

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK YAPILARDA YAPI RÜZGAR ETKİLEŞİMİ

HAVVA MERVE TUNCER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ZEHRA CANAN GİRGIN**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YAPILARDA YAPI RÜZGAR ETKİLEŞİMİ

Havva Merve TUNCER tarafından hazırlanan tez çalışması 26.11.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Zehra Canan GİRGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zehra Canan GİRGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Zafer AKDEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Fırat Oğuz EDİS
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2015-03-01YL01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Programında hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında yüksek yapılar, rüzgar davranışı ve yapıya etkisi araştırılmıştır. Temel yapı planları için, bir benzeşim programıyla yapılan parametrik analizlerin sonuçlarını içeren bu tez daha kapsamlı konuların çalışılması için bir ilk basamak niteliğindedir.

Tez çalışması süresince, her zaman bana destek olan ve daima yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Zehra Canan Girgin'e, benzeşim programının etkin kullanımı ve bu süreçte göstermiş oldukları ilgi ve paylaştıkları engin bilgilerinden dolayı Prof. Dr. Fırat Oğuz Edis ve çalışma arkadaşlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmem için maddi manevi her konuda desteklerini esirgemeyen ve hep yanımda olan aileme ve bu zorlu tez süreci boyunca bana destek olan arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Aralık, 2015

Havva Merve TUNCER

İÇİNDEKİLER

Sayfa	
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTIMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
YÜKSEK YAPI ve GELİŞİMİ.....	3
2.1 Yüksek Yapı Tanımları.....	3
2.2 Yüksek Yapı Tarihçesi.....	5
2.3 Yüksek Yapı ve Cephe Sistemlerindeki Gelişmeler.....	7
BÖLÜM 3	
RÜZGAR ve BİNA AERODİNAMİĞİ	20
3.1 Rüzgar Oluşumu ve Temel Özellikleri	20
3.2 Rüzgarın Çeşitleri ve Yapısı	21
3.3 Rüzgar Hızı ve Etkileyen Faktörler	22
3.4 Yükseklik – Rüzgar Hızı Değişimi	23
3.5 Rüzgar ve Yüksek Yapı Etkileşimi.....	23
3.6 Rüzgar Yükleri ve Yüksek Yapı İlişkisi	25
3.7 Rüzgar Tüneli Testleri ve Özellikleri	28
3.8 Rüzgar Tüneli ve Yapısal Tasarımı	29

3.9	Rüzgar Tüneli Gelişimi.....	29
3.10	Güncel Rüzgar Tüneli Tanımı	30
BÖLÜM 4		
4.1	ASCE 7-10 Standart İncelemesi	32
4.2	Benzeşim Programının Özellikleri ve Analizler.....	40
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		60
KAYNAKLAR		62
EK-1		
ASCE 7-10 DIŞ BASINÇ KATSAYISI.....		66
EK-2		
ASCE 7-10 RÜZGAR DOĞRULTU KATSAYISI		67
EK-3		
ASCE 7-10 DIŞ BASINÇ KATSAYISI.....		68
EK-4		
ASCE 7-10 ÖNEM KATSAYISI.....		69
ÖZGEÇMİŞ.....		70

SİMGE LİSTESİ

B	Yapının rüzgara dik yöndeki uzunluğu
c	Türbülans şiddeti bağıntısında kullanılan katsayı
C_p	Dış basınç katsayısı
C_t	Frekans bağıntısında kullanılan katsayı
G_f	Esnek yapılar ve diğer yapıların rüzgar kuvvetine karşı dayanımları için hesaplanan ani rüzgar etkisi faktörü
gQ	Zemin tepkisi için tepe faktörü
g_r	Rezonans tepkisi için tepe faktörü
g_v	Rüzgara karşı gelen tepe faktörü
h	Yapı yüksekliği
I	Önem katsayısı
I_z	Türbülans şiddeti
K_d	Rüzgar doğrultusu katsayısı
K_z	Hız basıncına maruz kalma katsayısı
K_{zt}	Topografya katsayısı
l	Türbülans uzunluğu bağıntısında katsayı
L_z	Türbülans uzunluğu
n_1	Yapının doğal frekansı
N_1	Düşük frekans
n_h, n_b	Rezonans tepki faktöründe kullanılan katsayı
n_1	Rezonans tepki faktöründe kullanılan katsayı
P	Rüzgar yükünü belirlemede kullanılan tasarım basıncı
Q	Geri plan tepkisi
R	Rezonans tepki faktörü
R_b, R_L	Rezonans tepki faktöründe kullanılan katsayı
R_n, R_h	Rezonans tepki faktöründe kullanılan katsayı
q_z	Yerden z yüksekliğinde meydana gelen hız basıncı
V	Rüzgar hızı
z	Yapı yüksekliğinin en az %60'ı
z_g	Nominal yükseklik
α	Hız basıncına maruz kalma bağıntısında kullanılan katsayı
β	Sönüm oranı
ε	Türbülans uzunluğu bağıntısında kullanılan katsayı

KISALTMA LİSTESİ

ASCE	American Society of Civil Engineering
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BBRI	Belgium Building Research Institute
CTBUH	Council of Tall Buildings and Urban Habitat
DIN	Deutsches Institut für Normung
HVAC	Heating Ventilation Air-Conditioning
HFFB	High Frequency Force Balance
IDF	Instrument Definition File
İYBRY	İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği
NIST	National Institute of Standards and Technology
WEB	Wind Energy for the Built Environment

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kırsal ve kentsel şehirlerde yüksek yapı	4
Şekil 2.2 Genişlik ve yükseklik ilişkisi	4
Şekil 2.3 Yüksek yapı teknolojileri	4
Şekil 2.4 Gize Piramitleri	5
Şekil 2.5 Babil Kulesi	6
Şekil 2.6 İskenderiye Feneri (Eskiz Alman arkeolog Thiersch tarafından 1909 yılında tahmini olarak çizilmiştir.).....	6
Şekil 2.7 (a) Ulm Kilisesi (b) Yakushi Pagodası	7
Şekil 2.8 Home Insurance Building	8
Şekil 2.9 (a) Equitable Life Building (b) Home Insurance	9
Şekil 2.10 Eiffel Tower	9
Şekil 2.11 Monadnock Building cephe ve kesiti	10
Şekil 2.12 Reliance Building	10
Şekil 2.13 Chrysler Binası	11
Şekil 2.14 Chrysler Binası cephe detayı ve kullanılan elemanlar.....	11
Şekil 2.15 Empire State Binası	12
Şekil 2.16 1950'lerde kullanılan cam cephe kesiti.....	12
Şekil 2.17 (a) United Nations Secretariat (b) Lever House.....	12
Şekil 2.18 DeWitt Chesnut Apartment Building	13
Şekil 2.19 John Hancock Center cephe ve detay çizimi	13
Şekil 2.20 Halensee Office Building	14
Şekil 2.21 Dış katmanı geçirimsiz (A) ve geçirimli (B) çift katmanlı cephelerde rüzgar yükleri.....	15
Şekil 2.22 Commerzbank Building doğal havalandırma ve cephe detayı	16
Şekil 2.23 Bahreyn World Trade Center	16
Şekil 2.24 Castle House	17
Şekil 2.25 Federal Building cephe detayları	17
Şekil 2.26 Capital Gate cephe detayları.....	18
Şekil 2.27 Capital Gate	18
Şekil 2.28 Shanghai Tower.....	19
Şekil 2.29 Shanghai Tower çift cephe detayı	19
Şekil 3.1 Yükseklikle rüzgar hızının değişimini etkileyen arazi kategorileri.....	23
Şekil 3.2 Hava akımı çeşitleri	23
Şekil 3.3 Binalar etrafındaki basınç alanları	24
Şekil 3.4 Yüksek ve alçak basınç alanlarında türbülans ve girdap akımları.....	24

Şekil	3.5 Binalar etrafındaki akım alanları	25
Şekil	3.6 Türbülans hava akımı oluşumu.....	26
Şekil	3.7 Girdaplar ve yan yüzeydeki girdap kopması yüklerinin oluşumu	27
Şekil	3.8 Wright'ın fan yerine motor eklenmeden önceki rüzgar tüneli modeli	30
Şekil	3.9 Rüzgar Tüneli Ana Bölümleri	30
Şekil	3.10 Yüksek yapılara gelen rüzgar yükleri için rüzgar tüneli örnekleri	31
Şekil	3.11 Farklı alanlarda kullanılan rüzgar tüneli örnekleri	31
Şekil	4.1 Preprocessor bölümü	40
Şekil	4.2 Solver bölümü.....	40
Şekil	4.3 Postprocessor bölümü.....	41
Şekil	4.4 Rüzgar hızı sınır tabaka ve rüzgar akışı gösterimi	41
Şekil	4.5 20 ^m x20 ^m x100 ^m , 30 ^m x30 ^m x300 ^m , 40 ^m x20 ^m x100 ^m , 80 ^m x20 ^m x100 ^m	42
Şekil	4.6 30 ^m x30 ^m x300 ^m 'lik yapı için açılan boşluk çeşitleri.....	42

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 ASCE 7-10 rüzgar yükü hesabı formülleri	33
Çizelge 4.2 Çeşitli yapılar için periyot ve frekans hesabı.....	36
Çizelge 4.3 20 ^m x20 ^m x100 ^m 'lik yapı için ASCE 7-10'a göre örnek yük hesabı	37
Çizelge 4.4 30 ^m x30 ^m x300 ^m , 20 ^m x40 ^m x100 ^m ve 20 ^m x80 ^m x100 ^m 'lik yapılar için ASCE 7-10'a göre örnek yük hesabı	39
Çizelge 4.5 100 ^m yüksekliğinde kare planlı (20 ^m) yapıda parça sayısı ve çevrim sayısına bağlı olarak A,B,C,D yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi	43
Çizelge 4.6 100 ^m yüksekliğinde kare planlı (20 ^m) yapıda 20 parça ve 8000 parça için A,B,C,D yüzeylerindeki görsel gerilme dağılımı	45
Çizelge 4.7 300 ^m yüksekliğinde kare planlı (30 ^m) yapıda parça sayısı ve çevrim sayısına bağlı olarak A,B,C,D yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi	46
Çizelge 4.8 300 ^m yüksekliğinde kare planlı (30 ^m) yapıda 90 parça ve 9000 parça için A,B,C,D yüzeylerindeki görsel gerilme dağılımı	48
Çizelge 4.9 100 ^m yüksekliğinde dikdörtgen planlı (20 ^m x40 ^m) yapıda parça sayısı ve çevrim sayısına bağlı olarak A ve tepe yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi	49
Çizelge 4.10 100 ^m yüksekliğinde dikdörtgen planlı (20 ^m x40 ^m) yapıda 40 parça ve 4000 parça için A,B,D ve tepe yüzeylerindeki görsel gerilme dağılımı.....	51
Çizelge 4.11 100 ^m yüksekliğinde dikdörtgen planlı (20 ^m x80 ^m) yapıda parça sayısı ve çevrim sayısına bağlı olarak A ve tepe yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi	52
Çizelge 4.12 100m yüksekliğindeki dikdörtgen planlı (20 ^m x80 ^m) yapıda 80 parça ve 8000 parça için A,B,D ve tepe yüzeylerindeki görsel gerilme dağılımı.....	54
Çizelge 4.13 20 ^m x20 ^m x100 ^m 'lik yapı için açılan farklı boşluk tipleri için görsel gerilme dağılımı.....	55
Çizelge 4.14 20 ^m x20 ^m x100 ^m 'lik yapıda üstte açılan dikdörtgen boşluk için rüzgar hızı görseli.....	57
Çizelge 4.15 20 ^m x20 ^m x100 ^m 'lik yapıda altta açılan dikdörtgen boşluk için rüzgar hızı görseli.....	58
Çizelge 4.16 20 ^m x20 ^m x100 ^m 'lik yapıda altta açılan daire boşluk için rüzgar hızı görseli.....	59

YÜKSEK YAPILARDA YAPI RÜZGAR ETKİLEŞİMİ

Havva Merve TUNCER

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra Canan GİRGIN

İlk yüksek yapı olarak kabul edilen Home Insurance Building (Chicago, 1884) ile başlayan süreçte; geçmişten günümüze yüksek yapılarda, malzeme, taşıyıcı sistem, yapı formu ve kaplama tasarımı açısından önemli değişimler meydana gelmiştir.

Yüksek yapı tasarımında, tasarımı etkileyen en önemli faktör rüzgar etkisidir. Oval veya dairesel olmayan özellikle ortogonal yapı formlarında, rüzgarın yapıyı etkileme biçimi farklılaşır. Rüzgarın doğrudan etkilediği yüzeyde yükseklikle artan basınç gerilmeleri yanında, özellikle yan yüzeylerde cephe panellerini dışarı doğru iten çekme gerilmeleri oluşur. Söz konusu basınç ve çekme gerilmelerinin büyüklüğü ve değişimi, yüksek yapılarda kaplama tasarımını doğrudan etkileyen en önemli etkenlerdir.

Ayrıca farklı yapı formları veya çevre yapılar da dikkate alındığında, yön ve şiddeti değişen rüzgar akımının etkisiyle, ivme değerleri ve tepe yerdeğiştirmeleri artmakta, yapıların yan ve arka yüzeylerinde girdap etkisi oluşabilmektedir, yayalar ve çevre yerleşimler üzerine beklenmedik olumsuz etkileri de söz konusudur. Girdap etkisi ile rüzgara dik doğrultudaki salınım, bazı ekstrem durumlarda yapıda rezonans riski de oluşturabilmektedir.

Bu tez kapsamında öncelikle rüzgar-yapı etkileşimi için, bir benzeşim programı (Cradle scStream) kullanılarak çeşitli modellemeler yapılmıştır. Farklı plan ve yükseklikteki yapılar, yapıların tek başına olması durumu için, söz konusu program ile analizleri yapılarak cepheye gelen rüzgar yükleri ve kısmen rüzgar hızları irdelenmiştir. Söz konusu program Eurocode-1'de belirtilen 3-sn'lik maksimum rüzgar hızını esas almaktadır.

Diğer taraftan, ASCE 7-10'da belirtilen ortalama hız değerine göre, yapılara etkiyen teorik rüzgar yükü hesabı da yapılmıştır. Tez, aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

Çalışmanın Birinci bölümünde, çalışmanın amaç ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci Bölümde; yüksek yapıların tanımı, tarihi ve teknolojik gelişimi anlatılmıştır. Yüksek yapılarda kullanılan cephe panellerinin geçmişten günümüze gelişmeleri ve özellikleri örnekler verilerek açıklanmıştır.

Üçüncü Bölümde; rüzgarın yapısı ve özellikleri, yapı formu, çevresinde meydana gelen akımın özellikleri ve bu akımın yüksek yapıya olan etkisi açıklanmıştır. Daha sonra rüzgar tüneli deneylerinin özelliklerinden bahsedilmiştir.

Dördüncü Bölümde; ASCE 7-10 Yönetmeliği 6. Bölüm'de bulununan rüzgar ile ilgili bağıntılar irdelenmiş, takiben Eurocode-1'i esas alan benzeşim programıyla parametrik olarak analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Böylece yapıların form ve yükseklikleri ile cephelerde oluşan gerilmelerin değişimlerine ilave olarak, yapıda açılacak boşluk ve yırtıkların rüzgar yükü ve hızına etkisi irdelenmiştir.

Beşinci Bölümde; çalışmada incelenen konulardan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek yapı, yüksek yapılarda girdap etkisi, cephe paneli, rüzgar, rüzgar ve yüksek yapı, standartlar, benzeşim programı.

BUILDING – WIND INTERACTION IN TALL BUILDINGS

Havva Merve TUNCER

Department of Architecture Program

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Zehra Canan GİRGIN

First tall building is accepted as Insurance Building (Chicago, 1884). The types of materials, structural systems and cladding have been developing from past to present.

The most important factor affecting the design of a tall building is the wind effect. The importance of wind is higher especially in orthogonal buildings compared with the buildings of oval and circular plans. Pressure on upstream face increases the lateral displacements and along-wind accelerations. Tensile stresses (suction) occur on back and transverse surfaces, and push outward the claddings. By taking surrounding buildings into consideration as well, the magnitude and direction of wind may change and cause negative effects on tall building, its surrounding, and pedestrians.

In this thesis, by addressing current literature, the building form on wind fluctuations, longitudinal and transverse directions are investigated via simulation program (Cradle scStream). The wind loading on building claddings (along wind accros wind, leeward sides) are discussed in detail. Theoretical wind loads acting on the building cladding is determined according to ASCE 7-10. In addition, the parametric analyses are carried out via Cradle ScStream simulation program based on Eurocode-1 which 3-s peak velocities are essential. The evaluations of parametric analyses are compared for different forms and heights.

The First Chapter presents the purpose and scope of the study.

In the Second Chapter; the definition, background and technological progress of tall buildings are explained. Furthermore, the progress and characteristic features in the claddings of tall buildings are expressed with examples.

In the Third Chapter; the configuration and characteristics of wind, building shape and the drift characteristic are explained. Later, the typical features of wind tunnel experiments are mentioned and simulation program used in this thesis are explained.

In the Fourth Chapter; the relationships in ASCE 7-10 Section 6 are introduced. The parametric analyses with the simulation program and the evaluations were made. These comparisons lead to the most appropriate building forms.

Conclusions of the thesis are expressed in the Fifth Chapter.

Keywords: Tall building, vortex shedding in tall buildings, cladding, wind, wind and tall building, standards, simulation program.

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde yüksek yapıların tasarımına etki eden önemli bir yanal yük de rüzgardır. Rüzgar esnek binalarla etkileşime girebilmekte, gerek rüzgar kuvvetlerini gerekse rüzgar kaynaklı bina salınımını ciddi miktarda arttırabilmektedir. Esnek yapıların rüzgar etkisindeki davranışının gerçeğe yakın biçimde kestirilebilmesi, yüksek yapı tasarımı açısından önemli bir parametredir. Bu konuda yararlanılan bazı kaynaklar aşağıda verilmiştir.

CTBUH [4]’da yüksek yapılar konusundaki tanımlamalara yer verilmektedir.

Brookes ve Meijs [15] ‘de cephe sistemlerinin gelişimi ve detayları incelenmiştir.

Taranath [51] kaynağında rüzgarın doğası ve yüksek yapılara etkisi ayrıntılı olarak ele alınmış, ASCE 7-10 ‘a göre rüzgar yüklerinin hesabı verilmiştir. Ayrıca yüksek yapı tipleri ayrıntılı irdelenmiştir.

Günel ve Ilgın [57] ‘da rüzgar etkisi ve yüksek yapı tipleri ve davranışı incelenmiştir.

NIST 1655 [60] kaynağında rüzgar tüneli konusunda ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

ASCE 7-10 [54] kaynağından rüzgar yüklerinin hesabıyla ilgili bağıntılar ve ekler verilmiştir.

Bu çalışmada; bir benzeşim programı kullanılarak yüksek yapı ile rüzgar arasındaki etkileşimden hareketle rüzgar yüklerinin hassas biçimde belirlenmesi hedef alınmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Yüksek yapılarda rüzgar etkilerinden dolayı salınımı kontrol altına almak için bina formunun seçimi, rüzgar etkisinin doğru tahmini, uygun cephe kaplamaları ve birleşimlerinin seçimi son yılların önemli araştırma konularından birisidir. Bu çalışmada, yüksek yapılarda form ve buna bağlı olarak cephelere etki eden gerilmeler scStream benzeşim programı ile kapsamlı araştırılmıştır. Yapılan analizler ile ön, yan ve arka cephelerde oluşan basınç ve çekme gerilmeleri incelenmiş, yapı formunun gerilmeler üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Söz konusu gerilmelerin doğruluk düzeyinin parça sayısı ve iterasyon sayısı ile değişimi, plan formu ve yükseklikteki değişimlerin etkisi, cephede boşluk açılması durumunda gerilmeler ve hızlardaki değişim gibi konular söz konusu benzeşim programı vasıtası ile incelenmiştir.

Türkiye’de yüksek yapıların hızla arttığı bu dönemde Yüksek Yapı Yönetmeliğinin halen taslak halinde olması ve çok kapsamlı olmaması; yüksek yapı formu-cephe-rüzgar ilişkisi üzerine çalışmaların son derece sınırlı olması nedenleri ile, söz konusu konuda yapılacak bu çalışmanın yüksek yapı tasarımcılarına ışık tutması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, güncel literatür ışığında bir rüzgar benzeşim programı ile yapı formları modellenerek, rüzgar akışının değişimi ve yapı rüzgar yükleri parametrik bazda incelenmiştir. Yan cephede meydana gelen çekme gerilmelerinin, ön cephede meydana gelen basınç gerilmelerinden daha büyük olduğu izlenmiştir. Bu durum kaplama tasarımını ve yaya güvenliğini rüzgar açısından irdelenmesini ön plana çıkartmaktadır.

BÖLÜM 2

YÜKSEK YAPI ve GELİŞİMİ

Bronz çağından itibaren günümüze kadar çeşitli amaçlar için inşa edilen yüksek yapılar, mimari tasarımdan mekanik tasarıma kadar sürekli gelişme içindedir. Bu gelişmeler ışığında yüksek yapılar ve cephe sistemlerinin tarihçesi bu bölümde ele alınacaktır.

2.1 Yüksek Yapı Tanımları

Yapıların hangi yükseklik/kat adedinden sonra yüksek yapı veya gökdelen olarak adlandırılacağına dair genel bir fikir birliği yoktur. Yüksek yapılar, Alman Standartları (DIN)'a [1] göre en yüksek noktası 22 m'yi aşan, American National Standards Institute (ANSI)'ya [2] göre ise en yüksek noktası 12 m'yi aşan binalar olarak tanımlanır. Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Kurumu'nun (ASHRAE) [3] tanımına göre ise; yüksekliği rüzgarı alan yüzey genişliğinin üç katından daha fazla olan yapılar yüksek yapıdır. Council of Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) [4]; yapı yüksekliği için; açık-hava yaya girişinden itibaren, anten ve bayrak direğini ihmal ederek, bina tepesine kadar olan mimari/taşıyıcı sistem yüksekliğini esas alır. Yüksek yapılar New York'da itfaiyecilerin ulaşabildiği yükseklik sınırı olan 10 kat ve üstündeki binalar olarak tanımlanmakta olup “yükseklik” ile ilgili aşağıdaki tanımlar yapılmıştır.

Bağlı Yükseklik: Bu bağlam sadece yükseklikle alakalı değil yapının içinde bulunduğu konumla alakalıdır. Örneğin 14 katlı bir bina, Chicago ya da Hong Kong gibi yüksek katlı şehirlerde uzun bir bina olarak kabul edilmez iken, Avrupa'da herhangi bir taşra ya da banliyöde kentsel normlara göre daha belirgin şekilde uzun kabul edilir (Şekil 2.1).



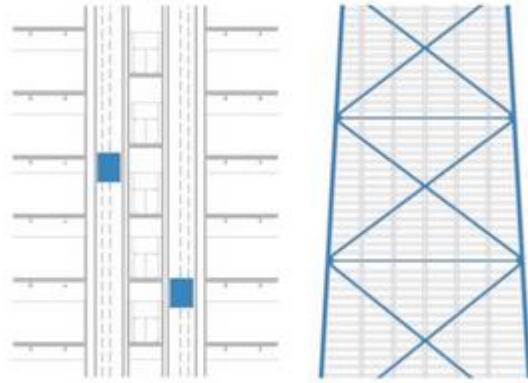
Şekil 2.1 Kırsal ve kentsel şehirlerde yüksek yapı [4]

Narinlik: Günümüzde yüksek yapı olmayan ama yüksek yapı görünümü vermek için yeterli narinlikte inşa edilen birçok bina vardır. Yüksek olmasına karşılık yükseklik/kat alanı oranı düşük olduğu için yüksek bina tanım alanına giremeyen çok sayıda yapı vardır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Genişlik ve yükseklik ilişkisi [4]

Taşıyıcı Sistem Teknolojileri: Eğer bir yapı, yüksekliği arttırmak üzere yeni bir taşıyıcı sistem teknolojisi içeriyorsa yüksek yapı olarak kabul edilebilir. 14 ya da daha fazla kat ya da 50 metre bir eşik değer kabul edilip yüksek yapı olarak düşünülebilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Yüksek yapı teknolojileri [4]

Farklı yapılar ve işlevler içeren, kat yüksekliği her katta değişen yüksek yapılar için kat sayısı yüksek yapıyı tanımlayan bir etmen değildir. Yüksek yapılar için yapılmış diğer bazı tanımlar şöyledir:

- “Yapı kurallarına göre; asansör konulma zorunluluğundan dolayı 5 yada daha fazla katlı binalar” (Beedle).
- “Belirli bir şehir parçasındaki yapıların yüksekliğini aşan binalar” (Acerknacht).
- “Yüksek bir yapı yüksekliği ile çevresindeki binalardan farklı bir tasarım, konstrüksiyon ve kullanım koşulları oluşturan bina” (Beedle & Rice)
- Nitelik açısından yapılan bir tanımlamada ise,
“Yüksekliği planlamayı, tasarımı ve kullanımı kesinlikle etkilemektedir” veya
“Bir yapı ki; yüksekliği nedeniyle tasarım, konstrüksiyon ve kullanımda belirli bir bölge ve devrin sıradan yapılarında var olanlardan farklı durumlar belirtir” (Tall Buildings)

2.2 Yüksek Yapı Tarihçesi

Binaların yükselmesini esas alarak yüksek bina başlangıç tarihini, bronz çağına kadar götürünlere rastlamak mümkündür. Yükseklikleri ile çevre yapılardan farklılık gösteren ve işlevi yükseklik gerektiren bu yapılara her dönemde rastlama olanağı vardır. Minare, çan kulesi, dikilitaş, saat kulesi, televizyon yayın kulesi gibi çok farklı işlevli, ancak yükseklikleri ile öne çıkan tüm yapılar yüksek yapıdır. Ancak, tarihsel süreç içinde yüksek yapılar ilk olarak anıtsal ve dini amaçlarla yapılmaya başlamış, daha sonra çağdaş sistemlerin gelişmesiyle kendine özgü yerini bulmuştur.

Mısırlılar’ın M.Ö. 2600 yıllarında kralları *Keops*’u gömüp, hazinesini saklamak için taştan yaptıkları *Gize Piramitleri*, tarihin en eski yapılarından biri olup, 146 m yüksekliği ile yüksek yapıların ilkidir. 43 yüzyıl boyunca dünyanın en yüksek yapısı olma unvanını elinde tutmuştur (Şekil 2.4). Daha sonra Yemen’de Haroz Dağları’nda temelleri moloz taşlardan yapılan, üst katları saman ve çamurdan, 60 cm kalınlığında kesme taştan bloklar ile yükselen, mesken işlevli kule evler yapılmıştır [5].



Şekil 2.4 Gize Piramitleri [6]

M.Ö.600’de pişmiş kerpiçten mabet olarak yapılan 90 m yüksekliğindeki *Babil Kulesi*, gizemlilik, simgesellik ve yüklenen anlamlar açısından, antik dünyanın en önde gelen yapılarındandır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Babil Kulesi [7]

Dünyanın Yedi Harikasından sayılan *İskenderiye Feneri*, M.Ö 246’da tamamlanmıştır. Yüksekliği 135 m olan bu yapı, 1200 yıl boyunca dünyanın en yüksek yapısı olma unvanını taşımıştır, M.S 955 ve M.S 1302 yıllarındaki depremler sonucunda yıkılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 İskenderiye Feneri (Eskiz Alman arkeolog Thiersch tarafından 1909 yılında tahmini olarak çizilmiştir.) [8]

Gotik Mimari’de tuğlalarla yapılan ilk yapı *Ulm Kilisesi’dir* (Şekil 2.7), yapımına 1377’de taş temeli yapılarak başlanmış, 1543’de 100 m yüksekliğe ulaştığında inşaat durdurulmuş, 1817’de tekrar başlanarak 1890’da tamamlanmıştır. 1890-1901 döneminde dünyanın en yüksek yapısı olan bu yapı günümüzde 161.5 m ile dünyanın en yüksek kilisesi ünvanını taşımaktadır.

VIII. yüzyılda inşa edilmiş olan 34 m yüksekliğindeki *Yakushi Pagodası (Nara)* Japonya’daki pagodaların en eskisidir (Şekil 2.7). Esnek ve yıkılmadan harekete izin veren taşıyıcı sistemi 1300 yıldan beri depremlere karşı koymaktadır.



Şekil 2.7 (a) Ulm Kilisesi (b) Yakushi Pagodası [9],[10]

Tarihsel süreç içinde yüksek yapılar ilk olarak anıtsal ve dini amaçlarla yapılmaya başlamış, daha sonra çağdaş sistemlerin gelişmesiyle kendine özgü yerini bulmuştur.

2.3 Yüksek Yapı ve Cephe Sistemlerindeki Gelişmeler

Yüksek binalarda cephelerdeki gelişmeleri; kullanılan teknoloji, fonksiyon ve malzeme açısından incelersek, dört ana devreden bahsetmek mümkündür. Söz konusu dönemlerin anlatımı [11 - 23] kaynaklarından yararlanılarak oluşturulmuştur.

Yüksek bina yapımında ilk önemli ilerlemeyi 1856'da ekonomik ve seri biçimde çelik üretmeye imkan sağlayan *Bessemer Konvertörü*'nün geliştirilmesi sağlamıştır.

1851'de Elisha Otis'in güvenli asansörü geliştirmesi, Werder Von Siemens'in 1880'de ilk elektrikli asansörü geliştirmesi yüksek yapı alanında diğer önemli kilometre taşlarıdır.

William Le Baron Jenney tarafından Chicago'da yapılan *Home Insurance Building* (1885), yapısal çelik çerçevenin ilk kullanıldığı yapıdır, bu özelliği ile CTBUH tarafından ilk gökdelen olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.8). Bu yapı aynı zamanda ağır yığma yapılara kıyasla iç mekanın daha fazla ışık alabildiği hafif çelik yapılara öncülük etmiştir.



Şekil 2.8 Home Insurance Building [24]

- **1880-1900 Dönemi:**

Yüksek yapılar, teknolojik yenilikler ile beraber ilk olarak bu dönemde ortaya çıkmaya başlamıştır. Ağır kagir binaların yerini çelik çerçeveli daha hafif binalar almıştır. Bu binaların büyük bir kısmının cepheleri taş veya pişmiş toprak malzeme ile kaplıdır. Dış cephede yoğun olarak kullanılan süslemeler nedeniyle taşıyıcı sistemin dışarıdan algılanması oldukça güçtür.

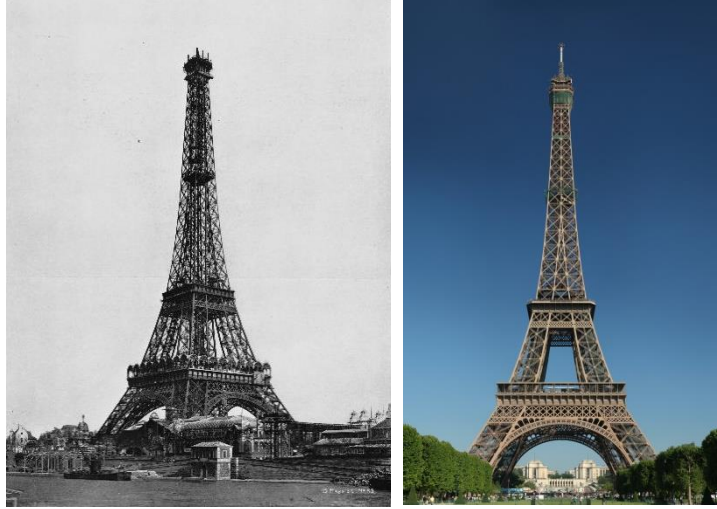
Arthur Gilman ve Edward H. Kendall tarafından tasarlanan *Equitable Life Building* (New York, 1870) yolcu asansörünün olduğu ilk yapıdır (Şekil 2.9). 7 katlı, 40 m yüksekliğindeki yapı ofis olarak tasarlanmıştır. Yangın dayanımlı tasarlandığı iddia edilse de 1912'nin ocak ayında çıkan yangında (aşırı soğukta yapıya sıkılan su donduğu için söndürme çalışmaları işe yaramamıştır) yok olmuştur.

Home Insurance Building (1885), yapısal çeliğin çerçevede kullanıldığı ve giydirme cephe konseptinin ilk ortaya çıkmasına neden olan yapıdır. Alt katlar dökme demir ve dövme demir çerçeveden, en üst iki kat ise yapısal çelik çerçeveden yapılmıştır. Çelik çerçevenin verdiği avantaj ile cephede pencere için daha fazla boşluk bırakılabildiği. Dış cephede parlak terra cotta malzeme kullanılmıştır (Şekil 2.9).



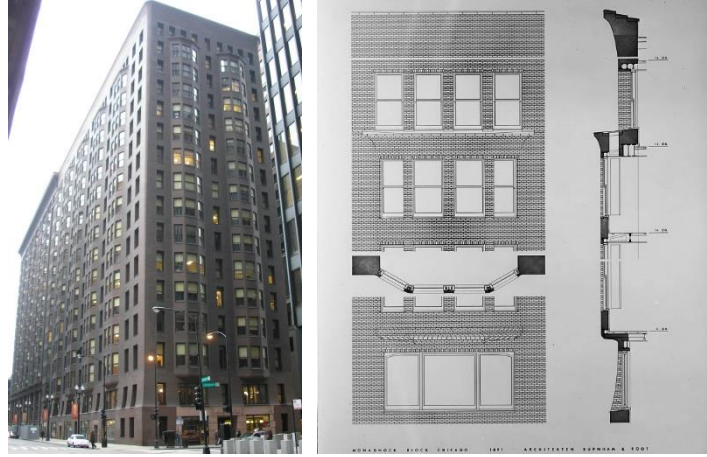
Şekil 2.9 (a) Equitable Life Building (b) Home Insurance [25], [26]

Avrupa’da inşa edilen ilk yüksek yapı, 1889 yılında Paris’te 24 m yüksekliğindeki televizyon anteni ile beraber 324 m yüksekliğe sahip, yüksek yapı tasarımcılarına ilham kaynağı olan *Eiffel Tower*’dır. 1930 yılında *Chrysler Building* inşa edilene kadar dünyadaki en yüksek yapı unvanını elinde tutmuş, Millau Viaduct’unden sonra Fransa’daki en yüksek ikinci yapıdır.



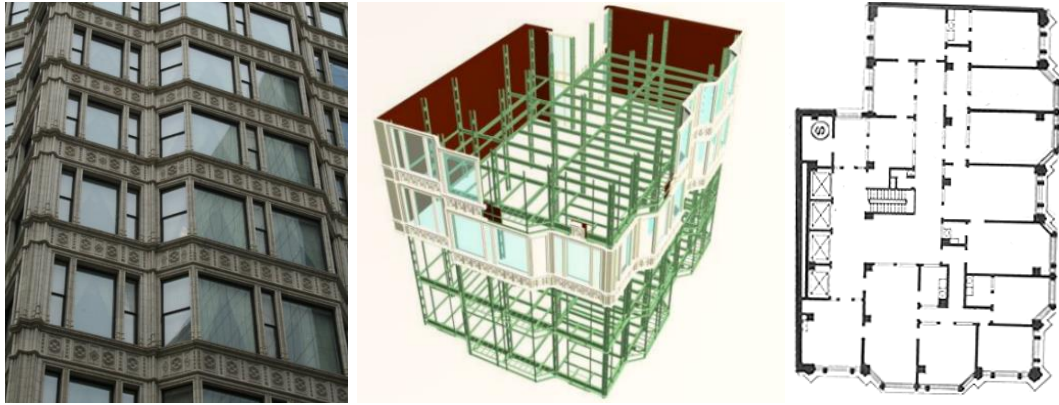
Sekil 2.10 Eiffel Tower [27]

Yığma sistemli ilk en yüksek yapı 1891 yılında Chicago’da tamamlanan 65 m yüksekliğindeki *Monadnock Building*’dir (Şekil 2.11). Rüzgar etkisine karşı dökme demir kolon, dövme demir kiriş ve çaprazlar ile çerçeve düzeninde desteklenmiştir, dolayısıyla karma bir sistemdir. Yapı inşa edildikten sonra Chicago’nun zayıf zemin özelliklerinden dolayı 71 cm zemine gömülmüştür. Ağırlığı ve ışık alma azlığı bu tip yapıların sonunu getirmiştir.



Şekil 2.11 Monadnock Building cephe ve kesiti [28],[29]

14 katlı, 61 m yüksekliğinde çelik *Reliance Building* (1894, Chicago)'de cephede ilk defa büyük cam plakalar kullanılmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Reliance Building [30]

- **1900 – 1970 Dönemi:**

Home Insurance Building'den sonra bina yüksekliklerinde görülen hızlı artış, 1. Dünya Savaşı'na kadar bir yarış halinde sürekli olarak devam etmiştir. 1900'lü yılların başında, kolon ve kirişlerden oluşan taşıyıcı sistem elemanları birer mimari eleman olarak cepheye yansıtılmaya başlamıştır.

Aynı dönemlerde, 1870 yılında Manhattan'da inşa edilen *Equitable Life Building* New York'ta ilk imar kanununun (1916 Zoning Resolution) ortaya çıkmasına neden olmuştur. Formu ve yüksekliğinden dolayı meydana gelen gölge etkisi ve bu etki

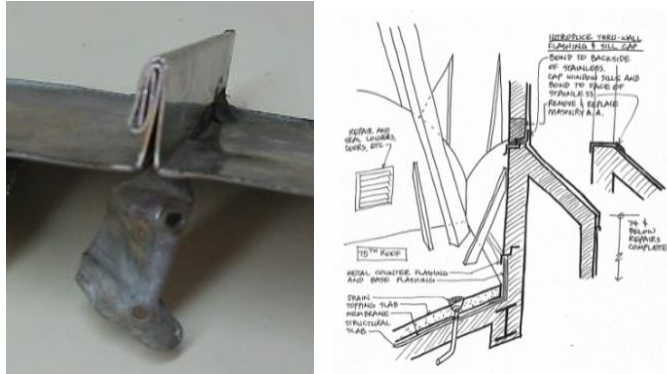
yüzünden çevre yapı değerlerindeki düşüşe neden olmasından dolayı bu gibi yapıların gerekliliğinin farklı açılardan denetlenmesini gündeme getirmiştir.

1930 yılında Manhattan'da inşa edilen 163 m yüksekliğindeki Chrysler Binası, paslanmaz çelik sacın mimaride ilk defa kullanıldığı yapıdır (Şekil 13). Yapının kule ucu 60. kattan başlayan paslanmaz çelik sac ile örtülüdür.



Şekil 2.13 Chrysler Binası [31]

Yaklaşık 12500 tane sac panel kullanılmıştır. Sac paneller binaya dar şeritler halinde cleat adı verilen katlanmış metallere sabitlenmiştir (Şekil 2.14).



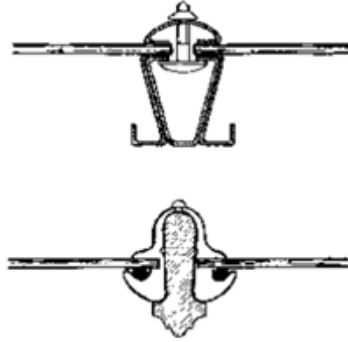
Şekil 2.14 Chrysler Binası cephe detayı ve kullanılan elemanlar [13]

Bu dönemin önde gelen yapılarından bir diğeri Richmond Shreve, William Lamb ve Arthur Harman tarafından tasarlanan 102 katlı, 381 m yüksekliğinde *Empire State Building*'dir (1931). Binanın önemli özelliklerinden bir tanesi bu bina için tasarlanmış giydirme cephe sistemidir. Bu sistem günümüzde yaygın olarak yüksek yapılarda kullanılan esneklik kavramına öncülük etmiştir.



Şekil 2.15 Empire State Binası [32]

1950'lerde yüksek yapılarda cephe sistemlerinde görülen en önemli ilerleme cam giydirme cepheler ve beraberinde ortaya çıkan dikdörtgen veya kare kutu profiller ile düşey ve yatay çerçeve elemanları olmuştur (Şekil 2.16) .



Şekil 2.16 1950'lerde kullanılan cam cephe kesiti [14]

1950'lerde Amerika'da yüksek katlı ofis binalarında görülmeye başlanan bu sistemlerin öncüsü olarak Oscar Niemeyer, Le Corbusier ve ekibi tarafından tasarlanan 1952 yılında tamamlanan 39 katlı, 154 m yüksekliğindeki *United Nations Secretariat* ve Gordon Bunshaft ve Natalie de Blois tarafından tasarlanan 1952 yılında tamamlanan 21 katlı 94 m yüksekliğindeki *Lever House* (Şekil 2.17) gösterilebilir.



Şekil 2.17 (a) United Nations Secretariat (b) Lever House [33], [34]

- **1970 ve Sonrası Dönemler**

Bu dönemin başındaki en önemli adım F. Kahn'ın geliştirdiği tüp sistem fikri olmuştur. Bu sistem ile kolonları yapının dış cephesine toplamış, böylece çekirdek ile dış kolonlar arasında düşey taşıyıcı elemanların minimum düzeyde olduğu, iç kısmı ferah ve serbest yüksek yapılar tasarlama imkanı oluşmuştur. Chicago'da 1966'da 43 katlı 120 m yüksekliğindeki *DeWitt Chestnut Apartment Building*, çerçeve ve tüp sistemin kullanıldığı ilk yapı olmuştur. Cephede kaplama malzemesi olarak mermer tercih edilmiş, pencerelerde renkli camlar kullanılmıştır.



Şekil 2.18 DeWitt Chesnut Apartment Building [35]

Çerçeve tüp sistemlerin yüksek binalar için artılarının yanında kapalı bir form oluşturmasından dolayı cephede ışığın içeri alınmasıyla ilgili dezavantajları da mevcuttu.

1970 yılında Chicago'da tamamlanan 344 m yüksekliğinde 100 katlı *John Hancock Center* taşıyıcı sistemin cepheye yansıtıldığı ilk örneklerdendir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 John Hancock Center cephe ve detay çizimi [36], [37], [38]

Özellikle 1970 yıllarındaki enerji krizi, yapım endüstrisi alanında gelişmelerin hızlanmasını ve yeni teknolojilerin geliştirilmesini sağlamıştır. Giydirme cephelerin çok katlı yapılara 2. Dünya Savaşı'ndan sonra uygulanmaya başlanması ile birlikte istenilen konfor koşullarının sağlanamaması yapay iklimlendirme sistemlerinin kullanımını zorunlu kılmaya başlamış ve yapılarda enerji tüketiminin büyük oranda artmasına neden olmuştur. Kullanılan sistemlerin çevre denetiminde zayıf kalması, yapının ana cephesi dışına ikinci bir cephe katmanı yerleştirilerek iç ve dış ortam arasında denetimli bir ara bölge oluşturan çift cephe sistemlerini ortaya çıkarmıştır.

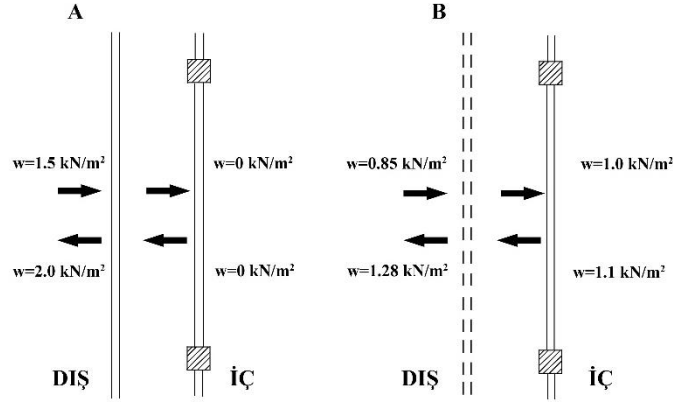
Çift cepheler, kullanıcı konforunu düşürmeden, yapıyı ısı kayıp ve kazançlarından koruyarak enerji tüketimini azaltan sistemlerdir. Çift cephede ses ve ısı yalıtımı, doğal havalandırma, yangın dayanımı ve enerji tüketimini azaltmak gibi istekler için farklı amaçlarda üretilip farklı çözümler ortaya çıkarılabilmektedir.

1990 yılında Berlin'de otoyol kenarında inşa edilen *Halensee Office Building*'de, yoğun gürültü ve dumandan korunmak için, düşey kanallı çift cephe sistemi uygulanmıştır (Şekil 2.20). Dış cephe tamamen kapalı tutulmuştur ve kullanılan bu sistemle yapıya gelen ses düzeyi 30 dB düşürülmüştür.



Şekil 2.20 Halensee Office Building [39], [40]

Bazı çözümler ile çok katlı yapıların üst katlarında ikinci katman iç cepheye gelen basıncı azaltarak pencere açılımına ve böylece doğal havalandırmaya izin verebilmektedir (Şekil 2.21).



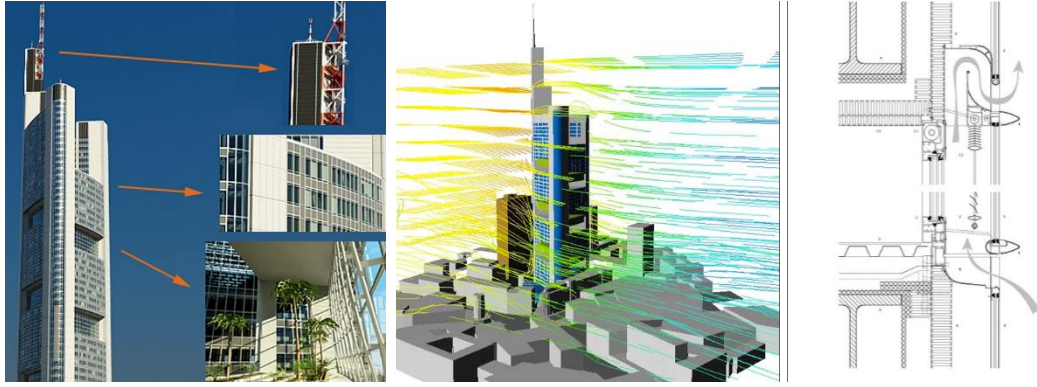
Şekil 2.21 Dış katmanı geçirimsiz (A) ve geçirimli (B) çift katmanlı cephelerde rüzgar yükleri [41]

1970'ten sonra cephelerdeki genel anlayış geçmişte uygulanan cephelere ek olarak, 1980'lerden itibaren cephelere eklenen elemanlar ile yapılara mekanik bir görüntünün verilmesi olmuştur.

Günümüz giydirme cephe sistemlerinin esasını oluşturan ilk uygulamalar, "Patch Fitting" adı verilen elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra Peter Rice, Martin Francis ve Ian Richie tarafından geliştirilen sistemde "Patch Fitting" ve cam kirişler kaldırılarak, cephe taşıyıcı sistemi minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Giydirme cephe sistemlerinin gelişim süreci, camların cephe taşıyıcı sisteminin daha hafif görülmesi ya da mümkünse hiç fark edilmemesi için yapılan çalışmalarla devam etmiştir.

Dönemin bir diğer gelişmesi ise, düşey ve yatay bağlantıları ortadan kaldırabilmek amacıyla geliştirilen transparan cephe sistemlerdir. Bu cepheler; noktasal bağlantı elemanlarıyla birleşmiş cam yüzeylerin belirli bir taşıyıcı sisteme bağlanması ve oluşan sistemin yüklerini yapının taşıyıcı sistemine aktarması vasıtasıyla çalışır. Transparan cephe sistemlerinin diğer cephe sistemlerinden farkı, alt taşıyıcı sistemin alüminyum profiller ile değil, cam veya paslanmaz elemanlarla oluşmasıdır.

1994 yılında Chicago'da inşa edilen, anten dahil toplam yüksekliği 300 m olan *Commerzbank Building* Norman Foster imzalıdır. Üçgen formla yükselen yapıda 4 katta bir tekrarlanan toplam 9 adet iç bahçe mevcuttur. Merkezde yer alan üzeri şeffaf atrium, yapıyı ayrı parçalara bölerek gün ışığını yapıya tamamen ulaştırmakta ve yapının havalandırılmasını sağlamaktadır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Commerzbank Building doğal havalandırma ve cephe detayı [42], [43]

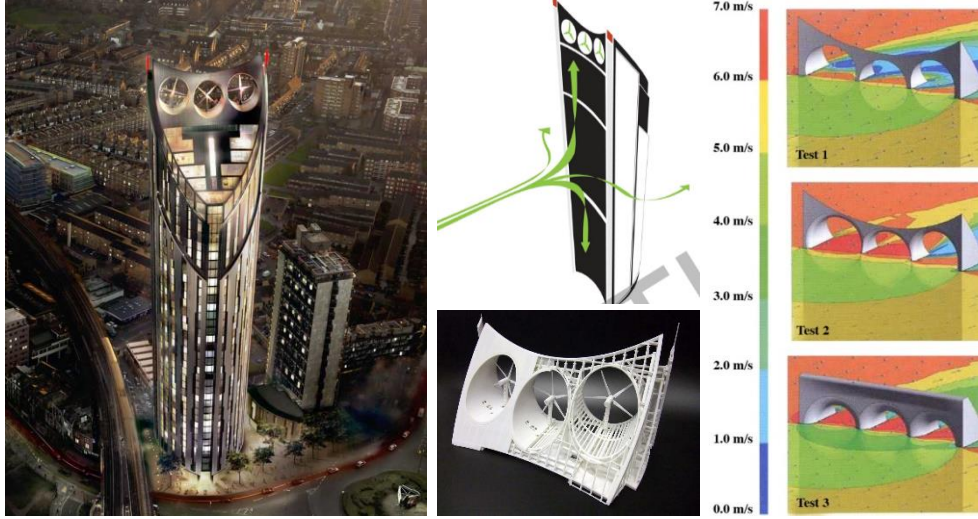
2000 yılında WEB projesi (Wind Energy for the Built Environment) kapsamında bina entegre türbin teknikleri geliştirmek ve bu kapsamda rüzgarın enerji etkinliğini arttırmak için prototip yapılar üzerinde teorik ve uygulamalı testler yapılmıştır.

Proje kapsamında yapılan ilk örneklerden biri 2008 yılında tamamlanan *Bahrain World Trade Center*'dir (Şekil 2.23). 240 m yüksekliğinde yelken formunda iki kuleden oluşan yapı, İran Körfezi'nden gelen rüzgardan daha etkin yararlanmak için kuzeye yönlendirilmiştir. İki bina arasına yerleştirilen üç adet 29 m çaplı rüzgar türbinleri ile binanın ~% 30'unu karşılanmaktadır. Türbinler iki yapı arasına yerleştirilen 30 m'lik köprü üzerine yerleştirilmiştir. Binaya entegre biçimde yerleştirilen türbinler tek başına yerleştirilen türbinlere göre % 25 daha verimlidir.



Şekil 2.23 Bahreyn World Trade Center [44], [45]

2010 yılında Londra'da inşa edilen 147.9 m yüksekliğindeki *Castle House* toplam 408 dairenin aydınlatma elektrik ihtiyacını yapının son 20 katındaki 9 m çapında 3 adet rüzgar türbini ile karşılamaktadır (Şekil 2.24). Her türbin gürültüyü azaltmak için 3 kanat yerine 5 kanatlı olarak tasarlanmıştır. Türbinler bina için gerekli toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %8'ini karşılamaktadır.



Şekil 2.24 Castle House [46], [47]

2007 yılında San Francisco’da yapılan *Federal Building*, ABD’de doğal havalandırma kullanılan ilk ofis binasıdır (Şekil 2.25). Çalışma alanlarının % 70’inde doğal havalandırma sağlanırken, % 90’a yakın alan da doğal ışıkla aydınlatılmaktadır.



Şekil 2.25 Federal Building cephe detayları [20]

2010 yılında Abu Dhabi’de tamamlanan *Capital Gate* binasında kullanılan kardinal cephe sistemi güneş ışınlarını diğer cephe sistemlerine göre % 51 oranında kısıtlayan daha verimli bir sistemdir (Şekil 2.26). Kullanılan HVAC sistem ile enerji tüketimi de % 15 azalmıştır. Cam cephe, diagrid sistem boyunca yukarı doğru kıvrılarak devam eder ve yapının organik elemanlarını vurgular.



Şekil 2.26 Capital Gate Cephe Detayları [21]

Cephe kaplaması iki ana elemandan oluşur; cam giydirme cephe ve metal örgü güneş kırıcı sistem. Cephede meydana getirilen dokuma görüntüsü, bireysel cam panel elemanlarla karmaşık bir örgü sistemi kurularak oluşturulmuştur. Bütün olan cephe sadece zemin kattaki giriş, otoparka giden yaya yolu ve güneş kırıcı olarak kullanılan sistemin üzerindeki teras için kesilmiştir.



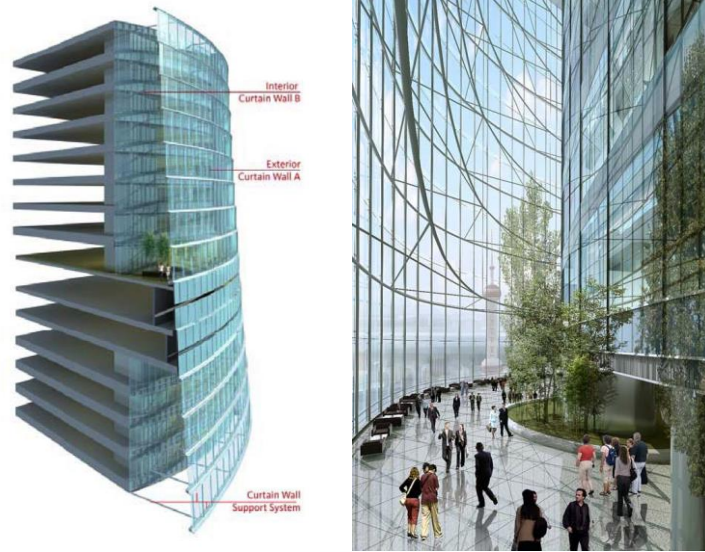
Şekil 2.27 Capital Gate [48], [49]

Shanghai'da 2015 yılında inşa edilen 632 m yüksekliğinde 128 katlı *The Shanghai Tower* Jun Xia tarafından tasarlanmıştır (Şekil 2.28). Yapı üst üste yığılmış dokuz silindirik kısımdan oluşur. İç tabakanın tamamı cam cephe ile kaplanmıştır. İç tabaka ve yükseldikçe dönen dış tabaka arasında bulunan dokuz adet kapalı bölge, ziyaretçiler için toplanma alanları oluşturur. Bu dokuz bölgenin her biri kendi atriyumu, bahçesi, kafe ve restoranı yanında 360° lik manzarasına da sahiptir.



Şekil 2.28 Shanghai Tower [22], [50]

120° lik dönüşle yükselen cam cephe, rüzgar yüklerini % 24 oranında azaltmak için tasarlanmıştır. Her iki katman cephesi de şeffaftır. Pek çok yapıda tek katmanlı cephede ısı emilimini azaltmak için yüksek yansıtıcı cam kullanılırken, bu yapıda çift katmanlı cam cephe, her iki cephenin de opak olması gerekliliğini ortadan kaldırmıştır.



Şekil 2.29 Shanghai Tower çift cephe detayı [22], [50]

RÜZGAR ve BİNA AERODİNAMIĞI

3.1 Rüzgar Oluşumu ve Temel Özellikleri

Rüzgar, hareket halindeki hava için kullanılan bir terimdir ve genellikle atmosferdeki havanın dünya yüzeyine yakın doğal yatay hareketinden meydana gelir. Yeryüzüne yakın hava hareketleri üç boyutludur ve yatay bileşeni düşey bileşenden çok daha büyüktür. Havanın yatay hareketi açısından, rüzgar hızının kademeli olarak azalması ve yeryüzüne yakın yerde meydana gelen türbülans, mühendislik ve mimarlık açısından önem taşımaktadır. Yüzeye yakın olmayan bölgedeki düşey hava hareketi ise meteoroloji açısından önemlidir.

Kentsel alanlarda türbülans bölgesi *yüzey sınır tabakası* olarak isimlendirilen yerden ~ 400 m yüksekliğe uzanır, bu seviyedeki rüzgar hızı ise *gradyan rüzgar hızı* olarak adlandırılır [51]. Bu tabakanın üzerindeki yatay hava akımı artık zeminden etkilenmez. Rüzgar enerjisi çevrime uğramış güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtamamasından oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgarı oluşturmaktadır. Rüzgar, yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket eden havanın dünya yüzeyine göre bağıl hareketidir. Yer değiştiren hava kütesine yerine dönmesinden kaynaklanan *Coriolis* kuvveti de etki eder. Ayrıca, rüzgarlar bir merkez çevresinde dolandıklarından santrifüj kuvvet etkisinde kaldıkları gibi, yeryüzü ile akışkan hava arasında sürtünme kuvvetinden de etkilenirler [52].

Sıcak bölgelerde alçak basınç, soğuk bölgelerde yüksek basınç alanları oluşur. Bu iki bölge arasında basınç farkının oluşması sonucu hava yer değiştirerek yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru hareket eder. İki bölge arasındaki basınç

farkı ne kadar büyük olursa, hava akım hızı o kadar fazla olur, basınç eşitlenirse rüzgar durur. Rüzgar sahip olduğu hıza göre esinti, fırtına gibi isimler alır [53].

Rüzgar aşağıda belirtilen yerlerde oluşabilir:

- Basınç gradyanının yüksek olduğu yerler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler,
- Güçlü jeostrofik rüzgarların etkisi altında kalan bölgeler,
- Kıyı şeritleri,
- Kanal etkilerinin meydana geldiği dağ silsileleri, vadileri ve tepeler.

Rüzgarın oluşumunun topoğrafya ile ilişkisi de önemlidir. Topoğrafyanın rüzgar üzerinde pürüzlülük, perdeleme ve orografik etkiler (tepe, sırt, basamaklı arazi yapısı, oluk vadi, yüksek plato) olarak önemli ilave etkileri söz konusudur.

3.2 Rüzgarın Çeşitleri ve Yapısı

Rüzgar türleri üç ana gruba ayrılır: Hakim rüzgarlar, mevsimlik rüzgarlar ve yerel rüzgarlar.

o Hakim Rüzgarlar :

Düşük basınçlı, ekvatorial kuşağa doğru hareket eden yüzeye yakın hava hareketine denir, alize rüzgarı olarak da adlandırılır. Kuzey yarımkürede, ekvatora doğru esen kuzey rüzgarı dünyanın dönüşünden dolayı saparak poyraza dönüşür ve kuzey doğu alize rüzgarı olarak bilinir. Güney yarımkürede buna karşılık gelen rüzgar, güneydoğu alize rüzgarıdır.

o Mevsimsel Rüzgarlar:

Mevsime göre yön değiştiren rüzgarlardır. Basınç farklılıklarından dolayı oluşan hava hareketlerinin sonucunda oluşan rüzgarlardır. Arazi üzerinden esen rüzgar, yakın okyanusların üzerinde oluşan rüzgara kıyasla yazın daha sıcak kışın ise daha soğuktur. Yaz mevsiminde, daha serin olan okyanuslardan esen rüzgar ile kıtalar, düşük basıncın etkisine girer. Kış mevsiminde ise, yüksek basınçlı rüzgar, kıtalardan daha ılık okyanuslara doğru hareket eder.

o Yerel Rüzgarlar:

Etki alanları dar ve yılın belli zamanlarında veya günün belli saatlerinde esen rüzgarlardır. Kasırğa ve fırtınalar gibi bölgesel olaylarla ilişkili olan rüzgarlardır, günlük yerel basınç ve sıcaklık değişiminden etkilenecek meydana gelirler. Sözkonusu değişimler engebeli arazi üzerinde meydana gelebilir, vadi ve dağ esintilerine neden olur. Rüzgar enerjisi uygulamalarında esas alınan rüzgar türüdür. Türkiye'de görülen yerel rüzgarlar, yıldız, poyraz, gün doğusu, keşişleme, kible, lodos, gün batısı ve karayeldir.

3.3 Rüzgar Hızı ve Etkileyen Faktörler

Rüzgar hızı, atmosferdeki rüzgarın, hava veya diğer gazların hareket hızıdır. Hareket vektörünün büyüklüğü, skaler bir niceliktir. Rüzgar hızı anemometre ile ölçülür. Rüzgar hızını etkileyen etmenler şöyledir [53];

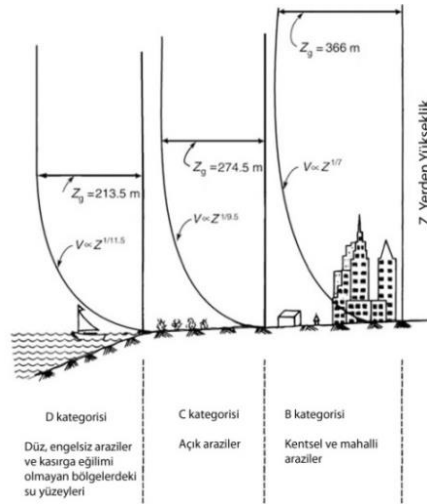
- Basınç Farkı ve Uzaklık: Alçak ve yüksek basınç merkezleri birbirine ne kadar yakın ve aradaki basınç farkı ne kadar fazla ise rüzgar o kadar hızlı eser, aradaki uzaklık arttıkça rüzgarın şiddeti azalır.
- Dünya'nın Günlük Hareketi: Dünya'nın günlük hareketinin etkisiyle rüzgarlar esme yönlerinden sapar. Bu nedenle rüzgarlar basınç farkını izlemeyip izobarlara paralel bir şekilde estikleri için hızları azalır.
- Yer Şekilleri: Yeryüzünün dağlık ve engebeli arazilerinde rüzgarın sürtünme etkisi arttığı için hızı azalır. Engebeli olmayan alanlarda, deniz ve okyanuslar üzerinde sürtünme etkisi azaldığından rüzgarın hızı artar.
- Rüzgarın Yönü: Rüzgarın yönü bulunulan noktaya göre belirlenir ve rüzgar hangi coğrafi yönden geliyorsa ona göre adlandırılır.
- Basınç Merkezlerinin Konumu: Rüzgârlar her zaman yüksek basınçtan alçak basınca doğru eserler.
- Rüzgarın Frekansı (Esmeye Sıklığı): Rüzgâr her yönden farklı sıklıkta eser. Rüzgârın belirli bir yönde yıllık esme sıklığına rüzgâr frekansı denir.

Statik rüzgar hızı, rüzgar hızının seçilen bir zaman aralığındaki ortalama değerini gösterir. Ortalama rüzgar hızının hesabında kullanılan zaman aralığı için Yönetmeliklerde farklı değerler kullanılmaktadır. ASCE 7-10 [54] Yönetmeliğinde 3 saniyelik ortalama değer kullanılırken EUROCODE-1'de [55] 10 dakikalık ortalama değer kullanılır.

3.4 Yükseklik – Rüzgar Hızı Değişimi

Havanın viskozitesi Şekil 3.1’de görüldüğü gibi yeryüzüne doğru gittikçe sifıra yaklaşır. Yavaşlatıcı etki nedeniyle iç tabakalar sırayla dış tabakaları yavaşlatır. Tersine, yükseklik arttıkça yavaşlama her katmanda azalır ve sonunda yok denecek kadar küçük hale gelir. Hız artışının kesildiği bu yüksekliğe *gradyan yükseklik* ve ilgili hıza da *gradyan hız* denir.

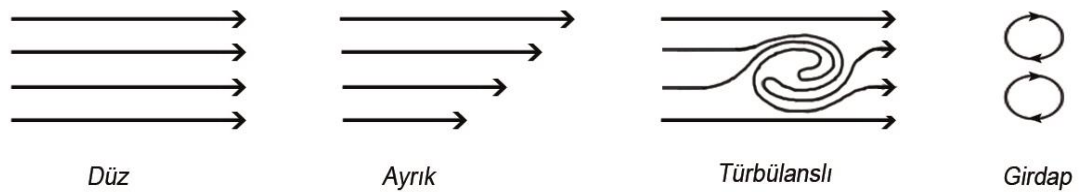
Yerden yaklaşık 366 m yükseklikte rüzgar, yüzeydeki sürtünmeden çok fazla etkilenmez ve hareketi sadece mevsimsel, yerel ve hakim rüzgar etkisine bağlıdır. Topografyanın etkilediği rüzgar hızının geçtiği yüksekliğe *atmosferik sınır tabaka* denir. Bu tabaka içindeki rüzgar hızı profilinin değişimi farklı arazi pürüzlülüğü ve etki kategorilerine göre Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Hız profili ile ilgili formülasyonlar Bölüm 4’de detaylı olarak verilmektedir.



Şekil 3.1 Yükseklikle rüzgar hızının değişimini etkileyen arazi kategorileri [51]

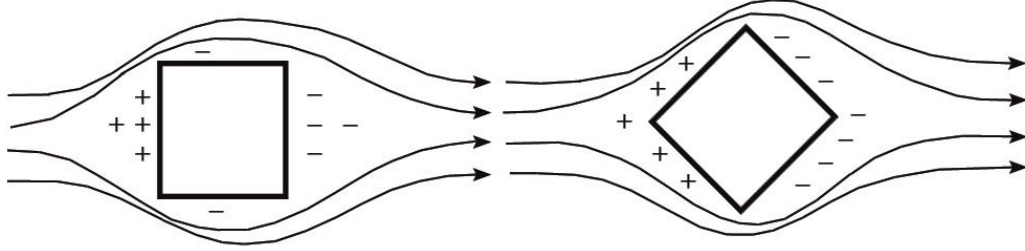
3.5 Rüzgar ve Yüksek Yapı Etkileşimi

Hava akımı basınç farklılıklarından doğal konveksiyon yolu ile oluşur. 4 temel hava akımı vardır. Bunlar; düzgün (laminer), ayırık, türbülanslı ve girdap akımlarıdır (Şekil 3.2) [54]. Dört durum, rüzgar tünellerinde dumanla elde edilen deney sonuçlarına benzer şekilde aşağıda gösterilmiştir.



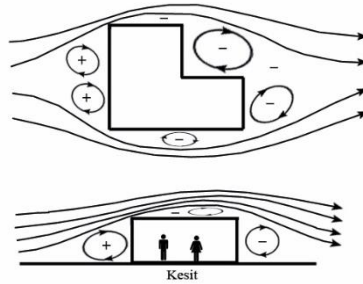
Şekil 3.2 Hava akımı çeşitleri [56]

Hava akımı bina gibi sert bir engel ile karşılaştığı zaman, düzgün akım türbülanslı akım haline gelir. Hava, binanın rüzgarın geldiği yöndeki cephesine çarptığı zaman bina yüzeyinde pozitif bir basınç alanı (+) oluşturur. Rüzgarın geldiği yöne göre binanın arkasında kalan cephesinde ise çekmeden kaynaklanan negatif bir basınç alanı (-) yaratır. Bina çevresinde sapma gösteren hava da negatif basınç oluşturur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Binalar etrafındaki basınç alanları [56]

Türbülanslı sınır tabaka rüzgâr akışı, ortalama rüzgâr hızıyla yerden belirli bir yükseklikte, genellikle binanın düzgün duvarına çarpar; diğer kenarlar üzerine dolanır ve binanın üzerinden aşar, durma noktasıyla karşılaştığı anda düşey olarak aşağı doğru akar (Şekil 3.4).



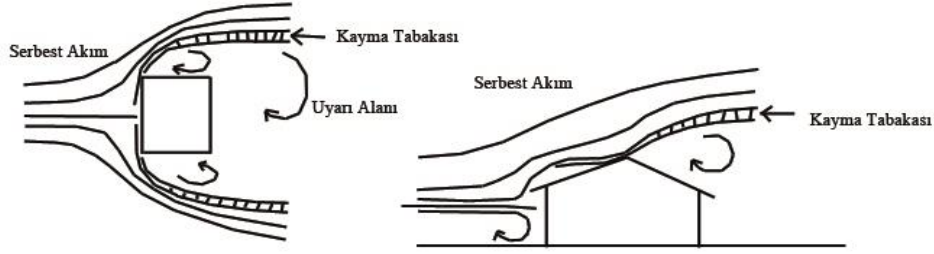
Şekil 3.4 Yüksek ve alçak basınç alanlarında türbülans ve girdap akımları [56]

Rüzgarın yönü, hızı ve şiddeti sürekli değişim halindedir. Değişimler genellikle düzensizdir, çok farklı frekanslar gösterir.

Mimari aerodinamik içerisinde görülen oluşumların çoğunda ortalama için süreklilik yanında sürekli olmayan koşullar (zamandan bağımsız), ortalamadaki sapma kısmında yer alabilir. Yapı ile rüzgarın etkileşiminden ortaya çıkan farklı rüzgar akış alanları söz konusudur (Şekil 3.5). Akış alanı 3 bölgeye ayrılabilir [56];

- Serbest Akış Alanı: Serbest akış alanı cisme etki alanından uzakta ve cismin önünde yer alan bölgedir.

- **Kayma Tabakası:** Kayma tabakası, ortalama kayma oranının yüksek olduğu bölgelerdir. Akışkanın sınır tabakası, ortalama hızın katı sınırında “0”dan en dıştaki serbest akışa doğru değiştiği en önemli kayma tabakasıdır. Sınır tabaka bir yüzeyden ya da köşeden ayrıldığında, serbest akımdan ayrılarak bir kenarı uyarı veya geri dönen akım bölgesi üzerinde serbest bir kayma tabakası haline gelir.
- **Uyarı Akış Alanı:** Ayrılan kayma tabakasının arkasında oluşan uyarı bölgesi serbest akışa bağlı olarak düşük hızlı geri dönen girdaplar içerir. Akış çizgisinden oluşan şeklin birbirini takip eden köşelerinde karşılaşan iki sınır tabaka da uyarı akımının bir türüdür.



Şekil 3.5 Binalar etrafındaki akım alanları [56]

3.6 Rüzgar Yükleri ve Yüksek Yapı İlişkisi

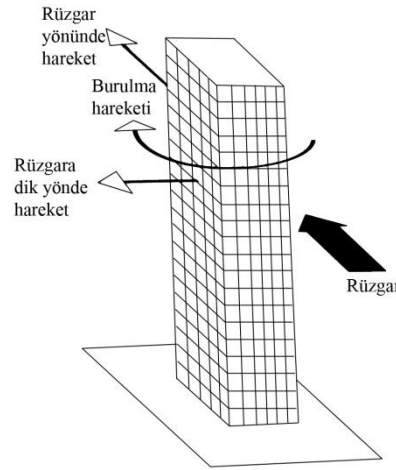
İlk yüksek yapılar, taşıyıcı sistemin ağırlığından dolayı (yapıdaki düşey kuvvetler rüzgar kuvvetinden çok büyüktür) rüzgarın oluşturduğu yatay yüklerden etkilenmemiştir. Hafif ve cam cepheli yüksek yapıların inşaatı ile rüzgar akışının karmaşık doğası ile ilk kez 1950’lerde yüz yüze gelinmiştir. Çelik çerçevelerin kullanılmaya başlanması ile birlikte ağırlık, yapının yüksekliğini sınırlayıcı bir etken olmaktan çıkmış, ancak hafiflikten kaynaklanan yeni problemler ile karşı karşıya kalınmaya başlanmıştır. Esas olarak, rüzgar yüklerinin sebep olduğu salınım büyük oranda; yapının şekli, rijitliği ve sönümlenme karakteri ile ilgilidir. Rüzgarın türbülans yapısı, salınımı etkileyen en büyük etkenlerden birisidir [53].

Kule, gökdelen vb. yüksek yapıların tasarımında, az katlı yapıların aksine, yapıya dinamik yük olarak etkiyen depremin yanı sıra, rüzgar yüklerinin de göz önüne alınması gereklidir. Yüksek yapıların deprem yüküne karşı dayanımı, yapının olabildiğince hafif

ve esnek olmasını, şiddetli rüzgarlara karşı dayanımı ise yapı rijitliğinin olabildiğince yüksek olmasını gerektirmektedir.

Belli bir doğrultuda hareket eden hava akımı yapı yüzeyine çarptığında bir etki oluşturur ve buna *rüzgar etkisi* denir. Bu etki rüzgarın hızı veya yapının rüzgara maruz kaldığı yüzey alanı arttıkça artar. Binayla karşılaşan hareket halindeki hava, akışkanların davranışlarına uygun olarak, ikiye ayrılıp binanın yan ve arka cephelerine geçer ve tekrar akış yönünde birleşir. Yüksek binaların rüzgar kaynaklı hareketi temel olarak üçe ayrılır (Şekil 3.6):

- Rüzgar yönünde hareket (*along wind motion*)
- Rüzgara dik yönde hareket (*across wind motion*)
- Burulma hareketi (*torsional motion*)



Şekil 3.6 Türbülans hava akımı oluşumu [57]

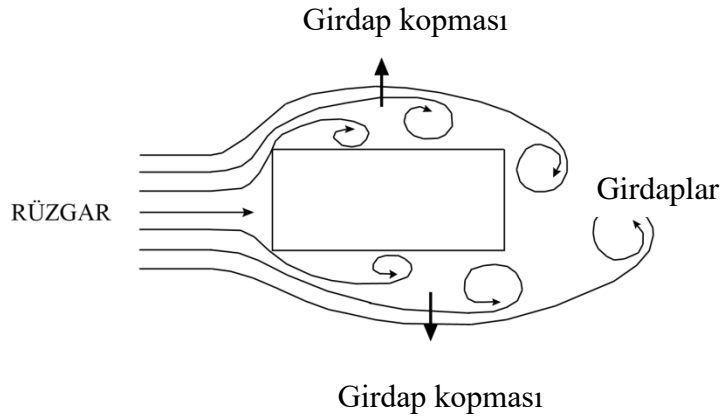
Yapının rüzgar doğrultusuna paralel salınımı *rüzgar yönünde hareket* olarak tanımlanır. Binanın rüzgar doğrultusuna dik yöndeki salınımına ise *rüzgara dik yönde hareket* denir. Yapıdaki taşıyıcı sistem düzensizlikleri¹ ve varsa asimetrik rüzgar yüklerinden dolayı oluşan harekete *burulma* denir. Rüzgar ve rüzgara dik doğrultuda salınımına neden olur. Çoğu yüksek yapının rüzgara dik yöndeki hareketi, rüzgar yönündeki hareketinden daha kritiktir (Örneğin, Jin Mao Tower tasarımında, dik yöndeki rüzgar hızı rüzgar doğrultusundaki hızdan %20 daha fazla çıkmıştır [57]). Yükseklik/en oranı 8'i geçen

¹ Bina yüzeyine etki eden bileşke rüzgar kuvveti, yüzeyin geometrik merkezine etki eder. Bileşke atalet (teпки) kuvveti ise binanın rijitlik merkezinden geçer. Aradaki mesafe (eksantrisite) yapının simetrik rüzgar yükleri altında bile burulmasına neden olur.

binalarda genellikle, rüzgara dik yönde bina hareketini kontrol altında tutma kaygısı baskın bir tasarım girdisine dönüşür [58].

Rüzgar esme yönü boyunca olan salınım, binaya ön ve arka yüzeyinden etkiyen rüzgar kuvveti ile oluşur. Rüzgarın oluşturduğu hava akımı, binanın yan yüzleri etrafından geçerken, ayrıca arka cephede de girdaplar (vorteks, türbülanslı hava akışı) meydana getirir. Ancak, günümüzde birçok Yönetmelik [54], [55], yapının rüzgara dik yöndeki hareketi ve burulma davranışındaki karmaşıklıktan dolayı, yalnızca yapının rüzgar yönündeki tepkisini belirlemeye yönelik öneriler getirmektedir.

Yüksek rüzgar hızının söz konusu olduğu yüksek yapılarda *girdap kopması* (*Vortex shedding*) durumu ile karşılaşılabilir (Bu durum düşük rüzgar hızlarında ve az katlı yapılarda gözlenmez) (Şekil 3.7). Yan yüzeylerde oluşan girdaplar sinüzoidal yüklerdir; önce bir yan yüzde, sonra diğer yan yüzde oluşur ve böylece birbirinin etkisini ortadan kaldırmaz. Periyodu 5-20 sn arasındadır, yapı yüksekliği arttıkça girdap kopması periyoduna yaklaşılır ve rezonans riski ortaya çıkar. Girdap kopması durumunun oluşup oluşmayacağı rüzgar tüneli testlerinin sonuçlarına göre belirlenir.



Şekil 3.7 Girdaplar ve yan yüzeydeki girdap kopması yüklerinin oluşumu [54]

Yüksek yapıların rüzgar yüküne karşı davranışlarının değerlendirilmesi ve dinamik karakterlerinin ortaya çıkarılmasında en güvenilir yöntemin, tam ölçekli izleme olduğu kabul edilir; ancak günümüzde güvenilir ve pratik çözüm üretebilmek açısından geliştirilen benzeşim programlarından yararlanılması, rüzgar tasarımcılarına zaman ve bütçe ekonomisi sağlamaktadır.

3.7 Rüzgar Tüneli Testleri ve Özellikleri

Kara, deniz ve hava taşıtlarının geçmişten günümüze süregelen hızlı gelişim ve değişimlerine paralel olarak, tasarım ve imalat aşamalarında deneysel uygulamalar gerekli hale gelmiştir. Bundan dolayı rüzgar tünellerinin tasarımı ve imalatı büyük önem kazanmaktadır. Rüzgar tüneli temel olarak hızlanan havanın sabit cisim üzerinden hareket etmesi sonucu cisim ve hava arasında aerodinamik olarak ortaya çıkan değişikliklerin test edilmesi, incelenmesi ve gözlenmesine imkan veren bir test düzeneğidir. Deneysel uygulamalar çeşitlendikçe rüzgar tünelleri de değişik ihtiyaçlara göre farklı ebat ve tiplerde tasarlanmaktadır. Rüzgar tünellerinde doğru ölçüm yapabilmek, rüzgar tüneli deney odasındaki şartların gerçek atmosfer şartlarına yakın olmasıyla mümkündür. Bir rüzgar tüneli tasarlanırken, tünelde ne tür deneyler ve ölçümler yapılacağı, bu deneyler için gereken hızın bilinmesi gerekmektedir. Buna göre tünelin tipine karar verilerek gerekli kabuller ve hesaplar yapılmaktadır [59].

Rüzgar tüneli yönteminin amacı;

- Onaylanmış rüzgar tüneli ölçümlerinin veya doğal rüzgarlı ortamda güvenilir tam ölçekli ölçümlerin aerodinamik rüzgar etkilerini doğrulamak,
- Aynı ya da farklı rüzgar tüneli testlerinde kabul edilebilir hatalar dahilinde tekrarlanabilir aerodinamik rüzgar etkilerininin (örneğin HFFB ölçümlerinden elde edilen basınç katsayıları, akış kaynaklı taban momenti ve kesme kuvveti) temel karakteristiklerini rüzgar tüneli testlerinden elde etmek ve kaydetmek,
- Açık, şeffaf ve etkin bir yöntem kullanarak ölçülen aerodinamik rüzgar etkisini iç kuvvetlere ve mimar ve mühendisler için gerekli tasarım amaçlı denklemlere dönüştürmektir.

Ortalama rüzgar profilleri, türbülans yoğunluğu, türbülans spektrumları ve türbülans çapraz spektrumları da dahil olmak üzere, seçilen rüzgar tüneli akış özellikleriyle ilgili ölçümler gerekli ama yeterli olmayan yaygın bir uygulama alanıdır. Akışı yeterince detaylı tanımlamak için akış özelliği ölçümleri, test edilen cismin aerodinamiğini etkileyen bütün akış alanını kapsamalıdır. Bu amaçla uygulamada yapılan ölçümler, karmaşık ve zaman alıcı olabilir, bu nedenle kısmen ve yeterli akışa dayalı tanımlar [60].

3.8 Rüzgar Tüneli ve Yapısal Tasarımı

Rüzgar tüneli testlerinin asıl amacı tasarım amaçlı doğrudan kullanılabilir iç kuvvetler, yerdeğiştirmeler ve ivmeler hakkında bilgi sahibi olmaktır. Çeşitli rüzgar tüneli laboratuvarlarından elde edilen sonuçlar arasındaki farklar, sadece ilgili rüzgar tüneli simülasyonları ve ölçümlerinden değil, aynı zamanda söz konusu ölçümleri tasarımla ilgili bilgilere çeviren yöntemlerden de kaynaklanmaktadır.

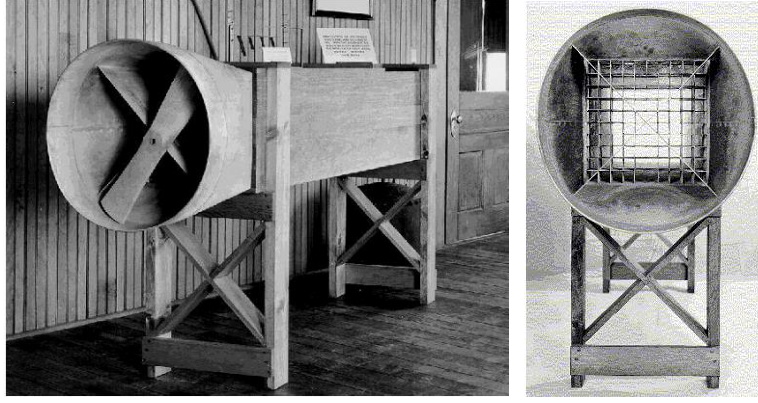
Günümüzde teknolojik gelişmeler, rüzgar tünelindeki eş zamanlı verilerin birçoğunu depolamaya imkan sağlamaktadır. Bu kayıtların sonradan kullanılabilirliği, tasarımcıların yapıya etkileyen rüzgar yüklerini, taşıyıcı sistemde oluşacak iç kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri hesaplamalarına olanak verir [60].

Rüzgar etkilerinin hesaplanması řu verilere ihtiyaç vardır:

- Gerekli rüzgar iklimsel verilerinin kayıtları: Güvenilir kaynaklardan elde edilen (meteoroloji istasyonları veya güvenilir fırtına rüzgar hızı veri tabanlarından) ilgili ölçümler ve yapay rüzgar hızlarını içerir.
- Rüzgar tüneli testlerine dayalı genel bilgiler: Referans bölgedeki rüzgar hızları ve yapının üst noktasındaki saatlik ortalama rüzgar hızı arasındaki oran ve sapma açıları gibi bilgilerdir. Rüzgar tüneli testlerinde, veri olarak ortalama hızlar esas alınır [60].

3.9 Rüzgar Tüneli Gelişimi

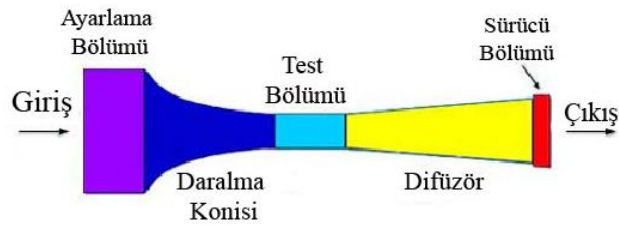
Wright'ın rüzgar tünelinden önce en az 10 tane rüzgar tüneli inşa edilmiş, ilki 1870 yılında “yapay akım” ile yapılan deneyleri yürüten Francis Wenham ile başlamıştır (Şekil 3.9). Wright'ın rüzgar tüneli doğrudan tasarım yapılacak yüksek doğruluğu olan sonuçlar elde edilen ilk girişimdir; ancak akışkanlar mekaniği anlayışındaki eksikliklerden dolayı birçok yönden hata mevcuttu [61].



Şekil 3.8 Wright'ın fan yerine motor eklenmeden önceki rüzgar tüneli modeli [61]

3.10 Güncel Rüzgar Tüneli Tanımı

Rüzgar tüneli genel olarak 5 bölümden oluşur [61]: giriş ve ayarlama bölümü, daralma konisi, test bölümü, difüzör ve sürücü bölümü (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 Rüzgar Tüneli Ana Bölümleri [61]

Giriş ve Ayarlama Bölümü, havanın tünele en az türbülansla verildiği yerdir. Keskin köşelerin akış üzerinde hataya sebep olmasını önlemek için genellikle köşeler yuvarlatılmıştır. Girişten hemen sonra bulunan Ayarlama Bölümü, havayı daralma konisine girmeden önce en uygun hale getirir. Giriş bölümündeki türbülans girdaplarını; petekler, elekler (screens) ve düzeltme kanalları yoluyla küçük türbülans girdaplarına böler.

Daralma Bölümü, girdaplar kabul edilebilir değerlerde olduğunda havayı homojen şekilde hızlandırıp düzelterek istenilen hıza ulaştırır. Düşük hızlı rüzgar tüneli testlerinde Daralma Bölümü aynı enkesite sahip olmalı ve Ayarlama Bölümü, daralma konisinin en az yarıçapı kadar olmalıdır.

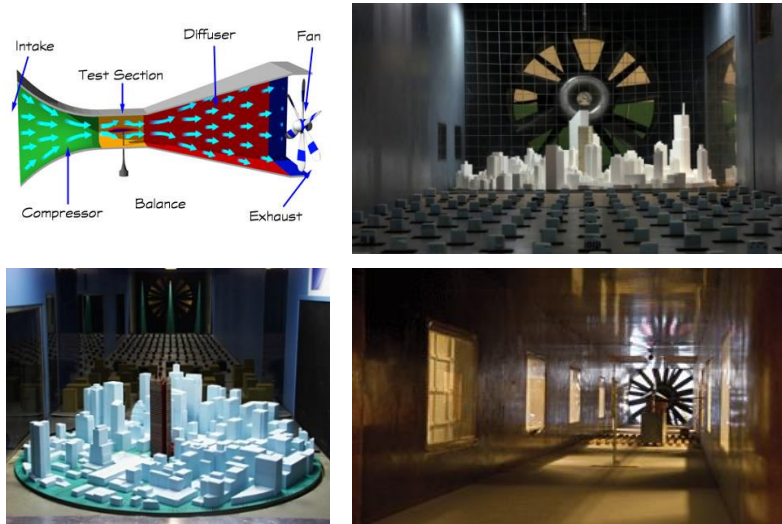
Test Bölümü, Daralma Bölümünü takiben test eşyaları ve ölçüm aletlerini barındıran bölümdür. Test Bölümü ideal olarak aynı ve sürekli hız profiline ve minimum türbülansa sahip olmalıdır. Sınır tabaka (boundary layer) ve kaldırma etkisini (buoyancy effect) dengelemek için bölüm boyunca enkesit yavaşça artırılmalıdır. Barlow, Pope ve

Rae (1999) bu artışı sağlamak için duvarlara yaklaşık 0.5° dışarı doğru eğim verilmesini önermiştir. Ayrıca test eşyaları, enkesitin %80'inden az olmalıdır [61].

Diffüzörün amacı, Test Bölümünü takip eden akışı genişletmek ve akış hızını düşürerek akış basıncını iyileştirmektir. Hava genişledikçe ayrılan akışı önleyerek yüksek kalitede akışı devam ettirmelidir.

Sürücü Bölümü, fan ve düzeltme elemanlarından oluşur, modelin akış yönünde olmalı ve akıştaki girdapları önlemelidir. İki tane karşılıklı dönen fan, fan önündeki ve fan arkasındaki düşey kanatlar akışı homojen ve düzgün tutmak için kullanılır.

Yüksek yapı ve çevre yapıların modellenmesiyle oluşturulan 1:300 veya 1:500 ölçekli maketler yardımıyla, yapılara etkiyen rüzgar yükleri rüzgar tüneli ölçümleri ile belirlenir (Şekil 3.11) .



Şekil 3.10 Yüksek yapılara gelen rüzgar yükleri için rüzgar tüneli örnekleri

Tüneller sadece yapılar için değil farklı alanlarda da ölçümler yapmak için kullanılır. Şekil 3.12'de görüldüğü gibi kayak sporu ve formula 1 yarışlarında kullanılan araçlar için ölçümler yapılmaktadır. Daha birçok benzeri alanda kullanılan bu testler ideal tasarıma ulaşma konusunda önemli bir yardımcı faktördür.



Şekil 3.11 Farklı alanlarda kullanılan rüzgar tüneli

ANALİZLER ve KARŞILAŞTIRMALAR

Yapı kullanım ömrü boyunca yapının maruz kalacağı maksimum rüzgar büyüklükleri, rüzgar tüneli testleri veya benzeşim programları yardımı ile meteorolojik veriler kullanılarak olasılıksal olarak standartlara uygun biçimde hesaplanır. Standartlar, devlet ve özel sektörden rüzgar mühendisliği alanında çalışan uzmanların ortak çalışmaları sonucu olarak geliştirilmiştir. Bu bölümde ASCE 7-10 [54] ve kullanılan benzeşim programıyla ilgili yapılan çalışmalar üzerinde durulacaktır.

4.1 ASCE 7-10 Standardına Göre Rüzgar Yüğü Hesabı

Tezin bu bölümünde yaygın olarak kullanılan ASCE 7-10 (*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*) Standardı [54] 6. Bölümde tanımlanan Rüzgar yükleri kısmı incelenip, verilen bağıntılar yardımıyla cephelere gelen yükler, çeşitli plan tiplerindeki binalar için bulunmuştur. Söz konusu plan tipleri aşağıda belirtilmiştir:

- 20^mx20^m taban alanı, 100 m yükseklik
- 30^mx30^m taban alanı, 300 m yükseklik
- 40^mx20^m ve 80^mx20^m taban alanı, 100 m yükseklik

Çizelge 4.1 ASCE 7-10 rüzgar yükü hesabı formülleri

- Rüzgar yükünü belirlemede kullanılan tasarım basıncı (p) formülü;

$$p = q_z C_p G_f \quad (1.1)$$

q_z = Hız basıncı

C_p = Dış basınç katsayısı (bkz. Ek 1)

G_f = Ani rüzgar etkisi faktörü

- Yerden z yüksekliğinde meydana gelen hız basıncı (q_z) hesabı;

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (N / m^2) \quad (1.2)$$

K_z = Hız basıncına maruz kalma katsayısı

K_{zt} = Topografya katsayısı

K_d = Rüzgar doğrultu katsayısı (bkz. Ek 2)

V = Rüzgar hızı

I = Önem katsayısı (bkz Ek 3)

- Hız basıncına maruz kalma katsayısı (K_{zt}) hesabı;

$$K_z = 2.01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (1.3)$$

z = Yapı yüksekliğinin en az %60'ı

z_g = Nominal yükseklik (bkz. Ek 4)

α = Katsayı (bkz. Ek 4)

- Esnek yapılar ve diğer yapıların rüzgar kuvvetine karşı dayanımları için hesaplanan ani rüzgar etkisi (G_f) faktörü hesabı;

$$G_f = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_r^2 R^2}}{1 + 1.7 g_v I_z} \right) \quad (1.4)$$

I_z = Türbülans şiddeti

g_Q = Zemin tepkisi için tepe faktörü (yönetmelikteki değer 3.4)

Q = Geri plan tepkisi

g_r = Rezonans tepkisi için tepe faktörü

R = Rezonans tepki faktörü

g_v = Rüzgara karşı gelen tepe faktörü (yönetmelikteki değer 3.4)

- Türbülans şiddeti (I_z) hesabı;

$$I_z = c \left(\frac{10}{z} \right)^{1/6} \quad (1.5)$$

c = Katsayı (bkz. Ek 4)

z = Yapı yüksekliğinin en az %60'ı

Çizelge 4.1 ASCE 7-10 rüzgar yükü hesabı formülleri (devamı),

- Geri plan tepkisi (Q) hesabı;

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.63 \left(\frac{B+h}{L_z} \right)^{0.63}}} \quad (1.6)$$

B = Yapının rüzgara dik yöndeki uzunluğu

h = Yapının yüksekliği

L_z = Türbülans uzunluğu

- Türbülans uzunluğu (L_z) hesabı;

$$L_z = l \left(\frac{z}{10} \right)^\varepsilon \quad (1.7)$$

l = Katsayı (bkz. Ek 4)

z = Yapı yüksekliğinin en az %60'ı

ε = Katsayı (bkz. Ek 4)

- Rezonans tepkisi için pik faktörü (g_r) hesabı;

$$g_r = \sqrt{2 \ln(3600n_1)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3600n_1)}} \quad (1.8)$$

n_1 = Yapının doğal frekansı

- Frekans (n_1) hesabı;

$$n_1 = \frac{1}{2.437 C_t h} \quad (1.9)$$

C_t = Kat sayı

h = Yapı yüksekliği

- Rezonans tepki faktörü (R) hesabı;

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_b (0.53 + 0.47 R_L)} \quad (1.10)$$

β = Sönüm oranı

R_n, R_h, R_b, R_L = Katsayı

- R_n katsayı hesabı;

$$R_n = \frac{7.47 N_1}{(1 + 10.3 N_1)^{5/3}} \quad (1.11)$$

N_1 = Düşük frekans

Çizelge 4.1 ASCE 7-10 rüzgar yükü hesabı formülleri (devamı),

- Düşük frekans (N_I) hesabı;

$$N_I = \frac{n_I L_z}{\bar{V}_z} \quad (1.12)$$

n_I = Yapının doğal frekansı

L_z = Türbülans uzunluğu

V_z = Rüzgar hızı

- R_h katsayı hesabı;

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}) \quad (1.13)$$

η_h = Katsayı

- η_h katsayı hesabı;

$$\eta_h = \frac{4.6n_I h}{\bar{V}_z} \quad (1.14)$$

n_I = Yapının doğal frekansı

h = Yapının yüksekliği

V_z = Rüzgar hızı

- R_b katsayı hesabı;

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}) \quad (1.15)$$

η_b = Katsayı

- η_b katsayı hesabı;

$$\eta_b = \frac{4.6n_I B}{\bar{V}_z} \quad (1.16)$$

n_I = Yapının doğal frekansı

B = Yapının rüzgara dik yöndeki mesafesi

V_z = Rüzgar hızı

- R_L katsayı hesabı;

$$R_L = \frac{1}{\eta_L} - \frac{1}{2\eta_L^2} (1 - e^{-2\eta_L}) \quad (1.17)$$

η_L = Katsayı

- η_L katsayı hesabı;

$$\eta_L = \frac{15.4n_I L}{\bar{V}_z} \quad (1.18)$$

n_I = Yapının doğal frekansı

B = Yapının rüzgara paralel yöndeki mesafesi

V_z = Rüzgar hızı

Çizelge 4.2 Çeşitli yapılar için periyot ve frekans hesabı

40m'den yüksek yapılar için; Eurocode- [55]'e göre

- Periyot (T_1) hesabı;

$$T_1 = C_t H^{3/4} \quad (1.19)$$

- Frekans (f) hesabı;

$$f = \frac{1}{C_t H^{3/4}} \quad (1.20)$$

C_t = Çelik çerçeve sistemler için 0.085, betonarme sistemler için 0.075, diğer bütün yapılar için 0.050.

H = Yapı yüksekliği

ASCE 7-10 [54] Periyot (T_1) hesabı;

- Çelik çerçeve sistemler için;

$$T_a = 0.0724 h_n^{0.8} \quad (1.21)$$

- Betonarme sistemler için;

$$T_a = 0.0466 h_n^{0.9} \quad (1.22)$$

ASCE 7-10 frekans (f) hesabı;

- Çelik çerçeve sistemler için;

$$f = \frac{1}{0.0724 h_n^{0.8}} \quad (1.23)$$

- Betonarme sistemler için;

$$f = \frac{1}{0.0466 h_n^{0.9}} \quad (1.24)$$

h_n = Yapı yüksekliği

Çizelge 4.3 20^mx20^mx100^m'lik yapı için ASCE 7-10 [54]'a göre örnek yük hesabı

- Rezonans tepki faktörü (R) hesabı;

$$\eta_L = \frac{15.4 * 0.43 * 20}{25} = 5.2976$$

$$R_L = \frac{1}{5.2976} - \frac{1}{56.1291} (1 - e^{-10.5952}) = 0.1709$$

$$\eta_b = \frac{4.6 * 0.43 * 20}{25} = 1.5824$$

$$R_b = \frac{1}{1.5824} - \frac{1}{5.008} (1 - e^{-3.1648}) = 0.4323$$

$$\eta_h = \frac{4.6 * 0.43 * 100}{25} = 7.9120$$

$$R_h = \frac{1}{7.9120} - \frac{1}{125.1995} (1 - e^{-15.8240}) = 0.1184$$

$$L_z = 198.12 * \left(\frac{60}{10}\right)^{\frac{1}{8}} = 247.8547$$

$$N1 = \frac{0.43 * 247.8547}{25} = 4.2631$$

$$R_n = \frac{7.47 * 4.2631}{(1 + 10.3 * 4.2631)^{\frac{5}{3}}} = 0.0561$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{0.05} * 0.0561 * 0.1184 * 0.4323 * (0.53 + 0.47 * 0.1709)} = 0.2362$$

- Frekans (n_1) hesabı;

$$n_1 = \frac{1}{2.437 * 0.01 * 100} = 0.43$$

- Rezonans tepkisi için pik faktörü (g_r) hesabı;

$$g_r = \sqrt{2 \ln(3600 * 0.43)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3600 * 0.43)}} = 2.2859$$

Çizelge 4.3 20^mx20^mx100^m'lik yapı için ASCE 7-10 [54]'a göre örnek yük hesabı (devamı),

- Geri plan tepkisi (Q) hesabı;

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 * \left(\frac{20 + 100}{247.8547}\right)^{0.63}}} = 0.8455$$

- Türbülans şiddeti (I_z) hesabı;

$$I_z = 0.15 * \left(\frac{10}{60}\right)^{1/6} = 0.1113$$

- Gust Faktör (G_f) hesabı;

$$G_f = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 * 0.1113 * \sqrt{3.4^2 * 0.8455^2 + 2.2859^2 * 0.2362^2}}{1 + 1.7 * 3.4 * 0.1113} \right) = 0.8528$$

- Hız basıncı etki katsayısı (K_z) hesabı;

$$K_z = 2.01 \left(\frac{100}{213.36}\right)^{2/11.5} = 1.7618$$

- Hız basıncı (q_z) hesabı;

$$q_z = 0.613 * 1.7618 * 1 * 0.85 * 25^2 * 1.15 = 659.8024$$

- Ön cephe (A) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 659.8024 * 0.8 * 0.8528 = 450.1436 \text{ Pa (0.45 Kn/m}^2\text{)}$$

- Yan cephe (B, D) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 659.8024 * -0.7 * 0.8528 = -393.8756 \text{ Pa (-0.39 Kn/m}^2\text{)}$$

- Arka cephe (C) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 798.7061 * -0.3 * 0.8618 = -206.4975 \text{ Pa (-0.20 Kn/m}^2\text{)}$$

Aşağıdaki 30^mx30^mx300^m, 20^mx40^mx100^m ve 20^m x80^m x100^m 'lik yapılar doğrudan sonuç odaklı çözülmüştür.

Çizelge 4.4 30^mx30^mx300^m, 20^mx40^mx100^m ve 20^m x80^m x100^m 'lik yapılar yapı için ASCE 7-10 [54]'a göre örnek yük hesabı

30x30x300 için;

- Hız basıncı (q_z) hesabı;

$$q_z = 0.613 * 2.1327 * 1 * 0.85 * 25^2 * 1.15 = 798.7061$$

- Ön cephe (A) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 798.7061 * 0.8 * 0.8618 = 550.6599 \text{ Pa (0.55 Kn/m}^2\text{)}$$

- Yan cephe (B, D) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 798.7061x - 0.7x0.8618 = -481.8274 \text{ Pa (-0.48 Kn/m}^2\text{)}$$

- Arka cephe (C) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 798.7061x - 0.3x0.8618 = -206.4975 \text{ Pa (-0.20 Kn/m}^2\text{)}$$

20x40x100 için;

- Hız basıncı (q_z) hesabı;

$$q_z = 0.613x1.7618x1x0.85x25^2x1.15 = 659.8024$$

- Ön cephe (A) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 659.8024x0.8x0.8264 = 436.2086 \text{ Pa (0.55 Kn/m}^2\text{)}$$

- Yan cephe (B, D) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 659.8024x - 0.7x0.8264 = -381.6825 \text{ Pa (-0.38 Kn/m}^2\text{)}$$

- Arka cephe (C) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 659.8024x - 0.2x0.8264 = -109.0521 \text{ Pa (0.10 Kn/m}^2\text{)}$$

20x80x100 için;

- Hız basıncı (q_z) hesabı;

$$q_z = 0.613x1.7618x1x0.85x25^2x1.15 = 659.8024$$

- Ön cephe (A) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 659.8024x0.8x0.8084 = 426.7074 \text{ Pa (0.42 Kn/m}^2\text{)}$$

- Yan cephe (B, D) tasarım basıncı (p) hesabı;

$$p = 659.8024x - 0.7x0.8084 = -373.3690 \text{ Pa (-0.37 Kn/m}^2\text{)}$$

- Arka cephe (C) tasarım basıncı (p) hesabı;

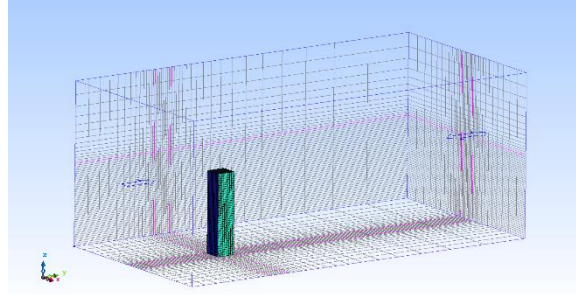
$$p = 659.8024x - 0.2x0.8084 = -106.6769 \text{ Pa (-0.10 Kn/m}^2\text{)}$$

4.2 Benzeşim Programının Özellikleri ve Analizler

Analizler, *Cradle scStream*[®] yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Program, yapısal çözüm ağı kullanarak termal akışkan analizi gerçekleştirmektedir. Yapısal çözüm ağı kullanılmasının, çözüm ağı oluşturmaya harcanan zamanı ve hesaplama zamanını oldukça düşürdüğü görülmüştür. Mimari çizim programlarında, çizilen dosyaları (AutoCad, 3dMax vb) IDF verisi olarak aktarması programın kullanışlı özelliklerindedir. Program yardımı ile rüzgar hızı ve cephe yükleri hesaplanır.

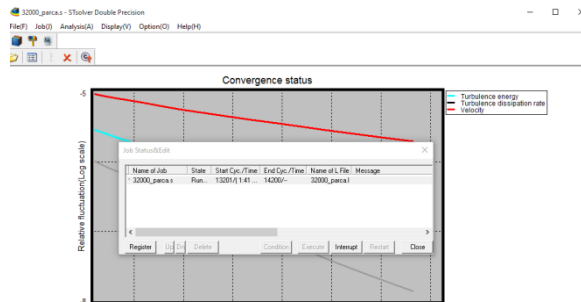
Analiz süresi boyunca gerçek zamanlı bilgi alınabilmekte, analiz devam ederken durdurulup, hesaplama alanı içindeki hız ve gerilme bilgileri hakkında detaylı bilgi alınabilmekte, devamında analiz kaldığı yerden devam ettirilebilmektedir. Yazılımın ard-işlemcisi, çözücü tarafından hesaplanan verilerin görselleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Programın kullanımında ilk arayüz, üç boyutlu IDF çizimin kullanıldığı *Preprocessor* bölümüdür. İstenilen ayarlar seçilerek, yapı ve oluşturulan hava kütlesi istenilen ağ sıklığına bölünür (Şekil 4.1); takiben çizim *Solver* bölümüne aktarılır.



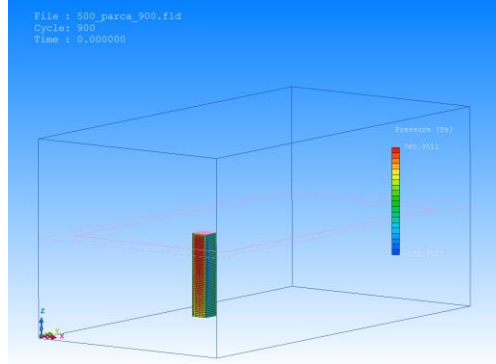
Şekil 4.1 Preprocessor

Solver bölümde girilen bilgiler dahilinde, cephe yüklerinde iki dijital yakınsamaya ulaşılan kadar çözüm işlemine devam edilir (Şekil 4.2). Burada dikkat edilmesi gereken nokta, ağ sıklığı ve iterasyon sayısı arttıkça programın icra süresi de uzamaktadır.



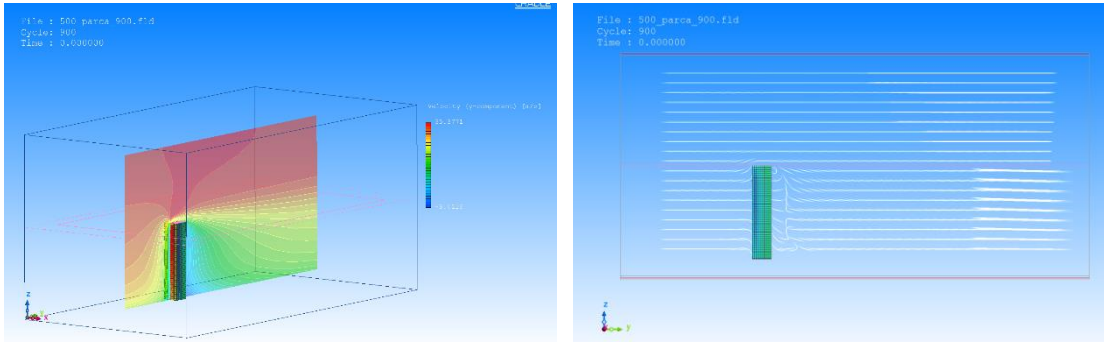
Şekil 4.2 Solver bölümü

Yeterli yakınsama elde edildikten sonra son aşama olan *Postprocessor* bölümüne geçilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Postprocessor bölümü

Bu aşamada elde edilen veriler, görsel ve sayısal olarak istenilen şekilde edilebilir. Maksimum ve minimum basınç gerilmeleri, rüzgar hızları, rüzgar akış görselleri gibi büyüklükler farklı görselleştirme yöntemleriyle belirlenebilmektedir.



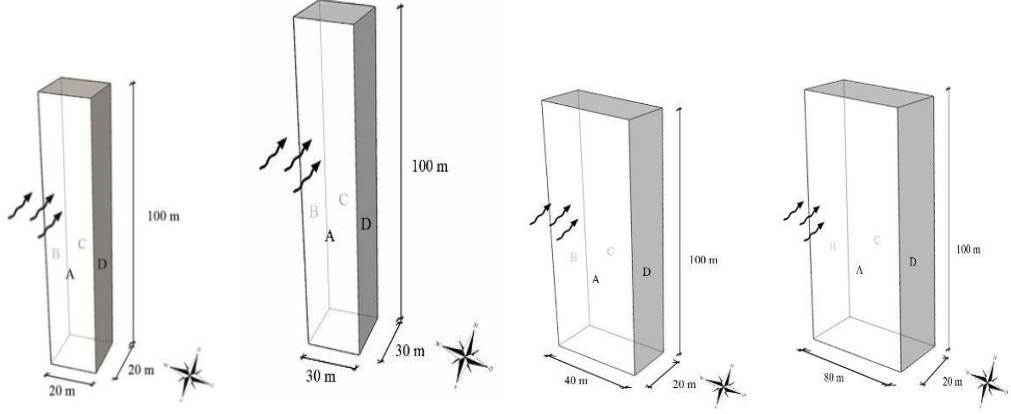
Şekil 4.4 Rüzgar hızı sınır tabaka ve rüzgar akışı gösterimi

Bu kapsamda 4 tip yapı aşağıda belirtilen sınır koşulları altında incelenmiştir. *Cradle scStream*[®] Programı yönetmelik olarak Eurocode-1 [55]'i kullanmaktadır. Eurocode-1 3-sn'lik maksimum rüzgar hızlarını esas almaktadır.

- Referans yükseklik: 10m
- Referans yükseklikteki rüzgar hızı: 25 m/sn (90 km/h) (İYBRY)¹
- Çevre koşulu: Engelsiz düz arazi (Eurocode 1 - Environment I)
- Rüzgar yönü: Güney

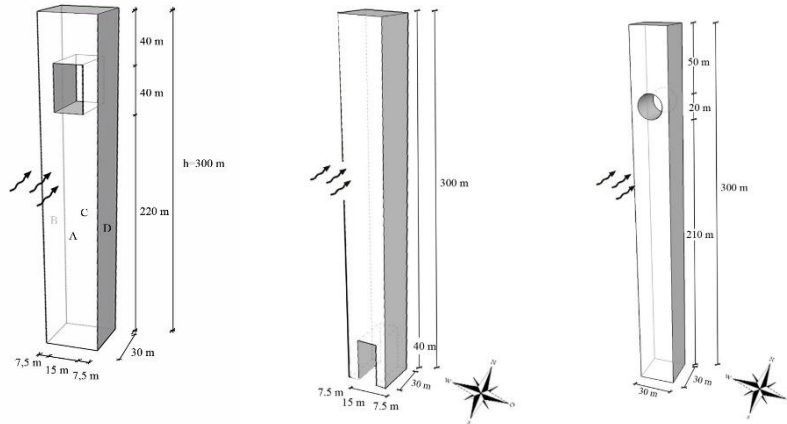
¹ İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği bu değeri esas almaktadır.

İncelenen yapılar Şekil 4.5’de gösterilmiş ve Çizelge 4.5-12’de değerlendirmeleri ile birlikte verilmiştir.



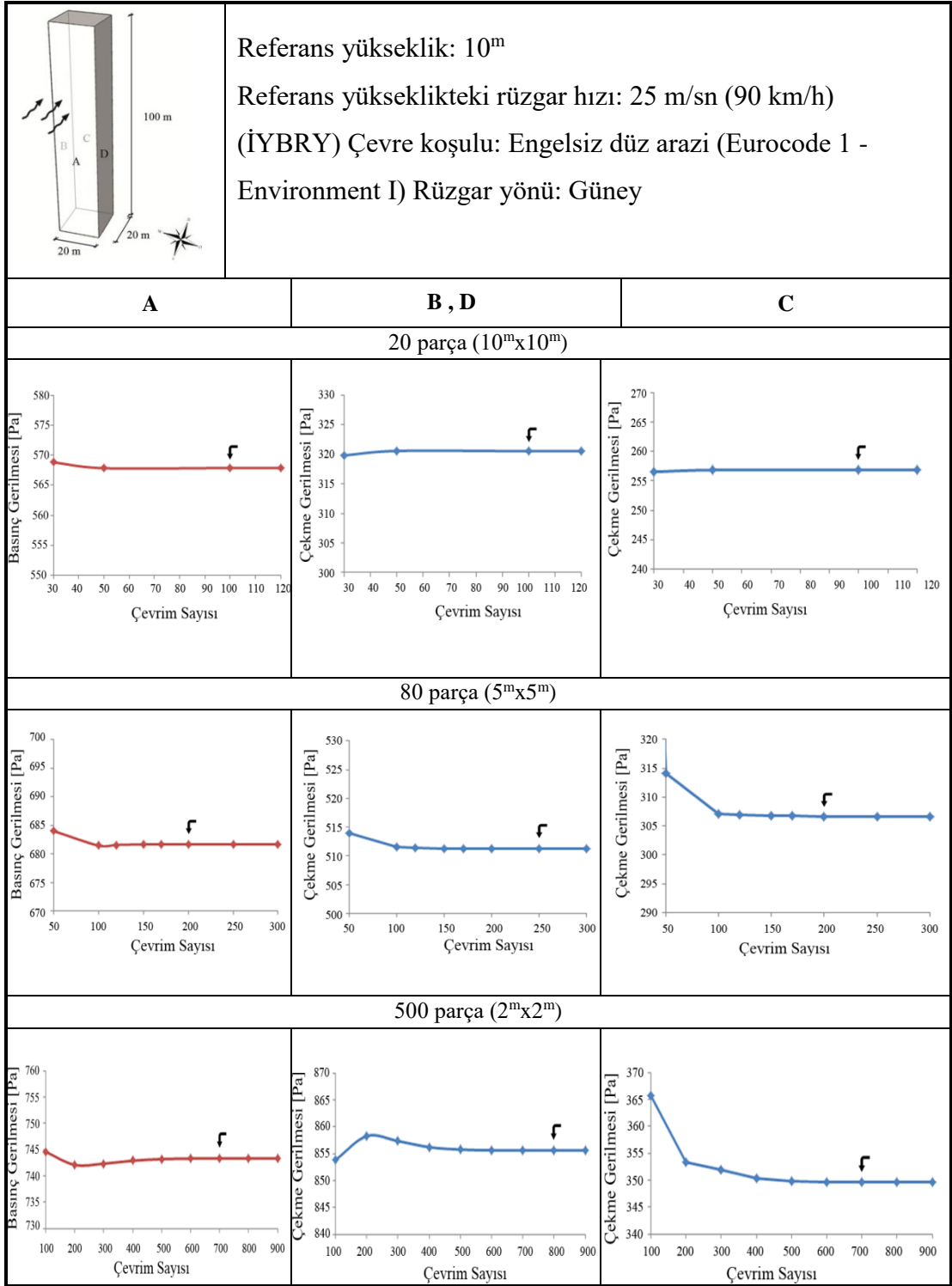
Şekil 4.5 $20^m \times 20^m \times 100^m$ $30^m \times 30^m \times 300^m$ $40^m \times 20^m \times 100^m$ $80^m \times 20^m \times 100^m$

İkinci bir inceleme de yapılarda delik boyutları konumları Şekil 4.6’da ve rüzgar yükleri ve rüzgar hızlarının değişimleri ve değerlendirmesi Çizelge 4.13-16’da verilmiştir.

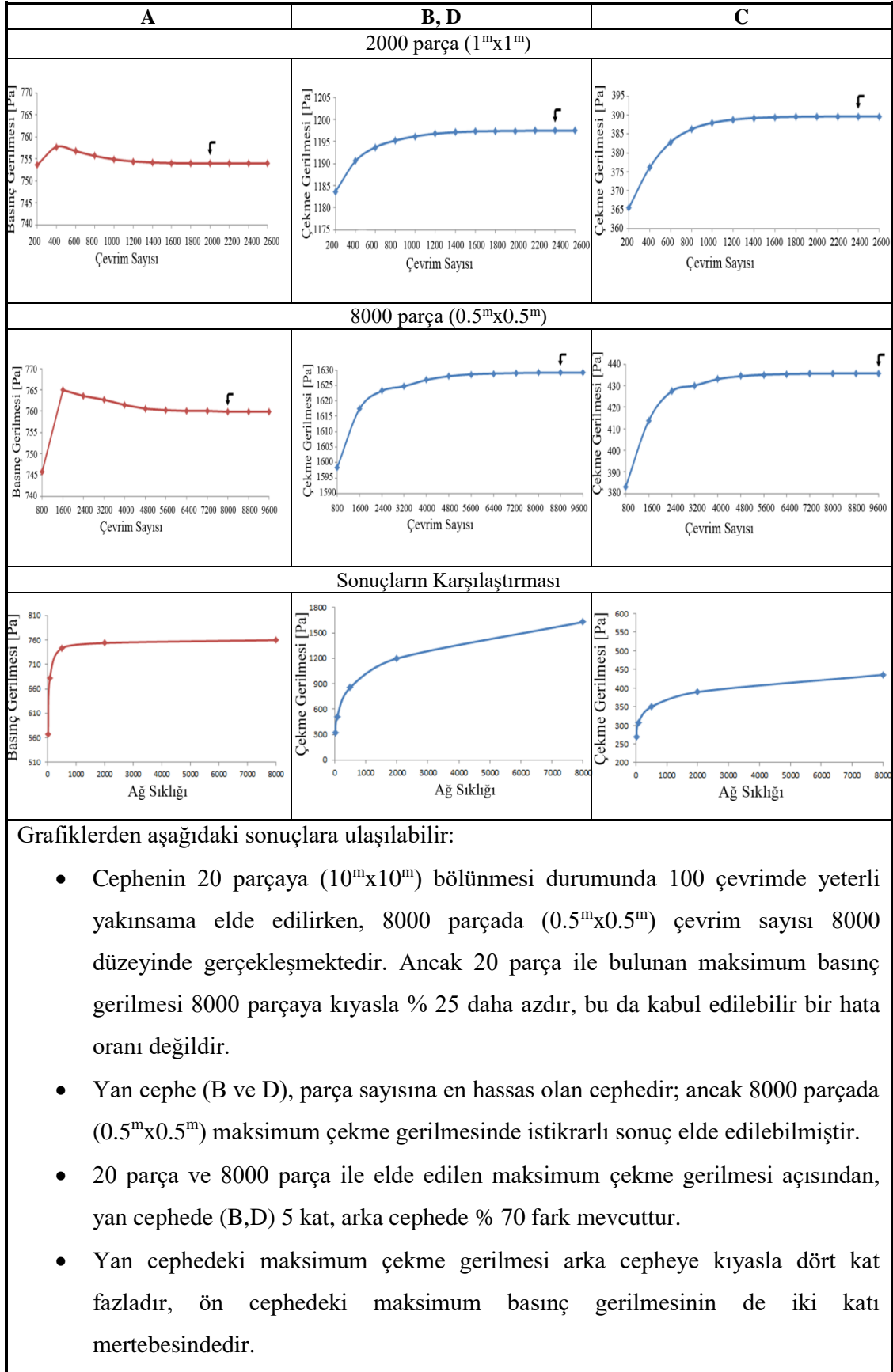


Şekil 4.6 $30^m \times 30^m \times 300^m$ ‘lik yapı için açılan boşluk çeşitleri

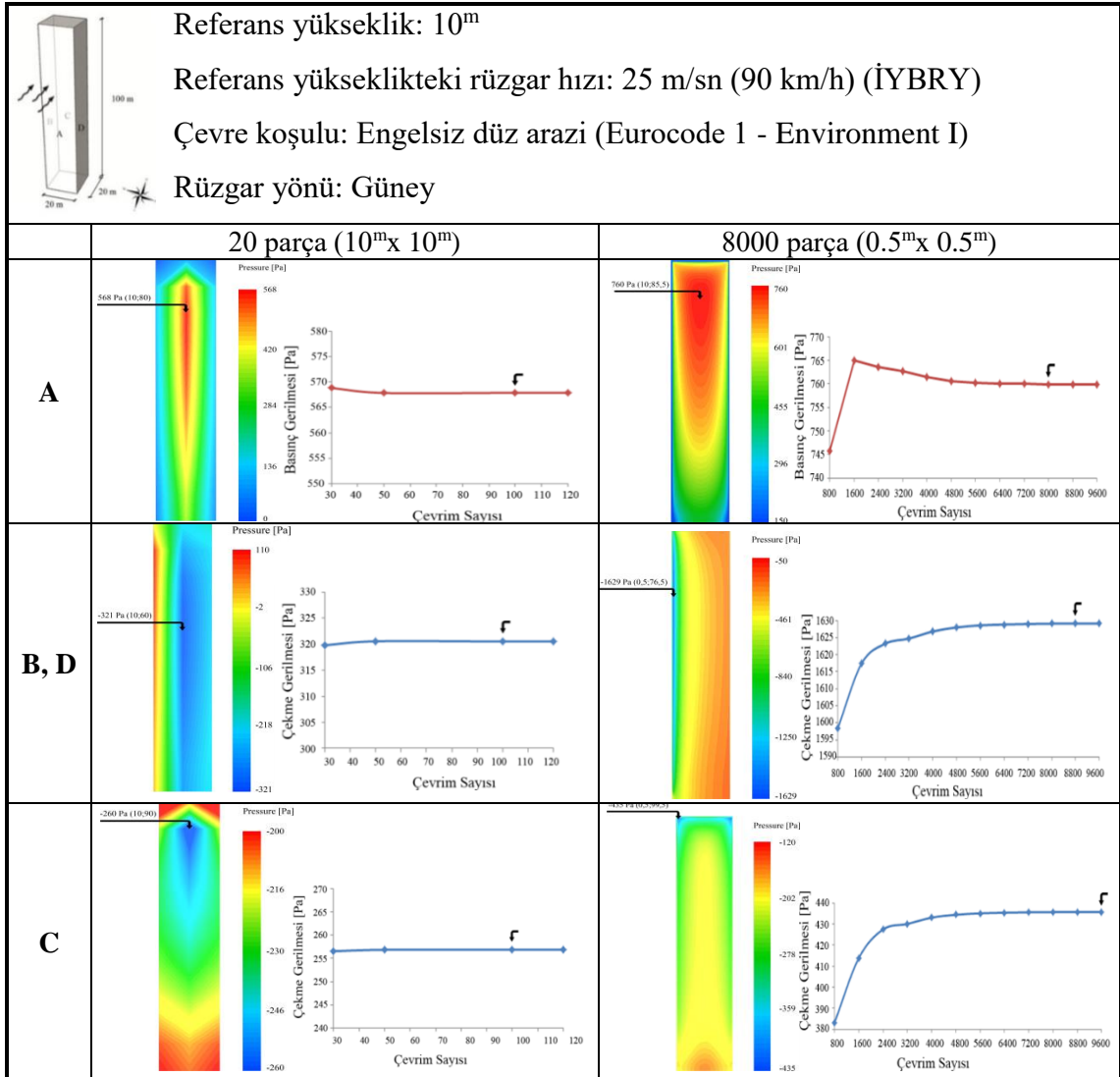
Çizelge 4.5 100^m yüksekliğinde kare planlı (20^m) yapıda ağ sıklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak A,B,C,D yüzelerindeki gerilmelerin değişimi



Çizelge 4.5 100^m yüksekliğinde kare planlı (20^m) yapıda ağ sıklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak A,B,C,D yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi (devamı),



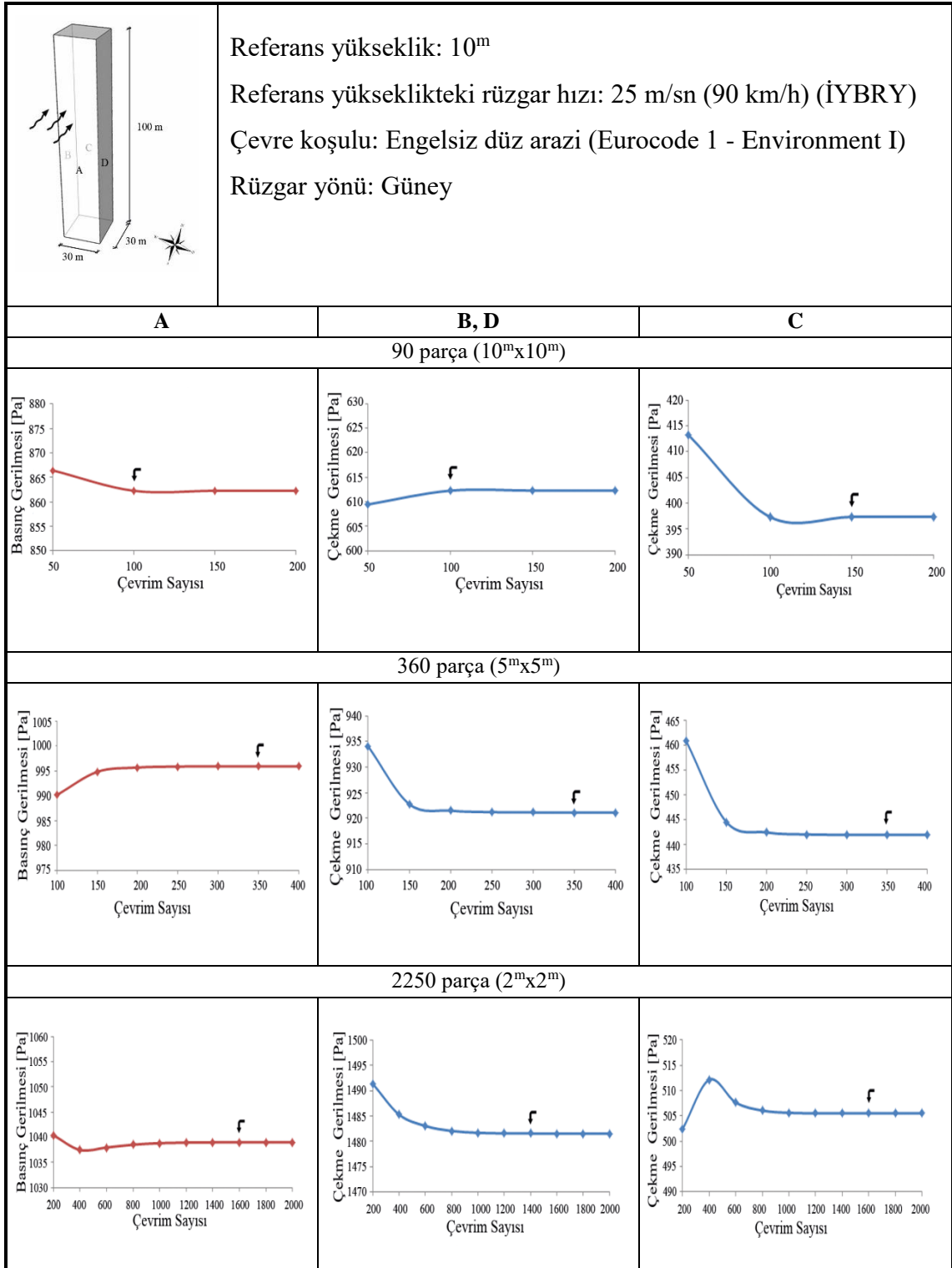
Çizelge 4.6 100^m yüksekliğinde kare planlı (20^m) yapıda 20 parça ve 8000 parça için A,B,C,D yüzelerindeki görsel gerilme dağılımı



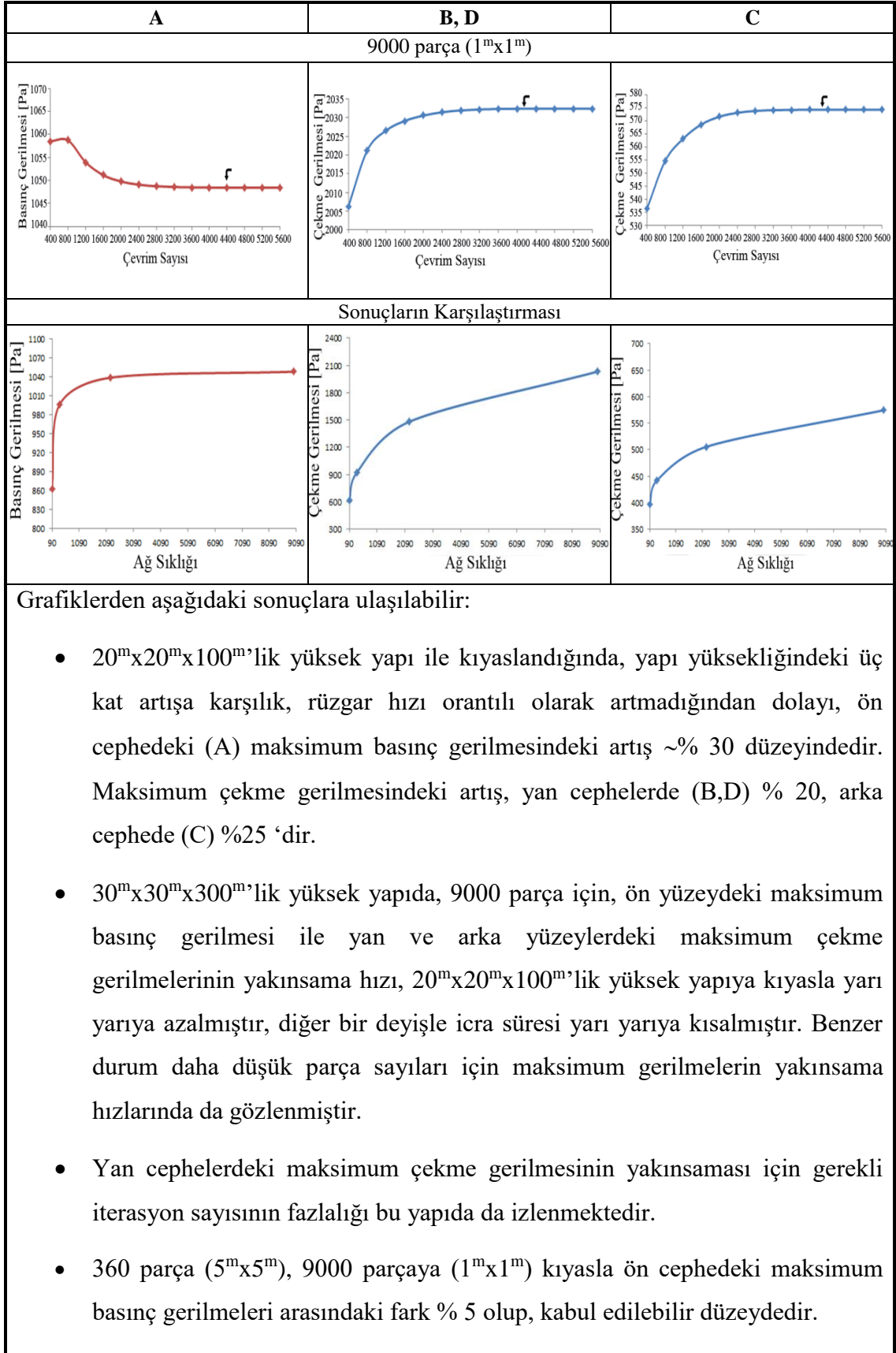
Grafiklerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir:

- Ön cephenin 20 parçaya (10^mx10^m) bölünmesi durumunda, maksimum basınç gerilmesi yapının orta aksında h=80^m'de oluşurken, 8000 parça (0.5^mx0.5^m) durumunda % 25 artan maksimum basınç gerilmesi h=85.5^m'de ortaya çıkmaktadır.
- 20 parçada ön cephede çekme gerilmesi izlenmemektedir, ancak 8000 parçada yükseklik boyunca çepeçevre ön cepheden kaçış kısmında çizgi biçiminde çekme gerilmesi oluştuğu ve yükseklik ile artan değerler aldığı görülmektedir. Burada gösterilmemekle birlikte, 200000 parça (0.1^mx0.1^m) için yapılan icrada maksimum çekme gerilmesinin 8000 parçaya benzer olduğu, yerinin ise kenardan 0.5 m içeride ve 76 m'de olduğu izlenmiştir.

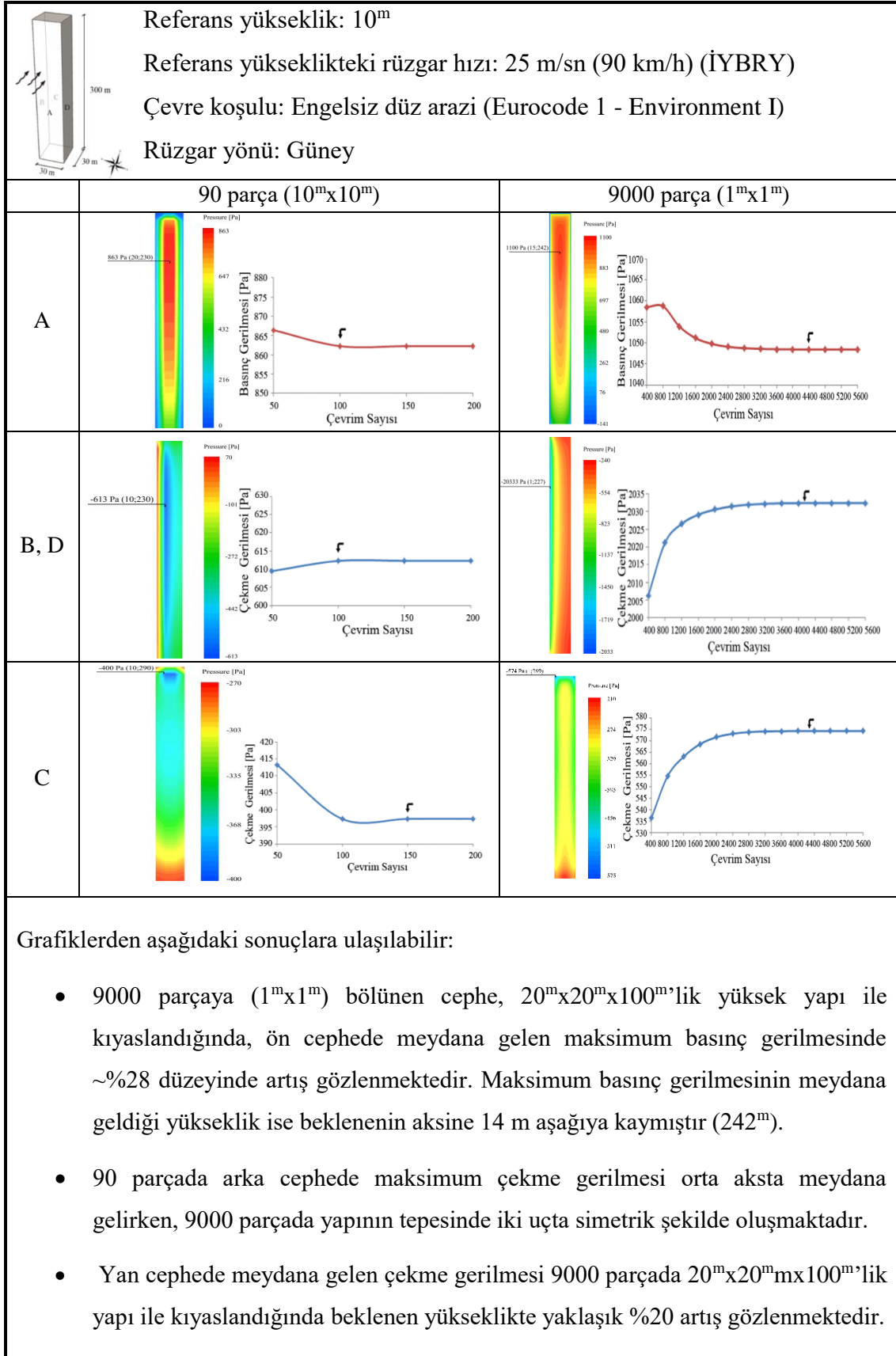
Çizelge 4.7 300^m yüksekliğinde kare planlı (30^m) yapıda ağ sıklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak A,B,C,D yüzelerindeki gerilmelerin değişimi



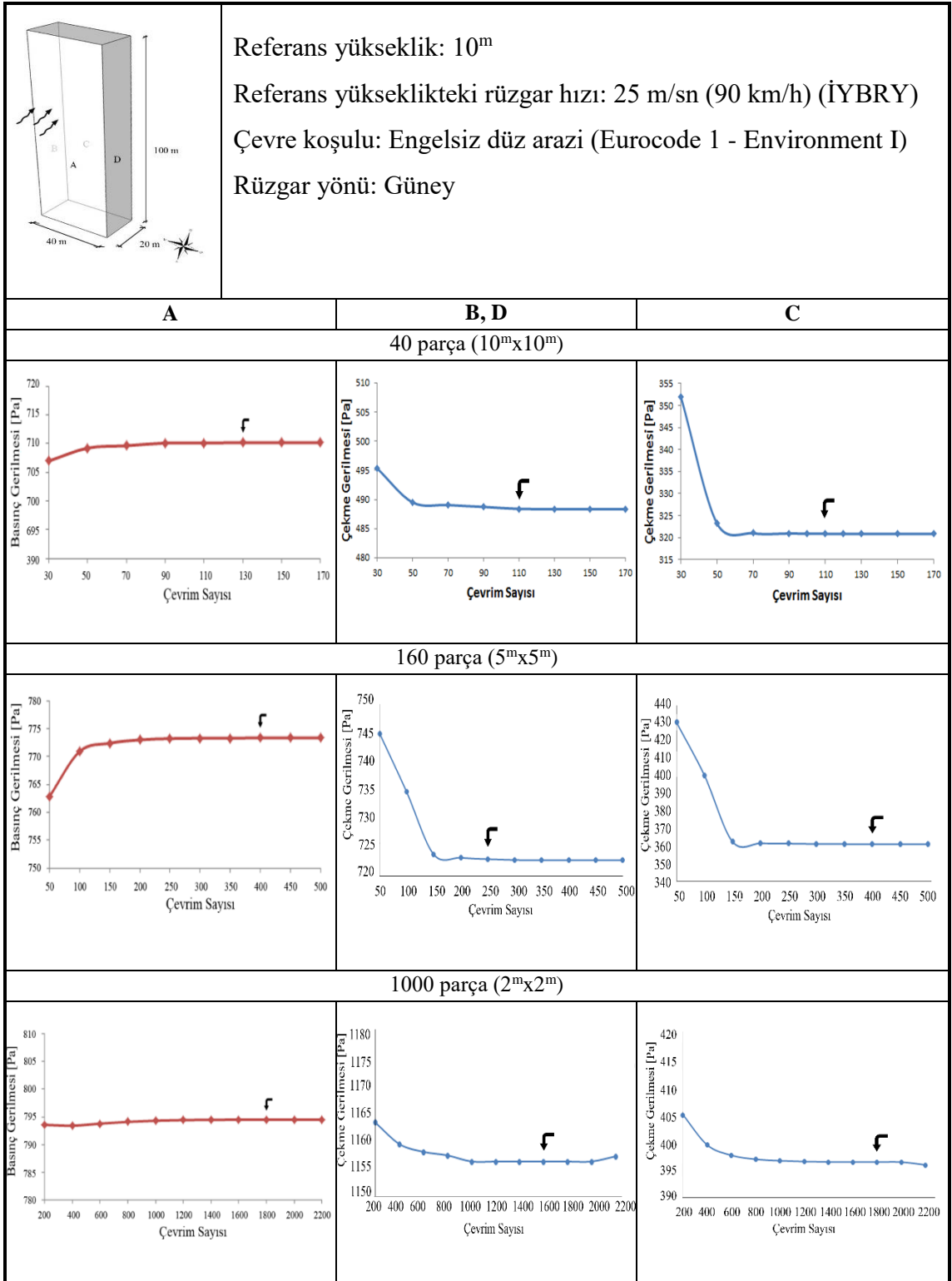
Çizelge 4.7 300^m yüksekliğinde kare planlı (30^m) yapıda ağ sıklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak A,B,C,D yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi (devamı),



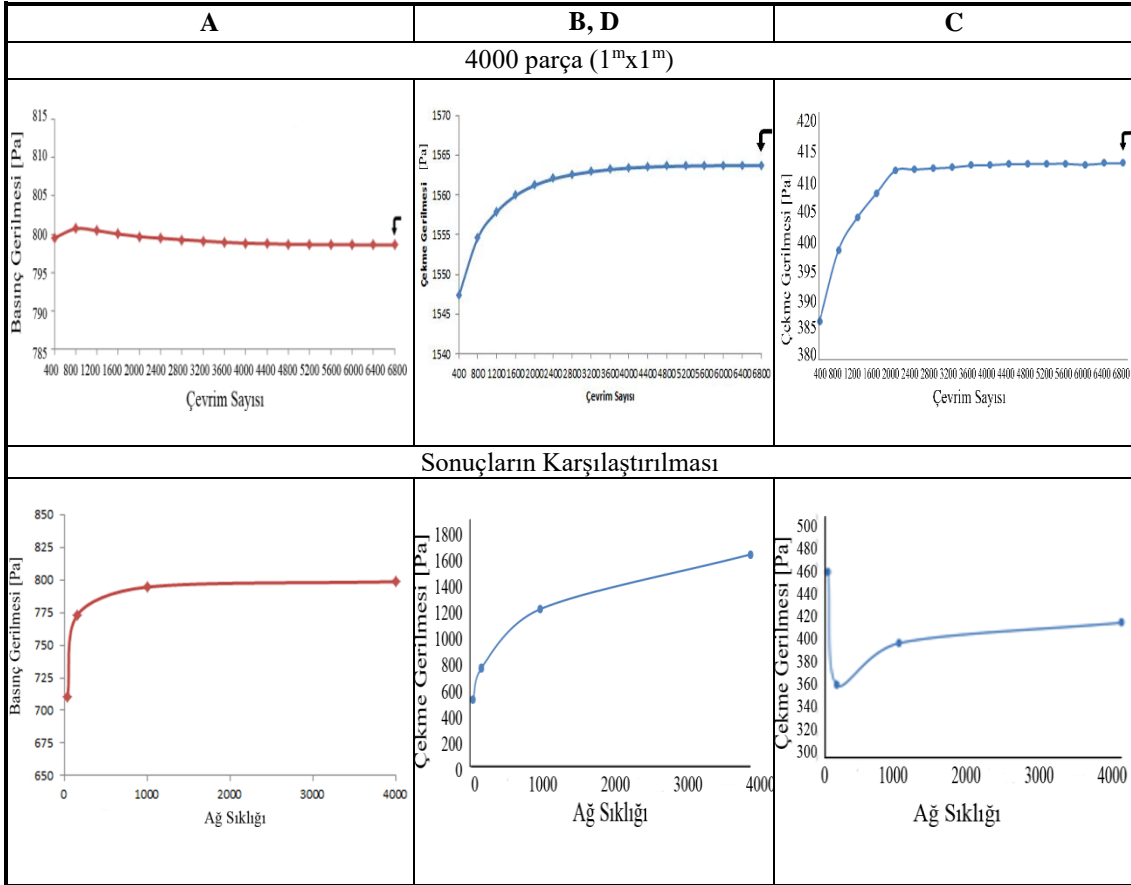
Çizelge 4.8 300^m yüksekliğinde kare planlı (30^m) yapıda 90 parça ve 9000 parça için A,B,C,D yüzelerindeki görsel gerilme dağılımı



Çizelge 4.9 100^m yüksekliğinde dikdörtgen planlı (20^mx40^m) yapıda ağ sıklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak A ve tepe yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi



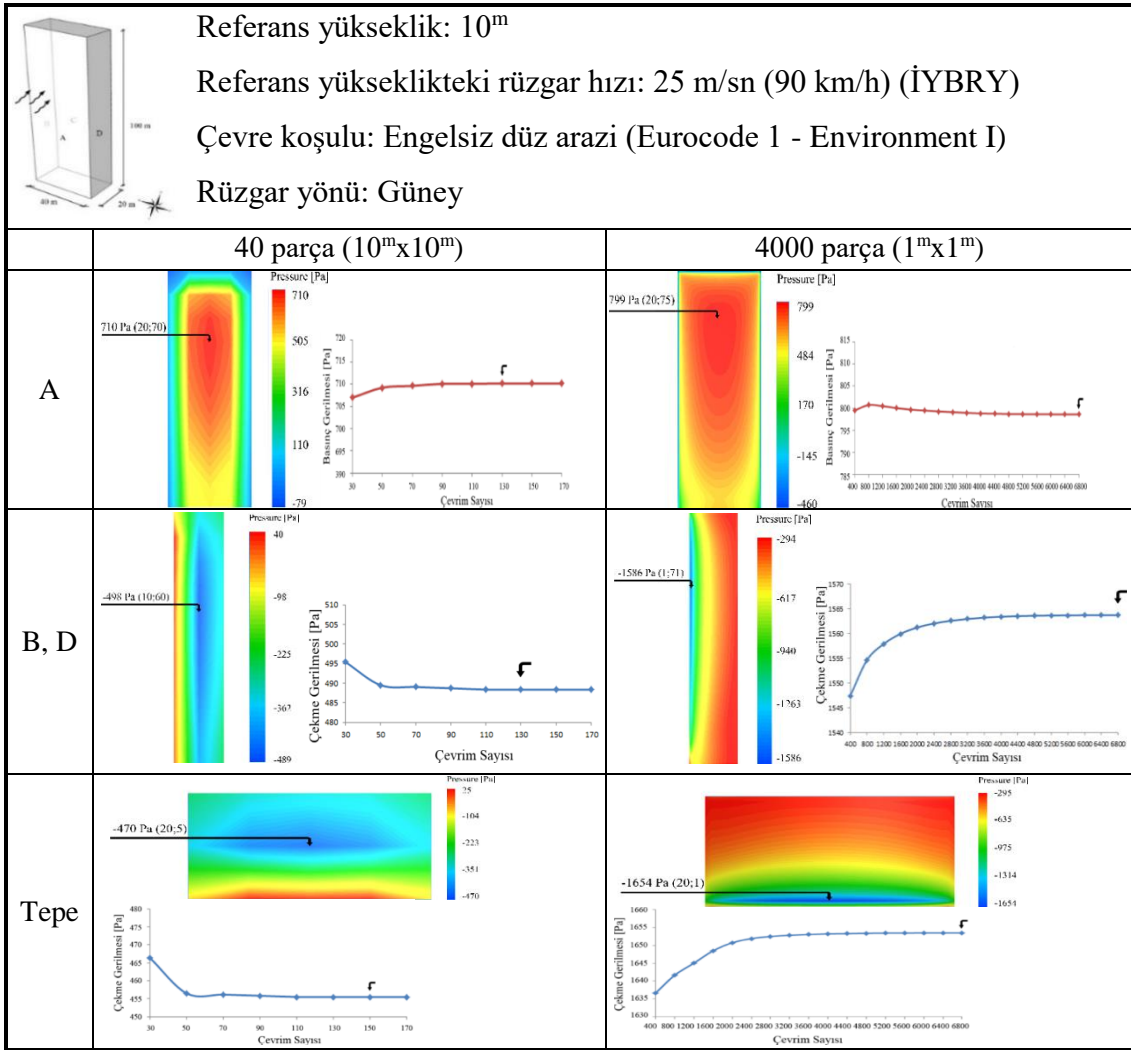
Çizelge 4.9 100^m yüksekliğinde dikdörtgen planlı (20^mx40^m) yapıda ağ sıklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak A ve tepe yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi (devamı),



Grafiklerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir:

- Cephenin 40 parçaya (10^mx10^m) bölünmesiyle maksimum çekme gerilmesi 150 çevrimde yeterli yakınsamaya ulaşırken, 4000 parçaya (1^mx1^m) bölünmesiyle 6800 çevrimde yakınsamaya başlar. İki durum karşılaştırıldığında değerler arasında ~%70 oranında değişim gözlenmektedir.
- Maksimum basınç gerilmesi açısından, 160 parça (5^mx5^m) ile 4000 parça arasındaki hata oranı sadece %3.1 olup kabul edilebilir düzeydedir.
- Aynı yükseklik bazında kare planla dikdörtgen plan arasında (L/B=2) A cephesindeki maksimum basınç gerilmesinde %5'lik artış söz konusudur.
- Basınç değerleri parça sayısı arttıkça daha istikrarlı değişim gösterirken çekme değerlerinin parça sayısına daha bağımlı olduğu gözlenmektedir.
- 20^mx20^mx100^m'lik bina ile karşılaştırıldığında yan cephede ve arka cephede meydana gelen çekme gerilmesinde ~%5 azalma görülmektedir.

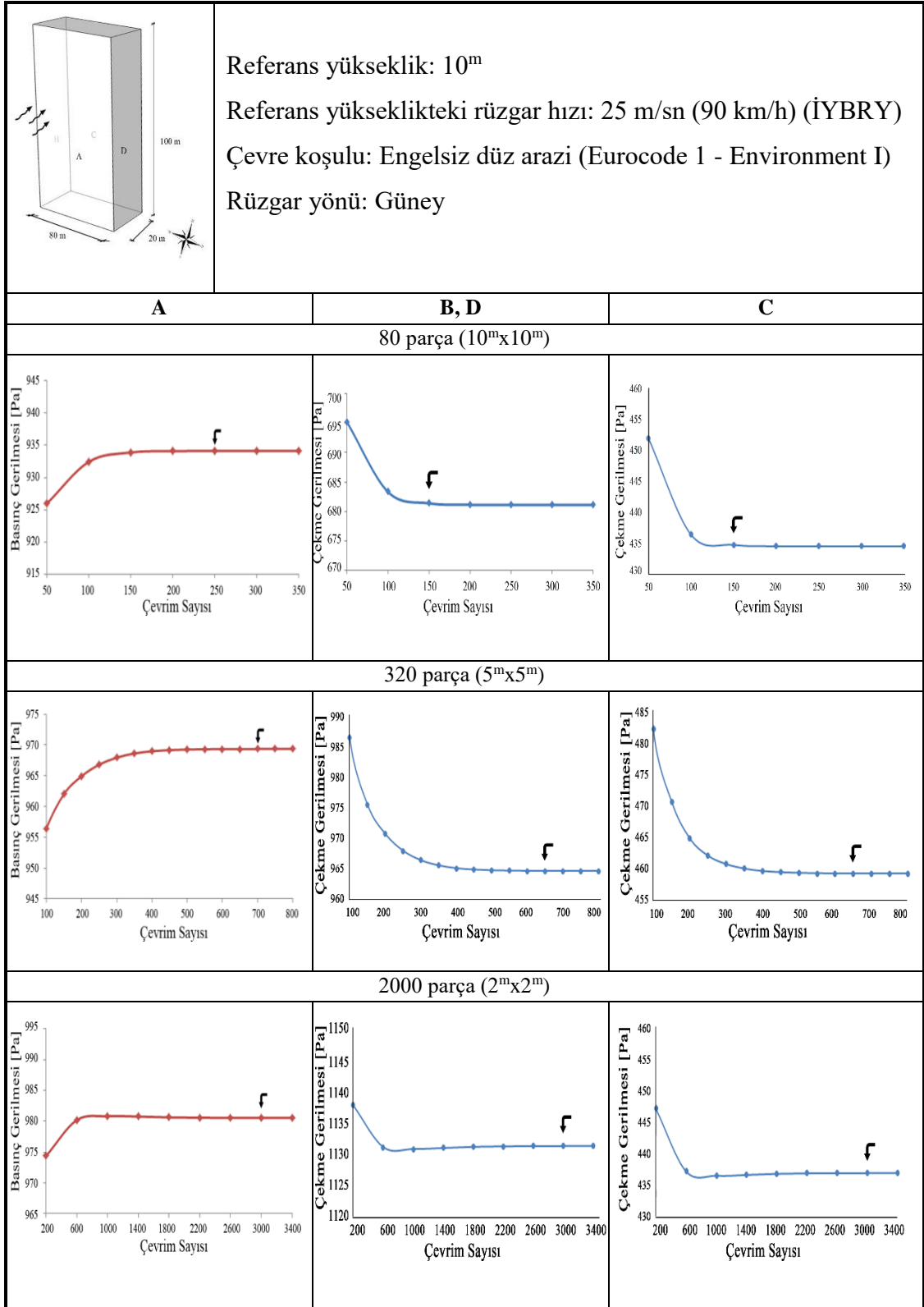
Çizelge 4.10 100^m yüksekliğinde dikdörtgen planlı (20^mx40^m) yapıda 40 parça ve 4000 parça için A,B,D ve tepe yüzeylerindeki görsel gerilme dağılımı



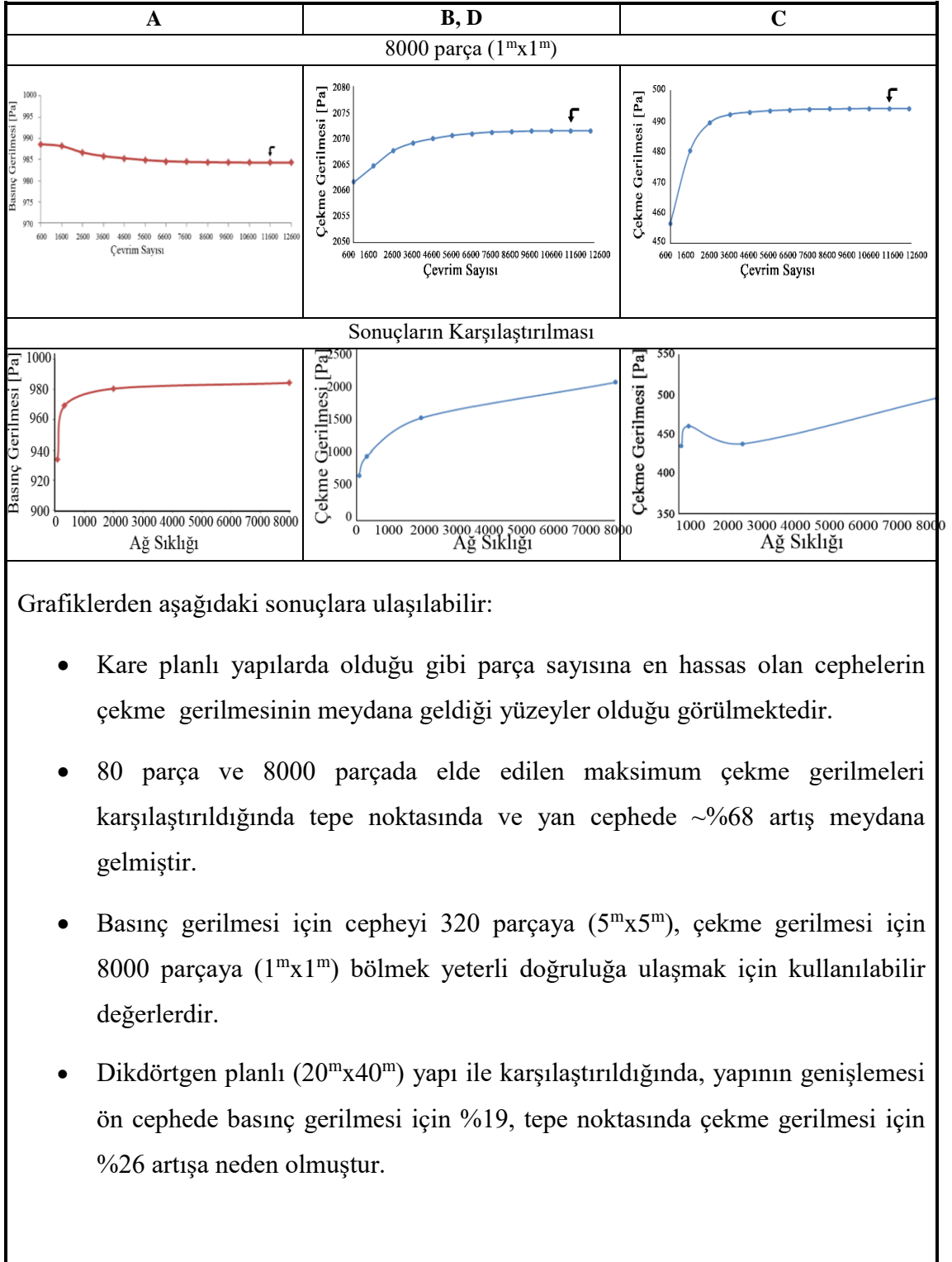
Grafiklerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir:

- Maksimum çekme gerilmesi aynı yükseklikteki kare planlı yapıda yan cephede oluşurken, burada tepede ön cepheden kaçış kısmında çizgi biçiminde meydana gelmektedir.
- Cephe 4000 parçaya (1^mx1^m) bölüldüğünde 20^mx20^mx100^m'lik yapı ile kıyaslandığında tepede meydana gelen çekme gerilmesi iki binada da orta aksta yaklaşık aynı yükseklikte görülürken değerde ~%0.3 oranında bir artış gözlenmektedir.
- Maksimum basınç gerilmesi için 4000 parça ile kare planlı (20^m) bina karşılaştırıldığında, ölçülen değerde %5 oranında artış gözlenirken, 10 m daha aşağıda (75^m) meydana geldiği görülmektedir.

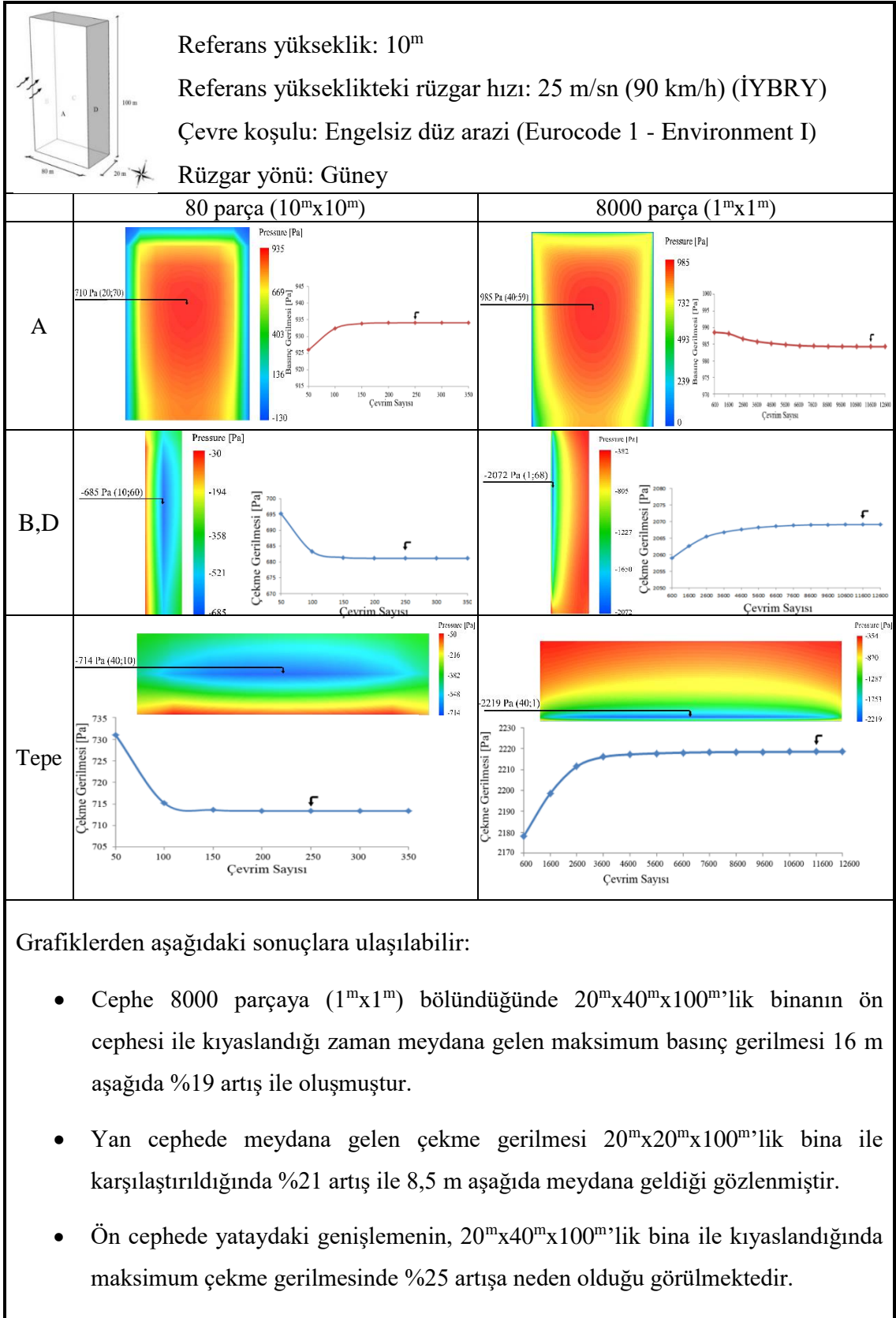
Çizelge 4.11 100^m yüksekliğinde dikdörtgen planlı (20^mx80^m) yapıda ağ sıklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak A ve tepe yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi



Çizelge 4.11 100^m yüksekliğinde dikdörtgen planlı (20^mx80^m) yapıda ağ sıklığı ve çevrim sayısına bağlı olarak A ve tepe yüzeylerindeki gerilmelerin değişimi (devamı),



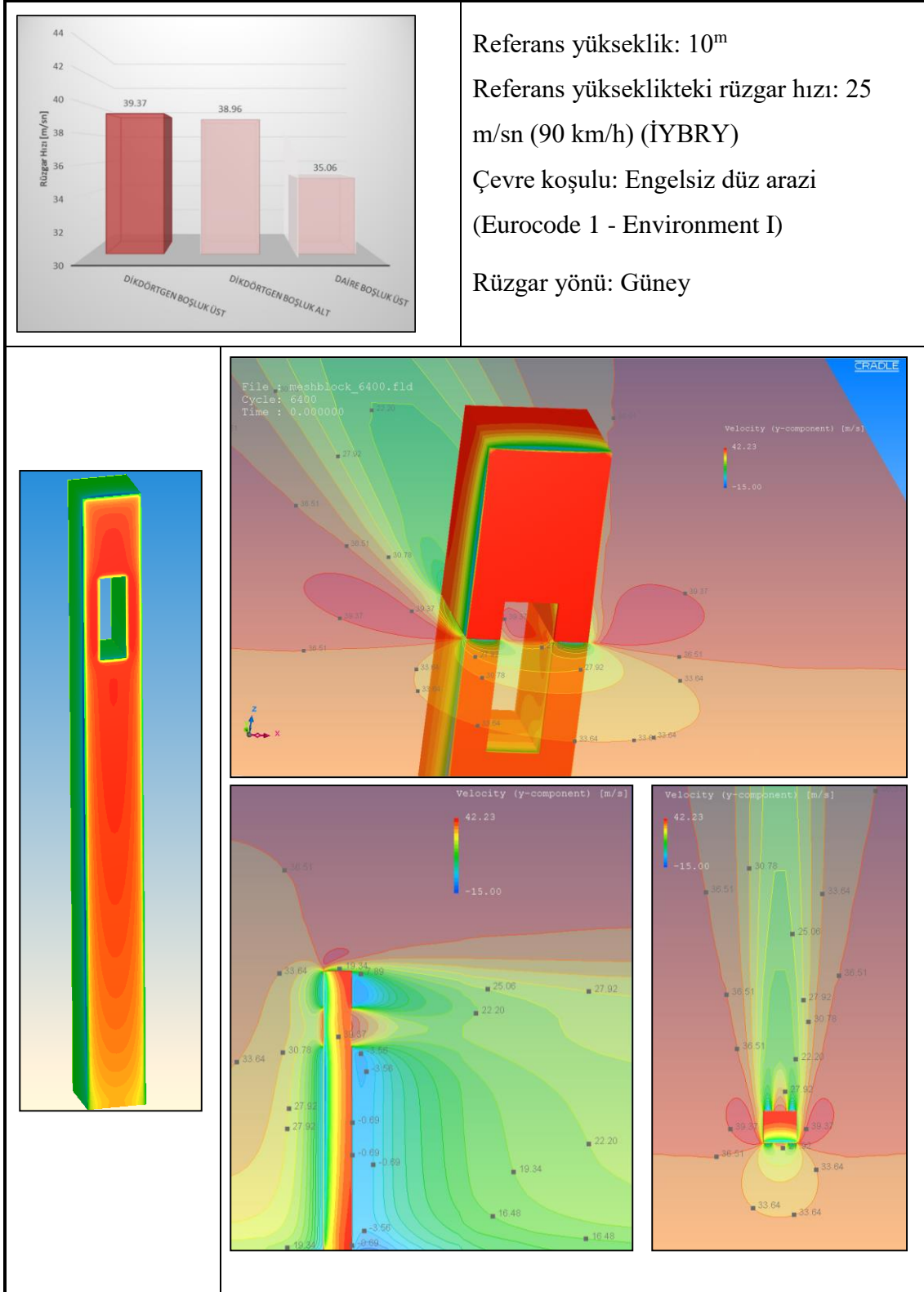
Çizelge 4.12 100^m yüksekliğindeki dikdörtgen planlı (20^mx80^m) yapıda 80 parça ve 8000 parça için A,B,D ve tepe yüzeylerindeki görsel gerilme dağılımı



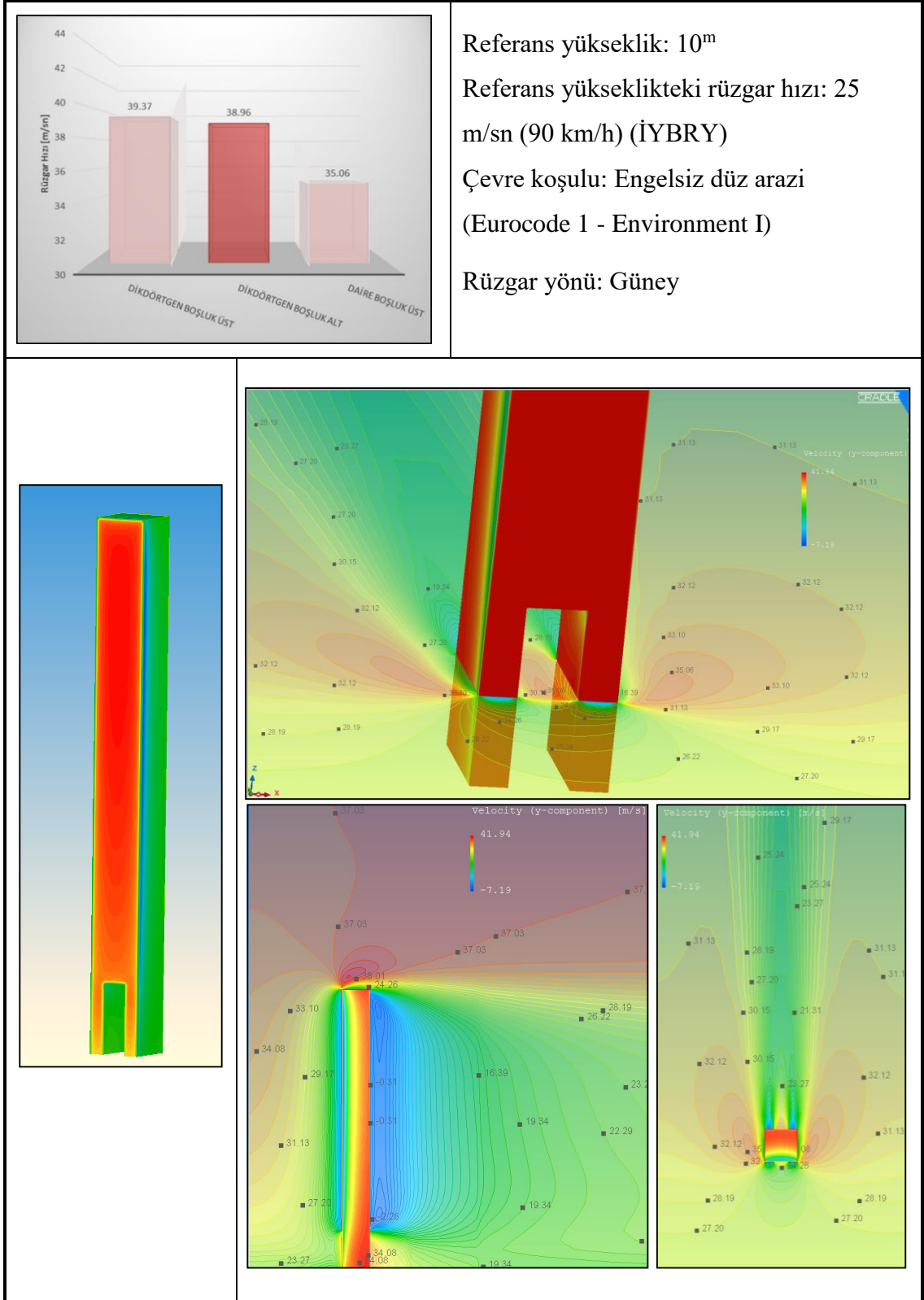
Çizelge 4.13 20^mx20^mx100^m'lik yapı için açılan farklı boşluk tipleri için görsel gerilme dağılımı

	Dikdörtgen Boşluk-Üstte	Dikdörtgen Boşluk-Altta	Daire Boşluk-Üstte
A	<p>1100 Pa (5; 251)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>1100 771 444 117 -210</p>	<p>1082 Pa (15; 246)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>1082 719 356 -9 -373</p>	<p>1104 Pa (15; 248)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>1104 772 440 108 -221</p>
B, D	<p>-1604 Pa (1; 101)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>-249 -587 -925 -1263 -1604</p>	<p>-1658 Pa (1,5; 221,5)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>-240 -594 -948 -1302 -1658</p>	<p>-1633 Pa (1,5; 228)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>-250 -603 -953 -1303 -1633</p>
C	<p>-497 Pa (2; 234)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>-200 -274 -347 -422 -497</p>	<p>-518 Pa (2; 298)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>-259 -324 -389 -453 -518</p>	<p>-500 Pa (3; 241)</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>-202 -276 -350 -424 -500</p>

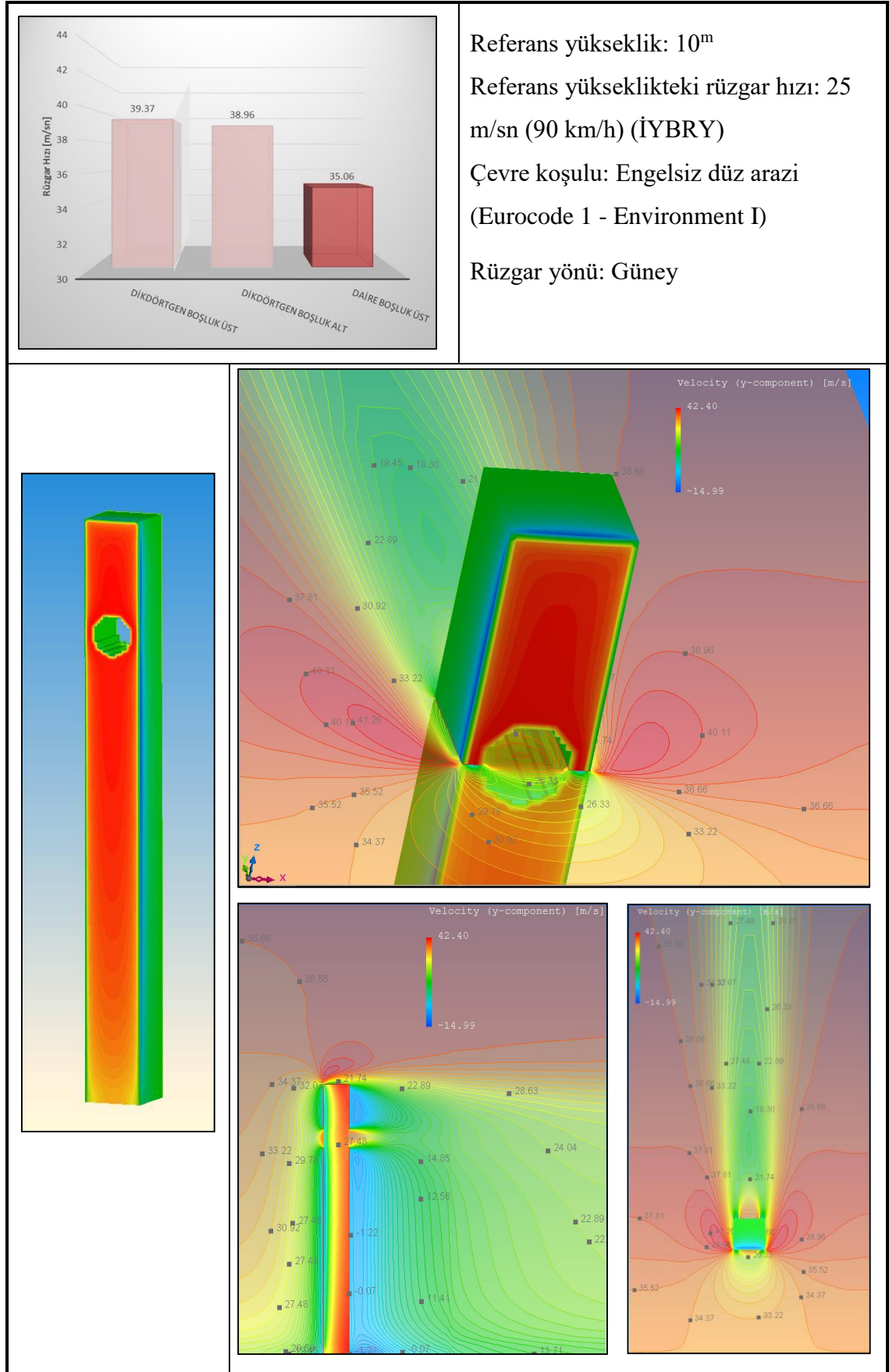
Çizelge 4.14 20^mx20^mx100^m'lik yapıda üstte açılan dikdörtgen boşluk için rüzgar hızı görseli



Çizelge 4.15 20^mx20^mx100^m'lik yapıda altta açılan dikdörtgen boşluk için rüzgar hızı görseli



Çizelge 4.16 20^mx20^mx100^m'lik yapıda üstte açılan daire boşluk için rüzgar hızı görseli



30^mx30^mx300^m'lik yapıda farklı boşluk yerleri ve formu için, yapılan analizlerin (Çizelge 4.13-16) değerlendirmeleri aşağıda topluca verilmiştir:

- Maksimum basıncın meydana geldiği noktada açılan dikdörtgen boşluk açılması durumunda, ön cephedeki maksimum basınç gerilmesi değeri değişmez iken, koordinatları kare planda orta aksta, boşluklu yapıda boşluğun çevresinde oluşmaktadır.
- Boşluksuz yapıya göre çekme gerilmesi %13 azalmaktadır. Maksimum çekme gerilmesinin yeri boşluksuz yapıda en üst köşe noktalarda iken, boşluklu yapıda ise basınç gerilmesinde olduğu gibi boşluk çevresinde görülür.
- Dikdörtgen boşluğun altta açılması durumunda, üstte açılması durumuna kıyasla basınç ve çekme gerilmesi değeri ve yeri değişmemektedir.
- Üstte daire şeklinde açılan boşluk durumunda maksimum basınç ve çekme gerilmesi değerlerinde büyük değişim gözlenmezken, maksimum gerilmeler dairenin çevresinde izlenmektedir.
- Açılan boşluklar genel olarak değerlendirildiğinde, maksimum rüzgar hızı yukarıda açılan dikdörtgen durumunda elde edilmektedir (39.37 m/sn).

SONUÇ ve ÖNERİLER

İlk yüksek yapı olarak kabul edilen Home Insurance Building (Chicago, 1884) ile başlayan süreçte, malzeme ve taşıyıcı sistemlerdeki gelişmelere paralel olarak günümüze kadar; nüfus yoğunluğunun belirli merkezlerde toplanması, şehir merkezlerindeki arsa maliyetlerinin yükselmesi, teknolojik gelişmeler ve prestij kazanım isteğinin yapı sektörüne yansımaları yüksek yapıların gelişmesine sebep olmuştur.

Bu tezde ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Yüksek yapılar üzerindeki rüzgarın salınım ve girdap etkisinin azaltılması amacıyla, son yıllarda formlar üzerinde önemli estetik değişimler yapılmaktadır. Ayrıca rüzgarın, rüzgar türbinleri vasıtasıyla sürdürülebilir amaçlı kullanımı mevcuttur.
- Güncel teknolojideki gelişmeler ile birlikte, benzeşim programlarının rüzgar tüneli testlerinin yerine veya birlikte kullanıldığı, makul sonuçlar verdiği izlenmektedir. Bu da son derece maliyetli olan rüzgar tüneli testleri yerine, güvenilir benzeşim programlarının yakın gelecekte daha da etkin bir şekilde kullanılabilmesi anlamına gelmektedir.
- Cradle ScStream® programı, Eurocode-1'e göre 3-sn'lik maksimum rüzgar hızını esas alarak analizleri gerçekleştirmektedir. Diğer taraftan ASCE 7-10 ile teorik rüzgar yüklerinin belirlenmesinde, Yönetmelik ortalama hız değerlerini esas almaktadır. Dolayısıyla iki farklı rüzgar hızı yaklaşımı ile bulunan değerlerin birebir benzerlik göstermesi beklenmemelidir.

- Tez kapsamında yapılan parametrik benzeşim analizlerinin sonucunda, cephedeki basınç gerilmelerinin hakim olduğu ön yüzeylerde ağ sıklığının $2^m \times 2^m$ aralıkla seçilmesinin yeterli doğrulukla sonuç verdiği görülmektedir; ancak özellikle yan yüzeyler parça sayısına çok hassas olduğu için $0.5^m \times 0.5^m$ aralıkla bölmek bile yeterli gelmeyip, $0.1^m \times 0.1^m$ ağ sıklığının gerekli olduğu görülmüştür.
- Benzeşim programıyla yapılan çalışmalarda maksimum basınç gerilmesi, parça sayısı arttıkça daha istikrarlı ve hızlı yakınsama gösterirken; maksimum çekme gerilmesi değerlerinin parça sayısına çok daha bağımlı olduğu gözlenmektedir.
- En büyük çekme gerilmeleri, ön cepheden yan cepheye kaçma (köşe) hattı boyunca oluşmaktadır. Dolayısıyla sözkonusu kaçış noktalarına ayrıca özen gösterilmesi gerekmektedir. Bu bölgelerinin yuvarlatılması, çekme etkisini azaltacaktır.
- Kare planlı yapılarda, yan cephede meydana gelen çekme gerilmesi arka cephede meydana gelen çekme gerilmesinden 4 kat fazladır. Tasarımlarda bu fark dikkate alınmalıdır.
- Kare ve dikdörtgen planlı yapılarda, maksimum basınç gerilmesi orta aksta meydana gelirken, yapının ön cephe genişliği arttıkça maksimum gerilme değeri de artmaktadır.
- Kare planlı yapılarda, taban alanı ve yükseklikteki artış ($20^m \times 20^m \times 100^m$ 'den $30^m \times 30^m \times 300^m$ 'ye), basınç ve çekme gerilmelerinde $\sim\%30$ artışa neden olmuştur.
- 100 m yüksekliğindeki kare planlı yapıda, maksimum basınç gerilmesinin meydana geldiği yükseklikte açılan boşluk, basınç gerilmesinde artışa neden olurken; çekme gerilmesi açısından yan cephede azalma, arka cephede ise artışa neden olmaktadır.
- Kare planlı yapıda tepede açılan dikdörtgen boşluk içinde meydana gelen rüzgar hızı diğer boşluklara göre maksimum seviyededir (39.37 m/sn).

KAYNAKLAR

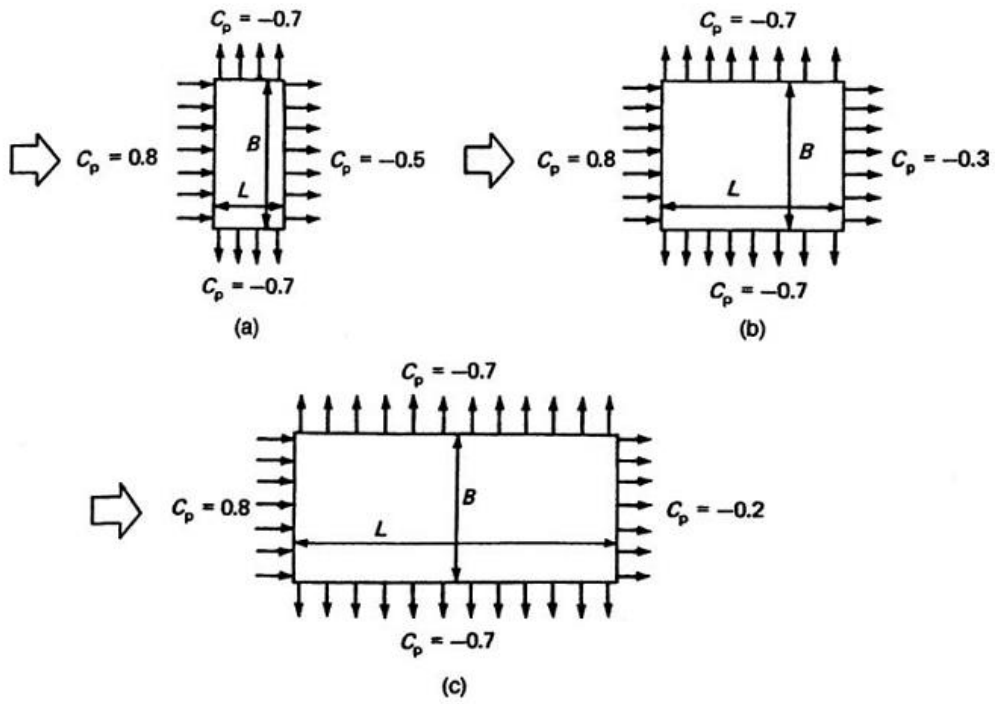
- [1] DIN (1988). Deutsches Institut für Normung, Almanya
- [2] ANSI/AISC 360-05 (2005). An American National Standard, Amerika
- [3] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [4] Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Criteria for the Defining and Measuring of Tall Buildings,
<http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=zvoB1S4nMug%3d&tabid=446&language=en-US>, 28 Eylül 2015.
- [5] Sev, A., (1997). Türkiye’de Gerçekleştirilen Yüksek Konut Binalarında Perdeli Sistem Uygulama Örneklerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Gize Piramitleri resimlerinin alındığı web sitesi,
<http://global.britannica.com/topic/Pyramids-of-Giza>, 28 Eylül 2015.
- [7] Babil Kulesi resimlerinin alındığı web sitesi,
[https://en.wikipedia.org/wiki/The_Tower_of_Babel_\(Bruegel\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Tower_of_Babel_(Bruegel)), 13 Ekim 2015.
- [8] İskenderiye Feneri resimlerinin alındığı web sitesi,
https://tr.wikipedia.org/wiki/İskenderiye_Feneri, 15 Ekim 2015.,
- [9] Ulm Kilisesi resimlerinin alındığı web sitesi,
https://en.wikipedia.org/wiki/Ulm_Minster, 13 Kasım 2015.
- [10] Yakushi Pagodası resimlerinin alındığı web sitesi,
<https://sites.google.com/site/estampesshinhangar/asano-takeji/takeji-asano-yakushi-ji>, 13 Kasım 2015.
- [11] Demir, N., (2011). Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilir Enerji, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] 1916 New York İmar Yasası ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi,
<http://www.nyc.gov/html/dcp/html/zone/zonehis.shtml>, 16 Kasım 2015.
- [13] Hammarberg, E., (2005). “A Case Study of Early Steel Curtain Wall: The Chrysler Building, New York, NY”, Structures Congress, 20-25 April 2005, New York.

- [14] Nacheman, R.J., (2005). "The Empire State Building Facade Evaluation and Repair of an Engineering Landmark", Structures Congress, 20-25 April 2005, New York.
- [15] Brookes, A.J. ve Meijs, M., (2008). Cladding of Buildings, Fourth Edition, Tyler & Francis, New York.
- [16] Ersoy, M.S., (2008). Transparan Cephe Sistemlerinin Sınıflandırılması, Yapım ve Kullanım Performanslarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [17] Cebecioglu, H.F., (2004). Çift Katmanlı Giydirmeye Cephelerin Sınıflandırılması ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Zeytun, B.A. ve Demirbilek, N.F., (1999) "Sürdürülebilir ve Ekolojik Yüzey Malzemeleri", Mimari Biçimlendirme Yüzey Sempozyumu, İstanbul.
- [19] BBRI, (2002). Belgium Building Research Institute, Source Book for a Better Understanding of Conceptual and Operational Aspects of Active Facades, Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Service, Belgian Building Research Institute, Vol No.1, Belgium.
- [20] Houska, C., (2013). "The Use of Stainless Steel in Second-Skin Facades", CTBUH Journal, Issue III: 26-31.
- [21] Schofield, J., (2012). "Case Study: Capital Gate, Abu Dhabi", CTBUH Journal, Issue II:12-17.
- [22] Zeljic, A.S., (2010). "Shanghai Tower Facade Design Process", International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST 2010), Vancouver, Canada.
- [23] Gensler, (2008). Tallest Building in China Breaks Ground, http://www.gensler.com/uploads/documents/pr_081128_Shanghai_Tower_11_24_2008.pdf, 12 Kasım 2015.
- [24] Home Insurance Building resimlerinin alındığı web sitesi, https://en.wikipedia.org/wiki/Home_Insurance_Building, 14 Eylül 2015.
- [25] Home Insurance Building resminin alındığı web sitesi, <http://www.history.com/topics/home-insurance-building>, 13 Kasım 2015.
- [26] Equitable Life Building resminin alındığı web sitesi, <http://thisculturalchristian.blogspot.com.tr/2011/11/parks-should-be-for-peopleliberty.html>, 13 Kasım 2015.
- [27] Eiffel Tower'ın resimlerinin alındığı web sitesi, https://en.wikipedia.org/wiki/Eiffel_Tower#/media/File:Tour_Eiffel_Wikimedia_Commons.jpg, 13 Kasım 2015.
- [28] Monadnock Building resimlerinin alındığı web sitesi, <http://wikimapia.org/1014406/Monadnock-Building>, 15 Kasım 2015.
- [29] Monadnock Building görünüş ve kesitinin alındığı web sitesi, <http://www.paulrwilliamsproject.org/education/timeline/1891/#american-architecture>, 15 Kasım 2015.

- [30] Reliance Building resimlerinin alındığı web siteleri,
http://archimagogallery.blogspot.com.tr/2011_04_01_archive.html
<http://archsoc.westphal.drexel.edu/New/ArcSocIIISA10.html>, 13 Kasım 2015.
- [31] Chrysler Binasının resimlerinin alındığı web sitesi,
<http://www.boomsbeat.com/articles/1423/20140319/on-top-of-the-world-at-thechrysler-building-new-york.htm>, 15 Kasım 2015.
- [32] Empire State Binasının resimlerinin alındığı web sitesi,
http://nostalgicevents.skyrock.com/photo.html?id_article=3131772372&id_article_media=38822680, 8 Ekim 2015.
- [33] United Nations Secretariat resminin alındığı web sitesi,
https://en.wikipedia.org/wiki/Headquarters_of_the_United_Nations#/media/File:UN_Headquarters_2.jpg, 15 Kasım 2015.
- [34] Lever House'un resminin alındığı web sitesi;
<https://vincemichael.files.wordpress.com/2010/03/lever09.jpg>, 15 Kasım 2015.
- [35] DeWitt Chesnut Apartment Building resimlerinin alındığı web siteleri;
<http://yochicago.com/860-dewitt-860-n-dewitt-pl-streeterville/31941/>
http://www.snipview.com/q/DeWitt-Chestnut_Apartment_Building 15 Kasım 2015.
- [36] John Hancock Center resimlerinin alındığı web sitesi,
https://en.wikipedia.org/wiki/John_Hancock_Center, 15 Kasım 2015.
- [37] John Hancock Center detay resimlerinin alındığı web sitesi,
<http://www.support.tue.nl/archief/studiereizen/studiereis2004/EN/johnhancock.htm>, 13 Kasım 2015.
- [38] John Hancock Center cephe resimlerinin alındığı web sitesi,
[http://arch409.wikia.com/wiki/John_Hancock_Building_\(drawings\)](http://arch409.wikia.com/wiki/John_Hancock_Building_(drawings)), 13 Kasım 2015.
- [39] Halensee Office Building resimlerinin alındığı web sitesi,
<http://structurae.net/photos/56564-halensee-office-building>, 13 Kasım 2015.
- [40] Halensee Office Building resimlerinin alındığı web sitesi,
<http://shuyinglin.tumblr.com/architecture>, 13 Kasım 2015.
- [41] Gerhardt, H.J. ve Krüger, O., (1998). "Double Skin Glass Facades-Investigations Into the Systems and Technology", University of Bath, UK.
- [42] Commerzbank Building resimlerinin alındığı web sitesi,
<http://www.turbosquid.com/3d-models/3ds-max-commerzbank-tower-building-skyscraper/501033>, 9 Kasım 2015.
- [43] Commerzbank Building doğal hava akışı resimlerinin alındığı web sitesi,
<https://rist2230.wordpress.com/2014/09/26/commerzbank-and-energy-flows/>, 15 Kasım 2015.
- [44] Bahrain World Trade Center resimlerinin alındığı web sitesi,
http://www.asianpictures.org/bahrain_world_trade_center.html, 12 Kasım 2015.
- [45] Bahrain World Trade Center resimlerinin alındığı web sitesi,
<http://www.solaripedia.com/images/large/788.jpg>, 12 Kasım 2015.

- [46] Ulusoy, G., (2012). “Studies on Tall Buildings: Design Considerations”, METU, Department of Architecture, Building Science Program, İstanbul.
- [47] Castle House resimlerinin alındığı web sitesi, <http://www.e-architect.co.uk/london/strata-se1>, 8 Kasım 2015.
- [48] Capital Gate resimlerinin alındığı web sitesi, <http://skyscrapercenter.com/building/capital-gate-tower/3172>, 15 Kasım 2015.
- [49] Capital Gate resimlerinin alındığı web sitesi, https://en.wikipedia.org/wiki/Capital_Gate#/media/File:Capital_Gate.jpg, 15 Kasım 2015.
- [50] Shanghai Tower resimlerinin alındığı web sitesi, <http://ewcg.com/projects/shanghai-tower/>, 17 Kasım 2015.
- [51] Taranath B.S., (2005). Wind and Earthquake Resistant Buildings/Structural Analysis and Design, First Edition, Marcel Dekker, New York.
- [52] Yeter, P., (2011). Rüzgar Karakteristiği ve Enerjisine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [53] Gürses, P., (2012). Yapılara Etki Eden Rüzgar Yüklerinin Eurocode 1-4 ve ASCE 7-05 Standartları Kullanılarak Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [54] ASCE 7-10, (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineering, Washington.
- [55] EUROCODE-1, (1991), Actions on Structures - General Actions - Part 1-4: Wind Actions, UK.
- [56] Yücel, M., (2010), Yüksek Binaların Yakın Çevre Bina Yüzeylerindeki Hava Akılma Etkileri – Four Winds Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [57] Günel, M. ve Ilgın, H.E., (2010), Yüksek Binalar Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form, I. Baskı, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği, Ankara.
- [58] Scott, D., Hamilton, N., ve Ho, E., (2005). “Structural Design Challenges for Tall Buildings”, Structure Magazine, 4:20-23.
- [59] Kurç, Ö., Kayışoğlu, B., vd. (2012). “Yüksek Binalarda Rüzgar Etkilerinin Rüzgar Tüneli Deneyleriyle Tespiti”, İMO Teknik Dergisi, 389: 6163-6186.
- [60] NIST 1655, (2009). Toward a Standard on the Wind Tunnel Method, NIST, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg.
- [61] Dodson, M.G., (2005). An Historical and Applied Study of the Wright Brothers’ Wind Tunnel Test Program and Application to Successful Manned Flight, Trident Scholar Project, United States Naval Academy Aerospace Engineering Department, Annapolis.

ASCE 7-10 DIŞ BASINÇ KATSAYISI



En boy oranı göz önünde bulundurularak dış basınç katsayısı C_p hesabı;

- L/B : (a) $0 \leq L/B \leq 1$; (b) $L/B = 2$; (c) $L/B > 4$

ASCE 7-10 RÜZGAR DOĞRULTU KATSAYISI

Yapı Tipi	Katsayı K_d
Yapı	
Rüzgar Kuvvetine Dayanıklı Sistem	0.85
Bileşenler ve Kaplama	0.85
Kemerli Çatılar	0.85
Bacalar, Tanklar ve Benzer Yapılar	
Kare	0.90
Altıgen	0.95
Daire	0.95
Katı İşaretler (Solid Signs)	0.85
Tanıtım Panoları ve Kafes Çerçeve	0.85
Truss Towers	
Üçgen, Kare, Dikdörtgen	0.85
Diğer Bütün Enine Kesitler	0.95

ASCE 7-10 ÖNEM KATSAYISI

Kategori	Fırtına Eğilim Olmayan Bölgeler ve Fırtına Eğilimi V=85-100 mph Olan Bölgeler ve Alaska	Fırtına Eğilimi V>100 mph Olan Bölgeler
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

EK 4**ASCE 7-10 ARAZİ ETKİ SABİTLERİ**

Exposure	α	z_g (m)	\hat{a}	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ (m)	$\bar{\epsilon}$	z_{min} (m)*
B	7.0	365.76	1/7	0.84	1/4.0	0.45	0.30	97.54	1/3.0	9.14
C	9.5	274.32	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	152.4	1/5.0	4.57
D	11.5	213.36	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	198.12	1/8.0	2.13

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Havva Merve TUNCER
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.03.1990/Fatih
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mertetuncer@yandex.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	Mimarlık	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen	Hasan Çolak Anadolu Lisesi	2008