



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ÇELİK ENDÜSTRİ YAPILARININ FARKLI
RÜZGAR YÜKÜ YÖNETMELİKLERİNE
GÖRE ANALİZİ

Nuh DEMİRÖZKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz
2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nuh DEMİRÖZKAN tarafından hazırlanan “Çelik Endüstri Yapılarının Farklı Rüzgar Yüğü Yönetmeliklerine göre Analizi” adlı tez çalışması 05/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

.....

Danışman

Doç. Dr. Günnur YAVUZ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented by academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Nuh DEMİRÖZKAN

05.07.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK ENDÜSTRİ YAPILARININ FARKLI RÜZGAR YÜKÜ YÖNETMELİKLERİNE GÖRE ANALİZİ

Nuh DEMİRÖZKAN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği
Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Günnur YAVUZ

2023, 199 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Günnur YAVUZ
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ
Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN

Rüzgarların oluşturduğu yük etkileri pek çok ülkede yapıların tasarım aşamalarında önemli role sahiptir. Yapılara etki eden rüzgar yüklerinin belirlenmesinde çeşitli yönetmeliklerin referans alınması pratik ve ekonomik olan çözümler sağlamaktadır. Her bir yapı tipinde azami rüzgar yüklerine göre tasarım yapılması, gerçekçi olmayan ve ekonomik açıdan maliyetli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Yapı türleri ve yer aldıkları bölgeler, rüzgar yüklerinin hesaplanmasında önemli kriterleri oluştururlar. Bu çalışma kapsamında farklı arazi koşulları dikkate alınarak, ASCE/SEI 7-16 (2016) “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”, EN 1991-1-4 (2005) “Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions ve TS-498 (2021) “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” yönetmeliklerinde belirtilen rüzgar yüklerinin hesap yöntemleri detaylı olarak incelenip merkezi çelik çaprazlı çerçeve kullanılarak tasarlanmış farklı endüstriyel yapı modelleri için analiz gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki farklı çelik endüstri yapısı modelinde, söz konusu standartlara göre rüzgar yükleri hesaplanmıştır. Belirlenen rüzgar yüklerinin değerleri ve rüzgar etki bölgeleri yapı modelleri üzerinde ve çizelgelerde gösterilmiş ve elde edilen bu yüklerin karşılaştırmaları yapılmıştır. SAP2000 yapısal analiz programında endüstriyel çelik yapı örnekleri modellenip, hesaplanan rüzgar yükleri dikkate alınarak yapı analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE) 2018 yönetmeliğinde tanımlanan Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yaklaşımı ile elde edilen kesit kapasite oranları, seçilen kesitler ve her iki yapı modelinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çelik endüstri yapısı, rüzgar yükü, merkezi çelik çapraz, arazi kategorisi

ABSTRACT

MS THESIS

ANALYSIS OF STEEL INDUSTRIAL BUILDINGS ACCORDING TO DIFFERENT WIND LOAD REGULATIONS

Nuh DEMİRÖZKAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Günnur YAVUZ

2023, 199 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Günnur YAVUZ
Assist. Prof. Dr. Ali Serdar ECEMİŞ
Assist. Prof. Dr. Gamze DOĞAN**

The load effects caused by winds have an important role in the design stages of structures in many countries. The reference of various regulations in determining the wind loads affecting the structures provides practical and economical solutions. Designing each type of structure according to the maximum wind loads results in unrealistic and economically costly results. The types of structures and the regions in which they are located constitute important criteria for calculating wind loads. Within the scope of this study, taking into account different terrain conditions, ASCE/SEI 7-16 (2016) "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures", EN 1991-1-4 (2005) "Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions, TS-498 (2021) "Design Loads for Buildings" regulations were examined in detail and the results obtained by analyzing for different industrial building models designed using concentric steel bracing were compared. In the two different industrial steel building models, wind loads were calculated according to these standards. The determined wind load values and wind effect regions were shown in building models and tables, and comparisons of these obtained loads were made. In the SAP2000 structural analysis program, industrial steel building models were modeled and structural analyses were performed taking into account the determined wind loads. As a result of the analyzes, the cross-sectional capacity ratios obtained by the design approach with the Load and Resistant Factor Design (LRFD) defined in the Specification for the Design, Calculation and Construction of Steel Structures (SDCCSS 2018), cross sections and results obtained from both building models were compared.

Keywords: Steel industrial building, wind load, concentric steel bracing, terrain category

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışması süreci boyunca yardımlarını esirgemeyen, mesleki ve akademik bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, herhangi bir sorunda çözüme ulaşabilme konusunda yardımcı olan kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Günnur YAVUZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Öğrencilik dönemim ve meslek hayatım boyunca bana yol gösteren, desteklerini benden hiç esirgemeyen dedem İnş. Müh. Muzaffer KÜÇÜKSARI'ya ve hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nuh DEMİRÖZKAN
KONYA - 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Rüzgarın Tanımı.....	1
1.2. Rüzgar Türleri.....	2
1.2.1. Sürekli rüzgarlar	3
1.2.2. Mevsimlik (Muson) rüzgarlar	4
1.2.3. Yerel (lokal) rüzgarlar	4
1.3. Rüzgar Hızı.....	5
1.3.1. Rüzgar hızına etki eden faktörler	6
1.4. Rüzgar Etkileri.....	7
1.5. Vorteks Titreşimleri.....	9
1.6. Rüzgar Kuyruğu Etkileri	9
1.7. Rüzgar Tüneli Deneyleri	10
1.8. Rüzgarların Düşük Yüksekliğe Sahip Yapılarda Oluşturduğu Etkiler	11
1.8.1. Rüzgarın yapı çevresindeki akışı.....	12
1.8.2. Basınç dağılımını etkileyen faktörler.....	13
1.9. Rüzgar Yüğü Tesirlerinde Uygulanabilecek Tasarım Yöntemleri	13
1.9.1. Aerodinamik tasarım metotları.....	13
1.9.2. Yapısal tasarım metotları.....	14
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	16

3. ASCE 7-16 YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE RÜZGAR YÜKLERİNİN	
BELİRLENMESİ	19
3.1. Temel Rüzgar Hızı	24
3.2. Rüzgar Doğrultu Katsayısı, K_d	25
3.3. Maruz Kalma Kategorisi	25
3.4. Topoğrafik Faktör, K_{zt}	26
3.5. Zemin Yükselti Katsayısı, K_e	28
3.6. Rüzgar Basıncı Maruz Kalma Katsayısı, K_h ve K_z	29
3.7. Hız Basıncı	30
3.8. Fırtına Etkisi Faktörü	31
3.8.1. Rijit binalar ve diğer yapı türleri için fırtına etki faktörü hesabı	31
3.8.2. Esnek veya dinamik olarak hassas binalar veya diğer yapılar	32
3.9. İç Basınç Katsayıları, GC_{pi}	33
3.10. Dış Basınç Katsayıları, C_p	34
3.11. Rüzgar Kuvveti Ana Taşıyıcı Sistemi (MWFRS) için Rüzgar Yüğü Hesabı	35
3.12. Rüzgar Kuvveti Ana Taşıyıcı Sistemi (MWFRS) için Alternatif Hesap	
Yöntemi	36
3.13. Yapılarda Rüzgar Yüklerinin (MWFRS) için Hesabı (Zarf Prosedürü)	37
3.13.1. Rüzgar kuvveti ana taşıyıcı sistemi (MWFRS) analitik yöntem	37
3.13.2. Rüzgar kuvveti ana taşıyıcı sistemi (MWFRS) basitleştirilmiş yöntem	39
3.14. Kaplama Elemanları ve Bileşenleri (C&C) için Rüzgar Basınç Hesabı	41
4. EUROCODE 1-4 YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE RÜZGAR YÜKLERİNİN	
BELİRLENMESİ	43
4.1. Esas Rüzgar Hızı	43
4.2. Ortalama Rüzgar Hızı	44
4.3. Arazi Engebeliliği	44

4.4. Arazi Orografisi	46
4.5. Rüzgar Türbülansı.....	50
4.6. Tepe Hız Kaynaklı Rüzgar Basıncı.....	50
4.7. Yüzeylerdeki Rüzgar Basıncı	51
4.8. Rüzgar Kuvvetleri.....	52
4.9. Basınç Katsayıları	54
4.10. Düz Yapıya Sahip Çatılar İçin Dış Basınç Katsayıları.....	59
4.11. Tek Eğimli Çatılar	61
4.12. Çift Eğimli Çatılar.....	64
4.13. İç Basınç Katsayısı.....	66
5. ENDÜSTRİYEL ÇELİK YAPI MODELLERİ İÇİN RÜZGAR YÜKLERİNİN ..	
HESAPLANMASI.....	69
5.1. Yapı Modeli – 1.....	69
5.1.1. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre çözüm	70
5.1.2. Rüzgar hız basıncı	70
5.1.3. Fırtına etkisi faktörü	71
5.1.4. Basınç ve kuvvet katsayıları.....	71
5.1.5. Rüzgar basınçlarının hesaplanması	73
5.1.6. Farklı yüzey engebelilik kategorisi için çözüm.....	78
5.1.7. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre çözüm	80
5.1.8. Yapının düşey duvarlarına etki eden rüzgar yükleri	81
5.1.9. Çatılar için basınç katsayılarının belirlenmesi	83
5.1.10. Basınç katsayılarının gösterimi	86
5.1.11. Yüzeylere etki eden rüzgar basınçlarının hesaplanması	90
5.1.12. Farklı arazi kategorisi için çözüm	93
5.2. Yapı Modeli – 2.....	96

5.2.1. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre çözüm	97
5.2.2. Rüzgar hız basıncı	97
5.2.3. Fırtına etkisi faktörü	98
5.2.4. Basınç ve kuvvet katsayıları.....	98
5.2.5. Rüzgar basınçlarının hesaplanması	100
5.2.6. Farklı yüzey engebelilik kategorisi için çözüm.....	106
5.2.7. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre çözüm	107
5.2.8. Yapının düşey duvarlarına etki eden rüzgar yükleri	108
5.2.9. Çatı için basınç katsayılarının belirlenmesi	110
5.2.10. Basınç katsayılarının gösterimi	113
5.2.11. Yüzeylere etki eden rüzgar basınçlarının hesaplanması	118
5.2.12. Farklı arazi kategorisi için çözüm	121
5.3. Yapı Modelleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması	125
5.4. TS 498 Yönetmeliğine Göre Rüzgar Hesabı	135
5.4.1. Emme (Hız Basıncı)	135
5.4.2. Rüzgar basıncı	136
5.4.3. Yapı modeli - 1 için TS 498 yönetmeliğine göre çözümü.....	137
5.4.4. Yapı örneği-2 için TS 498 yönetmeliğine göre çözümü	138
5.5. Üç Yönetmeliğe Göre Belirlenen Rüzgar Yükü Değerlerinin İki Boyutlu	
Sistem Üzerinde Karşılaştırılması	138
6. ÇELİK ENDÜSTRİ YAPI MODELİ ÖRNEKLERİNİN SİSTEM TASARIMI ...	
VE ANALİZİ	144
7. SONUÇLAR	194
KAYNAKLAR.....	196

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C_{dir}	: Yön katsayısı
$c_e(z)$	: Maruz kalma katsayısı
C_p	: Basınç katsayısı
C_r	: Engebelilik katsayısı
C_o	: Orografi katsayısı
C_s	: Boyut katsayısı
C_{season}	: Mevsim katsayısı
d	: Yapının derinliği (rüzgar yönüne paralel doğrultudaki yüzey uzunluğu)
e	: Bir kuvvetin dış merkezliği veya kenar mesafesi
GC_{pi}	: İç basınç katsayıları
h	: Yapı yüksekliği
I_v	: Türbülans şiddeti
K_d	: Rüzgar doğrultu faktörü
K_e	: Zemin yükselti katsayısı
K_z	: Rüzgar basıncı maruz kalma katsayısı
K_{zt}	: Topoğrafik faktör
L	: Yapının yatay uzunluğu
L_h	: Tepenin veya kayalığın yüksekliğinin yarısı kadar olduğu yer ile tepenin, rüzgara karşı olan uzaklığı
q_b	: Referans ortalama (esas) hız kaynaklı rüzgar basıncı
q_p	: Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı
v_m	: Ortalama rüzgar hızı
$v_{b,0}$	: Esas rüzgar hızının temel değeri
v_b	: Esas rüzgar hızı
w	: Rüzgar basıncı
z	: Yer seviyesinden yükseklik
z_o	: Engebelilik uzunluğu
z_e, z_i	: Dış rüzgar etkisi için referans yükseklik, iç basınç
$z_{en\ büyük}$	: En büyük yükseklik
$z_{en\ küçük}$	: En düşük yükseklik
σ_v	: Türbülansın standart sapması

Kısaltmalar

ASCE :	Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu
B&CK :	Bileşenler ve Cephe Kaplaması
C&C :	Components and Cladding
ÇYTHYE :	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları
MWFRS :	Main Wind Force Resisting System
RKATS :	Rüzgar Kuvveti Ana Taşıyıcı Sistemi
TBDY :	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS :	Türk Standartları
YDKT :	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım



1. GİRİŞ

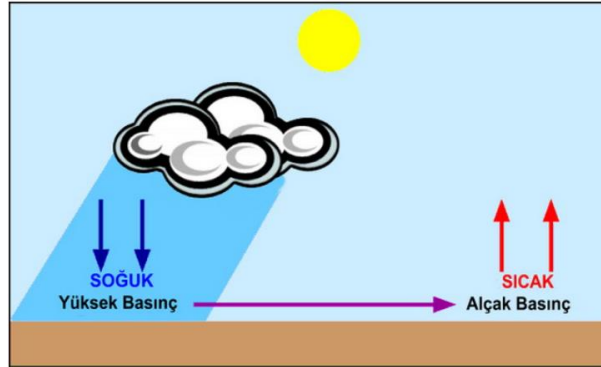
Rüzgar etkileri, yapıların tasarımında hesaba katılması gereken en önemli yük parametrelerinden biridir. Binalar, endüstriyel sanayi yapıları, yüksek katlı yapılar, kuleler ve köprüler gibi neredeyse bütün yapılar, atmosfer tabakası içerisinde bulunmaktadır. Kasırga, siklon, fırtına ve tayfun gibi oluşumlar sonucu rüzgar basıncı, yapıların bütün yüzeylerine doğrudan tesir etmektedir. Rüzgarın yapılar üstünde oluşturduğu etkiler rüzgarın hızına, yapının zeminden yüksekliğine, mimarisine ve çevresinde bulunan yapıların konumlarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Yüksek şiddet seviyelerine ulaşabilen rüzgarlar, çevrede bulunan yapıları da etkileyebilecek artış gösteren bir rüzgar yükü etkisi oluşturmaktadır. Oluşan bu yük, o bölgede bulunan mühendislik yapılarında tahribat oluşturma ve bu yapıların kullanılmaz hale gelmesi ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, yüksek hızlı rüzgarların oluşturduğu rüzgar basınçları, yapı tasarım aşamasında mutlaka dikkate alınmalı ve yapılar bu etkilere karşı dayanıklı olarak tasarlanmalıdır.

Bu tez çalışmasında, farklı arazi koşulları göz önüne alınarak, ASCE/SEI 7-2016 “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”, Eurocode 1-4 (2005) “Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions, TS 498 (2021) “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” yönetmeliklerinde belirtilen rüzgâr yüklerinin hesap yöntemleri detaylı olarak incelenip farklı merkezi çelik çaprazlı endüstriyel yapı modellerine etkiyen rüzgar yükleri belirlenmiştir. Yönetmeliklere göre belirlenen rüzgar yükleri göz önüne alınarak X, diyagonal ve ters V merkezi çelik çaprazlı çerçeve kullanılarak tasarlanmış iki farklı endüstriyel yapı modeli için SAP2000 programında analiz gerçekleştirilmiş ve kesit kapasite kullanım oranları belirlenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1.1. Rüzgarın Tanımı

Basıncın yüksek olduğu alanlardan basıncın düşük olduğu alanlara doğru yatay doğrultulu oluşan hava hareketlerine rüzgar adı verilmektedir. Rüzgarların ortaya çıkma nedeni, bölgeler arasında oluşan basınç farkından kaynaklanmaktadır (Şekil 1.1). İki

bölge arasında oluşan basınç farkı değeri arttıkça hava akım hızı da o miktarda fazla olmaktadır. İki bölge arasındaki basınç farkının eşitlendiği durumda rüzgarı oluşturan hava hareketi de sonlanmaktadır (URL 1).



Şekil 1.1. Rüzgar oluşumu (URL 1)

Rüzgarlar; kuzey, güney, doğu ve batı olarak dört ana yön, kuzeydoğu (poyraz), kuzeybatı (karayel), güneydoğu (keşişleme) ve güneybatı (lodos) olmak üzere dört ara yön olarak ifade edilmektedir (Şekil 1.2).



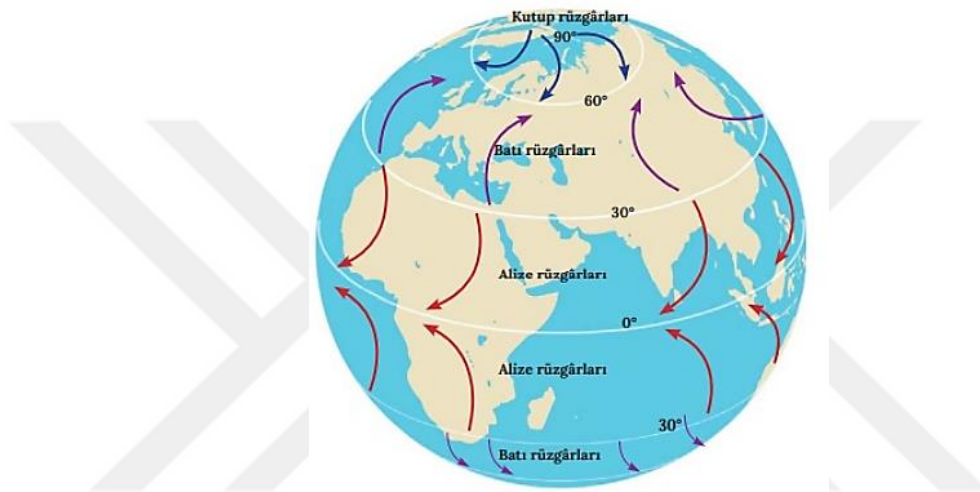
Şekil 1.2. Ülkemizde esen rüzgarlar ve yönleri (URL 2)

1.2. Rüzgar Türleri

Rüzgarlar; etki alanları, doğrultu ve tekrar sıklığı açısından sürekli, mevsimlik ve yerel rüzgarlar olarak üç gruba ayrılmaktadır.

1.2.1. Sürekli rüzgarlar

Sürekli rüzgarlar, sürekli basınç merkezleri arasında bütün yıl aynı doğrultuda etki gösterirler. Etki ettikleri kara parçalarının kıyı bölgelerine sıklıkla yağış bırakır ve okyanus akıntılarının yönlerini etkilerler. Sürekli rüzgarlar, dünyanın günlük hareketinin etkisiyle beraber kuzey yarımkürede hareket ettikleri yönün sağına, güney yarımkürede hareket ettikleri yönün soluna saparlar. Sürekli rüzgarlar; alize, batı ve kutup rüzgarları olarak üç gruba ayrılmaktadırlar (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Sürekli rüzgarlar (URL 3)

Coriolis etkisi sebebiyle rüzgarlar, eş basınç bölgelerinde yaklaşık olarak 10° açı ile paralel ve alçak basınca yakın şekilde eserler (Şekil 1.4). Yerkürenin oluşturduğu sürtünme etkileri neticesinde rüzgarlar alçak yüksekliklerde daha yavaş etki gösterirken coriolis kuvveti de daha zayıf olmaktadır. Bu durum neticesinde rüzgarın eş basınç bölgelerinde oluşturduğu açı değeri denizlerde yaklaşık 20° , karalarda ise 30° 'ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 1.4. Coriolis etkisi (URL 4)

1.2.2. Mevsimlik (Muson) rüzgarlar

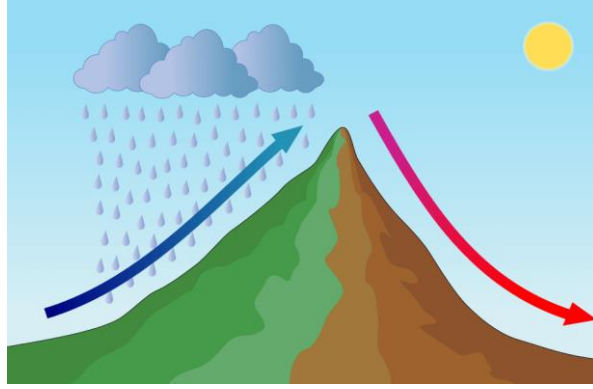
Mevsimlik (muson) rüzgarları, kış ve yaz dönemlerinde denizler ile karalar arasında oluşan ters doğrultudaki rüzgarlar olarak tanımlanmaktadır. Atmosfer basıncında ters doğrultuda değişimler oluşması ve bölgedeki basınç alanları arasında ciddi farklılık olması durumunda oluşan bu rüzgarlar en bilindik haliyle Güneydoğu Asya bölgesinde görülmektedir (Şekil 1.5). Yıl içerisinde Hint Okyanusu ile Asya Kıtası'nda farklı sıcaklık değerlerine bağlı olarak meydana gelirler. Yaz döneminde kara parçalarına doğru, kış döneminde ise denizlere doğru esmektedir (URL 5).

1.2.3. Yerel (lokal) rüzgarlar

Yerel (lokal) rüzgar türlerinin bir bölümü genel hava akımına bağlı rüzgarların lokal olarak birtakım değişimlere uğraması sonucunda oluşmaktadır. Diğer bazı yerel rüzgarlar ise tamamen bölgesel basınç farklılıkları neticesinde ortaya çıkmaktadır (URL 5). Örnek olarak Akdeniz çevresindeki yerel rüzgar oluşumları Şekil 1.6'da görülmektedir. Şekil 1.7'de Akdeniz ve Karadeniz kıyılarında görülen Fön rüzgarlarının oluşumu görülmektedir (URL 6).



Şekil 1.6. Akdeniz çevresindeki yerel rüzgarlar (URL 5)



Şekil 1.7. Akdeniz ve Karadeniz kıyılarında görülen Föhn rüzgarlarının oluşumu (URL 6)

1.3. Rüzgar Hızı

Rüzgar hızı, daimi olarak atmosferdeki havanın hareketi olarak ifade edilmektedir. Ancak iç ortamdaki hava hareketinin hızı; meteoroloji alanında, havacılık ile denizcilik sektörlerinde ve yapı mühendisliği alanında önem arz etmektedir. Yüksek rüzgar hızları istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Kuvvetli rüzgarlar genellikle tayfunlar ve kasırgalar gibi isimlerle ifade edilmektedir. Rüzgar hızları anemometre adı verilen bir cihaz yardımıyla ölçülmektedir (Şekil 1.8, Gürses, 2012).



Şekil 1.8. Rüzgar hızını ölçmede kullanılan anemometre cihazı (URL 7)

1.3.1. Rüzgar hızına etki eden faktörler

Rüzgar hızına etki eden faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Gürses, 2012):

Bu faktörlerden ilki, ortamlar arasında ölçülen basınç farklarıdır. İki ortam arasındaki basınç farkı değerinin fazla olması durumunda rüzgar hızı da fazla olmaktadır. Basınç farkının az olması durumunda rüzgar hızı yavaşlamakta, iki ortam arasındaki basınç farkının olmaması halinde ise rüzgarın etkisi tamamen ortadan kalmaktadır.

Basınç merkezleri arasındaki uzaklıklar da rüzgar hızını etkileyen bir başka faktördür. Aynı değerde basınç farklılıklarına sahip, farklı uzaklıklardaki noktalar arasında etki gösteren rüzgarların hızları da farklılık göstermektedir. Birbirine yakın olan noktalarda farklı eşdeğer basınç yüzeyi eğimlerinden dolayı rüzgar hızı yüksektir. Birbirinden uzakta bulunan noktalarda ise eşdeğer basınç yüzeyi eğimleri arasındaki farkların düşük olmasından ötürü rüzgarın hızı da düşük olmaktadır.

Dünyanın dönüş hareketi, rüzgar hızını azaltan bir etki göstermektedir. Rüzgarlar dünyanın 24 saatlik hareketinin etkisi ile esiş yönlerinden saparlar. Bu sebeple rüzgarların basınç farklarını izlemeyip eş basınç yüzeylerine paralel bir doğrultuda esmelerinden ötürü hızları azalış göstermektedir.

Yeryüzü şekilleri, rüzgarın hızını etkileyen bir başka faktördür. Yeryüzünün engebeli ve dağlık arazi bölgelerinde sürtünme kuvveti etkisi ile hızı yavaşlayan rüzgarlar, düz alanlarda sürtünme kuvveti etkisi azaldığından dolayı hız artışı göstererek, düz ve açık arazilerde yüksek hız ile esmektedir.

Rüzgarların esme yönleri, bulundukları yere göre belirlenmekte ve etkisini gösteren rüzgar hangi doğrultudan esiyorsa o doğrultuya göre isimlendirilmektedir. Rüzgar yönü, yerkürenin 24 saatlik hareketine, basınç merkezlerinin konumuna ve yer şekillerine bağlı olarak değişim göstermektedir.

Rüzgarın esme sıklığı (frekansı) bir diğer faktördür. Rüzgarların tekrar sayısına rüzgar frekansı adı verilmektedir. Esen rüzgarın hangi doğrultudan, ne kadar süreyle ve kaç kez tekrar ettiği de dikkate alınarak rüzgar esme sıklığı belirlenmektedir.

1.4. Rüzgar Etkileri

Rüzgar etkisi, yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli bir doğa olayıdır. Şiddetli rüzgarlar nedeniyle oluşan yapısal yük etkilerinin yapılarda belirgin şekilde hasarlar oluşturmamasından dolayı bu yüklerin önemi anlaşılmıştır. Fakat rüzgar ile yapıların davranışları arasında genellikle doğrudan bir bağlantı olmadığından daha düşük şiddete sahip meltemler gibi mutedil rüzgarların neden oldukları diğer etkilere dikkat edilmemektedir.

Rüzgar etkileri zamana bağlı olarak farklılık göstermekte ve kapalı yapıların dış yüzeylerine direkt basınç olarak etkimesinin yanında yapıların dış yüzeyindeki gözenekler sebebiyle iç yüzeylere de etki etmektedir. Bu etkiler, dış cephe açıklıklı yapılarda iç yüzeylere direkt etki edebilmektedir. Basınç etkileri, yapıların ya da cephe elemanlarının yüzey alanlarına dik kuvvetler oluşturmaktadır (Gürses, 2012).

Rüzgar kaynaklı etkiler; yapı geometrisi ve yapının boyutlarına, yapı ağırlığı ve yapının rijitliğine, yapıların sönmüleme oranlarına ve bulundukları bölge dikkate alınarak maruz kalma kategorilerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Şekil 1.9, 1.10, 1.11 ve 1.12’de rüzgar etkisinden dolayı hasar meydana gelen çelik yapı örnekleri görülmektedir.



Şekil 1.9. Bursa’da lodosta devrilen bir kule vincin görünümü (URL 8)



Şekil 1.10. Yapım aşamasında rüzgardan dolayı göçmüş bir çelik yapı (URL 9)



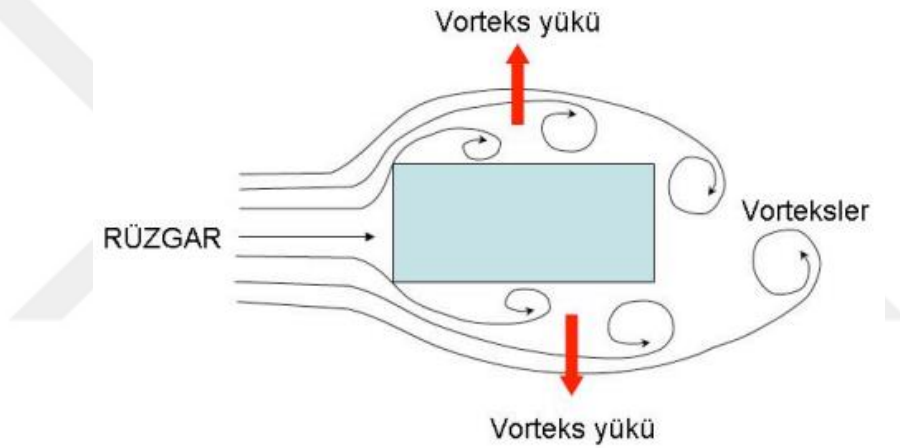
Şekil 1.11. İstanbul'da şiddetli rüzgardan dolayı çöken bir çelik çatı (URL 10)



Şekil 1.12. Kırklareli'nde bir halı sahanın, fırtına nedeniyle çelik konstrüksiyonlarında görülen hasar (URL 11)

1.5. Vorteks Titreşimleri

Rüzgarların oluşturduğu hava akımları, yapıların yan yüzlerine temas ederken Şekil 1.13'te görüldüğü üzere vorteks etkileri oluşmaktadır. Vorteksler farklı şekillerde (önce bir yan yüzde, sonra başka bir yan yüzde) oluştuklarından ortaya çıkan değişken yük etkileri de farklı yönlü olmakta ve rüzgar akışına dik doğrultuda etki etmektedirler. Vorteks yükleri çok belirgin ve dar bir frekans aralığında etki ettiği için sinüzoidal bir yük şeklinde ifade edilebilirler. Vorteks titreşimlerinin frekansı, yapının rüzgara dik doğrultudaki doğal frekans değerine yakın ise yüksek yapılarda bu doğrultuda daha büyük genlikli titreşimler oluşabilmektedir. Vorteks titreşimleri rezonant tipi titreşimler oldukları için, genlikleri çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir (URL 13).



Şekil 1.13. Vorteks titreşimlerinin oluşumu (URL12)

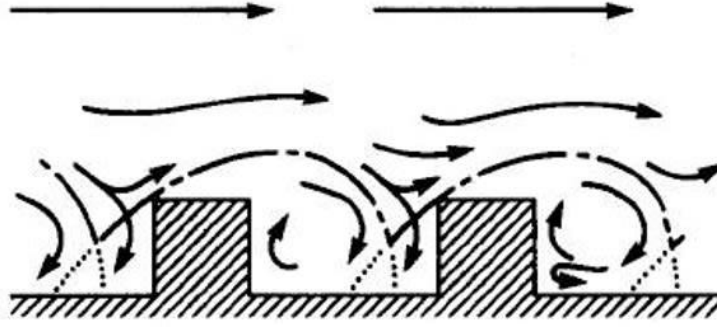
1.6. Rüzgar Kuyruğu Etkileri

Yükseklik değerinin genişlik değerine oranı 4 veya 4'ten büyük olan ve diğer bir yüksek yapının arkasında konumlanan yüksek yapılar, önlerinde bulunan yapının rüzgar akışında oluşturduğu etkiler sebebiyle fazladan türbülans etkilerine maruz kalmaktadırlar. Bu etkiler, rüzgar kuyruğu etkileri (wake buffeting) olarak isimlendirilmektedir (Şekil 1.14). Rüzgar kuyruğu etkileri aşağıdaki koşullardan biri sağlandığı durumda ihmal edilebilir (URL 13):

- İki yapı arasındaki mesafenin, önde konumlanan yapının rüzgara dik yöndeki genişlik değerinin 25 katından daha fazla olması durumunda,

- Arkada konumlanmış yapının doğal frekansının 1.0 Hz'den daha yüksek olması durumunda rüzgar kuyruğu etkileri göz ardı edilebilmektedir.

Aykırı durumlarda rüzgar kuyruğu etkileri hesaba katılmalıdır. Rüzgar tüneli deneyleri ile gerekli çözümler üretilebilmektedir.



Şekil 1.14. Yapılar arasında oluşan rüzgar kuyruğu etkileri (URL 13)

1.7. Rüzgar Tüneli Deneyleri

Mimari yapısı, teknik detayları veya bulunduğu konumu sebebiyle standart dışı yüksek yapıların rüzgar etkilerine karşı davranışlarının tespit edilebilmesi amacıyla genellikle rüzgar tüneli deneyleri gerekmektedir (Şekil 1.15). Rüzgar tüneli deneyi yapılması gereken yapı tipi örnekleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (URL 13):

- Yüksekliği fazla ve asimetrik şekle sahip yapılar.
- Esnekliği yüksek yapılar (frekans değeri 1.0 Hz'den düşük yapılar).
- Vorteks titreşimleri, kuyruk etkileri ve buna benzer stabilite sorunlarına maruz kalabilecek yapılar.
- Statik yapı sistemine ve yapı eleman bileşenlerine gelen rüzgar etkilerinin hesaplanmasında hassasiyet gerektiren yapılar.

Aşağıda belirtilen koşulların, rüzgar tüneli deneylerinde sağlanması gereklidir:

- Rüzgar tüneli, yapının konumlandığı alandaki atmosfer sınır tabakasını, yani rüzgar hızı değerinin yüksekliğe bağlı olarak gösterdiği değişimi modelleyebilmelidir.
- Türbülans değerinin azami ve asgari ölçekteki uzunluklarının tüneldeki modellemeye de sağlanması gerekmektedir.

- Yapının çevresinde bulunan diğer yapıların ve bölgenin topoğrafyasının, geometrik açıdan gerçeğe yakın biçimde modellenmesi gerekmektedir.
- Modellenen yapının ve çevrede bulunan yapıların rüzgar doğrultusundaki etki alanının toplam tünel alanının %8'inden fazla olmaması gerekmektedir.
- Deney esnasında kullanılan ölçüm cihazlarının belirlenen değerler için gereken özelliklerde ve hassasiyette olması gerekmektedir.
- Rüzgar yüklerinin yanında yapının dinamik davranış hareketi de ölçülecekse, kütle, rijitlik, sönüm gibi dinamik davranıştaki değişkenler, oluşturulan modelde gerçekçi olarak temsil edilmelidir.



Şekil 1.15. Rüzgar tüneli deney seti (URL14)

1.8. Rüzgarların Düşük Yüksekliğe Sahip Yapılarda Oluşturduğu Etkiler

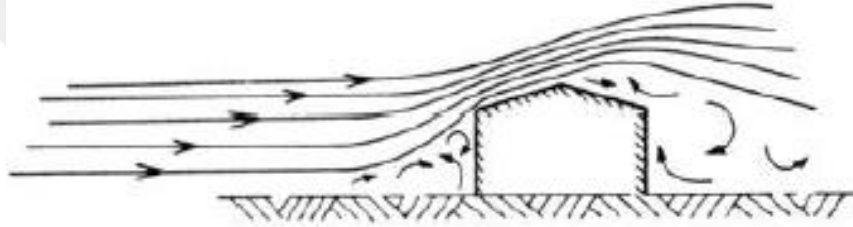
Yapılar üzerinde oluşan basınç ve çekme dağılımları, bir yapının hava akımını nasıl böldüğüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Rüzgarların serbest duvarlar gibi basit yapılara çarpması durumunda, duvara paralel oluşan akış çizgileri ayrılarak duvar kenar alanlarından geçmeye zorlanmaktadır. Rüzgar hızının büyüklüğü ve yönü bu karşılaşmadan dolayı değişikliğe uğramakta ve basınç dağılımında da değişimler oluşturmaktadır.

Oluşan basınç etkileri genel olarak çatı veya duvar yüzeyi boyunca sabit dağılmamaktadır. Fakat tasarım aşamasını kolaylaştırmak adına belirli bir yüzey için ortalama bir katsayı belirlenmektedir. Bu katsayı değeri, alan ve temel basınç değerleriyle çarpılarak yüzeyde oluşan kuvvetler toplamı hesaplanmaktadır. Serbest

duvar yüzeyinde oluşan net kuvvet değeri, rüzgar alan bölgedeki basınç değeriyle, rüzgar almayan bölgedeki çekme değerinin toplamına eşittir. Bunlara bağlı olarak, bir yapının dış duvarı için, duvarda oluşan net basınç değeri, yapının içinde ve dışında oluşan basınç değerlerinin farkı olacaktır (Gürses, 2012).

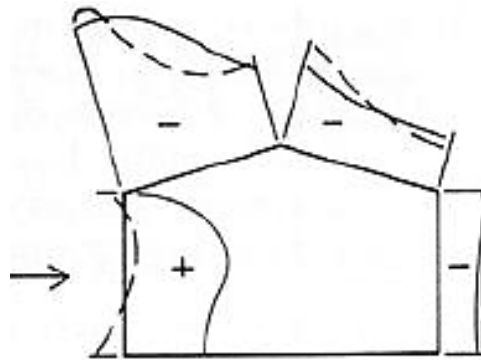
1.8.1. Rüzgarın yapı çevresindeki akışı

Düşük eğimli veya düz çatılı yapılarda, rüzgar etkisine maruz kalan bölge, basınç etkisine maruz kalmaktadır (Şekil 1.16). Bu durumun oluşma sebebi akış çizgilerinin rüzgarın etkidiği yöndeki kenar bölgelerine tutunamayıp, rüzgar ve bina arasında açıklıkların oluşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.16. Basit bir bina etrafındaki akış çizgileri (Gürses, 2012)

Şekil 1.17’de çatı eğimi az olan tek katlı bir yapı üzerinde oluşan basınç dağılımlarının bir kesiti görülmektedir. Bu kesitte, basınç etkilerinin düzgün dağılmadığı ve bazı bölümlerde oluşan çekme etkisi değerlerinin ortalamaların çok üzerinde olduğu görülmektedir (Gürses, 2012).



Şekil 1.17. Düşük eğimli çatıya sahip bir yapıda rüzgar basınçlarının dağılımları (Gürses, 2012)

1.8.2. Basınç dağılımını etkileyen faktörler

Basınç dağılımını etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Gürses, 2012):

Bina Geometrisi: Yapılara etki eden basınçlar, yapılarda oluşan şekil değişikliklerine bağlı olarak hassas bir şekilde farklılık gösterirler. Örnek olarak, çatıların rüzgar etkisine maruz kalan tarafında oluşan emme değerleri, çatının eğim açısıyla ve yapının kısa kenarı ile uzun kenarının oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Açıklıklar: Yapılarda bulunan boşluklu bölgelerin konumu ve boyutu, çatı ve duvarlardaki net kuvvetin belirlenmesinde göz önünde bulundurulmuş iç basınç değerlerinin hesaplanmasında önem arz etmektedir.

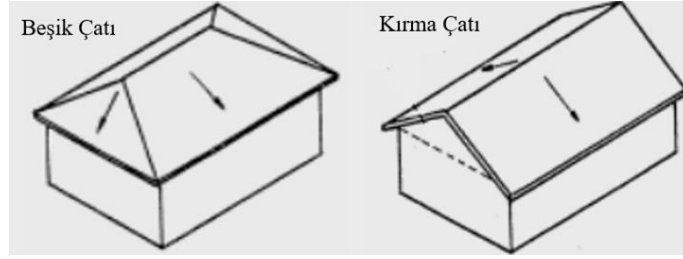
Rüzgar Yönü: Bir yapının rüzgara göre konumu, basınç dağılımlarını önemli oranda etkilemektedir. Bu etkiler genellikle çatıların kenar bölgelerinde oluşan çekme değerlerinin maksimum olduğu yerlerde görülmektedir.

1.9. Rüzgar Yüğü Tesirlerinde Uygulanabilecek Tasarım Yöntemleri

Rüzgarın yapılarda oluşturduğu yük etkilerini en aza indirmek amacıyla aerodinamik tasarım ve yapısal tasarım metotları kullanılmaktadır.

1.9.1. Aerodinamik tasarım metotları

Rüzgar yükleri, yapıların yüksekliklerine bağlı olmaksızın mimari tasarımdan etkilenirler. Bir yapının uygun aerodinamik tasarıma sahip olması, rüzgar yükü etkilerinin azalmasını sağlamakta ve yapının rüzgar etkilerine karşı dayanıklılığını arttırmaktadır. Örnek olarak, Şekil 1.18’de gösterilen beşik çatı uygulaması yerine kırmalı çatı uygulamasının tercih edilmesi sonucunda, yapıların çatı bölgelerinde oluşan çekme kuvveti değerlerinde azalmalar meydana geldiği gözlenmektedir (Özlek, 2015).



Şekil 1.18. Kıрма ve beşik çatı örneği

1.9.2. Yapısal tasarım metotları

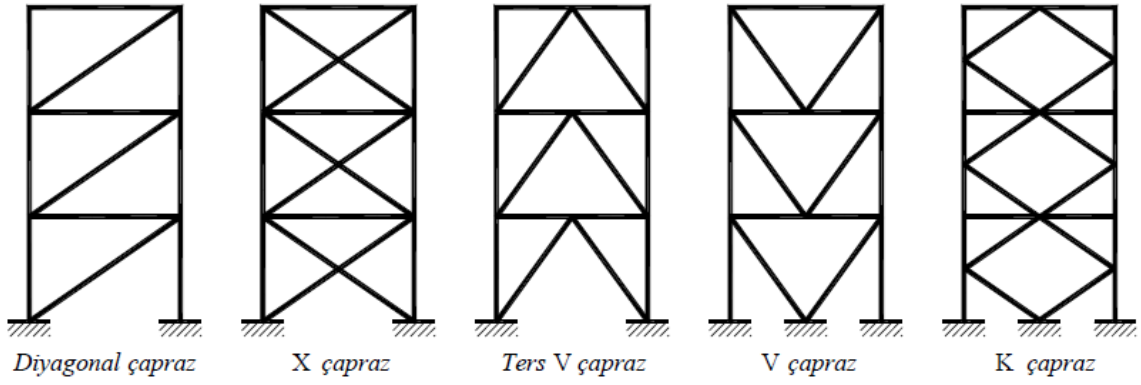
Bütün yapı sistemleri, rüzgar etkisinden oluşan yatay kuvvetlere ve kaldırma kuvvetlerine karşı yeterli dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu kuvvetlerden hangisinin baskın olduğu yapı tipine göre değişmektedir. Örnek olarak yüksekliği az, çatı alanı büyük olan yapılarda, yapının kaldırma kuvvetine karşı dayanım göstermesi ve bağlantı bölgelerinin bu etkileri yapıya ve yapıdan temele doğru direkt yük aktarımını sağlayacak şekilde detaylandırılması gerekmektedir. Yüksek yapılarda ise temelin yatay yüklere karşı yeterli dayanımının olması ve yapının devrilme etkisinin önlenmesi istenmektedir (Özlek, 2015).

Yapılarda yatay yük etkilerine karşı tercih edilen yapısal tasarım metotlarından biri perde duvarların kullanımınıdır. Perde duvarlar, betonarme yapılarda sıkça kullanılan, yapısal olarak rijit elemanlardır. Perde duvarların kullanım amacı, yapıya etki eden yatay kuvvetlere karşı dayanım göstermesi ve katlar arası yatay yer değiştirmeyi engellemektir. Perde duvarlarda boşluk miktarlarının az olmasına ve tüm katlarda devamlılığına dikkat edilmelidir.

Çelik yapı sistemlerinde ise yatay yük etkilerini karşılamak amacıyla çelik çaprazlı perde elemanları, çelik levha perdeler veya betonarme perde duvarlar kullanılabilir. Çelik yapı çaprazları, çelik çerçeve içerisine değişik şekillerde bağlanabilirler.

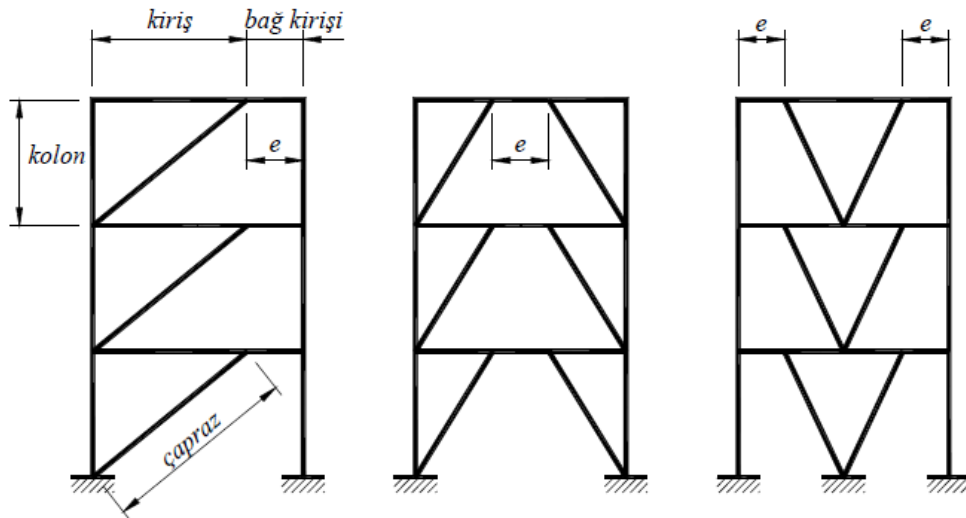
Çelik çapraz elemanlar, yatay yükleri (deprem veya rüzgar) karşılamak için kullanılan taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Çelik çaprazların yatay yük taşıma kapasiteleri çapraz elemanların eksenel kuvvet dayanımlarıyla sağlanmaktadır. Yatay yükler, diyagonal elemanlara eksenel kuvvet şeklinde etki eder.

Çaprazlı çelik çerçeveler, mafsallı birleşimlerden oluşan ya da moment aktaran çerçeveler aracılığıyla bu çerçevelere, merkezi çaprazlar (Şekil 1.19), dışmerkez çaprazlar (Şekil 1.20) veya burkulması önlenmiş çelik çaprazların kullanılmasıyla oluşturulan yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Çelik çaprazlı sistemlerde yatay yük taşıma kapasiteleri, eğilme dayanımlarının yanı sıra, genellikle bu elemanların eksenel kuvvet dayanımlarıyla karşılanmaktadır. Çelik çaprazlı çerçeve sistemler, çaprazların konumlanmalarına bağlı olarak iki grup halinde incelenmektedirler (TBDY, 2018).



Şekil 1.19. Merkezi çelik çaprazlı çerçeveler (TBDY, 2018)

Merkezi çelik çaprazlı çelik çerçeveler boyutlandırılırken tasarım, süneklik düzeyi sınırlı ya da süneklik düzeyi yüksek olacak şekilde yapılabilmektedir. Ancak, çelik çaprazların dışmerkez olması durumunda dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler boyutlandırılırken tasarım, süneklik düzeyi yüksek olacak şekilde yapılacaktır (TBDY 2018).



Şekil 1.20. Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeveler (TBDY, 2018)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Davenport (1960), farklı yükseltilerde kayıt altına alınmış rüzgar değerlerini kullanarak rüzgar spektrum yoğunluk fonksiyonunu elde etmiş ve yoğunluk fonksiyonunu ifade eden bir bağıntı geliştirmiştir. Zaman içerisinde rüzgarlarla ilgili bilinen detayların artması ve teknolojik imkanların gelişmesiyle beraber bu konuda araştırma alanları rüzgar tünellerine doğru kaymış ve bu deney ile rüzgar etkileri daha hassas olarak hesaplanabilmiştir.

Kjewski-Correa ve ark. (2006), yüksek binaların tasarımlarının yalnızca analitik ve ölçekli modellere, temel mekanığe ve yılların araştırma ve deneyimine dayanmasına rağmen, henüz tam ölçekte sistematik olarak doğrulanamadan inşa edilmiş yapılar olduğunu belirtmişlerdir. Bu ihtiyaca yanıt olarak bir tasarım firması ve ticari bir rüzgar tüneli test laboratuvarının ortak çabalarıyla, temsili yüksek binaların tam ölçekli tepkisini izlemek ve bunu rüzgardan tahmin edilen tepkiyle karşılaştırmak için bir program başlatarak tasarımda yaygın olarak kullanılan tüneller ve sonlu eleman modelleri oluşturmuşlardır. Bu çalışma programının bir parçası olarak, yerinde periyotlar ve bir dizi tepki genliği üzerindeki sönümlleme oranlarını da değerlendirerek çıkarımlarda bulunmuşlardır.

Alıcıoğlu (2011), yaptığı çalışmada merkezi çelik çaprazlı perde türleri için ekonomik kesit geometrisini incelemiştir. Bu çaprazlı perde türlerinde aynı kesit alanına sahip olacak şekilde daire, kare, I, dikdörtgen ve T kesitler kullanılmış ve en iyi yapı performansının saptanması ile en ekonomik kesit geometrisi belirlenmiştir. Kesit geometrisi ve perde düzenleri, yapı elastik sınır durumu ve plastik sınır durumu olarak ele alınmıştır. İncelenen çerçeve tiplerinde her bir perde türü için tespit edilmiş beş farklı kesit geometrisi analiz edilmiştir.

Gürses (2012), rüzgar etkilerinin zamana bağlı olarak değişiklik gösterdiğini belirtmiş ve kapalı yapıların dış yüzeylerine direkt basınç olarak etki ettiklerini ve yapı dış yüzeylerinin gözenekliliği sebebiyle iç yüzeylerine de kısmen etki ettiğinden bahsetmiştir. Oluşan etkilerin, ayrıca dış cephe açıklıklı yapılarda da iç yüzeylere direkt etki edebileceğini söylemiştir.

Özlek (2015), çalışmasında rüzgar yüklerinin, yapıların maruz kalabileceği en önemli yük gruplarından biri olduğunu ifade etmiştir. Yapılara etki eden rüzgar yükü

etkilerinin belirlenmesinde yönetmeliklerin kullanılmasının önemli kolaylıklar ve ekonomik çözümler sağladığını belirtmiştir. Her bir yapı tipi için en elverişsiz rüzgar yükü değerine göre tasarım yapmanın, ekonomik olmayan çözümler oluşturacağından söz etmiştir. Bu nedenle yapı türleri ve bulundukları topoğrafyalar için rüzgar yükünün hesaplanmasının önemli parametre değerleri ve optimum çözümler üreteceğinden ötürü dikkate alınması gereken önemli bir husus olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, ASCE 7-10 (2010), Eurocode 1-4 (2004) ve TS 498 (1997) yönetmeliklerinde belirtilen rüzgar yüklerinin hesap yöntemleri incelenmiş, yüksek katlı ve tek katlı yapı tipleri için rüzgar yükleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Özalp (2018), çalışmasında değişken rüzgar hızlarına bağlı olarak moment dayanımlı çerçeveler ile çapraz elemanlara sahip çerçevelerin kırılma eğrilerini kıyaslayarak çapraz eleman kullanmanın yapı performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bunun için öncelikle çerçeve elemanlarının boyutlarını belirlemiş ve kesit hesaplarında AISC yönetmeliğini kullanmıştır. İncelenen çerçeve elemanlarının performans düzeylerini belirlemek amacı ile statik itme analizi yapmış ve daha sonra belirlenen rüzgar hızı değerleri için yüz adet zamana bağlı dinamik analiz gerçekleştirmiştir. Monte Carlo yöntemi ile oluşturulan grafiklere maksimum uygulanabilirlik tespit yöntemi ile eğriler çizilerek kırılma eğrilerini elde edilmiştir.

Timurağaoğlu ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada ASCE 7-10 (2010) ve TS 498 (1997) standartlarında yer alan rüzgar yükleri için hesap yöntemlerini irdelemiş ve standartların birbirlerine kıyasla avantajlarını ve dezavantajlarını belirtmişlerdir. Ayrıca ülkemizde ve diğer ülkelerdeki yapılarda, rüzgar kaynaklı oluşan zararları irdelemişlerdir. Sonuç olarak yapıların çatılarında ve cephe kaplama elemanlarında rüzgar yükü hesaplamalarının yapılmasının gerektiğini, mevcut standardın, yüksek yapılar başta olmak üzere her çeşit yapıda uygulanabilmesi için tekrar düzenlenerek güncellenmesinin gerekliliğini belirtmişlerdir.

Karagöz ve Şengel (2019), yaptıkları çalışmada dikdörtgen tabana sahip, farklı yüksekliklerde ve tonoz tipinde çatısı bulunan bir yapıda, rüzgar etkileriyle oluşan yük değerlerini belirlemişlerdir. Örnek yapıya etki eden rüzgar yükleri; TS EN 1991- 1-4 (2007), ASCE 7-05 (2005), AIJ (2004), AS/NZS (2011) yönetmelikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Rüzgar etkileri sonucunda yapının ön ve arka duvarlarındaki ve çatı yüzeylerindeki dış basınç katsayı değerleri elde edilmiştir. Elde ettikleri basınç katsayısı değerlerini kullanarak taban kesme kuvveti ve moment değerlerini hesaplamışlardır.

Sonuç olarak TS-EN 1991-1-4 (2007) yönetmeliğinin diğer yönetmelikler içerisinde en yüksek tasarım sonuçlarını verdiğini belirlemişlerdir. Elde edilen tasarım sonuçlarının büyüklük sıralaması ise büyükten küçüğe AS/NZS (2011), ASCE-7 (2005) ve AIJ (2004) olarak bulunmuştur.

Gürsoy ve Yılmaz (2021), yaptıkları çalışmada çelik yapıların taşıyıcı sistemlerinin rüzgar ve deprem gibi yatay yüklere karşı yeterli dayanımı göstermesi için uygulama yöntemlerinden birinin diyagonal çelik çapraz elemanların kullanılması olduğunu belirtmişlerdir. Diyagonal elemanların çelik çerçevelerde katlar arası deplasman değerlerini azaltan, enerji dağıtıcı ve rijitlik arttıran işlevleri bulunduğunu belirtmişler ve tüm yapının davranışının iyileştirilmesinde, oluşabilecek hasarların azaltılmasında katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Çelik yapılarda kullanılacak diyagonal eleman türünün seçiminin, taşıyıcı sistemin yanal rijitliğini artırarak enerji tüketimine fayda sağlamasıyla beraber diyagonallerin burkulma durumunu da etkilediğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca, dışmerkez çelik çaprazlı perdelerin, yüksek elastik rijitliğe ve rüzgar ile deprem kuvvetleri gibi yatay yükler altında çok iyi bir enerji sönmüleme kapasitesine sahip olduğundan söz etmişlerdir. Günümüzde dışmerkezi çelik çaprazlı çerçevelerin birçok şekilde uygulanabildiğini ifade etmişlerdir.

Akgönen (2017), yaptığı çalışmada merkezi çelik çaprazlı çelik çerçevelerde sünekliği etkileyen parametreleri incelemiş ve TBDY (2018)'de belirtilen dört adet merkezi çelik çapraz sistemi (tek diyagonal çapraz basınç-çekme, X çapraz, V çapraz), ve çaprazsız sünekliği yüksek moment aktaran rijit çerçeve sistemi statik itme analizi uygulayarak incelemiştir. Taşıyıcı sistemlerin sünekliklerini, rijitliklerini ve yük taşıma kapasitelerini karşılaştırmış ve bulunan sonuçları yorumlamıştır. Araştırma sonucunda, X tipi merkezi çelik çaprazlı çelik çerçeveye sahip yapı modelinin enerji tüketimi ve rijitlik açısından diğer sistemlere kıyasla yatay yük etkileri altında performansının daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Tarakçı (2019), yaptığı çalışmada rüzgar yükü etkilerinin en belirgin görüldüğü yapı türlerinin yüksek yapılar olduğunu bununla beraber, düşük yükseklikli yapılarda da rüzgarların belirli etkilerinin olduğunu belirtmiştir. Bu etkilerin; rüzgarın yapısı, rüzgarın hızı, yapının yer aldığı konum ve sahip olduğu mimari gibi belirli parametrelere göre farklılık gösterebildiğini ve çevrede bulunan yapıların konumlarının ve yüksekliklerinin de yapılar üzerinde etkisinin olduğu ifade etmektedir.

3. ASCE 7-16 YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE RÜZGAR YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde, Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğunun ASCE 7-16 (2016): “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”- “Binalar ve Diğer Yapılar için Minimum Tasarım Yükleri Standardı” incelenerek rüzgar yükünün belirlenmesinde kullanılacak değişkenlerin hesaplanması, tasarım metotları ve hesap aşamaları hakkında bilgiler verilmiştir.

ASCE 7-16 yük standardında rüzgar yükleri, bina türü yapıların iki bölümü için hesaplanmaktadır. Bu bölümler: “Main Wind Force Resisting System (MWFRS)”- “Rüzgar Kuvveti Ana Taşıyıcı Sistemi (RKATS)” ile “Components and Cladding (C&C)” – “Bileşenler ve Cephe Kaplaması (B&CK)” dır. MWFRS (RKATS) bölümü çatı ve kat diyaframları, perde duvarlar, çapraz çerçeveler ve moment çerçevelerinden oluşur. C&C (B&CK) bölümü ise küçük bireysel yapısal parçalar veya rüzgar yükünün dik olarak etki ettiği elemanları kapsamaktadır. C&C'lere örnek olarak duvarlar, cephe kaplaması ve çatı döşeme bağlantı elemanlarına etki eden kaldırma kuvveti verilebilir. C&C'ler, üzerindeki küçük alanlarda oluşan rüzgar basınçlarındaki ani artışlardan dolayı, MWFRS'ye etki eden rüzgar basınç değerlerine kıyasla genel olarak daha yüksek değerlere çıkabilmektedir (Aghayere ve Vigil, 2018).

Rüzgar yüklerinin hesaplanması ASCE 7-16 yük standardında Bölüm 26 ve Bölüm 31 arasında bulunmaktadır. Bölüm 26'da genel şartlar ve rüzgar yükünün hesaplanmasında kullanılan değişkenlerin tanımı ve açıklamalar yer almaktadır. Bu bölümde değişik risk sınıflarına ait rüzgar tehlike haritaları ile açık, kısmi açık ve kapalı bina gibi değişken tanımlamalar sunulmuştur. Bunlara ek olarak arazi engebeliliğine bağlı olarak topografya katsayısı ve bina maruz kalma katsayısı açıklanmıştır. Bölüm 26'daki genel tanımlar:

Temel Rüzgar Hızı, yerden 10 m yükseklikteki, Arazi Sınıfı C için üç saniyelik rüzgar hızı olarak tanımlanmıştır. Rüzgar hızı, arazi engebeliliğinin yüksek ısılarda azalan kuvvet etkisi sebebiyle zeminden yukarı doğru azalmaktadır.

Kapalı binalar, açık bina ve kısmen kapalı bina tanımına uymayan diğer yapıları ifade eder.

Yüksek olmayan binalar, kapalı veya kısmen kapalı binalar için aşağıdaki koşullara uygun yapılar:

- Çatı yüksekliği ortalaması 18 m'ye eşit veya daha düşük olan,
- Çatı yüksekliği ortalamasının, yapının en az yatay boyutuna eşit olduğu binalar olarak tanımlanmaktadır.

Açık binalar, yapıyı çevreleyen duvar elemanlarının asgari % 80 oranında açık olduğu binalar olarak tanımlanmaktadır. ($A_o \geq 0.8A_g$)

A_o : Yapının duvarlarında bulunan ve pozitif dış basınca maruz kalan toplam açıklık alanı, m²

A_g : Pozitif dış basınca maruz kalan duvarların brüt alanı, m²

Kısmen kapalı binalar, aşağıda belirtilen seçeneklerin her ikisini de sağlayan binalar bu tanıma uymaktadır.

- Pozitif dış basınca maruz kalan duvarlardaki toplam boşluk alanları, bina cephesinde yer alan açık alanların toplamından %10 daha fazla olan binalar,
- Pozitif dış basınca maruz kalan duvarlardaki toplam açıklık alanları 0.370 m²'den fazla olan veya mevcut duvar alanının %1'lik bölümünü aşan binalar.

Bu koşullar aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilir:

$$A_o > 1.10A_{oi}$$

$$A_o > 0.37 \text{ m}^2 \text{ veya } A_o > 0.01 A_g \text{ (hangisi daha küçükse)}$$

$$A_{oi} / A_{gi} \leq 0.20$$

Burada belirtilen; A_{oi} binadaki boşluklu alanların toplamını, A_{gi} ise binanın brüt yüzey alanları toplamını ifade etmektedir.

Bina kaplaması, çatı kaplama, dış duvarlar, camlar, kapı tertibatları, pencere tertibatları, ışıklık tertibatları ve binayı çevreleyen diğer bileşenleri ifade etmektedir.

Esnek olan binalar ve diğer yapı türleri, doğal frekansı 1 Hz'den az olan yapıları ifade eder.

Düzgün yapı, binalar ve diğer yapı türleri, boyutları olağandışı formlarda bir görünüme sahip olmayan binalar ve diğer yapıları ifade eder.

Rijit binalar ve diğer yapılar, doğal frekansı 1 Hz ya da daha yüksek olan binaları ve diğer yapıları ifade eder.

Tasarım kuvveti F, diğer yapılar için rüzgar yüklerinin hesaplanmasında kullanılan eşdeğer statik kuvveti ifade eder.

Tasarım basıncı P, yapılarda rüzgar yüklerinin hesaplanmasında kullanılan eşdeğer statik basıncı ifade eder.

Diyafram elemanları, rüzgar yüklerini; döşeme ve çatı diyaframları ile düşey doğrultudaki duvar elemanları ve çatılardan, rüzgar kuvveti ana taşıyıcı sistemine aktaran elemanlardır.

Ortalama çatı yüksekliği, yapı kolon yüksekliği ile çatı mahya tepe noktasının yükseklik ortalaması olarak tanımlanır.

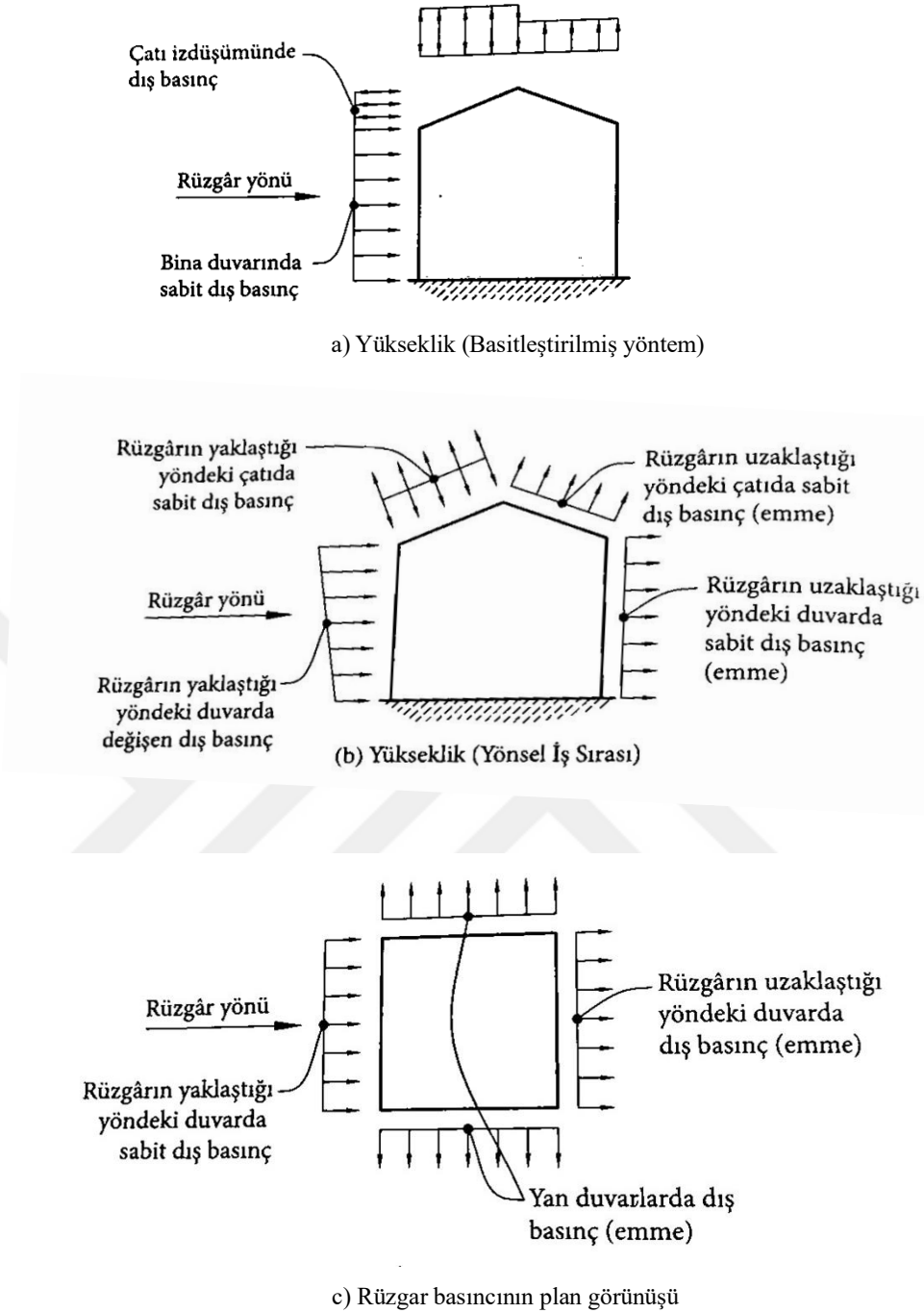
ASCE 7-16 yük standardı Bölüm 27 ile Bölüm 31 arasında binalara etki eden tasarım rüzgar yükünün hesaplanması için kullanılabilecek birçok yöntem, kullanım koşullarıyla birlikte açıklanmıştır. Bu yöntemler:

a) ASCE 7-16 Bölüm 27: Bu bölüm normal şekildeki binalara uygulanabilecek olan “Yönsel İş Akışı”nı içermektedir. Bölüm iki kısma ayrılmıştır.

Kısım 1’deki yöntem “Her Yükseklikteki Kapalı, Kısmi Kapalı ve Açık Binalar” için tanımlanmıştır. Bu yöntemde etki eden rüzgar yükü, rüzgarın yaklaştığı yöndeki, rüzgarın uzaklaştığı yöndeki ve yan duvarlardaki dış rüzgar basıncının bir fonksiyonudur.

Kısım 2’de ise “ $h \leq 48,8$ m olan kapalı Basit Diyaframlı Binalar” için ikinci bir yöntem açıklanmıştır. Bu yöntem, ASCE 7-16 Kısım 27.1.2’de belirtilen şartlara uyulması koşuluyla, MWFRS (RKATS)’ye etki eden rüzgar yüklerinin hiçbir hesap yapılmaksızın bir tablo kullanılarak doğrudan belirlendiği bir yöntemdir.

Bölüm 27’de ifade edilen Yönsel İş Akışının, Kısım 1 ve 2 için belirtilen rüzgar basıncı dağılımının, binanın yüzeyine dik etki ettiği varsayılır. Rüzgarın yaklaştığı yönde oluşan basınç bina yüksekliğine bağlı olarak dağıtılırken rüzgarın uzaklaştığı yönde oluşan basınç ise düzgün yayılı veya sabit olarak dağıtılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Rüzgar basınç dağılımı (Aghayere ve Vigil, 2018)

b) ASCE 7-16 Bölüm 28 : Bu bölüm düşük yükseklikteki binalar için “Zarf İş Akışı”nı içerir ve iki kısımdan oluşmaktadır.

Kısım 1, düşük yükseklikteki binalara etki eden rüzgar yüklerinin belirlenmesinde kullanılan analitik yöntemi açıklar.

Kısım 2, düşük yükseklikteki binalara etki eden rüzgar yüklerinin belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem sunmaktadır. Rüzgar basınçları herhangi bir hesaplama

yapmadan doğrudan ASCE 7-16 Yönetmeliği'nde verilen rüzgar doğrultu katsayısı tablosu yardımıyla hesaplanır. Net yatay ve düşey rüzgar basınçlarının binanın dış izdüşüm alanlarına etki ettiği varsayılır. Rüzgarın yaklaştığı yöndeki duvar basınçları bina yüksekliği boyunca düzgün yayılı ve sabittir (Şekil 3.1a).

c) ASCE 7-16 Bölüm 29: Bu bölüm işaret direkleri, çatıda bulunan yapılar ve ekipmanlar, bacalar, kafes çerçeveler ve kuleler gibi yapılara (örneğin, bina olmayan yapılar) etki eden rüzgar yüklerini içermektedir.

d) ASCE 7-16 Bölüm 30: Bu bölüm altı kısımdan oluşmakta ve C&C (B&CK)'lere etki eden rüzgar yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak olan yöntemleri içermektedir.

Kısım 1, yüksekliği $h \leq 18.3$ m olan “Kapalı ve Kısmi Kapalı” düşük yükseklikteki binalar içindir.

Kısım 2, yüksekliği $h \leq 18.3$ m olan “Kapalı” düşük yükseklikteki binalar için basitleştirilmiş bir yaklaşım içerir.

Kısım 3, yüksekliği $h > 18.3$ m olan “Kapalı ve Kısmi Kapalı” binaları kapsar.

Kısım 4, yüksekliği $18.3 \text{ m} < h \leq 48.8 \text{ m}$ olan “Kapalı” binalar için basitleştirilmiş bir yaklaşım içerir.

Kısım 5, eğimi olmayan çatılara sahip tüm yüksekliklerdeki “Açık” binalar için önerilen bir yöntem içerir.

Kısım 6, “Çatı Çıkmaları, Korkuluklar ve Çatı Ekipmanları” için önerilen bir yöntem içerir.

Kısım 7, Dairesel kutular, silolar ve tanklar ve çatı güneş panelleri gibi bina dışı yapılar için geçerlidir.

e) ASCE 7-16 Bölüm 31: Rüzgar tüneli yöntemi, tüm yapılar için ve yukarıda sıralanan yöntemlerin hiçbirinin uygulanamayacağı yapılar için kullanılabilir. Rüzgar tüneli yöntemi, yüksekliği genişliğe oranı 5'ten büyük olan çok yüksek, rüzgara duyarlı ve narin binalar için kullanılır (Gamble Scott., 2003). Kendine özgü topografik özellikleri olan binalara etki eden rüzgar basıncı da bu yöntemle belirlenmektedir.

3.2. Rüzgar Doğrultu Katsayısı, K_d

Yapı tipleri için rüzgar doğrultu katsayısı değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Rüzgar doğrultu katsayısı, K_d

Yapı Tipi	Doğrultu Katsayısı, K_d
Binalar	
Rüzgar kuvveti ana taşıyıcı sistemi (MWFRS)	0.85
Bileşenler ve cephe kaplama (C&C)	0.85
Kemerli Çatılar	0.85
Dairesel Kubbeler	1.0 ^a
Bacalar, Tanklar ve Benzeri Yapılar	
Kare	0.9
Altıgen	0.95
Sekizgen	1.0 ^a
Daire	1.0 ^a
Bağılantısız Masif Duvarlar, Teraslar	0.85
İşaret Levhaları, Teçhizatlar	0.85
Tek Düzlemli Açık Çerçeveler	0.85
Kafes Sistemli Kuleler	
Üçgen, kare veya dikdörtgen	0.85
Diğer kesitler	0.95

^aAsimetrik olmayan yuvarlak ve sekizgen yapılarda doğrultu katsayısı $K_d = 0.95$ alınabilir.

3.3. Maruz Kalma Kategorisi

Bir zemin yüzeyi her bir rüzgar yönü dikkate alınarak, doğal topoğrafya, bitki örtüsü ve çevrede bulunan diğer yapılara göre aşağıda tanımlanan yüzey engebелiliği kategorilerden uygun olanı seçilerek, maruz kalma kategorisi belirlenir.

Yüzey engebелilik kategorisi B: Kentsel bölgeler, kenarkentler ve karışık ormanlık alanlar veya çok sayıda yakın aralıklı engeller bulunan, müstakil konut büyüklüğünde veya daha büyük yapıya sahip diğer araziler,

Yüzey engebелilik kategorisi C: Dağınık engeller bulunan ve 9.1 metreden daha düşük yüksekliğe sahip açık araziler ve otlaklar için,

Yüzey engebelilik kategorisi D: Düz, engelsiz alanlar ve su yüzeyleri kapsar. Bu kategori çamurdan düzlükleri, tuz göllerini ve parçalanmamış iri buz adaları için kullanılır.

Yüzey engebelilik kategorisi belirlenen arazi için sonrasında belirtilen koşullara göre arazi sınıfı belirlenir;

Arazi sınıfı B: Çatı ortalama yüksekliği 9.1 metre veya daha düşük olan yapılar için kullanılır. B sınıfı arazide sadece, yüzey engebelilik kategorisi B için, rüzgar doğrultusunda 457 metreden daha yüksek mesafede etkili olduğu durumlarda kullanılır. Çatı ortalama yüksekliği 9.1 metreden yüksek olan yapılar için, rüzgar doğrultusunda 792 metre mesafede veya yapı yüksekliğinin 20 katı mesafede (büyük olan değer), yüzey engebelilik kategorisinin B olması durumunda, arazi sınıfı B kullanılacaktır.

Arazi sınıfı C: Arazi sınıfı B ve arazi sınıfı D'deki tanımlamaların geçersiz olduğu durumlarda kullanılacaktır.

Arazi sınıfı D: Yüzey engebelilik kategorisi D için, rüzgar doğrultusunda 1524 metre mesafede veya yapı yüksekliğinin 20 katı mesafede (büyük olan değer), yüzey engebelilik kategorisinin D olması durumunda kullanılacaktır. Arazi sınıfı D için, rüzgar doğrultusunda 183 metre mesafede veya yapı yüksekliğinin 20 katı mesafede (büyük olan değer) yüzey engebeliliğinin B veya C olduğu arazilerde geçerli olacaktır.

Maruz kalma kategorileri arasından geçiş bölgesinde bulunan bir arazi için, en büyük rüzgar kuvvetine neden olan kategori seçilmelidir.

3.4. Topoğrafik Faktör, K_{zt}

Genel olarak ani değişiklikler oluşturan yamaçlarda, yalın tepelerde ve yeryüzü topoğrafyasında herhangi bir arazi sınıfı içerisinde bulunan bölgelerde rüzgar hızını yükselten saha koşulları ve binalar ile diğer yapıların konumları aşağıdaki koşulları sağladığı durumlarda topoğrafik faktör hesaba katılır:

- Bayır, tepe, yamaç ve benzeri coğrafi oluşumlar tarafından, bu oluşumlardan herhangi birinin sahip olduğu yüksekliğin 100 katı mesafeye eşit veya 3.22 km içerisinde (küçük olan değer) rüzgar önlenmemişse,
- Bina veya diğer yapılar için Şekil 3.3'te görüldüğü üzere bir tepenin veya yamacın üst yarısında veya yakınında bir kayalığın tepesinde ise,

- Topoğrafik yapı yüksekliğinin, tepenin veya kayalığın yüksekliğinin yarısı kadar olduğu yer ile tepenin, rüzgara karşı olan yatay mesafesine oranı 0.2 'den yüksek ise $\left(\frac{H}{L_h} \geq 0.2\right)$,
- Arazi sınıfı C ve arazi sınıfı D için yapının zemin seviyesinden olan yüksekliği 4.5 m veya daha fazla ise, arazi sınıfı B için yapının zemin seviyesinden yüksekliği 18m'den fazla ise.

Yukarıda belirtilen koşulların hiçbirinin sağlanmaması durumunda topoğrafik faktör, $K_{zt} = 1.0$ alınır. Yukarıdaki koşulların sağlanması durumunda ise topoğrafik faktör, Denklem 3.1' den elde edilir.

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (3.1)$$

Burada verilen K_1 , K_2 ve K_3 topoğrafik çarpanlar olup maruz kalma kategorisi C için Çizelge 3.2'den, diğer maruz kalma kategorileri için ise aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanacaktır.

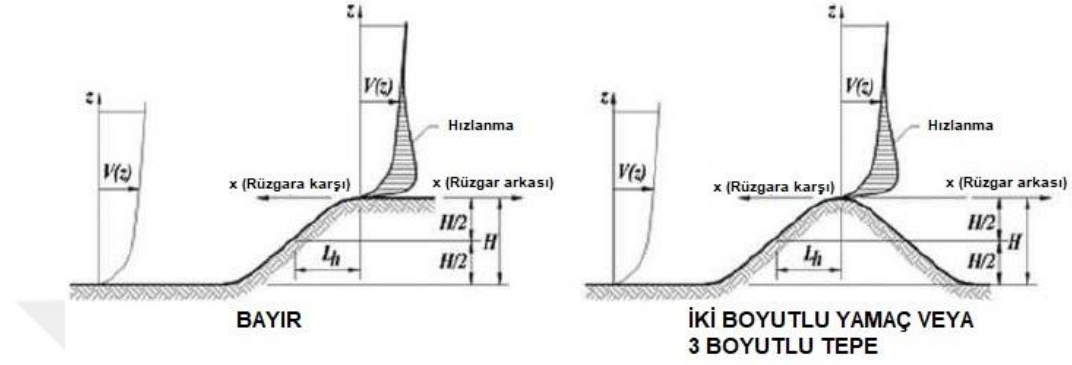
Çizelge 3.2. Değişkenlere göre topoğrafik çarpanlar

H/L_h	K_1 Çarpanı			x/L_h	K_2 Çarpanı		z/L_h	K_3 Çarpanı		
	2D Tepe	2D Yamaç	3D Asimetrik Tepe		2D Yamaç	Diğer Tüm Durumlar		2D Tepe	2D Yamaç	3D Asimetrik Tepe
0.20	0.29	0.17	0.21	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00
0.25	0.36	0.21	0.26	0.50	0.88	0.67	0.10	0.74	0.78	0.67
0.30	0.43	0.26	0.32	1.00	0.75	0.33	0.20	0.55	0.61	0.45
0.35	0.51	0.30	0.37	1.50	0.63	0.00	0.30	0.41	0.47	0.30
0.40	0.58	0.34	0.42	2.00	0.50	0.00	0.40	0.30	0.37	0.20
0.45	0.65	0.38	0.47	2.50	0.38	0.00	0.50	0.22	0.29	0.14
0.50	0.72	0.43	0.53	3.00	0.25	0.00	0.60	0.17	0.22	0.09
				3.50	0.13	0.00	0.70	0.12	0.17	0.06
				4.00	0.00	0.00	0.80	0.09	0.14	0.04
							0.90	0.07	0.11	0.03
							1.00	0.05	0.08	0.02
							0.50	0.01	0.02	0.00
							2.00	0.00	0.00	0.00

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right) \quad (3.2)$$

$$K_3 = e^{-\gamma z/L_h} \quad (3.3)$$

Burada belirtilen x değeri tepenin, yapının bulunduğu yere olan mesafesini, L_h tepenin yüksekliğinin yarısı kadar olduğu konum ile tepenin, rüzgara karşı olan uzaklığını, γ değeri, yükseklik azaltma katsayısını, z değeri de yapının zemin seviyesinden yüksekliğinin ifade etmektedir.



Şekil 3.3. Topoğrafik etki durumları

Çizelge 3.3. Tepe ve yamaç üzerindeki hızlanma parametreleri

Tepe Şekli	$K_l/(H/L_h)$			γ	μ	
	Maruz Kalma				Tepenin Rüzgar Yönü	Tepenin Rüzgar Arkası Yönü
	B	C	D			
İki boyutlu sırtlar veya vadiler	1,3	1,45	1,55	3	1,5	1,5
İki boyutlu yamaçlar	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Üç boyutlu asimetrik tepeler	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

3.5. Zemin Yükselti Katsayısı, K_e

Hava yoğunluğunu ayarlamak için zemin yükselti katsayısı K_e , Çizelge 3.4'e göre belirlenir. İzin verilebilir bütün yükseklikler için $K_e = 1.0$ alınabilir.

Çizelge 3.4. Zemin yükselti katsayısı, K_e

Deniz Seviyesinden Zemin Yüksekliği		Zemin Yükselti Katsayısı
ft	m	K_e
<0	<0	Not 2'ye bakınız
0	0	1,00
1,000	305	0,96
2,000	610	0,93
3,000	914	0,90
4,000	1219	0,86
5,000	1524	0,83
6,000	1829	0,80
>6,000	>1829	Not 2'ye bakınız

Notlar

1. K_e 'nin her durumda 1.0 olarak alınmasına izin verilir.
2. K_e katsayısı, interpolasyon kullanılarak yukarıdaki tablodan belirlenecek ya da tüm yükseklikler için aşağıdaki formülden hesaplanacaktır:

$$K_e = e^{-0,000119Z_g} \text{ (} Z_g = \text{Deniz seviyesinden olan zemin yüksekliği)}$$

3.6. Rüzgar Basıncı Maruz Kalma Katsayısı, K_h ve K_z

Binalar veya diğer yapı türleri için Çizelge 3.5'ten ilgili maruz kalma katsayısı sütunu bulunarak bu sütundaki yükseklik değerine göre rüzgar basıncına maruz kalma katsayısı belirlenir. K_h , ortalama çatı yüksekliği için ve K_z , zemin seviyesinden olan her bir yükseklik değeri için o yüksekliğe tekabül eden rüzgar basıncına maruz kalma katsayısı değerleri elde edilir.

Çizelge 3.5. Rüzgar basıncı maruz kalma katsayısı, K_z

Zemin Seviyesinden Yükseklik, z		Maruz Kalma Kategorisi		
(ft)	(m)	B	C	D
0-15	0-4.6	0.57	0.85	1.03
20	6.1	0.62	0.90	1.08
25	7.6	0.66	0.94	1.12
30	9.1	0.7	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18.0	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61.0	1.2	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

3.7. Hız Basıncı

Hız basıncı q_z değeri, zeminden z yüksekliği için denklem 3.4 ile hesaplanır.

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dK_eV^2 \quad (N/m^2) \quad (3.4)$$

Burada; K_z değeri rüzgar basıncı maruz kalma katsayısını, K_{zt} değeri topoğrafik faktörü, K_d değeri rüzgar doğrultu faktörünü, K_e değeri zemin yükselti katsayısını, V değeri de temel rüzgar hızını ifade etmektedir.

3.8. Fırtına Etkisi Faktörü

Rijit binalar ve diğer yapı türleri için fırtına etkisi faktörü, G değerinin 0.85 olarak alınmasına izin verilmektedir.

3.8.1. Rijit binalar ve diğer yapı türleri için fırtına etki faktörü hesabı

Rijit binalarda ve diğer yapı türlerinde fırtına etkisi faktörü, $G = 0.85$ olarak alınabilmekle birlikte denklem 3.5 ile de hesaplanabilmektedir.

$$G = 0.925 \left(\frac{1 + 0.7g_Q I_{\bar{z}} Q}{1 + 1.7g_v I_{\bar{z}}} \right) \quad (3.5)$$

$$I_{\bar{z}} = c \left(\frac{10}{\bar{z}} \right)^{1/6} \quad (3.6)$$

$\bar{z}$ değeri, yapı yüksekliğinin %60'ı olarak ifade edilmektedir ($\bar{z} = 0.6h$). z_{min} değerinin, yapı yüksekliğinden daha düşük olduğu yapı türlerinde bu durum geçerli değildir. g_Q zemin tepkisi için zirve faktörü, g_v ise rüzgara karşı mukavemet gösteren zirve faktörünü ifade etmektedir. g_Q ve g_v için önerilen değer 3.4'tür. $\bar{z}$ yüksekliğindeki türbülans yoğunluğu $I_{\bar{z}}$, denklem 3.6 ile hesaplanmaktadır. Türbülans yoğunluk faktörü değeri c, çizelge 3.6'dan elde edilir.

Çizelge 3.6. Arazi maruz kalma sabitleri

Maruz kalma kategorisi	α	Z_g (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	c	l (m)	$\bar{e}$	$z_{min}(m)$
B	7	365,76	1/7,0	0,84	1/4,0	0,45	0,3	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1	1/6,5	0,65	0,2	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,8	0,15	198,12	1/8,0	2,13

Arka plan tepkisi, Q değeri ise denklem 3.7 ile hesaplanır.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left(\frac{B + h}{L_{\bar{z}}} \right)^{0.63}}} \quad (3.7)$$

Burada belirtilen h ve B değerleri yapı boyutlarını, $L_{\bar{z}}$ ise türbülans mesafesini tanımlamaktadır. Türbülans mesafesinin uzunluk değeri denklem 3.8 ile hesaplanır.

$$L_{\bar{z}} = l \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (3.8)$$

Burada, l uzunluk ölçek faktörü ve $\bar{\epsilon}$ değeri Çizelge 3.6'dan alınmaktadır.

3.8.2. Esnek veya dinamik olarak hassas binalar veya diğer yapılar

Doğal frekansı 1 Hz'den daha düşük olarak ifade edilen dinamik ve esnek olarak hassas binalar ve diğer yapılar için fırtına etki faktörü, G_f denklem 3.9 ile hesaplanmaktadır.

$$G_f = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 I_{\bar{z}} \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1.7 g_v I_{\bar{z}}} \right) \quad (3.9)$$

g_v ve g_Q için tavsiye edilen değer 3.4 alınacak ve g_R değeri denklem 3.10 ile hesaplanacaktır.

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3.600 n_1) + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln 3.600 n_1}}} \quad (3.10)$$

R rezonans tepki faktörü denklem 3.11 ile hesaplanır.

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0.53 + 0.47 R_L)} \quad (3.11)$$

$$R_n = \frac{7.47 N_1}{(1 + 10.3 N_1)^{5/3}} \quad (3.12)$$

$$N_1 = \frac{n_1 L_{\bar{z}}}{\bar{V}_z} \quad (3.13)$$

R_L değeri $\eta > 0$ durumu için denklem 3.14 ile hesaplanacaktır.

$$R_l = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad (3.14)$$

$\eta = 0$ olması durumunda $R_l = 1$ olarak alınacaktır.

$$R_l = R_h \text{ için } \eta = 4.6n_1h/\bar{V}_z$$

$$R_l = R_B \text{ için } \eta = 4.6n_1B/\bar{V}_z$$

$$R_l = R_L \text{ için } \eta = 15.4n_1L/\bar{V}_z$$

Burada; n_1 binanın doğal frekans değerini, $\bar{V}_z$ değeri ise z yüksekliğindeki ortalama saatlik rüzgar hızını ifade etmektedir. $\bar{V}_z$ değeri denklem 3.15 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$V_z = \bar{b} \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V \quad (3.15)$$

V değeri temel rüzgar hızını ifade etmektedir. $\bar{b}$ ve $\bar{\alpha}$ değerleri ise Çizelge 3.6'dan alınacaktır.

3.9. İç Basınç Katsayıları, GC_{pi}

İç basınç katsayıları (GC_{pi}), belirlenen yapı sınıflandırmalarına göre Çizelge 3.7'den alınacaktır.

Çizelge 3.7. İç basınç katsayıları, (GC_{pi})

Yapı Sınıflandırması	İç Basınç Katsayısı, (GC_{pi})
Kapalı yapılar	+0,18
	-0,18
Kısmen kapalı yapılar	+0,55
	-0,55
Kısmen açık yapılar	+0,18
	-0,18
Açık yapılar	0,00

3.10. Dış Basınç Katsayıları, C_p

Rüzgar kuvveti ana taşıyıcı sisteminde (MWFRS), duvar dış basınç katsayı değerleri belirlenirken yapının yatay uzunluk oranları ve rüzgarın etki yönü dikkate alınarak Çizelge 3.8'den elde edilmektedir. Bu çizelgede arka duvar ve yan duvarda ortalama çatı yüksekliği için hesaplanan rüzgar basıncı q_h kullanılırken rüzgara dik duvarda ise her bir yükseklik değerinde tek tek hesaplanan q_z değeri dikkate alınmaktadır.

Çizelge 3.8. Duvar Basınç Katsayıları, C_p

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

Eğimi olan çatılar için yapı yüksekliğinin (h), yapının rüzgar yönüne paralel doğrultudaki yatay uzunluğu (L) oranına bağlı olarak dış basınç katsayı değerleri Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

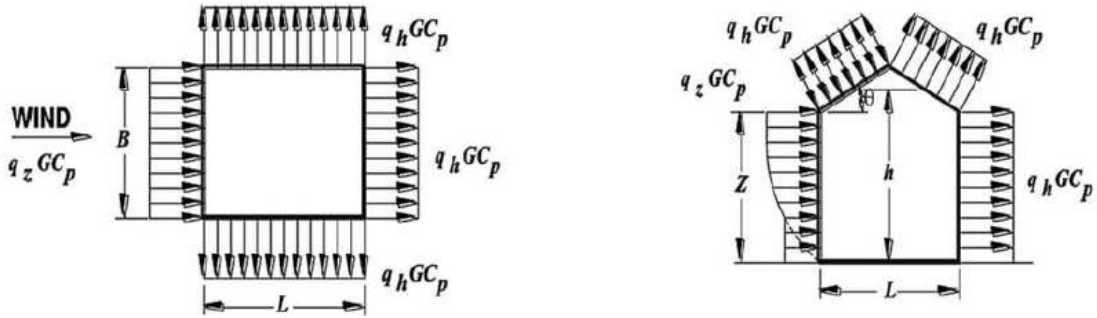
Çizelge 3.9. Çatı Basınç Katsayıları, C_p , (sadece q_h için kullanılır)

Rüzgar Yönü	Rüzgara dik duvar									Arka duvar		
	Açı, θ									Açı, θ		
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	≥ 60	10	15	≥ 20
Mahyaya dik ve $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0					
		-0,18	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,01 θ	-0,3	-0,5	-0,6
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0				
		-0,18	-0,18	0,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,01 θ	-0,5	-0,5	-0,6
	$\geq 1,0$	-1,3	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0,0				
		-0,18	-0,18	-0,18	0,0	0,2	0,2	0,3	0,01 θ	-0,7	-0,6	-0,6

Çizelge 3.10'da ise rüzgarın çatı mahyasına dik veya mahyaya paralel olduğu tüm eğim açılarında kullanılacak dış basınç katsayı değerleri verilmiştir. Bu değerlere göre bulunan dış basınç katsayısı değerleri çizelgede gösterilen, rüzgara dik duvara olan yatay mesafe ölçüleri için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.10. Rüzgarın mahyaya dik veya mahyaya paralel olduğu durumlarda çatı dış basınç katsayıları

Rüzgar Yönü	h/L	Rüzgara dik duvara olan yatay mesafe	C_p	
$\theta < 10^\circ$ için mahyaya dik ve mahyaya paralel bütün θ değerleri için	$\leq 0,5$	$0 - h/2$	-0,9	-0,18
		$h/2 - h$	-0,9	-0,18
		$h - 2h$	-0,5	-0,18
		$> 2h$	-0,3	-0,18
	$\geq 1,0$	$0 - h/2$	-1,3	-0,18
		$> h/2$	-0,7	-0,18



Şekil 3.4. Çift yön eğimli beşik çatılar için dış basınç dağılımı

3.11. Rüzgar Kuvveti Ana Taşıyıcı Sistemi (MWFRS) için Rüzgar Yüğü Hesabı

Kapalı ve kısmen kapalı yapılar için tasarımda kullanılacak rüzgar basınç değerleri, yapıların yüksekliklerine bağlı olarak denklem 3.16 ile hesaplanacaktır.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (3.16)$$

Burada; q_z değeri her bir z yüksekliğindeki rüzgar hız basıncını, q_h değeri ortalama çatı yüksekliğindeki rüzgar hız basıncını, q_i değeri iç basınç tayini için rüzgar

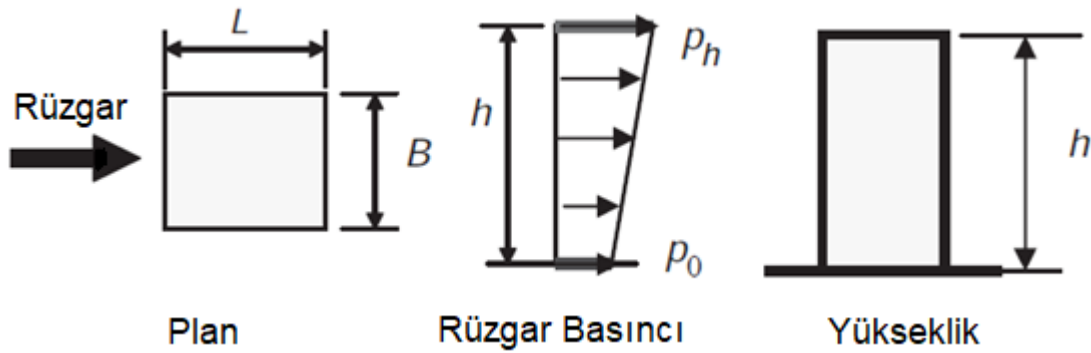
hız basıncını, G fırtına etki faktörünü, GC_{pi} iç basınç katsayısını ve C_p dış basınç katsayısını ifade etmektedir.

3.12. Rüzgar Kuvveti Ana Taşıyıcı Sistemi (MWFRS) için Alternatif Hesap

Yöntemi

Bu hesap yöntemi yüksekliği, 48.8 m'den az olan kapalı ve kısmi kapalı yapılar için alternatif bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntemde hız basıncı katsayısı, hız basınç değeri ve fırtına etkisi faktörünün hesaplanma gerekliliği yoktur. Arazi sınıfı değeri, rüzgarın temel hızı ve yapının yatay boyut oranına bağlı olarak Çizelge 3.13'ten duvarlara etkiyen üst ve alt noktadaki rüzgar basınç değerleri hesaplanır.

Çizelge 3.13'te arazi sınıfı B için temel rüzgar hızına ve uzunluk oranlarına bağlı rüzgar basınç değerleri verilmiştir. ASCE 7-16 yönetmeliği içerisinde tüm arazi sınıfları, temel rüzgar hızları ve yatay uzunluk oranlarının verildiği tablolar ile bulunmaktadır. Bu tablodaki değerlerden p_h yapının tepesindeki rüzgar basıncını, p_o değeri ise yapının tabanındaki rüzgar basıncını temsil etmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Duvar Basınçlarının Uygulanmasına İlişkin Parametreler (ASCE 7-16)

Çizelge 3.13. Arazi sınıfı B için rüzgar basınç değerleri (ASCE 7-16)

		Exposure B																							
h (ft)	Along- wind Net Wall Pressure	V (mi/h)																							
		110			115			120			130			140			160			180			200		
		L/B		L/B		L/B		L/B		L/B		L/B		L/B		L/B		L/B		L/B		L/B		L/B	
		0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2
160	p_h	38.1	37.7	34.1	42.1	41.7	37.8	46.4	45.9	41.7	55.8	55.1	50.2	66.3	65.4	59.7	91.0	89.4	81.8	120.8	118.3	108.5	156.2	152.4	140.0
	p_s	25.6	25.4	21.0	28.3	28.1	23.3	31.2	30.9	25.7	37.5	37.1	30.9	44.6	44.0	36.8	61.2	60.1	50.4	81.3	79.6	66.9	105.2	102.6	86.2
150	p_h	36.9	36.6	33.0	40.7	40.4	36.5	44.9	44.4	40.3	53.9	53.3	48.5	63.9	63.1	57.6	87.5	86.1	78.9	116.1	113.8	104.5	149.9	146.5	134.7
	p_s	25.1	24.9	20.6	27.7	27.5	22.8	30.5	30.2	25.2	36.7	36.2	30.3	43.5	43.0	36.0	59.6	58.6	49.3	79.0	77.4	65.3	102.0	99.7	84.2
140	p_h	36.6	35.4	31.9	39.3	39.1	35.3	43.3	42.9	38.9	51.9	51.4	46.7	61.5	60.8	55.5	84.0	82.8	75.9	111.2	109.2	100.4	143.5	140.5	129.3
	p_s	24.5	24.4	20.2	27.1	26.9	22.4	29.8	29.6	24.6	35.7	35.4	29.6	42.4	41.9	35.2	57.9	57.0	48.1	76.6	75.2	63.7	98.8	96.7	82.0
130	p_h	34.4	34.2	30.8	37.9	37.7	34.0	41.7	41.4	37.4	49.9	49.5	44.9	59.1	58.5	53.3	80.5	79.5	72.8	106.3	104.6	96.2	136.9	134.3	123.8
	p_s	24.0	23.9	19.8	26.5	26.3	21.9	29.1	28.9	24.1	34.8	34.5	28.9	41.2	40.8	34.3	56.2	55.4	46.9	74.2	73.0	62.0	95.5	93.7	79.8
120	p_h	33.1	33.0	29.6	36.5	36.3	32.7	40.1	39.9	35.9	47.9	47.6	43.1	56.6	56.2	51.0	76.9	76.1	69.6	101.3	99.9	91.8	130.2	128.0	118.0
	p_s	23.4	23.3	19.4	25.8	25.7	21.4	28.4	28.2	23.6	33.9	33.7	28.3	40.1	39.7	33.5	54.4	53.8	45.6	71.7	70.7	60.2	92.2	90.6	77.4
110	p_h	31.8	31.7	28.4	35.1	34.9	31.3	38.5	38.3	34.4	45.9	45.6	41.2	54.1	53.8	48.8	73.3	72.6	66.3	96.3	95.1	87.4	123.5	121.6	112.1
	p_s	22.9	22.8	19.0	25.2	25.1	20.9	27.7	27.5	23.0	33.0	32.8	27.6	38.9	38.7	32.6	52.7	52.2	44.4	69.2	68.4	58.4	88.8	87.4	75.0
100	p_h	30.5	30.4	27.1	33.6	33.5	29.9	36.8	36.7	32.9	43.8	43.6	39.3	51.6	51.3	46.4	69.6	69.1	62.9	91.2	90.3	82.8	116.6	115.1	106.0
	p_s	22.3	22.3	18.5	24.6	24.5	20.4	26.9	26.8	22.5	32.1	31.9	26.8	37.8	37.6	31.7	50.9	50.5	43.0	66.7	66.0	56.6	85.3	84.2	72.5
90	p_h	29.2	29.1	25.9	32.1	32.0	28.5	35.1	35.0	31.2	44.7	44.6	41.6	53.3	53.1	48.8	65.9	65.5	59.5	86.0	85.3	78.0	109.6	108.5	99.8
	p_s	21.8	21.7	18.1	23.9	23.9	19.9	26.2	26.1	21.9	31.1	31.0	26.1	36.6	36.4	30.8	49.2	48.9	41.7	64.2	63.6	54.6	81.8	80.9	69.9
80	p_h	27.8	27.7	24.5	30.5	30.5	27.0	33.4	33.3	29.6	39.6	39.5	35.2	46.4	46.3	41.5	62.2	61.9	55.9	80.8	80.3	73.1	102.6	101.7	93.3
	p_s	21.2	21.2	17.7	23.3	23.2	19.4	25.5	25.4	21.3	30.2	30.1	25.4	35.4	35.3	29.9	47.4	47.2	40.3	61.6	61.2	52.6	78.3	77.6	67.2
70	p_h	26.3	26.3	23.1	28.9	28.8	25.4	31.6	31.5	27.9	37.4	37.3	33.1	43.7	43.6	38.9	58.3	58.1	52.2	75.5	75.1	68.1	95.5	94.9	86.6
	p_s	20.6	20.6	17.2	22.6	22.6	18.9	24.7	24.7	20.7	29.3	29.2	24.6	34.2	34.2	28.9	45.6	45.5	38.8	59.1	58.8	50.6	74.7	74.3	64.3
60	p_h	24.8	24.8	21.7	27.2	27.1	23.8	29.7	29.6	26.1	35.1	35.0	30.9	41.0	40.9	36.2	54.4	54.2	48.4	70.1	69.8	62.8	88.2	87.9	79.6
	p_s	20.0	20.0	16.7	21.9	21.9	18.4	23.9	23.9	20.1	28.3	28.2	23.6	33.0	33.0	27.9	43.9	43.8	37.3	56.5	56.3	48.5	71.2	70.9	61.4
50	p_h	23.1	23.1	20.2	25.3	25.3	22.1	27.6	27.6	24.2	32.6	32.6	28.6	38.0	38.0	33.4	50.3	50.2	44.5	64.5	64.4	57.4	80.9	80.7	72.5
	p_s	19.3	19.3	16.3	21.2	21.2	17.8	23.1	23.1	19.5	27.3	27.3	23.0	31.8	31.8	26.9	42.0	42.0	35.8	54.0	53.8	46.3	67.6	67.5	58.4
40	p_h	21.5	21.5	18.6	23.5	23.5	20.4	25.6	25.6	22.3	30.2	30.2	26.3	35.1	35.1	30.7	46.3	46.2	40.7	59.2	59.1	52.3	73.9	73.8	65.7
	p_s	18.8	18.7	15.8	20.5	20.5	17.4	22.4	22.4	18.9	26.4	26.4	22.4	30.7	30.7	26.1	40.5	40.4	34.6	51.7	51.7	44.5	64.6	64.5	55.8
30	p_h	19.6	19.6	16.9	21.4	21.4	18.5	23.3	23.3	20.2	27.5	27.4	23.8	31.9	31.9	27.7	44.9	44.9	36.6	53.4	53.4	46.8	66.5	66.4	58.5
	p_s	18.1	18.1	15.4	19.8	19.8	16.8	21.5	21.5	18.4	25.3	25.3	21.6	29.5	29.5	25.2	38.7	38.7	33.2	49.3	49.3	42.5	61.4	61.3	53.1
20	p_h	17.5	17.5	15.1	19.2	19.2	16.6	20.9	20.9	18.1	24.5	24.5	21.2	28.5	28.5	24.7	37.3	37.3	32.4	47.4	47.4	41.3	58.8	58.8	51.4
	p_s	17.2	17.2	14.8	18.8	18.8	16.2	20.5	20.5	17.7	24.1	24.1	20.8	28.0	28.0	24.2	36.7	36.7	31.7	46.6	46.6	40.4	57.8	57.7	50.3
15	p_h	16.7	16.7	14.5	18.2	18.2	15.8	19.9	19.9	17.3	23.3	23.3	20.3	27.1	27.1	23.6	35.4	35.4	30.9	44.9	44.9	39.3	55.6	55.6	48.7
	p_s	16.7	16.7	14.5	18.2	18.2	15.8	19.9	19.9	17.3	23.3	23.3	20.3	27.1	27.1	23.6	35.4	35.4	30.9	44.9	44.9	39.3	55.6	55.6	48.7

continues

3.13. Yapılarda Rüzgar Yüklerinin (MWFRS) için Hesabı (Zarf Prosedürü)

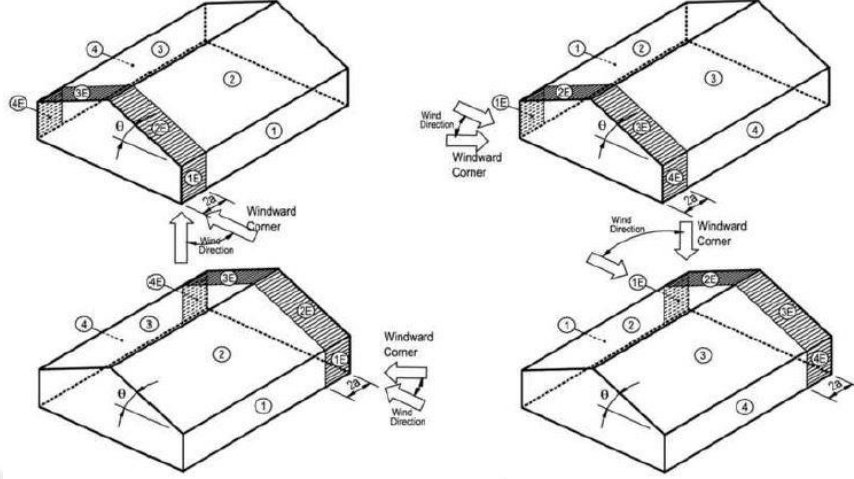
Bu bölüm düşük yükseklikteki yapılar için zarf iş akışını (zarf prosedürü) içermektedir. Analitik yöntem ve basitleştirilmiş yöntem olmak üzere iki farklı hesap yöntemi içermektedir.

3.13.1. Rüzgar kuvveti ana taşıyıcı sistemi (MWFRS) analitik yöntem

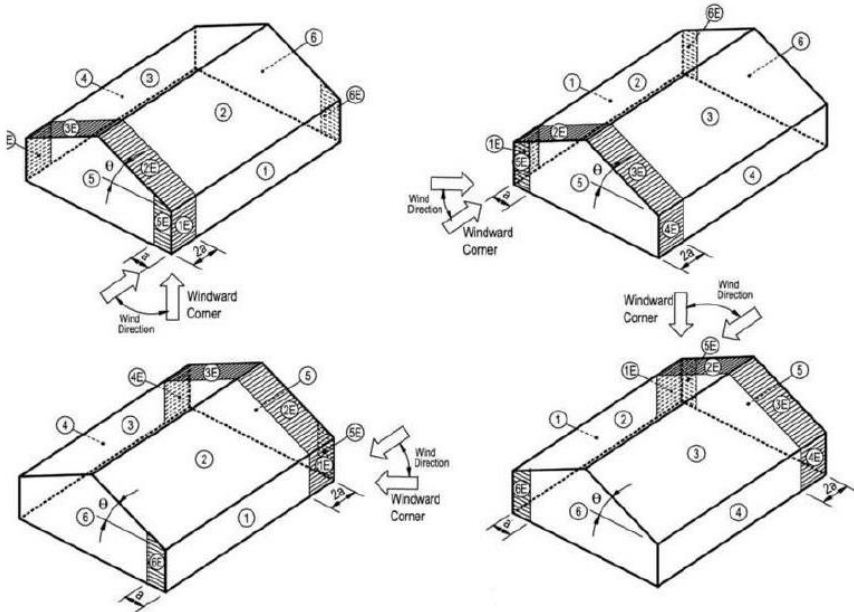
Bu yöntem düşük yükseklikteki yapılar için uygulanabilmektedir. Tasarım rüzgar basınçları denklem 3.17 ile hesaplanacaktır.

$$p = q_h[(GC_{pf}) - (GC_{pi})] \quad (3.17)$$

Buradaki q_h değeri ortalama çatı yüksekliğindeki basıncı, GC_{pf} dış basınç katsayısını, GC_{pi} ise iç basınç katsayısını ifade etmektedir.



Şekil 3.7. Temel yükleme durumu "A" için dış basınç bölgeleri (ASCE 7-16)



Şekil 3.8. Temel yükleme durumu "B" için dış basınç bölgeleri (ASCE 7-16)

Çizelge 3.14. Yükleme durumu "A" için dış basınç katsayıları (ASCE 7-16)

Çatı Açısı θ (derece)	Bina Yüzeyi							
	1	2	3	4	1E	2E	3E	4E
0-5	0.40	-0.69	-0.37	-0.29	0.61	-1.07	-0.53	-0.43
20	0.53	-0.69	-0.48	-0.43	0.80	-1.07	-0.69	-0.64
30-45	0.56	0.21	-0.43	-0.37	0.69	0.27	-0.53	-0.48
90	0.56	0.56	-0.37	-0.37	0.69	0.69	-0.48	-0.48

Çizelge 3.15. Yükleme durumu “A” için dış basınç katsayıları (ASCE 7-16)

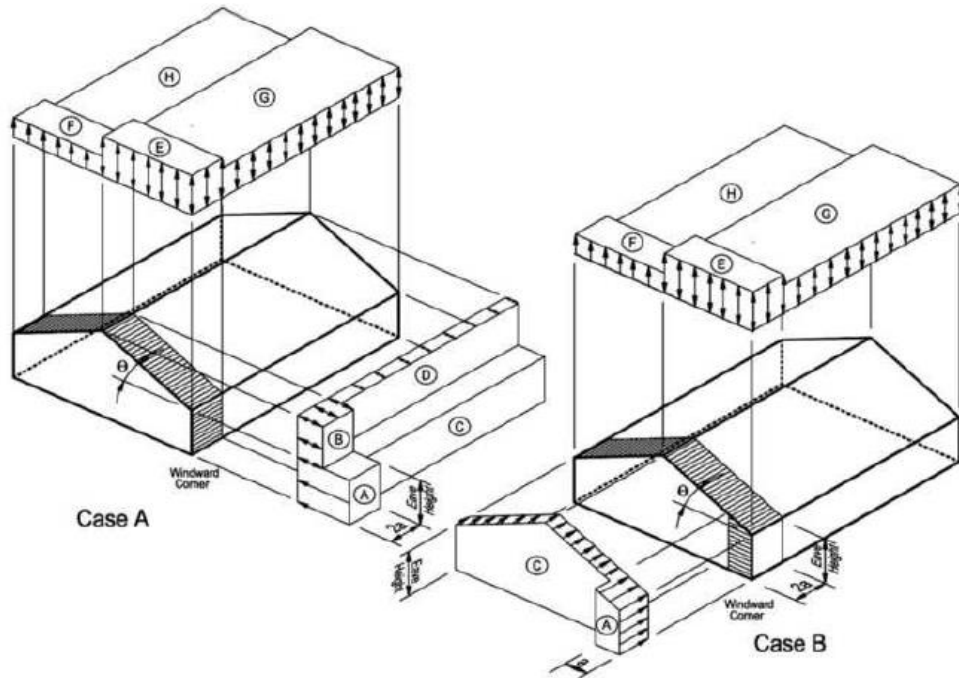
Çatı Açısı θ (derece)	Bina Yüzeyi											
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E	5E	6E
0-90	-0.45	-0.69	-0.37	-0.45	0.40	-0.29	-0.48	-1.07	-0.53	-0.48	0.61	-0.43

3.13.2. Rüzgar kuvveti ana taşıyıcı sistemi (MWFRS) basitleştirilmiş yöntem

ASCE 7-16 yönetmeliği düşük yükseklikteki yapılar için basitleştirilmiş bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntemde hız basıncı değeri ve fırtına etkisi faktörü hesaplanmadan maruz kalma kategorisi ve temel rüzgar hızı değerlerine göre Çizelge 3.16’dan rüzgar basıncı belirlenir. Basitleştirilmiş rüzgar basıncı değeri p_s denklem 3.18 ile hesaplanmaktadır.

$$p_s = \lambda \cdot K_{zt} \cdot p_{s30} \quad (3.18)$$

Buradaki λ düzeltme faktörünü, K_{zt} topoğrafya katsayısını ve p_{s30} değeri de $h = 9.1$ m yükseklikte maruz kalma kategorisi B için basitleştirilmiş rüzgar basıncını ifade etmektedir.



Şekil 3.9. Dış basınç katsayılarının bölgeleri ve yükleme durumları

Çizelge 3.16. Yapı yüksekliklerine göre düzeltme faktör değerleri, λ

Ortalama Çatı Yüksekliği		Maruz Kalma Kategorisi		
(ft)	(m)	B	C	D
15	4,57	1,00	1,21	1,47
20	6,10	1,00	1,29	1,55
25	7,62	1,00	1,35	1,61
30	9,14	1,00	1,40	1,66
35	10,67	1,05	1,45	1,70
40	12,19	1,09	1,49	1,74
45	13,72	1,12	1,53	1,78
50	15,24	1,16	1,56	1,81
55	16,76	1,19	1,59	1,84
60	18,29	1,22	1,62	1,87

Çizelge 3.17. $h = 9,1$ m yükseklikte maruz kalma kategorisi B için basitleştirilmiş rüzgar basıncı, P_{s30}

Temel Rüzgar Hızı	Çatı Eğim Açısı	Yükleme Durumu	Bölgeler							
			Yatay Basıncılar				Düsey Basıncılar			
			A	B	C	D	E	F	G	H
85	0 to 5°	1	11.5	-5.9	7.6	-3.5	-13.8	-7.8	-9.6	-6.1
	10°	1	12.9	-5.4	8.6	-3.1	-13.8	-8.4	-9.6	-6.5
	15°	1	14.4	-4.8	9.6	-2.7	-13.8	-9.0	-9.6	-6.9
	20°	1	15.9	-4.2	10.6	-2.3	-13.8	-9.6	-9.6	-7.3
	25°	1	14.4	2.3	10.4	2.4	-6.4	-8.7	-4.6	-7.0
		2	—	—	—	—	-2.4	-4.7	-0.7	-3.0
	30 to 45	1	12.9	8.8	10.2	7.0	1.0	-7.8	0.3	-6.7
		2	12.9	8.8	10.2	7.0	5.0	-3.9	4.3	-2.8
90	0 to 5°	1	12.8	-6.7	8.5	-4.0	-15.4	-8.8	-10.7	-6.8
	10°	1	14.5	-6.0	9.6	-3.5	-15.4	-9.4	-10.7	-7.2
	15°	1	16.1	-5.4	10.7	-3.0	-15.4	-10.1	-10.7	-7.7
	20°	1	17.8	-4.7	11.9	-2.6	-15.4	-10.7	-10.7	-8.1
	25°	1	16.1	2.6	11.7	2.7	-7.2	-9.8	-5.2	-7.8
		2	—	—	—	—	-2.7	-5.3	-0.7	-3.4
	30 to 45	1	14.4	9.9	11.5	7.9	1.1	-8.8	0.4	-7.5
		2	14.4	9.9	11.5	7.9	5.6	-4.3	4.8	-3.1
95	0 to 5°	1	14.3	-7.4	9.5	-4.4	-17.2	-9.8	-12.0	-7.6
	10°	1	16.1	-6.7	10.7	-3.9	-17.2	-10.5	-12.0	-8.1
	15°	1	18.0	-6.0	12.0	-3.4	-17.2	-11.2	-12.0	-8.6
	20°	1	19.8	-5.2	13.2	-2.9	-17.2	-12.0	-12.0	-9.1
	25°	1	18.0	2.9	13.0	3.0	-8.0	-10.9	-5.8	-8.7
		2	—	—	—	—	-3.0	-5.9	-0.8	-3.8
	30 to 45	1	16.1	11.0	12.8	8.8	1.2	-9.8	0.4	-8.4
		2	16.1	11.0	12.8	8.8	6.2	-4.8	5.4	-3.4
100	0 to 5°	1	15.9	-8.2	10.5	-4.9	-19.1	-10.8	-13.3	-8.4
	10°	1	17.9	-7.4	11.9	-4.3	-19.1	-11.6	-13.3	-8.9
	15°	1	19.9	-6.6	13.3	-3.8	-19.1	-12.4	-13.3	-9.5
	20°	1	22.0	-5.8	14.6	-3.2	-19.1	-13.3	-13.3	-10.1
	25°	1	19.9	3.2	14.4	3.3	-8.8	-12.0	-6.4	-9.7
		2	—	—	—	—	-3.4	-6.6	-0.9	-4.2
	30 to 45	1	17.8	12.2	14.2	9.8	1.4	-10.8	0.5	-9.3
		2	17.8	12.2	14.2	9.8	6.9	-5.3	5.9	-3.8

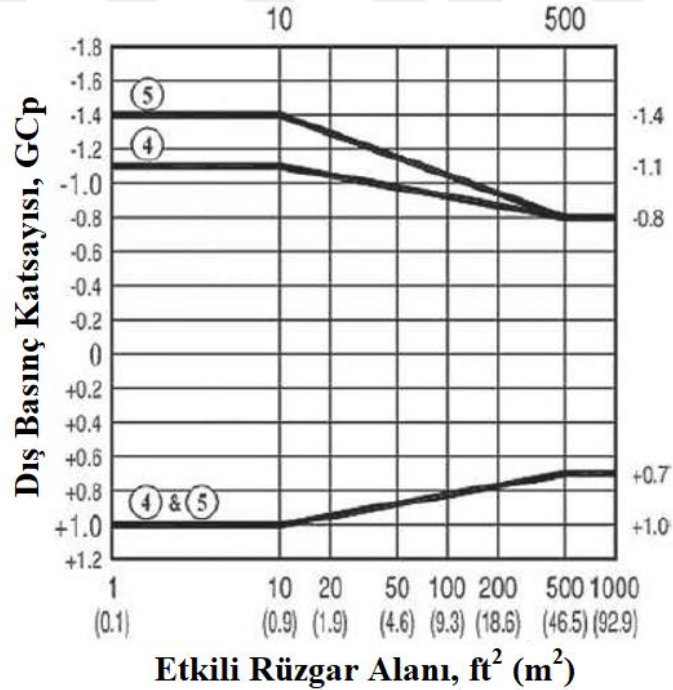
3.14. Kaplama Elemanları ve Bileşenleri (C&C) için Rüzgar Basınç Hesabı

ASCE 7-16 yönetmeliğine göre kaplama ve bileşenleri için kullanılacak tasarım rüzgar basıncı her iki yönde de yüzeye dik olacak şekilde en az 0.77 kN/m^2 olmalıdır. Yani kaplama ve bileşenleri için kullanılması gereken en düşük değer hem basınç hem emme durumu için 0.77 kN/m^2 olacaktır.

Kapalı ve kısmi kapalı yapılarda kaplama elemanları ve bileşenlerinin rüzgar basıncı denklem 3.19’da belirtildiği şekilde hesaplanır.

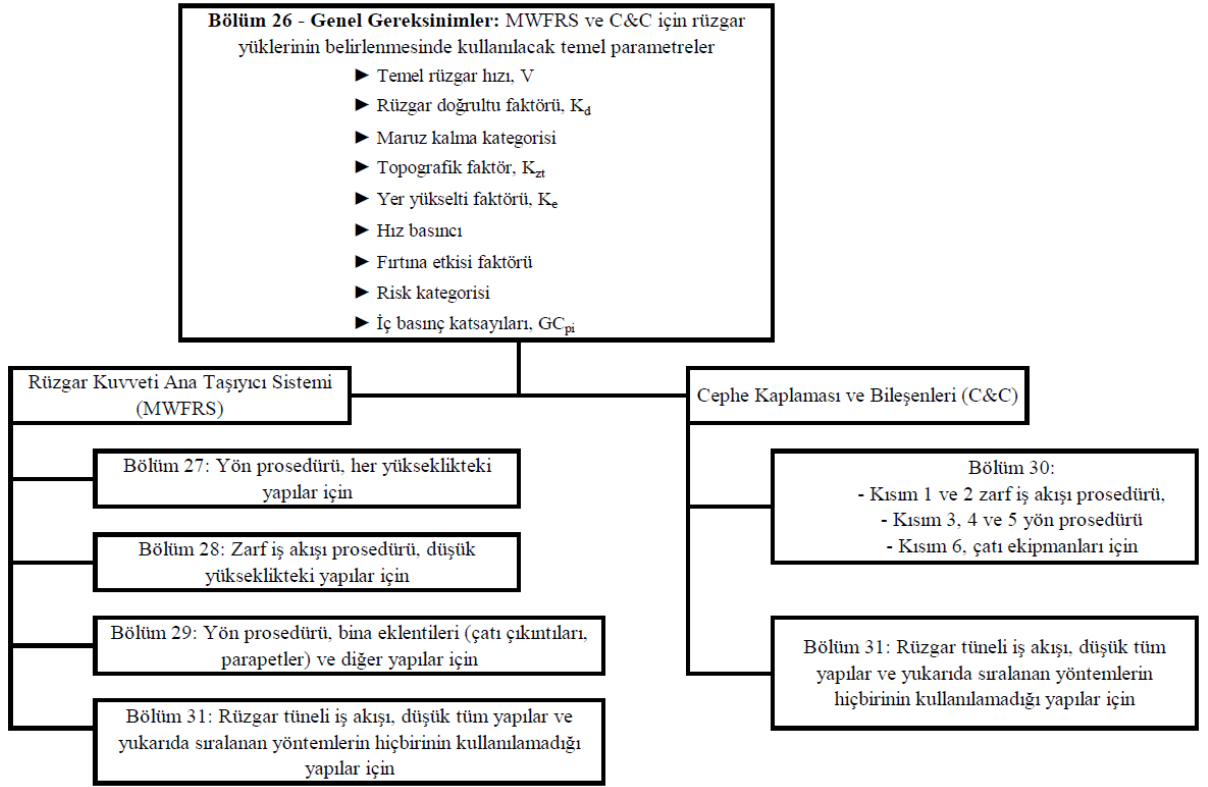
$$p = q_h[(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (3.19)$$

Burada, q_h değeri ortalama çatı yüksekliğindeki basıncı, GC_p dış basınç katsayısını, GC_{pi} ise iç basınç katsayısını ifade etmektedir.



Şekil 3.10. Duvarlar için dış basınç katsayılarının belirlenmesi

GC_{pi} iç basınç katsayısının değeri Çizelge 3.7’den alınacaktır.



Şekil 3.11. Rüzgar yüklerini belirleme akış şeması

4. EUROCODE 1-4 YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE RÜZGAR YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde, Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan Eurocode 1-4 standardı incelenerek rüzgar yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak parametrelerin belirlenmesi, tasarım metotları ve hesap aşamaları konusunda detaylar verilmiştir.

Bu standart her bir yük tesir alanı dikkate alınarak, yapıların ve mühendislik eserlerinin tasarımında rüzgarların oluşturduğu etkilerin belirlenebilmesi açısından yol gösterici bilgiler içermektedir. Yükün etki ettiği alanlar, yapının bir kısmı veya yapının bütünü ile yapı bileşenleri gibi yapıya sonradan monte edilmiş elemanlardır.

Bu standart, yapı yüksekliğinin maksimum 200 metre olduğu yapılar ve mühendislik eserleri ile dinamik etki koşullarını sağlaması durumunda 200 metre veya daha düşük açıklıklı köprüler için geçerlidir.

Rüzgar etkileri zamana bağlı olarak değişimler gösterebilmekte ve kapalı yapının dış yüzeylerine direkt basınç halinde etki edebildiği gibi yapı dış yüzeylerinin ince boşluklardan oluşan yapısı sebebiyle dolaylı şekilde yapının iç yüzeylerine de etki edebilmektedir. Ayrıca oluşan bu etkiler yapıların dış cephesinde açıklık olması halinde iç yüzeylere de direkt etki edebilmektedir. Basınç etkileri, yapının veya cephe elemanlarının yüzey alanlarına dik kuvvetler oluşturmak suretiyle etki edebilmektedir. Bu durumlara ek olarak, rüzgar etkisinin düşük olduğu yapı alanlarının, büyük olması durumunda yapı yüzeyine paralel doğrultuda etki eden sürtünme kuvveti etkileri de önemli olabilmektedir.

Eurocode 1-4 standardına göre rüzgar yüklerinin hesap aşamalarında dikkate alınacak kriterler ve parametre değerleri aşağıda sıralı olarak incelenmiştir.

4.1. Esas Rüzgar Hızı

Esas rüzgar hızı temel değeri v_b , yılın herhangi bir döneminden ve rüzgarın etki yönünden bağımsız olarak, çayırlar gibi az bitki örtüsüne sahip ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe olan engellere sahip açık kırsal alanlarda, zemin seviyesinden 10 metre yükseklikteki 10 dakikalık karakteristik ortalama rüzgar hızını ifade etmektedir. Esas rüzgar hızının değeri denklem 4.1 ile hesaplanmaktadır.

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.1)$$

Burada, v_b arazi kategorisi II olan, zemin seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir döneminin ve rüzgar yönünün bir bağıntısı olarak ifade edilen esas rüzgar hızını, $v_{b,0}$ esas rüzgar hızının temel değerini, c_{dir} doğrultu katsayısını, c_{season} ise mevsim katsayısını belirtmektedir.

Rüzgar hızının temel değeri, ÇYTHYE (2018) yönetmeliği Bölüm 5.3'te belirtildiği üzere, $v_{b,0} = 28$ m/sn (100 km/sa)'den ve yapının ana taşıyıcı sistemine, cephe kaplamalarına ve rüzgar etkisine maruz kalan yapısal veya yapısal olmayan elemanlarına etki eden karakteristik rüzgar yükleri 0.5 kN/m^2 'den düşük olmayacaktır.

Eurocode 1-4 standardında, doğrultu katsayısı c_{dir} için önerilen değer 1.0'dir. Yine mevsim katsayısı c_{season} değerinin de 1.0 alınması tavsiye edilmiştir.

4.2. Ortalama Rüzgar Hızı

Herhangi bir arazide zemin seviyesinden z metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızı değeri, $v_m(z)$ o arazinin engebелiliğine, orografik özelliklerine ve esas rüzgar hızı v_b 'ye bağlı olarak denklem 4.2 kile hesaplanmaktadır.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (4.2)$$

Burada, $c_r(z)$ arazi engebелilik katsayısı, $c_o(z)$ orografi katsayısını belirtmektedir. Orografi katsayısı değeri için önerilen değer 1.0'dir.

4.3. Arazi Engebелiliği

Engebelilik katsayısı $c_r(z)$ ile yapının bulunduğu bölgede, zemin seviyesinden olan yükseklik değeri ve rüzgar esme doğrultusu dikkate alındığında, rüzgarın yaklaştığı yöndeki arazinin engebелiliğine bağlı olarak ortalama rüzgar hızı değişkenliği belirlenmektedir. Rüzgarın etki ettiği alandaki engebелiliği, düzgün dağılım gösteren

arazinin profil gereksinimini kararlı şekilde sağlamaya yeterli uzunlukta olması halinde denklem 4.3 kullanılır.

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

$$c_r(z) = c_r(z_{en \text{ küçük}}) \quad z \leq z_{min} \quad (4.3)$$

Burada belirtilen, z_0 engebелilik uzunluğu, k_r engebелilik uzunluğu z_0 'a bağlı arazi katsayısı değeridir ve denklem 4.4 ile hesaplanmaktadır.

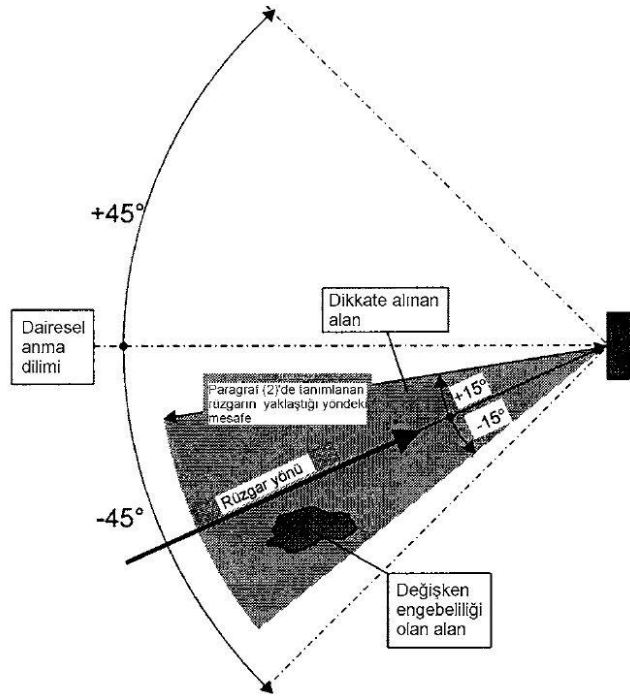
$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \quad (4.4)$$

Burada, $z_{0,u}$ değeri arazi kategorisi II için Çizelge 4.1'den 0.05 olarak alınacaktır. $z_{en \text{ küçük}}$ Çizelge 4.1'de açıklanan minimum yükseklik değerini ifade eder. $z_{en \text{ büyük}}$ ise 200 metre olarak alınacaktır.

Çizelge 4.1. Arazi kategorileri ve arazi parametre değerleri

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

Belirtilen rüzgar doğrultusu için kullanılacak arazi engebелiliği, rüzgar doğrultusu çevresindeki dairesel dilim içinde yer alan düzgün dağılım gösteren engebелiliğe sahip arazi bölümünün uzunluğuna ve yüzey engebелiliğine bağlıdır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Arazi engebeliliğinin değerlendirilmesi (Eurocode 1-4)

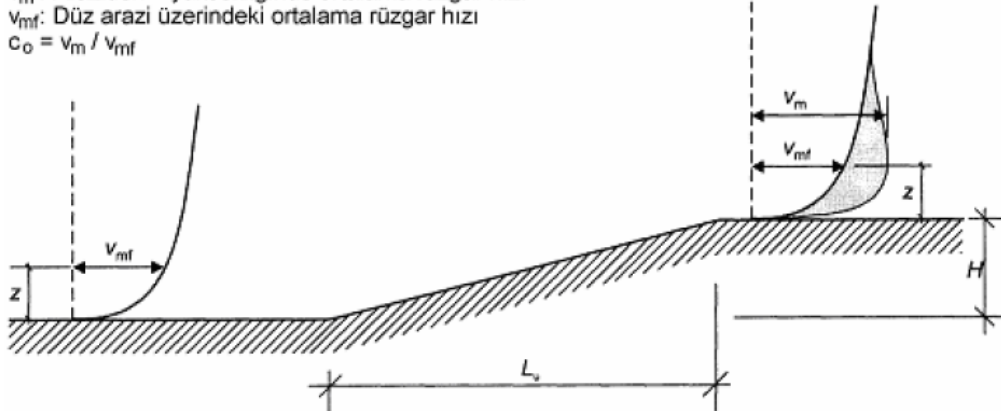
Şekil 4.1'de gösterilmiş olan dairesel dilim içinde basınç katsayısı veya kuvvet katsayısının tanımlandığı hallerde, 30 derecelik herhangi bir dairesel dilimdeki en küçük engebelilik uzunluğu olan arazi seçilmelidir. Söz konusu arazinin tanımlanması esnasında iki veya daha çok arazi kategorisi arasından seçim yapılması gerekirse en küçük engebelilik uzunluğuna sahip olan arazi kullanılmalıdır.

4.4. Arazi Orografisi

Orografinin (tepe, bayır, yamaç vb.) rüzgar hızı değerini % 5'ten daha çok arttırdığı alanlarda hızlanma etki tesirleri orografi katsayısı c_o kullanılarak hesaplanmalıdır.

Bağımsız tepeler, yamaçlar veya sırtlarda farklı rüzgar hızları rüzgar doğrultusunda, rüzgarın yaklaştığı yöndeki eğime ($\phi = H/L_u$) bağlıdır. Yükseklik H ve uzunluk L_u Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

v_m : Araziden z yüksekliğinde ortalama rüzgar hızı
 v_{mf} : Düz arazi üzerindeki ortalama rüzgar hızı
 $c_o = v_m / v_{mf}$



Şekil 4.2. Orografik yapı üzerindeki rüzgar hızının yükselişinin gösterimi (Eurocode 1-4)

Rüzgar hızlarındaki en yüksek artış değeri, eğimin en fazla olduğu noktada orografi katsayısı c_o kullanılarak hesaplanır. Orografi katsayısı $c_o(z) = v_m/v_{mf}$ ile ayırık tepe ve sırtlar (sıradağlar gibi birbirinden ayrılmamış dağların bulunduğu bölgeler hariç) üzerinde ortalama rüzgar hızındaki artış dikkate alınır. $c_o(z)$, tepe ve sırtların alt noktalarındaki rüzgar hızıyla bağlantılıdır. Orografik etkiler aşağıda belirtilen durumlarda dikkate alınmalıdır.

a) Tepe ve sırtlarda rüzgarın geldiği doğrultudaki eğimli kısımda yer alan aşağıda belirtilen özelliklere sahip mahaller için:

$$0.05 < \phi \leq 0.3 \text{ ve } |x| \leq \frac{L_u}{2} \quad (4.5)$$

b) Tepe ve sırtlarda rüzgarın geldiği doğrultudaki eğimli kısımda yer alan aşağıda belirtilen özelliklere sahip mahaller için:

$$\phi < 0.3 \text{ ve } x \leq \frac{L_d}{2} \quad (4.6)$$

$$\phi \geq 0.3 \text{ ve } x < 1.6H \quad (4.7)$$

c) Yamaçların, rüzgarın geldiği doğrultudaki eğimli kısımda yer alan aşağıda belirtilen özelliklere sahip mahaller için:

$$0.05 < \phi \leq 0.3 \text{ ve } |x| \leq \frac{L_u}{2} \quad (4.8)$$

d) Yamaç ve yarların rüzgarın uzaklaştığı doğrultudaki eğimli kısımda yer alan aşağıda belirtilen özelliklere sahip mahaller için:

$$\phi < 0.3 \text{ ve } x < 1.5L_e \quad (4.9)$$

$$\phi \geq 0.3 \text{ ve } x < 5H \quad (4.10)$$

Orografi katsayısı değeri c_o , aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\phi < 0.05 \quad \text{için} \quad c_o = 1 \quad (4.11)$$

$$0.05 < \phi \leq 0.3 \quad \text{için} \quad c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi \quad (4.12)$$

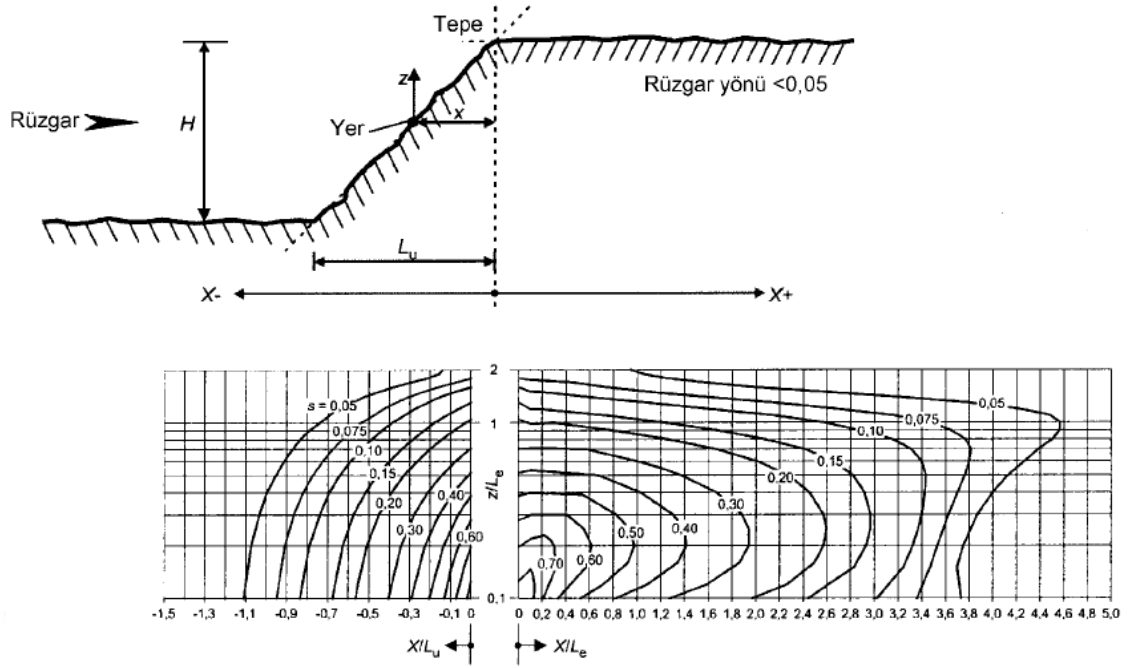
$$\phi > 0.3 \quad \text{için} \quad c_o = 1 + 0.6 \cdot s \quad (4.13)$$

Burada belirtilen; s değeri rüzgarın yaklaştığı doğrultudaki etkin eğim uzunluğu L_e için ölçeklendirilen Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'ten belirlenen orografik bölge katsayısını, ϕ değeri rüzgar doğrultusunda rüzgarın yaklaştığı yöndeki eğimi, L_e Çizelge 4.2'de belirtilen rüzgarın yaklaştığı doğrultudaki etkili uzunluğu, L_u rüzgar doğrultusunda rüzgarın yaklaştığı doğrultudaki gerçek uzunluğu, L_d rüzgar doğrultusunda rüzgarın uzaklaştığı yöndeki gerçek uzunluğu, H eğimin etkin yüksekliğini, x doruk noktasından yapı mahalline kadar olan yatay mesafeyi ve z değeri de yapı mahalinin zeminden düşey olarak ölçülen mesafesinin ifade etmektedir.

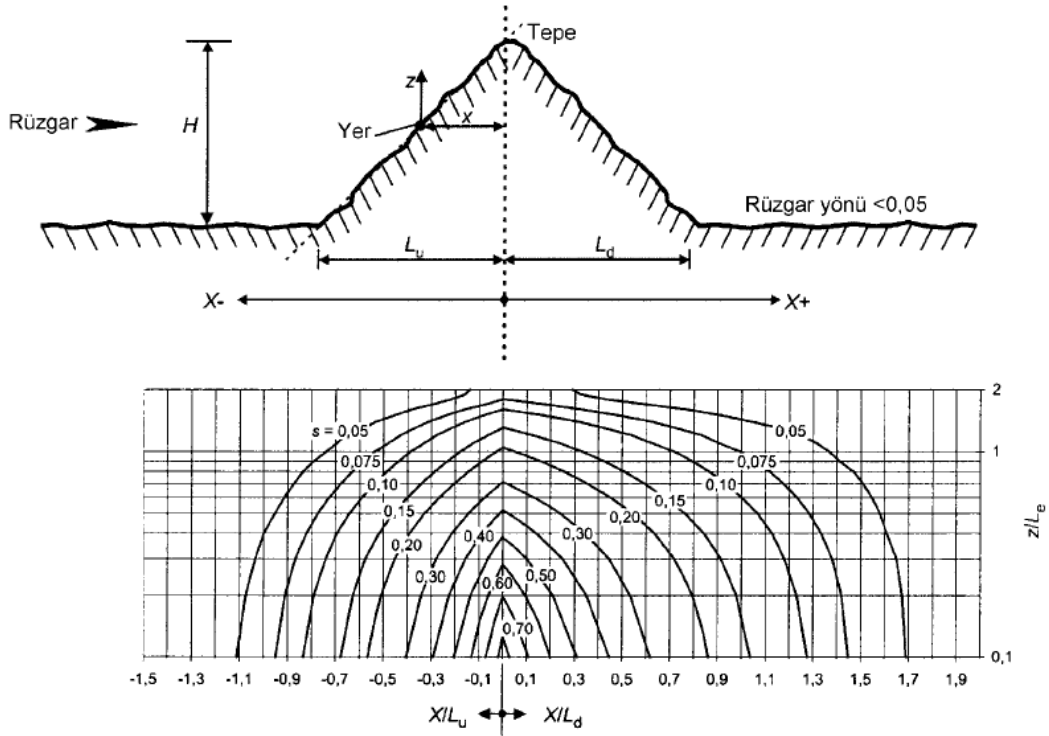
Çizelge 4.2. Etkin uzunluk L_e değerleri

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

Vadilerde görülen hortum etkisi sebebiyle herhangi bir hız artışı beklenmiyorsa $c_o(z)$ değeri 1.0 olarak alınabilir. Vadi içerisine inşa edilmiş yapılar ve dik yamaçlı vadilerde inşa edilmiş köprü açıklıkları için hortum etkisi sebebiyle oluşabilecek rüzgar hızı artışları göz önüne alınmalıdır.



Şekil 4.3. Yamaçlar için s katsayısı (Eurocode 1-4)



Şekil 4.4. Sırt ve tepeler için s katsayısı (Eurocode 1-4)

Rüzgarın yaklaştığı doğrultudaki ortalama arazi eğim açısının 3 dereceden az olduğu hallerde orografi etkileri göz ardı edilebilir. Rüzgarın yaklaştığı doğrultudaki arazi boyu, orografik unsurun yüksekliğinin 10 katı kadar olan bir mesafe olarak kabul edilebilir.

4.5. Rüzgar Türbülansı

Rüzgar hızının türbülans bileşeninin ortalama değeri 0, standart sapması σ_v 'dir. Türbülansın standart sapması σ_v , denklem 4.14 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l \quad (4.14)$$

Burada; arazi katsayısı k_r denklem 4.4, temel rüzgar hızı v_b denklem 4.1 ile hesaplanmaktadır. k_l ise türbülans katsayısını ifade etmektedir ve standartta tavsiye edilen değeri 1.0'dır.

z metre yükseklikteki türbülans şiddeti $I_v(z)$, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgar hızına oranı olarak ifade edilir ve denklem 4.15 ile hesaplanabilir.

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

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad z < z_{min} \quad (4.15)$$

Burada; k_l türbülans katsayısını, c_o orografi katsayısını ve z_0 engebelilik uzunluğunu ifade etmektedir.

4.6. Tepe Hız Kaynaklı Rüzgar Basıncı

z metre yükseklikteki, ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini bulunduran rüzgar tepe basıncı $q_p(z)$ denklem 4.16 ile hesaplanmaktadır.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_p \quad (4.16)$$

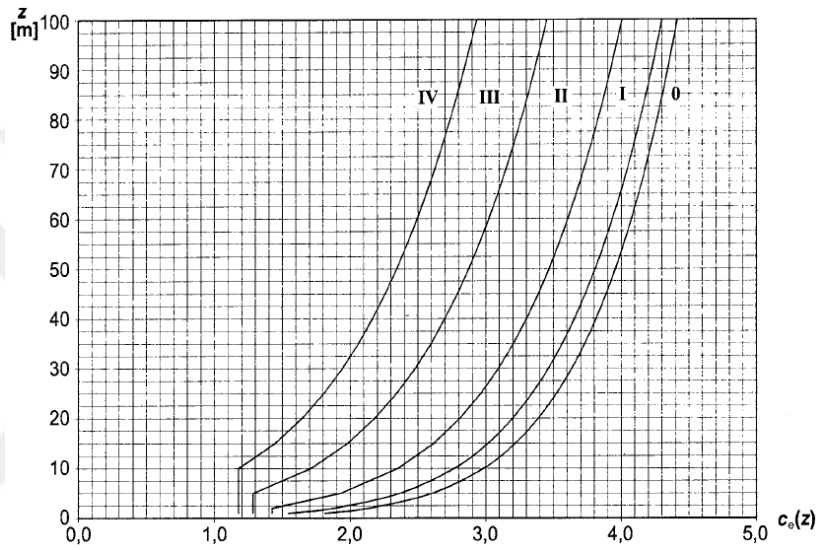
Buradaki ρ değeri, fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık ve barometrik basınçlara ve rakıma bağlı olan hava yoğunluğudur. Tavsiye edilen değer 1.25 kg/m^3 'tür. $c_e(z)$ değeri maruz kalma katsayısını ifade etmektedir ve denklem 4.17 ile hesaplanır.

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_p} \quad (4.17)$$

q_p esas hız kaynaklı rüzgar basıncı değeridir ve denklem 4.18 ile hesaplanır.

$$q_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (4.18)$$

$c_o(z) = 1,0$ olan düz araziler için maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ Şekil 4.5'te yer seviyesinden yüksekliğin ve Çizelge 4.1'de tanımlanan arazi kategorilerinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$ 'nin $c_o=1,0$ ve $k_l=1,0$ için grafik gösterimi

4.7. Yüzeylerdeki Rüzgar Basıncı

Yapı dış yüzeylere etki eden rüzgar basıncı w_e , denklem 4.19 kullanılarak hesaplanacaktır.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (4.19)$$

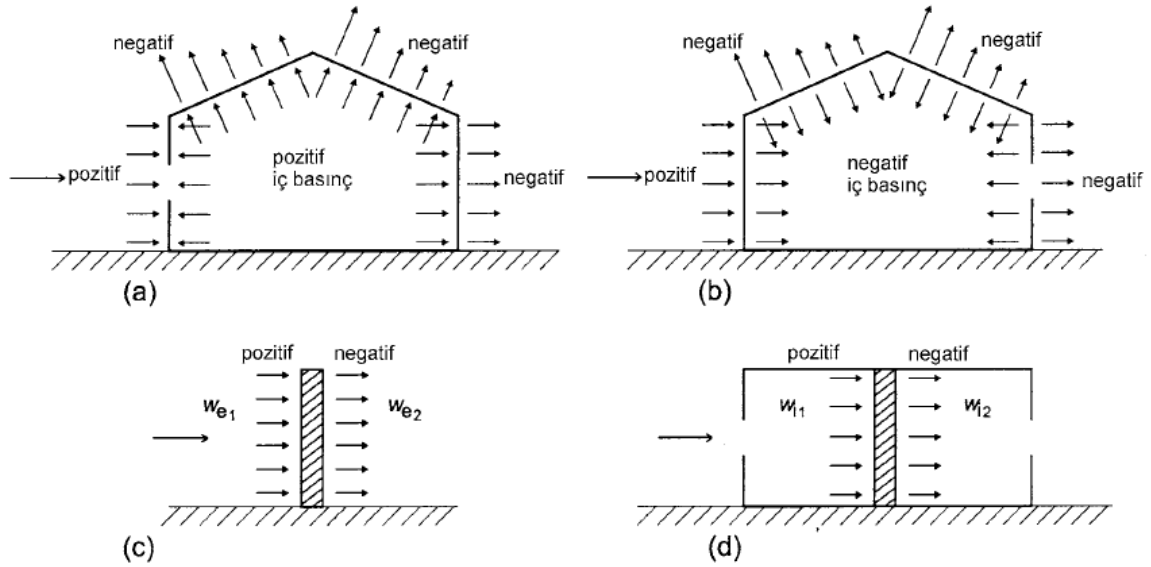
Burada; $q_p(z_e)$ rüzgar tepe basıncı, z_e dış basınç için referans yükseklik ve c_{pe} dış basınç için belirtilen basınç katsayısı değeri olarak tanımlanmıştır.

Bir yapının iç yüzeylerine etkiyen rüzgâr basıncı w_i , denklem 4.20 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (4.20)$$

Burada; $q_p(z_i)$ tepe hız kaynaklı rüzgar basınç değeri, z_i iç basınç için dikkate alınan referans yüksekliği ve c_{pi} iç basınç için belirtilen basınç katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Bir yapı elemanına, çatıya ya da duvara etki eden net basınç değeri, elemanların zıt yüzeylerinde oluşan basınçların işaretleri de göz önüne alınarak hesaplanan fark değerine eşittir. Yüzeye doğru etki eden basınç etkisi pozitif değer ve yüzeyden uzaklaşan yöndeki basınç etkisi ise negatif değer olacaktır.



Şekil 4.6. Yüzeyle etki eden basınçlar

4.8. Rüzgar Kuvvetleri

Yapının bütünü yahut yapısal bir bileşeni için rüzgar kuvvetleri, bu kuvvetlere ait kuvvet katsayı değerleri kullanılarak hesaplanması ile veya bu kuvvetlerin, yüzey basınçları yardımıyla hesaplanarak belirlenmelidir.

Bir yapıya veya yapının herhangi bir bileşenine etki eden rüzgar kuvveti F_w direkt olarak denklem 4.21 kullanılarak belirlenmektedir.

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.21)$$

Burada; $c_s c_d$ yapısal katsayı, c_f yapı veya yapıya ait bir eleman için kuvvet katsayısı, $q_p(z_e)$ değeri z_e referans yüksekliğindeki rüzgar tepe basıncı ve A_{ref} ise yapının ya da yapıya ait bir elemanın referans alanı olarak ifade edilmektedir.

$c_s c_d$ değeri için;

- a) Yüksekliği 15 m'den az olan binalarda,
- b) Doğal frekansı 5 Hz'den yüksek olan cephe ve çatı elemanları için,
- c) Taşıyıcı duvarları olan yüksekliği 100 metreden az ve bu yüksekliğin rüzgar etki yönündeki yapı derinliğinin 4 katından daha düşük olduğu çerçeve sistemli binalarda,

Yukarıda belirtilen durumlara ilaveten $c_s c_d$ değeri, aşağıda gösterilen denklem 4.22 ile hesaplanabilir.

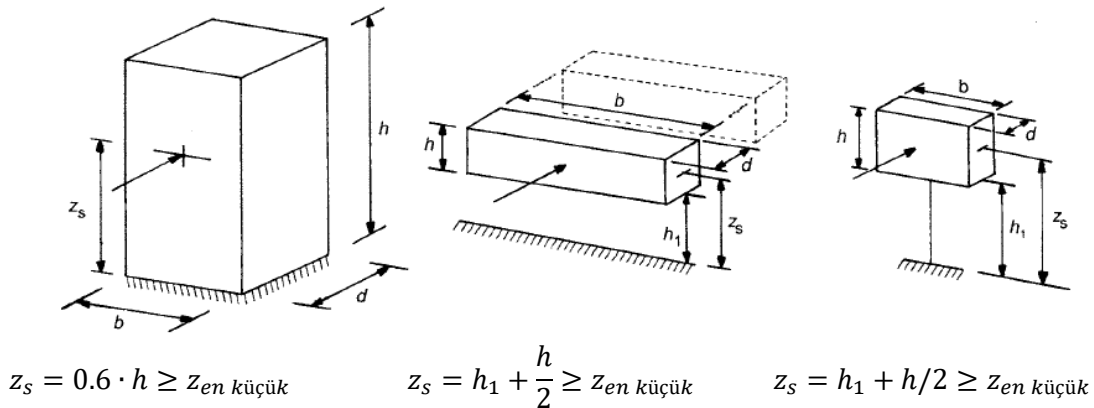
$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (4.22)$$

Burada; z_s yapısal katsayısının belirlenmesi için referans yükseklik, k_p yapının oluşturduğu tepkinin değişim gösteren bölümündeki maksimum değerinin standart sapmasına oranı şeklinde tanımlanan tepe katsayısı, I_v türbülans şiddeti, B^2 yapı yüzeyinde oluşan basıncın tam etkileşim eksikliğine izin veren geri plan katsayısı ve R^2 değeri de türbülansın titreşimle rezonansına izin veren rezonans tepki katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

a) Binalar gibi düşey yapılar

b) Paralel salınım yapan elemanlar (kirişler gibi yatay elemanlar)

c) Direkli işaret levhaları gibi noktasal yapılar



Şekil 4.7. Tasarım aşaması kapsamında yer alan genel yapı şekilleri (Eurocode 1-4)

4.9. Basınç Katsayıları

Dış basınç katsayıları kullanılarak rüzgarların, yapıların dış yüzeylerde oluşturdukları etkileri, iç basınç katsayıları kullanılarak rüzgarların, yapıların iç yüzeylerde oluşturdukları etkileri verilmektedir.

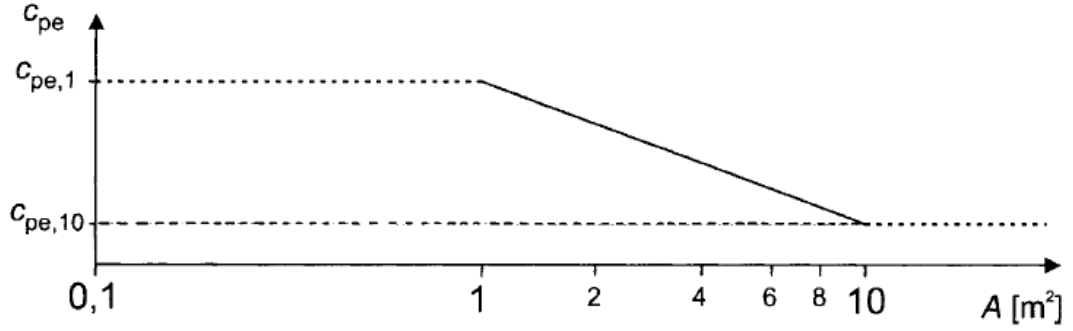
Dış basınç katsayıları, kısmi katsayılar ve genel katsayılar olarak ikiye ayrılmaktadır. Kısmi katsayılar, 1 m²'lik yüklenmiş alanlar için genel katsayılar ise 10 m²'lik yüklenmiş alanlar için basınç katsayısını vermektedir.

Net basınç katsayıları; bir yapı bileşeni, yapısal eleman veya tüm yapının birim alanına etki eden rüzgar tesirlerinin toplamını ifade etmektedir.

Yapılar ve yapı bölümleri için dış basınç katsayıları c_{pe} , hesap yapılacak kesitteki rüzgar etkisini oluşturan yüklenmiş yapı alanının boyutuna bağlıdır. Dış basınç katsayıları, uygun yapı şekilleri için çizelgelerde, değeri 1 m² olan yüklenmiş alan için kısmi katsayı $c_{pe,1}$ olarak, değeri 10 m² olan yüklenmiş alan için ise genel katsayı $c_{pe,10}$ olarak verilmiştir.

$c_{pe,1}$ değerleri çatı ve cephe kaplama elemanları gibi alanı 1 m² ya da daha düşük olan elemanlar ve sabitleme için kullanılan elemanların tasarımında dikkate alınmaktadır. $c_{pe,10}$ değerleri ise yapının yük taşıyan bölümünün tamamının tasarımında kullanılmaktadır.

Dış basınç katsayı değerleri $c_{pe,1}$ ve $c_{pe,10}$ esas alınarak 1 m²'nin üzerindeki yüklenmiş alanlara etki eden dış basınç katsayılarını belirlemek için kullanılabilecek bir metot verilmektedir. Değeri 10 m²'ye kadar olan yüklenmiş yapı alanları için önerilen işlem Şekil 4.8'de verilmiştir.

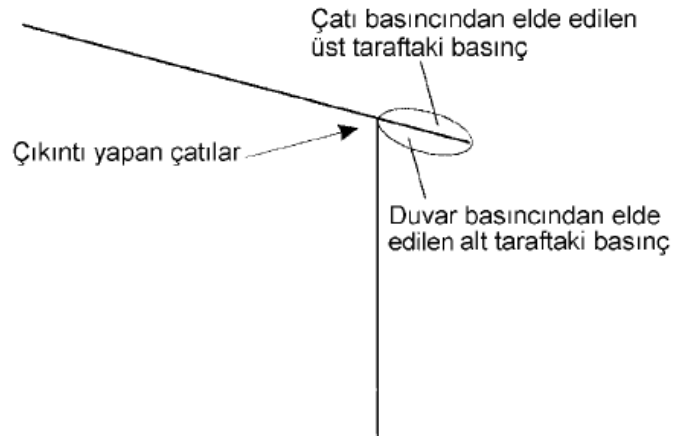


Bu şekil aşağıdaki kabule dayanır.

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

Şekil 4.8. Değeri 1 m² ile 10 m² arasında olan yüklenmiş alana sahip yapılarda dış basınç katsayısı, c_{pe}'nin belirlenmesi için önerilen işlem (Eurocode 1-4)

Çıkıntılı (saçaklı) çatılar için çatı çıkıntısının alt kenar bölgesinde oluşan basınç, direkt çıkıntı yapan çatıya bağlanan düşey duvarların dikkate alınan bölgesindeki basıncına eşittir. Çatı çıkıntısının üst bölümünde oluşan basınç ise çatının tamamı dikkate alınarak tanımlanan basınca eşittir.

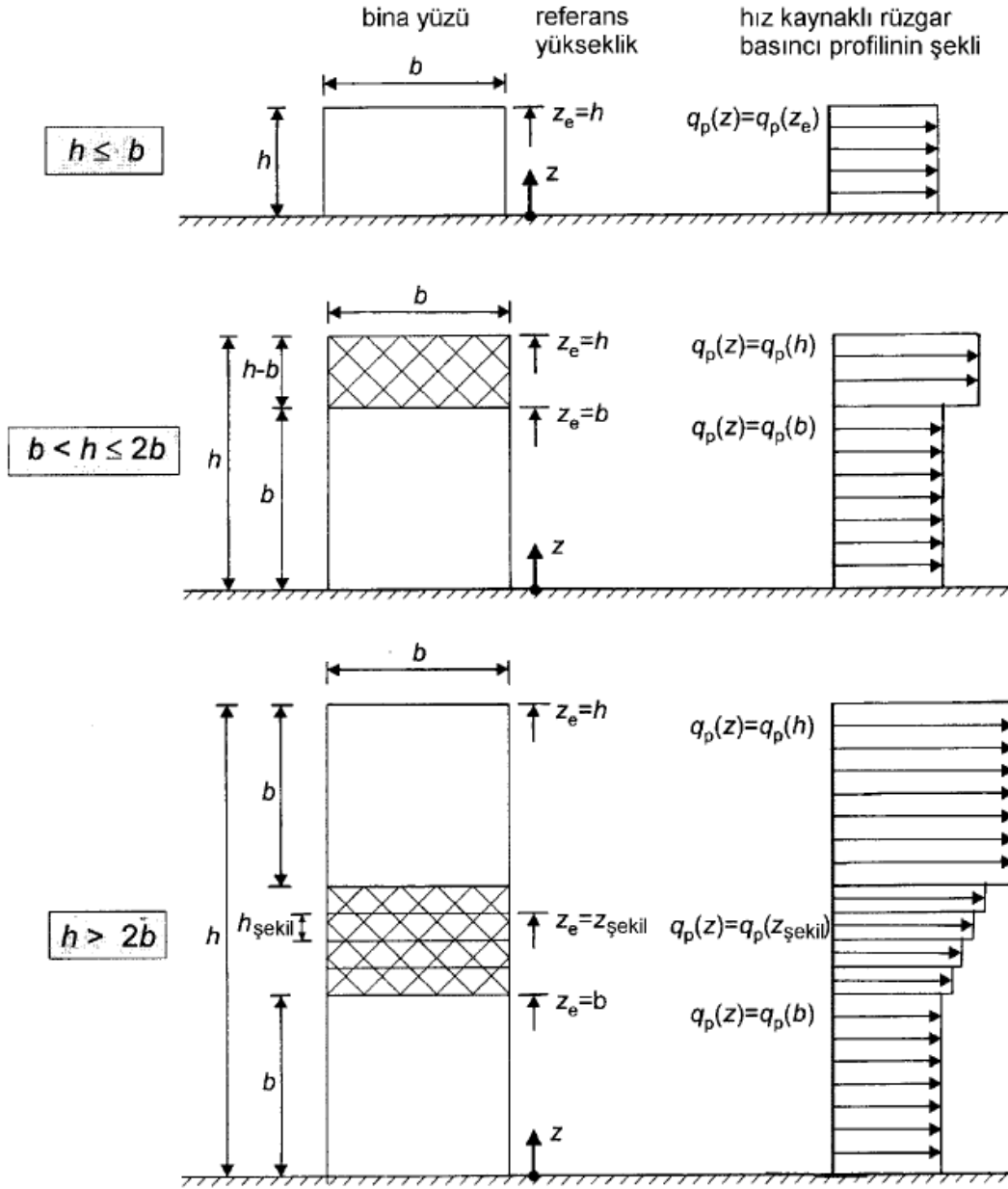


Şekil 4.9. Çıkıntılı (saçaklı) çatılarda oluşan basınçların gösterimi

Dikdörtgen şekle sahip yapılar için dış basınç katsayıları aşağıda sıralanan koşullara bağlı olarak belirlenmektedir.

Dikdörtgen şekle sahip yapıların, rüzgarın etki ettiği yöndeki duvarları için (D Bölgesi, Şekil 4.11) z_e referans yükseklik değerleri, h/b oranına olarak daima

duvarların farklı bölümlerindeki en büyük yüksekliğe eşittir. Bu yükseklikler aşağıdaki üç durum için Şekil 4.10’da verilmiştir:



Şekil 4.10. h ve b değerlerine bağlı olarak z_e referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgar basınç profili

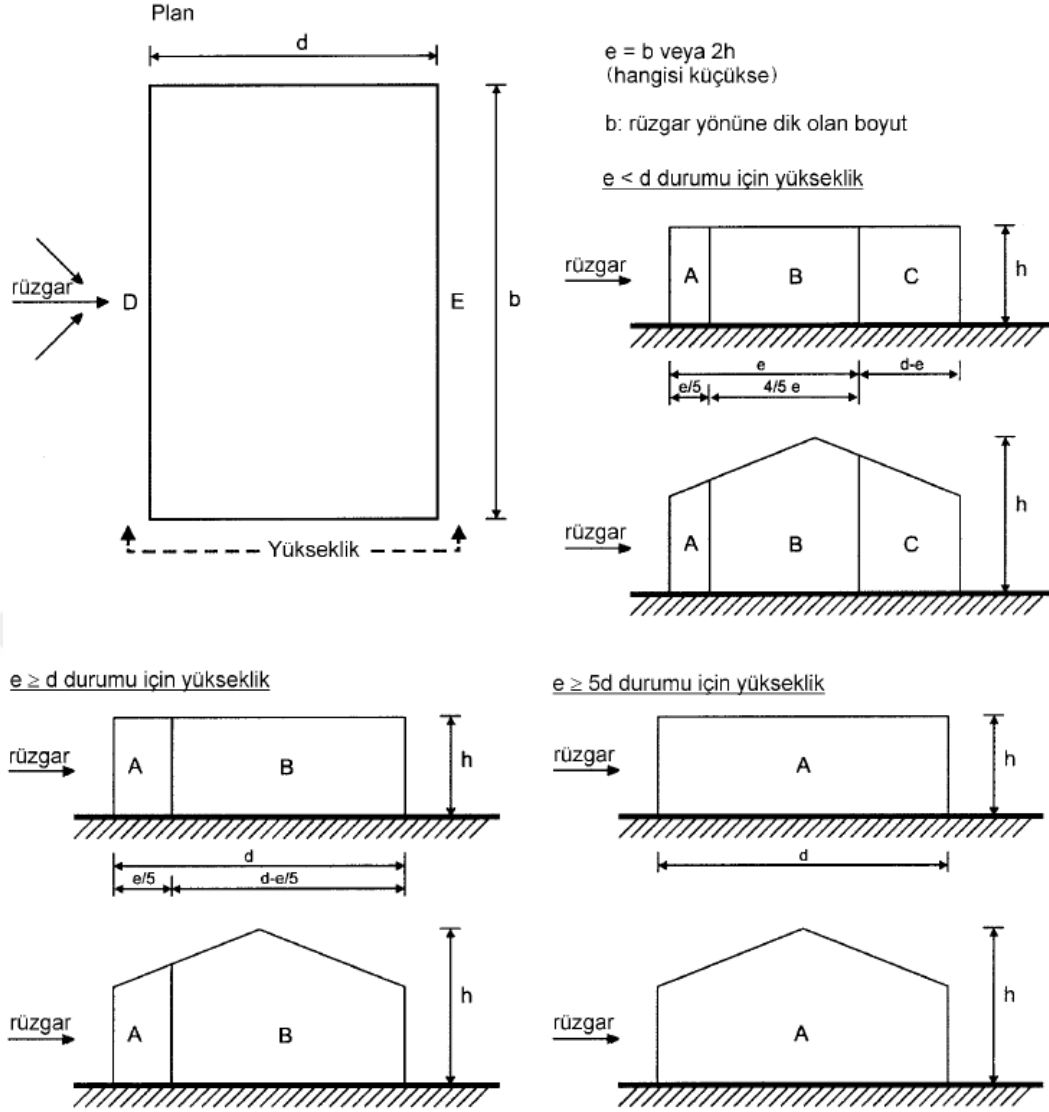
Şekil 4.10’da verilen üç yükseklik durumu için:

- h yüksekliğinin b ’den küçük olduğu yapılar tek bir parça olarak dikkate alınmalıdır.

- h yüksekliğinin b 'den büyük olduğu fakat $2b$ 'den küçük olduğu bir yapı, zemin seviyesinden b yüksekliğine kadar olan alt bölümü bir parça ve geriye kalan üst bölümü başka bir parça olarak iki parçalı yapı olarak dikkate alınmalıdır.
- h yüksekliği $2b$ 'den büyük olan bir yapının, zemin seviyesinden b yüksekliğine kadar olan alt bölümü; yapının tepesinden aşağıya doğru b yüksekliği kadar olan mesafede üst bölümü ile üst ve alt bölümlerin arasında Şekil 4.10'te gösterildiği gibi h_{strip} yüksekliğinde yatay şeritlere ayrılabilen orta bölüme sahip çok parçalı yapı olarak değerlendirilebilir.

Dikkate alınan her bir yatay şerit alanı için hız kaynaklı oluşan rüzgar basıncının düzgün yayılı yük olarak etki ettiği kabul edilmelidir.

A, B, C, D ve E bölgeleri için dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ Şekil 4.11'de tanımlanmıştır.



Şekil 4.11. Düşey duvarlarda tanımlanan bölgeler

$c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ katsayıları için önerilen değerler h/d oranına bağlı olarak Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. h/d oranlarının arasındaki değerler için doğrusal interpolasyon yapılabilir. Çift eğimli veya tek eğimli çatılar haricindeki yapıların duvarları için de Çizelge 4.3'teki değerler kullanılabilir.

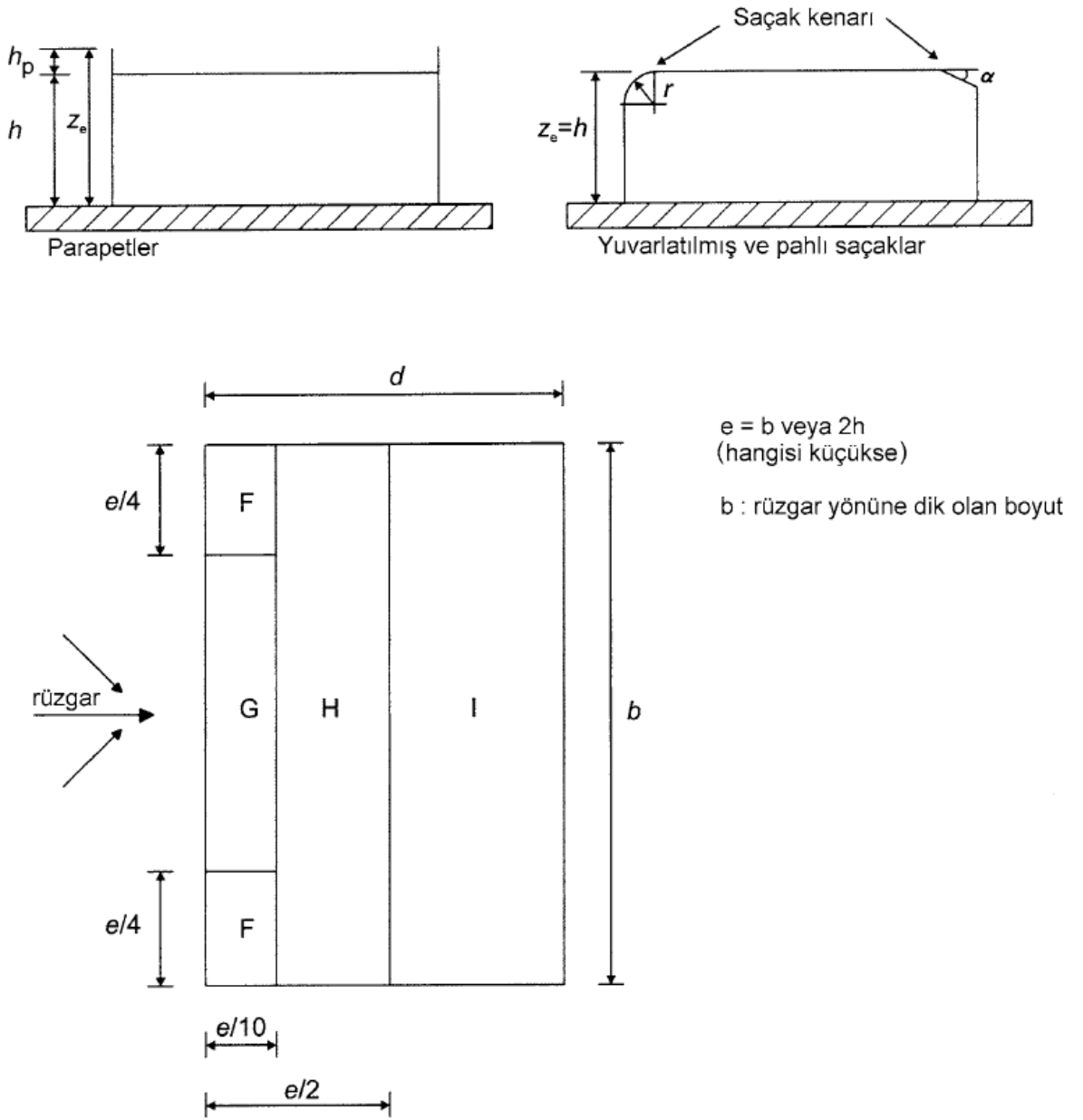
Çizelge 4.3. Dikdörtgen plana sahip yapıların düşey duvarları için önerilen dış basınç katsayıları

Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Yapının üzerine etki eden rüzgar kuvvetlerinin, yapının rüzgarın estiği yöndeki ve rüzgarın uzaklaştığı yöndeki yüzeylerine (D ve E bölgeleri) c_{pe} basınç katsayıları birlikte uygulanarak tespit edildiği durumlarda yapının rüzgarın estiği yöndeki ve rüzgarın uzaklaştığı yöndeki yüzeyleri arasında kalan bölgede oluşan rüzgar basınçlarının dikkate alınması tavsiye edilmektedir.

4.10. Düz Yapıya Sahip Çatılar İçin Dış Basınç Katsayıları

- Eğimi (α), $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$ arasında olan çatılar “düz çatı” olarak tanımlanmaktadır.
- Düz çatılar ve saçak kenarları bulunan veya pahlı çatılarda referans yükseklik h olarak tanımlanmaktadır.
- Parapet bulunan düz çatılarda referans yüksekliği $h + h_p$ olarak alınmaktadır.
- Düz çatılar, 5 farklı bölgeye ayrılmaktadır (Şekil 4.12).



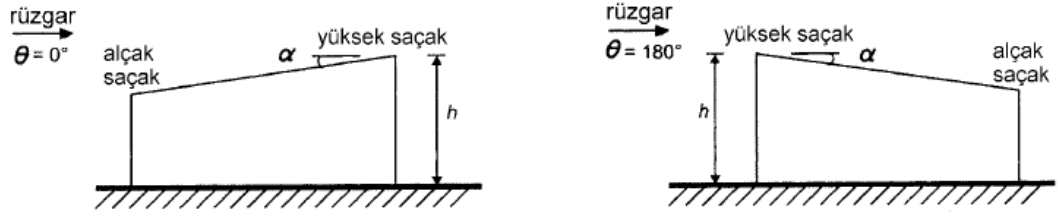
Şekil 4.12. Düz çatılar için tanımlamalar

Çizelge 4.4. Düz çatılar için dış basınç katsayıları

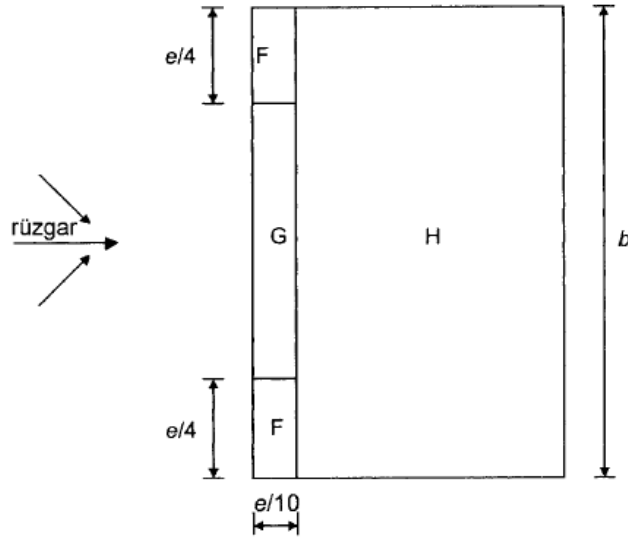
Çatı tipi		Bölge							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Keskin kenarlı saçaklar		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Parapetli	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0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

4.11. Tek Eğimli Çatılar

- Çıkıntı yapan kısımlar içeren çatılar, Şekil 4.13'teki şekilde bölgelere ayrılmalıdır.
- z_e referans yüksekliği, h yüksekliğine eşit alınmalıdır.
- Belirtilen bölgeler için kullanılacak basınç katsayıları, Çizelge 4.5'te verilmiştir.

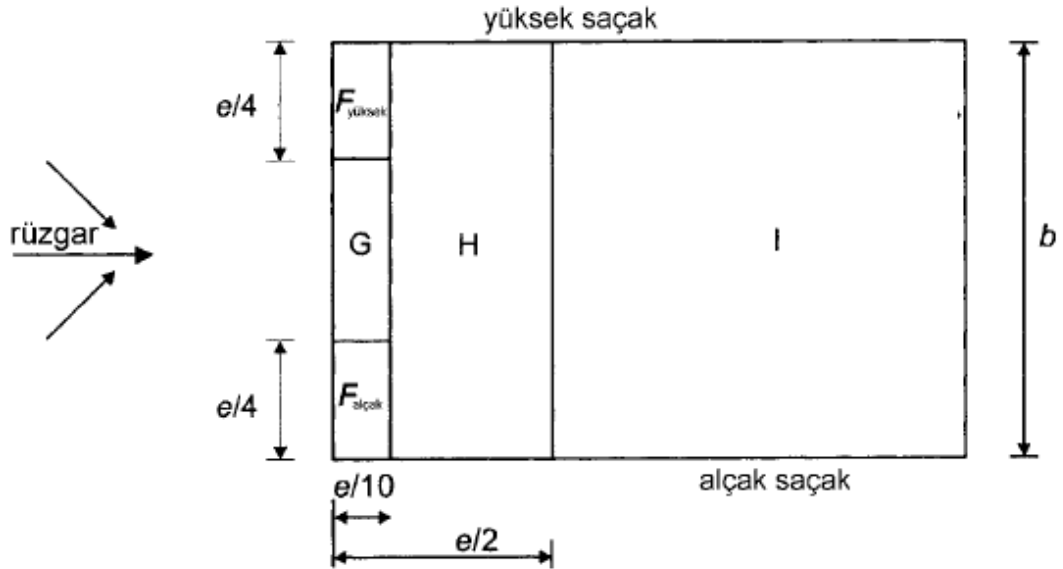


(a) genel

(b) rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ ve $\theta = 180^\circ$

$e = b$ veya $2h$
(hangisi küçükse)

b: rüzgar yönüne dik olan boyut

(c) rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$

Şekil 4.13. Tek eğimli çatılar için tanımlamalar

Çizelge 4.5a. Tek eğimli çatılar için dış basınç katsayıları

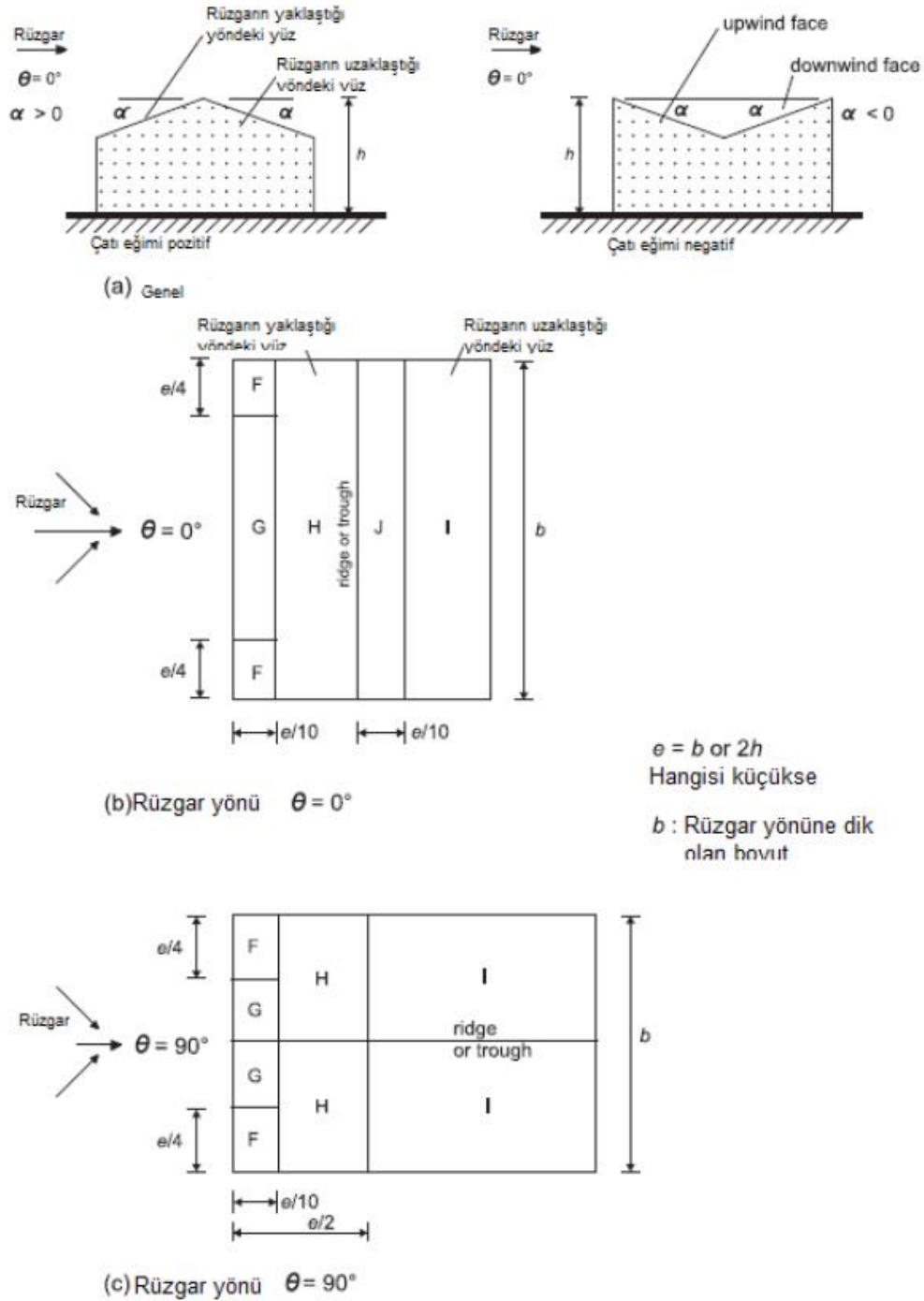
Eğim açısı α	Rüzgâr yönü $\theta = 0^{\circ}$ için bölgeler						Rüzgâr yönü $\theta = 180^{\circ}$ için bölgeler					
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
10°	-0,9	-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°	-0,5	-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		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Çizelge 4.5b. Tek eğimli çatılar için dış basınç katsayıları

Eğim açısı α	Rüzgâr yönü $\theta = 90^\circ$ 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°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

4.12. Çift Eğimli Çatılar

Çıkıntısı bulunan bölümlere sahip çatılarda göz önüne alınacak bölgeler Şekil 4.14'te görülmektedir. z_e referans yükseklik değeri, h yükseklik değerine eşit olarak dikkate alınacaktır. Belirtilen bölgelerde kullanılacak basınç katsayı değerleri Çizelge 4.6.a ve 4.6.b'de görülmektedir.



Şekil 4.14. Çift eğimli yapıya sahip olan çatılar için tanımlamalar

Çizelge 4.6b. Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları

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

4.13. İç Basınç Katsayısı

İç ve dış basınç etkileri yapılara aynı anda etki edebilecek şekilde göz önüne alınmalıdır. Yapılarda görülen olası boşluklar ile rüzgar akışının sızdığı diğer hatların her bir kombinasyonu için en elverişsiz durum için iç ve dış basınç kombinasyon değerleri göz önüne alınmalıdır.

Bir yapının cephe bölümünde yer alan açıklıklar sebebiyle tüm dış rüzgar etkilerini karşılamak durumunda kalan yapının iç duvarları için emniyetli tasarım yapılmış olma durumunun kontrol edilmesi önem arz etmektedir.

Değerlendirmeye alınan yapının bir cephesindeki açıklıklarının toplam alanı, diğer cephelerdeki açıklık toplamalarının ve sızıntı alanlarının minimum iki katı olduğu durumlarda o cephe, baskın cephe olarak dikkate alınmalıdır.

Baskın bir cepheye sahip yapıdaki iç basınçlar, baskın cephede yer alan açıklıklardaki dış basınçların bir oranı olarak değerlendirmeye alınmalıdır.

Baskın yüzeydeki açıklıkların alanları toplamının, diğer yüzeylerdeki toplam açıklıkların iki katı olması durumunda,

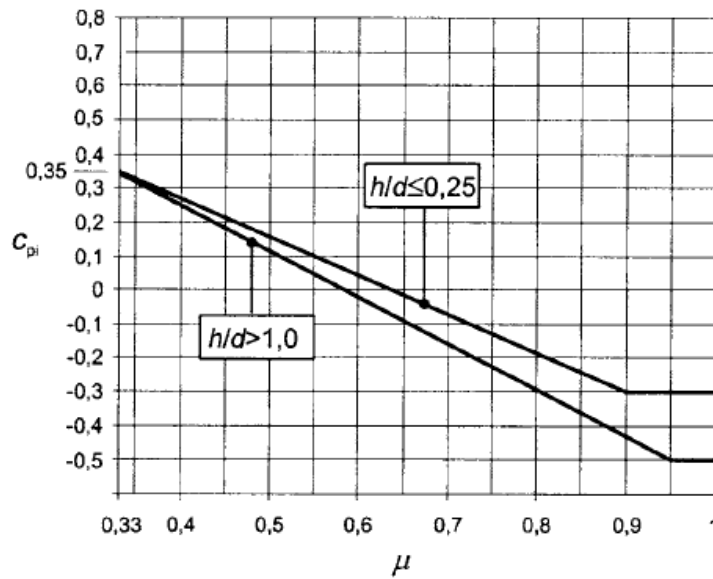
$$c_{pi} = 0.75 \cdot c_{pe} \quad (4.23)$$

Baskın yüzeydeki açıklıkların alanları toplamının, diğer yüzeylerdeki toplam açıklıkların minimum üç katı olduğu durumlarda,

$$c_{pi} = 0.90 \cdot c_{pe} \quad (4.24)$$

Burada c_{pe} , baskın yüzeyde yer alan açıklıklardaki dış basınç katsayısı değerini ifade etmektedir. Bu açıklıkların farklı dış basınç katsayılarına sahip bölgelerinde yer aldığı hallerde, bu alanlara göre hesaplanan bir ortalama c_{pe} değeri seçilmektedir.

Baskın cephesi bulunmayan yapılarda ise iç basınç katsayısı c_{pi} , Şekil 4.15 kullanılarak hesaplanmalıdır. Hesaplanan iç basınç katsayısı, yapı yüksekliğinin derinliğine oranı (h/d), denklem 4.25 ile hesaplanması gereken her bir rüzgar doğrultusu için dikkate alınan açıklık oranı μ 'nün bir bağıntısı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.15. Düzgün dağılımlı açıklıklar için iç basınç katsayıları

$h/d = 1.0$ ile $h/d = 0.25$ değerleri arasında interpolasyon hesabı yapılabilmektedir.

$$\mu = \frac{\sum c_{pe} \text{ değerinin negatif ya da 0 olduğu açıklık alanı}}{\sum \text{ açıklık alanı}} \quad (4.25)$$

Denklem 4.25, bölme duvarlar bulunan veya bölme duvar bulunmayan yapıların cepheleri ve çatıları için geçerli olmaktadır.

İstisnai durumlar için μ değeri belirlenemez olarak kabul edildiğinde veya μ değerinin tahmin edilemediği durumlarda c_{pi} katsayısı için, +0.2 ve -0.3 değerlerinden en olumsuz durumu meydana getiren değer dikkate alınmalıdır.

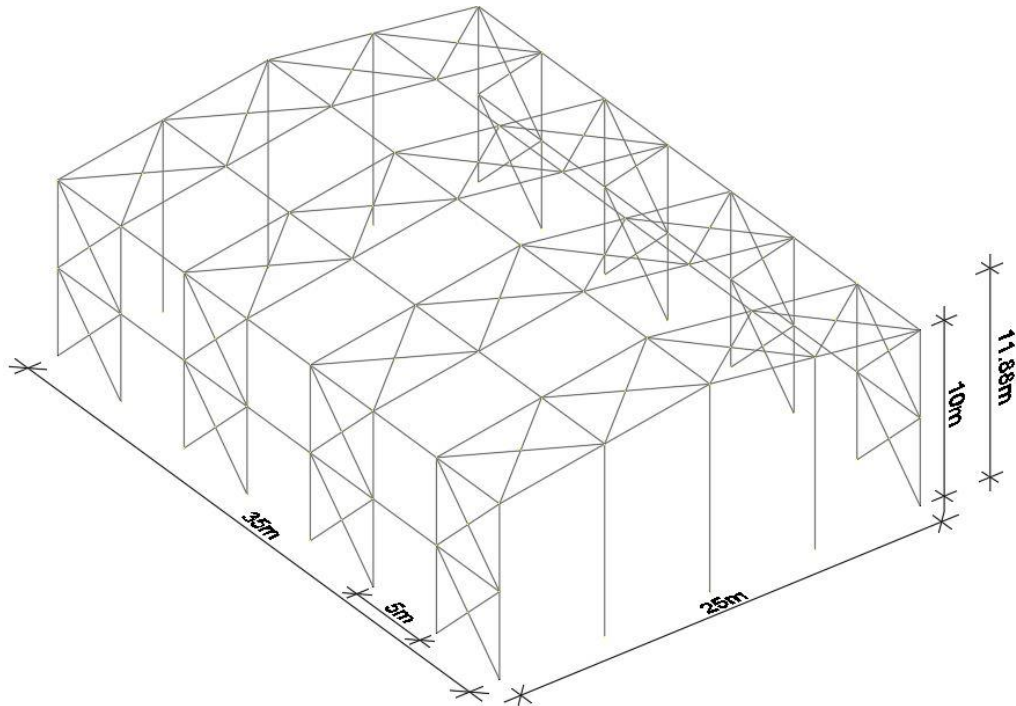


5. ENDÜSTRİYEL ÇELİK YAPI MODELLERİ İÇİN RÜZGAR YÜKLERİNİN HESAPLANMASI

Bu bölümde çift eğimli çatıya sahip endüstriyel çelik yapı modelleri; ASCE 7-16, Eurocode 1-4 ve TS-498 yönetmeliklerine göre yapılara etki eden rüzgar yükleri açısından incelenecektir. İncelenen iki yapı modeli arasında; yapı uzunlukları, yapı genişlikleri, çerçeveler arası mesafeler, kolon yükseklikleri, çatı eğim açıları ve mahya yükseklikleri farklılık göstermektedir. Bu parametrelere göre birinci ve ikinci yapı modeli için, çatı eğim açısının değişimi ile ASCE 7-16 ve Eurocode 1-4 yönetmeliklerine göre dış basınç katsayıları, Eurocode 1-4'e göre h/d oranına bağlı olarak dış basınç katsayıları, ASCE 7-16'ya göre yüksekliğin değişimi ile maruz kalma katsayısına bağlı olarak hız basınç değerleri değişkenlik göstermektedir.

5.1. Yapı Modeli – 1

Şekil 5.1'de üç boyutlu görünümü verilmiş olan endüstriyel yapı modelinin boyutları görülmektedir.



Şekil 5.1. 1. yapı modelinin boyutları

Yapı uzunluğu	$b = 35 \text{ m}$
Yapı genişliği	$d = 25 \text{ m}$
Çerçeveler arası uzaklık	$s = 5 \text{ m}$
Kolon yüksekliği	$h' = 10 \text{ m}$
Çatı eğimi	$\alpha = 8.55^\circ$
Çatı mahya yüksekliği	$h = 10 + \tan 8.55^\circ \cdot (25/2) = 11.88 \text{ m}$

5.1.1. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre çözüm

Farklı türden yüzey engebелilik (arazi) kategorisi değerlerinden (B ve C) öncelikle B kategorisi dikkate alınmıştır.

Rüzgar basıncı maruz kalma katsayısı K_z , Çizelge 3.5 yardımıyla, B kategorisinde bulunan yapı için 11.88 m çatı mahya yüksekliğinde K_z değeri 0.754 olarak belirlenmiştir.

Topoğrafik faktör K_{zt} , standartta tavsiye edilen değer 1.0 olarak alınmıştır.

Yapı tipine göre değişim gösteren rüzgar doğrultu katsayısı K_d , Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çizelge dikkate alınarak binalar için rüzgar doğrultu katsayısı değeri 0.85 olarak alınmıştır.

Zemin yükselti katsayısı K_e , standartta belirtildiği üzere izin verilebilir bütün yükseklikler için 1.0 alınabilmektedir.

Temel rüzgar hızı değeri 28 m/s olarak alınmıştır.

5.1.2. Rüzgar hız basıncı

$z = 10 \text{ m}$ yüksekliği için hız basıncı değeri q_z , Denklem 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_z = 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot K_e \cdot V^2 \quad (N/m^2)$$

$$q_z = 0.613 \cdot 0.717 \cdot 1.0 \cdot 0.85 \cdot 1.0 \cdot (28)^2 = 293.1 \text{ N/m}^2 \quad (5.1)$$

Ortalama çatı yüksekliği, $h = (10 + 11.88)/2 = 10.94$ m için hız basıncı değeri q_z , denklem 5.2 ile hesaplanmıştır.

$$q_h = 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot K_e \cdot V^2 \quad (N/m^2)$$

$$q_h = 0.613 \cdot 0.736 \cdot 1.0 \cdot 0.85 \cdot 1.0 \cdot (28)^2 = 300.5 \text{ N/m}^2 \quad (5.2)$$

Çizelge 5.1’de incelenen yapı modeli için farklı yüksekliklerdeki hız basıncı değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.1. Farklı yüksekliklerdeki hız basıncı değerleri, q (N/m²)

Yükseklik (m)	Maruz kalma katsayısı, K_z	Rüzgar basıncı	q (N/m ²)
0-4.6	0.57	q_z	232.8
6.1	0.62	q_z	253.3
7.6	0.66	q_z	269.6
9.1	0.7	q_z	286.0
10.0	0.717	q_z	293.1
10.94	0.736	q_h	300.5
11.88	0.754	q_z	307.9
12.2	0.76	q_z	310.5

5.1.3. Fırtına etkisi faktörü

Rijit binalar ve diğer yapı türleri için fırtına etkisi faktörü, G değerinin 0.85 olarak alınmasına izin verilmektedir. Bu yapı modeli için fırtına etkisi faktörü değeri, 0.85 olarak alınmıştır.

5.1.4. Basınç ve kuvvet katsayıları

Burada kapalı yapılar için dikkate alınacak iç basınç katsayı değeri $GC_{pi} = \pm 0.18$ olarak alınmaktadır (Çizelge 3.7). Duvar tipleri için dış basınç katsayı değerleri, Çizelge

5.2'de gösterilmiştir. Duvarlar için kullanılacak dış basınç katsayı değerleri, yapının rüzgara paralel doğrultudaki ölçüsü olarak tanımlanan L değerinin, yapının rüzgara dik doğrultudaki ölçüsü olarak tanımlanan B değerine bölünmesiyle elde edilen L/B oranına göre farklılık göstermektedir.

Çizelge 5.2. Duvarlarda kullanılacak dış basınç katsayı değerleri, C_p

Yüzey	Rüzgar Doğrultusu	L/B	Dış basınç katsayısı, C_p
Rüzgar Esme Yönündeki Duvar	Hepsi	Hepsi	0.8
Rüzgar Arkasındaki Duvar	Rüzgar Mahyaya Dik	0.71	-0.5
	Rüzgar Mahyaya Paralel	1.40	-0.42
Cephe Duvarları	Hepsi	Hepsi	-0.7

Çatı basınç katsayı değerleri, rüzgar yönü dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Rüzgar etkisinin, çatı mahyasına dik doğrultuda olması durumunda, $h/L = 10/25 = 0.4$ olarak hesaplanır. Çatı eğim açısı $\alpha = 8.55^\circ < 10^\circ$ olduğundan dolayı Çizelge 3.10 kullanılacaktır. $h = 10$ m için C_p değerleri ise Çizelge 5.3'te belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda oluşacak çatı basınç katsayıları, C_p

Rüzgar Yönü	h/L	Rüzgara dik duvara olan yatay mesafe	Dış basınç katsayısı, C_p	
$\theta < 10^\circ$ için mahyaya dik ve mahyaya paralel bütün θ değerleri için	< 0.5	0 – 5 m	-0.9	-0.18
		5 m – 10 m	-0.9	-0.18
		10 m – 20 m	-0.5	-0.18
		> 20 m	-0.3	-0.18

Rüzgar etkisinin, çatı mahyasına paralel doğrultuda olması durumunda ise çatı eğim açısı $\alpha = 0^\circ$ alınarak, $h/L = 10.94/35 = 0.313$ olarak hesaplanır. Ortalama çatı yüksekliği $h = 10.94$ m için C_p değerleri, Çizelge 5.4'te belirlenmiştir.

Çizelge 5.4. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda oluşacak çatı basınç katsayıları, C_p

Rüzgar Yönü	h/L	Rüzgara dik duvara olan yatay mesafe	Dış basınç katsayısı, C_p	
$\theta < 10^\circ$ için mahyaya dik ve mahyaya paralel bütün θ değerleri için	< 0.5	0 – 5.47 m	-0.9	-0.18
		5.47 m – 10.94 m	-0.9	-0.18
		10.94 m – 21.88 m	-0.5	-0.18
		> 21.88 m	-0.3	-0.18

5.1.5. Rüzgar basınçlarının hesaplanması

Belirlenen rüzgar basınç değerleri yapı yükseklikleri dikkate alınarak Denklem 5.3 ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde belirtilmiş olan, G fırtına etkisi faktörü değeri 0.85, q basınç değeri yüksekliğe bağlı olarak değişim göstermektedir. Katsayıların belirlenmesinde dikkate alınan çizelgeler, iki rüzgar yönü için de aynı olmasından dolayı dış basınç katsayısı C_p değerleri aynı olarak hesaplanmıştır. q_i ortalama çatı yüksekliğindeki basınca eşit iç basınç değeridir ve 300.5 N/m^2 olarak hesaplanmıştır. GC_{pi} , iç basınç katsayısı ± 0.18 'dir.

Hesaplanan değerler, rüzgarın esme doğrultusuna göre Çizelge 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (5.3)$$

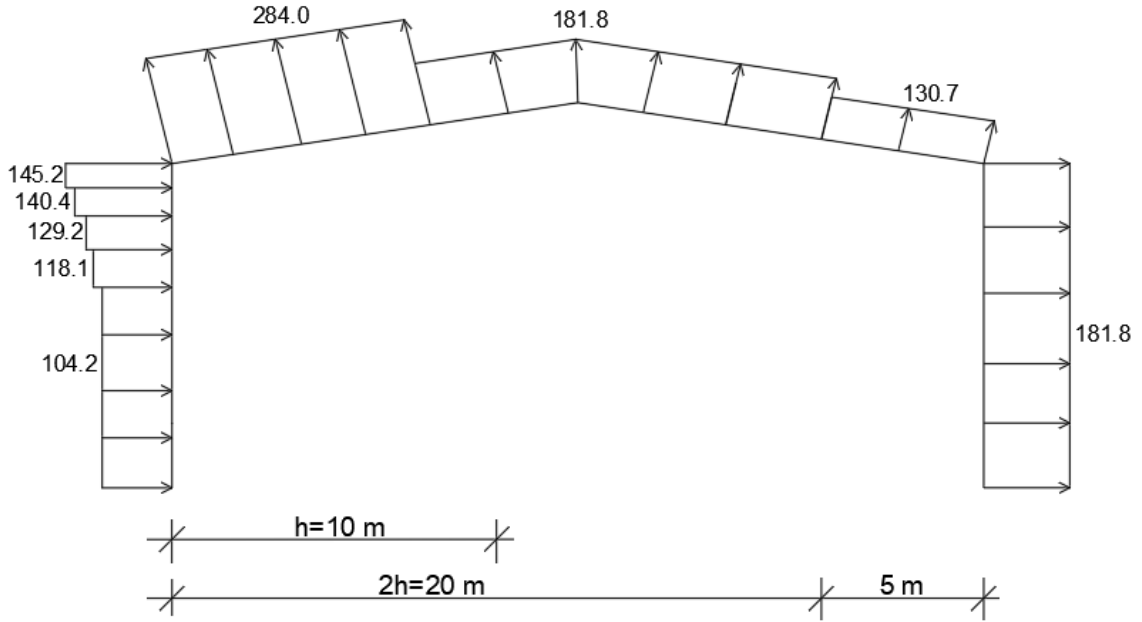
Çizelge 5.5. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda oluşacak rüzgar basınç değerleri, p (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	q (N/m ²)	G	C_p	Net basınç değeri, p	
					$(GC_{pi}) = +0.18$	$(GC_{pi}) = -0.18$
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	232.85	0.85	0.8	104.2	212.4
	6.1	253.27			118.1	226.3
	7.6	269.61			129.2	237.4
	9.1	285.95			140.4	248.5
	10.0	293.07			145.2	253.4
Arka duvar	Tüm	300.5	0.85	-0.5	-181.8	-73.6
Yan duvar	Tüm	300.5	0.85	-0.7	-232.9	-124.7
Çatı	0 - h/2	300.5	0.85	-0.9	-284.0	-175.8
	h/2 - h	300.5		-0.9	-284.0	-175.8
	h - 2h	300.5		-0.5	-181.8	-73.6
	> 2h	300.5		-0.3	-130.7	-22.5

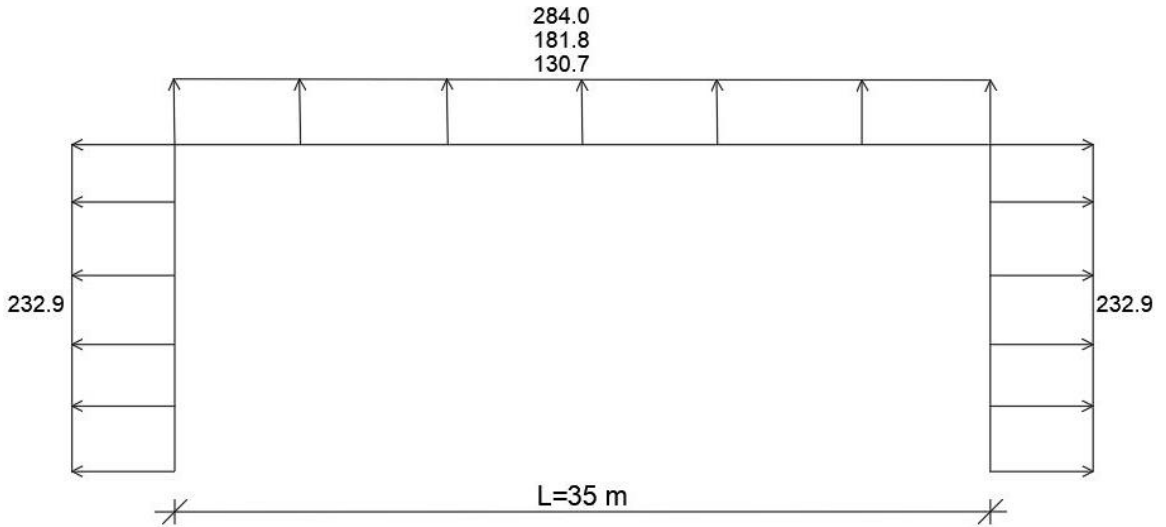
Çizelge 5.6. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda oluşacak rüzgar basınç değerleri, p (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	q (N/m ²)	G	C_p	Net basınç değeri, p	
					$(GC_{pi}) = +0.18$	$(GC_{pi}) = -0.18$
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	232.8	0.85	0.8	104.2	212.4
	6.1	253.3			118.1	226.3
	7.6	269.6			129.2	237.4
	9.1	286.0			140.4	248.5
	10.0	293.1			145.2	253.4
	10.94	300.5			150.3	258.4
	11.88	307.9			155.3	263.5
Arka duvar	Tüm	300.5	0.85	-0.42	-161.4	-53.2
Yan duvar	Tüm	300.5	0.85	-0.7	-232.9	-124.7
Çatı	0 - h/2	300.5	0.85	-0.9	-284.0	-175.8
	h/2 - h	300.5		-0.9	-284.0	-175.8
	h - 2h	300.5		-0.5	-181.8	-73.6
	> 2h	300.5		-0.3	-130.7	-22.5

Rüzgarın mahyaya dik esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

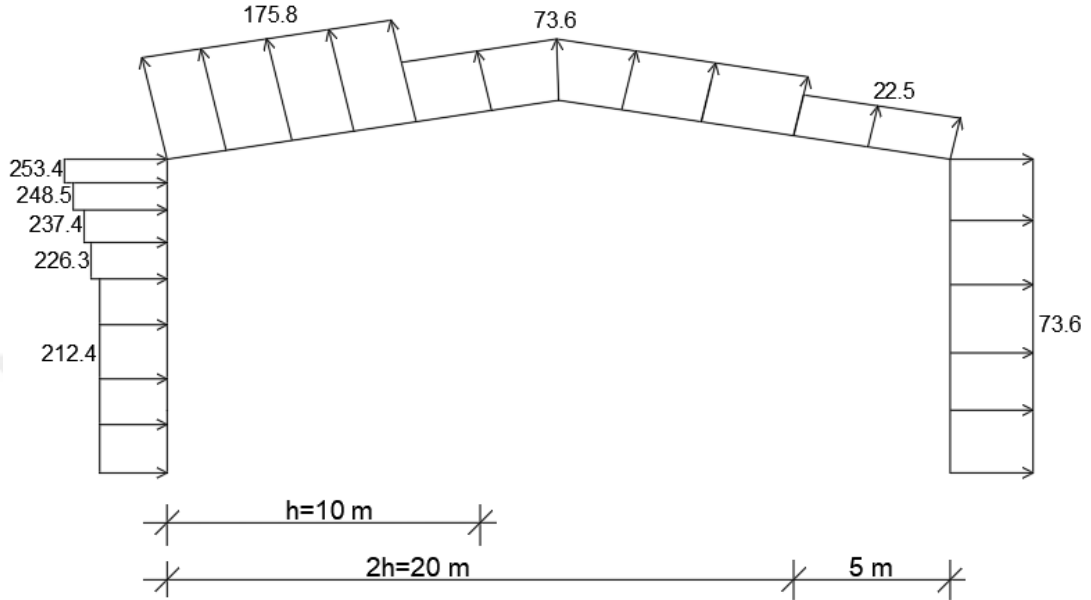


Şekil 5.2. Rüzgarın mahyaya dik esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri, (N/m²)

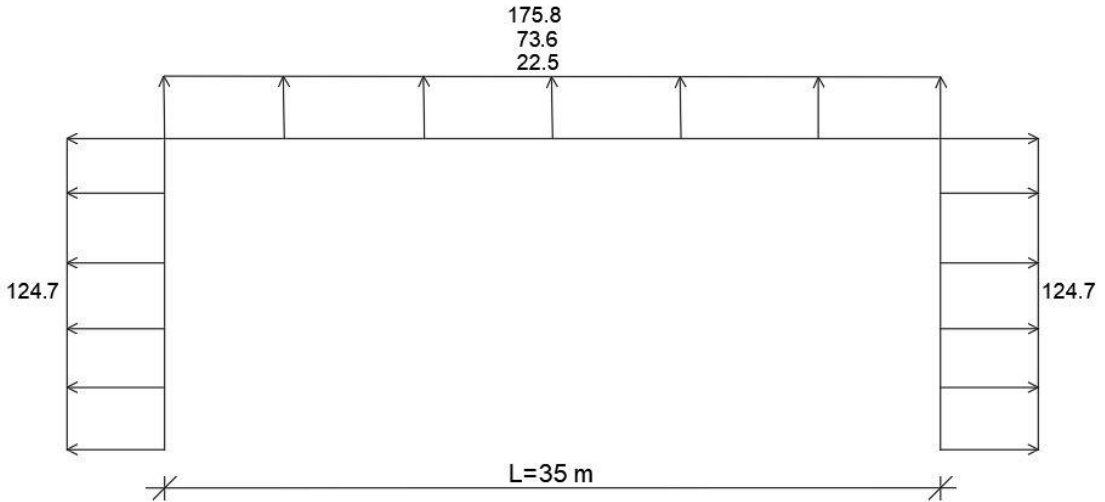


Şekil 5.3. Rüzgarın mahyaya dik esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, cephe duvarları ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri, (N/m²)

Rüzgarın mahyaya dik esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

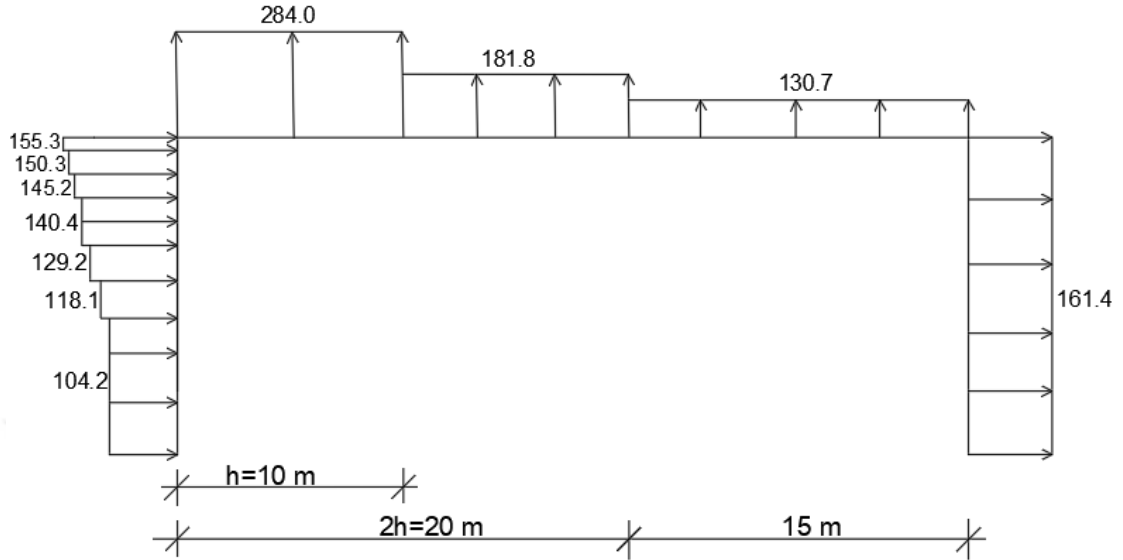


Şekil 5.4. Rüzgarın mahyaya dik esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri, (N/m²)

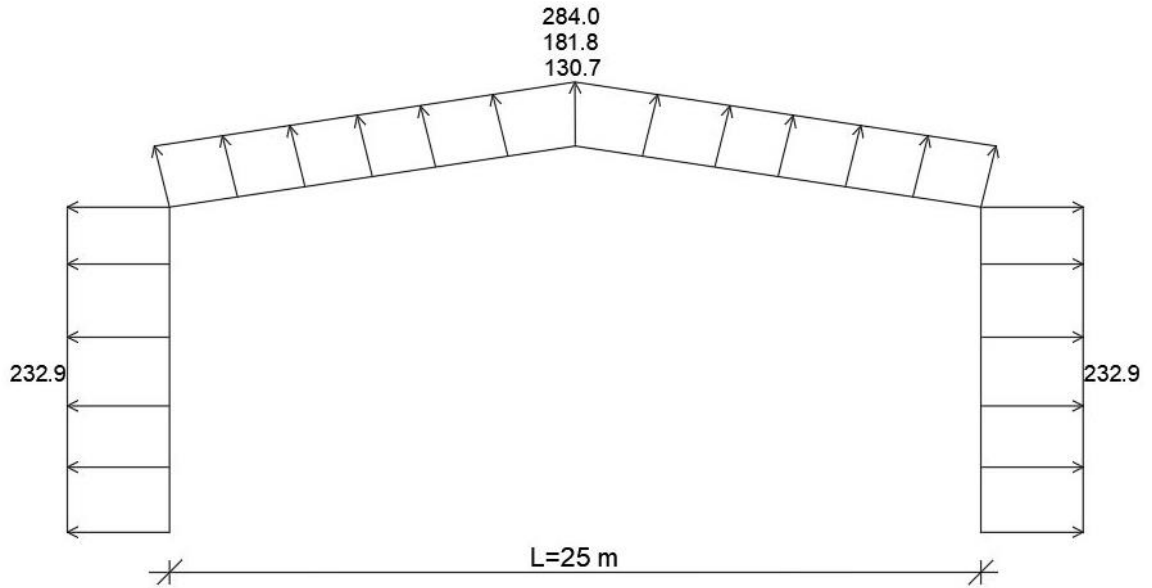


Şekil 5.5. Rüzgarın mahyaya dik esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, cephe duvarları ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri, (N/m²)

Rüzgarın mahyaya paralel esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

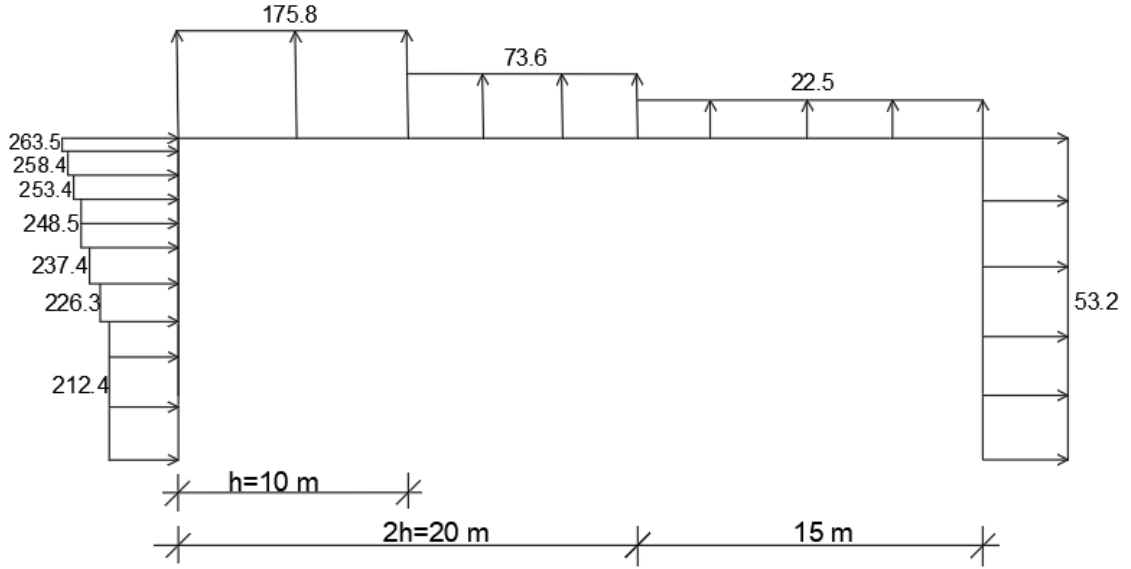


Şekil 5.6. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri, (N/m²)

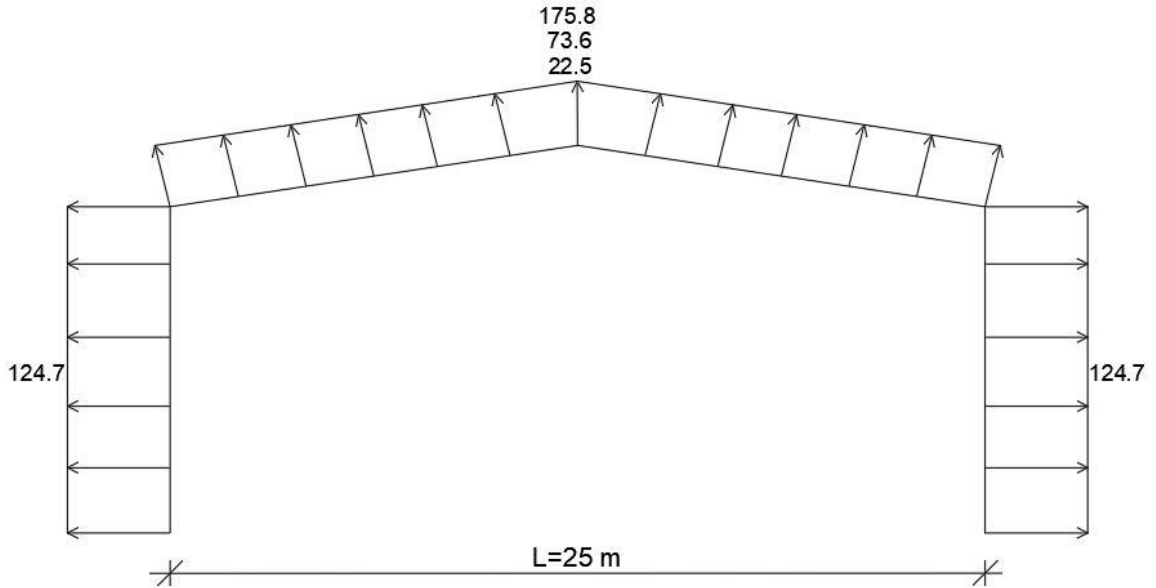


Şekil 5.7. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, cephe duvarları ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri, (N/m²)

Rüzgarın mahyaya paralel esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri, (N/m²)



Şekil 5.9. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, cephe duvarları ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri, (N/m²)

5.1.6. Farklı yüzey engebелilik kategorisi için çözüm

Aynı yapı modeli örneği için yüzey engebелilik (arazi) kategorisi C dikkate alınarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Aynı hesap aşamaları tekrar edilerek hesaplanan değerler Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de görüldüğü şekilde elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda oluşacak rüzgar basınç değerleri, p (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	q (N/m ²)	G	C _p	Net basınç değeri, p	
					(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	347.2	0.85	0.8	161.4	310.8
	6.1	367.7			175.3	324.7
	7.6	384.0			186.4	335.8
	9.1	400.3			197.5	346.9
	10.0	407.4			202.4	351.7
Arka duvar	Tüm	414.9	0.85	-0.5	-251.0	-101.6
Yan duvar	Tüm	414.9	0.85	-0.7	-321.5	-172.2
Çatı	0 - h/2	414.9	0.85	-0.9	-392.1	-242.7
	h/2 - h	414.9		-0.9	-392.1	-242.7
	h - 2h	414.9		-0.5	-251.0	-101.6
	> 2h	414.9		-0.3	-180.5	-31.1

Çizelge 5.8. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda oluşacak rüzgar basınç değerleri, p (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	q (N/m ²)	G	C _p	Net basınç değeri, p	
					(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	347.2	0.85	0.8	161.4	310.8
	6.1	367.7			175.3	324.7
	7.6	384.0			186.4	335.8
	9.1	400.3			197.5	346.9
	10.0	407.4			202.4	351.7
	10.94	414.9			207.4	356.8
	11.88	422.3			212.5	361.9
Arka duvar	Tüm	414.9	0.85	-0.42	-222.8	-73.4
Yan duvar	Tüm	414.9	0.85	-0.7	-321.5	-172.2
Çatı	0 - h/2	414.9	0.85	-0.9	-392.1	-242.7
	h/2 - h	414.9		-0.9	-392.1	-242.7
	h - 2h	414.9		-0.5	-251.0	-101.6
	> 2h	414.9		-0.3	-180.5	-31.1

Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8 incelendiğinde yüzey engebелilik kategorisi C için, yüzey engebелilik kategorisi B'ye göre rüzgar basınç değerlerinde artış olduğu gözlenmektedir.

5.1.7. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre çözüm

Rüzgar hızı temel değeri Denklem 5.4 ile hesaplanmaktadır. Burada esas rüzgar hızı $v_{b,0} = 28$ m/s olarak alınmıştır. Farklı rüzgar doğrultuları için kullanılan doğrultu katsayısı c_{dir} için önerilen değer 1.0 alınmıştır. Yılın herhangi bir zaman dilimi için kullanılan, mevsim katsayısı c_{season} değeri 1.0 alınmıştır.

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 28 = 28 \text{ m/s} \quad (5.4)$$

z metre yüksekliğindeki, ortalama ve kısa zamanlı hız değişikliklerini içeren rüzgar tepe basıncı değeri $q_p(z)$, denklem 5.5 ile hesaplanmaktadır.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (5.5)$$

Burada ρ , fırtına etkileri oluşması durumunda arazide görülmesi beklenen; sıcaklıklara, barometrik basınçlara ve rakıma ~~seviyesine~~ bağlı olarak ortaya çıkan hava yoğunluğudur. Standart içerisinde önerilen değer olarak 1.25 değeri kullanılacaktır. Ortalama rüzgar hızı $v_m(z)$, denklem 5.6 ile hesaplanmaktadır.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (5.6)$$

Burada orografî katsayısı $c_o(z)$ değeri 1.0 alınmıştır. Engebelilik katsayısı, $c_r(z)$ değeri ise denklem 5.7 ile hesaplanmaktadır.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (5.7)$$

Yapılarda farklı arazi kategorilerinden (II ve III), ilk olarak yapının II. kategoride yer aldığı varsayılarak, $z_{min} = 2 \text{ m} \leq z = 11.88 \text{ m} \leq z_{max} = 200 \text{ m}$ bağıntısı ile arazi katsayısı k_r değeri, denklem 5.8'deki şekilde hesaplanmaktadır.

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{0.07} = 0.19 \quad (5.8)$$

Arazi katsayısı değeri k_r denklem 5.7’de yerine konulursa,

$$c_r(z) = 0.19 \cdot \ln\left(\frac{11.88}{0.05}\right) = 1.0394 \quad (5.9)$$

Hesaplanan, $c_r(z)$ engebelilik katsayısı değeri denklem 5.10’da yerine yazılarak rüzgar hızının sayısal değeri hesaplanacaktır.

$$v_m(z) = 1.0394 \cdot 1.0 \cdot 28 = 29.1 \text{ m/s} \quad (5.10)$$

z metre yüksekliğinde oluşacak türbülans şiddeti değeri denklem 5.11 ile hesaplanacaktır.

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (5.11)$$

Burada belirtilen, türbülans faktörü k_1 değeri ve orografi katsayısı $c_o(z)$ değeri için standartta önerilen 1.0 değeri kullanılacaktır.

$$I_v(z) = \frac{1.0}{1.0 \cdot \ln\left(\frac{11.88}{0.05}\right)} = 0.1828 \quad (5.12)$$

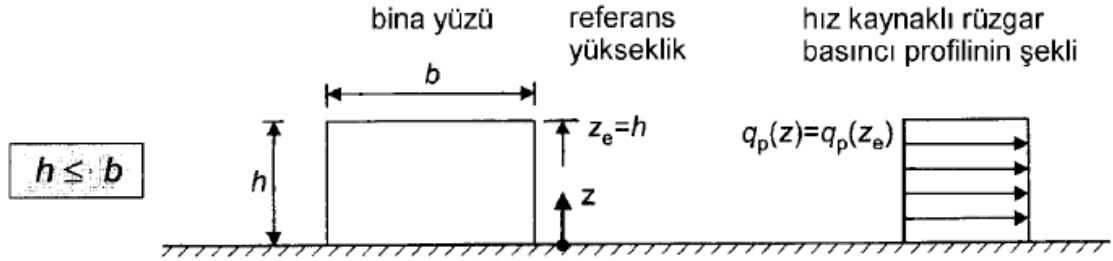
Hesaplanmış olan tüm değerler denklem 5.13’te yerine konularak tepe rüzgar basıncı değeri belirlenecektir.

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0.1828) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot (29.1)^2 = 1206.5 \text{ N/m}^2 \quad (5.13)$$

5.1.8. Yapının düşey duvarlarına etki eden rüzgar yükleri

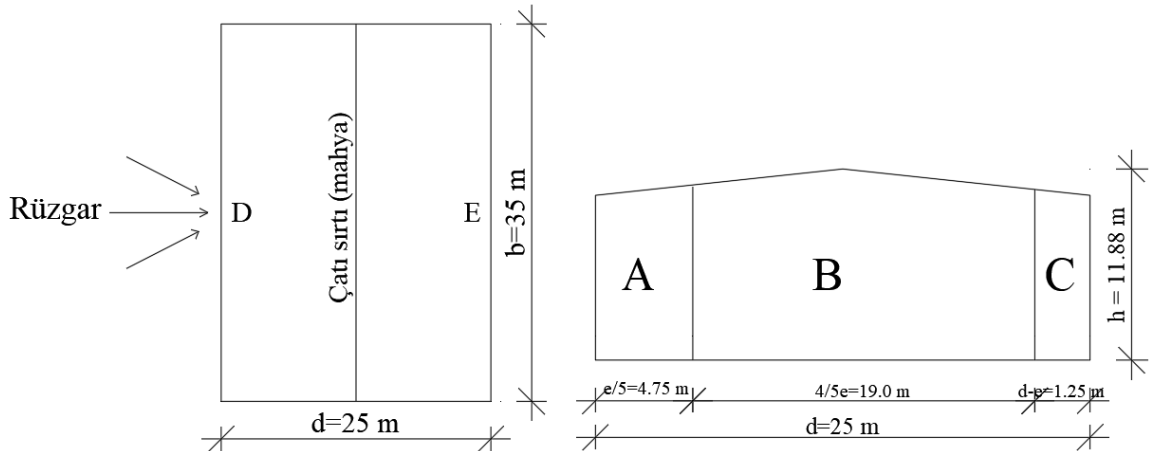
Dikdörtgen plana sahip yapıda, rüzgarın estiği doğrultudaki duvarlar için referans yükseklikler daima duvarların farklı bölümlerindeki maksimum yüksekliklere eşit alınacaktır (Eurocode 1-4). Bu durumda referans yükseklik değeri $z_e = h + f = 11.88 \text{ m}$ olarak alınmaktadır. Rüzgarın her iki esme yönü dikkate alındığında, referans

yükseklik (11.88 m), her iki durumdaki b değerinden ($11.88 \text{ m} < 25 \text{ m}$ ve $11.88 \text{ m} < 35 \text{ m}$) küçük olduğundan dolayı yapı bir bütün olarak dikkate alınacaktır. Duvarlara etki eden rüzgar basıncı dağılımı Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Duvarlara etki eden rüzgar basınç profili

Rüzgarın mahyaya dik doğrultuda esmesi halinde, $e = b$ veya $2h$ (hangisi küçükse), yani $e = 2h = 2 \cdot (11.88 \text{ m}) = 23.76 \text{ m}$ olarak alınacaktır. Oluşacak basınç bölgeleri de Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



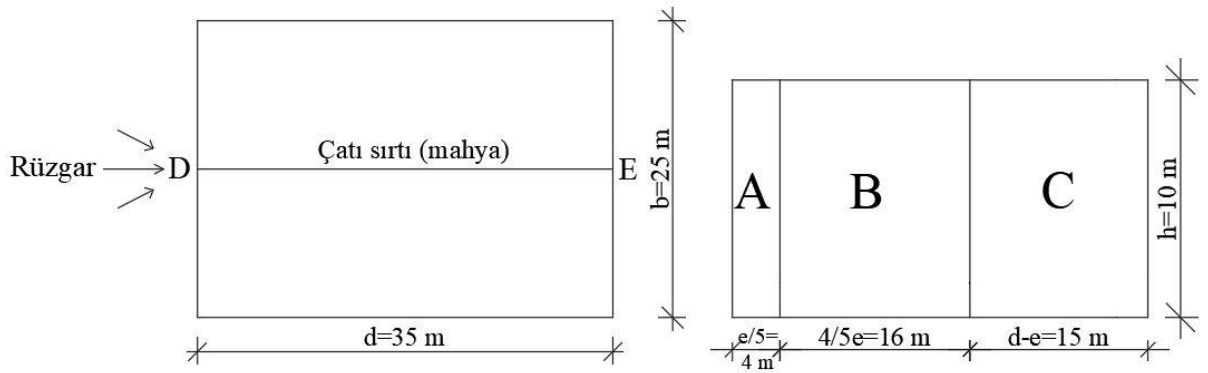
Şekil 5.11. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşacak basınç bölgeleri

Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde, h/d oranı $11.88/25 = 0.475$ alınarak Çizelge 5.9'da her bölge için ayrı olarak verilen dış basınç katsayı değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.9. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda oluşacak dış basınç katsayıları

Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
0.475	-1.2	-0.8	-0.5	0.73	-0.33

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde, $e = b$ veya $2h$ (hangi küçükse), yani $e = 2h = 2 \cdot (10 \text{ m}) = 20 \text{ m}$ olarak alınacaktır. Oluşacak basınç bölgeleri Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

**Şekil 5.12.** Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşacak basınç bölgeleri

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde, h/d oranı $10/35 = 0.29$ alınarak Çizelge 5.10'da her bir bölge için dış basınç katsayı değerleri belirlenmiştir.

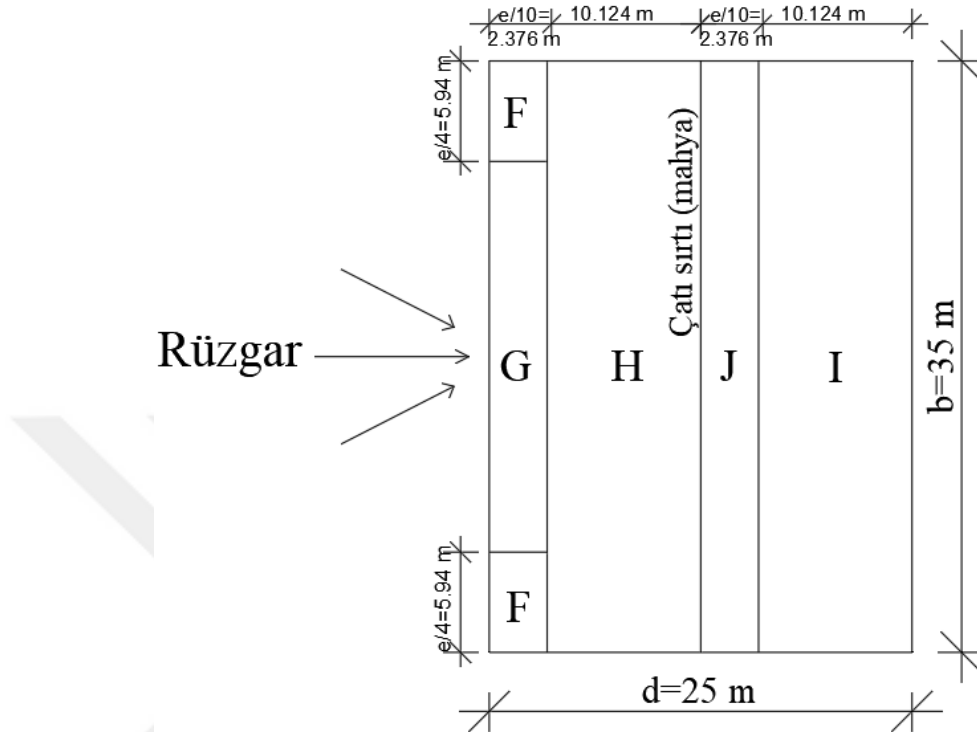
Çizelge 5.10. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda oluşacak dış basınç katsayıları

Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
0.29	-1.2	-0.8	-0.5	0.705	-0.305

5.1.9. Çatılar için basınç katsayılarının belirlenmesi

Çift yön eğimli çatılar, rüzgar doğrultusuna bağlı olarak bölgelere ayrılmıştır. Buna göre, Şekil 5.13'te rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde çatı

basınç bölgeleri ve bölgelere ait uzunluklar gösterilmiştir. Çizelge 5.11'de ise kullanılacak olan dış basınç katsayı değerleri her bir bölge için verilmiştir.

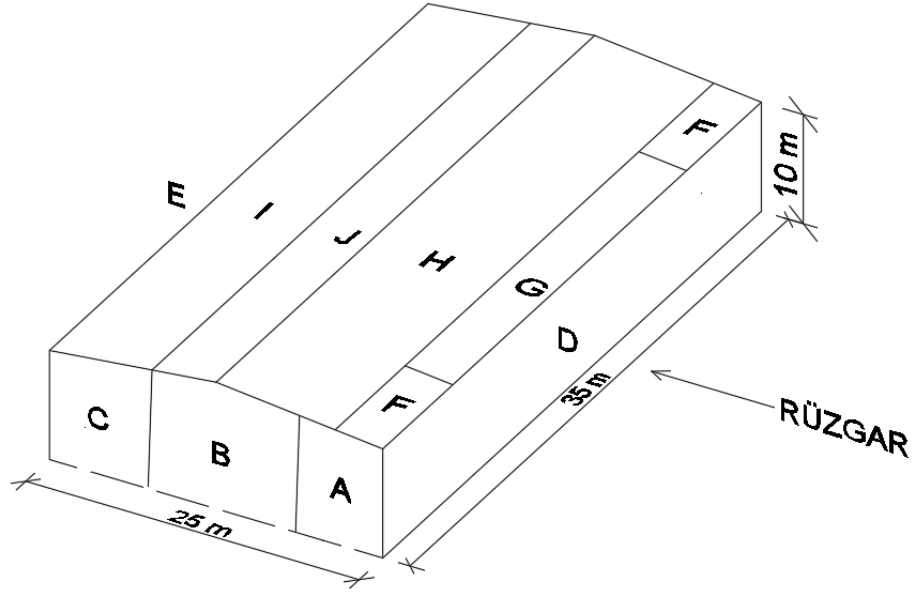


Şekil 5.13. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşacak çatı basınç bölgeleri

Çizelge 5.11. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde duvarlarda oluşacak dış basınç katsayıları

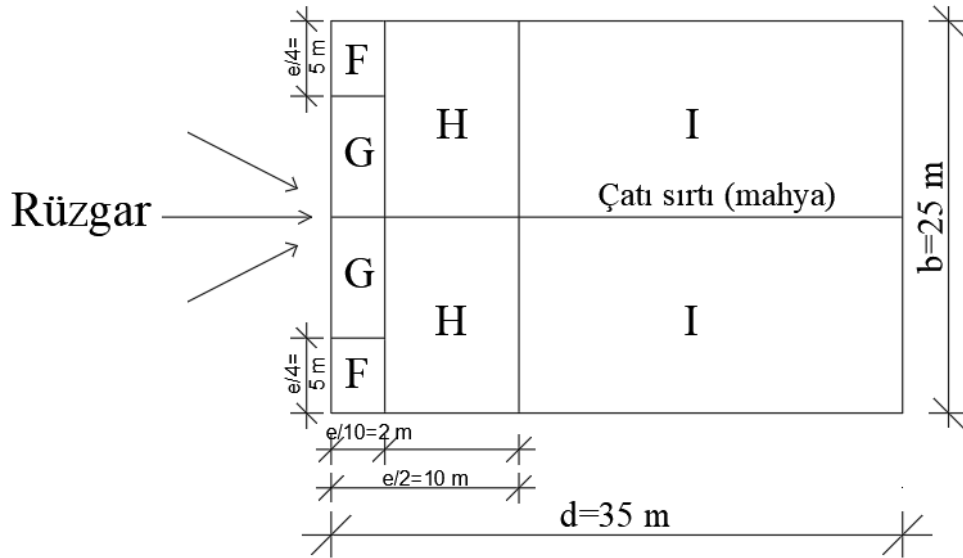
Bölge	F	G	H	I	J
Eğim Açısı	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
8.55°	-1.42	-1.06	-0.49	-0.53	-0.23
	0.07	0.07	0.07	-0.39	-0.39

Şekil 5.14'te rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda oluşan basınç bölgeleri üç boyutlu şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşan basınç bölgeleri

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumu için çatı basınç bölgeleri ve uzunlukları Şekil 5.15'te belirtilmiştir. Bu durum için kullanılacak dış basınç katsayı değerleri Çizelge 5.12'de her bir bölge için verilmiştir.

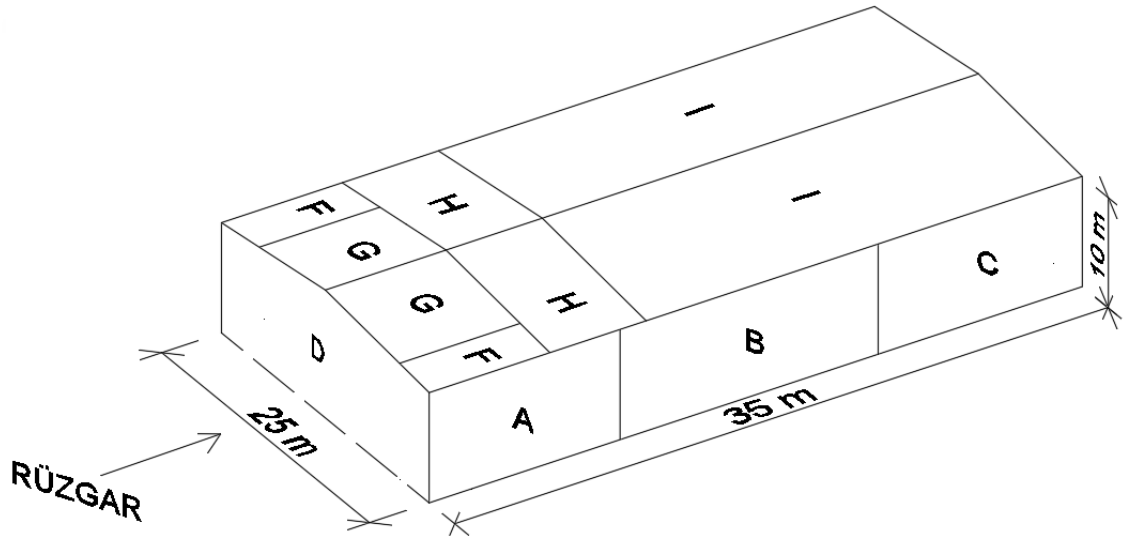


Şekil 5.15. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşacak çatı basınç bölgeleri

Çizelge 5.12. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşacak duvar dış basınç katsayıları

Bölge	F	G	H	I
Eğim Açısı	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
5°	-1.6	-1.3	-0.7	-0.6
8.55°	-1.49	-1.3	-0.66	-0.56
15°	-1.3	-1.3	-0.6	-0.5

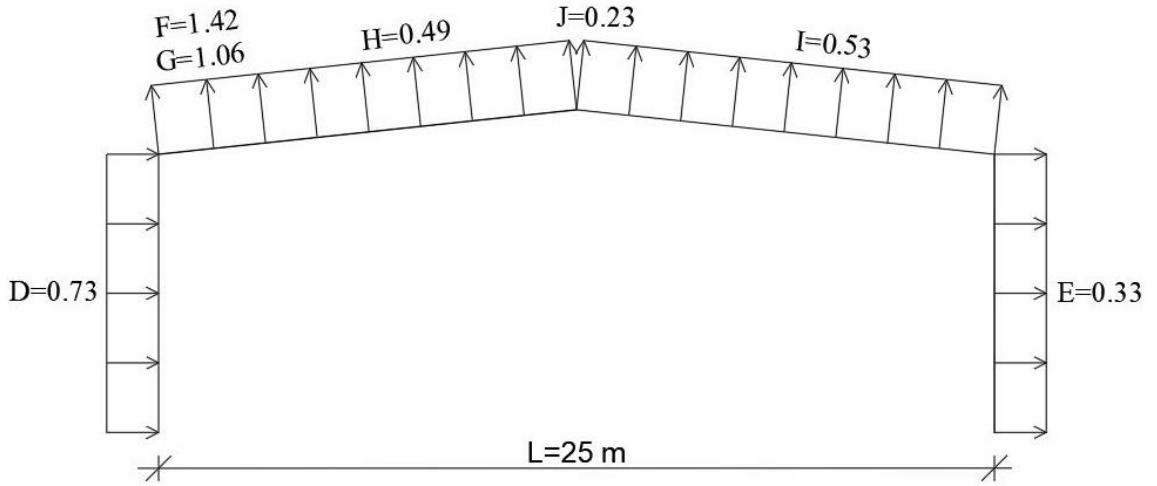
Şekil 5.16'da rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda oluşan basınç bölgeleri üç boyutlu şekil üzerinde gösterilmiştir.



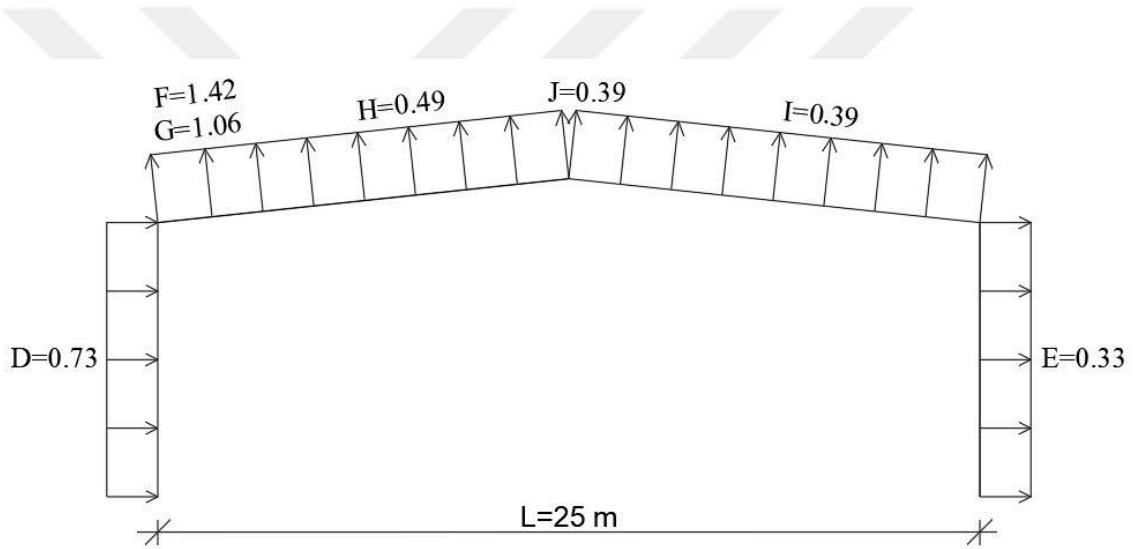
Şekil 5.16. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşan basınç bölgeleri

5.1.10. Basınç katsayılarının gösterimi

Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde, çatı dış basınç katsayılarının minimum ve maksimum değerlerinden oluşan kombinasyonlar oluşturulur. Yönetmelikte aynı yüzeyler için farklı işarete sahip basınç değerlerine izin verilmediğinden dolayı Şekil 5.17a ve Şekil 5.17b'de gösterilen en elverişsiz iki dış basınç katsayısı kombinasyonu belirlenmiştir.

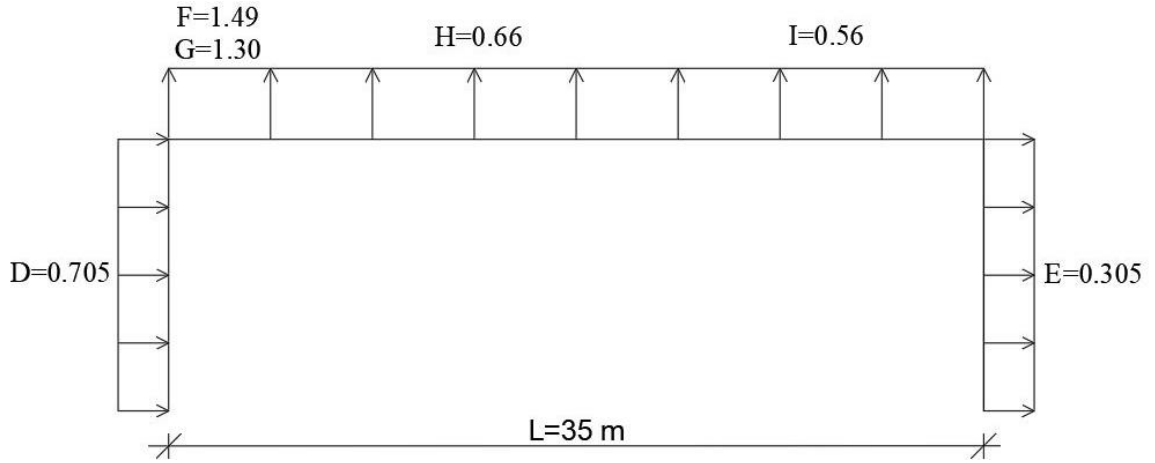


Şekil 5.17a. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşan dış basınç katsayılarının dağılımı



Şekil 5.17b. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşan dış basınç katsayılarının dağılımı

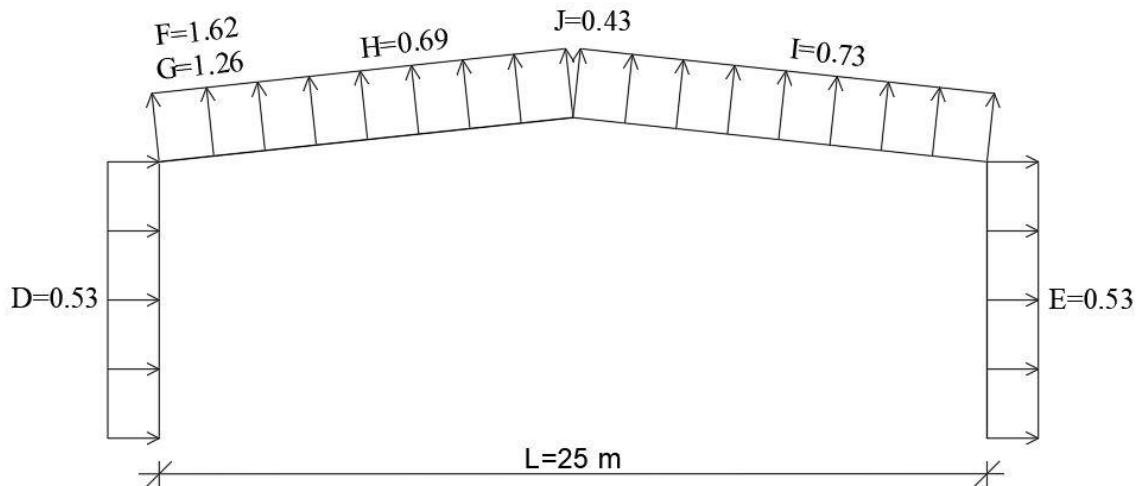
Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda D, E, F, G, H ve I bölgelerinde oluşacak dış basınç katsayı değerleri Şekil 5.18 'de gösterilmiştir.



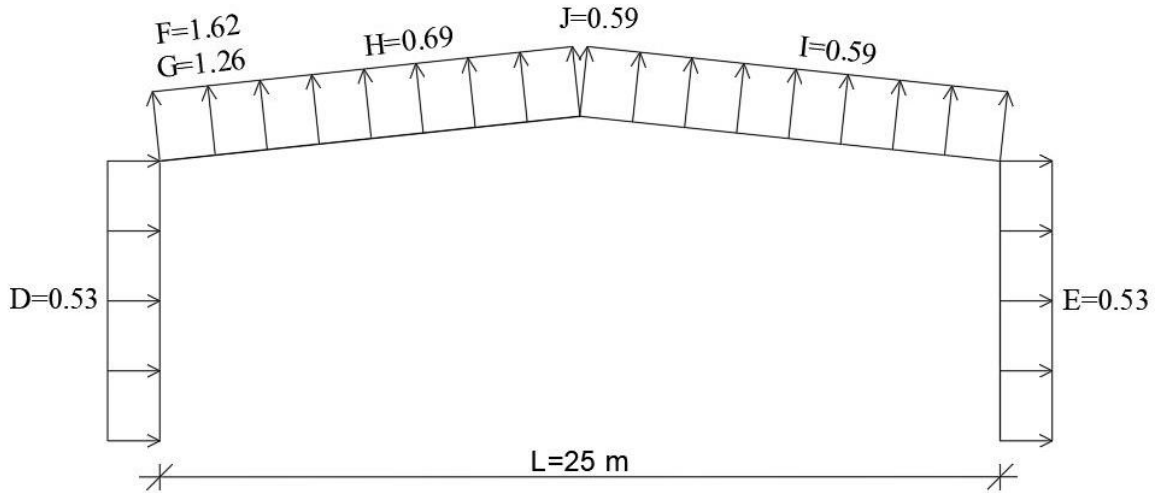
Şekil 5.18. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşan dış basınç katsayılarının dağılımı

İç basınç katsayısı değeri, yapı içerisinde bulunan açıklıkların dağılımına ve bu açıklıkların boyutlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Yapının geçirgenlik durumunu ve açıklık miktarını öngörmek mümkün olmadığından dolayı, standartta önerilen iç basınç katsayı değerleri $+0.2$ ve -0.3 kullanılacaktır.

İç basınç katsayısı değerinin $+0.2$ olduğu ve rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde elde edilen basınç katsayıları Şekil 5.19a ve Şekil 5.19b'de gösterilmiştir.

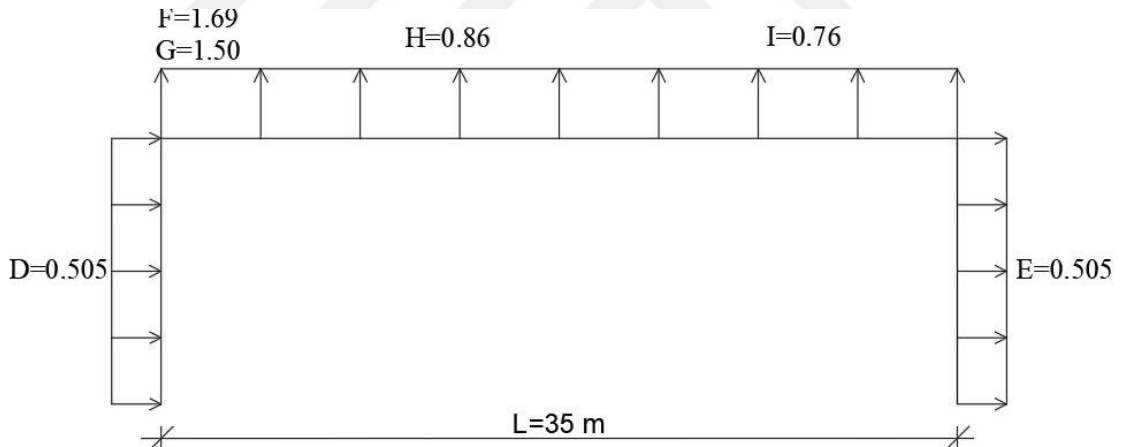


Şekil 5.19a. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının $+0.2$ değeri için basınç katsayılarının dağılımı



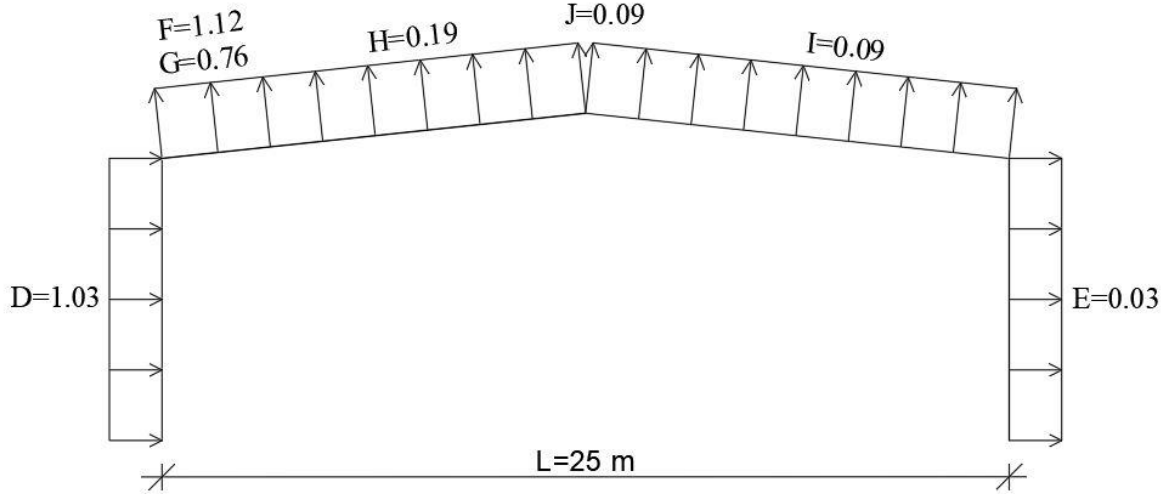
Şekil 5.19b. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 değeri için basınç katsayılarının dağılımı

İç basınç katsayısı değerinin +0.2 olduğu ve rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumu için basınç katsayıları Şekil 5.20'de gösterilmiştir.



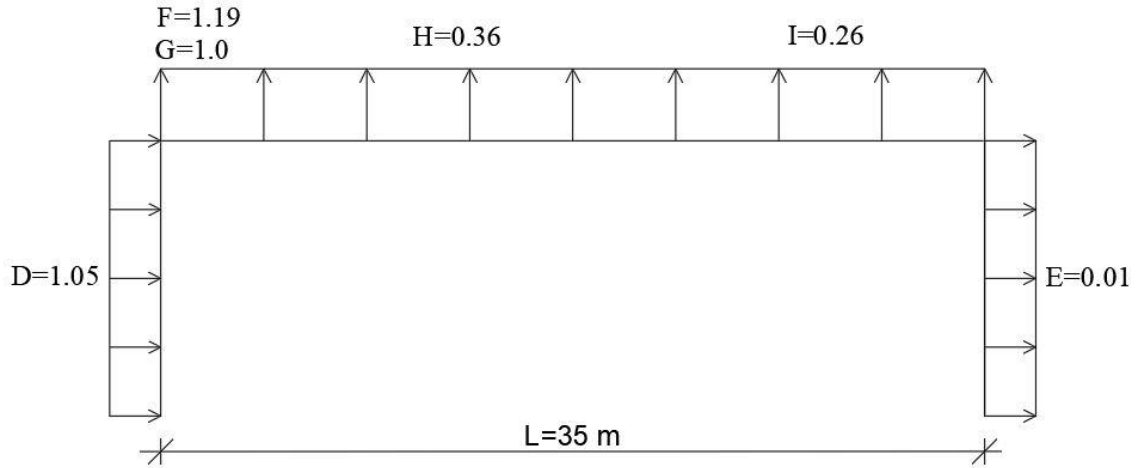
Şekil 5.20. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 değeri için basınç katsayılarının dağılımı

İç basınç katsayısı değerinin -0.3 olduğu ve rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumu için basınç katsayıları Şekil 5.21'de görülmektedir. Standartta aynı yüzeylerde farklı işareti olan basınç değerlerine müsaade edilmediğinden dolayı tek kombinasyon oluşturulmuştur.



Şekil 5.21. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 değeri için basınç katsayılarının dağılımı

İç basınç katsayısı değerinin -0.3 olduğu ve rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumu için basınç katsayıları Şekil 5.22'de gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 değeri için basınç katsayılarının dağılımı

5.1.11. Yüzelere etki eden rüzgar basınçlarının hesaplanması

Dış yüzeylere etki eden rüzgar basıncı w_e , denklem 5.14 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_e = q_p(z) \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \quad (5.14)$$

Rüzgarın mahyaya dik esmesi ($\theta=0^\circ$) durumunda, A, B, C, D, E, F, G, H, I ve J bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı değerleri Çizelge 5.13, Çizelge 5.14 ve Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1689.10
B	-1.00	-1206.50
C	-0.70	-844.55
D	0.53	639.45
E	-0.53	-639.45
F	-1.62	-1954.53
G	-1.26	-1520.19
H	-0.69	-832.49
I	-0.73	-880.75
J	-0.43	-518.80

Çizelge 5.14. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç basınçlarının birinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-1085.85
B	-0.50	-603.25
C	-0.20	-241.30
D	1.01	1218.57
E	-0.02	-24.13
F	-0.31	-374.02
G	-0.31	-374.02
H	-0.31	-374.02
I	-0.26	-313.69
J	-0.26	-313.69

Çizelge 5.15. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç basınçlarının ikinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-1085.85
B	-0.50	-603.25
C	-0.20	-241.30
D	1.03	1242.70
E	-0.03	-36.20
F	-1.12	-1351.28
G	-0.76	-916.94
H	-0.19	-229.24
I	-0.09	-108.59
J	-0.09	-108.59

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ($\theta=90^\circ$) durumunda, A, B, C, D, E, F, G, H ve I bölgelerinin yüzeylerde oluşan rüzgar basınç değerleri Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.16. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1689.10
B	-1.00	-1206.50
C	-0.70	-844.55
D	0.505	609.28
E	-0.505	-609.28
F	-1.69	-2038.99
G	-1.50	-1809.75
H	-0.86	-1037.59
I	-0.76	-916.94

Çizelge 5.17. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-1085.85
B	-0.50	-603.25
C	-0.20	-241.30
D	1.01	1212.53
E	-0.01	-6.03
F	-1.19	-1435.74
G	-1.00	-1206.50
H	-0.36	-434.34
I	-0.26	-313.69

5.1.12. Farklı arazi kategorisi için çözüm

Aynı yapı modeli örneği için bu kez arazi kategorisi III, dikkate alınarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Aynı hesap aşamaları tekrarlanarak yüzeylere etki eden rüzgar basıncı değerleri hesaplanmıştır.

Rüzgarın mahyaya dik esmesi ($\theta=0^\circ$) durumunda, A, B, C, D, E, F, G, H, I ve J bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı değerleri Çizelge 5.18, Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınç basınclarının birinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1250.62
B	-1.00	-893.30
C	-0.70	-625.31
D	0.53	473.45
E	-0.53	-473.45
F	-1.62	-1447.15
G	-1.26	-1125.56
H	-0.69	-616.38
I	-0.73	-652.11
J	-0.43	-384.12

Çizelge 5.19. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınç basınçlarının ikinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1250.62
B	-1.00	-893.30
C	-0.70	-625.31
D	0.53	473.45
E	-0.53	-473.45
F	-1.62	-1447.15
G	-1.26	-1125.56
H	-0.69	-616.38
I	-0.59	-527.05
J	-0.59	-527.05

Çizelge 5.20. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-803.97
B	-0.50	-446.65
C	-0.20	-178.66
D	1.03	920.10
E	-0.03	-26.80
F	-1.12	-1000.50
G	-0.76	-678.91
H	-0.19	-169.73
I	-0.09	-80.40
J	-0.09	-80.40

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ($\theta=90^\circ$) durumunda, A, B, C, D, E, F, G, H ve I bölgelerindeki yüzeylerde oluşacak rüzgar basıncı değerleri Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

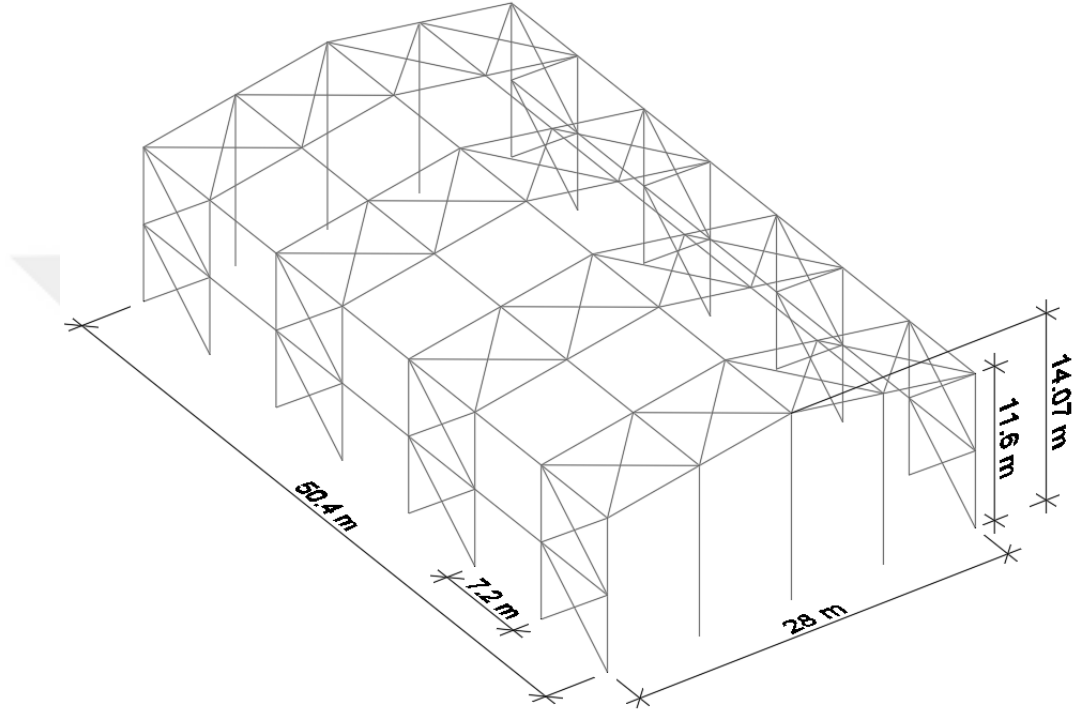
Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1250.62
B	-1.00	-893.30
C	-0.70	-625.31
D	0.505	451.12
E	-0.505	-451.12
F	-1.69	-1509.68
G	-1.50	-1339.95
H	-0.86	-768.24
I	-0.76	-678.91

Çizelge 5.22. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-803.97
B	-0.50	-446.65
C	-0.20	-178.66
D	1.01	897.77
E	-0.01	-4.47
F	-1.19	-1063.03
G	-1.00	-893.30
H	-0.36	-321.59
I	-0.26	-232.26

5.2. Yapı Modeli – 2

Şekil 5.23'te üç boyutlu görünümü verilmiş olan endüstriyel yapı modelinin boyutları görülmektedir.



Şekil 5.23. 2. yapı modelinin boyutları

Yapı uzunluğu	$b = 50.4 \text{ m}$
Yapı genişliği	$d = 28 \text{ m}$
Çerçeveler arası uzaklık	$s = 7.2 \text{ m}$
Kolon yüksekliği	$h' = 11.6 \text{ m}$
Çatı eğimi	$\alpha = 10.0^\circ$
Çatı mahya yüksekliği	$h = 11.6 + \tan 10^\circ \cdot 28/2 = 14.07 \text{ m}$

5.2.1. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre çözüm

Farklı türden yüzey engebелilik (arazi) kategorisi değerlerinden (B ve C) öncelikle B kategorisi dikkate alınmıştır.

Rüzgar basıncı maruz kalma katsayısı K_z , Çizelge 3.5 yardımıyla, B kategorisinde bulunan yapı için 14.07 m çatı mahya yüksekliğinde K_z değeri 0.791 olarak belirlenmiştir.

Topoğrafik faktör K_{zt} , standartta tavsiye edilen değer 1.0 olarak alınmıştır.

Yapı tipine göre değişim gösteren rüzgar doğrultu katsayısı K_d , Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çizelge dikkate alınarak binalar için rüzgar doğrultu katsayısı değeri 0.85 olarak alınmıştır.

Zemin yükselti katsayısı K_e , standartta belirtildiği üzere izin verilebilir bütün yükseklikler için 1.0 alınabilir.

Temel rüzgar hızı değeri 28 m/s olarak alınmıştır.

5.2.2. Rüzgar hız basıncı

$z = 11.6$ m yüksekliği için hız basıncı değeri q_z , denklem 5.15 ile hesaplanmıştır.

$$q_z = 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot K_e \cdot V^2 \quad (N/m^2)$$

$$q_z = 0.613 \cdot 0.748 \cdot 1.0 \cdot 0.85 \cdot 1.0 \cdot (28)^2 = 305.7 \, N/m^2 \quad (5.15)$$

Ortalama çatı yüksekliği, $h = (11.6 + 14.07)/2 = 12.84$ m için hız basıncı değeri q_h , denklem 5.16 ile hesaplanmıştır.

$$q_h = 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot K_e \cdot V^2 \quad (N/m^2)$$

$$q_h = 0.613 \cdot 0.771 \cdot 1.0 \cdot 0.85 \cdot 1.0 \cdot (28)^2 = 314.8 \, N/m^2 \quad (5.16)$$

Çizelge 5.23'te incelenen yapı modeli için farklı yüksekliklerdeki hız basıncı değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.23. Farklı yüksekliklerdeki hız basıncı değerleri, q (N/m²)

Yükseklik (m)	Maruz kalma katsayısı, K_z	Rüzgar basıncı	q (N/m ²)
0-4.6	0.57	q_z	232.8
6.1	0.62	q_z	253.3
7.6	0.66	q_z	269.6
9.1	0.70	q_z	286.0
11.6	0.748	q_z	305.7
12.2	0.76	q_z	310.5
12.84	0.771	q_h	314.8
14.07	0.791	q_z	323.2
15.2	0.81	q_z	330.9

5.2.3. Fırtına etkisi faktörü

Rijit binalar ve diğer yapı türleri için fırtına etkisi faktörü, G değeri 0.85 olarak alınmasına izin verilmektedir. Bu yapı modeli için fırtına etkisi faktörü değeri, 0.85 olarak alınacaktır.

5.2.4. Basınç ve kuvvet katsayıları

Burada kapalı yapılar için dikkate alınacak iç basınç katsayı değeri $GC_{pi} = \pm 0.18$ olarak alınmaktadır (Çizelge 3.7). Duvar tipleri için dış basınç katsayı değerleri, Çizelge 5.24'te gösterilmiştir. Duvarlar için kullanılacak dış basınç katsayı değerleri, yapının rüzgara paralel doğrultudaki ölçüsü olarak tanımlanan L değerinin, yapının rüzgara dik doğrultudaki ölçüsü olarak tanımlanan B değerine bölünmesiyle elde edilen L/B oranına göre farklılık göstermektedir.

Çizelge 5.24. Duvarlarda kullanılacak dış basınç katsayı değerleri, C_p

Yüzey	Rüzgar Doğrultusu	L/B	Dış basınç katsayısı, C_p
Rüzgar Esme Yönündeki Duvar	Hepsi	Hepsi	0.8
Rüzgar Arkasındaki Duvar	Rüzgar Mahyaya Dik	1.80	-0.33
	Rüzgar Mahyaya Paralel	0.56	-0.5
Cephe Duvarları	Hepsi	Hepsi	-0.7

Çatı basınç katsayısı değerleri, rüzgar yönü dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Rüzgar etkisinin, çatı mahyasına dik doğrultuda olması durumunda $h/L = 11.6/28 = 0.41$ olarak hesaplanır. Çatı eğim açısı $\alpha = 10.0^\circ \geq 10^\circ$ olduğundan dolayı Çizelge 3.9 kullanılacaktır. $h = 11.6$ m için C_p değerleri Çizelge 5.25'te belirlenmiştir.

Çizelge 5.25. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşacak çatı basınç katsayıları, C_p

h/L	Rüzgar Yönündeki Çatı	Rüzgar Yönünün Arkasındaki Çatı
	10°	10°
≤0.25	-0.70	-0.30
	-0.18	
0.41	-0.82	-0.42
	-0.18	
0.50	-0.90	-0.50
	-0.18	

Rüzgar etkisinin, çatı mahyasına paralel doğrultuda olması durumunda çatı eğim açısı $\alpha = 0^\circ$ alınır ve $h/L = 12.84/50.4 = 0.25$ olarak hesaplanır. Ortalama çatı yüksekliği $h = 12.84$ m için C_p değerleri Çizelge 5.26'da belirlenmiştir.

Çizelge 5.26. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşan çatı basınç katsayıları, C_p

Rüzgar Yönü	h/L	Rüzgara dik duvara olan yatay mesafe	Dış basınç katsayısı, C_p	
$\theta < 10^\circ$ için mahyaya dik ve mahyaya paralel bütün θ değerleri için	< 0.5	0 – 5.8 m	-0.9	-0.18
		5.8 m – 11.6 m	-0.9	-0.18
		11.6 m – 23.2 m	-0.5	-0.18
		> 23.2 m	-0.3	-0.18

5.2.5. Rüzgar basınçlarının hesaplanması

Belirlenen rüzgar basınç değerleri yapı yükseklikleri dikkate alınarak Denklem 5.17 ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde belirtilmiş olan, G fırtına etkisi faktörü değeri 0.85, q basınç değeri yüksekliğe bağlı olarak değişim göstermektedir. Katsayıların belirlenmesinde duvarlar için Çizelge 5.24, çatılar için Çizelge 5.25 ve Çizelge 5.26 kullanılarak iki rüzgar yönü için de dış basınç katsayısı C_p değerleri hesaplanmıştır. q_i ortalama çatı yüksekliğindeki basınca eşit iç basınç değeridir ve 251.0 N/m² olarak hesaplanmıştır. GC_{pi} , iç basınç katsayısı $\pm 0,18$ 'dir. Hesaplanan değerler, rüzgarın esme doğrultusuna göre Çizelge 5.27 ve 5.28'de görülmektedir.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (5.17)$$

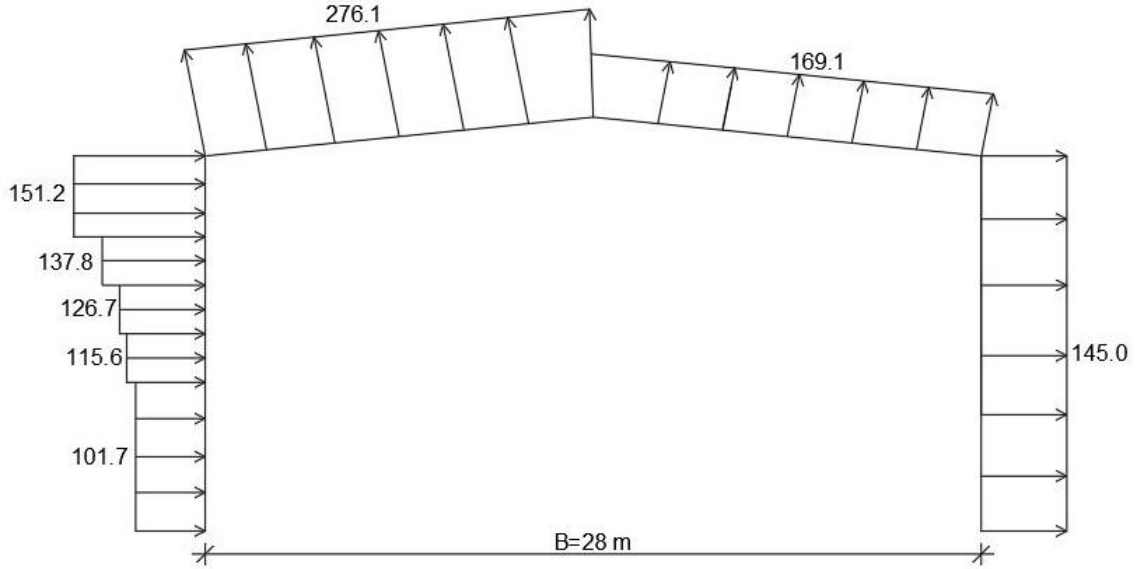
Çizelge 5.27. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşacak rüzgar basınçları, p (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	q (N/m ²)	G	C _p	Net basınç değeri, p	
					(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	232.8	0.85	0.8	101.7	215.0
	6.1	253.3			115.6	228.9
	7.6	269.6			126.7	240.0
	9.1	286.0			137.8	251.1
	11.6	305.7			151.2	264.6
Arka duvar	Tüm	314.8	0.85	-0.33	-145.0	-31.6
Yan duvar	Tüm	314.8	0.85	-0.7	-244.0	-130.7
Rüzgara Karşı Çatı	Hepsi	314.8	0.85	-0.82	-276.1	-162.8
		314.8		-0.18	-104.8	8.5
Rüzgara Arkası Çatı	Hepsi	314.8	0.85	-0.42	-169.1	-55.7
		314.8				

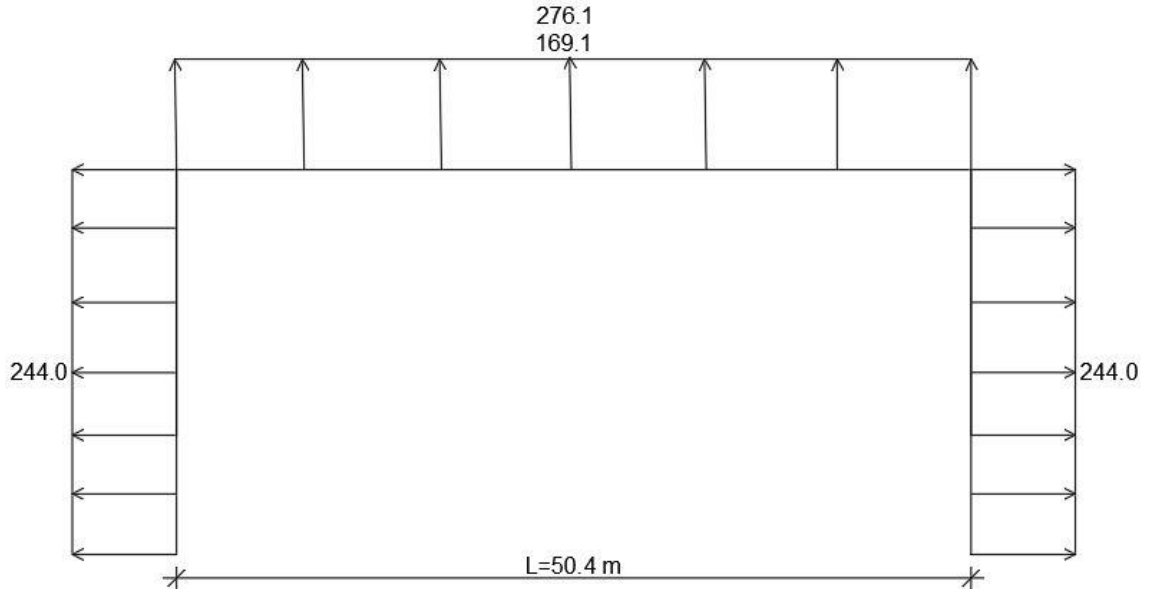
Çizelge 5.28. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşacak rüzgar basınçları, p (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	q (N/m ²)	G	C _p	Net basınç değeri, p	
					(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	232.8	0.85	0.8	101.7	215.0
	6.1	253.3			115.6	228.9
	7.6	269.6			126.7	240.0
	9.1	286.0			137.8	251.1
	11.6	305.7			151.2	264.6
	12.2	310.5			154.4	267.8
	12.84	314.8			157.4	270.7
	14.07	323.2			163.1	276.4
	15.2	330.9			168.3	281.7
Arka duvar	Tüm	314.8	0.85	-0.5	-190.5	-77.1
Yan duvar	Tüm	314.8	0.85	-0.7	-244.0	-130.7
Çatı	0 - h/2	314.8	0.85	-0.9	-297.5	-184.2
	h/2 - h	314.8		-0.9	-297.5	-184.2
	h - 2h	314.8		-0.5	-190.5	-77.1
	> 2h	314.8		-0.3	-136.9	-23.6

Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te görüldüğü şekilde elde edilmiştir.

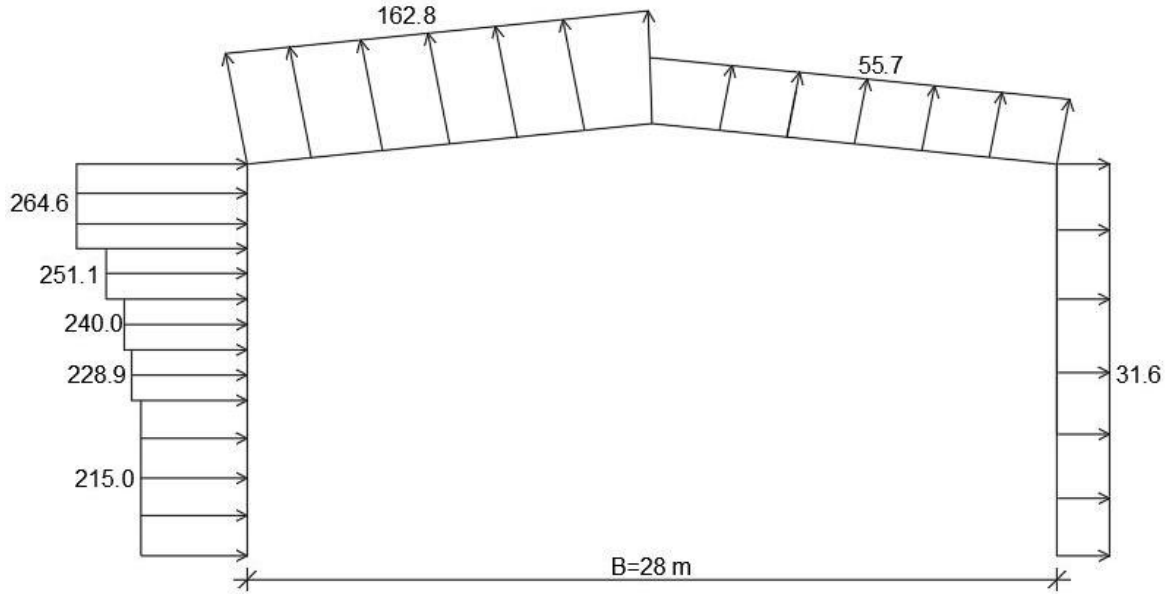


Şekil 5.24. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınçları, (N/m²)

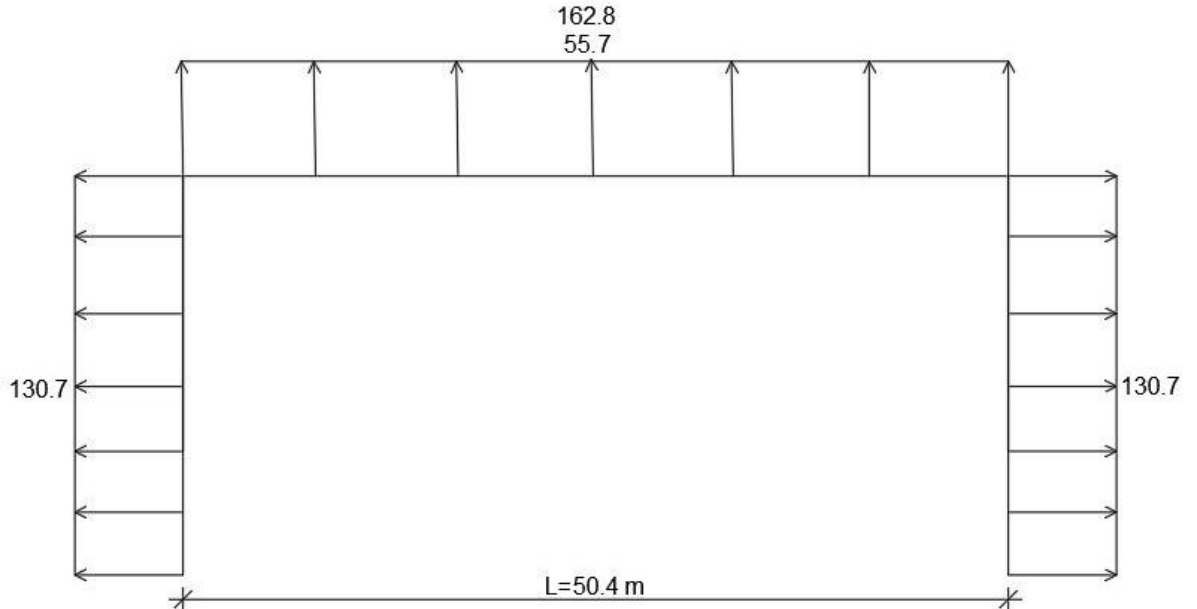


Şekil 5.25. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, cephe duvarları ve çatıda oluşan rüzgar basınçları, (N/m²)

Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de görüldüğü şekilde elde edilmiştir.

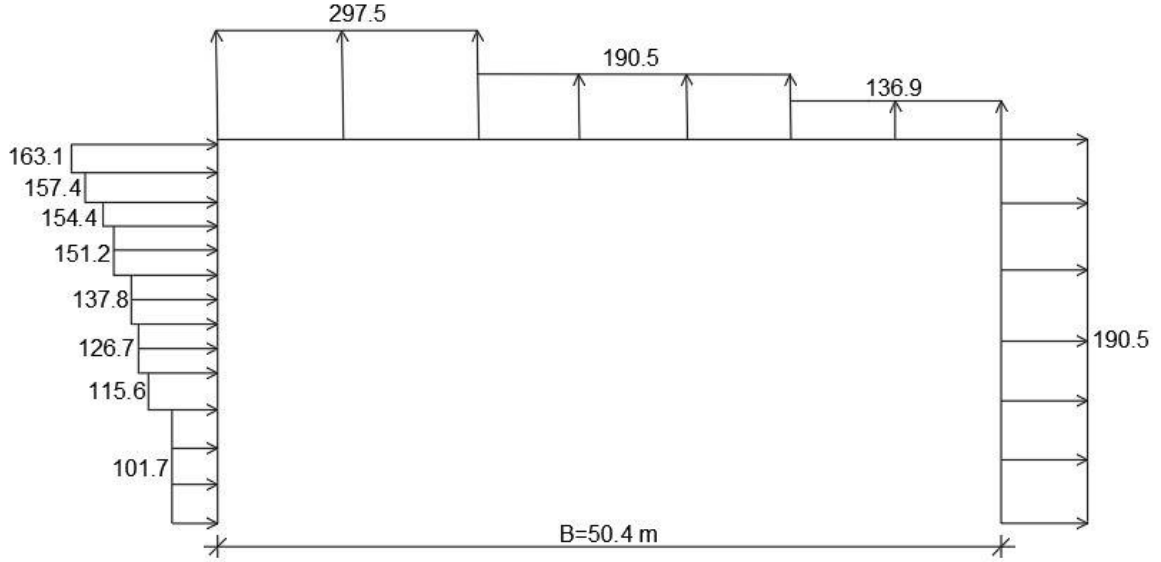


Şekil 5.26. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınçları, (N/m^2)

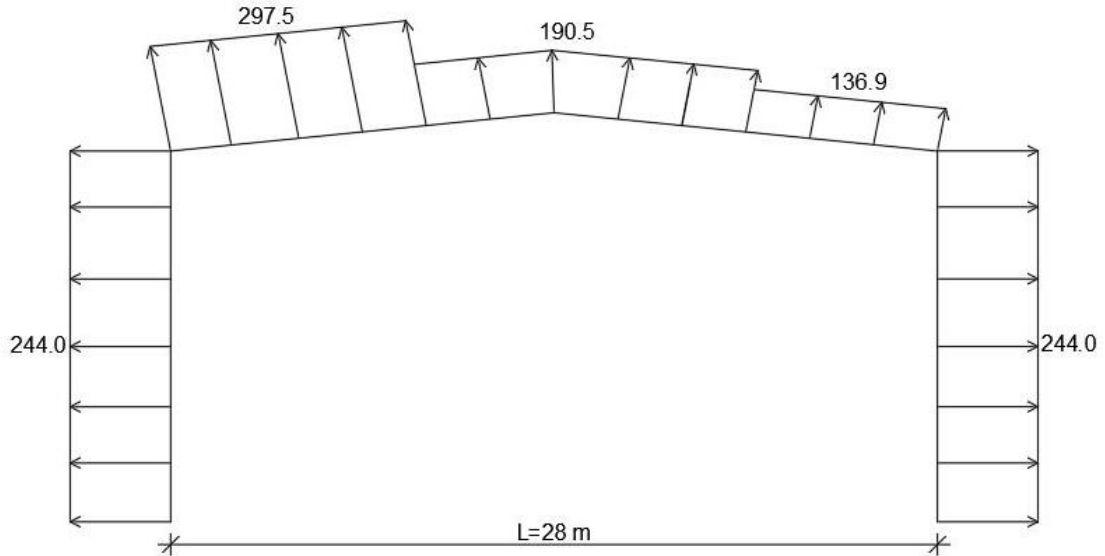


Şekil 5.27. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, cephe duvarları ve çatıda oluşan rüzgar basınçları, (N/m^2)

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da görüldüğü şekilde elde edilmiştir.

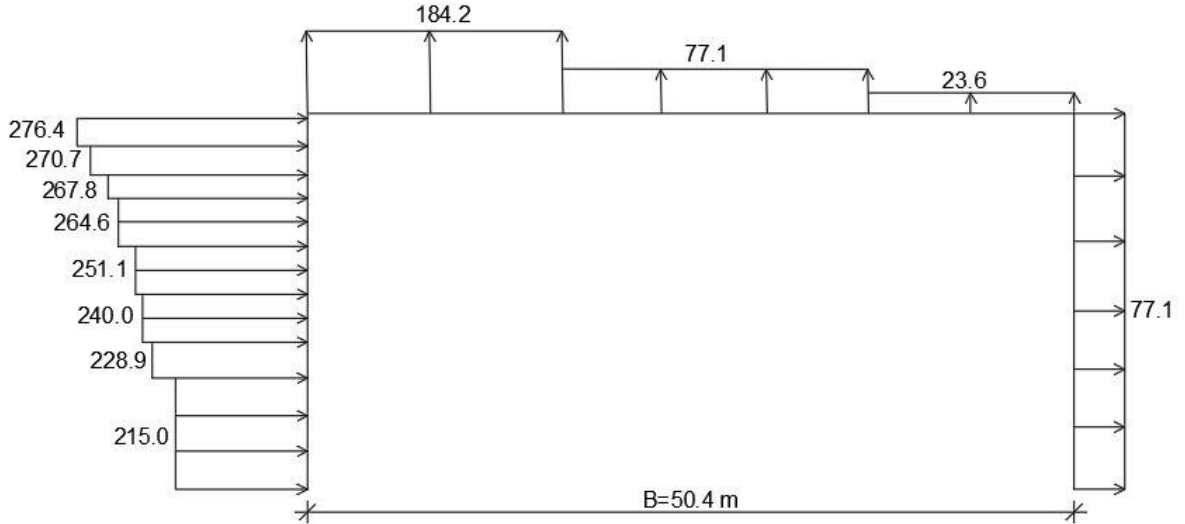


Şekil 5.28. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınçları, (N/m²)

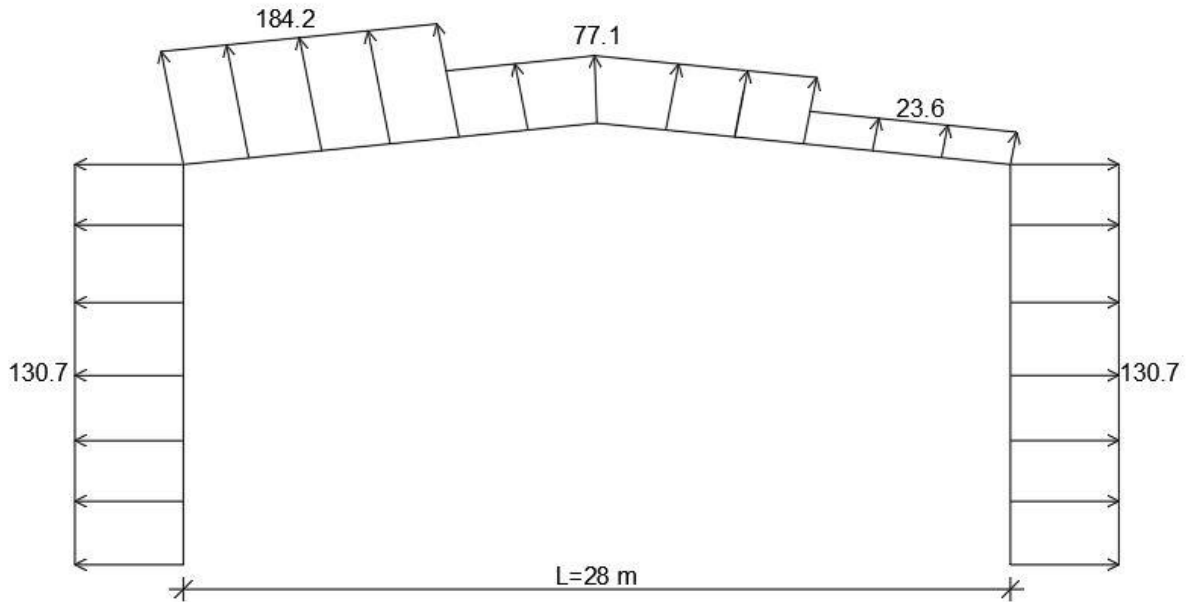


Şekil 5.29. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ve iç basıncın pozitif olması (+0.18) durumunda, cephe duvarları ve çatıda oluşan rüzgar basınçları, (N/m²)

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de görüldüğü şekilde elde edilmiştir.



Şekil 5.30. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatıda oluşan rüzgar basınçları, (N/m^2)



Şekil 5.31. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ve iç basıncın negatif olması (-0.18) durumunda, cephe duvarları ve çatıda oluşan rüzgar basınçları, (N/m^2)

5.2.6. Farklı yüzey engelibelik kategorisi için çözüm

Aynı yapı örneği için bu defa yüzey engelibelik (arazi) kategorisi C, dikkate alınarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Aynı hesap aşamaları tekrarlanarak elde edilen değerler Çizelge 5.29 ve Çizelge 5.30'da verilmiştir.

Çizelge 5.29. Rüzgarın çatı mahyasına dik esmesi durumunda oluşacak rüzgar basınçları, p (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	q (N/m ²)	G	C _p	Net basınç değeri, p	
					(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	347.2	0.85	0.8	158.9	313.4
	6.1	367.7			172.7	327.3
	7.6	384.0			183.9	338.4
	9.1	400.3			195.0	349.5
	11.6	420.1			208.4	362.9
Arka duvar	Tüm	429.2	0.85	-0.33	-197.6	-43.1
Yan duvar	Tüm	429.2	0.85	-0.7	-332.6	-178.1
Rüzgara Karşı Çatı	Hepsi	429.2	0.85	-0.82	-376.4	-221.9
		429.2		-0.18	-142.9	11.6
Rüzgara Arkası Çatı	Hepsi	429.2	0.85	-0.42	-230.5	-76.0
		429.2				

Çizelge 5.30. Rüzgarın çatı mahyasına paralel esmesi durumunda oluşacak rüzgar basınçları, p (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	q (N/m ²)	G	C _p	Net basınç değeri, p	
					(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	347.2	0.85	0.8	158.9	313.4
	6.1	367.7			172.7	327.3
	7.6	384.0			183.9	338.4
	9.1	400.3			195.0	349.5
	11.6	420.1			208.4	362.9
	12.2	424.8			211.6	366.1
	12.84	429.2			214.6	369.1
	14.07	437.6			220.3	374.8
	15.2	445.3			225.5	380.0
Arka duvar	Tüm	429.2	0.85	-0.5	-259.7	-105.2
Yan duvar	Tüm	429.2	0.85	-0.7	-332.6	-178.1
Çatı	0 - h/2	429.2	0.85	-0.9	-405.6	-251.1
	h/2 - h	429.2		-0.9	-405.6	-251.1
	h - 2h	429.2		-0.5	-259.7	-105.2
	> 2h	429.2		-0.3	-186.7	-32.2

5.2.7. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre çözüm

Rüzgar hızı temel değeri denklem 5.18 ile hesaplanmaktadır. Burada esas rüzgar hızı $v_{b,0} = 28$ m/s olarak alınmıştır. Farklı rüzgar doğrultuları için kullanılan doğrultu katsayısı c_{dir} önerilen değer 1.0 olarak alınmıştır. Yılın herhangi bir zaman dilimi için kullanılan, mevsim katsayısı c_{season} değeri 1.0 alınmıştır.

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 25 = 28 \text{ m/s} \quad (5.18)$$

z metre yüksekliğindeki, ortalama ve kısa zamanlı hız değişikliklerini içeren rüzgar tepe basıncı değeri $q_p(z)$, denklem 5.19 ile hesaplanmaktadır.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (5.19)$$

Burada ρ , fırtına etkileri oluşması durumunda arazide görülmesi beklenen; sıcaklıklara, barometrik basınçlara ve rakım seviyesine bağlı olarak ortaya çıkan hava yoğunluğudur. Standart içerisinde önerilen değer olarak 1.25 değeri kullanılacaktır. Ortalama rüzgar hızı $v_m(z)$, denklem 5.20 ile hesaplanmaktadır.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (5.20)$$

Burada orografi katsayısı $c_o(z)$ değeri 1.0 alınmıştır. Engebelilik katsayısı, $c_r(z)$ değeri ise denklem 5.21 ile hesaplanmaktadır.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (5.21)$$

Yapılarda farklı arazi kategorilerinden (II ve III), ilk olarak yapının II. kategoride yer aldığı varsayılarak, $z_{min} = 2 \text{ m} \leq z = 14.07 \text{ m} \leq z_{max} = 200 \text{ m}$ bağıntısı ile arazi katsayısı k_r değeri, denklem 5.22'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{0.07} = 0.19 \quad (5.22)$$

Arazi katsayısı değeri k_r denklem 5.23'te yerine konulursa,

$$c_r(z) = 0.19 \cdot \ln\left(\frac{14.07}{0.05}\right) = 1.0716 \quad (5.23)$$

Hesaplanan, $c_r(z)$ engebelilik katsayısı değeri denklem 5.24'te yerine yazılarak rüzgar hızının sayısal değeri hesaplanacaktır.

$$v_m(z) = 1.0716 \cdot 1.0 \cdot 28 = 30.0 \text{ m/s} \quad (5.24)$$

z metre yükseklikteki türbülans şiddeti değeri denklem 5.25 ile hesaplanacaktır.

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (5.25)$$

Burada belirtilen, türbülans faktörü k_1 değeri ve orografi katsayısı $c_o(z)$ değeri için standartta önerilen 1.0 değeri kullanılacaktır.

$$I_v(z) = \frac{1.0}{1.0 \cdot \ln\left(\frac{14.07}{0.05}\right)} = 0.1773 \quad (5.26)$$

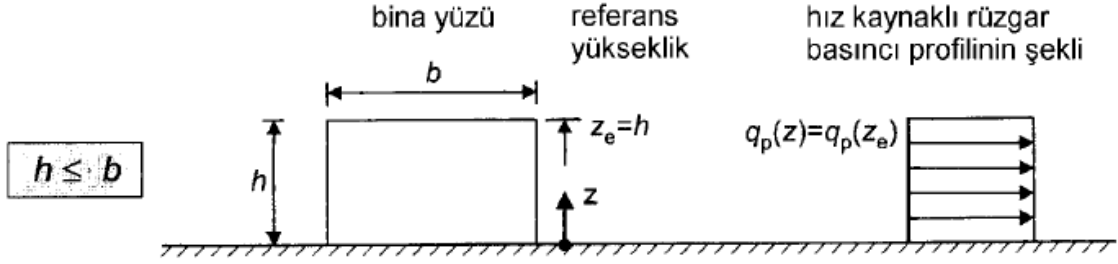
Hesaplanmış olan tüm değerler denklem 5.27'de yerine konularak tepe rüzgar basıncı değeri belirlenecektir.

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0.1773) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot (30.0)^2 = 1260.6 \text{ N/m}^2 \quad (5.27)$$

5.2.8. Yapının düşey duvarlarına etki eden rüzgar yükleri

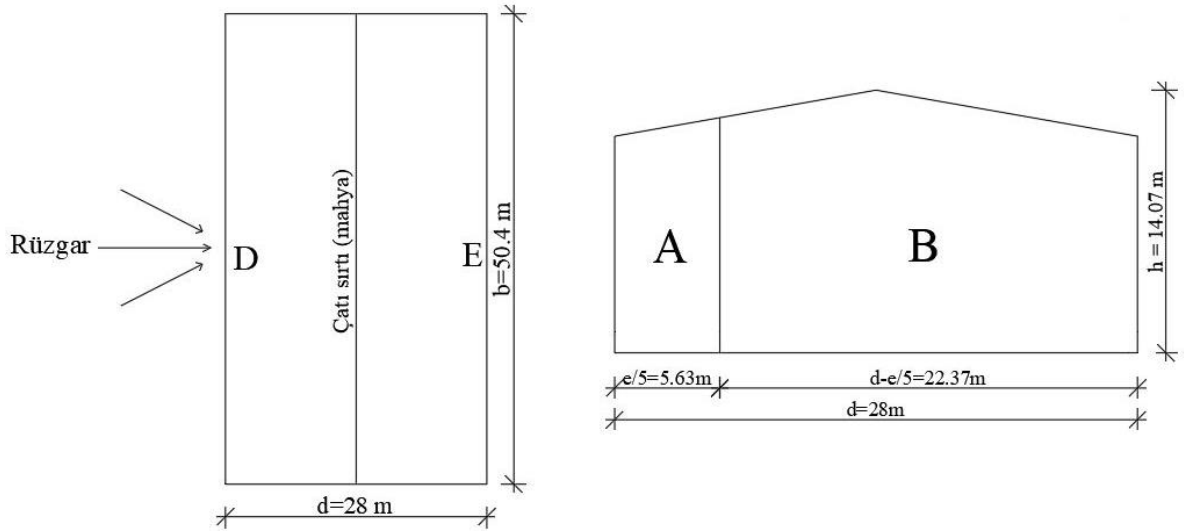
Dikdörtgen plana sahip yapıda, rüzgarın estiği doğrultudaki duvarlar için referans yükseklikler daima duvarların farklı bölümlerindeki maksimum yüksekliklere eşit alınacaktır. Bu durumda referans yükseklik değeri $z_e = h + f = 14.07 \text{ m}$ olarak alınmaktadır. Rüzgarın her iki esme yönü dikkate alındığında, referans yükseklik (14.07 m), her iki durumdaki b değerinden ($14.07 \text{ m} < 28 \text{ m}$ ve $14.07 \text{ m} < 50.4 \text{ m}$) küçük olduğundan dolayı yapı bir bütün olarak ele alınacaktır.

Duvarlara etki eden rüzgar basıncı dağılımı Şekil 5.32’de verilmiştir.



Şekil 5.32. Duvarlara etki eden rüzgar basınç profili

Rüzgarın mahyaya dik doğrultuda esmesi halinde, $e = b$ veya $2h$ (hangi küçükse), yani $e = 2h = 2 \cdot (14.07 \text{ m}) = 28.14 \text{ m}$ olarak alınacaktır. Oluşacak basınç bölgeleri de Şekil 5.33’te gösterilmiş ve Çizelge 5.31’de her bölge için basınç katsayıları verilmiştir. Burada $e = 28.14 \text{ m} \geq d = 25 \text{ m}$ olduğundan düşey duvarlar için C bölgesi oluşmayacaktır (Eurocode 1-4, Şekil 7.5).

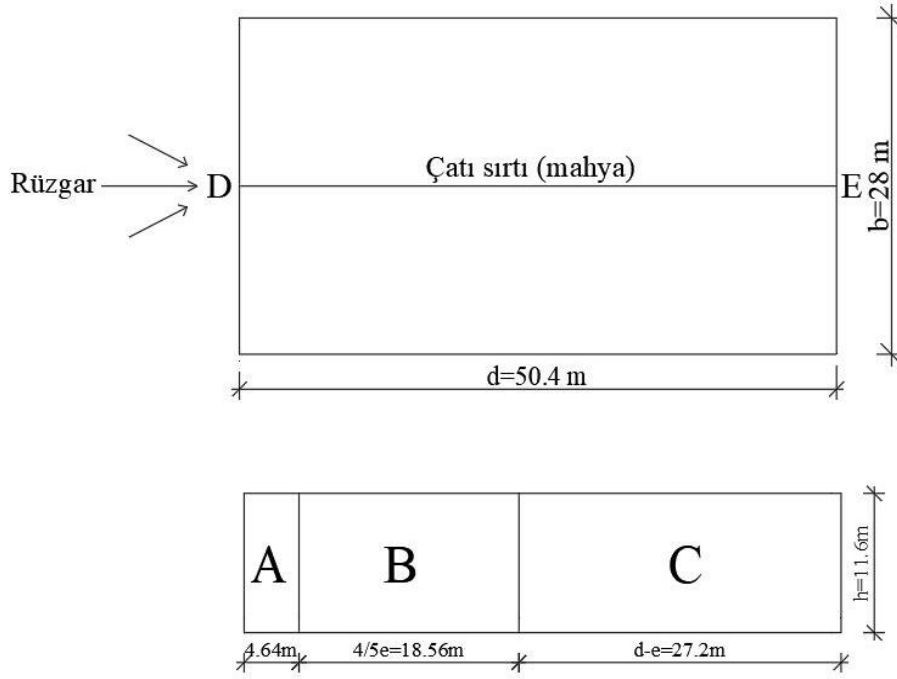


Şekil 5.33. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşacak basınç bölgeleri

Çizelge 5.31. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşacak dış basınç katsayıları

Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
1.0	-1.2	-0.8	-0.5	0.8	-0.5
0.50	-1.2	-0.8	-0.5	0.75	-0.4
≤ 0.25	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda, $e = b$ veya $2h$ (hangi küçükse), yani $e = 2h = 2 \cdot (11.6 \text{ m}) = 23.2 \text{ m}$ olarak alınacaktır. Oluşacak basınç bölgeleri Şekil 5.34'te gösterilmiştir.



Şekil 5.34. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşacak basınç bölgeleri

h/d oranı $11.6/50.4 = 0.23 \leq 0.25$ olduğundan dolayı Çizelge 5.32'de her bölge için en küçük basınç katsayı değerleri kullanılacaktır.

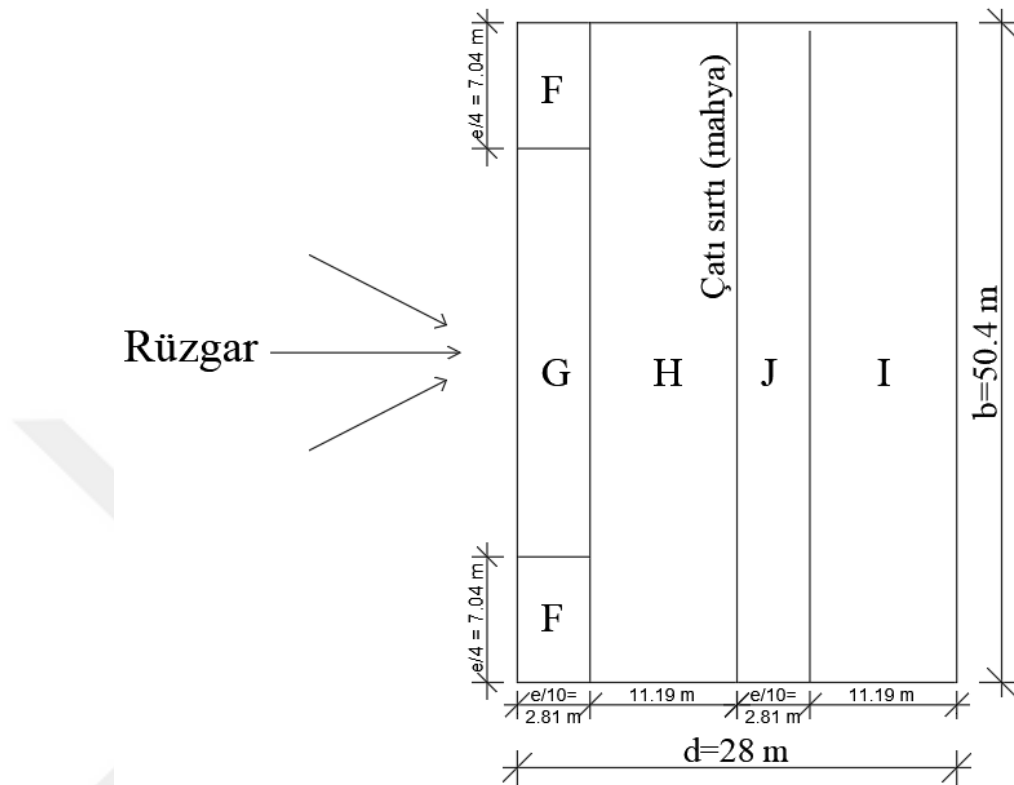
Çizelge 5.32. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda oluşacak dış basınç katsayıları

Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
≤ 0.25	-1.20	-0.80	-0.50	0.70	-0.30

5.2.9. Çatı için basınç katsayılarının belirlenmesi

Çift yön eğimli çatılar, rüzgar doğrultusuna bağlı olarak bölgelere ayrılmıştır. Buna göre, Şekil 5.35'te rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde çatı

basınç bölgeleri ve bölgelere ait uzunluklar gösterilmiştir. Çizelge 5.33'te kullanılacak olan dış basınç katsayı değerleri her bir bölge için verilmiştir.

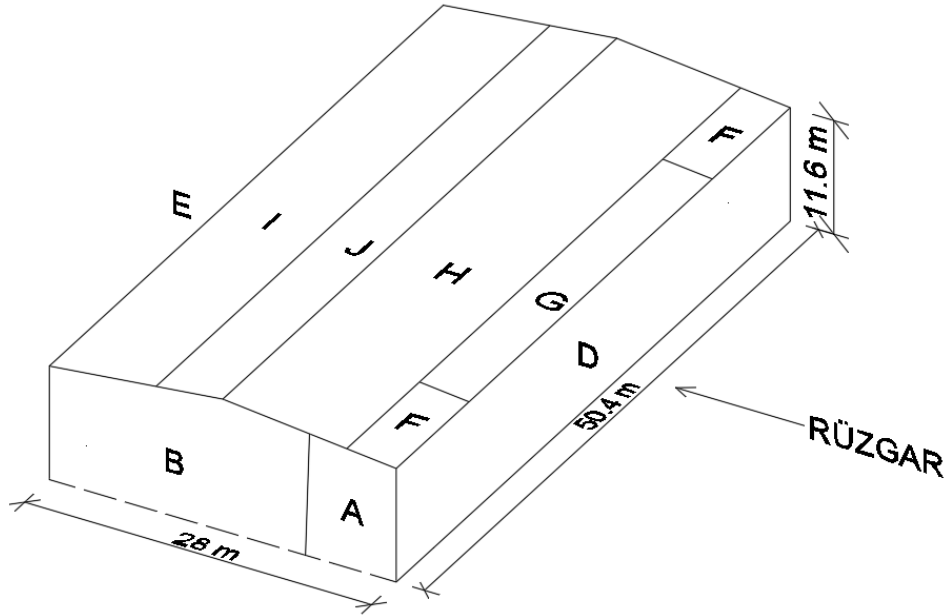


Şekil 5.35. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşacak çatı basınç bölgeleri

Çizelge 5.33. Rüzgarın çatı mahyasına dik esmesi halinde oluşacak duvar dış basınç katsayıları

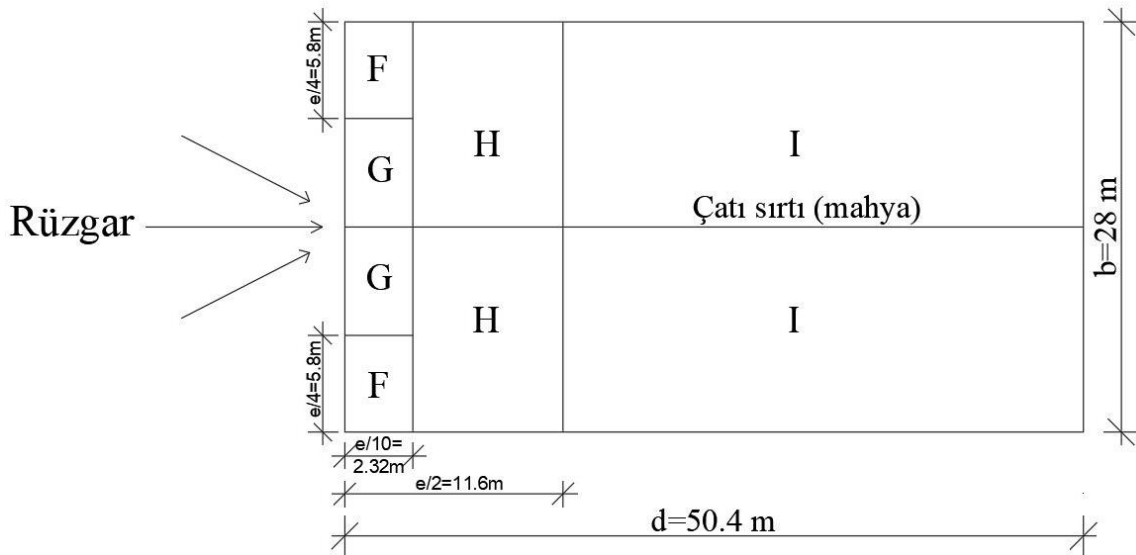
Bölge	F	G	H	I	J
Eğim Açısı	C _{pe,10}	C _{pe,10}	C _{pe,10}	C _{pe,10}	C _{pe,10}
10°	-1.30	-1.00	-0.45	-0.50	-0.40
	0.10	0.10	0.10	-0.30	-0.56

Şekil 5.36’da rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşan basınç bölgeleri üç boyutlu şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.36. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşan basınç bölgeleri

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde çatı basınç bölgeleri ve uzunlukları Şekil 5.37’de belirtilmiştir. Bu durum için kullanılacak dış basınç katsayı değerleri Çizelge 5.34’te her bir bölge için verilmiştir.

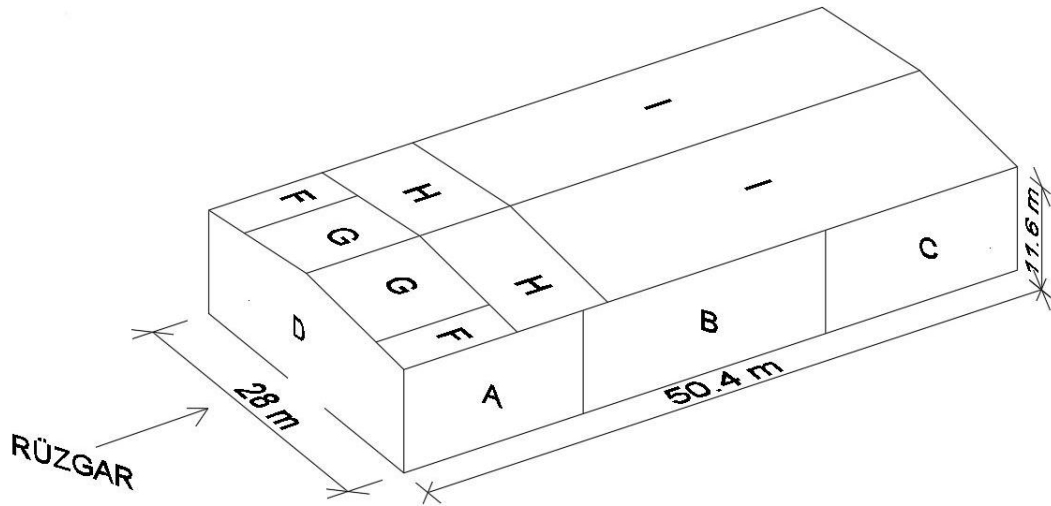


Şekil 5.37. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşacak çatı basınç bölgeleri

Çizelge 5.34. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşacak duvar dış basınç katsayıları

Bölge	F	G	H	I
Eğim Açısı	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
5°	-1.6	-1.3	-0.7	-0.6
10°	-1.45	-1.3	-0.65	-0.55
15°	-1.3	-1.3	-0.6	-0.5

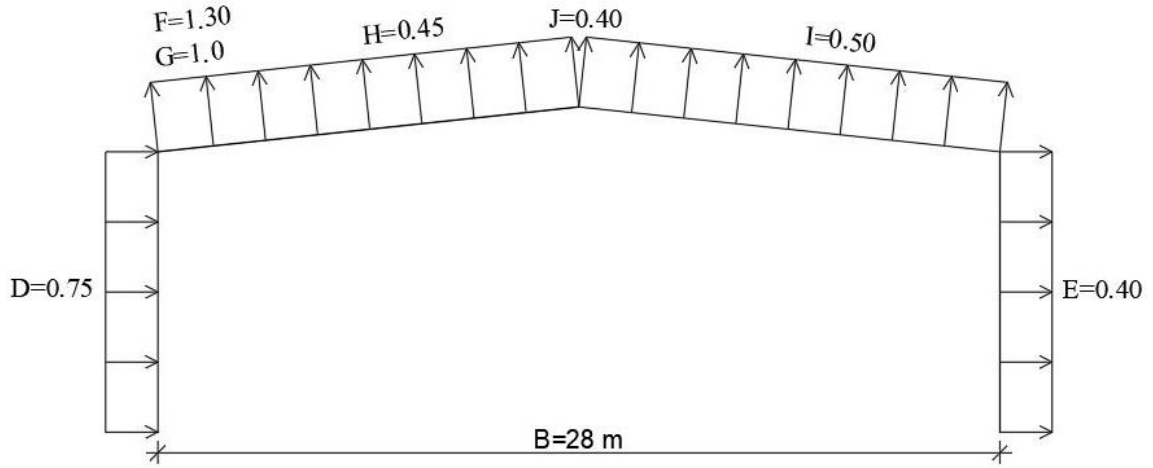
Şekil 5.38’de rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşan basınç bölgeleri üç boyutlu şekil üzerinde gösterilmiştir.



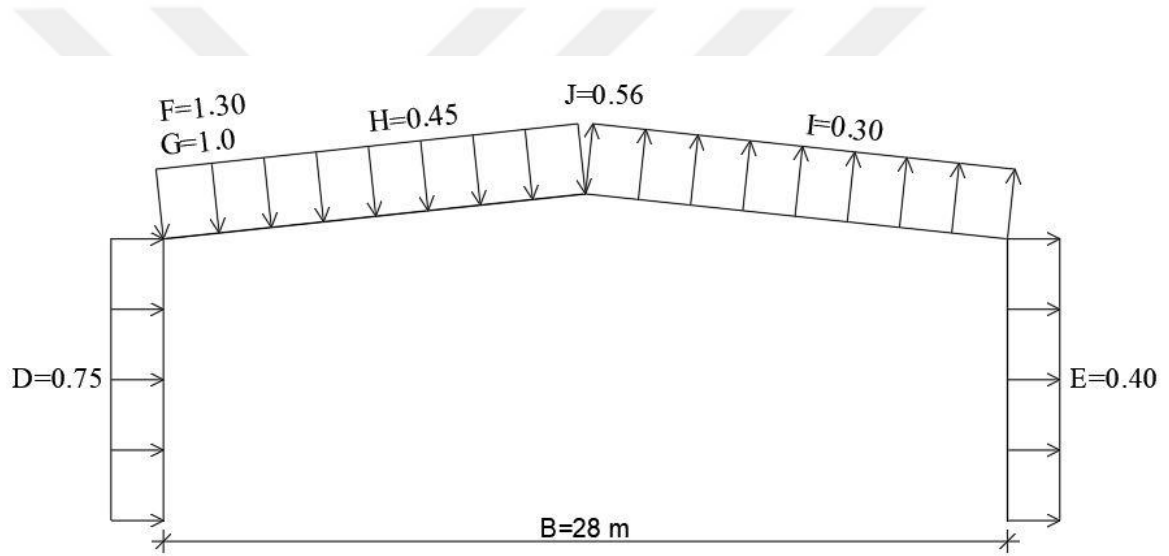
Şekil 5.38. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşan basınç bölgeleri

5.2.10. Basınç katsayılarının gösterimi

Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde, çatı dış basınç katsayılarının minimum ve maksimum değerlerinden oluşan kombinasyonlar oluşturulur. Yönetmelikte aynı yüzeyler için farklı işarete sahip basınç değerlerine izin verilmediğinden dolayı bu örnekte Şekil 5.39a ve Şekil 5.39b’de gösterilen en elverişsiz iki dış basınç katsayısı kombinasyonu belirlenmiştir.

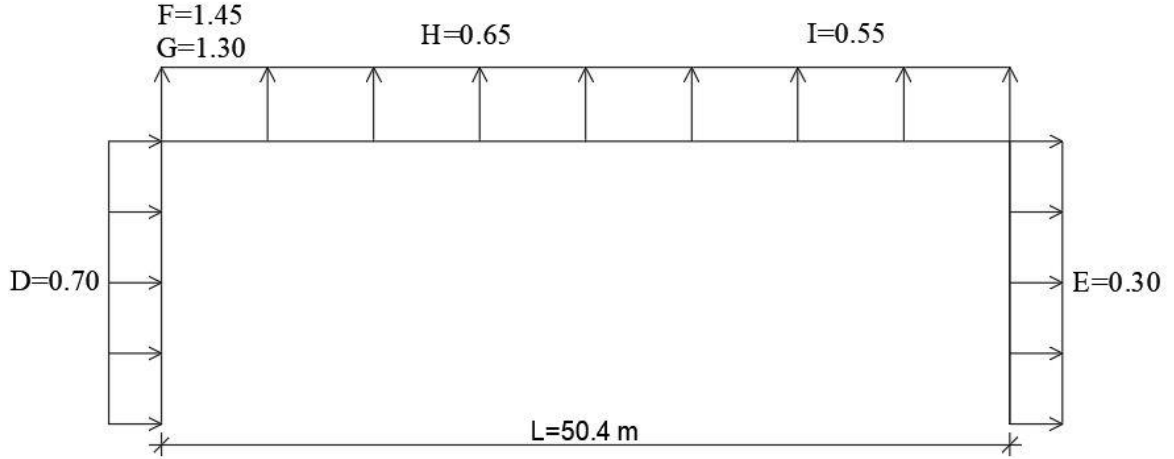


Şekil 5.39a. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşan dış basınç katsayılarının dağılımı



Şekil 5.39b. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde oluşan dış basınç katsayılarının dağılımı

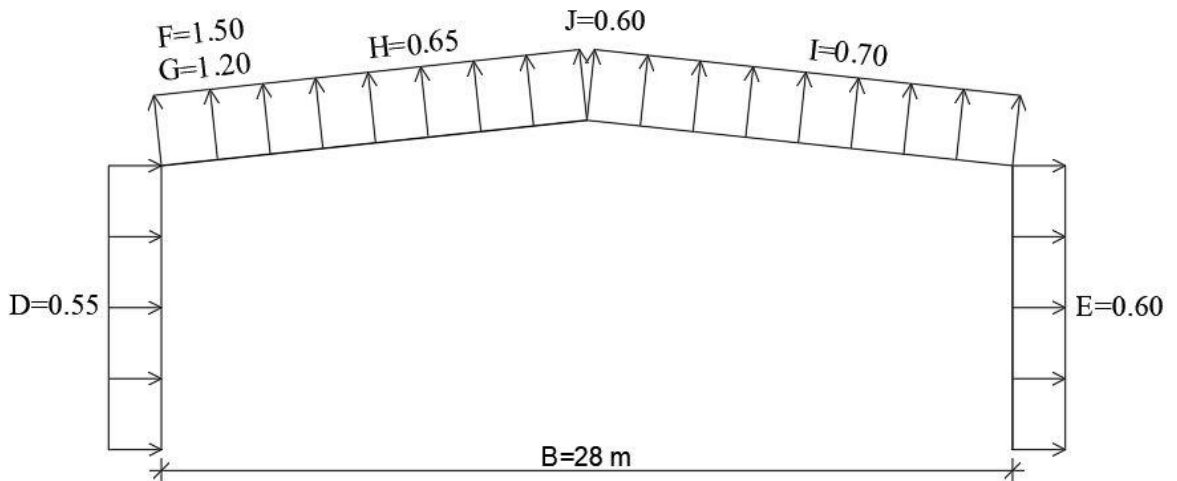
Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde D, E, F, G, H ve I bölgelerinde oluşacak dış basınç katsayı değerleri Şekil 5.40 'da görüldüğü şekilde elde edilmiştir.



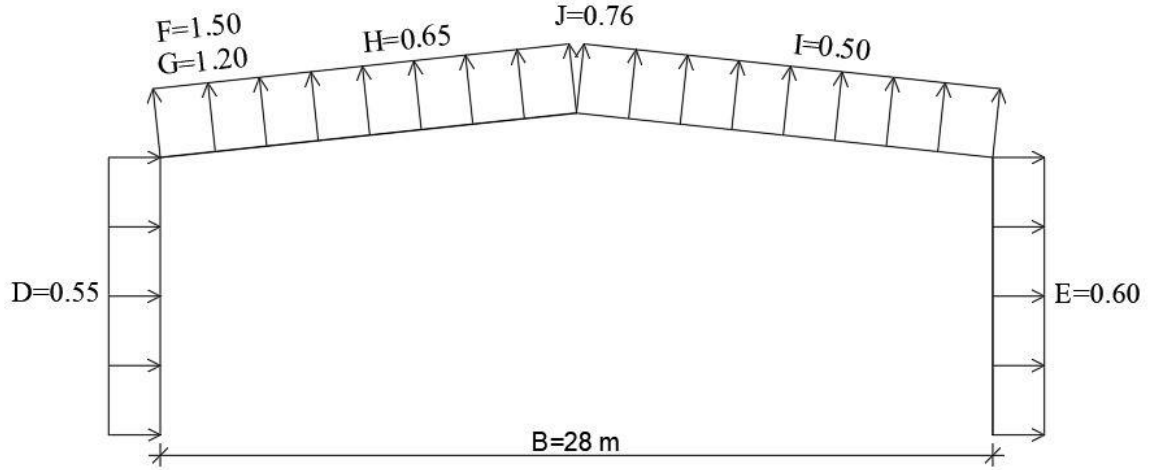
Şekil 5.40. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi halinde oluşan dış basınç katsayılarının dağılımı

İç basınç katsayısı değeri, yapı içerisinde bulunan açıklıkların dağılımına ve bu açıklıkların boyutlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Yapının geçirgenlik durumunu ve açıklık miktarını öngörmek mümkün olmadığından dolayı, standartta önerilen iç basınç katsayı değerleri +0.2 ve -0.3 kullanılacaktır.

İç basınç katsayısı değerinin +0.2 olduğu ve rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi halinde elde edilen basınç katsayıları Şekil 5.41a ve Şekil 41b'de görüldüğü şekilde elde edilmiştir.

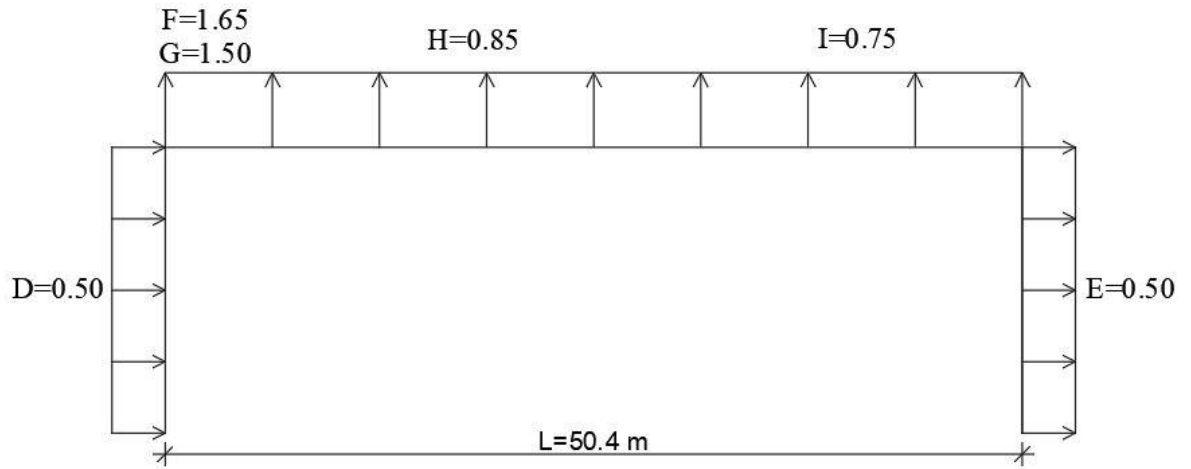


Şekil 5.41a. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 değeri için basınç katsayılarının dağılımı



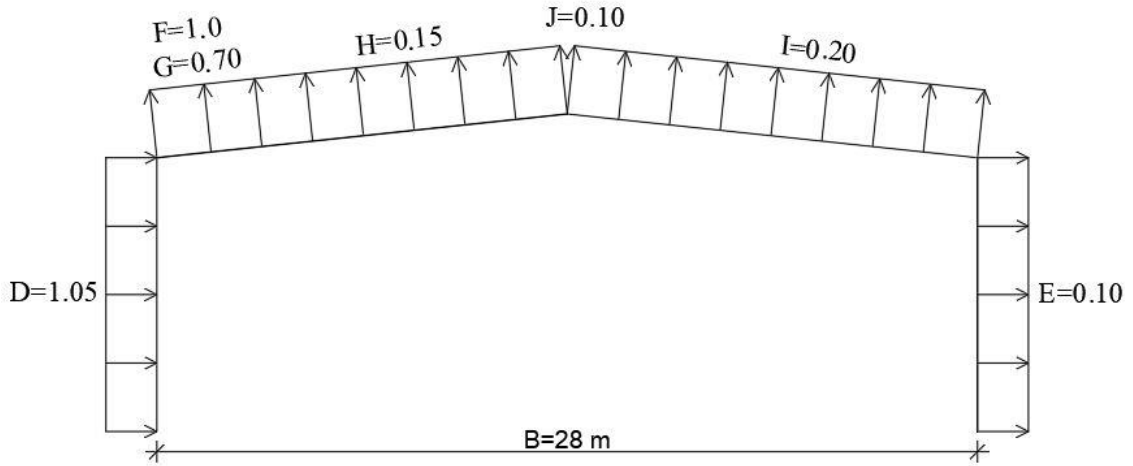
Şekil 5.41b. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 değeri için basınç katsayılarının dağılımı

İç basınç katsayı değerinin +0.2 olduğu ve rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda oluşacak basınç katsayıları Şekil 5.42'de verilmiştir.

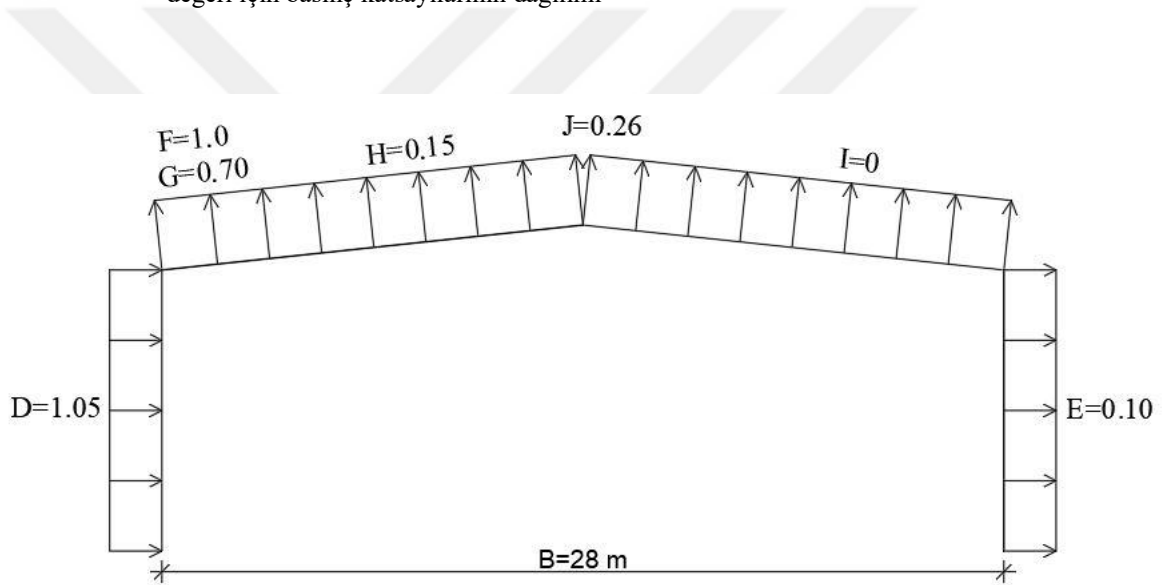


Şekil 5.42. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 değeri için basınç katsayılarının dağılımı

İç basınç katsayı değerinin -0.3 olduğu ve rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda oluşan basınç katsayıları Şekil 5.43a ve Şekil 5.43b'de gösterilmiştir.

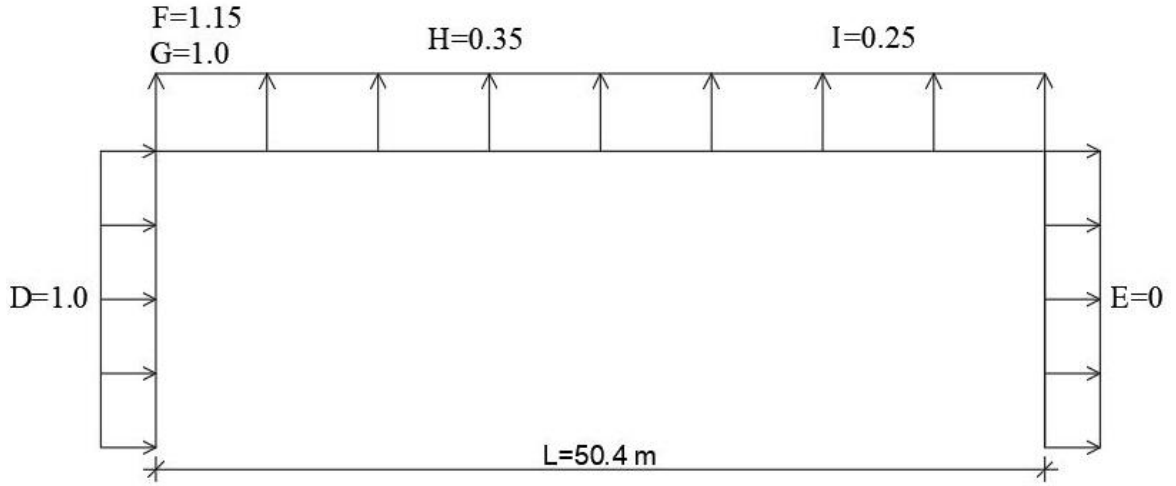


Şekil 5.43a. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 değeri için basınç katsayılarının dağılımı



Şekil 5.43b. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 değeri için basınç katsayılarının dağılımı

İç basınç katsayı değerinin -0.3 olduğu ve rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda oluşan basınç katsayıları Şekil 5.22'de gösterilmiştir.



Şekil 5.44. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 değeri için basınç katsayılarının dağılımı

5.1.11. Yüzeylere etki eden rüzgar basınçlarının hesaplanması

Dış yüzeylere etki eden rüzgar basıncı w_e , denklem 5.28 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$w_e = q_p(z) \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \quad (5.28)$$

Rüzgarın mahyaya dik esmesi ($\theta=0^\circ$) durumunda, A, B, C, D, E, F, G, H, I ve J bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı değerleri Çizelge 5.35, Çizelge 5.36, Çizelge 5.37 ve Çizelge 5.38’de verilmiştir.

Çizelge 5.35. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınçlarının birinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1764.84
B	-1.00	-1260.6
C	-0.70	-882.42
D	0.55	693.33
E	-0.60	-756.36
F	-1.50	-1890.90
G	-1.20	-1512.72
H	-0.65	-819.39
I	-0.70	-882.42
J	-0.60	-756.36

Çizelge 5.36. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınçlarının ikinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1764.84
B	-1.00	-1260.60
C	-0.70	-882.42
D	0.55	693.33
E	-0.60	-756.36
F	-1.50	-1890.90
G	-1.20	-1512.72
H	-0.65	-819.39
I	-0.50	-630.30
J	-0.76	-958.06

Çizelge 5.37. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç basınçlarının birinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-1134.54
B	-0.50	-630.30
C	-0.20	-252.12
D	1.05	1323.63
E	-0.10	-126.06
F	-1.00	-1260.60
G	-0.70	-882.42
H	-0.15	-189.09
I	-0.20	-252.12
J	-0.10	-126.06

Çizelge 5.38. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç basınçlarının ikinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-1134.54
B	-0.50	-630.30
C	-0.20	-252.12
D	1.05	1323.63
E	-0.10	-126.06
F	-1.00	-1260.60
G	-0.70	-882.42
H	-0.15	-189.09
I	0.00	0.00
J	-0.26	-327.76

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ($\theta=90^\circ$) durumunda, A, B, C, D, E, F, G, H ve I bölgelerinde yüzeylerde oluşan rüzgar basınç değerleri Çizelge 5.39 ve Çizelge 5.40'ta verilmiştir.

Çizelge 5.39. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_e (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1764.84
B	-1.00	-1260.60
C	-0.70	-882.42
D	0.50	630.30
E	-0.50	-630.30
F	-1.65	-2079.99
G	-1.50	-1890.90
H	-0.85	-1071.51
I	-0.75	-945.45

Çizelge 5.40. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_e (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-1134.54
B	-0.50	-630.30
C	-0.20	-252.12
D	1.00	1260.60
E	0.00	0.00
F	-1.15	-1449.69
G	-1.00	-1260.60
H	-0.35	-441.21
I	-0.24	-302.54

5.2.12. Farklı arazi kategorisi için çözüm

Aynı yapı modeli örneği için bu defa arazi kategorisi III, dikkate alınarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Aynı hesap aşamaları tekrarlanarak yüzeylere etki eden rüzgar basıncı değerleri hesaplanmıştır.

Rüzgarın mahyaya dik esmesi ($\theta=0^\circ$) durumunda, A, B, C, D, E, F, G, H, I ve J bölgeleri için yüzeylerdeki rüzgar basıncı değerleri Çizelge 5.41, Çizelge 5.42, Çizelge 5.43 ve Çizelge 5.44'te verilmiştir.

Çizelge 5.41. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınçlarının birinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1328.92
B	-1.00	-949.23
C	-0.70	-664.46
D	0.55	522.08
E	-0.60	-569.54
F	-1.50	-1423.85
G	-1.20	-1139.08
H	-0.65	-617.00
I	-0.70	-664.46
J	-0.60	-569.54

Çizelge 5.42. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınçlarının ikinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1328.92
B	-1.00	-949.23
C	-0.70	-664.46
D	0.55	522.08
E	-0.60	-569.54
F	-1.50	-1423.85
G	-1.20	-1139.08
H	-0.65	-617.00
I	-0.50	-474.62
J	-0.76	-721.41

Çizelge 5.43. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınçlarının birinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-854.31
B	-0.50	-474.62
C	-0.20	-189.85
D	1.05	996.69
E	-0.10	-94.92
F	-1.00	-949.23
G	-0.70	-664.46
H	-0.15	-142.38
I	-0.20	-189.85
J	-0.10	-94.92

Çizelge 5.44. Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınçlarının ikinci kombinasyonu, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-854.31
B	-0.50	-474.62
C	-0.20	-189.85
D	1.05	996.69
E	-0.10	-94.92
F	-1.00	-949.23
G	-0.70	-664.46
H	-0.15	-142.38
I	0.00	0.00
J	-0.26	-246.80

Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi ($\theta=90^\circ$) durumunda, A, B, C, D, E, F, G, H ve I bölgelerinde yüzeylerde oluşan rüzgar basınç değerleri Çizelge 5.45 ve Çizelge 5.46’da verilmiştir.

Çizelge 5.45. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının +0.2 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-1.40	-1328.92
B	-1.00	-949.23
C	-0.70	-664.46
D	0.50	474.62
E	-0.50	-474.62
F	-1.65	-1566.23
G	-1.50	-1423.85
H	-0.85	-806.85
I	-0.75	-711.92

Çizelge 5.46. Rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda esmesi durumunda ve iç basınç katsayısının -0.3 olduğu durum için rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Basınç Katsayısı ($c_{pe} + c_{pi}$)	Rüzgar Basıncı (N/m ²)
A	-0.90	-854.31
B	-0.50	-474.62
C	-0.20	-189.85
D	1.00	949.23
E	0.00	0.00
F	-1.15	-1091.61
G	-1.00	-949.23
H	-0.35	-332.23
I	-0.24	-227.82

5.3. Yapı Modelleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması

Birinci yapı modeli için Eurocode 1-4 Yönetmeliği'ne göre farklı arazi kategorileri için hesaplanan rüzgar basınç değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.47. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Arazi Kategorisi II		Arazi Kategorisi III	
	Net Basınç		Net Basınç	
	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$
A	-1689.1	-1085.9	-1250.6	-804.0
B	-1206.5	-603.3	-893.3	-446.7
C	-844.6	-241.3	-625.3	-178.7
D	663.6	1266.8	491.3	938.0
E	-723.9	-120.7	-536.0	-89.3
F	-1809.8	-1206.5	-1340.0	-893.3
G	-1447.8	-844.6	-1072.0	-625.3
H	-784.2	-181.0	-580.6	-134.0
I	-844.6	-241.3	-625.3	-178.7
J	-723.9	-120.7	-536.0	-89.3

Çizelge 5.48. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Arazi Kategorisi II		Arazi Kategorisi III	
	Net Basınç		Net Basınç	
	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$
A	-1689.1	-1085.9	-1250.6	-803.97
B	-1206.5	-603.3	-893.3	-446.7
C	-844.6	-241.3	-625.3	-178.7
D	603.3	1206.5	446.7	893.3
E	-603.3	0.0	-446.7	0.0
F	-1990.7	-1387.5	-1473.9	-1027.3
G	-1809.8	-1206.5	-1340.0	-893.3
H	-1025.5	-422.3	-759.3	-312.7
I	-904.9	-289.6	-670.0	-214.4

İkinci yapı modeli için Eurocode 1-4 Yönetmeliği'ne göre farklı arazi kategorileri için hesaplanan rüzgar basınç değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.49. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Arazi Kategorisi II		Arazi Kategorisi III	
	Net Basınç		Net Basınç	
	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$
A	-1764.8	-1134.54	-1328.9	-854.3
B	-1260.6	-630.30	-949.2	-474.6
C	-882.4	-252.12	-664.5	-189.8
D	693.3	1323.63	522.1	996.7
E	-756.4	-126.06	-569.5	-94.9
F	-1890.9	-1260.60	-1423.8	-949.2
G	-1512.7	-882.42	-1139.1	-664.5
H	-819.4	-189.09	-617.0	-142.4
I	-630.3	-252.12	-474.6	-189.8
J	-958.1	-126.06	-721.4	-94.9

Çizelge 5.50. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Bölge	Arazi Kategorisi II		Arazi Kategorisi III	
	Net Basınç		Net Basınç	
	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$
A	-1764.8	-1134.5	-1328.9	-854.3
B	-1260.6	-630.3	-949.2	-474.6
C	-882.4	-252.1	-664.5	-189.8
D	630.3	1260.6	474.6	949.2
E	-630.3	0.0	-474.6	0.0
F	-2080.0	-1449.7	-1566.2	-1091.6
G	-1890.9	-1260.6	-1423.8	-949.2
H	-1071.5	-441.2	-806.8	-332.2
I	-945.5	-302.5	-711.9	-227.8

Birinci yapı modeli için ASCE 7-16 Yönetmeliği'ne göre farklı türden yüzey engebелilik (arazi) kategorileri için hesaplanan rüzgar basınç değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.51. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	Net basınç değeri, p			
		Yüzey Engebелilik Kategorisi B		Yüzey Engebелilik Kategorisi C	
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18	(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	104.2	212.4	161.4	310.8
	6.1	118.1	226.3	175.3	324.7
	7.6	129.2	237.4	186.4	335.8
	9.1	140.4	248.5	197.5	346.9
	10.0	145.2	253.4	202.4	351.7
Arka duvar	Tüm	-181.8	-73.6	-251	-101.6
Yan duvar	Tüm	-232.9	-124.7	-321.5	-172.2
Çatı	0 - h/2	-284.0	-175.8	-392.1	-242.7
	h/2 - h	-284.0	-175.8	-392.1	-242.7
	h - 2h	-181.8	-73.6	-251.0	-101.6
	> 2h	-130.7	-22.5	-180.5	-31.1

Çizelge 5.52. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	Net basınç değeri, p			
		Yüzey Engebелilik Kategorisi B		Yüzey Engebелilik Kategorisi C	
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18	(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	104.2	212.4	161.4	310.8
	6.1	118.1	226.3	175.3	324.7
	7.6	129.2	237.4	186.4	335.8
	9.1	140.4	248.5	197.5	346.9
	10.0	145.2	253.4	202.4	351.7
	10.94	150.3	258.4	207.4	356.8
	11.88	155.3	263.5	212.5	361.9
Arka duvar	Tüm	-161.4	-53.2	-222.8	-73.4
Yan duvar	Tüm	-232.9	-124.7	-321.5	-172.2
Çatı	0 - h/2	-284.0	-175.8	-392.1	-242.7
	h/2 - h	-284.0	-175.8	-392.1	-242.7
	h - 2h	-181.8	-73.6	-251.0	-101.6
	> 2h	-130.7	-22.5	-180.5	-31.1

İkinci yapı modeli için ASCE 7-16 Yönetmeliği'ne göre farklı türden yüzey engebelilik (arazi) kategorileri için hesaplanan rüzgar basınç değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.53. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	Net basınç değeri, p			
		Yüzey Engebelilik Kategorisi B		Yüzey Engebelilik Kategorisi C	
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18	(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	101.7	215.0	158.9	313.4
	6.1	115.6	228.9	172.7	327.3
	7.6	126.7	240.0	183.9	338.4
	9.1	137.8	251.1	195.0	349.5
	11.6	151.2	264.6	208.4	362.9
Arka duvar	Tüm	-145.0	-31.6	-197.6	-43.10
Yan duvar	Tüm	-244.0	-130.7	-332.6	-198.7
Rüzgara Karşı Çatı	Hepsi	-276.1	-162.8	-376.4	-221.9
		-104.8	8.50	-142.9	11.6
Rüzgara Arkası Çatı	Hepsi	-169.1	-55.7	-230.5	-76.0

Çizelge 5.54. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Yüzey	Yükseklik (m)	Net basınç değeri, p			
		Yüzey Engebelilik Kategorisi B		Yüzey Engebelilik Kategorisi C	
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18	(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0-4.6	101.7	215.0	158.9	313.4
	6.1	115.6	228.9	172.7	327.3
	7.6	126.7	240.0	183.9	338.4
	9.1	137.8	251.1	195.0	349.5
	11.6	151.2	264.6	208.4	362.9
	12.2	154.4	267.8	211.6	366.1
	12.84	157.4	270.7	214.6	369.1
	14.07	163.1	276.4	220.3	374.8
	15.2	168.3	281.7	225.5	380.0
Arka duvar	Tüm	-190.5	-77.1	-259.7	-105.2
Yan duvar	Tüm	-244.0	-130.7	-332.6	-178.1
Çatı	0 - h/2	-297.5	-184.2	-405.6	-251.1
	h/2 - h	-297.5	-184.2	-405.6	-251.1
	h - 2h	-190.5	-77.1	-259.7	-105.2
	> 2h	-136.9	-23.6	-186.7	-32.2

Endüstriyel yapı modeli örnekleri için, ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri hesaplanırken, rüzgarın dik doğrultuda estiği yön, iç basınç katsayıları ve yönetmelikte bahsedilen yüksekliklere bağlı olarak her bir dış basınç katsayısı değerlerine göre rüzgar basıncı hesaplanmaktadır. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre ise, rüzgarın dik doğrultuda estiği yön ve iç basınç katsayısı değerlerine göre rüzgar basınçları belirlenmekte ve ayrıca yükseklik değerlerine bağlı olan net basınç değerleri ise ASCE 7-16 yönetmeliğinden değişik olarak, tek bir değer basınç değeri hesaplanmaktadır.

Her iki yönetmelik içerisinde belirtilmiş olan arazi kategorisi tanımları incelendiğinde, ASCE 7-16 yönetmeliğinde belirtilen C kategorisi ve Eurocode 1-4 yönetmeliğinde belirtilen arazi kategorisi III, benzer tanımlar içerdiğinden dolayı iki yönetmeliğe göre hesaplanan rüzgar basınç değerleri kıyaslamasında bu kategorilere göre hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Buna göre birinci yapı modeli örneği için rüzgarın mahyaya dik doğrultuda esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınçları Çizelge 5.55'te, rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınçları ise Çizelge 5.56'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.55. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları		Eurocode 1-4 Sonuçları		
		Net Basınç		Net Basınç		
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18	Bölge	c _{pi} = +0.2	c _{pi} = -0.3
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0 - 4.6	161.4	310.8	D	491.3	938.0
	6.1	175.3	324.7			
	7.6	186.4	335.8			
	9.1	197.5	346.9			
	10.0	202.4	351.7			
Arka Duvar	Hepsi	-251.0	-101.6	E	-536.0	-89.3

Çizelge 5.56. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m^2)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları		Eurocode 1-4 Sonuçları		
		Net Basınç		Net Basınç		
		(GC_{pi}) = +0.18	(GC_{pi}) = -0.18	Bölge	c_{pi} = +0.2	c_{pi} = -0.3
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0 - 4.6	161.4	310.8	D	446.7	893.3
	6.1	175.3	324.7			
	7.6	186.4	335.8			
	9.1	197.5	346.9			
	10.0	202.4	351.7			
	10.94	207.4	356.8			
	11.88	212.5	361.9			
Arka Duvar	Hepsi	-222.8	-73.4	E	-446.7	0.0

ASCE 7-16 yönetmeliğinde tek bölge hesabı yapılırken, Eurocode 1-4 yönetmeliğinde ise üç farklı bölgede hesap yapılmıştır. Rüzgarın mahyaya dik ve paralel esmesi durumunda da cephe duvarlara etki eden rüzgar basınç değerleri aynı hesaplanmıştır. Yapı cephesinde yer alan duvarlar için hesaplanan basınçlar Çizelge 5.57'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.57. Yapı cephesinde yer alan duvarlar için ASCE 7-16 ve Eurocode 1-4 yönetmeliklerine göre hesaplanan rüzgar basınçlarının karşılaştırılması, w_{net} (N/m^2)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları		Eurocode 1-4 Sonuçları		
		Net Basınç		Net Basınç		
		(GC_{pi}) = +0.18	(GC_{pi}) = -0.18	Bölge	c_{pi} = +0.2	c_{pi} = -0.3
Cephe Duvar	Hepsi	-321.5	-172.2	A	-1250.6	-804.0
				B	-893.3	-446.7
				C	-625.3	-178.7

Çatı yüzeyleri için hesaplanan basınçlar ASCE 7-16 ve Eurocode 1-4 yönetmelikleri için ayrı çizelgelerde gösterilmiştir. Bunun nedeni, ASCE 7-16 yönetmeliğine göre hesaplanan basınç değerleri belirli mesafelerde etki ettirilirken, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre hesap edilen değerlerin ise yapının her iki yönü için de belirlenen bölgelere etkilmesinden kaynaklanmaktadır. Bunlara ek olarak Eurocode

1-4 yönetmeliği, basınç değerinin hesaplanmasında iç basınç katsayılarının farklı değerlerinin bulunmasından ötürü farklı kombinasyon değerleri oluşacağından, yük karşılaştırmaları farklı çizelgelerde gösterilmiştir.

Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda, ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen basınç değerleri Çizelge 5.58'de, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre basınç değerleri ise Çizelge 5.59'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.58. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen, rüzgarın mahyaya dik doğrultuda etki etmesi durumundaki rüzgar basınçları, (N/m²)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları	
		Net Basınç	
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Çatı	0 - h/2	-392.1	-242.7
	h/2 - h	-392.1	-242.7
	h - 2h	-251.0	-101.6
	> 2h	-180.5	-31.1

Çizelge 5.59. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen, rüzgarın mahyaya dik doğrultuda etki etmesi durumundaki rüzgar basınçları, (N/m²)

Bölge	Rüzgar Basıncı	Rüzgar Basıncı
	c _{pi} = +0.2	c _{pi} = -0.3
F	-1340.0	-893.3
G	-1072.0	-625.3
H	-580.6	-134.0
I	-625.3	-178.7
J	-536.0	-89.3

Rüzgarın mahyaya paralel doğrultuda esmesi durumunda ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen basınç değerleri Çizelge 5.60, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen basınç değerleri ise Çizelge 5.61'de verilmiştir.

Çizelge 5.60. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen, rüzgarın çatı mahyasına paralel doğrultuda etki etmesi durumundaki rüzgar basınçları, (N/m²)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları	
		Net Basınç	
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Çatı	0 - h/2	-392.1	-242.7
	h/2 - h	-392.1	-242.7
	h - 2h	-251.0	-101.6
	> 2h	-180.5	-31.1

Çizelge 5.61. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen, rüzgarın mahyaya paralel doğrultuda etki etmesi durumundaki rüzgar basınçları, (N/m²)

Bölge	Rüzgar Basıncı	Rüzgar Basıncı
	c _{pi} = +0.2	c _{pi} = -0.3
F	-1473.9	-1027.3
G	-1340.0	-893.3
H	-759.3	-312.7
I	-670.0	-214.4

İkinci yapı örneği için rüzgarın mahyaya dik doğrultuda esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınçları Çizelge 5.62'de, rüzgarın mahyaya paralel doğrultuda esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınçları ise Çizelge 5.63'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.62. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m²)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları		Eurocode 1-4 Sonuçları		
		Net Basınç		Net Basınç		
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18	Bölge	c _{pi} = +0.2	c _{pi} = -0.3
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0 - 4.6	158.9	313.4	D	522.08	996.69
	6.1	172.7	327.3			
	7.6	183.9	338.4			
	9.1	195.0	349.5			
	11.6	208.4	362.9			
Arka Duvar	Hepsi	-197.6	-43.1	E	-569.54	-94.92

Çizelge 5.63. Rüzgarın mahyaya paralel esmesi durumunda hesaplanan rüzgar basınç değerleri, w_{net} (N/m^2)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları		Eurocode 1-4 Sonuçları		
		Net Basınç		Net Basınç		
		$(GC_{pi}) = +0.18$	$(GC_{pi}) = -0.18$	Bölge	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$
Rüzgar tarafındaki (rüzgara dik) duvar	0 - 4.6	158.9	313.4	D	474.62	949.23
	6.1	172.7	327.3			
	7.6	183.9	338.4			
	9.1	195.0	349.5			
	11.6	208.4	362.9			
	12.2	211.6	366.1			
	12.84	214.6	369.1			
	14.07	220.3	374.8			
Arka Duvar	Hepsi	-259.7	-105.2	E	-474.62	0.00

ASCE 7-16 yönetmeliğinde tek bölge hesabı yapılırken, Eurocode 1-4 yönetmeliğinde ise üç farklı bölgede hesap yapılmıştır. Rüzgarın mahyaya dik ve paralel esmesi durumunda da cephe duvarlara etki eden rüzgar basınç değerleri aynı hesaplanmıştır. Yapı cephesinde yer alan duvarlar için hesaplanan basınçlar Çizelge 5.64'te karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.64. Cephe duvarları için ASCE 7-16 ve Eurocode 1-4 yönetmeliklerine göre hesaplanan rüzgar basınçlarının karşılaştırılması, w_{net} (N/m^2)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları		Eurocode 1-4 Sonuçları		
		Net Basınç		Net Basınç		
		$(GC_{pi}) = +0.18$	$(GC_{pi}) = -0.18$	Bölge	$c_{pi} = +0.2$	$c_{pi} = -0.3$
Cephe Duvar	Hepsi	-332.6	-178.1	A	-1328.9	-854.31
				B	-949.23	-474.62
				C	-664.46	-189.85

Çatı yüzeyleri için hesaplanan basınçlar ASCE 7-16 ve Eurocode 1-4 yönetmelikleri için ayrı çizelgelerde gösterilmiştir. Bunun nedeni, ASCE 7-16 yönetmeliğine göre hesaplanan basınç değerleri belli mesafelerde etki ettirilirken, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre hesap edilen değerlerin ise yapının her iki yönü için de belirlenen bölgelere etkilmesinden kaynaklanmaktadır. Bunlara ek olarak Eurocode

1-4 yönetmeliği, basınç değerinin hesaplanmasında iç basınç katsayılarının farklı değerlerinin bulunmasında ötürü farklı kombinasyon değerleri oluşacağından, yük karşılaştırmaları farklı çizelgelerde gösterilmiştir.

Rüzgarın çatı mahyasına dik doğrultuda esmesi durumunda, ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen basınç değerleri Çizelge 5.65'te, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre basınç değerleri ise Çizelge 5.66'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.65. Rüzgarın çatı mahyasına dik esmesi durumunda ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar basınçları, (N/m²)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları	
		Net Basınç	
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Rüzgara Karşı Çatı	Hepsi	-376.4	-221.9
		-142.9	11.6
Rüzgara Arkası Çatı	Hepsi	-230.5	-76.0

Çizelge 5.66. Rüzgarın mahyaya dik esmesi durumunda Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar basınçları, (N/m²)

Bölge	Rüzgar Basıncı	Rüzgar Basıncı
	c _{pi} = +0.2	c _{pi} = -0.3
F	-1423.9	-949.2
G	-1139.1	-664.5
H	-617.0	-142.4
I	-664.5	-189.9
J	-569.5	-94.9

Rüzgarın mahyaya paralel doğrultuda esmesi durumunda ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen basınç değerleri Çizelge 5.67, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen basınç değerleri ise Çizelge 5.68'de verilmiştir.

Çizelge 5.67. Rüzgarın çatı mahyasına paralel esmesi durumunda ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar basınçları, (N/m²)

Basınç Etki Yüzeyi	Yükseklik (m)	ASCE 7-16 Sonuçları	
		Net Basınç	
		(GC _{pi}) = +0.18	(GC _{pi}) = -0.18
Çatı	0 - h/2	-405.6	-251.1
	h/2 - h	-405.6	-251.1
	h - 2h	-259.7	-105.2
	> 2h	-186.7	-32.2

Çizelge 5.68. Rüzgarın çatı mahyasına paralel esmesi durumunda Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar basınçları, (N/m²)

Bölge	Rüzgar Basıncı	Rüzgar Basıncı
	c _{pi} = +0.2	c _{pi} = -0.3
F	-1566.2	-1091.6
G	-1423.9	-949.2
H	-806.9	-332.2
I	-711.9	-227.8

5.4. TS 498 Yönetmeliğine Göre Rüzgar Hesabı

TS 498 yönetmeliği; konut yapıları, endüstriyel sanayi yapıları, hastaneler ve spor salonları gibi yapılar için taşıyıcı sistemin yapısal elemanlarının boyutlarının belirlenmesinde kullanılacak yük değerlerinin hesaplarının içeren, Türk Standartları Enstitüsü'nce hazırlanmış olan yük yönetmeliğidir. TS 498 yönetmeliği dikkate alınarak rüzgar yüklerinin hesap aşamaları incelenmiştir.

5.4.1. Emme (Hız Basıncı)

ASCE 7-16 ve Eurocode 1-4 yönetmeliklerinde hız basınç değeri olarak tanımlanan basınç türü, TS 498 yönetmeliğinde emme basıncı şeklinde ifade edilmektedir. Emme basıncı değeri denklem 5.29 ile hesaplanmaktadır.

$$q_z = \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad (5.29)$$

Burada belirtilen ρ , havanın birim hacim ağırlığı değeri 1.25 kg/m^3 ve hız değeri de m/s olarak yazılırsa denklem 5.30 elde edilmektedir.

$$q_z = \frac{v^2}{1600} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (5.30)$$

TS-498 yönetmeliğinde verilen yüksekliklere göre emme kuvveti değerleri Çizelge 5.62'de gösterilmiştir. Rüzgarların, topoğrafik etkileri sebebiyle şiddetlerinin yükselebileceği dikkate alınarak, emme değerinin 1.1 kN/m^2 alınması bu yönetmelikte önerilmiştir.

Çizelge 5.62 : Emme değerleri (kN/m^2)

Zemin Seviyesinden Yükseklik (m)	Rüzgar Hız Değeri (m/s)	Emme Kuvveti, q (kN/m^2)
0-8	28	0.5
9-20	36	0.8
21-100	42	1.1
>100	46	1.3

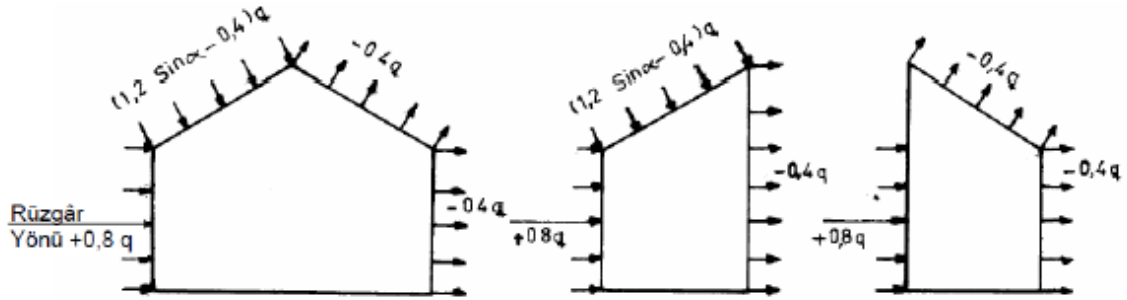
5.4.2. Rüzgar basıncı

Yapıların üst yüzeylerine etki eden rüzgar basınç değeri denklem 5.31 ile hesaplanmaktadır.

$$w = c_p \cdot q \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (5.31)$$

Burada belirtilen, q emme kuvveti, C_p emme katsayısı değeridir.

Rüzgarların oluşturduğu etkiler yapının plan görünümünde kare kesitli ve eğimli çatıya sahip olması durumu için Şekil 5.45'teki gibi etki etmektedir.

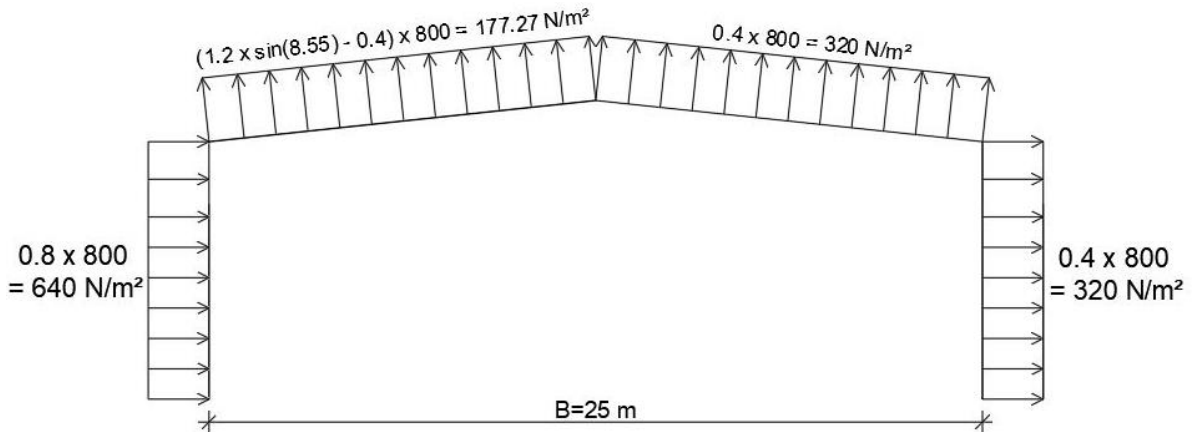


Şekil 5.45. Plan görünümü kare kesitli ve eğim yapıya sahip çatılara için rüzgar yüklerinin dağılımı

5.4.3. Yapı modeli - 1 için TS 498 yönetmeliğine göre çözümü

İlk endüstriyel çelik yapı modeli örneği için hesaplanan rüzgar yüklerinin dağılımı Şekil 5.45'te belirtilmiştir. Çatı eğim açısı 8.55° ve emme kuvveti değeri 800 N/m^2 olarak alınmış ve Şekil 5.46'da görülen yük dağılımları verilmiştir.

Şekil 5.46'da hesaplanan yük değerleri incelendiğinde Eurocode 1-4 ve ASCE 7-16 yönetmeliklerine göre çatı bölümünde hesap edilen maksimum yük değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca incelenen diğer yönetmeliklerde görüldüğü gibi rüzgar etkisinin hangi duvara dik şekilde etkidiği dikkate alınmayıp, sadece yapının tipine bağlı şekilde belirlenen tek bir katsayı yardımıyla rüzgar basınç değerleri elde edilmektedir.

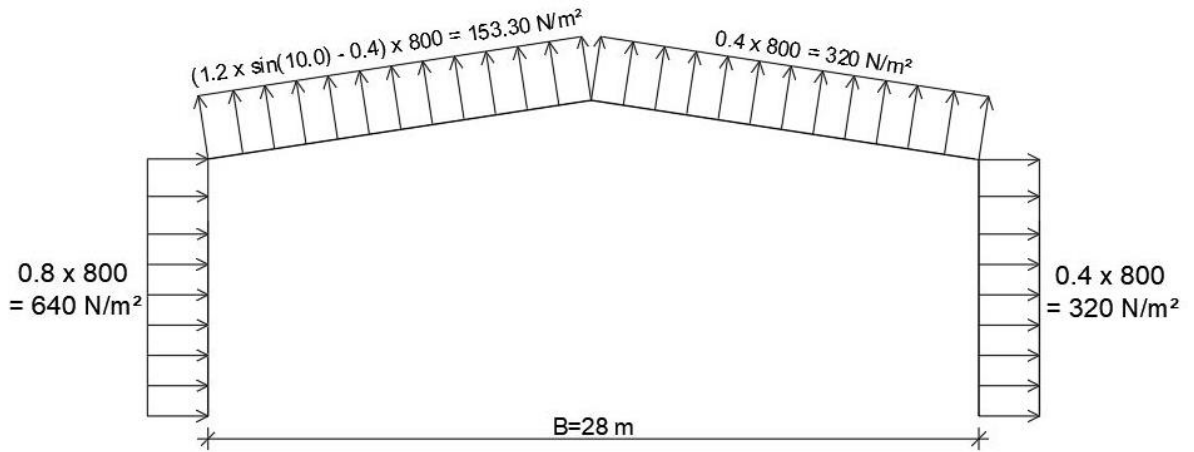


Şekil 5.46. Yapı modeli 1 için rüzgar yüklerinin dağılımı (N/m^2)

5.4.4. Yapı örneği-2 için TS 498 yönetmeliğine göre çözümü

İkinci yapı modeli örneğinde rüzgar yüklerinin dağılımı Şekil 5.45'te belirtilmiştir. Çatı eğim açısı 10.0° ve emme kuvveti değeri 800 N/m^2 olarak alınmış ve Şekil 5.47'de görülen yük dağılımları verilmiştir.

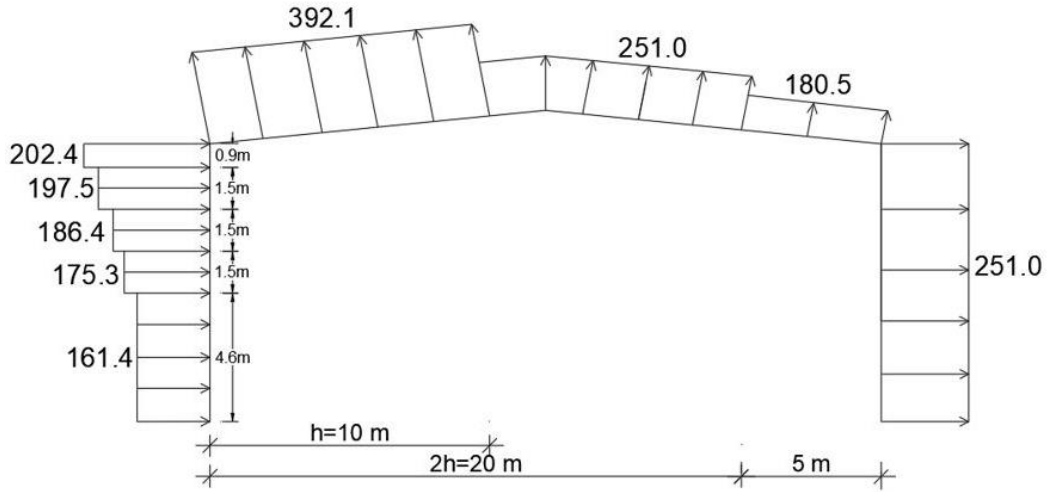
Şekil 5.47'de hesaplanan yük değerlerinin Eurocode 1-4 ve ASCE 7-16 yönetmeliklerine göre çatı bölümünde hesap edilen maksimum yük değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca incelenen diğer yönetmeliklerde görüldüğü gibi rüzgar etkisinin hangi duvara dik şekilde etki ettiği dikkate alınmayıp, sadece yapının tipine bağlı şekilde belirlenen tek bir katsayı yardımıyla rüzgar basınç değerleri elde edilmektedir.



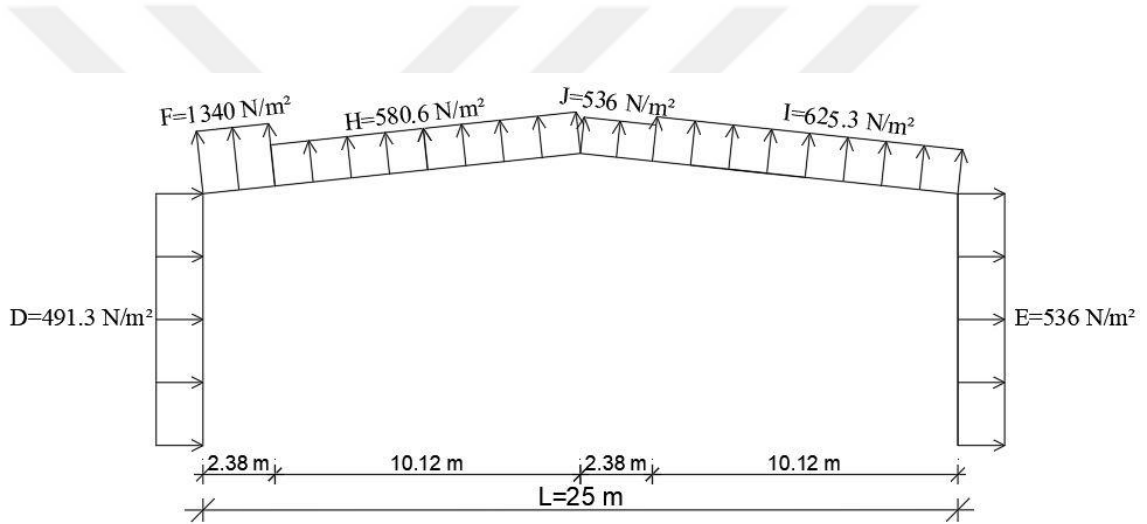
Şekil 5.47. Yapı modeli-2 için rüzgar yüklerinin dağılımı (N/m^2)

5.5. Üç Yönetmeliğe Göre Belirlenen Rüzgar Yükü Değerlerinin İki Boyutlu Sistem Üzerinde Karşılaştırılması

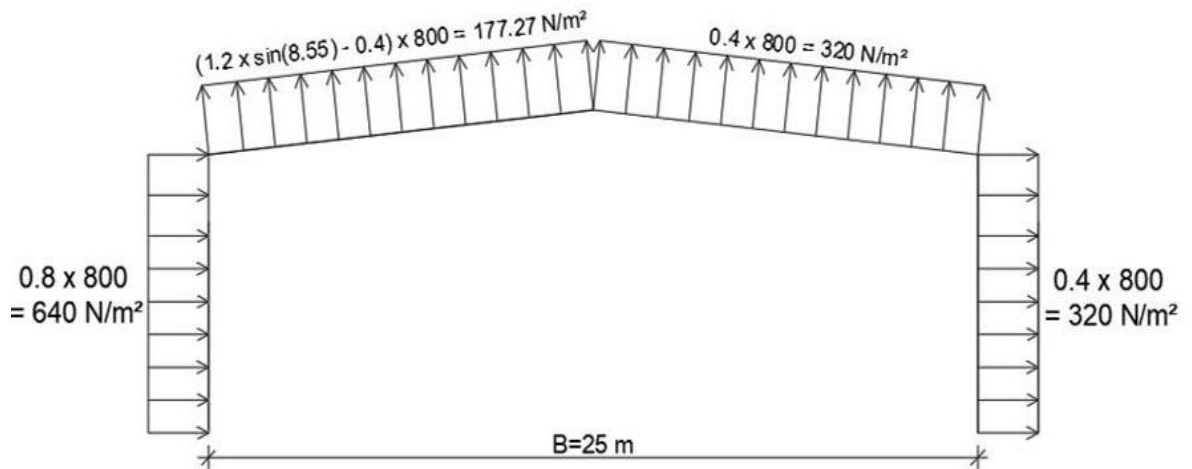
Benzer arazi kategorilerine göre belirlenen rüzgar yükü değerlerinin iki boyutlu sistem görselleri üzerinde karşılaştırılması (ASCE 7-16 arazi kategorisi C, Eurocode 1-4 arazi kategorisi III için) yapılmıştır. TS-498 yönetmeliğinde arazi koşullarıyla ilgili herhangi bir detay bulunmadığından, hesaplanan değerler direkt olarak yazılmıştır.



Şekil 5.48. Yapı modeli 1 için ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerinin dağılımı (N/m²)



Şekil 5.49. Yapı modeli 1 için Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerinin dağılımı (N/m²)



Şekil 5.50. Yapı modeli 1 için TS-498 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerinin dağılımı (N/m²)

Üç yönetmelik için hesaplanan rüzgar basınçları incelendiğinde rüzgarın iki boyutlu sisteme sol taraftan etki ettiği dikkate alınarak, ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar basınçlarının yükseklik seviyelerine bağlı artış göstererek ilerlediği görülmektedir. Eurocode 1-4 ve TS-498 yönetmeliklerine göre belirlenen rüzgar basınçlarının ise rüzgarın etki ettiği sol cephe boyunca tek değer olarak düzgün yayılı yük şeklindedir. Rüzgarın geldiği yön olan sol cephede hesaplanan rüzgar basınçları incelendiğinde, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen değerin (491.3 N/m^2), ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen en yüksek değerden (202.4 N/m^2) 2.43 kat daha fazla olduğu ve TS-498 yönetmeliğine göre belirlenen değerin (640 N/m^2) yaklaşık 0.77 katı olduğu görülmüştür.

Rüzgar yönünün arkasında kalan cephe için üç yönetmelik de tek değer şeklinde düzgün yayılı yük dağılımına sahiptir. Burada üç yönetmelik için rüzgar arkası cephede hesaplanan basınç değerleri kıyaslandığında, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen değer (536 N/m^2), ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen değerin (251 N/m^2) 2.13 katı ve TS-498 yönetmeliğine göre belirlenen değerin (320 N/m^2) yaklaşık 1.67 katı daha yüksek olduğu görülmüştür.

İki boyutlu sistem için cephe bölgelerinde, Eurocode 1-4 yönetmeliği ile ASCE 7-16 yönetmeliği için hesaplanan değerler arasında benzer oranlar hesaplanmıştır.

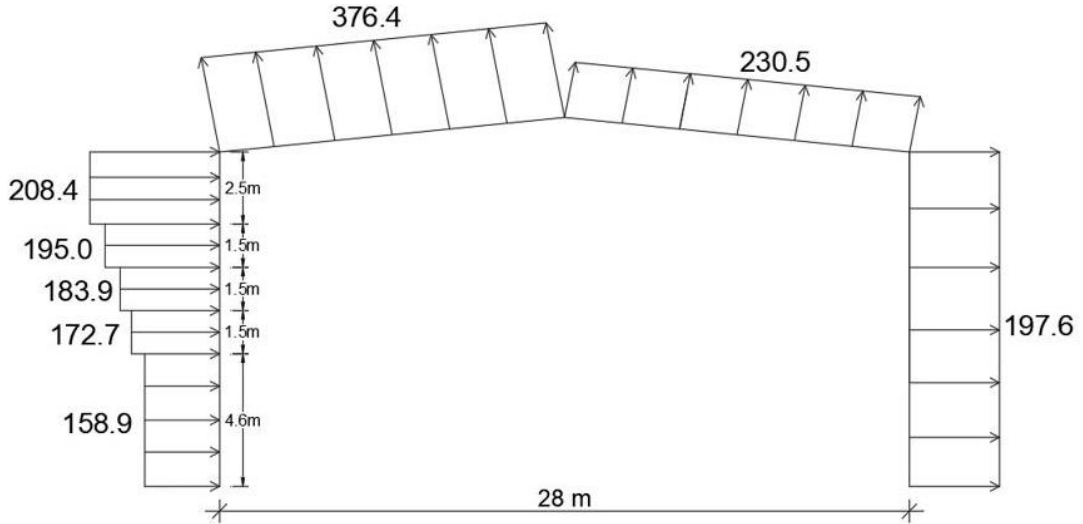
Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre çatı bölümü için dört bölge ve dört farklı basınç değeri hesaplanmaktadır. Bu bölgelerin mesafeleri belirlenirken yönetmelikte belirtildiği üzere yapı boyutlarına bağlı olarak mesafe hesaplamaları yapılmaktadır. Yine bu bölgelerde hesaplanan rüzgar basınç değerleri de yönetmelik içerisinde verilen basınç katsayısı değerlerine göre hesaplanmaktadır. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre çatı bölümü için yük bölgeleri belirlenirken sadece dikkate alınan açıklık mesafesi oranları dikkate alınmaktadır. TS-498 yönetmeliği ise çatı bölümü için her iki eğim yönünde birer basınç değeri hesaplamaktadır. Hesaplanan değerlerden biri çatı eğimine bağlı olarak diğeri de verilen sabit katsayı ile hesaplanmaktadır.

Burada üç yönetmelik için hesaplanan çatı bölümündeki rüzgar basınç değerleri incelendiğinde, Eurocode 1-4 ve ASCE 7-16 yönetmelikleri için belirlenen değerlerin rüzgarın geldiği yön olan sol tarafta daha yüksek şekilde ilerleyip azalarak devam ettiği fakat TS-498 yönetmeliği için belirlenmiş olan değerin artarak ilerlediği görülmektedir. TS-498 yönetmeliğinde bu değer rüzgarın geldiği yöne bakan çatı yüzeyinin sadece

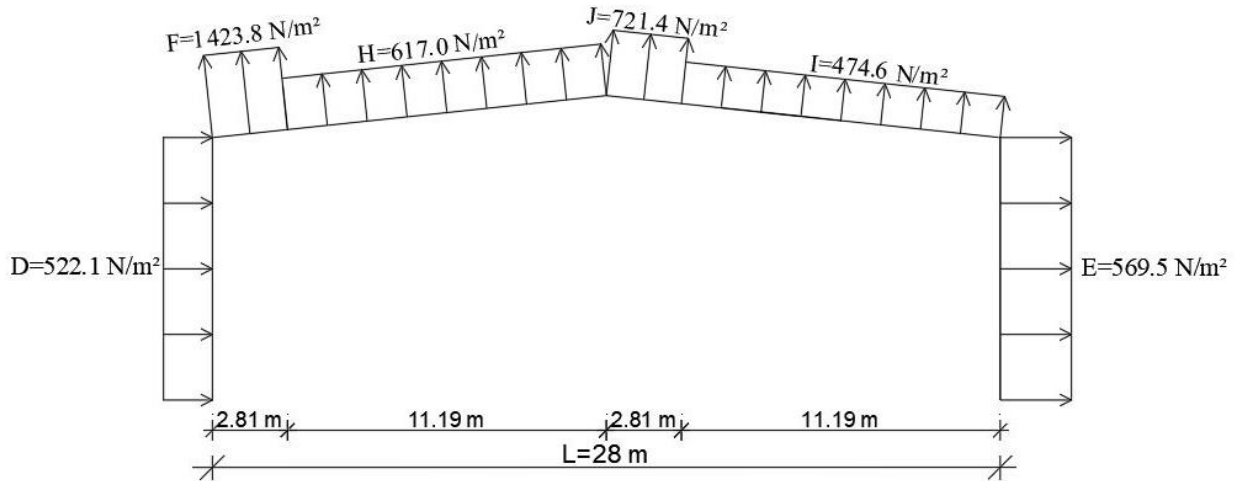
eğim açısına bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Eurocode 1-4'e göre çatı bölümünün uç kısımlarında yer alan F ve I bölgelerindeki rüzgar basınç değerleri, ASCE 7-16'ya göre hesaplanan değerlerin 3 katından daha fazla bir değere sahipken çatı mahyasına doğru ilerledikçe bu oranın 2 kat kadar fazla olduğu görülmektedir.

Buna göre Eurocode 1-4 yönetmeliğinde, çatı uç bölgeleri için daha yüksek değerde rüzgar basınçları hesaplanırken mahyaya doğru gidildikçe daha düşük değerler görülmektedir. ASCE 7-16 yönetmeliğinde ise rüzgarın etki ettiği yönde daha yüksek basınç değeri hesaplanırken, arka cepheye doğru gidildikçe basınç değerlerinde düşüş göstermektedir.

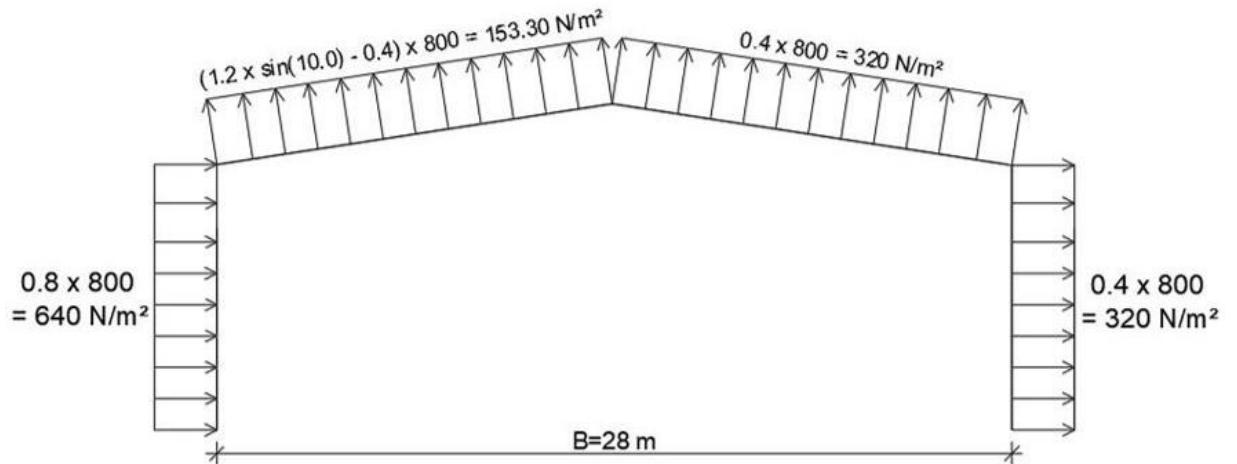




Şekil 5.51. Yapı modeli 2 için ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerinin dağılımı (N/m^2)



Şekil 5.52. Yapı modeli 2 için Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerinin dağılımı (N/m^2)



Şekil 5.53. Yapı modeli 2 için TS-498 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerinin dağılımı (N/m^2)

İkinci yapı modeli için rüzgarın geldiği yön olan sol cephede hesaplanan rüzgar basınçları incelendiğinde, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen değer (522.1 N/m²), ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen en yüksek değerden (208.4 N/m²) 2.5 kat daha fazla olduğu ve TS-498 yönetmeliğine göre belirlenen değer (640 N/m²) 0.82 katı olduğu görülmüştür.

Rüzgar yönünün arkasında kalan cephe için üç yönetmelik de tek değer şeklinde düzgün yayılı yük akışına sahiptir. Burada üç yönetmelik için rüzgar arkası cephede hesaplanan basınç değerleri kıyaslandığında, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen değer (569.5 N/m²), ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen değer (197.6 N/m²) 2.88 katı ve TS-498 yönetmeliğine göre belirlenen değer (320 N/m²) 1.78 katı daha yüksek olduğu görülmüştür.

İki boyutlu sistem için cephe bölgelerinde, Eurocode 1-4 yönetmeliği ile ASCE 7-16 yönetmeliği için hesaplanan değerler arasında benzer oranlar hesaplanmıştır.

Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre çatı bölümü için dört bölge ve dört farklı basınç değeri hesaplanmaktadır. Bu bölgelerin mesafeleri belirlenirken yönetmelikte belirtildiği üzere yapı boyutlarına bağlı olarak mesafe hesaplamaları yapılmaktadır. Yine bu bölgelerde hesaplanan rüzgar basınç değerleri de yönetmelik içerisinde verilen basınç katsayısı değerlerine göre hesaplanmaktadır. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre çatı bölümü için yük bölgeleri belirlenirken birinci yapı modelinden farklı olarak çatı eğim açısının $\alpha \geq 10^\circ$ olmasından dolayı çatı yüzeyi her iki eğim yönünde de tek değer almaktadır. TS-498 yönetmeliğinde birinci yapı modelinde olduğu gibi çatı bölümü için her iki eğim yönünde birer basınç değeri hesaplanmaktadır.

6. ÇELİK ENDÜSTRİ YAPI MODELİ ÖRNEKLERİNİN SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ

Rüzgar yükü hesabı yapılan çelik endüstri yapısı örneklerinin üç boyutlu modelleri SAP2000 programı yardımıyla oluşturularak analiz edilmiştir. Çelik yapı sınıfı olarak S235 seçilmiş, farklı boyutlara sahip olan tek katlı yapı modellerinde, farklı merkezi çelik çaprazlı çerçeveler kullanılarak kesit kapasite kullanım oranları belirlenerek elde edilen sonuçlar incelenmiştir. İncelenen iki adet yapı modeline ait özellikler Şekil 6.1a ve Şekil 6.1b’de görülmektedir.

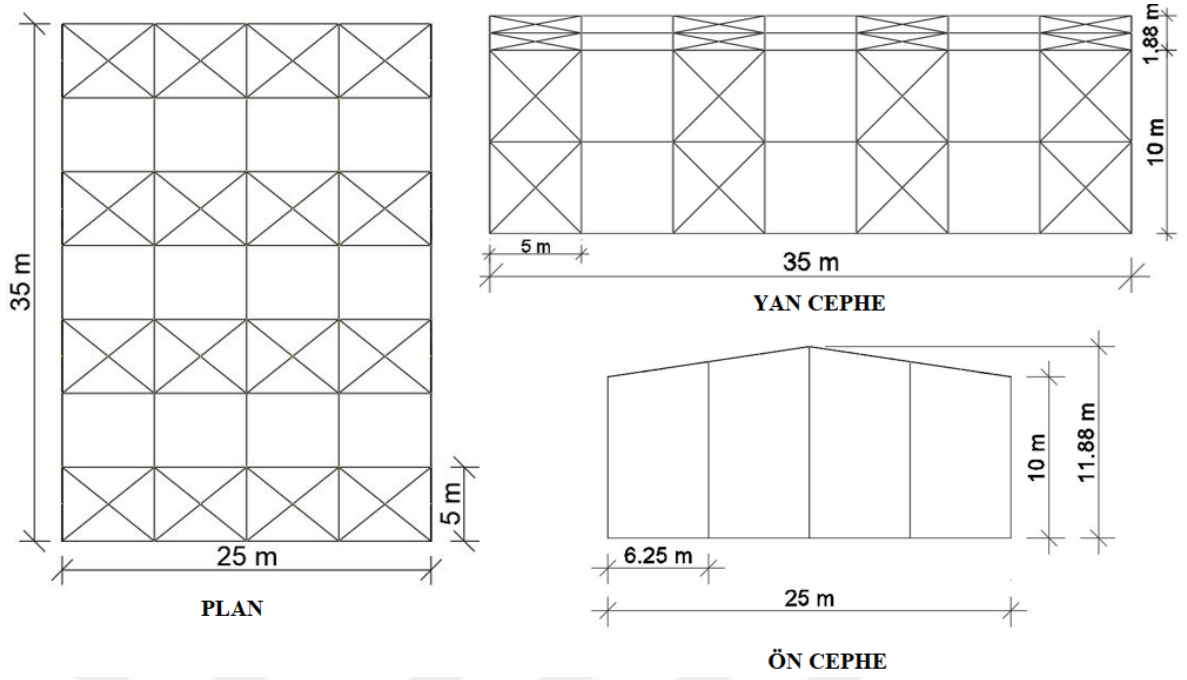
Çelik endüstri yapı modellerinde çatı ve cephe yüzeylerine etki eden rüzgar yükleri üç boyutlu model üzerinde, cepheye gelen rüzgar yükleri kolonlara ve çatı bölümüne etki eden rüzgar yükleri kiriş (makas) elemanlarına çizgisel yükler şeklinde tanımlanmıştır. Yapı (x) eksenini doğrultusunda merkezi çaprazlı çelik çerçeveler (Diyagonal çapraz, X çapraz ve ters V çapraz) kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Kolon ayakları ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır.

SAP2000 programında yapı modellerinin analizleri için ÇYTHYE (2018) yönetmeliğindeki Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi ile uyumlu olan AISC 360-16 yönetmeliğindeki LRFD yöntemi seçilerek tasarım gerçekleştirilmiştir.

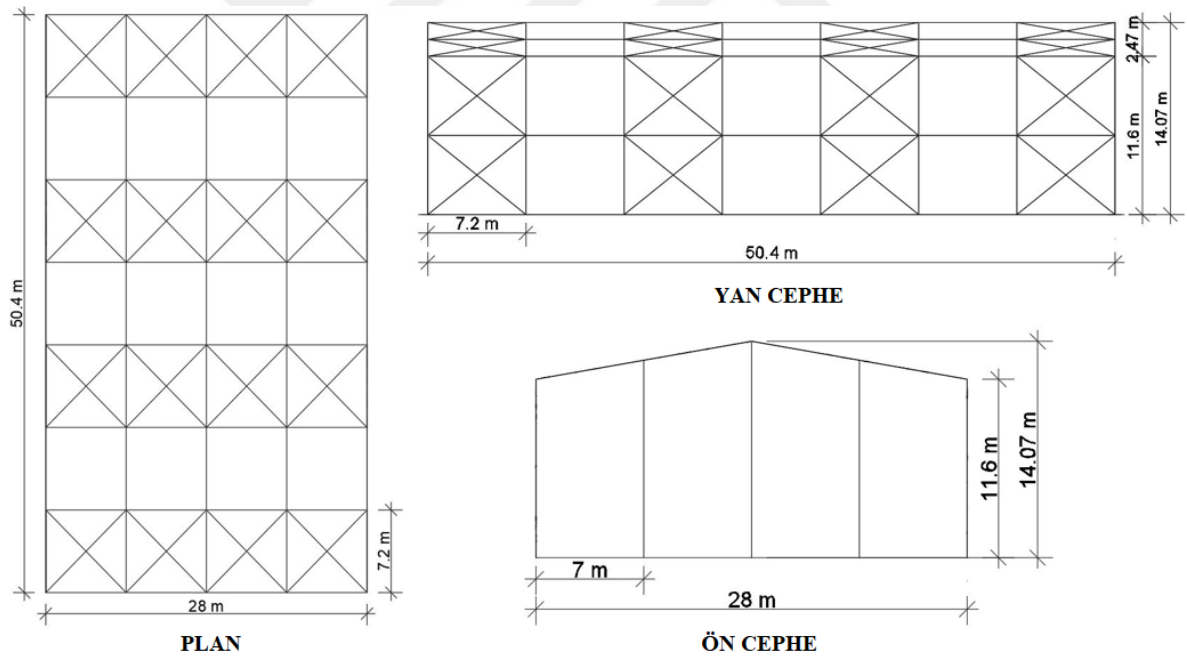
Tek katlı yapı örneklerinin 3 boyutlu modellemesinde tüm çubuk elemanlar kolon, kiriş, rüzgar kolonu, dikme ve çapraz elemanlar şeklinde gruplandırılmıştır. Tasarım aşamasında her bir yapı modeli için dikkate alınan rüzgar yükü yönetmeliğine göre belirlenen kesitler kullanılarak farklı merkezi çaprazlı çelik çerçevelere sahip yapılarda mevcut yapı elemanlarının kesit kapasite kullanım oranları karşılaştırılmıştır.

Yapı modellerinin analizinde uygulanan tasarım yaklaşımı için öngörülen ve ayrıntıları ÇYTHYE (2018) yönetmeliği bölüm 5.3’te belirtilen yük birleşimleri kullanılmıştır.

Burada sadece sabit yükler (G) ve rüzgar yükleri (W) bulunan yük birleşimleri dikkate alınarak farklı yönetmeliklere göre belirlenen rüzgar yükü etkilerinin seçilen kesitler üzerinde oluşturduğu kapasite kullanım oranları karşılaştırılmıştır. Göz önüne alınan yük birleşimleri; $1.4G$, $0.9G + 1.6W$, $1.0G + 1.0W$ ’dir.



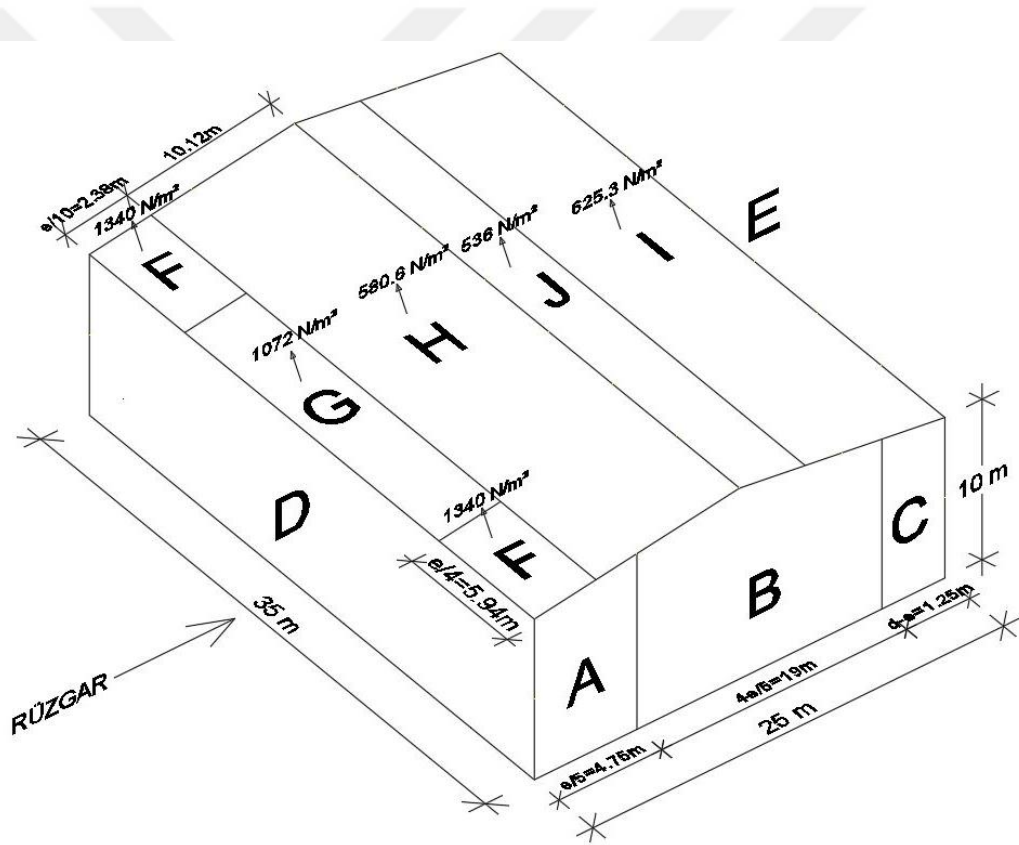
a. Yapı modeli 1



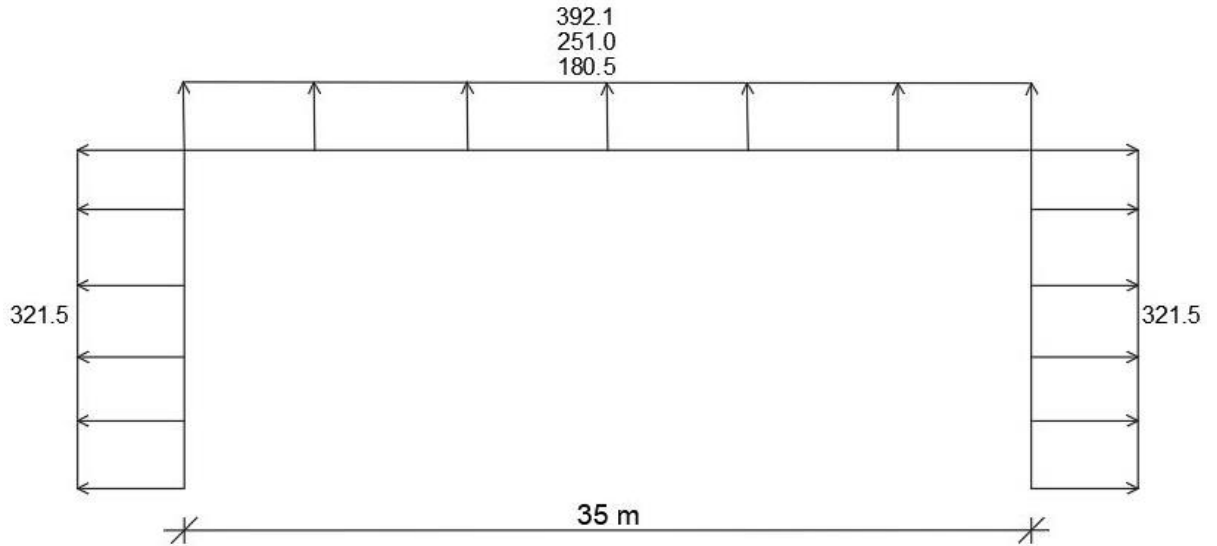
b. Yapı modeli 2

Şekil 6.1. İncelenen örnek yapı modellerinin boyutları

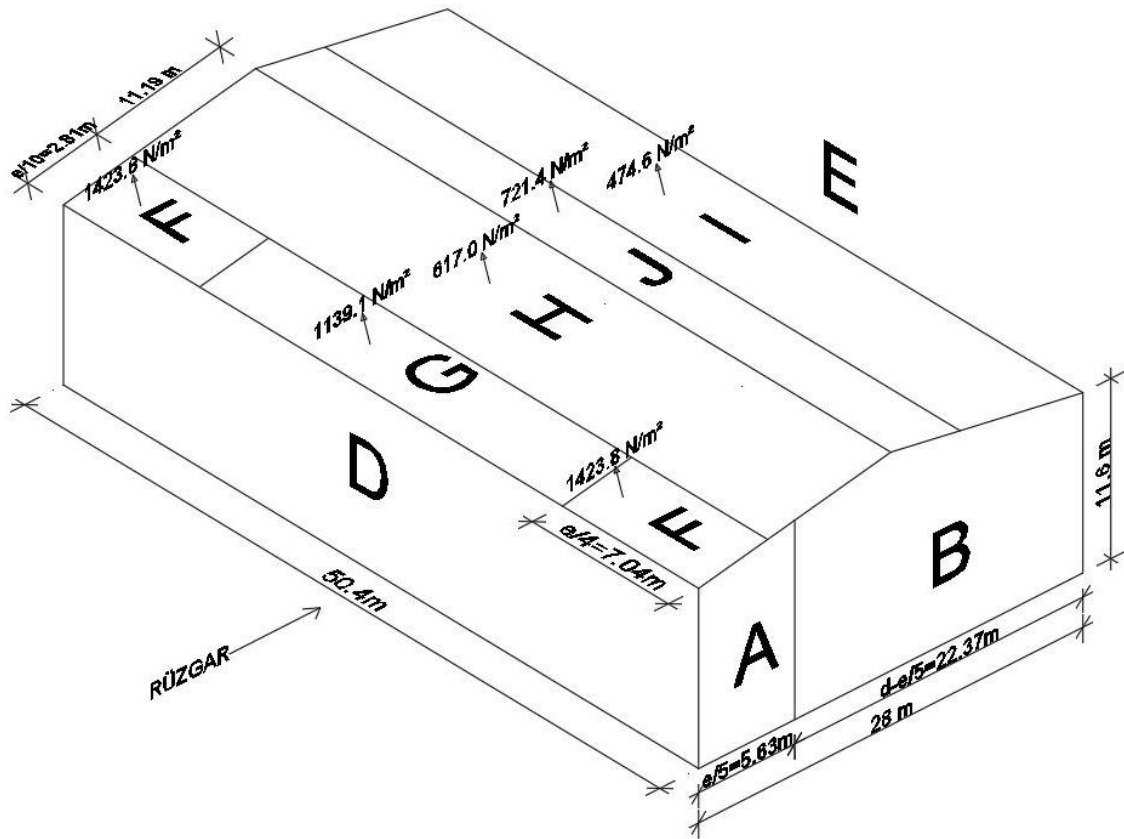
ASCE 7-16 ve Eurocode 1-4 yönetmeliklerinde belirtilmiş olan arazi kategorisi tanımları incelendiğinde, ASCE 7-16 yönetmeliğinde belirtilen C kategorisi ile Eurocode 1-4 yönetmeliğinde belirtilen arazi kategorisi III, benzer tanımlar içerdiğinden dolayı yapı tasarım aşamasında bu kategorilere göre hesaplanan değerler, rüzgarın yapıya etki yönü bakımından (mahyaya dik $\theta=0^\circ$ ve mahyaya paralel $\theta=90^\circ$) karşılaştırılmıştır. İlk olarak birinci yapı modeli için rüzgarın mahyaya dik etki etmesi ($\theta=0^\circ$) durumuna göre hesaplanmış olan rüzgar basınç değerleri Şekil 6.2a, Şekil 6.2b, Şekil 6.3a ve Şekil 6.3b'de, ikinci yapı modeli için rüzgarın mahyaya dik etki etmesi ($\theta=0^\circ$) durumuna göre hesaplanmış olan rüzgar basınç değerleri ise Şekil 6.4a, Şekil 6.4b, Şekil 6.5a ve Şekil 6.5b'de gösterilmiştir.



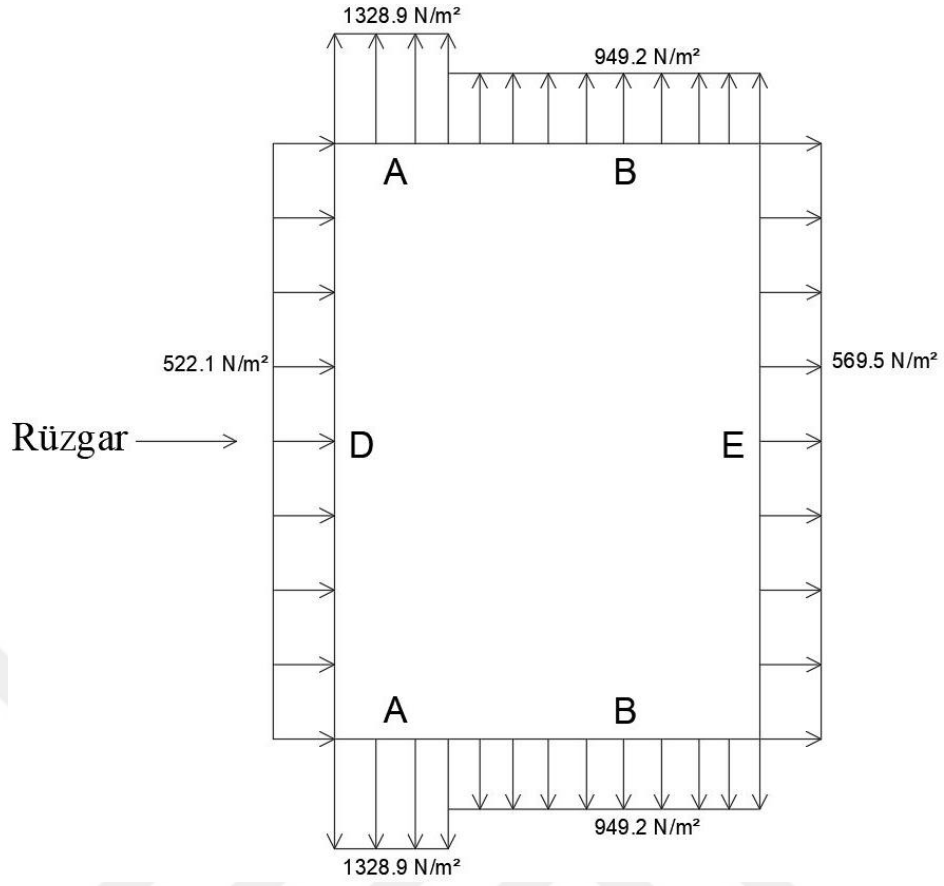
Şekil 6.2a. 1.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre çatı bölgelerindeki rüzgar basınçları



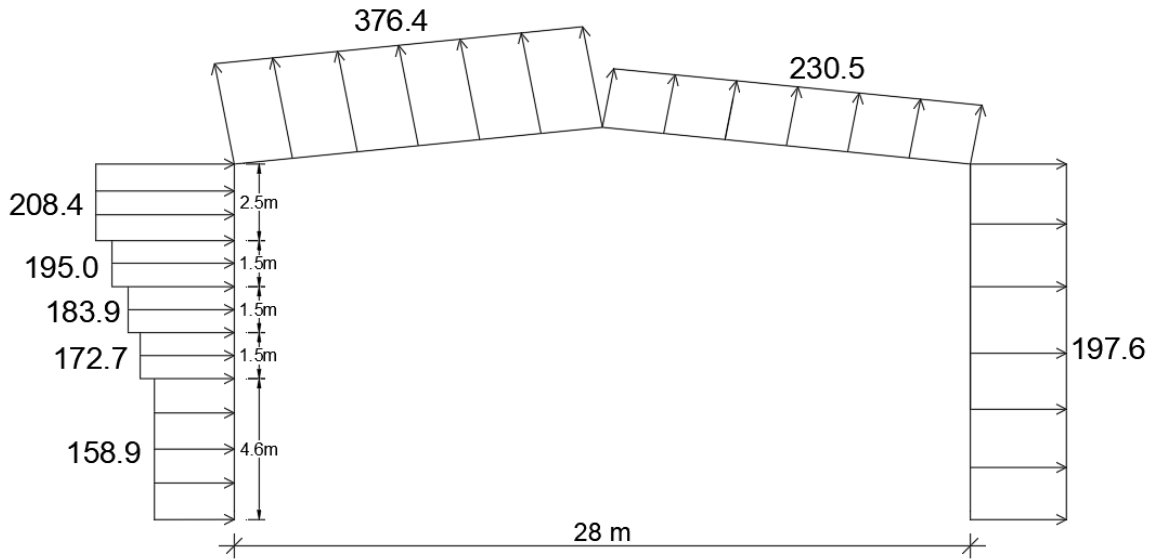
Şekil 6.3b. 1.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgara dik cephe duvarları ve çatı bölgesinde oluşan rüzgar basınçları



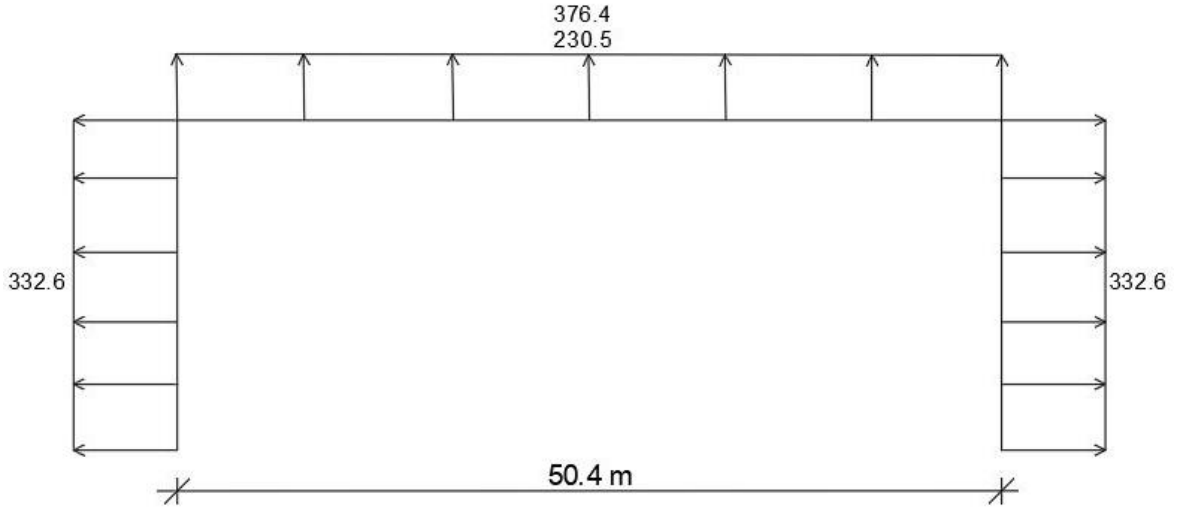
Şekil 6.4a. 2.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre çatı bölgelerindeki rüzgar basınçları



Şekil 6.4b. 2.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre cephe bölgelerindeki rüzgar basınçları

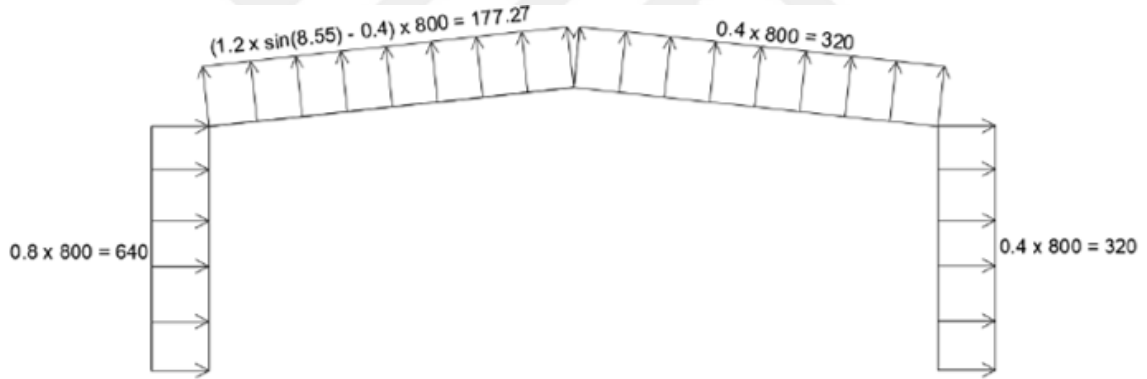


Şekil 6.5a. 2.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatı bölgesinde oluşan rüzgar basınçları

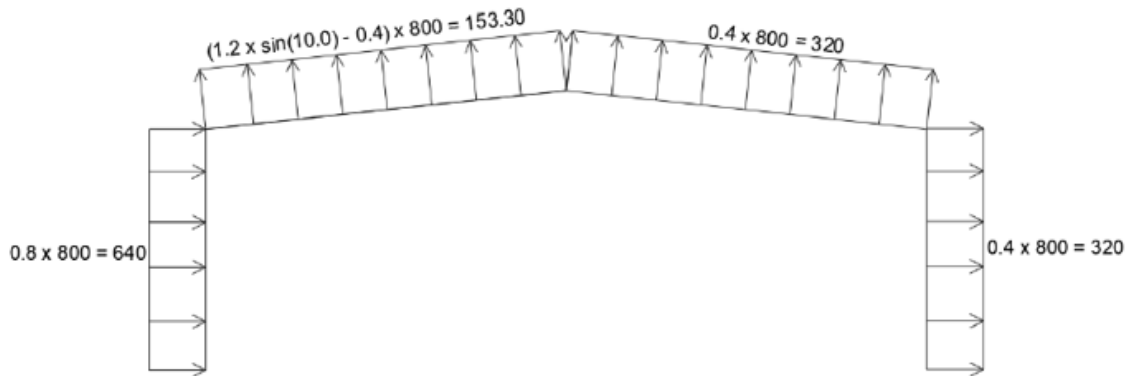


Şekil 6.5b. 2. yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgara dik cephe duvarları ve çatı bölgesinde oluşan rüzgar basınçları

Şekil 6.6'da TS-498 yönetmeliğine göre her iki yapı modeli için belirlenen rüzgar basınçları görülmektedir.



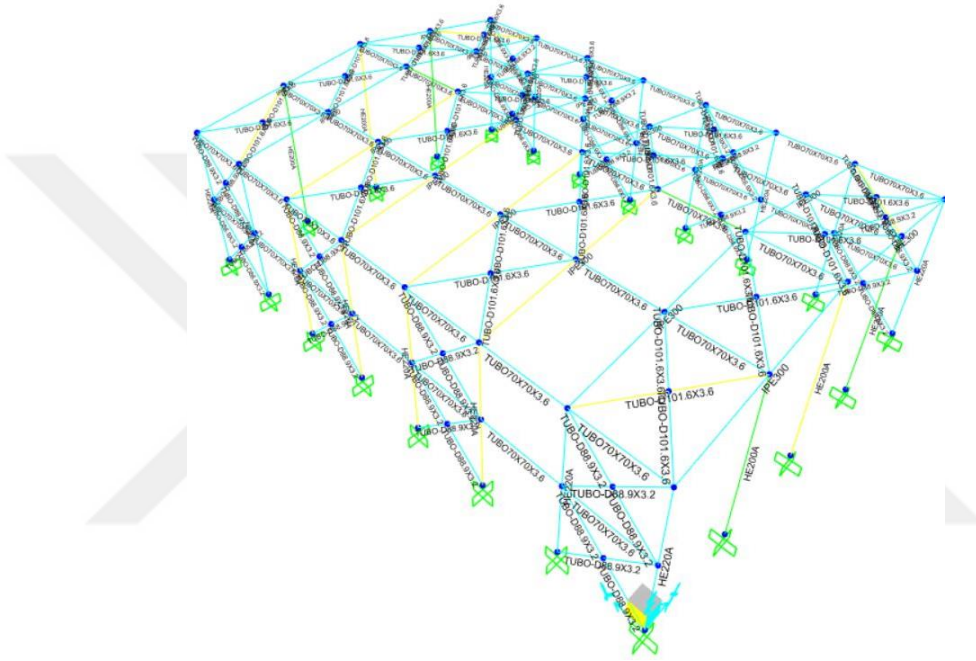
1. yapı modeli



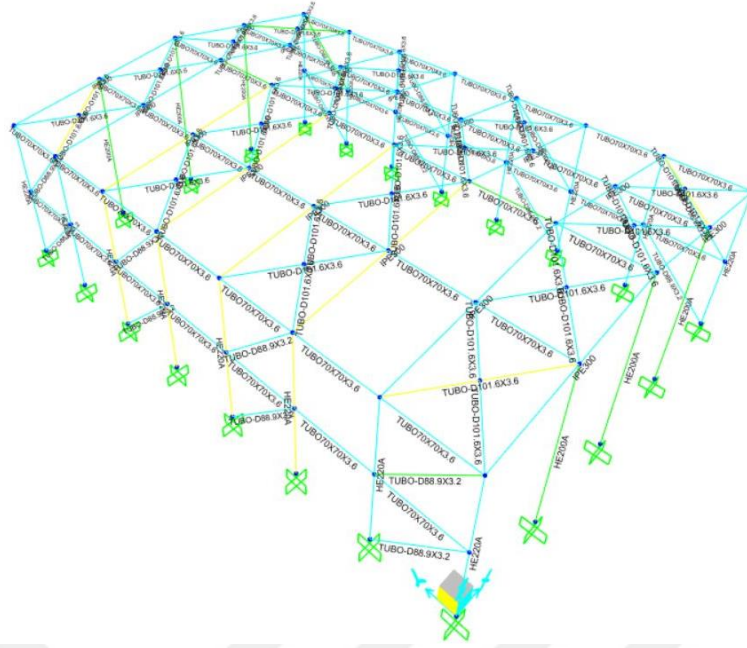
2. yapı modeli

Şekil 6.6. İncelenen yapı modelleri için TS-498 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar basınçları

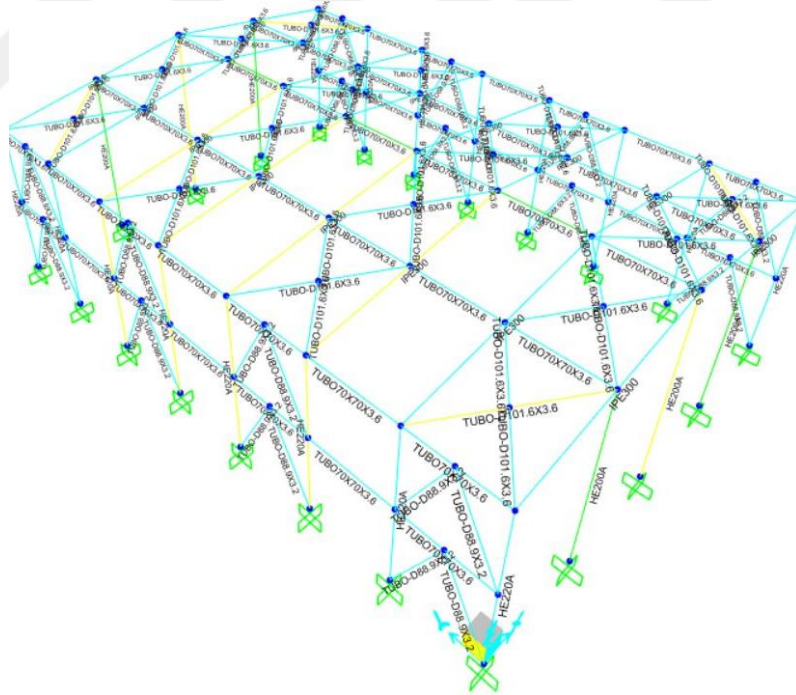
Şekil 6.2 – Şekil 6.6 arasında belirtilen rüzgar yükleri SAP2000 programında tasarlanan farklı çelik çapraz tiplerine sahip yapı modellerine etki ettirilerek gerçekleştirilen yapı analizleri sonucunda kullanılan kesitlerin kapasite kullanım oranları aşağıda verilen çizelgeler ve şekiller üzerinde gösterilmiştir. Şekil 6.7, 6.8 ve 6.9 ile Çizelge 6.1’de 1. yapı modeli için ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal çaprazlı ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.7. X çaprazlı 1.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.8. Diyagonal çaprazlı 1.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.9. Ters V çaprazlı 1.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.1. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre 1. yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

1. Yapı Modeli	ASCE 7-16				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA220	0.9G + 1.6W _x	0.842	0.889	0.845
Kiriş	IPE300	0.9G + 1.6W _x	0.836	0.821	0.826
Rüzgar Kolonu	HEA200	0.9G + 1.6W _x	0.717	0.697	0.717
Dikme	70x70x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.551	0.541	0.559
Çatı Çapraz	D101.6x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.769	0.747	0.763
Cephe Çapraz	D88.9x3.2	0.9G + 1.6W _x	0.433	0.585	0.333

Burada kapasite kullanım oranları belirlenen kesitler incelendiğinde kolonlar için en düşük kapasite oranının X çaprazlı sistemde olduğu görülmektedir. Diğer iki çapraz türünün kullanıldığı durumlarda da çok ciddi bir farklılık görülmemektedir.

Kiriş elemanlarında da yine birbirlerine yakın kapasite oranlarının elde edildiği görülmüştür. En düşük kapasite oranının elde edildiği çapraz tipinin diyagonal çaprazlı model olduğu görülmektedir.

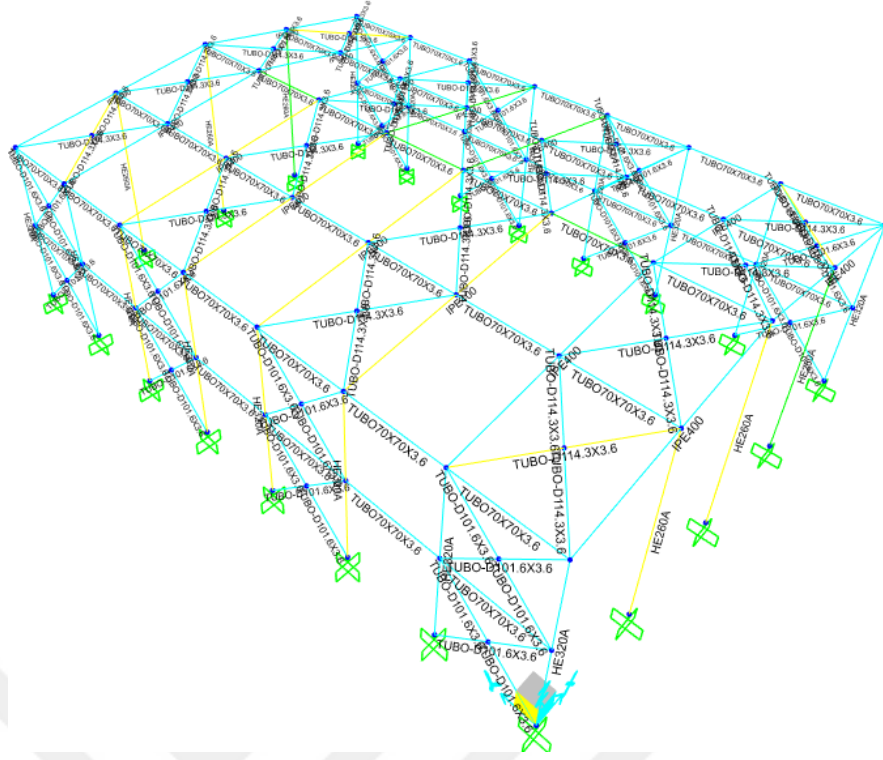
Rüzgar kolonları için üç çapraz tipi kullanımında da yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bunun nedenlerinden birisi de rüzgar kolonlarının bulunduğu yönde, çapraz elemanlarının kullanılmamış olmasından kaynaklanmaktadır.

Dikme elemanlarında kullanılan kutu profil kesiti için diyagonal çaprazlı durumda en düşük kapasite oranının elde edildiği gözlenmektedir.

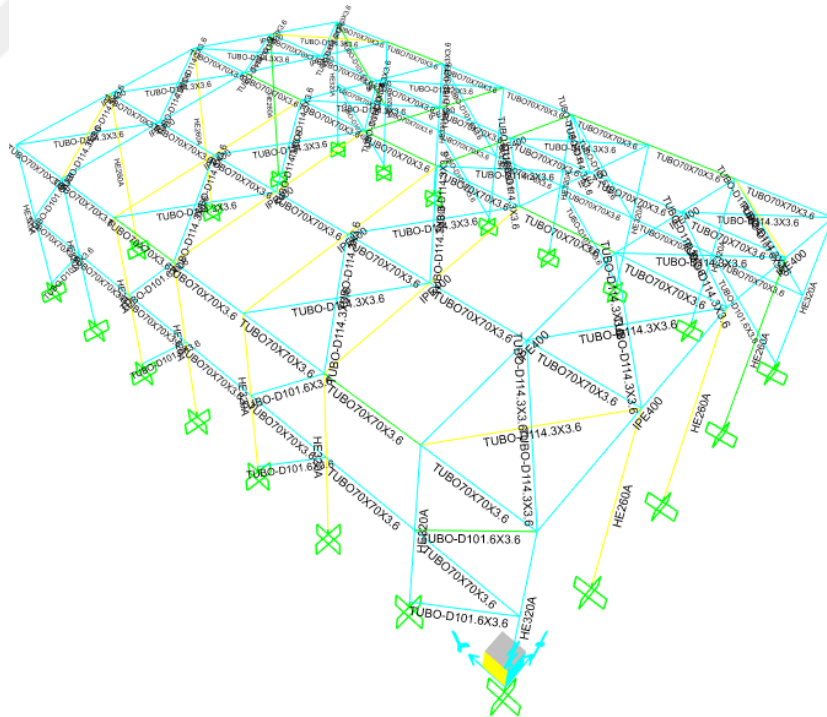
Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanları için X çapraz ve ters V çaprazının kullanıldığı durumlar için hesaplanan kapasite oranlarının, diyagonal çapraz elemanlı yapı modeline göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları daha büyük farklılıklar göstermektedir. Buna göre üç farklı çapraz tipine sahip yapı modelleri içinden, en düşük kapasite oranının ters V çaprazlı durumda elde edildiği ve en yüksek kapasite oranının diyagonal çaprazlı yapı modelinde belirlendiği görülmektedir.

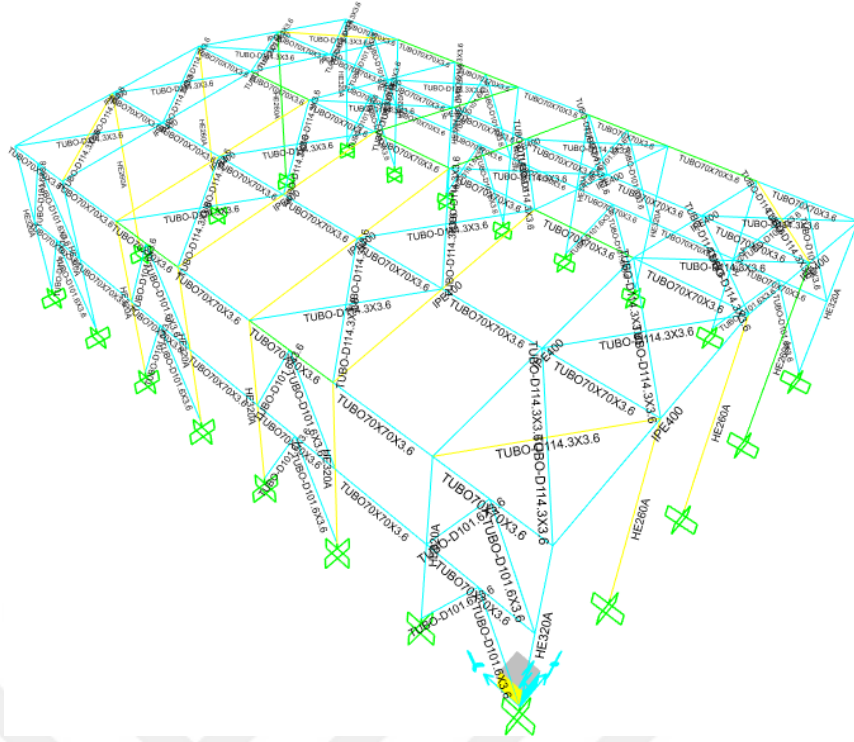
Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12 ile Çizelge 6.2’de 1. yapı modeli için Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.10. X çaprazlı 1.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.11. Diyagonal çaprazlı 1.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.12. Ters V çaprazlı 1.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.2. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre 1.yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

1. Yapı Modeli	EUROCODE 1-4				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA320	0.9G + 1.6W _x	0.770	0.776	0.771
Kiriş	IPE400	0.9G + 1.6W _x	0.802	0.801	0.801
Rüzgar Kolonu	HEA260	0.9G + 1.6W _x	0.741	0.741	0.741
Dikme	70x70x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.632	0.636	0.635
Çatı Çapraz	D114.3x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.851	0.865	0.838
Cephe Çapraz	D101.6x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.429	0.613	0.376

Çizelge 6.2’de kapasite kullanım oranları belirtilen kesitler incelendiğinde kolonlar için en düşük kapasite oranının X çaprazlı sistemde olduğu görülmektedir. Diğer iki çapraz türünün kullanıldığı durumlarda da çok ciddi bir farklılık görülmemektedir.

Kiriş elemanlarında da yine birbirlerine yakın kapasite oranlarının elde edildiği görülmektedir. En düşük kapasite oranının elde edildiği çapraz tipi diyagonal çaprazlı model olarak belirlenmiştir.

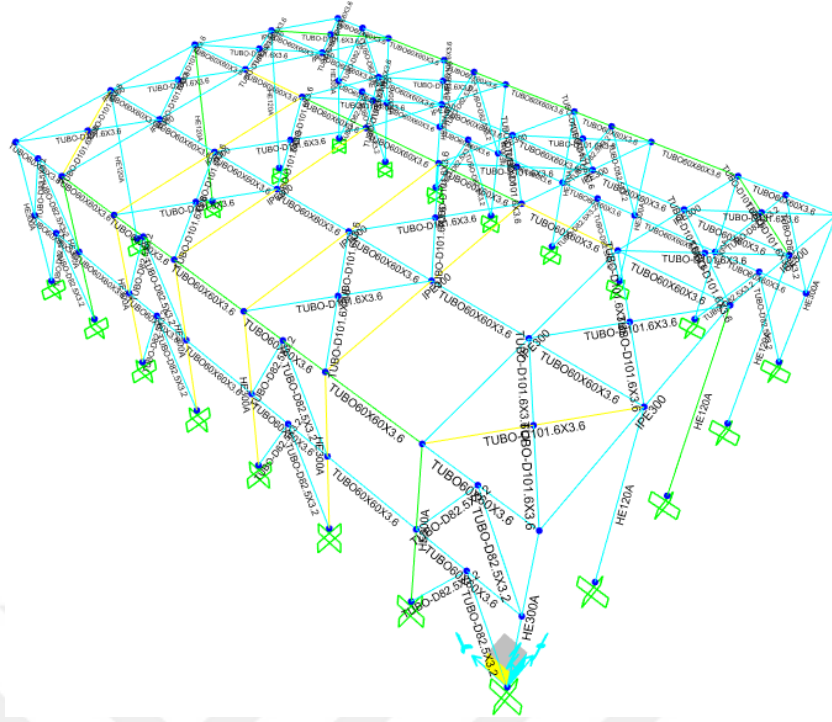
Rüzgar kolonları için üç çapraz tipinin kullanımında birebir aynı kapasite oranlarını elde edilmiştir. Bunun sebeplerinden biri de rüzgar kolonlarının bulunduğu yönde, çapraz elemanlarının kullanılmamış olmasından kaynaklanmaktadır (X yönü).

Dikme elemanlarında kullanılan kutu profil kesiti için X çaprazlı yapı modelinde en düşük kapasite oranı gözlenmektedir.

Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanları için ters V çaprazının kullanıldığı durumda en düşük kapasite oranı elde edilirken, diyagonal çapraz elemanlı yapı modelinde ise en yüksek değerin bulunduğu görülmektedir.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları daha büyük farklılıklar göstermektedir. Buna göre üç farklı çapraz tipine sahip yapı modelleri içinden, en düşük kapasite oranının ters V çaprazlı durumda elde edildiği ve en yüksek kapasite oranının diyagonal çaprazlı yapı modelinde belirlendiği görülmektedir.

Şekil 6.13, 6.14 ve 6.15 ile Çizelge 6.3'te 1. yapı modeli için TS 498 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.15. Ters V çaprazlı 1. yapı modelinde TS - 498 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.3. TS-498 yönetmeliğine göre 1. yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

1. Yapı Modeli	TS-498				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA300	$0.9G + 1.6W_x$	0.789	0.791	0.790
Kiriş	IPE300	$0.9G + 1.6W_x$	0.732	0.731	0.731
Rüzgar Kolonu	HEA120	$0.9G + 1.6W_x$	0.607	0.603	0.604
Dikme	60x60x3.6	$0.9G + 1.6W_x$	0.743	0.757	0.756
Çatı Çapraz	D101.6x3.6	$0.9G + 1.6W_x$	0.806	0.820	0.800
Cephe Çapraz	D82.5x3.2	$0.9G + 1.6W_x$	0.559	0.636	0.340

Çizelge 6.3'te TS-498 yönetmeliğine göre üç farklı çapraz tipi kullanılan yapı modelleri için, yapı elemanlarından kolonlar, kirişler ve rüzgar kolonları için kapasite kullanım oranlarında ciddi bir farklılık görülmemektedir.

Dikme elemanları için X çapraz tipi kullanılan yapı modelinde en düşük kapasite oranını hesaplanmıştır.

Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanları için ters V çaprazının kullanıldığı durumda en düşük kapasite oranı elde edilirken, X çaprazının kullanıldığı durumda da

yakın bir değer elde edilmiştir. Diyagonal apraz elemanlı yapı modelinde ise en yüksek kapasite oranının bulunduğu görülmektedir.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları daha büyük farklılıklar göstermektedir. Buna göre üç farklı çapraz tipine sahip yapı modellerinden, ters V aprazlı durumda hesaplanan kapasite oranının diğer iki çapraz tipine göre çok daha düşük olduğu gözlenmiştir.

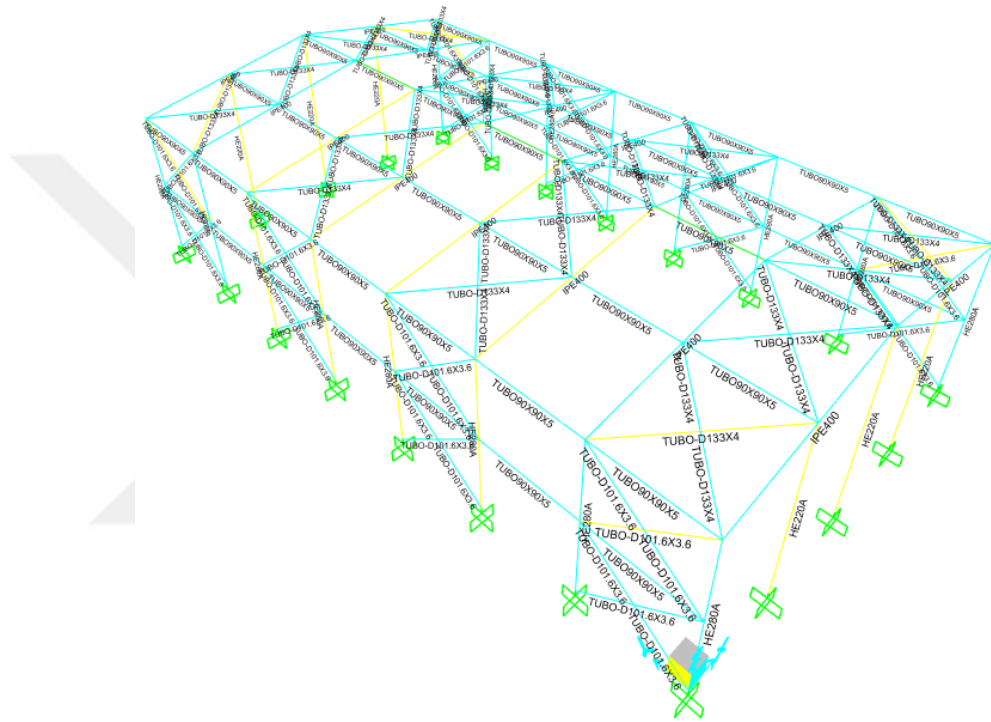
Çizelge 6.4'te 1. yapı modeli için taşıyıcı sistem elemanlarında aynı kesit kullanılması durumunda farklı yönetmeliklere göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analizden elde edilen kapasite kullanım oranları verilmiştir.



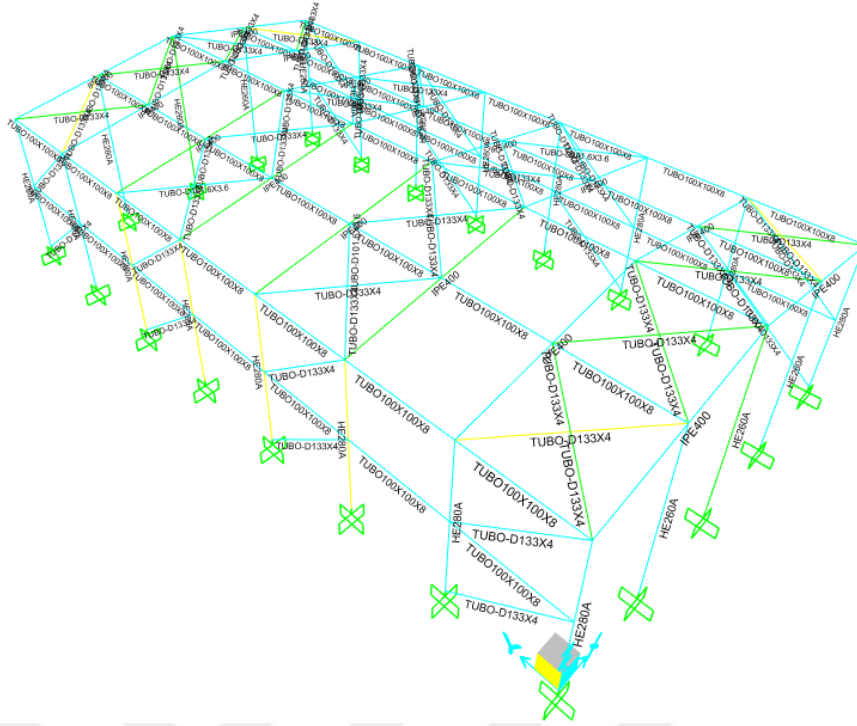
Çizelge 6.4. Rüzgarın mahyaya dik olarak etki etmesi ($\theta=0^\circ$) durumunda, Yapı modeli - 1 için üç farklı çapraz türüne göre belirlenen kesit kapasite kullanım oranları

1. Yapı Modeli	EUROCODE 1-4					ASCE 7-16					TS-498				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA320	0.9G + 1.6W _x	0.770	0.776	0.771	HEA220	0.9G + 1.6W _x	0.842	0.889	0.845	HEA300	0.9G + 1.6W _x	0.789	0.791	0.790
Kiriş	IPE400	0.9G + 1.6W _x	0.802	0.801	0.801	IPE300	0.9G + 1.6W _x	0.836	0.821	0.826	IPE300	0.9G + 1.6W _x	0.732	0.731	0.731
Rüzgar Kolonu	HEA260	0.9G + 1.6W _x	0.741	0.741	0.741	HEA200	0.9G + 1.6W _x	0.717	0.697	0.717	HEA120	0.9G + 1.6W _x	0.607	0.603	0.604
Dikme	70x70x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.632	0.636	0.635	70x70x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.551	0.541	0.559	60x60x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.743	0.757	0.756
Çatı Çapraz	D114.3x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.851	0.865	0.838	D101.6x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.769	0.747	0.763	D101.6x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.806	0.820	0.800
Cephe Çapraz	D101.6x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.429	0.613	0.376	D88.9x3.2	0.9G + 1.6W _x	0.433	0.585	0.333	D82.5x3.2	0.9G + 1.6W _x	0.559	0.636	0.340

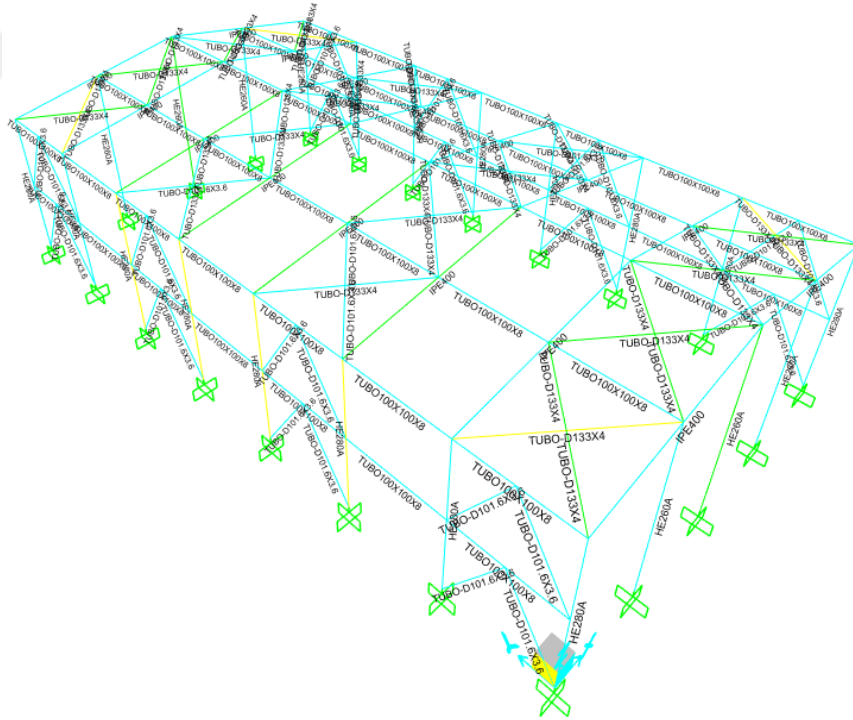
Yapı modeli 2 için rüzgar yükleri SAP2000 programında tasarlanan farklı çelik çapraz tiplerine sahip yapı modellerine etki ettirilerek gerçekleştirilen yapı analizleri sonucunda kullanılan kesitlerin kapasite kullanım oranları aşağıda belirtilen şekiller ve çizelgeler üzerinde gösterilmiştir. Şekil 6.16, 6.17 ve 6.18 ile Çizelge 6.5'te 2. yapı modeli için ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.16. X çaprazlı 2. yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.17. Diyagonal çaprazlı 2. yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.18. Ters V çaprazlı 2. yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.5. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre 2. yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

2. Yapı Modeli	ASCE 7-16				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA280	0.9G + 1.6W _x	0.824	0.779	0.777
Kiriş	IPE400	0.9G + 1.6W _x	0.718	0.662	0.660
Rüzgar Kolonu	HEA220	0.9G + 1.6W _x	0.845	0.842	0.842
Dikme	90x90x5	0.9G + 1.6W _x	0.689	0.752	0.748
Çatı Çapraz	D133x4	0.9G + 1.6W _x	0.789	0.779	0.757
Cephe Çapraz	D101.6x4	0.9G + 1.6W _x	0.760	0.948	0.468

ASCE 7-16 yönetmeliğine göre kapasite kullanım oranları belirlenen kesitler incelendiğinde kolonlar için en yüksek kapasite oranı değerinin, X çaprazlı durumda elde edildiği görülmektedir. Diğer iki çapraz tipinin kullanıldığı yapı modellerinde ise elde edilen kapasite kullanım oranlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Kiriş elemanlarında da kolonlara benzer şekilde en yüksek kapasite oranı değerinin, X çaprazlı durumda elde edildiği görülmektedir. Diğer iki çapraz tipinin kullanıldığı durumlarda yine benzer oranların elde edildiği görülmektedir.

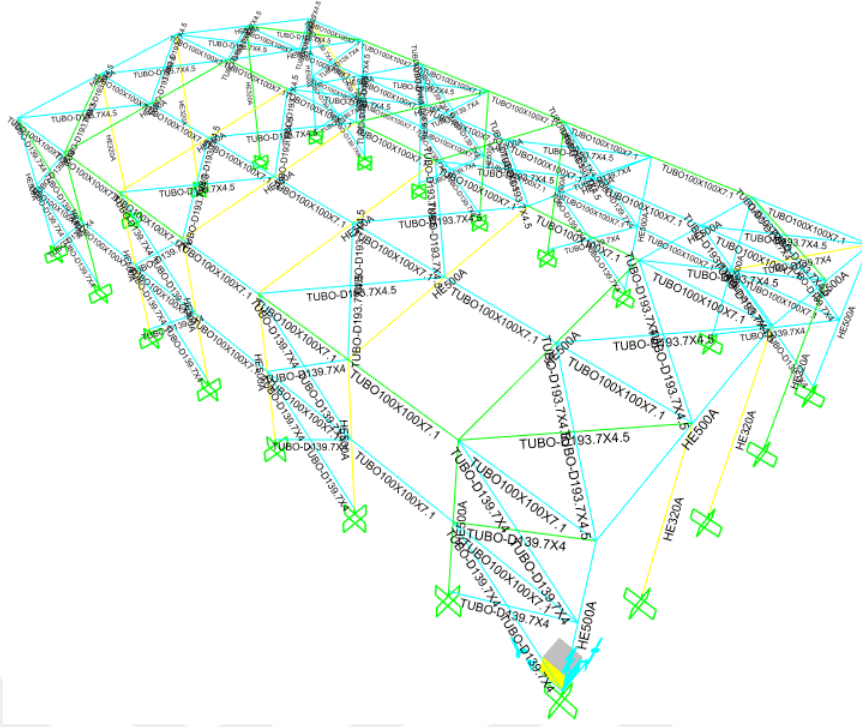
Rüzgar kolon elemanlarında üç farklı çapraz tipi içinde yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri, kullanılan çaprazların rüzgar kolonlarının bulunduğu yönde kullanılmamasından kaynaklanmaktadır.

Dikme elemanlarında kullanılan kutu profil kesit elemanı için, X çaprazlı yapı modelinde kapasite oranının daha düşük değer verdiği görülmektedir.

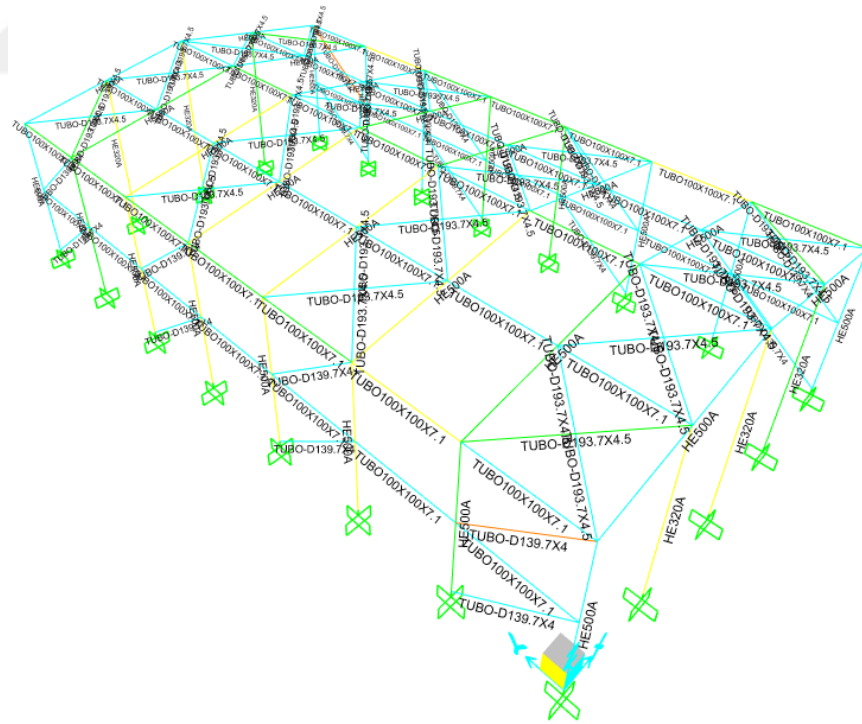
Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanlarından ters V çaprazının kullanıldığı durum diğer iki çapraz tipine göre daha düşük kapasite kullanım oranı vermektedir.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları daha büyük farklılıklar göstermektedir. Buna göre üç farklı çapraz tipine sahip yapı modelleri içinden, en düşük kapasite oranının ters V çaprazlı durumda elde edildiği ve en yüksek kapasite oranının da diyagonal çaprazıya sahip yapı modelinde belirlendiği görülmektedir.

Şekil 6.19, 6.20 ve 6.21 ile Çizelge 6.6'da 2. yapı modeli için Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.19. X çaprazlı 2. yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

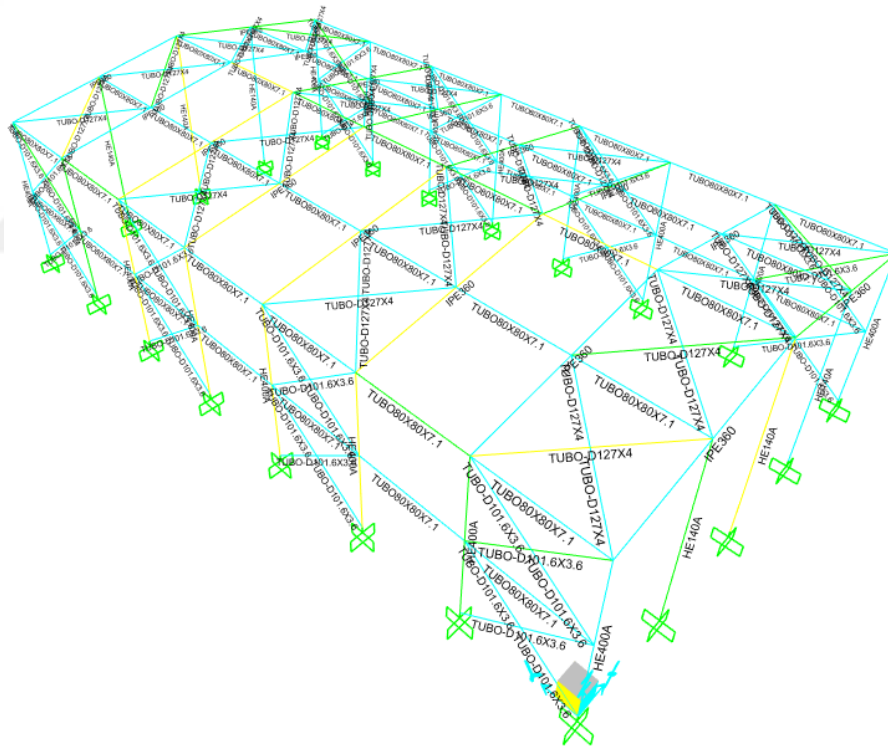


Şekil 6.20. Diyagonal çaprazlı 2. yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Yine üç farklı çapraz tipine sahip yapı modellerinin çatı bölümlerinde kullanılan X çaprazları için belirlenen kapasite oranlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Yapı modellerinin cephe çapraz elemanlarında ise farklı çapraz tipleri için elde edilen kapasite oranlarında ciddi farklılıklar görülmektedir. Kullanılan üç farklı çapraz tipine sahip yapı modelleri içerisinde, ters V çapraza sahip olan yapı modeli için hesaplanan kapasite oranının diğer iki çapraz tipine göre çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 6.22, 6.23 ve 6.24 ile Çizelge 6.7’de 2. yapı modeli için TS-498 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.22. X çaprazlı 2. yapı modelinde TS - 498 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.7. TS-498 yönetmeliğine göre 2. yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

2. Yapı Modeli	TS-498				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HE400A	0.9G + 1.6W _x	0.838	0.839	0.838
Kiriş	IPE360	0.9G + 1.6W _x	0.791	0.791	0.791
Rüzgar Kolonu	HE140A	0.9G + 1.6W _x	0.898	0.822	0.823
Dikme	80x80x7.1	0.9G + 1.6W _x	0.721	0.73	0.727
Çatı Çapraz	D127x4	0.9G + 1.6W _x	0.881	0.888	0.874
Cephe Çapraz	D101.6x43.6	0.9G + 1.6W _x	0.629	0.715	0.365

Çizelge 6.7’de TS-498 yönetmeliğine göre kapasite kullanım oranları belirtilen kesitler incelendiğinde kolonlar, kirişler ve dikmeler için kapasite oranı değerlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

Rüzgar kolonları için X çaprazlı yapı modelinde en büyük kapasite oranının elde edildiği, diyagonal çapraz ve ters V çaprazlı sistemde ise hemen hemen aynı kapasite oranının elde edildiği görülmektedir.

Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanlarından ters V çaprazının kullanıldığı durum diğer iki çapraz tipine göre daha düşük kapasite kullanım oranı vermektedir.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları daha büyük farklılıklar göstermektedir. Buna göre üç farklı çapraz tipine sahip yapı modelleri içinden, en düşük kapasite oranının ters V çaprazlı durumda elde edildiği ve en yüksek kapasite oranının da diyagonal çaprazı sahip yapı modelinde belirlendiği görülmektedir.

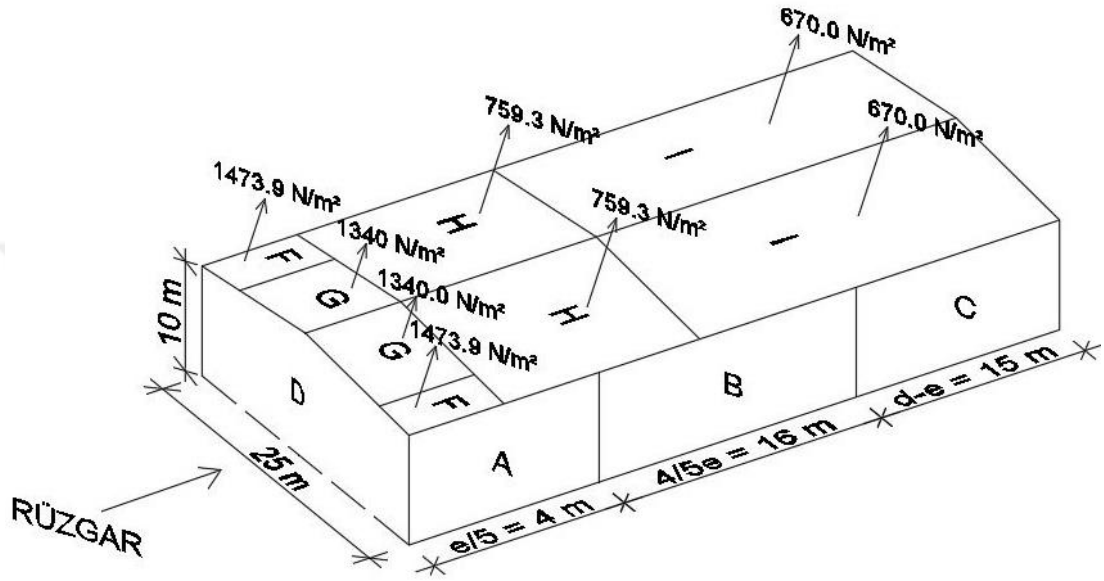
TS-498 yönetmeliğine göre elde edilen rüzgar yüklerinin 2. yapı modeline etki ettirilmesi durumunda, genel olarak ters V çaprazın kullanıldığı durumda daha elverişli sonuçlar elde edildiği gözlenmektedir.

Çizelge 6.8’de 2. yapı modeli için taşıyıcı sistem elemanlarında aynı kesit kullanılması durumunda farklı yönetmeliklere göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analizden elde edilen kapasite kullanım oranları verilmiştir.

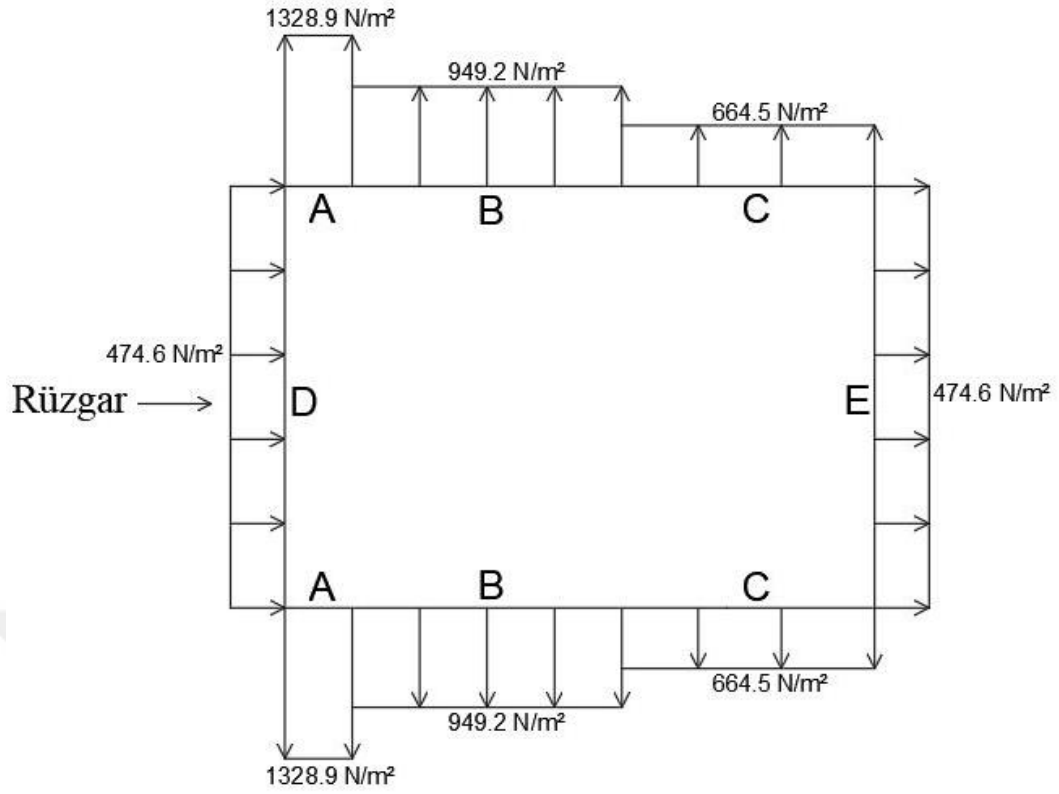
Çizelge 6.8. Rüzgarın mahyaya dik olarak etki etmesi ($\theta=0^\circ$) durumunda, Yapı modeli - 2 için üç farklı çapraz türüne göre belirlenen kesit kapasite kullanım oranları

2. Yapı Modeli	EUROCODE 1-4					ASCE 7-16					TS-498				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diagonal Çapraz	Ters V Çapraz	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diagonal Çapraz	Ters V Çapraz	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HE500A	0.9G + 1.6W _x	0.893	0.899	0.895	HEA280	0.9G + 1.6W _x	0.824	0.779	0.777	HE400A	0.9G + 1.6W _x	0.838	0.839	0.838
Kiriş	HE500A	0.9G + 1.6W _x	0.879	0.884	0.878	IPE400	0.9G + 1.6W _x	0.718	0.662	0.660	IPE360	0.9G + 1.6W _x	0.791	0.791	0.791
Rüzgar Kolonu	HE320A	0.9G + 1.6W _x	0.835	0.837	0.835	HEA220	0.9G + 1.6W _x	0.845	0.842	0.842	HE140A	0.9G + 1.6W _x	0.898	0.822	0.823
Dikme	100x100x7.1	0.9G + 1.6W _x	0.686	0.796	0.774	90x90x5	0.9G + 1.6W _x	0.689	0.752	0.748	80x80x7.1	0.9G + 1.6W _x	0.721	0.730	0.727
Çatı Çapraz	D193.7x4.5	0.9G + 1.6W _x	0.630	0.628	0.623	D133x4	0.9G + 1.6W _x	0.789	0.779	0.757	D127x4	0.9G + 1.6W _x	0.881	0.888	0.874
Cephe Çapraz	D139.7x4	0.9G + 1.6W _x	0.713	0.956	0.460	D101.6x4	0.9G + 1.6W _x	0.760	0.948	0.468	D101.6x43.6	0.9G + 1.6W _x	0.629	0.715	0.365

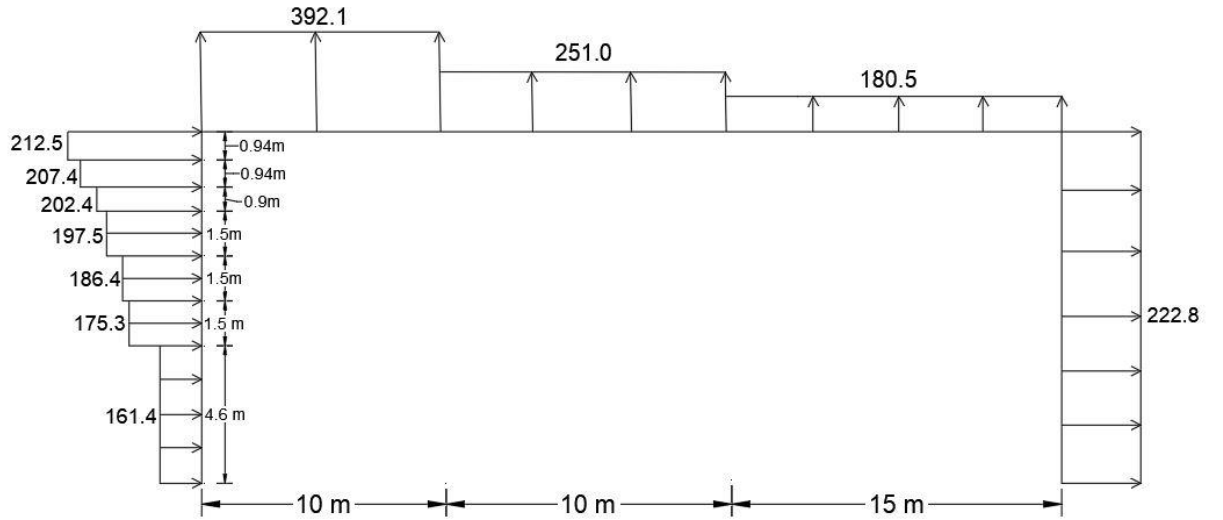
Rüzgarın mahyaya paralel etki etmesi ($\theta=90^\circ$) durumuna göre hesaplanmış olan rüzgar basınç değerleri birinci yapı modeli için Şekil 6.25a, Şekil 6.25b, Şekil 6.26a ve Şekil 6.26b'de, yine ikinci yapı modeli için rüzgarın mahyaya paralel etki etmesi ($\theta=90^\circ$) durumuna göre hesaplanmış olan rüzgar basınç değerleri ise Şekil 6.27a, Şekil 6.27b, Şekil 6.28a ve Şekil 6.28b'de gösterilmiştir.



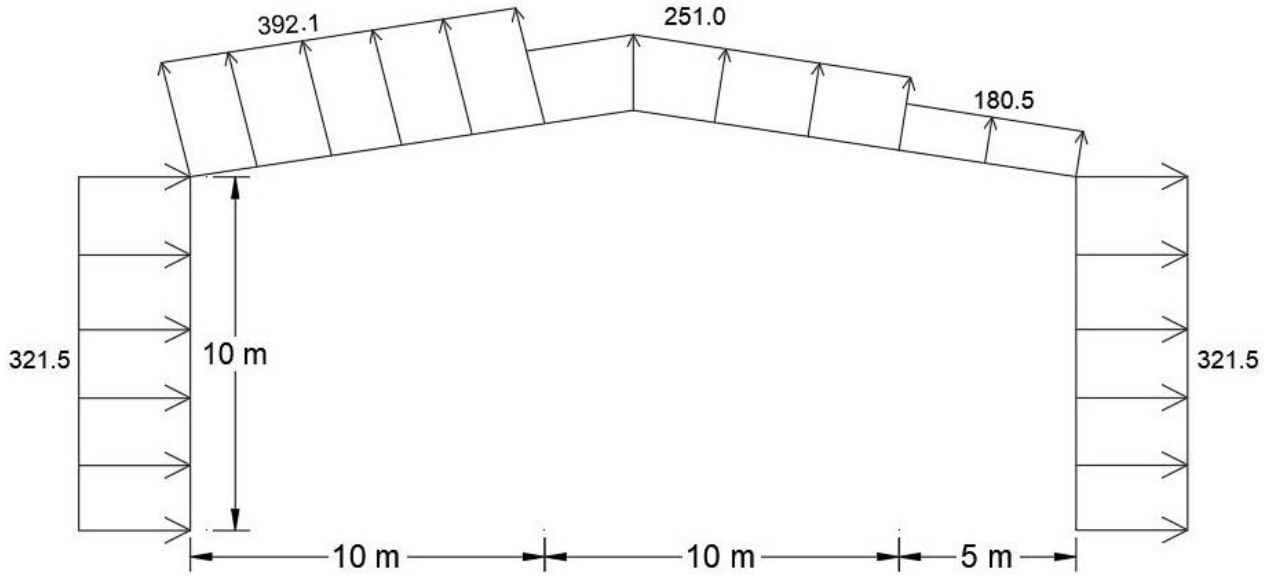
Şekil 6.25a. 1.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre ($\theta=90^\circ$) durumu için çatı bölgelerinde oluşan rüzgar basınçları



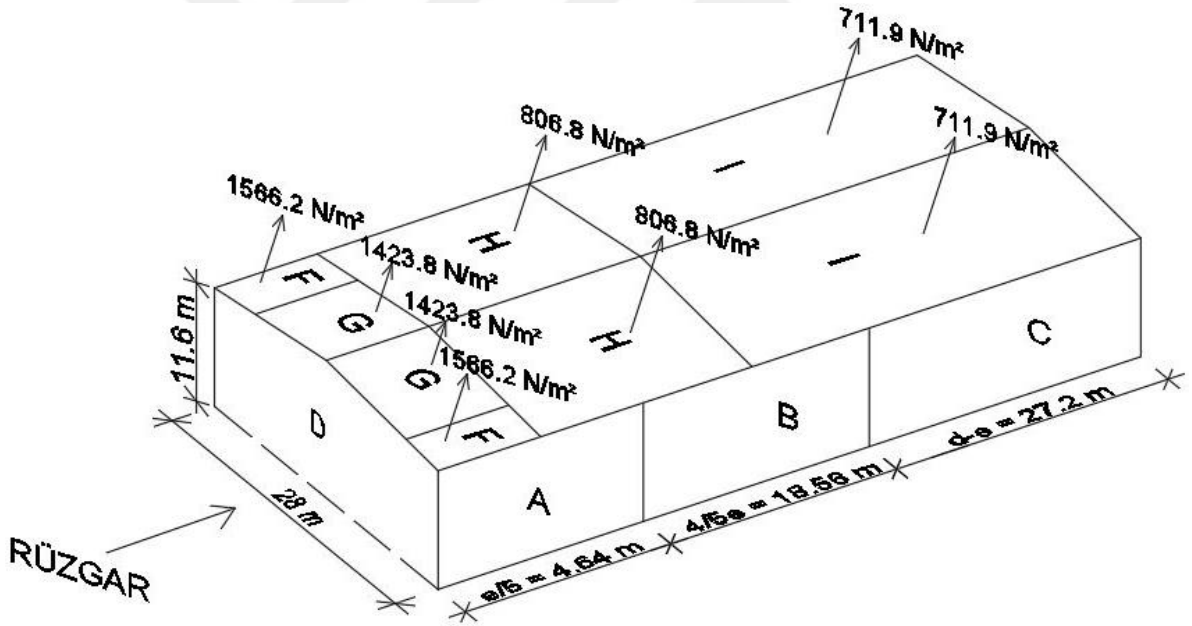
Şekil 6.25b. 1.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre ($\theta=90^\circ$) durumu için cephe bölgelerinde oluşan rüzgar basınçları



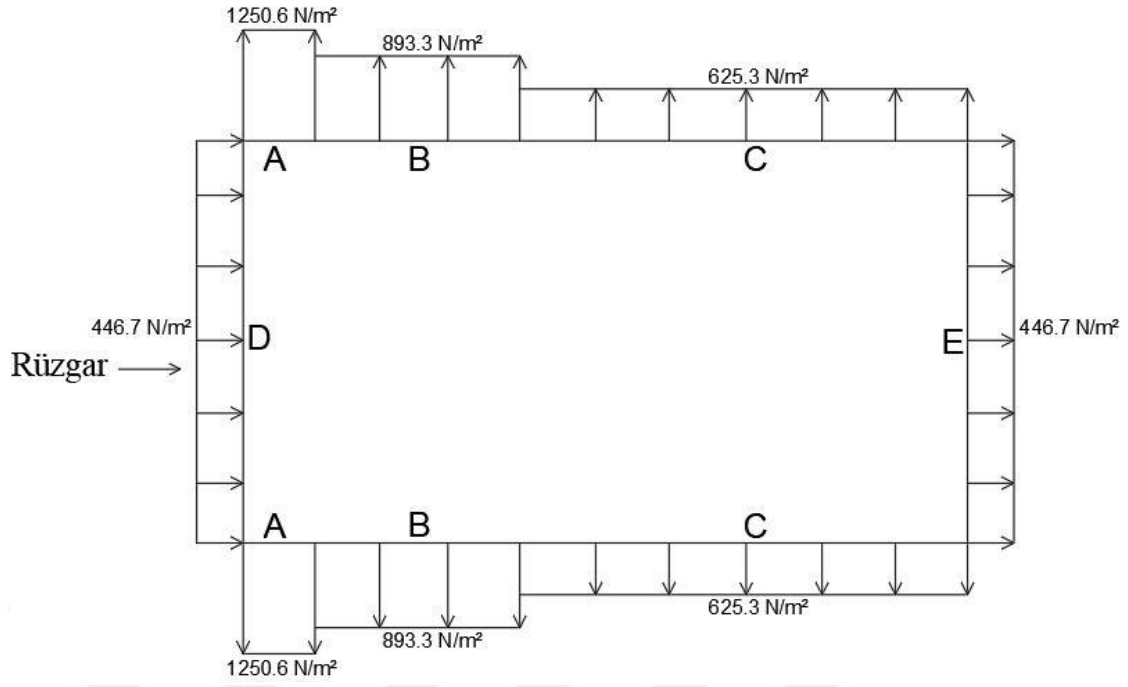
Şekil 6.26a. 1.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre ($\theta=90^\circ$) durumu için rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatı bölgesinde oluşan rüzgar basınçları



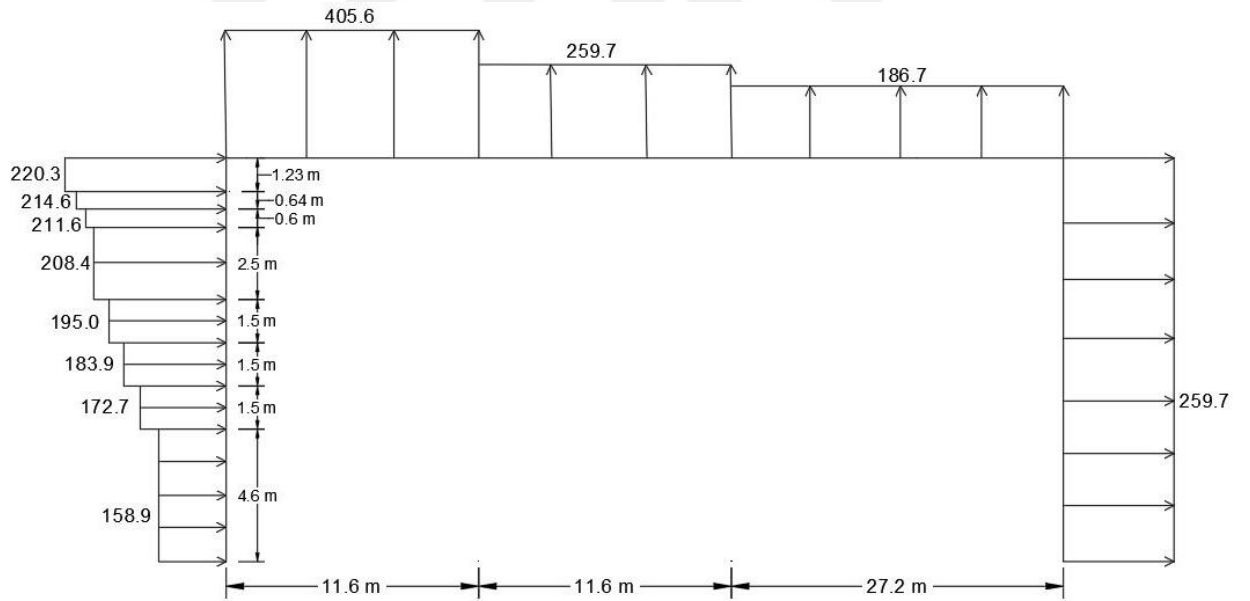
Şekil 6.26b. 1.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre ($\theta=90^\circ$) durumu için rüzgara dik cephe duvarları ve çatı bölgesinde oluşan rüzgar basınçları



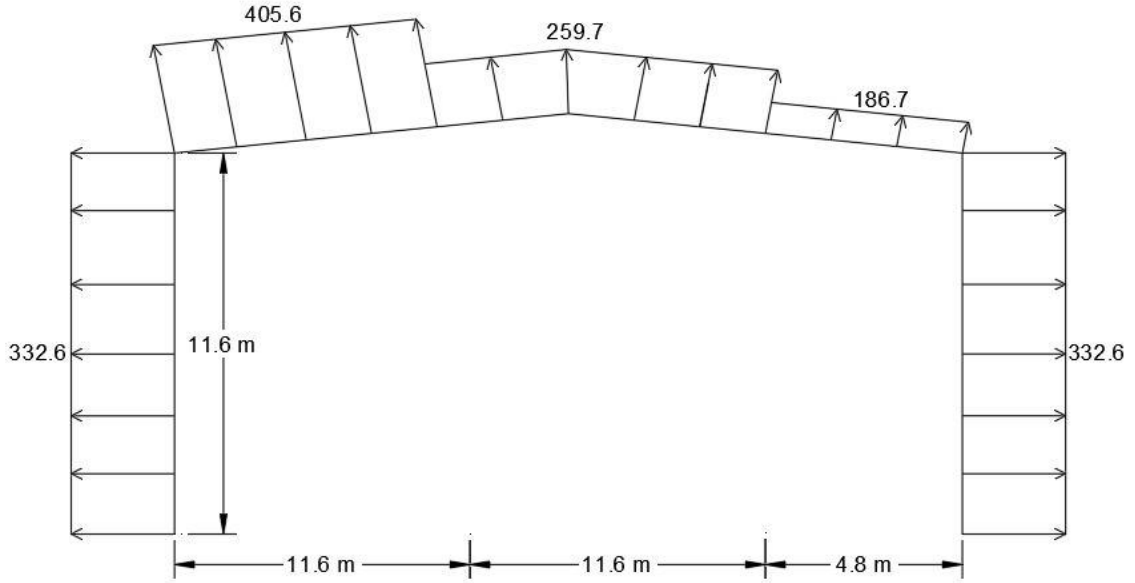
Şekil 6.27a. 2.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre ($\theta=90^\circ$) durumu için çatı bölgelerinde oluşan rüzgar basınçları



Şekil 6.27b. 2.Yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre ($\theta=90^\circ$) durumu için cephe bölgelerinde oluşan rüzgar basınçları

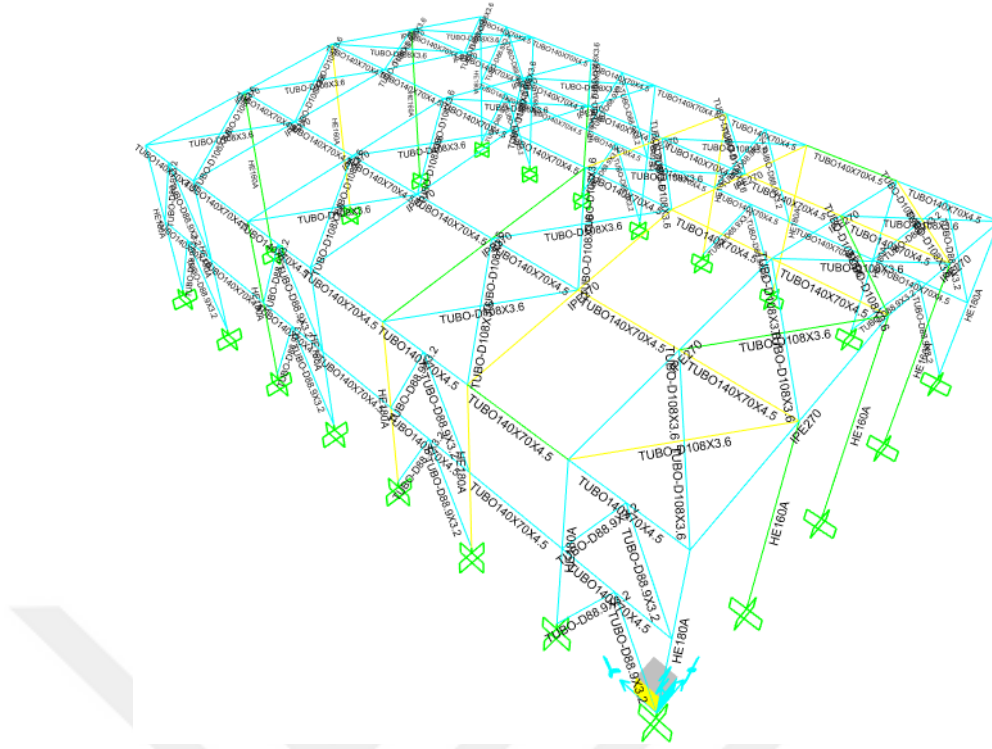


Şekil 6.28a. 2.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre ($\theta=90^\circ$) durumu için rüzgara dik duvar, rüzgar arkası duvar ve çatı bölgesinde oluşan rüzgar basınçları



Şekil 6.28b. 2.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre ($\theta=90^\circ$) durumu için rüzgara dik cephe duvarları ve çatı bölgesinde oluşan rüzgar basınçları

Şekil 6.25 – Şekil 6.28 arasında belirtilen rüzgar yükleri SAP2000 programında tasarlanan farklı çelik çapraz tiplerine sahip yapı modellerine etki ettirilerek gerçekleştirilen yapı analizleri sonucunda kullanılan kesitlerin kapasite kullanım oranları aşağıda verilen çizelgeler ve şekiller üzerinde gösterilmiştir. Şekil 6.29, 6.30 ve 6.31 ile Çizelge 6.9’da 1. yapı modeli için ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.31. Ters V çaprazlı 1.yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.9. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre 1.yapı modeli için ($\theta=90^\circ$) durumunda kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

1. Yapı Modeli	ASCE 7-16				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA180	0.9G + 1.6W _x	0.834	0.838	0.834
Kiriş	IPE270	0.9G + 1.6W _x	0.812	0.799	0.799
Rüzgar Kolonu	HEA160	0.9G + 1.6W _x	0.758	0.759	0.759
Dikme	140x70x4.5	0.9G + 1.6W _x	0.772	0.773	0.773
Çatı Çapraz	D108x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.806	0.815	0.807
Cephe Çapraz	D88.9x3.2	0.9G + 1.6W _x	0.300	0.833	0.370

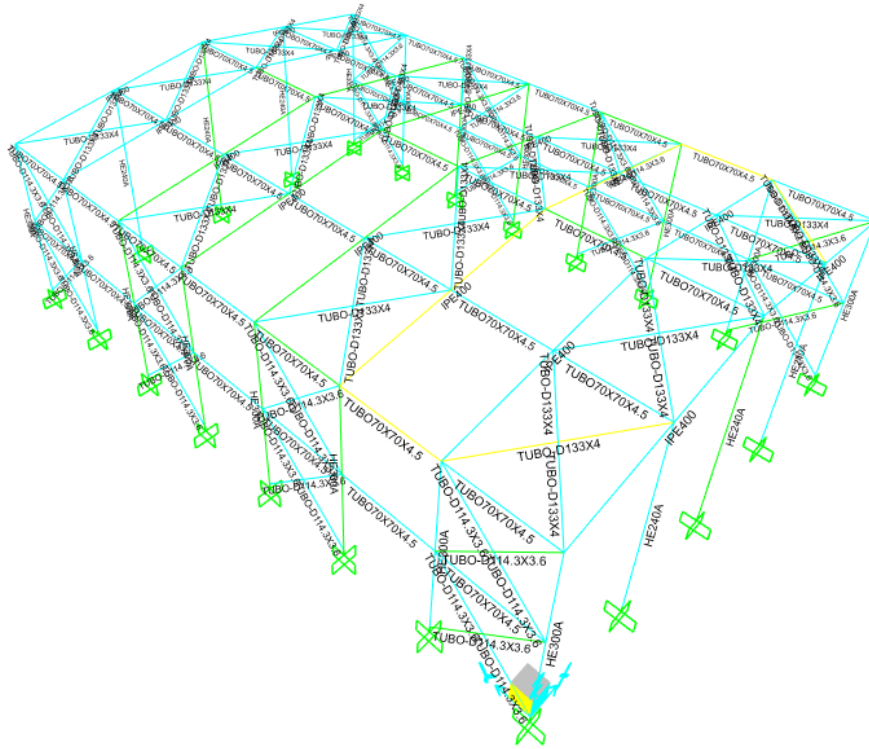
Burada kapasite kullanım oranları belirlenen kesitler incelendiğinde yapı elemanlarından kolonlar, dikmeler ve rüzgar kolonları için üç farklı çapraz türünün kullanıldığı durumlarda da sonuçların çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Kiriş elemanlarında da yine birbirlerine yakın kapasite oranlarının elde edildiği görülmüştür. Ancak X çaprazlı durumda diğer iki çapraz tipine göre daha yüksek bir kapasite oranı hesaplandığı görülmektedir.

Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanları için X çapraz ve ters V çaprazının kullanıldığı durumlar için hesaplanan kapasite oranlarının, diyagonal çapraz elemanlı yapı modeline göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları büyük farklılıklar göstermektedir. Buna göre üç farklı çapraz tipine sahip yapı modelleri içinden, en düşük kapasite oranının X çaprazlı durumda elde edildiği ve en yüksek kapasite oranı değerinin ise diyagonal çaprazı sahip yapı modelinde belirlendiği görülmektedir.

Şekil 6.32, 6.33 ve 6.34 ile Çizelge 6.10’da 1. yapı modeli için Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.32. X çaprazlı 1.yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.10. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre 1.yapı modeli için ($\theta=90^\circ$) durumu için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

1. Yapı Modeli	EUROCODE 1-4				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HE300A	$0.9G + 1.6W_x$	0.667	0.668	0.663
Kiriş	IPE400	$0.9G + 1.6W_x$	0.708	0.704	0.702
Rüzgar Kolonu	HE240A	$0.9G + 1.6W_x$	0.541	0.543	0.542
Dikme	70X70X4.5	$0.9G + 1.6W_x$	0.714	0.906	0.882
Çatı Çapraz	D133X4	$0.9G + 1.6W_x$	0.818	0.838	0.812
Cephe Çapraz	D114.3X3.6	$0.9G + 1.6W_x$	0.634	0.882	0.445

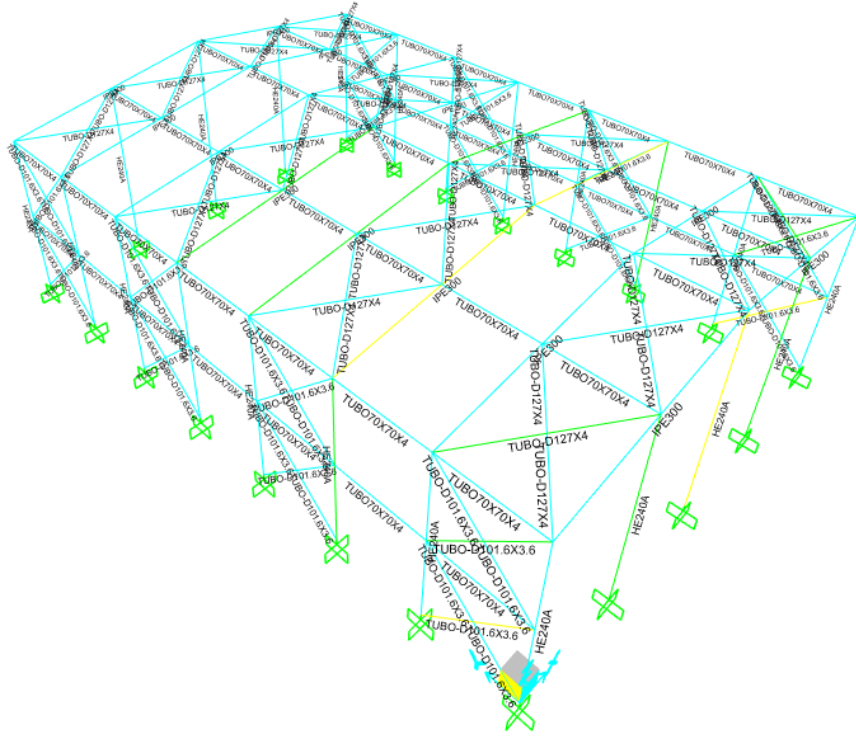
Çizelge 6.10’da kapasite kullanım oranları belirlenen kesitler için, yapı elemanlarından kolonlar, kirişler ve rüzgar kolonları için kapasite kullanım oranlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Dikme elemanlarında kullanılan kutu profil kesiti için X çaprazlı yapı modelinde en düşük kapasite oranı, diyagonal çaprazlı modelde en yüksek kapasite oranı elde edilmiştir.

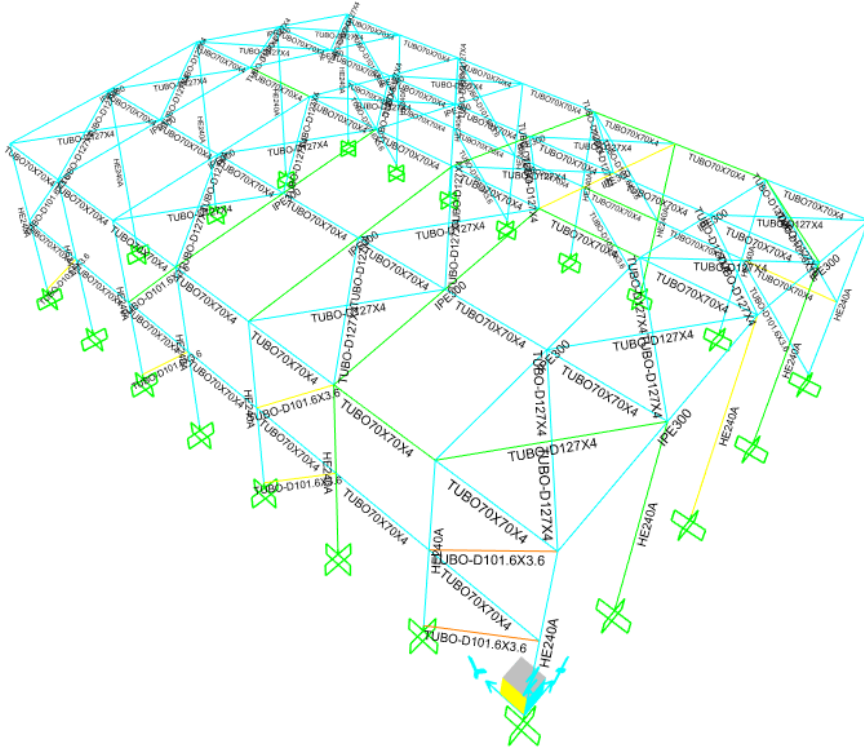
Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanlar için, diyagonal çapraz elemanlı yapı modelinde en yüksek kapasite oranının bulunduğu görülmektedir.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları büyük farklılıklar göstermektedir. Buna göre üç farklı çapraz tipine sahip yapı modelleri içinden, en düşük kapasite oranının ters V çaprazlı durumda elde edildiği ve en yüksek kapasite oranının diyagonal çapraza sahip yapı modelinde belirlendiği görülmektedir.

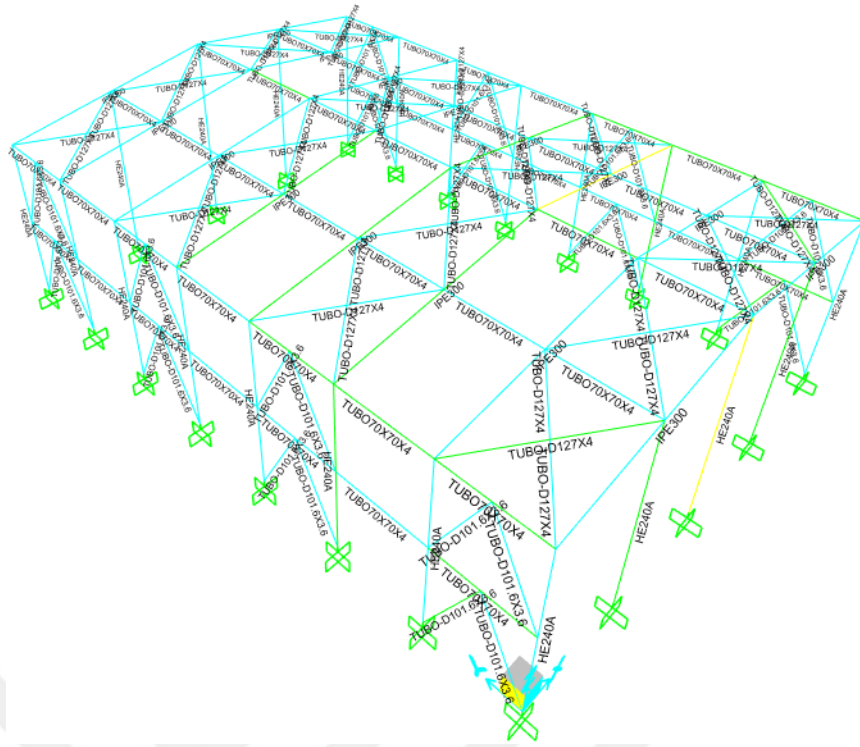
Şekil 6.35, 6.36 ve 6.37 ile Çizelge 6.11’de 1. yapı modeli için TS-498’e göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı yapı modelleri için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.35. X çaprazlı 1. yapı modelinde TS - 498 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.36. Diyagonal çaprazlı 1. yapı modelinin TS - 498 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.37. Ters V çaprazlı 1. yapı modelinin TS - 498 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.11. TS-498 yönetmeliğine göre 1. yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

1. Yapı Modeli	TS-498				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA240	0.9G + 1.6W _x	0.558	0.588	0.551
Kiriş	IPE300	0.9G + 1.6W _x	0.713	0.703	0.701
Rüzgar Kolonu	HEA240	0.9G + 1.6W _x	0.756	0.760	0.758
Dikme	70x70x4	0.9G + 1.6W _x	0.491	0.583	0.572
Çatı Çapraz	D127x4	0.9G + 1.6W _x	0.625	0.627	0.613
Cephe Çapraz	D101.6x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.719	0.931	0.536

Çizelge 6.11’de TS-498 yönetmeliğine göre üç farklı çapraz tipi kullanılan yapı modelleri için, yapı elemanlarından kolonlar, kirişler ve rüzgar kolonlarında kapasite kullanım oranlarında ciddi bir farklılık görülmemektedir.

Dikme elemanları için X çapraz tipi kullanılan yapı modelinde en düşük kapasite oranı hesaplanmıştır.

Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanları için ters V çaprazının kullanıldığı durumda en düşük kapasite oranı elde edilirken, X çaprazının ve diyagonal çapraz elemanının kullanıldığı diğer iki yapı modelinde de birbirine yakın kapasite oranlarının elde edildiği görülmektedir.

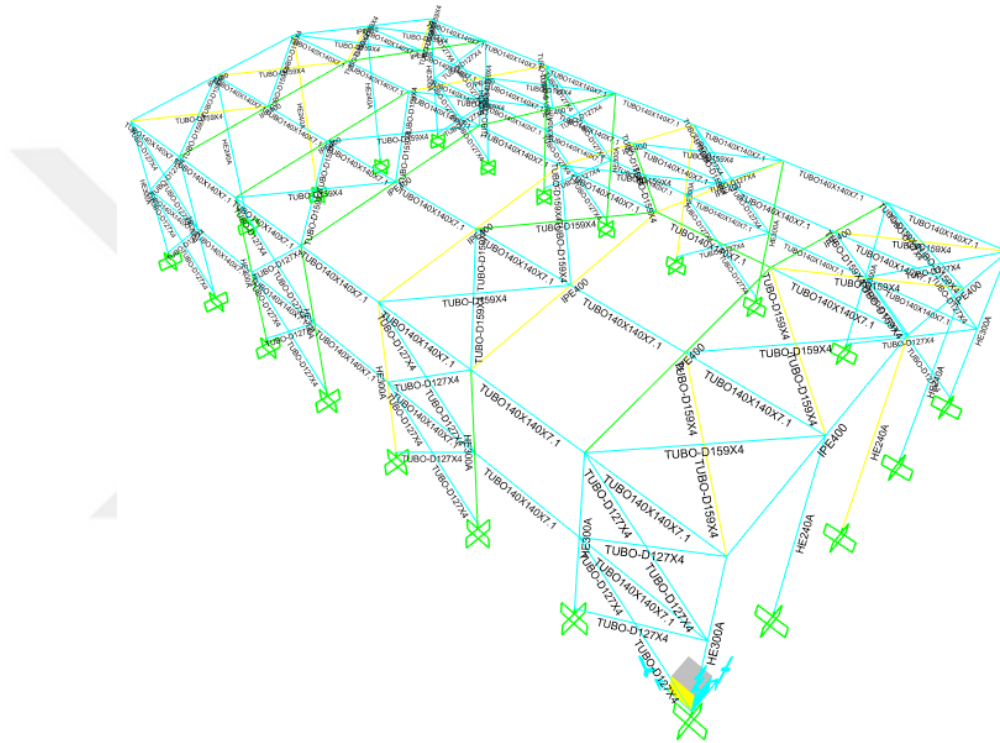
Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları büyük farklılıklar göstermektedir. Buna göre üç farklı çapraz tipine sahip yapı modellerinden, ters V çaprazlı yapı modelinde hesaplanan kapasite oranının diğer iki çapraz tipinin kullanıldığı yapı modellerine göre daha düşük değerde olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 6.12’de 1. yapı modeli için taşıyıcı sistem elemanlarında aynı kesit kullanılması durumunda farklı yönetmeliklere göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analizden elde edilen kapasite kullanım oranları verilmiştir.

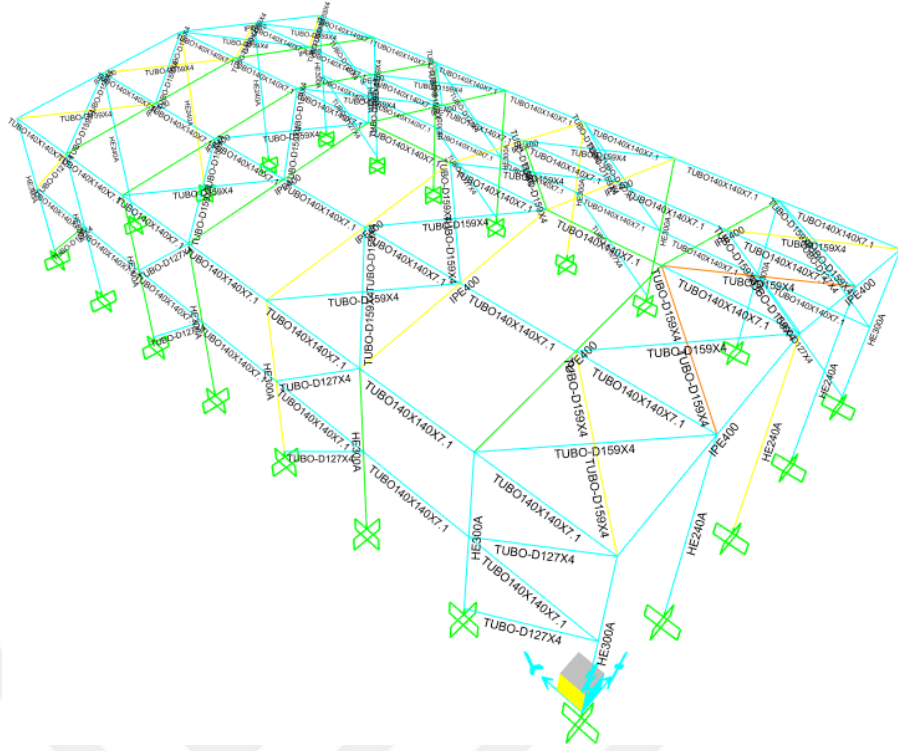
Çizelge 6.12. Rüzgarın mahyaya paralel etki etmesi ($\theta=90^\circ$) durumunda, Yapı modeli - 1 için üç farklı çapraz türüne göre belirlenen kesit kapasite kullanım oranları

1. Yapı Modeli	EUROCODE 1-4					ASCE 7-16					TS-498				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HE300A	0.9G + 1.6W _x	0.667	0.668	0.663	HEA180	0.9G + 1.6W _x	0.834	0.838	0.834	HEA240	0.9G + 1.6W _x	0.558	0.588	0.551
Kiriş	IPE400	0.9G + 1.6W _x	0.708	0.704	0.702	IPE270	0.9G + 1.6W _x	0.812	0.799	0.799	IPE300	0.9G + 1.6W _x	0.713	0.703	0.701
Rüzgar Kolonu	HE240A	0.9G + 1.6W _x	0.541	0.543	0.542	HEA160	0.9G + 1.6W _x	0.758	0.759	0.759	HEA240	0.9G + 1.6W _x	0.756	0.760	0.758
Dikme	70X70X4.5	0.9G + 1.6W _x	0.714	0.906	0.882	140x70x4.5	0.9G + 1.6W _x	0.772	0.773	0.773	70x70x4	0.9G + 1.6W _x	0.491	0.583	0.572
Çatı Çapraz	D133X4	0.9G + 1.6W _x	0.818	0.838	0.812	D108x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.806	0.815	0.807	D127x4	0.9G + 1.6W _x	0.625	0.627	0.613
Cephe Çapraz	D114.3X3.6	0.9G + 1.6W _x	0.634	0.882	0.445	D88.9x3.2	0.9G + 1.6W _x	0.300	0.833	0.370	D101.6x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.719	0.931	0.536

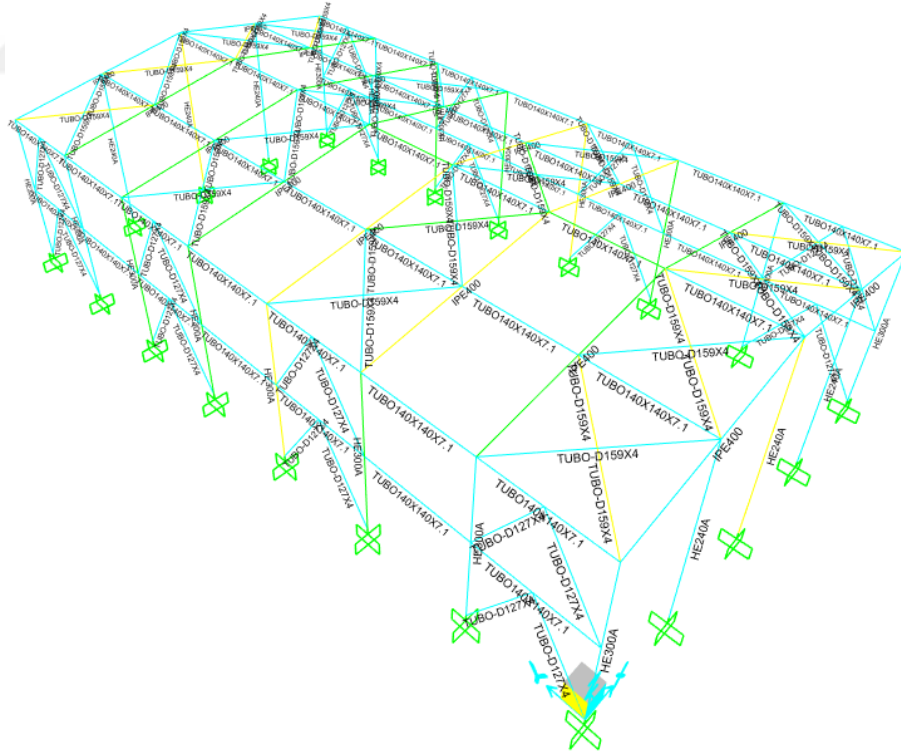
Yapı modeli 2 için rüzgar yükleri SAP2000 programında tasarlanan farklı çelik çapraz tiplerine sahip yapı modellerine etki ettirilerek gerçekleştirilen yapı analizleri sonucunda kullanılan kesitlerin kapasite kullanım oranları aşağıda belirtilen şekiller ve çizelgeler üzerinde gösterilmiştir. Şekil 6.38, 6.39 ve 6.40 ile Çizelge 6.13'te 2. yapı modeli için ASCE 7-16 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.38. X çaprazlı 2. yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.39. Diagonal çaprazlı 2. yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.40. Ters V çaprazlı 2. yapı modelinde ASCE 7-16 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

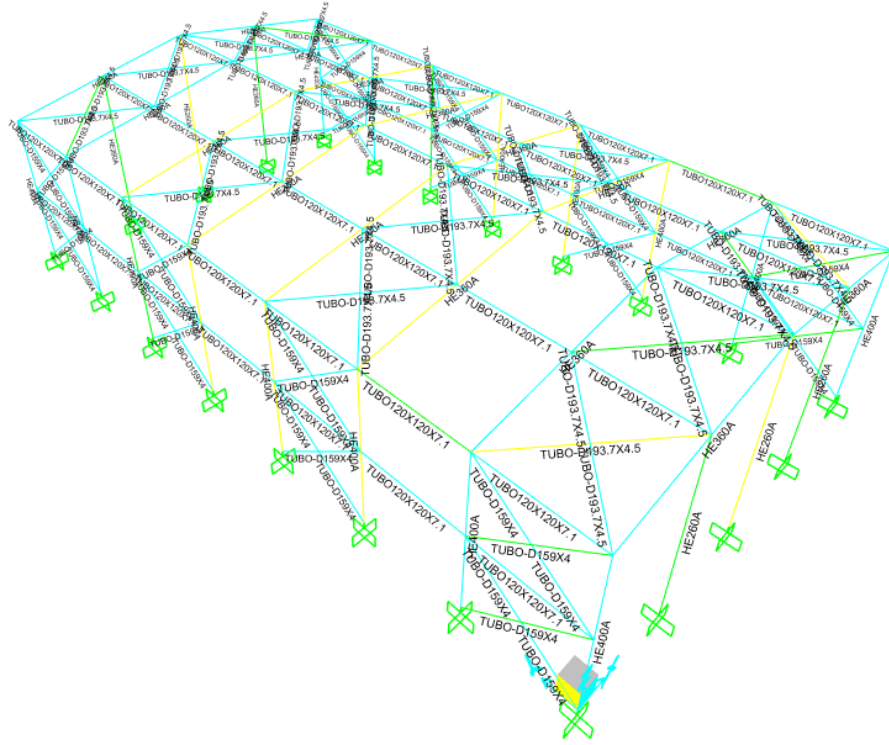
Çizelge 6.13. ASCE 7-16 yönetmeliğine göre 2. yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

2. Yapı Modeli		ASCE 7-16			
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA300	0.9G + 1.6W _x	0.776	0.777	0.775
Kiriş	IPE400	0.9G + 1.6W _x	0.842	0.829	0.835
Rüzgar Kolonu	HEA240	0.9G + 1.6W _x	0.814	0.814	0.814
Dikme	140x140x7.1	0.9G + 1.6W _x	0.623	0.631	0.627
Çatı Çapraz	D159x4	0.9G + 1.6W _x	0.893	0.903	0.897
Cephe Çapraz	D114.3x3.6	0.9G + 1.6W _x	0.480	0.814	0.414

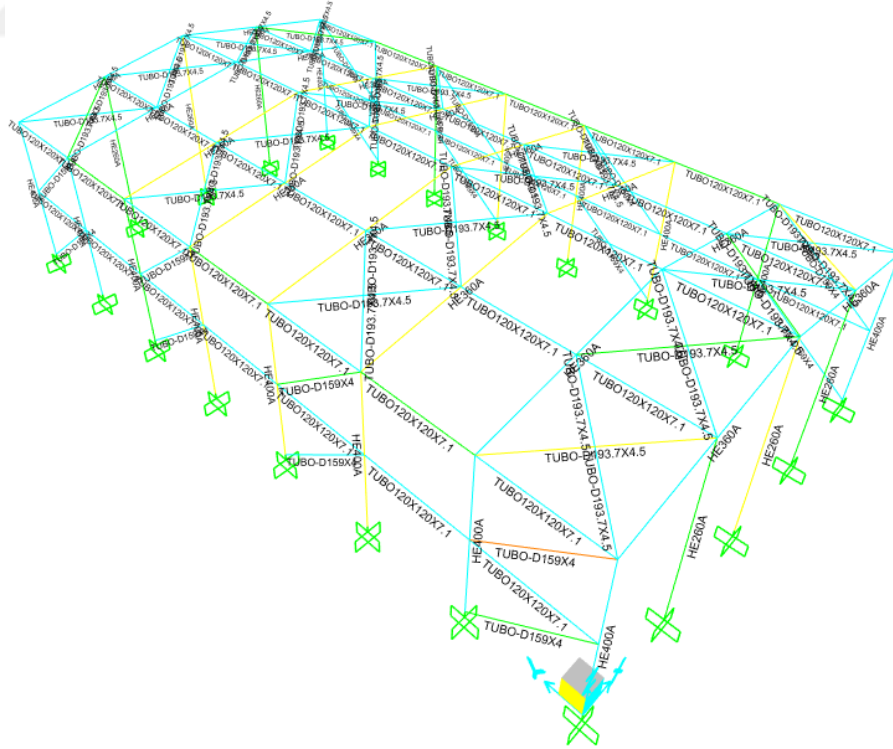
ASCE 7-16 yönetmeliğine göre kapasite kullanım oranları belirlenen kesitler için, yapı elemanlarından kolonlar, kirişler, rüzgar kolonları, dikme elemanları ve çatı çaprazları için kapasite kullanım oranlarında ciddi bir farklılık görülmemektedir.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları incelendiğinde, en düşük kapasite oranının ters V çaprazlı modelde, en yüksek kapasite oranının ise diyagonal çaprazlı modelde elde edildiği görülmektedir.

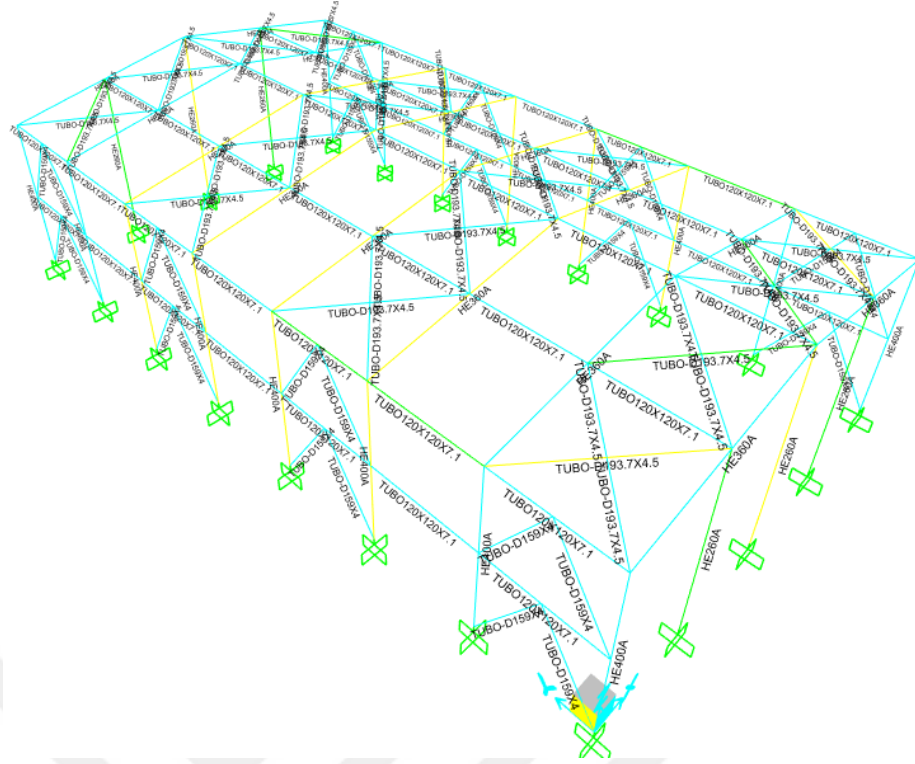
Şekil 6.41, 6.42 ve 6.43 ile Çizelge 6.14'te 2. yapı modeli için Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.41. X çaprazlı 2. yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.42. Diagonal çaprazlı 2. yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları



Şekil 6.43. Ters V çaprazlı 2. yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.14. Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre 2. yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

2. Yapı Modeli	EUROCODE 1-4				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA400	0.9G + 1.6W _x	0.818	0.824	0.868
Kiriş	HEA360	0.9G + 1.6W _x	0.852	0.848	0.889
Rüzgar Kolonu	HEA260	0.9G + 1.6W _x	0.722	0.723	0.724
Dikme	120x120x7.1	0.9G + 1.6W _x	0.588	0.676	0.643
Çatı Çapraz	D193.7x4.5	0.9G + 1.6W _x	0.846	0.864	0.869
Cephe Çapraz	D159x4	0.9G + 1.6W _x	0.696	0.902	0.432

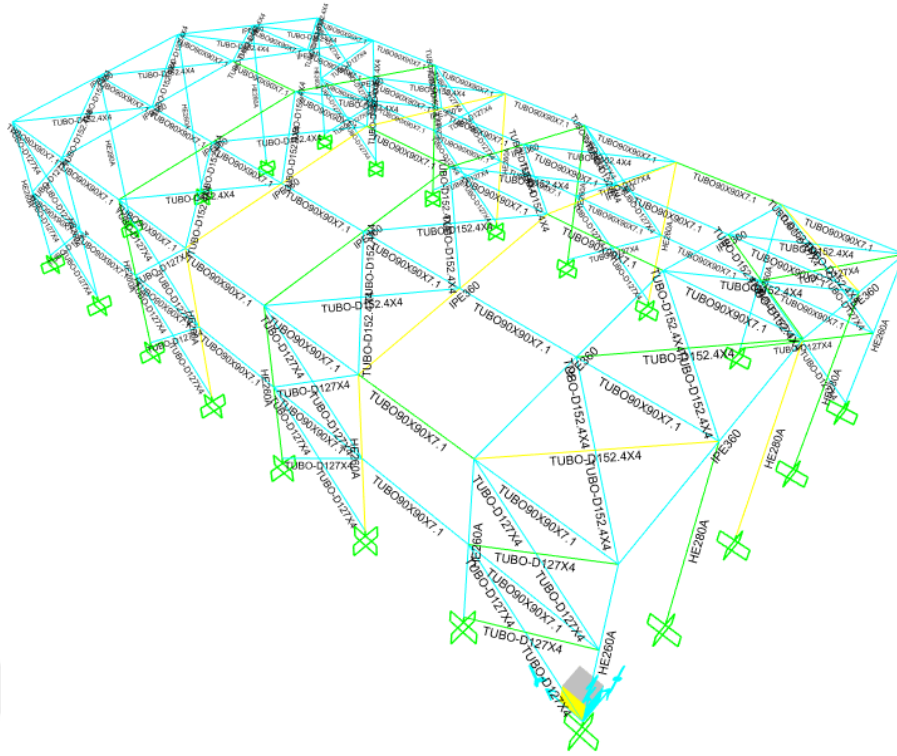
Çizelge 6.14'te kapasite kullanım oranları belirlenen kesitler için, yapı elemanlarından kolonlar ve kirişler için en büyük kapasite oranı değerleri ters V çaprazlı modelde elde edilmiştir. Rüzgar kolonlarında tüm çapraz tipleri için hemen hemen aynı kapasite oranı değerleri belirlenmiştir.

Kullanılan dikme elemanlarında ise X çapraz tipine sahip yapı modelinde en düşük kapasite oranının belirlendiği görülmüştür.

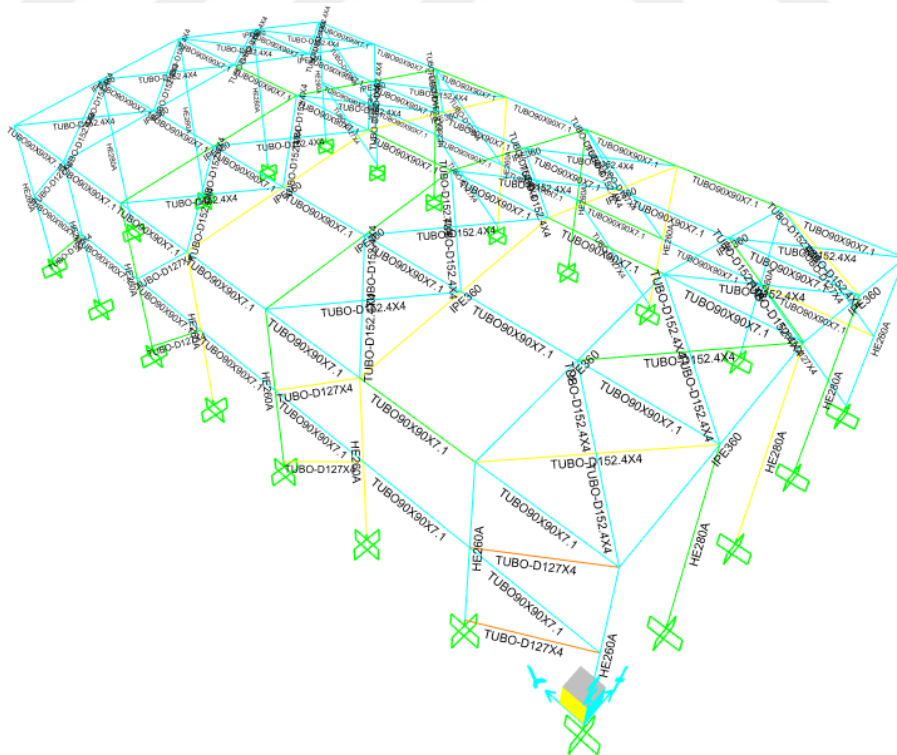
Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanları için, X çaprazın kullanıldığı durumda en düşük değerin elde edildiği, diyagonal ve ters V çapraz elemanının kullanıldığı diğer iki yapı modelinde de birbirine yakın kapasite oranlarının belirlendiği görülmektedir.

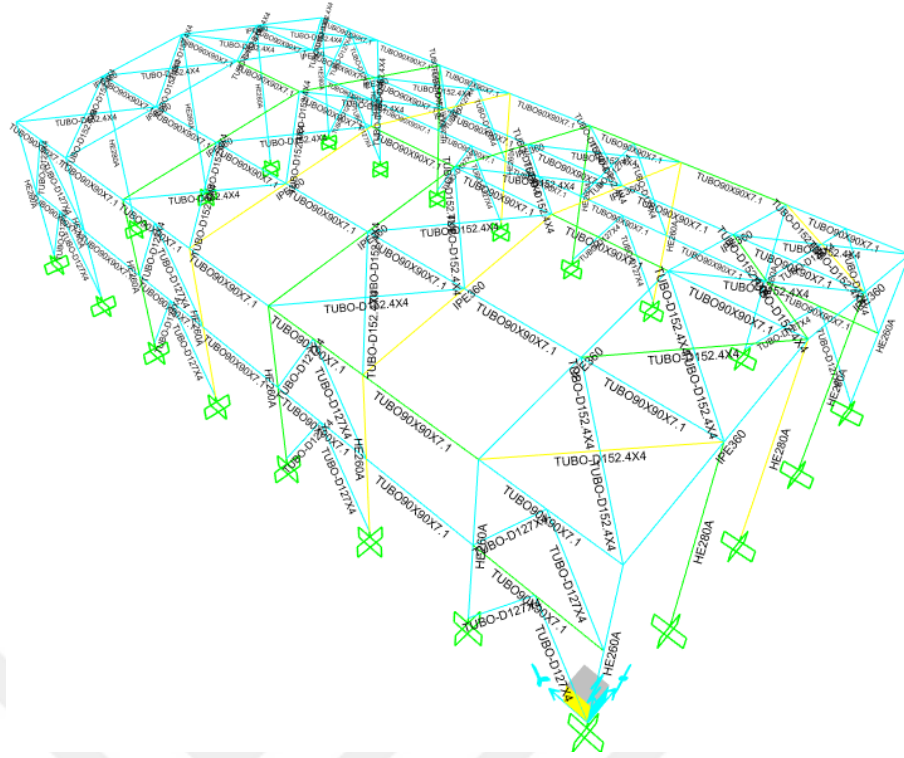
Yapı modellerinin cephe çapraz elemanlarında ise farklı çapraz tipleri için elde edilen kapasite oranlarında daha büyük farklılıklar görülmektedir. Kullanılan üç farklı çapraz tipine sahip yapı modelleri içerisinde, ters V çapraza sahip olan yapı modeli için hesaplanan kapasite oranının diğer iki çapraz tipine göre çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 6.44, 6.45 ve 6.46 ile Çizelge 6.15'te 2. yapı modeli için TS-498'e göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analiz edilen X çaprazlı, diyagonal ve ters V çaprazlı çelik çerçeveler için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 6.44. X çaprazlı 2. yapı modelinde TS - 498 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları





Şekil 6.46. Ters V çaprazlı 2. yapı modelinde TS - 498 yönetmeliğine göre rüzgar yükleri için elde edilen kesit kapasite kullanım oranları

Çizelge 6.15. TS-498 yönetmeliğine göre 2. yapı modeli için kullanılan kesitler ve kapasite kullanım oranları

2. Yapı Modeli	TS-498				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA260	$0.9G + 1.6W_x$	0.758	0.761	0.757
Kiriş	IPE360	$0.9G + 1.6W_x$	0.738	0.731	0.730
Rüzgar Kolonu	HEA280	$0.9G + 1.6W_x$	0.796	0.799	0.797
Dikme	90x90x7.1	$0.9G + 1.6W_x$	0.628	0.637	0.634
Çatı Çapraz	D152.4x4	$0.9G + 1.6W_x$	0.786	0.805	0.789
Cephe Çapraz	D127x4	$0.9G + 1.6W_x$	0.628	0.964	0.634

Çizelge 6.15'te TS-498 yönetmeliğine göre üç farklı çapraz türü kullanılan yapı modelleri için, yapı elemanlarından kolonlar, kirişler ve rüzgar kolonları için kapasite kullanım oranlarında büyük bir farklılık görülmemektedir.

Dikme elemanları için de üç farklı çapraz türü kullanılan yapı modelleri için, birbirine yakın kapasite oranları elde edilmiştir.

Çatı bölümünde kullanılan çapraz elemanlarında en yüksek kapasite oranı diyagonal çaprazlı yapı modelinde belirlenmiş, X ve ters V çaprazlı yapı modellerinde ise kesit kapasite oranları yakın değerlerde hesaplanmıştır.

Yapı modelinin cephe çapraz elemanlarında ise üç farklı çapraz tipi için elde edilen kapasite oranları incelendiğinde, X çaprazlı ve ters V çaprazlı yapı modellerinde hesaplanan kapasite oranlarının, diyagonal çaprazlı yapı modeline göre daha düşük değerde olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 6.16'da 2. yapı modeli için taşıyıcı sistem elemanlarında aynı kesit kullanılması durumunda farklı yönetmeliklere göre belirlenen rüzgar yüklerine göre analizden elde edilen kapasite kullanım oranları verilmiştir.



Çizelge 6.16. Rüzgarın mahyaya paralel etki etmesi ($\theta=90^\circ$) durumunda, Yapı modeli - 2 için üç farklı çapraz türüne göre belirlenen kesit kapasite kullanım oranları

2. Yapı Modeli	EUROCODE 1-4					ASCE 7-16					TS-498				
Yapı Elemanları	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz	Kullanılan Kesitler	Kombinasyonlar	X Çapraz	Diyagonal Çapraz	Ters V Çapraz
Kolon	HEA400	0.9G + 1.6Wx	0.818	0.824	0.868	HEA300	0.9G + 1.6Wx	0.776	0.777	0.775	HEA260	0.9G + 1.6Wx	0.758	0.761	0.757
Kiriş	HEA360	0.9G + 1.6Wx	0.852	0.848	0.889	IPE400	0.9G + 1.6Wx	0.842	0.829	0.835	IPE360	0.9G + 1.6Wx	0.738	0.731	0.730
Rüzgar Kolonu	HEA260	0.9G + 1.6Wx	0.722	0.723	0.724	HEA240	0.9G + 1.6Wx	0.814	0.814	0.814	HEA280	0.9G + 1.6Wx	0.796	0.799	0.797
Dikme	120x120x7.1	0.9G + 1.6Wx	0.588	0.676	0.643	140x140x7.1	0.9G + 1.6Wx	0.623	0.631	0.627	90x90x7.1	0.9G + 1.6Wx	0.628	0.637	0.634
Çatı Çapraz	D193.7x4.5	0.9G + 1.6Wx	0.846	0.864	0.869	D159x4	0.9G + 1.6Wx	0.893	0.903	0.897	D152.4x4	0.9G + 1.6Wx	0.786	0.805	0.789
Cephe Çapraz	D159x4	0.9G + 1.6Wx	0.696	0.902	0.432	D114.3x3.6	0.9G + 1.6Wx	0.480	0.814	0.414	D127x4	0.9G + 1.6Wx	0.628	0.964	0.634

7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında göz önüne alınan yönetmeliklerde rüzgar yüklerinin hesaplanması için belirtilen değişkenler ve hesap metotları incelenmiş ve farklı boyutlara sahip iki adet tek katlı tek açıklıklı endüstriyel yapı modeli için farklı yönetmeliklere göre rüzgar yükü değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen rüzgar basınç değerleri, iki farklı endüstri yapı modeli üzerine etkililmiş ve üç farklı merkezi çelik çaprazlı çerçeve sistemi kullanılarak kıyaslamalar yapılmıştır. Yapı elemanlarında tüm modeller için aynı kesitler kullanılarak elde edilen kesit kapasite (tesir) oranları çizelgelerle karşılaştırılmıştır. İncelemesi yapılan yönetmelikler için rüzgar yükü kıyaslamalarına göre elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

ASCE 7-16 yönetmeliği, genel olarak Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre daha pratik bir çözüm sunmaktadır. Katsayılar ve detaylar çizelgeler ve şekillerle açıklayıcı biçimde tanımlanmıştır.

ASCE 7-16 yönetmeliği, hesaplamaların ilerleyişi bakımından farklı yüksekliklere sahip farklı yapı türleri için basite indirgenmiş hesap yöntemleri bulundurmaktadır. Bu hesap yöntemleri kullanılarak yüksekliği düşük olan kapalı yapı türleri için, rüzgar yüklerinin detaylı olarak hesaplanmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Rüzgar basınç değerleri standart içerisinde belirtilen çizelgelerden, belirli parametre değerlerine bağlı şekilde pratik olarak elde edilebilmektedir. Eurocode 1-4 yönetmeliği ise tüm yapı türleri ve yapı yükseklikleri için tek bir hesap yöntemi içermektedir.

ASCE 7-16 yönetmeliğine göre hız basınçları hesaplanırken rüzgar hızı değeri, ikamet bölgeleri Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan yapılar için risk kategorilerine göre yönetmelikte belirtilen haritalar yardımıyla elde edilmektedir.

İncelenen örnek yapı modelleri için hesaplanan değerler açısından, Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre hesaplanan rüzgar yüklerinin, ASCE 7-16 yönetmeliğine göre hesaplanan rüzgar yüklerinden daha yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

TS-498 yönetmeliğindeki hesap yönteminde ise yapılarda oluşan rüzgar basınçlarının dağılımı daha az parametre göz önüne alınarak tanımlanmıştır. TS-498 yönetmeliğinde, rüzgar doğrultusunun hangi yönde olduğu dikkate alınmadan her iki rüzgar doğrultusu için tek bir rüzgar yükü dağılım şeması ortaya konulmaktadır. Yönetmelikte sadece belli geometrilere sahip yapılar için bilgiler verilmektedir. Bu

sebeple farklı tipte yapılar için geçerlilikten bahsedilememektedir. Rüzgar basınç değeri ise sadece yükseklik değerine bağlı olarak rüzgarın hızına göre farklılık göstermektedir. Topoğrafik etkiler ve iç basınç sebebiyle oluşacak etkiler hesap aşamasında göz önüne alınmamaktadır.

Rüzgarın etki yönü ve üç farklı çapraz tipine göre tasarımı yapılan yapı modelleri dikkate alındığında cephe çapraz elemanlarında en uygun sonuçların ters V çapraz elemanlarının kullanıldığı modellerde hesaplandığı belirlenmiştir.

Kolon elemanları için üç farklı çapraz tipine göre modellenen örneklerde birbirlerine yakın kapasite oranları elde edilmiş olsa da en düşük oranın X çaprazlı durumda elde edildiği belirlenmiştir.

Kiriş elemanları için yine birbirlerine yakın kapasite oranları elde edilmiş, görece en düşük değer diyagonal çaprazlı durumda elde edildiği gözlenmiştir.

Rüzgar kolonu elemanları için elde edilen kapasite oranı değerleri neredeyse birebir aynı elde edilmiştir.

Dikme elemanları için 1. yapı modelinde Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre hesaplanan rüzgar basınç değerleri dikkate alındığında en düşük kapasite oranı X çaprazlı durumda hesaplanmıştır. ASCE 7-16 ve TS-498 yönetmeliklerine göre hesaplanan rüzgar basınç değerleri için üç farklı çapraz tipinin kullanıldığı durumlarda da birbirlerine yakın kapasite oranı değerleri bulunmuştur.

Taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan kesitler dikkate alındığında, en büyük kesitler Eurocode 1-4 yönetmeliğine göre hesaplanan rüzgar basınç değerleri için kullanılırken, ikinci olarak TS-498 yönetmeliğine göre hesaplanan rüzgar basınç değerleri için kesitler kullanılmıştır. En düşük boyutlu kesitler ise, ASCE 7-16 yönetmeliğine göre hesaplanan rüzgar basınç değerleri için kullanılmıştır. Bunun nedeni olarak Eurocode 1-4 yönetmeliği ve TS-498 yönetmelikleri için temel rüzgar hızı değerleri ülkemizde ölçülen rüzgar hızı değerlerine yakın alınırken, ASCE 7-16 yönetmeliğinde rüzgar hızı haritasının sadece Amerika Birleşik Devletleri için belirtilmiş olması ve bölgelere göre ciddi rüzgar hızı değeri farklılıklarının görülüyor olmasından kaynaklanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY 2018, ANKARA, 1-395.
- Aghayere A. ve Vigil J., 2018, Structural steel design, 2026, Akbaş, B., Eğilmez, O., *Pearson Education Prentice Hall*, USA.
- Akgönen, A. İ., 2017, Yüksek sünek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yatay yükler altında davranışının incelenmesi, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 16-23.
- Alıcıoğlu, M.B., (2011). Merkezi Çelik Çaprazlı Yapılarda Uygun Çapraz Kesiti Geometrisinin ve Çapraz Türünün Belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, Sakarya.
- ANSI/AISC 360-16, (2016). Specification for Structural Steel Buildings, (Draft), American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.
- ASCE 7-16, (2016). Minimum design loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- ÇYTHYE, (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları, 2018. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Davenport Alan G., (2002). Past, Present and Future of Wind Engineering, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90 1371-1380.
- Durst C. S., (1960): The statistical variation of wind with distance, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Eurocode 1-4 (2005). Actions on structures/general actions, part 1-4: wind actions, CEN/TC 250, Management Centre, Brusesels.

- Gürses, P., (2012). Yapılara Etki Eden Rüzgâr Yüklerinin Eurocode 1-4 ve ASCE 7-05 Standartları Kullanılarak Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, İstanbul.
- Karagöz, M., Şengel, H.M. (2019). Tonoz Çatılı Yapılara Etkiyen Rüzgâr Yükü Tesirlerinin ASCE, AIJ, AS/NZS VE TS EN 1991-1-4 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 27(3), 156-164.
- Kjewski-Correa, Kilpatrick J., Kareem A., Kwon D.K., Bashor R., Kochly M., Young B.S., Abdelrazaq A., Galsworthy J., Isyumov N., Morrish D., Sinn R.C., Baker W.F. (2006). Validating wind-induced response of tall buildings: Synopsis of the Chicago full-scale monitoring program, Journal of Structural Engineering 132 (10), 1509-1523.
- Özalp, A. (2018). Moment Dayanımlı Çelik Çerçeveler ile Çapraz Elemanlara Sahip Çelik Çerçevelerin Değişken Rüzgar Yükü Altındaki Kırılma Eğrilerinin Kıyaslanması, , Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özalp, Y., (2020). Çelik taşıyıcı sistemli çerçeve tipi yapının ÇYTHYDE 2016, AISC 360-10 ve Eurocode 3 yönetmeliklerine göre analiz ve tasarımı, Yüksek Lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Özlek, C., (2015). ASCE 7-10, EUROCODE 1-4 ve TS 498 Yönetmelikleri Kullanılarak Yapılara Etki Eden Rüzgâr Yüklerinin Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, İstanbul.
- Timurağaoğlu, M.Ö., Doğançın, A., Almahdi, F. (2018). Yapılar için Rüzgar Yüklerinin ve Rüzgar Kaynaklı Hasarların Değerlendirilmesi, 2ND International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management 04-06 May 2018 (ISHAD2018 Sakarya Turkey), 344-353.

TS 498, (2021). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.

Ş. Gürsoy ve A. Yılmaz , "Dış Merkezi Çelik Çapraz Tiplerinin Çerçeve Davranışına ve Yapı Maliyetine Etkisinin İncelenmesi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, sayı. 5, ss. 1766-1781, Eki. 2021

Yorgun C., Topkaya C., Vatansever C., (2017). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Uygulama Kılavuzu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Zararsız, U., (2021). Çelik yapı sistemlerinin TÇY-2016 ve TS648 yönetmeliklerine göre analizleri, Yüksek Lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

URL 1: (<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=10>)

URL2: (<http://cografyahocasi.com/Haritalar/Turkiyede-Esen-Ruzgarlar-ve-Yonleri.png>)

URL 3: (<https://www.bilgipedia.com.tr/ruzgar-cesitleri/>)

URL 4: (https://tr.wikipedia.org/wiki/Coriolis_etkisi)

URL 5: (<https://www.bilgipedia.com.tr/ruzgar-cesitleri/>)

URL 6: (<https://www.havaforum.com/fon-fohn-ruzgarlari-nedir/>)

URL 7: (<https://elektrikportal.com/?p=1913>)

URL 8: <http://www.gazetevatan.com/bursa-da-lodos-un-faturasi-agir-oldu-3-olum-110-yarali-723059-yasam/> Son erişim: 17/03/2018.

URL 9: <https://www.alamy.com/stock-photo/steel-roof.html?imgt=0&sortBy=relevant>

URL 10: <https://www.cnnturk.com/ekonomi/firtinada-evi-otomobili-zarar-gorenler-dikkat-sigortalar-karsilayacak-mi>

URL 11: <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/kirklarelinde-firtinanin-neden-oldugu-hasarin-tespitine-baslandi/2472089>

URL12: (https://eqe.boun.edu.tr/sites/eqe.boun.edu.tr/files/uploaded/istanbul_yuksekbinalar_ruzgar_yonetmeligi.pdf)

URL 13: (<https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=456485>)

URL 14: (<https://www.redlab.com.tr/ruzgar-tuneli>)