çatı parapeti üzerine gelen rüzgar yüklerinin hesap aşamalarını içermektedir.

ASCE 7-05 yüksekliği fazla olan yapılar için rüzgarın estiği doğrultuda daha fazla basınç kuşağının hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Örnek 2 için yapılan hesapta altı farklı yükseklik için hesap yapılmıştır. Bu basınç kuşakları tercihe göre Maruz kalma katsayıları göz önüne alınarak Çizelge 4.4 kullanılarak hesap yapmak mümkün olmaktadır. Bunun yanı sıra istenilen yükseklikte Çizelge 4.4’de lineer interpolasyon yapılarakta hesap yapma imkanı sunmaktadır. Yapı üzerine gelen rüzgar basınçları Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’ten takip etmek mümkündür. Rüzgarın estiği doğrultuya göre yapı üzerinde ortaya çıkan maksimum dış basınç $1,448 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur. Bununla beraber, çatıda maksimum basınç $1,882 \text{ kN/m}^2$ olarak

hesaplanmıştır. Parapet üzerine gelen rüzgar kuvveti ise basınç durumunda 6,523 kN/m, emme durumunda ise -3,986 kN/m olarak hesaplanmıştır.

Eurocode 1-4 rüzgarın estiği doğrultuya dik olan duvarda 3 farklı basınç kuşağı oluşturmaya izin vermektedir. Basınç kuşaklarının tahmini standart kullanıcısına bırakılmamıştır. Bu örnek için bulunan sonuçlar Şekil 4.82 ve Şekil 4.83'den takip edilebilir. Buna göre bulunan maksimum rüzgar basıncı duvarlarda 2,401 kN/m² olarak bulunmaktadır. Çatıda ise bulunan maksimum dış basınç 4,280 kN/m²'dir. Parapet üzerine gelen rüzgar yükü ise 9,36 kN/m olmaktadır. Genel olarak Eurocode 1-4'e göre bulunan sonuçlar ASCE 7-05'e göre bulunan sonuçlardan daha fazladır.

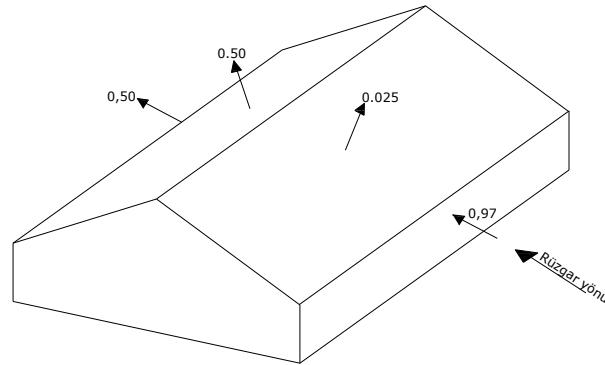
5.1.2.3 Örnek 3 İçin Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması

Örnek 3 rijit olmayan bir yapı için her iki standart kullanılarak hesap sonuçların içermektedir. Her iki yönetmelik için bulunan sonuçlar birbirine yakın olmaktadır. Bunun esas sebebi yapı yüksekliğinin az olmasıdır. Bununla beraber ASCE 7-05'de kullanılan Fırtına faktörü, G'nin hesap yöntemi ile Eurocode 1'de kullanılan yapısal katsayının hem hesaplanan değerlerinin yakınlığı hemde hesap yönteminin birkaç farklılık dışında bire bir aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu tip yapılar için her iki yönetmelik kullanılarak hesap yapmak uygun olabilir.

5.1.3 TS 498

5.1.3.1 TS 498'e Göre Örnek 1 Hesap Sonuçları

Aynı örnekler TS 498 kullanılarak çözülmüştür. bu bölümde sadece bulunan sonuçlar üzerinden değerlendirme yapılacaktır.

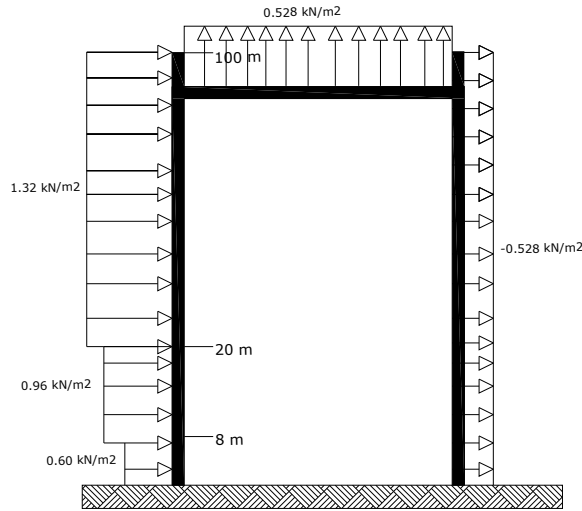


Şekil 5.1 : Rüzgar çatı sırtına dik gelmesi sonucu yapı yüzeylerinde oluşan rüzgar basınçları.

Şekil 5.1'den de anlaşılacağı üzere yapı üzerine gelen rüzgar basınçları diğer yönetmeliklerde bulunan sonuçlara nazaran daha düşük ve aynı zamanda basınç kuşaklarını belirleme yönünden daha yetersiz kalmaktadır. Çatı üzerine gelen rüzgar basıncı hemen hemen sıfır değerine yakındır.

5.1.3.2 TS 498'e Göre Örnek 2'nin Çözümü

Yüksekliği 100 olan yapı üzerine gelen rüzgar yükleri TS 498 kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.



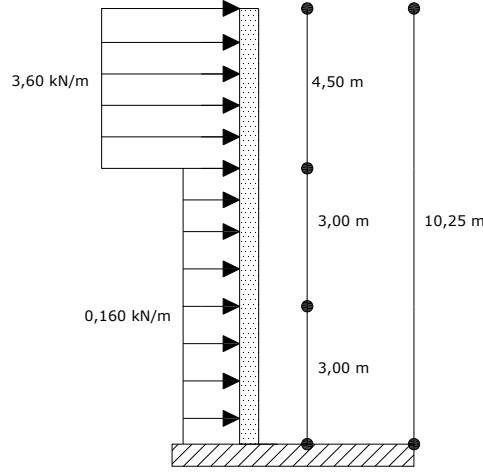
Şekil 5.2 : Yapı üzerine gelen rüzgar basınçları.

Yapı TS 498'de verilen zeminden yüksekliğe göre değişen rüzgar basınçları kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.2'de verilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere diğer yönetmelikler kullanılarak hesaplanan sonuçlardan farklıdır. Bulunan değerler diğer yönetmeliklere nazaran daha küçüktür. Bununla beraber TS 498'de çatıda bulunan ve yapı bileşeni olan parapet üzerine gelen rüzgar yükleri için ayrıca bir hesap yöntemi önermemektedir.

5.1.3.3 TS 498'e Göre Örnek 3'ün Çözümü

Diğer yapılar için çözülen rijit olmayan yapı örneği TS 498 kullanılarak bulunan sonuçlar aşağıda verilen Şekil 5.2'den takip edilebilir.



Şekil 5.3 : Yapı üzerine gelen rüzgar yükleri.

Yukardaki şekilden de takip edileceği üzere yapı üzerine gelen yükler diğer iki yönetmeliğe göre bulunan sonuçlara yakındır. Fakat hesap içerisinde rüzgar türbülansı ve yapı elemanı boyutlandırılmasında kullanılacak kuvvet katsayıları bu yönetmelik içerisinde yoktur, yani bilbord yapısının boyutları büyümesi durumunda bu standart kullanılarak hesaplanması durumunda uygun sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamayacaktır.

5.2 Sonuç ve Öneriler

Tezden de anlaşılabacağı üzere ASCE 7-05 Eurocode 1'e göre kullanılması daha kolay ve pratiktir. ASCE 7-05'de katsayılar ve önemli görülen notlar çizelgeler ve şekillerle desteklenmiş ve formül kalabalığından arındırılmıştır. Rüzgar basınç hesapları rüzgarın yaklaştığı yönde oluşturduğu basınç aralıkları daha önemle incelenmiştir. İç basınç etkileri ASCE 7-05'de hem kullanılan katsayılar hemde referans yüksekliğindeki basıncın az olması nedeniyle, Eurocode 1'e nazaran daha küçük sonuçlar vermektedir. ASCE 7-05 de kullanılan etkili fırtına faktörü Eurocode 1 de rüzgar kuvvetleri hesabında kullanılan yapısal katsayı $C_s C_d$ aynı hesap yöntemi ile bulunmaktadır. Fakat ASCE 7-05 de etkili fırtına faktörü G hem duvarlara ve çatıya gelen basınç hemde kuvvet hesaplarında kullanılırken; Eurocode 1'de ise sadece kuvvet hesabı içerisinde kullanılmaktadır. Eurocode 1'de duvarlara ve çatıya gelen rüzgar basınçlarında türbülans şiddeti fırtına faktörüymüş gibi kullanılmaktadır.

TS 498 kullanılarak yapılan hesaplarda ise;

- Hesap yöntemi bütün yapı tipleri için aynı olmaktadır fakat rüzgar yükleme dinamik bir yükleme olması nedeniyle yapı rijitliğine bağlı bir durumdur. Bu yönetmeliğin önerdiği yöntemde yapı rijitliği göz önüne alınmamıştır.
- Yapı üzerlerine etkiyen rüzgar yükleri hesabında aynı zamanda yapı içerisinde olması muhtemel olan iç basınç etkileri TS 498’de göz önüne alınmamıştır. Fakat bir fırtına esnasında sadece dış tesirler değil aynı zamanda iç tesirlerinde göz önüne alınması gerekir. Kapı ve pencere gibi cephede olan açıklıkların fırtına esnasında kırılması ve bu durumunla beraber yapı içerisine doğru olabilecek hava akımının etkileri göz önüne alınmamıştır.
- Rüzgarın etkime doğrultusuna bağlı olarak yan duvarlarda oluşan rüzgar basıncı ile ilgili bilgi içermemektedir.
- Arazi engebелiliği ve arazi orografisi rüzgar hızı üzerindeki etkileri bu yönetmelikte gözönüne alınmamıştır.
- Rüzgar hızı tanımı için gerekli bilgiler içermemektedir.
- Türbülansın rüzgar hızı üzerindeki etkileri göz önüne alınmamıştır.
- Yapı elemanlarının tasarımı ile ilgili bir hesap yöntemi önermemektedir aynı zamanda yapı elemanları tasarımı için gerekli olan yapısal katsayılar bu yönetmelik içerisinde bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Aslan, Z., Şanlı, A. K., Uzgider E., Güler, K. & Dilmaç, Ş.,** 1991. Türkiye’de rüzgar yükünün istatistikel 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 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.
- Delahey, J.M., Mehta, K.C.,** 2004. Guide to the use of the wind load provisions ASCE 7-02. *American Society of Civil Engineer*. Reston, Virginia.
- Eurocode 1,** 2004. Actions on structures/general actions, part 1-4: wind actions, *CEN/TC 250*, Management Centre, Brusesels.
- Holmes, J.D.,** 2003: Wind Loading on Structures, SPON PRES, New Fetter Lane, London.
- TS 498,** 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara.
- Url-1** <http://astronomi.ege.edu.tr/~pekunlu_Book_Bookpdf>, alındığı tarih 15.03.2010.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Özgün Onur POLAT

Doğum Yeri ve Tarihi: Yozgat, 17/02/1985

Adres: İstanbul Teknik Üniversitesi

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi