T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGÂR ETKİSİNDEKİ BİNALARDA DIŞ YÜZEY BASINÇLARININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ

HALİL ZEYREK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI

DANIŞMAN
DOC. DR. SERKAN BEKİROĞLU

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGÂR ETKİSİNDEKİ BİNALARDA DIŞ YÜZEY BASINÇLARININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ

Halil ZEYREK tarafından hazırlanan tez çalışması 29.03.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halil KARADENİZ

İstanbul Esenyurt Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yapılar yaşamları boyunca birçok farklı yüke maruz kalmaktadır. Bu yüklerden birisi de rüzgâr yüküdür. Rüzgâr kaynaklı yüklerin yapıya olan etkilerinin belirlenmesi yapı tasarımı için oldukça önemlidir. Bu çalışma birçok farklı yapı örneği üzerinde oluşan rüzgâr etkilerin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi kullanılarak bulunmasını içermektedir.

Çalışmanın gerçekleşmesinde bilgi ve desteğini esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

Mart, 2019

Halil ZEYREK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xi

ÇİZELGE LİSTESİ xiv

ÖZET xv

ABSTRACT xvii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.1.1 Eğimli Çatıya Sahip Yapılar ile İlgili Literatür Araştırması 2
1.1.2 Yüksek Yapılar ile İlgili Literatür Araştırması 3
1.1.3 Alçak ve Yüksek Yapılar ile İlişkili Literatür Araştırması 5
1.1.4 Geometrik Sınır Değişiklikleri ile İlgili Literatür Araştırması 6
1.2 Tezin Amacı 7
1.3 Hipotez 7

BÖLÜM 2

AKIŞKANLAR MEKANİĞİ 9

2.1 Akışkanlar Mekaniğine Giriş 9
2.2 Akışkanların Özellikleri 10
2.2.1 Yoğunluk 10
2.2.2 Özgül Ağırlık 11
2.2.3 Viskozite 11
2.2.4 Hacimsel Elastiklik Modülü 15
2.2.5 Enerji 16
2.2.6 Kaymama Koşulu 17
2.3 Akışkanların Sınıflandırılması 18

2.3.1 Viskoz ve Viskoz olmayan akış bölgeleri 18
2.3.2 İç ve Dış Akışlar 19
2.3.3 Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar 19
2.3.4 Laminer ve Türbülanslı Akışlar 20
2.3.5 Doğal ve Zorlanmış Akış Tipleri 21
2.3.6 Daimî ve Daimî olmayan Akış Tipleri 22
2.3.7 Akış Hareketinde Boyut Kavramı 22
2.3.8 Sistem Seçimi Kavramı 22
2.4 Basınç ve Akışkanlar Statik Davranışları 23
2.5 Akışkanların Kinematik Davranışları 25
2.5.1 Akışkan Akımını İnceleme Teknikleri 25
2.5.2 Akış Hareketin Fiziksel Değerlerin Görselleşmesi ve Çizimleri 26
2.5.2.1 Akış Görselleştirme Terimleri 26
2.5.2.2 Çizim Yöntemleri 27
2.6 Akışkanlar Mekaniği Denklemleri 28
2.6.1 Korunum Denklemleri 29
2.6.1.1 Kütlenin Korunumu Denklemi 29
2.6.1.2 Momentumun Korunumu Denklemi 29
2.6.1.3 Enerjinin Korunumu Denklemi 30
2.6.2 Bernoulli Denklemleri 30
2.6.3 Navier-Stokes Denklemleri 31

BÖLÜM 3

YAPI- RÜZGÂR ETKİLEŞİMİ 33

3.1 Rüzgârın Oluşumu ve Hareketi 34
3.2 Yapılar Üzerinde Genel Rüzgâr Etkileri 35
3.2.1 Tek Yapı Üzerinde Rüzgâr Etkileri 37
3.2.1.1 Aşağı Akım Etkisi 37
3.2.1.2 Köşe Etkisi 38
3.2.1.3 Girdap Etkileri 38
3.2.2 Yapı Topluluğu Üzerinde Rüzgâr Etkileri 39
3.2.2.1 Kümülatif Etki 39
3.2.2.2 Birbirine Komşu Alçak ve Yüksek Yapılarda etkiler 40
3.2.2.3 Kanal etkisi 40
3.2.2.4 Sıralı Yapılar Üzerindeki Etkiler 41
3.3 Yapılar Üzerinde Oluşan Rüzgâr Yükünü Tespit Yöntemleri 42
3.3.1 Yönetmelikler 42
3.3.2 Rüzgâr Tünel Testleri 43
3.3.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) 43
3.3.3.1 Türbülans Yaklaşımı 44

BÖLÜM 4

EUROCODE 1' E GÖRE BİNA DIŞ RÜZGÂR BASINCI HESABI 46

4.1 Esas Rüzgâr Hızı Hesabı (V_b) 46
4.2 Ortalama Rüzgâr Hızı Hesabı (V_m) 47

4.3 Rüzgâr Türbülans Standart Sapması (σv) ve Türbülans Şiddeti Hesabı ($Iv(z)$): 49
4.4 Tepe Hız Kaynaklı Rüzgâr Basıncı Hesabı ($q_p(z)$): 49
4.5 Dış Duvar Rüzgâr Basıncı Hesabı (W_e): 49

BÖLÜM 5

YAPILAN ÇALIŞMALAR: ÇİFT EĞİMLİ ÇATILI YAPILARIN DIŞ DUVAR RÜZGÂR BASINCININ EUROCODE 1, TS 498 VE HAD YÖNTEMİ İLE İRDELENMESİ 51

5.1 Eurocode 1 Uygulama Örneği 52
5.2 Eurocode 1 Dış Duvar Basınç Sonuçları 55
5.3 TS 498 Yönetmeliğine Göre Rüzgâr Basıncı Hesabı 56
5.4 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi 58
5.4.1 Akış Alanı ve Sınır Şartları 58
5.4.2 Ağ Yapısı 59
5.4.3 Analiz Opsiyonları 62
5.4.4 Hız Fonksiyonun Belirlenmesi 62
5.4.5 Analiz Sonuçları 65
5.5 Değerlendirmeler 68
5.5.1 TS 498 ile Eurocode 1 Sonuçlarının Karşılıklı Değerlendirilmesi 69
5.5.2 Analiz ile Eurocode 1 Sonuçlarının Karşılıklı Değerlendirilmesi 70
5.5.3 TS 498 ile Analiz Sonuçlarının Karşılıklı Değerlendirilmesi 72

BÖLÜM 6

YAPILAN ÇALIŞMALAR: YAPILARIN KAT KALIP PLANLARINDA YAPILAN GEOMETRİK SINIR DEĞİŞİKLİKLERİN YAPI- RÜZGÂR İLİŞKİSİNE ETKİSİ 74

6.1 Yapı Geometrileri 74
6.2 Akış Alanı- Ağ Yapısı ve Analiz Opsiyonları 76
6.3 Sayısal Sonuçların İrdelenmesi 78

BÖLÜM 7

YAPILAN ÇALIŞMALAR: AKIŞ ALANINDA BULUNAN ALÇAK VE YÜKSEK KOMŞU YAPILAR ÜZERİNDEKİ RÜZGÂR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ 85

7.1 Yapı Geometrileri ve Akış Alanı 85
7.2 Ağ Yapısı ve Analiz Opsiyonları 87
7.3 Sayısal Sonuçların İrdelenmesi 88

BÖLÜM 8

YAPILAN ÇALIŞMALAR: AKIŞ ALANINDA BULUNAN ÜÇ KOMŞU YAPININ ÜZERİNDEKİ RÜZGÂR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ 105

8.1 Yapı Geometrileri ve Akış Alanı 105
8.2 Ağ yapısı ve Analiz Opsiyonları 107
8.3 Sayısal Sonuçların İrdelenmesi 107

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER 117

KAYNAKLAR 120

ÖZGEÇMİŞ 124

SİMGE LİSTESİ

A	Alan
c_{dir}	Doğrultu katsayısı
C_f	Yüzey pürüzsüzlüğü
c_o	Orografi katsayısı
c_p	Basınç katsayısı
c_{prob}	Olasılık katsayısı
c_r	Engebelik katsayısı
c_{season}	Mevsim katsayısı
$\dot{E}_{çıkan}$	Kontrol hacmine birim zamanda çıkan toplam enerji
$\dot{E}_{giren}$	Kontrol hacmine birim zamanda giren toplam enerji
e_{akan}	Akan akışkanın birim kütle başına toplam enerjisi
F	Kuvvet
I_v	Türbülans şiddeti
K	Üst sınır uç değer dağılımının değişkenlik katsayısına bağlı olan şekil parametresi
k_1	Türbülans katsayısı
k_r	Arazi katsayısı
ke	Kinetik enerji
Ma	Mach sayısı
$\dot{m}$	Kütlesel debi
n	Üstel sayı
P	Yıllık aşılma ihtimali
p	Fırtınalar esnasında bölgede olması beklenen sıcaklık, barometre basınç değeri ve rakıma bağlı olan hava yoğunluğu
p_b	Bağıl yoğunluk
pe	Potansiyel enerji
g	Yer çekimi ivmesi
Re	Reynolds sayısı
q_p	Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı
u	Akışkan hızı
u^+	Boyutsuz hız
u_τ	Kayma gerilme hızı
V	Akışkan hacmi
V_b	Esas rüzgâr hızı

$V_{b,0}$	Esas rüzgâr hızının temel değeri
V_m	Ortama rüzgâr hızı
$\tilde{V}$	Hacimsel debi
W	Dış rüzgâr basıncı
y^+	Ağ derinliği katsayısı
Z_w	Duvar kayma gerilmesi
z	Yer seviyesinden yükseklik
$z_{en\ büyük}$	En büyük yükseklik
$z_{en\ küçük}$	En küçük yükseklik
z_o	Engebelik uzunluğu
μ	Akışkanın dinamik viskozite
σv	Rüzgâr türbülans standart sapması
ϑ	Akışkanın kinematik viskozite
σ_v	Standart sapma
ɣ	Özgül ağırlık
T	Kayma gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

AIJ	Architectural Institute of Japan
AS/NZS	Australian / New Zealand Standard
ASCE	American Society of Civil Engineers
Eurocode 1	Actions on structures- Part 1-4: General actions- Wind actions
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
KBC	Korean Building Code
NBCC	National Building Code of Canada
TS 498	Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değeri
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TS EN 1991-1-4	Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Rüzgâr Etkileri

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 İki plaka arasında bulunan akışkanın davranışı 12
Şekil 2. 2 Newton tipi akışkanlara ait kayma gerilmesi deformasyon hızı ilişkisi 13
Şekil 2. 3 Newton tipi olmayan akışkan kayma gerilmesi deformasyon hızı ilişkisi 13
Şekil 2. 4 Sıvıların ve gazların viskozitesinin sıcaklıkla değişimi 15
Şekil 2. 5 Üniform bir hıza sahip hareket halindeki akışkanın katı bir yüzeye teması . 18
Şekil 2. 6 Viskoz ve viskoz olmayan akış bölgeleri [24] 19
Şekil 2. 7 Düz bir engel üzerindeki akışın sınır tabakasının gelişimi [24] 21
Şekil 2. 8 Mutlak, etkin ve vakum basınçları 24
Şekil 2. 9 Durgun haldeki akışkan ağırlık basıncının yükseklikle değişimi 25
Şekil 2. 10 Akım çizgileri ve akım tüpü [24] 27
Şekil 2. 11 Hız bileşeninin bir yönü için örnek profil çizimi 27
Şekil 2. 12 Hızın Ansys Fluent örnek vektör çizimi 28
Şekil 2. 13 Basıncın Ansys Fluent örnek renk kontur çizimi 28
Şekil 3. 1 Temel hava akımları [27] 35
Şekil 3. 2 Yapı üzerinde genel rüzgâr basınç dağılımı- HAD analizi örneği 36
Şekil 3. 3 Basıncın işaret değiştirdiği noktada hız artışının başlaması 36
Şekil 3. 4 Aşağı akım etkisi [26] 37
Şekil 3. 5 Köşe etkisi [26] 38
Şekil 3. 6 Türbülans ve girdap etkisinin binanın arka yüzüne doğru etkisi [26] 39
Şekil 3. 7 Kümülatif yapılar üzerinde rüzgâr etkisi [26] 40
Şekil 3. 8 Komşu olan alçak ve yüksek için rüzgâr etkisi [26] 40
Şekil 3. 9 Kanal görüntüsü oluşturmuş yapıların rüzgâr etkisi [26] 41
Şekil 3. 10 Yan yana sıralı yapılarda rüzgâr etkisi [26] 42
Şekil 5. 1 15°,30°,45° ve 60° derece çift çatı eğim açılarına sahip yapı örnekleri 52
Şekil 5. 2 Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı sonucu 53
Şekil 5. 3 Yapı dik duvarları için basınç katsayıları 53
Şekil 5. 4 Çatı duvarları için basınç katsayıları 54
Şekil 5. 5 Arazi kategorisi 0'da 15° derece çift çatı eğimli yapı sonuçları (Pa=N/m^2) ... 54
Şekil 5. 6 TS 498 yapı yüzeyleri ve basınç katsayıları 57
Şekil 5. 7 Akış alanı (verilen mesafeler ölçeksizdir.) 58
Şekil 5. 8 Model ve ağ yapısı 60
Şekil 5. 9 Evrensel duvar yasası [32] 60
Şekil 5. 10 Akış alanı üzerinde rüzgâr hız fonksiyonu 63
Şekil 5. 11 Arazi kategorisi-0 hız fonksiyonu 63
Şekil 5. 12 Arazi kategorisi-1 hız fonksiyonu 64

Şekil 5. 13 Arazi kategorisi-2 hız fonksiyonu 64
Şekil 5. 14 Arazi kategorisi-3 hız fonksiyonu 64
Şekil 5. 15 Arazi kategorisi-4 hız fonksiyonu 65
Şekil 5. 16 Arazi kategorisi-0'da 30° eğimli yapı statik basınç dağılımı (Pa=N/m^2) 66
Şekil 5. 17 Arazi kategorisi-0'da 30° eğimli yapı statik basınç dağılım grafiği 66
Şekil 5. 18 Arazi kategorisi-0'da 30° eğimli yapı hız dağılımı (m/s) 67
Şekil 6. 1 Köşelerinde bir boşaltma ve kesim olmayan kare yapının planı 75
Şekil 6. 2 Köşelerinde boşaltma olan yapıların planları 75
Şekil 6. 3 Köşelerinde kesim olan yapıların planları 76
Şekil 6. 4 Akış alanı (verilen mesafeler ölçeksizdir.) 77
Şekil 6. 5 Ağ görüntüleri 77
Şekil 6. 6 Köşelerinde bir değişim olmayan yapının basınç dağılımı 79
Şekil 6. 7 Köşelerinde %10 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı 79
Şekil 6. 8 Köşelerinde %15 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı 79
Şekil 6. 9 Köşelerinde %20 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı 80
Şekil 6. 10 Köşelerinde %25 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı 80
Şekil 6. 11 Köşelerinde %30 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı 80
Şekil 6. 12 Köşelerinde %10 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı 81
Şekil 6. 13 Köşelerinde %15 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı 81
Şekil 6. 14 Köşelerinde %20 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı 82
Şekil 6. 15 Köşelerinde %25 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı 82
Şekil 6. 16 Köşelerinde %30 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı 82
Şekil 7. 1 Tek yapının olduğu akış alanı (verilen mesafeler ölçeksizdir.) 85
Şekil 7. 2 İki yapının olduğu akış alanı (verilen mesafeler ölçeksizdir.) 86
Şekil 7. 3 Tek yapı bulunan akış alanına ait ağ görüntüsü 87
Şekil 7. 4 İki yapı bulunan (İkili-1) akış alanına ait ağ görüntüsü 87
Şekil 7. 5 Tek yapı bulunan akış alanın basınç dağılımı 88
Şekil 7. 6 Tek yapı bulunan akış alanın hız dağılımı 89
Şekil 7. 7 Tek yapı bulunan akış alanın akım çizgili hız dağılımı 89
Şekil 7. 8 Model ikili-1 akış alanın basınç dağılımı 90
Şekil 7. 9 Model ikili-1 akış alanın hız dağılımı 90
Şekil 7. 10 Model ikili-1 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 91
Şekil 7. 11 Model ikili-2 akış alanın basınç dağılımı 91
Şekil 7. 12 Model ikili-2 akış alanın hız dağılımı 92
Şekil 7. 13 Model ikili-2 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 92
Şekil 7. 14 Model ikili-3 akış alanın basınç dağılımı 93
Şekil 7. 15 Model ikili-3 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 93
Şekil 7. 16 Model ikili-4 akış alanın basınç dağılımı 94
Şekil 7. 17 Model ikili-4 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 94
Şekil 7. 18 Model ikili-5 akış alanın basınç dağılımı 95
Şekil 7. 19 Model ikili-5 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 95
Şekil 7. 20 Model ikili-6 akış alanın basınç dağılımı 96
Şekil 7. 21 Model ikili-6 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 96
Şekil 7. 22 Model ikili-7 akış alanın basınç dağılımı 97
Şekil 7. 23 Model ikili-7 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 97
Şekil 7. 24 Model ikili-8 akış alanın basınç dağılımı 98

Şekil 7. 25 Model ikili-8 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 98
Şekil 7. 26 Model ikili-9 akış alanın basınç dağılımı 99
Şekil 7. 27 Model ikili-9 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 99
Şekil 7. 28 Model ikili-10 akış alanın basınç dağılımı 100
Şekil 7. 29 Model ikili-10 akış alanın akım çizgili hız dağılımı 100
Şekil 8. 1 Akış alanı-1 (verilen mesafeler ölçeksizdir.) 106
Şekil 8. 2 Akış alanı-2 (verilen mesafeler ölçeksizdir.) 106
Şekil 8. 3 Ağ yapısı (x ekseninden simetriktir.) 107
Şekil 8. 4 Model-1 basınç dağılımı 108
Şekil 8. 5 Model-1 hız dağılımı 108
Şekil 8. 6 Model-2 basınç dağılımı 109
Şekil 8. 7 Model-2 hız dağılımı 109
Şekil 8. 8 Model-3 basınç dağılımı 110
Şekil 8. 9 Model-3 hız dağılımı 110
Şekil 8. 10 Model-4 basınç dağılımı 111
Şekil 8. 11 Model-4 hız dağılımı 111
Şekil 8. 12 Model-5 basınç dağılımı 112
Şekil 8. 13 Model-5 hız dağılımı 112
Şekil 8. 14 Model-6 basınç dağılımı 113
Şekil 8. 15 Model-6 hız dağılımı 113

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4. 1 Arazi Kategorisi 48
Çizelge 5. 1 Dış duvar basınç katsayıları 55
Çizelge 5. 2 15° çatı eğimli yapı Eurocode 1 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 55
Çizelge 5. 3 30° çatı eğimli yapı Eurocode 1 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 55
Çizelge 5. 4 45° çatı eğimli yapı Eurocode 1 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 56
Çizelge 5. 5 60° çatı eğimli yapı Eurocode 1 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 56
Çizelge 5. 6 TS 498 Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı ve basıncı [2] 56
Çizelge 5. 7 TS 498 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 57
Çizelge 5. 8 Arazi kategorisine göre analizde kullanılacak hız fonksiyonları 62
Çizelge 5. 8 Arazi kategorisine göre analizde kullanılacak hız fonksiyonları-devamı 63
Çizelge 5. 9 15° çift eğimli çatı dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 67
Çizelge 5. 10 30° çift eğimli çatı dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 67
Çizelge 5. 11 45° çift eğimli çatı dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 67
Çizelge 5. 12 60° çift eğimli çatı dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2) 68
Çizelge 5. 13 15° çatı eğimli yapı sonuçları oranı 68
Çizelge 5. 14 30° çatı eğimli yapı sonuçları oranı 68
Çizelge 5. 15 45° çatı eğimli yapı sonuçları oranı 68
Çizelge 5. 16 60° çatı eğimli yapı sonuçları oranı 69
Çizelge 6. 1 Köşelerinde bir değişim olmayan yapının basınçların analiz sonucu-Pa 78
Çizelge 6. 2 Köşe boşalmalı olan yapılardaki basınçların analiz sonucu-Pa 78
Çizelge 6. 3 Köşe kesimli yapılardaki basınçların analiz sonucu-Pa 81
Çizelge 6. 4 Sonuçların birbirine göre değerlendirilmesi 83
Çizelge 7. 1 Analizi yapılacak iki yapılı akış alanlarının geometrik özellikleri 86
Çizelge 7. 2 Analiz sonuçları çıkarımları 101
Çizelge 8. 1 Analizi yapılacak modellerin özellikleri 106
Çizelge 8. 2 Analiz sonuçları çıkarımları 114

ÖZET

RÜZGÂR ETKİSİNDEKİ BİNALARDA DIŞ YÜZEY BASINÇLARININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ

Halil ZEYREK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU

Rüzgârın sebep olduğu etkiler birçok mühendislik dalında olduğu gibi inşaat mühendisliğinin de önemli konuları arasında yer almaktadır. Yapılar üzerinde oluşan rüzgâr etkilerini tespit etmek için uluslararası yönetmelikler, rüzgâr tünel testleri ve sayısal bir yöntem olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanılmaktadır. Ancak deneysel yöntemler pahalı ve zaman alıcıdır. Yönetmeliklerin içeriğinde ise bütün farklı durumları kapsayacak şekilde yapılarda oluşan rüzgâr etkileri bulunmamaktadır. Bu durumlar HAD yönteminin önemini arttırmaktadır. Bu çalışmada yapılar üzerindeki rüzgâr etkileri, oluşturulan farklı yapı veya yapı grupları için iki boyutlu HAD analizler ile bulunacaktır.

Bu çalışmada; dikdörtgen planlı ve farklı çift çatı eğimine sahip yapıların rüzgâr hızından kaynaklı yapı dış duvar basınçları; Eurocode 1 (TS EN 1991-1-4) standardı, TS 498 standardına göre ve iki boyutlu HAD analizi yapılarak bulunacaktır. HAD analizlerinde Eurocode 1 esaslarına göre oluşturulan rüzgâr hızı fonksiyonu, analiz hız girişi olarak kullanılacaktır. Böylece yapıların aynı yüzey bölgeleri için Eurocode 1, TS 498 ve analiz dış duvar basınç değerleri birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. Bunların sonucunda; TS 498 sonuçlarının Eurocode 1 ve HAD analiz sonuçlarına göre yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. Eurocode 1 ve HAD analizi sonuçlarında; aynı bölgelerin pozitif ve negatif basınç oluşması durumu uyumlu bulunmaktadır. Eurocode 1 sonuçları, bazı yapıların köşe kıvrım bölgelerinden elde edilen sonuçlar dışında HAD analiz sonuçlarından yüksek değerler sunmaktadır. Ayrıca bu tez çalışma içerinde oluşturulan

kare planlı yapının köşelerinde oluşturulan köşe boşaltması ve köşe kesmelerinin yapının dış duvar rüzgâr basıncında meydana getirdiği değişiklikler yapılan iki boyutlu HAD analizleri ile bulunacaktır. Bu analizler sonucunda bu değişikliklerin dış duvar rüzgâr basıncını değiştirdiği bulunmaktadır. Ayrıca bu tez çalışma içerinde birbirine olan mesafeleri ve yükseklikleri değiştirilerek oluşturulan komşu alçak ve yüksek yapılar için iki boyutlu HAD analizleri yapılacaktır. Bu analiz sonucunda komşu yapıların yapılar üzerinde oluşan rüzgâr etkilerini önemli ölçüde değiştirdiği görülmektedir. Ayrıca bu tez çalışma içerinde, oluşturulan aynı bölgede bulunan üç yüksek yapının birbirlerine olan mesafeleri değiştirilerek yaya seviyesinde ve 60 m yüksekliğinde iki boyutlu HAD analizleri yapılacaktır. Bu analiz sonucunda yapıların birbirine olan mesafeleri azaldıkça birbirleri üzerindeki rüzgâr etkilerini değiştirdiği görünmektedir.

Bu tez çalışması sonuç bölümü hariç sekiz bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de giriş ve literatür özeti; Bölüm 2'de akışkanlar mekaniği ile ilgili temel bilgiler; Bölüm 3'te yapı-rüzgâr etkileşimi ile ilgili temel bilgiler verilecektir. Bölüm 4'te Eurocode 1 yönetmeliğine göre yapı dış duvar basıncının hesap adımları verilecektir. Bölüm 5'te farklı çift eğimli çatıya sahip yapıların rüzgâr kaynaklı yapı dış duvar basınçları; Eurocode 1, TS 498 standartlarına göre ve yapılan iki boyutlu HAD analizleri bulunarak karşılaştırılacaktır. Bölüm 6'da yapıların kat planlarında yapılan geometrik sınır değişikliklerin yapılar üzerinde oluşan rüzgâr kaynaklı dış duvar basınçlarının değişimlerini görmek için iki boyutlu HAD analizleri yapılacaktır. Bölüm 7'de birbirine komşu olan alçak ve yüksek yapıların birbirlerine olan etkileri sonucu yapılar üzerinde oluşan rüzgâr etkilerini yapılan iki boyutlu HAD analizleri ile bulunacaktır. Bölüm 8'de günümüzde çok sık karşılaştığımız yapı kompleksleri düşünülerek, aynı yerleşim bölgesinde yapılan biri dairesel planlı ikisi kare planlı üç yüksek yapının belirli yükseklikleri için iki boyutlu HAD analizi yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), Eurocode 1, TS 498, dış duvar basıncı, rüzgâr hız fonksiyonu

ABSTRACT

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC ANALYSIS OF EXTERNAL SURFACE PRESSURES IN WIND-INDUCED BUILDINGS

Halil ZEYREK

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Serkan BEKİROĞLU

The effects caused by the wind are among the most important subjects of civil engineering as in many other engineering branches. International standards, wind tunnel tests, and a numerical method, the Computational Fluid Dynamics (CFD) method, are used to determine the wind effects on the structures. However experimental methods are expensive and time-consuming. As for standards, their contents do not include wind effects on the structures that cover all different situations. CFD method becomes a more important role compared to these cases. In this study, two-dimensional CFD analyzes will be found the wind Effects, on the structures for different building cases.

In this study, building external wall pressures induced by wind velocity for rectangular planned-buildings with several duo-pitch roofs are determined using Eurocode 1 (TS EN 1991-1-4) code, TS 498 code and two-dimensional CFD analysis. In CFD analyses, wind velocity function produced according to Eurocode 1 is used as velocity input. In this way, wall pressures obtained by using Eurocode 1, TS 498 and CFD analyses are compared to the same peripheral region of the buildings.Thus, in conclusion the results of TS 498 are not at a sufficient level according to the results of Eurocode 1 and CFD analyses. The results of Eurocode 1 and CFD analyses match with each other regarding positive and negative pressures on the same peripheral region. Eurocode 1 propounds higher values than those of CFD except values obtained on regions at the folded-corners of some buildings. Also in this thesis study, two-dimensional CFD

analyses will be made to see changes in external wall pressure in the square plan structure as a result of the changes that corner cuts and corner recessions. At the end of these analyses, these changes are found to change the external wall wind pressure. Also in this thesis study, two-dimensional CFD analyses will be made for neighboring low and high buildings, which will be altered to the distances between buildings and heights of buildings. At the end of these analyses, it is found that neighboring structures significantly change the wind effects on the structures. Also in this thesis study, two-dimensional CFD analyses will be made of the pedestrian level and 60 m height will be changing the distance of the three high structures located in the same area. At the end of these analyses, it is found that as the distance between the structures decreased, they change the wind effects on other structures.

This thesis study includes eight sections except for the conclusion. In section 1, the introduction and literature summary will be given. In section 2, basic information will be given about fluid mechanics. In section 3, basic information will be given about structure-wind interaction. In section 4, the calculation of the structure external wall pressure according to Eurocode 1 code will be explained. In section 5, wall pressures of several duo-pitch roofs building obtained by using Eurocode 1, TS 498 and two-dimensional CFD analyses are compared. In section 6, two-dimensional CFD analysis will be made in order to see the changes of wind-induced external wall pressures on the structures due to change the geometric boundary changes made in the floor plans of the structures. In Section 7, two-dimensional CFD analyzes will be made to see the wind effects on the structures as a result of the effects of low and high buildings adjacent to each other. In Section 8, considering the building complexes we see nowadays, two-dimensional CFD analyzes will be made the specific heights of the three high-rise buildings, two of which are square planned and one of which is circular planned, in the same settlement area.

Keywords: Computational fluid dynamics (CFD), Eurocode 1, TS 498, external wall pressure, wind velocity function

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Rüzgârın sebep olduğu etkiler birçok mühendislik dalında olduğu gibi İnşaat Mühendisliğinin de önemli konuları arasında yer almaktadır. Yapıların yaşamları boyunca maruz kaldıkları yüklerden birisi de yapıya etkiyen rüzgâr yüküdür. Rüzgârdan kaynaklı yapıda oluşan yüklerinin etkilerinin belirlenmesi yapı tasarım aşamasında önemli bir kriterdir. Günümüzde farklı geometride ve yükseklikteki yapıların sayısında önemli derecede artış görülmektedir. Bu durum rüzgâr ve yapı ilişkisini çok daha önemli hale getirmiştir. Bu ilişkinin tespiti için çoğu mühendislik probleminde olduğu gibi analitik, deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Yapılarda rüzgârdan kaynaklı etkiler Bölüm 3.3'te ayrıntılı anlatılacağı gibi uluslararası yönetmelikler, rüzgâr tünel testleri ve sayısal bir yöntem olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile bulunabilmektedir. Ülkemizde kullanılan yönetmelikler Eurocode 1 (TS EN 1991-1-4) [1], TS 498 [2] ve "İstanbul Yüksek Binalar için Rüzgâr Yönetmeliği "[3] dir.

Birçok yapı veya yapı topluluğu rüzgâr tünel testine tabi tutularak deneysel incelemeleri yapılmaktadır. Bu şekilde rüzgâr kaynaklı yük etkileri veya yapı-yaya konforu tespit edilmektedir. Özellikle; yüksek binalar, kuleler, köprüler ve stadyumlar gibi kapsamlı projelerde rüzgâr tünel testi tercih edilmektedir. Deneysel çalışmalarda olduğu gibi yapı üzerinde rüzgâr kaynaklı tesirler, sayısal bir yöntem olan HAD ile de bulunmaktadır. HAD ile hareket halindeki akışkanın davranışı, matematiksel yaklaşımlar kullanarak tespit edilmektedir. HAD analizleri birçok mühendislik dalında akışkan analizlerinde çok etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca deneysel yöntemlerin pahalı ve zaman alıcı olması sayısal yöntemlerin mümkün olduğu kadar daha fazla

kullanılmasını gerektirmektedir. HAD analizleri için birçok bilgisayar yazılımı mevcuttur. Bunlardan birisi de bu tez çalışması kapsamında kullanılacak Ansys Fluent yazılımıdır. Bilgisayar yazılımı ile amaçlanan, akışkan hareketinin fiziksel davranışını doğru tespit etmektir.

Rüzgârın yapılar üzerindeki etkileri ile ilgili literatürde deneysel ve sayısal birçok çalışma mevcuttur. Bu tez çalışmasın içerisinde sayısal analizi yapılan konularla aynı nitelikteki literatür çalışmalarına aşağıda yer verilmektedir.

1.1.1 Eğimli Çatıya Sahip Yapılar ile İlgili Literatür Araştırması

Özmen doktora tezi [4] çalışmasında, farklı çatı tiplerinde ve eğimlerinde binalar üzerinde rüzgâr etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda; tüm yapılarının çatı yüzeyleri hariç ön duvarlarında (rüzgârın hareket yönüne göre önde bulunan) pozitif basınç alanı, 15° ve 30° derece çatı eğimine sahip yapılarda çatının ön yüzeyinde negatif basınç bulmuşlardır. Ayrıca 45° derece çatı eğimine sahip yapıda çatının ön yüzeyinde pozitif basınç, yapının tüm arka yüzeylerinde negatif basınç oluştuğunu bulmuştur.

Vasilios vd. [5] çalışmalarında, eğimli çatıya sahip sera binasının rüzgârdan kaynaklı dış duvar basınç katsayılarını iki boyutlu sayısal analiz ile bularak Eurocode 1'e göre bulunan sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, negatif basınç oluşan ters akış bölgelerinde analiz basınç katsayılarının Eurocode 1 basınç katsayılarından daha fazla olduğunu elde etmişlerdir. Pozitif basınç oluşan bölgelerde ise Eurocode 1 sonuçlarının analiz sonuçlarından daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Xing vd. [6] çalışmalarında; pencere boşluğu olan ve olmayan beşik çatıya sahip yapıda basınç dağılımlarının deneysel ve sayısal incelmesini yapmışlardır. Çalışma sonucunda, deneysel ve sayısal analizden elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu görmüşler ve yapı üzerindeki rüzgâr etkilerinin sayısal yöntem veya rüzgâr tünel testi ile bulunmasının önemini vurgulamışlardır.

Kindangen vd. [7] çalışmalarında, birçok değişik çatı tipinin yapı üzerindeki rüzgâr etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu çatı tipleri; düz çatılar, düz saçaklı çatılar, tek eğimli çatılar, tek eğimli saçaklı çatılar, çift eğimli çatılar, çift eğimli saçaklı çatılar, tonoz

çatılardır. Seçilen çatı tipinin akış şeklini ve hız büyüklüklerini oldukça değiştirdiğini görmüşlerdir.

Xu ve Reardon [8] çalışmalarında; 15°, 20° ve 30° açılara sahip kırma çatılı yapıların basınç dağılımlarını rüzgâr tünel testi ile bulmuşladır. Buldukları sonuçları aynı açılara sahip beşik çatıya sahip yapıların basınç dağılımları ile karşılaştırmışladır. Çatının en yüksek seviyesindeki basınç dağılımı ile ilgili tespitlerde bulunmuşlardır. Kırma çatılı yapılarda açı artıkça çatı tepe bölgesinde oluşan basınının arttığını ifade etmişledir. Kırma çatılı 15° ve 20° eğimli yapıların tepe bölgesinde oluşan basınının aynı açıya sahip beşik çatılı yapılardan çok daha düşük olduğunu bulmuşladır. 30° eğimli beşik ve kırma çatılı yapı tepe bölgesinde oluşan basıncın ise birbirine benzer olduğunu bulmuşlardır.

Meecham vd. [9] çalışmalarında; kırma ve beşik çatılar üzerindeki basınç dağılımlarını iki farklı arazi şartına göre rüzgâr tünel testi ile bulmuşladır. Yapılar üzerinde bulunan negatif basınçlar değerlendirildiğinde kırma çatılardaki değerler beşik çatılara göre %50 daha avantajlı ve düşük olduğunu bulmuşlardır.

Abohela vd. [10] çalışmalarında, farklı çatı tipleri üzerine yerleştirilecek rüzgâr türbini için doğru konum ve enerji verimi ile ilgili sayısal analiz yapmışlardır. Bu çatı tipleri; düz, kubbeli, beşik, piramidal, tonoz ve tek eğimli çatılardır. En uygun çatı tipinin tonoz çatı olduğunu belirlemişledir. Tonoz çatı üzerindeki rüzgâr türbini aynı konumda ve aynı akış şartlarında serbest halde bulunan türbine göre (herhangi bir yapı üzerinde olmayan) %56 daha fazla enerji verimliliğine sahip olduğunu bulmuşlardır. Buna karşılık tek eğimli çatı tipi ise diğer çatı tiplerine göre en az verimlilik sağlayan çatı tipi olduğunu bulmuşladır.

1.1.2 Yüksek Yapılar ile İlgili Literatür Araştırması

Kurç vd. [11] çalışmalarında, yüksek binalarda rüzgâr etkisinin rüzgâr tüneli deneyleriyle tespitini yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, dikdörtgen kesitli bir binada rüzgâr etkisinin binanın en-boy oranına göre değiştiği, binada rüzgârın hareket doğrultusu ile aynı yöndeki boyutuyla rüzgârın çarptığı yüzeyin genişliği arasındaki oran büyüdükçe rüzgârın bina üzerindeki etkisinin azaldığı tespit etmişlerdir.

Özmen ve Kaydok [12] çalışmalarında, kare kesite sahip yüksek bina modeli etrafındaki akış alanını üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak Standard k-£, RNG k-£, Realizable k-£ ve Standard k-ω türbülans modelleriyle Ansys Fluent programında sayısal olarak incelemişlerdir. Türbülans modellerini deneysel sonuçlara göre değerlendirildiklerinde, RNG k-£ türbülans modelin deneysel verilerle daha yakın sonuçlar verdiğini bulmuşladır. Yapıda akış; ön köşelerden ayrılmakta ve akışa paralel durumdaki yan kenarlar üzerinde küçük ölçekli girdap bölgeleri ve yapı arkasında birbirine göre ters yönde dönen bir simetrik girdap çifti oluşturduğunu bulmuşlardır. Akış alanında hesaplanmış ortalama hız profillerinden bina modelleri arkasında model yüksekliği seviyesinde ters akış bölgelerinin oluştuğunu görmüşlerdir. Yüksek bina modelinde en büyük negatif basınçların, ön yüzeyin kenarlarından ayrılmış akış bölgelerinde olduğunu bulmuşlardır.

Kanbur vd. [13] çalışmalarında, İstanbul'da kentsel dönüşümü düşünerek yüksek katlı binalara etkiyen rüzgâr yüklerini incelemeyi amaçlamışlardır. Yüksek ve alçak katlı binaların rüzgârdan dolayı olan etkileşimleri sayısal olarak gözlemlemişledir. Çalışmalarında Ansys Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) paket programı kullanılmışlardır. Analiz sonuçlarında, binaların çevresinde bölgelerdeki, 5 m ve 100 m yükseklikte türbülans kinetik enerji, basınç ve hız değişimleri perspektif olarak çıkarılarak meydana gelen değişimlerin kaynağı yorumlamışlardır. Hız değişimlerinde etkin bir şekilde sirkülasyonun hâkim olduğu ve bunun sonucu olarak yüksek katlı binaların çevresini bir sarmal şeklinde salınımların yoğun olduğu tabakalı bir akım olduğunu görmüşlerdir. Özellikle düşük enerjili girdap hareketlerinin sergilendiği bina çevresi akımların, bitişik binalarda etkileşimleri sönümlemiş olarak görmüşlerdir. Ama ayrık binalarda bu akımların dinamik yüklere dönüştüğü görmüşlerdir.

Zikov vd. [14] çalışmalarında, akış ortamında yan yana bulunan iki yüksek yapı etrafındaki rüzgâr etkilerini rüzgâr tüneli deneyi ile incelemişlerdir. Yapıların birbirlerine olan etkileri ve yapılar üzerinde oluşan negatif basınç etkileri her bir yapı bölgesi için ayrıntılı olarak incelenmiştir. En büyük negatif basınçların yapıların çatılarında oluştuğunu bulmuşladır.

1.1.3 Alçak ve Yüksek Yapılar ile İlişkili Literatür Araştırması

Jeong ve Choi [15] çalışmalarında; dikdörtgen planlı yükseklikleri 45 m ve 200 m olan yapılar için ulusal bazı yönetmelikler (KBC, AIJ, ASCE 7-05, Eurocode 1), HAD (Fluent yazılımı) ve rüzgâr tünel testi yöntemleri ile bulunan rüzgâr yüklerini karşılaştırmışlar. Yüksekliği 45 m olan binanın HAD sonuçlarının rüzgâr tünel testi sonuçları ile uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Buna karşılık yönetmeliklerden elde edilen sonuçların bunlardan 2-3 kat daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Yüksekliği 200 m olan binanın HAD sonuçlarının rüzgâr tünel testi ile yönetmelik sonuçları arasında değerlere sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu tespitler doğrultusunda, yönetmelik sonuçları ve rüzgâr tünel testlerinin yanında HAD analizlerinin de rüzgâr etkilerini tespit etmekte potansiyel bir araç olduğunu çalışmanın sonucunda belirtmişlerdir.

Fertelli ve Balta [16] çalışmalarında; dikdörtgen planlı tek ve iki bina modeli üzerinde rüzgâr etkilerini Fluent programı ile sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal çözümde RNG k-£ türbülans modelini kullanmışlardır. Çalışma sonuçlarını elde ettikleri yüzey basınç katsayıları üzerinden değerlendirmişlerdir. Her iki analiz sonucunda da binaların rüzgâr ile doğrudan temas eden bölgelerinde pozitif basınç katsayına sahip olduğunu bulmuşlardır. Binaların yan ve arka yüzeylerinde ise negatif basınç katsayısına sahip olduklarını bulmuşlarıdır. İki bina düzenlemesi için negatif basınç katsayısını tekli bina sonuçlarından daha yüksek olduğunu bulmuşlarıdır. İkili bina düzenlenmesinde binaların birbirine bakan komşu yüzeylerinin çatı köşe noktalarında en büyük negatif basınç katsayısına sahip olduğunu bulmuşlarıdır. Çalışma sonucunda elde ettikleri bulgularla binaların yapım aşamasında bölgenin hâkim rüzgâr yönünün belirlenmesini ve bina cephesinde özellikle çatıya yakın bölümlerde oluşan rüzgâr yükünün olumsuz etkilerinin azaltılmasının önemli olduğunu vurgulamışlarıdır.

Dagnew vd. [17] çalışmalarında, yüksek yapılar üzerindeki rüzgâr basıncı etkilerini üç farklı durum üzerinden sayısal olarak inceleyerek rüzgâr tünel testleri ile karşılaştırmışladır. Birinci durum tek bir yüksek yapı modeli, ikinci durum birinci durumdaki yapı ile aynı yüksekliğe sahip iki yapının paralel olarak yerleştirilmiş modeli ve üçüncü durum ise birinci durumla aynı yükseklikte ve yarısı kadar yüksekliğinde iki yapının paralel olarak yerleştirilmiş modelleridir. Çalışma sonucunda üç durumda

yapıların ön yüzey aşağı akım etkilerinin, arka yüzeye devam eden akım etkilerinin ve akış ayrılmalarının deney sonuçları ile benzerlik gösterdiğini belirlemişledir. HAD analizlerinin yapıların aerodinamik durumlarını rüzgâr mühendisliği, yapı mühendisliği ve mimarlık alanları için tespit etmekte kullanışlı bir yol olduğunu vurgulamışlardır.

Blocken vd. [18] çalışmalarında, birbirine paralel yerleştirilmiş iki bina arasındaki mesafeleri değiştirerek k-ε türbülans modeli ile rüzgâr etkilerinin sayısal analizini gerçekleştirmişledir. Analizler sonucunda; zeminden iki metre yükseklikte yaya seviyesinde hız dağılımlarını incelediklerinde, yapılar arasındaki mesafenin az olması durumunda yapıların birbirlerine olan etkisini gösteren bir dağılım görünürken yapılar arası mesafe belirli bir değerin üzerine çıkınca hız dağılımının tekil yapılar etrafındaki akış hareketi gibi olduğunu bulmuşlardır.

Mittal vd. [19] çalışmalarında, yüksek yapıların efradındaki akışı sayısal olarak incelemişlerdir. Şehirlerde bulunan yüksek yapıların etrafındaki rüzgâr hareketi, yaya seviyelerinde ve yakındaki alçak yapılar için ciddi problemlere neden olabileceğini belirtmişlerdir. Bu sebepten yüksekliği 2h olan yapıyı tek başına ve önüne yüksekliği h olan bir yapıyı değişen mesafelerle (L) yerleştirilerek analizler yapmışlardır. Değişen L/h oranına göre yaya seviyesinde oluşan basınçları incelediklerinde, en düşük basıncın 1,5 oranında olduğunu bulmuşladır. Yüksek yapının önündeki yaya seviyesinde oluşan basıncın, yüksek yapının önünde bulunan normal yükseklikteki yapı nedeniyle yaklaşık üç katı kadar arttığını bulmuşlardır. HAD analizlerinin rüzgâr tüneli deneyleri ile karşılaştırmaları yapılarak deneye alternatif olarak kullanılabileceğini vurgulamışladır.

1.1.4 Geometrik Sınır Değişiklikleri ile İlgili Literatür Araştırması

Kaydok yüksek lisans tezinde [20] farklı kesit özelliklerine sahip yüksek bir yapıda türbülanslı akışın sayısal incelemesini yapmıştır. Çalışmasında kare kesitli bir yapıda %10, %20 ve %30 oranlarında köşe boşaltması yaparak farklı türbülans modelleri ile analizler yapmıştır. Yapı geometrisinde oluşturduğu bu köşe boşaltmalarının yapının yüzeyinde oluşan basınç dağılımlarında önemli farklılıklara neden olduğunu belirlemiştir.

Özmen ve Kaydok [21] çalışmalarında, farklı kesitlere sahip yüksek binalar üzerinde rüzgâr etkilerini sayısal yöntemle incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; yüksek binaların en kesitlerinde oluşturulan geometrik değişikliklerin akış alanlarında ve özellikle yüzey basınç dağılımlarında belirgin farklılıklara yol açtığını bulmuşlardır. Ayrıca bazı türbülans modellerinin deneysel sonuçlar karşısında hassasiyetlerini değerlendirdiklerinde, RNG k-£ türbülans modelinin deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar hesapladığını görmüşlerdir.

Miyashita vd. [22] çalışmalarında, kare kesitli yapıların köşe notlarında kesimler ve boşaltmaların rüzgâr yüklerine olan etkilerini rüzgâr tünel testi deneyleri ile incelemişlerdir. Deneylerin sonucunda yapının köşelerinde yapılan bu değişikliklerin rüzgâr kuvvetlerini azalttığını tespit etmişlerdir.

Gu ve Quan [23] çalışmalarında, yapı köşelerinde yapı genişliğinin %5, %10 ve %20'si oranında köşe kesimi ve köşe boşalması yaparak rüzgâr tünel testi deneyleri ile incelemişledir. Çalışmanın sonucunda herhangi bir köşe kesimi ve boşalması yapılmayan yapı üzerindeki rüzgâr kuvvetlerinin, çalışmada yapılan köşe kesim ve boşatma işlemleri ile %10 oranında azaldığını bulmuşladır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı; rüzgârın yapılar veya insanlar üzerindeki oluşturduğu basınç etkilerinin yapıların düşey ve yatay geometrik şekilleri, birden fazla yapının birbirine göre farklı konumda olmalarının yine bu yapıların geometrik şekil özellikleri nedeniyle değişimlerini iki boyutlu HAD analizi ile irdelemedir. Bu esnada Eurocode-1 ve TS 498 gibi standartlara göre de yapıların dışındaki basınç değerleri ile karşılaştırmalar yapılacaktır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışması içerinde 15°, 30°, 45° ve 60° derece çatı eğimine sahip dört farklı yapının dış duvar basınçların iki boyutlu HAD analizi, Eurocode 1 ve TS 498 standartları ile tespit edilerek karşılaştırılması durumunda TS 498 sonuçlarının diğerlerine göre az kalacağı düşünülmektedir. HAD analizleri ile Eurocode 1 sonuçlarının karşılaştırıldığında

dış duvar basınç değerleri için Eurocode 1 sonuçlarının analiz sonuçlarından daha yüksek olması öngörülmektedir. Bu tez çalışması içeresinde yapılacak diğer bir çalışmada, yapının kat kalıp planı köşe yüzeylerinde yapılan geometrik sınır değişiklikleri ile yapılan iki boyutlu HAD analizlerinde yapı dış duvar rüzgâr basıncının bu değişiklikler sebebiyle değişmesi beklenilmektedir. Bir diğer çalışmada, komşu yapıların birbirine olan uzaklıklarının ve değişen yüksekliklerinin yapılar üzerindeki rüzgâr basınçlarını nasıl değiştirebileceği iki boyutlu HAD analizleri ile araştırılacaktır. Ayrıca 100 m yüksekliğinde yapının akış alanında tek olması veya önünde ikinci bir yapı durumunda yapının ön yüzeyinde aşağı akım etkisinin olup olmayacağı gözlemlenecektir. Son olarak üç komşu yapının birbirlerine olan mesafeleri değiştirilerek yapılacak analizlerde yapıların birbirine olan mesafelerin ve geometrilerinin yaya seviyesinde rüzgâr tesirlerini etkileyip etkilemediği, 60 m yüksekliğinde yapılacak analizlerde rüzgârın hareket yönünün ve yapıların mimari yerleşimin rüzgâr tesirlerini nasıl etkileyeceğine bakılacaktır.

BÖLÜM 2

AKIŞKANLAR MEKANİĞİ

2.1 Akışkanlar Mekaniğine Giriş

Kuvvetlerin etkisi altında durgun ve hareketli cisimlerin davranışları ile ilgilenen fizik dalına mekanik denir. Akışkanların durgun ve hareket esnasındaki davranışlarıyla ve akışkanın etrafını çeviren diğer akışkanlar ve katılarla etkileşimini araştıran bilim dalına ise akışkanlar mekaniği denilmektedir. Durgun haldeki akışkan davranışları akışkanların statiği olarak isimlendirilirken, hareket halindeki akışkanların davranışları ise akışkanların dinamiği olarak isimlendirilmektedir. Akışkanlar mekaniğinin ilgilenilen konulara göre değişen birçok alt dalı bulunmaktadır. Akışkanlar mekaniğinin aerodinamik dalı, gazların (çoğunlukla rüzgârın); uçak, roketler, otomobiller ve yapılar gibi engeller etrafındaki yüksek ve düşük hızlı hareketleri ilgilenmektedir [24].

Maddenin genel olarak bilinen katı, sıvı ve gaz olarak üç hali olduğunu bilinmektedir. Bunlarda sıvı ve gaz haldeki maddeler akışkan olarak adlandırılmaktadır. Katı ve akışkan arasındaki fark, maddenin şeklini değiştirmek için uygulanan kayma gerilmesine karşı gösterdikleri direnç ile anlaşılmaktadır. Katılar, kayma gerilmesi altında bir miktar şekil değiştirerek direnebilmektedir. Akışkanlarda ise uygulanan kayma gerilmesi ne kadar küçük olursa olsun sürekli sekil değiştirmektedir. Sabit bir kayma kuvveti altında katının şekil değiştirmesi belirli bir sürede son bulurken, akışkanın şekil değiştirmesi durmadan devam eder ve belirli bir şekil değiştirme hızına ulaşır [24].

2.2 Akışkanların Özellikleri

2.2.1 Yoğunluk

Yoğunluk (ρ) sıvılar için birim hacmin kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Yoğunluk ile İlgili bağıntı eşitlik (2.1)'de verilmiştir. Bu eşitlikte akışkanın kütlesi m; akışkanın hacmi V; ile gösterilmektedir. Literatürde yoğunluğun tersi olan özgül hacim (ϑ) ifadesi sıklıkla kullanılmaktadır. Özgül hacim birim kütlenin hacmi olarak adlandırılmaktadır [24].

$$\rho = m/V \tag{2.1}$$

İdeal gazların yoğunluğu ise bu gazlar için geçerli hal denklemi ile bulunmaktadır. Hal denklemi ile ilgili bağıntı eşitlik (2.2)'de verilmektedir. Bu eşitlikte mutlak basınç P; özgül hacmi ϑ; termodinamik (mutlak) sıcaklık T; yoğunluk ρ ve gaz sabiti R; ile göstermektedir. R gaz sabiti her gaz için değişmektedir. Gaz sabiti, evrensel gaz sabitinin ilgili gazın mol kütlesine bölünmesi ile elde edilmektedir [24].

$$P * \vartheta = R * T \text{ veya } P = \rho * R * T \tag{2.2}$$

Yoğunluk genellikle sıcaklık ve basınca bağlıdır. Gazların birçoğunda yoğunluk basınçla doğru sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. Sıvılar ve katılar sıkıştırılamaz maddeler olup yoğunluklarındaki basınca bağlı değişim ihmal edilebilmektedir. Bunun sebebi üzerlerine uygulanan basınçta çok büyük bir değişim olduğunda bile sıvıların ve katıların yoğunlukları çok küçük değişime olmasıdır. Örnek olarak 20°C sıcaklıkta su yoğunluğu; 1 atm basınçta 998 kg/m^3 değerine sahipken 100 atm basınçta 1003 kg/m^3 değerine sahiptir. Su üzerdeki basınçta 100 katlık bire değişim yoğunlukta yalnızca yüzde 0,5'lik bir değişim meydana getirmekte olduğu bu örnek ile görülmektedir. Sıvıların ve katıların yoğunluğu basınçtan çok sıcaklığa bağlıdır. 1 atm basınçta su yoğunluğu; 20°C sıcaklıkta 998 kg/m^3 değerine sahip iken 75°C sıcaklıkta 975 kg/m^3 değerine düştüğü görülmektedir [24].

Başka bir yoğunluk ifadesi olan bağıl yoğunluk (ρ_b), genellikle 4°C deki ilgili sıvının yoğunluğunun suyun yoğunluğuna (4°C'de su yoğunluğu 1000 kg/m^3) bölünmesiyle bulunur. İlgili bağıntı eşitlik (2.3)'de verilmiştir.

$$p_b = \frac{p}{p_{su}} \tag{2.3}$$

2.2.2 Özgül Ağırlık

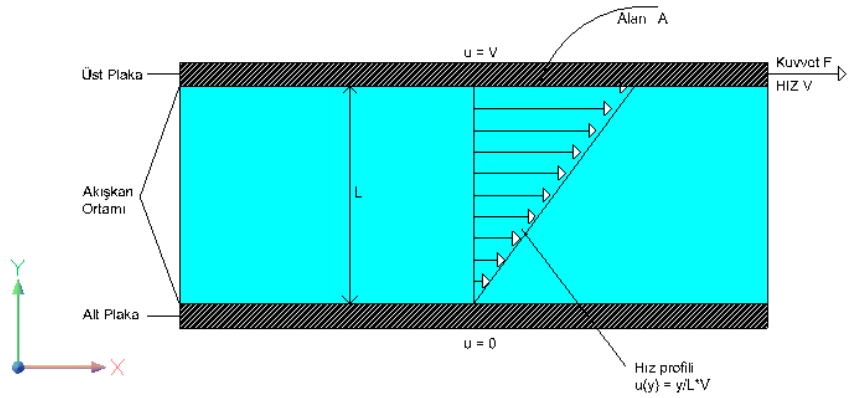
Bir akışkanın birim hacminin ağırlığına özgül ağırlık olarak tanımlanmaktadır. Özgül ağırlık (ɣ) ile ilgili bağıntı eşitlik (2.4)'de verilmektedir. Bu eşitlikte g yerçekimi ivmesidir.

$$\gamma = \frac{W}{V} = p.g \tag{2.4}$$

2.2.3 Viskozite

Temas halindeki bulunan katı cisimler birbirine göre bağıl bir hareket yaptıklarında temas ettikleri yüzeylerinde harekete zıt yönde bir sürtünme kuvveti meydana gelmektedir. Bu durum bir akışkanın bir katıya veya iki akışkanın birbirine göre hareketlerinde de meydana gelmektedir. Hava, su veya yağ dolu ortamlarda hareket etmenin birbirinden çok farklı olduğu bilinmektedir. Bu farklılıklar akışkanların iç özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanın akmaya karşı iç direncine veya akışkanlığını ifade eden özelliğine viskozite denir. Viskozite için bir bağıntı elde etmek için Şekil 2. 1'de verilen ve aralarında L kadar mesafe bulunan iki geniş paralel plaka arasındaki bulunan akışkanın hareketi akışkanlar mekaniği literatürde çok kullanılan bir örnektir. Alttaki plaka hareketsiz tutulurken üsteki plakaya paralel sabit F kuvveti uygulandığında üsteki plaka V hızı hareket ettiği varsayılmaktadır. Üsteki plakaya temas eden akışkan, plaka yüzeyine yapışarak onunla aynı hızda hareket etmektedir. Bu durumda üst kısımda akışkan tabakasına etki eden kayma gerilmesi (T) oluşmaktadır. Kayma gerilmesine ait bağıntılar eşitlik (2.5)'te verilmektedir. Bu eşitlikte yer alan A, üst plaka ve akışkan arasındaki temas alanıdır [24].

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{2.5}$$



Şekil 2. 1 İki plaka arasında bulunan akışkanın davranışı

Alttaki plaka ile temas halindeki akışkanın ise kaymama koşulundan dolayı hızı sıfır kabul edilir. Kaymama koşulu ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 2.2.6'da verilecektir. Akışkan hızı (u) alt plaka noktasında sıfır değerindeyken üst plaka noktasında V hızına sahiptir. Daimî laminer bir akışta, bu iki plaka arasında bulunan akışkan hızı 0'dan V'ye doğrusal olarak değişir. Hız profili u(y) ve hız gradyanı du/dy ait bağıntı sırasıyla eşitlik (2.6) ve eşitlik (2.7)'deki gibi verilmektedir. Bu eşitliklerde bulunan y ifadesi alt plakanın referans kabul ederek belirlenen düşey mesafedir.

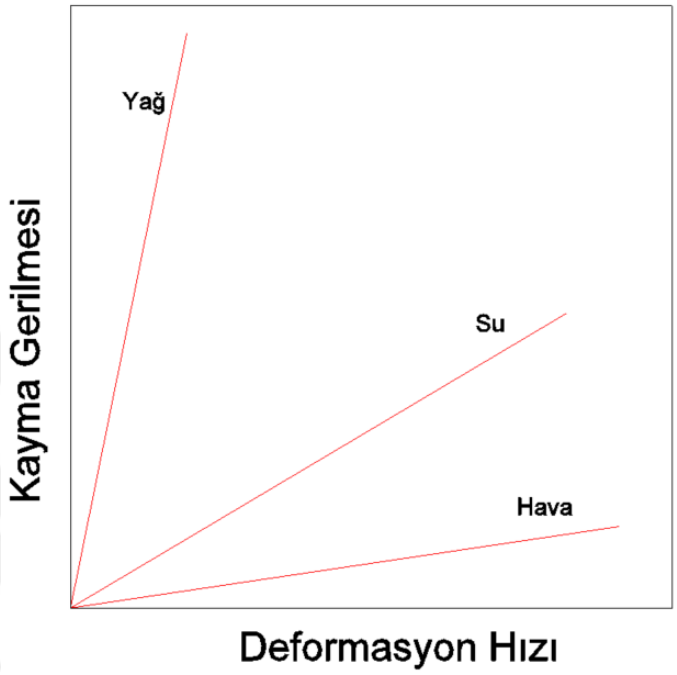
$$u(y) = \frac{y}{L} * V \tag{2.6}$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{V}{L} \tag{2.7}$$

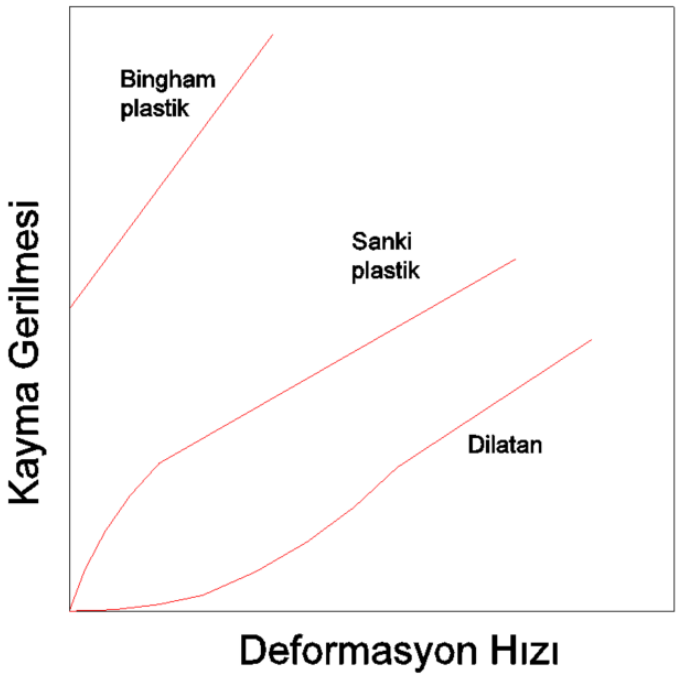
Akışkan parçacıklarının hareketleri diferansiyel bir zaman aralığında gözlemlendiğinde, akışkanın deformasyon hızının hız gradyanına eşit olduğu görülmektedir. Newton tipi akışkanlar, akışkan hızının kayma gerilmesiyle orantılı olduğu akışkanlardır. Su, hava, benzin ve yağlar gibi bilinen akışkanlar, Newton tipi akışkanlardır. Bu akışkanlara ait kayma gerilmesi-deformasyon hızı grafiği Şekil 2.2'de verilmektedir. Kan ve sıvı haldeki plastikler Newton tipi olmayan akışkanlara örnektir. Newton tipi olmayan akışkanlarda deformasyon hızları kayma gerilmesi ile doğru orantılı olarak değişmemektedir. Bu sebeplerden dolayı Newton tipi olmayan akışkanlar için sabit bir viskozite değeri bulunmamaktadır. Bu duruma örnek bazı akışkanlar için kayma gerilmesi-deformasyon hızı grafiği Şekil 2.3'de verilmektedir. Kayma gerilmesinin deformasyon hızına ($\frac{du}{dy}$) oranı dinamik viskoziteyi vermektedir. Kayma gerilmesine ait bağıntı Newton tipi

akışkanların bir boyutlu akışı için eşitlik (2.8)'de deformasyon hızına bağlı olarak verilmektedir. Bu bağıntıda μ, viskozite katsayısı veya dinamik viskozitesi olarak adlandırılır. Dinamik viskozitenin birimi kg/(m.s) veya N.s/m^2 (Pa. s)'tır [24].

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \tag{2.8}$$



Şekil 2. 2 Newton tipi akışkanlara ait kayma gerilmesi deformasyon hızı ilişkisi



Şekil 2. 3 Newton tipi olmayan akışkan kayma gerilmesi deformasyon hızı ilişkisi

Newton tipi akışkanlarda kayma kuvvetine ait bağıntı; eşitlik (2.5), eşitlik (2.6), eşitlik (2.7) ve eşitlik (2.8) kullanılarak eşitlik (2.9)'da elde edilmektedir. Akışkanlar mekaniği problemlerinde dinamik viskozitenin yoğunluğa oranı kinematik viskozite (ϑ) olarak adlandırılmaktadır. Kinematik viskozite birimi m^2 /s'dir. Kinematik viskozite ile ilgili bağıntı eşitlik (2.10)'da verilmektedir.

$$F = \tau * A = \mu * A\frac{du}{dy} = \mu * A * \frac{V}{L} \tag{2.9}$$

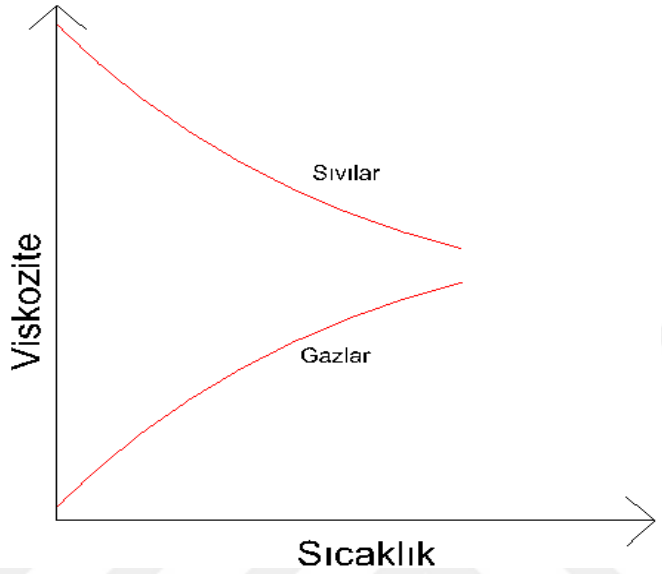
$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \tag{2.10}$$

Sıvılar için dinamik ve kinematik viskozite değeri basınçtan bağımsız olmasına rağmen sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Ancak çok yüksek basınç değişimleri olmadıkça sıvılarda viskozite değerleri ihmal edilir düzeydedir. Gazlarda dinamik viskozite için sıvılardaki durum aynen geçerli iken gazların kinematik viskozitesi basınç değimleri ile değişmektedir. Çünkü gazların yoğunluğu basınç ile orantılı değişmektedir [24].

Viskozite akışkanın deformasyona karşı bir direnç ölçüsüdür. Viskozitenin oluşmasının sebebi farklı akışkan tabakalarının birbirini harekete zorlanmalarıyla meydana gelen içsel sürtünme kuvvetidir. Viskozite sıvılarda moleküller arasındaki çekim kuvvetleri, gazlarda ise molekülerin çarpışması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Viskozite sıcaklıkla önemli ölçüde değişmektedir. Sıvıların ve gazların sıcaklık etkisi ile viskozite değimi Şekil 2.4'te görülmektedir. Sıvı moleküllerinin yüksek sıcaklıkta daha fazla enerji sahip olmalarından dolayı moleküller arasındaki çekim kuvvetine karşı koyma dirençleri artmaktadır. Böylece daha serbest hareket edebildiklerinden dolayı viskozite düşmektedir. Gaz molekülleri arasında çekim kuvveti zayıftır. Gaz molekülleri yüksek sıcaklıkta daha yüksek hızlara ulaşarak rasgele hareket etmektedirler. Bu durum birim hacim içerinde daha fazla molekül çarpışmasına neden olmaktadır. Dolayısı ile akışa karşı daha büyük bir direnç oluşturan gazların sıcaklıkla artışı ile viskozitesi artmaktadır. Gazların ve sıvıların viskozitelerinin hesaplanması ile ilgili bağıntılar sırasıyla eşitlik (2.11) ve eşitlik (2.12)'de verilmiştir. Eşitlikler içerinde bulunan T mutlak sıcaklık; α, b ve c deneysel sabitlerdir. Atmosferik koşullarda 20°C'de hava ve suyun dinamik viskozite değerleri sırasıyla 0,000018 kg/(m.s) ve 0,0010 kg/(m.s)'dür [24].

$$\mu = \frac{\alpha * T^{0.5}}{1+b/T} \tag{2.11}$$

$$\mu = a * 10^{b/(T-c)} \tag{2.12}$$



Şekil 2. 4 Sıvıların ve gazların viskozitesinin sıcaklıkla değişimi

2.2.4 Hacimsel Elastiklik Modülü

Bir akışkana basınç uygulandığında veya akışkanın sıcaklığı azaldığında hacmi küçülmektedir. Bir akışkana uygulanan basınç kaldırıldığında veya sıcaklığı artığında akışkanın hacmi genişlemektedir. Bir akışkanın sıkışabilirliği uygulanan basınç değişimiyle uğradığı deformasyon göre belirlenmektedir. İç bünyesi elastik bir ortam olan akışkanlar basınç altında sıkıştıklarında elastik enerji depo etmektedirler. Diğer tüm elastik malzemeler gibi akışkanlarında bir elastik modülleri bulunmaktadır. Bu modül hacimsel elastiklik modülü veya sıkışabilirlik katsayısı olarak da bilinmektedir. Sıkışabilirlik ile ilgili bağıntı sabit bir sıcaklığa sahip akışkan için eşitlik (2.13)'de verilmektedir. Bu eşitlik içeresinde bulunan K sıkışabilirliği, ΔV akışkan hacimdeki değişikliği, ΔP akışkan basınç değişimini ve V akışkanın basınç değişiminden önceki hacmini ifade etmektedir. Sabit bir sıcaklıkta sıkışabilirlik katsayısı, akışkanın hacminde veya yoğunluğundaki oransal değişme karşılık basıncında oluşan değişimi göstermektedir. Sıkışabilirlik birimi basınç birimi ile aynıdır.

$$K = -\frac{\frac{\Delta P}{\Delta V}}{V} = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta p}{p}} \quad (2.13)$$

Büyük bir K değerine sahip olan akışkanın hacminde küçük bir değişim meydana getirebilmek için basıncında büyük bir değişim olması gerekmektedir. Bu durum sıvılar için genel bir durumdur. Bu sebepten sıvılar genel olarak sıkıştırılamaz kabul edilmektedir. Suyun sıkışabilirliği veya hacimsel elastiklik modülü $2.2x10^9$ N/m^2'dir. $1x10^6$ N/m^2 bir basınç suyun hacminde sadece %0.05'lik bir değişim meydana getirmektedir. İdeal gaz denklemi ile sıkışabilirlik bağıntıları birleştirildiğinde, bir ideal gazın sıkışabilirlik katsayısı gazın mutlak basıncına eşit olduğu bulunmaktadır. Bu şekilde ideal bir gazın yoğunluğunda meydana gelen yüzdesel artış, basıncında meydana gelen yüzdesel artışa eşit olmaktadır. Yüksek bir basınca sahip ideal gaz için hacminde oluşturulacak yüzde 1'lik bir değişim bile basıncında büyük değişimlere neden olmaktadır [24].

2.2.5 Enerji

Enerji birçok formu bulunmaktadır. Bunlar; elektriksel, manyetik, kimyasal ve nükleer gibi çeşitli formlarda olabilmektedir. Bir sistemde bulunan tüm enerjilerin toplamı sistemin toplam enerjisini (E) oluşturmaktadır. Enerjinin birimi joule (J)'dur. Bir sistemin moleküler yapısıyla ilgili enerjisi kendi iç enerjisi (u) olarak adlandırılmaktadır. Bir sistemin referans koordinat sistemine göre hareketinin sonucu olarak sahip olduğu enerjiye kinetik enerji adı verilmektedir. Birim kütle başına kinetik enerji ile ilgili bağıntı eşitlik (2.14)'de verilmektedir. Bu eşitlikteki V sistemin hızıdır. Yer çekimi etkisi altında bulunduğu yükseklikten dolayı sistemin sahip olduğu enerjiye potansiyel enerji denir. Birim kütle başına potansiyel enerji ile ilgili bağıntı eşitlik (2.15)'de verilmektedir.

$$ke = V^2/2 \quad (2.14)$$

$$pe = g.z \quad (2.15)$$

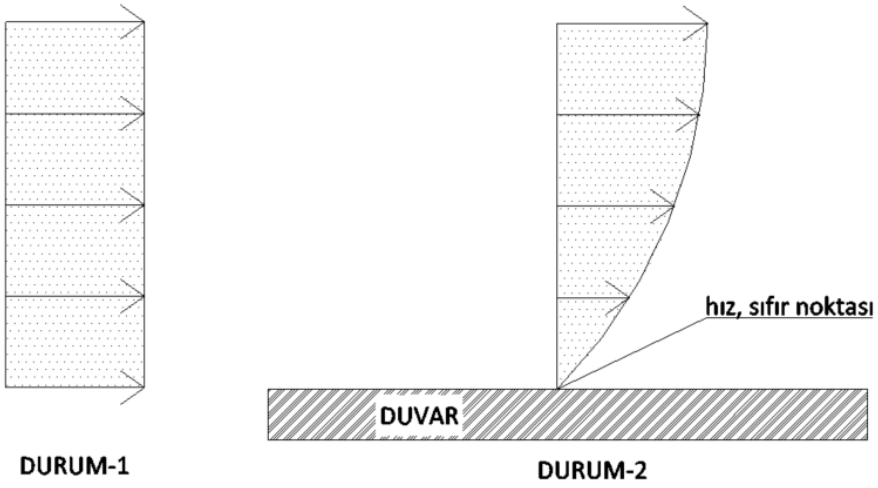
Bir akışkanın basıncın yoğunluğa oranının (P/p) olarak ifade edilmektedir. Bu oran akışkanı hareket ettirmek ve akışı sürdürmek için birim kütle başına düşen akış enerjisini ifade etmektedir. İç enerji ile akış enerjisinin toplamı entalpi (h) olarak adlandırılmaktadır. Normal sıkışabilir bir sistemde toplam enerji; iç, kinetik ve

potansiyel enerjilerinin toplamını ifade etmektedir. Akan akışkanın birim kütle başına toplam enerji eşitlik (2.16)'de verilmektedir [24].

$$e_{akan} = h + \frac{v^2}{2} + g.z \tag{2.16}$$

2.2.6 Kaymama Koşulu

Akışkan akımları akış sırasınca çoğu zaman katı yüzeyler ile karşılaşmaktadırlar. Katı yüzeyin hareket halindeki bir akışkanla temas ettiğinde akışkan üzerinde oluşabilecek değişiklikleri akışkanın fiziksel hareketi için önemlidir. Akan bir akışkan katı bir yüzeye teması durumda katı yüzeyine dik yöndeki akışkan hızı sıfır olmaktadır. Bütün deneysel çalışmalarda akışkanların katı yüzeylere yaklaşınca katı yüzeye dik yönde tamamen durduğu gözlenmektedir. Bu yüzden temas bölgesinde akışkanın bağıl hızı katı yüzeye dik yönde sıfır olduğu kabul edilmektedir. Hareket halindeki akışkan herhangi bir katı yüzeyle temas etmediği zaman Şekil 2.5 durum-1'de olduğu gibi üniform bir hıza sahip olmaktadır. Ancak hareketi esnasında Şekil 2.5 durum-2'de olduğu gibi katıya doğrudan temas eden akışkan, viskoz etkilerden dolayı yüzeye yapışırsak hızı sıfırlanır. Bu durum kaymama koşulu olarak bilinmektedir. Yüzeye yapışan tabaka, akışkan tabakları arasındaki viskoz kuvvetlerin etkisi ile hemen üzerindeki tabakayı yavaşlatır ve bu etkileşim yüzeyden uzaklaştıkça azalarak devam eder. Bu nedenle kaymama koşulu, akışkan hız profilinin oluşmasında etkili olmaktadır. Viskoz etkilerin önemli olduğu yüzeye yakın akış bölgesine sınır tabaka adı verilmektedir. Kaymama koşulu ve sınır tabakasının oluşmasına yol açan akışkan özelliği viskozite olarak bilinmektedir. Hareketli yüzeye komşu akışkan tabakası yüzey ile aynı hıza sahiptir. Katı yüzey ile akışkanın temas ettiği noktalarda akışkanın hızının yüzeye göre sıfır değerini alması, kaymama koşulu ile ilişkilidir [24].



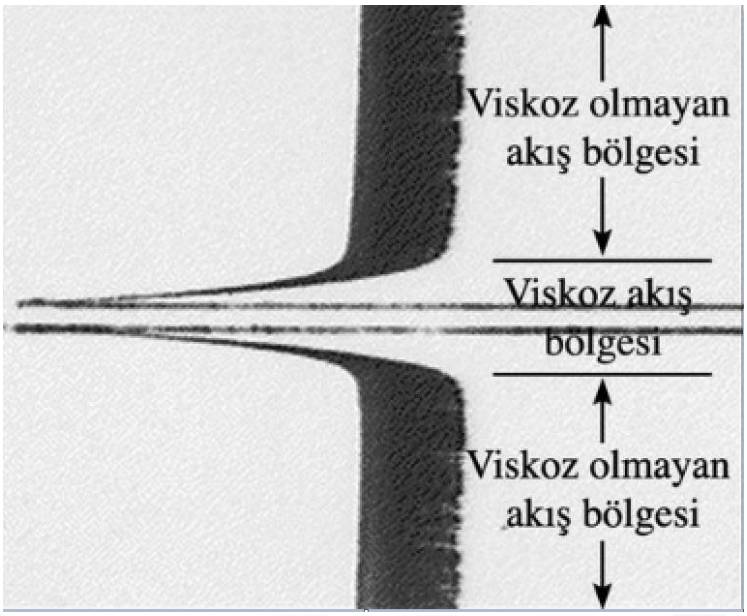
Şekil 2. 5 Üniform bir hıza sahip hareket halindeki akışkanın katı bir yüzeye teması

2.3 Akışkanların Sınıflandırılması

Bu bölümde akışkanların çeşitli özelliklere göre sınıflandırılarak bilgiler verilecektir.

2.3.1 Viskoz ve Viskoz olmayan akış bölgeleri

Akışkanların akmaya karşı direnci viskozite olarak adlandırılmaktadır. Viskozite sıvılarda moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinden, gazlarda ise moleküllerin çarpışmalarından kaynaklanmaktadır. Viskozitesi olmayan bir akışkan yoktur. Her akışta bir dereceye kadar viskoz etkiler söz konusudur. Sürtünme etkilerinin olduğu etkiler viskoz akışlar olarak adlandırılmaktadır. Bununla beraber uygulamada karşılaşılan akışların çoğunda viskoz kuvvetlerin atalet ve basınç kuvvetlerinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük kaldığı akışlar (tipik olarak katı yüzeylerden uzak bölgeler) olmaktadır. Bu gibi viskoz olmayan akış bölgelerinde viskoz terimlerin ihmal edilmesi sonuçların doğruluğunda büyük bir oranda kayıp olmasına neden olmamaktadır. Üniform hızlı bir akışkan akımına paralel olarak yerleştirilen düz bir plakanın etkisi ile viskoz ve viskoz olmayan akış bölgelerinin gelişimi Şekil 2.6'da gösterilmektedir [24].



Şekil 2. 6 Viskoz ve viskoz olmayan akış bölgeleri [24]

Laminer ve paralel bir akışta, tabakalar arasındaki yüzey gerilimi (τ) bu tabaklara dik yöndeki hız gradyeni ($\partial u/\partial y$) ve dinamik viskozite (μ) ile doğru orantılıdır.

2.3.2 İç ve Dış Akışlar

Hareket halindeki akışkan sınırları belli bir kanalın içinden geçiyorsa bu akış iç akış olarak adlandırılırken bir yüzeyin üzerinden akıyorsa akış, dış akış olarak adlandırılır. Bir akışkanın herhangi bir yüzeyin üzerinden akmasına dış akış denir. Ancak akışkan katı yüzeylerle tamamen sınırlandırılmış bir ortamda hareket ediyorsa buna iç akış denilmektedir. İç akışlar, tüm akış alanında boyunca viskozitenin etkili olduğu bir akış ortamıdır. Dış akışlarda ise viskoz etkiler sadece katı yüzeylere komşu sınır tabakalarında etkilidir [24].

2.3.3 Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar

Bir akış, akış hareketi boyunca yoğunluğunun değişme miktarına göre sıkıştırılabilir veya sıkışamaz akış olarak adlandırılmaktadır. Yoğunluk akış boyunca her yerde yaklaşık olarak sabit kalıyorsa, akışın sıkıştırılamaz olduğu yaklaşımı yapılmaktadır. Aksi bir durumda ise akış sıkışabilir akış olarak kabul edilmektedir. Sıkıştırılmaz akışkanın hacmi akış hareketi boyunca değişmez [24].

Hareket boyunca yoğunluğu sabit kalan sıvı akışları sıkıştırılamaz akış kabul edilmektedir. Gaz akışları için Mach sayısına bağlı olarak sıkıştırılamaz akış olması durumu belirlenmektedir. Mach sayısı akışkanın akış hızının ses hızına bölünmesi ile elde edilmektedir. Mach sayına ait bağıntı eşitlik (2.16)'da verilmektedir. Mach sayısı 0,3 değerinin altında olması halinde gaz akışı sıkıştırılamaz kabul edilmektedir. Eşitlik (2.17)'da verilen ses hızı, deniz seviyesinde ve oda sıcaklığına sahip havada 346 m/s değerini almaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda gazlarda akış hızı 100 m/s'nin altındaki iken sıkıştırılamaz akış kabul edilmektedir [24].

$$\mathrm{Ma} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{c}} = \frac{\text{Akış hızı}}{\text{Ses hızı}} \tag{2.17}$$

2.3.4 Laminer ve Türbülanslı Akışlar

Akış hareketleri düzenli ve çalkantısız veya düzensiz ve çalkantılı olarak değişmektedir. Çalkantısız akışkan tabakları oluşturduğu çok düzenli akışkan harekeleri laminer olarak adlandırılmaktadır. Örnek olarak yağlar gibi yüksek viskoziteli akışkanların düşük hızlı akışı genellikle laminer akış yaklaşımında olmaktadır. Genel olarak yüksek hızlarda görülen ve hız çalkantılarına sahip çok düzensiz akışkan hareketleri ise türbülanslı akış olarak adlandırılmaktadır. Örnek olarak hava gibi düşük viskoziteye sahip akışkanların yüksek hızlardaki akışı genellikle türbülanslı akış yaklaşımında olmaktadır. Laminer ve türbülanslı akış arasında sürekli değişim gösteren akış ise geçiş akışı olarak adlandırılmaktadır. Üniform hıza sahip akışanın düz bir engel ile karşılaştığında sırasıyla oluşan laminer, geçiş ve türbülans akış durumlarına göre oluşan teorik hız profilleri durumu Şekil 2.7'de verilmiştir. Engel sınırında bulunan ilk akışkan parçacıklarının hızı kaymama koşulundan dolayı sıfır olmaktadır. Hareketsiz kalan bu akışkan parçacıkları sürtünme etkilerinden dolayı komşu akışkan parçacıklarının yavaşlamasına yol açmaktadır. Bu yavaşlayan komşu akışkan parçacıları da kendisine komşu olan akışkan parçacıklarının yavaşlamasına yol açar ve bu durum devamlılık göstermektedir. Bu durum akışkanın neredeyse üniform hıza ulaştığı sınır tabakası kalınlığı (δ) yüksekliğine kadar devam eder. Sınır tabakası kalınlığı tipik olarak akışkanın alt bölgesinden akışkan hızının 0,99V olduğu bölgeye kadar olan alanı temsil etmektedir. Sınır tabakası içerisinde viskoz kayma kuvvetlerinin hissedildiği ve hız değişimlerinin olduğu akış

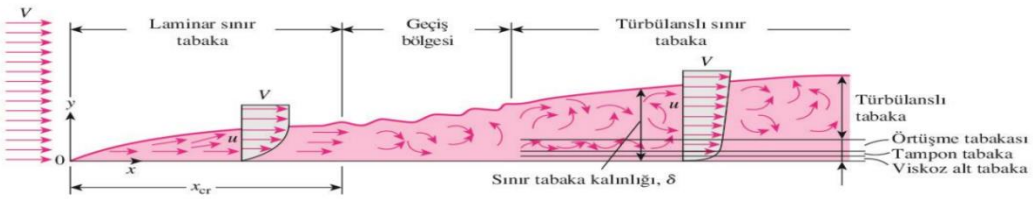
bölgesidir. Akış sınır tabakasının üstünde sürtünme etkilerinin ihmal edilgi hızın sabit kaldığı bölge, dönümsüz akış bölgelerini temsil etmektedir. Türbülans sınır tabakası ise engel çeperinden uzaklığına göre değişen 4 bölgeden oluşmaktadır. Viskoz etkilerin baskın olduğu çepere bitişik çok ince tabaka viskoz alt tabakadır. Viskoz alt tabakaya komşu tabaka tampon tabakadır. Bu tabakada türbülans etkileri önemli hale gelmektedir. Ancak hala viskoz etkilerin hâkimiyeti akış üzerinde daha fazla olmaktadır. Tampon tabakanın hemen üstünde türbülans etkilerin aşırı arttığı ancak hale hâkim olmadığı örtüşme noktası bulunmaktadır. Bu tabakanın üstünde ise artık türbülans etkilerin viskoz etkilere hâkim olduğu türbülans tabakası bulunmaktadır [24].

Bir akışın laminer veya türbülanslı akış olması durumu Reynolds Sayısı (Re) ile en uygun şekilde belirlenmektedir. Reynolds Sayısı bir akış alanına etki eden atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak belirlenmektedir. Reynolds Sayısı, akış alanında bulunan yüzeyin pürüzlülüğü, yüzeyin sıcaklığı, akışkan hızı ve akışkan türüne bağlıdır. Bir dış akış ortamında Reynolds Sayısına ait bağıntı eşitlik (2.18)'de verilmektedir. Eşitlikte yer alan parametreler; akış hızı (V), akışkan yoğunluğu (p), viskozite (μ), akış doğrultusunda Reynolds Sayısı tespit edilmek istenen noktanın engel boyunca katlettiği mesafe (L_x) veya dairesel geometriye sahip silindir ve küre gibi elemanların dış çapı (D)'dir [24].

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{pVL_x}}{\mu} = \frac{\mathrm{pVD}}{\mu} = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskozite kuvvetleri}} \qquad (2.18)$$

Laminer Akış, $\mathrm{Re} < 5\mathrm{x}10^5$

Türbülanslı Akış, $5\mathrm{x}10^5 \leq \mathrm{Re} \leq 10^7$



Şekil 2. 7 Düz bir engel üzerindeki akışın sınır tabakasının gelişimi [24]

2.3.5 Doğal ve Zorlanmış Akış Tipleri

Akışkan hareketlerini başlatan etkene göre doğal veya zorlanmış olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Akışkan hareketi dış etken sebebiyle oluşuyorsa bu akışkana zorlanmış

akışkan denilmektedir. Eğer akışkan hareketi, sıcaklık değişimlerinde akışkanın alçalması veya yükselmesi gibi kendiliğinden oluşan bir akış olayı ise doğal akışkan denilmektedir [24]. Rüzgâr oluşumu doğal akışkana bir örnektir.

2.3.6 Daimî ve Daimî olmayan Akış Tipleri

Akışkanın özelliklerinin bir noktada zaman içerisinde değişim olmuyorsa bu akışkan daimî akış olarak ifade edilmektedir. Daiminin karşıtı daimî olmayandır. Daimî akışkan kavramı ile karıştırılan üniform akış kavramı ise belirlenmiş bir bölgede konuma bağlı bir değişim olmadığını ifade eder. Ek olarak periyodik akış terimi, akışın düzenli bir şekilde salınım yaptığı bir tür daimî olmayan akış çeşidini kapsamaktadır [24].

2.3.7 Akış Hareketinde Boyut Kavramı

Akışkan hızı, temel boyutlardan sadece birine, her ikisine veya her üçüne göre değişiyorsa, akış sırasıyla bir, iki veya üç boyutlu akış olarak adlandırılmaktadır. Eğer hızın belirli yönlerdeki değişimi diğer yönlerdeki değişimlere göre çok daha küçük ise küçük değişimler ihmal edilebilmektedir. Bu gibi durumlarda akışkan analizini kolaylaştırmak için bir veya iki boyutlu akış alanı olarak modellenebilmektedir [24].

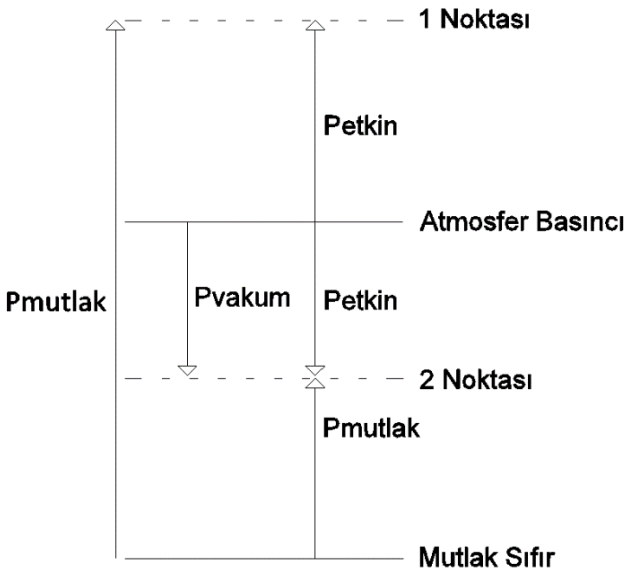
2.3.8 Sistem Seçimi Kavramı

Üzerinde incelemeler yapmak için seçilmiş bir miktar maddede veya uzayda ortamında herhangi bir bölge sistem olarak tanımlanmaktadır. Sistemin dışında kalan maddeler veya bölgeler çevre olarak tanımlanmaktadır. Sistemi çevreden ayıran gerçek veya hayali yüzey sistem sınırı olarak tanımlanmaktadır. Sistemin yüzey sınırları uzay ortamında sabit veya hareketli yüzeyler olabilmektedir. Bu sınırlar sisteme ve çevreye ait ortak temas yüzeylerdirler. Sınır kalınlığı literatürde matematiksel olarak sıfır kabul edilmektedir. Bu sebeple sınırın kütlesi ve hacmi bulunmamaktadır. Sistemler, sabit bir kütle veya sabit hacmin seçilmesine bağlı olarak açık veya kapalı şeklinde iki kısma ayrılmaktadır. Kapalı sistem (kontrol kütlesi), sabit bir kütleden ibarettir ve sınırlardan kütle geçişi olmaz. Fakat enerji; ısı veya iş şeklinde sınırdan geçebilmektedir. Kapalı sistemin hacminin sabit olması gerekmez. Açık sistem (kontrol hacmi) için uzayda uygun bir biçimde seçilmiş bir bölgeler olarak seçilmektedir [24].

2.4 Basınç ve Akışkanlar Statik Davranışları

Basınç, bir akışkan tarafından birim alana uygulanan normal kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Birimi pascal (Pa) veya N/m^{2}'dir. Akışkan basıncı bütün doğrultularda eşit büyüklükte ve yüzeye dik olarak etki etmektedir. Durgun haldeki akışkan davranışları akışkanlar statiği alanında incelenmektedir. İncelenen akışkan sıvıysa hidrostatik, gaz ise aerostatik konu başlıklarıyla incelenmektedir. Akışkanlar statiği akışkan tabakaları arasında bağıl hareketle ilgilenmemektedir. Bu sebepten akışkanın içerisinde akışkan şeklini değiştirmeye yol açan kayma gerilmeleri akışkanlar statiğinin konusunda incelenmektedir. Akışkanlar statiği sadece akışkan üzerindeki normal gerilmeler ile ilgilenmektedir. Akışkanlar statiğinde basıncın değişimi sadece akışkanın kendi ağırlığından kaynaklanmaktadır. Barajlar, sıvı depolama tankları ve vb. birçok mühendislik sistemlerinin tasarımı için akışkanlar statiği kullanılarak sistemlerin yüzeylerinde oluşan kuvvetler belirlenmektedir [24].

Etrafımızı çevreleyen havaya ait basınca atmosferik basınç denilmektedir. Bu basınç iklim koşullarına göre bir miktar değişiklik göstermektedir. Genel standart olarak kabul edilen ve deniz seviyesinde bulunan atmosferik basınç 1 atm (atmosfer) olarak adlandırılır. Deniz seviyesinden yüksek noktalara doğru atmosferik basınç azalmaktadır. Değişik birim sistemlerinde 1 atm basınç; 14,7 Psi, 101,3 kPa, 760 mm Hg değerlerine sahiptir. Basınç ölçüm sonuçları mutlak, etkin ve vakum basıncı olarak ifade edilebilmektedir. Mutlak basınç, basıncın mutlak sıfır olduğu noktayı referans kabul ederek basınç değerini belirlemektedir. Mutlak basınç Şekil 2.8'de 1 ve 2 noktasında görüldüğü gibi atmosfer basıncının altında veya üstünde bir değer ifade edebilmektedir. Etkin basınç ise atmosfer basıncını referans kabul ederek ortam basınç değerini belirleyen basınçtır. Etkin basınç Şekil 2.8'de görüldüğü gibi pozitif veya negatif ifade edebilmektedir. Etkin basıncın pozitif olması atmosfer basıcın üzerinde, etkin basıncın negatif olması ise atmosfer basıncının altında bir basıncı ifade etmektedir. Atmosferik basınçtan daha düşük basınçlar vakum basıncı olarak da ölçülmektedir. Vakum basıncı ortam basıncının atmosfer basıncının ne kadar altında olunduğunu gösteren negatif bir değerdir. Bu basınç ifadeleri ilgili basınç ölçüm cihazların ölçüm tarzlarına göre değişmektedir [24].

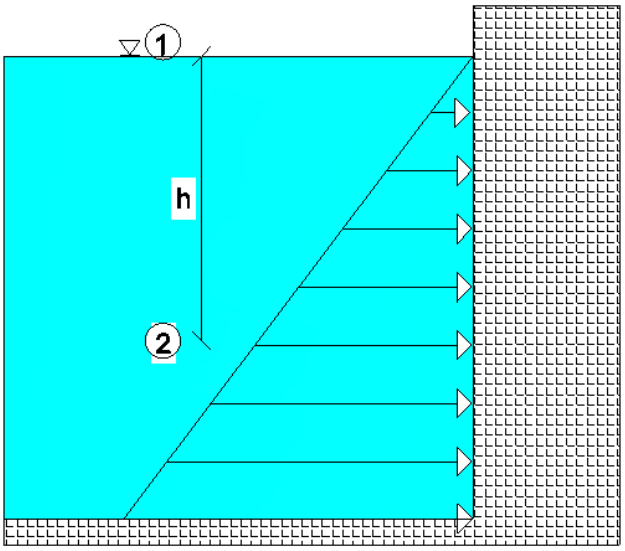


Şekil 2. 8 Mutlak, etkin ve vakum basınçları

Akışkan yoğunluğunun (p) sabit olduğu durumda yer çekimi etkisi altında akışkanın özgül ağırlığı (ɣ), yoğunluk ile yer çekimi ivmesinin çarpımına (ɣ=pg) eşittir. Durgun haldeki akışkanın belirli bir derinlikte kendi ağırlığından kaynaklanan basıncı, özgül ağırlığı ile derinlik yüksekliğinin çarpımına eşit olmaktadır. Bir akışkan sebebi ile bir yüzeyde oluşan basınç, akışkanın koordinat sistemine göre en üst noktasında en derin noktasına doğru gittikçe artış göstermektedir. Çünkü derinliklerde bulunan akışkan parçacıklarının üzerinde birçok akışkan parçacığı bulunmasından dolayı derinlikteki tabakalar daha fazla ağırlığa sahip olmaktadır. Durgun haldeki akışkan ağırlıktan kaynaklı basıncının yükseklik ile değişimi Şekil 2.8'da verilmiştir. Şekil 2.8'da 1 noktasında akışkan sadece atmosferik basınç altındadır. 2 noktasında ise atmosferik basınca ilave olarak akışkanın kendi ağırlığından kaynaklı basınçta bulunmaktadır. 1 ve 2 noktasındaki basınçlarla ilgili bağıntı eşitlik (2.19)'de verilmektedir [24].

$$P_1 = P_{atm} \ (P_{1_etkin} = 0)$$

$$P_2 = P_{atm} + pgh \ (P_{2_etkin} = pgh) \tag{2.19}$$



Şekil 2. 9 Durgun haldeki akışkan ağırlık basıncının yükseklikle değişimi

2.5 Akışkanların Kinematik Davranışları

Hareket esnasında akışkan parçacıkları ötelenmeye, dönmeye, doğrusal şekil değiştirmelerine ve kayma şekil değiştirmelerine maruz kalmaktadır. Bir akışkanın hareketi esnasında zamana ve mekâna bağlı olarak bir hızı ve ivmesi bulunmaktadır. Hareket halindeki akışkan davranışlarını ve bu davranışların nasıl tanımlanacağı mekanik biliminin akışkanlar kinematiği alanında incelenmektedir. Akışkanlar kinematiği akışkan hareketine neden olan kuvvetlerle ile hareket halindeki akışkanın fiziksel özellikleri ve bu özelliklerin değişimleri ile ilgilenmektedir [24].

2.5.1 Akışkan Akımını İnceleme Teknikleri

Akışkan hareketini tanımlamak iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar Lagrange ve Euler tanımlarıdır. Lagrange yöntemi, akışkanın her bir parçacığının konumunun ve hızının izlenilmesi gerekmektedir. Bu yöntem sabit belirli bir kütleli sistemin izlenmesi anlamına gelmektedir. Her bir akışkan parçacığının belirlenen bir zaman başlangıcındaki konumu göre yörünge, hız, yoğunluk ve diğer karakteristik özellikleri belirlemektedir. Bu durum akışkan hareketi boyunca devam etmektedir. Örneğin üzerinde inceleme yapılan sıvı bir parçacığın izlediği yörünge boyunca hareketi, zamana bağlı konumu ve hızı incelenmektedir. Euler yönteminde ise akışkanın hareketi esnasında içerisinden geçtiği kontrol hacmi adı verilen sonlu bir hacim seçilerek inceleme yapılmaktadır. Bu kontrol hacmi sayesinde sabit kütleli akışkan parçacıklarının

konum ve hızlarının izlenmesine gerek kalmadan kontrol hacmi içerisinde konumun ve zamanın fonksiyonu olan alan değişkenler sayesinde akışkanın fiziksel değişimleri tespit edilmektedir. Bu değişimler akışkanın basıncı, hızını, ivmesi gibi özellikleridir. Bu özelliklerle ilgili fonksiyon eşitlik (2.20)'da verilmektedir. Deneysel yöntemlerle genellikle olarak uyumlu olan Euler yöntemi, akışkanlar mekaniği problemlerinde daha çok tercih edilmektedir [24].

$$P = P(x, y, z, t) \qquad \vec{V} = \vec{V}(x, y, z, t) \qquad \vec{a} = \vec{a}(x, y, z, t) \tag{2.20}$$

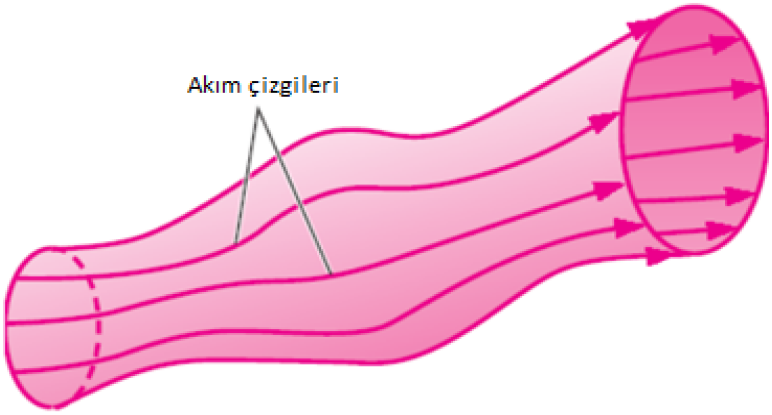
2.5.2 Akış Hareketin Fiziksel Değerlerin Görselleşmesi ve Çizimleri

Akış hareketinin davranışlarının incelenmesi sonucunda akışkan ile ilgili birçok sonuç matematiksel olarak tespit edilmektedir. Deneysel ve sayısal yöntem ile tespit edilen akışkan özellikleri için görselleştirme ve çizim yöntemleri kullanılarak sonuçları sunulmaktadır.

2.5.2.1 Akış Görselleştirme Terimleri

Akım çizgisi, hareketin anlık yönünü gösteren hızın vektörel ifadesine belirlenen her anda teğet olan bir eğridir. Bir akışkan hareketinde tüm akış çizgilerine birleştirildiğinde, akım tüpü (Şekil 2.10) denilen akışkanın hareketinin içerisinde gerçekleştiği alanı oluşturmaktadır. Bölüm 2.6.1'de anlatılacak gibi kütlenin korunumu denklemine göre sıkıştırılmaz bir akışta akım tüpünden alınan en kesitlerde ölçülen kütlesel debiler sabit kalmaktadır. Bu durum diğer bölgelere göre akış hızının arttığı bölgelerde akım tüpünün daralmasına yol açmaktadır [24].

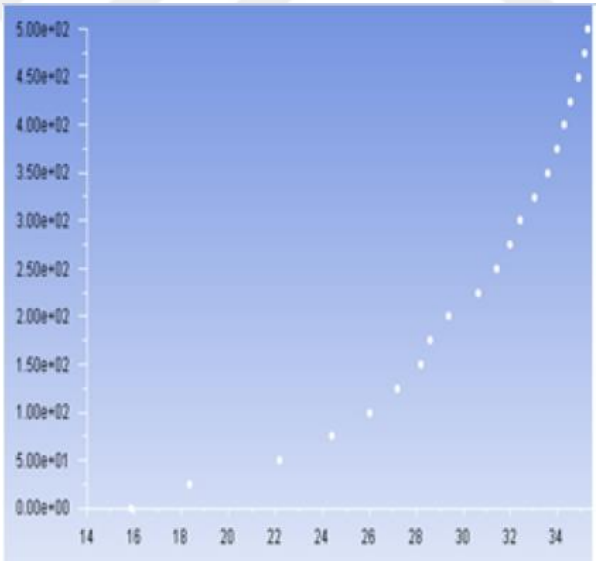
Yörünge çizgisi, akışkan parçacıklarından herhangi birisine ait belirlenen süre boyunca ilerlediği yolu gösteren Lagrange eğrisidir. Çıkış çizgisi, akış hareketi boyunca akışkan parçacıklarının belirli yerlerden peş peşe hareket ettiğini gösteren çizgilerdir. Daimî bir akış incelendiğinde çıkış, yörünge ve akım çizgileri birbiriyle aynı olmaktadır [24].



Şekil 2. 10 Akım çizgileri ve akım tüpü [24]

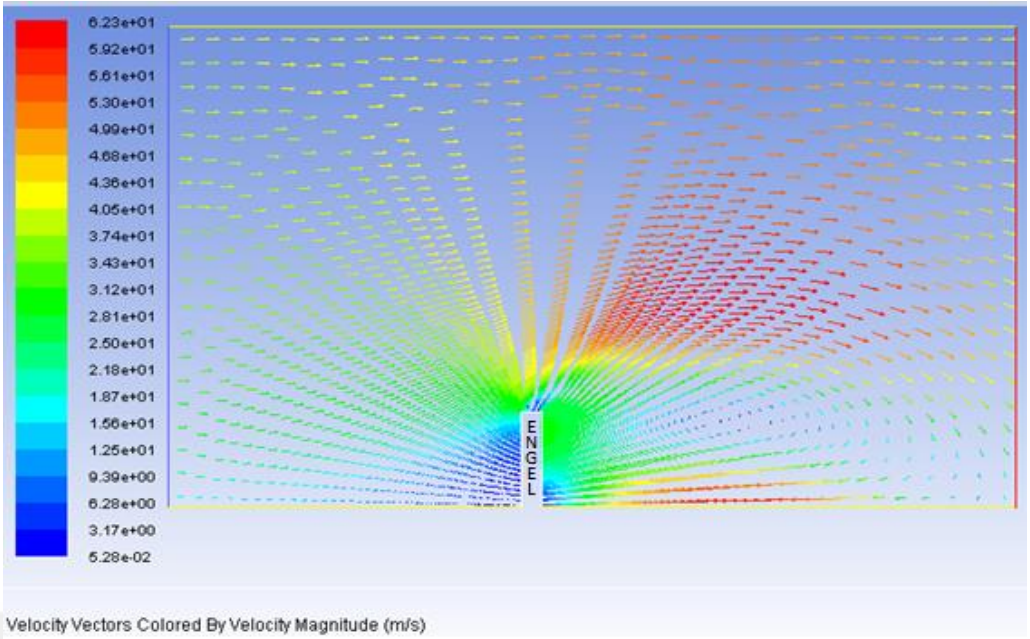
2.5.2.2 Çizim Yöntemleri

Profil çizimleri, akış ortamı içerisinde bir yön boyunca skaler bir değere sahip akış özelliğinin nasıl değiştiğini belirlemektedir. Akışkan basınç, sıcaklık ve yoğunluk gibi özellikleri skaler değere sahiptirler. Akışkan hızı ise vektörel bir özelliktir. Ancak akışkan hızının büyüklüğün hız vektörü bileşenlerinden birisi için profil çizimi olarak görselleştirilmektedir. Şekil 2.11'de grafikte x yönü hızın x doğrultusundaki bileşenini, y yönü ise yer seviyesine olan mesafeyi temsil etmektedir.



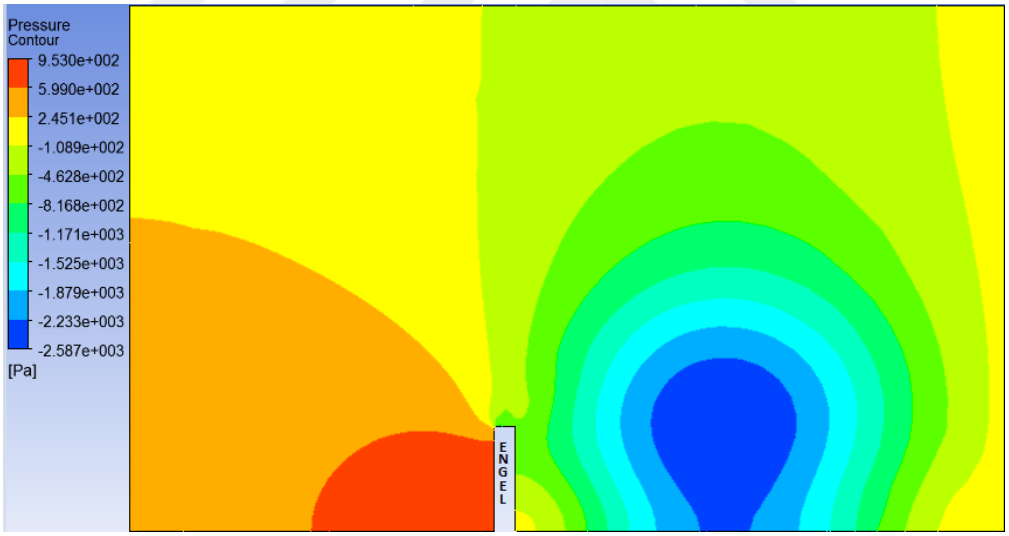
Şekil 2. 11 Hız bileşeninin bir yönü için örnek profil çizimi

Vektör çizimleri, akış ortamı içerisinde belirlenen bir zamanda vektörel değere sahip akış özelliğinin yönünü ve büyüklüğünü belirlemektedir (bkz. Şekil 2.12). Akışkanın hızı ve ivmesi vektörel değere sahiptir.



Şekil 2. 12 Hızın Ansys Fluent örnek vektör çizimi

Kontur çizimleri, akış ortamı içerisinde belirlenen bir zamanda skaler veya vektörel bir akış özelliğinin eğrilerini değer veya renk tonları olarak belirlemektedir (bkz. Şekil 2.13).



Şekil 2. 13 Basıncın Ansys Fluent örnek renk kontur çizimi

2.6 Akışkanlar Mekaniği Denklemleri

Akışkan hareketin için temel üç korunum denklemi bulunmaktadır. Bunlar kütle, momentum ve enerji korunum denklemleridir. Bu denklemlere ilave olarak Bernoulli denklemi ise akışkanın hareketi esnasında kinetik, potansiyel ve akış enerjisinin

korunumu ifade etmektedir. Bu korunum denklemlerden yararlanılarak türetilen Navier-Stokes denklemleri tüm akışkan hareketinin tanımlanmasını sağlamaktadır.

2.6.1 Korunum Denklemleri

Korunum denklemleri; kütlenin korunumu, momentumun korunumu, enerjinin korunumu ve Bernoulli denklemlerini içermektedir.

2.6.1.1 Kütlenin Korunumu Denklemi

Bir kapalı sistem için kütle korunumu ilkesi, zamanla sistemin kütlesinin sabit kalacağını belirtmektedir. Bir kontrol hacminde ise sisteme giren ve çıkan kütlelerin eşitliği cinsinden kütlenin korunumu ifade edilmektedir. Bir en kesit alanından birim zamanda akan kütle miktarına kütlesel debi ($\dot{m}$) denir. Kontrol hacimlerinde kütlenin korunumu denklemi ile ilgili bağıntı eşitlik (2.21)'de verilmektedir. Bağıntı içerisinde bulunan $\dot{m}_{giren}$ ve $\dot{m}_{çıkan}$ sırasıyla, sisteme giren ve çıkan toplam kütlesel debileri ifade etmektedir. Hareket halindeki akışkanın herhangi bir kesitinden geçen su miktarına debi olarak adlandırılmaktadır. Akışkanlar mekaniğinde kütlenin korunumu denklemi ifadesi, süreklilik denklemi olarak da adlandırılmaktadır [24].

$$\dot{m}_{giren} - \dot{m}_{çıkan} = \frac{dm_{sis}}{dt} = 0 \tag{2.21}$$

Bir en kesitten birim zamanda geçen akışkan hacmine hacimsel debi ($\tilde{V}$) denir. Kütlesel debi, hacimsel debi ile yoğunluğun çarpımına eşittir. Hacimsel debi ise akışkanın hareket yönündeki ortalama hızı (V_{ort}) ile dik en kesit alanının (A_c) çarpımına eşittir. Kütlesel debi ile ilgili bağıntısı eşitlik (2.22)'de verilmektedir.

$$\dot{m} = p * \tilde{V} = p * V_{ort} * A_c \tag{2.22}$$

2.6.1.2 Momentumun Korunumu Denklemi

Bir cismin kütlesinin ve hızının vektörel çarpımı cismin momentumu ($m\vec{V}$) olarak belirlenmektedir. Newton'un ikinci yasasına göre bir cismin ivmesi cisme tesir eden net kuvvet ile doğru orantılı iken cismin kütlesi ile ters orantılıdır. Akışkan parçacığının

zamana göre momentumunun değişim hızı cisme etki eden net kuvvete eşittir. Bu net kuvvet sıfır olduğunda momentum sabit kalır ve sistemin momentumu korunumu gerçekleşmiş olur [24].

2.6.1.3 Enerjinin Korunumu Denklemi

Bir kapalı sistem sınırları içerisinden enerji, ısı veya iş olarak geçebilmektedir. Enerjinin korunumu ilkesi gereği belirli bir zamanda isteme giren veya çıkan net enerji eşittir. Kontrol hacimlerinde kütlesel debi yoluyla enerji geçişleri olmaktadır. Enerjinin korunumu ile ilgili bağıntı eşitlik (2.23)'da verilmektedir. Bu bağıntıda $\dot{E}_{giren}$ ve $\dot{E}_{çıkan}$ sırasıyla kontrol hacmine birim zamanda giren ve çıkan toplam enerjilerdir [24].

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_{sis}}{dt} = 0 \tag{2.23}$$

2.6.2 Bernoulli Denklemleri

Bernoulli denklemi akışkana ait basınç, hız ve yükseklik özelliklerini içeren bir bağıntıdır. Akışkan hareketinde viskoz etkiler atalet, yer çekimi ve basınç etkilerine göre küçük olduğunda net sürtünme etkileri ihmal edilir kabul edilmektedir. Bernoulli denklemi net sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilir kabul edildiği daimî ve sıkıştırılamaz akış bölgeleri için geçerli olmaktadır. Viskoz etkilerin önemli olduğu akışkan bölgeleri, akışkan hareketi esnasında karşılaşılan bir engelin sınır tabasına yakın akışkan parçacıklarının bulunduğu bölgeleridir. Daimî ve sıkıştırılamaz bir akış için Bernoulli denklemi eşitlik (2.24)'de verilmektedir. Eşitlikte toplamları verilen terimler sırasıyla akışkana ait akış, kinetik ve potansiyel enerjileridir. Daimî ve sıkıştırılabilir akışta sürtünme etkileri ihmal edildiğinde, bir akışkan parçacığının bir akım çizgisi boyunca akış, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı sabit kalmaktadır. Burandan anlaşıldığı üzere akışkan hareketi sırasında bu enerjiler birbirlerine dönüşmektedir. Bu dönüşümler basınç değişimine neden olmaktadır. Bernoulli denklemindeki her bir terim yoğunlukla (p) çarpılırsa eşitlik (2.25)'deki basınç terimleri meydana çıkmaktadır [24].

$$\frac{P}{p} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{sabit} \tag{2.24}$$

$$P + p\frac{v^2}{2} + pgz = sabit \tag{2.25}$$

Eşitlik (2.24)'de verilen P, statik basınç; $p\frac{v^2}{2}$, dinamik basınç; pgz, hidrostatik basıncı ifade etmektedir. Statik basınç, akışkanın gerçek termodinamik basıncına karşılık gelmektedir. Bu basınç dinamik etkileri içermez. Dinamik basınç, hareket halindeki bir akışkan bir engel sebebi ile durmaya zorlandığında akışkanda meydana gelen basınç artışını ifade etmektedir. Hidrostatik basınç, seçilen referans seviyesine bağlıdır. Bu yüksekliğin yani akışkan ağırlığının basınç üzerindeki etkisine karşılık gelmektedir.

2.6.3 Navier-Stokes Denklemleri

Navier-Stokes karmaşık ve doğrusal olmayan ifadeler içeren ikinci mertebeden kısmi diferansiyel denklemlerden oluşmaktadır. Navier-Stokes denklemlerin çözümü sonucunda akışkan hareketinin tüm noktalarındaki fiziksel davranışına ait sonuçlar belirlenmektedir. 3 boyutlu sıkıştırılamaz bir akışta üç hız bileşeni (u, v, w) ve (P) basınç olmak üzere 4 bilinmeyen bulunmaktadır. Navier-Stokes denklemleri vektörel denklem olduğundan 3 bileşeni ve bu bileşenler için 3 ayrı denklemi bulunmaktadır. Bilinmeyen değerleri bulabilmek için Navier-Stokes denklemleri ile beraber süreklilik denkleminden yararlanılmaktadır [24].

Sıkıştırılamaz kabul edilen bir akışın üç boyutlu sürekli hareketi Kartezyen koordinatlarda süreklilik denklemi eşitlik (2.26)'de verilmektedir [12].

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(pu_i) = 0 \tag{2.26}$$

Sıkıştırılamaz kabul edilen bir akışın üç boyutlu sürekli hareketi Kartezyen koordinatlarda Navier-Stokes denklemine ait eşitlik (2.27)'de verilmektedir [12].

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(pu_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta ij\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(-p\overline{u_i' u_j'}\right) \tag{2.27}$$

Analitik olarak çözümü oldukça zor olan Navier-Stokes denklemlerinin çözümü bilgisayar yazılımlarında sayısal olarak gerçekleştirilmektedir. Bu denklemlerde yer alan çalkantı terimlerin hesaplanması için birçok türbülans modeli bulunmaktadır. Bu

çalışma kapsamında Ansys Fluent yazılımı kullanılacaktır. Bu çalışma kapsamında türbülans modeli olarak Fluent içerinde bulunan Realizable k-£ türbülans modeli kullanılacaktır. Türbülans modelleri ile ilgili daha ayrıntılı Bölüm 3.3.3.1'de verilecektir.

BÖLÜM 3

YAPI- RÜZGÂR ETKİLEŞİMİ

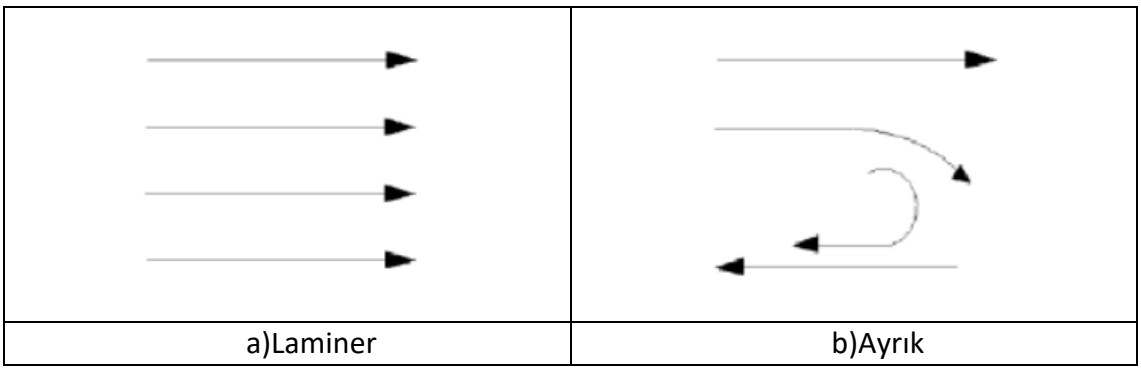
Yapıların tasarım aşamalarında yaşamları boyunca maruz kalacakları yüklere karşı önlemler alınmaktadır. Bu yüklerden birisi olan rüzgâr yüklerin yapıya olan etkilerinin belirlenmesi yapı tasarımı için önemli kriterlerden birisidir. Rüzgâr yükünün büyüklüğü rüzgârın hızının değerine göre değişmektedir. Yüksek hızlara sahip rüzgârlar yapılar üzerinde ciddi tesirler oluşturmaktadır. Atmosferik sınır tabası içerisinde rüzgâr hızı, çevre özelliklerine, iklim koşullarına, bitki örtüsüne, etraftaki yapı topluluğuna bağlıdır. Rüzgâr hızı yeryüzü seviyesinden yükseklere çıkıldıkça parabolik bir artış göstermektedir. Bu durumda yükseklerde konumlanmış yapılar için rüzgâr tesirlerini daha da önemli hale getirmektedir. Yüksek yapılar, köprüler, stadyumlar, kuleler rüzgâr etkilerinin önemli olduğu başlıca yapılardır. Rüzgâr yükleri konfor standartları açısından da oldukça önemlidir. Özellikle yüksek yapılarda rüzgârın yapı üzerindeki salınım etkileri insan konforu açısından da irdelenmektedir.

Doğa hareketinden kaynaklı yapıya yatay doğrultuda etkiyen rüzgârın yapı üzerinde statik etkileri ve dinamik etkileri olmaktadır. Rüzgârın yapıların dış yüzeylerinde oluşturduğu basınç (pozitif veya negatif), sürükleme ve kaldırma kuvvetleri statik etkilerinin bir sonucudur. Rüzgâr hızının karesi ile doğru orantılı olan bu etkiler sebebiyle yapının yaşamı boyunca bulunduğu bölgedeki rüzgâr hızının ulaşacağı en büyük değerlerinin bilinmesi önemlidir. Rüzgârın dinamik etkileri ise her yapı tipi için önemli seviyeye ulaşmamaktadır. Yüksek binalar, köprüler (özellikle asma), anten direkleri, kuleler gibi yapılarda dinamik etkilerin önemi göz ardı edilemeyecek seviyelere ulaşmaktadır. Dinamik etkiler, rüzgârın belirli bir yöndeki zamana bağlı şiddetinin değişmesine, frekansına ve genliğine bağlıdır. Dinamik etkilerin bir sonucu

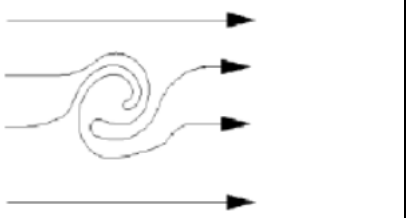
olarak yapılar rüzgârın hareket doğrultusunda ve bu doğrultuya dik doğrultuda titreşimlere maruz kalabilmektedir. Bu titreşimler, rüzgâr hızdaki değişimlere bağlıdır. Yapıların doğal frekansı ile aerodinamik rüzgâr kuvvetlerin frekansının çakışması yapının titreşim genliğinin büyümesine sebep olarak, yapılarda rezonans denilen tehlikeli duruma sebebiyet verebilmektedir. Bu tehlike sebebiyle yapılar hasar görebilmekte ve hatta yıkıma bile uğrayabilmektedir [20].

3.1 Rüzgârın Oluşumu ve Hareketi

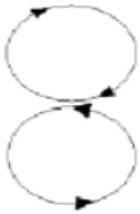
Rüzgâr, yerküremizin değişik bölgeleri arasında ısı veya basınç farklarından dolayı oluşan yatay doğrultuda gerçekleşen doğal hava akımı hareketidir. Bu hareketin en temel sebebi bölgeler arasındaki atmosfer basıncın farklı olmasıdır. Sıcak hava bölgeleri soğuk hava bölgelerine göre daha alçak basınca sahiptir. Rüzgâr soğuk hava bölgelerinden sıcak hava bölgelerine doğru veya yüksek basınca sahip bölgelerden alçak basınca sahip bölgelerine doğru hareket etmektedir. Rüzgâr hareketi esnasında yapılar, araçlar ve ağaçlar vb. birçok farklı engel ile karşılaşmaktadır. Bu engeller rüzgârın hızında ve doğrultusunda değişikliğe sebep olurken, rüzgâr hareketi de bu engeller üzerinde basınç veya kaldırma etkisi oluşturmaktadır. Rüzgâr karşılaştığı engellere göre 4 temel hava hareketine dönüşmektedir. Bunlar laminer (düz), ayrık, türbülanslı ve girdaplı akımlardır (bkz. Şekil 3.1). Yapıların geometrik şekli, yüksekliği, birbirlerine olan yakınlığı rüzgârın yapı üzerindeki tesirlerini önemli ölçüde etkilemektedir.



a)Laminer | b)Ayrık



c)Türbülanslı

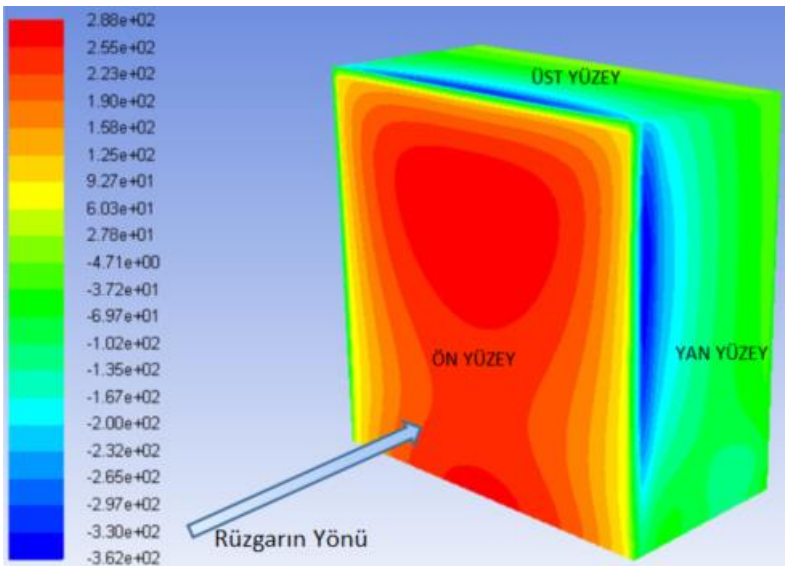


d)Girdaplı

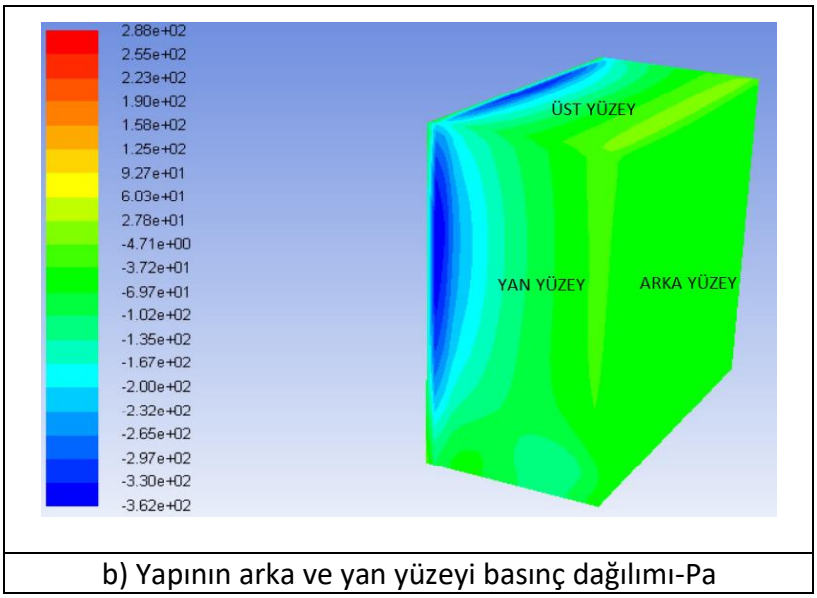
Şekil 3. 1 Temel hava akımları [27]

3.2 Yapılar Üzerinde Genel Rüzgâr Etkileri

Rüzgâr kendi hareket yönü ve yapının konumuna göre yapıya herhangi bir bölgesine ilk olarak etkiyebilir. Genellikle rüzgârın hareket yönüne dik doğrultuda rüzgâra maruz kalan yapı bölgelerinde pozitif basınç (yüzeye dik yönde basınç) diğer bölgelerinde ise negatif basınç (yüzeye dik yönde çekme) oluşmaktadır. Yapının rüzgârı karşılayan ön yüzeyinde Şekil 3.2'de örnek analiz sonucu üzerinden gösterildiği gibi pozitif basınç oluşmaktadır. Bu durum eğimli çatı yüzeylerine sahip yapılarda çatı yüzeyleri için farklı olabilmektedir. Yapının diğer yüzeylerinde ise Şekil 3.2'de örnek analiz sonucu üzerinden gösterildiği gibi negatif basınç oluşmaktadır. İlave olarak pozitif ve negatif basınç bölgelerinin birleştiği bölgelerde negatif basınç alanına doğru hız artışı meydana gelmektedir (bkz. Şekil 3.3).

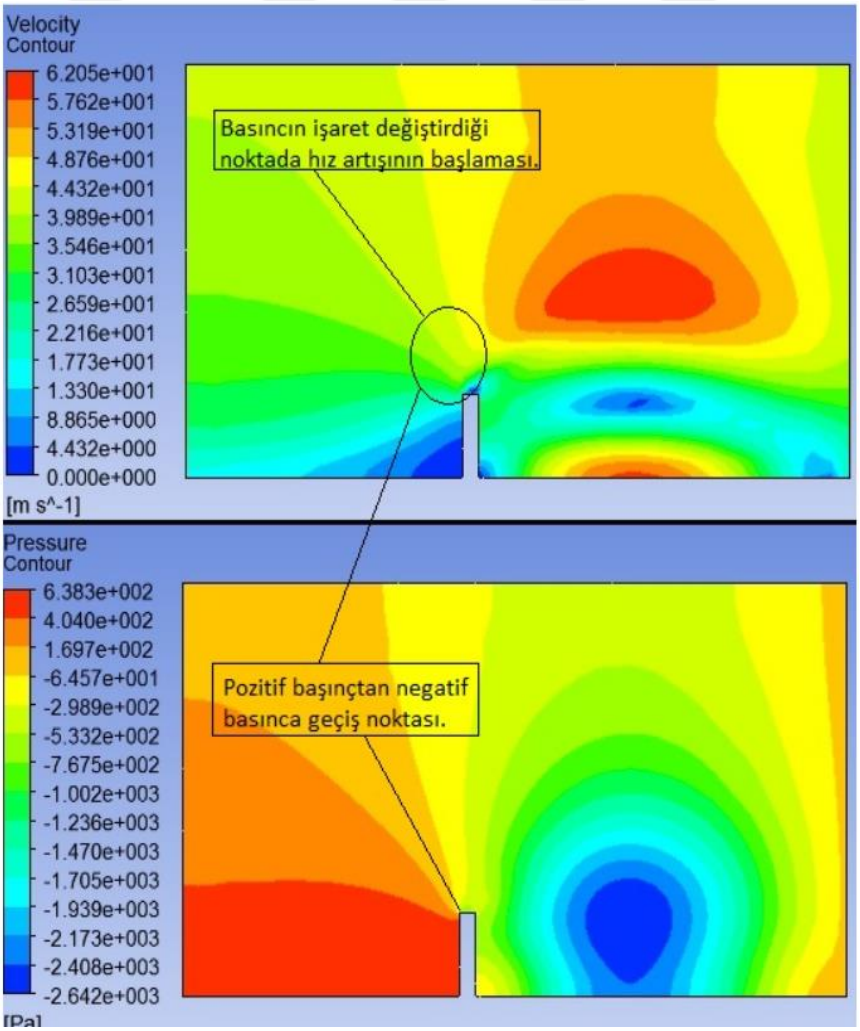


a) Yapının ön ve yan yüzeyi basınç dağılımı-Pa



b) Yapının arka ve yan yüzeyi basınç dağılımı-Pa

Şekil 3. 2 Yapı üzerinde genel rüzgâr basınç dağılımı- HAD analizi örneği



Şekil 3. 3 Basıncın işaret değiştirdiği noktada hız artışının başlaması

Hareketi sırasında birçok formu bulunan rüzgâr ile kendine özgü geometrisi, yüksekliği ve çevre koşulları bulunan yapılar arasındaki ilişki oldukça karmaşıktır. Yapı veya yapı guruplarını için yapılacak ilgili analizler sayesinde yapılarda olumsuz etkileri azaltacak ve yayaların konfor standartlarını etkilemeyecek şekilde yapılar inşa etmek mümkündür. Ancak yapılar ve rüzgâr arasındaki etkileşimi doğru tahmin etmek kolay değildir. Bu etkilerin tespit edilebilme yöntemleri Bölüm 3.3'te verilecektir.

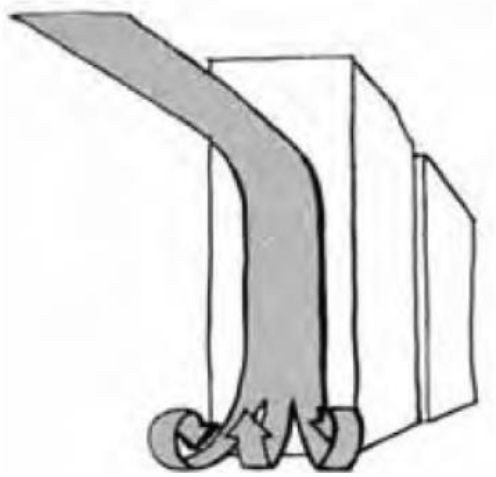
Tek yapı ve yapı grupları için bilinen genel birçok rüzgâr etkisi bulunmaktadır. Bu etkilerin bir kısmı Bölüm 3.2.1 ve Bölüm 3.2.2'de verilecektir.

3.2.1 Tek Yapı Üzerinde Rüzgâr Etkileri

Tek yapı üzerindeki etkiler; aşağı akım etkisi, köşe etkisi ve girdap etkisini içermektedir. Bu etkiler ile ilgili genel bilgiler aşağıda açıklanmaktadır.

3.2.1.1 Aşağı Akım Etkisi

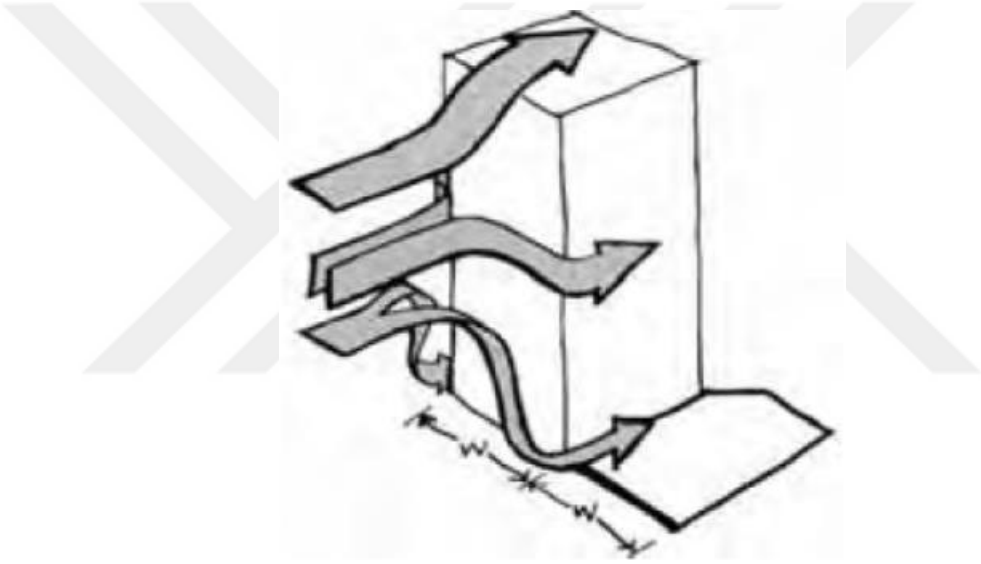
Yapının yüksekliği arttıkça yapının tepe noktasında rüzgâr kaynaklı basınç etkisi de artmaktadır. Yüksek bir yapının rüzgâr alan ön yüzeyinin tepe noktası ile alt noktası arası oldukça yüksek basınç farkı oluşmaktadır. Özellikle dikdörtgen planlı bir binanın tepesindeki yüksek basınçlar havayı yapının rüzgâr alan yüzeyinden aşağıya doğru akmaya zorlamasına aşağı akım etkisi denilmektedir. Bu etkiden dolayı binanın alt bölgelerinde ve yaya seviyesinde rüzgâr hızları önemli derecede artış göstermektedir (bkz. Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Aşağı akım etkisi [26]

3.2.1.2 Köşe Etkisi

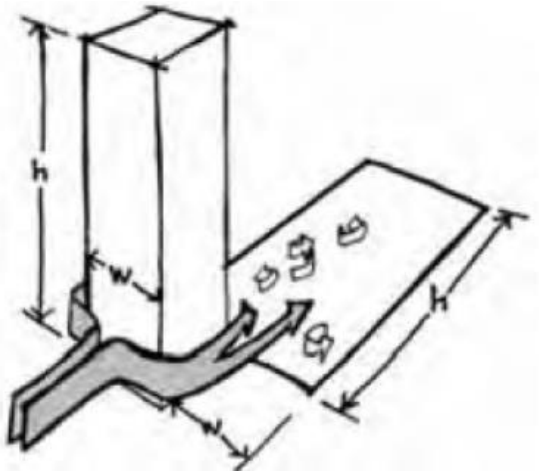
Binanın ön yüzeyine çarpan rüzgâr binanın köşe noktalarından hızlıca uzaklaşmak ister. Bu köşe noktaları aynı zamanda yukarıda anlatılan pozitif basınç alanından negatif basınç alanına geçiş noktalarıdır. Dolayısıyla köşe noktaları rüzgâr hızının da artış gösterdiği yerlerdir. Aşağı akım etkisi ile binanın alt noktasının köşe noktalarında rüzgâr hızı ekstra bir artış göstermektedir. Bu köşe noktaları yüksek ve düşük hızlı rüzgâr akışları arasındaki geçiş bölgeleridir. Ayrıca bu bölgeler yayalar için konfor standartlarını aşırı etkilemekte hatta tehlikeli durumlara bile yol açabilmektedir. Bu rüzgâr hızı etkileri genellikle binanın sınırlarından binanın dışına doğru bina yüzeyinin genişliğine eşit bir mesafeye kadar devam etmektedir (bkz. Şekil 3.5).



Şekil 3. 5 Köşe etkisi [26]

3.2.1.3 Girdap Etkileri

Rüzgâr bina gibi engellerle karşılaştığında normal akışına devam edememektedir. Bölüm 3.1'de anlatıldığı gibi bir engel ile karşılaşan rüzgâr türbülans ve girdap akımları gerçekleştirebilir. Bu durum rüzgârın mevcut hızına, yapıların yüksekliğine, yapıların geometrik şekline, çevresel faktörlere vb. etkilere göre değişmektedir. Bu etkiler, rüzgâr yapıyı terk ettikten sonra belirli bir mesafede devam etmektedir. Bu etkiler hem çevre binalarda farkı rüzgâr basıncı etkileri oluşturmakta hem de yayalar için tehlikeli durumlara yol açabilmektedir (bkz. Şekil 3.6).



Şekil 3. 6 Türbülans ve girdap etkisinin binanın arka yüzüne doğru etkisi [26]

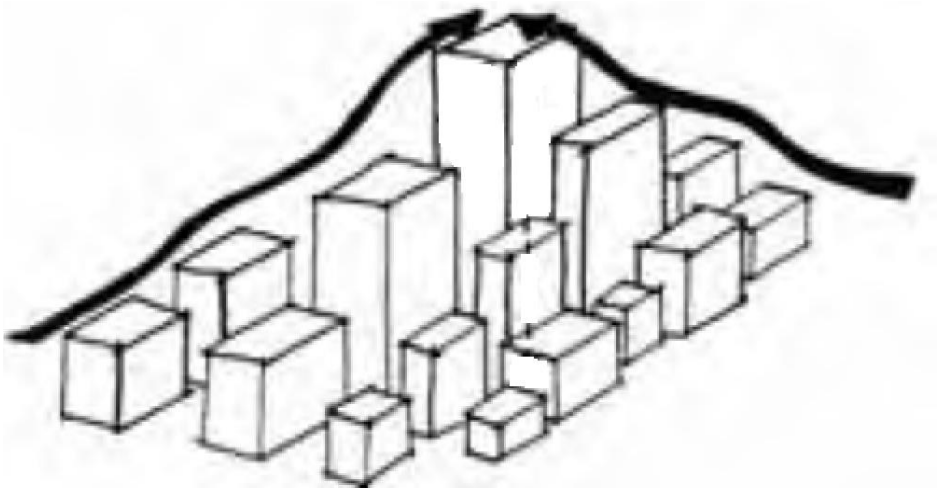
Türbülans etkilerinden dolayı oluşan rüzgârın yapılar üzerinde dinamik etkisi de unutulmaması gereken çok önemli bir kavramdır. Yüksek yapılar ve köprülerde bu durum için özel çalışmalar ve hesaplamalar yapılmaktadır.

3.2.2 Yapı Topluluğu Üzerinde Rüzgâr Etkileri

Yapı topluluğu üzerindeki rüzgâr etkileri; kümülatif etki, birbirine komşu olan yapılar üzerindeki etkiler, kanal etkisi ve sıralı yapılar üzerindeki etkileri içermektedir. Bu etkiler ile ilgili genel bilgiler aşağıda açıklanmaktadır.

3.2.2.1 Kümülatif Etki

Tek halde bulunan binalar üzerinde anlatılan etkilerin her biri rüzgâr yapı etkileşimin bir sonucudur. Yapı yığınları üzerinde rüzgâr etkileri düşünüldüğünde bu etkilerin hepsi birden oluşacaktır. Yapı topluluğu bulunan binalar üzerindeki rüzgâr etkileri; her bir yapının geometrisi, yüksekliği, birbirine olan uzaklıkları gibi birçok etki rüzgâr hızını dolayısıyla yapılarda oluşan rüzgâr tesirlerini etkilemektedir (bkz. Şekil 3.7).



Şekil 3. 7 Kümülatif yapılar üzerinde rüzgâr etkisi [26]

3.2.2.2 Birbirine Komşu Alçak ve Yüksek Yapılarda etkiler

Benzer yükseklikte yan yana yapıların olması rüzgârın tesirinin etkisi açısından farklı yükseklikte yan yana yapılara göre daha olumlu sonuçlar vermektedir. Düşük yükseklikte yapı rüzgâr akışını yukarıya doğru gönderirken yüksek yapı rüzgâr akışı aşağı veya yukarıya doğru göndermektedir. Komşu yapısı alçak bir yapı olan yüksek bir yapının alt noktalarında oluşan aşağı akım etkisinin tesirini bu komşuluk ilişkisine bağlı olarak artabilmektedir (bkz. Şekil 3.8).

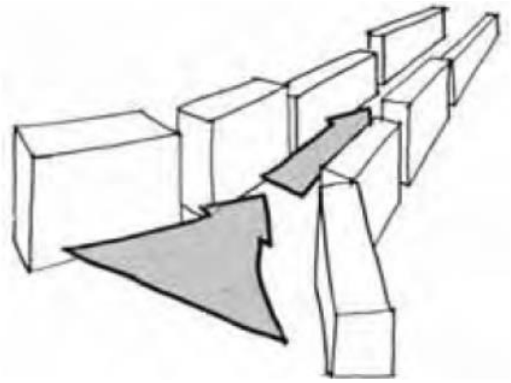


Şekil 3. 8 Komşu olan alçak ve yüksek için rüzgâr etkisi [26]

3.2.2.3 Kanal etkisi

Görünüşlerine bakıldığında karşılıklı aşağı ve yukarı doğrultularda bir koridor oluşturarak yerleştirilen yapılar bir kanal görüntüsü vermektedir. Bu görüntü çeşitli özelliklere göre olumlu veya olumsuz etkileri barındırmaktadır. Olumsuz bir rüzgâr etkisi koridor boyunca devam ederek bazı olumsuz etkilere yol açabilirler. Binalar

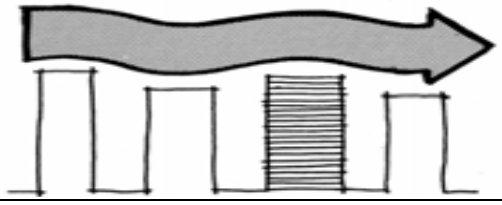
arasındaki mesafeler ve binaların birbirine göre yükseklik farkları rüzgârın olumlu veya olumsuz etkilerini için belirleyici etkenlerdir [27].



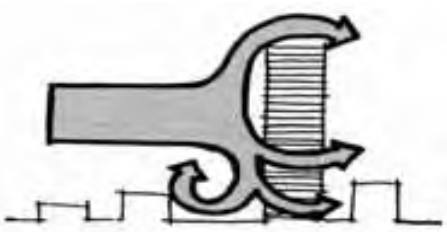
Şekil 3. 9 Kanal görüntüsü oluşturmuş yapıların rüzgâr etkisi [26]

3.2.2.4 Sıralı Yapılar Üzerindeki Etkiler

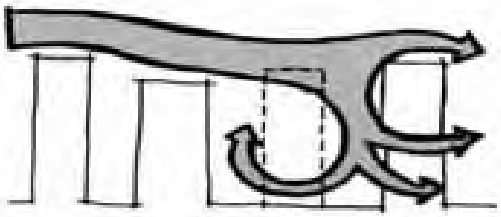
Benzer yükseklikteki çevre yapılar yan yana sıralı olması durumunda olumsuz rüzgâr etkileri daha az yaşanmaktadır. Çevresi ile benzer yükseklikte olan bir yapı büyük rüzgâr yüklerinden kendisini ve çevre yapıları koruyabilir. Ayrıca bu durum yayalar için konforsuzluk durumunu asgariye indirerek onlara bir barınak oluşturmaktadır. (Şekil 3.10.a). Çevresindeki yapılardan daha yüksek olan bir yapı daha fazla rüzgâr basıncına maruz kalmaktadır. Aynı zamanda yaya seviyesindeki rüzgâr hızı artışı daha fazla olacaktır (Şekil 3.10.b). Bu durumla ilgili olumsuzluklar Bölüm 3.2.1.1'de bahsedilmiştir. Yeni bir yapı tasarlanacağı zaman mevcut çevre yapılar, yeni inşa edilecek yapı ve yayalar için rüzgâr etkilerini düşünerek tasarı yapmak önemlidir. Öncelikle mevcut durumdaki rüzgâr etkileri tespit edilmelidir. Ardından yeni inşa edilecek yapı inşa edildikten sonra mevcut yapılar, yeni yapı ve yayalar için oluşacak yeni rüzgâr etkileri tespit edilmelidir. Bu sayede olumsuz durumlara karşı tasarım aşamasında yapı özellikleri ile ilgili değişiklere gidile bilinir (Şekil 3.10.c).



a)Çevre yapılar ile benzer yükseklikte yapı



b)Çevre yapılardan çok daha büyük yükseklikte yapı



c)Çevresinde yapılar olan bir araziye yeni bir yapı inşa edilmesi

Şekil 3. 10 Yan yana sıralı yapılarda rüzgâr etkisi [26]

3.3 Yapılar Üzerinde Oluşan Rüzgâr Yükünü Tespit Yöntemleri

Rüzgâr etkilerinin tespiti için birçok yapı türü için hazırlanmış her ülkenin kendi koşullarına göre kabul ettiği rüzgâr etkilerinin tespiti ile alakalı yönetmelikler bulunmaktadır. Bu yönetmelikler yapılan birçok deneysel çalışma sonucunda ortaya çıkmıştır. Ancak özellikle çağımızda gelişen mimari tasarımlar, önemli yapılarda projeye özgü rüzgâr etki sonuçlarının gerekliliği ve çevresel tüm etkenlerle gerçeğe yakın sonuçların görülmek istenmesi gibi birçok etkenden dolayı bütün ihtiyaçlara bu yönetmelikler yeterli gelmemektedir. Bu sebeplerden ilgili probleme özgü deneysel veya sayısal çalışmalar da yapılmaktadır. Rüzgârın yapılar üzerindeki etkisi deneysel yöntemlerle veya sayısal yöntem olan HAD ile de bulunmaktadır.

3.3.1 Yönetmelikler

Yapı tasarım sürecince göz önüne alınması gerek rüzgâr yükleri için ülkemizde ve dünyada kullanılan birçok yönetmelik bulunmaktadır. Her bir yönetmelik kendi içeresinde birçok yapı türü için rüzgâr etkilerinin nasıl hesaplanması gerektiğini belirtmektedir. Bu yönetmeliklerde, rüzgâr yüklerinin belirlenmesi için kullanılacak birçok parametre verilmektedir. Bu parametreler genel olarak rüzgâr yükü hesabı yapılacak yapıların geometrik özellikleri ve yapıların bulunduğu arazi bölgesinin

özellikleri gibi etkenleri kapsamaktadır. Bu yönetmelikler ve kullanıldığı coğrafyalardan bazıları şunlardır; Eurocode 1-4 (Avrupa), ASCE 7-10 (Amerika), AS/NZS 1170 (Avusturalya ve Yeni Zelanda), AIJ (Japonya), TS498 ve TS EN 1991-1-4 (Türkiye).

TS EN 1991-4 yönetmeliği, Eurocode 1-4 (EN 1991-4) yönetmeliğinin çevirisi olup TSE tarafından yayınlanmıştır. Yayınlanma tarihi 1997 olan TS 498 yönetmeliği ise halen yürürlükte olmakla beraber TS 498'e atıf yapan "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Dair Esaslar" yönetmeliğinde rüzgâr hesabı için TS EN 1991-1-4 yönetmeliğine yönlendirmektedir.

3.3.2 Rüzgâr Tünel Testleri

Günümüzde birçok yapı rüzgâr tünel testine tabi tutularak deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu şekilde rüzgârdan kaynaklı yük etkileri tespit edilmektedir. Yapıların mimari özellikleri (yapının normalden farklı kesit ve plan özellikleri), normalden büyük yüksekliğe sahip olmaları, bulundukları konum, çevresindeki diğer engeller (yapılar, ağaçlar, arazi engebelikleri vb.) ve özel proje olmaları (Yüksek binalar, stadyumlar ve köprüler ve vb.) gibi sebeplerden rüzgâr tünel testi genelde gerekli olmaktadır. Bunlar arasında aşağıda sıralanmış yapı tiplerini de sayabiliriz [3], [28].

1. Büyük yüksekliğe sahip ve düzgün olmayan en kesitli yapılar.
2. Doğal frekansı 1,0 Hz. in altında olan çok esnek yapılar.
3. Aerodinamik stabilite problemlerine sahip yapılar (Vorteks titreşimleri, kuyruk çarpması etkisi ve vb. etkiler).
4. İçinde yaşayanları konfor standartlılarını etkileyecek veya onları tedirgin edecek ölçüde titreşim yapma olasılığı olan yapılar.
5. Yapısal sistemi gereği rüzgâr yüklerine karşı daha çok hassas tasarlanması gereken yapılar.

3.3.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Deneysel çalışmalarda olduğu gibi yapı üzerinde rüzgâr kaynaklı yapı yük tesirleri, sayısal bir yöntem olan HAD ile de bulunmaktadır. HAD ile hareket halindeki akışkanın

davranışı, matematiksel yaklaşımlar kullanarak tespit edilmektedir. HAD çözümleri için birçok bilgisayar yazılımı mevcuttur. Bunlardan birisi de bu çalışmada kullanılacak Ansys Fluent yazılımıdır. Bilgisayar yazılımı ile amaçlanan akışkan hareketinin fiziksel davranışını doğru tespit etmektir.

Akışkanın fiziksel davranışını tespit etmek için kullanılan birçok HAD yazılımı bulunmaktadır. Analitik çözümü sayısal çözüme dönüştürmek için HAD yazılımlarında; Sonlu Hacimler Metodu (FVM), Sonlu farklar metodu (FDM) ve Sonlu elemanalar metodu (FEM) kullanılmaktadır. HAD yöntemi ile amaçlanan, deney yapılmasına olan ihtiyacı gidermektedir. Bilindiği üzere deneysel çalışmalar yüksek maliyet ve uzun zaman gerektirmektedir.

HAD analizlerini kullanarak akışkan davranışlarını tespit etmenin günümüzdeki durumu şu şekilde özetlenebilir; HAD ile laminer akışlar kolaylıkla çözüme kavuşurken, türbülanslı akışları türbülans modellerini kullanmaksızın çözmek oldukça zordur. Ancak bütün mühendislik problemlerde kullanılacak tek bir türbülans yaklaşımı bulunmamaktadır. Analiz sonuçları kullanılan türbülans yaklaşımına bağlı olarak iyi bir sonuç vermektedir. Ancak analizler için kullanılan standart yaklaşımlar uygulamadaki birçok problemde kabul edilir sonuçlar vermektedir [24].

3.3.3.1 Türbülans Yaklaşımı

Akışkan hareketinde oluşan türbülans davranışlarının mekanik özelliklerinin çözülmesini için bazı türbülans yaklaşımları bulunmaktadır. Bunlar; Doğrudan Sayısal Benzetim (Direct Numerical Simulation, DNS), Büyük Girdap Benzetimi (Large Eddy Simulation, LES) ve Reynolds-Ortalamalı Navier-Stokes (Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS) türbülans yaklaşımıdır. DNS yaklaşımında Navier-Stokes denklemleri için çok büyük hesaplama kapasitesine ihtiyaç vardır. Günümüzdeki bilgisayar kapasitesinde DNS ile çözülmesini imkânsızlaştırmaktadır. Fluent'in içerisinde bulunmamaktadır. LES yaklaşımında ise gerekli bilgisayar kapasitesi biraz daha azaltılarak çözülebilir hale gelmektedir. Bu yaklaşımda türbülanslı akıştaki türbülans hareketlerini iki bileşene ayırarak çözmektedir. LES yaklaşımı DNS ile RANS yaklaşımları özellikleri arasında bir yaklaşımdır. Büyük hacimdeki sayısal uygulamalarda LES yaklaşımı ile akışkan hareketinin çözümü bilgisayar kapasitesi için çok büyük hesaplama

hacmi ve uzun süre gerektiren bir yaklaşımdır. RANS yaklaşımı ise Navier-Stokes denklemlerindeki hız parametrelerinin zamansal ortalamasını alarak çözüm gerçekleştirmektedir. Ortalama hız değerinden farklı olan hız değerleri, Navier-Stokes denklemlerine ek türbülans gerilmeleri olarak eklenerek çözüme dahil edilmektedir. Ayrıca bu yaklaşımda türbülans etkisinin yaklaşık olarak çözümlenmesi için Navier-Stokes denklemlerine bir kısım türbülans kapatma parametreleri ilave edilmelidir. Yüksek Reynolds sayısına sahip sayısal uygulamaların düşük bilgisayar hacimlerinde çözülebilmesi için uygun bir yaklaşımdır [29].

Fluent içindeki türbülans modelleri aşağıdaki gibidir [30], [31], [32];

- LES Modelleri:
    1. Detached Eddy Simulation
    2. Large Eddy Simulation
- RANS Modelleri:
    1. One-Equation Model
    2. Spalart-Allmaras
    3. Two-Equation Models
    4. Standard k–ε
    5. RNG k–ε
    6. Realizable k–ε
    7. Standard k–ω
    8. SST k–ω
    9. 4-Equation v2f
    10. Reynolds Stress Model
    11. k–kl–ω Transition Model
    12. SST Transition Model

BÖLÜM 4

EUROCODE 1' E GÖRE BİNA DIŞ RÜZGÂR BASINCI HESABI

Eurocode 1 (TS EN 1991-1-4) yönetmeliğine göre yapı dış duvar basınç değerlerinin tespit edilmesi bu bölümde açıklanacaktır. Öncelikle yapının bulunduğu konum için uygun olan esas rüzgâr hızının temel değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun ardından sırasıyla birbirlerine bağlı terimler olan esas rüzgâr hızı, ortama rüzgâr hızı, türbülans standart sapması, türbülans şiddeti ve tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı bulunmaktadır. Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncının yönetmelik içerisinde ilgili yapı türünün ilgili bölgesi için verilen basınç katsayısı ile çarpımı ilgili bölgenin dış duvar rüzgâr basıncı olarak belirlenmektedir.

Esas rüzgâr hızının temel değeri ($V_{b,0}$), yer seviyesinden yaklaşık 10 metre yukarısında ölçümü yapılan karakteristik 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızıdır. Bu ölçüm yılın herhangi bir bölümünde rüzgârın hareket ettiği yönüne bağlı olmadan çayır gibi az bitki örtüsüne ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip açık kırsal alanda yapılmaktadır [1].

4.1 Esas Rüzgâr Hızı Hesabı (V_b)

Esas rüzgâr hızı; esas rüzgâr hızının temel değerine, doğrultu katsayısına (c_{dir}), mevsim katsayısına (c_{season}) ve olasılık katsayısına (C_{prob}) bağlıdır. Esas rüzgâr hızına ait bağıntı eşitlik (4.1)'de verilmektedir [1].

$$V_b = c_{dir} * c_{season} * V_{b,0} * (c_{prob}) \tag{4.1}$$

Eşitlik (4.1)'de bulunan mevsim ve doğrultu katsayıları için yönetmelikte tavsiye edilen değer 1,0'dır. (Ayrıntılı bilgi için En 1991-1-6'e bakılmalıdır.)

Eşitlik (4.1)'de içerisinde bulunan olasılık katsayısına ait bağıntı eşitlik (4.2)'de verilmektedir. Bu eşitlik içerisinde bulunan parametrelerin açıklaması ve değerleri aşağıda verilmektedir. P, yıllık aşılma ihtimali; K, üst sınır uç değer dağılımın değişkenlik katsayısına bağlı olan şekil parametresi; n, üstel sayıdır. Parametreler için yönetmelikte tavsiye edilen değerler P=0,02, K=0,2, n=0,5'dir [1]. (Ayrıntılı bilgi En 1991-1-6'e bakılmalıdır.)

$$c_{prob} = \left(\frac{1-K*\ln(-\ln(1-p))}{1-K*\ln(-\ln(0{,}98))}\right)^{n} \quad (4.2)$$

4.2 Ortalama Rüzgâr Hızı Hesabı (V_m)

Ortalama rüzgâr hızı; orografi katsayısına (c_o), engebelik katsayısına (c_r) ve esas rüzgâr hızına bağlıdır. Ortalama rüzgâr hızına ait bağıntı eşitlik (4.3)'de verilmektedir [1].

$$V_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * V_b \quad (4.3)$$

Arazi orografisi ihmal ediliyorsa orografi katsayısı için yönetmelikte tavsiye edilen değer 1,0'dır. (Ayrıntılı bilgi için TS EN 1991-1-4 içerinde Bölüm 4.3.3'e bakılmalıdır.)

Engebelik katsayısı; arazi katsayısına (k_r), çatı dahil yapının en tepe noktasının yüksekliğine (z), Çizelge 4.1'deki her farklı arazi kategorisine göre verilmiş engebelik uzunluğuna (z_0) ve Çizelge 4.1'deki her farklı arazi kategorisine göre verilmiş en küçük yüksekliğe ($z_{enküçük}$) bağlıdır. Engebelik katsayısına ait bağıntı eşitlik (4.4) verilmektedir.

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \qquad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4.4)$$

$$c_r(z) = c_r\left(z_{en\ küçük}\right) \qquad z \leq z_{min}$$

Yönetmeliğin kapsamı yüksekliği 200 m'yi geçmeyen binalar içindir. Eşitlik (4.4)'de bulunan Z_{max}, bu yükseklik değerini ifade etmektedir. Arazi katsayısı; Çizelge 4.1'de her farklı arazi kategorisine göre verilmiş engebelik uzunluğuna ve Çizelge 4.1'de bulunan

arazi kategorisi-2'in engebelik uzunluğuna ($z_{o,2}$) bağlıdır. Arazi katsayısına ait bağıntı eşitlik (4.5)'da verilmektedir [1].

$$k_r = 0{,}19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,2}}\right)^{0{,}07} \tag{4.5}$$

Çizelge 4. 1 Arazi Kategorisi

Arazi Kategorisi	z_0 (m)	$z_{en\ küçük}$ (m)
0-) Açık deniz-okyanus etkisine maruz alanlarda veya kıyı alanlarında olan araziler	0,003	1
1-) Göller veya önemli derece büyük olmayan bitki örtüsüne sahip ve engebeli olmayan düz veya yatay alanda olan araziler	0,01	1
2-) Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan alanlar ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engeller (ağaçlar, binalar) içeren alanlarda olan araziler	0,05	2
3-) Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara sahip alanlarda olan araziler Aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engelleri içeren alanlarda olan araziler (kasabalar, yöre kent, ormanlık alan gibi)	0,3	5
4-) Yüzeyinin en az %15'i yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binaları içeren alanlarda olan araziler	1	10

4.3 Rüzgâr Türbülans Standart Sapması (σv) ve Türbülans Şiddeti Hesabı (Iv(z)):

Türbülans standart sapması (σv); arazi katsayısına, rüzgâr hızının temel değerine ve türbülans katsayısına ($k_ı$) bağlıdır. Türbülans standart sapmasına ait bağıntı eşitlik (4.6)'de verilmektedir [1].

$$\sigma_v = k_r * V_b * k_ı \tag{4.6}$$

Eşitlik (4.7)'de bulunan türbülans katsayısı için yönetmelikte tavsiye edilen değer 1,0'dir.

Rüzgâr türbülans şiddeti; türbülans standart sapmasına ve ortalama rüzgâr hıza bağlıdır. Rüzgâr türbülans şiddeti ait bağıntı eşitlik (4.7)'de verilmektedir [1].

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_ı}{c_o(z) * \ln\left(\frac{z}{z_o}\right)} \qquad z_{min} \leq z \leq z_{max} \tag{4.7}$$

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

4.4 Tepe Hız Kaynaklı Rüzgâr Basıncı Hesabı ($q_p(z)$):

Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı; ortalama rüzgâr hızına, hava yoğunluğuna (p) ve türbülans şiddetine bağlıdır. Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncına ait bağıntı eşitlik (4.8)'de verilmektedir [1].

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * p * V_m^2(z) \tag{4.8}$$

Eşitlik (4.8)'de bulunan hava yoğunluğu bu tez kapsamında yapılan tüm çalışmalarda 1,25 kg/m^3 olarak alınmaktadır.

4.5 Dış Duvar Rüzgâr Basıncı Hesabı (W_e):

Dış duvar rüzgâr basıncı, tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncının dış duvar basınç katsayı (c_{pe}) ile çarpılması ile elde edilir. Dış duvar rüzgâr basıncına ait bağıntı eşitlik (4.9)'da verilmiştir. Dış duvar basınç katsayısı yönetmelik kapsamı içerisindeki yapıların her bir duvar yüzeyi için yönetmelikte verilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında bulunan bina türlerine ait basınç katsayıların yönetmelik içerisindeki yerleri aşağıda verilmektedir. Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için dış duvar basınç katsayısı

TS EN 1991-1-4 Çizelge 6.1'de ve çift eğimli çatılar için dış duvar basınç katsayısı TS EN 1991-1-4 Çizelge 6.4.a'da verilmektedir.

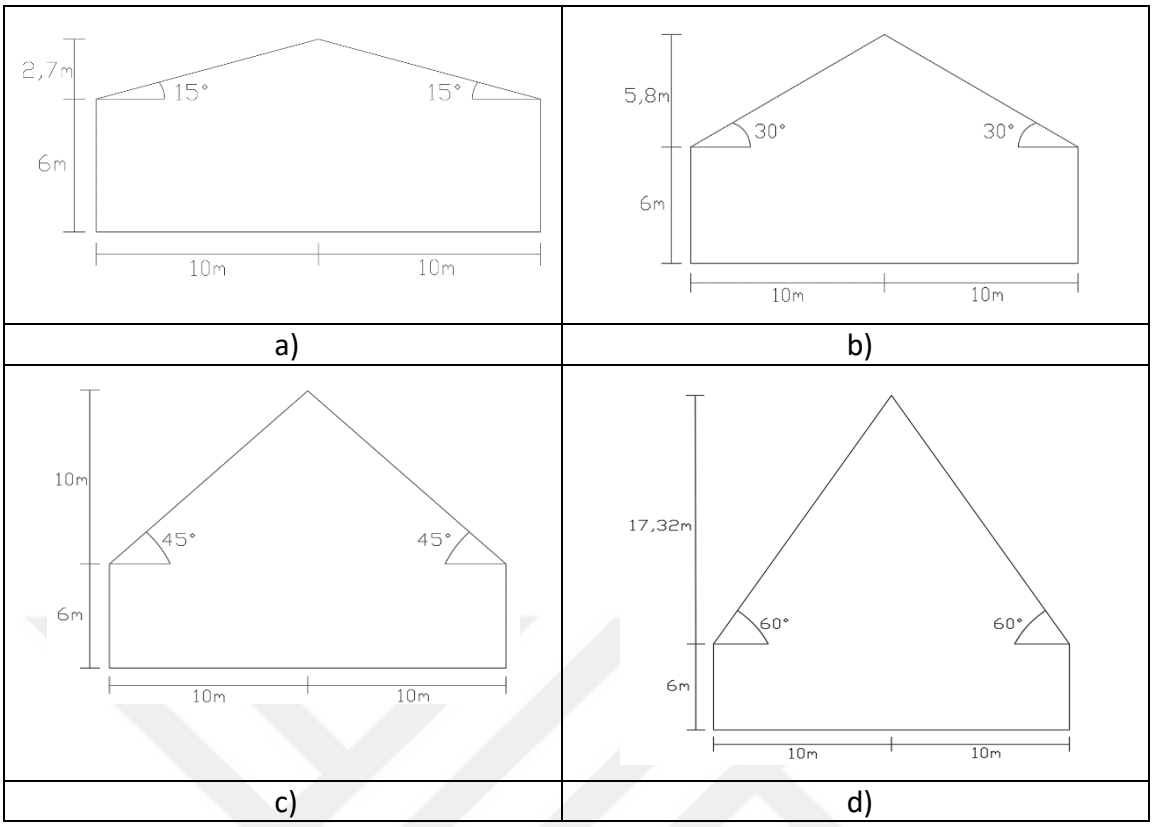
$$W_e = q_p(z) * c_{pe} \tag{4.9}$$

BÖLÜM 5

YAPILAN ÇALIŞMALAR: ÇİFT EĞİMLİ ÇATILI YAPILARIN DIŞ DUVAR RÜZGÂR BASINCININ EUROCODE 1, TS 498 VE HAD YÖNTEMİ İLE İRDELENMESİ

Bu bölümde, dikdörtgen planlı farklı çatı eğimlerine sahip yapıların rüzgâr hızından kaynaklı yapı dış duvar basınçları; Eurocode 1, TS 498 ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi ile iki boyutlu analiz yapılarak bulunarak birbirine göre değerlendirilecektir.

Bölüm 5.1'de Şekil 5.1'de geometrik yapısı verilen yapıların birisi için Bölüm 4'de verilen Eurocode 1 esaslarına göre dış duvar basınç sonuçları ayrıntılı olarak bulunacaktır. Bölüm 5.2'de Eurocode 1 yönetmeliğine göre dış duvar basınç sonuçları Şekil 5.1'deki her bir yapı için yönetmelik içerisinde tanımlanan beş farklı arazi kategorisine göre verilecektir. Bölüm 5.3'de TS 498 yönetmeliğine göre dış duvar basınç sonuçları Şekil 5.1'deki her bir yapı için verilecektir. TS 498 yönetmeliği, Eurocode 1'de olduğu gibi herhangi bir farklı arazi kategorisine göre farklı sonuçlar içermemektedir. Bölüm 5.4'te ilgili yapıların dış duvar rüzgâr basıncı hesabı HAD yöntemi sayısal analizi Ansys Fluent programı ile gerçekleştirilecektir. Analiz de kullanılması için Eurocode 1'e ait beş farklı arazi kategorisine göre Eurocode 1'deki formülleri esas alarak rüzgâr hız fonksiyonları oluşturulacaktır. Bu hız fonksiyonları analizlerde rüzgâr hız girişi olarak verilecektir. Ayrıca Fluent yazılımının içerisinde bulunan türbülans modellerinden uygun bir model ve ağ yapısı oluşturularak analiz yapılacaktır. Bölüm 5.5'de Eurocode 1, TS 498 ve analiz sonuçların birbirine göre değerlendirilmesi yapılacaktır.



Şekil 5. 1 15°,30°,45° ve 60° derece çift çatı eğim açılarına sahip yapı örnekleri

5.1 Eurocode 1 Uygulama Örneği

Geometrik yapısı Şekil 5.1'de verilen dikdörtgen planlı 15° derece çatı eğimine sahip yapının arazi kategorisi-0 için Bölüm 4'de verilen Eurocode 1 esaslarına göre dış duvar basınç hesabı bu bölümde yapılmaktadır. Eşitlikler (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), (4.5), (4.6), (4.7) ve (4.8) kullanılarak 15° çatı eğimine sahip yapının arazi kategorisi-0 için tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı Şekil 5.2'de bulunmaktadır. $V_{b,0}$= 28m/s esas rüzgârın hızının temel değeri olarak alınmaktadır.

Engebelilik uzunluğu z_0 = 0,003 m (TS EN 1991-1-4 Çizelge4.1)

En düşük yükseklik z_{min} = 1,00 m (TS EN 1991-1-4 Çizelge4.1)

Arazi katsayısı $k_T = 0{,}19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$ = 0,156 (TS EN 1991-1-4 Madde 4.5)

Engebelilik katsayısı $c_r(z) = k_T \times \ln\left(\frac{z}{z_0} \right)$ 1,244 (TS EN 1991-1-4 Madde. 4.4)

Orografi katsayısı $c_0(z)$ = 1,00 (TS EN 1991-1-4 :4.3.1)

Rüzgar Türbülans Şiddeti I_v

$$I_v = \frac{k_I}{c_o(z) \times \ln(z / z_0)}$$ = 0,125 (TS EN 1991-1-4 Madde. 4.7)

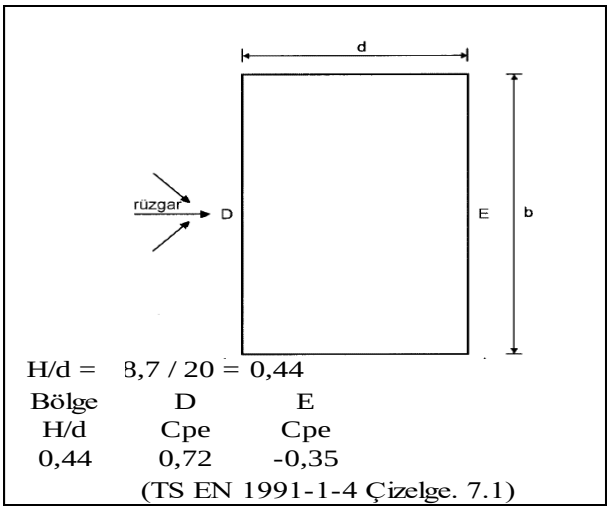
Tepe rüzgâr basıncı $q_p(z)$

$$q_p(z) = \left[1 + \frac{7k_I}{c_o(z) \times \ln(z / z_o)} \right] \times \frac{1}{2} \times \rho \times (v_b \times c_r \times c_o)^2$$ (TS EN 1991-1-4 Madde. 4.8) ; p =1.25 kg/m^3

$q_{p(z)}$ = 1424 N/m^2

Şekil 5. 2 Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı sonucu

Yapının rüzgârın estiği yöne dik olan yapı duvarları için basınç katsayıları Şekil 5.3'de verilmektedir.



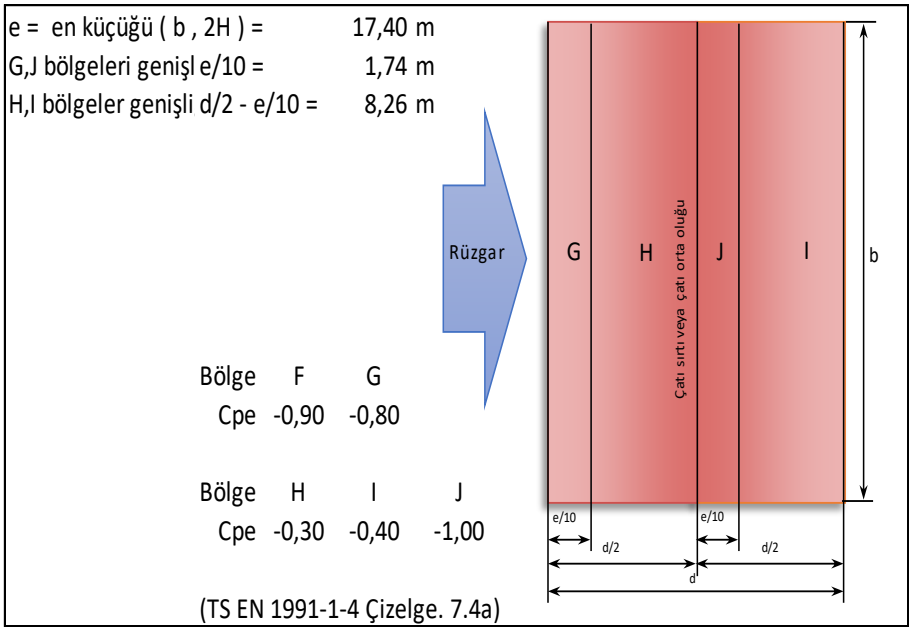
H/d = 8,7 / 20 = 0,44

Bölge	D	E
H/d	Cpe	Cpe
0,44	0,72	-0,35

(TS EN 1991-1-4 Çizelge. 7.1)

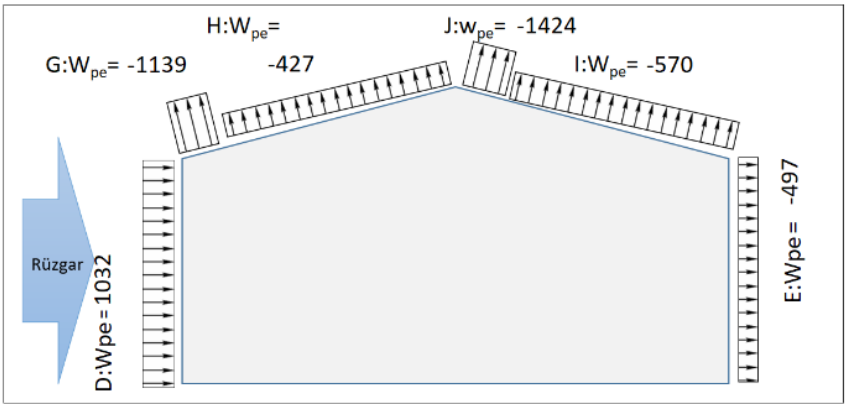
Şekil 5. 3 Yapı dik duvarları için basınç katsayıları

Çatı duvarları için basınç katsayıları Şekil 5.4'te verilmektedir. Çatı duvar yüzeylerinin her biri iki bölgeye ayrılmıştır. Rüzgârın geldiği yöndeki ön çatı yüzeyi G ve H, arka çatı yüzeyi ise J ve I bölgelerine ayrılmaktadır.



Şekil 5. 4 Çatı duvarları için basınç katsayıları

15° çatı eğimine sahip yapının dış duvar basınç hesabında kullanılacak basınç katsayıları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de bulunarak her bir bölgenin basınç katsayısı Şekil 5.2'de hesaplanan tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı ile çarpılıp ilgili bölgenin dış duvar basıncı olarak bulunmaktadır. Her bir bölge için hesaplanan dış duvar basınçları Şekil 5.5'te verilmektedir.



Şekil 5. 5 Arazi kategorisi 0'da 15° derece çift çatı eğimli yapı sonuçları (Pa=N/m^2)

Bu bölümde bir yapı türü ve bir arazi kategorisi için Eurocode 1 esaslarına göre dış duvar rüzgâr basıncı hesabı örnek olarak ayrıntılı şekilde bulunmuştur. Diğer yapı türlerinin farklı arazi kategorilerine göre dış duvar basınç sonuçları, Bölüm 5.2'de direk verilecektir.

5.2 Eurocode 1 Dış Duvar Basınç Sonuçları

Geometrik özellikleri Şekil 5.1'de verilen yapılar için Eurocode 1'e göre bulunan dış duvar basınç katsayıları her bir yapı türünün her bir duvar bölgesi için Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5. 1 Dış duvar basınç katsayıları

	Yapı Yüzey Bölgeleri					
Yapı Türü	D	G	H	J	I	E
15º Çatı Eğimli Yapı	0,72	-0,80	-0,30	-1,00	-0,40	-0,35
30º Çatı Eğimli Yapı	0,75	-0,50	-0,20	-0,50	-0,40	-0,39
45º Çatı Eğimli Yapı	0,77	0,70	0,60	-0,30	-0,20	-0,45
60º Çatı Eğimli Yapı	0,80	0,70	0,70	-0,30	-0,20	-0,51

Basınç katsayıları Çizelge 5.1'de verilen her bir yapı türü için beş farklı arazi kategorisine göre bulunan tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı ile çarpılarak, her bir yapının her bir bölgesi için beş farklı arazi kategorisine göre dış duvar basınç sonuçları bulunmaktadır. Bu sonuçlar; 15°, 30°, 45° ve 60° derece çift çatı eğimli yapılar için sırasıyla Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5'de verilmektedir.

Çizelge 5. 2 15° çatı eğimli yapı Eurocode 1 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1032	-1139	-427	-1424	-570	-497
ARAZİ KATEGORİSİ-1	954	-1053	-395	-1316	-526	-460
ARAZİ KATEGORİSİ-2	804	-888	-333	-1110	-444	-388
ARAZİ KATEGORİSİ-3	575	-635	-238	-794	-317	-277
ARAZİ KATEGORİSİ-4	418	-461	-173	-576	-231	-201

Çizelge 5. 3 30° çatı eğimli yapı Eurocode 1 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1125	-755	-302	-755	-604	-590
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1048	-703	-281	-703	-562	-549
ARAZİ KATEGORİSİ-2	897	-602	-241	-602	-482	-470
ARAZİ KATEGORİSİ-3	664	-446	-178	-446	-356	-348
ARAZİ KATEGORİSİ-4	469	-315	-126	-315	-252	-246

Çizelge 5. 4 45° çatı eğimli yapı Eurocode 1 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1233	1117	957	-479	-319	-712
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1158	1049	899	-449	-300	-669
ARAZİ KATEGORİSİ-2	1008	912	782	-391	-261	-582
ARAZİ KATEGORİSİ-3	767	694	595	-298	-198	-443
ARAZİ KATEGORİSİ-4	564	510	437	-219	-146	-326

Çizelge 5. 5 60° çatı eğimli yapı Eurocode 1 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1365	1194	1194	-512	-341	-867
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1293	1131	1131	-485	-323	-821
ARAZİ KATEGORİSİ-2	1143	1000	1000	-429	-286	-726
ARAZİ KATEGORİSİ-3	899	787	787	-337	-225	-571
ARAZİ KATEGORİSİ-4	688	602	602	-258	-172	-437

5.3 TS 498 Yönetmeliğine Göre Rüzgâr Basıncı Hesabı

Bu kısımda TS 498 yönetmeliğine göre Şekil 5.1'de verilen yapı türlerinin dış duvar basınç sonuçları elde edilmektedir. Hesaplamalar TS 498 Bölüm 11'de bulunan esaslara göre yapılmaktadır.

Hız basıncı (q); hava yoğunluğuna (p), rüzgâr hızına (V) ve yer çekimi ivmesine (g) bağlıdır. Hız basıncına ait bağıntı eşitlik (5.1)'de verilmektedir.

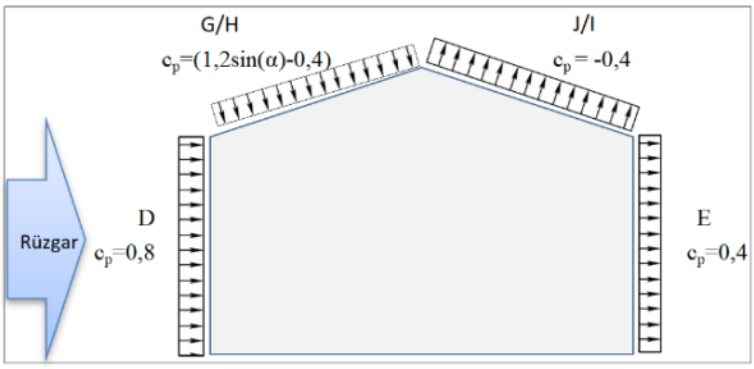
$$q = p\frac{v^2}{2g} \tag{5.1}$$

Eşitlik (5.1)'de kullanılacak hava yoğunluğu (p) 1,25 kg/m^3 olarak alınmaktadır. Hız basıncının değeri farklı yükseklik aralıklarında farklı değerler alan rüzgâr hızına bağlı olarak Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5. 6 TS 498 Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı ve basıncı [2]

Zeminden Yükseklik (m)	Rüzgâr Hızı- V (m/s)	Hız Basıncı-q (kN/m^2)
0~8	28	0,5
9~20	36	0,8
21~100	42	1,1
>100	46	1,3

TS 498'e göre dikkate alınacak yapı yüzey bölgeleri ve basınç katsayıları (c_p) Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5. 6 TS 498 yapı yüzeyleri ve basınç katsayıları

Dış duvar basıncı (W), Çizelge 5.6'de verilen hız basıncıları ile Şekil 5.6'da verilen basınç katsayıları çarpılarak bulunmaktadır. Dış duvar basıncına ait bağıntı eşitlik (5.2)'de verilmektedir.

$$W = c_p * q \tag{5.2}$$

Geometrik yapısı Şekil 5.1'de verilen 15°,30°,45° ve 60° derece çift çatı eğimine sahip dört farklı yapının dış duvar basınç sonuçları Şekil 5.6'da verilen yapı yüzey bölgeleri için TS 498 esaslarına göre hesaplanarak Çizelge 5.7'de verilmektedir.

Çizelge 5. 7 TS 498 dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

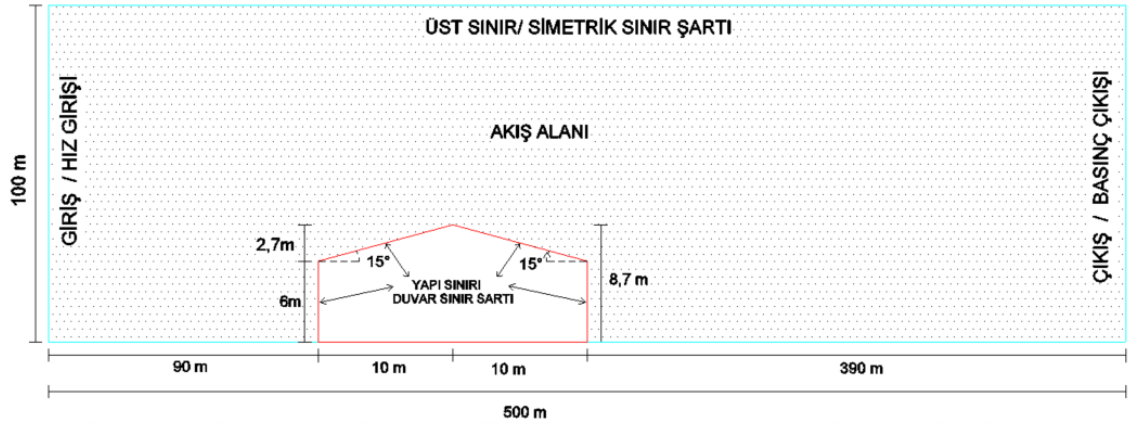
Yapı türü	D	G-H	J-I	E
15° Çatı eğimli	392	-72,43	-324	-196
30° Çatı eğimli	392	162,00	-324	-196
45° Çatı eğimli	392	363,31	-324	-196
60° Çatı eğimli	392	517,78	-324	-196

TS 498 yönetmeliğinde Eurocode 1'de olduğu gibi herhangi bir farklı arazi kategorisine bağlı bir hesaplama bulunmamaktadır. Bundan dolayı Çizelge 5.7'de verilen sonuçlarda herhangi bir arazi kategorisi bilgisi bulunmamaktadır.

5.4 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi

5.4.1 Akış Alanı ve Sınır Şartları

Analizde kullanılan sınır şartları; girişte hız profili (velocity inlet), çıkışta serbest basınç yüzeyi (pressure outlet), yapının dört yüzeyi hızın sıfır olduğu sınır tabakası olarak (wall) tanımlanmıştır. Bu sınır bölgeleri Şekil 5.7'de görülmektedir. Analizlerde hız girişinde zemin sınır şartını göz önüne alan ve yükseklikle ilişkili bir hız fonksiyonu kullanılmaktadır. Bundan dolayı zemin sınırı ve üst sınır için simetrik sınır şartı atanmıştır. Hız fonksiyonu ile ilgili bilgi Bölüm5.4.4'te anlatılacaktır.



Şekil 5. 7 Akış alanı (verilen mesafeler ölçeksizdir.)

Analiz yapılacak yapı çevresi hava ortamı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 5.7'de verilen akış alanı Şekil 5.1'de verilen tüm yapı çeşitlerinin analizinde de kullanılmaktadır. Sadece akış alanı yüksekliği yapı yüksekliklerine bağlı değişik değerler almaktadır. Şekil 5.7'de örnek olarak 15° derece çatı eğimli yapının geometrisi kullanılmıştır.

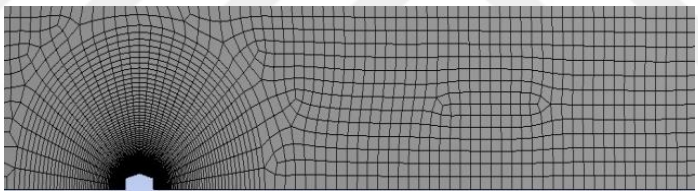
Yapı sınırının hava ortamı giriş sınırına en kısa mesafesi yapı genişliğinin yaklaşık 5 katı, yapı sınırının hava ortamı çıkış sınırına en kısa mesafesi yapı genişliğin yaklaşık 20 katı olarak belirlenmektedir. Üst sınır ile yapı sınırları arasında en kısa mesafe ise ilgili yapının yüksekliğin minimum 5 katı olarak belirlenmektedir. Belirlenen hava ortamının boyutlarının ve yapıya olan mesafelerinin belirlenmesinde literatürden yararlanılmıştır [5], [15], [33].

5.4.2 Ağ Yapısı

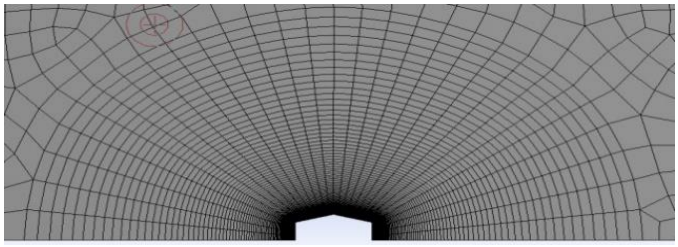
Doğru bir ağ yapısı için hava ortamının yapı sınırına yakın kısımlarında oldukça ince bir ağa sahip olması önemlidir. Ağ yapısının sıklaşması çözümlemedeki hassasiyeti artıracaktır. Hava ortamında yapı sınırlarına yaklaştıkça kaba ağdan ince ağa doğru bir ağ sistemi oluşturulması gerektirmektedir. Çünkü önemli olan yapı üzerinde elde edilecek olan sonuçların kalitesidir. Çözümü yapılacak olan sisteme ait model Şekil 5.8.a'da, modelin ağ haline ait görüntü Şekil 5.8.b'de verilmektedir. Yapı sınır yüzeyleri ve yapı yakın çevresine ait ağ hali görüntüsü Şekil 5. 8.c'de, yapı yüzey sınırları ait daha yakın ağ görüntüsü Şekil 5.8.d'de ve yapı sınırındaki ilk ağ görüntüsü Şekil 5.8.e'de verilmektedir.



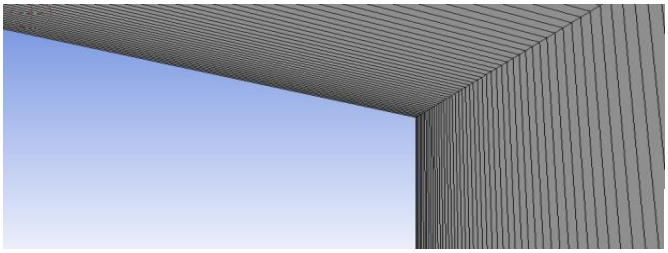
(a)Model



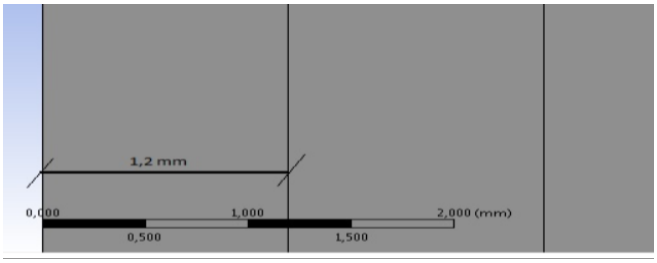
(b)Model mesh görüntüsü



(c)Yapı sınır yüzeyleri ve çevresi mesh görüntüsü



(d)Yapı sınır yüzeyleri daha yakın mesh görüntüsü

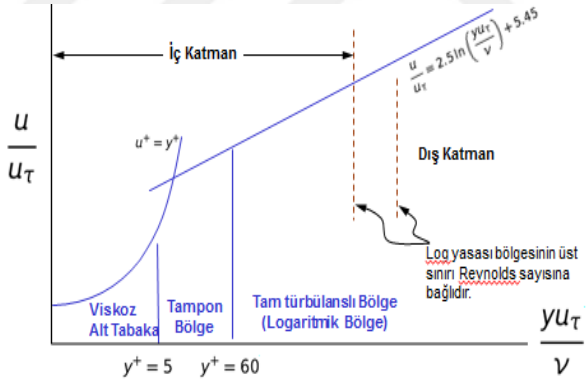


(e)Yapı sınırı ilk ağ görüntüsü

Şekil 5. 8 Model ve ağ yapısı

Ağın yapı sınırındaki derinlik boyutu yapının yüzey sınırından en yakın ağa olan uzaklığıdır. Yapı sınırına komşu elamanların boyutları, viskoz alt tabakasının fiziksel çözümünün yapılması için yeterli incelikte bir ağ yapısına sahip olması önemlidir. Bu yapı sınırındaki ağ derinlik boyutu Reynolds sayısı, karakteristik uzunluk ve akışkan parametreleri kullanılarak belirlenmektedir. Aerodinamik analizlerde ağın derinlik boyutu ihmal edilmemesi gereken önemli bir durumdur.

Ağ derinlik boyutu belirlemek için kullanılan Evrensel Duvar Yasasını içeren grafik Şekil 5.9'da verilmektedir [30], [31], [32].



Şekil 5. 9 Evrensel duvar yasası [32]

Boyutsuz hız (u^+) ve ağ derinliği katsayısı (y^+) Evrensel Duvar Kanununa bağlı parametrelerdir. Ağ derinlik katsayısı; ağın yapı yüzey sınırındaki derinlik boyutuna (y), akışkanın kayma gerilme hızına (u_τ) ve havanın kinematik viskozitesine (ϑ) bağlıdır. Boyutsuz hız ise akışkan hızına (u) ve akışkan kayma gerilme hızına (u_τ) bağlıdır. Bu boyutsuz parametrelere ait bağıntı eşitlik (5.3)'de verilmektedir. Ayrıca eşitlik (5.3)'teki boyutsuz parametreler bu bölümün son paragrafında açıklanan belirli aralıkta değer olarak seçilen katsayıları da ifade etmektedir. Ağ derinliği katsayısı uygun bir değer

aralığında seçilerek, ağın yapı yüzey sınırındaki derinlik boyutu hesabında kullanılmaktadır.

$$y^+ = \frac{yu_\tau}{\vartheta} \qquad u^+ = \frac{u}{u_\tau} \tag{5.3}$$

Ağın yapı yüzey sınırındaki derinlik boyutu (y); ağ derinlik katsayısına, kayma gerilme hızına, havanın dinamik viskozitesine (μ) ve hava yoğunluğuna bağlıdır. Ağın yapı sınırındaki derinlik boyutuna ait bağıntı eşitlik (5.4)'de verilmektedir.

$$y = \frac{y^+ * \mu}{u_\tau * p} \tag{5.4}$$

Kayma gerilme hızı (u_τ), duvar kayma gerilmesine (Z_w) ve hava yoğunluğuna bağlıdır. Kayma gerilme hızına ait bağıntı eşitlik (5.5)'de verilmiştir.

$$u_\tau = \sqrt{\frac{z_w}{p}} \tag{5.5}$$

Duvar kayma gerilmesi (Z_w); yüzey pürüzlülüğüne, hava yoğunluğuna ve akışkan hızına bağlıdır. Duvar kayma gerilmesine ait bağıntı eşitlik (5.6)'da verilmektedir.

$$Z_w = 0{,}5 * C_f * p * u^2 \tag{5.6}$$

Yüzey pürüzlülüğü (C_f), Reynolds sayısına bağlı olan eşitlik (5.7)'te bağıntısı verilen parametredir.

$$C_f = 0{,}058 * (R_{eL})^{-0{,}2} \tag{5.7}$$

Reynolds sayısı (R_{eL}); hava yoğunluğuna, akışan hızına ve rüzgârın etkidiği doğrultudaki yapı uzunluğuna (L) bağlıdır. Reynolds sayısına ait bağıntı eşitlik (5.8)'te verilmektedir.

$$R_{eL} = \frac{puL}{\vartheta} \tag{5.8}$$

Analizi yapılan yapılar için akışkan hızı, u=28 m/s; hava yoğunluğu, p=1,25 kg/m^3; havanın kinematik viskozitesi, μ= 1,8e-5 kg/(m*s); rüzgârın etkidiği doğrultudaki yapı uzunluğu, L=20 m, ağ derinlik katsayısı, y^+=70 alınmaktadır. Bu değerler eşitlikler (5.4) ~ (5.8)'de ilgili yerlerinde kullanıldığında ağın yapı yüzey sınırındaki derinlik boyutu, y =0,0012 m olarak bulunmaktadır.

Ağ derinlik boyutu belirlenirken hem istenilen aralıktaki ağ derinliği katsayısına hem de düzgün bir ağ yapısı oluşmasına imkân verecek şekilde seçilmelidir. Ağ derinlik katsayısı değerine göre çözüm algoritması değişiklik göstermektedir. Bu katsayı 30-300 aralığında olacak şekilde alınmıştır. Ağın yapı sınırındaki derinlik boyutu 1,2 mm olarak belirlenmiştir. Ağ derinlik katsayısının (y^+) 30-300 aralığında SKE, RKE, RNG türbülans modelleri ve "Scalable Wall Functions" duvar yaklaşımı kullanıla bilinmektedir [30], [31], [32].

5.4.3 Analiz Opsiyonları

Analizde kullanılan türbülans modeli, "k–£ Realizable" dır. Türbülans modeli duvar yaklaşımı ise "Scalable Duvar fonksiyonu" seçilmiştir. Literatürde bulunan benzer çalışmalarda da bu türbülans modelinin tercih edildiği saptanmıştır [4], [6], [15], [21] [34]. Çözüm metodu için hız basınç ilişkilerinde "Simple algoritması" seçilmiştir. Ayrıklaştırma çözümlerinde; Basınç için "Standart", Momentum-Türbülans Kinetik Enerjisi-Türbülans Dağılım Oranı için "Second-Order Upwind Scheme", Grandyan için "Green – Gauss Node Based" kullanılmıştır. Süreklilik, momentum denklemleri ile k ve £ (epsilon) denklemleri sonuçları için normalize edilmiş artıkların farkı 10^{-6} mertebesinden daha az olması çözüm yakınsama kriteri olarak dikkate alınmıştır.

5.4.4 Hız Fonksiyonun Belirlenmesi

Eşitlikler (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) ve (4.5) birleştirilerek eşitlik (5.9) oluşturulmaktadır.

$$V_m = 0{,}19 * \left(z_0/z_{o,2}\right)^{0{,}07} * V_b * \ln(z/z_o) \qquad (5.9)$$

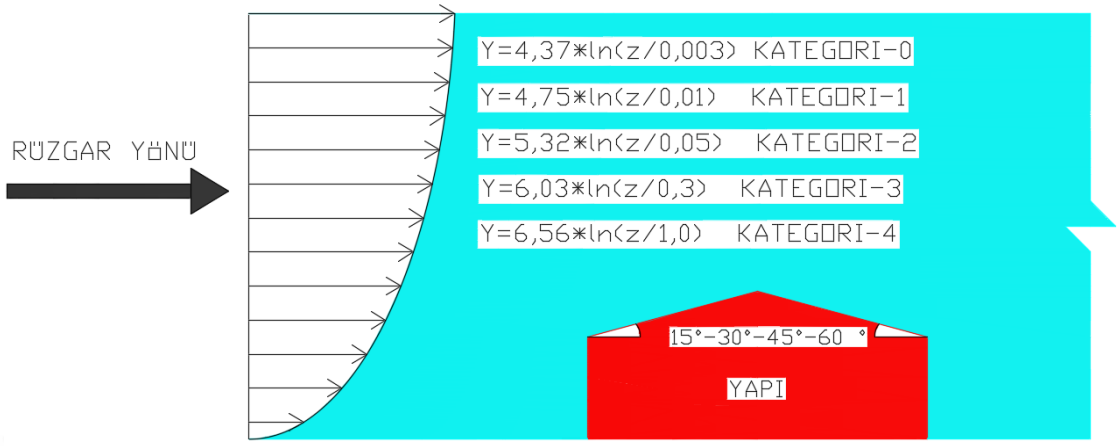
Her bir arazi kategorisi için eşitlik (5.9)'a göre bulunan hız fonksiyonları Çizelge 5.8 ve Şekil 5.10'da verilmektedir.

Çizelge 5. 8 Arazi kategorisine göre analizde kullanılacak hız fonksiyonları

ARAZİ KATEGORİSİ	$z_{0,2}$	z_0	V_b (m/s)	Eşitlik (5.9)
0	0,05	0,003	28	4,37*ln(z/0,003)
1	0,05	0,01	28	4,75*ln(z/0,01)
2	0,05	0,05	28	5,32*ln(z/0,05)
3	0,05	0,3	28	6,03*ln(z/0,3)

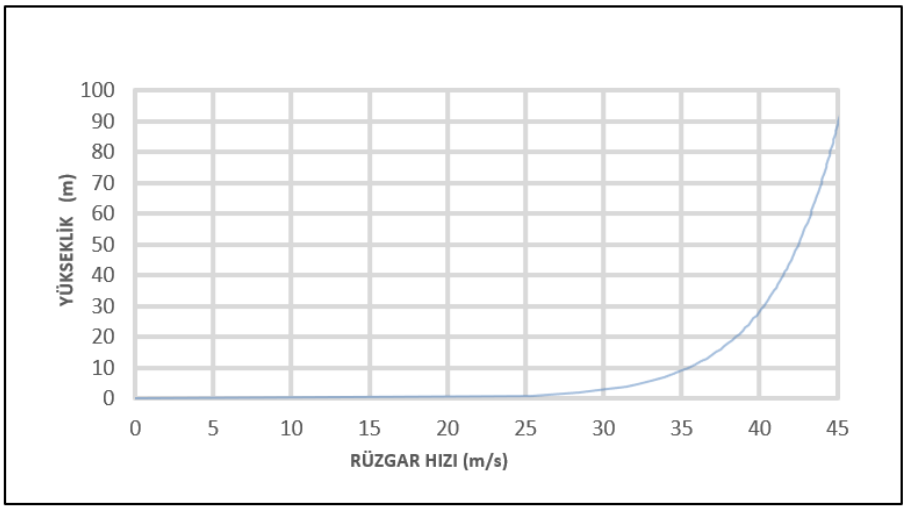
Çizelge 5. 9 Arazi kategorisine göre analizde kullanılacak hız fonksiyonları-devamı

4	0,05	1	28	6,56*ln(z/1,0)

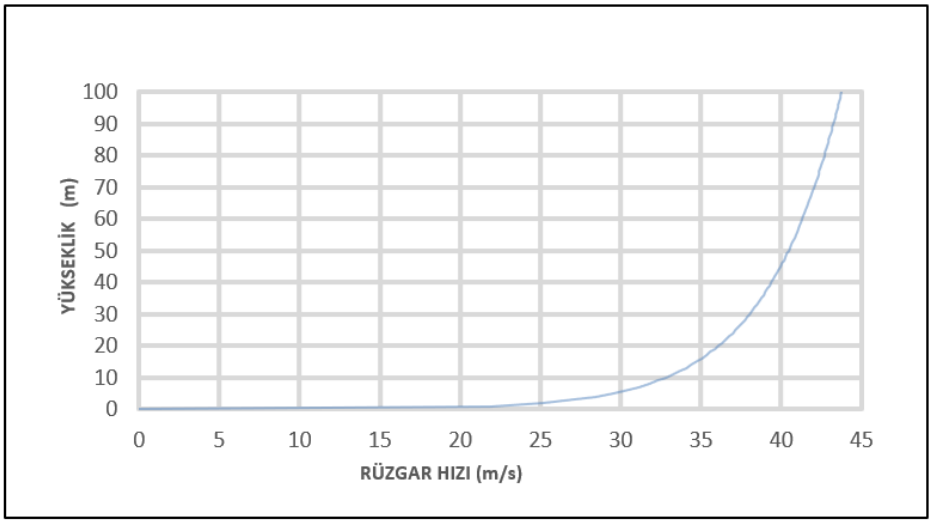


Şekil 5. 10 Akış alanı üzerinde rüzgâr hız fonksiyonu

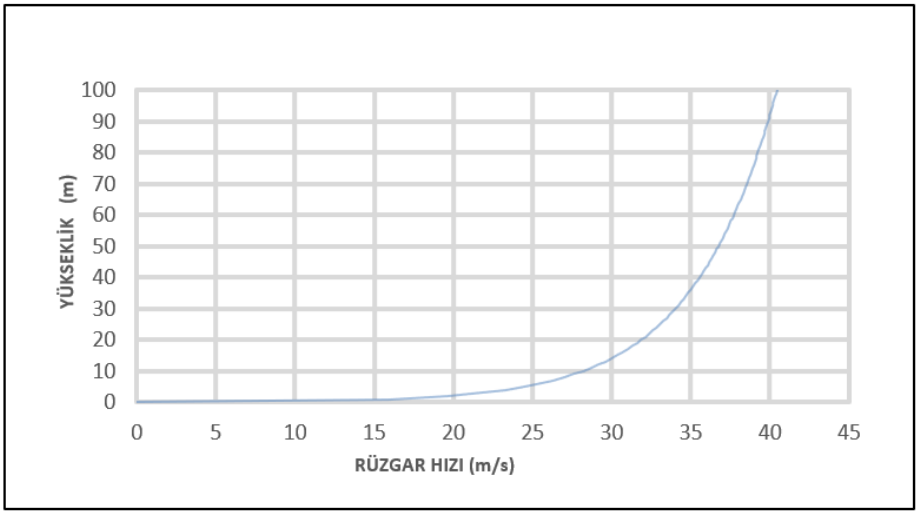
Hız fonksiyonu hava ortamının her bir derinliğine bağlı olarak (z) bir değere hesap olmaktadır. Analizlerde kullanılan hava ortamının derinliği 100 m'dir. Eurocode 1'deki beş farklı arazi kategorileri için hız fonksiyonu sırasıyla Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de verilmektedir.



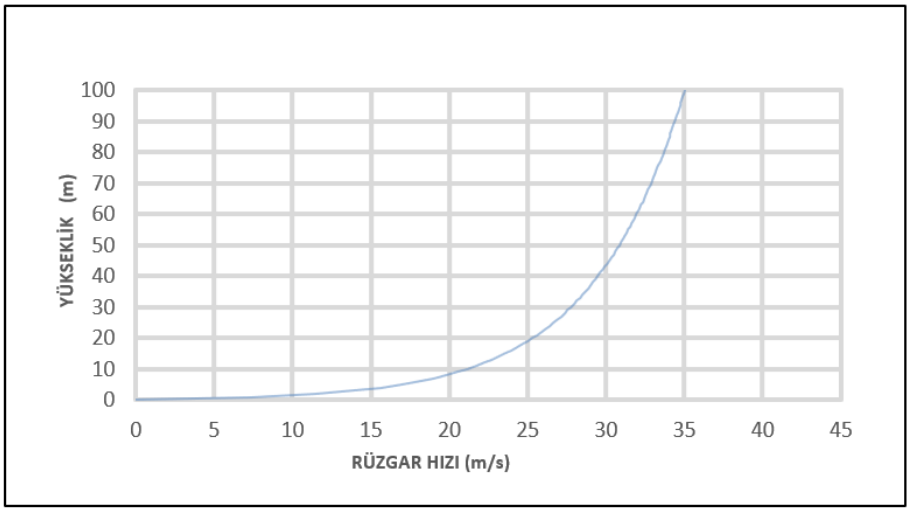
Şekil 5. 11 Arazi kategorisi-0 hız fonksiyonu



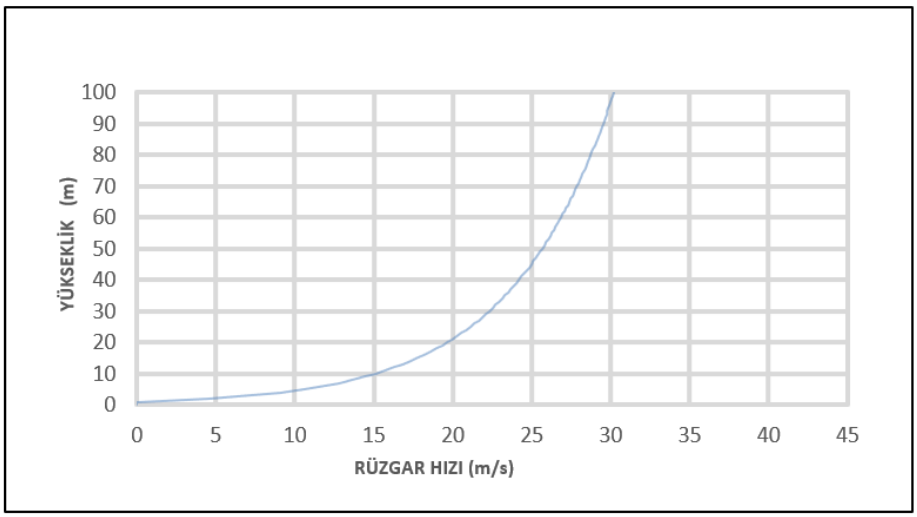
Şekil 5. 12 Arazi kategorisi-1 hız fonksiyonu



Şekil 5. 13 Arazi kategorisi-2 hız fonksiyonu



Şekil 5. 14 Arazi kategorisi-3 hız fonksiyonu

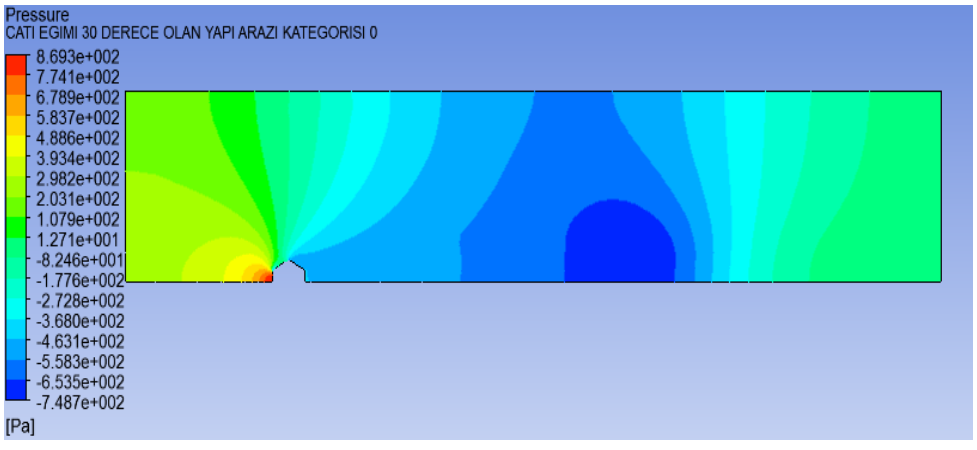


Şekil 5. 15 Arazi kategorisi-4 hız fonksiyonu

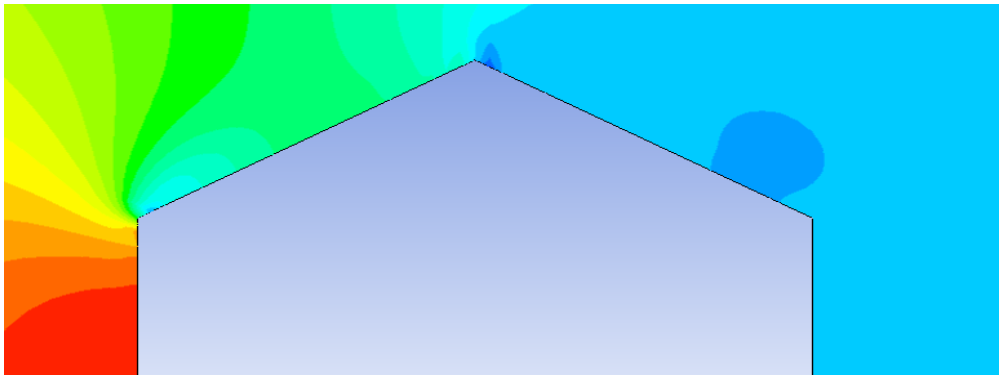
Analiz yaparken hangi arazi kategorisi için uygulama yapılmak isteniyorsa hız girişi olarak o kategorisine ait rüzgâr hız fonksiyonu analiz programına tanıtılmaktadır. Çizelge 5.8'de verilen rüzgâr hız fonksiyonları, analiz programına hız girişine profili olarak tanıtılmıştır [35].

5.4.5 Analiz Sonuçları

Çatı eğimi 30 derece olan yapının arazi kategorisi-0 için yapılan analiz sonucuna ilişkin basınç ve hız dağılımları Şekil 5.16 ve Şekil 5.18'de sırasıyla gösterilmektedir. Bu dağılımlar mutlak basıncı referans alarak oluşturulmuştur.



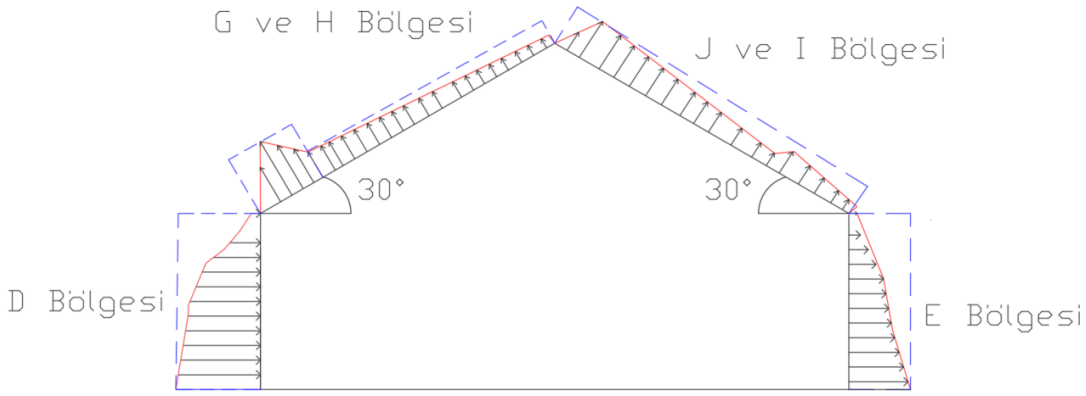
a)Tüm akış alanı basınç dağılımı



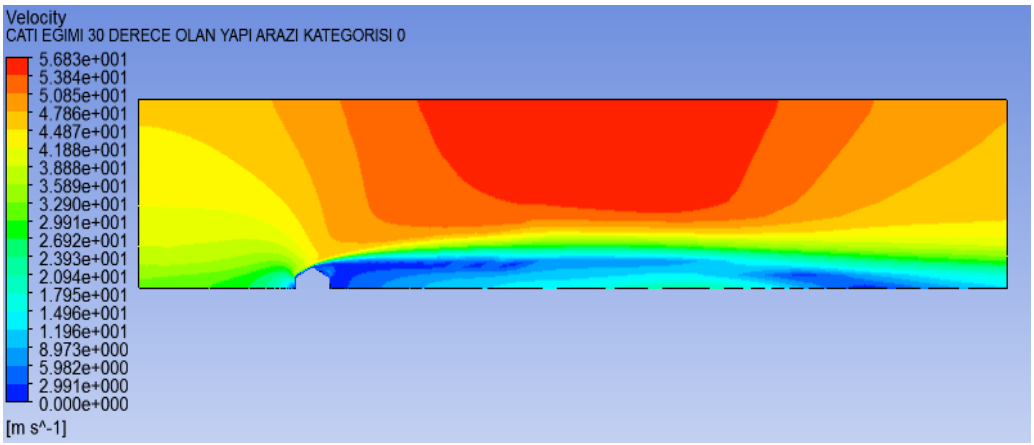
b)Yapı ve yakın çevresi hız dağılımı

Şekil 5. 16 Arazi kategorisi-0'da 30° eğimli yapı statik basınç dağılımı (Pa=N/m^2)

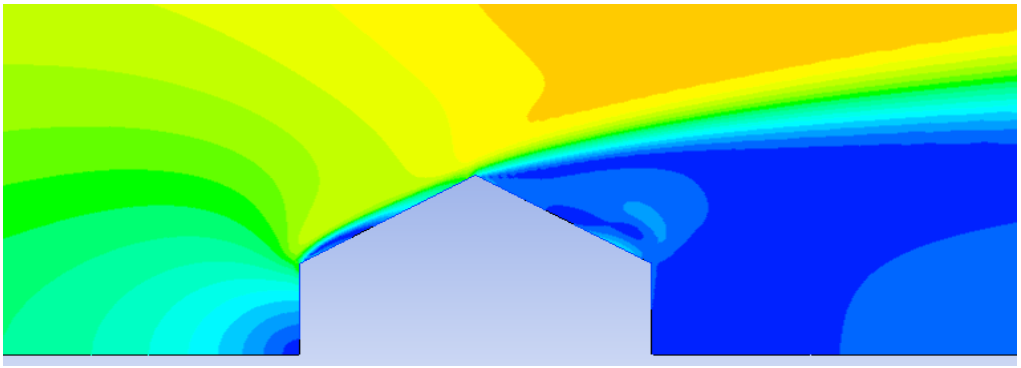
Basınç dağılımları Şekil 5. 17'de kırmızı çizgilerde noktasal gerçek değerleri üzerinden mavi çizgilerde ise en büyük basınç değerine göre ayrıklaştırılarak idealleştirilmiştir. İdealleştirilen bu değerler Eurocode -1 verileri ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 5. 17 Arazi kategorisi-0'da 30° eğimli yapı statik basınç dağılım grafiği



a)Tüm akış alanı hız dağılımı



b)Yapı ve yakın çevresi hız dağılımı

Şekil 5. 18 Arazi kategorisi-0'da 30° eğimli yapı hız dağılımı (m/s)

Şekil 5.1'deki dört farklı geometriye sahip yapının Çizelge 4.1'de bulunan beş farklı arazi kategorisine göre elde edilen analiz dış duvar basıncı sonuçları bulunmaktadır. 15°, 30°, 45° ve 60° derece çatı eğimine sahip yapılar için sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.9, Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12'de verilmektedir.

Çizelge 5. 10 15° çift eğimli çatı dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	712	-1730	-995	-1340	-717	-465
ARAZİ KATEGORİSİ-1	588	-1600	-750	-1170	-620	-405
ARAZİ KATEGORİSİ-2	407	-1145	-605	-920	-503	-295
ARAZİ KATEGORİSİ-3	200	-570	-345	-500	-270	-160
ARAZİ KATEGORİSİ-4	165	-380	-187	-420	-187	-145

Çizelge 5. 11 30° çift eğimli çatı dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	869	-586	-263	-670	-586	-505
ARAZİ KATEGORİSİ-1	729	-280	-250	-615	-480	-413
ARAZİ KATEGORİSİ-2	511	-312	-215	-458	-410	-312
ARAZİ KATEGORİSİ-3	258	-170	-116	-276	-248	-195
ARAZİ KATEGORİSİ-4	200	-110	-95	-220	-210	-145

Çizelge 5. 12 45° çift eğimli çatı dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1119	783	780	-805	-805	-680
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1041	736	730	-775	-775	-637
ARAZİ KATEGORİSİ-2	775	410	410	-585	-495	-480
ARAZİ KATEGORİSİ-3	465	305	305	-314	-275	-318
ARAZİ KATEGORİSİ-4	390	285	285	-225	-205	-250

Çizelge 5. 13 60° çift eğimli çatı dış duvar basınç sonuçları (Pa=N/m^2)

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1170	817	817	-1270	-915	-576
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1000	698	698	-1115	-834	-528
ARAZİ KATEGORİSİ-2	735	497	497	-905	-670	-441
ARAZİ KATEGORİSİ-3	483	340	340	-570	-515	-372
ARAZİ KATEGORİSİ-4	265	175	175	-430	-250	-175

5.5 Değerlendirmeler

Eurocode 1'den elde edilen sonuçların (bkz. Çizelge 2-3-4-5) analizden elde edilen sonuçlara (bkz. Çizelge 9-10-11-12) bölünmesi oransal ifadeler içeren Çizelge 5.13, Çizelge 5.14, Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16 oluşmaktadır. Eurocode 1 ve Analiz sonuçların birbirine göre değerlendirilmesi bu tablolar üzerinden yapılacaktır.

Çizelge 5. 14 15° çatı eğimli yapı sonuçları oranı

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1,45	0,66	0,43	1,06	0,79	1,07
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1,62	0,66	0,53	1,12	0,85	1,14
ARAZİ KATEGORİSİ-2	1,98	0,78	0,55	1,21	0,88	1,31
ARAZİ KATEGORİSİ-3	2,88	1,11	0,69	1,59	1,18	1,73
ARAZİ KATEGORİSİ-4	2,53	1,21	0,92	1,37	1,23	1,39

Çizelge 5. 15 30° çatı eğimli yapı sonuçları oranı

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1,29	1,29	1,15	1,13	1,03	1,17
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1,44	2,51	1,12	1,14	1,17	1,33
ARAZİ KATEGORİSİ-2	1,76	1,93	1,12	1,31	1,17	1,51
ARAZİ KATEGORİSİ-3	2,57	2,62	1,54	1,61	1,44	1,79
ARAZİ KATEGORİSİ-4	2,34	2,86	1,32	1,43	1,20	1,69

Çizelge 5. 16 45° çatı eğimli yapı sonuçları oranı

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1,10	1,43	1,23	0,59	0,40	1,05
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1,11	1,42	1,23	0,58	0,39	1,05
ARAZİ KATEGORİSİ-2	1,30	2,22	1,91	0,67	0,53	1,21
ARAZİ KATEGORİSİ-3	1,65	2,28	1,95	0,95	0,72	1,39
ARAZİ KATEGORİSİ-4	1,45	1,79	1,53	0,97	0,71	1,30

Çizelge 5. 17 60° çatı eğimli yapı sonuçları oranı

BÖLGE	D	G	H	J	I	E
ARAZİ KATEGORİSİ-0	1,17	1,46	1,46	0,40	0,37	1,51
ARAZİ KATEGORİSİ-1	1,29	1,62	1,62	0,43	0,39	1,56
ARAZİ KATEGORİSİ-2	1,56	2,01	2,01	0,47	0,43	1,65
ARAZİ KATEGORİSİ-3	1,86	2,31	2,31	0,59	0,44	1,54
ARAZİ KATEGORİSİ-4	2,60	3,44	3,44	0,60	0,69	2,50

TS 498 sonuçlarının Eurocode 1 ve Analiz sonuçları ile birbirine göre değerlendirilmesi ilgili bölümlerde bulunmuş dış duvar basınç sonuçlarına göre yapılacaktır.

5.5.1 TS 498 ile Eurocode 1 Sonuçlarının Karşılıklı Değerlendirilmesi

(Bkz. Çizelge 5.7- Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5)

TS 498 içeriğinde Eurocode 1'de olduğu gibi farklı arazi kategorilerine göre basınç değerlerinde bir değişiklik olmasına yönelik bir bilgi içermemektedir. Eurocode 1'de beş farklı arazi kategorine göre yapının dış duvarları için beş farklı basınç değeri tespit edilebilmektedir. TS 498 ve Eurocode 1 arasında tespit edilen farklılıklar ve benzerlikler aşağıda verilmektedir;

- TS 498'de belirli yükseklik aralıklarına göre değişen hız değerleri vardır. Bu hıza bağlı olarak farklı yükseklik aralığı için farklı hız basıncı bulunmaktadır. Eurocode 1'de ise yapının en tepe noktasına göre temel rüzgâr hızı ve arazi koşulları parametrelerini kullanarak ortalama rüzgâr hızı bulunmaktadır. Bu ortalama rüzgâr hızına ve türbülans şiddeti değerine bağlı olarak tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı bulunmaktadır. TS 498'de rüzgâr hız basıncı bulunurken herhangi bir türbülans şiddetine bağlı olarak değeri artırılmamaktadır. Yukarıda açılanan durumlar nedeniyle TS 498'de kullanılan rüzgâr hız basıncı Eurocode 1'de kullanılan tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncından düşük kalmaktadır.

- TS 498 ve Eurocode 1'de rüzgâr hız basınçları, yönetmelikler içerisinde verilen her bir yapının yüzey bölgelerinin basınç katsayısı ile çarpılarak ilgili yüzey bölgesinin dış duvar rüzgâr basıncı olarak elde edilmektedir.
- D bölgesi için iki yönetmeliğin sonuçlarına bakıldığında pozitif basınç (yüzeye dik yönde basınç) oluşmuştur. Ayrıca bu bölge için TS 498'e göre bulunan değerlerin Eurocode 1'deki tüm arazi kategorilerindeki sonuçları ile kıyaslandığında daha düşük kaldığı görülmektedir.
- E bölgesi için iki yönetmeliğin sonuçlarına bakıldığında negatif basınç (yüzeye dik yönde çekme) oluşmuştur. Ayrıca bu bölge için TS 498'e göre bulunan değerlerin Eurocode 1'deki tüm arazi kategorilerinde sonuçları ile kıyaslandığında daha düşük kaldığı görülmektedir.
- TS 498'de çatı yüzeylerinde türbülanstan kaynaklı farklı bölgeler oluşmamaktadır. TS 498'de G-H çatı yüzey bölgesinde 23°'ye kadar çatı eğim açısına sahip yapıların bu çatı yüzeylerinde pozitif basınç, 23°'den fazla çatı eğimine sahip yapıların bu çatı yüzeylerinde negatif basınç oluşmaktadır. Ancak J-I yüzey bölgesinde daima negatif basınç oluşmaktadır. Eurocode 1'de G ve H çatı yüzey bölgeleri için dikkate alınan dört farklı yapıya bakıldığında 15° ve 30° çatı eğimli yapıların çatılarında negatif basınç, 45° ve 60° çatı eğimli yapıların çatılarında pozitif basınç oluşmaktadır. Ancak J ve I çatı yüzey bölgelerinde ise daima negatif basınç oluşmaktadır. Genel olarak çatı yüzey bölgelerinde TS 498 sonuçları, Eurocode 1 sonuçlarına kıyasla düşük kalmaktadır.

5.5.2 Analiz ile Eurocode 1 Sonuçlarının Karşılıklı Değerlendirilmesi

(Bkz. Çizelge 5.13, Çizelge 5.14, Çizelge 5.15, Çizelge 5.16)

Eurocode 1 ve analizler için rüzgâr fonksiyonu aynı da olsa sonuçlara tesir eden türbülans şiddetleri bire bir örtüşmemektedir. Eurocode 1 türbülansa ait bağıntılar eşitlik (4.7) ve eşitlik (4.8)'de mevcuttur. Analizler için ise kullanılan türbülans modeline bağlı olarak Navier-Stokes denklemleri eklenilen türbülans kapatma denklemleri türbülans şiddetini belirlemektedir [30], [31], [32]. Bu durum sonuçlardaki bazı farklılıkların sebebi olarak görülmektedir. Analizler ve Eurocode 1 arasında tespit edilen farklılıklar ve benzerlikler aşağıda verilmektedir;

- D bölgesinde hem analiz hem de yönetmelik sonuçlarında pozitif basınç (yüzeye dik yönde basınç) oluşmaktadır. Yönetmelik sonuçlarının arazi kategorilerine göre değişken olarak 1,1-2,88 kat arasında değişen oranlar ile analiz sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Yönetmelik binanın tepe noktasında oluşan rüzgâr hızına bağlı olarak her bölgenin basınç değerini bulmaktadır. Oysaki analizde her bir noktada oluşan rüzgâr hızına bağlı olarak rüzgâr basıncı o nokta için hesaplanmıştır.
- E bölgesinde hem analiz hem de yönetmelik sonuçlarında negatif basınç (yüzeye dik yönde çekme) oluşmaktadır. Yönetmelik sonuçlarının arazi kategorilerine göre değişken olarak 1,05-2,50 kat arasında değişen oranlar ile analiz sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir.
- G bölgesinde;15° ve 30° derece çatı eğimli yapılarda hem analiz sonuçlarında hem de yönetmelik sonuçlarında negatif basınç oluşmuştur. 30° derece çatı eğimli yapı sonuçlarında yönetmelik sonuçlarının arazi kategorilerine göre değişken olarak 1,29-2,86 kat arasında değişen oranlar ile analiz sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir.15° derece çatı eğimli yapı sonuçlarında yönetmelik sonuçları bazı arazi koşulları hariç analiz sonuçlarından yaklaşık 1,2 kat yüksektir. Yapının sivri köşe noktalarında analizde türbülans etkisinin yüksek olmasından kaynaklı yönetmelik sonuçları analiz sonuçlarından daha düşük çıkabilmektedir. Benzer sonuçlar, literatürde de mevcuttur [5]. Yine G bölgesinde; 45° ve 60° derece çatı eğimli yapılarda hem analiz sonuçlarında hem de yönetmelik sonuçlarında pozitif basınç oluşmuştur. Yönetmelik sonuçlarının arazi kategorilerine göre değişken olarak 1,41-3,44 kat arasında değişen oranlar ile analiz sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir.
- H bölgesinde;15° ve 30° derece çatı eğimli yapılarda hem analiz sonuçlarında hem de yönetmelik sonuçlarında negatif basınç oluşmuştur. 30° çatı eğimli yapıda yönetmelik sonuçlarının arazi kategorilerine göre değişken olarak 1,15-1,54 kat arasında değişen oranlar ile analiz sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. 15° derece çatı eğimli yapıda yönetmelik değerleri analiz sonuçlarının daha düşük kalmıştır. Yapının sivri köşe noktalarında analizde türbülans etkisinin yüksek olmasından kaynaklı yönetmelik sonuçları analiz

sonuçlarından daha düşük çıkabilmektedir. Benzer sonuçlar, literatürde de mevcuttur [5]. Yine H Bölgesinde; 45° ve 60° derece çatı eğimli yapılarda hem analiz sonuçlarında hem de yönetmelik sonuçlarında pozitif basınç oluşmuştur. Yönetmelik sonuçlarının arazi kategorilerine göre değişken olarak 1,23-3,44 kat arasında değişen oranlar ile analiz sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir.

- J bölgesinde; tüm yapı tiplerinde hem analiz sonuçlarında hem de yönetmelik sonuçlarında negatif basınç oluşmuştur. 15° ve 30° derece çatı eğimli yapılarda yönetmelik sonuçlarının arazi kategorilerine göre değişken olarak 1,06-1,61 kat arasında değişen oranlar ile analiz sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Yine J bölgesinde; 45° ve 60° derece çatı eğimli yapıların sonuçlarında yönetmelik değerleri analiz sonuçlarından daha düşük kalmıştır. Yapının sivri köşe noktalarında analizde türbülans etkisinin yüksek olmasından kaynaklı yönetmelik sonuçları analiz sonuçlarından daha düşük çıkabilmektedir. Benzer sonuçlar, literatürde de mevcuttur [5].
- I bölgesinde; tüm yapı tiplerinde hem analiz sonuçlarında hem de yönetmelik sonuçlarında negatif basınç oluşmuştur. 30° derece çatı eğimli yapıda yönetmelik sonuçlarının arazi kategorilerine göre değişken olarak 1,03-1,44 kat arasında değişen oranlar ile analiz sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. 15° derece çatı eğimli yapıda yönetmelik sonuçları bazı arazi koşulları hariç analiz sonuçlarından 1,2 kat yüksektir. Yine I bölgesinde; 45° ve 60° derece çatı eğimli yapılarda yönetmelik sonuçları analiz sonuçlarından daha düşük kalmıştır. Yapının sivri köşe noktalarında analizde türbülans etkisinin yüksek olmasından kaynaklı yönetmelik sonuçları analiz sonuçlarından daha düşük çıkabilmektedir. Benzer sonuçlar, literatürde de mevcuttur [5].

5.5.3 TS 498 ile Analiz Sonuçlarının Karşılıklı Değerlendirilmesi

(Bkz. Çizelge 5.7- Çizelge 5.9, Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12)

TS 498 ile analiz sonuçları arasında yapılan değerlendirmeler, TS 498 ile Eurocode 1 sonuçları arasında ki değerlendirmeye benzemektedir. Farklılık olarak, D ve E

bölgelerindeki TS 498 sonuçları arazi kategorisi-4'ün analiz sonuçlarından yüksektir. Diğer arazi kategorilerin TS 498 sonuçları analiz sonuçlarından düşüktür.

BÖLÜM 6

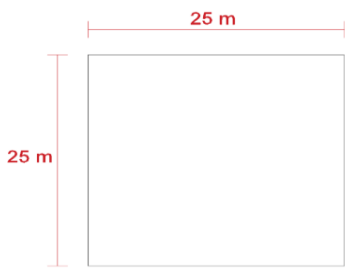
YAPILAN ÇALIŞMALAR: YAPILARIN KAT KALIP PLANLARINDA YAPILAN GEOMETRİK SINIR DEĞİŞİKLİKLERİN YAPI- RÜZGÂR İLİŞKİSİNE ETKİSİ

Yapılar üzerindeki rüzgâr etkileri rüzgârın fiziksel özelliklerine bağlı olduğu gibi yapının geometrisine ve yüksekliğine de bağlıdır. Bu bölümde kare planlı yapının köşelerinde oluşturulan köşe boşaltmalı ve köşe kesmeli kalıp planı değişiklinin yapıya etki eden rüzgâr tesirlerinde meydana getirdiği değişiklikler ele alınacaktır. Oluşturulan bu geometrik değişikler yapı yüzeylerinde oluşan basınçlarda ve rüzgâr hızında ihmal edilemeyecek oranda değişikler oluşturduğu görülecektir.

Köşelerinde bir değişiklik yapılmayan yapı, köşelerinde boşaltma yapılan yapılar ve köşelerinde kesme yapılan yapıların analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılacaktır. Karşılaştırmalar yapıların dış yüzeylerinde oluşan rüzgâr basıncı sonuçları üzerinden yapılacaktır. Karşılaştırma sonucunda dış yüzeyde oluşan basınçlara göre negatif ve pozitif basıncın artması ve azalma oranına göre yapıların kat kalıp planındaki değişiklikler birbirlerine göre değerlendirilecektir.

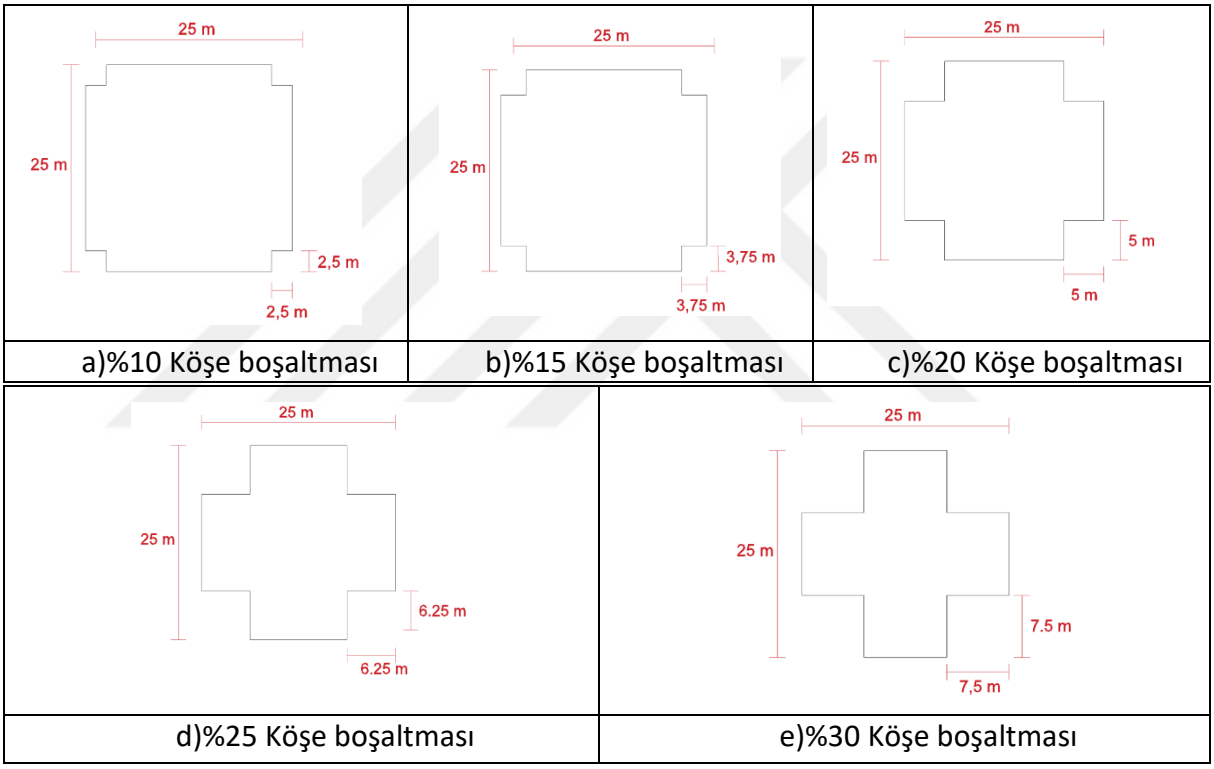
6.1 Yapı Geometrileri

Bu bölümde sayısal analizi yapılacak olan yapıların planlarına ait geometri bilgileri verilecektir. Köşe noktalarında herhangi bir değişiklik yapılmayan genişliği 25 m olan kare yapının plan geometrisi Şekil 6.1'de verilmektedir. Bu yapının plan geometrisi üzerinden yapılan değişikliklerle 5 farklı köşe kesmeli ve 5 farklı köşe boşalmalı plan geometrisine sahip yapılar türetilecektir.



Şekil 6. 1 Köşelerinde bir boşaltma ve kesim olmayan kare yapının planı

Köşe noktalarında yapının genişliğine göre %10, %15, %20, %25 ve %30 oranında köşe boşaltması yapılan 5 farklı yapının plan geometrisi Şekil 6.2'de verilmektedir. Her bir yapının sayısal analizi yapılarak diğer analiz sonuçları ile karşılaştırılmaktır.

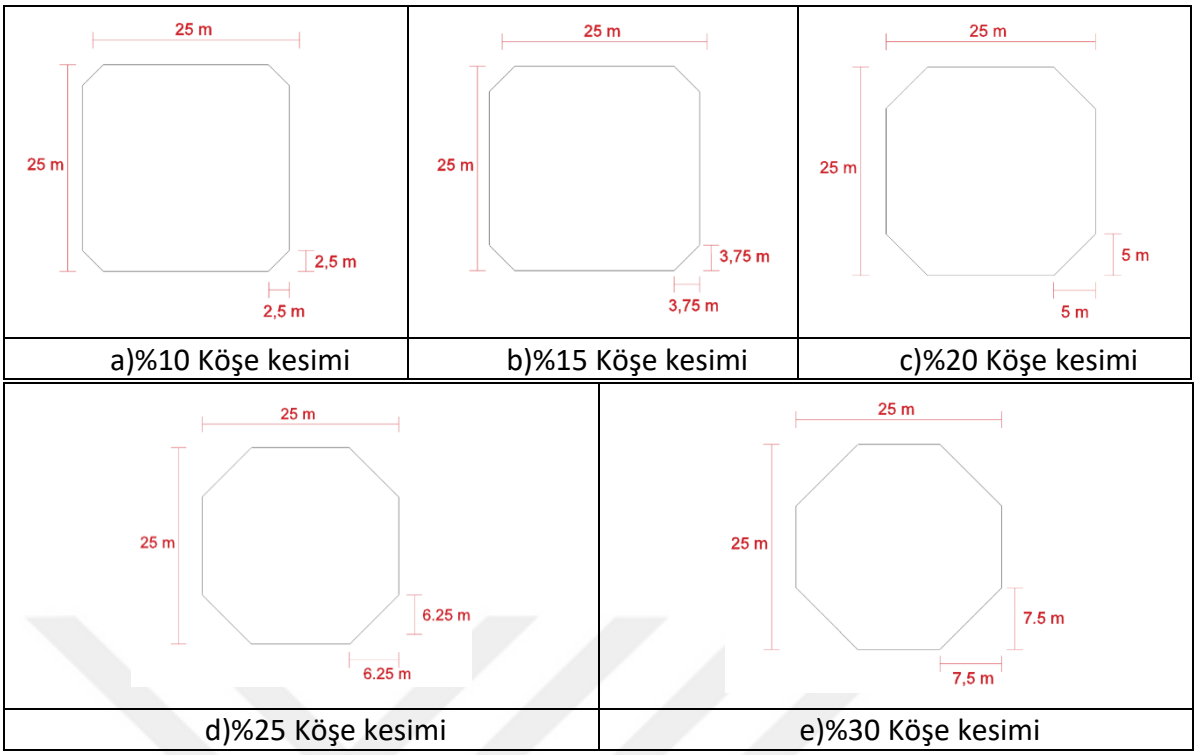


a)%10 Köşe boşaltması	b)%15 Köşe boşaltması	c)%20 Köşe boşaltması

d)%25 Köşe boşaltması	e)%30 Köşe boşaltması

Şekil 6. 2 Köşelerinde boşaltma olan yapıların planları

Köşe noktalarında yapının genişliğine göre %10, %15, %20, %25 ve %30 oranında köşe kesmesi yapılan 5 farklı yapının plan geometrisi Şekil 6.3'de verilmektedir. Her bir yapının sayısal analizi yapılarak diğer analiz sonuçları ile karşılaştırılmaktır.



a)%10 Köşe kesimi | b)%15 Köşe kesimi | c)%20 Köşe kesimi

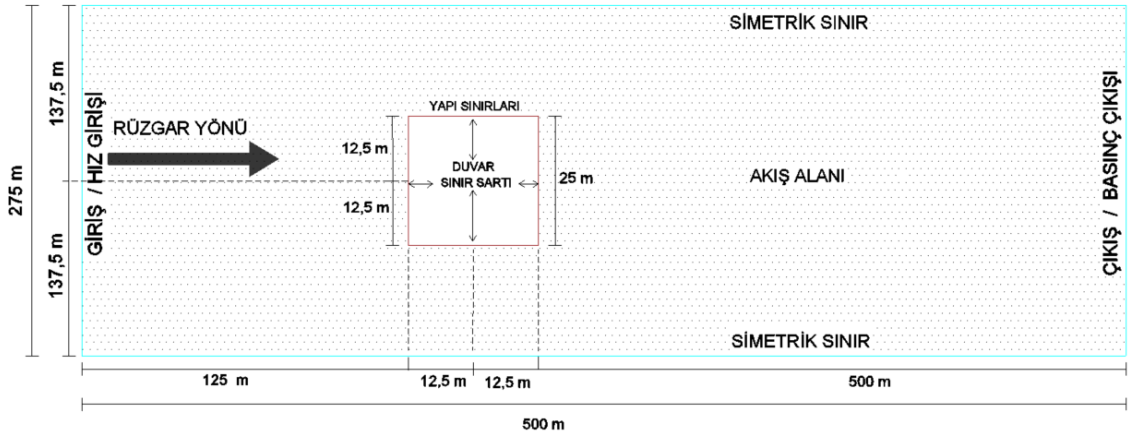
d)%25 Köşe kesimi | e)%30 Köşe kesimi

Şekil 6. 3 Köşelerinde kesim olan yapıların planları

6.2 Akış Alanı- Ağ Yapısı ve Analiz Opsiyonları

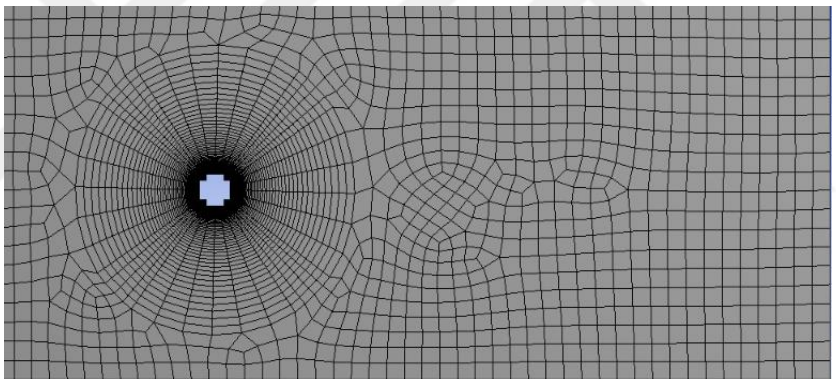
Yapı sınırının hava ortamı giriş sınırına en kısa mesafesi yapı genişliğinin 5 katı, yapı sınırının hava ortamı çıkış sınırına en kısa mesafesi yapı genişliğin 20 katı olarak belirlenmektedir. İki yan sınır ile yapı sınırları arasında en kısa mesafe ise yapı genişliğinin 5 katı olarak belirlenmektedir. Belirlenen hava ortamının boyutlarının ve yapıya olan mesafelerinin belirlenmesinde literatürden yararlanılmıştır [5], [15], [33]. Tüm analizlerde kullanılan akış alanı Şekil 6.4'de verilmektedir. Akış alanı yapıların belirli bir yüksekliğindeki kuş bakışı plan görüntüsünü temsil etmektedir. Bu belirli bir yükseklikte hız girişinin 28 m/s olduğu kabul edilerek analizler yapılacaktır.

Akış alanında giriş, hız girişi (velocity inlet); çıkış, serbest basınç çıkışı (pressure outlet); yapı sınırları, duvar sınır şartı (hızın yüzeye dik yönündeki bileşeni sıfır kabul eden); yan sınırlar, simetrik sınır şartı olarak atanmıştır. Yapı yüzeylerinde ilave bir sürtünme etkisi alınmamıştır. Verilen bu bilgiler Şekil 6.4'ün içerisinde ilgili bölgelerde görsel olarak ta verilmektedir.

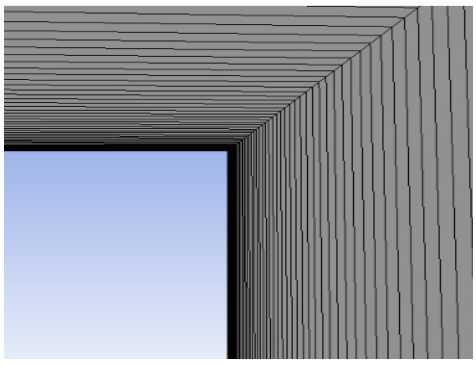


Şekil 6. 4 Akış alanı (verilen mesafeler ölçeksizdir.)

Tüm analiz modellerinde aynı özelliklerde ağ yapısı oluşturulmaktadır. Bu sayede yapılacak karşılaştırmalar daha hassas bir şekilde değerlendirilebilecektir. Hava ortamından yapı sınırına doğru gidildikçe ağ yapısı kaba ağdan daha ince ağa doğru oluşmaktadır. Ağ durumuna ait görüntüler Şekil 6.5'de verilmektedir.



a)Tüm akış alanı model ağ görüntüsü



b)Yapı sınırı ağ görüntüsü

Şekil 6. 5 Ağ görüntüleri

Analizlerde kullanılan türbülans modeli, “k–£ Realizable” dir. Çözüm metodu için hız basınç ilişkilerinde “Simple algoritması” seçilmiştir. Ayrıklaştırma çözümlerinde; Basınç için “Standart”, Momentum-Türbülans Kinetik Enerjisi-Türbülans Dağılım Oranı için “Second-Order Upwind Scheme”, Grandyan için “Green–Gauss Node Based” kullanılmıştır. Süreklilik, momentum denklemleri ile k ve £ (epsilon) denklemleri sonuçları için normalize edilmiş artıkların farkı 10^{-6} mertebesinden daha az olması çözüm yakınsama kriteri olarak dikkate alınmıştır.

6.3 Sayısal Sonuçların İrdelenmesi

Tüm analiz sonuçlarında beklenildiği gibi yapıların rüzgârı doğrudan alan yüzeylerinde pozitif basınç, yan yüzeylerinde ve arka yüzeylerinde negatif basınç oluşmaktadır. Yapı üzerinde oluşan negatif basıncın en büyük değerleri tüm analizlerde yapıların yan yüzeylerinde görülmektedir. Yapılan geometrik değişiklikler sonucunda oluşan basınç değerlerinde çeşitli farklılıklar oluşmaktadır.

Şekil 6.1’de geometrik yapısı verilen köşelerinde bir boşaltma ve kesim olmayan kare planlı yapı yüzeylerinde oluşan basınçların analiz değerleri Çizelge 6.1’de, analiz basınç dağılımları ise Şekil 6.6’da verilmektedir.

Çizelge 6. 1 Köşelerinde bir değişim olmayan yapının basınçların analiz sonucu

Yapı Üzerinde oluşan En Büyük Pozitif Basınç (Pa)	Yapı Üzerinde oluşan En Büyük Negatif Basınç (Pa)
669	-533

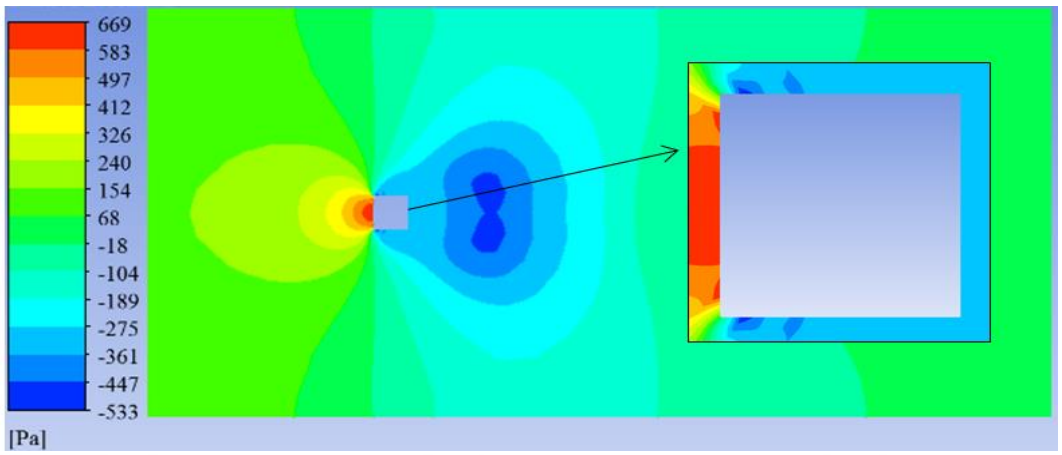
Şekil 6.2’de geometrileri verilen köşelerinde boşaltma yapılan yapıların yüzeylerinde oluşan basınçların analiz sonucu değerleri Çizelge 6.2’de analiz basınç dağılımları ise Şekil 6.7, Şekil 6. 8, Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de verilmektedir. Çizelge 6.2’de ilgili basınç dağılımlarında yapıların yüzeylerinde görünün sadece en büyük basınç değerleri verilmektedir. Değerlendirmeler bu tablolar üzerinden yapılacaktır.

Çizelge 6. 2 Köşe boşalmalı olan yapılardaki basınçların analiz sonucu

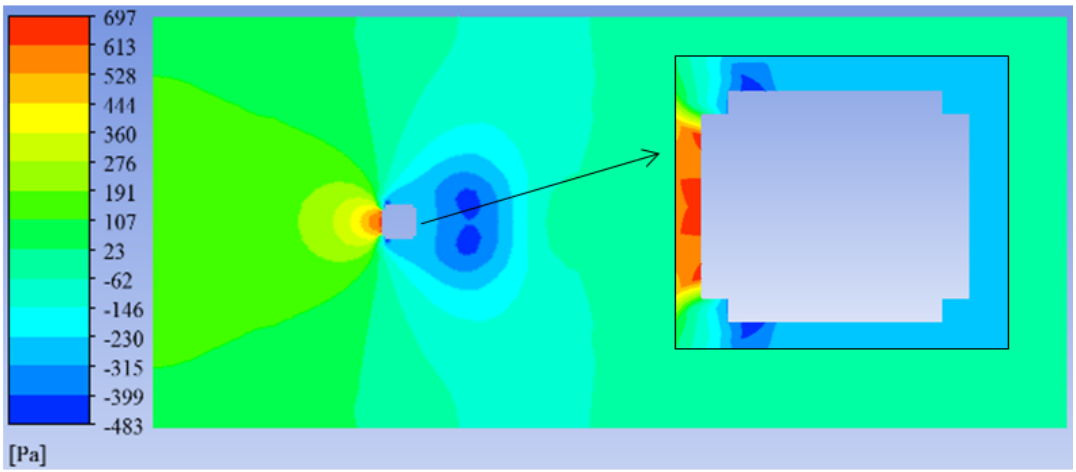
Yapı Türü	Yapı Üzerinde oluşan En Büyük Pozitif Basınç (Pa)	Yapı Üzerinde oluşan En Büyük Negatif Basınç (Pa)
%10 Köşe boşatmalı	697	-483
%15 Köşe boşatmalı	665	-456
%20 Köşe boşatmalı	657	-435

Çizelge 6. 2 Köşe boşalmalı olan yapılardaki basınçların analiz sonucu (Devamı)

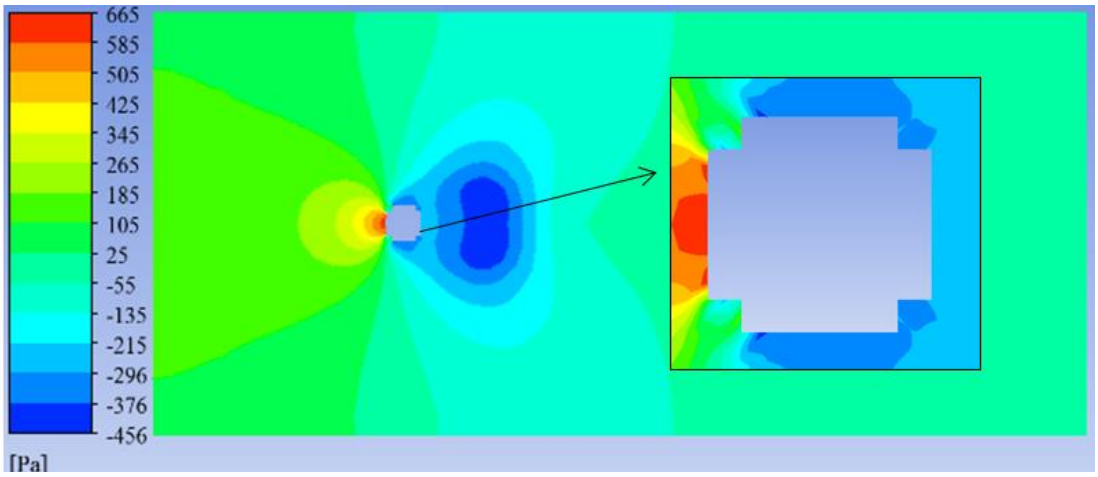
%25 Köşe boşatmalı	646	-445
%30 Köşe boşatmalı	682	-463



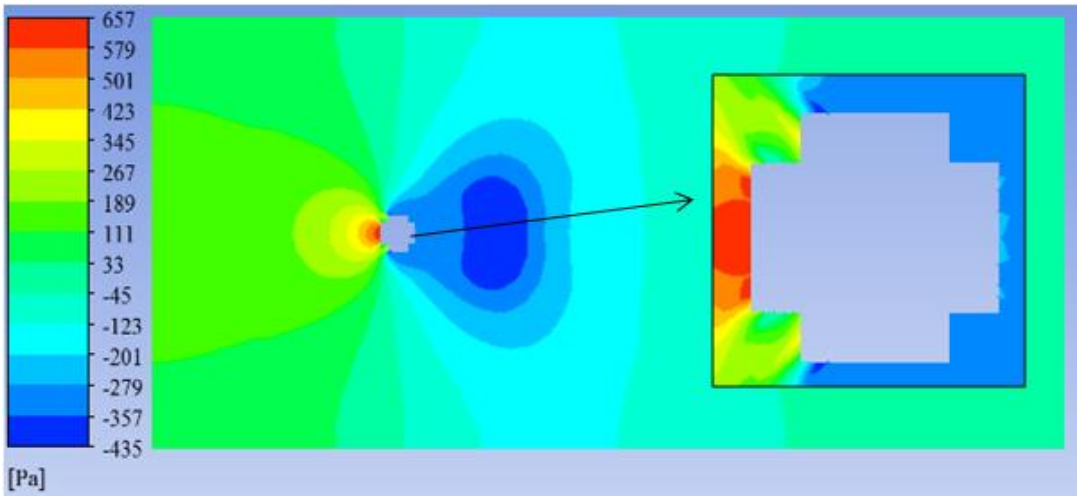
Şekil 6. 6 Köşelerinde bir değişim olmayan yapının basınç dağılımı



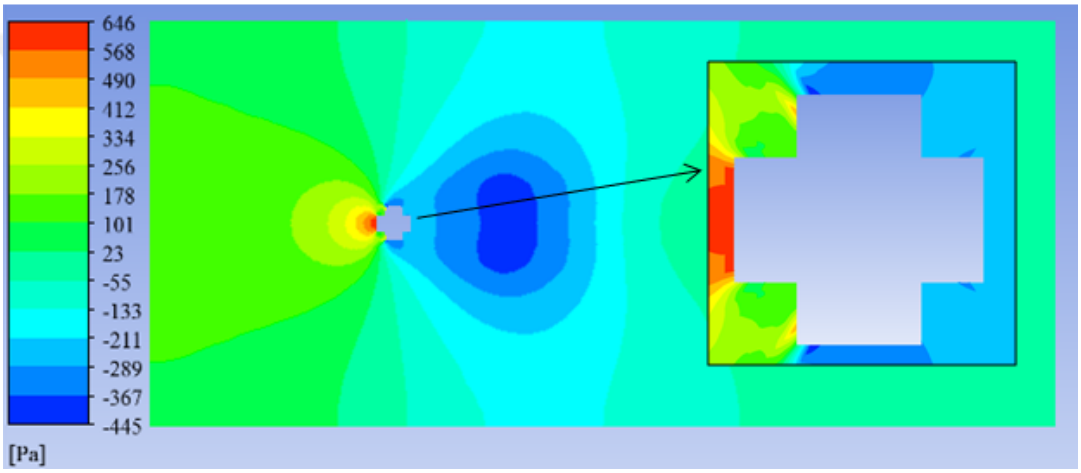
Şekil 6. 7 Köşelerinde %10 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı



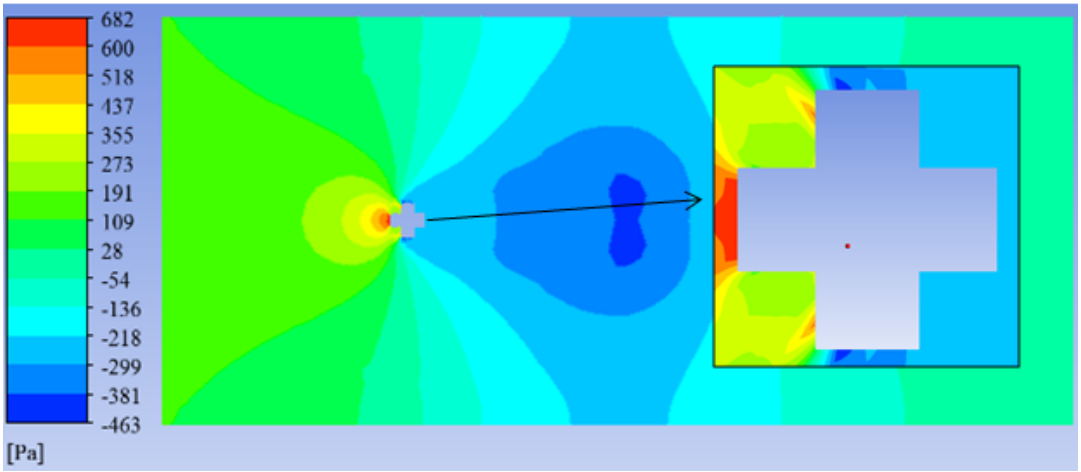
Şekil 6. 8 Köşelerinde %15 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı



Şekil 6. 9 Köşelerinde %20 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı



Şekil 6. 10 Köşelerinde %25 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı



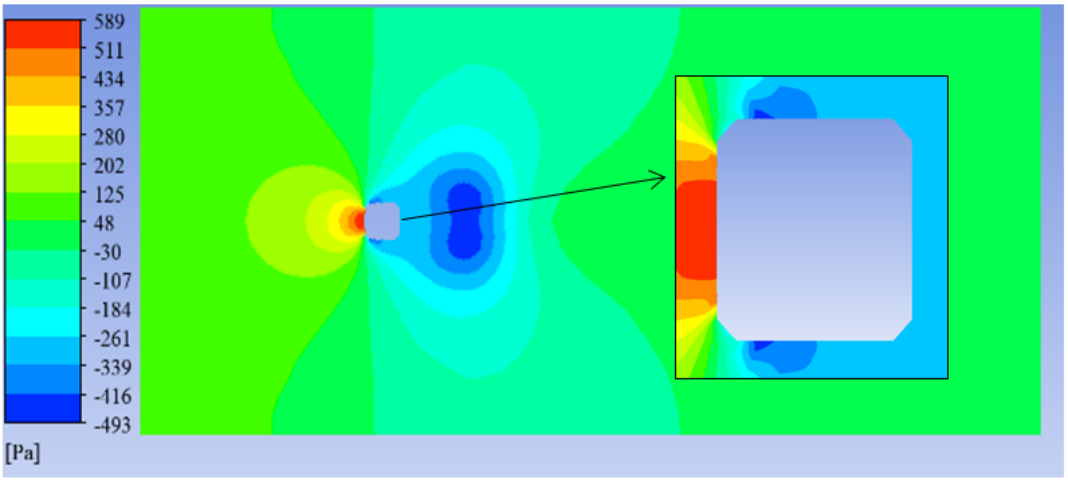
Şekil 6. 11 Köşelerinde %30 köşe boşatması olan yapının basınç dağılımı

Şekil 6.3'de geometrileri verilen köşelerinde kesim yapılan yapıların yüzeylerinde basınçların analiz sonucu değerleri Çizelge 6.3'de, basınç dağılım sonuçları ise Şekil

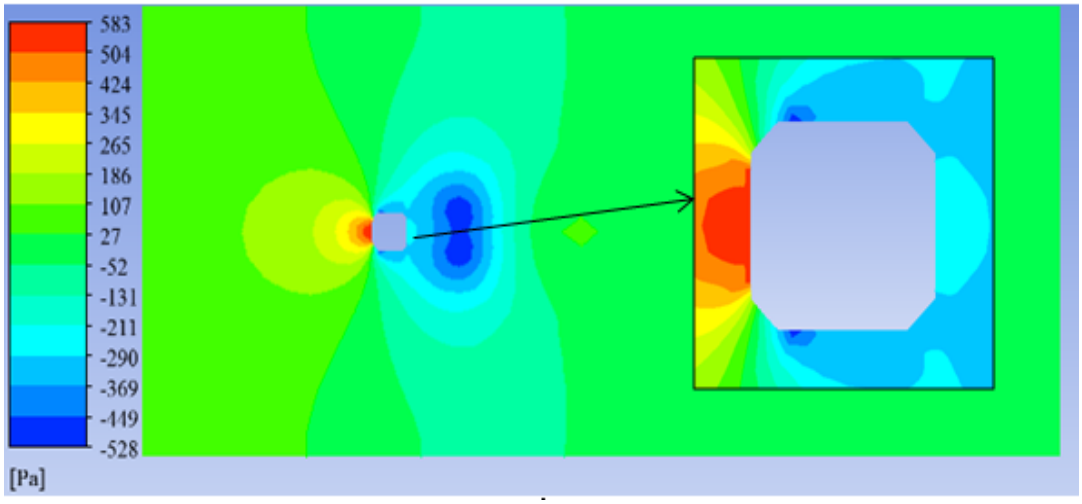
6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16'da verilmektedir. Çizelge 6.3'de ilgili basınç dağılımlarında yapıların yüzeylerinde görünün sadece en büyük basınç değerleri verilmektedir. Değerlendirmeler bu tablolar üzerinden yapılacaktır.

Çizelge 6. 3 Köşe kesimli yapılardaki basınçların analiz sonucu

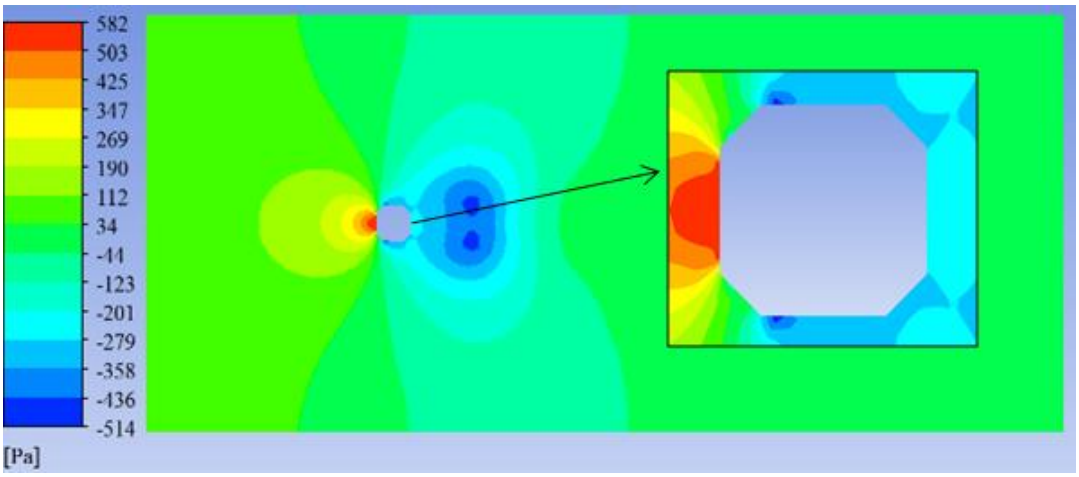
Yapı Türü	Yapı Üzerinde oluşan En Büyük Pozitif Basınç (Pa)	Yapı Üzerinde oluşan En Büyük Pozitif Basınç (Pa)
%10 Köşe kesimli	589	-493
%15 Köşe kesimli	583	-528
%20 Köşe kesimli	582	-514
%25 Köşe kesimli	565	-597
%30 Köşe kesimli	572	-543



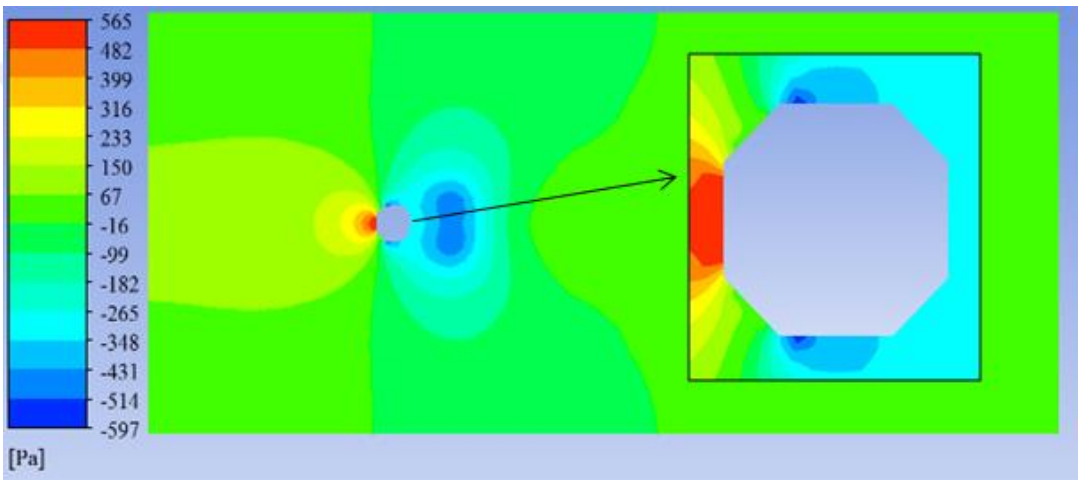
Şekil 6. 12 Köşelerinde %10 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı



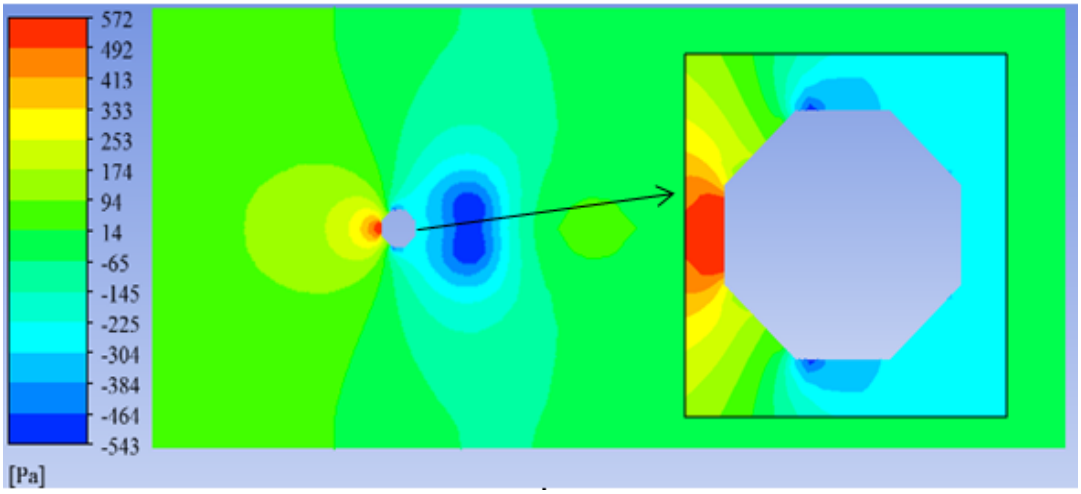
Şekil 6. 13 Köşelerinde %15 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı



Şekil 6. 14 Köşelerinde %20 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı



Şekil 6. 15 Köşelerinde %25 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı



Şekil 6. 16 Köşelerinde %30 köşe kesimi olan yapının basınç dağılımı

Sonuçlar birbirine göre değerlendirilmesi için herhangi bir değişiklik yapılmayan yapının analiz sonuçları referans kabul edilerek belirlenmiştir. Bu yapının pozitif ve negatif

basınç sonuçları oran olarak %100 kabul edilerek diğer analizlerin basınç sonuçları yüzdesel olarak ifade edilecektir. Böylece yapılan değişikliklerin etkileri daha iyi anlaşılmaktadır. Bu oransal ifadeler Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'ten yararlanılıp bulunarak Çizelge 6.4'te verilmektedir.

Çizelge 6. 4 Sonuçların birbirine göre değerlendirilmesi

Yapı Türü	Pozitif basınç oranı	Negatif basınç oranı
Değişiklik yapılmayan	100	100
%10 Köşe boşatmalı	104,2	90,45
%15 Köşe boşatmalı	99,40	85,39
%20 Köşe boşatmalı	98,21	81,46
%25 Köşe boşatmalı	96,56	83,33
%30 Köşe boşatmalı	101,94	86,70
%10 Köşe kesimli	88,04	92,32
%15 Köşe kesimli	87,14	98,88
%20 Köşe kesimli	87,00	96,25
%25 Köşe kesimli	84,45	111,80
%30 Köşe kesimli	85,50	101,69

Negatif basınç sonuçları açısından köşe boşaltmalı yapılar kendi arasında değerlendirildiğinde Çizelge 6.4'te görüldüğü üzere tüm köşe boşatmalı yapılarda negatif basınç referans modele göre azalmaktadır. %20 köşe boşalması diğer köşe boşaltmalarına göre negatif basıncın en fazla azaldığı durumdur. %10 köşe boşatması ise negatif basıncın diğer köşe boşaltmalarına göre en az azaldığı durumdur. Köşe boşalmalarında negatif basınçlar sırasıyla %20, %25, %15, %30 ve %10 boşalmaya sahip yapı türlerinde daha fazla azalmaktadır. Pozitif basınçlar için köşe boşaltmalı yapılar kendi arasında değerlendirildiğinde Çizelge 6.4'te görüldüğü üzere %10 ve %30 köşe boşatması hariç pozitif basınçlar referans modele göre azalmaktadır. Ancak bu artış ve azalmalar %5'in altındadır.

Köşe kesimli yapılar kendi arasında değerlendirildiğinde Çizelge 6.4'te görüldüğü %10, %15 ve %20 köşe kesimlerinde negatif basıncı azalırken %25 ve %30 köşe kesimlerinde ise negatif basınç artmakta olduğu görülmektedir. %10 köşe kesmesi diğer köşe kesimlerine göre negatif basıncın en fazla azaldığı durumdur. Pozitif basınçlar için köşe kesimli yapılar kendi arasında değerlendirildiğinde Çizelge 6.4'te görüldüğü üzere tümünde pozitif basınç azalmaktadır. %25 köşe kesimli yapıda en fazla pozitif basınç

azalması olmaktadır. Köşe kesimlerinde pozitif basınçlar sırasıyla %25, %30, %20, %15 ve %10 kesime sahip yapı türlerinde daha fazla azalmaktadır. Ancak bunlar arasında büyük farklar bulunmamaktadır.

Köşe boşaltmalı yapılar ile köşe kesmeli yapılar birbirlerine göre değerlendirildiğinde tüm köşe boşaltmalı yapılarda köşe kesimli yapılara göre negatif basınç daha fazla azalmaktadır. Hatta köşe kesimli yapıların bazısında (%25 ve %30) negatif basınç artışı bile olduğu görülmektedir. Buna karşılık tüm köşe kesimli yapılarda pozitif basınç azalması tüm köşe boşaltmalı yapılara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Hatta bazı köşe boşaltmalı (%10 ve %30) yapılarda pozitif basıncın artığı bile görülmektedir.

Hem pozitif hem de negatif basınç düşünüldüğünde, köşe boşaltmaları arasında %25 köşe boşaltması en etkin iken köşe kesimlerde %10 köşe kesimi en etkin olmaktadır.

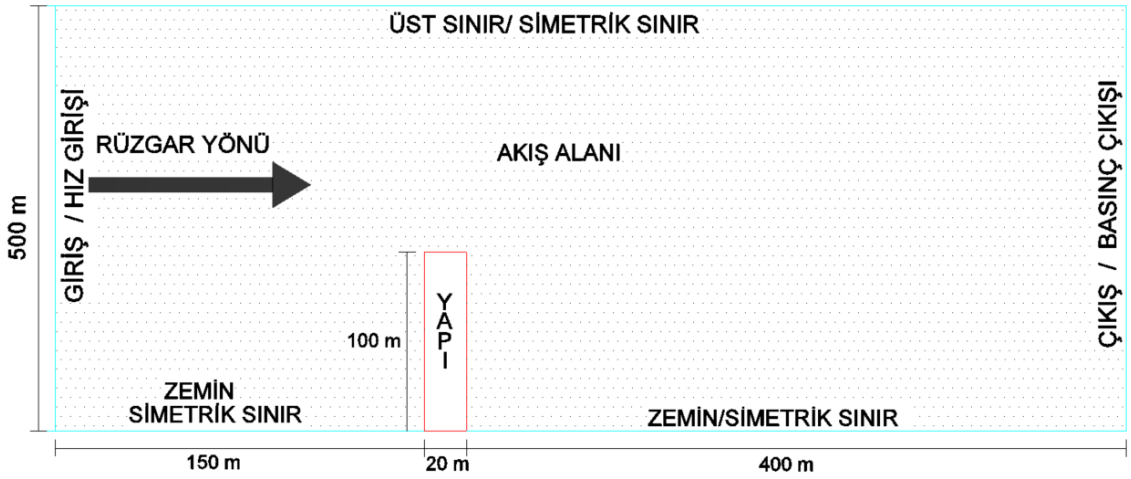
BÖLÜM 7

YAPILAN ÇALIŞMALAR: AKIŞ ALANINDA BULUNAN ALÇAK VE YÜKSEK KOMŞU YAPILAR ÜZERİNDEKİ RÜZGÂR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Yapılar üzerinde oluşan rüzgâr etkileri sadece yapı ile rüzgâr arası ilişkiye göre değil ilgili yapının etrafında bulunan komşu yapıların yüksekliğine ve yapı olan mesafesine göre de değişim göstermektedir. Bu bölümde 100 m yüksekliğindeki yapının önüne yüksekliği ve mesafesi farklılık gösteren ikinci bir yapı yerleştirilerek ortaya çıkan kesit görünüşlerinden oluşan farklı akış alanlarının iki boyutlu HAD analizi yapılarak hız ve basınç sonuçları karşılaştırılacaktır.

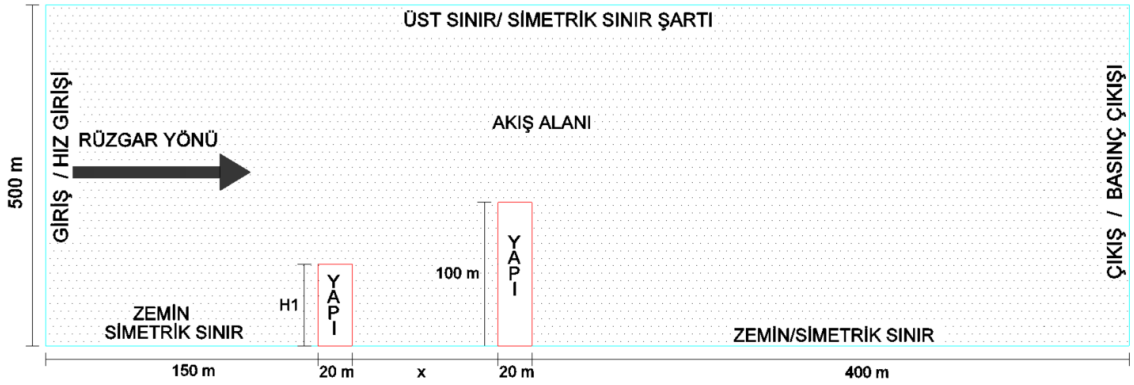
7.1 Yapı Geometrileri ve Akış Alanı

Öncelikle 100 m yüksekliğindeki yapının akış alanında tek olması durumunda analiz yapılacaktır. Tek yapı bulunması durumundaki akış alanı Şekil 7.1'de verilmektedir.



Şekil 7. 1 Tek yapının olduğu akış alanı (verilen mesafeler ölçeksizdir.)

100 m yüksekliğindeki yapının önüne 20 m, 40 m, 60 m, 80 m ve 100 m yüksekliğindeki yapılar, 100 m veya 200 m mesafede yerleştirilerek oluşturulan akış alanlarında analizler yapılacaktır. İki yapı bulunması durumundaki akış alanı Şekil 7.2'de verilmektedir. Tüm iki yapı bulunan akış alanları için verilen bu akış alanı kullanacaktır.



Şekil 7. 2 İki yapının olduğu akış alanı (verilen mesafeler ölçeksizdir.)

Akış alanında iki yapı bulunması durumunda öndeki yapının yüksekliği ve arkadaki yapıya olan mesafesi değişmektedir. Arkadaki yapının yüksekliği 100 m olarak sabit kalmaktadır. Bu şekilde oluşan 10 farklı model ile ilgili model adı, öndeki yapının yüksekliği ve arkadaki yapıya olan mesafesi ile ilgili bilgiler Çizelge 7.1'de verilmektedir. Çizelge 7.1 ve Şekil 7.2 beraber incelendiğinde oluşturulan iki yapının bulunduğu 10 farklı model tam olarak anlaşılır olmaktadır.

Çizelge 7. 1 Analizi yapılacak iki yapılı akış alanlarının geometrik özellikleri

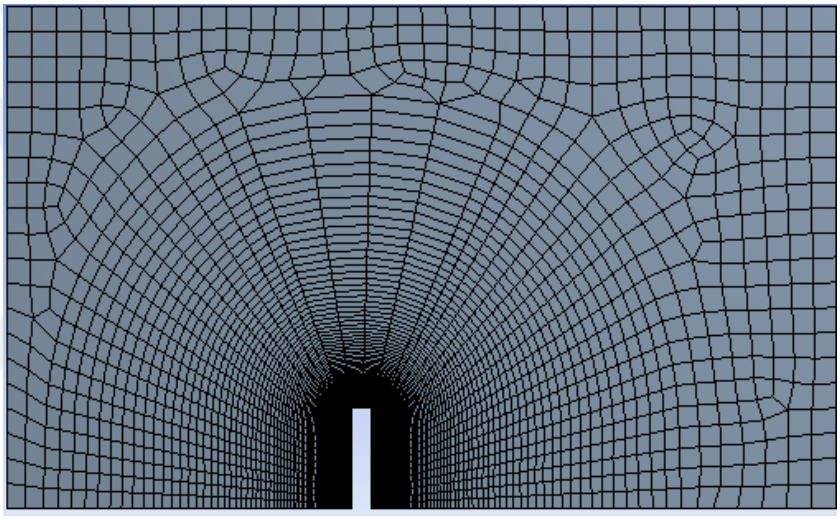
Model Adı	H1 (m)	X (m)
İkili-1	20	200
İkili-2	20	100
İkili-3	40	200
İkili-4	40	100
İkili-5	60	200
İkili-6	60	100
İkili-7	80	200
İkili-8	80	100
İkili-9	100	200
İkili-10	100	100

Akış alanlarında, yapı sınırının hava ortamı giriş sınırına en kısa mesafesi yapı genişliğinin minimum 5 katı, yapı sınırının hava ortamı çıkış sınırına en kısa mesafesi yapı genişliğin minimum 20 katı olarak belirlenmektedir. Belirlenen hava ortamının

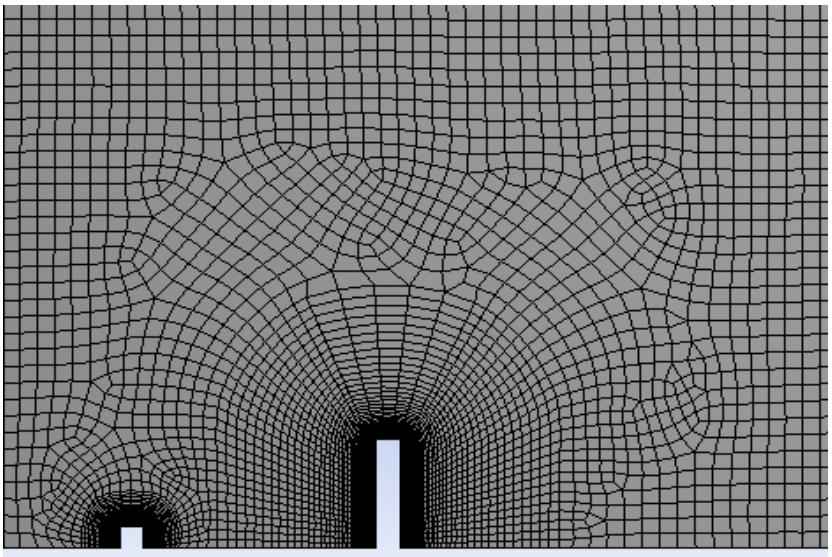
boyutlarının ve yapıya olan mesafelerinin belirlenmesinde literatürden yararlanılmıştır [5], [15], [33].

7.2 Ağ Yapısı ve Analiz Opsiyonları

Tüm analiz modellerinde aynı özelliklerde ağ yapısı oluşturulmuştur. Hava ortamından yapı sınırına doğru gidildikçe ağ yapısı kaba ağdan daha ince ağa doğru oluşmaktadır. Tek yapı bulunması durumundaki ağ görüntüsü Şekil 7.3'de verilmektedir. İki yapı bulunması durumdaki ağ görüntüsüne örnek olarak İkili-1 modeline ait ağ görüntüsü Şekil 7.4'de verilmektedir. Diğer ikili modellerin ağ görüntüsü ve özellikleri buna benzer niteliktedir.



Şekil 7. 3 Tek yapı bulunan akış alanına ait ağ görüntüsü

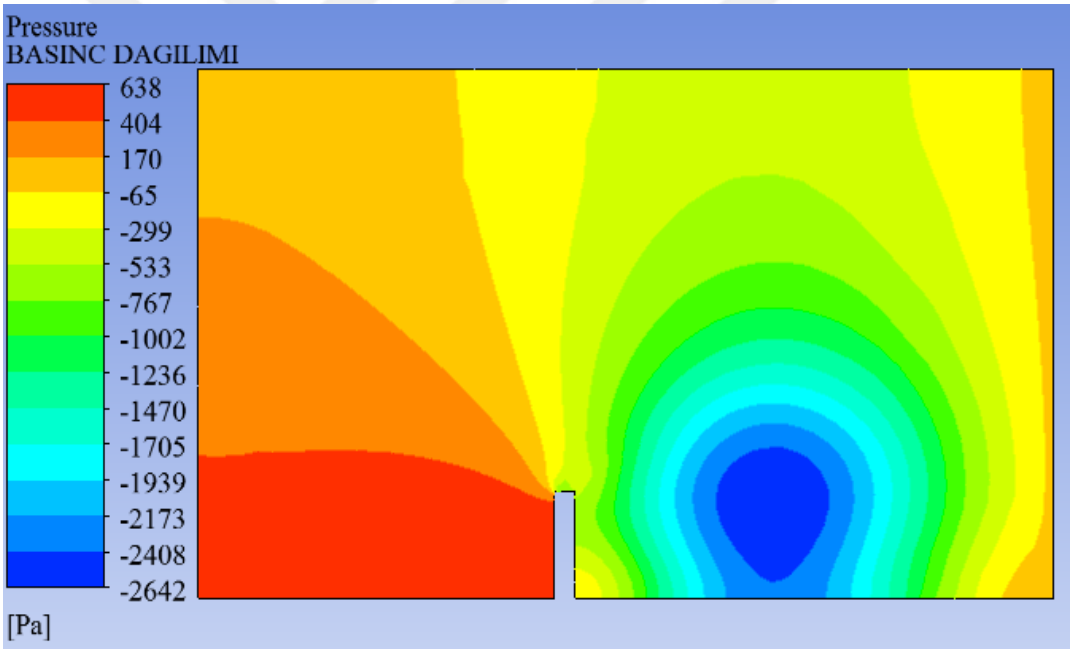


Şekil 7. 4 İki yapı bulunan (İkili-1) akış alanına ait ağ görüntüsü

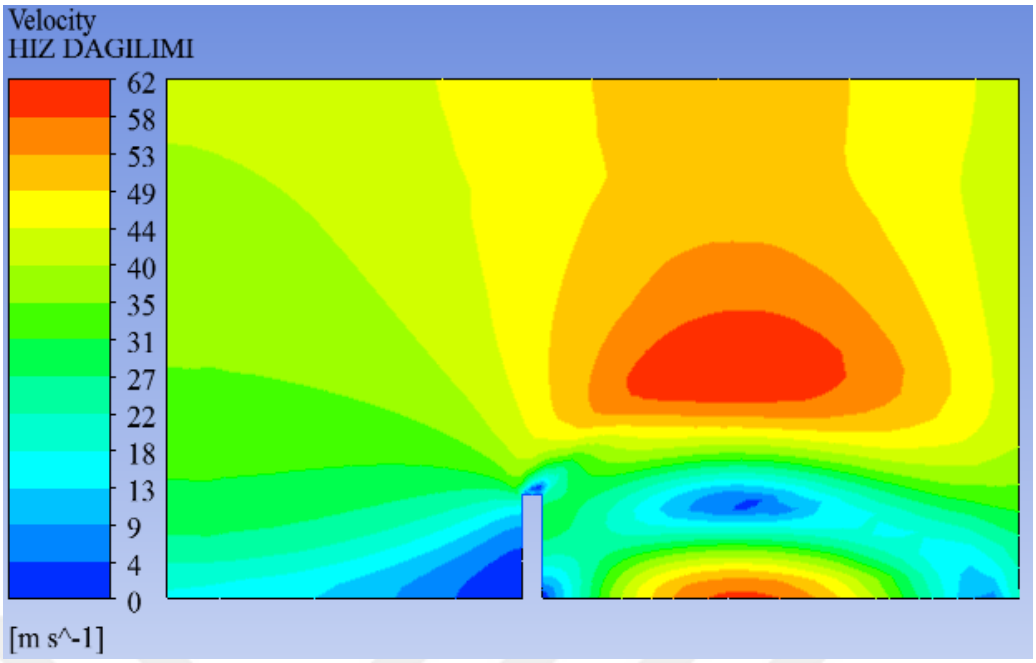
Analizlerde kullanılan türbülans modeli, “k–£ Realizable” dir. Çözüm metodu için hız basınç ilişkilerinde “Simple algoritması” seçilmiştir. Ayrıklaştırma çözümlerinde; Basınç için “Standart”, Momentum-Türbülans Kinetik Enerjisi-Türbülans Dağılım Oranı için “Second-Order Upwind Scheme”, Grandyan için “Green–Gauss Node Based” kullanılmıştır. Süreklilik, momentum denklemleri ile k ve £ (epsilon) denklemleri sonuçları için normalize edilmiş artıkların farkı 10^{-6} mertebesinden daha az olması çözüm yakınsama kriteri olarak dikkate alınmıştır. Hız girişi olarak Eurocode 1 arazi kategorisi-4 (bkz. Şekil 5.15) hız fonksiyonu kullanılmaktadır.

7.3 Sayısal Sonuçların İrdelenmesi

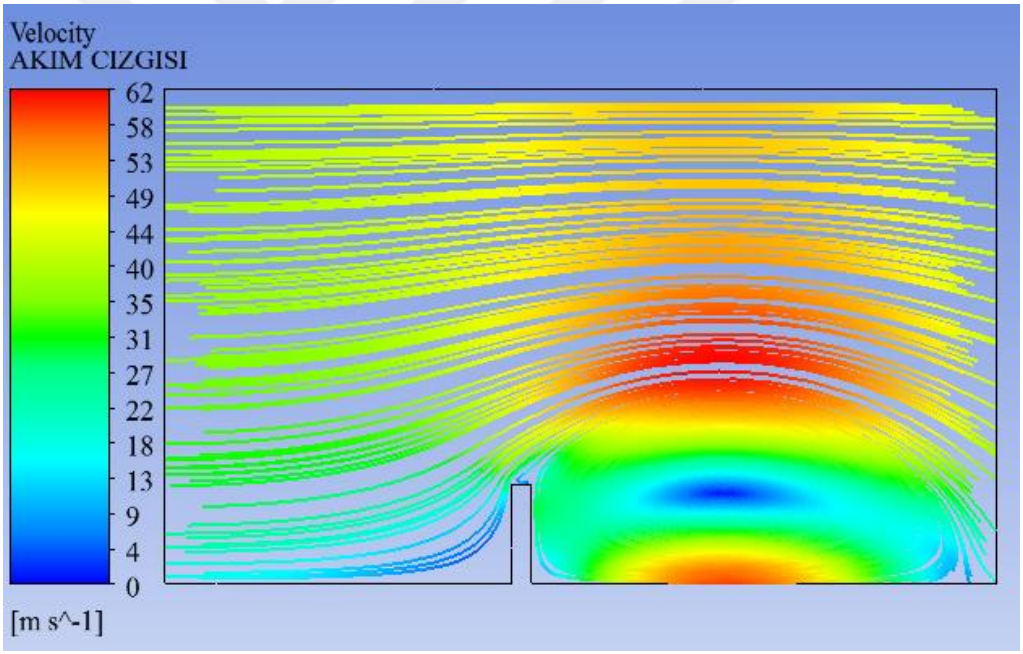
Yapılan analizler sonucunda bulunan basınç dağılımları, hız dağılımları ve akım çizgili hız dağılımları aşağıda verilmektedir.



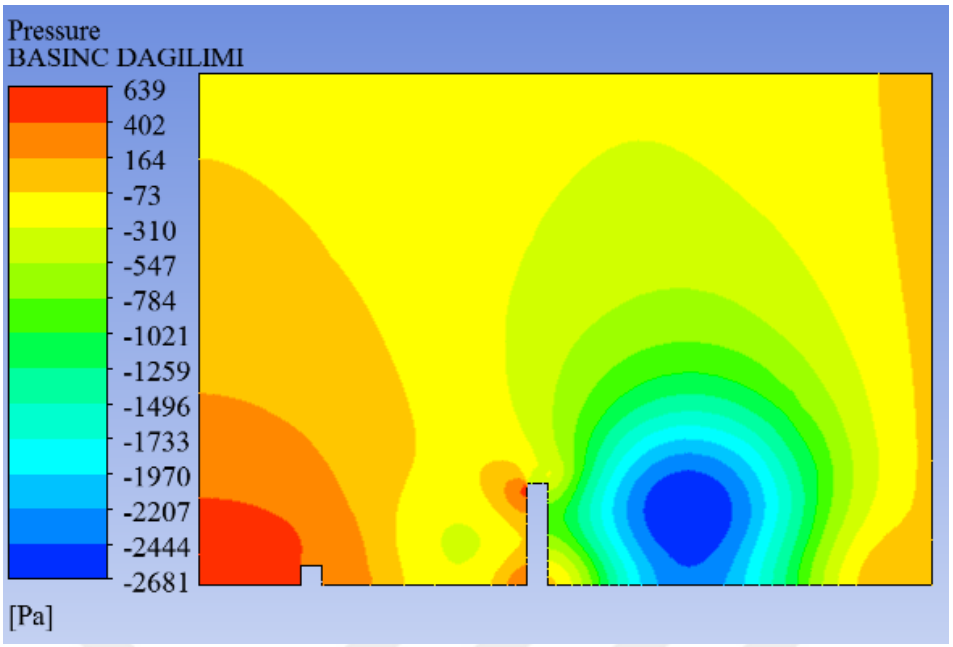
Şekil 7. 5 Tek yapı bulunan akış alanın basınç dağılımı



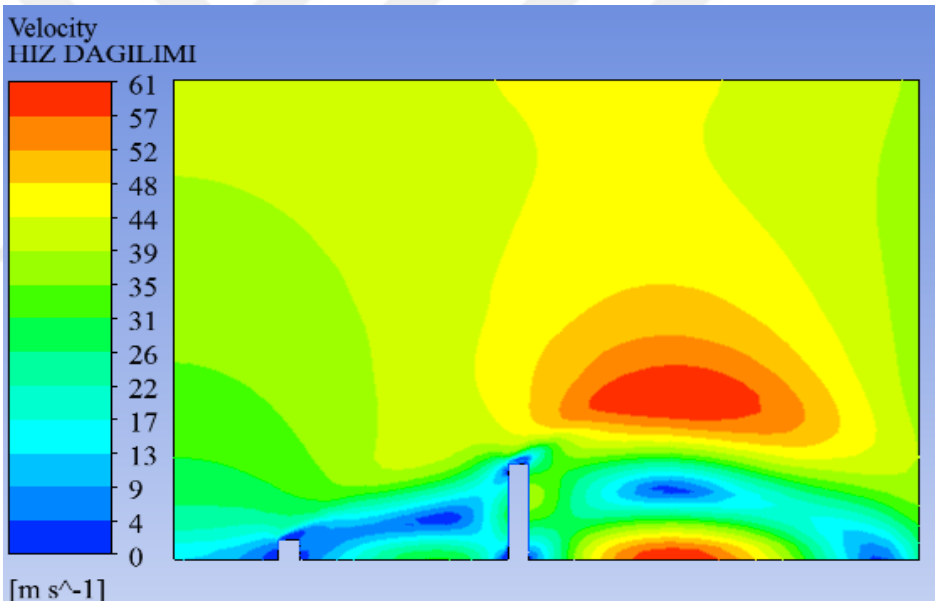
Şekil 7. 6 Tek yapı bulunan akış alanın hız dağılımı



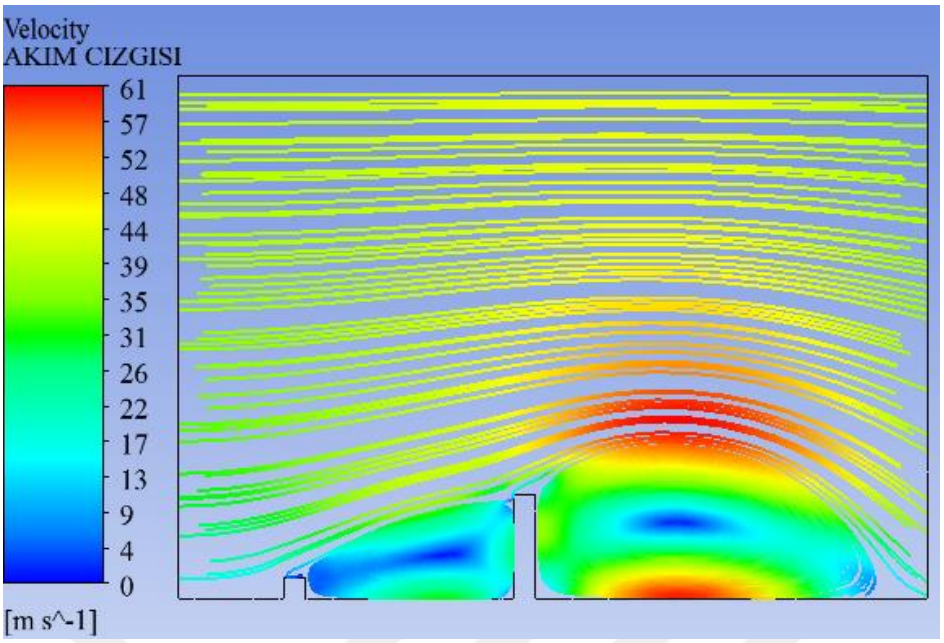
Şekil 7. 7 Tek yapı bulunan akış alanın akım çizgili hız dağılımı



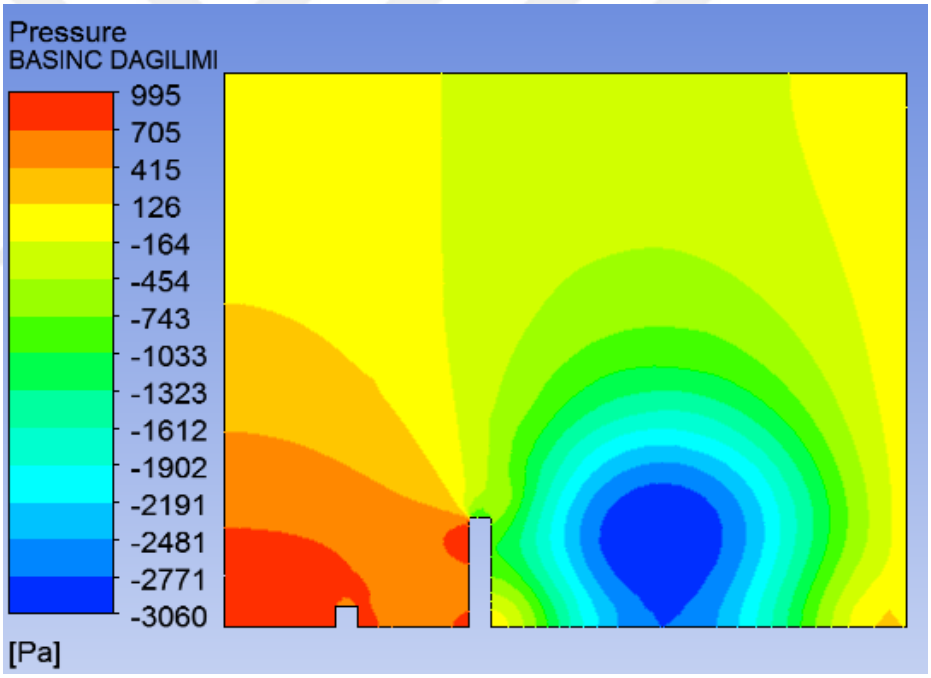
Şekil 7. 8 Model ikili-1 akış alanın basınç dağılımı



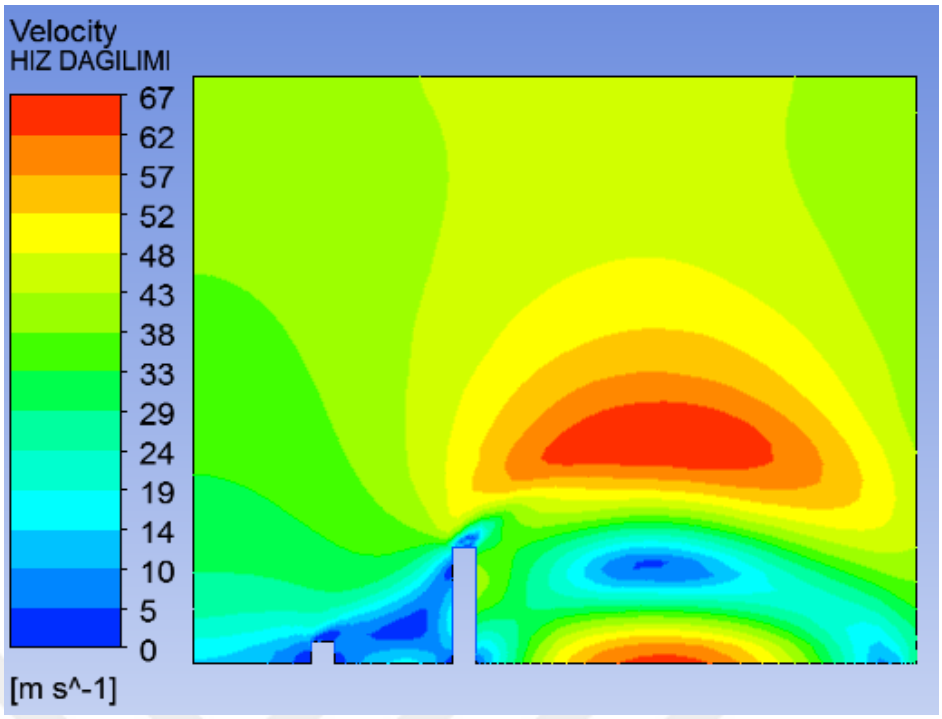
Şekil 7. 9 Model ikili-1 akış alanın hız dağılımı



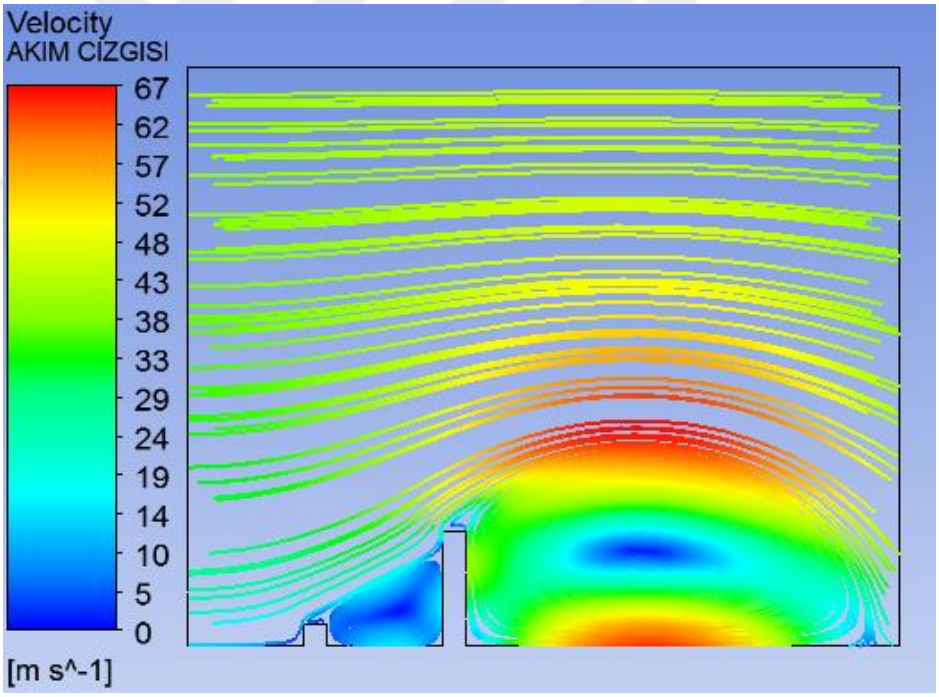
Şekil 7. 10 Model ikili-1 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



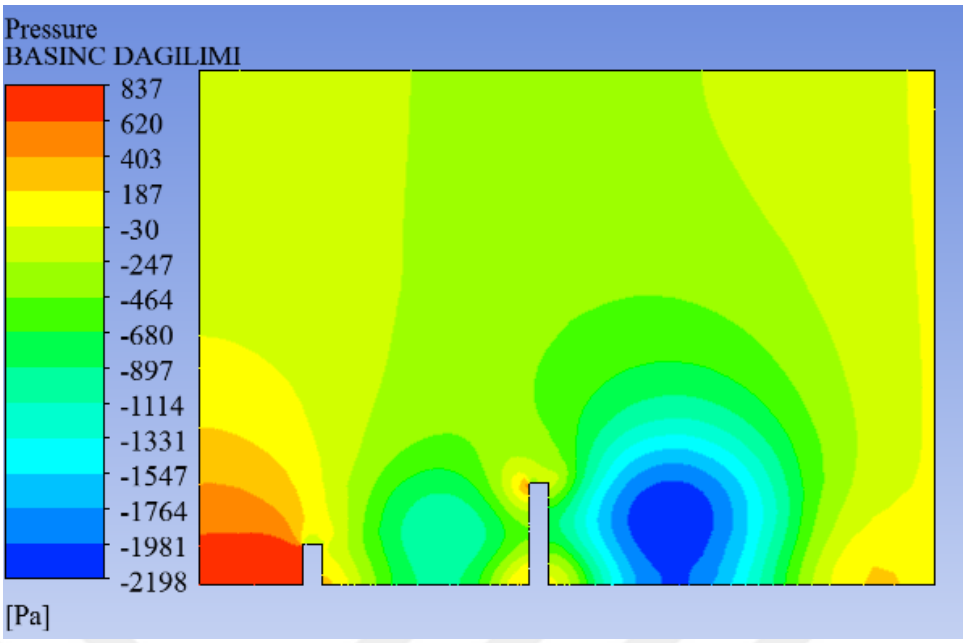
Şekil 7. 11 Model ikili-2 akış alanın basınç dağılımı



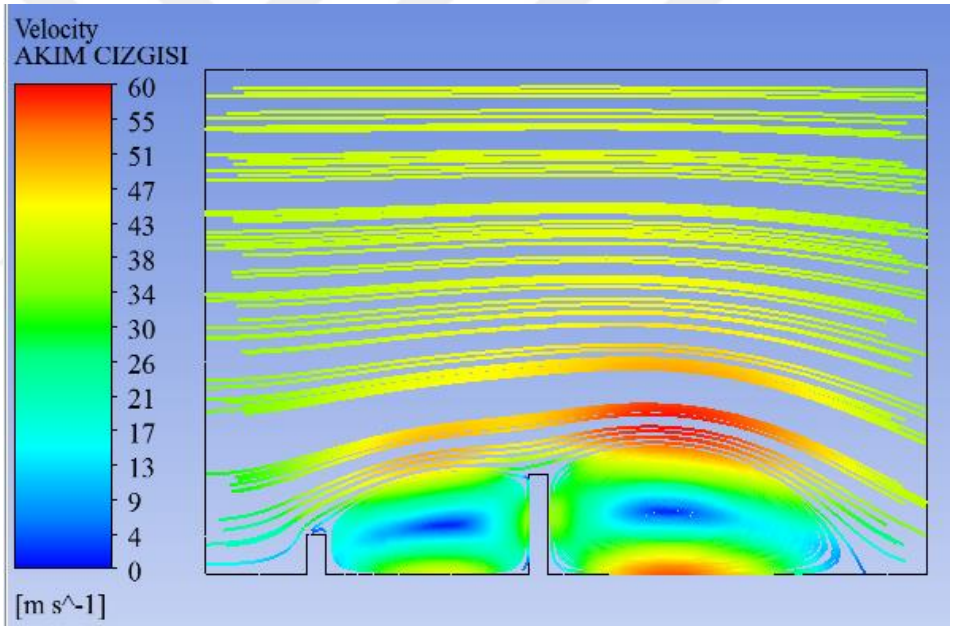
Şekil 7. 12 Model ikili-2 akış alanın hız dağılımı



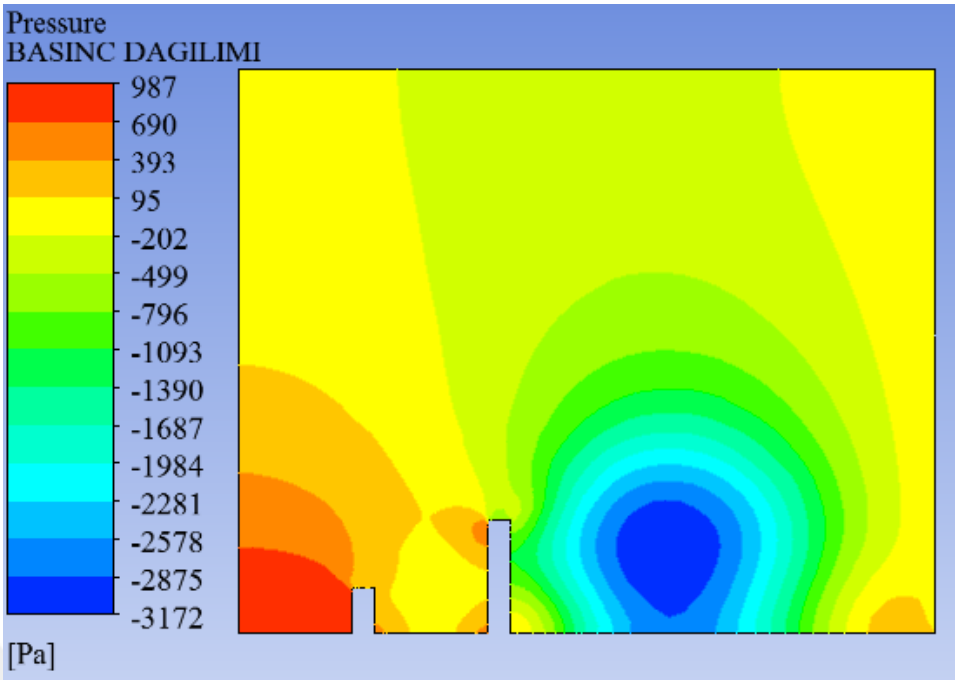
Şekil 7. 13 Model ikili-2 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



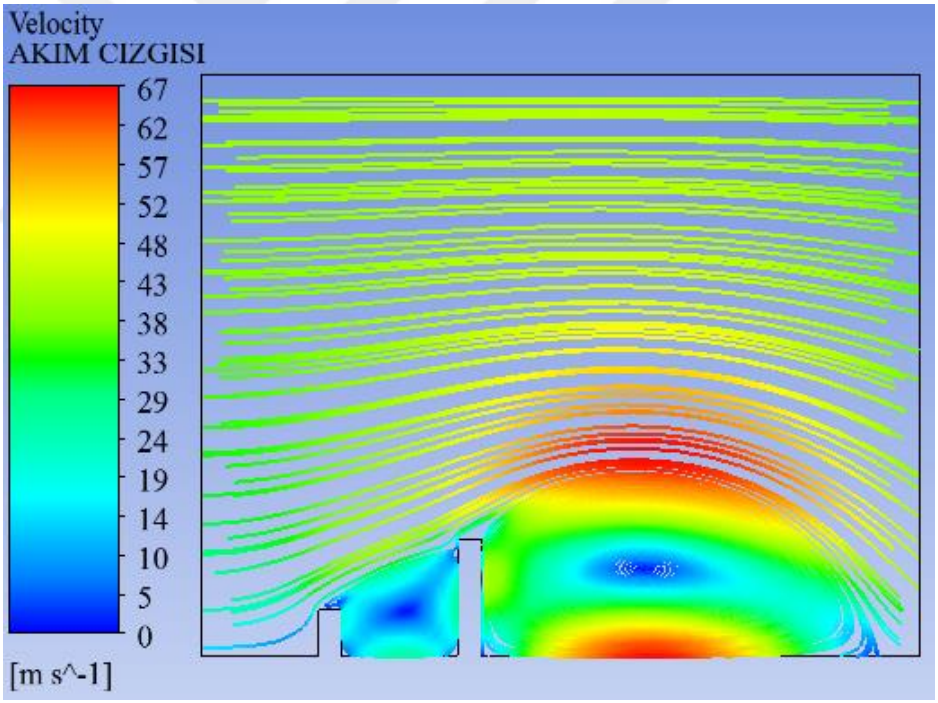
Şekil 7. 14 Model ikili-3 akış alanın basınç dağılımı



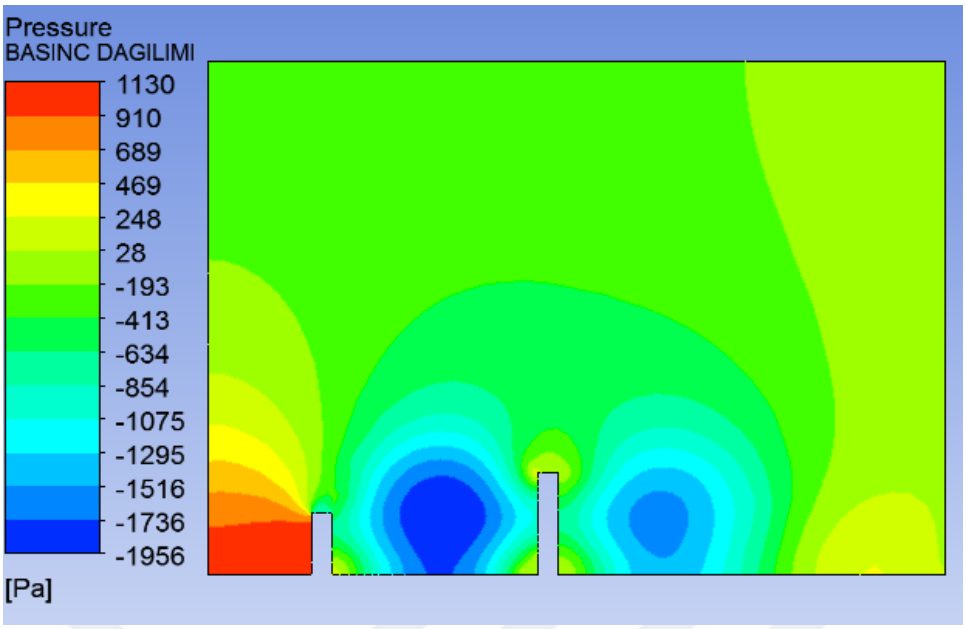
Şekil 7. 15 Model ikili-3 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



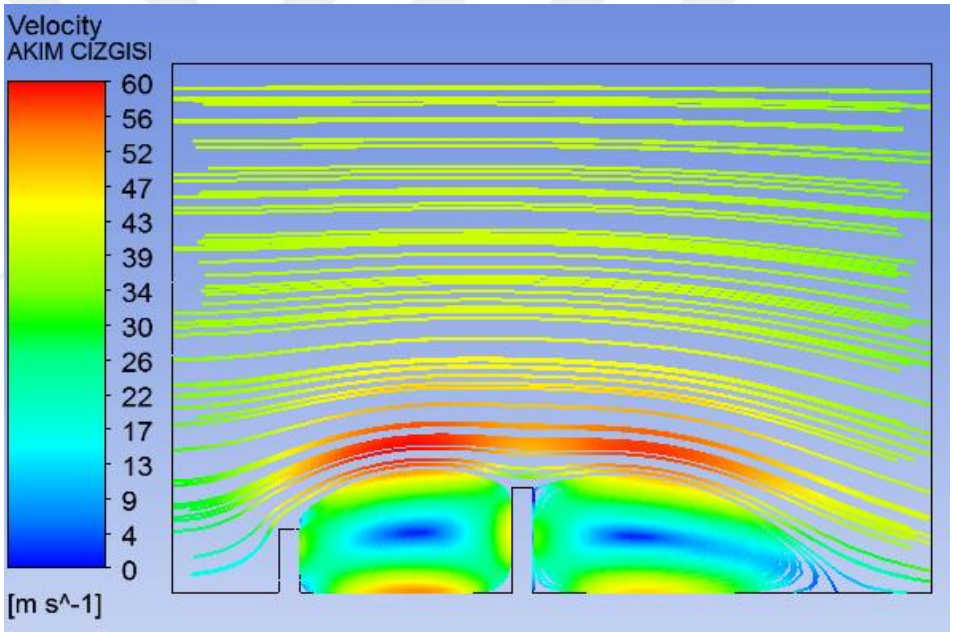
Şekil 7. 16 Model ikili-4 akış alanın basınç dağılımı



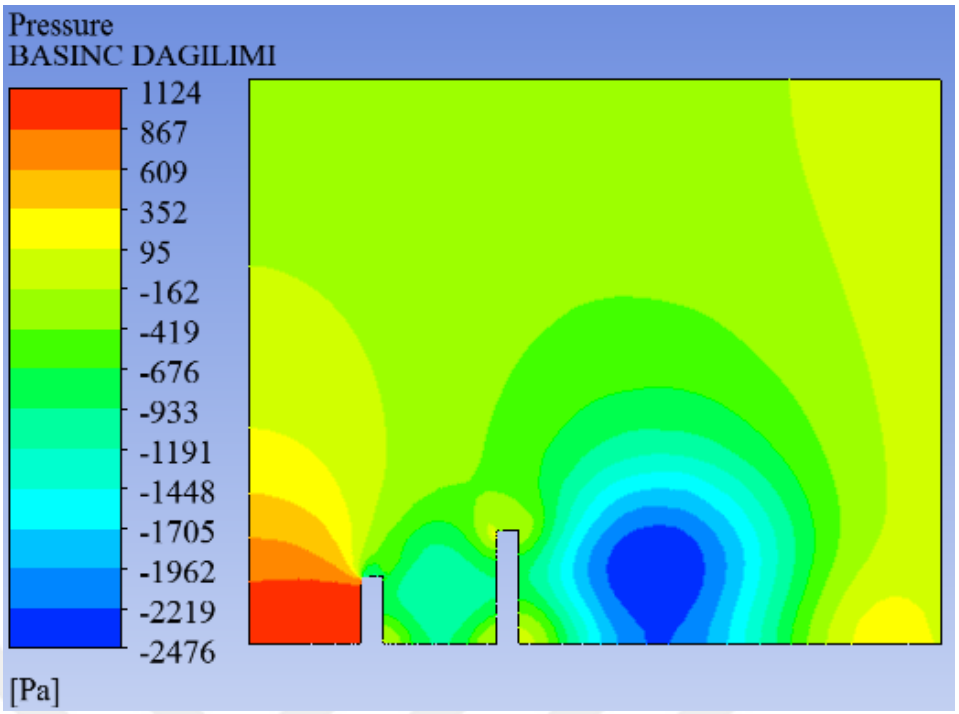
Şekil 7. 17 Model ikili-4 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



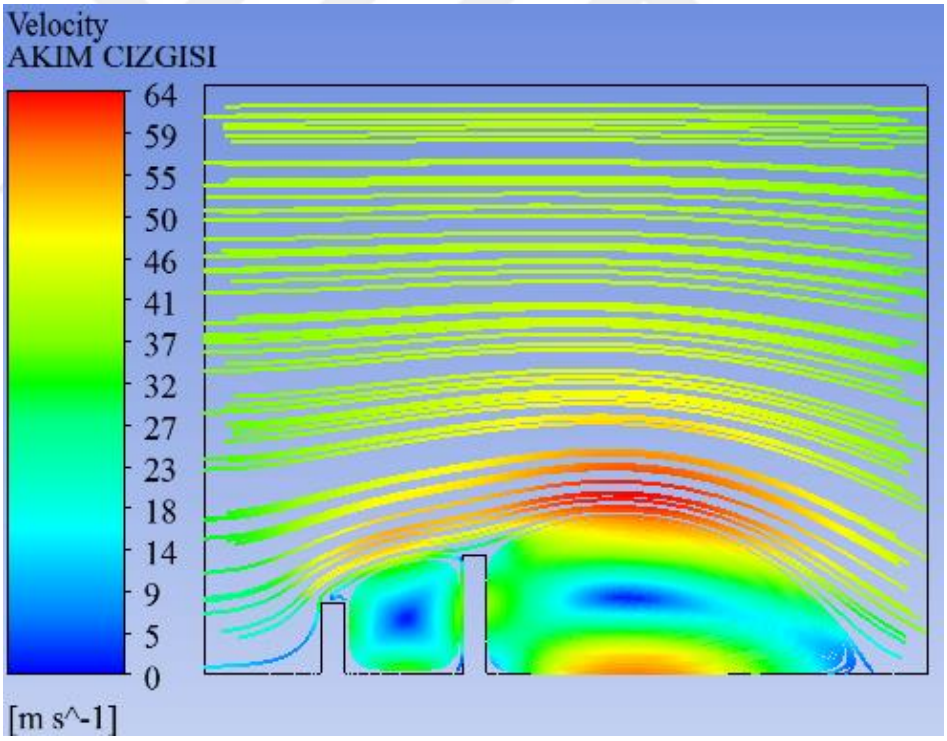
Şekil 7. 18 Model ikili-5 akış alanın basınç dağılımı



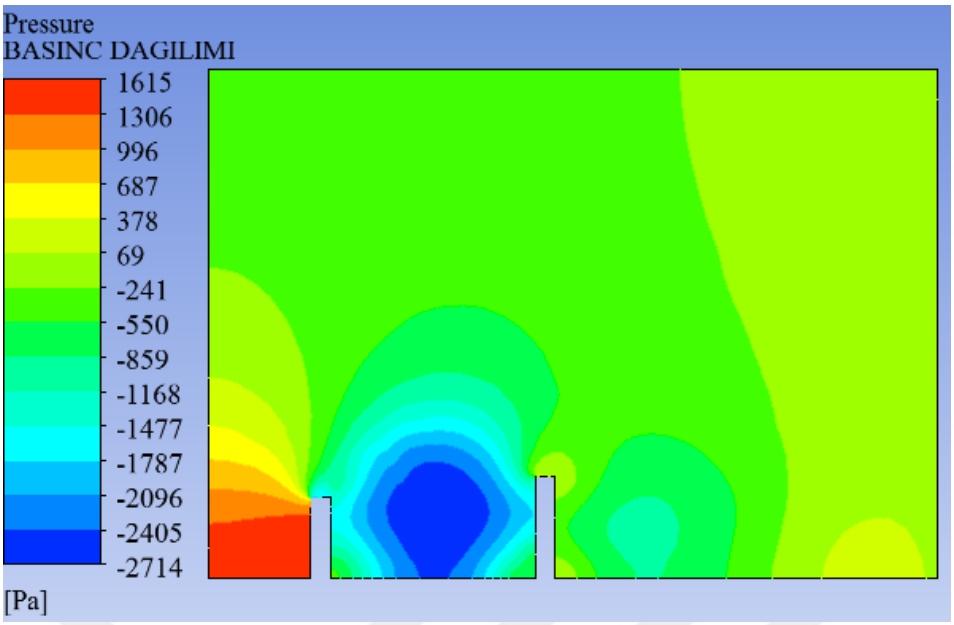
Şekil 7. 19 Model ikili-5 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



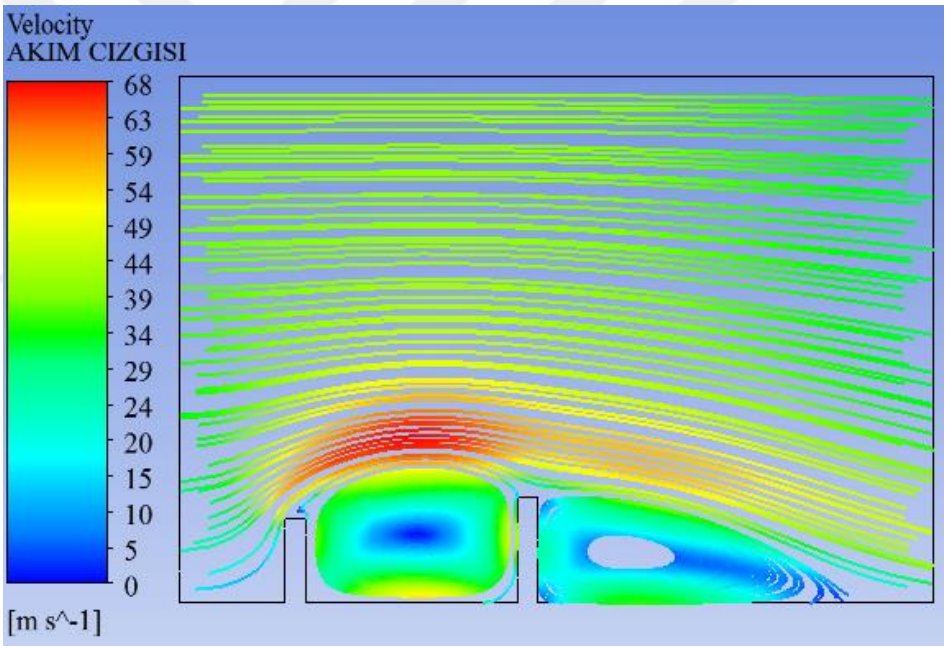
Şekil 7. 20 Model ikili-6 akış alanın basınç dağılımı



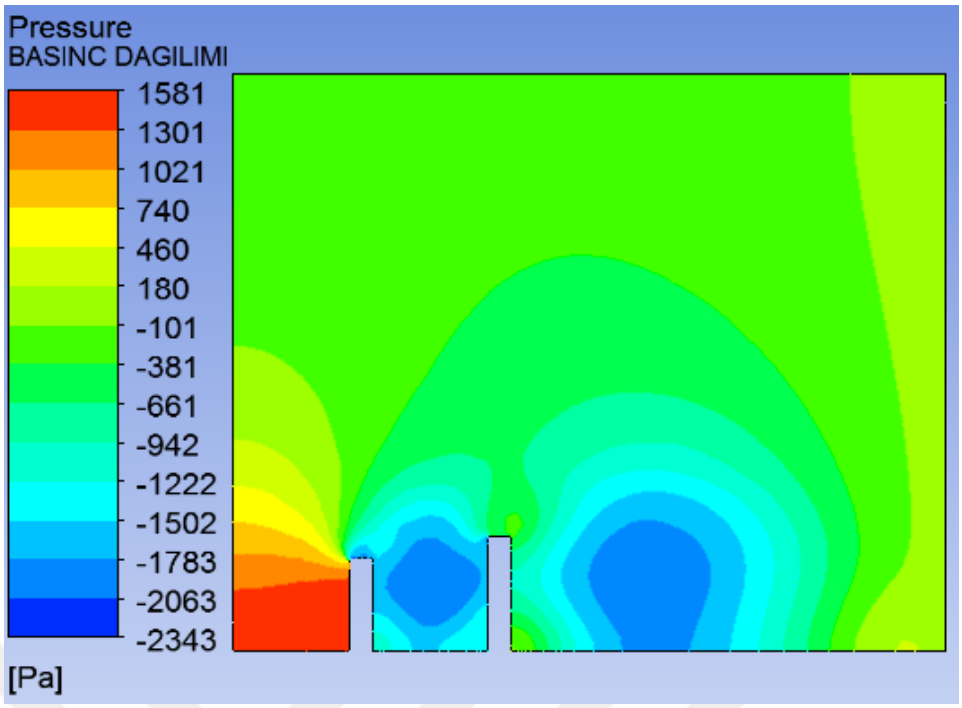
Şekil 7. 21 Model ikili-6 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



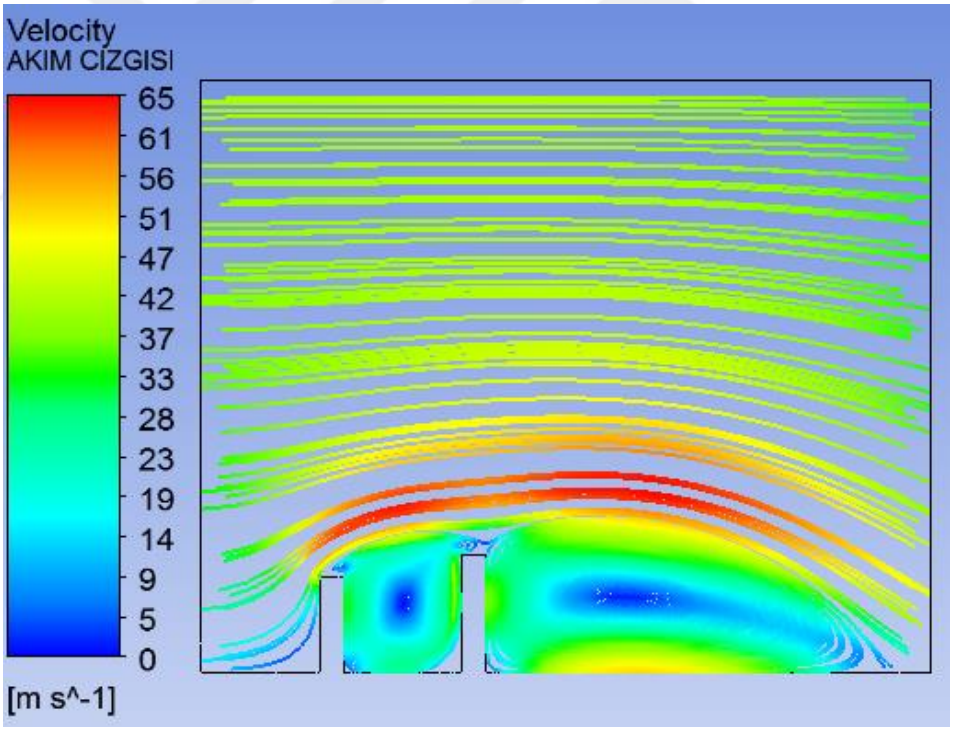
Şekil 7. 22 Model ikili-7 akış alanın basınç dağılımı



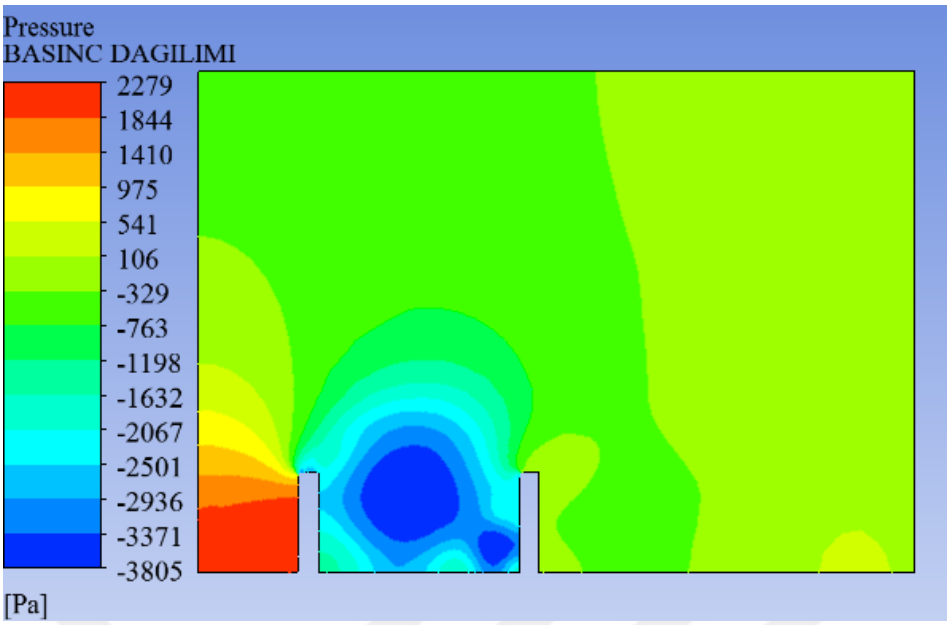
Şekil 7. 23 Model ikili-7 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



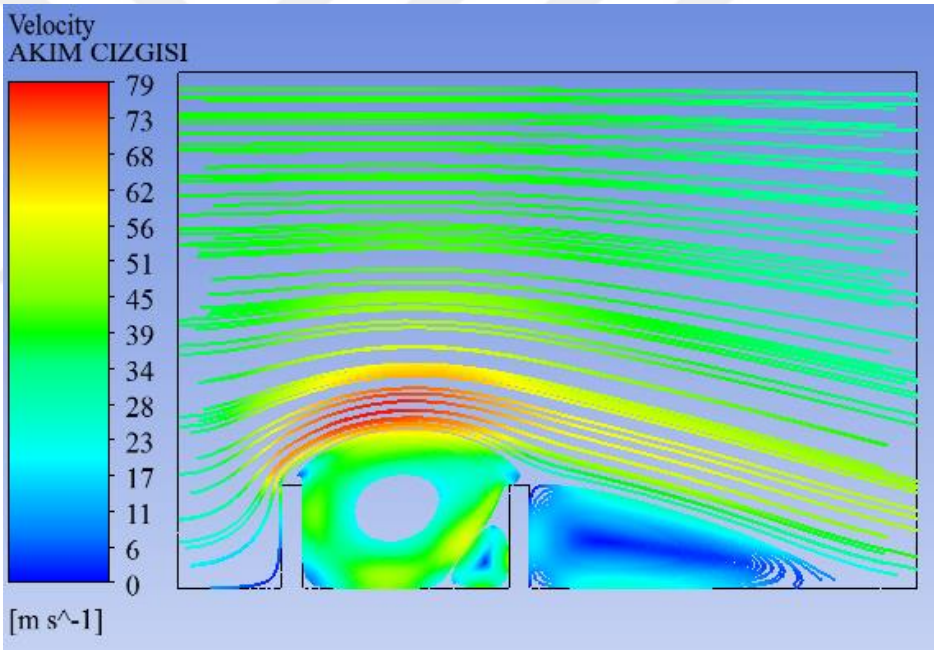
Şekil 7. 24 Model ikili-8 akış alanın basınç dağılımı



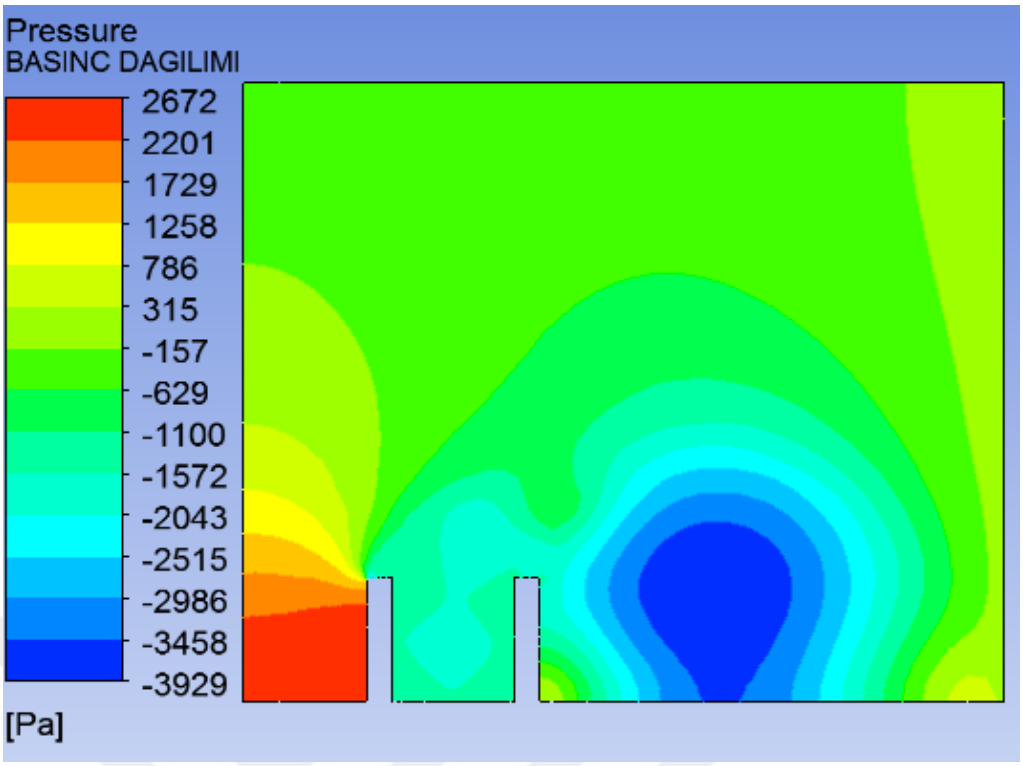
Şekil 7. 25 Model ikili-8 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



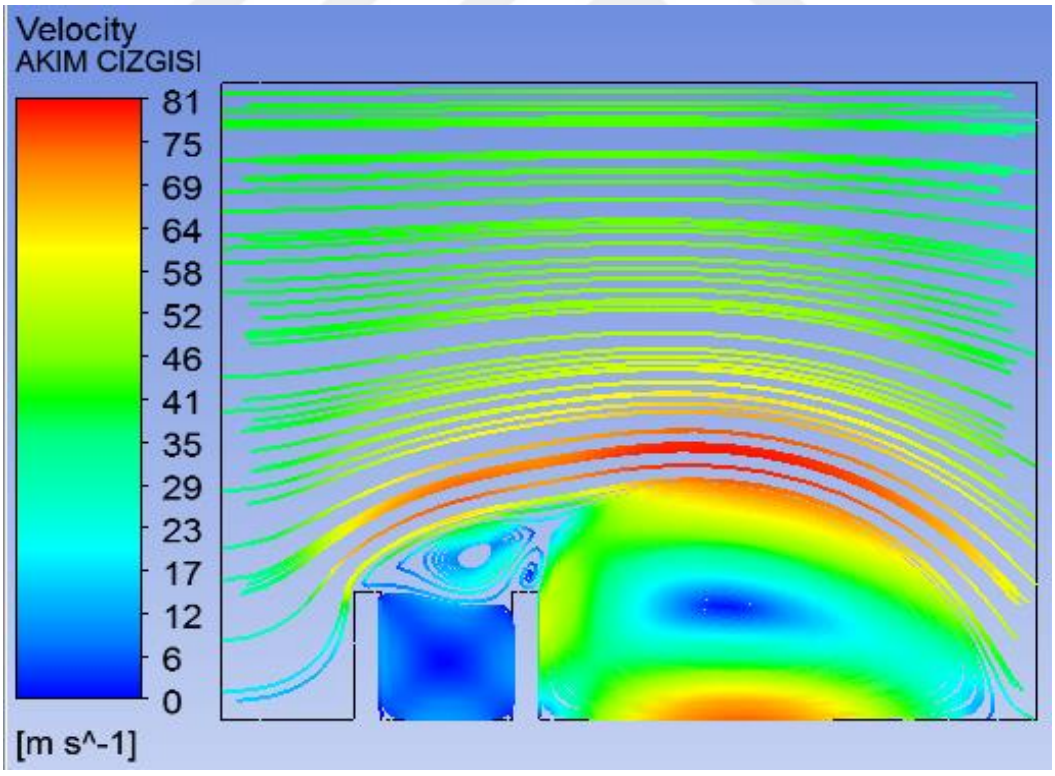
Şekil 7. 26 Model ikili-9 akış alanın basınç dağılımı



Şekil 7. 27 Model ikili-9 akış alanın akım çizgili hız dağılımı



Şekil 7. 28 Model ikili-10 akış alanın basınç dağılımı



Şekil 7. 29 Model ikili-10 akış alanın akım çizgili hız dağılımı

Analizi sonucunda edilen hız ve basınç dağılımları üzerinden sonuçlar irdelenecektir (bkz. Şekil 7.5 ~ Şekil 7.29). Bu dağılımlardan görünen akış alanlarında oluşan en büyük

pozitif basınç, en büyük negatif basınç ve en büyük hız değeri Çizelge 7.2'de verilmektedir. Bu sonuçlar sadece değerler üzerinden değil, bu değerlerin akış alanında dağılım oranı ve etkili oldukları konumlarında önemli olmaktadır.

Çizelge 7. 2 Analiz sonuçları çıkarımları

Model Adı	Akış Alanında Oluşan En Yüksek Pozitif Basınç (Pa)	Akış Alanında Oluşan En Yüksek Negatif Basınç (Pa)	Akış Alanında Hız Girişi- Oluşan En Yüksek Hız Değeri (m/s)
Tekli Yapı	638	-2642	62
İkili-1	639	-2681	61
İkili-2	995	-3060	67
İkili-3	837	-2198	60
İkili-4	987	-3172	67
İkili-5	1130	-1956	60
İkili-6	1124	-2476	64
İkili-7	1615	-2714	68
İkili-8	1581	-2343	65
İkili-9	2279	-3805	79
İkili-10	2672	-3929	81

Tekli model analizinden elde edilen sonuçlarda yapının rüzgâr alan ön kısmında pozitif basınç, yapının arka ve üst yüzeyinde negatif basınç oluşmaktadır. Bu tekli yapının ön kısmında bir aşağı akım etkisi olmadığı görülmektedir (Şekil 7.7). Buna karşın iki yapının olduğu tüm akım çizgili hız dağılımı analiz sonuçlarına bakıldığında, aynı yapının ön yüzeyinde aşağı akım etkisinin oluştuğu görülmektedir. Bu dağılımlar ikili modeller için sırasıyla Şekil 7.10, Şekil 7.13, Şekil 7.15, Şekil 7.17, Şekil 7.19, Şekil 7.21, Şekil 7.23, Şekil 7.25, Şekil 7.27 ve Şekil 7.29'da verilmektedir.

İkili-1 modeli ile tekli yapı analiz sonuçları karşılaştırıldığında, akış alanlarında oluşan en büyük basınçlar ve hızda önemli bir değişim görülmemektedir. Ancak 100 m yüksekliğindeki yapı etrafında oluşan basınç ve hız dağılımları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu yapının ön yüzeyinde oluşan en büyük basınç değerinin aynı kaldığı ancak dağılım oranın azaldığı görülmektedir. Bu yapının arka yüzeylerinde oluşan hız dağılımında büyük bir değişim oluşmamaktadır (bkz. Şekil 7.7 ve Şekil 7.10).

İkili-2 modeli ile tekli yapı analiz sonuçları karşılaştırıldığında, tekli oluşan basınç değerlerinde ve hızda değişim oluştuğu görülmektedir. İkili-2 modelinde 100 m yüksekliğindeki yapının ön yüzeyinde oluşan en büyük basınç, tekli modelde 100 m

yüksekliğindeki yapının ön yüzeyinde oluşan en büyük basınca göre yaklaşık 1.5 kat artmaktadır. İkili-2 modelinde 100 m yüksekliğindeki yapının arkasında oluşan en büyük negatif basınç, tekli modelde 100 m yüksekliğinde yapının arkasında oluşan en büyük negatif basınca göre yaklaşık 1.15 kat artmaktadır (bkz. Şekil 7.5 ve Şekil 7.11).

İkili-1 ve İkili-2 modelleri kendi aralarında değerlendirildiğinde, 100 m yüksekliğindeki yapının önüne 200 m mesafede yerleştirilen 20 m yüksekliğindeki yapının (model ikili-1) 100 m yüksekliğindeki yapıda oluşan en büyük basınçlar ve hızda önemli bir değişime sebep olmadığı görülmektedir. Ancak aynı 20 yüksekliğindeki 100 m mesafeye yerleştiğinde (model ikili-2) 100 m yüksekliğindeki yapıda oluşan en büyük basınçlar ve hızda önemli bir değişime sebep olduğu görülmektedir. Bu durum yapıların birbirlerine olan mesafelerinin rüzgâr etkilerinde doğrudan olarak etkili olduğunu göstermektedir.

Tüm analizlerin akış alanlarındaki pozitif basınçlar incelendiğinde Çizelge 7.2'deki görüldüğü gibi oluşan en küçük değerden en büyük değere doğru model isimleri yukarıdan aşağıya doğru sıralanmaktadır. Bu durum akış alanında önde bulunan ikinci yapının yüksekliği arttıkça veya yapılar arasındaki mesafesi azaldıkça akış alanında oluşan en büyük pozitif basıncın değerinin arttığını göstermektedir. İkili-1 ve ikili-2 modellerinde en büyük pozitif basınç değerinin her iki yapının ön yüzeylerinde oluştuğu görülmektedir (bkz. Şekil 7.8 ve Şekil 7.11). İkili-3, ikili-4, İkili-5 ve İkili-6 modellerinde oluşan en büyük pozitif basınç değerinin sadece öndeki yapının ön yüzeyinde görülmektedir. Arkadaki yapının ön yüzeyinin üst ve alt bölgelerinde en büyük değerden daha düşük değerde pozitif basınç dağılımı görünürken ön yüzeyinin orta bölümünde negatif basınç dağılımı görülmektedir (bkz. Şekil 7.14, Şekil 7.16, Şekil 7.18 ve Şekil 7.20). İkili-7, ikili-8, İkili-9 ve İkili-10 modellerinde en büyük pozitif basınç değerinin sadece öndeki yapının ön yüzeyinde görülmektedir. Arkadaki yapının ön yüzeyinde ise sadece negatif basınç dağılımı görülmektedir. Bu modellerde (İkili-7, ikili-8, İkili-9 ve İkili-10) önde bulunan yapılar 80 m ve 100 m yüksekliğindeyken arkadaki yapı 100 m yüksekliğindedir. Analizden çıkan sonuçlara göre önceki yapının yüksekliği arkadaki yapıya eşit ve yakınken arkadaki yapının ön yüzeyinde negatif basınç etkilerinin oluşabileceğini göstermektedir (bkz. Şekil 7.22, Şekil 7.24, Şekil 7.26 ve Şekil 7.28).

Tüm analizlerin akış alanlarında oluşan negatif basınçlar incelendiğinde; tek yapı bulunması durumunda yapının üst yüzeyi, arka yüzeyi ve rüzgârın yapı terk ettiği arka bölgede negatif basınçlar görülmektedir. En büyük negatif basınç değerini yapının yüzeyinde değil rüzgârın yapıları terk ettiği arka bölgesinde görülmektedir (bkz. Şekil 7.8). İkili-1 modelinde iki yapı arasındaki bölge, arkadaki yapının üst yüzeyi, arkadaki yapının arka yüzeyi ve rüzgârın yapı terk ettiği arka bölgede negatif basınç dağılımı görülmektedir. En büyük negatif basınç değerini arkadaki yapının yüzeyinde değil rüzgârın yapıları terk ettiği arka bölgede görülmektedir (bkz. Şekil 7.8). İkili-2 modelinin ikili-1 modelinden tek farkı iki yapı arasındaki bölgede negatif basınç dağılımına sahip olmamasıdır (bkz. Şekil 7.11). İkili-3 modelinde öndeki yapının üst yüzeyi, öndeki yapının arka yüzeyi, iki yapı arasındaki bölge, arkadaki yapının üst yüzeyi, arkadaki yapının arka yüzeyi ve rüzgârın yapıları terk ettiği arka bölgede negatif basınç dağılımı görülmektedir. En büyük negatif basınç değerini arkadaki yapının yüzeyinde değil rüzgârın yapıları terk ettiği arka bölgede görülmektedir (bkz. Şekil 7.14). İkili-4 modelinin ikili-3 modelinden tek farkı öndeki yapı yüzeylerinde negatif basınç dağılımına sahip olmamasıdır (bkz. Şekil 7.16). İkili-5 modelinde öndeki yapının üst yüzeyi, öndeki yapının arka yüzeyi, iki yapı arasındaki bölge, arkadaki yapının tüm yüzeylerinde ve rüzgârın yapıları terk ettiği arka bölgede negatif basınç dağılımı görülmektedir. En büyük negatif basınç değerini iki yapı arasındaki bölgede görülmektedir (bkz. Şekil 7.18). İkili-6 modelinin ikili-5 modelinden tek farkı negatif basıncın en büyük değerinin rüzgârın yapıları terk ettiği arka bölgede görülmesidir (bkz. Şekil 7.20). İkili-7 ve İkili-9 modellerinin değerlendirmesi ikil-5 modeli değerlendirmesi ile aynıdır (bkz. Şekil 7.22 ve Şekil 7.26). İkili-8 modelinde öndeki yapının üst yüzeyi, öndeki yapının arka yüzeyi, iki yapı arasındaki bölge, arkadaki yapının tüm yüzeylerinde ve rüzgârın yapıları terk ettiği arka bölgede negatif basınçlar görülmektedir. En büyük negatif basınç değerini hem iki yapı arasındaki bölgede hem de rüzgârın yapıları terk ettiği arka bölgede görülmektedir (bkz. Şekil 7.24). İkili-10 modelinin değerlendirmesi ikil-3 modeli değerlendirmesi ile aynıdır (bkz. Şekil 7.28).

İkili-9 ve ikili-10 modellerinde 100 m yüksekliğindeki yapının önüne sırasıyla 200 m ve 100 m mesafede yine 100 m yüksekliğinde yapı yerleştirilerek yapılan analiz modelleridir. Akış alanlarındaki ilk 100 m yüksekliğindeki yapıların ön yüzeylerinde

aşağı akım etkisi görülmezken aynı yükseklikte akış alanında arkada bulunana yapının ön yüzeyinde aşağı akım etkisi oluşmaktadır. Önde bulunan yapının ön yüzeyi komşu yapı etkisinde değilken arkadaki yapının rüzgâr tesirleri komşu yapı etkisindedir. Bu örnekle komşu yapıların yapılar üzerindeki rüzgâr etkilerini etkilediğini çok net bir şekilde görülmektedir (bkz. Şekil 7.7, Şekil 7.27 ve Şekil 7.29).

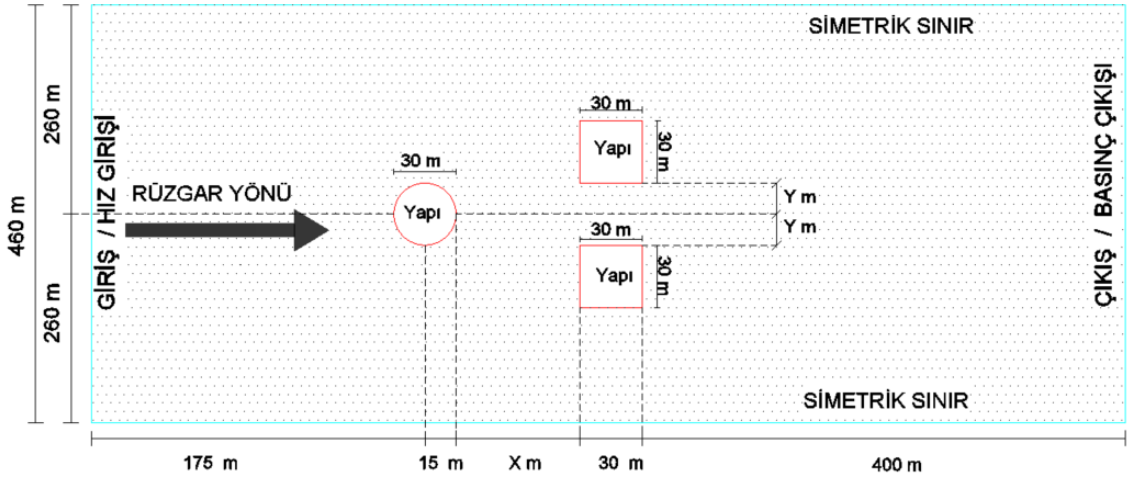
BÖLÜM 8

YAPILAN ÇALIŞMALAR: AKIŞ ALANINDA BULUNAN ÜÇ KOMŞU YAPININ ÜZERİNDEKİ RÜZGÂR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

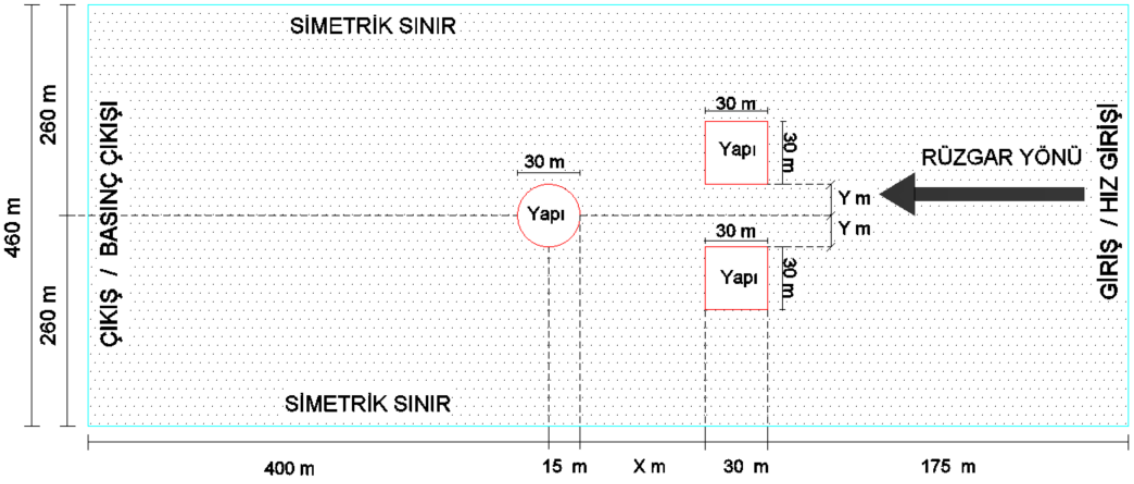
Bu bölümde günümüzde çok sık karşılaştığımız yapı kompleksleri düşünülerek, aynı yerleşim bölgesinde yapılan biri dairesel planlı ikisi kare planlı üç yüksek yapının belirli yükseklikleri için iki boyutlu HAD analizi yapılacaktır. İkisi kare planlı birisi dairesel planlı üç yapının birbirilerine olan mesafeleri değiştirilerek yaya seviyesinde ve 60 m yüksekliğinde ortaya çıkan plan görünüşleri üzerinden oluşturulan akış alanlarının iki boyutlu HAD analizi yapılarak sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

8.1 Yapı Geometrileri ve Akış Alanı

Dairesel planlı çapı 30 m olan yapı ile genişlikleri 30 m olan kare planlı 2 yapının birbirlerine olan mesafeleri değiştirilerek farklı plan görünüşleri elde edilmektedir. Ortaya çıkan bu görünüşlerden oluşturulan akış alanlarının yaya seviyesinde ve 60 m yüksekliğini temsil eden hız girişleri ile iki boyutlu HAD analizleri yapılacaktır. Yapılarının birbirlerine olan mesafeleri, rüzgârın hareket yönü, analiz yapılacak yükseklik seviyesi ve analiz hız girişine göre oluşacak 6 farklı akış alanının analizi yapılacaktır. Analiz modelleri ile ilgili bilgiler Şekil 8.1, Şekil 8.2 ve Çizelge 8.1'de verilmektedir. Çizelge 8.1'de verilen model-1, model-2, model-3 ve model-4 için oluşturan akış alanı Şekil 8.1'de verilmektedir. Bu modeller yapıların birbirlerine olan mesafeleri değiştirilerek rüzgâr hareketinin ilk olarak dairesel planlı yapıya etkidiği durumu temsil etmektedir. Çizelge 8.1'de verilen model-5 ve model-6 için oluşturulan akış alanı Şekil 8.2'de verilmektedir.



Şekil 8. 1 Akış alanı-1 (verilen mesafeler ölçeksizdir.)



Şekil 8. 2 Akış alanı-2 (verilen mesafeler ölçeksizdir.)

Çizelge 8. 1 Analizi yapılacak modellerin özellikleri

Model Adı	X Mesafesi (m)	Y Mesafesi (m)	Analiz Kotu	Hız Girişi (m/s)	Akış Alanı
Model-1	100	60	Yaya	15	Şekil 8. 1
Model-2	100	60	60 m	40	Şekil 8. 1
Model-3	20	20	Yaya	15	Şekil 8. 1
Model-4	20	20	60 m	40	Şekil 8. 1
Model-5	20	20	Yaya	15	Şekil 8. 2
Model-6	20	20	60 m	40	Şekil 8. 2

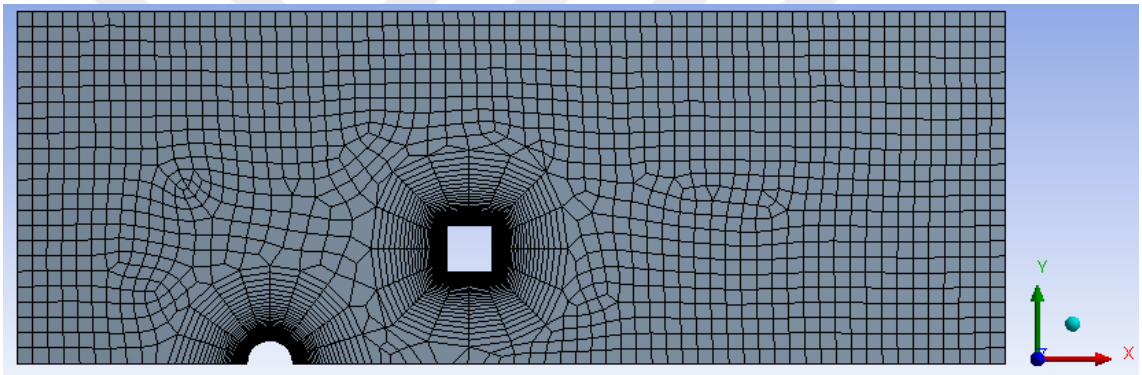
Akış alanlarında, yapı sınırının hava ortamı giriş sınırına en kısa mesafe yapı genişliğinin minimum 5 katı, ilk yapı sınırından hava ortamı çıkış sınırına en kısa mesafe yapı genişliğin yaklaşık 20 katı olarak belirlenmektedir. Yapı sınırlarından yan sınırlara olan mesafesi yapı genişliğinin yaklaşık 5 katı olarak belirlenmektedir. Belirlenen hava

ortamının boyutlarının ve yapıya olan mesafelerinin belirlenmesinde literatürden yararlanılmıştır [5], [15], [33].

Hız girişi olarak Eurocode 1 arazi kategorisi-4 (bkz. Şekil 5.15) hız fonksiyondan yararlanılarak yaya seviyesinde ve 60 m yüksekliğindeki hızlar bulunarak analiz hız girişi olarak kullanılacaktır. Bu hızlar yaya seviyesinde 15 m/s ve 60 m yüksekliğinde 40 m/s olarak belirlenmektedir.

8.2 Ağ yapısı ve Analiz Opsiyonları

Hava ortamından yapı sınırına doğru gidildikçe ağ yapısı kaba ağdan daha ince ağa doğru oluşmaktadır. Akış alanı ağ yapısı Şekil 8.3'de verilmektedir. Tüm akış alanlarında benzer özelliklerde ağ yapısı kullanılmıştır.

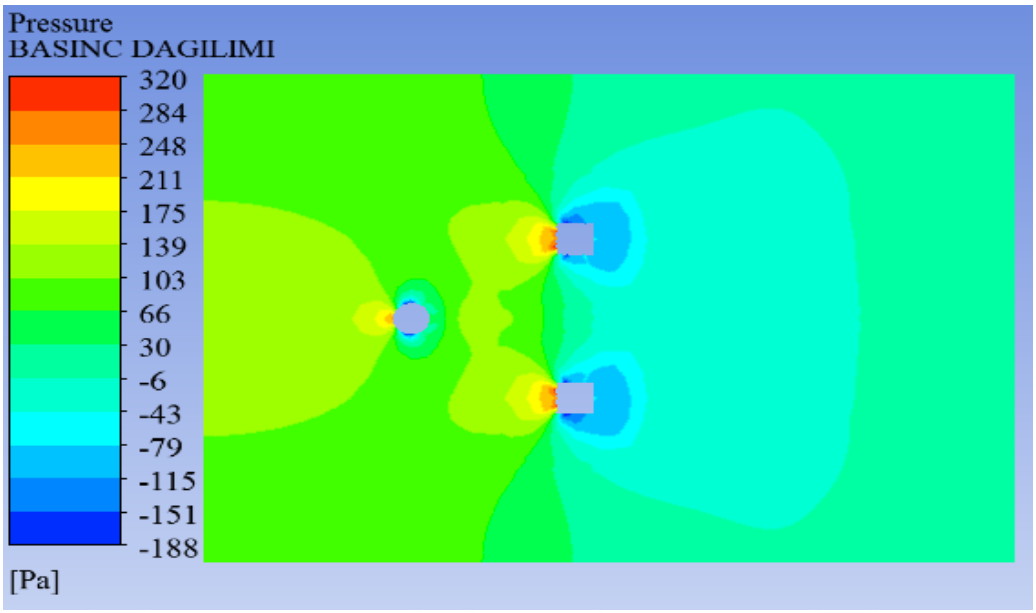


Şekil 8. 3 Ağ yapısı (x ekseninden simetriktir.)

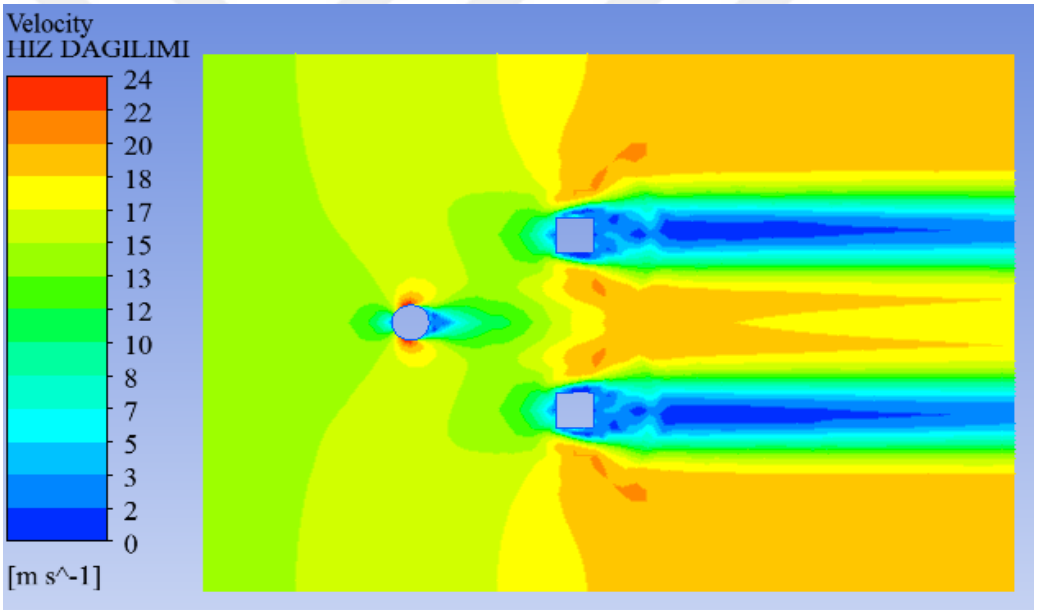
Analizlerde kullanılan türbülans modeli, "k–£ Realizable" dir. Çözüm metodu için hız basınç ilişkilerinde "Simple algoritması" seçilmiştir. Ayrıklaştırma çözümlerinde; Basınç için "Standart", Momentum-Türbülans Kinetik Enerjisi-Türbülans Dağılım Oranı için "Second-Order Upwind Scheme", Grandyan için "Green–Gauss Node Based" kullanılmıştır. Süreklilik, momentum denklemleri ile k ve £ (epsilon) denklemleri sonuçları için normalize edilmiş artıkların farkı 10^{-6} mertebesinden daha az olması çözüm yakınsama kriteri olarak dikkate alınmıştır.

8.3 Sayısal Sonuçların İrdelenmesi

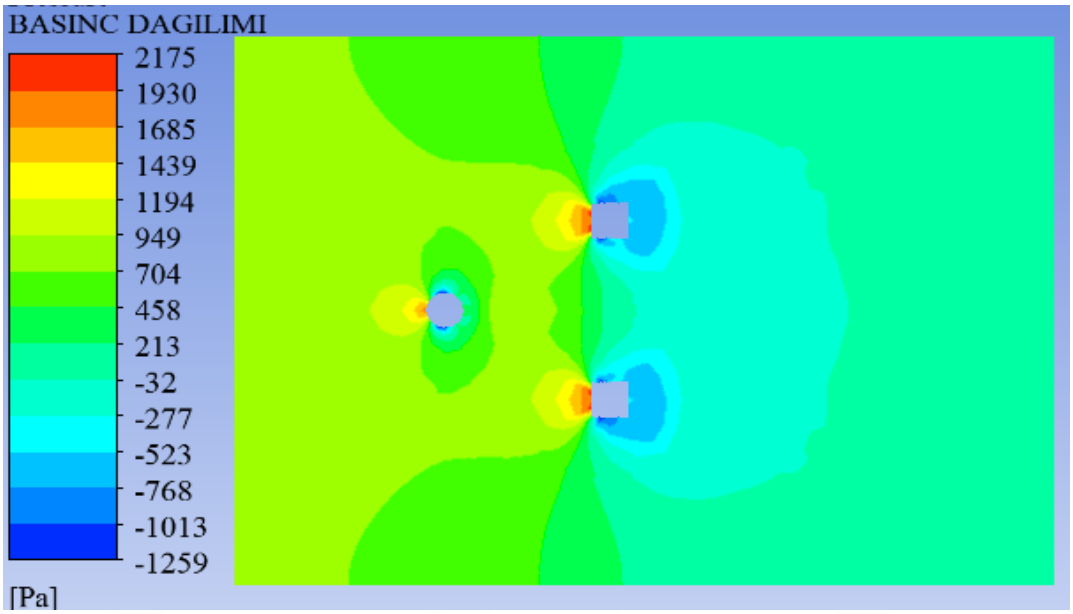
Her bir model için yapılan analizlerden elde edilen basınç dağılımları ve hız dağılımları aşağıda verilmektedir.



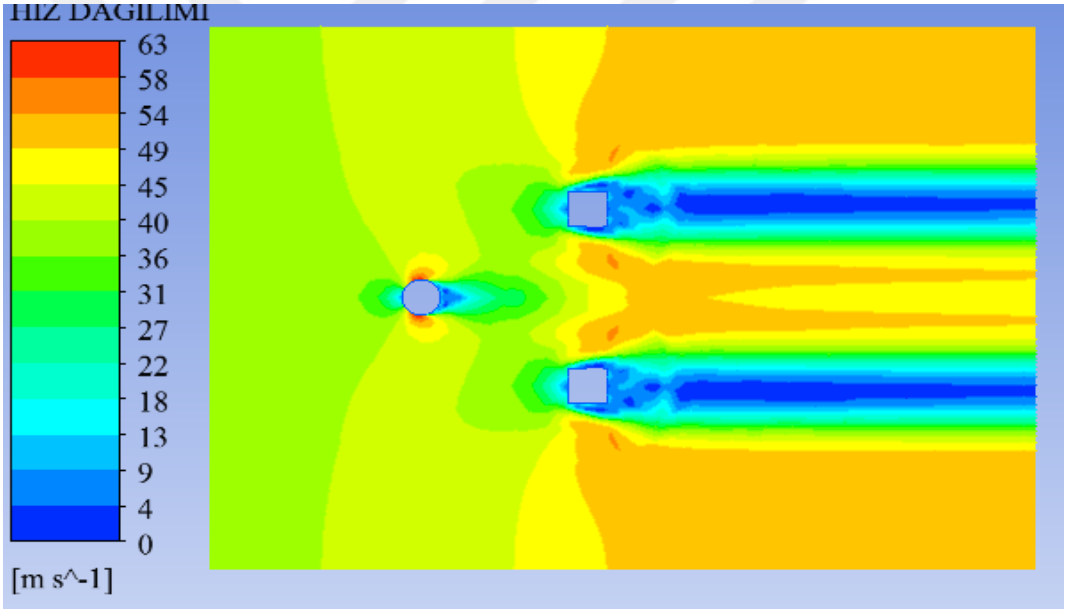
Şekil 8. 4 Model-1 basınç dağılımı



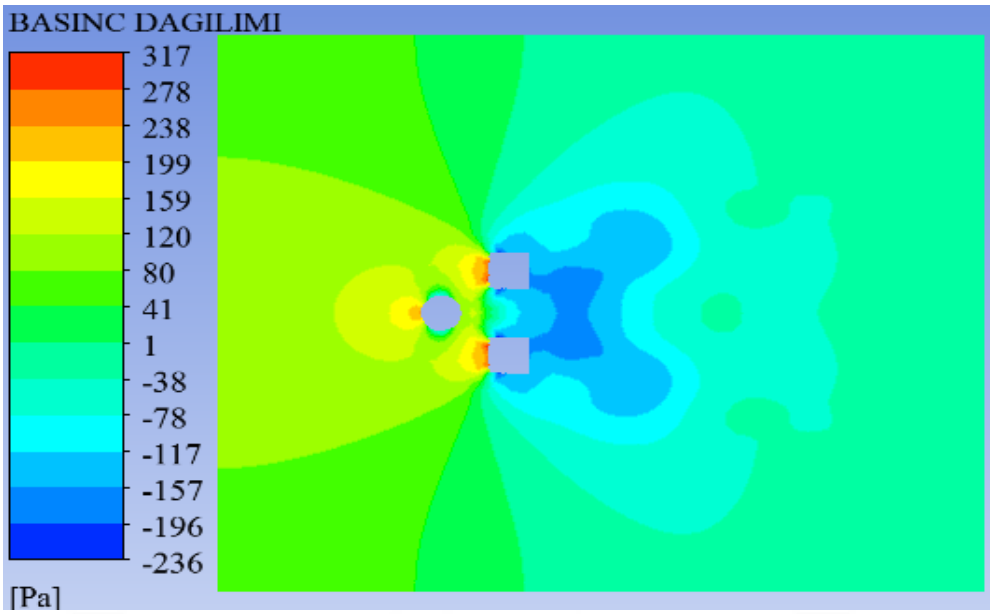
Şekil 8. 5 Model-1 hız dağılımı



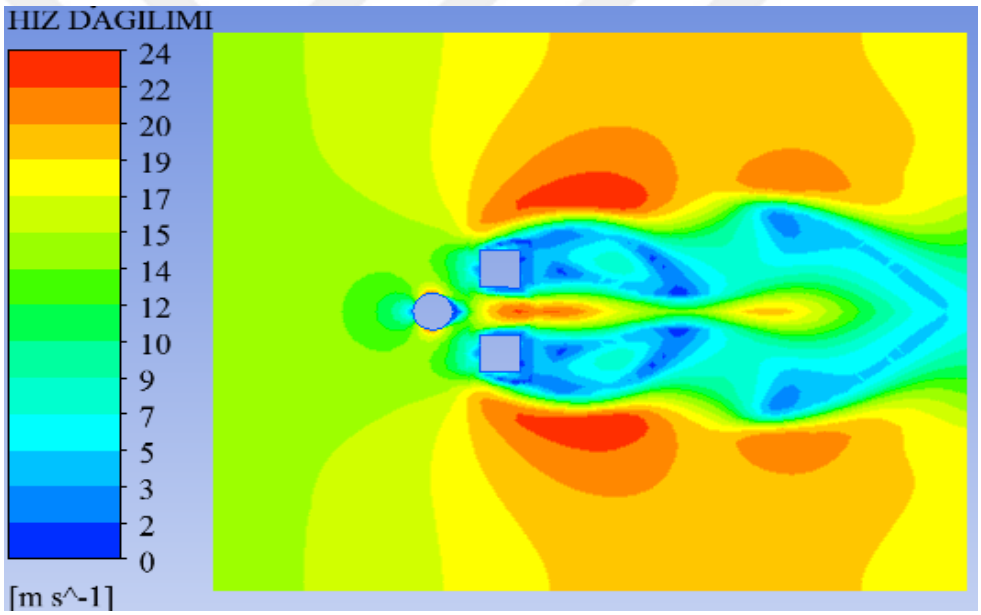
Şekil 8. 6 Model-2 basınç dağılımı



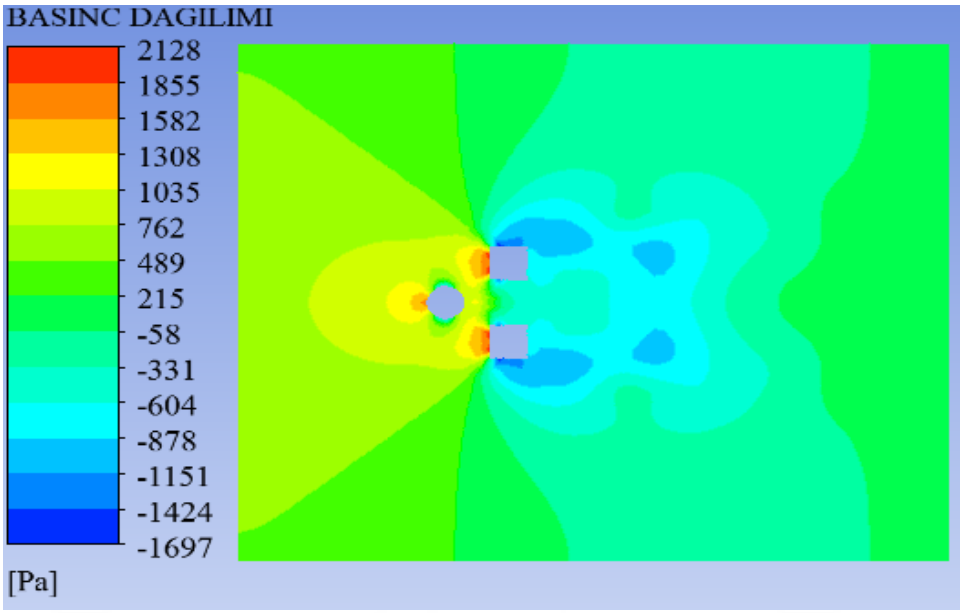
Şekil 8. 7 Model-2 hız dağılımı



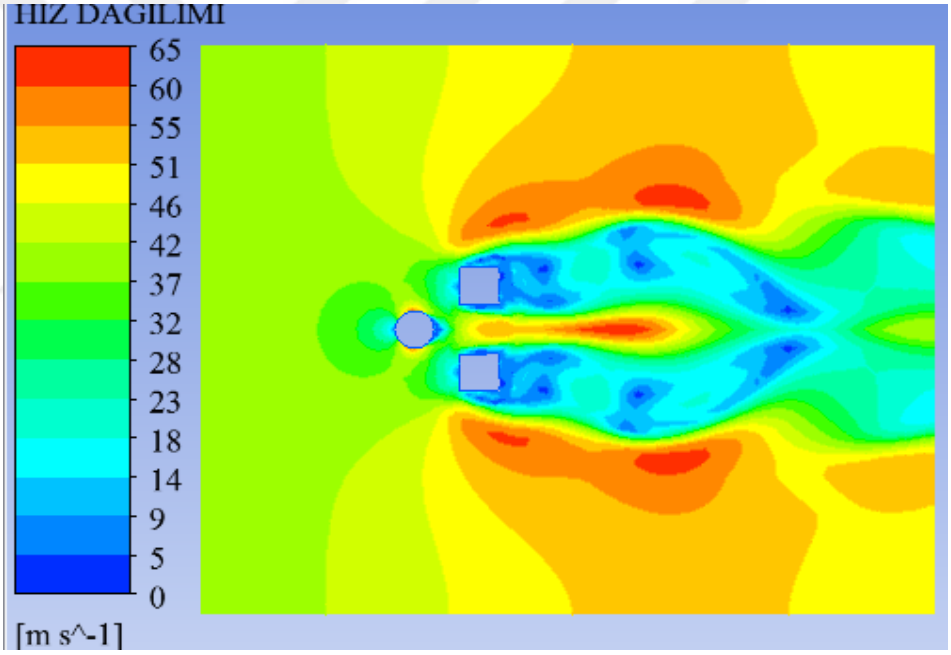
Şekil 8. 8 Model-3 basınç dağılımı



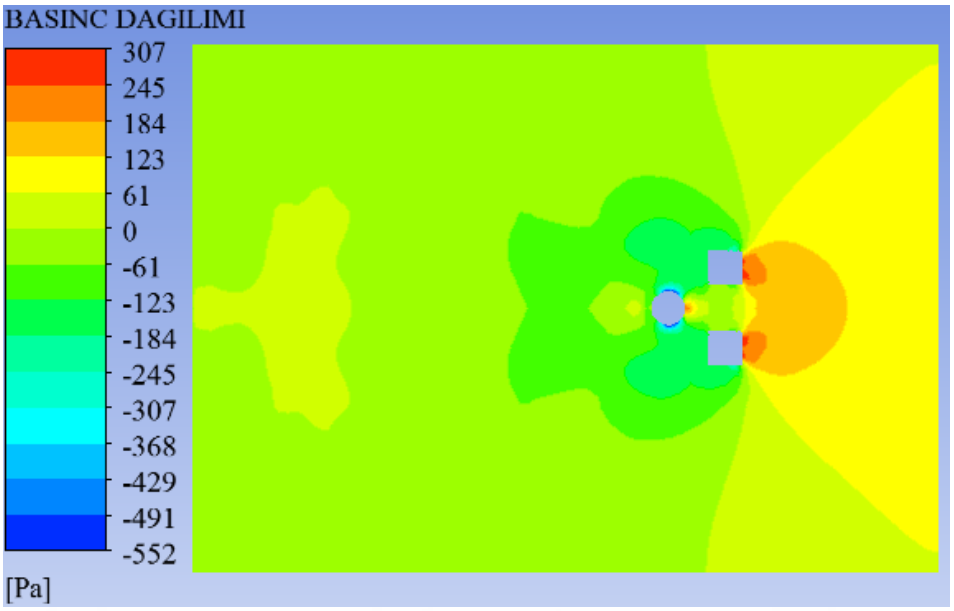
Şekil 8. 9 Model-3 hız dağılımı



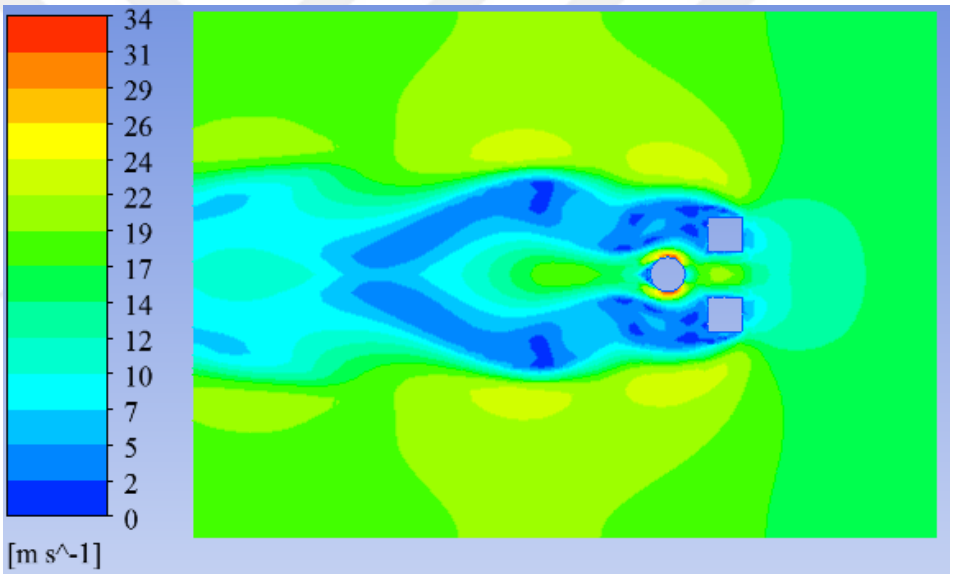
Şekil 8. 10 Model-4 basınç dağılımı



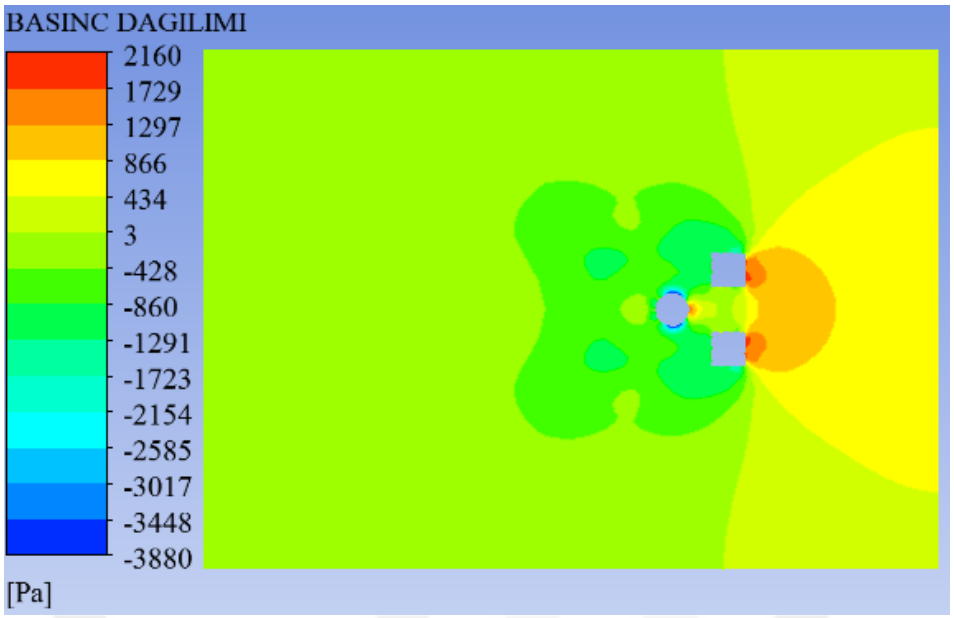
Şekil 8. 11 Model-4 hız dağılımı



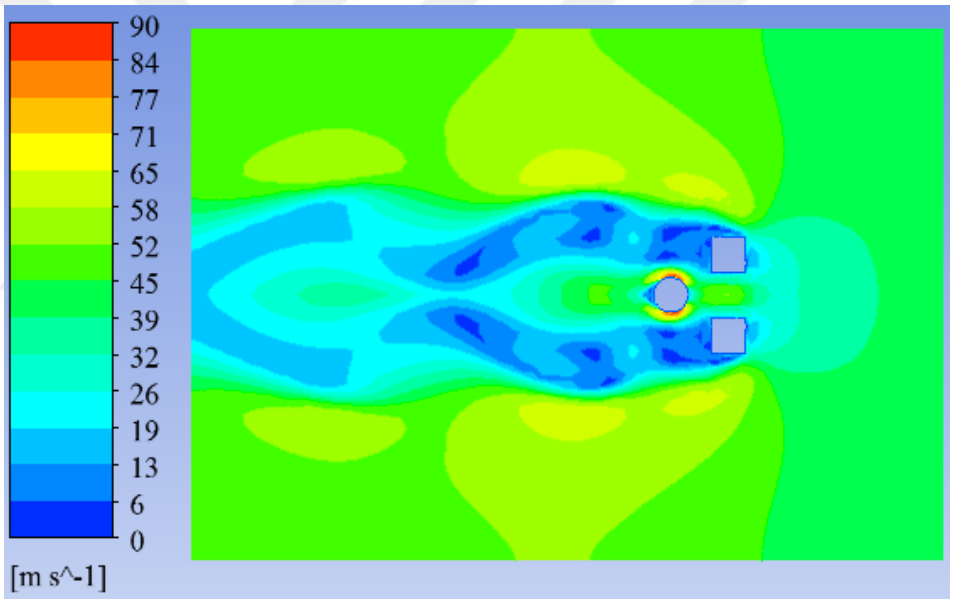
Şekil 8. 12 Model-5 basınç dağılımı



Şekil 8. 13 Model-5 hız dağılımı



Şekil 8. 14 Model-6 basınç dağılımı



Şekil 8. 15 Model-6 hız dağılımı

Analiz sonuçlarından elde edilen hız ve basınç dağılımları üzerinden sonuçlar irdelenecektir (bkz. Şekil 8.4 ~ Şekil 8.15). Bu dağılımlardan elde edilen, akış alanı en büyük pozitif basınç, en büyük negatif basınç ve oluşan en büyük hız değeri Çizelge 8.2'de verilmektedir. Bu sonuçlar sadece değerler üzerinden değil, bu değerlerin akış alanında dağılım oranı ve etkili oldukları konumları da önemli olmaktadır.

Model-1 ve model-3 sonuçları kendi arasında değerlendirildiğinde; bu modellerde hız girişleri (yaya seviyesi) aynı olmasına karşı yapılar arasındaki mesafe model-3'de daha

azdır. Akış alanlarında oluşan en büyük negatif basınç değerleri karşılaştırıldığında model-1 sonucuna göre model-3 sonucunun %25,5 daha büyük değerde olduğu görülmektedir. Bu durum doğrudan olarak yapıların model-3'de birbirlerine daha yakın olmalarından kaynaklanmaktadır. Pozitif basınç değerlerinde ise önemli bir fark bulunmamıştır. Model-1'de oluşan basınç dağılımı incelendiğinde yapıların birbiri üzerinde oluşan basınç etkilerini etkilemediği görülmektedir. Ancak yapıların birbirlerine daha yakın olduğu model-3'de oluşan basınç dağılımı incelendiğinde yapıların birbiri üzerinde oluşan basınç etkilerini etkilediği görülmektedir. Bu durumda doğrudan olarak yapıların model-3'de yapıların birbirlerine daha yakın olmalarından kaynaklanmaktadır. Akış alanlarında oluşan hız dağılımları incelendiğinde oluşan en büyük hız değenlerinin aynı olduğu görülmektedir. Ancak bu en büyük hızların akış alanlarında etkidiği yerler ve dağılım oranlarında net bir farklılık görülmektedir (bkz. Şekil 8.5 ve Şekil 8.9). Model-1'de en büyük hız değeri yapıların yanlarında küçük bir alanda görülmektedir. Ancak Model-3'de en büyük hız değeri özellikle kare planlı yapıların birbirlerine komşu yüzeyleri arasındaki bölgede ve komşu olmayan yüzeylerin bulunduğu bölgelerde büyük bir alanda etki etmektedir. Bu bölgeler Şekil 8.9 üzerinden incelendiğinde, günümüzde büyük alış-veriş merkezleri ve site gibi yapılarının mimari çalışmalarına göre tam olarak yayaların en etkin şekilde bulunduğu bölgelerdir. Bu durum yayalar için oldukça konforsuz hatta tehlikeli durumlara yol açabilmektedir. Bu durumun yapıların birbirlerine olan mesafeleri ile doğrudan ilişkili olduğu net bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 8. 2 Analiz sonuçları çıkarımları

Model Adı	Akış Alanında Oluşan En Yüksek Pozitif Basınç (Pa)	Akış Alanında Oluşan En Yüksek Pozitif Basınç (Pa)	Akış Alanında: Hız Girişi- Oluşan En Yüksek Hız Değeri (m/s)
Model-1	320	-188	15-24
Model-2	2175	-1259	40-63
Model-3	317	-236	15-24
Model-4	2128	-1697	40-65
Model-5	307	-552	15-34
Model-6	2160	-3880	40-90

Model-2 ve model-4 sonuçları kendi arasında değerlendirildiğinde; bu modellerde hız girişleri (60 m yükseklikteki) aynı olmasına karşı yapılar model-4'de birbirine daha

yakındır. Akış alanında oluşan en büyük negatif basınç değerleri karşılaştırıldığında model-2 sonucuna göre model-4 sonuçları %35 daha büyük değerde olduğu görülmektedir. Bu durum direk olarak yapıların model-4'de yapıların birbirlerine daha olmasından kaynaklanmaktadır. Pozitif basınç değerlerinde ise önemli bir fark bulunmamıştır. Model-2'de oluşan basınç dağılımı incelendiğinde yapıların birbiri üzerinde oluşan basınç etkilerini etkilemediği görülmektedir. Ancak yapıların birbirlerine daha yakın olduğu model-4'de oluşan basınç dağılımı incelendiğinde yapıların birbiri üzerinde oluşan basınç etkilerini etkilediği görülmektedir. Bu durumda direk olarak yapıların model-4'de yapıların birbirlerine daha olmasından kaynaklanmaktadır. Akış alanlarında oluşan hız dağılımları incelendiğinde oluşan en büyük hız değenlerinin aynı olduğu görülmektedir. Ancak bu en büyük hızların akış alanlarında etkili olduğu yerler ve dağılım oranlarında net bir farklılık görülmektedir (bkz. Şekil 8.7 ve Şekil 8.11). Model-2'de en büyük hız değeri yapıların yanlarında küçük bir alanda görülmektedir. Ancak model-4'de en büyük hız değeri özellikle arkadaki kare yapıların birbirlerine komşu yüzeyleri arasındaki bölgede ve komşu olmayan yüzeylerin bulunduğu bölgelerde büyük bir alanda etki etmektedir.

Negatif basınç yaya seviyesindeki analizlerde (model-1 ve model-3) yapıların birbirlerine yakın olan modelde diğer modele göre %25,5 artış gösterirken, 60 m seviyesinde yapılan analizlerde (model-2 ve model-4) benzer karşılaştırma ile %35 artış gösterdiği görülmektedir. Bu artış oranının yüksek seviyede rüzgâr hızının değerinin yüksek olması ve basınç dağılımlarının hızın karesi ile oranlı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır. Yüksek seviyelerde artan bu olumsuz durumların özellikle yüksek yapılar için ihmal edilmemesi gereken önemli bir durumdur.

Model-5 ve model-3 aynı geometrik özelliklerde yaya seviyesinde yapılan analizlerdir. Bu modeller arasındaki fark rüzgârın hareket yönünün 180° farklı doğrultuda olmasıdır. Benzer şekilde model-6 ve model-4 aynı geometrik özelliklerde 60 m yüksekliğinde yapılan analizlerdir. Aynı şekilde bu modeller arasındaki fark yine rüzgârın hareket yönünün 180° farklı doğrultuda olmasıdır.

Model-3 ve model-5 sonuçları kendi arasında değerlendirildiğinde; akış alanında oluşan en büyük pozitif basınç değerlerinde büyük bir fark bulunmamaktadır. Ancak model-

5’de oluşan en büyük negatif basınç değerleri model-3’de oluşana göre 2,3 kat daha fazla oluşmaktadır (bkz. Şekil 8.8 ve Şekil 8.12). Her iki modelde yapılan analizlerde rüzgârın geldiği yöne göre arkada bulunan yapı veya yapıların yüzeylerinde en büyük negatif basınç oluşmaktadır. Akış alanlarında oluşan en büyük hız değerlerine bakıldığında ise model-5’de oluşan değer model-3’de oluşana göre 1,4 kat daha fazla olmaktadır. Ancak model-5’de oluşan bu en büyük hız değeri sadece arkada bulunan dairesel planlı yapının dış yüzeyinde oluşurken model-3’de oluşan en büyük hız değeri arkada bulunan kare planlı yapıların arasında ve komşu olmayan yüzeylerinden ayrılan rüzgârın oluşturduğu alanlarda oluşmakladır. Model-3’de oluşan en büyük hız değeri model-5’e göre daha düşük değerdeyken akış alanında daha geniş bir alana yayılmaktadır. Burada önemli olan yayaların yoğun kullandığı bölgelerin akış alanı içerinde nereler olacağıdır. Yaya kullanım alanlarının belirlenmesinde bu tarz analizlerden destek alınabileceği görülmektedir. Ayrıca bu karşılaştırmadan anlaşıldığı üzere rüzgârın hareket yönü ve yapıların konumu rüzgârın yapı ve yaya üzerindeki etkilerini tamamen değiştirmektedir.

Model-4 ve model-6 sonuçları kendi arasında değerlendirildiğinde; akış alanında oluşan en büyük pozitif basınç değerlerinde büyük bir fark bulunmamaktadır. Ancak model-6’de oluşan en büyük negatif basınç değerleri model-5’de oluşana göre 2,2 kat daha fazla oluşmaktadır (bkz. Şekil 8.10 ve Şekil 8.14). Her iki modelde yapılan analizlerde rüzgârın geldiği yöne göre arkada bulunan yapı veya yapıların yüzeylerinde en büyük negatif basınç oluşmaktadır. Akış alanlarında oluşan en büyük hız değerlerine bakıldığında ise model-6’de oluşan değer model-4’de oluşana göre 1,4 kat daha fazla olmaktadır. Bu karşılaşmadan anlaşıldığı üzere rüzgârın hareket yönüne göre yapılar rüzgârındaki rüzgâr etkileri önemli ölçüde farklılaşmaktadır.

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması içeresinde oluşturulan farklı yapı vakaları için yapılan analizler, rüzgâr etkilerini tespit etme yöntemlerinden birisi olan HAD sayısal analizinin önemini göstermiştir. Yapılan her bir çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler ayrı ayrı aşağıda sunulmaktadır;

Çalışmada içerisinde, Eurocode 1 ve TS 498 yönetmelikleri ile HAD yöntemini kullanarak, dikdörtgen planlı 15°, 30°, 45° ve 60° derece çift çatı eğimine sahip yapıların dış duvar rüzgâr basınçların bulunması incelenmiştir. TS 498'de rüzgâr hızı kaynaklı yapı dış duvar basınçlarını tespit etmekte Eurocode 1 ve HAD analizlerine göre yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür. Yapıya gelen rüzgârın yapının kenar ve köşelerinden ayrılmasında oluşan ilave tesirler Eurocode 1 ve HAD analizleri sonucunda görülmüştür. Ancak TS 498 bu tesirleri içeren sonuçlar görülmemiştir. Türk Standart Enstitüsü, "Eurocode 1-Action on structures -Part1-4: General actions-Wind actions'' kısmını "TS EN 1991-1-4 Yapılar Üzerindeki Etkiler Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Rüzgâr Etkileri'' olarak Aralık 2007'de yayınlamıştır. Yayınlanma tarihi 1997 olan TS 498 yönetmeliği ise halen yürürlükte olmakla beraber TS 498'e atıf yapan "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Dair Esaslar" yönetmeliğinde rüzgâr hesabı için TS EN 1991-1-4 yönetmeliğine yönlendirmektedir. Eurocode 1 ve HAD analizi sonuçlarında aynı bölgelerin basınç sonuçlarına bakıldığında değerler arasında bazı farklar olsa da ilgili bölgeler için pozitif ve negatif basınç oluşması durumu aynıdır. Eurocode 1 basınç sonuçları genel olarak analiz sonuçlarından yüksektir. Bununla birlikle analiz sonuçları özellikle yapı çatı köşe noktalarında oluşan negatif basınç değerlerinin bir kısmı Eurocode 1 değerlerinden

yüksektir. Bu duruma HAD analizinde kullanılan türbülans modelinin etkileri neden olabilir.

Çalışmada içerisinde yapı kat kalıp planlarının sınırlarında yapılan geometrik değişikliklerin yapı üzerinde oluşan dış duvar basınçlarında meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir. Yapılan analizler ve karşılaştıran bu durumlar değerlendirildiğinde kare planlı yapının köşelerinde yapılan kat kalıp planı değişikliği yapı üzerinde oluşan rüzgâr basıncını değiştirmiştir. Köşe boşaltması sınır değişikliği negatif basınçların azalması yönünden daha avantajlı bulunmuştur. Buna karşılık köşe kesimli sınır değişiklikleri pozitif basıncın azalması yönünden daha avantajlı bulunmuştur. Bu çalışma ile özellikle yüksek yapıların yapı- rüzgâr ilişkili aerodinamik biçimsel yapısının belirlenmesi aşamasında bu tarz HAD analizlerin oldukça yararlı olacağını görülebilmektedir.

Çalışmada içerisinde 100 m yüksekliğindeki yapı akış alanında yalnızken yapılan analiz sonuçlarında yapının ön yüzeyinde aşağı akım etkisi görülmemiştir. Ancak bu yapının önüne farklı yüksekliklerde ve farklı mesafelerde yerleştirilen ikinci bir yapı ile oluşan farklı akış alanlarının analiz sonuçlarında ise bu yapının ön yüzeyinde aşağı akım etkisi olduğu bulunmuştur. Yapılar üzerindeki rüzgâr etkileri çevre yapılarla beraber düşünüldüğünde tam olarak daha doğru sonuçlara ulaştıracağı görülmüştür. Ayrıca İlgili yapı ile komşu yapının yüksekliği ve birbirlerine olan mesafeleri gibi özelliklerden her birinde yapılacak bir değişiklik yapılar üzerinde ve yapı dışındaki bölgelerde oluşacak rüzgâr etkileri farklı farklı sonuçlara neden olarak etkilemektedir. Bu etkiler ise ancak yapılacak olan sayısal ve deneysel çalışmalar ile görülebilecektir.

Çalışmada içerisinde birbirlerine komşu birisi dairesel planlı ikisi kare planlı üç yapı birbirlerine yaklaştırılarak ve rüzgâr doğrultusu değiştirilerek oluşturulan farklı akış alanların analizler sonuçlarında yapıların birbirlerine olan komşuluk mesafelerinin yapılar üzerindeki rüzgâr etkilerini önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Özellikle yapıların birbirlerine yakın olması durumunda yaya seviyesinde rüzgâr hızları artış göstermiştir. Bu durum günümüzde sıklıkla karşılaştığımız bu örnekte olduğu gibi mimari yerleşimine sahip büyük rezidanslar ve alışveriş yerleşimleri için oldukça önem arz etmektedir. Yapıların mimari yerleşimlerine ve yüksekliklerine karar verirken yaya

ve yapı üzerindeki rüzgâr kaynaklı olumsuz etkilerin önceden görülmesi için HAD analizlerinin önemi görülmüştür. Ayrıca yapıların üzerindeki rüzgâr etkileri tespit etmek için rüzgârın farklı yönlerden yapıya doğru hareket etmesi olasılıkların her birine göre analizler yapılması gerektiği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] EN 1991-1-4, (2005). Eurocode 1:Actions on Structures/Geneal Actions, Part 1-4:Wind Actions, European Committe for Standardization, Brussels.

[2] TSE 498, (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değeri, TSE, 2.Baskı, Ankara.

[3] Kandilli, (2009). İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği, Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Versiyon V, İstanbul

[4] ÖZMEN, Y., (2006). Farklı Çatı Tiplerinde ve Eğimlerindeki Binalar Üzerinde Rüzgâr Etkilerinin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[5] Vasilios, P.F., Georgios, K.N. ve Dimitrios, L.K., (2014). "Numerical Estimation of external Pressure Coefficients of a Pitched-Type Roof Greenhouse and Comparison with Eurocode in Different Flow-Type Circumstances", International Conference of Agricultural Engineering, 6-10 July 2014, Zurich.

[6] Xing, F., Mohotti, D. ve Chauhan, K., (2018). "Experimental and Numerical Study on Mean Pressure Distributions Around an İsolated Gable Roof Building with and without Openings", Building and Environment, 132:30-44.

[7] Kindangen, J., Krauss, G. ve Depecker, P., (1997). "Effects of Roof Shapes on Wind-İnduced Air Motion Inside Buildings", Building and Environment, 32:1-11.

[8] Xu, Y.L. ve Reardon, G.F., (1998). "Variations of Wind Pressure on Hip Roofs with Roof Pitch", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 73:267-284.

[9] Meecham, D., Surry, D. ve Davenport, A.G., (1991). "The Magnitude and Distribution of Wind Induced Pressures on Hip and Gable Roofs", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 38:257-272.

[10] Abohela, I., Hamza, N. ve Steven, D., (2011). “Effect of Roof Shape on Energy on Energy Yield and Positioning of Roof Mounted Wind Turbines”, The 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, 14-16 November, Sydney.

[11] Kurç, Ö., Kayışoğlu, B., Shojafe, N. ve Uzol, O., (2012). “Yüksek Binalarda Rüzgâr Etkilerinin Rüzgâr Tüneli Deneyleriyle Tespiti”, İMO Teknik Dergisi, 389:6163-6186.

[12] Özmen, Y. ve Kaydok, T., (2014). “Kare Kesitli Yüksek Bina Üzerindeki Türbülanslı Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi”, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(2):15-25.

[13] Kanbur, B.B., Pınarbaşı, A. ve Koca, A.İ., (2013). “Aynı Bölgede Bulunan Yüksek ve Alçak Katlı Binalar Üzerindeki Rüzgâr Yükleri Etkisinin İncelenmesi”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 10-20 Nisan 2013, İzmir.

[14] Zikov, E.A, Liabchuk, A.V. Obukhovsky, A.D., Salenko, S.D. ve Telkova, J.V., (2008). “Investigation in Wind Tunnel Flow Interaction with Models of Two High-Rise Apartment Houses”, International Conference on Methods of Aero physical Research, June 30-July 6 2008, Novosibirsk.

[15] Jeong, J. ve Choi, C.K., (2008). “Comparison of Wind Loads on Buildings using Computational Fluid Dynamics, Designs Codes and Wind Tunnel Tests”, The 4th International Conference on Advances in Wind and Structures, 29-31 May, Jeju.

[16] Fertelli, A. ve Balta, M., (2017). “Tek ve İki Bina Etrafındaki Rüzgâr Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3):111-119.

[17] Dagnew A.K., Bitsuamalk, G.T. ve Merrick, R., (2009). “Computational Evaluation of Wind Pressures on Tall Buildings”, The 11th Americas Conference on Wind Engineering, 22-26 June 2009, San Juan ve Puerto Rico.

[18] Blocken, B., Carmeliet, J. ve Stathopoulos, T., (2007). “CFD Evaluation of Wind Speed Conditions in Passages Between Parallel Buildings Effect of Wall-Function Roughness Modifications for the Atmosprehic Boundary Layer Flow”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95:941-962.

[19] Mittal, A.K., Ghosh, D., Behera, S., Siddiqui, I.A. ve Dharmshaktu, D.S., (2013). “Wind Flow Simulation in the Vicinity of Tall Buildings Through CFD”, The Eight Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 10-14 December 2013, Chennai.

[20] Kaydok, T., (2014). Farklı Kesitlere Sahip Yüksek Binalar Üzerinde Türbülanslı Akışların Sayısal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[21] Özmen, Y. ve Kaydok, T., (2015). "Farklı Kesitlere Sahip Yüksek Binalar Üzerinde Rüzgâr Etkisinin Sayısal İncelenmesi". TMH Dergisi, 488:40-49.

[22] Miyashita, K., Katagiri, J., Nakamura, O., Ohkuma, T., Tamura, Y., Itoh, M., ve Mimachi, T., (1993). "Wind Induced Response of High Rise Building: Effects of Corner Cuts or Opening in Square Building Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics", 50: 319-328.

[23] Gu, M. ve Quan, Y., (2004). "Across – Wind Loads of Typical Tall Buildings", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 92:1147-1165.

[24] Çengel, Y.A. ve Cımbala, J.A., (2008). Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Birinci Baskı, Güven Kitabevi, İzmir.

[25] Yücel, M., (2010). Yüksek Binaların Yakın Çevre Bina Yüzeylerindeki Hava Akışına Etkileri – Four Winds Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[26] AS/NZS 1170.2, (2000). Design Guide for Wind, Australian/ New Zealand Standart, Wellington.

[27] Yaşa, E., (2004). Avlulu Binalarda Doğal Havalandırma ve Soğutma Açısından Rüzgâr Etkisi ile Oluşacak Hava Akımlarına Yüzey Açıklarının Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[28] Şafak, E., (2012). "Yüksek Yapılardaki Rüzgâr Yüklerinin Hesabı", TMH, 471:27-38.

[29] Kiriççi, V., (2016). Osman Gazi Köprüsüne Etkiyen Rüzgâr Yüklerinin Had Metodu ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

[30] ANSYS, (2013). Ansys Fluent Tutorial Guide, ANSYS Inc, 15.0, Canonsburg.

[31] ANSYS, (2013). Ansys Fluent Theory Guide, ANSYS Inc, 15.0, Canonsburg.

[32] ANSYS, (2010). Ansys Fluent Lectures, ANSYS Inc, 13.0, Canonsburg.

[33] Tehrani, F.B., Ghafpuri, A. ve Jadidi, M., (2013). "Grid Resolution Assessment in Large Eddy Simulation of Dispersion Around an Isolated Cubic Building", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,121:1-15.

[34] Özdoğan, M., Sungur, B., Namlı, L., Topaloğlu, B. ve Durmuş, A., (2015). "Rüzgâr Hızlarının Bina Etrafındaki Akışa ve Isı Kaybına Etkisin Faklı Türbülans

Modelleriyle Sayısal İncelenmesi", TTMD Dergisi, Kasım-Aralık 2015:56-62.

[35] ANSYS, (2013). Ansys Fluent UDF Manual, ANSYS Inc, 15.0, Canonsburg.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	: Halil ZEYREK
Doğum Tarihi ve Yeri	: 12.06.1989, Suşehri
Yabancı Dili	: İngilizce
E-posta	: zeyrekhalil1@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	İnşaat Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	2012
Lise	Sayısal	Maltepe Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2012-2018	Özel sektör	Yapısal Tasarım Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Zeyrek H., Bekiroğlu S., (2019). “Assessment of Wind Pressure by Eurocode-1, TS 498 and CFD Analyses for Double- Sloped Roof Building”, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 37(1):251-272.