

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARE VE DAİRESEL KESİTLİ NORMAL VE YÜKSELTİLMİŞ BİNA
MODELLERİ ETRAFINDAKİ RÜZGAR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Tekmile CÜREBAL

EKİM 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARE VE DAİRESEL KESİTLİ NORMAL VE YÜKSELTİLMİŞ BİNA
MODELLERİ ETRAFINDAKİ RÜZGAR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Tekmile CÜREBAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16/ 09 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 08 / 10 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yücel ÖZMEN

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, kare ve dairesel kesitli normal ve merkezi bir çekirdek ile yerden yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

Tez çalışmam boyunca kıymetli bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden, çalışma tutkusu, sabrı ve özverisini hep örnek aldığım, her zaman güven ve desteğini hissettiğim saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yücel ÖZMEN'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tez izleme komitesinde yer alan, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile tezime büyük katkılar sağlayan saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Ertan BAYDAR'a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması sürecinde hiçbir yardımdan kaçınmayan ve bana destek olan arkadaşlarım Arş. Gör. Aleyna AĞIRMAN KALCA, Arş. Gör. Derya KARAMAN'a ve Makina Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm değerli hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Aldığım her kararda yanımda olan ve elimi hiç bırakmayan, sevgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Alican CÜREBAL'a, yazıyla ifade etmenin yetersiz kalacağını bilsem de, sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bugünlere gelmemde en büyük pay ona aittir; her zaman yanımda olduğu için ona minnettarım. Son olarak, sevgili çocuklarım Ali Kaan ve Ahmet Arın'a, bu yolculukta bana gösterdikleri büyük sabır ve anlayış için içtenlikle teşekkür ediyorum. Onlar, bu çalışmanın en zorlu anlarını bile güzelleştiren en değerli yanımlardır.

Bu çalışmayı canım oğullarım Ali Kaan ve Ahmet Arın'a ithaf ediyorum.

Tekmile CÜREBAL
Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kare ve Dairesel Kesitli Normal ve Yükseltilmiş Bina Modelleri Etrafındaki Rüzgar Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Yücel ÖZMEN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/10/2024

Tekmile CÜREBAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	3
1.3. Çalışmanın Bilimsel Önemi	5
1.4. Literatür Araştırması	6
1.4.1. Atmosferik Sınır Tabaka Akışı	6
1.4.2. Tekil Bir Bina Etrafındaki Üç Boyutlu Akış Alanı.....	11
1.4.3. Gerçek Yapı Ölçümleri	14
1.4.4. Rüzgar Tüneli Deneyleri	15
1.4.5. Sayısal Çalışmalar	17
1.4.6. Yüksek Katlı Yapılarda Rüzgar Etkileri	19
1.4.7. Farklı Şekil ve Modifikasyonlara Sahip Binalar Etrafında Akış Alanı.....	22
a. Köşe Modifikasyonu	22
b. Binalar arasındaki Geçit.....	23
c. Podyum Yapılar	25
d. Yükseltilmiş Bina Tasarımı.....	26
1.4.8. Yaya Seviyesindeki Rüzgar Hızları ve Rüzgar Konfor Kriterleri	28
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1. Deneysel Çalışma	34
2.1.1. Deney Düzenegi.....	34
2.1.2. Bina Modelleri	36
2.1.3. Ölçme Sistemleri.....	40

a. Basınç Ölçümü	40
b. Hız Ölçümü	42
2.2. Sayısal Çalışma	43
2.2.1. Hareket Denklemleri ve Türbülans Modeli	43
2.2.2. Akış Alanı	45
2.2.3. Ağ Yapısı	49
2.2.4. Çözüm Metodu.....	50
2.2.5. Sayısal Modelin Doğrulanması	50
3. BULGULAR.....	54
3.1. Model Yüzeylerinde Basınç Dağılımları.....	54
3.1.1. Kare Kesitli Bina Modelleri	54
a. Normal Bina Modeli.....	54
b. Yükseltilmiş Bina Modelleri	67
3.1.2. Dairesel Kesitli Bina Modelleri	82
a. Normal Bina Modeli.....	82
b. Yükseltilmiş Bina Modelleri	87
3.2. Modeller Etrafında Akış Yapıları ve Hız Dağılımları.....	95
3.2.1. Kare Kesitli Bina Modelleri.....	96
a. Normal Bina Modeli.....	96
b. Yükseltilmiş Bina Modelleri	100
3.2.2. Dairesel Kesitli Bina Modelleri	112
a. Normal Bina Modeli.....	112
b. Yükseltilmiş Bina Modelleri	116
4. İREDELEME.....	129
4.1. Basınç Dağılımları.....	129
4.1.1. Bina Kesiti Etkisi	129
4.1.2. Rüzgar Geliş Açısı Etkisi	132
4.1.3. Yükseltme Etkisi	134
4.2. Akış Alanı ve Hız Dağılımları.....	137
4.2.1. Kare Kesitli Bina Modelleri	137
4.2.2. Dairesel Kesitli Bina Modelleri	142
5. SONUÇLAR.....	147
6. ÖNERİLER.....	149
7. KAYNAKLAR	150

8. EKLER.....	159
ÖZGEÇMİŞ	



Doktora Tezi

ÖZET

KARE VE DAİRESEL KESİTLİ NORMAL VE YÜKSELTİLMİŞ BİNA MODELLERİ ETRAFINDAKİ RÜZGAR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Tekmile CÜREBAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Yücel ÖZMEN
2024, 158 Sayfa

Bu çalışmada, kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Sınır tabaka içerisine yerleştirilen kare ve dairesel kesitli normal ve 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip yükseltilmiş bina modelleri yüzeylerindeki ortalama ve çalkantı basınçları farklı rüzgar geliş açıları için deneysel olarak elde edilmiştir. Normal ve üç farklı çekirdek yüksekliğine sahip yükseltilmiş bina modellerinin yüzeylerindeki ortalama basınç dağılımları ve modeller etrafındaki akış alanı yapıları ve hız dağılımları Realizable k- ϵ türbülans modelinin kullanıldığı üç boyutlu zaman bağımsız sayısal çözümlerle hesaplanmıştır. En kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları, kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında sırasıyla -3.38 ve -3.86 değerleriyle 45°'lik rüzgar geliş açısında oluşmuştur. Hem kare hem de dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde hız değerlerinde sağlanan en iyi artış oranı, 50 mm çekirdek yüksekliğine ve genişliğine/çapına sahip yükseltilmiş bina modellerinde oluşmaktadır. Sayısal çözümlerle hesaplanan yüzey basınçları ve hız değerleri deneysel verilerle uyumludur.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik sınır tabaka, Yüzey basınç katsayısı, Yükseltilmiş bina modeli, Ortalama rüzgar hızı oranı, Türbülans modeli

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF WIND EFFECTS AROUND SQUARE AND CIRCULAR CROSS-SECTION NORMAL AND LIFT-UP BUILDING MODELS

Tekmile CÜREBAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Yücel ÖZMEN
2024, 158 Pages

In this study, the wind effects around normal and lift-up building models with square and circular cross-sections were investigated experimentally and numerically. The mean and fluctuating wind pressures on the surfaces of square and circular cross-section normal and lift-up building models with a 50 mm core height, immersed in a simulated atmospheric boundary layer, were obtained experimentally for different wind incidence angles. The mean pressure distributions on the surfaces of normal and lift-up building models with three different core heights, and the flow field structures and velocity distributions around the models are calculated by three-dimensional steady-state numerical solutions using the Realizable k- ϵ turbulence model. The most critical mean and minimum pressure coefficients occurred near the front roof corner of the square cross-section lift-up model with values of -3.38 and -3.86, respectively, at a 45° wind incidence angle. For both square and circular cross-section lift-up building models, the highest rate of increase in velocity values occurred in the lift-up building models with a 50 mm core height and width/diameter. The surface pressures and velocity values calculated by numerical solutions are consistent with the experimental data.

Key Words: Atmospheric boundary layer, Surface pressure coefficient, Lift-up building model, Mean wind speed ratio, Turbulence model

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Atmosferik sınır tabakanın yapısı	8
Şekil 2. Farklı arazi tipleri için sınır tabaka kalınlıkları	9
Şekil 3. Tekil bir kübik bina etrafındaki akış yapılarının şematik gösterimi; a)rüzgar geliş tarafı, b) model arkası	13
Şekil 4. Tekil bir bina etrafındaki akış bölgeleri.....	13
Şekil 5. Yıllık meydana gelme sıklığına göre rüzgar hızı eşik değerleri	32
Şekil 6. Rüzgar tünelinin genel görünüşü	35
Şekil 7. Rüzgar tüneline bariyer, girdap üreticiler ve pürüzlülük elemanları	36
Şekil 8. Rüzgar tüneli çalışma bölgesinin şematik gösterimi	36
Şekil 9. Bina modellerinin şematik gösterimi	37
Şekil 10. Kare kesitli model yüzeylerine açılan basınç ölçüm deliklerinin konumları a) normal bina, b) yükseltilmiş bina.....	38
Şekil 11. Dairesel kesitli model yüzeylerine açılan basınç ölçüm deliklerinin konumları a) normal bina, b) yükseltilmiş bina.....	39
Şekil 12. Basınç ölçümleri için rüzgar açıları	39
Şekil 13. Basınç ölçme sistemi	41
Şekil 14. a) Setra 239 model basınç ölçer b) Scanning valf	41
Şekil 15. Basınç ölçerin kalibrasyon eğrisi.....	42
Şekil 16. Hız ölçme sistemi	43
Şekil 17. Akış alanı yerleşim düzeni.....	47
Şekil 18. Açık kırsal arazi şartları için oluşturulmuş giriş profilleri a) ortalama hız, b) türbülans kinetik enerji, c) yutulma.....	48
Şekil 19. Tünel girişinde referans ortalama hız profilleri	48
Şekil 20. Yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki örnek ağ yapıları a) kare kesitli, b) dairesel kesitli	49
Şekil 21. Ağ yoğunluğunun çözüm üzerindeki etkisi	50
Şekil 22. Normal bina modeli etrafında farklı istasyonlarda ortalama rüzgar hızları a) $x/H=-0,25$, b) $x/H=0,75$ ve c) $x/H=2,0$	51
Şekil 23. Yükseltilmiş bina modeli etrafında farklı istasyonlarda ortalama rüzgar hızları a) $x/H=-0,25$, b) $x/H=0,75$ ve c) $x/H=2,0$	51
Şekil 24. Model orta eksen boyuna hesaplanan basınç katsayısı değişiminin deneysel verilerle karşılaştırılması	52

Şekil 25.	Model orta eksenini boyunca hesaplanan düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	53
Şekil 26.	$\theta = 0^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli orta eksenini boyunca akış yönündeki basınç katsayısı değişimi	55
Şekil 27.	Kare kesitli normal bina modeli çatı köşesindeki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	56
Şekil 28.	Kare kesitli normal bina modeli orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğindeki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	57
Şekil 29.	$\theta = 0^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı (deneysel) , b) Minimum basınç katsayısı (deneysel), c) Ortalama basınç katsayısı (sayısal)	59
Şekil 30.	$\theta = 15^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	61
Şekil 31.	$\theta = 30^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	62
Şekil 32.	$\theta = 45^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	64
Şekil 33.	$\theta = 60^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	65
Şekil 34.	$\theta = 75^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	66
Şekil 35.	$\theta = 0^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksenini boyunca akış yönündeki basınç katsayısı değişimi	67
Şekil 36.	Kare kesitli yükseltilmiş bina modeli çatı köşesinde ölçülen basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	68
Şekil 37.	Kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğinde ölçülen basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	69
Şekil 38.	$\theta = 0^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı (deneysel) , b) Minimum basınç katsayısı (deneysel), c) Ortalama basınç katsayısı (sayısal)	70
Şekil 39.	$\theta = 15^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	73
Şekil 40.	$\theta = 30^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	75
Şekil 41.	$\theta = 45^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	76

Şekil 42.	$\theta = 60^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	78
Şekil 43.	$\theta = 75^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı	79
Şekil 44.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları	81
Şekil 45.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları	82
Şekil 46.	$\theta = 0^\circ$ için dairesel kesitli normal bina modelinin orta eksen boyunca akış yönündeki basınç katsayısı değişimi	83
Şekil 47.	Dairesel kesitli normal bina modelinin çatı ön kenarındaki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	84
Şekil 48.	Dairesel kesitli normal bina modelinin orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğindeki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	85
Şekil 49.	Dairesel kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı (deneysel), b) Minimum basınç katsayısı (deneysel), c) Ortalama basınç katsayısı (sayısal) (i: Çatı, ii: Yanal yüzey)	86
Şekil 50.	$\theta = 0^\circ$ için dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin orta eksen boyunca akış yönündeki basınç katsayısı değişimi	87
Şekil 51.	Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin çatı ön kenarındaki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	88
Şekil 52.	Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğindeki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	89
Şekil 53.	Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları a) Ortalama basınç katsayısı (deneysel), b) Minimum basınç katsayısı (deneysel), c) Ortalama basınç katsayısı (sayısal) (i: Çatı, ii: Yanal yüzey, iii: Halka yüzey)	90
Şekil 54.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları (i: Çatı, ii: Yanal yüzey, iii: Halka yüzey)	93
Şekil 55.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları (i: Çatı, ii: Yanal yüzey, iii: Halka yüzey)	94
Şekil 56.	Kare kesitli normal bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde	97
Şekil 57.	Kare kesitli normal bina modeli orta eksen boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları	98

Şekil 58.	Kare kesitli normal bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları	99
Şekil 59.	Kare kesitli normal bina modeli etrafında ortalama hız profilleri	100
Şekil 60.	50 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde.....	101
Şekil 61.	50 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksen boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları	102
Şekil 62.	50 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları	103
Şekil 63.	50 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda.....	104
Şekil 64.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde.....	105
Şekil 65.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksen boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları.....	106
Şekil 66.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları	107
Şekil 67.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda.....	108
Şekil 68.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde.....	109
Şekil 69.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksen boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları.....	110
Şekil 70.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları	110
Şekil 71.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda.....	111
Şekil 72.	Dairesel kesitli normal bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde.....	113

Şekil 73.	Dairesel kesitli normal bina modeli orta eksen boyuncu düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları	113
Şekil 74.	Dairesel kesitli normal bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları.....	114
Şekil 75.	Dairesel kesitli normal bina modeli etrafında ortalama hız profilleri.....	116
Şekil 76.	50 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyuncu düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde.....	117
Şekil 77.	50 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksen boyuncu düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları.....	118
Şekil 78.	50 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları	119
Şekil 79.	50 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyuncu düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda.....	120
Şekil 80.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyuncu düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde.....	121
Şekil 81.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksen boyuncu düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları.....	122
Şekil 82.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları	123
Şekil 83.	25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyuncu düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda.....	124
Şekil 84.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyuncu düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde.....	125
Şekil 85.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksen boyuncu düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları.....	126
Şekil 86.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları	127
Şekil 87.	12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyuncu düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda.....	128
Şekil 88.	Kare ve dairese kesitli normal bina modellerinin orta eksen boyuncu ölçülen ortalama basınç katsayısı değişimleri	130

Şekil 89.	Kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinin orta eksen boyunca ölçülen ortalama basınç katsayısı değişimleri.....	131
Şekil 90.	Yaya seviyesi yüksekliğindeki minimum basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri	133
Şekil 91.	Bina modellerinin orta eksen boyunca ölçülen ortalama basınç katsayısı değişimi.....	135
Şekil 92.	Alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranlarının hesaplandığı akış bölgeleri	138
Şekil 93.	Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip kare kesitli bina modelleri için alan ağırlıklı ortalama hız oranları değerlerinin karşılaştırılması.....	140
Şekil 94.	Bina modellerinin yakın çevresindeki alan ağırlıklı hız değerlerinin hesaplandığı akış bölgeleri	141
Şekil 95.	Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip kare kesitli bina modelleri için alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri	142
Şekil 96.	Alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranlarının hesaplandığı akış bölgeleri	143
Şekil 97.	Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip dairesel kesitli bina modelleri için alan ağırlıklı ortalama hız oranları değerlerinin karşılaştırılması.....	144
Şekil 98.	Bina modellerinin yakın çevresindeki alan ağırlıklı hız değerlerinin hesaplandığı akış bölgeleri	145
Şekil 99.	Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip dairesel kesitli bina modelleri için alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri	146

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Farklı arazi türleri için pürüz yüksekliği ve α değerleri	10
Tablo 2. Farklı ülkeler için yüksek bina tanımları	20
Tablo 3. Beaufort ölçeğindeki rüzgar hızları	31
Tablo 4. Wise ve Penwarden (1975) tarafından önerilen eşik rüzgar hızları.....	31
Tablo 5. NEN 8100 rüzgar konforu ve tehlike kriterleri.....	33
Tablo 6. Realizable k - ϵ türbülans modeli sabitleri	45
Tablo 7. Sayısal çalışmada kullanılan bina modellerinin ayrıntılı geometrik özellikleri	46
Tablo 8. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip kare kesitli bina modelleri için hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranları.....	139
Tablo 9. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip kare kesitli bina modelleri için model etrafında hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri	141
Tablo 10. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip dairesel kesitli bina modelleri için hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranları.....	144
Tablo 11. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip dairesel kesitli bina modelleri için model etrafında hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri	146

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_p	: Basınç katsayısı
C_{port}	: Ortalama basınç katsayısı
C_{prms}	: RMS yüzey basınç katsayısı
C_{pmaks}	: Maksimum basınç katsayısı
C_{pmin}	: Minimum basınç katsayısı
U_{maks}	: Maksimum rüzgar hızı
δ	: Sınır tabaka kalınlığı
ρ	: Yoğunluk
H	: Model yüksekliği
A	: Model genişliği
D	: Model çapı
h	: Çekirdek yüksekliği
a	: Çekirdek genişliği
d	: Çekirdek çapı
a	: Çekirdek genişliği
θ	: Rüzgar geliş açısı
P	: Yüzey basıncı
U	: Ortalama hız
U_∞	: Serbest akış hızı
Re	: Reynolds sayısı
K	: von Karman sabiti
k	: Türbülans kinetik enerji
ε	: Yutulma
μ_t	: Türbülans viskozitesi
α	: Güç kanunu üssü
G	: Türbülans kinetik enerji üretimi
S	: Kaynak terimi
C	: Model sabitleri
σ_k	: k için Prandtl sayısı

σ_ε	: ε için Prandtl sayısı
x	: Yatay koordinat
y	: Enine koordinat
z	: Dikey koordinat
z_{ref}	: Referans yükseklik
DNS	: Doğrudan Sayısal Simülasyon
HAD	: Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
HWA	: Kızgın Tel Anemometre
HWS	: Yüksek Rüzgar Hızı
LDA	: Laser Doppler Anemometre
LES	: Büyük Girdap Simülasyonu
LWS	: Düşük Rüzgar Hızı
MVR	: Ortalama Rüzgar Hızı Oranı
PIV	: Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçer
RANS	: Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Tarih boyunca inşa edilmiş ortamları şekillendiren başlıca doğal olaylardan biri olan rüzgar, yeryüzünde son derece önemli etkilere sebep olmaktadır. Bitkilerin döllenmesinde, havadaki nem ve kirliliğin azaltılmasında olumlu rol oynayan rüzgar, kum fırtınaları, toprak erozyonu, yapıların ve yerleşim bölgelerinin hasar görmesi gibi olumsuz etkilere de yol açabilmektedir (Özmen, 2006). Yüksek rüzgar hızları, yayaların hareketlerini kısıtlayarak rahatsızlık ve tehlike oluşturma gibi yaya konforunu bozan olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu durum, rüzgarın hem doğal çevre hem de insan yaşamı üzerindeki çok yönlü etkilerinin dikkatle incelenmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Rüzgarın çevre üzerindeki etkileri, eski uygarlıklardan günümüze kadar mimari tasarımların oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Roma dönemi mimarlarından Vitruvius, yayaları rüzgarın zararlı etkilerinden korumak amacıyla caddelerin hakim rüzgar yönlerine çapraz olarak inşa edilmesini önermiştir. Ortaçağ'da saraylar ve kiliseler, rüzgar yüklerini azaltmak amacıyla çokgen kuleler şeklinde tasarlanmıştır. Rüzgarın iç mekanları temizleyip kötü şansı uzaklaştırdığına inanıldığı için, Çin'deki evler, rüzgar ve su anlamına gelen “Feng-Shui” prensibine göre inşa edilmişlerdir. İran ve Hindistan'da evlerde konforlu bir iç ısı ortam sağlamak amacıyla mimari projelere rüzgar kırıcılar entegre edilmiştir (Zhang, 2018). Günümüzde ise rüzgar, yapılar üzerindeki rüzgar yüklerini azaltmak, kentsel alanlarda insanların dış mekanlardaki konforunu sağlamak ve doğal havalandırmayı düzenlemek için önemli bir tasarım parametresi olarak kabul edilmektedir. Binaların ve şehirlerin rüzgar etkilerine karşı tasarımı, deneysel ve sayısal analizlerle değerlendirmekte ve rüzgarın yapılar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla çeşitli tasarım ölçütleri geliştirilmektedir. Meteorolojik verilerin sürekli olarak izlenmesi ve yapıların tasarımı ve inşasında ilgili standartlara ve kodlara uyulması, rüzgarın olumsuz etkilerinden mümkün olduğunca az zarar görmek için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, rüzgar kaynaklı riskleri azaltmak amacıyla yapıların geometrisinde ve yerleşiminde yapılan tasarım değişiklikleri, hem insan sağlığı ve güvenliğini korumak hem de uzun vadeli yapısal dayanımı sağlamak açısından kritik rol oynamaktadır.

Rüzgar kaynaklı riskler, hem yapıların dayanımını tehdit etmekte hem de rüzgara maruz kalan yayalar üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Atmosferik koşulların değişkenliği, rüzgarın yapılar üzerinde oluşturduğu etkiyi artırarak, aerodinamik yönden uygun olmayan çatıların hasar görmesine ya da uçmasına neden olmaktadır. Rüzgar-yapı etkileşimi sonucunda oluşan girdapların yayılması, yapıda titreşim ve gürültüye yol açarak hasara sebep olmaktadır. Ayrıca, çatı geometrileri ve bina yerleşim düzenleri de bacalardan çıkan duman ve gazların atmosfere karışmasını olumsuz yönde etkileyerek hava kirliliğini arttırmaktadır. Rüzgarın yayalar üzerindeki olumsuz etkileri ise, zamanla değişen kent morfolojisi ve artan bina yükseklikleri ile birlikte farklı şekillerde ortaya çıkmaya başlamaktadır. Önceki zamanlarda, rüzgarın yayalar üzerindeki olumsuz etkileri binaların çevresinde oluşan yüksek rüzgar hızlarından kaynaklanmakta ve yayalar için ciddi rahatsızlık ve tehlikeler yaratmaktaydı. Binaların özellikle köşelerinde ve ön yüzeylerinde oluşan kritik rüzgar hızları, yayaların dengelerini kaybetmelerine yol açmakta ve uçan nesnelerden dolayı yayaların ciddi şekilde yaralanmalarına neden olmaktaydı. Bu durum, şehir planlamacılar, mühendisler ve mimarlar tarafından değerlendirilerek, yüksek rüzgar hızı etkilerini azaltmak için çeşitli tasarım stratejileri geliştirilmiştir. Ancak yıllar içinde, kentsel yoğunluğun artması ve yüksek binaların birbirine yakın inşa edilmesiyle birlikte, bu kez şehir içi hava sirkülasyonunun yetersizliği ve düşük rüzgar hızları, yayalar için yeni bir sorun haline gelmiştir. Özellikle sıcak ve nemli iklimlerde, yüksek binalar etrafında oluşan hava sirkülasyonu azlığı, yetersiz doğal havalandırmaya yol açarak bu alanlarda zaman geçiren insanların ısı konforunu bozmaktadır. Hava sirkülasyonunun yetersizliği ayrıca Koronavirüs, SARS ve MERS gibi virüslerin hızla yayılması için elverişli koşullar oluşturmakta ve kirletici maddelerin zeminde birikmesine yol açarak yaya sağlığı için risk teşkil etmektedir.

Modern şehirlerde, arazi azlığından kaynaklanan sıkışık yapılaşma ve komşu yüksek binalar arasındaki mesafesinin darlığı nedeniyle hava sirkülasyonundaki yetersizlik daha da belirgin hale gelmiştir. Yoğun şehirlerde hava sirkülasyonunu iyileştirmenin en etkili yollarından biri, binalar arasında yeterli boşluklar bırakmak, yapılaşmış alanlarda geniş açık alanlar yaratmak ve bu alanları birbirine bağlayan kesintisiz rüzgar koridorları oluşturmaktır. Ancak bu yaklaşımlar, araziyi maksimum düzeyde kullanma baskısı nedeniyle genellikle sınırlı bir şekilde uygulanmaktadır (Zhang, 2018). Bu durum, hava akışını düzenlemenin alternatif yollarını aramayı gerekli kılmaktadır. Yapıların kentsel morfolojide genel rüzgar akışını destekleyecek şekilde tasarlanması, sıkışık şehirlerde hava sirkülasyonunu artırmak

için etkili bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Bu amaçla, rüzgar mühendisliğinde, binalar üzerinde rüzgar yükünü ve binaların tepkilerini azaltmak, yayalar için konforlu rüzgar ortamları oluşturmak için farklı aerodinamik modifikasyonlar kullanılmaktadır. Binaların kullanım alanlarından ödün vermeden çekirdek, kolon, perde duvar veya bunların kombinasyonu kullanılarak desteklenmesi ve yerden bir miktar yükseltilmesiyle oluşturulmuş yükseltilmiş bina (lift-up building) tasarımı, yüksek binalar etrafındaki tıkanık hava akışı nedeniyle oluşan yaya seviyesindeki düşük rüzgar hızı koşullarını iyileştirmek için alternatif bir çözüm olarak dikkat çekmektedir (Xia vd., 2015; Tse vd., 2017; Du vd., 2017). Binanın yerden yükseltilmesiyle ana yapı altında oluşan ve çekirdek (core) olarak adlandırılan kısmın etrafındaki boşluk, havanın bina etrafından daha rahat akması için bir geçirgenlik sağlamaktadır. Bu çözüm, hava sirkülasyonunu iyileştirerek dış mekanların ısı konforunu düzenlemek ve hava kirleticilerin yer seviyesinden etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamak açısından avantaj sunmaktadır. Oluşan boşluk, alışveriş merkezi, otopark gibi ticari veya hizmet amaçlı değerlendirilebilmekte, yayalar için dinlenme alanı veya yakındaki binalara erişim yolları olarak da kullanılabilir. Ancak, bu tür yapıların başarılı bir şekilde tasarlanması ve kullanımının yaygınlaşması için, yapı etrafındaki rüzgar koşullarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu konuda gerçekleştirilen deneysel ve sayısal çalışmalar, akış alanı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Binalar üzerindeki rüzgar etkilerinin deneysel olarak incelenmesi gerçek yapı ölçümleri ve model ölçeğinde rüzgar tüneli deneyleri ile sağlanmaktadır. Gerçek ölçekli çalışmaların sınırlı, zaman alıcı ve maliyetli olması nedeniyle, rüzgar tüneli deneyleri, binalar üzerindeki rüzgar etkilerinin deneysel olarak değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Öte yandan, sayısal çalışmalar, karmaşık bina geometrileri etrafındaki akış alanlarının hesaplanmasına imkan sağlamakta ve türbülans modellerinin hassasiyetlerini deneme fırsatı sunmaktadır. Bu konudaki deneysel ve sayısal çalışmalar, binaların çevresindeki rüzgar davranışının daha iyi anlaşılmasına ve yapıların hem güvenlik açısından hem de kullanıcı konforu açısından optimize edilmesine yardımcı olmaktadır.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, yükseltilmiş bina tasarımlarının yaya seviyesindeki rüzgar hızlarını iyileştirme potansiyelini değerlendirmek ve yükseltilmiş tasarımlarla sağlanan geometrik değişikliklerin bina yüzeylerindeki rüzgar yüklerine etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Bu

doğrultuda, kare ve dairesel kesitli normal ve merkezi bir çekirdek ile yerden yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Farklı rüzgar geliş açıları için bina modelleri yüzeylerindeki basınç dağılımları ve modellerin etrafındaki akış alanı yapıları ve hız dağılımları elde edilmiştir. Kare ve dairesel kesit şeklinde iki farklı model kesiti dikkate alınmış ve yükseltilmiş bina modelleri için ilave sayısal çözümlerle çekirdek yüksekliği etkisi de incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, öncelikle farklı rüzgar geliş açıları için, kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri yüzeylerindeki ortalama ve çalkantı basınçlarının rüzgar tüneline ölçülmesiyle ve modellerin yüzeylerindeki basınç katsayılarının üç boyutlu zaman bağımsız sayısal çözümlerle hesaplanmasıyla, rüzgar geliş açısının, model kesit planının ve yükseltilmiş modellerle sağlanan geometrik değişikliğin basınç dağılımları üzerindeki etkisi deneysel ve sayısal olarak kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Daha sonra, üç farklı çekirdek yüksekliğine sahip kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki akış alanları sayısal olarak çözülmüştür. Sayısal çözümlerden elde edilen akış alanı yapıları ve hız dağılımları incelenerek yükseltilmiş bina tasarımlarının yaya seviyesindeki rüzgar ortamına etkileri incelenmiştir. Hem deneysel hem de sayısal çalışmalar sonucunda ulaşılan bulgular, aerodinamik performans açısından yükseltilmiş bina tasarımlarında en uygun çekirdek yüksekliğine sahip yükseltilmiş bina tasarımının belirlenmesi için değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışması, altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, tez konusu ile ilgili literatür araştırması, atmosferik sınır tabaka akışı, binalar etrafındaki rüzgar etkileri, yaya seviyesindeki rüzgar ortamı ve konfor kriterlerini kapsayan genel bilgilerden oluşmuştur. İkinci bölümde, tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar yer almaktadır. Bu bölüm; hazırlanan deney düzeneği, kullanılan bina modelleri ve ölçme sistemlerinden oluşan deneysel çalışma ile, kullanılan türbülans modeli ve hareket denklemleri, akış alanı, ağ yapısı, sınır şartları ve sayısal modelin doğrulanmasını içeren çalışmalardan oluşmaktadır. Deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular, basınç dağılımları ile akış alanı yapıları ve hız dağılımları olarak iki ana başlık altında üçüncü bölümde sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında elde edilen bulguların irdelemesi dördüncü bölümde yapılmıştır. Beşinci bölümde, çalışmanın pratik sonuçlarına yer verilmiş ve son bölümde, ileride gerçekleştirilebilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.3. Çalışmanın Bilimsel Önemi

Dünyada artan nüfus yoğunluğunun metropol olarak nitelendirilen büyük şehirlere kaymasıyla, bu şehirlerde yaya seviyesindeki hava sirkülasyonunu sınırlayan, birbirine yakın yüksek binaların inşası ve kullanımı da hızla artmaktadır. Yüksek binalar etrafında oluşan hava sirkülasyonu yetersizliği, çevredeki kirleticilerin zeminde birikmesine ve yaya konforu açısından yetersiz ısı şartlarına sahip havalanamayan alanların oluşmasına sebep olmaktadır. Binaların geometrik özelliklerinin çevresindeki hava akışını önemli ölçüde değiştirmesi nedeniyle, yaya seviyesinde oluşan düşük rüzgar hızı ortamını iyileştirmek için alternatif bina tasarımları kullanılmaktadır. Önerilen alternatif tasarımlardan biri de yükseltilmiş bina tasarımıdır.

Bu çalışmayı yönlendiren düşünce, yükseltilmiş bina tasarımında bina altında oluşan hava boşluğunun binanın aerodinamiğini değiştireceği ve bu durumun yükseltilmiş bina yüzeylerindeki basınç dağılımlarını ve yükseltilmiş bina etrafındaki rüzgar ortamını etkileyeceği şeklindedir. Yüksek binaların aerodinamik davranışı üzerinde geometrik çeşitliliğin etkisi uzun süredir akademik araştırmalara konu olmakta ve kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Ancak, bu konudaki literatür incelendiğinde, yükseltilmiş bina tasarımına sahip binalar etrafındaki rüzgar ortamının incelendiği çalışmaların sayısının oldukça az olduğu ve mevcut çalışmaların yalnızca yaya seviyesindeki rüzgar hızlarına odaklandığı görülmektedir. Yükseltilmiş bina tasarımı ile yaya seviyesindeki rüzgar koşullarının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar, yerinde ölçümler, rüzgar tüneli deneyleri ve sayısal çalışmalar şeklindedir. Genellikle dikdörtgen kesitli bina modellerinin incelendiği bu çalışmalarda, rüzgar geliş açısı, bina yüksekliği, merkezi çekirdeğin boyutu ve çekirdeğe uygulanan köşe modifikasyonlarının yaya seviyesindeki rüzgar ortamına etkileri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Literatürde, dairesel kesitli yükseltilmiş bir bina modeli etrafındaki rüzgar ortamının kapsamlı bir şekilde araştırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Son yıllarda, modern şehirlerde dairesel kesitli yapılar estetik görünüm ve ihtişamın bir göstergesi olarak tercih edilmektedir. Bu durum, dairesel kesitli yükseltilmiş bina tasarımlarının etrafındaki rüzgar etkilerinin incelenmesi ihtiyacını göstermektedir. Ayrıca, bina yüzeylerindeki basınç dağılımları üzerinde yükseltilmiş bina tasarımlarıyla sağlanan geometrik değişikliklerin etkisini inceleyen çalışmaların da oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir. İlgili çalışmalarda, genellikle kıyı bölgelerde bulunan tek katlı evlerin, çok

sayıda ahşap dirsek ile yerden yükseltilmesiyle oluşturulmuş yükseltilmiş modelleri için, çatı ve alt yüzey üzerinde oluşan basınç katsayıları incelenmiştir.

Yükseltilmiş bina tasarımlarının, rüzgar yükleri ve binalar etrafındaki rüzgar ortamı üzerindeki birleşik etkisinin yeterince anlaşılması nedeniyle, bu tasarımların kentsel alanlardaki uygulaması sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada, kare ve dairesel kesitli normal ve merkezi bir çekirdeğe sahip yükseltilmiş bina modellerinin etrafındaki rüzgar etkilerinin incelenmesinin yanı sıra modellerin yüzeylerindeki basınç dağılımlarının da ayrıntılı bir şekilde incelenmesinin çalışmaya orijinal bir nitelik kazandıracağı ve yükseltilmiş bina tasarımlarının uygulamada yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

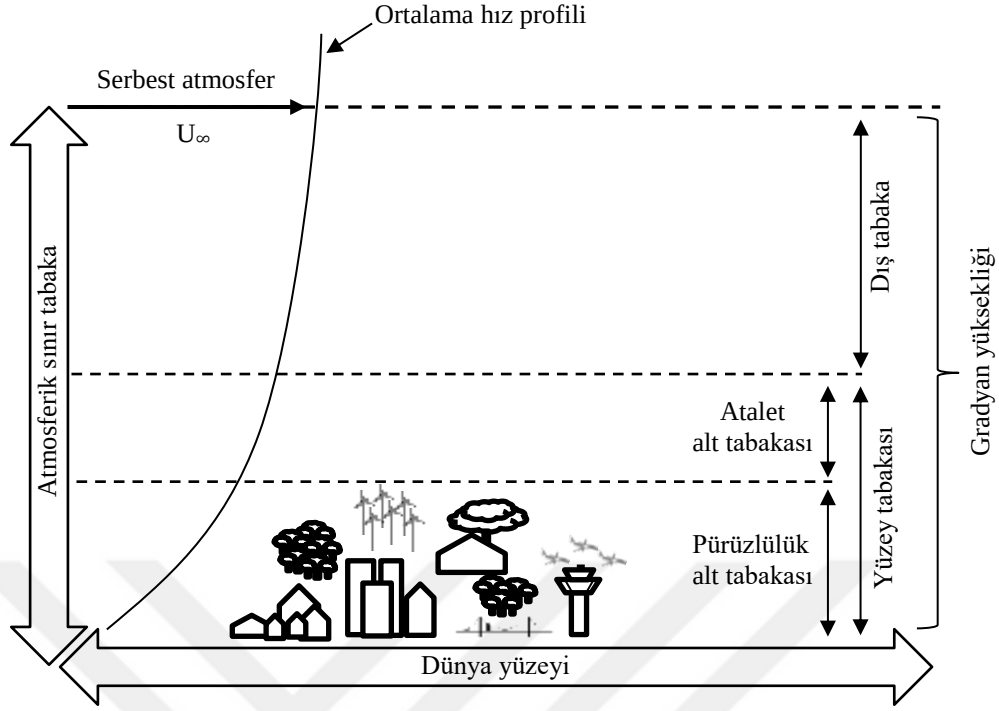
1.4. Literatür Araştırması

1.4.1. Atmosferik Sınır Tabaka Akışı

Havanın dünya yüzeyine göre hareketi olarak tanımlanan rüzgar, güneş ışınlarının atmosfer tarafından emilmesi ve yeryüzüne geri yayılması sonucu oluşmaktadır. Yeryüzüne farklı açılarda gelen güneş ışınları, deniz ve karasal yüzeylerin farklı şekillerde ısınmasına ve düzensiz sıcaklık dağılımlarına neden olmaktadır. Bu durum, yüksek ve alçak basınç bölgelerini oluşturmakta ve aralarındaki basınç farkı da rüzgarı meydana getirmektedir. Rüzgar, yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine doğru hareket etmekte ve basınç farkından kaynaklanan bu hareket düz bir yol yerine spiral bir yol izlemektedir. Bunun nedeni, dünyanın dönmesinden kaynaklanan ve hava hareketini saptıran Coriolis etkisidir. Bu sapmanın yönü kuzey yarımkürede hareket doğrultusunun sağına, güney yarımkürede ise hareket doğrultusunun soluna doğrudur. Coriolis etkisinin olmadığı ekvatorda ise herhangi bir sapma olmamaktadır.

Atmosferdeki mekanik ve termodinamik olayların oluşmasına neden olan rüzgar hareketi, atmosferik sınır tabaka adı verilen, sürtünme etkilerinin hakim olduğu bir tabaka içerisinde gerçekleşmektedir. Atmosferik sınır tabaka, atmosfer tabakalarının en alt kısmını oluşturmakta ve dünya yüzeyindeki bütün yapılar bu tabaka içinde yer almaktadır. Birkaç metreden birkaç kilometreye kadar değişebilen atmosferik sınır tabaka kalınlığı, rüzgar yoğunluğu, arazi pürüzlülüğü ve enlem açısına bağlı olarak değişmektedir (Weerasuriya, 2013). Rüzgar hızı dünya yüzeyine yaklaştıkça, yüzeyin neden olduğu sürtünmeden ve yüzeye yakın engellerden etkilenmektedir. Dünyanın engebeli yüzeyi, türbülansı arttırırken

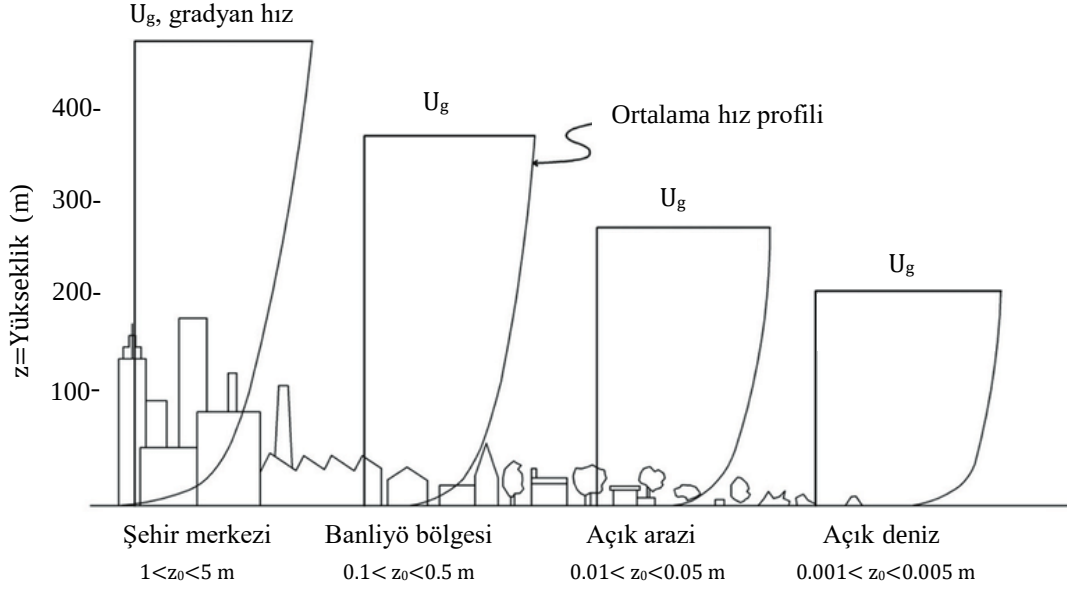
atmosferik sınır tabakadaki rüzgar akışını yavaşlatmaktadır. Atmosferik sınır tabaka içinde yükseklikle birlikte artan rüzgar hızı, sınır tabakanın üst sınırında serbest akış hızına ulaşmaktadır. Sürtünme etkilerinin ihmal edilebildiği bu bölgeye serbest atmosfer adı verilmektedir (Stull, 1988). Atmosferik sınır tabaka, Şekil 1’de görüldüğü gibi, yüzey tabakası (iç tabaka) ve dış tabaka olmak üzere iki belirgin tabakaya ayrılmaktadır (Sutton, 1953). Yüzey tabakası, yeryüzüne en yakın hava tabakası olmakta ve yüksekliği 50 ile 100 metre arasında değişmektedir. Bu tabakadaki rüzgar yapısı, yüzey sürtünmesi ve sıcaklık gradyanları tarafından kontrol edilmektedir (Kaimal & Finnigan, 1994). Yüzey tabakası pürüzlülük alt tabakası (mikro tabaka) ve atalet alt tabakası şeklinde iki alt tabakadan oluşmaktadır (Garratt, 1994). Pürüzlülük alt tabakası yer yüzeyinde başlamakta ve yüksekliği, binalar ve ağaçlar gibi pürüzlülük elemanlarının yüksekliğinin yaklaşık 1.5 ile 3.5 katı kadar olmaktadır (Brutsaert, 1982). Pürüzlülük alt tabakasında, bitki örtüsü, binalar ve topografya gibi yüzey özellikleri türbülansı güçlü bir şekilde etkilemektedir. Atalet alt tabakası, pürüzlülük alt tabakasının üzerinde yer almakta ve yüzey tabakasının üst kısmını oluşturmaktadır. Atalet alt tabakasında, türbülans etkisi esas olarak yükseklikle değişmekte ve yatay yönde bir değişim oluşmamaktadır. Yüzey tabakasının üst sınırı ile serbest atmosfer seviyesi arasında kalan tabaka, dış tabaka (Ekman tabakası) olarak adlandırılmaktadır. Bu tabakadaki rüzgar etkisi, basınç gradyan kuvveti ve Coriolis kuvveti ile oluşmaktadır. Dış tabakanın ilk 150 metrelik bölümünde rüzgarın yükseklikle yön değiştirme etkisi genellikle ihmal edilmektedir (Panofsky, 1974).



Şekil 1. Atmosferik sınır tabakanın yapısı

Dünya yüzeyi üzerindeki pürüzlülük durumu ve sıcaklık faktörü, atmosferik sınır tabaka içerisindeki türbülanslı karışım mekanizmasını doğrudan etkilemektedir. Atmosferdeki topoloji etkisi ve karmaşık ısıl koşullar nedeniyle, sınır tabaka basitleştirilerek genellikle nötr atmosfer koşullarında incelenmektedir. Sınır tabakanın kararlı yüksekliği yaklaşık 100 metre olarak kabul edilmekle birlikte, bu yükseklik güneş ışıınımı, rüzgar yoğunluğu ve zemin özellikleri nedeniyle 10 metreden 500 metreye kadar değişebilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, sınır tabaka kalınlığı ve sınır tabakanın yapısal özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Özmen, 2006). Yüzey pürüzlülüğü arttıkça, sınır tabaka içerisindeki türbülans etkisi ve sınır tabaka kalınlığı da artmaktadır. Şekil 2’de, farklı arazi tiplerinin sınır tabaka kalınlığı ve ortalama rüzgar hızı profili üzerindeki etkileri görülmektedir. Şehir merkezinde gradyan hızın oluştuğu yükseklik, yüzey pürüzlülüğünün daha az olduğu açık denizdekenden daha fazla olmaktadır. Gradyan hızın oluştuğu yüksekliğin farklı olmasına karşın, gradyan rüzgar hızının büyüklüğü tüm arazi tiplerinde aynı olmaktadır. Rüzgar hızı profilleri, açık denizlerde geniş ve kısa, şehir merkezlerinde ise dar ve yüksek bir görünümde oluşmaktadır. Hız profillerinin geniş ve kısa görüntüsü yüzey yakınındaki rüzgar hızlarının yüksek olduğunu, dar ve yüksek görüntüsü ise yüzey yakınındaki rüzgar hızlarının düşük olduğunu göstermektedir. Hız profillerindeki bu

farklılık, arazinin yüzey pürüzlülük yapısından kaynaklanmaktadır. Şehir merkezleri, binalar, yollar, ağaçlar ve çalılar gibi pürüzlü yüzeylerle karakterize edilirken, açık denizler daha düzgün bir yüzeye sahip olmaktadır (Zhang, 2018).



Şekil 2. Farklı arazi tipleri için sınır tabaka kalınlıkları (Cochran ve R. Derickson, 2005)

Atmosferik sınır tabaka akışında, hız gradyanı ve yüzey pürüzlülüğüne göre ortalama rüzgar hızı profillerini yüksek doğrulukta tahmin etmek için bazı bağıntılar geliştirilmiştir. Bu bağıntılardan biri,

$$U(z) = \left(\frac{u^*}{\kappa}\right) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilen logaritmik hız kanunudur. Bu bağıntıda; $U(z)$, yerden z yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızını, u^* , sürtünme hızını, z_0 , pürüz yüksekliğini ve κ , 0.418 değerine sahip von Karman sabitini ifade etmektedir. z_0 , ortalama rüzgar hızının sıfır olduğu yüksekliği göstermektedir (Dyrbye & Hansen, 1996). Ortalama rüzgar hızı profillerini tahmin etmede kullanılan bağıntılardan biri de güç kanunudur. Bu kanun,

$$U(z) = U_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}}\right)^\alpha \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada U_{ref} , z_{ref} referans yükseklikteki ortalama rüzgar hızını, α ise yüzey pürüzlülüğüne göre değişen güç kanunu üssünü göstermektedir. Tablo 1'de, farklı arazi türleri için pürüz yüksekliği ve α değerleri görülmektedir.

Tablo 1. Farklı arazi türleri için pürüz yüksekliği ve α değerleri (Holmes, 2001)

Arazi tipi	Pürüz yüksekliği (z_0) [m]	Güç kanunu üssü (α)
Çok düz arazi (açık deniz, buz, çöl)	0.001-0.005	0.12
Açık arazi (otlak, seyrek ağaçlı bölgeler)	0.01-0.05	0.16
Banliyö bölgesi (3-5 m'lik binalar)	0.1-0.5	0.22
Şehir merkezi (10-30 m'lik binalar)	1-5	0.3

Atmosferik sınır tabaka ile ilgili ilk çalışmalar, 1900'lü yılların başlarına kadar uzanmaktadır. Counihan (1975), atmosferik sınır tabaka akışı hakkında 1880-1972 yılları arasında yapılan meteorolojik çalışmaları özetleyen bir araştırma sunmuştur. Tennekes (1973) nötr atmosferik sınır tabakadaki logaritmik rüzgar profilinin yapısını incelemiştir. Davenport & Isyumov (1967) ve Cermak & Arya (1970), atmosferik sınır tabakanın rüzgar tüneline modellenmesi konusunda gerçekleştirdikleri çalışmalarında, uzun ve pürüzlü bir duvar üzerinde doğal olarak gelişen sınır tabakanın, hem ortalama hız hem de türbülans açısından uygun olduğunu belirtmişlerdir. Cermak (1971), 29 metre uzunluğundaki bir rüzgar tüneline 0.9 metre kalınlığında doğal olarak gelişmiş bir sınır tabaka elde etmiştir. Lloyd (1967), atmosferik sınır tabakanın rüzgar tüneline modellenmesi için yapay olarak pürüzlendirilmiş bir zeminde türbülans üreticileri eklenmiş düz plakalardan oluşan bir ızgara kullanarak 1.5 metre kalınlığında bir sınır tabaka üretmiştir.

Atmosferik sınır tabakanın rüzgar tünellerinde hassas ve doğru bir şekilde modellenmesi, atmosferik hava akışları, yapılar üzerindeki rüzgar etkileri, ısı konfor ve hava kirleticilerin dağılımı konusundaki çalışmalar için oldukça önemlidir. Literatürde, atmosferik sınır tabakanın rüzgar tünellerinde benzeşimi için geliştirilmiş birçok yöntem mevcuttur. Bunlar arasında, Counihan (1973) tarafından geliştirilen yöntem, geniş bir

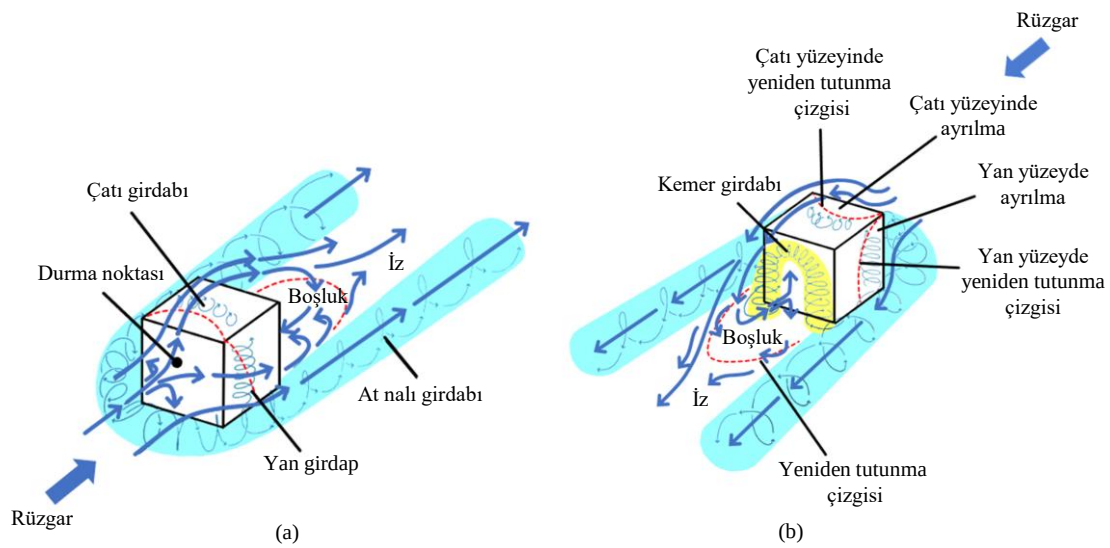
yelpazede rüzgar mühendisliği problemlerini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, rüzgar tüneli çalışma bölgesi tabanında, bariyer, eliptik şekle sahip girdap üreticiler ve prizmatik küçük bloklardan oluşan yüzey pürüzlülük elemanları kombinasyonu kullanılmaktadır. Counihan tarafından önerilen yöntemin en büyük avantajı, atmosferik sınır tabakanın kısa çalışma bölgesine sahip tünellerde de modellenmesine imkan sağlamasıdır. Irwin (1981) tarafından önerilen bir başka yöntemde, girdap üretici olarak düz üçgen kuleler kullanılmakta ve kule yüksekliğinin yaklaşık % 80'i düzeyinde sınır tabaka kalınlığı elde edilmektedir. Atmosferik sınır tabakanın rüzgar tünellerinde modellenmesinde, bariyer, girdap üreticiler ve pürüzlülük elemanlarından oluşan pasif aygıtların kullanıma alternatif olarak, çalışma bölgesi içerisine huzme ve mekanik araçlardan oluşan aktif aygıtların yerleştirilmesiyle de sınır tabaka yapay olarak oluşturulabilmektedir. Schon ve Mery (1971) tarafından yapılan bir çalışmada, 10 metre çalışma bölgesi uzunluğuna sahip bir rüzgar tüneline, akış yönüne dik doğrultuda yapılan hava enjeksiyonu ile sınır tabaka kalınlığının artırılması için aktif aygıtlar kullanılmıştır. Nagip vd. (1976), ahşap bloklardan oluşan pürüzlülük elemanlarını ve akışa karşı yönlenmiş hava huzmelerini kullanarak, 0.3 ile 0.43 metre aralığında değişen sınır tabaka kalınlıkları elde etmişlerdir.

1.4.2. Tekil Bir Bina Etrafındaki Üç Boyutlu Akış Alanı

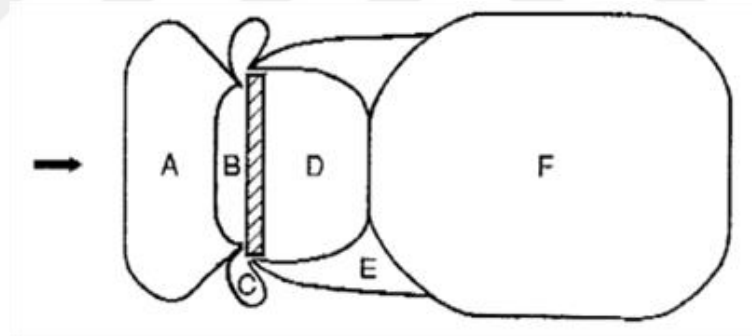
Yerleşim alanlarında bulunan çoklu binaların etrafındaki akış alanları, akış ayrılması, yeniden tutunma, girdap yapıları, türbülanslı iz bölgeleri ve bunların etkileşimleri nedeniyle oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bununla birlikte, yerleşim alanlarındaki, akış yapısının incelenmesi, yaya konforu, doğal havalandırma, hava kirliliği, kirletici madde dağılımı ve rüzgar yapı etkileşimi gibi birçok konunun değerlendirilmesi için oldukça kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle yerleşim alanlarındaki rüzgar etkilerinin anlaşılması için öncelikle tekil bir bina etrafındaki rüzgar akış yapısının ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir. Tekil bir bina etrafındaki akış alanında, çoklu bina durumunda söz konusu olan binalar arası etkileşim olmamakta, ancak yerleşim alanındaki rüzgar etkilerinin değerlendirilmesinde yine de çok önemli bilgiler ortaya çıkmaktadır.

Şekil 3’de, rüzgarın dik olarak geldiği tekil bir kübik bina etrafındaki akış yapıları şematik olarak görülmektedir. Binaya yaklaşan rüzgar bina ön yüzeyine çarpmakta ve pozitif basınç etkisi yaratmaktadır. Çarpma etkisiyle, bina yüksekliğinin yaklaşık % 60 -70’i seviyesinde basıncın maksimum olduğu durma noktası oluşmaktadır. Akış, durma

noktasından itibaren yukarıya, yana ve aşağıya olmak üzere farklı bina cephelerine doğru yönelmektedir (Blocken vd., 2011). Yukarı ve yana doğru yönelen akış, binanın rüzgara karşı olan cephesinin kenarlarından ayrılmaktadır. Ayrılan akış, binanın çatısında ve yan yüzeylerinde düşük hız değerleri ve yüksek türbülans yoğunluğu ile karakterize edilen ayrılma bölgelerini oluşturmaktadır. Bu durum, binanın çatısında ve yan yüzeylerinde oluşan alçak basınç bölgelerinin neden olduğu emme kuvveti etkisinden kaynaklanmaktadır. Ayrılan akış, bina en/boy oranına ve gelen akışın türbülans derecesine bağlı olarak binanın çatısı ve yan yüzeyleri üzerinde yeniden tutunabilmektedir. Bina ön duvarından aşağı doğru yönelen akış ise, gelen rüzgar yönüne göre ters yönde hareket etmekte ve binanın rüzgâr geliş tarafındaki bölgesinin hemen yakınında düşük rüzgar hızı değerlerine sahip bir durgun ön girdap oluşturmaktadır. Boyut olarak daha küçük ve ana girdap yapısından daha zayıf olan ön girdap, binanın yan yüzeyleri etrafında oluşan birincil girdapları etkilemektedir. Bina yan yüzeyleri etrafında gelişerek at nalı şeklini alan girdaplar akış yönüne doğru azalmaktadır (Blocken vd., 2011; Pourteimouri vd., 2022). (Şekil 3a). Binanın rüzgara karşı olan cephesinin kenarlarından ayrılan akış ve bina yan yüzeyleri boyunca oluşan at nalı şeklindeki girdaplar, akış yönünde binanın arkasında oluşan iz bölgesini oldukça karmaşık hale getirmektedir. Binanın arkasında oluşan düşük basınç bölgesi (boşluk bölgesi) emme etkisi oluşturmaktadır. Çatı üzerinden ve binanın yan yüzeylerinden yatay yönde gelen akış, bu bölgede binaya gelen rüzgar akışına ters yönde hareket etmektedir. Böylece, yatay ve dikey doğrultuda girdaplardan oluşan düşük basınç bölgesinde ters akışlar oluşmaktadır (Blocken vd., 2011). Akış yönünde binanın arkasında oluşan ve boşluk bölgesi olarak da adlandırılan ters akış bölgesinin sınırını akışın yüzeye yeniden tutunduğu konum belirlemektedir. Ters akış bölgesinin yüksekliği, bina yüksekliğinin yaklaşık 1.5 katı, ters akış bölgesinin uzunluğu ise bina yüksekliğinin yaklaşık 2.5-3 katı olmaktadır (Pourteimouri vd., 2022).



Şekil 3. Tekil bir kübik bina etrafındaki akış yapılarının şematik gösterimi; a) rüzgar geliş tarafı, b) model arkası (Pourteimouri vd., 2022)



Şekil 4. Tekil bir bina etrafındaki akış bölgeleri (Bottema, 1993)

Şekil 4, tekil bir binanın etrafındaki önemli akış bölgelerini şematik olarak göstermektedir. A bölgesi, binanın önünde pozitif basınç nedeniyle rüzgar hızının azaldığı bölgedir. Gelen akışın binaya çarptığı ön yüzeyde rüzgar basıncı yükseklikle birlikte artmaktadır. Ortaya çıkan basınç gradyanı, bina ön yüzeyinin yakınındaki akışı aşağı doğru yönlendirmektedir. B olarak gösterilen bu bölge ön girdap bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Türbülans üretim terimlerinin bu bölgede pozitif olması nedeniyle ön girdap bölgesi artan türbülans seviyesi ile karakterize edilmektedir. Binanın rüzgar geliş tarafı ve model arkası tarafı arasındaki basınç farkı, binanın yan kısımlarında C bölgesi olarak tanımlanan köşe akış bölgelerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu bölge, yüksek rüzgar hızları ve düşük

türbülans seviyesiyle karakterize edilmektedir. Köşe akışlarının karakteristiği yaklaşan rüzgarın özelliklerine önemli ölçüde bağlı olmaktadır. Rüzgarın binaya açılı gelmesi durumunda daha güçlü köşe akış bölgeleri oluşmaktadır. D bölgesi, bina arkasındaki düşük basınç etkisiyle oluşan ters akış bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede rüzgar hızları önemli ölçüde azalmaktadır. Ters akış bölgesinin boyutları ön kısımdaki girdaptan çok daha büyük olmaktadır. E bölgesi, ayırma noktalarından itibaren bina arkasındaki iz bölgesinin sınırına kadar uzanan ve yüksek hız gradyanları ile karakterize edilen kayma tabakalarının olduğu bölgedir. Bu bölgede, ön girdap etkisi ve yerel türbülans üretimi nedeniyle türbülans seviyeleri oldukça yüksektir. Bu bölgede oluşan türbülansın bir kısmı F bölgesi olarak tanımlanan uzak iz bölgesine, bir kısmı ise ters akış bölgesine yönelmektedir. Uzak iz bölgesi olarak tanımlanan F bölgesi, düşük rüzgar hızı ve yüksek türbülans seviyesi ile karakterize edilmektedir (Peterka vd., 1985, Bottema, 1993; Zhang, 2018).

Literatürde, tekil binaların etrafındaki akış yapılarının incelendiği ve akış karakteristiklerinin binanın geometrik özellikleri ile ilişkilendirildiği oldukça kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda, rüzgarın yapılar üzerindeki etkilerinin değerlendirmesi için farklı araştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Başlıca yöntemler gerçek yapı ölçümleri, rüzgar tüneli deneyleri ve sayısal çözümler şeklindedir.

1.4.3. Gerçek Yapı Ölçümleri

Rüzgarın gerçek yapılar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için birçok ülkede tam ölçekli test binalarından yararlanılmaktadır. Bu test binaları üzerinde yapılan detaylı ölçümler, rüzgar tüneli deneylerinin ve sayısal çalışmaların doğruluğunu belirlemede önemli bir referans oluşturmaktadır. Gerçek yapıların rüzgar etkilerine maruz kalması sağlanarak, laboratuvar ortamında elde edilen sonuçların doğruluğu artırılmaktadır. 1930'lardan itibaren gerçek yapı ölçümleri, rüzgar tüneli deneylerinden elde edilen sonuçları doğrulamak için karşılaştırma verisi olarak kullanılmaktadır (Cook, 1985). Dolayısıyla gerçek yapı ölçümleri, rüzgar etkilerinin doğru bir şekilde anlaşılması ve yapıların güvenliğinin artırılması için önemli bir araç olarak kabul edilmektedir.

Businger vd. (1971), atmosferik sınır tabakadaki boyutsuz hız ve sıcaklık profillerini incelemek amacıyla gerçek yapı ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Eaton vd. (1975), Aylesbury'deki tam ölçekli alçak katlı bir test binasının yüzeylerindeki basınç dağılımlarını farklı rüzgar geliş açıları ve çatı eğimleri için elde etmişlerdir. Çatı eğiminin azalmasıyla çatı

yüzeylerindeki emme yüklerinin arttığını ve ölçülen pik değerlerin rüzgar tüneli sonuçlarıyla uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Stathopoulos vd. (1990), düz çatılı bir test binası üzerinde gerçekleştirdikleri basınç ölçümlerinde, çatı köşelerinde ölçülen en kritik basınç katsayılarının açılı rüzgar doğrultularında oluştuğunu belirtmişlerdir. Farklı araştırmacılar tarafından, Teksas Teknik Üniversitesi'nde bulunan alçak katlı gerçek ölçekli bir test binası üzerinde basınç ölçümleri, akış görüntüleme çalışmaları ve hız ölçümleri yapılmıştır (Levitan vd., 1992a,1992b; Wagaman, 1993; Letchford, 1995; Sarkar vd., 1997). Bu çalışmalardan, rüzgar tüneli deneylerinde kullanılmak üzere ortalama rüzgar hızı, türbülans şiddeti, güç kanunu üssü ve pürüz yüksekliği gibi veriler elde edilmiş ve ayrılma bölgeleri ve konik girdaplar gibi akış özellikleri hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir. Uzun yıllardan beri, Silsoe Araştırma Enstitüsü önündeki açık bir araziye inşa edilen ve Silsoe Küpü olarak adlandırılan küp şeklindeki test binası için basınç ve rüzgar hızı ölçümleri yapılmaktadır (Richards vd., 2001; Richards & Hoxey, 2012). Bu tam ölçekli ölçümler, hem rüzgar ve yapı arasındaki temel etkileşimlerin ve akış yapısının anlaşılmasına imkan sağlamakta, hem de rüzgar tüneli modellemeleri ve hesaplamalı akışkanlar mekaniği çalışmaları için oldukça faydalı veriler sunmaktadır. Li vd. (2007), 2004 yılında meydana gelen Rananim Tayfunu'nun, Çin Anakarasının en yüksek yapısı olan 420.5 metre yüksekliğindeki kare kesitli Jin Mao Binası üzerindeki etkilerini araştırmak için tam ölçekli ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Tayfun sırasında, rüzgar hızı, rüzgar yönü ve ivme tepkisi gibi saha verileri eş zamanlı ve sürekli olarak ölçülerek, binanın rüzgardan kaynaklanan titreşimleri ve yapısal dinamik özellikleri değerlendirilmiştir. Gerçek yapı ölçümlerinde sınırlı sayıda veri elde edilmektedir. Rüzgar tünellerinde yapılan deneylerde ise, saha ölçümlerinde elde edilemeyen daha ayrıntılı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Böylece, gerçek yapı ölçümleri ve rüzgar tüneli deneyleri birbirini tamamlamakta ve rüzgarın binalar üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkı sağlamaktadır (Li vd., 2006).

1.4.4. Rüzgar Tüneli Deneyleri

Rüzgar tünelleri, genellikle cisimlerin etrafındaki gerçek hava akışını benzetmek için kullanılan deneysel sistemler olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar tünelleri, laboratuvar ortamında yapay bir hava akışı oluşturarak, çeşitli cisimler etrafındaki rüzgar etkilerini model ölçeğinde incelemek amacıyla tasarlanmışlardır. Rüzgarın yapılar, araçlar, yayalar ve diğer cisimler üzerindeki etkilerinin incelenmesinde önemli bir araç olarak kullanılan rüzgar

tünellerinde ilk çalışmalar 1960'ların ortalarında başlamıştır ve benzeşim tekniklerinin gelişmesiyle günümüzde hala yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

Atmosferik sınır tabaka rüzgar tünelleri, yapı tasarımı, bina aerodinamiği, doğal havalandırma, yaya seviyesindeki rüzgar ortamının değerlendirilmesi, hava kirletici dağılımlarının belirlenmesi, araç stabilitesinin değerlendirilmesi, gürültü seviyelerinin belirlenmesi gibi birçok rüzgar mühendisliği uygulaması için yaygın olarak kullanılmaktadır (Cermak, 1999). Castro ve Robins (1977), rüzgar tüneline oluşturdıkları laminar ve türbülanslı akış şartlarında, tünel çalışma bölgesi tabanına yerleştirdikleri bir küp modeli etrafındaki akış alanını deneysel olarak incelemişlerdir. Model yüzeylerinde basınç, model etrafında ise ortalama hız ve türbülans ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Atmosferik sınır tabaka rüzgar tüneline, prizmatik cisimler etrafındaki akış alanının incelenmesine yönelik deneysel bir çalışma Fackrell (1984) tarafından gerçekleştirmiştir. Ayrılmış akış bölgelerinin incelendiği çalışmada, cismin üst ön kenardan ayrılan akışın cisim yüzeyine tekrar tutunma durumunun cisim üzerinde oluşan ters akış bölgesinin uzunluğundan etkilendiği belirtilmiştir. Gumley (1984), rüzgar yönü, çatı tipi, çatı eğimi, model en boy oranı ve saçak yüksekliği gibi parametrelerin çatı yüzeylerinde ölçülen ortalama ve pik basınç değerleri üzerindeki etkilerini araştıran kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Letchford ve Ginger (1992), kentsel arazi şartlarına göre modellenmiş atmosferik sınır tabaka akışını elde ettikleri rüzgar tüneline, düz çatılar üzerindeki ortalama basınç dağılımlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Rüzgar tüneli ölçümlerinden, farklı çatı eğim açıları ve rüzgar yönleri için en kritik rüzgar yüklerinin akış ayrılmasının olduğu bölgelerde meydana geldiğini belirtmişlerdir. Gu vd. (1999) tarafından yürütülen rüzgar tüneli çalışmalarında, tasarım aşamasında olan Jin Mao Binası üzerindeki rüzgar etkileri incelenmiş ve süper yüksek binanın rüzgara dayanıklı tasarımı için bilgiler elde edilmiştir. Li vd. (2006), Jin Mao Binası etrafındaki rüzgar yüklerini, bina çevresindeki yüksek yapıları da dikkate alarak kapsamlı bir rüzgar tüneli çalışmasıyla incelemişlerdir. Ayrıca Rananim Tayfunu esnasında Jin Mao Binası üzerinde gerçekleştirdikleri gerçek yapı ölçümleriyle, rüzgar tüneli testinde kullandıkları tekniğin yeterliliğini ve model test sonuçlarının doğruluğu onaylamışlardır. Kuo vd. (2015), farklı sokak kanyonu genişlikleri, podyum yükseklikleri ve rüzgar yönleri için sokak kanyonu içerisinde yaya seviyesindeki rüzgar özelliklerini belirlemek amacıyla rüzgar tüneli deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Podyum yüksekliğindeki artışın, sokak kanyonundaki akışta daha yüksek rüzgar hızlarının oluşmasına neden olduğunu ve gelen rüzgar yönünün, yüksek rüzgar hızı bölgesini etkilediğini belirtmişlerdir.

1.4.5. Sayısal Çalışmalar

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerini sayısal yöntemler ve algoritmalar kullanarak çözen, akışkan davranışlarını sayısal simülasyonlarla modelleyen bir akışkanlar mekaniği disiplini olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda bilgisayar donanımlarının ve yazılımların gelişmesiyle birlikte, yapılar etrafındaki akışların incelenmesinde gerçek yapı ölçümleri ve rüzgar tüneli deneylerine alternatif olarak, sayısal simülasyonların kullanımı da yaygınlaşmıştır. Gerçek yapı ölçümlerinin ve rüzgar tüneli deneylerinin zaman alıcı ve maliyetli olması ve karmaşık geometrilerin deneysel incelenmesinde ortaya çıkan zorluklar, bina aerodinamiğine yönelik sayısal çalışmaların tercih edilmesine neden olmaktadır. Bu şekilde, akış alanlarıyla ilgili kapsamlı analizlerin daha ekonomik ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Özellikle büyük ölçekli yapıların veya karmaşık geometrilere sahip cisimlerin etrafındaki akış alanlarının incelenmesinde, sayısal yöntemler etkin bir alternatif olmaktadır. Ancak, sayısal çözümlerden elde edilen sonuçların güvenilirliği, deneysel verilerle olan uyumları ölçüsünde olmaktadır. Bu karşılaştırma, sayısal çözümün doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmede kritik bir rol oynamaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde, türbülanslı bir akışın çözümünde farklı türbülans modelleri kullanılmaktadır. Türbülans modelleri, türbülanslı akışlardaki karmaşık türbülans yapısını matematiksel olarak tanımlamak ve sayısal olarak çözmek için kullanılan formülasyonlar olarak tanımlanmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemler arasında Doğrudan Sayısal Simülasyon (Direct Numerical Simulation, DNS), Büyük Girdap Simülasyonu (Large Eddy Simulation, LES) ve Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (Reynolds Averaged Navier-Stokes, RANS) yaklaşımları yer almaktadır. DNS, tüm türbülans ölçeklerini çözen ve sayısal çözümlerde en yüksek doğruluğu sağlayan bir yöntemdir. Bu model, tüm türbülans yapılarını ayrıntılı olarak çözmesi nedeniyle yüksek hesaplama gücü ve maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle büyük Reynolds sayılarındaki karmaşık akış problemlerini DNS ile çözmek mümkün olmamaktadır. Bu durum, DNS kullanımını küçük ölçekli akışların temel analizi ile sınırlamaktadır. LES, türbülanslı girdapların büyük ölçekli ve daimi olmayan özelliklerini çözen, küçük ölçekli olanları ise modelleyen bir yaklaşımdır. Yüksek hesaplama gücü gerektiren bu model ile, karmaşık akışlarda detaylı ve doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. RANS ise, türbülanslı akışların ortalama akış özelliklerini çözmek için kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, Reynolds

gerilmelerinin belirlenmesi için Boussinesq hipotezine dayalı çok sayıda türbülans modeli geliştirilmiştir ve türbülansın detayları tam olarak çözülmeden ortalama akış özellikleri tahmin edilmektedir. RANS, türbülanslı akış alanlarının çözümünde, diğer yöntemlere göre daha az hesaplama gücü gerektirmekte, buna karşın yeterli doğrulukla sonuçlar üretebilmektedir. Bu nedenle, zaman ve maliyet tasarrufu ve geniş uygulama alanları nedeniyle mühendislik tasarımlarında ve endüstriyel akış problemlerinin sayısal çözümünde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Literatürde yapılar etrafındaki türbülanslı akışların sayısal çözümünü içeren oldukça kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların çoğunda, farklı türbülans modellerinin performanslarının deneysel veriler karşısındaki hassasiyetlerinin test edilmesine odaklanılmıştır. Stathopoulos ve Zhou (1995), düz çatıya sahip alçak ve yüksek olmak üzere dikdörtgen iki bina modeli yüzeylerindeki basınç katsayılarını farklı rüzgar geliş açıları için sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çatı yüzeylerinin büyük bir bölümünde sayısal çözümle elde edilen değerlerin, rüzgar tüneli ölçüm sonuçlarıyla uyumlu olduğunu, ancak çatı ön kenarı yakınındaki girdaplı bölgede sayısal ve deneysel sonuçlar arasında fark olduğunu ifade etmişlerdir. Bu farkın, özellikle yüksek bina modelinde rüzgarın açılı gelmesi durumunda daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Tutar ve Oğuz (2002), paralel iki bina etrafındaki türbülanslı akış alanını farklı rüzgar geliş açıları ve bina düzenlemeleri için LES modelini kullanarak ve deneysel verilerle uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Zhang vd. (2005), farklı bina tipleri ve rüzgar koşulları için, bina modelleri etrafındaki rüzgar akışını RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli ile çözmüşlerdir. Modellerin etrafındaki hız alanlarını inceledikleri çalışmada, sayısal sonuçların genel olarak deneysel verilerle uyum içinde olduğunu, ancak ters akış bölgelerinin oluştuğu çatı üzerinde ve binaların alt seviyeleri civarında deneysel sonuçlardan uzaklaşıldığını belirtmişlerdir. van Hooff ve Blocken (2010), Hollanda'daki çok işlevli Amsterdam ArenA stadyumunun doğal havalandırmasını ve stadyum etrafındaki rüzgar etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Stadyum etrafındaki ve içindeki türbülanslı rüzgar akışını Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli ile birleşik yaklaşımla çözdükleri çalışma sonucunda, dış ve iç hava akışının aynı anda ve aynı hesaplama alanında çözülebileceğini göstermişlerdir. Blocken vd. (2012), kentsel alanlarda yaya konforu ve güvenliğinin değerlendirilmesi amacıyla Eindhoven Teknoloji Üniversitesi kampüs arazisi üzerindeki türbülanslı rüzgar akışını, Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak çözmüşler ve sonuçları kampüs alanında yaptıkları rüzgar hızı ölçümleriyle karşılaştırmışlardır. Sayısal sonuçlar ve ölçüm sonuçları arasında ortalama sapmanın % 14 düzeyinde olduğunu ve bu

oranın kullanılan türbülans modelinin uyumlu sonuçlar verdiği şeklinde değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir. Özmen ve Kaydok (2015), kare kesite sahip yüksek bir bina modeli etrafındaki akış alanını farklı türbülans modelleri kullanarak çözmüşler ve deneysel verilerle en yüksek uyumu RNG $k-\varepsilon$ türbülans modelinin sağladığını tespit etmişlerdir. Özmen vd. (2016), farklı eğim açlarına sahip beşik çatılı alçak bina modelleri etrafındaki türbülanslı akış alanlarını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımlarını belirledikleri çalışmalarında, çatı yüzeylerinde çatı eğiminin 15° olduğu durumda 30° ve 45° çatı eğimi durumlarına göre daha kritik emme etkilerinin oluştuğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, ortalama hız ve türbülans kinetik enerjisi için Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modelinin, ortalama basınç katsayıları için ise Standart $k-\omega$ türbülans modelinin deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Zheng vd. (2016), üç eliptik ve bir dairesel kule birleşiminden oluşan 1000 metre yüksekliğindeki “megatall” binasının dış mekan platformlarında yaya seviyesindeki rüzgar etkisini rüzgar tüneli testleri ve sayısal çözümlerle incelemişlerdir. Platformların bir çok bölgesinde daralma etkileri nedeniyle rahatsız edici esintilerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak ve rüzgar ortam konforunu iyileştirmek için ilave rüzgar kalkanı, sığınak veya perde kullanımı gibi bazı aerodinamik önlemlerin alınması gerektiğini önermişlerdir. Özmen ve Aksu (2017), atmosferik sınır tabaka içine yerleştirilmiş sonlu silindirik modellerin çatıları ve yan duvarlarındaki basınç dağılımlarını, düz, konik ve yarı küresel olmak üzere üç farklı çatı tipi için deneysel ve sayısal olarak elde etmişlerdir. Sayısal çözümlerde Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modelinin kullanıldığı çalışmada, farklı çatı tiplerindeki basınç dağılımları karşılaştırılmış ve yarı küresel çatının diğerlerine göre daha kritik emme etkisine sahip olduğu belirtilmiştir. Demir (2021), Aksaray Üniversitesi Kampüsü’nde bulunan karmaşık geometriye sahip bir bina üzerindeki rüzgar yüklerini sayısal olarak incelemiştir. Spalart-Allmaras, dört denklemlilik geçiş SST ve iki denklemlilik $k-\omega$ SST türbülans modellerinin kullanıldığı çalışmada, Spalart-Allmaras modelinin bina etrafında oluşan girdapların boyutunu diğer modellere göre daha farklı hesapladığı belirtilmiştir.

1.4.6. Yüksek Katlı Yapılarda Rüzgar Etkileri

Günümüzde şehirlerin silüetini belirleyen ve kent yaşamının vazgeçilmez bir parçası haline gelen yüksek katlı yapılar, sadece kentleşmenin bir sonucu değil, aynı zamanda gücün

ve iktidarın sembolü olarak da karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'de "Gökdelen", Amerika'da "Skyscraper" ve "High-Rise Building", İngiltere'de "Tower Block" ve "Tall Building" olmak üzere farklı ülkelerde farklı isimlerle ifade edilen yüksek yapılar genel olarak, "taban alanı küçük, yüksekliği taban boyutlarına göre çok fazla, genellikle kule biçimindeki narin binalar" olarak tanımlanmaktadır (Kaydok, 2014). Ülkelere göre farklı kriterler referans alınarak belirlenen ve belirli bir yükseklik eşiği üzerindeki binaları ifade etmek için kullanılan yüksek bina tanımları görülmektedir. Tablo 2’de, bazı ülkeler için kullanılan yüksek bina tanımları verilmiştir.

Tablo 2. Farklı ülkeler için yüksek bina tanımları (Kaydok, 2014)

ABD	Bina yüksekliği 21 metre ve daha fazla olan binalar
Almanya	Bina yüksekliği 22 metre ve daha fazla olan binalar
İsviçre	Bina yüksekliği 25 metreden fazla olan binalar
İngiltere	Bina yüksekliği 28 metre ve daha fazla olan binalar
Rusya	9 kat ve üstü binalar
Türkiye	10 kat ve üstü binalar
Macaristan	11 kat ve üstü binalar

Rüzgar, yüksek katlı yapılar üzerinde hem statik hem de dinamik etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler, rüzgarın şiddet ve yönünün zaman içinde değişen karmaşık bir yapıda olması nedeniyle. Rüzgar genellikle, ortalama bir hız ve bu ortalama değer etrafında çalkalanan ve türbülans olarak adlandırılan karmaşık hareketleri içeren bir yapıda esmektedir. Ortalama rüzgar hızı, sürekli bir kuvvet veya yük oluştururken, türbülanslar ani ve değişken basınç değişimleriyle bina üzerinde dinamik etkiler oluşturmaktadır. Statik etkiler, rüzgarın binanın dış yüzeyinde oluşturduğu basınç, sürüklenme kuvveti, kaldırma kuvveti ve momentlerle ilgilidir ve bu etkinin boyutu hızın karesi ile doğru orantılıdır. Dinamik etki ise rüzgarın binalar üzerinde oluşturduğu titreşim ve çalkantılarla ilgilidir (Özmen, 2006).

Yüksek binaların rüzgarla etkileşimi esnasında sergiledikleri fiziksel etkileri, rüzgar yönü doğrultusunda meydana gelen hareket, rüzgar yönüne dik doğrultuda meydana gelen hareket ve burulma hareketi olarak üç grupta incelemek mümkündür. Rüzgar yönü doğrultusunda meydana gelen hareket, binaya ön ve arka yüzeyinden etkiyen rüzgar kuvveti

ile oluşmakta ve binalar üzerinde sürüklenme kuvvetlerinin etkili olmasını sağlamaktadır. Rüzgar yönüne dik doğrultuda meydana gelen hareket, binanın her iki kenarına etkiyen, değişken yapıdaki sapan akışın oluşturduğu hareket olarak tanımlanmaktadır. Burulma hareketi ise, binaya etkiyen rüzgarın yapı üzerindeki basınç dağılımının düzensizliği ve bu dağılımın yükseklik boyunca değişmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Hem rüzgar yönüne dik doğrultuda meydana gelen hareket, hem de burulma hareketi, genellikle yapının yan yüzeylerine etkiyen girdap kopmaları etkisiyle oluşmaktadır (Yiğit & İnal, 2011).

Yüksek katlı bir binaya çarpan rüzgar, üç yöne doğru hareket etmektedir. İlk olarak, çarpan rüzgarın bir kısmı durma noktasından itibaren binanın üst kısmına doğru yönelmekte ve binanın üzerinden geçerek arka tarafına doğru hareket etmektedir. İkinci olarak, çarpan rüzgarın bir bölümü binanın yan yüzeylerine doğru hareket etmekte ve bu yüzeyleri takip etmektedir. Bu hareket esnasında, ivmelenme nedeniyle binanın köşelerinde rüzgar hızı artmakta ve binanın arka tarafında düşük basınç alanları oluşmaktadır. Üçüncü olarak ise, rüzgar binanın yüzeyine çarptıktan sonra aşağıya doğru yönelmekte ve bu hareket yaya seviyesindeki bölgelerde rahatsız edici türbülanslara yol açmaktadır (Koyuncu, 2019).

Kentsel mekânlarda, binaların biçimleri, yükseklikleri gibi geometrik özelliklerine ve yerleşim düzenleri, birbirine olan mesafeleri gibi farklı yapılaşma şekillerine bağlı olarak yüksek bina ve rüzgâr etkileşimi de değişim göstermektedir. Binaların biçimlerini belirleyen plan geometrisi, rüzgarın nasıl yönleneceğini ve hangi tür etkilerin ortaya çıkacağını belirlemektedir. Oval veya yuvarlak yapılar rüzgara daha az direnç göstermekte, keskin köşeli yapılar ise direnç etkisi nedeniyle daha fazla türbülans yaratmaktadır. Örneğin, rüzgar yükünün dikdörtgen plan geometrisine sahip bir yapıya kıyasla, plan geometrisinin altıgen veya sekizgen olması durumunda % 20, dairesel olması durumunda ise % 40 oranında azaltılabilmesi mümkün olmaktadır. Binaların geometrik özelliklerinden biri olan bina yüksekliği ve bina genişliği de rüzgar yüklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Rüzgâr hızının yerden yükseldikçe artması nedeniyle, yüksek yapılarda yüksekliğin artması yapıya etki eden rüzgar yükünün de artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yapı yüksekliğinin artması binanın ön cephesinde oluşan aşağı akım etkisi ve yan cephelerinde oluşan girdap etkisi nedeniyle yaya konforunu da olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin 16 katlı yüksek bir yapı girdap etkisi nedeniyle yaya konforunu % 40 oranında olumsuz etkilerken, daha yüksek olan 30 katlı bir yapıda bu olumsuz etki % 120 oranına çıkabilmektedir (Koyuncu, 2019).

1.4.7. Farklı Şekil ve Modifikasyonlara Sahip Binalar Etrafında Akış Alanı

Modern şehirlerdeki farklı mimariye sahip binalar, mimarlar ve şehir planlamacılar tarafından şehir silüetini çeşitlendirmek ve farklı yapılar oluşturmak için tercih edilmektedir. Geleneksel dikdörtgen kesitli binalar mimaride tercih edilen en tipik ve basit bina şekli olarak bilinmektedir. Ancak günümüzde, ihtişamın bir göstergesi olarak yapılar farklı geometrilere ve özelliklere sahip olarak inşa edilmektedir. Bina yüksekliği ve genişliği, çatı eğimi, cephelerin şekli ve diğer mimari özellikler binalar etrafındaki rüzgar akışını önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu değişimler dikkate alınarak, rüzgarın binalar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için, farklı şekle veya aerodinamik modifikasyona sahip bina tasarımları önerilmektedir. Bu modifikasyonlar, yapısal ve mimari açıdan oluşturdukları değişimlere göre minör ve majör modifikasyonlar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Minör modifikasyonlar, yapısal veya estetik görünüş olarak ihmal edilebilir düzeydeki değişikliklere neden olan aerodinamik düzenlemeleri kapsamaktadır. Bu tür modifikasyonlar, genellikle binanın köşelerine eklenen veya köşelerinden çıkarılan kısımları ve rüzgar yönünü değiştirecek düzenlemeleri içermektedir. Örneğin, köşelere kanat eklemek veya köşelerden kanat çıkarmak yaygın minör modifikasyonlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, köşelerde boşluklu kanatlar kullanmak, köşeleri oluklu yapmak, köşe boşaltması ve köşe yuvarlatılması gibi uygulamalar da bu gruba girmektedir. Öte yandan, majör modifikasyonlar, yapısal ve mimari açıdan daha belirgin ve büyük değişiklikler içeren aerodinamik düzenlemeleri ifade etmektedir. Bu tür modifikasyonlar, binanın genel şeklini ve yüksekliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin, binanın kesit şeklinin yükseklikle değişmesi veya burulma şeklinde yükselmesi gibi tasarımlar majör modifikasyonlar arasında yer almaktadır (Kaydok, 2014). Bu tür değişiklikler, binanın rüzgar yüklerini daha etkili bir şekilde yönetmesine yardımcı olurken, aynı zamanda estetik ve fonksiyonel açıdan da belirgin farklılıklar yaratmaktadır.

Literatürde, farklı şekle ve aerodinamik modifikasyonlara sahip binaların etrafındaki rüzgar ortamını inceleyen kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

a. Köşe Modifikasyonu

Köşe modifikasyonları, binalarda sıkça tercih edilen minör mimari değişiklikler arasında yer almaktadır. Bu modifikasyonlar, binalara estetik bir değer katmanın yanı sıra,

rüzgarın olumsuz etkilerini azaltmada da etkili olmaktadır. Köşe modifikasyonları ile rüzgarın geldiği yöne bakan köşelerdeki akış ayrılmaları azalmakta ve bina arkasındaki girdap yapısı ile girdapların oluşma frekansı değişmektedir. Bu sayede, özellikle rüzgarın açılı gelmesi durumunda bina üzerindeki yükler azalmaktadır (Zhang, 2018). Binalarda tipik olarak tercih edilen köşe modifikasyonları arasında köşe yuvarlatma, köşe boşaltma, köşelere kanat eklenmesi, yarıklı köşe ve köşe kesimi yer almaktadır. Miyashita vd. (1993), kare kesitli bir bina modeline yapılan köşe kesimi ve köşe boşaltma modifikasyonlarının rüzgar kuvvetlerini azaltmada etkili olduğu belirtilmiştir. Kare ve dikdörtgen prizma şeklindeki bina modellerine uygulanan köşe kesimi ve köşe boşaltılması modifikasyonlarının, model etrafındaki girdap yapılarına etkisini incelemek amacıyla yapılan bir diğer rüzgar tüneli çalışması Kawai (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir. Model genişliğinin % 5'i kadarlık bir oranda uygulanan köşe modifikasyonunun, aerodinamik performansı büyük ölçüde iyileştirdiği belirtilmiştir. Gu ve Quan (2004), kare kesitli bir yüksek bina modeline bina genişliğinin % 5'i, % 10'nu ve % 20 si oranında köşe modifikasyonu uygulanmasıyla oluşturdukları yeni bina modellerine etkiyen rüzgar yüklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Köşe modifikasyon oranı % 10 olan bina modeli için, bina üzerinde oluşan rüzgar yüklerinin en düşük seviyede olduğu belirtilmiştir. Kumar vd. (2006), kare kesitli bir modele uyguladıkları iki basamaklı köşe boşaltma işleminin, model üzerine etkiyen rüzgar kuvvetlerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Modele uyguladıkları köşe modifikasyonu ile rüzgar kuvvetlerinde % 40 oranında bir iyileşme elde ettiklerini belirtmişlerdir. Özmen ve Kaydok (2015), kare kesitli bir bina modeli ve bu modele % 10, % 20 ve % 30 oranlarında köşe azaltması uygulayarak oluşturdukları yeni modeller etrafındaki akış alanlarını sayısal olarak incelemişlerdir. Farklı türbülans modelleri ile çözümlerin yapıldığı çalışmada, model etrafındaki ortalama hız ve türbülans profilleri ile model yüzeylerindeki ortalama basınç dağılımları detaylı olarak incelenmiştir. Farklı köşe modifikasyonlarına sahip bina modelleri yüzeylerinde hesaplanan basınç dağılımları incelendiğinde, en kritik negatif basınç katsayısı değerlerinin % 10 oranında azaltma yapılarak oluşturulmuş model üzerinde oluştuğu görülmüştür.

b. Binalar Arasındaki Geçit

Birden fazla binadan oluşan bina gruplarında, rüzgar genellikle binalar arasındaki geçitlerden geçmeye zorlanmaktadır. Bu geçitlerdeki rüzgar etkisi, binaların yüksekliği ve

genişliği gibi geometrik özelliklerden, binalar arasındaki mesafe ve açı gibi konumsal özelliklerden ve rüzgar geliş açısı ve şiddeti gibi parametrelerden doğrudan etkilenmektedir (Cürebal & Özmen, 2022). Literatürde, binalar arasındaki geçitteki rüzgar etkilerinin incelendiği çalışmaların çoğunda, paralel olarak yerleştirilmiş iki bina grubu arasındaki dar geçidin merkez hattı boyunca yaya seviyesinde elde edilen hız ve türbülans şiddeti dağılımlarına odaklanıldığı görülmektedir. Konu ile ilgili ilk çalışmalar, iki bina konfigürasyonu arasındaki geçitte merkez hat boyunca rüzgar tüneli ölçümlerini gerçekleştiren Ishizaki ve Sung (1971) ve Wiren (1975) tarafından yürütülmüştür. Her iki çalışmada da eşit yükseklikteki blok tipi binalar arasındaki geçitlerde ortalama rüzgar hızına odaklanılmıştır. Stathopoulos ve Storms (1986), dikdörtgen kesit alanına sahip paralel iki bina modeli arasındaki geçitte ortaya çıkan rüzgar etkilerini, farklı bina yükseklikleri ve rüzgar geliş açıları için deneysel olarak incelemişlerdir. Geçit genişliğinin artmasıyla birlikte hızdaki artışın azaldığını ve türbülans seviyesinin arttığını belirtmişlerdir. Blocken vd. (2007), geniş bir geçit genişliği aralığı için, paralel iki bina arasındaki rüzgar etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelinin kullanıldığı çalışmada, elde edilen sayısal sonuçlar Stathopoulos ve Storms (1986) tarafından yapılan rüzgar tüneli ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Paralel olmayan iki bina arasındaki açının 45° ve 135° olduğu daralan ve genişleyen bina durumları için, bina yüksekliğinin, binalar arasındaki geçit genişliğinin ve farklı rüzgar geliş açılarının yaya seviyesindeki rüzgar koşullarına etkisi, Blocken vd. tarafından deneysel (Blocken vd., 2008a) ve sayısal olarak (Blocken vd., 2008b) incelenmiştir. Daralan bina düzenlerinde bina geçidinin merkez hattında ölçülen boyutsuz rüzgar hızı değerlerinin, genişleyen bina düzenlerinde ölçülen hız değerlerinden daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelinin kullanıldığı sayısal çalışmada, blokaj etkisi nedeniyle, rüzgarın büyük bir bölümünün geçitten geçmek yerine binalar çevresinden akmaya zorlandığı ifade edilmiştir. Li vd. (2015), iki bina arasındaki açının 0° ile 180° arasında değiştiği 12 farklı durum için, binalar arasındaki dar geçidin merkez hattındaki rüzgar etkisini Standard $k-\epsilon$ türbülans modeli ile sayısal olarak incelemişlerdir. Daralan bina düzenleri için, geçidin merkez hattı boyunca hesaplanan rüzgar hızlarının daha düşük, sürtünme katsayısının daha yüksek ve blokaj etkisinin daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Allegrini ve Lopez (2016), paralel olmayan iki bina arasındaki geçitte yerel rüzgar etkisini rüzgar tüneline incelemişlerdir. Geçitteki rüzgar hızının, daralan bina düzenleri için binalar arasındaki açının artmasıyla arttığını, genişleyen bina düzenleri için ise açının artmasıyla azaldığını vurgulamışlardır. İki bina arasındaki açının 0°

ile 180° arasında değiştiği 8 farklı bina düzenlemesi için, akış alanındaki hız ve basınç dağılımları Cürebal ve Özmen (2022) tarafından sayısal olarak incelenmiştir. Geçidin merkez çizgisi boyunca hesaplanan en düşük boyutsuz hız değerinin açının 45° olduğu durumda, en yüksek değerin ise açının 135° olduğu durumda meydana geldiğini belirtmişlerdir.

c. Podyum Yapılar

Podyum yapılarda apartman, ofis, otel gibi yüksek yapılar düz ve geniş bir platformdan oluşan bir podyumun üzerine inşa edilmektedir. Bu yapılar, yüksek binaların alt kısmında yer alarak yapıları temel bir platformla desteklemektedir. Binanın tabanında bulunan ve geniş bir alana sahip olan podyum, alışveriş merkezi veya otopark gibi farklı ticari veya hizmet amaçlı olarak değerlendirilebilmektedir. Bununla birlikte, bir podyum yapının tercih edilmesinin asıl amacı yayaları, binanın rüzgar geliş tarafında oluşan yoğun rüzgar etkisinden korumak ve yaya konforunu artırmaktır.

Murakami vd. (1979), podyum ilavesiyle, bir binanın rüzgar yönündeki cephesi boyunca aşağı yöndeki akışın nasıl saptırılabilceğini ve bunun yaya seviyesindeki rüzgar hızlarına etkisini incelemek amacıyla rüzgar tüneli deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Jamieson vd. (1992), bir yerleşim yeri içerisinde bulunan gölgelik, sekizgen kesitli bina ve podyumlu ve podyumsuz kuleler gibi bir dizi farklı bina modeli etrafındaki akış alanlarını rüzgar tüneli deneyleriyle incelemişlerdir. Podyum kullanımının, yüksek bir binanın tabanındaki yüksek hızları % 70 oranında düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ng vd. (2011), çok katlı ve fazla insan yoğunluğuna sahip binaların olduğu bir bölgede, yaya seviyesindeki rüzgar etkisini incelemişler ve boşluklu podyum tasarımının yaya konforunu arttırdığını belirtmişlerdir. Tsang vd. (2012), podyum varlığının yaya seviyesindeki rüzgar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla parametrik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Dört adet yüksek bina grubunun altına bir podyumun dahil edilmesinin, binaların yakınında yaya seviyesindeki rüzgarı engellediğini ve düşük rüzgar hızı bölgelerinin kapsadığı alanları önemli ölçüde arttırdığını göstermişlerdir. Yuan ve Ng (2012), farklı kentsel alanları temsil eden dokuz bina modeli etrafındaki akış alanının yaya seviyesindeki doğal havalandırma üzerindeki etkisini SST k- ω türbülans modeli ile sayısal olarak incelemişlerdir. Rüzgarın geçişine daha fazla alan sağlamak amacıyla sokak kanyonlarında basamaklı podyum yapıların kullanılmasını önermişlerdir. Kuo vd. (2015), yüksek binalardaki podyum boyutlarının yaya

seviyesindeki rüzgara etkisini rüzgar tüneli çalışmasıyla deneysel olarak incelemişlerdir. Podyum yüksekliğinin artmasıyla, yaklaşan hava akışının podyumun varlığıyla geri akışa dönüşüp belirgin bir yüksek hızlı rüzgara neden olduğunu vurgulamışlardır. van Druenen vd. (2019), yüksek katlı tekil bir binaya uygulanan gölgelik, podyum ve geçirgen zemin ilavelerinin binanın etrafında yaya seviyesindeki rüzgara etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Geçirgen zemin uygulamasına kıyasla gölgelik ve podyum uygulamasının yaya konforu üzerinde çok daha büyük bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

d. Yükseltilmiş Bina Tasarımı

Dünyada artan nüfus yoğunluğunun metropol olarak nitelendirilen büyük şehirlere doğru kaymasıyla, bu şehirlerde yaya seviyesindeki hava sirkülasyonunu sınırlayan, birbirine yakın yüksek binaların yapımı ve kullanımı da hızla artmaktadır. Yüksek binalar etrafındaki hava sirkülasyonu yetersizliği, çevredeki kirleticilerin zeminde birikmesine ve yaya konforu açısından yetersiz ısı şartlarına sahip havalandırmasız alanların oluşmasına sebep olmaktadır. Binaların geometrik özelliklerinin bina etrafında oluşan hava akışını değiştirmesi nedeniyle, yaya seviyesinde oluşan ve istenmeyen düşük rüzgar ortamını iyileştirmek için farklı geometrik özelliklere sahip özel bina tasarımları kullanılmaktadır. Bir binanın kullanım alanlarından ödün vermeden, çekirdek, kolon veya perde duvarlar ile desteklenerek yerden bir miktar yükseltilmesiyle oluşturulmuş yükseltilmiş bina (lift-up building) tasarımı, yüksek binalar etrafındaki yetersiz hava akışı nedeniyle oluşan yaya seviyesindeki olumsuz rüzgar koşullarını iyileştirmek için alternatif bir çözüm olarak dikkat çekmektedir. Bu tasarım, şehir planlaması ve mimari açıdan da çeşitli avantajlar sunmaktadır. Örneğin, çekirdek etrafında oluşan boşluk, yoğun kentsel bölgelerde yaya trafiğinin yönlendirilmesi, otopark gereksinimlerinin karşılanması ve binalara erişimin kolaylaşması gibi pratik çözümler sunmaktadır. Ayrıca, bu alanlar ticari faaliyetler, yeşil alanlar ve sosyal etkinlikler için de kullanılabilmekte ve böylece kentsel yaşam kalitesinin artmasına katkıda bulunmaktadır. Bu tür yapıların tasarımı ve kullanımının yaygınlaşması için, yapılar etrafındaki rüzgar koşullarının detaylı bir şekilde anlaşılması büyük önem taşımaktadır. Xia vd. (2015), düşük rüzgar hızı bölgelerine sahip tekil bina, bina dizisi ve podyumlu bina dizisi olmak üzere üç farklı yükseltilmiş bina tasarımı için yaya seviyesindeki rüzgar etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Yükseltilmiş bina tasarımının, tekil bina ve bina dizisi düzenlerinde etkili olduğunu, podyumlu bina dizisi

durumunda ise bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Niu vd. (2015), bir üniversite kampüsünde seçtikleri üç farklı alanda yaptıkları saha ölçümleri sonucunda, yükseltilmiş bina tasarımının yaya seviyesindeki rüzgar hızını önemli ölçüde arttırdığını ve aynı zamanda sıcak ve nemli yaz aylarında açık hava etkinlikleri için keyifli alanlar sağladığını belirtmişlerdir. Liu vd. (2016), yükseltilmiş bina tasarımına sahip olan ve olmayan tekil bir dikdörtgen kesitli binanın etrafındaki ısı konforu sayısal olarak incelemişlerdir. Yükseltilmiş bina tasarımının sadece sınırlı bir alanda ısı konforu artırdığını ortaya koymuşlardır. Tse vd. (2017), farklı çekirdek yükseklikleri ve genişliklerine sahip dokuz yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesindeki rüzgar etkisini deneysel olarak incelenmişlerdir. Bina modelleri etrafındaki yüksek ve düşük rüzgar hızı bölgelerinin boyut ve büyüklüğünü etkileyen en etkili parametrenin çekirdek yüksekliği olduğunu ve en uygun yükseltilmiş tasarıma sahip bina modelinin belirlenmesinde ilk önce uygun çekirdek yüksekliğinin belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Huang vd. (2017), yükseltilmiş bir bina etrafında ölçümler ve yayalar üzerinde anket çalışmaları gerçekleştirerek, çekirdek etrafında oluşan güçlü rüzgar ve gölgeli bölgenin sıcak dönemlerde yayaların ısı konfor seviyesini arttırdığını ortaya koymuşlardır. Du vd. (2017), bir üniversite kampüsünde bulunan yükseltilmiş bir binanın, yaya seviyesindeki rüzgar konforu ve ısı konfor üzerindeki etkisini rüzgar tüneli çalışmasıyla ve yerinde ölçüm yaparak araştırmışlar ve yükseltilmiş bina ile yaya seviyesindeki rüzgar ortamının etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermişlerdir. Zhang vd. (2017; 2018), pahlı, yuvarlatılmış ve girintili olacak şekilde üç farklı köşe modifikasyonun uygulandığı farklı boyutlardaki dikdörtgen kesitli yükseltilmiş tasarıma sahip binaların, yaya seviyesindeki rüzgar üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Optimum yükseltilmiş bina tasarımına ulaşmak için binanın boyutları ve merkezi çekirdek geometrisinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Sha vd. (2018), taşıtlardan kaynaklanan karbon monoksitin farklı yükseltme oranlarına sahip yükseltilmiş binalar üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Yükseltilmiş binaların çekirdekleri etrafında oluşan rüzgar yollarının bina yüzeylerindeki karbon monoksit konsantrasyonunu önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Weerasuriya vd. (2020), farklı hava koşulları altında, yükseltilmiş tasarıma sahip binaların yakınında yaya seviyesindeki rüzgar etkilerini sayısal olarak incelemişler ve sıcak iklimlerde yükseltilmiş binaların yakınındaki en konforlu rüzgar ortamının girintili köşelere ve bir merkez çekirdeğe sahip yükseltilmiş bina durumunda sağlandığını belirtmişlerdir. Chen ve Mak (2021a), farklı tipte konfigürasyonlara sahip yükseltilmiş bina modelleri etrafında yaya

seviyesindeki rüzgar etkisini değerlendirmek amacıyla kapsamlı sayısal çalışmalar yürütmüşlerdir. Yükseltilmiş tasarımın, bir binanın yaya seviyesindeki rüzgar konforunu önemli ölçüde artırabileceğini ve rüzgar konforunun rüzgar geliş açısına, bina konfigürasyonuna ve yükseltilmiş bölge büyüklüğüne duyarlı olduğunu göstermişlerdir. Chen ve Mak (2021b) tekil bina ve bina çifti modelleri için, bina yüksekliğinin yükseltilmiş tasarıma sahip binalar etrafındaki yaya konforuna etkilerini değerlendirmişler ve bina yüksekliğindeki artışın, çekirdek etrafındaki rüzgar konforunu arttırdığını belirtmişlerdir. Jiang ve Gao (2021), bina yoğunluğunun fazla olduğu bir yerleşim yerinde bulunan farklı tip ve aerodinamik modifikasyonlara sahip yükseltilmiş binaların etrafındaki rüzgar etkilerini RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli ile sayısal olarak incelemişler ve rüzgar konforu açısından en uygun ortamın geçirgen korkuluklar ve yükseltilmiş binanın bir arada olduğu durumda ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Literatürde, yükseltilmiş binalar etrafındaki rüzgar etkilerinin incelendiği çalışmalar büyük ölçüde yaya seviyesindeki rüzgar hızlarının belirlenmesine yöneliktir. Yukarıdaki çalışmalarda, yükseltilmiş bina tasarımlarının yaya seviyesindeki rüzgar ortamına olan etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Yükseltilmiş binaların yüzeylerindeki basınç dağılımlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça az sayıdadır. Bu çalışmalarda ise sel riskinin yüksek olduğu kıyı bölgelerde bulunan tek katlı evlerin, çok sayıda ahşap direk ile yerden yükseltilmesiyle oluşturulmuş modelleri incelenmiştir. Kim vd. (2020), tek katlı yükseltilmiş bir binanın yüzeylerindeki basınç dağılımlarını rüzgar tüneli deneyleriyle incelemişler ve bina modelinin tabanında kritik emme etkisinin oluştuğunu belirtmişlerdir. Abdelfatah vd. (2022), beşik çatılı yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Tek katlı ve iki katlı bina modellerinin farklı yükseklikteki direklerle yükseltildiği çalışmada, direk yüksekliğinin artmasıyla bina modellerinin çatı ve taban yüzeylerinde emme etkisi arttığı belirtilmiştir.

1.4.8. Yaya Seviyesindeki Rüzgar Hızları ve Rüzgar Konfor Kriterleri

Yaya konforu, yapıların yönlendirdiği rüzgar akımlarının yayalar üzerindeki etkilerini ifade etmekte ve günlük yaşamda yayaların dış mekanlarda rahat, güvenli ve keyifli bir şekilde hareket etmelerini sağlayan çeşitli faktörlerin bir bütünü olarak tanımlanmaktadır. Bu faktörler fiziksel çevre koşulları, rüzgar hızı, kentsel alan tasarımı, iklim şartları, gürültü seviyesi, kirletici dağılımı ve güvenlik önlemlerini kapsamaktadır. Kentsel alanlarda rüzgar,

dış mekanlardaki kullanım alışkanlıklarını ve yayaların konforunu doğrudan etkileyen önemli bir tasarım değişkeni olarak dikkate alınmaktadır. Rüzgar, yapılar etrafından geçerek veya yön değiştirerek yayaların konforunu olumlu veya olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum, yayaları fiziksel ve psikolojik olarak etkilemekte ve yayaların dış mekanları kullanma süreleri üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, yaya seviyesinde rüzgar konforunun sağlanması, kentsel alanların kullanılabilirliğini artırarak etkin ve konforlu yaşam alanlarının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Bu gerekliliğin farkında olan birçok ülkede, kentsel planlama ve mimari tasarım süreçlerinde yaya seviyesinde rüzgar konforunun sağlanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Yaya seviyesindeki rüzgar (Pedestrian-level wind, PLW) ortamı, genellikle yerden 1.5 ile 2 metre yükseklikte oluşan rüzgar etkisini ifade etmektedir (Bottema, 1993; Stathopoulos & Baskaran, 1996; Tsang vd., 2012; Tse vd., 2017; Zhang, 2018). Yaya seviyesindeki rüzgarda ısı ve mekanik etkiler önemli olmaktadır. Isı etkisi, rüzgarın sıcaklık değişimleri üzerindeki etkisini ifade etmekte, mekanik etki ise, rüzgarın hızı, sıklığı, yönü ve çalkantısı gibi mekanik özelliklerinin yol açtığı etkileri kapsamaktadır. Rüzgarın bu etkileri, yaya seviyesindeki rüzgar ortamının fiziksel özelliklerini ve insanların bu ortamda hissettikleri konfor seviyesini belirlemede oldukça önemlidir. Aynı zamanda rüzgar hızı, ısı konforu üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir (Wei vd., 2013; Niu vd., 2015; Zhang vd., 2023). Özellikle sıcak ve nemli iklimlerde, düşük rüzgar hızları yaya seviyesindeki ısı rahatsızlığı arttırmaktadır (Roth & Chow, 2012; de Dear & Kim, 2016; Chen & Mak, 2021). Yetersiz hava akışı sıcaklık hissini ve ısı stresi arttırmakta, buna bağlı olarak da yayaların dış mekanda bulunma sürelerinin kısalmasına ve genel konfor düzeylerinin düşmesine yol açmaktadır. Kış aylarında ise, yüksek rüzgar hızları, soğuk algısını artırarak hissedilen sıcaklığı daha da düşürmektedir. Ancak, ısı konforu etkileyen tek faktör rüzgar hızı değildir. Nem, güneş radyasyonu, gölgelenme, giyim ve fiziksel aktivite gibi diğer birçok faktör de insanların ısı konforunu etkilemektedir. Bu nedenle, rüzgarın ısı konforu üzerindeki etkisini tam olarak tahmin etmek zordur. Genel olarak, rahatsız edici esinti yaratmayan, ancak yeterince yüksek olan rüzgar hızlarının, insanlar için yeterli ısı konforu yüksek oranda sağladığı kabul edilmektedir. Bu kabul, herhangi bir konumda sağlanan kabul edilebilir rüzgar konforunun ısı konforu da otomatik olarak sağlayacağı varsayımına dayanmaktadır. (Zhang, 2018). Rüzgar kaynaklı mekanik etkiler ısı etkilerine göre çok daha geniş bir yelpazede ortaya çıkmaktadır. Rüzgarın yayalar üzerinde oluşturduğu mekanik zorlama, yaya konfor koşullarını olumsuz yönde etkilemektedir. Mekanik etkiler, hafif rahatsız edici

rüzgâr koşullara, yayaların yürümesini zorlaştıran veya dengesini bozan durumlara ve hatta yaralanmalara ve ölümcül kazalara yol açabilmektedir (Zhang, 2018). Dolayısıyla, kentsel tasarımda rüzgarın mekanik etkilerinin dikkate alınması, hem güvenlik hem de konfor açısından büyük önem taşımaktadır.

Dış mekanlarda, yayalar için kabul edilebilir rüzgar hızları, yayaların bu mekanlarda geçirdikleri zaman ve mekanların işleviyle doğrudan ilişkilidir. Örneğin, kısa bir süreliğine bir alanda yürüyen yaya veya vitrinlere bakan bir yaya, aynı alandaki bir kafeteryanın açık alanında uzun süre oturan birine kıyasla rüzgara daha fazla tahammül gösterebilmektedir. Literatürde, rüzgar hızları ve yayaların bu hızlara karşı gösterebilecekleri tolerans üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur. Yayaların farklı faaliyetleri için açık alanlarda konforlu bir şekilde vakit geçirebilmelerini sağlayacak "yaya konfor kriterleri" belirlenmiştir. Bu kriterler, rüzgarın hızı ve yönü gibi faktörlerin, yayaların farklı aktiviteler sırasında hissettikleri konfor seviyesine etkilerini belirlemeye yönelik önemli ölçütler sunmaktadır. Yaya konfor kriterlerinde, rüzgar hızı gibi tek bir parametre kullanılsa da, farklı ülkeler ve kurumlar tarafından belirlenen kabul edilebilir ve kabul edilemez rüzgar koşulları için eşik değerler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, hızın ortalama periyodu ve aşılma olasılığı gibi faktörlere ve bu büyüklüklerin değerlendirilme yöntemlerine göre oluşmaktadır (Stathopoulos, 2009).

Davenport 1972 yılında, gemicilikte kullanılan geleneksel Beaufort ölçeğinin, kara bölgeleri ve yayaları temsil eden yüksekliklere göre uyarlanmış bir versiyonunu literatüre önermiştir (Tablo 3). Bu ölçek, farklı hızlardaki rüzgarın insan vücudu üzerindeki mekanik etkileri hakkında genel bir fikir vermektedir. Tablo 3’de sunulan değerler % 5’lik aşılma olasılığına dayanmaktadır. Rüzgarın belirli bir faaliyet üzerinde olumsuz etkisi olup olmadığını değerlendirirken, rüzgarın estiği sürenin toplam faaliyet süresinin % 5’ini aşmaması durumunda ilgili faaliyetin yapılmasının yaya konforu açısından bir sorun oluşturmayacağı ifade edilmektedir. % 5’in aşılması durumunda ise ek tedbirlerin alınması gerektiği veya ilgili faaliyetin değiştirilmesi gerektiği belirtilmektedir. (Koyuncu, 2019).

Tablo 3. Beaufort ölçeğindeki rüzgar hızları (Zorer Gedik ve Çağan, 2013)

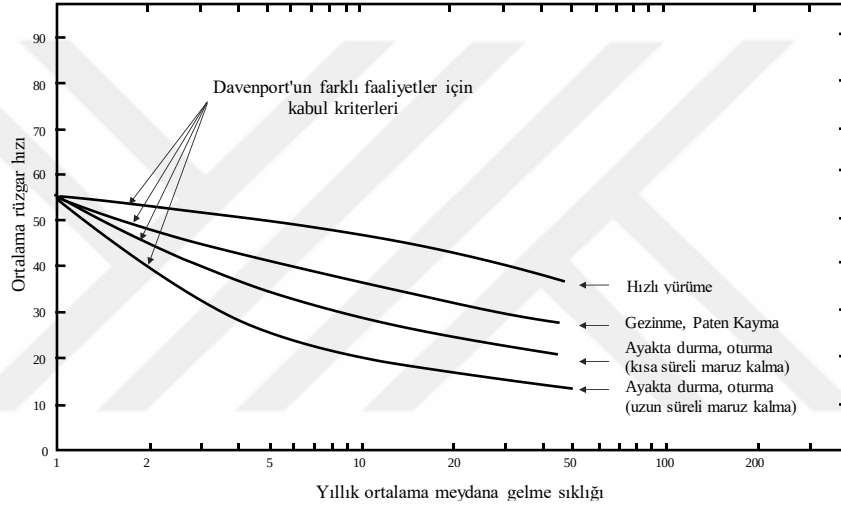
Beaufort sayısı (kuvvet)	Rüzgar hızı		Rüzgar adı	Karasal etkiler
	[km/h]	[m/s]		
0	1	0-0.2	Sakin	Hava sakın. Duman dikey olarak yükselir.
1	1-5	0.3-1.5	Esinti	Dumanda rüzgarın hareketi görülür.
2	6-11	1.6-3.3	Hafif rüzgar	Rüzgar yüzde hissedilir. Yapraklar hışıldar.
3	12-19	3.4-5.4	Tatlı rüzgar	Bayraklar dalgalanır. Dal ve yapraklar sabit hızla hareket eder.
4	20-28	5.5-7.9	Orta rüzgar	Toz, yaprak ve kağıtlar havalanır. Ağaçların küçük dalları sallanır.
5	29-38	8.0-10.7	Serin rüzgar	Rüzgarın gücü yüzde ve vücutta hissedilir. Küçük ağaçlar sallanır.
6	39-49	10.8-13.8	Kuvvetli rüzgar	Rüzgar uğultusu duyulur. Yürümek ve şemsiye kullanmak zorlaşır.
7	50-61	13.9-17.1	Fırtınamsı rüzgar	Ağaçlar sallanır. Yürürken denge bozulur.
8	62-74	17.2-20.7	Fırtına	Ağaçların dalları kırılır. Rüzgâra karşı yürümek imkansızlaşır.
9	75-88	20.8-24.4	Kuvvetli fırtına	Yapılarda hafif hasarlar görülebilir.
10	89-102	24.5-28.4	Tam fırtına	Ağaçlar kökünden sökülür. Yapılarda önemli hasarlar oluşur.
11	103-117	28.5-32.6	Çok şiddetli fırtına	Yapılarda büyük hasarlar meydana gelir.
12	>117	>32.6	Kasırğa	Yapılarda ağır tahribatlar meydana gelir.

Uyarlanmış Beaufort ölçeğinin karmaşıklığına alternatif olarak, Wise ve Penwarden (1975), üç eşik rüzgar hızının Tablo 4'deki etkilere neden olduğunu belirterek daha basit bir rüzgar konforu kriteri önermişlerdir.

Tablo 4. Wise ve Penwarden (1975) tarafından önerilen eşik rüzgar hızları

V= 5 m/s veya 18 km/saat	Rahatsızlık başlangıcı
V= 10 m/s veya 36 km/saat	Kesinlikle rahatsız edici
V= 20 m/s veya 72 km/saat	Tehlikeli

Rüzgarın meydana gelme sıklığının önemini göstermek amacıyla, Isyumov ve Davenport (1975), çeşitli faaliyetler için hem rüzgar hızlarını hem de oluşma sıklığını birleştiren bir rüzgar konfor kriteri önerilmişlerdir. Bu kriter, farklı rüzgar hızlarının meydana gelme sıklıklarını da içermesi nedeniyle, yalnızca tek bir rüzgar hızını belirleyen önceki kriterlerden belirgin şekilde ayrılmaktadır (Stathopoulos, 2009). Şekil 5'de görüldüğü gibi, rüzgar hızının yanı sıra rüzgarın meydana gelme sıklığı da insan faaliyetlerini etkilemekte ve rüzgar konforunun değerlendirilmesinde önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir.



Şekil 5. Yıllık meydana gelme sıklığına göre rüzgar hızı eşik değerleri (Stathopoulos, 2009)

Yaya konforu kriterlerinin standart hale getirilmesi amacıyla, Hollanda Normalizasyon Enstitüsü (NEN) 2007 yılında NEN-8100 standardını yayınlamıştır. Yerden 1.5 metre yükseklikteki saatlik ortalama rüzgar hızının esas alındığı standarda göre, yaya konforu için kabul edilebilir rüzgar hızı eşik değeri 5 m/s, tehlike eşik değeri ise 15 m/s olarak belirlenmiştir (Willemsen & Wisse, 2007; Stathopoulos, 2009; Koyuncu, 2019; Zorer Gedik & Çaçan, 2013). Tablo 5'de NEN-8100 standardının yaya seviyesinde saatlik ortalama rüzgar hızı açısından kriterleri görülmektedir. Bu kriterlerde, farklı faaliyet düzeyleri için eşik rüzgar hızının aşılma olasılıkları A-E aralığında derecelendirilmiştir (Willemsen & Wisse, 2007). Seçilen faaliyetlerde yaya konforunun sağlanması ve tehlike durumlarının önlenmesi için, eşik değerin aşılma olasılığının, P aşılma olasılığından küçük olması

gerekmektedir. Rüzgar konforu ve rüzgar tehlikesi için ortalama rüzgar hızı eşik değeri olarak kabul edilen 5 m/s ve 15 m/s'nin, rüzgarın esme sıklıklarına bağlı olarak ne kadar aşıldığı büyük önem taşımaktadır.

Tablo 5. NEN 8100 rüzgar konforu ve tehlike kriterleri (Willemsen & Wisse, 2007).

Rüzgar Konforu				
P (U>5 m/s)	Derece	Faaliyet Düzeyi		
Yıllık saat yüzdesi (%)		Hızlı Yürüme	Gezinme	Oturma
<2.5	A	İyi	İyi	İyi
2.5-5	B	İyi	İyi	Orta
5-10	C	İyi	Orta	Kötü
10-20	D	Orta	Kötü	Kötü
>20	E	Kötü	Kötü	Kötü
Rüzgar Tehlikesi				
P (U>15 m/s)	Risk Limiti	0.05-0.3 yıllık saat yüzdesi (%)		
Yıllık saat yüzdesi (%)	Tehlike	>0.3 yıllık saat yüzdesi (%)		

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneyel Çalışma

2.1.1. Deney Düzenegi

Bina modelleri etrafındaki rüzgar etkilerinin belirlenmesine yönelik olarak yürütülen rüzgar tüneli deneyleri genellikle 8-30 m/s lik serbest akış hızlarında gerçekleştirilmektedir (Özmen, 2006). Mo ve Liu (2018) 8-11 m/s aralığında, Irtaza vd. (2013) ve Xia vd. (2015) 10 m/s değerinde, van Hooff vd. (2011) 10.5 m/s değerinde, Xing vd. (2018) 10.7 m/s değerinde, Uematsu ve Isyumov (1999) 13 m/s değerinde, Kawai ve Nishimura (1998) 15 m/s değerinde, Aly (2014) 14.21-15.63 m/s aralığında ve Kind (1986) 20 m/s değerinde serbest akış hızlarında ölçümler gerçekleştirmişlerdir.

Kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki türbülanslı akışın incelenmesi amacıyla yürütülen deneyel çalışmalar, KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde bulunan soğuk hava üflemeli, açık devreli rüzgar tünelinde 15 m/s'lik serbest akış hızında gerçekleştirilmiştir. Maksimum 33 m/s akış hızına ulaşılabilen rüzgar tünelinin genel resmi Şekil 6'da görülmektedir. Daralma oranının 6:1 olduğu tüneldeki hava akışı, 18.5 kW gücündeki elektrik motoru tarafından tahrik edilen vantilatör ile sağlanmaktadır. 457 mm x 457 mm kesit alanına sahip tünel çalışma bölgesi, 1150 mm uzunluğunda orijinal bölüm, 600 mm uzunluğunda ahşap bölüm ve 850 mm uzunluğunda pleksiglas bölümden oluşmaktadır. Ölçümler, bina modellerinin yerleştirildiği pleksiglas bölümde gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesinin toplam uzunluğu 2600 mm olarak gerçekleşmiştir.

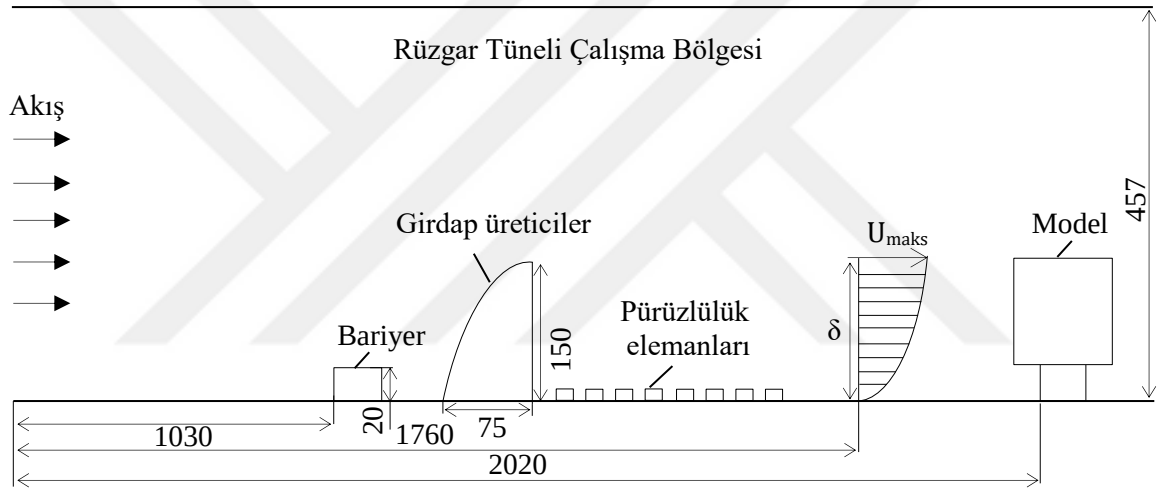


Şekil 6. Rüzgar tünelinin genel görünüşü

Rüzgar tüneli çalışma bölgesinde Counihan (1969) yöntemi kullanılarak 150 mm kalınlığında atmosferik sınır tabaka oluşturulmuştur. Çalışma bölgesinin orta kısmındaki ahşap bölümde bariyer, eliptik girdap üreticiler ve ahşap bloklar kullanılmıştır (Şekil 7). Çalışma bölgesinin başlangıcından itibaren 1030 mm mesafede 20 mm yüksekliğinde bir bariyer ve bariyerden 125 mm sonra 150 mm yüksekliğinde 6 adet eliptik girdap üretici çalışma bölgesi tabanına yerleştirilmiştir. Girdap üreticiler arasındaki mesafe 75 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Girdap üreticilerden itibaren 500 mm uzunluğundaki bölgeye 15 mm x 15 mm x 10 mm boyutlarındaki ahşap bloklar alan yoğunluğu % 12 olacak şekilde ardışık bir düzende yerleştirilerek pürüzlülük bölgesi oluşturulmuştur. Çalışma bölgesinde bariyer, girdap üretici ve pürüzlülük elemanları kombinasyonu ile oluşturulan atmosferik sınır tabaka şematik olarak Şekil 8’de görülmektedir. Çalışma bölgesinin başlangıcından itibaren 1760 mm mesafede, açık kırsal arazi şartları için $\beta = 0.2$ üs kanununa uygun olarak 150 mm yüksekliğinde atmosferik sınır tabaka akışı elde edilmiştir. İmalatçı firma Plint and Partners Ltd. tarafından çalışma bölgesinin orta ekseninde, akış yönündeki türbülans şiddeti % 0.5 olarak belirtilmiştir. Mevcut tünelde Özmen (2006) tarafından TSI IFA-100 Kızgın Tel Anemometresi kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiş ve tünel orta ekseninde akış yönündeki türbülans şiddeti % 0.55 olarak ölçülmüştür.



Şekil 7. Rüzgar tüneline bariyer, girdap üreticiler ve pürüzlülük elemanları

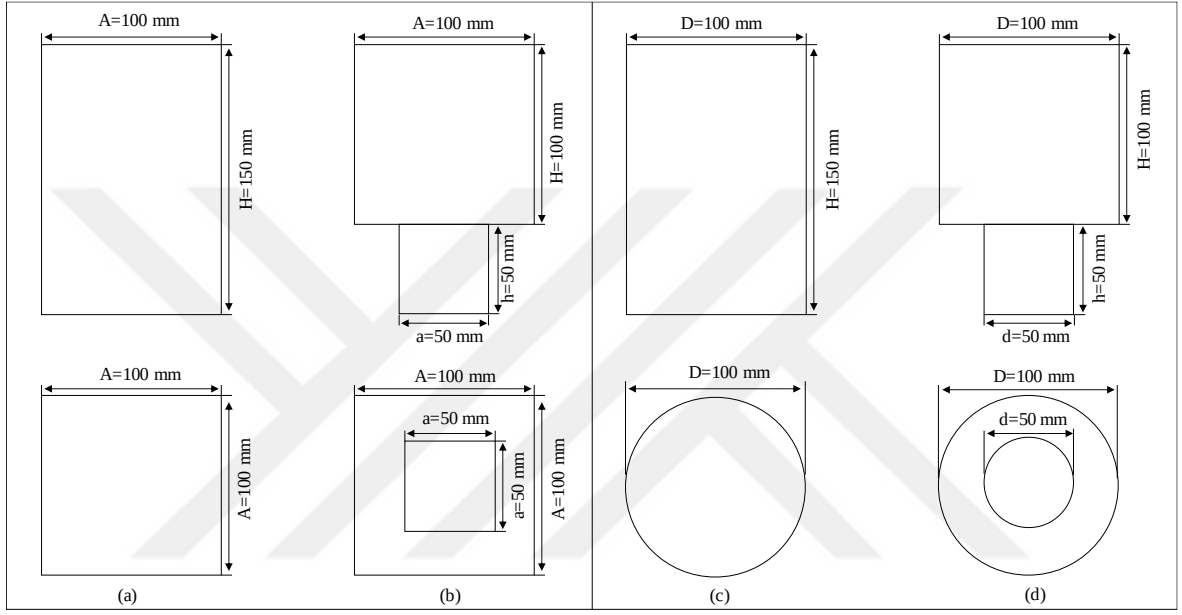


Şekil 8. Rüzgar tüneline çalışma bölgesinin şematik gösterimi

2.1.2. Bina Modelleri

Çalışma kapsamında incelenecek bina modelleri, 24 metre kenar uzunluğuna ve 36 metre yüksekliğe sahip kare kesitli ve 24 metre çapa ve 36 metre yüksekliğe sahip dairesel kesitli gerçek ölçekli iki binanın, benzerlik şartları ve rüzgar tüneline blokaj oranı dikkate alınarak 1/240 oranında küçültülmesiyle oluşturulmuştur. Bina modelleri, normal ve bir çekirdek üzerinde yükseltilmiş olarak iki farklı şekilde düzenlenmiştir. Rüzgar tüneline yerleştirilecek normal bina modelleri $A=100$ mm kenar uzunluğuna ve $H=150$ mm yüksekliğe sahip kare kesitli bina modeli ve $D=100$ mm çapa ve $H=150$ mm yüksekliğe sahip dairesel kesitli bina modeli şeklindedir. Yükseltilmiş bina modelleri ise, genişliği $a=50$

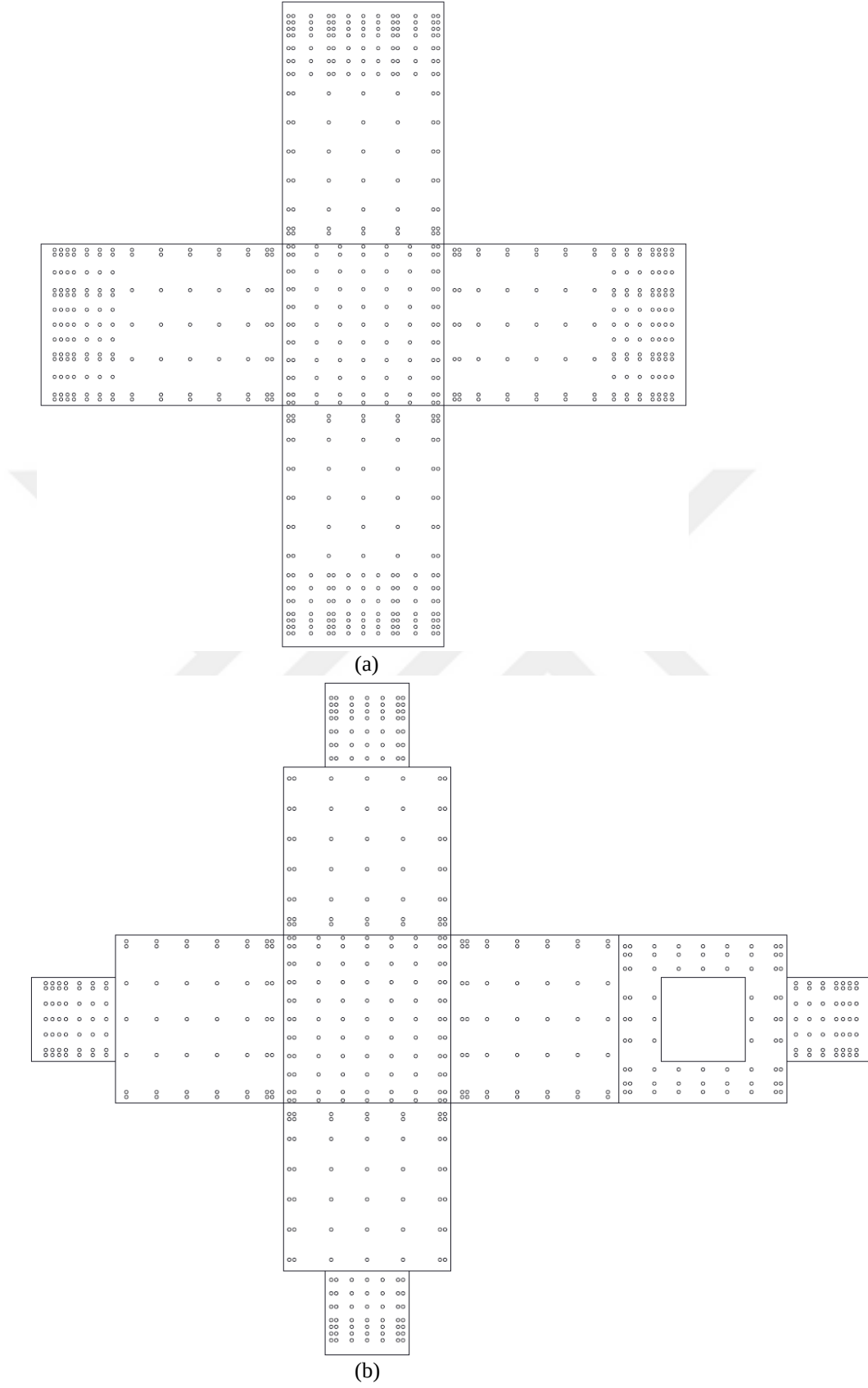
mm olan kare kesitli bir çekirdek ile yerden $h=50$ mm yükseltilmiş kare kesitli bina modeli ve çapı $d=50$ mm olan dairesel kesitli bir çekirdek ile yerden $h=50$ mm yükseltilmiş dairesel kesitli bina modeli şeklindedir. Deneysel çalışmada incelenen bina modellerinin şematik gösterimi ve model boyutları Şekil 9’da görülmektedir. Ölçümlerde, bina modelinin projeksiyon alanının, çalışma bölgesi kesit alanına oranı olarak tanımlanan blokaj oranı yaklaşık olarak % 7.2 olarak gerçekleşmiştir.



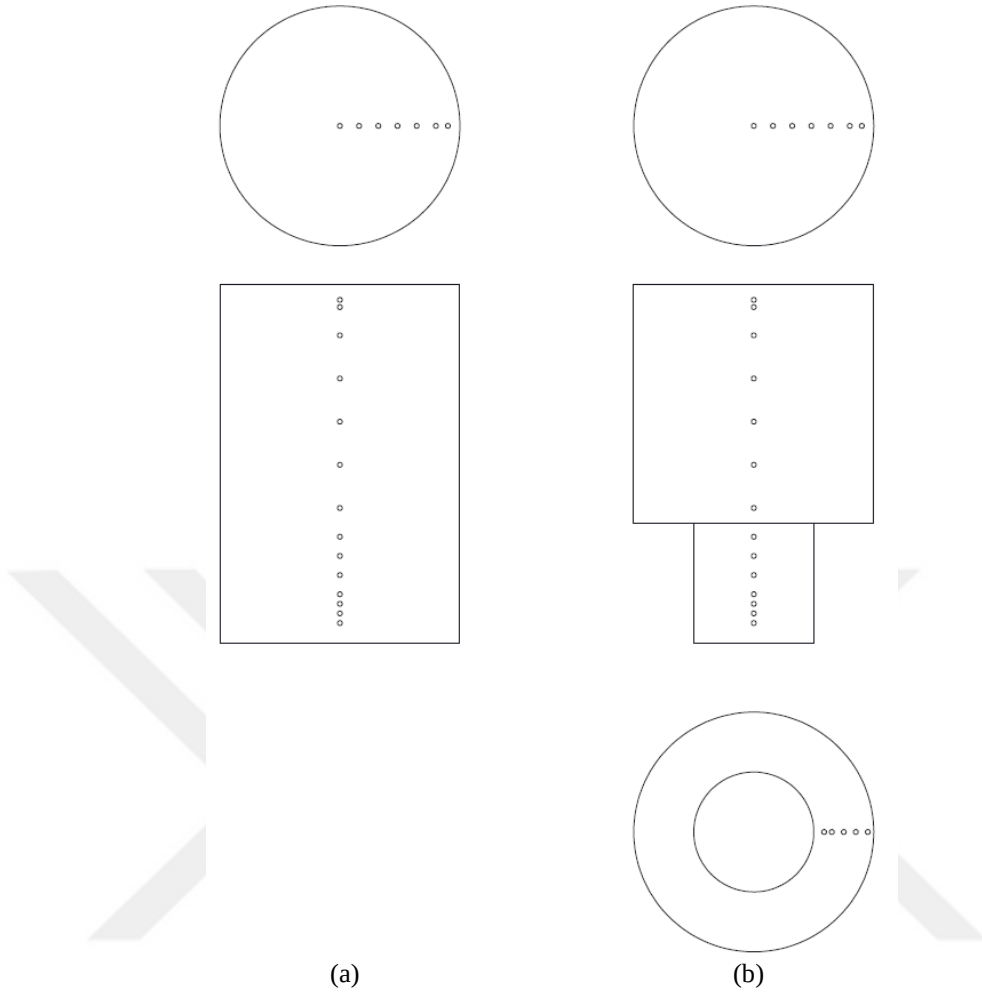
Şekil 9. Bina modellerinin şematik gösterimi

- a) kare kesitli normal bina modeli, b) kare kesitli yükseltilmiş bina modeli,
c) dairesel kesitli normal bina modeli, d) dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli

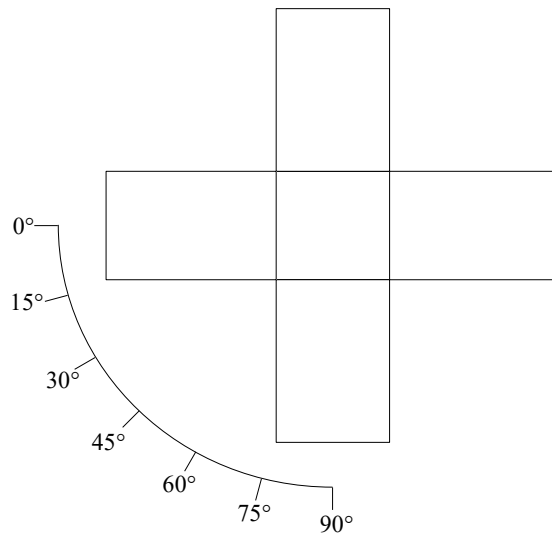
Bina modellerinin yüzeylerindeki basınç dağılımlarını belirlemek amacıyla, modellerin yüzeylerine 1 mm çaplı delikler açılarak basınç ölçüm prizleri yerleştirilmiştir. Özellikle emme etkilerinin kritik olduğu bölgelerde ve zeminden itibaren yaya seviyesine denk gelen konumlarda ölçüm noktaları yoğunlaştırılmıştır. Şekil 10 ve Şekil 11’de sırasıyla kare ve dairesel kesitli bina modellerinin yüzeylerine açılan basınç ölçüm prizleri görülmektedir. Dairesel kesitli bina modellerinde basınç prizleri modellerin yan yüzeyleri ve çatıları üzerinde tek çizgisel hat şeklinde açılmış ve modellerin 15° açı aralığında döndürülmesiyle tüm yüzey boyunca basınç değerleri elde edilmiştir. Bina modellerinin yüzeylerine açılan basınç ölçüm prizlerinin konumları ile ilgili ayrıntılar Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 10. Kare kesitli model yüzeylerine açılan basınç ölçüm deliklerinin konumları
a) normal bina, b) yükseltilmiş bina



Şekil 11. Dairesel kesitli model yüzeylerine açılan basınç ölçüm deliklerinin konumları
a) normal bina, b) yükseltilmiş bina



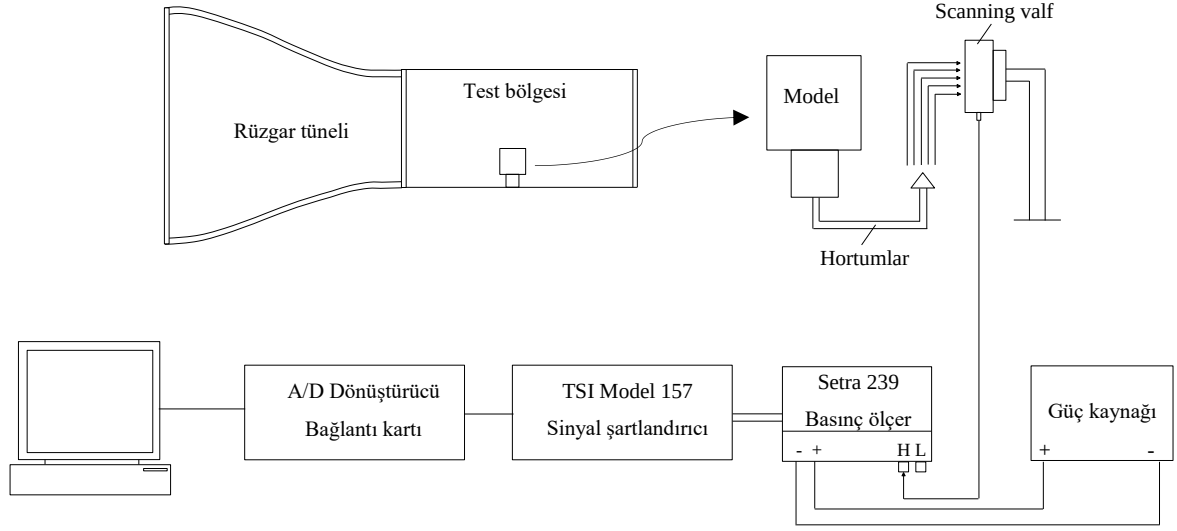
Şekil 12. Basınç ölçümleri için rüzgar açıları

Bina modelleri etrafındaki akış yapısı üzerinde rüzgar geliş açısının etkisini incelemek amacıyla, kare kesitli bina modellerinin yüzeylerindeki basınç ölçümleri Şekil 12’de görüldüğü gibi, $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 75° ’lik rüzgar geliş açıları için gerçekleştirilmiştir. Simetri nedeniyle diğer rüzgar geliş açıları için ölçüm yapılmamıştır. Model ön yüzeyine dik olarak gelen rüzgar yönü $\theta=0^\circ$ olarak alınmıştır.

2.1.3. Ölçme Sistemleri

a. Basınç Ölçümü

Model yüzeyindeki ortalama ve çalkantı basınçlarının ölçümü için kullanılan ölçme sistemi, TSI IFA-100 Series Intelligent Flow Analyzer cihazının sinyal şartlandırıcı modülü, Setra 239 Model Basınç Ölçer, A/D dönüştürücü, veri analizi yapan bir paket program ve bilgisayardan oluşmaktadır. Şekil 13’de, basınç ölçme sistemi şematik olarak görülmektedir. Model yüzeylerine yerleştirilmiş çok sayıda basınç prizine takılmış hortumlar, 48 kanallı Scanning valfe ile irtibatlandırılmıştır. Tek bir çıkış hortumu bulunan Scanning valf ise Setra 239 Model Basınç Ölçer’e bağlanmıştır (Şekil 14). Scanning valf üzerinde bulunan döndürme mekanizmasının hareket ettirilmesiyle, valfin girişindeki 48 kanala bağlı hortumların her birinin sırasıyla valfin çıkış hortumuyla eşleşmesi sağlanmıştır. Scanning valfin ölçüm hassasiyetini test etmek amacıyla, model üzerindeki basınç hortumları önce doğrudan Setra 239 Model Basınç Ölçer ile ve sonrasında Scanning valf üzerinden Basınç Ölçerle ilişkilendirilip iki farklı bağlantı durumu için basınç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her iki durumda da ölçülen basınçlar karşılaştırılmış ve Scanning valf kullanımının ek bir basınç kaybı oluşturmadığı görülmüştür.



Şekil 13. Basınç ölçme sistemi



(a)

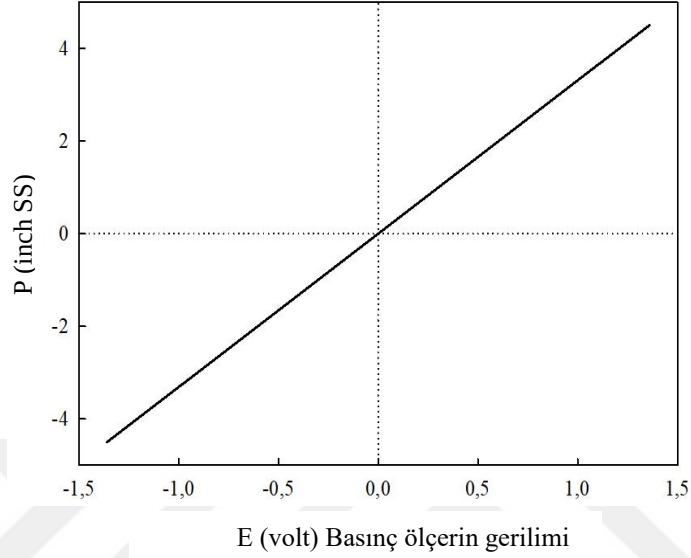


(b)

Şekil 14. a) Setra 239 model basınç ölçer b) Scanning valf

Basınç ölçümleri, ölçüm aralığı ± 7.5 inchSS olan Setra 239 Model Basınç Ölçer ile gerçekleştirilmiştir. Basınç sinyalleri, 1000 Hz'lik örnekleme oranında, 16 s'lik süre boyunca elde edilmiş ve TSI IFA-100 Series Intelligent Flow Analyzer cihazının sinyal şartlandırıcı modülünde 300 Hz'de filtrelenerek gürültüden arındırılmıştır. Daha sonra şartlandırılmış sinyaller TSI IFA-100 ThermoPro paket programı ile kaydedilmiştir. Rüzgar tüneline basınç ölçümlerine başlamadan önce, Setra 239 Model Basınç Ölçer, TSI Model

1125 kalibrasyon cihazı kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işleminde basınç ölçere sınır basınç değerlerinde akış uygulanmış ve elde edilen gerilim sinyalleri paket program aracılığıyla kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerlere, paket program tarafından Şekil 15’ de görüldüğü gibi, doğrusal formda bir eğri uydurulmuştur.



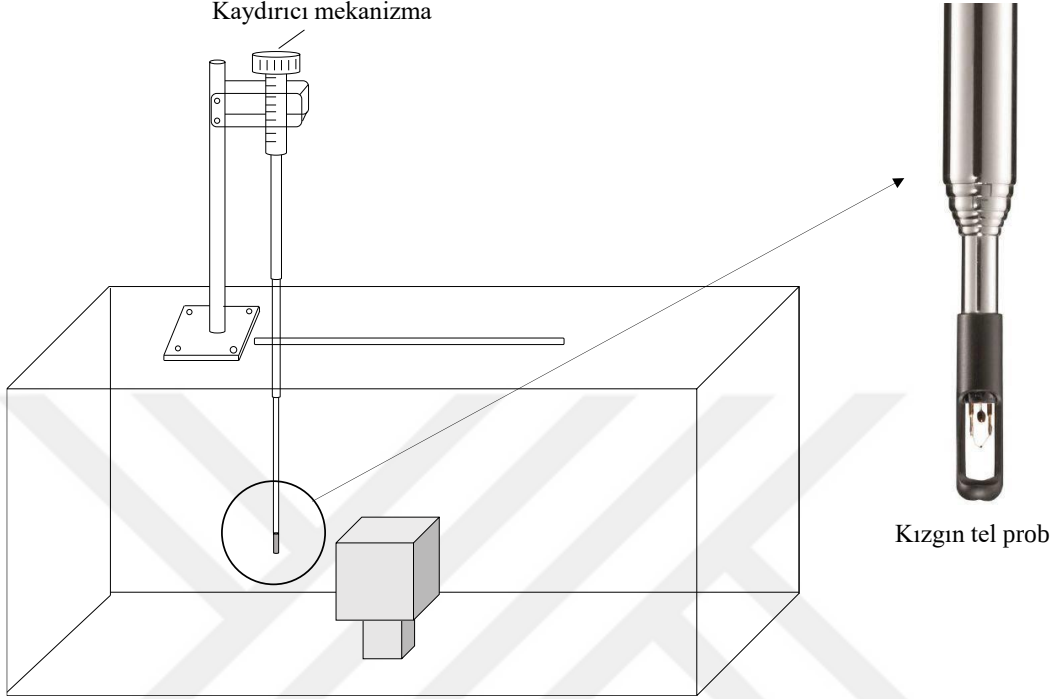
Şekil 15. Basınç ölçerin kalibrasyon eğrisi

b. Hız Ölçümü

Rüzgar tünelineki serbest akış hızı ve bina modellerinin önünde ve arkasında ters akış bölgeleri dışındaki istasyonlarda hız profilleri, 1 s örnekleme frekansına sahip Testo 425 Model Kızgın Tel Termal Anemometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hız ölçümü, ölçüm aralığı 0-20 m/s ve sistem doğruluğu ± 0.03 m/s olan anemometrenin teleskopik tutucusuna bağlı 7.5 mm çapındaki kızgın tel prob ile gerçekleştirilmiştir. Modellerin önünde ve arkasındaki istasyonlarda düşey doğrultuda yerel hız değerlerinin ölçümü için teleskopik tutucu, 0.1 mm hassasiyetli kaydırıcı mekanizmaya bağlanarak, probun akışa dik şekilde tünel orta ekseninde düşey doğrultuda hareketi sağlanmıştır (Şekil 16). Hız profilleri, kaydırıcı mekanizma 0.2 mm aralıklarla hareket ettirilerek ve her konumda 20 saniye boyunca alınan ölçümün ortalamasıyla elde edilmiştir.

Deneyler sırasında yapılan ölçümlerde, ortalama ve çalkantı basınç ölçümlerindeki belirsizlikler, sırasıyla, $\pm \% 3.6$ ve $\pm \% 4.6$ olarak hesaplanmıştır. Maksimum hız değeri için

belirsizlik ± 0.78 m/s olarak bulunmuştur. Yapılan belirsizlik analizi, Ek 2’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 16. Hız ölçme sistemi

2.2. Sayısal Çalışma

2.2.1. Hareket Denklemleri ve Türbülans Modeli

Herhangi bir akış probleminin sayısal çözümü, akışa ait diferansiyel denklemlerin cebirsel denklemlere dönüştürülmesi ve belirli başlangıç ve sınır şartları altında yaklaşık olarak çözülmesi esasına dayanmaktadır. Bu amaçla kullanılan bütün sayısal yöntemlerde, akışkan hareketini ifade eden ve ikinci dereceden lineer olmayan kısmi diferansiyel denklem tipindeki Navier-Stokes denklemleri ve süreklilik denklemleri çözülmemektedir. Bu çalışmada, kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki türbülanslı akış alanları zaman bağımsız ve üç boyutlu olarak çözülmüştür. Sıkıştırılamaz türbülanslı bir akışkanın zaman bağımsız üç boyutlu hareketini ifade eden süreklilik denklemi ve Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denkleminin (Reynolds Avarged Navier-Stokes, RANS) genel formu aşağıda verilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) + \rho g_i \quad (4)$$

Burada, “ $-$ ” sembolü ortalama değeri, “ $'$ ” sembolü ise çalkantı değerlerini göstermekte ve “ $-\rho \overline{u_i' u_j'}$ ” terimi Reynolds gerilmeleri olarak ifade edilmektedir. Türbülanslı akış yapısının karmaşıklığı nedeniyle, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerinde yer alan çalkantı terimlerini analitik olarak hesaplamak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle söz konusu çalkantı terimlerinin yaklaşık olarak hesaplanabilmesi için çok sayıda türbülans modeli geliştirilmiştir.

k - ϵ türbülans modellerinde, RANS denklemlerine ek olarak, türbülans kinetik enerjisi (k) ve yutulma (ϵ) için iki adet transport denklemi çözülmektedir. Bu çalışma kapsamındaki sayısal çözümler, ANSYS-FLUENT 18.0 ticari yazılımı kullanılarak, Realizable k - ϵ türbülans modeli ile elde edilmiştir. Shih vd. (1995) tarafından önerilen Realizable k - ϵ türbülans modeli, normal gerilmeler üzerindeki matematiksel sınırlamaları aşarak, diğer k - ϵ türbülans modellerine kıyasla, türbülanslı akışın daha gerçekçi bir şekilde modellenmesine olanak sağlayan bir yaklaşım sunmaktadır (Özmen, 2006). Mevcut araştırmalar, Realizable k - ϵ modelinin türbülanslı akışların doğru ve güvenilir şekilde modellenmesinde oldukça iyi bir performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Zhang vd., 2005; Blocken vd., 2012; Zheng vd., 2016; Chen ve Mak, 2021a, 2021b). Bu yaklaşımda, δ_{ij} kroneker delta olmak üzere, sıkıştırılmaz türbülanslı akış için Reynolds gerilmeleri Boussinesq hipotezine göre, türbülans viskozitesi ise Prandtl-Kolmogorov bağıntısına göre

$$-\rho \overline{u_i' u_j'} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (5)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Realizable k - ε modelinde, k ve ε için modellenmiş transport denklemleri,

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b \quad (8)$$

şeklindedir. Burada, G_k ve G_b sırasıyla, ortalama hız gradyanından ve kaldırma kuvvetinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimini ifade etmektedir. σ_k ve σ_ε ise sırasıyla, k ve ε için Prandtl sayılarıdır. $C_{1\varepsilon}$, C_2 ve $C_{3\varepsilon}$ model sabitleri olup, S_k ve S_ε sırasıyla, k ve ε için kaynak terimleridir. Realizable k - ε türbülans modeline ait model sabitleri Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Realizable k - ε türbülans modeli sabitleri

$C_{1\varepsilon}$	C_2	σ_k	σ_ε
1.44	1.9	1.0	1.2

2.2.2. Akış Alanı

Sayısal çalışmalar kapsamında öncelikle deneysel çalışmada incelenen kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki türbülanslı akış alanları üç boyutlu ve zaman bağımsız olarak çözülmüş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Daha sonra kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş binalarda çekirdek yüksekliği etkisini incelemek amacıyla çekirdek yüksekliğinin 25 mm ve 12.5 mm değerleri için ilave sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Böylece sayısal çalışmalar kapsamında toplam 8 farklı bina modeli etrafındaki üç boyutlu akış alanı Realizable k - ε türbülans modeli ile çözülmüştür. Tablo 7'de sayısal olarak incelenen bina modellerine ait geometrik özellikler ayrıntılı olarak verilmiştir. H, kare ve dairesel kesitli normal bina modellerinde bina yüksekliğini, A, kare kesitli normal bina modelinde bina genişliğini/derinliğini, D, dairesel kesitli normal bina modelinde bina çapını, h, kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde çekirdek

yüksekliğini, a , kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde çekirdek genişliğini/derinliğini, d , dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinde çekirdek çapını ve H_t , kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde toplam yüksekliği ifade etmektedir. Sayısal çözümlerde rüzgar geliş açısı $\theta = 0^\circ$ olarak dikkate alınmıştır. Kare kesitli normal bina modeli ve 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde, sayısal çözümler rüzgar geliş açısının $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 75° değerleri için ayrıntılı olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 7. Sayısal çalışmada kullanılan bina modellerinin ayrıntılı geometrik özellikleri

KARE KESİTLİ BİNA MODELLERİ				
Bina Boyutu		Çekirdek Boyutu		Toplam
Yükseklik (H) [mm]	Genişlik/Derinlik (A) [mm]	Yükseklik (h) [mm]	Genişlik/Derinlik (a) [mm]	Yükseklik (H _t) [mm]
150	100	-	-	150
137.5		12.5	50	
125		25		
100		50		
DAİRESEL KESİTLİ BİNA MODELLERİ				
Bina Boyutu		Çekirdek Boyutu		Toplam
Yükseklik (H) [mm]	Çap (D) [mm]	Yükseklik (h) [mm]	Çap (d) [mm]	Yükseklik (H _t) [mm]
150	100	-	-	150
137.5		12.5	50	
125		25		
100		50		

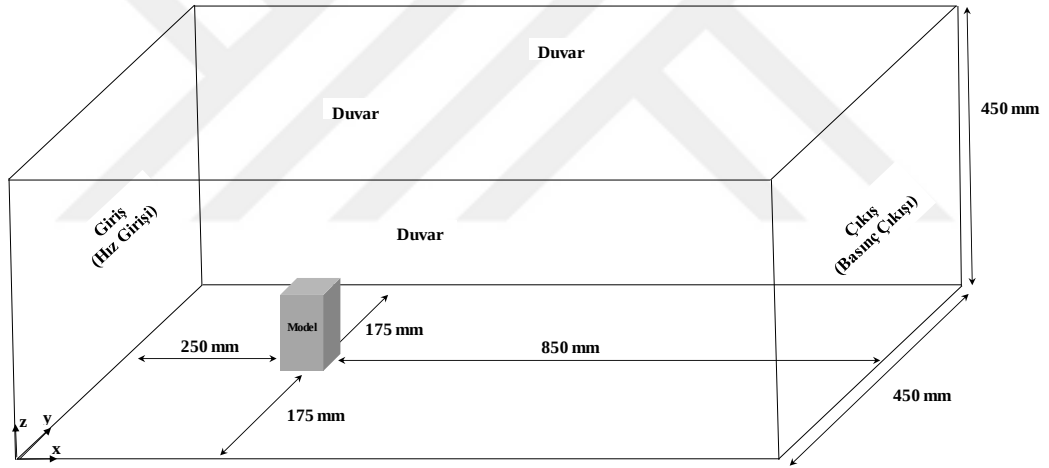
Sayısal çözümler için kullanılacak akış alanı geometrisi, rüzgar tüneli boyutları referans alınarak oluşturulmuştur. Kare kesitli normal bina modelinin üç boyutlu akış alanındaki örnek yerleşim düzeni ve sınır koşulları Şekil 17’ de verilmektedir. Bina modelleri etrafındaki akış alanları 0° rüzgar geliş açısında simetrik olarak çözülmüştür. Akış alanlarında sınır koşulları, girişte hız girişi koşulu (velocity-inlet), çıkışta basınç çıkışı koşulu (pressure-outlet) ve duvarlarda ise duvar koşulu (wall) şeklinde uygulanmıştır. Simetrinin uygulandığı çözümlerde simetri koşulu (symmetry) dikkate alınmıştır. Özmen (2006) tarafından aynı atmosferik sınır tabakanın oluşturulduğu rüzgar tüneline, TSI IFA-100 Kızgın Tel Anemometresi kullanılarak ölçülmüş ortalama hız ve türbülans profilleri,

“User Defined Function (UDF)” özelliği ile hız girişi koşulu olarak uygulanmıştır. $K = 0.41$, $\delta = 0.15 \text{ m}$, $C_\mu = 0.09$ ve $l = K\delta$ olmak üzere, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjinin yutulması (ε) için giriş profilleri sırasıyla,

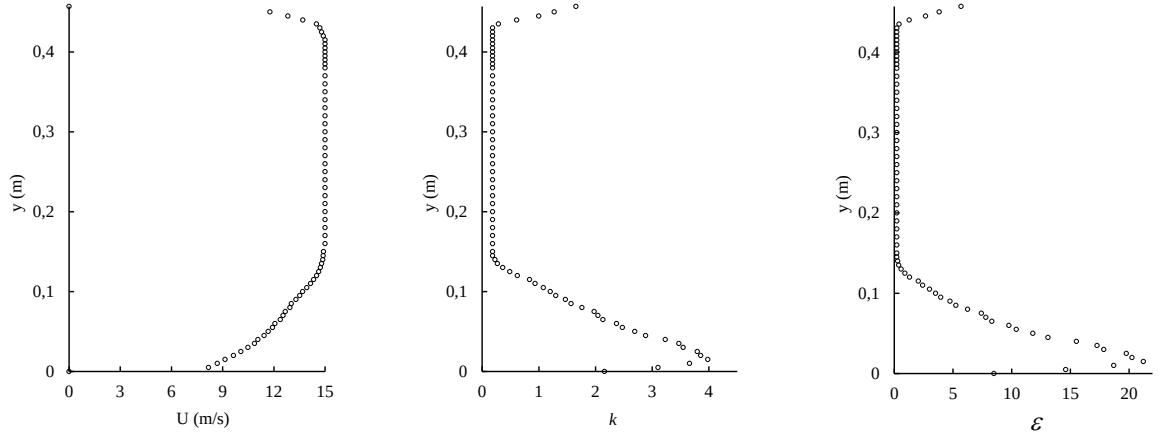
$$k = \frac{3}{2} (U_{ort} TI)^2 \quad (9)$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} \quad (10)$$

bağıntıları ile verilmiştir. Buna göre, açık kırsal arazi şartları için oluşturulan giriş profilleri Şekil 18’de verilmektedir.

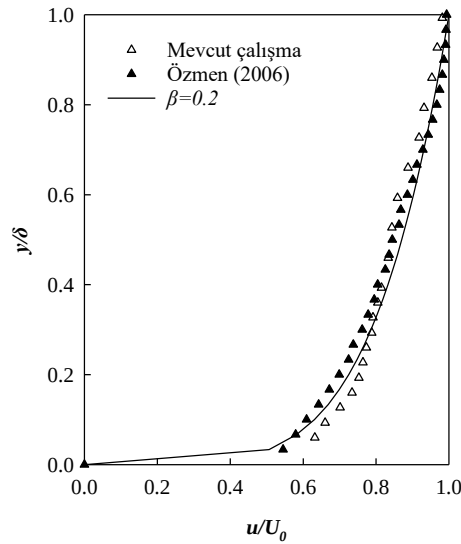


Şekil 17. Akış alanı yerleşim düzeni



Şekil 18. Açık kırsal arazi şartları için oluşturulmuş giriş profilleri
a) ortalama hız, b) türbülans kinetik enerji, c) türbülans kinetik enerjinin yutulması

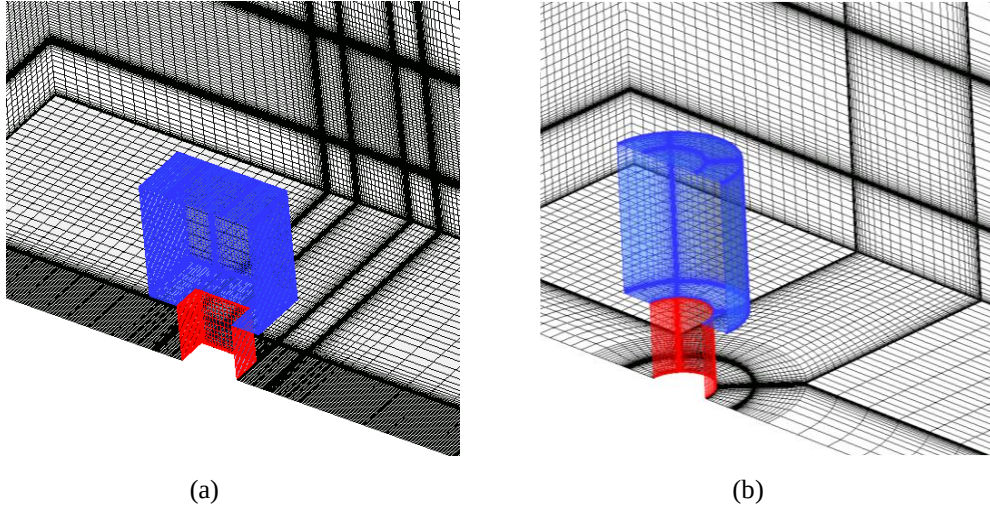
Rüzgar tüneli çalışma bölgesinin başlangıcından itibaren 1760 mm uzaklıkta, 150 mm yüksekliğinde atmosferik sınır tabaka elde edilmiştir. Serbest akış hızının 15 m/s olarak gerçekleştiği sınır tabaka akışında, mevcut çalışmada Testo 425 Model Kızgın Tel Anemometresi ve Özmen (2006) tarafından TSI IFA-100 Kızgın Tel Anemometresi ile ölçülmüş referans hız profilleri karşılaştırmalı olarak Şekil 19’da verilmektedir. Referans sınır tabaka ortalama hız profillerinin $\beta = 0.2$ ’lik üs kanunu ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 19. Tünel girişinde referans ortalama hız profilleri

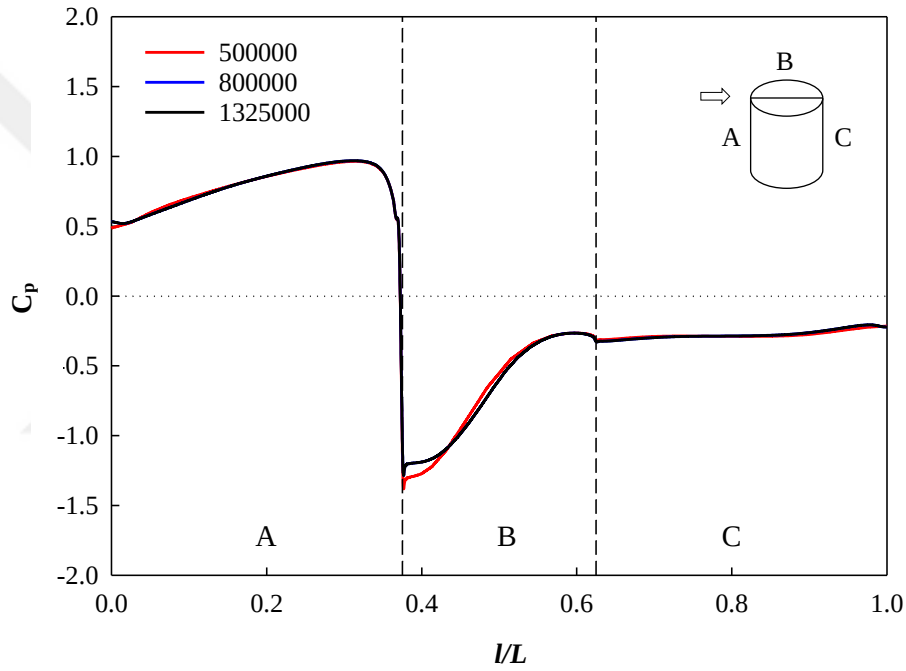
2.2.3. Ağ Yapısı

Sayısal çözümlerde akış alanlarındaki ağ yapıları, ICEM CFD 18.0 programı ile oluşturulmuştur. Blok özelliği sayesinde karmaşık geometriler etrafındaki akış alanlarında kolayca kullanılan programda yapılandırılmış ağ, yapılandırılmamış ağ ve hibrit ağ şeklinde üç farklı ağ yapısı bulunmaktadır. Yapılandırılmış ağ, iki boyutlu akış alanlarında dörtgen düzlemsel hücrelerin üç boyutlu akış alanlarında ise altı yüzlü (hegzagonal) hacimsel hücrelerin düzenli ve yapılandırılmış bir düzenlemesinden oluşmaktadır. Yapılandırılmamış ağ ise, herhangi bir şekil ve boyutta olabilen üçgen veya dörtgen şeklinde farklı düzlemsel hücrelerin veya dört yüzlü ya da altı yüzlü hacimsel hücrelerin düzensiz bir düzenlemesinden oluşmaktadır. Hibrit ağ, yapılandırılmış ve yapılandırılmamış ağ bölgelerinin veya bloklarının birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Yapılandırılmış ağ, yapılandırılmamış ağa kıyasla uygulanması daha zor olmasına rağmen, çözümlerde yakınsama açısından avantaj sağladığı için tercih edilmektedir (Çengel, 2008, Cürebal 2016). Bu çalışmada, yapılandırılmış ağ yapısı kullanılmıştır. Rüzgar geliş açısının 0° olduğu durumda, kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelleri için oluşturulmuş ağ yapıları sırasıyla Şekil 20’de verilmektedir. Bina modelleri ve çekirdeklerin etrafında yoğun, bina modellerinden uzak bölgelerde ise seyrek düzende ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 20. Yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki örnek ağ yapıları
a) kare kesitli, b) dairesel kesitli

Sayısal çözümlerde elde edilecek sonuçların ağ yoğunluğundan etkilenmemesi için öncelikle ağdan bağımsızlık çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, dairesel kesitli normal bina modeli etrafındaki akış alanı üç farklı ağ yoğunluğu için çözülmüştür. Dairesel kesitli normal bina modelinin orta eksenini boyunca hesaplanan basınç katsayıları 500.000, 800.000 ve 1.325.000 ağ yoğunluğu değerleri için Şekil 21'de verilmiştir. 800.000 ve 1.325.000 hücre sayılarına sahip ağ yapılarında elde edilen basınç değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle sayısal çözümler ağdan bağımsızlığı sağlayacak şekilde yaklaşık 800.000 hücre sayısında gerçekleştirilmiştir. Model yüzeylerinde $y^+ \approx 5$ olarak gerçekleştirilmiştir.



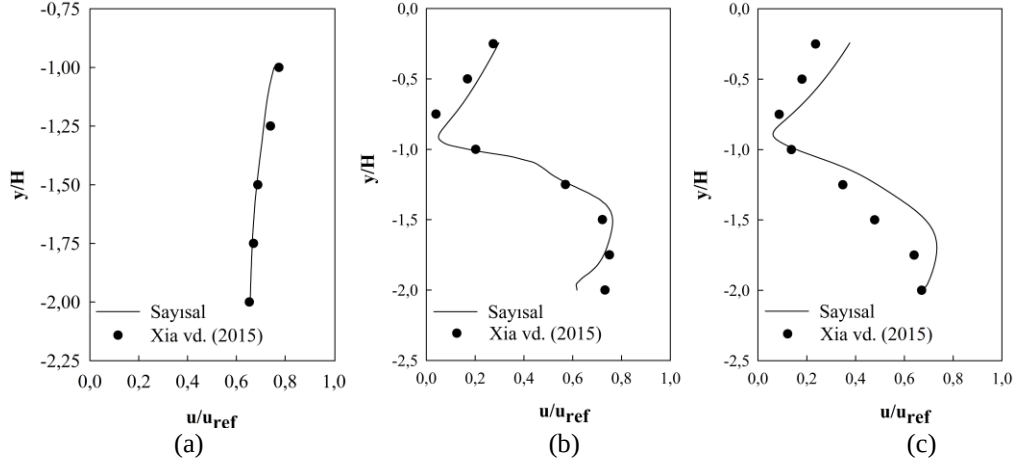
Şekil 21. Ağ yoğunluğunun çözüm üzerindeki etkisi

2.2.1. Çözüm Metodu

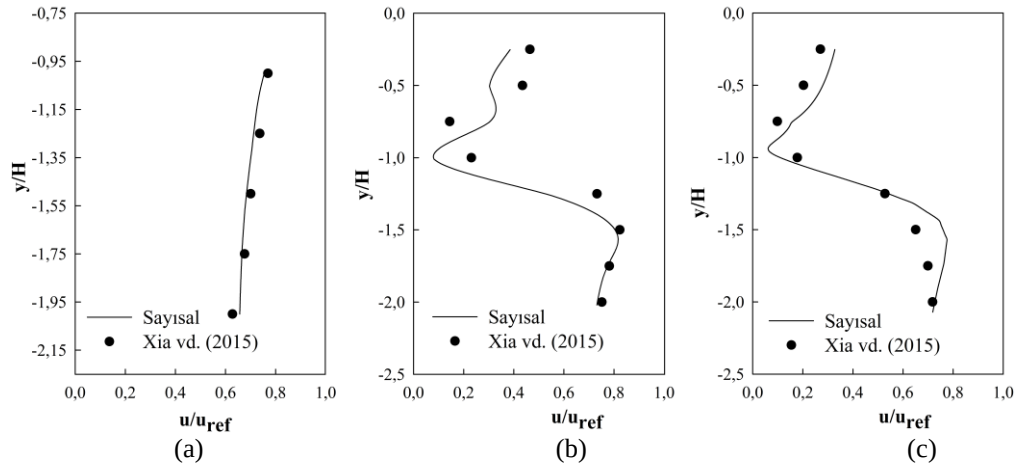
Sayısal çözümlerde, Realizable k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Duvar yaklaşımı olarak “İyiletilmiş Duvar İfadesi (Enhancement Wall Functions)” esas alınmıştır. İteratif çözücü olarak “SIMPLEC” algoritması ve basınç interpolasyonu için “Standard”, diğer değişkenlerin ayrıklaştırılmasında ise “Second Order Upwind” yöntemi kullanılmıştır. Çözümlerde yakınsama kriteri 10^{-5} olarak dikkate alınmıştır.

2.2.2. Sayısal Modelin Doğrulanması

Sayısal çözümler, literatürde farklı geometrilere sahip iki deneysel çalışmanın sonuçları ile doğrulanmıştır. İlk doğrulama çalışması, Liu vd. (2016) tarafından yürütülen çalışmadaki deneysel veriler referans alınarak yapılmıştır. Normal ve üç çekirdek ile yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki akış alanları Reaizable k- ϵ türbülans modeli ile üç boyutlu ve zaman bağımsız olarak çözülerek yaya seviyesinde farklı istasyonlarda hesaplanan hız değerleri deneysel çalışmada mevcut boyutsuz ortalama rüzgar hızları ile Şekil 22 ve Şekil 23’de görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. Hem normal bina modelinde hem de yükseltilmiş bina modelinde elde edilen sayısal hız değerlerinin deneysel verilerle doğrulandığı görülmektedir.

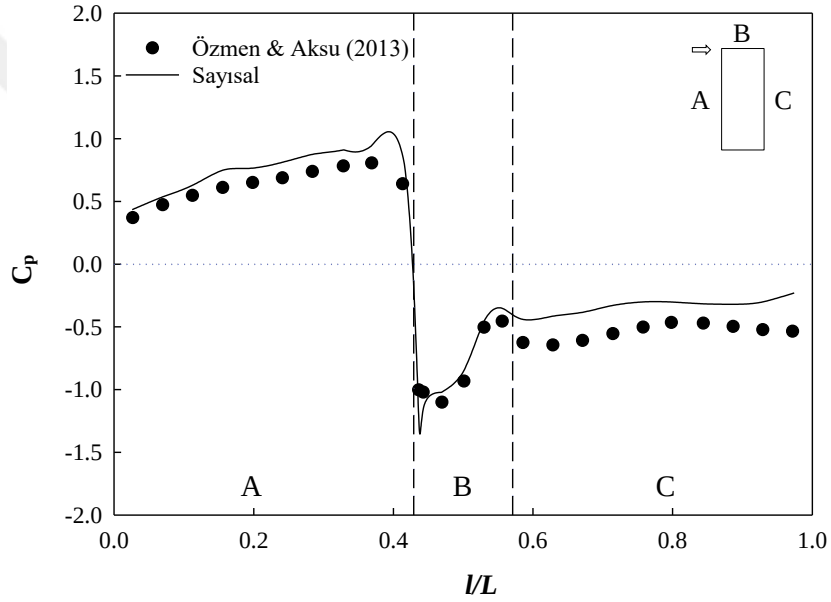


Şekil 22. Normal bina modeli etrafında farklı istasyonlarda ortalama rüzgar hızları
a) $x/H=-0.25$, b) $x/H=0.75$ ve c) $x/H=2.0$

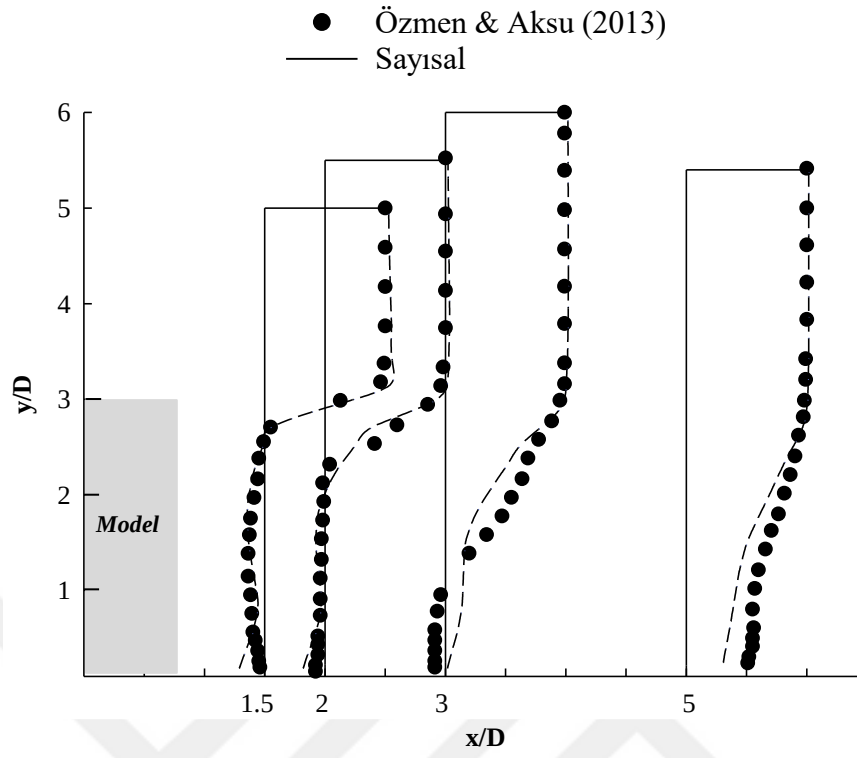


Şekil 23. Yükseltilmiş bina modeli etrafında farklı istasyonlarda ortalama rüzgar hızları
a) $x/H=-0.25$, b) $x/H=0.75$ ve c) $x/H=2.0$

İkinci doğrulama çalışması, Özmen ve Aksu (2013) tarafından gerçekleştirilen, düz çatılı dairesel kesitli bir bina etrafındaki türbülanslı akışın incelendiği deneysel çalışmanın sonuçları referans alınarak yapılmıştır. Bina model boyutları, $D=50$ mm ve $H=150$ mm olarak alınmıştır. Akış alanı, rüzgar tüneli boyutları referans alınarak belirlenmiştir. Model orta eksenini boyunca hesaplanan ortalama basınç katsayısı değişimi ve belirlenen düşey doğrultulardaki ortalama hız profilleri deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (Şekil 24 ve Şekil 25). İlgili grafikler, hem ortalama basınç katsayısı değerlerinin hem de ortalama hız profillerinin deneysel verilerle uyumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. Yapılan her iki doğrulama çalışması da, tercih edilen sayısal yaklaşımın doğruluğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 24. Model orta eksenini boyunca hesaplanan basınç katsayısı değişiminin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 25. Model orta eksenini boyunca hesaplanan düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

3. BULGULAR

Bu tez çalışmasında, kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Ulaşılan bulgular, model yüzeylerinde basınç dağılımları ve modeller etrafında akış yapıları ve hız dağılımları şeklinde gruplanmıştır.

3.1. Model Yüzeylerinde Basınç Dağılımları

Çalışma kapsamında incelenen bina modellerinin yüzeylerindeki basınç dağılımları,

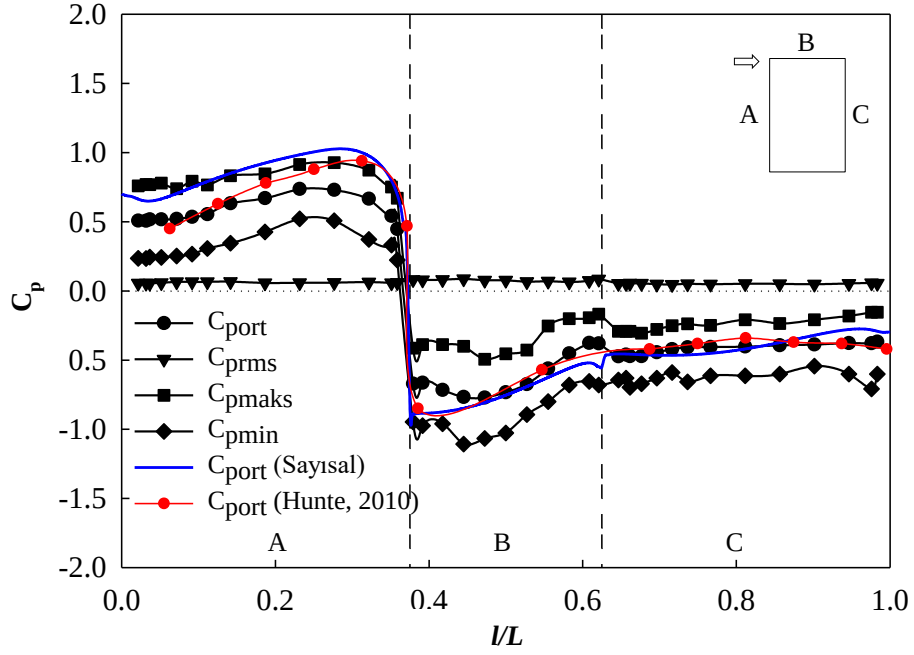
$$C_p = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (11)$$

şeklinde ifade edilen yüzey basınç katsayısı cinsinden verilmiştir.

3.1.1. Kare Kesitli Bina Modelleri

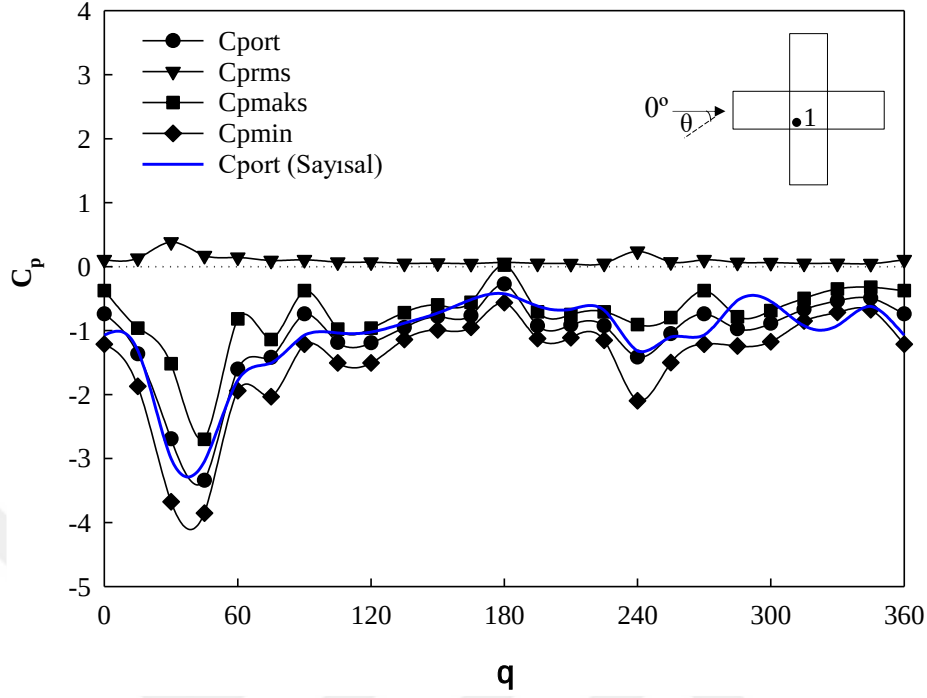
a. Normal Bina Modeli

Kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki basınç dağılımları rüzgar geliş açısının $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 75° değerleri için elde edilmiştir. Şekil 26'da, $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında kare kesitli normal bina modelinin orta eksenı boyunca model yüzeylerindeki ölçümlerden elde edilen basınç katsayılarının ortalama, rms, maksimum ve minimum değerlerinin değişimi, sayısal çözümünden hesaplanan ortalama basınç katsayısı değişimi ve Hunte (2010)'nin ölçüm sonuçları ile birlikte karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde, itme etkisi nedeniyle pozitif basınç alanı oluşmaktadır. Düz çatının ön kenarından ayrılan akış nedeniyle, çatı üzerinde ve model arka yüzeyinde basınç dağılımları negatif olmaktadır. En kritik emme etkisi çatı üzerinde oluşmaktadır. Hem sayısal çözümünden elde edilen ortalama basınç katsayısı değişimi hem de Hunte (2010)'ye ait deneysel sonuçlar mevcut çalışmadan elde edilen deneysel ortalama basınç katsayısı değişimiyle uyum içerisinde olmaktadır.



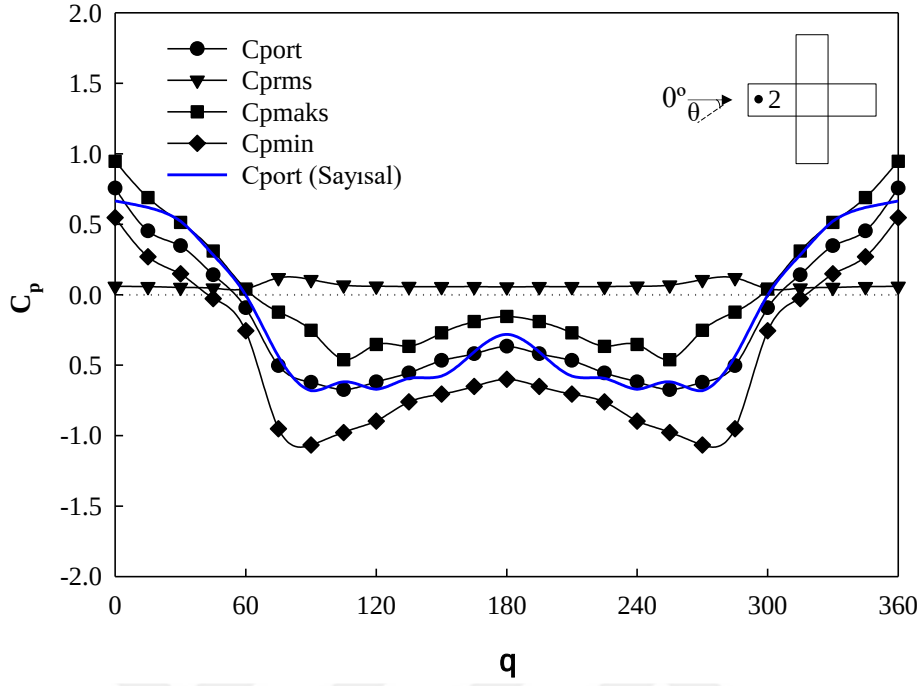
Şekil 26. $\theta = 0^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli orta eksen boyunda akış yönündeki basınç katsayısı değişimi

Düz çatı üzerinde, kritik emme etkisinin olduğu rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesine açılmış 1 nolu basınç prizinden ölçülmüş ortalama, rms, maksimum ve minimum basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri sayısal çözümlerden elde edilen değişimle birlikte Şekil 27’de verilmektedir. 15° aralıklı rüzgar açıları için ölçülmüş basınç değerlerinden, en kritik ortalama ve minimum basınç katsayılarının sırasıyla -3.34 ve -3.85 değerlerinde 45° ’lik rüzgar geliş açısında olduğu görülmektedir. Sayısal çözümlerden hesaplanan en kritik ortalama basınç katsayısı da -3.05 değeriyle aynı rüzgar geliş açısında oluşmaktadır. Sayısal çözümlerden hesaplanan basınç katsayısı değişimleri deneysel sonuçlarla iyi bir uyum sergilemektedir. Bu durum çalışmada kullanılan sayısal yaklaşımın incelenen problem için yeterli olduğunu göstermektedir.



Şekil 27. Kare kesitli normal bina modeli çatı köşesindeki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

Kare kesitli normal bina modelinde model ön yüzeyinde düşey orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğine karşılık gelen 2 nolu basınç prizinden ölçülmüş basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri, aynı konumda sayısal çözümlerden hesaplanmış basınç katsayısı değişimiyle birlikte Şekil 28’de görülmektedir. Yaya seviyesi yüksekliği bina modeli tabandan itibaren 8.33 mm’lik yüksekliğe karşılık gelmektedir. Bu konumdaki en kritik minimum basınç katsayısı -1.26 değeriyle 90° ve 270° rüzgar geliş açılarında oluşmaktadır. Aynı konumda sayısal çözümlerden hesaplanan basınç katsayılarının rüzgar geliş açısına göre değişimi deneysel sonuçlarla uyumlu olmaktadır. Kritik emme etkilerinin gerçekleştiği rüzgar açılarında, basınç katsayısının rms değerlerinde artış meydana gelmektedir.



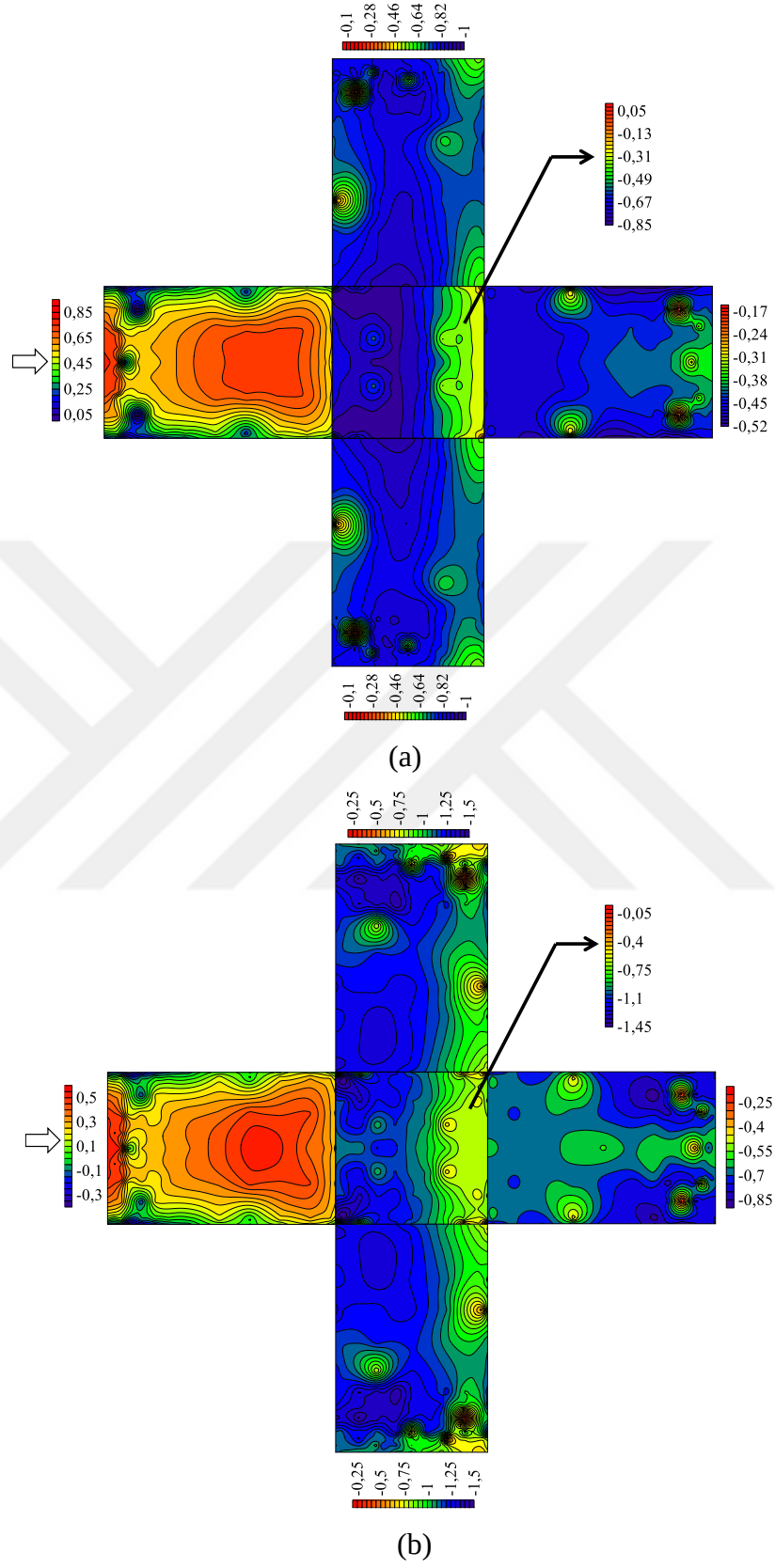
Şekil 28. Kare kesitli normal bina modeli orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğindeki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

Bina modelleri etrafındaki yüzey basınç dağılımları rüzgar geliş açısından büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle mevcut çalışmada incelenen bina modellerinde model yüzeylerindeki basınç dağılımları farklı rüzgar geliş açıları için ayrıntılı olarak elde edilmiştir. Şekil 29'da, 0° rüzgar geliş açısı için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları ve Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli ile hesaplanan ortalama yüzey basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde pozitif basınç alanı oluşurken, diğer yüzeylerde basınç dağılımları negatif olmaktadır. Model ön yüzeyinde hem ortalama hem de minimum basınç katsayılarının pozitif değerler alması ön yüzey üzerinde bir itme etkisi olduğunu göstermektedir. Bina modelinin diğer yüzeyleri ise emme etkisi altındadır. En kritik emme etkisi ortalama -0.94 ve minimum -1.46 basınç katsayısı değerleriyle model yan yüzeylerinde zeminden yaklaşık 30 mm yükseklikte oluşmaktadır. Düz çatı üzerindeki en kritik basınç katsayısı ise, ortalama -0.83 ve minimum -1.42 değerleriyle rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında meydana gelmektedir. Çatı yüzeyinin ön kısmında daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe

azalmaktadır. (Şekil 29a, b). Sayısal çözümden hesaplanan ortalama basınç katsayısı dağılımları deneysel dağılımlarla uyum içerisindedir (Şekil 29c).

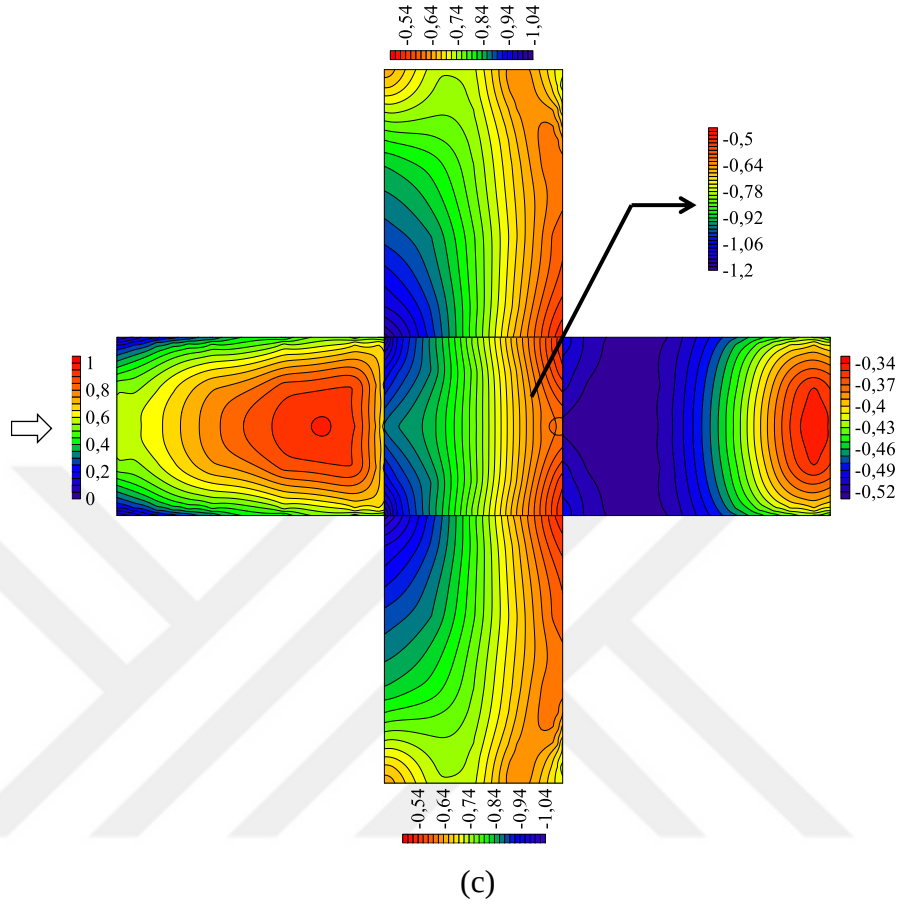
Şekil 30'da 15° rüzgar geliş açısı için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Bina modelinin ön yüzeyinin büyük bölümünde basınç katsayıları pozitif olmaktadır. Modelin diğer yüzeylerde ise basınç katsayıları negatif değer almaktadır. Bina model yüzeylerinde en kritik emme etkisi düz çatı üzerinde oluşmaktadır. Çatı üzerindeki emme etkisi, çatının rüzgara geliş yönüne göre arka bölgesine doğru azalmaktadır. Çatı yüzeyindeki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları, sırasıyla -1.43 ve -1.98 olarak çatının rüzgar geliş tarafındaki ön köşesi yakınında oluşmaktadır.

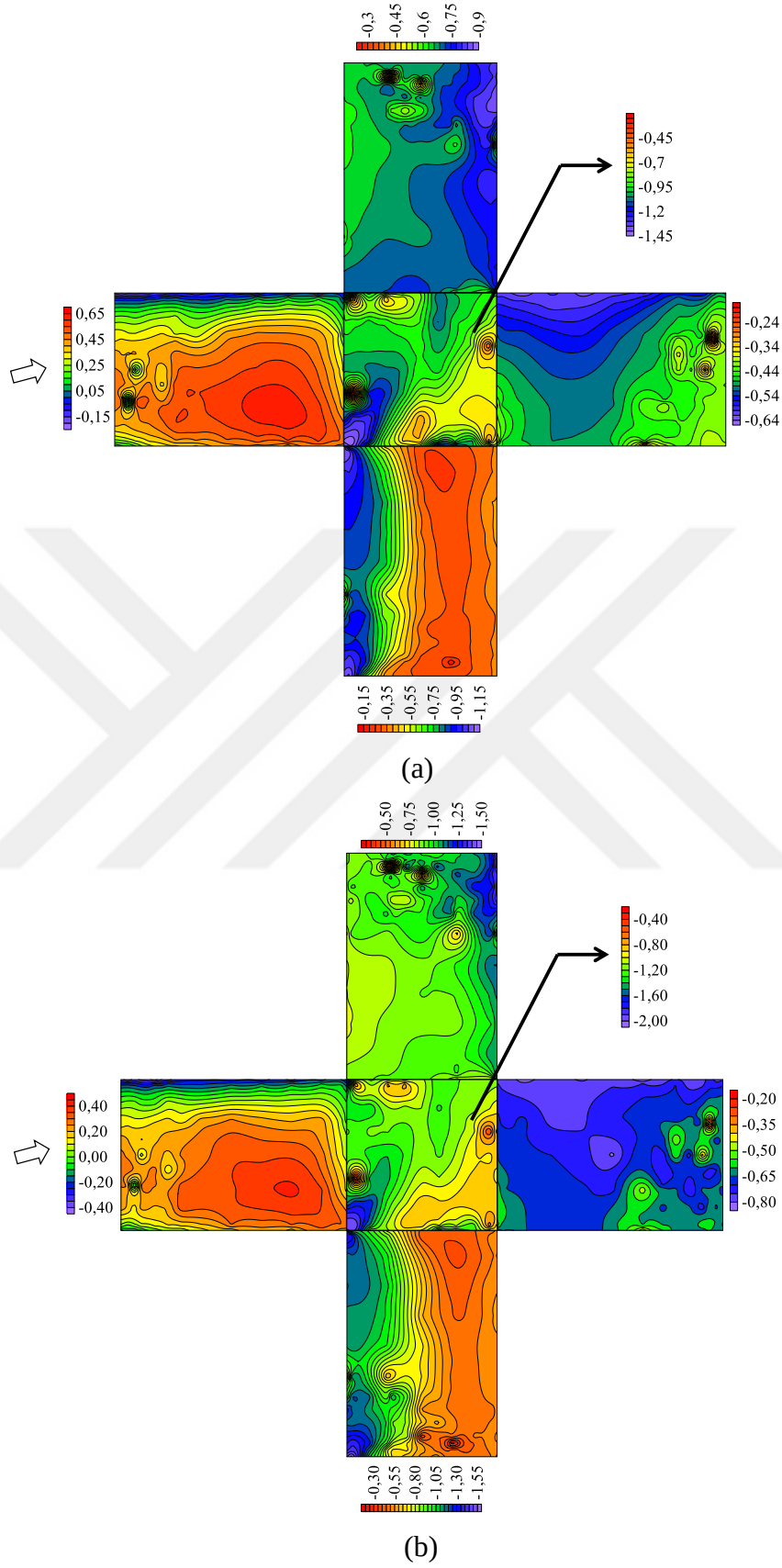
Şekil 31, 30° rüzgar geliş açısında kare kesitli normal bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımlarını göstermektedir. Model ön yüzeyinin büyük bölümünde basınç katsayıları pozitif olmaktadır. 15° rüzgar geliş açısında model ön yüzeyinin sağ düşey hattında küçük bir bölgede oluşan negatif basınç alanının, 30° rüzgar geliş açısında model ön yüzeyinde biraz daha genişlediği görülmektedir. Bina modelinin diğer yüzeylerinde basınç değerleri negatif olmakta ve bu yüzeylerdeki en kritik emme etkisi yine düz çatı üzerinde meydana gelmektedir. Çatının rüzgar geliş tarafındaki ön köşesi civarında kritik emme etkisi daha belirgin olmaktadır. Çatının rüzgar geliş yönüne göre arka bölgesine doğru emme etkisi zayıflamaktadır. Bina modelinin sağ yan yüzeyi, sol yan yüzeyine kıyasla daha fazla emme etkisi altında kalmaktadır. Çatı üzerindeki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları, çatının rüzgar geliş tarafındaki ön köşesi yakınında, sırasıyla -2.7 ve -3.68 olarak elde edilmiştir.



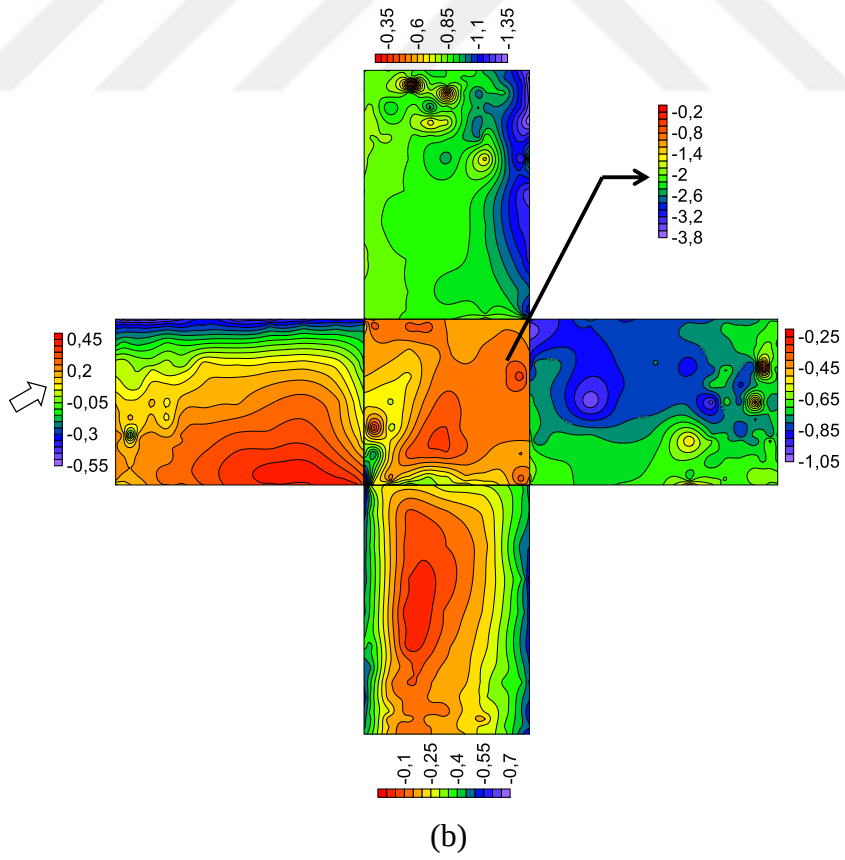
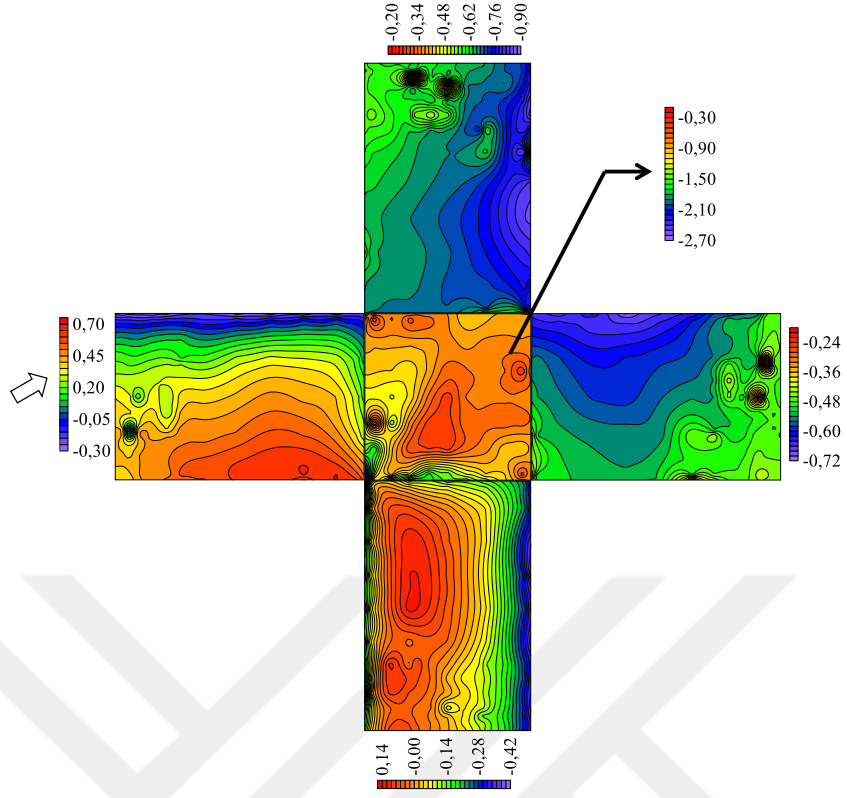
Şekil 29. $\theta = 0^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı (deneyssel) , b) Minimum basınç katsayısı (deneyssel),
c) Ortalama basınç katsayısı (sayısal)

Şekil 29' un devamı





Şekil 30. $\theta = 15^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı

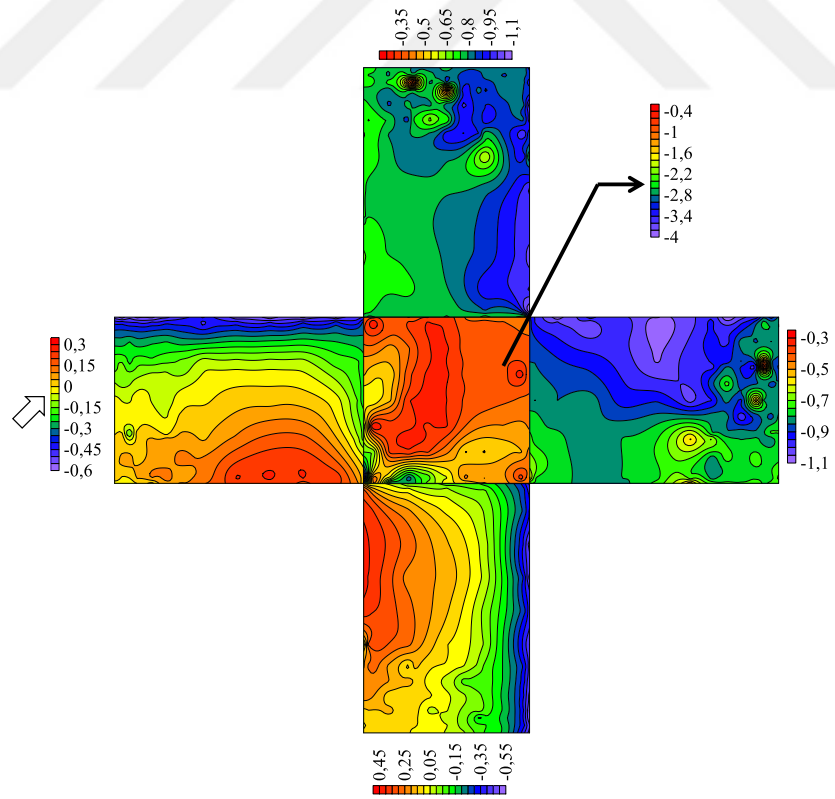
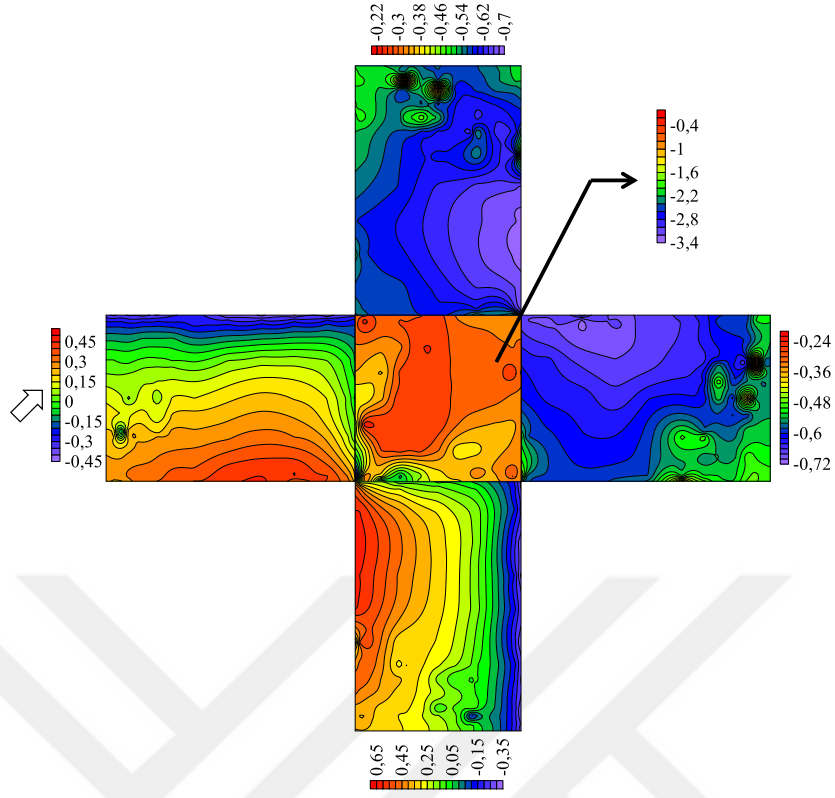


Şekil 31. $\theta = 30^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı

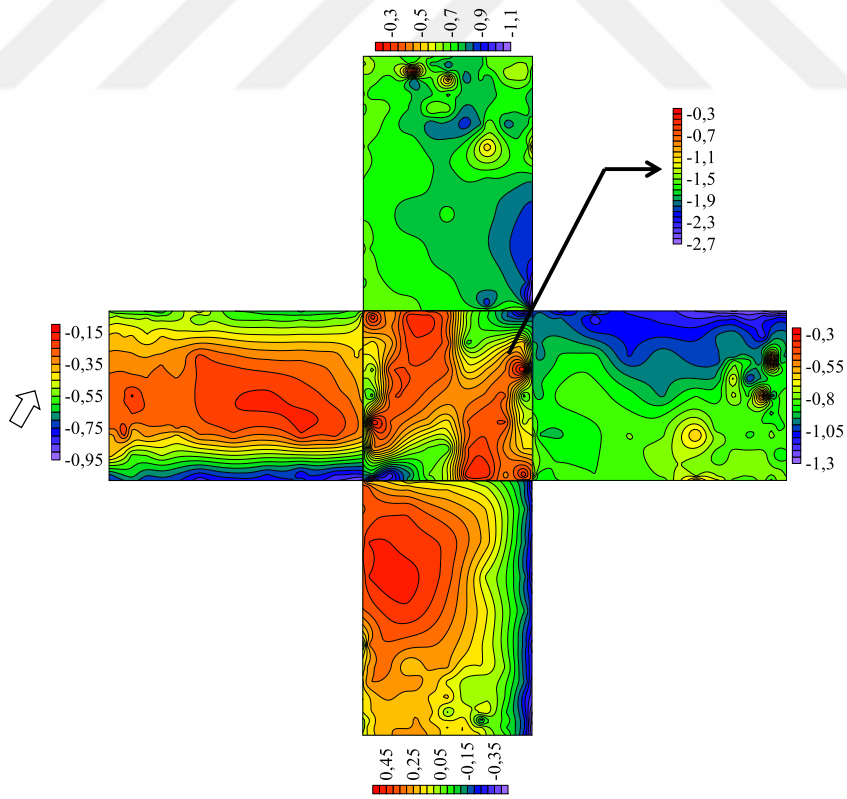
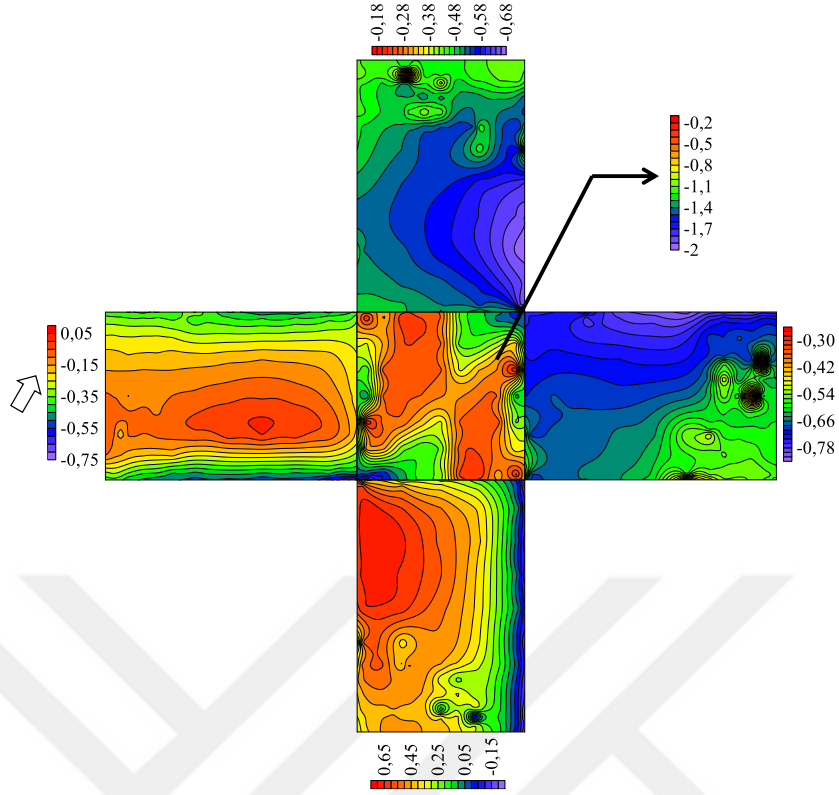
Şekil 32’de, 45° rüzgar geliş açısı için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki ortalama ve minimum basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Bina modelinin kare kesitli olması nedeniyle, 45° rüzgar geliş açısında modelin ön yüzeyi ile sol yan yüzeyi ve sağ yan yüzeyi ile arka yüzeyi simetrik olmakta, simetrik yüzeylerde benzer basınç dağılımları oluşmaktadır. Model ön ve sol yan yüzeylerinin rüzgara doğrudan maruz kalan büyük bir bölümünde, pozitif basınç alanları ortaya çıkmaktadır. Bina modelinin arka ve sağ yan yüzeylerinde ise akış ayrılması nedeniyle, negatif basınç alanları oluşmaktadır. En kritik emme etkisi modelin düz çatısı üzerinde meydana gelmekte ve çatı üzerindeki en kritik basınç katsayısı değerleri, rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında ortalama -3.35 ve minimum -3.85 olarak elde edilmektedir.

Şekil 33, 60° rüzgar geliş açısı için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerinde ölçülmüş basınç değerlerini göstermektedir. 60° rüzgar geliş açısında, model ön yüzeyinin düşey orta bölgesinde pozitif basınç değerleri, ön yüzeyin diğer kısımlarında ise negatif basınç değerleri oluşmaktadır. Bina modelinin sol yan yüzeyinin büyük bir bölümünde basınç değerleri pozitif olmaktadır. Modelin sağ yan yüzeyi ve çatısının tamamında basınç katsayıları negatif olmaktadır. Negatif basınç alanına sahip çatı üzerinde emme etkisi daha kritik olmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında sırasıyla -1.96 ve -2.67 olarak elde edilmektedir.

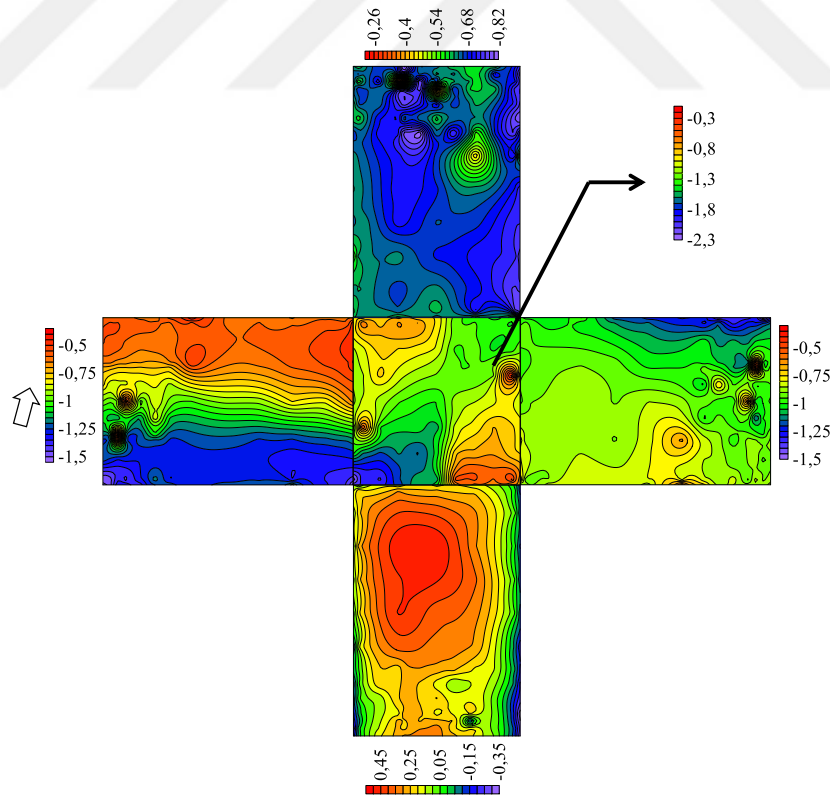
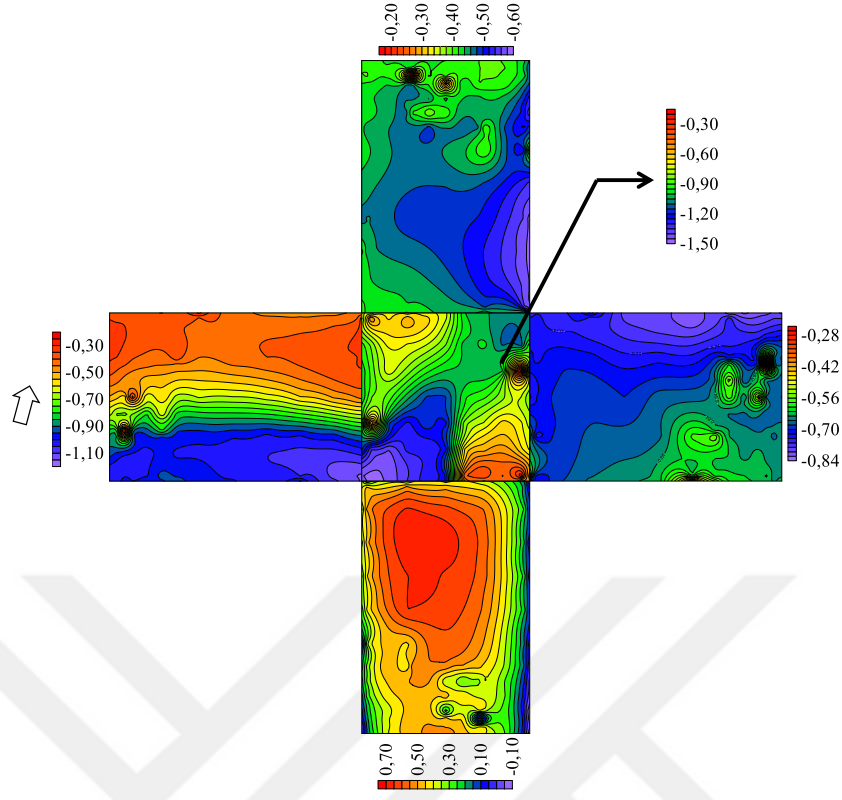
Şekil 34’de, 75° rüzgar geliş açısında kare kesitli normal bina yüzeylerinde ölçülmüş ortalama ve minimum basınç değerleri eş basınç alanları şeklinde görülmektedir. 60° rüzgar geliş açısı için elde edilen basınç dağılımlarına benzer şekilde, bina modelinin sol yan yüzeyinin büyük bir bölümünde basınç değerleri pozitif olmaktadır. Bina modelinin diğer yüzeylerinde basınç dağılımları negatif olmaktadır. Bu durum, bina modelinin sol yüzeyinin itme, diğer yüzeylerin ise emme etkisi altında olduğunu göstermektedir. En kritik emme etkisi yine çatı üzerinde oluşmaktadır. Çatı üzerindeki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları, rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi civarında sırasıyla -1.45 ve -2.27 olarak elde edilmiştir.



Şekil 32. $\theta = 45^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı



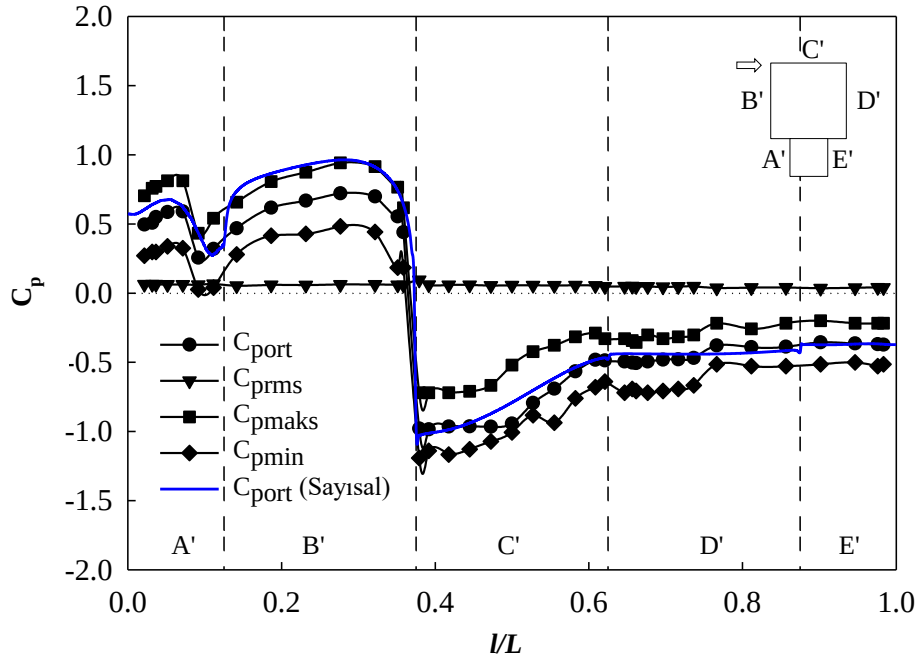
Şekil 33. $\theta = 60^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı



Şekil 34. $\theta = 75^\circ$ için kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
 a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı

b. Yükseltilmiş Bina Modelleri

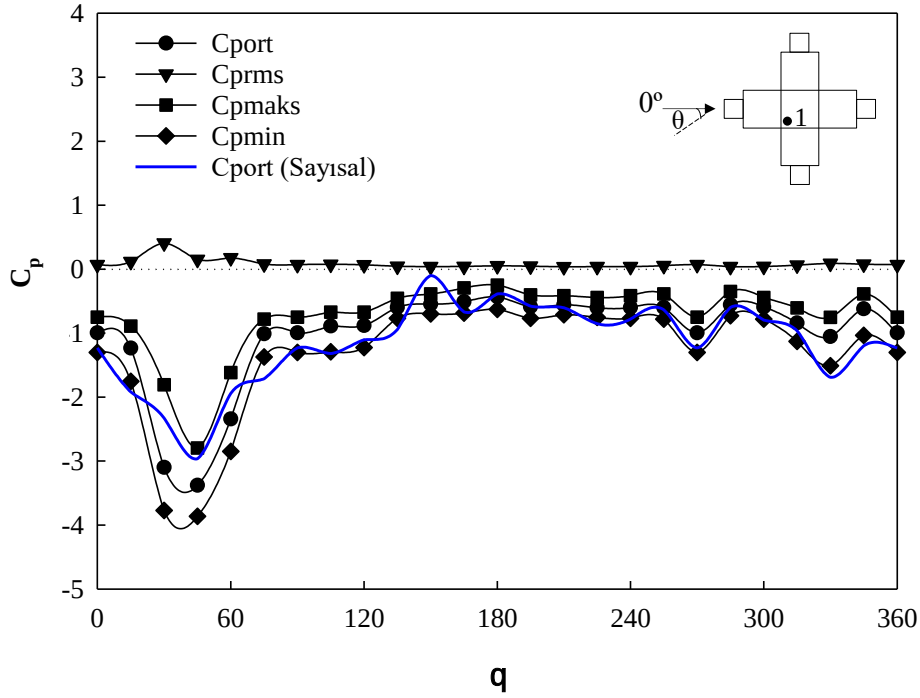
Şekil 35’de, $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin orta eksenı boyunca model yüzeylerindeki ölçümlerden elde edilen basınç katsayılarının ortalama, rms, maksimum ve minimum değerlerinin değişimi, sayısal çözümden hesaplanan ortalama basınç katsayısı değişimi sonuçları ile birlikte verilmiştir. Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeylerinde, itme etkisi nedeniyle pozitif basınç alanları oluşmaktadır. Düz çatının ön kenarından ayrılan akış nedeniyle, çatı üzerinde ve model arka yüzeylerinde basınç dağılımları negatif olmaktadır. Akış yönünde bina modelinin orta eksenı boyunca en kritik negatif basınç katsayıları çatı üzerinde oluşmaktadır. Sayısal çözümden elde edilen ortalama basınç katsayısı değerleri mevcut çalışmadaki ölçümlerden elde edilen ortalama basınç katsayısı değerlerine yakın olmaktadır.



Şekil 35. $\theta = 0^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksenı boyunca akış yönündeki basınç katsayısı değişimi

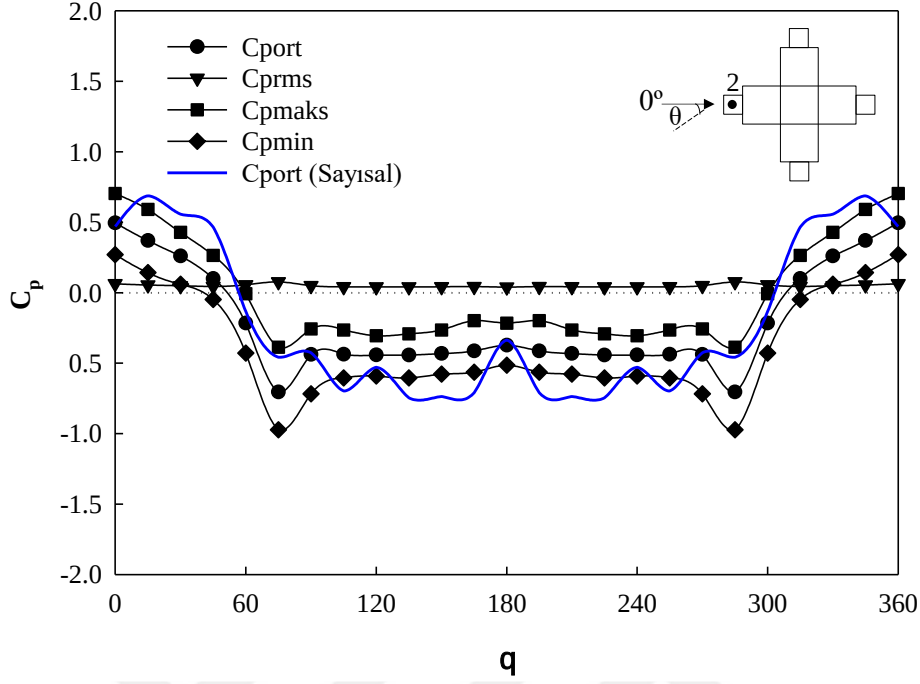
50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin düz çatısı üzerinde, kritik emme etkisinin olduğu rüzgar geliş tarafındaki çatı sol ön köşesine açılmış 1 nolu basınç prizinden ölçülmüş ortalama, rms, maksimum ve minimum basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri sayısal çözümlerden elde

edilen değişimle birlikte Şekil 36’da verilmektedir. 15° aralıklı rüzgar açıları için ölçülmüş basınç değerlerinden, en kritik ortalama ve minimum basınç katsayılarının sırasıyla -3.38 ve -3.86 değerlerinde 45° ’lik rüzgar geliş açısında olduğu görülmektedir. Sayısal çözümlerden hesaplanan en kritik ortalama basınç katsayısı da -2.77 değeriyle aynı rüzgar geliş açısında oluşmaktadır. Sayısal çözümlerden hesaplanan basınç katsayısı değişimleri deneysel sonuçlarla iyi bir uyum sergilemektedir. Bu durum çalışmada kullanılan sayısal yaklaşımın incelenen problem için yeterli olduğunu göstermektedir.



Şekil 36. Kare kesitli yükseltilmiş bina modeli çatı köşesinde ölçülen basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

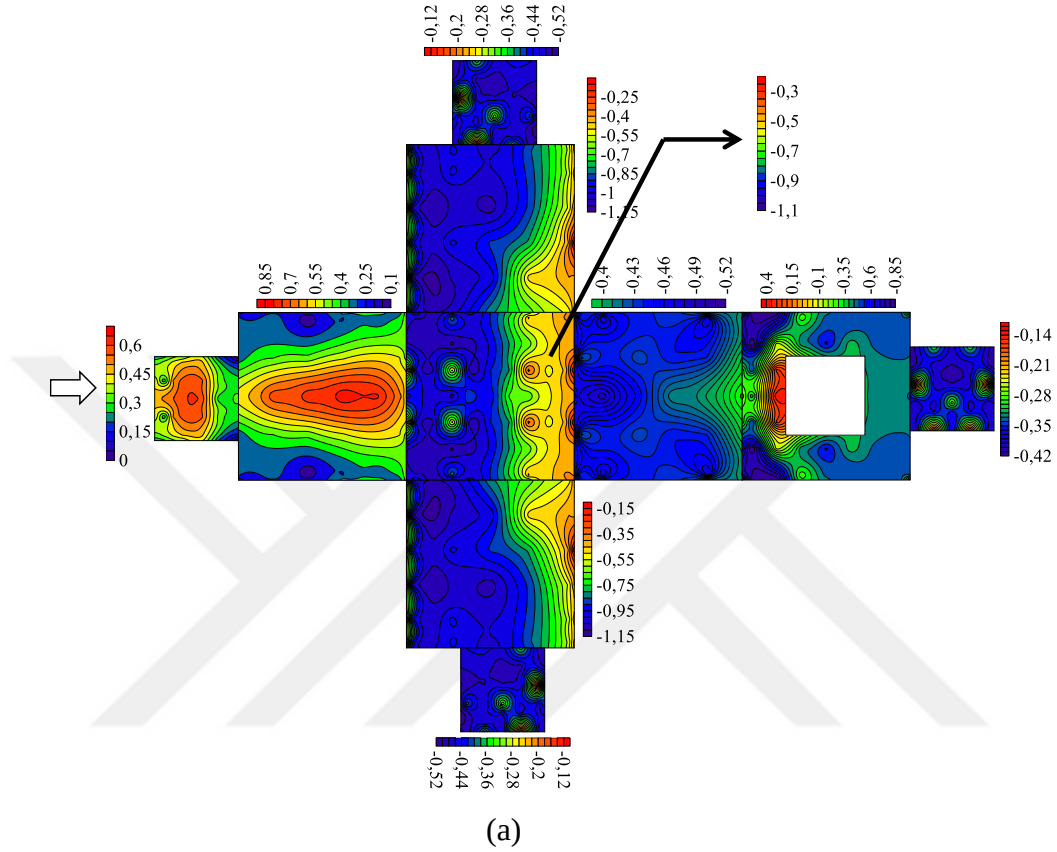
50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde modelin çekirdek kısmının ön yüzeyinde düşey orta eksende yaya seviyesi yüksekliğine karşılık gelen 2 nolu basınç prizinden ölçülmüş basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri, aynı konumda sayısal çözümlerden hesaplanmış basınç katsayısı değişimiyle birlikte Şekil 37’de görülmektedir. Bu konumdaki en kritik minimum basınç katsayısı -0.97 değeriyle 75° ve 285° rüzgar geliş açılarında oluşmaktadır. Aynı konumda sayısal çözümlerden hesaplanan basınç katsayılarının rüzgar geliş açısına göre değişimi deneysel sonuçlarla uyumlu olmaktadır. Kritik emme etkilerinin gerçekleştiği rüzgar açıları, basınç katsayısının rms değerlerinde artış meydana gelmektedir.



Şekil 37. Kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğinde ölçülen basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

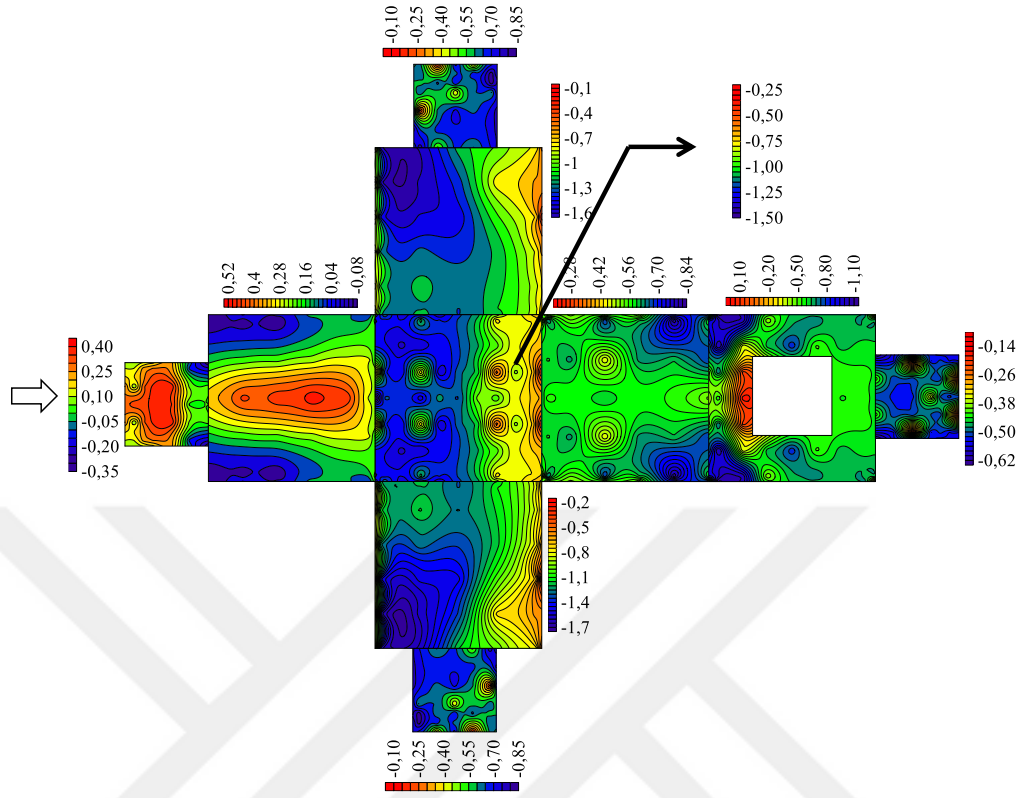
Şekil 38’de, 0° rüzgar geliş açısı için 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları ve Realizable k - ϵ türbülans modeli ile hesaplanan ortalama yüzey basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Rüzgara doğrudan maruz kalan modelin hem çekirdek kısmının hem de üst kısmının ön yüzeylerinde pozitif basınç alanları oluşmaktadır. Bina modelinin diğer tüm yüzeylerinde negatif basınç alanları oluşmaktadır. En kritik emme etkisi ortalama -1.14 ve minimum -1.58 basınç katsayısı değeriyle modelin çekirdek üstündeki yan yüzeylerinde zeminden yaklaşık 56 mm yükseklikte oluşmaktadır. Çatı üzerindeki en kritik basınç katsayısı ise, ortalama -1.03 ve minimum -1.49 değeriyle rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında meydana gelmektedir. Çatı yüzeyinin ön kısmında daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Bina modelinin yan yüzeyleri üzerinde de çatı üzerindeki etkiye benzer şekilde akış yönünde ilerledikçe emme etkisi azalmaktadır. Bina modelinin çekirdek kısmı ile üst kısmının birleştiği düzlemde yer alan kare kesitli halka yüzeyde çekirdek etrafındaki akış nedeniyle yerel basınç değerleri negatif olmaktadır (Şekil 38 a, b).

Aynı bina modeli için sayısal çözümden hesaplanan ortalama basınç katsayısı dağılımları deneysel dağılımlarla uyum içerisinde olmaktadır (Şekil 38c).

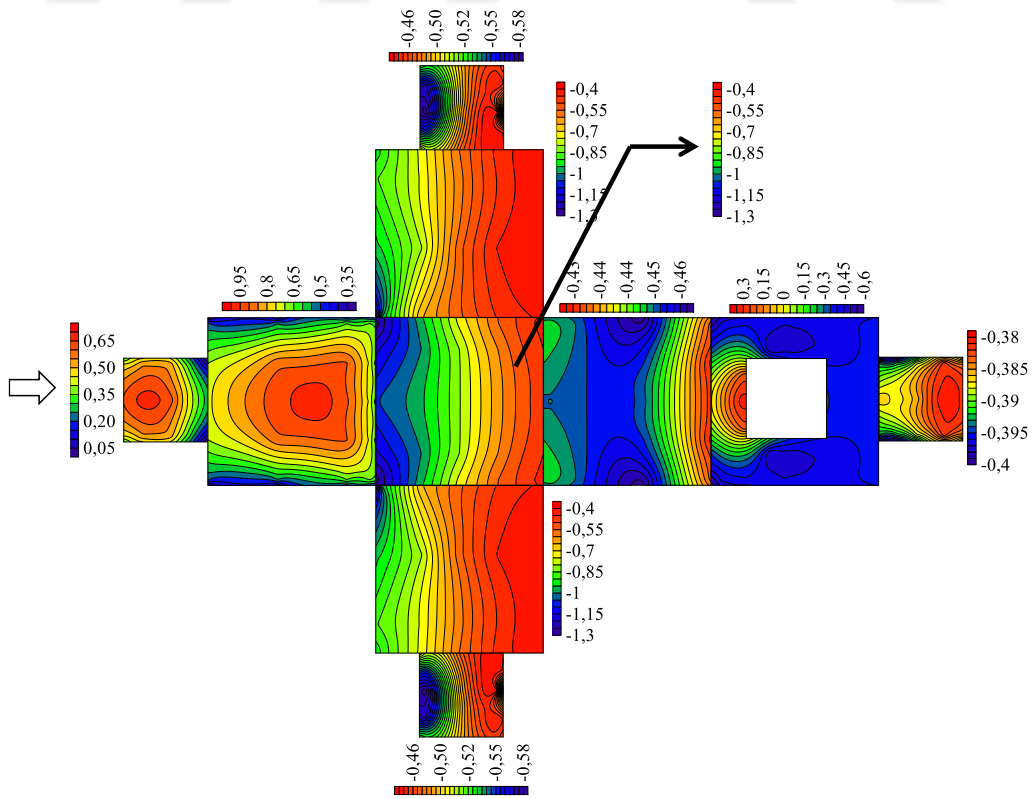


Şekil 38. $\theta = 0^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı (deneysel) , b) Minimum basınç katsayısı (deneysel),
c) Ortalama basınç katsayısı (sayısal)

Şekil 38'in devamı



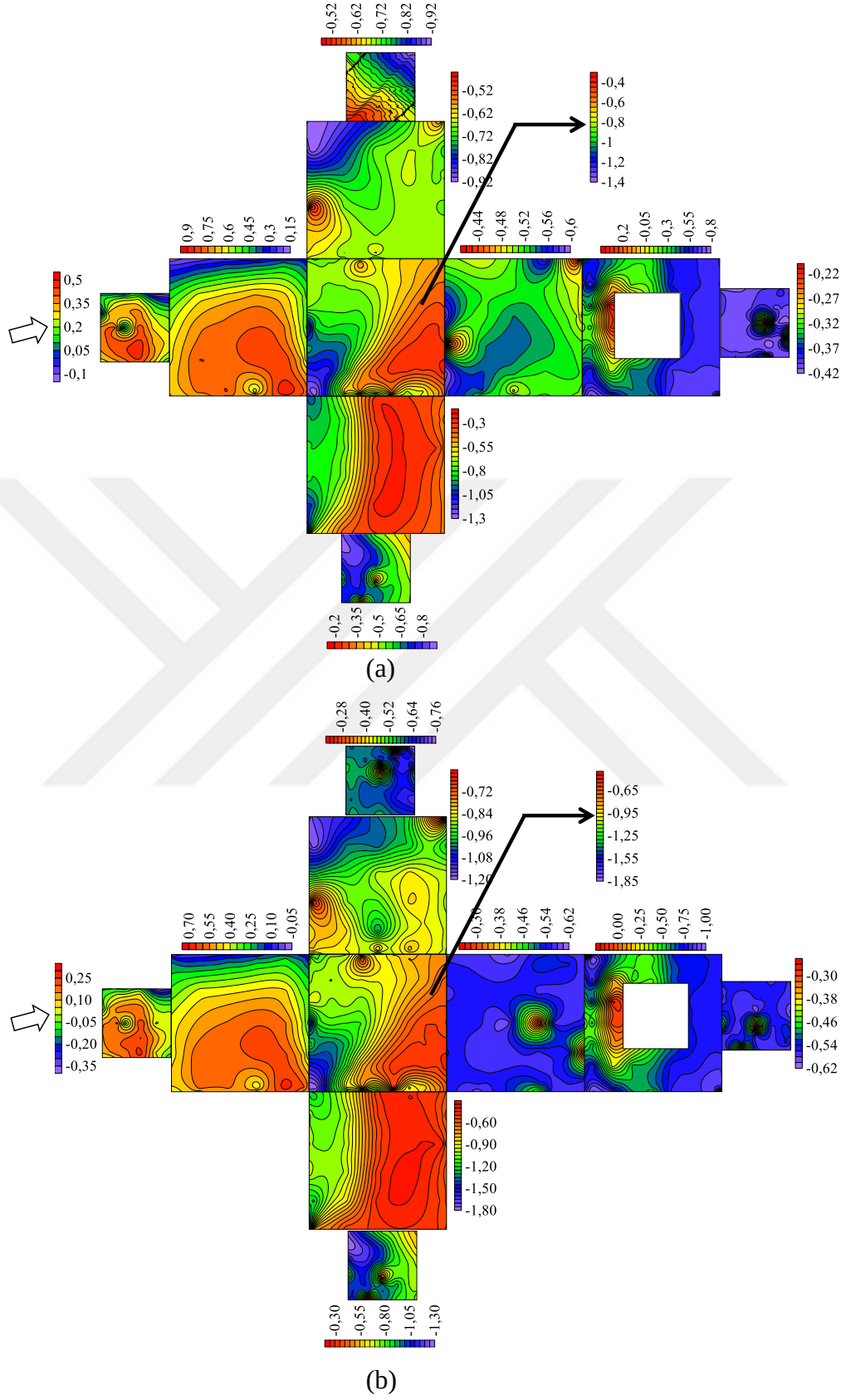
(b)



(c)

Şekil 39’da 15° rüzgar geliş açısı için 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Bina modelinin hem çekirdek kısmının hem de üst kısmının ön yüzeylerinde yerel basınç değerleri pozitif olmaktadır. Bina modelinin diğer tüm yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik emme etkisi çatı yüzeyinde oluşmakta ve çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe emme etkisi azalmaktadır. Çatı yüzeyindeki en kritik negatif basınç katsayısı değerleri ortalama -1.35 ve minimum -1.75 olarak rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında oluşmaktadır. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının kare kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde yerel basınç değerleri negatif olmaktadır.

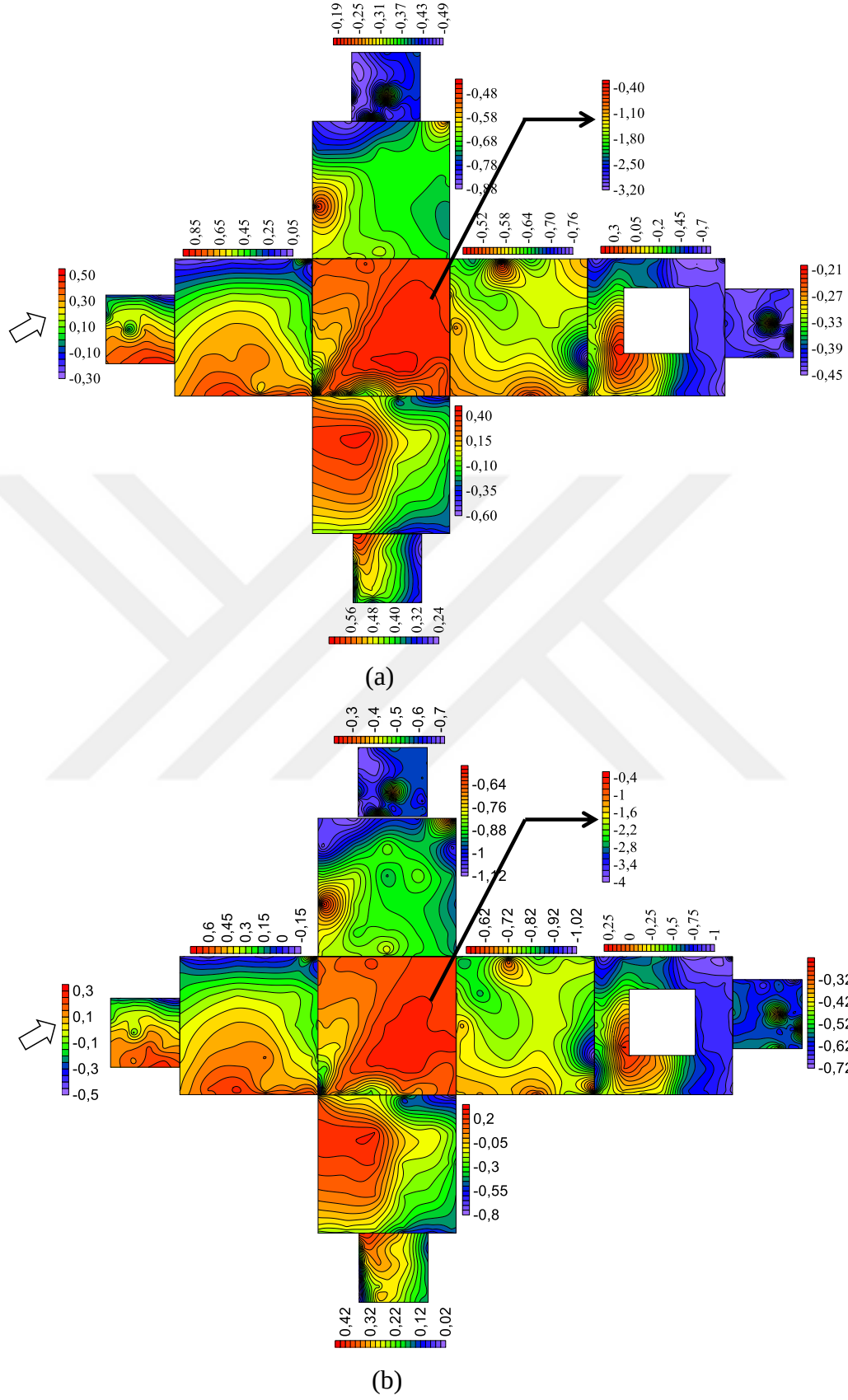




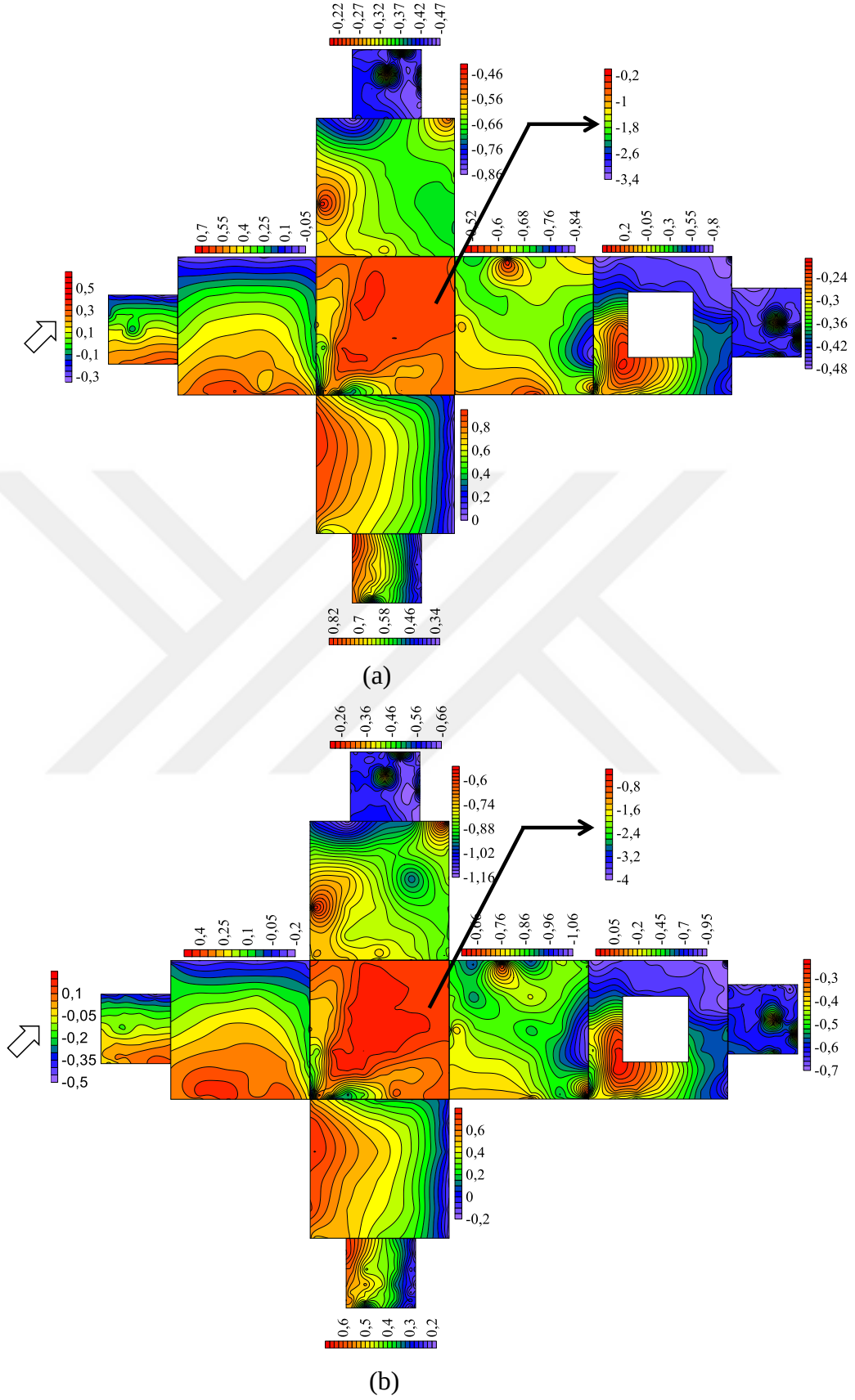
Şekil 39. $\theta = 15^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı

Şekil 40, 30° rüzgar geliş açısı için 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Bina modelinin ön yüzeylerinin büyük bölümünde basınç katsayıları pozitif olmaktadır. Bina modelinin diğer yüzeylerinde ise basınç değerleri negatif olmakta ve bu yüzeylerdeki en kritik emme etkisi yine çatı üzerinde meydana gelmektedir. Çatının rüzgar geliş tarafındaki sol köşesi yakınında kritik emme etkisi daha belirgin olmaktadır. Çatının rüzgar geliş yönüne göre arka bölgesine doğru emme etkisi zayıflamaktadır. Bina modelinin sağ yan yüzeyleri, sol yan yüzeylerine kıyasla daha fazla emme etkisi altında kalmaktadır. Çatı üzerindeki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları, çatının rüzgar geliş tarafındaki ön köşesi yakınında, sırasıyla -3.1 ve -3.77 olarak elde edilmiştir. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının kare kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde rüzgar geliş tarafındaki küçük bir bölge dışında yerel basınç değerleri negatif olmaktadır.

Şekil 41’de, 45° rüzgar geliş açısı için 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Bina modelinin kare kesitli olması nedeniyle, 45° rüzgar geliş açısında modelin ön yüzeyleri ile sol yan yüzeyleri ve sağ yan yüzeyleri ile arka yüzeyleri simetrik olmakta, simetrik yüzeylerde benzer basınç dağılımları oluşmaktadır. Model ön ve sol yan yüzeylerinin rüzgara doğrudan maruz kalan büyük bir bölümünde, pozitif basınç alanları ortaya çıkmaktadır. Bina modelinin arka ve sağ yan yüzeylerinde ise akış ayrılması nedeniyle, negatif basınç alanları oluşmaktadır. En kritik emme etkisi modelin düz çatısı üzerinde meydana gelmekte ve çatı üzerindeki en kritik basınç katsayısı değerleri, rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında ortalama -3.38 ve minimum -3.86 olarak elde edilmektedir. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının kare kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde rüzgar geliş tarafındaki köşe bölgesinde yerel basınç değerleri pozitif, yüzeyin diğer bölgelerinde ise basınç değerleri negatif olmaktadır.



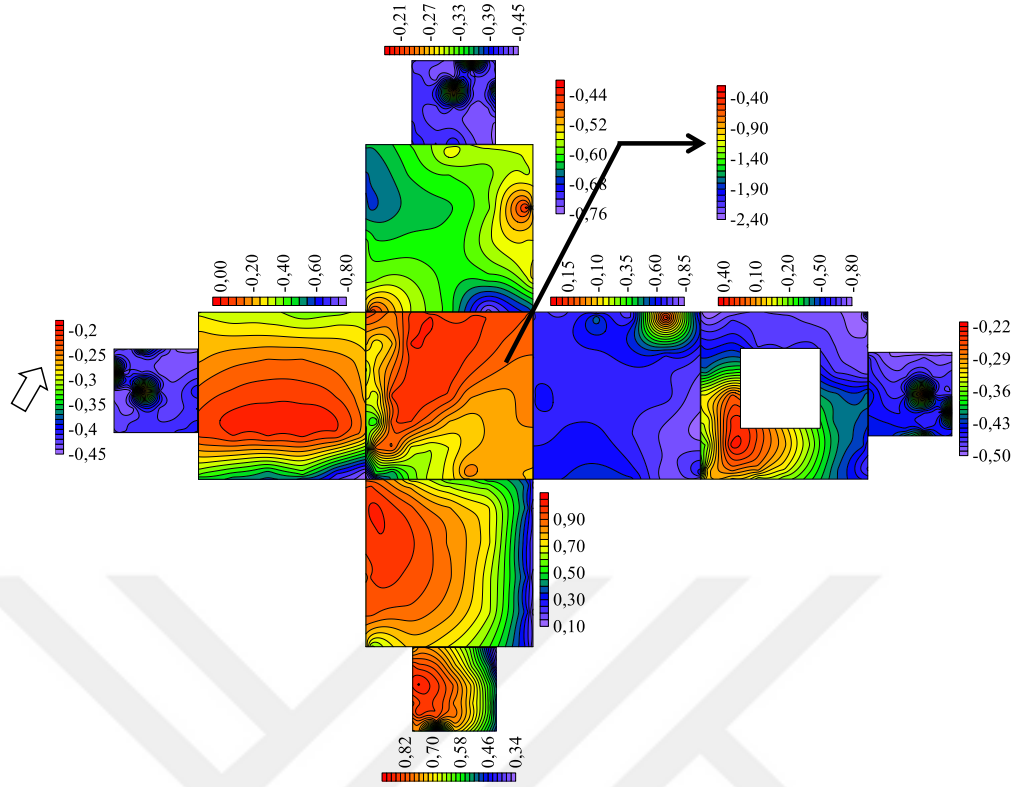
Şekil 40. $\theta = 30^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı



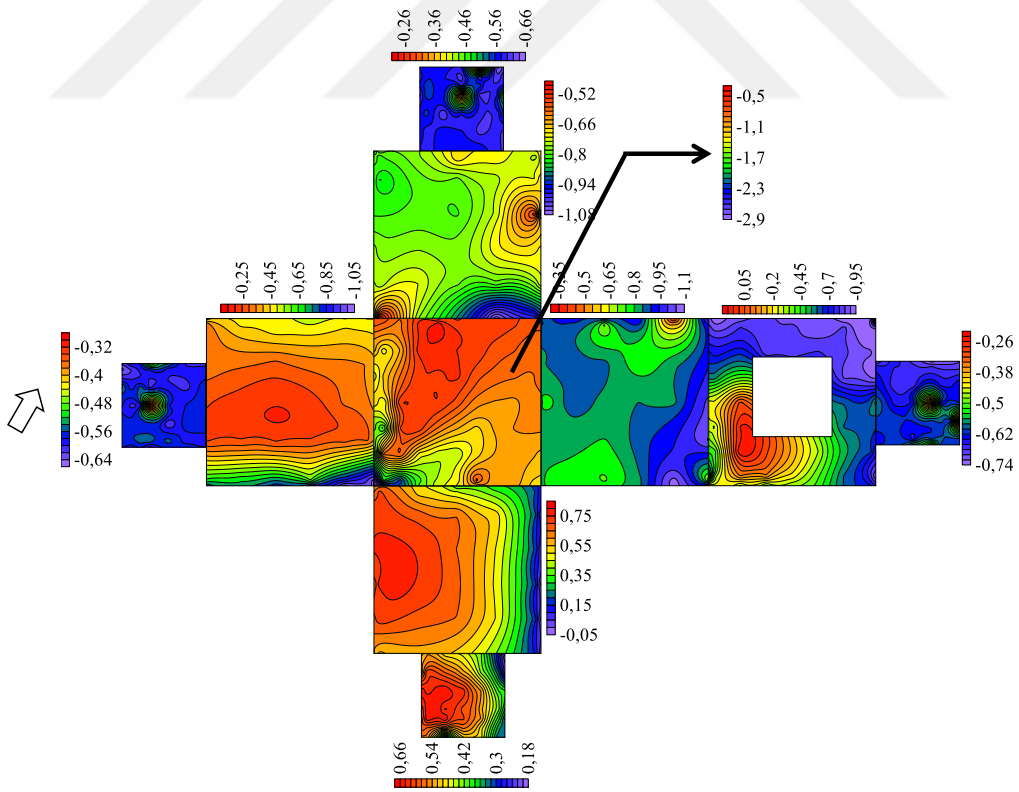
Şekil 41. $\theta = 45^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
 a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı

Şekil 42, 60° rüzgar geliş açısı için 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. 60° rüzgar geliş açısında, bina modelinin sol yan yüzeylerinde pozitif basınç alanları oluşurken, modelin ön yüzeylerinde, sağ yan yüzeylerinde ve arka yüzeylerinde negatif basınç alanları oluşmaktadır. Negatif basınç alanına sahip çatı üzerinde emme etkisi daha kritik olmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları rüzgar geliş tarafındaki çatı sol ön köşesi yakınında sırasıyla -2.35 ve -2.85 olarak elde edilmektedir. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının kare kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde rüzgar geliş tarafındaki köşe yakınlarında yerel basınç değerleri pozitif, yüzeyin diğer bölgelerinde ise basınç değerleri negatif olmaktadır.

Şekil 43’de, 75° rüzgar geliş açısı için 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. 60° rüzgar geliş açısı için elde edilen basınç dağılımlarına benzer şekilde, bina modelinin sol yan yüzeylerinde basınç değerleri pozitif olmaktadır. Bina modelinin diğer yüzeylerinde basınç dağılımları negatif olmaktadır. Bu durum, bina modelinin sol yüzeyinin itme, diğer yüzeylerin ise emme etkisi altında olduğunu göstermektedir. En kritik emme etkisi yine çatı üzerinde oluşmaktadır. Çatı üzerindeki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları, rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi civarında sırasıyla -1.1 ve -1.41 olarak elde edilmiştir. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının kare kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde yine rüzgar geliş tarafındaki köşe yakınlarında yerel basınç değerleri pozitif, yüzeyin diğer bölgelerinde ise basınç değerleri negatif olmaktadır.

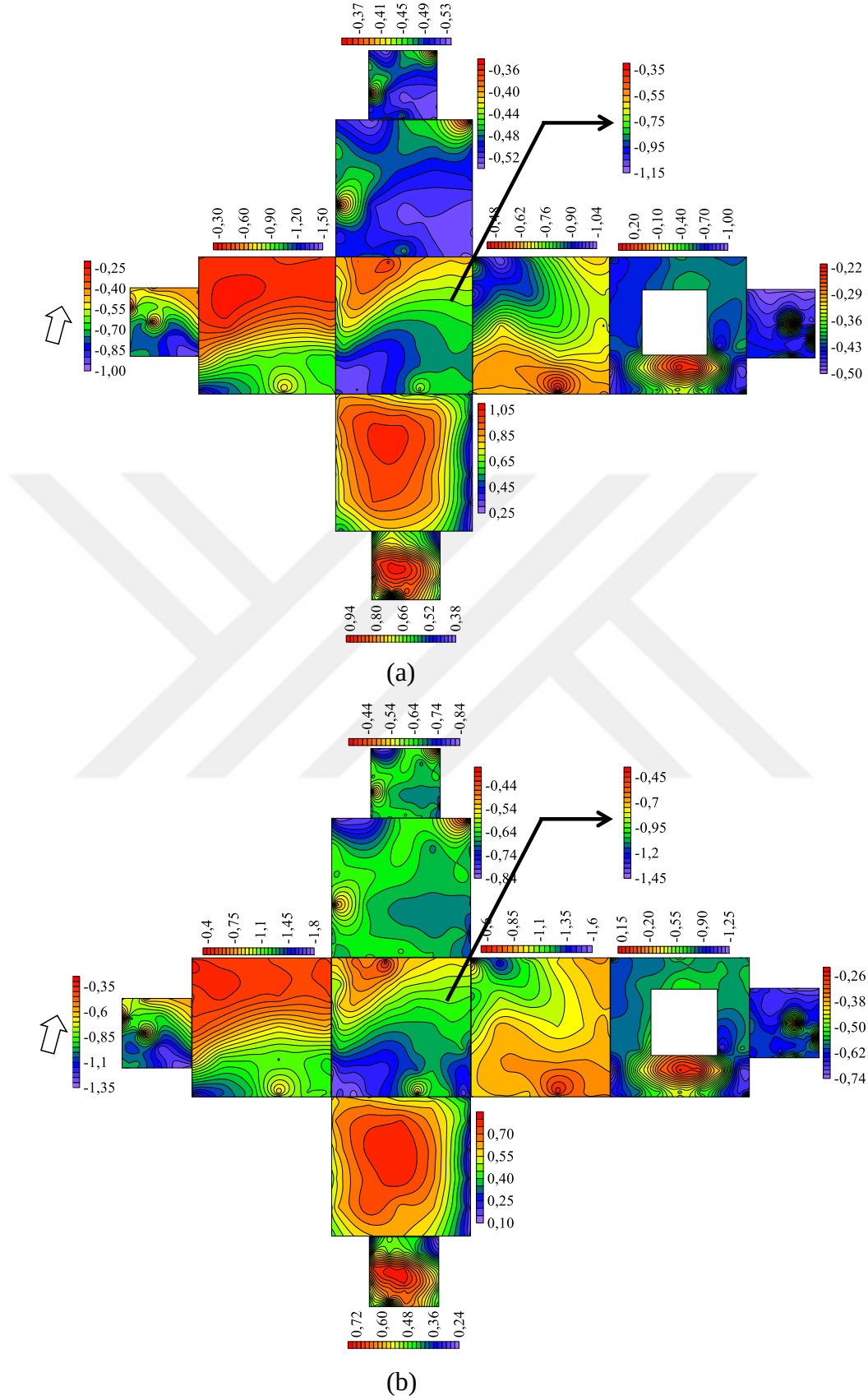


(a)



(b)

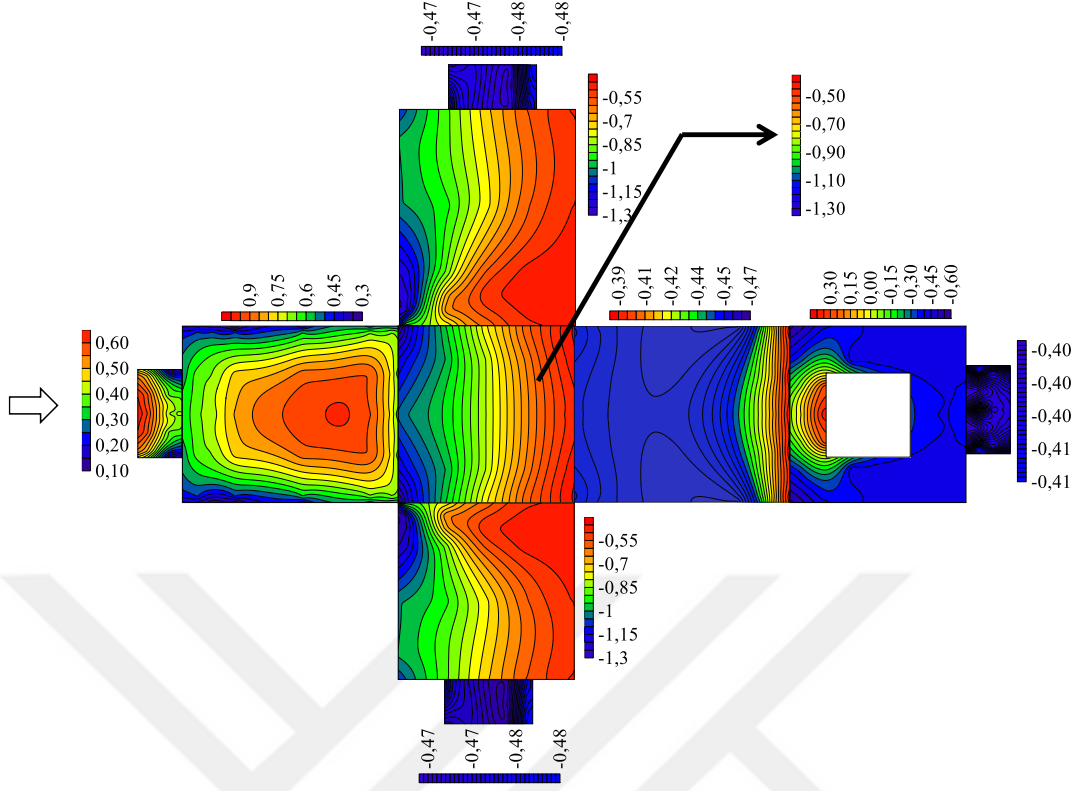
Şekil 42. $\theta = 60^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı



Şekil 43. $\theta = 75^\circ$ için kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı b) Minimum basınç katsayısı

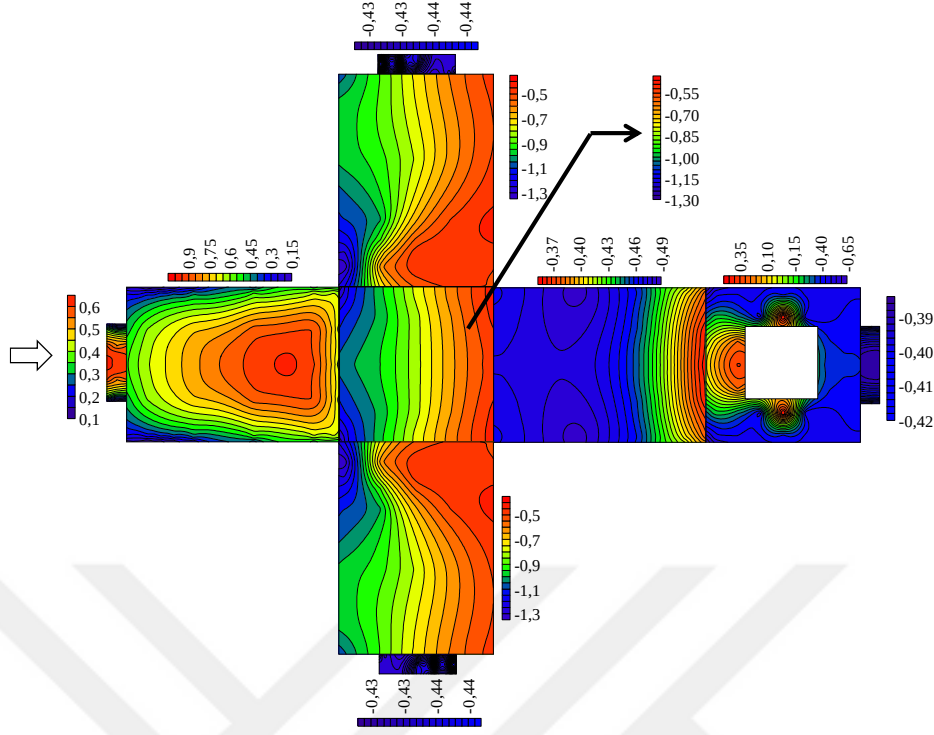
Mevcut çalışma kapsamında, çekirdek yüksekliğinin kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki basınç dağılımlarına etkisini incelemek amacıyla ilave sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Çekirdek genişliği 50 mm şeklinde sabit tutularak, çekirdek yüksekliğinin 25 mm ve 12.5 mm değerleri için de $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında üç boyutlu sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 44’de, 0° rüzgar açısı için, 25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde, Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli ile hesaplanan eş basınç alanları verilmektedir. Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeylerinde, itme etkisi nedeniyle pozitif basınç alanları oluşmaktadır. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının kare kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde rüzgar geliş tarafındaki ön bölümde pozitif basınç değerleri oluşurken, yüzeyin diğer bölümlerinde negatif basınç değerleri meydana gelmektedir. Bina modelinin diğer yüzeylerinde basınç dağılımları negatif olmaktadır. En kritik emme etkisi, ortalama -1.26 değeriyle bina modeli çatısının rüzgar geliş tarafındaki ön kenarı yakınında oluşmaktadır. Bina modelinin yan yüzeyleri ve çatısı üzerinde oluşan emme etkisi akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Çekirdeğin yan yüzeyleri ve arka yüzeyindeki basınç dağılımları yaklaşık uniform olmaktadır.



Şekil 44. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları

Şekil 45’de, 0° rüzgar açısı için, 12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde, Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modeli ile hesaplanan eş basınç alanları verilmektedir. Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeylerinde, itme etkisi nedeniyle pozitif basınç alanları oluşmaktadır. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının kare kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde rüzgar geliş tarafındaki ön bölümde pozitif basınç değerleri oluşurken, yüzeyin diğer bölümlerinde negatif basınç değerleri meydana gelmektedir. Bina modelinin diğer yüzeylerinde basınç dağılımları negatif olmaktadır. En kritik emme etkisi, ortalama -1.28 değeriyle bina modeli çatısının rüzgar geliş tarafındaki ön kenarı yakınında oluşmaktadır. Bina modelinin yan yüzeyleri ve çatısı üzerinde oluşan emme etkisi akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Çekirdeğin yan yüzeyleri ve arka yüzeyindeki basınç dağılımları yaklaşık uniform olmaktadır.



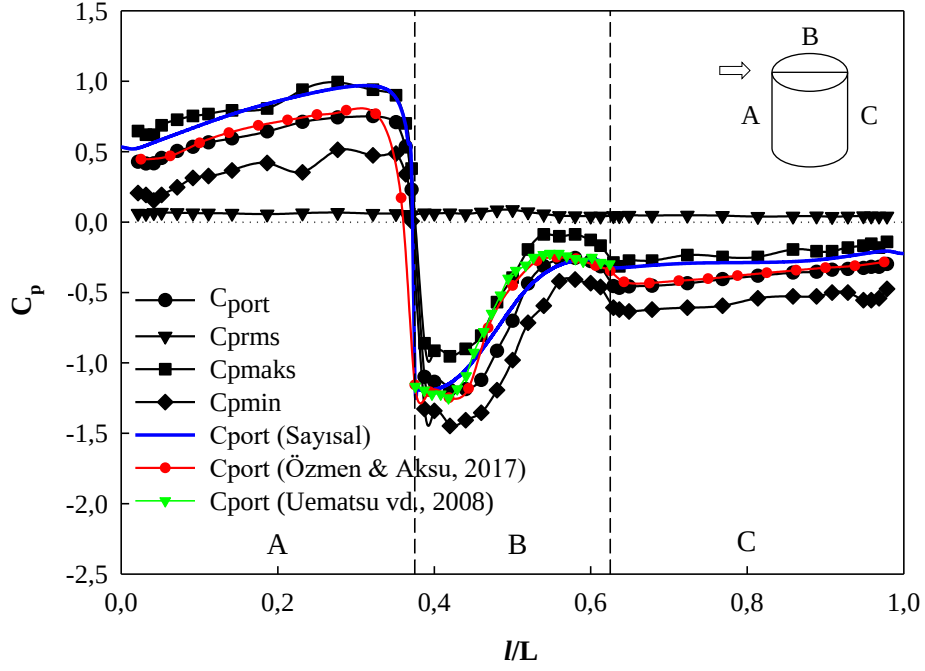
Şekil 45. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları

3.1.2. Dairesel Kesitli Bina Modelleri

a. Normal Bina Modeli

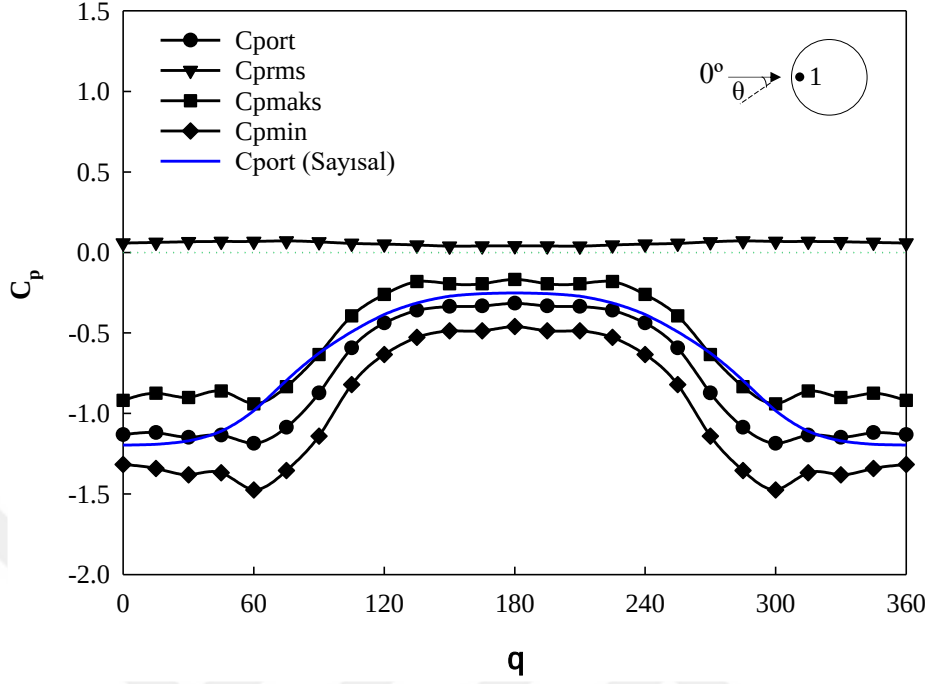
Dairesel kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki basınç dağılımları bina modelinin 15° 'lık açılarla döndürülmesiyle elde edilmiştir. Şekil 46'da, $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında dairese kesitli normal bina modelinin orta eksenı boyunca model yüzeylerindeki ölçümlerden elde edilen basınç katsayılarının ortalama, rms, maksimum ve minimum değerlerinin değişimi, sayısal çözümden hesaplanan ortalama basınç katsayısı değişimi ile Uematsu vd. (2008) ve Özmen ve Aksu (2017)'nın ölçüm sonuçları ile birlikte karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde, itme etkisi nedeniyle pozitif basınç alanı oluşmaktadır. Akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla, çatı üzerinde ve model arka yüzeyindeki basınç dağılımları negatif olmaktadır. En kritik minimum basınç katsayıları çatı üzerinde oluşan ayrılmış akış bölgesinde meydana gelmektedir. Çatı ön kenarından ayrılan akış, çatı üzerinde ilerledikçe yeniden tutunmakta

ve bu bölgede emme etkisi giderek azalmaktadır. Modelin arka yüzeyi boyunca, basınç dağılımları yaklaşık üniform olmakta ve atmosferik basıncının altında kalmaktadır. Hem sayısal çözümden elde edilen ortalama basınç katsayısı değişimi hem de Uematsu vd. (2008) ve Özmen ve Aksu (2017)'ya ait deneysel sonuçlar mevcut çalışmadan elde edilen deneysel ortalama basınç katsayısı değişimiyle uyum içerisinde olmaktadır.



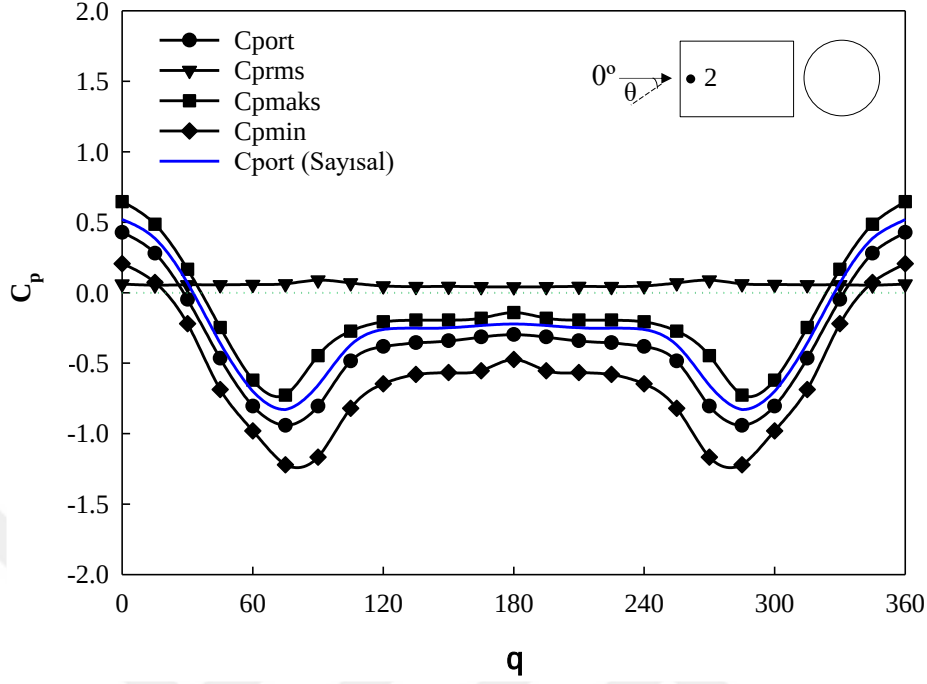
Şekil 46. $\theta = 0^\circ$ için dairesel kesitli normal bina modelinin orta eksenini boyuncası akış yönündeki basınç katsayısı değişimi

Düz çatı üzerinde, kritik emme etkisinin olduğu çatı orta ekseninin ön kenarına açılmış 1 nolu basınç prizinden ölçülmüş ortalama, rms, maksimum ve minimum basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri sayısal çözümlerden elde edilen değişimle birlikte Şekil 47’de verilmektedir. 15° aralıklı rüzgar açıları için ölçülmüş basınç değerlerinden, en kritik ortalama ve minimum basınç katsayılarının sırasıyla -1.19 ve -1.48 değerlerinde 60° ve 300° rüzgar geliş açılarında olduğu görülmektedir. Sayısal çözümlerden hesaplanan basınç katsayısı değişimleri deneysel sonuçlarla iyi bir uyum sergilemektedir. Bu durum çalışmada kullanılan sayısal yaklaşımın incelenen problem için yeterli olduğunu göstermektedir.



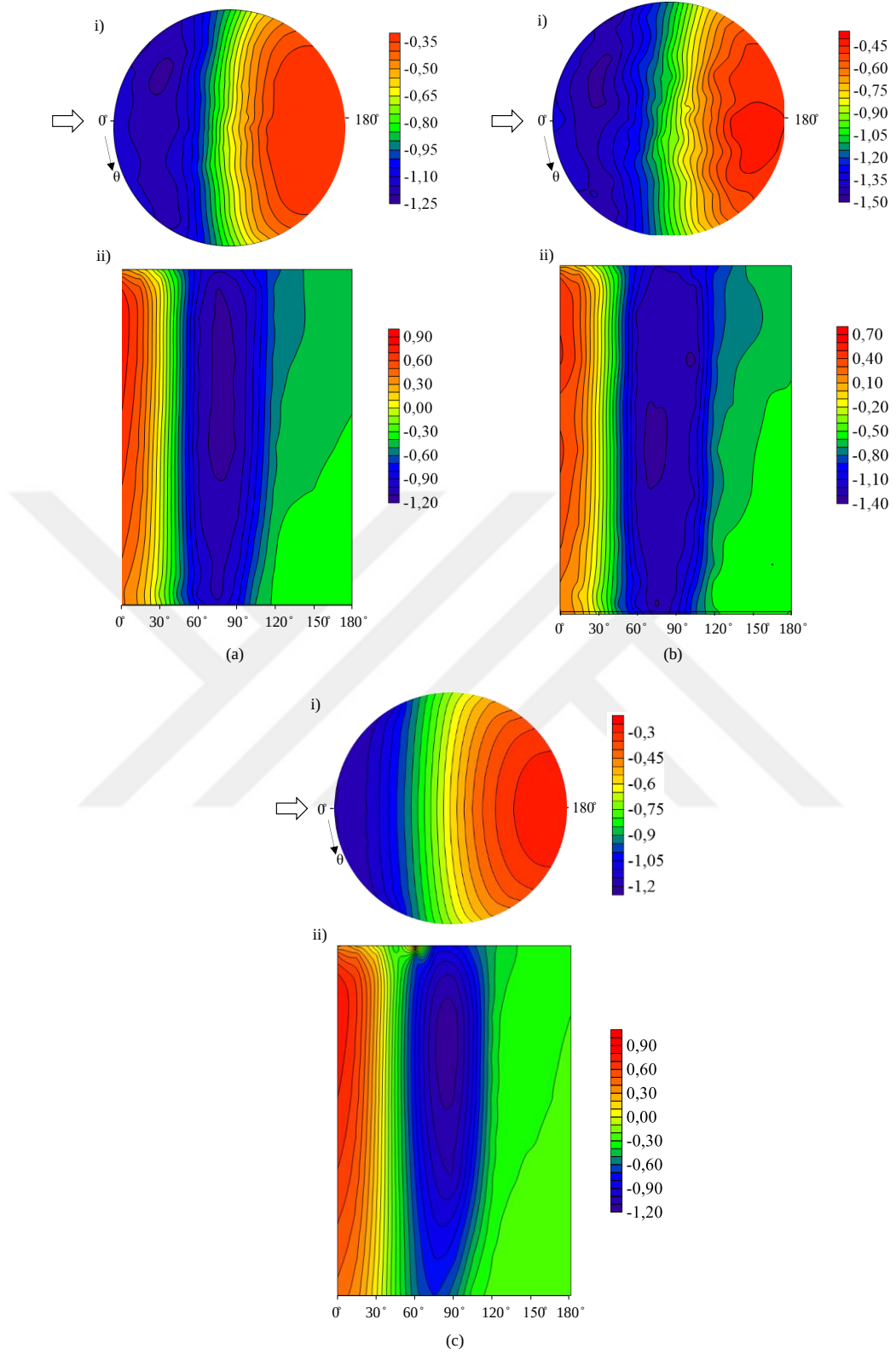
Şekil 47. Dairesel kesitli normal bina modelinin çatı ön kenarındaki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

Dairesel kesitli normal bina modelinde model ön yüzeyinde düşey orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğine karşılık gelen 2 nolu basınç prizinden ölçülmüş basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri, aynı konumda sayısal çözümlerden hesaplanmış basınç katsayısı değişimiyle birlikte Şekil 48’de görülmektedir. Yaya seviyesi yüksekliği bina modeli tabandan itibaren 8.33 mm’lik yüksekliğe karşılık gelmektedir. Bu konumdaki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları sırasıyla -0.94 -1.22 değerlerinde 75° ve 285° rüzgar geliş açılarında oluşmaktadır. Aynı konumda sayısal çözümlerden hesaplanan basınç katsayılarının rüzgar geliş açısına göre değişimi deneysel sonuçlarla uyumlu olmaktadır. Kritik emme etkilerinin gerçekleştiği rüzgar açılarında, basınç katsayısının rms değerlerinde artış meydana gelmektedir.



Şekil 48. Dairesel kesitli normal bina modelinin orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğindeki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

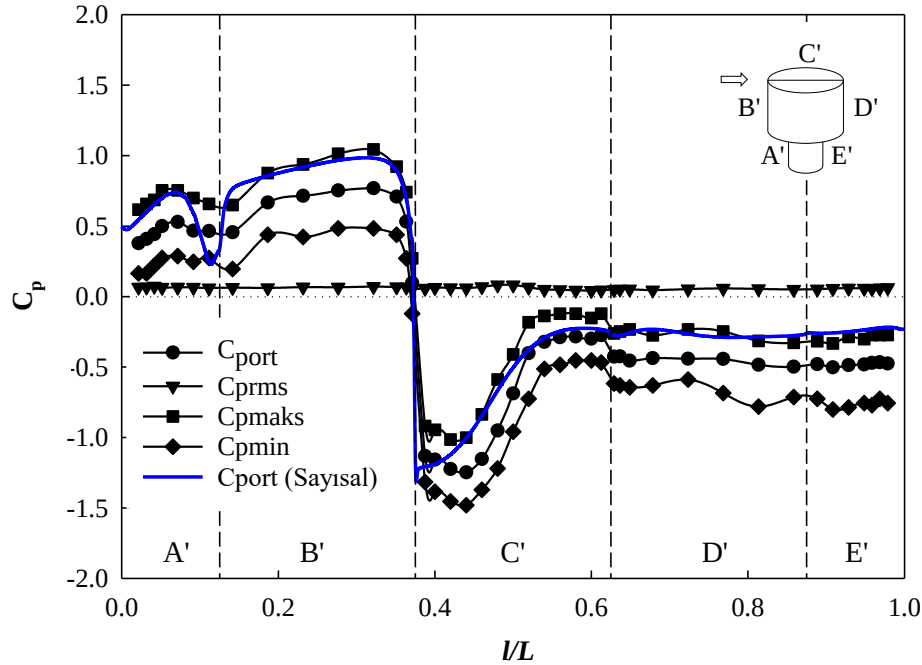
Şekil 49’da, dairesel kesitli normal bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları ve Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli ile hesaplanan ortalama yüzey basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Modelin yanal yüzeyindeki basınç katsayıları, rüzgara doğrudan maruz kalan ön kısım dışında, ölçüm yapılan tüm konumlarda negatif olmaktadır. Çatı ön kenarından ayrılan akış nedeniyle, çatı üzerindeki basınç dağılımları da negatif olmaktadır. Bu durum, ilgili yüzeylerde emme etkisi olduğunu göstermektedir. Çatının rüzgar geliş tarafındaki bölümünde daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik emme etkisi ortalama -1.22 ve minimum -1.46 basınç katsayısı değerleriyle rüzgar tarafındaki çatı ön kenarı yakınında oluşmaktadır. Modelin yanal yüzeyindeki en kritik basınç katsayısı ise ortalama -1.2 ve minimum -1.39 değerleriyle 75° rüzgar geliş açısında meydana gelmektedir. Dairesel kesitli normal bina modeli etrafındaki akış alanına ait sayısal çözümünden elde edilen basınç dağılımlarının deneysel dağılımlarla uyum içerisinde olduğu görülmektedir (Şekil 49c).



Şekil 49. Dairesel kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı (deneysel), b) Minimum basınç katsayısı (deneysel),
c) Ortalama basınç katsayısı (sayısal) (i: Çatı, ii: Yanal yüzey)

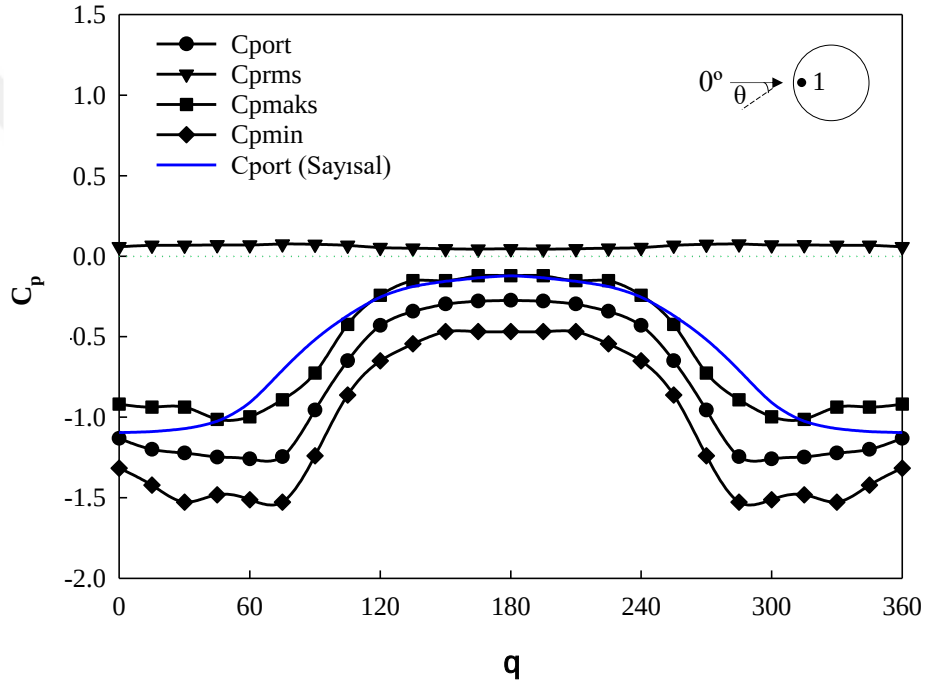
b. Yükseltilmiş Bina Modelleri

Şekil 50’de, $\theta = 0^\circ$ rüzgar geliş açısında 50 mm çekirdek yüksekliğine ve çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin orta eksenı boyunca model yüzeylerindeki ölçümlerden elde edilen basınç katsayılarının ortalama, rms, maksimum ve minimum değeriinin değışimi, sayısal çözümden hesaplanan ortalama basınç katsayısı değışimi sonuçları ile birlikte verilmiştir. Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeylerinde, itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları pozitif olmaktadır. Modelin çekirdek olarak tanımlanan bölümünün ön üst kısmında basınç değeriinde ani bir düşüş meydana gelmektedir. Akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla, çatı üzerinde ve model arka yüzeylerindeki basınç dağılımları negatif olmaktadır. En kritik minimum basınç katsayıları çatı üzerinde oluşan ayrılmış akış bölgesinde meydana gelmektedir. Çatı ön kenarından ayrılan akış, çatı üzerinde ilerledikçe yeniden tutunmakta ve bu bölgede emme etkisi giderek azalmaktadır. Modelin arka yüzeyleri boyunca, basınç dağılımları yaklaşık üniform olmakta ve atmosferik basıncının altında kalmaktadır. Sayısal çözümden elde edilen ortalama basınç katsayısı değışimi deneysel ortalama basınç katsayısı değışimiyle uyum içerisinde olmaktadır.



Şekil 50. $\theta = 0^\circ$ için dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin orta eksenı boyunca akış yönündeki basınç katsayısı değışimi

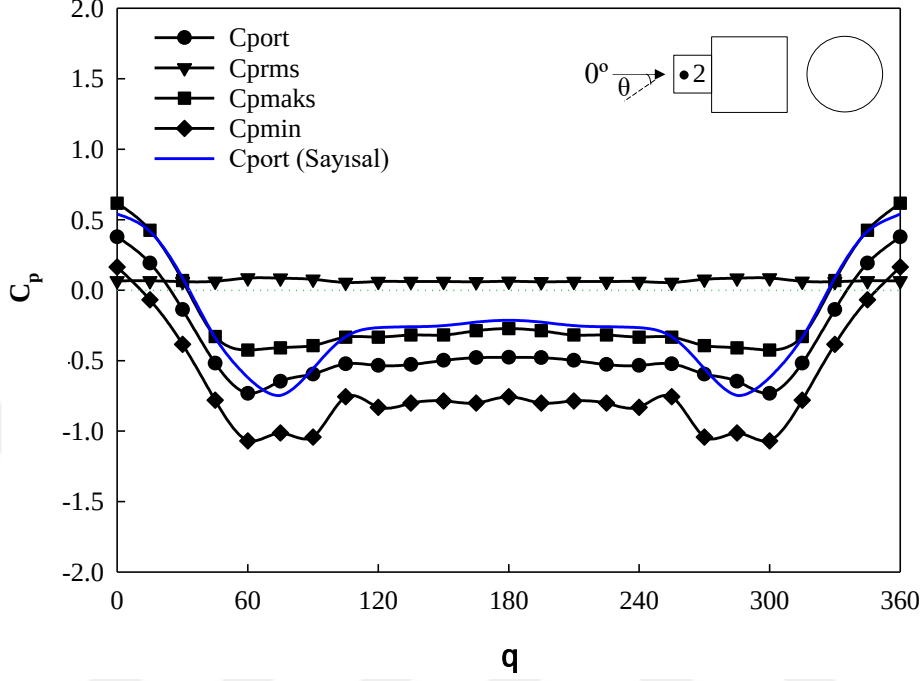
Düz çatı üzerinde, kritik emme etkisinin olduğu çatı orta ekseninin ön kenarına açılmış 1 nolu basınç prizinden ölçülmüş ortalama, rms, maksimum ve minimum basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri sayısal çözümlerden elde edilen değişimle birlikte Şekil 51’de verilmektedir. 15° aralıklı rüzgar açıları için ölçülmüş basınç değerlerinden, en kritik ortalama ve minimum basınç katsayılarının sırasıyla -1.25 ve -1.53 değerlerinde 75° ve 285° rüzgar geliş açılarında oluştuğu görülmektedir. Sayısal çözümlerden hesaplanan basınç katsayısı değişimleri deneysel sonuçlarla iyi bir uyum sergilemektedir. Bu durum çalışmada kullanılan sayısal yaklaşımın incelenen problem için yeterli olduğunu göstermektedir.



Şekil 51. Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin çatı ön kenarındaki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinde model ön yüzeyinde düşey orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğine karşılık gelen 2 nolu basınç prizinden ölçülmüş basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri, aynı konumda sayısal çözümlerden hesaplanmış basınç katsayısı değişimiyle birlikte Şekil 52’de görülmektedir. Yaya seviyesi yüksekliği bina modeli tabandan itibaren 8.33 mm’lik yüksekliğe karşılık gelmektedir. Bu konumdaki en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları sırasıyla -0.73 ve -1.07 değerlerinde 60° ve 300° rüzgar geliş açılarında oluşmaktadır. Aynı konumda sayısal

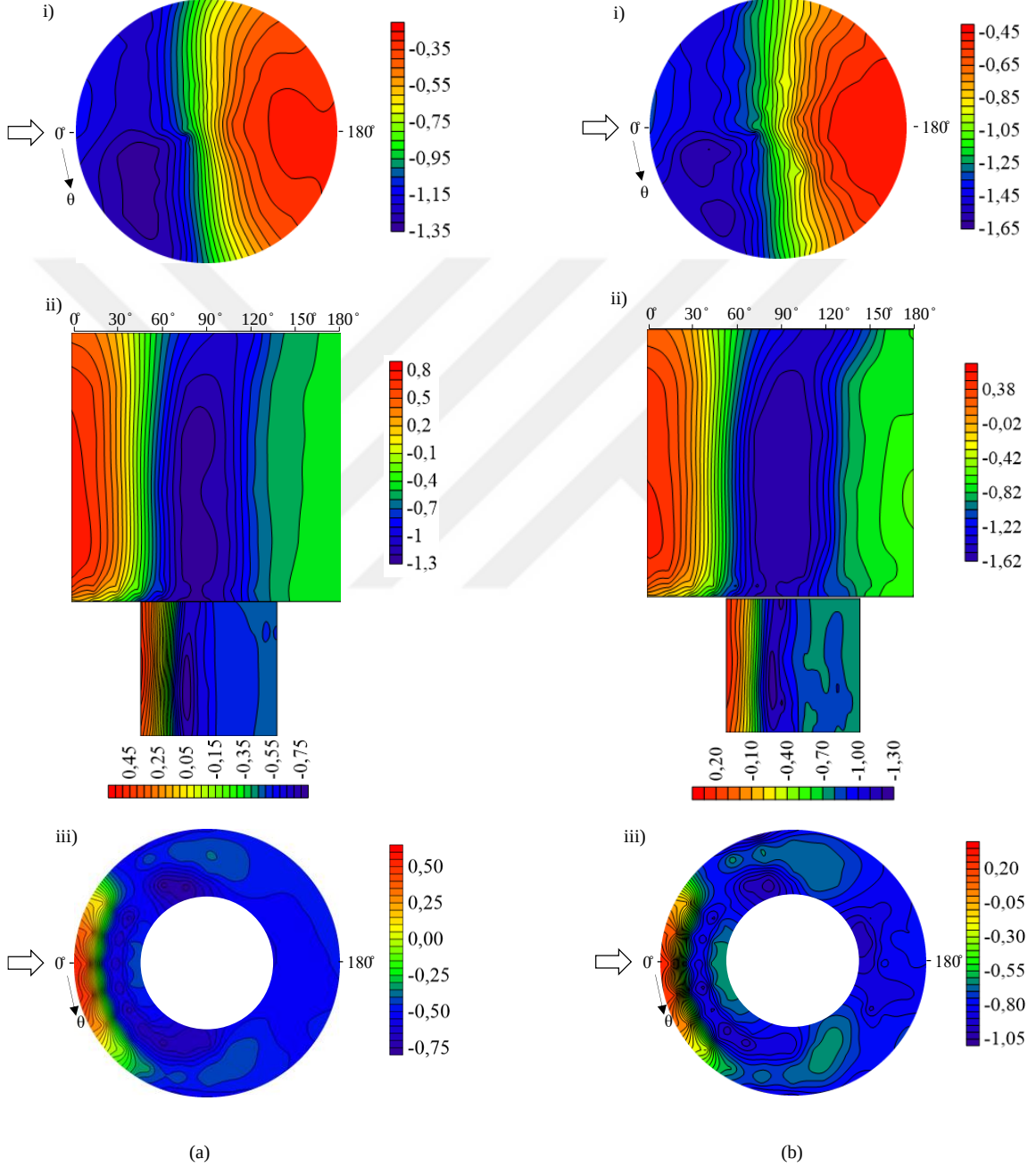
çözümlerden hesaplanan basınç katsayılarının rüzgar geliş açısına göre değişimi deneysel sonuçlarla uyumlu olmaktadır.



Şekil 52. Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğindeki basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

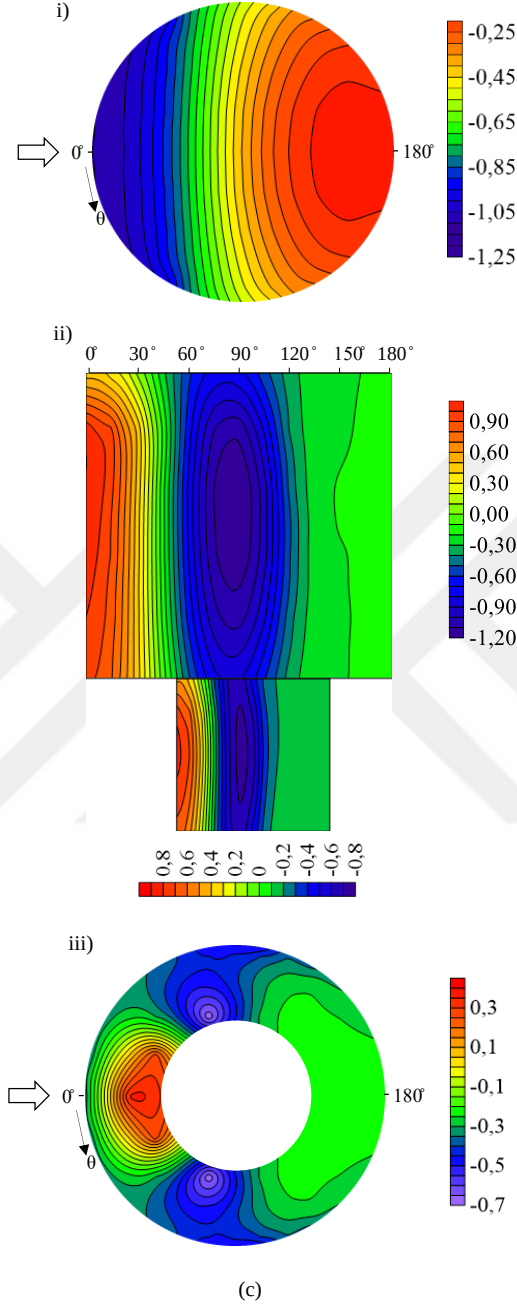
Şekil 53’de, 50 mm çekirdek yüksekliği ve çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde ölçülen ortalama ve minimum basınç dağılımları ve Realizable k - ϵ türbülans modeli ile hesaplanan ortalama yüzey basınç dağılımları basınç katsayısı cinsinden eş basınç alanları şeklinde verilmektedir. Çekirdek ve üst kısımdan oluşan dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin yanal yüzeylerindeki basınç katsayıları, rüzgara doğrudan maruz kalan ön kısım dışında, ölçüm yapılan tüm konumlarda negatif değerler almaktadır. Çatı ön kenarından ayrılan akış nedeniyle, çatı üzerindeki basınç dağılımları da negatif olmaktadır. Çatının rüzgar geliş tarafındaki bölümünde daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik negatif basınç katsayısı değerleri çatının rüzgar geliş tarafındaki kısmında ortalama -1.33 ve minimum -1.63 olarak gerçekleşmektedir. Bina modelinin yanal yüzeylerindeki en kritik emme etkisi ise, çekirdek üstündeki bölümün yanal yüzeyinde 90° rüzgar geliş açısında ortalama -1.29 ve minimum -1.6 değerleriyle oluşmaktadır. Bina modelinin çekirdek kısmı ile üst kısmının birleştiği düzlemde yer alan dairesel kesitli halka yüzeyin büyük bölümünde

çekirdek etrafındaki akış nedeniyle yerel basınç değerleri negatif olmaktadır. Dairesel kesitli halka yüzeydeki en kritik negatif basınç katsayısı değerleri ortalama -0.72 ve minimum -1.03 olarak meydana gelmektedir. Sayısal çözümden hesaplanan ortalama basınç katsayısı dağılımları deneysel dağılımlarla uyum içerisinde (Şekil 53c).



Şekil 53. Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları
a) Ortalama basınç katsayısı (deneysel), b) Minimum basınç katsayısı (deneysel),
c) Ortalama basınç katsayısı (sayısal) (i: Çatı, ii: Yanal yüzey, iii: Halka yüzey)

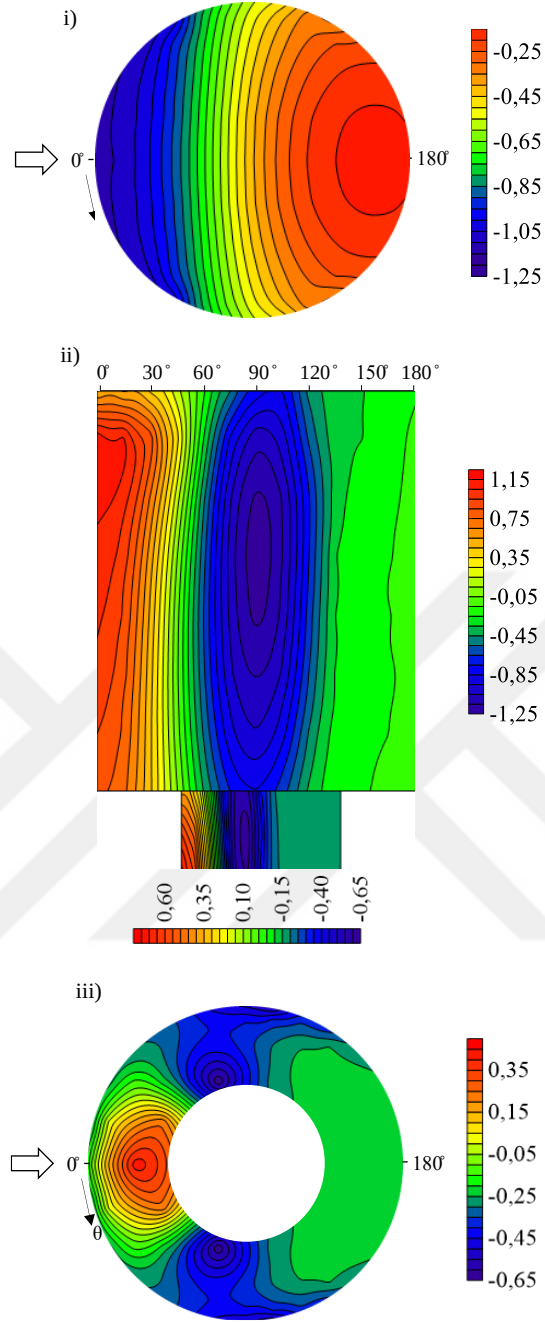
Şekil 53' ün devamı



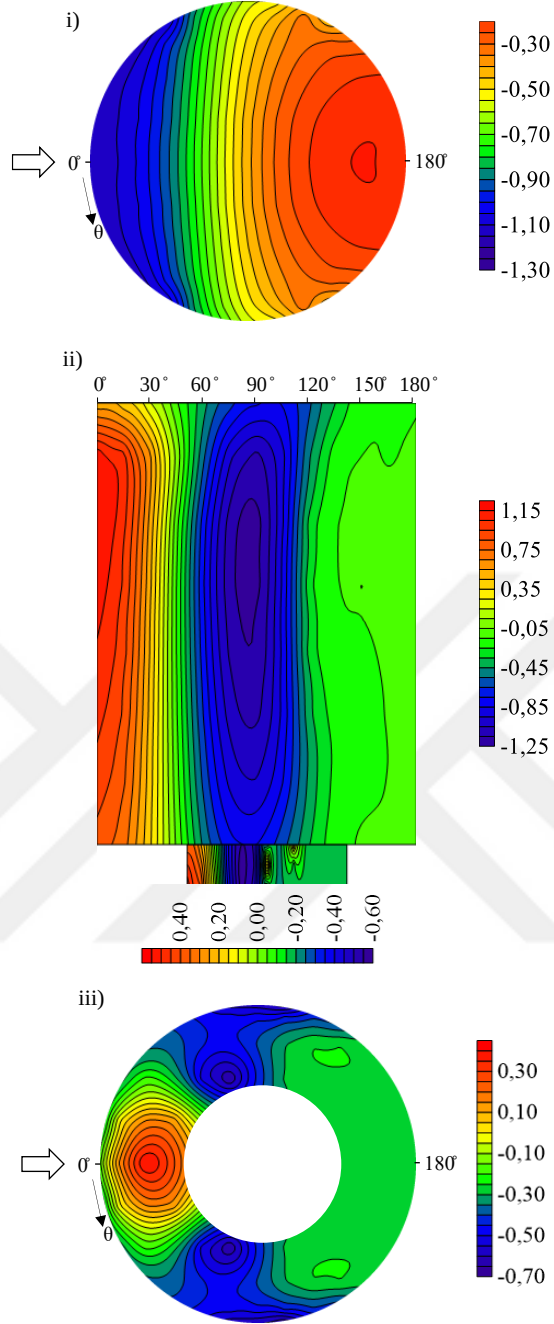
Mevcut çalışma kapsamında, çekirdek yüksekliğinin dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki basınç dağılımlarına etkisini incelemek amacıyla ilave sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Çekirdek çapı 50 mm şeklinde sabit tutularak, çekirdek yüksekliğinin 25 mm ve 12.5 mm değerleri için $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında üç boyutlu sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 54’de, 25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde, Realizable k - ϵ türbülans modeli ile hesaplanan eş basınç alanları verilmektedir. Çekirdek ve üst kısımdan oluşan dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin yanıl yüzeylerindeki basınç katsayıları, rüzgara doğrudan maruz kalan ön kısım dışında, negatif değerler almaktadır. Çatı ön kenarından ayrılan akış nedeniyle, çatı üzerindeki basınç dağılımları da negatif olmaktadır. Çatının rüzgar geliş tarafındaki bölümünde daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Çatı üzerindeki en kritik negatif basınç katsayısı değeri çatının rüzgar geliş tarafındaki kısmında -1.15, yanıl yüzeylerindeki en kritik emme etkisi ise, çekirdek üstündeki bölümün yanıl yüzeyinde 90° rüzgar geliş açısında -1.24 olarak hesaplanmıştır. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının dairesel kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde rüzgar geliş tarafındaki bölgede basınç değerleri pozitif, yüzeyin diğer bölgelerinde ise basınç değerleri negatif olmaktadır.

Şekil 55’de, 12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerinde, Realizable k - ϵ türbülans modeli ile hesaplanan eş basınç alanları verilmektedir. Çekirdek ve üst kısımdan oluşan dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin yanıl yüzeylerindeki basınç katsayıları, rüzgara doğrudan maruz kalan ön kısım dışında, negatif değerler almaktadır. Çatı ön kenarından ayrılan akış nedeniyle, çatı üzerindeki basınç dağılımları da negatif olmaktadır. Çatının rüzgar geliş tarafındaki bölümünde daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Çatı üzerindeki en kritik negatif basınç katsayısı değeri çatının rüzgar geliş tarafındaki kısmında -1.17, yanıl yüzeylerindeki en kritik emme etkisi ise, çekirdek üstündeki bölümün yanıl yüzeyinde 90° rüzgar geliş açısında -1.245 olarak hesaplanmıştır. Bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının dairesel kesitli halka şeklindeki alt yüzeyinde rüzgar geliş tarafındaki bölgede basınç değerleri pozitif, yüzeyin diğer bölgelerinde ise basınç değerleri negatif olmaktadır.



Şekil 54. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları (i: Çatı, ii: Yanal yüzey, iii: Halka yüzey)



Şekil 55. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki eş basınç alanları (i: Çatı, ii: Yanal yüzey, iii: Halka yüzey)

3.2. Modeller Etrafında Akış Yapıları ve Hız Dağılımları

Binalar etrafında yaya seviyesindeki rüzgar hızı dağılımları, bu alanları çeşitli amaçlarla kullanan kişilerin konfor düzeyini ve güvenliğini belirlemede oldukça önemli olmaktadır. Binalar etrafında hakim olan düşük rüzgar hızları, yetersiz doğal havalandırmaya ve kirletici maddelerin zeminde birikmesine yol açarak bu alanları kullanan insanların ısı rahatsızlığına neden olmaktadır. Yüksek rüzgar hızları ise yürüme dengesizliklerine yol açmaktadır (Zhang, 2018). Bu nedenle, binalar etrafındaki rüzgar hızı dağılımlarının ayrıntılı olarak incelenmesi yaya seviyesinde kabul edilebilir rüzgar koşullarının sağlanması için gerekli olmaktadır. Bu çalışmanın sayısal kısmında, yüksekliği 150 mm olan kare ve dairesel kesitlere sahip normal bina modelleri, yükseklikleri aynı kalacak şekilde merkezi bir çekirdek ile yerden bir miktar yükseltilerek iki farklı tipte yükseltilmiş bina modelleri oluşturulmuştur. Her iki kesit tipi için de normal ve farklı çekirdek yükseklikleriyle çeşitlendirilmiş yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki akış alanı yapıları ve hız dağılımları Realizable k - ϵ türbülans modeli ile üç boyutlu sayısal çözümlerle elde edilmiştir. Sayısal çalışmanın kapsamı 8 farklı bina modelinin üç boyutlu çözümleriyle sınırlı tutulmuştur. Rüzgar hızlarının yaya konforu ve güvenliği üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla uygun çekirdek yüksekliğini uygun çekirdek yüksekliğinin belirlenmesinde yalnızca ortalama rüzgar hızı dikkate alınmıştır. Rüzgar hızının konfor etkisini belirlemek ve yükseltilmiş bina tasarımlarıyla sağlanacak iyileştirmeleri nicel olarak değerlendirmek için Ortalama Rüzgar Hızı Oranı (Mean Wind Velocity Ratio, MVR) olarak bilinen ve

$$MVR = \frac{u}{u_{ref}} \quad (12)$$

şeklinde gösterilen boyutsuz ortalama rüzgar hızı ifadesi kullanılmıştır. Burada, u yerel rüzgar hızını, u_{ref} ise akış alanında bina modelinin olmadığı durumda, $z_{ref} = 150 \text{ mm}$ referans yükseklikte ölçülmüş 15 m/s değerindeki serbest rüzgar hızını ifade etmektedir. Model yüksekliğine bağlı Reynolds sayısı yaklaşık olarak 1.5×10^5 değerindedir. Yatay, enine ve düşey koordinatlar, x , y ve z , karakteristik model yüksekliği H ile boyutsuz yapılmış, bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki sol alt köşesi orijin olarak seçilmiştir.

Deneyisel çalışma kapsamındaki hız ölçümleri, kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modellerinin akış yönünde orta eksenleri boyunca modellerin önünde ve arkasında ters akış bölgelerinin olmadığı düşey istasyonlarda Testo 425 Model Kızgın Tel Anemometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışma kapsamında incelenen bina modelleri etrafındaki akış alanları Realizable k - ϵ türbülans modeli ile üç boyutlu ve zaman bağımsız çözülerek, akış alanı yapıları ve ortalama hız dağılımları elde edilmiştir.

3.2.1. Kare Kesitli Bina Modelleri

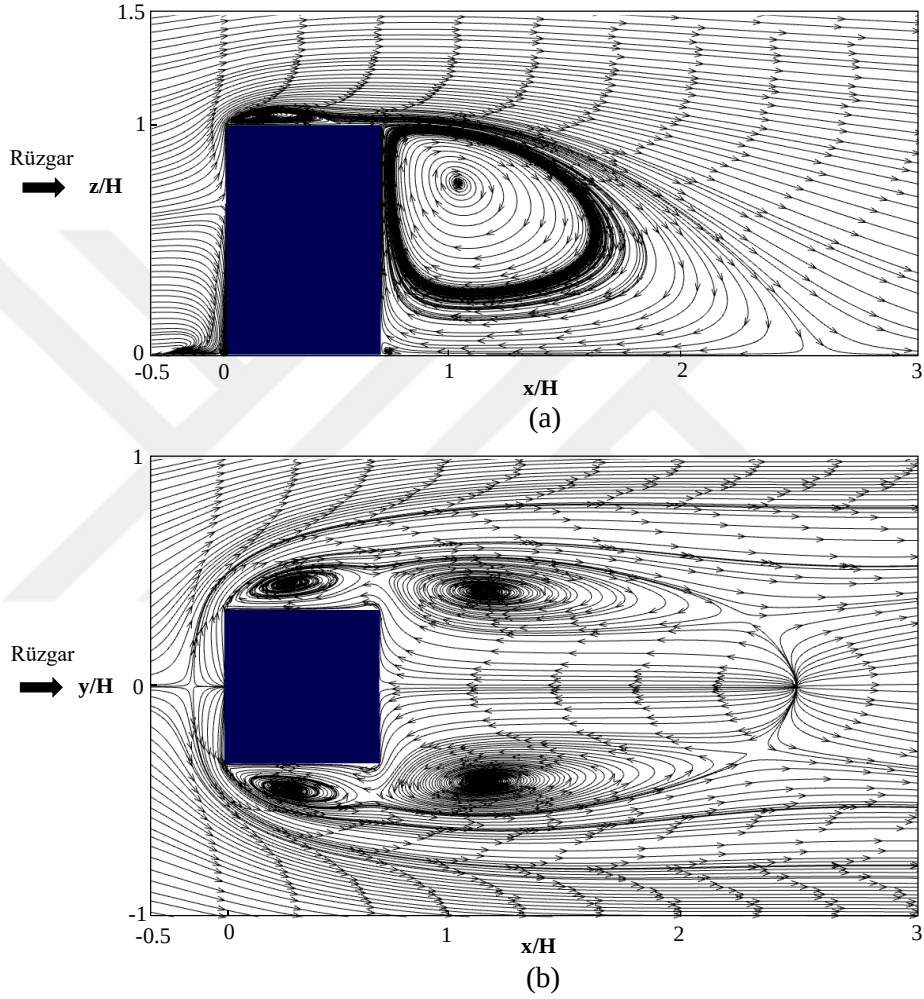
Kare kesitli bina modelleri, $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında, kare kesitli normal bina modeli, 50 mm çekirdek yüksekliği ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli, 25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli ve 12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli olmak üzere dört farklı bina modelinin üç boyutlu çözümüyle sınırlı tutulmuştur.

a. Normal Bina Modeli

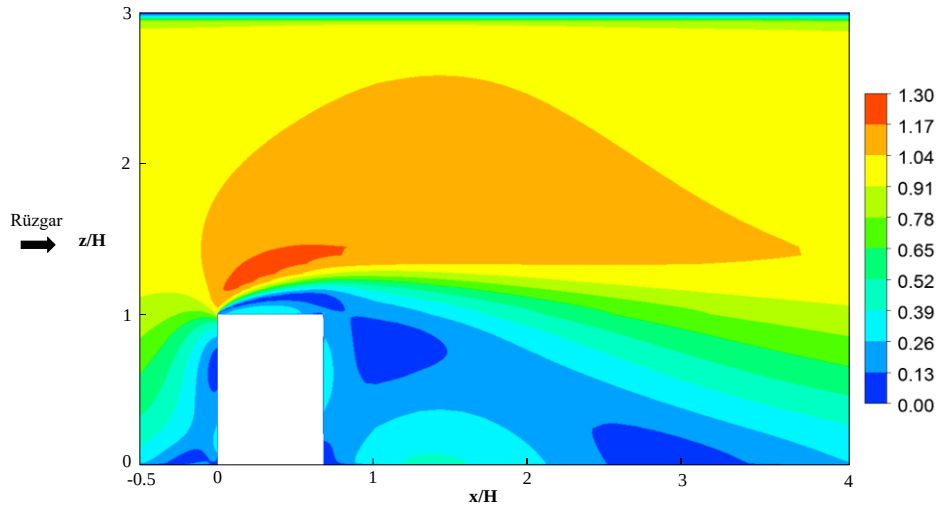
Kare kesitli normal bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde hesaplanmış akış alanı yapıları Şekil 56'da verilmektedir. Bina modelinin ön yüzeyine çarpan akış, model yüksekliğinin yaklaşık 3/4'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı doğru yönlenebilmektedir. Aşağı doğru yönlenen akış zemine yakın kısımda küçük ölçekli bir ters akış bölgesi meydana getirmektedir. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatının ön kenarından ayrılarak, çatı üzerinde çatının rüzgar geliş tarafına yakın bölgesinde bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Akış yönünde ilerledikçe çatı üzerinde tekrar tutunan akış çatı arka kenarından yeniden ayrılarak model arkasında model yüksekliği seviyesinde büyük ölçekli bir girdap bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 56a). Bina modelinin ön yüzeyine çarpan akış, modelin rüzgar geliş tarafındaki ön kenarlarından ayrılarak akışa paralel model yan yüzeyleri üzerinde küçük ölçekli girdaplar ve model arkasında birbirlerine göre ters yönde dönen simetrik girdap çifti oluşturmaktadır (Şekil 56b).

Şekil 57'de, kare kesitli normal bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı dağılımı görülmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki zemine yakın ön bölgesinde ön yüzeye çarpan ve aşağı doğru

yönlendirilen akış nedeniyle boyutsuz hız değerleri azalmaktadır. Model ön yüzeyinden yukarı doğru yönlendirilen akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla modelin sol üst kenarından başlayan ve x eksenini boyunca yükselerek uzanan bölgede yüksek rüzgar hızlarına sahip köşe akımları oluşmaktadır. Akış ayrılması nedeniyle ters akış bölgelerinin oluştuğu çatı üzerinde ve model arkasında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır.



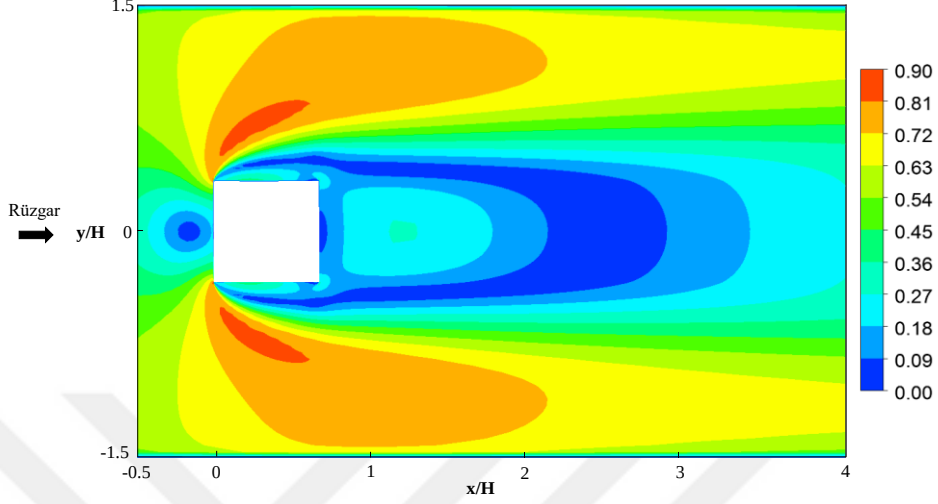
Şekil 56. Kare kesitli normal bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları
a) orta eksenini boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde



Şekil 57. Kare kesitli normal bina modeli orta eksenini boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları

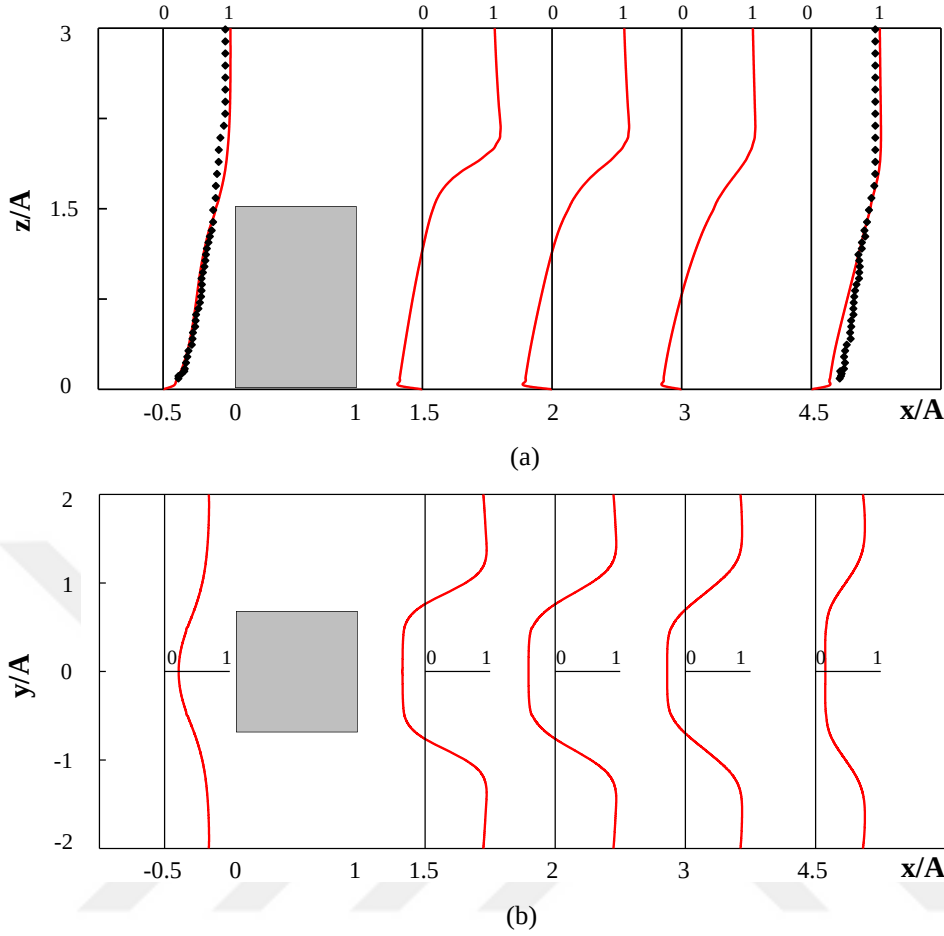
Kare kesitli normal bina modelinin etrafında akış yönünde yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri Şekil 58’de verilmektedir. Bu düzlemdeki rüzgar hızları, Tsang vd. (2012) ve Tse vd. (2017)’nin önerdiği şekliyle akış alanı Rüzgar Geliş Tarafındaki Düşük Rüzgar Hızı (Upstream Low Wind Speed, ULWS) bölgesi, Yüksek Rüzgar Hızı (High Wind Speed, HWS) bölgesi, Model Arkası Yakın Alan Düşük Rüzgar Hızı (Downstream Near-Field Low Wind Speed, DNLWS) bölgesi ve Model Arkası Uzak Alan Düşük Rüzgar Hızı (Downstream Far-Field Low Wind Speed, DFLWS) bölgesi şeklinde dört bölgeye ayrılarak değerlendirilmiştir. Model önünde, rüzgar geliş tarafındaki bölgedeki düşük rüzgar hızları, bina modeline gelen akışın binanın rüzgara karşı olan ön cephesine çarpması sonucu oluşan aşağı akım etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu bölge, bina modelinin önündeki zemin ve model ön yüzeyi ile sınırlanan durgun alanda yer almaktadır. Akışın bina modelinin ön kenarlarından ayrılmasıyla model yan yüzeyleri üzerinde oluşturduğu ters akış bölgelerinin üst kısımlarında ortaya çıkan ve ters akış bölgeleri ile serbest akış bölgeleri arasındaki tampon bölgeleri oluşturan kayma tabakası yüksek rüzgar hızına sahip köşe akımlarını oluşturmaktadır. Bina modelinin iki yan tarafında görünen yüksek rüzgar hızı bölgelerinin oluşmasında bu köşe akımları etkili olmaktadır. Bina modelinin hemen arkasındaki iz bölgesinde yakın alan düşük rüzgar hızı bölgesi, bina modeli arkasında modelden uzak bölgede ise uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır. Model arkasındaki bu düşük

basınç bölgeleri yatay ve düşey düzlemlerdeki girdap yapılarından etkilenmektedir (Tsang vd.,2011; Xia vd., 2015).



Şekil 58. Kare kesitli normal bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları

Kare kesitli normal bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey doğrultuda ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultuda model önünde ve arkasında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız profilleri, ölçüm sonuçlarıyla birlikte Şekil 59'da verilmektedir. Yatay, enine ve düşey koordinatlar, x , y ve z , karakteristik model genişliği A ile boyutsuz yapılmış, bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki sol alt köşesi orijin olarak seçilmiştir. Şekil 59a'da verilen düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model önünde $x/A = -0.5$ istasyonunda hesaplanan hız profilinin aynı istasyondaki deneysel ortalama hız profili ile oldukça uyumlu olduğu ve model arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerlerinin model yüksekliğinin yaklaşık $3/4$ 'ü seviyesine kadar negatif olduğu görülmektedir. Model arkasında hesaplanan düşey hız profillerindeki negatif hız bölgeleri akış yönünde ilerleyen istasyonlarda azalmakta ve $x/A = 4.5$ konumundaki hız profilinde sonlanmaktadır. $x/A = 4.5$ konumunda hesaplanan hız değerlerinin aynı istasyonda ölçülmüş ortalama hız değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 59b'de verilen yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir. Model arkasına doğru ilerledikçe hız değerlerindeki azalma etkisi zayıflamaktadır.

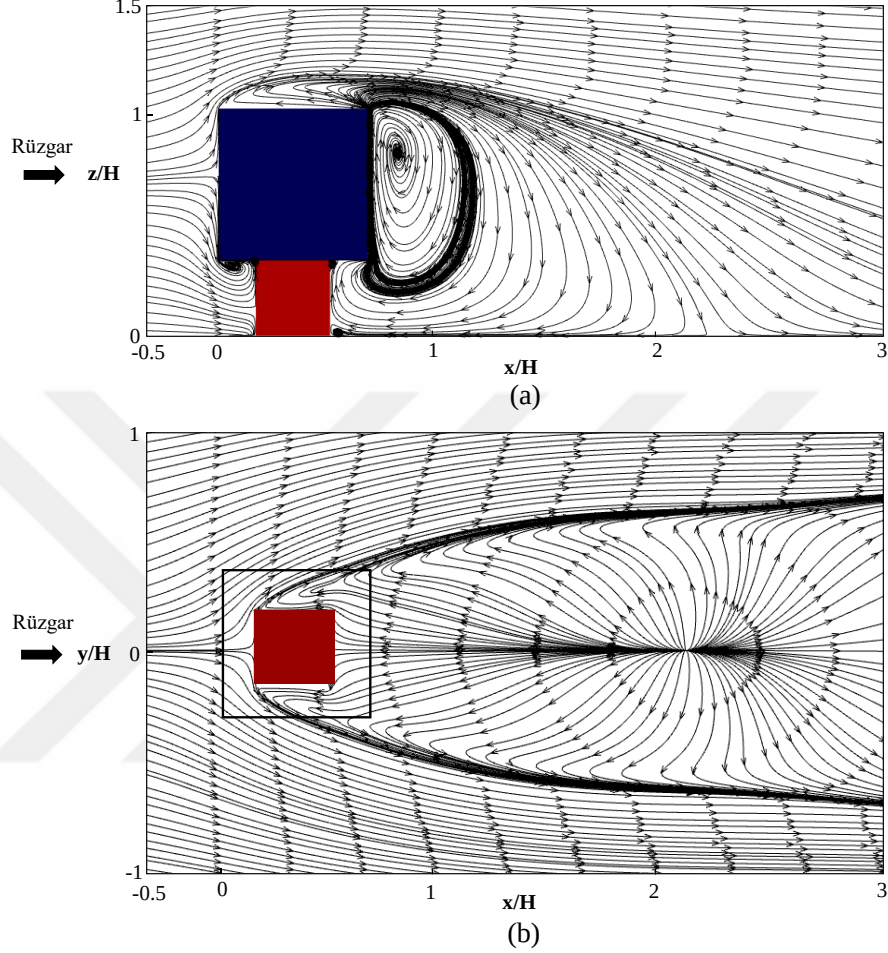


Şekil 59. Kare kesitli normal bina modeli etrafında ortalama hız profilleri
a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda

b. Yükseltilmiş Bina Modelleri

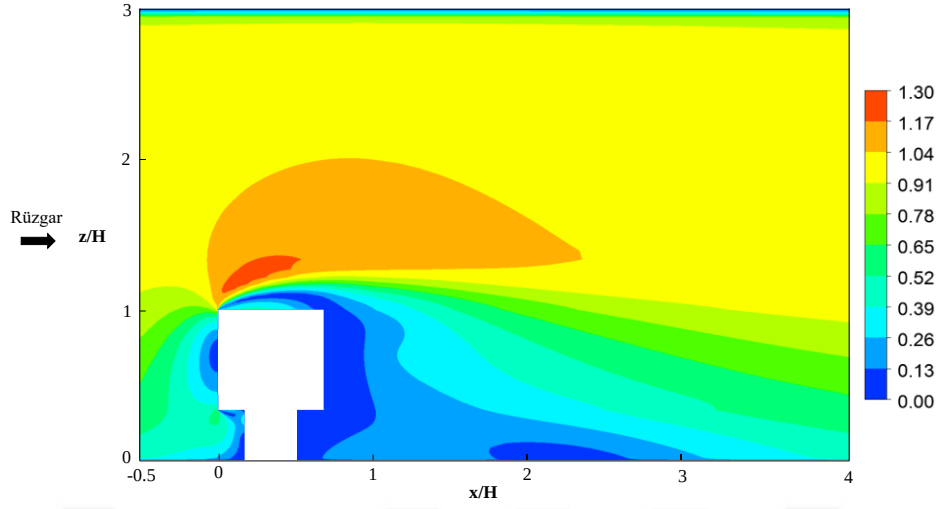
50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde hesaplanmış akış alanı yapıları Şekil 60'da verilmektedir. Bina modelinin ön yüzeylerine çarpan akış, model toplam yüksekliğinin yaklaşık 3/4'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı doğru yönlenebilmektedir. Aşağı doğru yönlenen akış bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının ön alt kenarından ayrılarak küçük ölçekli bir ters akış bölgesi meydana getirmektedir. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatının ön kenarından ayrılarak, çatı üzerinde çatının rüzgar geliş tarafına yakın bölgesinde ve model arkasında model toplam yüksekliği seviyesinde büyük ölçekli bir girdap bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 60a). Bina modelinin ön yüzeyine çarpan akış, modelin rüzgar geliş

tarafındaki ön kenarlarında ayrılarak akışa paralel model yan yüzeyleri üzerinde başlayan ve model arkasında büyük bir bölgeye yayılan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 60b).



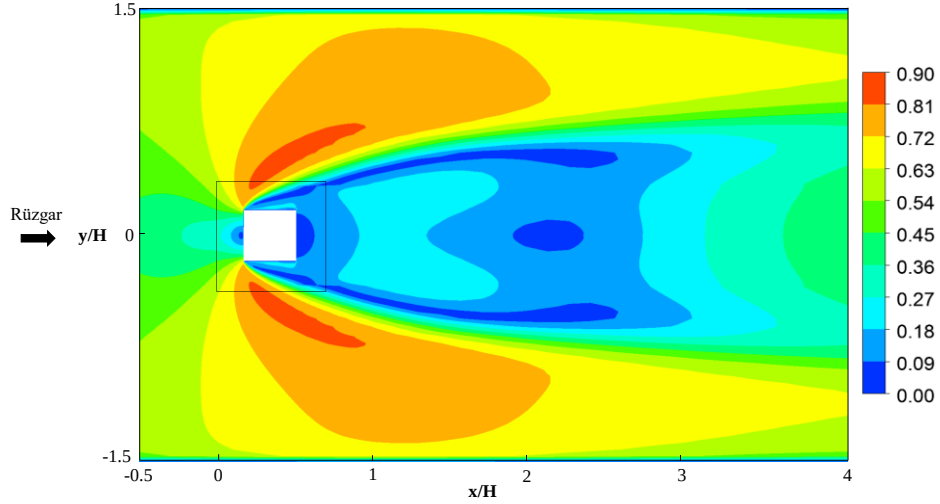
Şekil 60. 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyunda düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde

Şekil 61’de, 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri görülmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki zemine yakın ön bölgesinde ön yüzeye çarpan ve aşağı yönlü akış nedeniyle boyutsuz hız değerleri azalmaktadır. Model ön yüzeyinden yukarı doğru yönlü akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla modelin sol üst kenarından başlayan ve x eksen boyunda yükselerek uzanan bölgede yüksek rüzgar hızlarına sahip köşe akımları oluşmaktadır. Akış ayrılması nedeniyle ters akış bölgelerinin olduğu çatı üzerinde ve model arkasında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır.



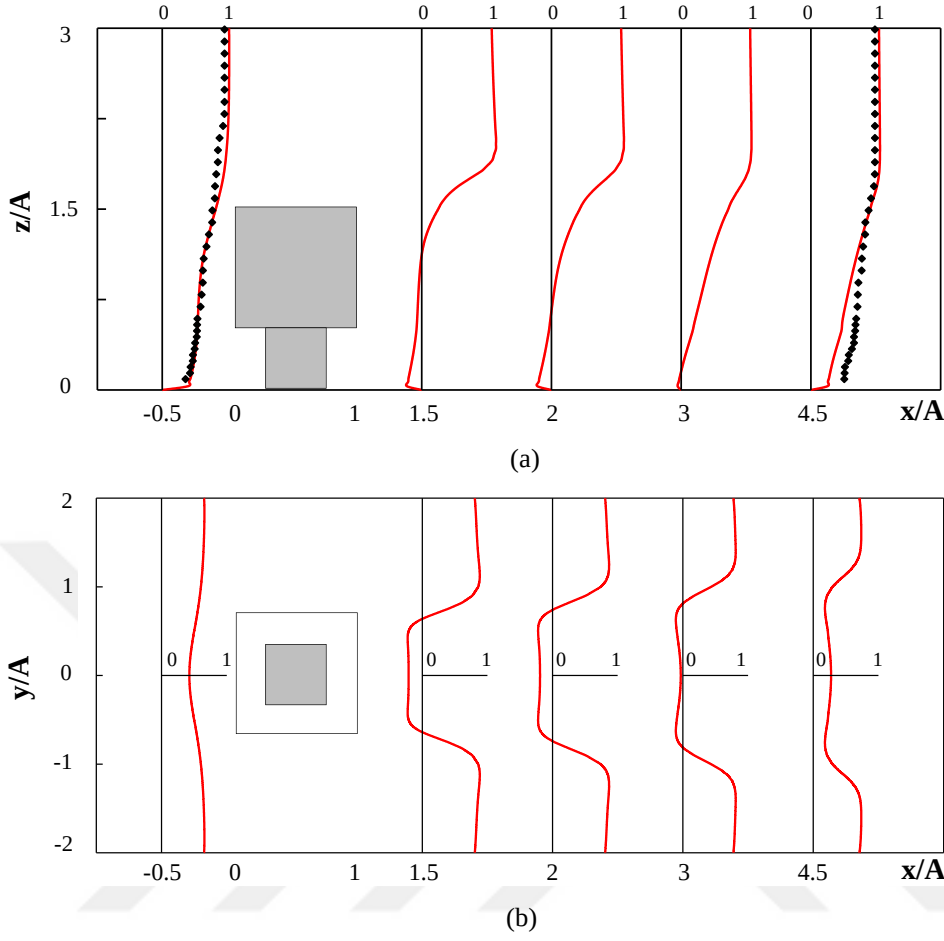
Şekil 61. 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksenini boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları

50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönünde yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde ortalama rüzgar hızı oranları Şekil 62’de verilmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön bölgesinde düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır. Akışın bina modelinin ön kenarlarından ayrılmasıyla model yan yüzeyleri üzerinde köşe akımlarından kaynaklanan yüksek rüzgar hızı bölgeleri meydana gelmektedir. Bina modelinin hemen arkasındaki iz bölgesinde yakın alan düşük rüzgar hızı bölgesi, bina modeli arkasında modelden uzak bölgede ise uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır.



Şekil 62. 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları

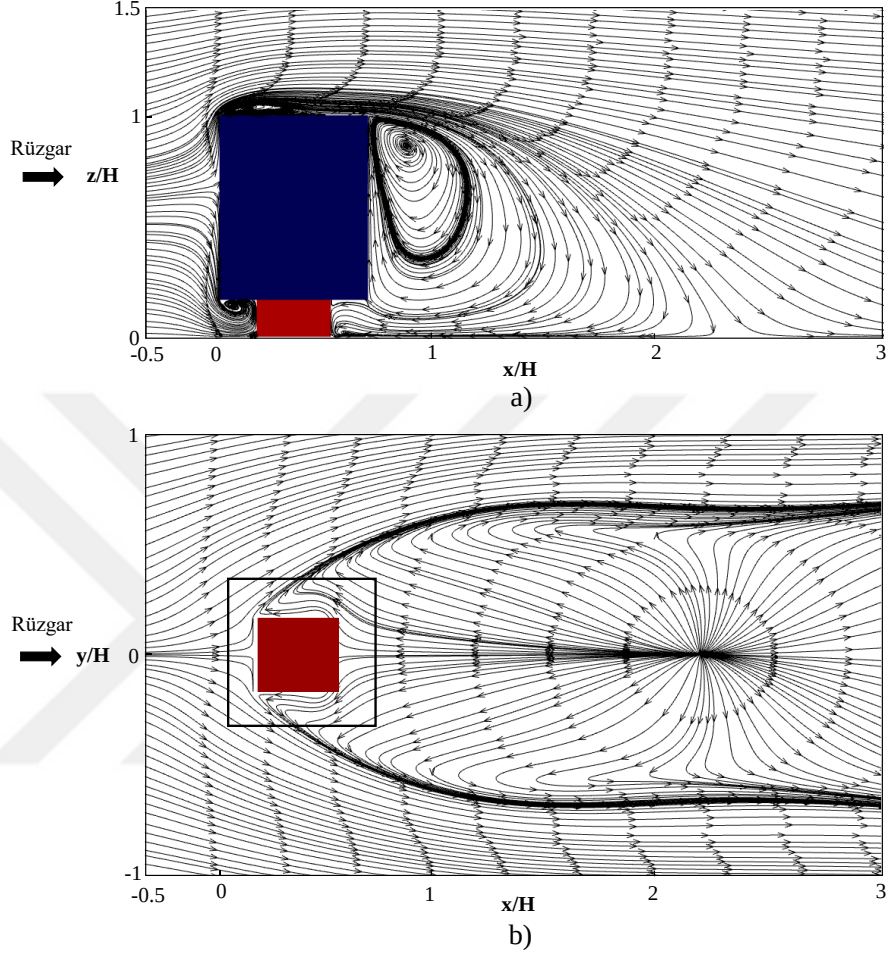
50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey doğrultuda ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultuda model önünde ve arkasında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız profilleri, ölçüm sonuçlarıyla birlikte Şekil 63'de verilmektedir. Şekil 63a'da verilen düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model önünde $x/A = -0.5$ istasyonunda hesaplanan hız profilinin aynı istasyondaki deneysel ortalama hız profili ile oldukça uyumlu olduğu ve model arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerlerinin model yüksekliğinin yaklaşık $3/4$ 'ü seviyesine kadar negatif olduğu görülmektedir. Model arkasında hesaplanan düşey hız profillerindeki negatif hız bölgeleri akış yönünde ilerleyen istasyonlarda azalmakta ve $x/A = 4.5$ konumundaki hız profilinde sonlanmaktadır. $x/A = 4.5$ konumunda hesaplanan hız değerlerinin çekirdek yüksekliğine kadar olan bölümünün aynı istasyonda ölçülmüş ortalama hız değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 63b'de verilen yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir. Model arkasına doğru ilerledikçe hız değerlerindeki azalma etkisinin zayıflamaktadır.



Şekil 63. 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda

25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde hesaplanmış akış alanı yapıları Şekil 64'de verilmektedir. Bina modelinin ön yüzeylerine çarpan akış, model toplam yüksekliğinin yaklaşık 3/4'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenen akış bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının ön alt kenarından ayrılarak küçük ölçekli bir ters akış bölgesi meydana getirmektedir. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatının ön kenarından ayrılarak, çatı üzerinde çatının rüzgar geliş tarafına yakın bölgesinde küçük ölçekli ve model arkasında model toplam yüksekliği seviyesinde büyük ölçekli girdap bölgeleri oluşturmaktadır (Şekil 64a). Bina modelinin ön yüzeyine çarpan akış, modelin rüzgar geliş tarafındaki ön kenarından ayrılarak akışa paralel

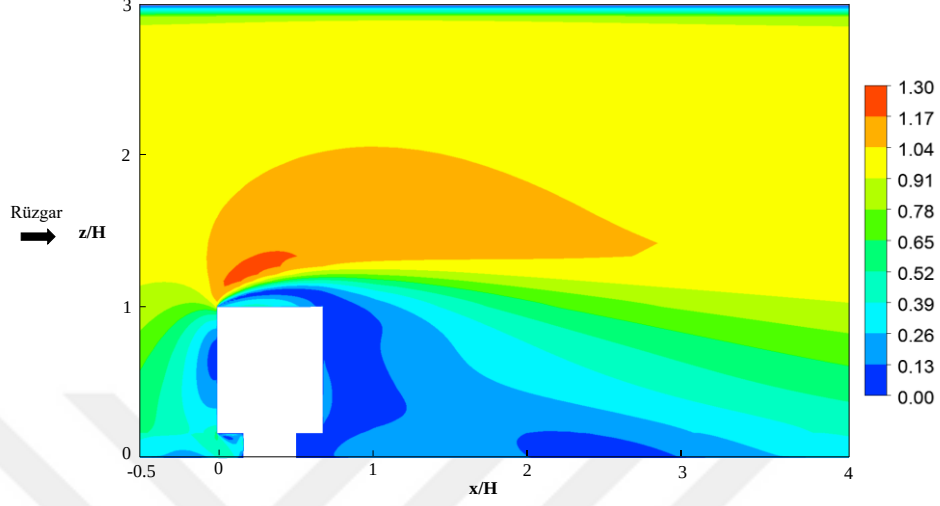
model yan yüzeyleri üzerinde başlayan ve model arkasında büyük bir bölgeye yayılan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 64b).



Şekil 64. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksen boyunda düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde

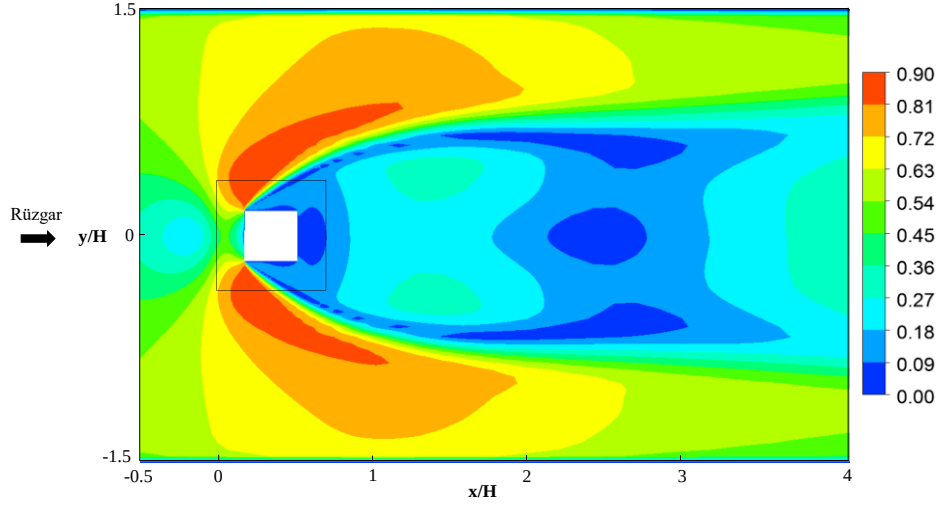
Şekil 65’de, 25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri görülmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön yüzeylerine çarpan ve aşağı yönlene akış nedeniyle hem çekirdek kısmın hem de üst kısmın ön yüzeyleri yakınında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır. Bina modelinde çekirdek üstündeki kısmın ön yüzeyinden yukarı doğru yönlene akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla modelin sol üst kenarından başlayan ve x eksenı boyunca yükselerek uzanan bölgede yüksek rüzgar hızlarına sahip köşe akımları oluşmaktadır. Akış

ayrılması nedeniyle ters akış bölgelerinin oluştuğu çatı üzerinde ve model arkasında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır.



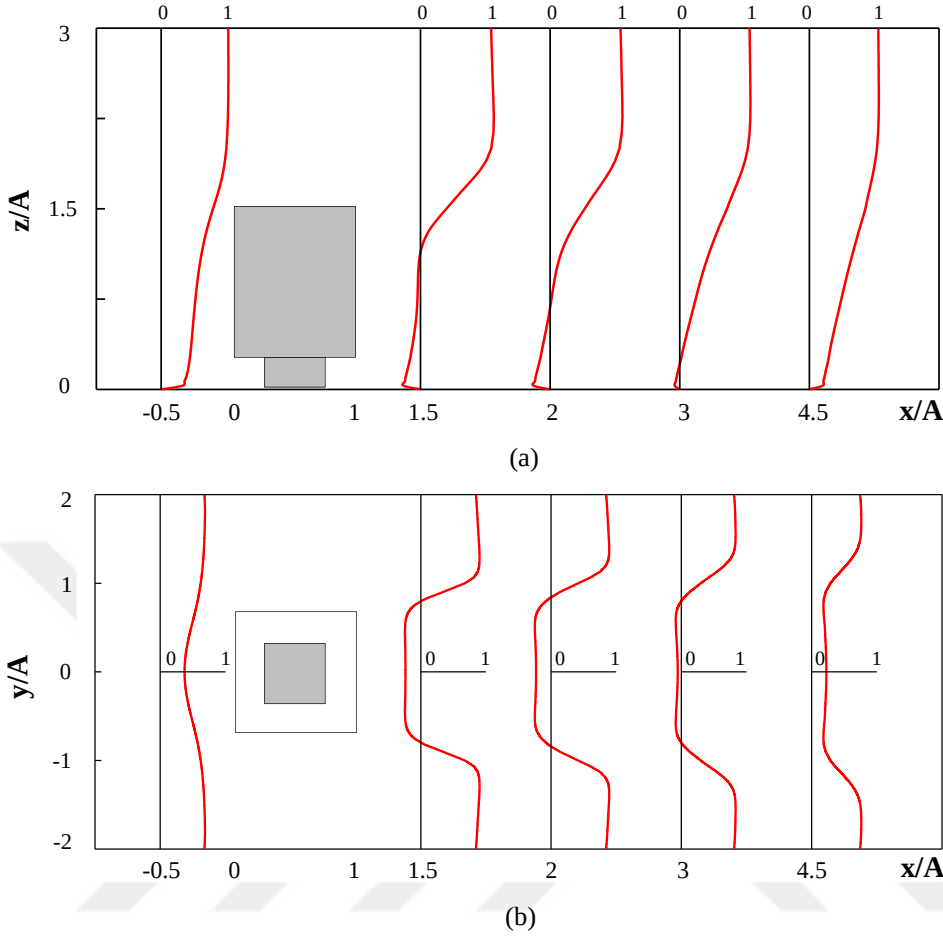
Şekil 65. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksenini boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları

25 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönünde yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde ortalama rüzgar hızı oranları Şekil 66'de verilmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön bölgesinde düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır. Akışın bina modelinin ön kenarlarından ayrılmasıyla model yan yüzeyleri üzerinde köşe akımlarından kaynaklanan yüksek rüzgar hızı bölgeleri meydana gelmektedir. Bina modelinin hemen arkasındaki iz bölgesinde yakın alan düşük rüzgar hızı bölgesi, bina modeli arkasında modelden uzak bölgede ise uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır.



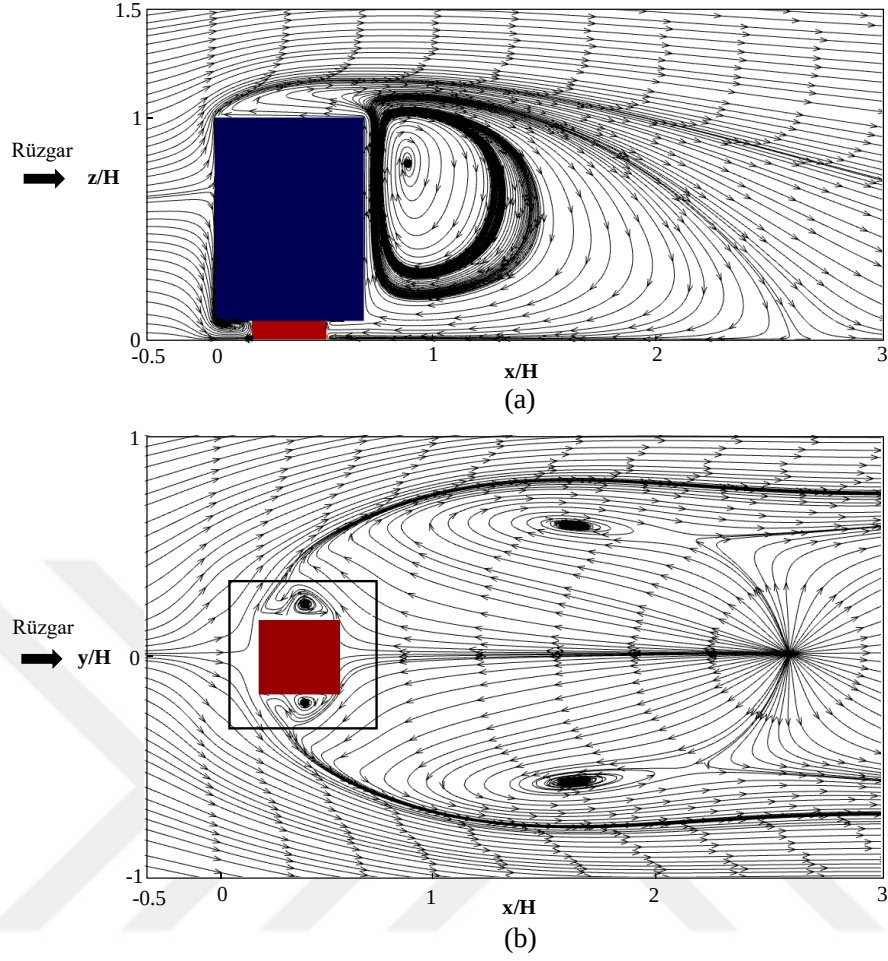
Şekil 66. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları

25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey doğrultuda ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultuda model önünde ve arkasında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız profilleri Şekil 67’de verilmektedir. Şekil 67a’da verilen düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerlerinin model yüksekliğinin yaklaşık 3/4’ü seviyesine kadar negatif olduğu görülmektedir. Model arkasında hesaplanan düşey hız profillerindeki negatif hız bölgeleri akış yönünde ilerleyen istasyonlarda azalmakta ve $x/A=4.5$ konumundaki hız profilinde sonlanmaktadır. Şekil 67b’de verilen yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir. Model arkasına doğru ilerledikçe hız değerlerindeki azalma etkisi zayıflamaktadır.



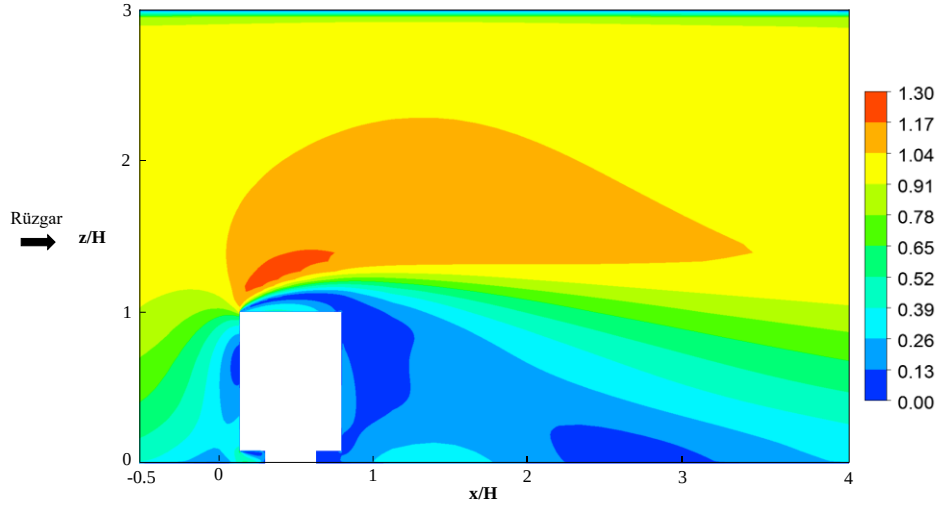
Şekil 67. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda

12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde hesaplanmış akış alanı yapıları Şekil 68'de verilmektedir. Bina modelinin ön yüzeylerine çarpan akış, model toplam yüksekliğinin yaklaşık 3/4'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenen akış bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının ön alt kenarından ayrılarak küçük ölçekli bir ters akış bölgesi meydana getirmektedir. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatının ön kenarından ayrılarak, çatı üzerinde ve model arkasında model toplam yüksekliği seviyesinde büyük ölçekli bir girdap bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 68a). Bina modelinin ön yüzeyine çarpan akış, modelin rüzgar geliş tarafındaki ön kenarından ayrılarak akışa paralel model yan yüzeyleri üzerinde küçük ölçekli ve model arkasında büyük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır (Şekil 68b).



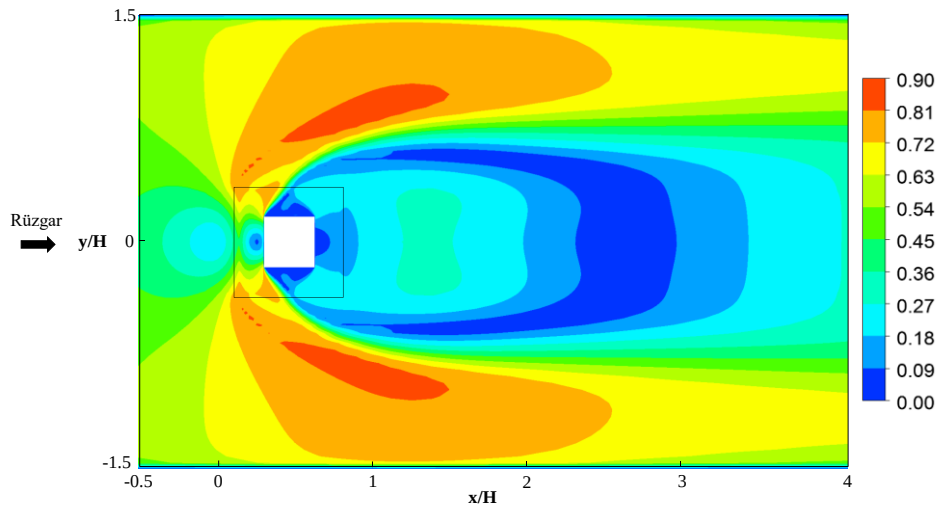
Şekil 68. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksenı boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde

Şekil 69’da, 12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri görülmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön yüzeylerine çarpan ve aşağı yönlene akış nedeniyle hem çekirdek kısmın hem de üst kısmın ön yüzeyleri yakınında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır. Bina modelinde çekirdek üstündeki kısmın ön yüzeyinden yukarı doğru yönlene akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla modelin sol üst kenarından başlayan ve x eksenı boyunca yükselerek uzanan bölgede yüksek rüzgar hızlarına sahip köşe akımları oluşmaktadır. Akış ayrılması nedeniyle ters akış bölgelerinin olduğu çatı üzerinde ve model arkasında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır.



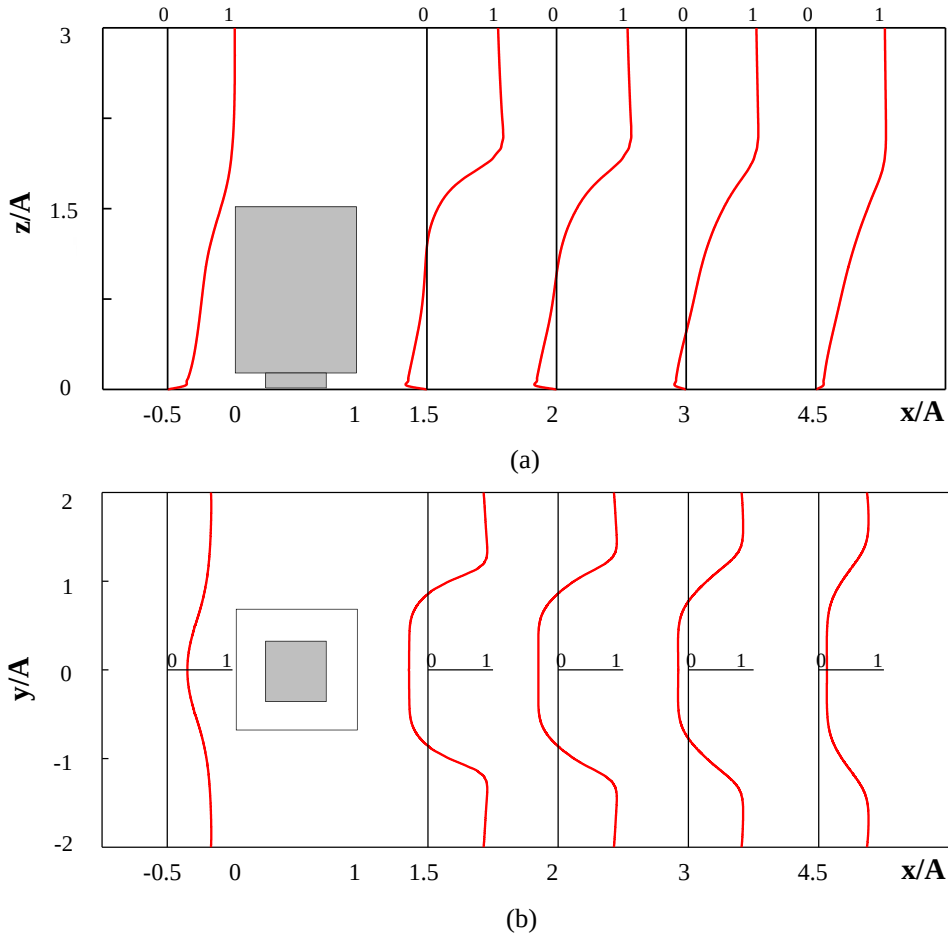
Şekil 69. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksenini boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları

12.5 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönünde yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde ortalama rüzgar hızı oranları Şekil 70'de verilmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön bölgesinde düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır. Akışın bina modelinin ön kenarlarından ayrılmasıyla model yan yüzeyleri üzerinde köşe akımlarından kaynaklanan yüksek rüzgar hızı bölgeleri meydana gelmektedir. Bina modelinin hemen arkasındaki iz bölgesinde yakın alan düşük rüzgar hızı bölgesi, bina modeli arkasında modelden uzak bölgede ise uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır.



Şekil 70. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları

12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey doğrultuda ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultuda model önünde ve arkasında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız profilleri Şekil 71’de verilmektedir. Şekil 71a’da verilen düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerlerinin model yüksekliğinin yaklaşık 3/4’ü seviyesine kadar negatif olduğu görülmektedir. Model arkasında hesaplanan düşey hız profillerindeki negatif hız bölgeleri akış yönünde ilerleyen istasyonlarda azalmakta ve $x/A=4.5$ konumundaki hız profilinde sonlanmaktadır. Şekil 71b’de verilen yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir. Model arkasına doğru ilerledikçe hız değerlerindeki azalma etkisinin zayıflamaktadır.



Şekil 71. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip kare kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda

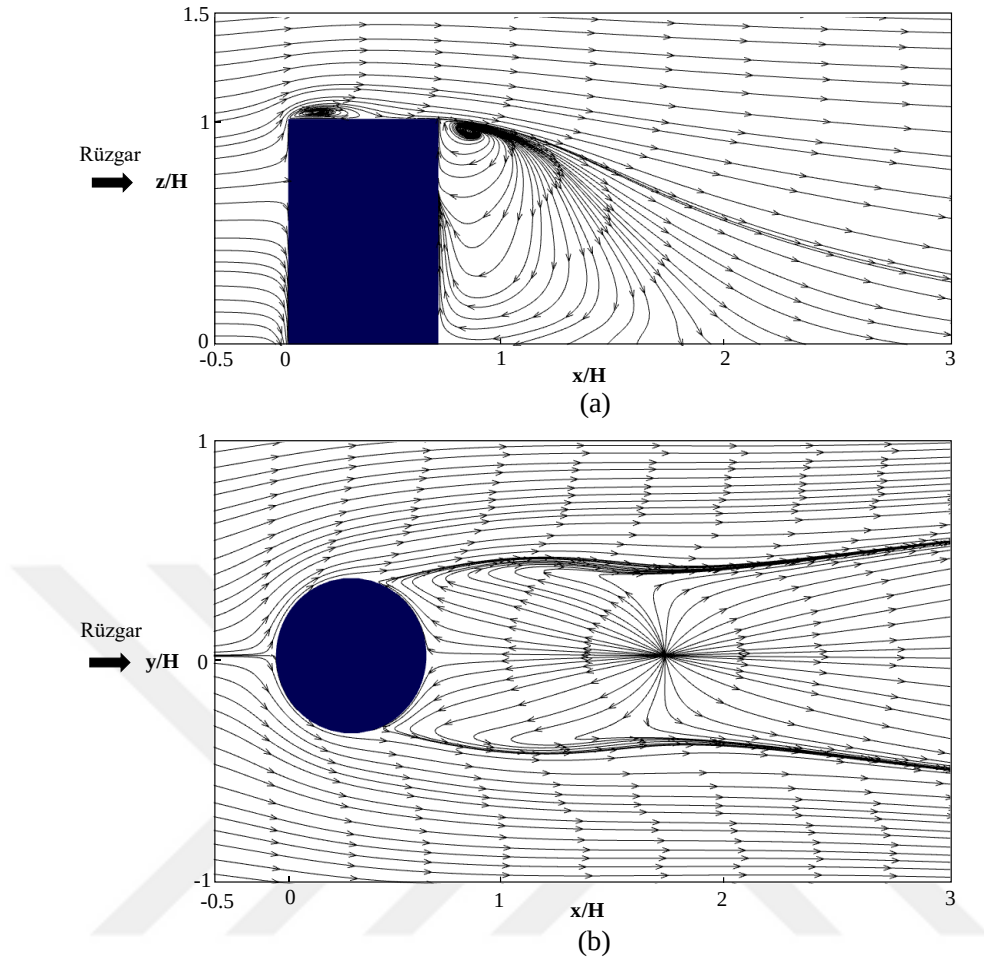
3.2.2. Dairesel Kesitli Bina Modelleri

Dairesel kesitli bina modelleri, dairese kesitli normal bina modeli, 50 mm çekirdek yüksekliğı ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli, 25 mm çekirdek yüksekliğıne ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli ve 12.5 mm çekirdek yüksekliğıne ve 50 mm çekirdek çapında sahip dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli olmak üzere dört farklı bina modelinin üç boyutlu çözümüyle sınırlı tutulmuştur.

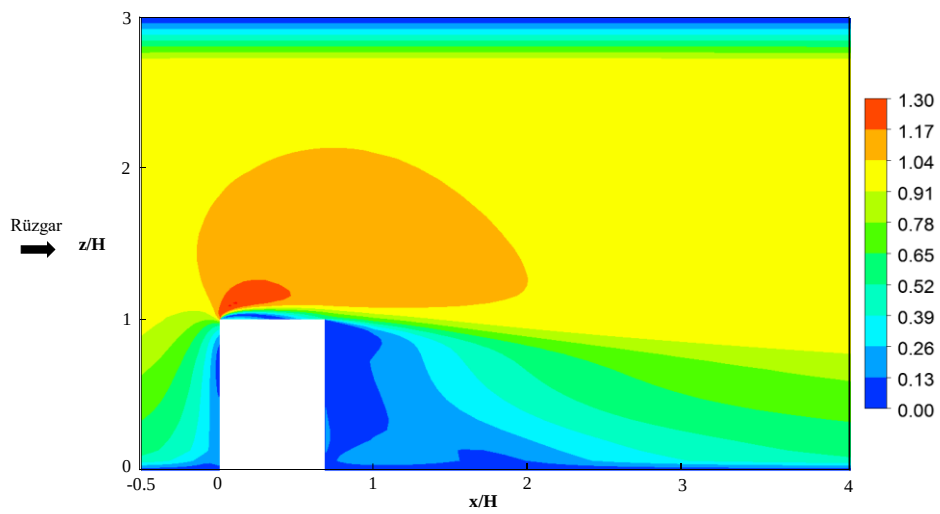
a. Normal Bina Modeli

Dairesel kesitli normal bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ve yaya seviyesi yüksekliğındeki yatay düzlemde hesaplanmış akış alanı yapıları Şekil 72’de verilmektedir. Bina modelinin ön yüzeyine çarpan akış, model yüksekliğınin yaklaşık 3/4’ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı doğru yönlenmektedir. Yukarı doğru yönlenen akış çatının ön kenarından ayrılarak, çatı üzerinde çatının rüzgar geliş tarafına yakın bölgesinde bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Akış yönünde ilerledikçe çatı üzerinde tekrar tutunan akış çatı arka kenarından yeniden ayrılarak model arkasında model yüksekliğı seviyesinde büyük ölçekli bir girdap bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 72a). Bina modelinin ön kısmına çarpan akış, dairese formdaki model yan yüzeyinin her iki tarafından yüzeyi takip ederek ilerlemekte ve yüzeyin arka kısmına yakın bir konumda ayrılarak model arkasında ters akış bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 72b).

Şekil 73’de, dairese kesitli normal bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı dağılımı görülmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön yüzeyine çarpan ve aşağı yönlenen akış nedeniyle boyutsuz hız değerleri azalmaktadır. Model ön yüzeyinden yukarı doğru yönlenen akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla modelin sol üst kenarından başlayan ve x eksenini boyunca yükselerek uzanan bölgede yüksek rüzgar hızlarına sahip köşe akımları oluşmaktadır. Akış ayrılması nedeniyle ters akış bölgelerinin oluştuğı çatı üzerinde ve model arkasında hız boyutsuz hız değerleri azalmaktadır.

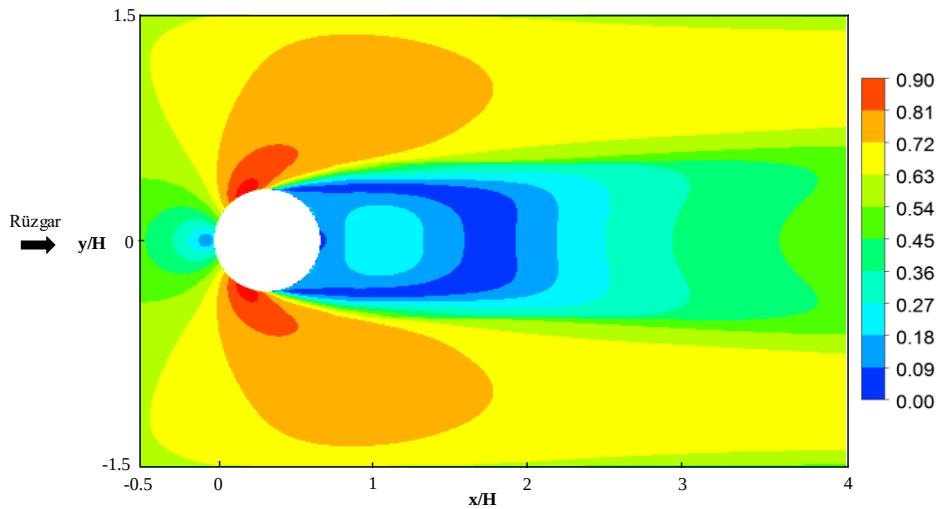


Şekil 72. Dairesel kesitli normal bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları
a) orta eksenini boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde



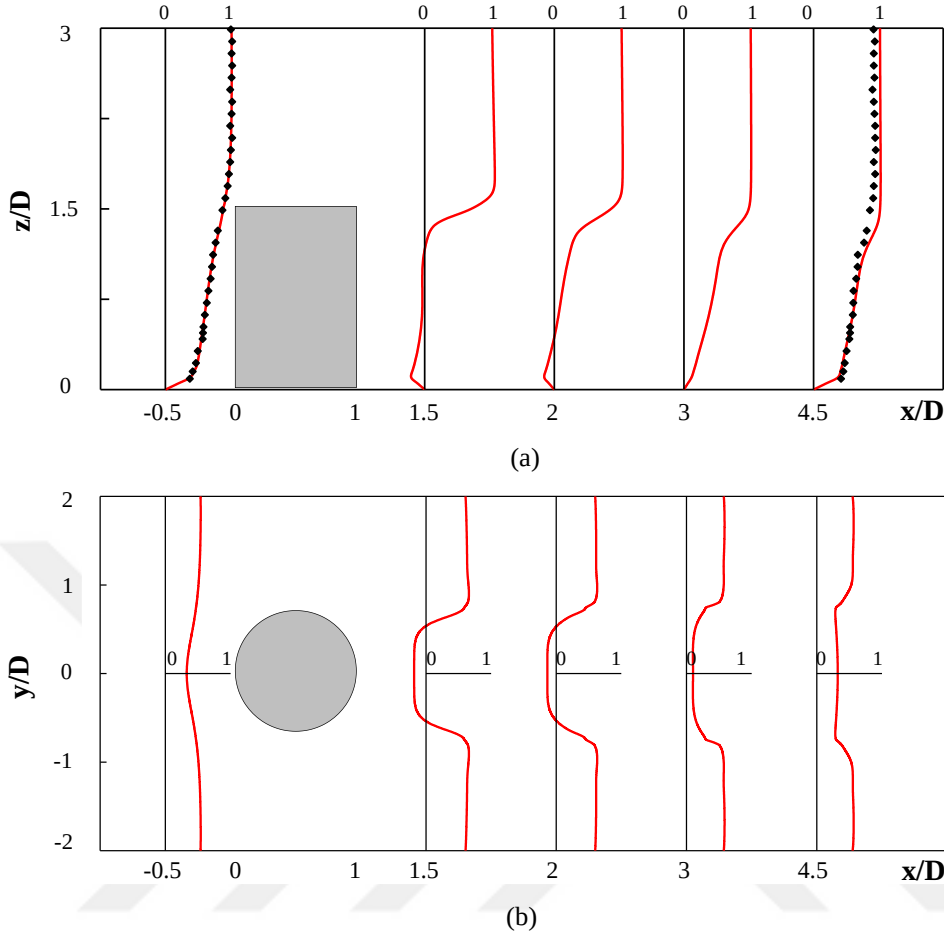
Şekil 73. Dairesel kesitli normal bina modeli orta eksenini boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları

Dairesel kesitli normal bina modelinin etrafında akış yönünde yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri Şekil 74’de verilmektedir. Bu düzlemdeki rüzgar hızları, Tsang vd. (2012) ve Tse vd. (2017)’nin önerdiği şekliyle akış alanı Rüzgar Geliş Tarafındaki Düşük Rüzgar Hızı (Upstream Low Wind Speed, ULWS) bölgesi, Yüksek Rüzgar Hızı (High Wind Speed, HWS) bölgesi, Model Arkası Yakın Alan Düşük Rüzgar Hızı (Downstream Near-Field Low Wind Speed, DNLWS) bölgesi ve Model Arkası Uzak Alan Düşük Rüzgar Hızı (Downstream Far-Field Low Wind Speed, DFLWS) bölgesi şeklinde dört bölgeye ayrılarak değerlendirilmiştir. Model önünde, rüzgar geliş tarafındaki bölgedeki düşük rüzgar hızları, bina modeline gelen akışın binanın rüzgara karşı olan ön cephesine çarpması sonucu oluşan aşağı akım etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu bölge, bina modelinin önündeki zemin ve model ön yüzeyi ile sınırlanan durgun alanda yer almaktadır. Akışın bina modelinin ön kenarlarından ayrılmasıyla model yan yüzeyleri üzerinde oluşturduğu ters akış bölgelerinin üst kısımlarında ortaya çıkan ve ters akış bölgeleri ile serbest akış bölgeleri arasındaki tampon bölgeleri oluşturan kayma tabakası yüksek rüzgar hızına sahip köşe akımlarını oluşturmaktadır. Bina modelinin iki yan tarafında görünen yüksek rüzgar hızı bölgelerinin oluşmasında bu köşe akımları etkili olmaktadır. Bina modelinin hemen arkasındaki iz bölgesinde yakın alan düşük rüzgar hızı bölgesi, bina modeli arkasında modelden uzak bölgede ise uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır. Model arkasındaki bu düşük basınç bölgeleri yatay ve düşey düzlemlerdeki girdap yapılarından etkilenmektedir (Tsang vd.,2011; Xia vd., 2015).



Şekil 74. Dairesel kesitli normal bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları

Dairesel kesitli normal bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey doğrultuda ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultuda model önünde ve arkasında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız profilleri, ölçüm sonuçlarıyla birlikte Şekil 75’de verilmektedir. Yatay, enine ve düşey koordinatlar, x , y ve z , karakteristik model çapı D ile boyutsuz yapılmış, bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki sol alt köşesi orijin olarak seçilmiştir. Şekil 75a’da verilen düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model önünde $x/D=-0.5$ istasyonunda hesaplanan hız profilinin aynı istasyondaki deneysel ortalama hız profili ile oldukça uyumlu olduğu ve model arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerlerinin model yüksekliğinin yaklaşık $3/4$ ’ü seviyesine kadar negatif olduğu görülmektedir. Model arkasında hesaplanan düşey hız profillerindeki negatif hız bölgeleri akış yönünde ilerleyen istasyonlarda azalmakta ve $x/D=3$ konumundaki hız profilinde sonlanmaktadır. $x/D=4.5$ konumunda hesaplanan hız değerlerinin aynı istasyonda ölçülmüş ortalama hız değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 75b’de verilen yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir. Model arkasında akış yönünde ilerledikçe hız değerlerindeki azalma etkisi zayıflamaktadır.

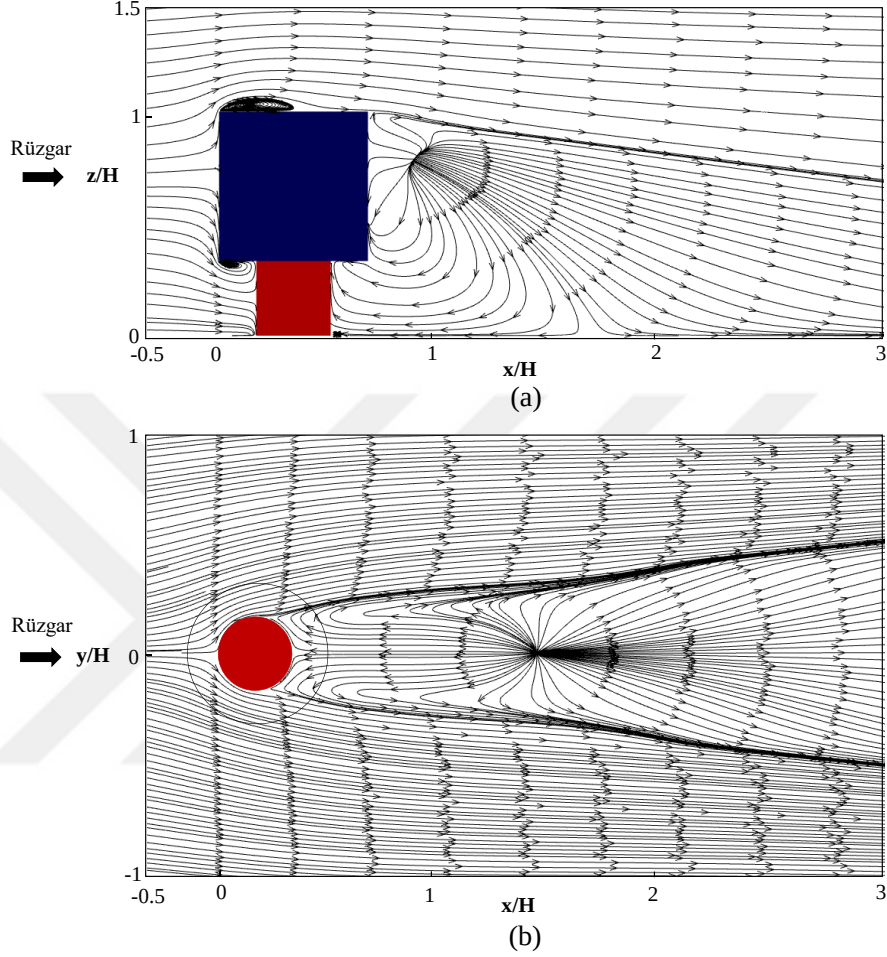


Şekil 75. Dairesel kesitli normal bina modeli etrafında ortalama hız profilleri
a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda

b. Yükseltilmiş Bina Modelleri

50 mm çekirdek yüksekliği ve çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultusunda hesaplanmış akış alanı yapıları Şekil 76'da verilmektedir. Bina modelinin ön yüzeylerine çarpan akış, model toplam yüksekliğinin yaklaşık 3/4'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı doğru yönelmektedir. Aşağı doğru yönelen akış bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının ön alt kenarından ayrılarak küçük ölçekli bir ters akış bölgesi meydana getirmektedir. Yukarı doğru yönelen akış ise çatının ön kenarından ayrılarak, çatı üzerinde çatının rüzgar geliş tarafına yakın bölgesinde ve model arkasında model toplam yüksekliği seviyesinde büyük ölçekli bir girdap bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 76a). Bina modelinin ön kısmına çarpan akış, dairesel formdaki model yan yüzeyinin her iki tarafından yüzeyi takip ederek

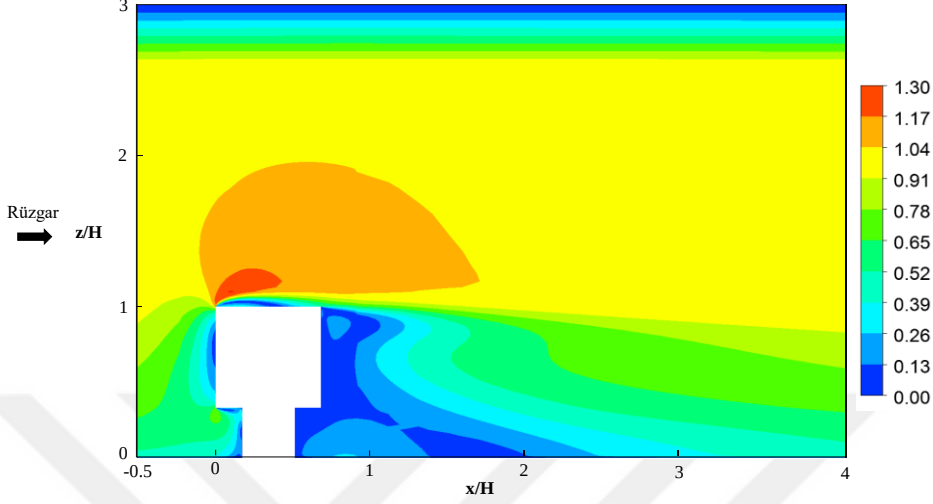
ilerlemekte ve yüzeyin arka kısmına yakın bir konumda ayrılarak model arkasında ters akış bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 76b).



Şekil 76. 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksenı boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde

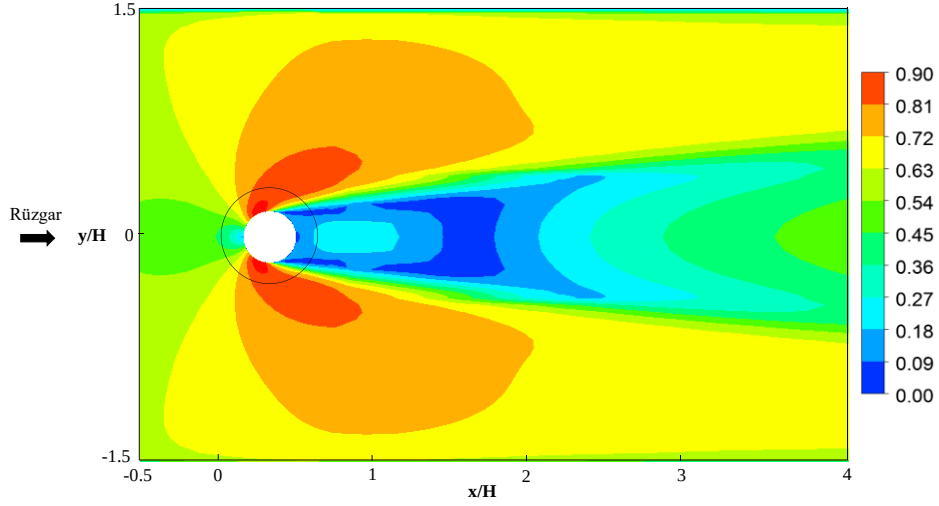
Şekil 77’de, 50 mm çekirdek yüksekliği ve çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı dağılımı görülmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön yüzeylerine çarpan ve aşağı yönlü akış nedeniyle hem çekirdek kısmın hem de üst kısmın ön yüzeyleri yakınında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır. Bina modelinde çekirdek üstündeki kısmın ön yüzeyinden yukarı doğru yönlü akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla modelin sol üst kenarından başlayan ve x eksenı boyunca yükselerek uzanan bölgede yüksek rüzgar hızlarına sahip köşe akımları oluşmaktadır. Akış ayrılması nedeniyle

ters akış bölgelerinin oluştuğu çatı üzerinde ve model arkasında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır.



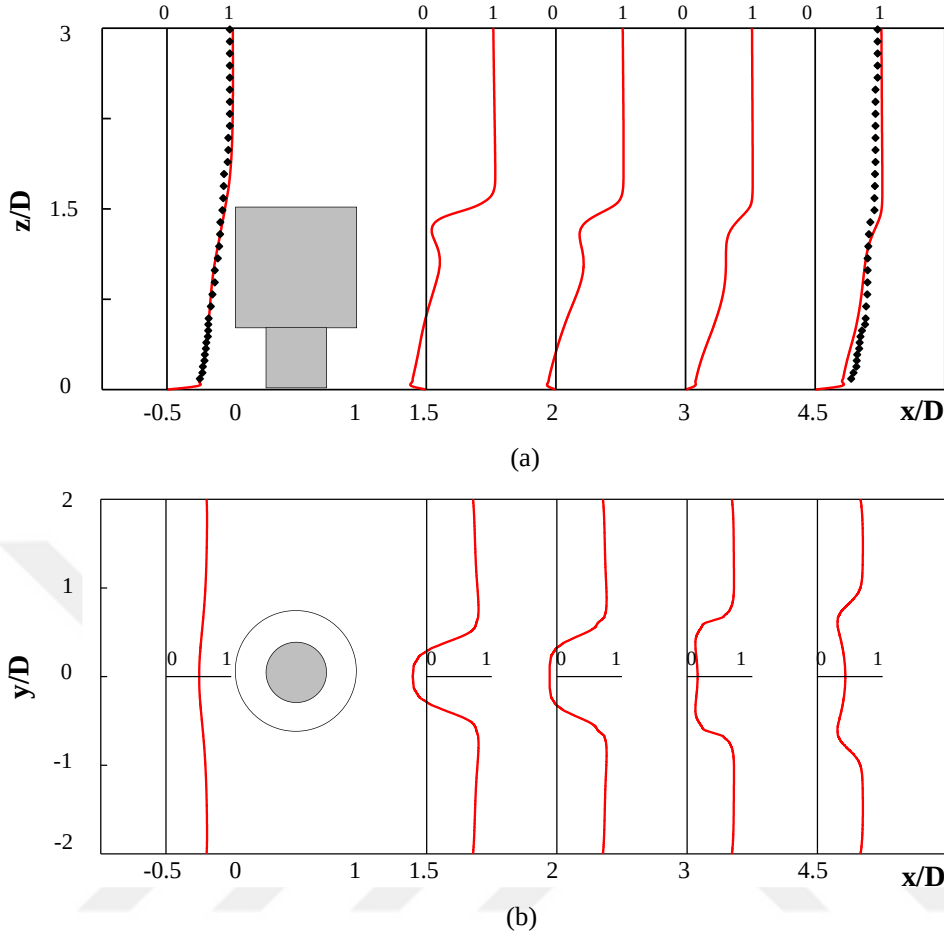
Şekil 77. 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksenini boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları

50 mm çekirdek yüksekliği ve çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönünde yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri Şekil 78’de verilmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön bölgesinde düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır. Bina modelinin ön kısmına çarpan akışın, dairesel formdaki model yan yüzeyinin her iki tarafından yüzeyi takip ederek ilerlemesi ve yüzeyin arka kısmına yakın bir konumda ayrılmasıyla model yan yüzeyleri üzerinde köşe akımlarından kaynaklanan yüksek rüzgar hızı bölgeleri meydana gelmektedir. Bina modelinin hemen arkasındaki iz bölgesinde yakın alan düşük rüzgar hızı bölgesi, bina modeli arkasında modelden uzak bölgede ise uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır.



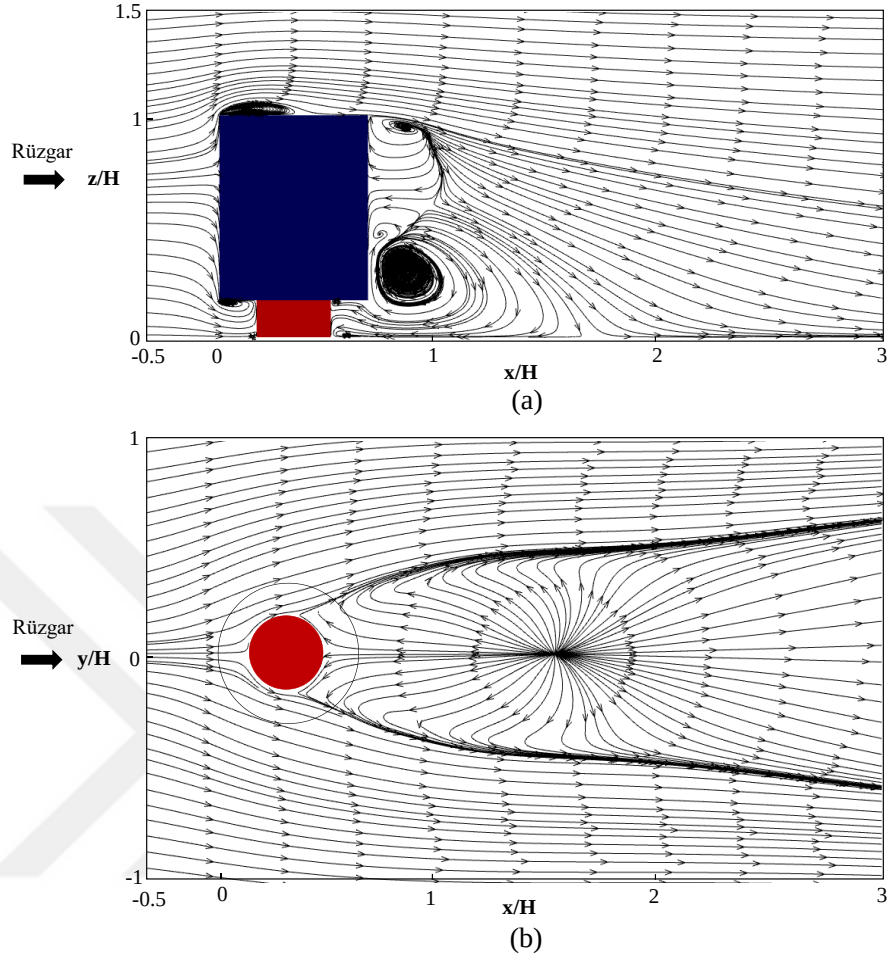
Şekil 78. 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları

50 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey doğrultuda ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultuda model önünde ve arkasında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız profilleri, ölçüm sonuçlarıyla birlikte Şekil 79'da verilmektedir. Şekil 79a'da verilen düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model önünde $x/D = -0.5$ istasyonunda hesaplanan hız profilinin aynı istasyondaki deneysel ortalama hız profili ile oldukça uyumlu olduğu ve model arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerlerinin model toplam yüksekliğinin yaklaşık $1/3$ 'ü seviyesine kadar negatif olduğu görülmektedir. Model arkasında hesaplanan düşey hız profillerindeki negatif hız bölgeleri akış yönünde ilerleyen istasyonlarda azalmakta ve $x/D = 3$ konumundaki hız profilinde sonlanmaktadır. $x/D = 4.5$ konumunda hesaplanan hız değerlerinin aynı istasyonda ölçülmüş ortalama hız değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 79b'de verilen yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir. Model arkasında akış yönünde ilerledikçe hız değerlerindeki azalma etkisi zayıflamaktadır.



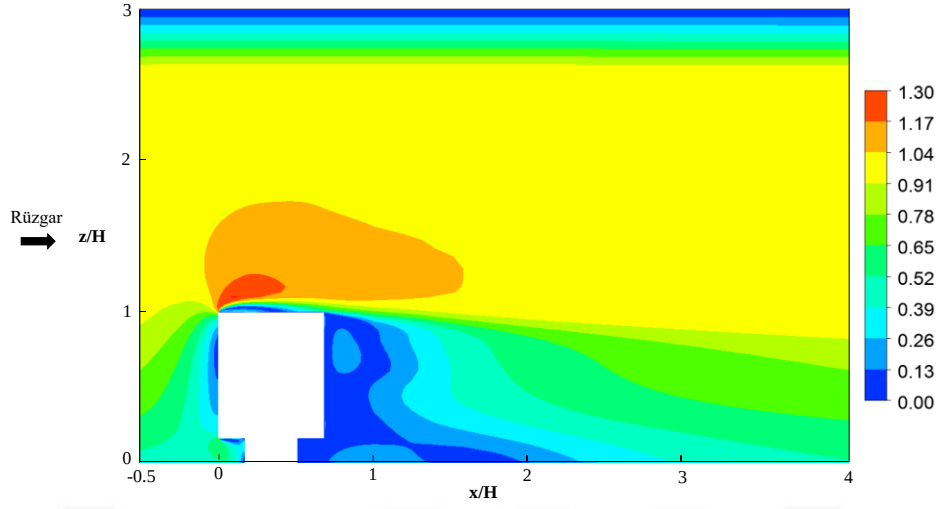
Şekil 79. 50 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda

25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde hesaplanmış akış alanı yapıları Şekil 80'de verilmektedir. Bina modelinin ön kısımlarına çarpan akış, model toplam yüksekliğinin yaklaşık 3/4'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı doğru yönelmektedir. Aşağı doğru yönelen akış bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının ön alt kenarından ayrılarak küçük ölçekli bir ters akış bölgesi meydana getirmektedir. Yukarı doğru yönelen akış ise çatının ön kenarından ayrılarak, çatı üzerinde çatının rüzgar geliş tarafına yakın bölgesinde ve model arkasında girdap bölgeleri oluşturmaktadır (Şekil 80a). Bina modelinin ön kısmına çarpan akış, dairesel formdaki model yan yüzeyinin her iki tarafından yüzeyi takip ederek ilerlemekte ve yüzeyin arka kısmına yakın bir konumda ayrılarak model arkasında ters akış bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 80b).



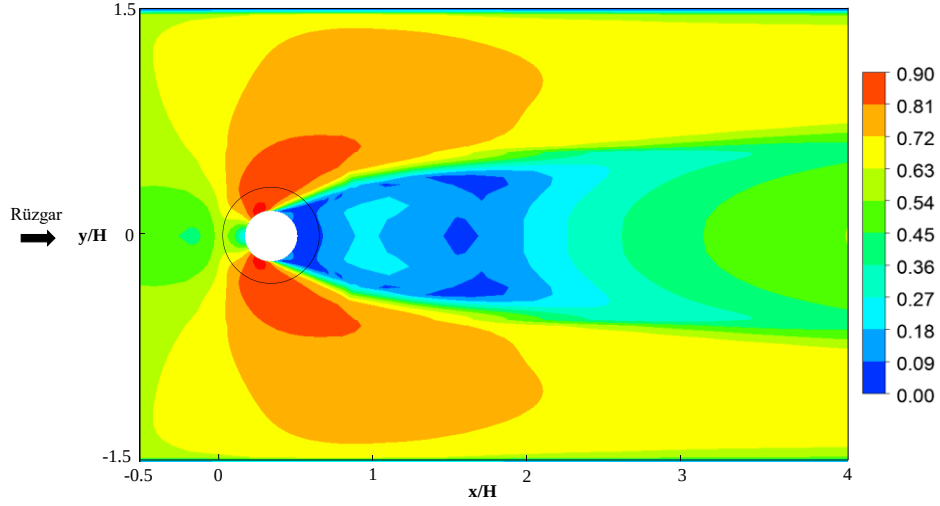
Şekil 80. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksenı boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde

Şekil 81’de, 25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri görülmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön yüzeylerine çarpan ve aşağı yönlene akış nedeniyle hem çekirdek kısmın hem de üst kısmın ön yüzeyleri yakınında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır. Bina modelinde çekirdek üstündeki kısmın ön yüzeyinden yukarı doğru yönlene akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla modelin sol üst kenarından başlayan ve x eksenı boyunca yükselerek uzanan bölgede yüksek rüzgar hızlarına sahip köşe akımları oluşmaktadır. Akış ayrılması nedeniyle ters akış bölgelerinin oluştuğu çatı üzerinde ve model arkasında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır.



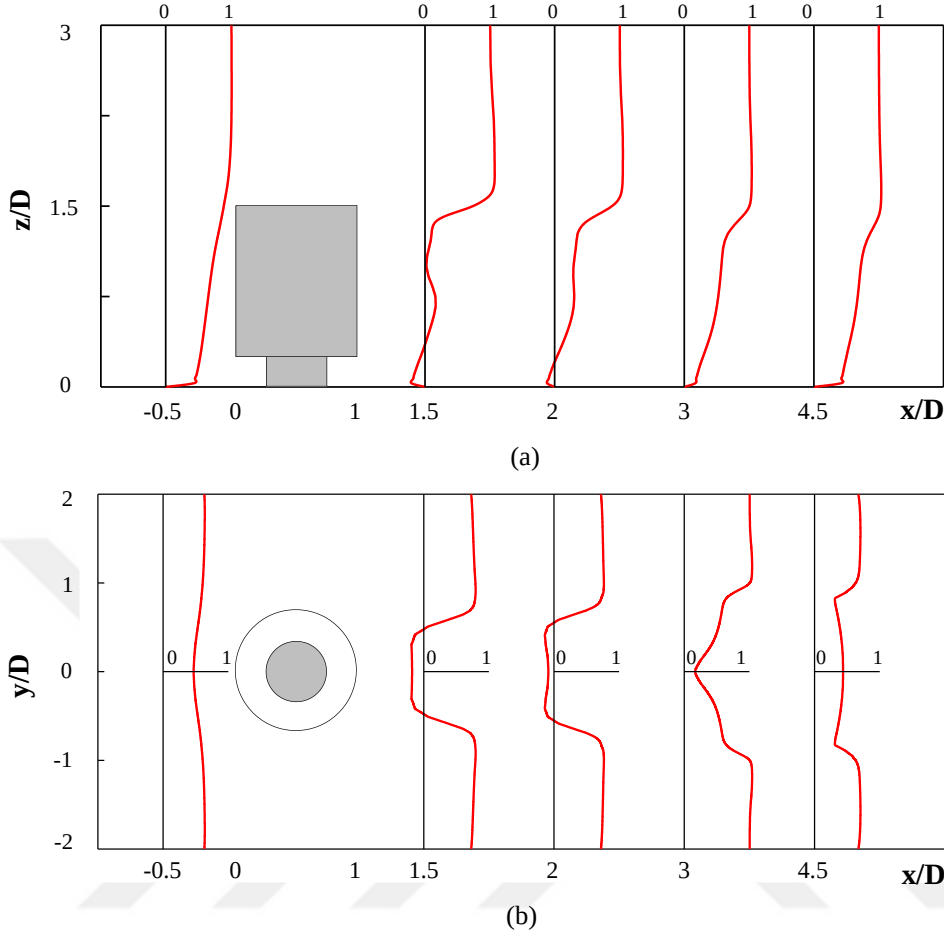
Şekil 81. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksenini boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları

25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönünde yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri Şekil 82’de verilmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön bölgesinde düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır. Bina modelinin ön kısmına çarpan akışın, dairesel formdaki model yan yüzeyinin her iki tarafından yüzeyi takip ederek ilerlemesi ve yüzeyin arka kısmına yakın bir konumda ayrılmasıyla model yan yüzeyleri üzerinde köşe akımlarından kaynaklanan yüksek rüzgar hızı bölgeleri meydana gelmektedir. Bina modelinin hemen arkasındaki iz bölgesinde yakın alan düşük rüzgar hızı bölgesi, bina modeli arkasında modelden uzak bölgede ise uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır.



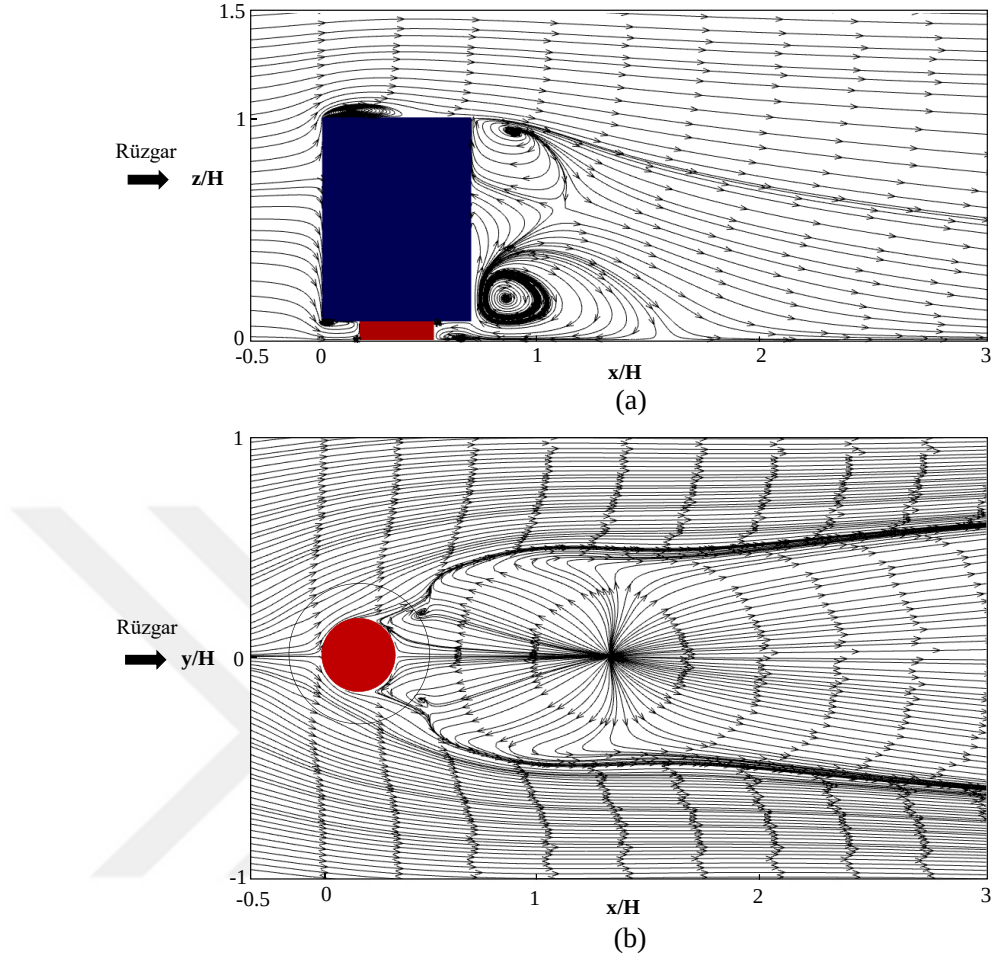
Şekil 82. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları

25 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey doğrultuda ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultuda model önünde ve arkasında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız profilleri, Şekil 83’de verilmektedir. Şekil 83a’da verilen düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerlerinin model toplam yüksekliğinin yaklaşık 1/4’ü seviyesine kadar negatif olduğu görülmektedir. Model arkasında hesaplanan düşey hız profillerindeki negatif hız bölgeleri akış yönünde ilerleyen istasyonlarda azalmakta ve $x/D=3$ konumundaki hız profilinde sonlanmaktadır. Şekil 83b’de verilen yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir. Model arkasında akış yönünde ilerledikçe hız değerlerindeki azalma etkisi zayıflamaktadır.



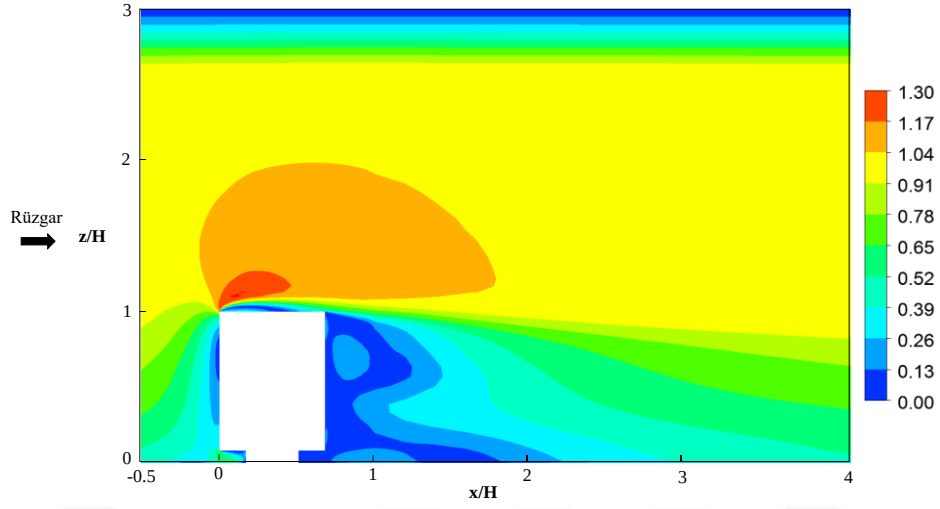
Şekil 83. 25 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda

12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde hesaplanmış akış alanı yapıları Şekil 84’de verilmektedir. Bina modelinin ön kısımlarına çarpan akış, model toplam yüksekliğinin yaklaşık 3/4’ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenen akış bina modelinin çekirdek üstündeki kısmının ön alt kenarından ayrılarak küçük ölçekli bir ters akış bölgesi meydana getirmektedir. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatının ön kenarından ayrılarak, çatı üzerinde çatının rüzgar geliş tarafına yakın bölgesinde ve model arkasında girdap bölgeleri oluşturmaktadır (Şekil 84a). Bina modelinin ön kısmına çarpan akış, dairesel formdaki model yan yüzeyinin her iki tarafından yüzeyi takip ederek ilerlemekte ve yüzeyin arka kısmına yakın bir konumda ayrılarak model arkasında ters akış bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 84b).



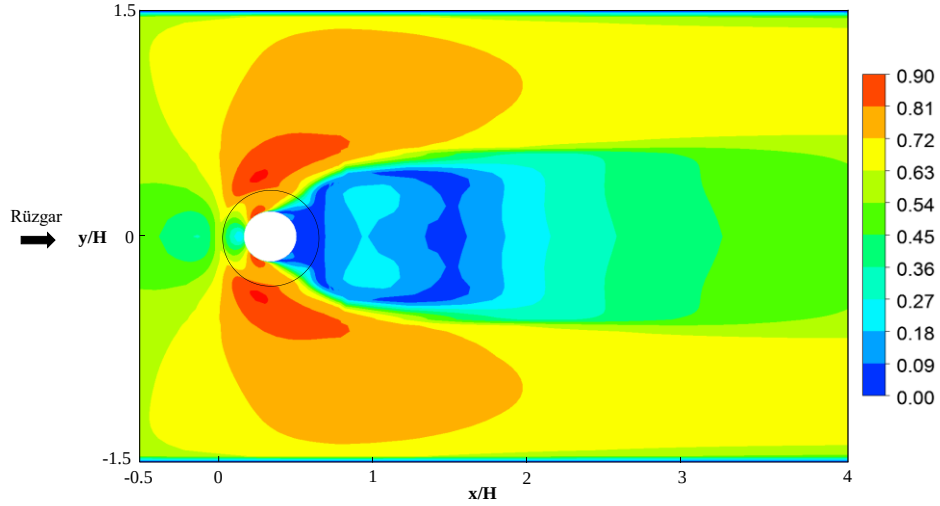
Şekil 84. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafındaki akış alanı yapıları a) orta eksenı boyunca düşey düzlemde ve b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemde

Şekil 85’de, 12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri görülmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön yüzeylerine çarpan ve aşağı yönlenen akış nedeniyle hem çekirdek kısmın hem de üst kısmın ön yüzeyleri yakınında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır. Bina modelinde çekirdek üstündeki kısmın ön yüzeyinden yukarı doğru yönlenen akışın çatı ön kenarından ayrılmasıyla modelin sol üst kenarından başlayan ve x eksenı boyunca yükselerek uzanan bölgede yüksek rüzgar hızlarına sahip köşe akımları oluşmaktadır. Akış ayrılması nedeniyle ters akış bölgelerinin oluştuğu çatı üzerinde ve model arkasında boyutsuz hız değerleri azalmaktadır.



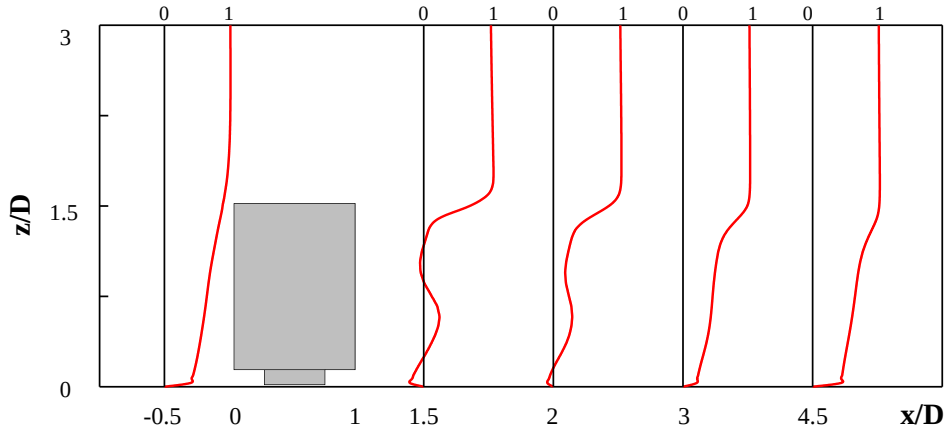
Şekil 85. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli orta eksenini boyunca düşey düzlemdeki ortalama rüzgar hızı oranları

12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönünde yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay düzlemde ortalama rüzgar hızı oranı değerleri Şekil 86'da verilmektedir. Bina modelinin rüzgar geliş tarafındaki ön bölgesinde düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır. Bina modelinin ön kısmına çarpan akışın, dairesel formdaki model yan yüzeyinin her iki tarafından yüzeyi takip ederek ilerlemesi ve yüzeyin arka kısmına yakın bir konumda ayrılmasıyla model yan yüzeyleri üzerinde köşe akımlarından kaynaklanan yüksek rüzgar hızı bölgeleri meydana gelmektedir. Bina modelinin hemen arkasındaki iz bölgesinde yakın alan düşük rüzgar hızı bölgesi, bina modeli arkasında modelden uzak bölgede ise uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi oluşmaktadır.

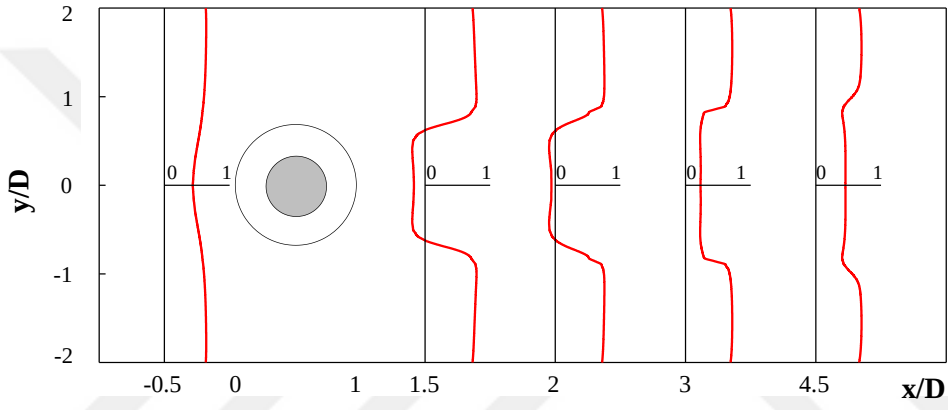


Şekil 86. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında yaya seviyesi yüksekliğinde yatay düzlemdeki boyutsuz ortalama rüzgar hızları

12.5 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek çapına sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin etrafında akış yönündeki orta eksen boyunca düşey doğrultuda ve yaya seviyesi yüksekliğindeki yatay doğrultuda model önünde ve arkasında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız profilleri, Şekil 87’de verilmektedir. Şekil 87a’da verilen düşey doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerlerinin model toplam yüksekliğinin yaklaşık 1/8’i seviyesine kadar negatif olduğu görülmektedir. Model arkasında hesaplanan düşey hız profillerindeki negatif hız bölgeleri akış yönünde ilerleyen istasyonlarda azalmakta ve $x/D=3$ konumundaki hız profilinde sonlanmaktadır. Şekil 80b’de verilen yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultudaki ortalama hız profillerinden, model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir. Model arkasında akış yönünde ilerledikçe hız değerlerindeki azalma etkisi zayıflamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 87. 12.5 mm çekirdek yüksekliğine sahip dairesel kesitli yükseltilmiş bina modeli etrafında ortalama hız profilleri a) orta eksen boyunca düşey doğrultuda b) yaya seviyesi yüksekliğinde yatay doğrultuda

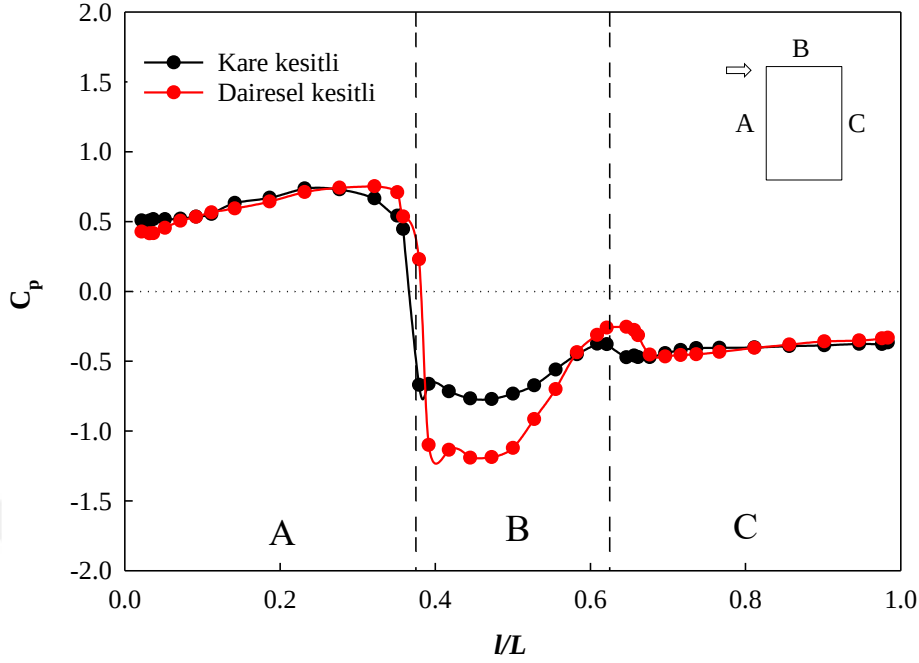
4. İREDELEME

Bu tez çalışmasında, kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Öncelikle, kare ve dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri yüzeylerindeki basınç dağılımları farklı rüzgar geliş açıları için deneysel ve sayısal olarak elde edilmiştir. Bina modelleri etrafındaki akış alanı yapıları ve hız dağılımları rüzgar geliş açısının $\theta=0^\circ$ değeri için Realizable k- ϵ türbülans modelinin kullanıldığı üç boyutlu sayısal çözümlerle hesaplanmıştır. Yükseltilmiş bina modellerinde çekirdek yüksekliğinin bina modelleri etrafındaki akış alanına ve hız dağılımlarına etkisini ayrıntılı olarak incelemek amacıyla rüzgar geliş açısının $\theta=0^\circ$ değeri için farklı çekirdek yüksekliklerine sahip bina modelleri etrafında ilave sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bina modellerinin yüzeylerinden elde edilen basınç dağılımları bina kesiti etkisi, rüzgar geliş açısı etkisi ve yükseltme etkisi başlıkları altında irdelenmiştir. Bina modelleri etrafında elde edilen akış alanı yapıları ve hız dağılımları ise hem kare kesitli hem de dairesel kesitli modellerde çekirdek yüksekliği etkisi açısından irdelenmiştir.

4.1. Basınç Dağılımları

4.1.1. Bina Kesiti Etkisi

Kare ve dairesel kesitli normal bina modellerinin orta eksenleri boyunca akış yönünde düşey doğrultuda model yüzeylerindeki ölçümlerden elde edilen ortalama basınç katsayılarının değişimleri Şekil 88'de görülmektedir. Her iki bina modelinde de modellerin ön yüzeylerinde itme etkisi nedeniyle pozitif basınç değerleri, modellerin düz çatıları ve arka yüzeylerinde ise emme etkisi nedeniyle negatif basınç değerleri şeklinde benzer basınç dağılımları oluşmaktadır. Dairesel kesitli normal bina modelinin çatısı üzerindeki ortalama basınç katsayısı değerleri, kare kesitli bina modeli çatısındaki değerlere göre daha kritik olmaktadır. Her iki bina modelinde de, çatı üzerinde rüzgar geliş tarafında daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Bu sonuçlar, kare kesitli normal bina modeli için, Hunte (2010) ve Kaydok (2014) tarafından yapılan çalışma sonuçlarıyla ve dairesel kesitli normal bina modeli için Uematsu vd. (2008) ve Özmen ve Aksu (2017) tarafından yapılan çalışma sonuçlarıyla uyum göstermektedir.

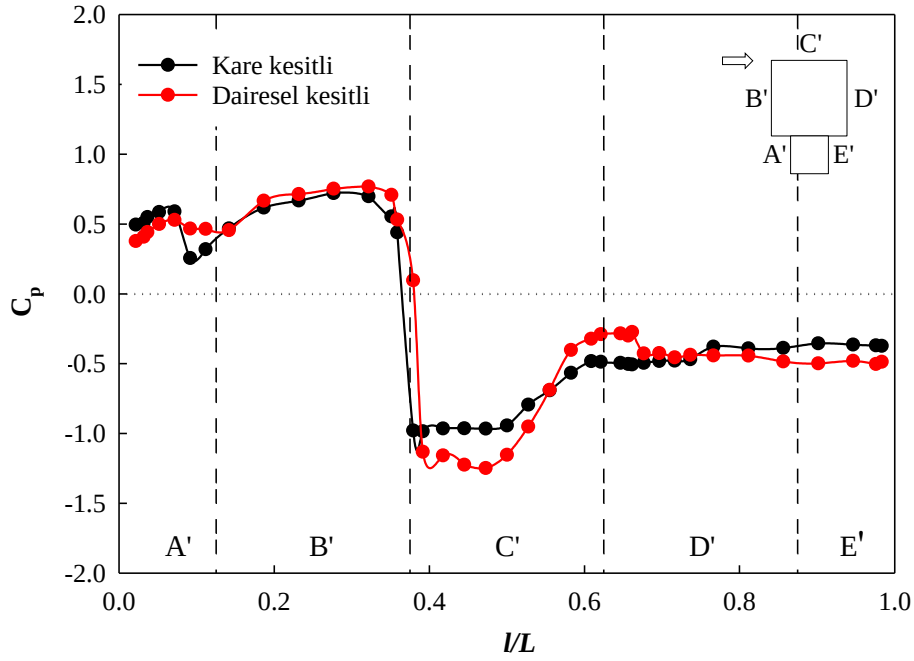


Şekil 88. Kare ve dairesel kesitli normal bina modellerinin orta eksenini boyunca ölçülen ortalama basınç katsayısı değişimleri

Kare ve dairesel kesitli normal bina modelleri yüzeylerinde ölçülmüş basınç değerlerinden elde edilen eş basınç alanı dağılımlarına göre, $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında kare kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki en kritik minimum basınç katsayısı değerleri, model yan yüzeyinde -1.46 ve çatı üzerinde -1.42, dairesel kesitli normal bina modeli yüzeylerindeki en kritik emme etkisi ise, model yan yüzeyinde -1.39 ve çatı üzerinde -1.46 olarak elde edilmiştir. Her iki bina modeli için elde edilen kritik minimum basınç katsayısı değerlerinin hem çatı üzerinde hem de model yan yüzeyleri üzerinde birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, aynı boyutlara sahip kare ve dairesel kesitli normal bina modellerinin, kritik emme yükü açısından benzer etkilere maruz kaldığını göstermektedir. Ancak farklı rüzgar geliş açılarına ait ölçüm sonuçları incelendiğinde, en kritik ortalama ve minimum basınç katsayılarının kare kesitli normal bina modelinde rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında sırasıyla -3.34 ve -3.85 değerleriyle 45° 'lik rüzgar geliş açısında ortaya çıktığı görülmektedir.

Şekil 89'da, 50 mm çekirdek yüksekliğine ve genişliğine/çapına sahip kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinin orta eksenleri boyunca akış yönünde düşey doğrultuda model yüzeylerindeki ölçümlerden elde edilen ortalama basınç katsayılarının değişimleri

görülmektedir. Her iki bina modelinde de modellerin ön yüzeylerinde itme etkisi nedeniyle pozitif basınç değerleri, modellerin düz çatıları ve arka yüzeylerinde ise emme etkisi nedeniyle negatif basınç değerleri şeklinde benzer basınç dağılımları oluşmaktadır. Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin çatısı üzerindeki ortalama basınç katsayısı değerleri, kare kesitli bina modeli çatısındaki değerlere göre biraz daha kritik olmaktadır. Her iki yükseltilmiş bina modelinde de, çatı üzerinde rüzgar geliş tarafında daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır.



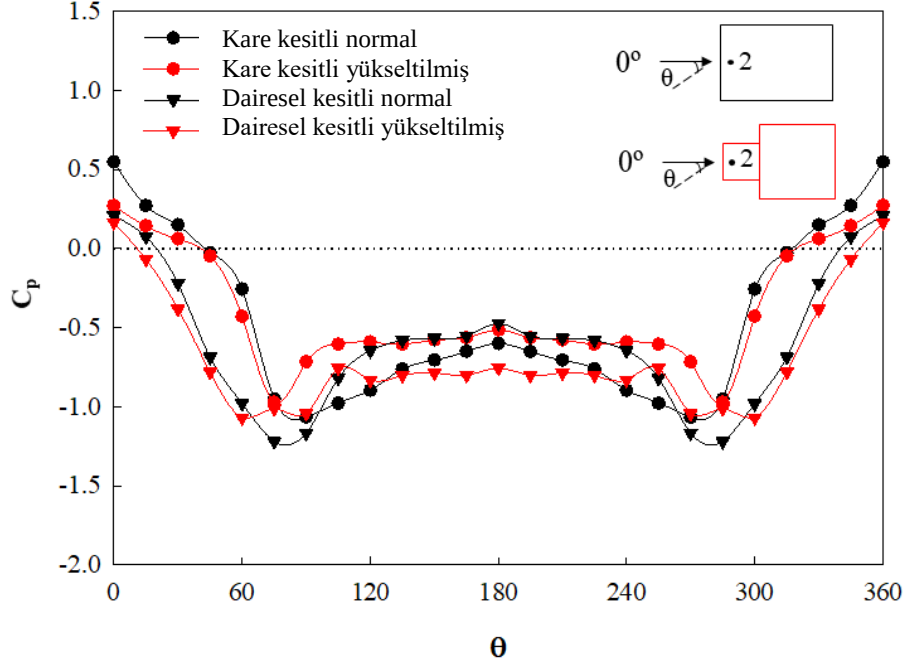
Şekil 89. Kare ve dairese kesitli yükseltilmiş bina modellerinin orta eksenı boyunca ölçülen ortalama basınç katsayısı değışimleri

50 mm çekirdek yüksekliğine ve genişliğine/çapına sahip kare ve dairese kesitli yükseltilmiş bina modelleri yüzeylerinde ölçülmüş basınç değerlerinden elde edilen eş basınç alanı dağılımlarına göre, $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında kare kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki en kritik minimum basınç katsayısı değerleri, modelin çekirdek üstündeki yan yüzeylerinde -1.58 ve çatı üzerinde -1.49, dairese kesitli yükseltilmiş bina modeli yüzeylerindeki en kritik minimum basınç katsayıları ise, modelin çekirdek üstündeki yan yüzeyinde -1.60 ve çatı üzerinde -1.63 olarak elde edilmiştir. Kare ve dairese kesitli yükseltilmiş bina modellerinde çekirdek ve üst kısımları birleştiren kare kesitli ve dairese kesitli halka yüzeylerde en kritik minimum basınç katsayısı değerleri sırasıyla -1.07 ve -1.05

olarak elde edilmiştir. Kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde çekirdek yüzeylerindeki minimum basınç katsayısı değerleri incelendiğinde, dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde daha kritik minimum basınç değerlerinin olduğu görülmektedir. Kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde çekirdek yüzeylerindeki minimum basınç katsayısı değerleri sırasıyla -0.83 ve -1.26 olarak elde edilmiştir. Kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde çatı üzerindeki emme etkisine oranla yan yüzeyde daha kritik olan emme etkisi dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinde çatı üzerinde daha kritik olacak şekilde farklılaşmaktadır. Ayrıca farklı rüzgar geliş açılarına ait ölçüm sonuçları incelendiğinde, en kritik ortalama ve minimum basınç katsayılarının kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında sırasıyla -3.38 ve -3.86 değerleriyle 45°'lik rüzgar geliş açısında ortaya çıktığı görülmektedir.

4.1.2. Rüzgar Geliş Açısı Etkisi

Kare ve dairesel kesitli normal ve 50 mm çekirdek yüksekliği ve genişliğine/çapına sahip yükseltilmiş bina modellerinin ön yüzeylerinde düşey orta ekseninde yaya seviyesi yüksekliğine karşılık gelen 2 nolu basınç prizinden ölçülmüş minimum basınç değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri Şekil 90'da verilmektedir. Dört bina modelinde de basınç dağılımlarının benzer olduğu görülmektedir. Minimum basınç katsayısı değerleri kritik rüzgar geliş açısına kadar azalmakta, daha sonra artan açı ile artarak 180° rüzgar geliş açısında simetri oluşturmaktadır. Kare kesitli normal bina modelinde 90° ve dairesel kesitli normal bina modelinde 75° olan kritik rüzgar geliş açısı kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde 75° ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinde 60° olmaktadır.



Şekil 90. Yaya seviyesi yüksekliğindeki minimum basınç katsayısı değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri

Normal ve yükseltilmiş bina modelleri yüzeylerindeki eş basınç alanı dağılımları incelendiğinde, ortalama ve minimum pik basınçların kritik negatif değerlerinin rüzgar geliş açısına büyük ölçüde bağlı olduğu görülmektedir. Kare kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri yüzeylerindeki eş basınç alanı dağılımlarında, en kritik kritik rüzgar geliş açısı 45° olmaktadır. Bu rüzgar geliş açısında, çatı yüzeylerinde oluşan emme yükü çok daha yüksek daha olmaktadır. 0° rüzgar geliş açısından itibaren 45° 'ye kadar artan açı ile birlikte çatı yüzeylerindeki emme yükü artmakta, daha büyük rüzgar geliş açılarında ise emme yükü azalmaktadır. Bu sonuç, ortalama ve pik basınçların en kritik negatif değerlerinin 45° rüzgar geliş açısında meydana geldiğini ifade eden Kanda ve Maruta (1963) ve Amini ve Memari (2021a)'nin sonuçlarıyla örtüşmektedir.

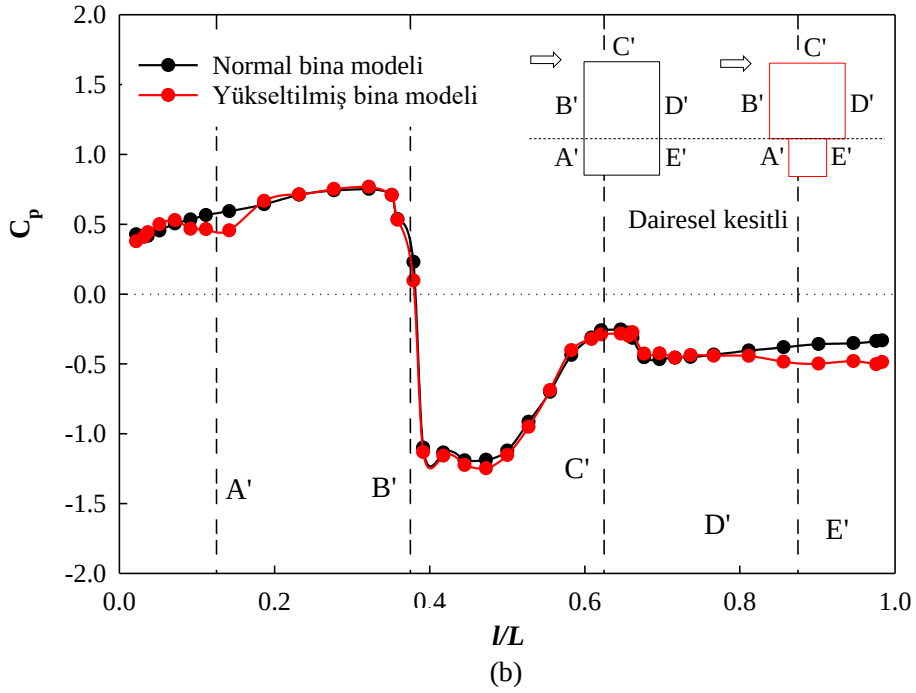
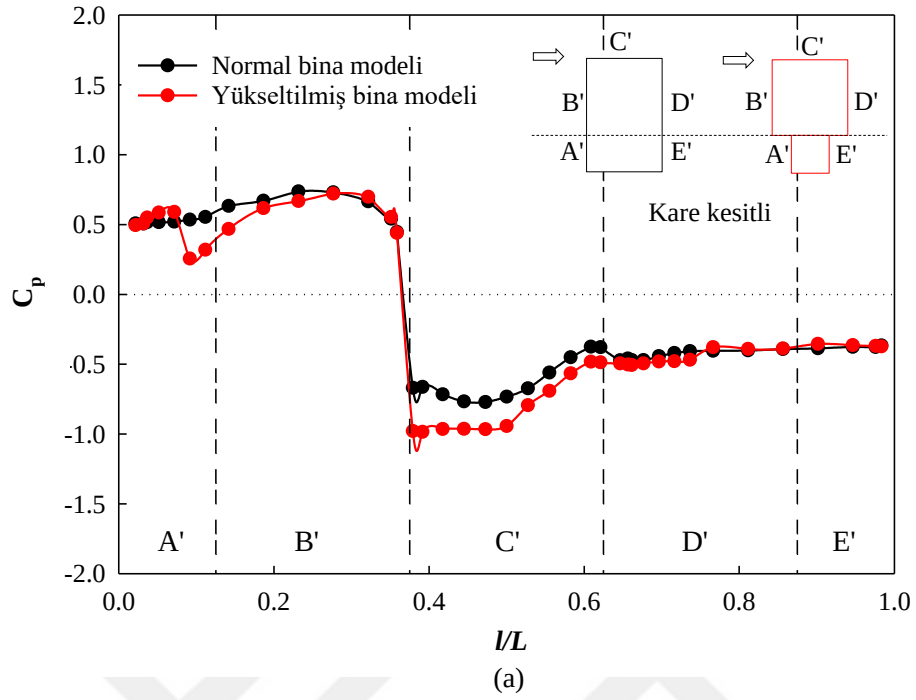
Kare kesitli normal bina modelinin yüzeylerindeki eş basınç alanı dağılımlarının rüzgar geliş açısına göre değişimleri incelendiğinde, 0° rüzgar geliş açısında model ön yüzeyinin tamamının itme etkisi altında olduğu, açının artmasıyla birlikte ön yüzeyde negatif basınç değerlerinin oluştuğu ve 60° rüzgar geliş açısından itibaren ön yüzeyin tamamında basınç değerlerinin negatif hale görülmektedir. Öte yandan, 0° rüzgar geliş açısında tamamında emme etkisi hakim olan modelin sol yüzeyinde rüzgar geliş açısının artmasıyla

pozitif basınç değerleri oluşmakta ve emme etkisi azalmaktadır Benzer şekilde, kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde de, rüzgar geliş açısının artmasıyla birlikte çekirdek ve üst kısmın ön yüzeylerindeki itme etkisi azalırken, çekirdek ve üst kısmın sol yan yüzeylerindeki emme etkisi de azalmaktadır.

Dairesel kesitli normal bina modelinin yüzeylerindeki eş basınç alanı dağılımları incelendiğinde, 30° rüzgar geliş açısına kadar model yan yüzeyinde görünen pozitif basınç katsayıları, 30°'den itibaren negatife dönmekte ve 75° rüzgar geliş açısında en kritik emme etkisi oluşmaktadır. Benzer şekilde, dairesele kesitli yükseltilmiş bina modelinde de, 30° rüzgar geliş açısına kadar model yan yüzeylerinde görünen pozitif basınç katsayıları, 30°'den itibaren negatife dönmekte ve 90° rüzgar geliş açısında en kritik emme etkisi oluşmaktadır.

4.1.3. Yükseltme Etkisi

Kare ve dairesele kesitli normal ve yükseltilmiş bina modellerinin orta eksenleri boyunca akış yönünde düşey doğrultuda yüzeylerindeki ölçümlerden elde edilen ortalama basınç katsayılarının değişimleri Şekil 91'de görülmektedir. Kare kesitli normal ve yükseltilmiş bina modellerine ait değişimlerin görüldüğü Şekil 91a'da, basınç dağılımlarının benzer olduğu, ancak kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin ön yüzeyleri ve çatısı üzerinde, kare kesitli normal modele kıyasla daha kritik bir emme etkisinin meydana geldiği görülmektedir. Dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modellerine ait değişimlerin görüldüğü Şekil 91b'de ise, dairesele kesitli yükseltilmiş bina modelinin arka yüzeylerinde, dairesele kesitli normal modele kıyasla daha kritik bir emme etkisi oluşmaktadır. Ayrıca, yükseltilmiş modellerin çekirdek kısımlarının rüzgar geliş tarafındaki ön yüzeylerinin üst kısmına doğru basınç katsayılarında ani düşüş meydana gelmektedir. Bu durum, çekirdek ve üst kısımların birleştiği düzlemdeki yüzeylerden ayrılan akışın, çekirdeklerin etrafında oluşturduğu girdap etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 91. Bina modellerinin orta eksenini boyunca ölçülen ortalama basınç katsayısı değişimi

Normal ve yükseltilmiş bina modelleri arasındaki basınç dağılımlarında ortaya çıkan fark, modellerin tüm yüzeylerindeki eş basınç alanlarının incelenmesiyle daha net anlaşılmaktadır. $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında, kare kesitli bina modellerine ait eş basınç alanları

incelendiğinde, negatif basınç katsayısı değerlerinin, özellikle yükseltilmiş modelin yan yüzeyleri ve çatısı üzerinde, normal duruma kıyasla azaldığı görülmektedir. Bu durum, yükseltilmiş bina modelinin bu yüzeylerinin daha kritik emme etkisi altında olduğunu göstermektedir. Kare kesitli normal bina modelinde yan yüzey ve çatı üzerindeki en kritik ortalama basınç katsayıları sırasıyla -0.94 ve -0.83 iken, yükseltilmiş durumda bu değerler sırasıyla -1.14 ve -1.03 olmaktadır. Bu sonuçlar, kare kesitli bir binanın yerden yükseltilmesinin yan yüzeyde yaklaşık % 21 ve çatı üzerinde yaklaşık % 24 oranında emme etkisini arttırdığını göstermektedir. Kare kesitli normal ve yükseltilmiş bina modellerinde, model ön ve arka yüzeylerindeki basınç dağılımlarında belirgin bir farklılık oluşmamaktadır. Ancak, yükseltilmiş bina modelinde, modelin çekirdek bölümü ile üst kısmının birleştiği düzlemdeki kare kesitli halka yüzeyde, çekirdek etrafındaki akış etkisi nedeniyle negatif basınç alanı oluşmaktadır. $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında, bu yüzeydeki en kritik basınç katsayıları ortalama -0.75 ve minimum -1.07 değerleriyle rüzgar geliş tarafındaki ön köşe yakınında elde edilmektedir. Bu durum, kare kesitli yükseltilmiş bina modellerinde çekirdek üzerindeki bölümün taban yüzeyindeki emme etkisinin normal bina modelinin çatısındaki emme etkisi kadar kritik olabileceğini göstermektedir. Kim vd. (2020) ve Amini ve Memari (2021a, 2021b) tarafından yapılan çalışmaların sonuçları mevcut çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir. Literatürdeki bu çalışmalarda, tek katlı yükseltilmiş bina modellerinin alt yüzeyleri ve çatıları üzerindeki basınç katsayıları incelenmiş ve alt yüzeylerdeki negatif basınç değerlerinin çatılardaki emme etkisi seviyesinde olduğu belirtilmiştir. Yükseltilmiş binalarda çekirdek üzerindeki bölümün taban yüzeyi kritik negatif basınçlara maruz kalmakta ve bu durum doğrudan veya dolaylı olarak rüzgar kaynaklı hasara yol açmaktadır.

Dairesel kesitli bina modellerine ait eş basınç alanları incelendiğinde, basınç katsayısı değerlerinin, yükseltilmiş modelin yan yüzeyleri ve çatısı üzerinde, dairesel kesitli normal modele kıyasla bir miktar azaldığı görülmektedir. Dairesel kesitli normal bina modelinde yan yüzey ve çatı üzerinde ölçülen en kritik ortalama basınç katsayıları sırasıyla -1.2 ve -1.22 iken, yükseltilmiş bina modelinde bu değerler sırasıyla -1.29 ve -1.33 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, dairesel kesitli bir binanın yerden yükseltilmesinin yan yüzeyde yaklaşık % 7.5 ve çatı üzerinde yaklaşık % 9 oranında emme etkisini arttırdığını göstermektedir. Dairesel kesitli bina modellerinde, normal ve yükseltilmiş bina modeli durumları arasında basınç dağılımlarındaki fark, kare kesitli bina modellerine kıyasla daha az olmaktadır. Ayrıca, dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinde, çekirdeğin üstündeki kısmın tabanındaki dairesel kesitli halka yüzeyde basınç dağılımı, çekirdek etrafından geçen

hava akımı nedeniyle negatif olmaktadır. Bu halka yüzeydeki en kritik basınç katsayıları ortalama -0.72 ve minimum -1.03 değerleriyle rüzgar tarafındaki ön kısımda oluşmaktadır. Bu durum, dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinde çekirdeğin üstündeki kısmın taban yüzeyindeki minimum basınç katsayısı değerlerinin, dairesel kesitli normal bina modelinin çatısındaki kadar kritik olabileceğini göstermektedir.

12.5 mm, 25 mm ve 50 mm çekirdek yüksekliğine ve 50 mm çekirdek genişliğine/çapına sahip kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerine ait sayısal çözümlerden elde edilen eş basınç alanları incelendiğinde, çekirdek yüksekliğindeki değişimin model yüzeylerindeki basınç dağılımını önemli ölçüde etkilemediği görülmektedir. Burada gözlenen en belirgin farklılık, çekirdek olarak adlandırılan bölgenin yüzeylerinde ortaya çıkmaktadır. Çekirdek yüksekliği arttıkça, hem kare hem de dairesel kesitli bina modellerinde çekirdek yüzeylerindeki negatif basınç değerleri daha kritik olmaktadır. Kare kesitli yükseltilmiş bina modellerinde, pozitif basınç değerlerinin olduğu çekirdek ön yüzeylerinde maksimum basınç değerleri, 12.5 mm, 25 mm ve 50 mm çekirdek yükseklikleri için sırasıyla 0.55, 0.57 ve 0.67 olarak hesaplanmıştır. Negatif basınç değerlerinin olduğu çekirdek yan yüzeylerindeki minimum basınç değerleri ise sırasıyla -0.44, -0.48 ve -0.57 olarak hesaplanmıştır. Çekirdeklerin arka yüzeylerinde, negatif basınç değerleri açısından önemli bir değişim olmamaktadır. Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde, negatif basınç değerlerinin olduğu çekirdek yanal yüzeylerindeki minimum basınç değerleri, 12.5 mm, 25 mm ve 50 mm çekirdek yükseklikleri için sırasıyla -0.57, -0.63 ve -0.76 olarak hesaplanmıştır.

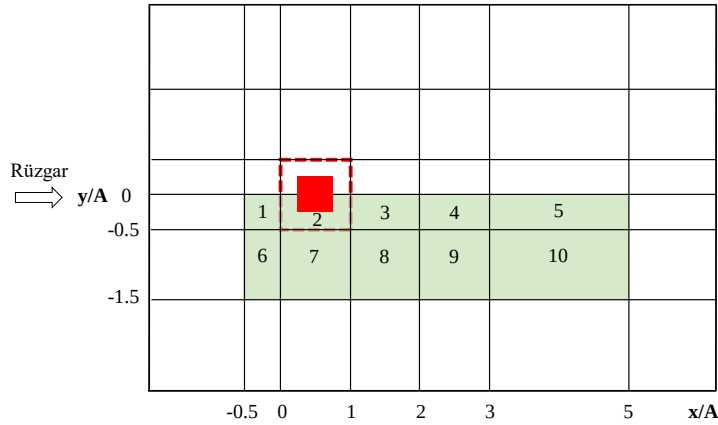
4.2. Akış Alanı ve Hız Dağılımları

4.2.1. Kare Kesitli Bina Modelleri

Kare kesitli bina modelleri etrafındaki akış alanı yapıları ve hız dağılımları incelendiğinde, yükseltilmiş bina tasarımının, aynı yükseklikteki normal binaya göre, yaya seviyesindeki rüzgar ortamını etkilediği görülmektedir. Yükseltilmiş bina tasarımı, özellikle bina modeli etrafında oluşan düşük rüzgar hızı ve yüksek rüzgar hızı bölgelerinde belirgin değişikliklere yol açmaktadır. Yükseltilmiş bina modellerindeki yüksek rüzgar hızı bölgeleri, normal bina modelindeki yüksek rüzgar hızı bölgelerine göre daha geniş bir alana yayılmaktadır. Yükseltilmiş bina modeline yaklaşan akışın çekirdek etrafından geçmesi,

blokaj etkisini azaltmakta ve modelin ön yüzeyinde oluşan ters akışı zayıflatmaktadır. Bu durum, yükseltilmiş bina modellerindeki rüzgar geliş tarafındaki düşük rüzgar hızı bölgelerinin, normal binaya kıyasla çok daha dar bir alanda oluşmasına ve bu dar alanı çevreleyen bölgede rüzgar hızlarının artmasına neden olmaktadır. Bu artış, bina modellerinin orta eksenini boyunca düşey düzlemde hesaplanan ortalama rüzgar hızı oranı dağılımlarında net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, yükseltilmiş bina modellerinin arkasında oluşan düşük rüzgar hızı bölgeleri de normal bina modelinin arkasında oluşan düşük rüzgar hızı bölgesinden farklı olmaktadır. Yükseltilmiş bina modellerinde, model arkasındaki yakın alan düşük rüzgar hızı bölgeleri daha geniş bir alana yayılmakta ve uzak alan düşük rüzgar hızı bölgelerinin boyutu ve kapsamı değişmektedir. 50 mm çekirdek yüksekliğine ve genişliğine sahip yükseltilmiş bina modelinde model arkasındaki uzak alan düşük rüzgar hızı bölgesi binaya daha yakın bir konumda oluşmaktadır.

Yükseltilmiş bina tasarımının yaya seviyesindeki rüzgar ortamına olan etkisini nicel olarak değerlendirmek için, modeller etrafındaki akış alanları Şekil 92’de görüldüğü gibi 10 bölgeye ayrılmıştır. Böylece, kare kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkilerini doğrudan karşılaştırma imkanı sağlanmıştır. Modeller etrafında tanımlanan bölgelerin büyüklükleri, bina genişliğine (A) göre belirlenmiştir.



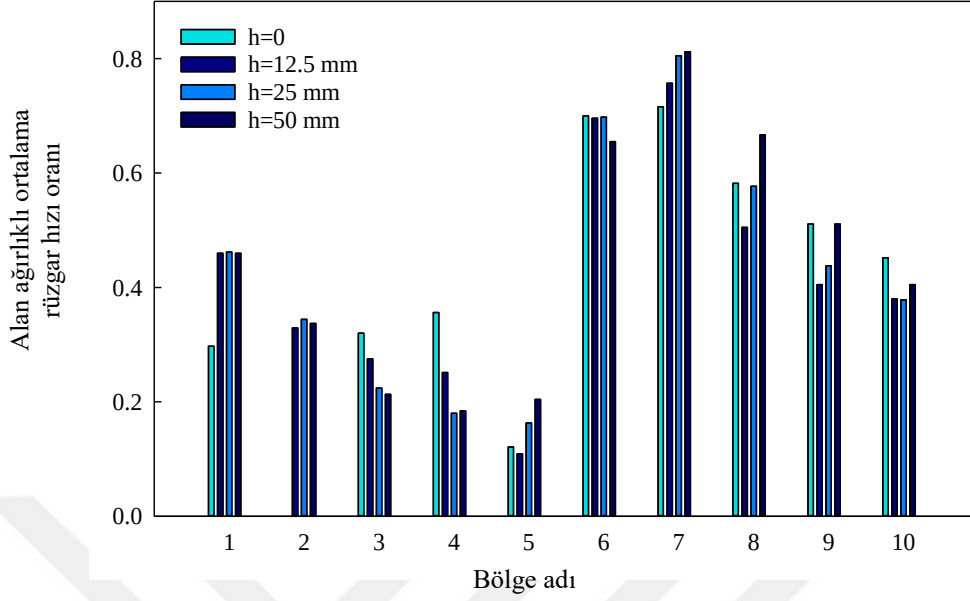
Şekil 92. Alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranlarının hesaplandığı akış bölgeleri

Kare kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafında belirlenen 10 bölgedeki alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranları Tablo 8’de ve Şekil 93’de görülmektedir. Belirlenen bölgelerde hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranları, normal ve yükseltilmiş bina modelleri için farklılık göstermektedir. Kare kesitli yükseltilmiş bina modellerinde rüzgar geliş tarafındaki düşük rüzgar hızı ve model yanlarındaki yüksek rüzgar

hızı bölgelerinde hız değerlerinin arttığı yukarıda belirtilmişti. Bu durumun bir sonucu olarak model önünde düşük rüzgar hızlarının hakim olduğu 1 numaralı bölgede ve model yanlarında yüksek rüzgar hızlarının hakim olduğu 7 numaralı bölgede alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranları yükseltilmiş bina modellerinde daha yüksek olmaktadır. Diğer bölgelerdeki boyutsuz hız değerlerinde ise kararlı bir değişim oluşmamakta ve artış ve azalış gösteren bölgeler çekirdek yüksekliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu farklılık, Xia (2015) tarafından yapılan çalışmada da gözlenmiştir. Söz konusu çalışmada, yükseltilmiş tasarıma sahip binalarda, hız değerlerinin arttığı bölgelere çocuk oyun alanları, otoparklar ve dinlenme alanları gibi kamusal ve ortak kullanım alanlarının yerleştirilmesinin, bu alanlarda yaya seviyesindeki havalandırmayı iyileştirebileceği belirtilmiştir.

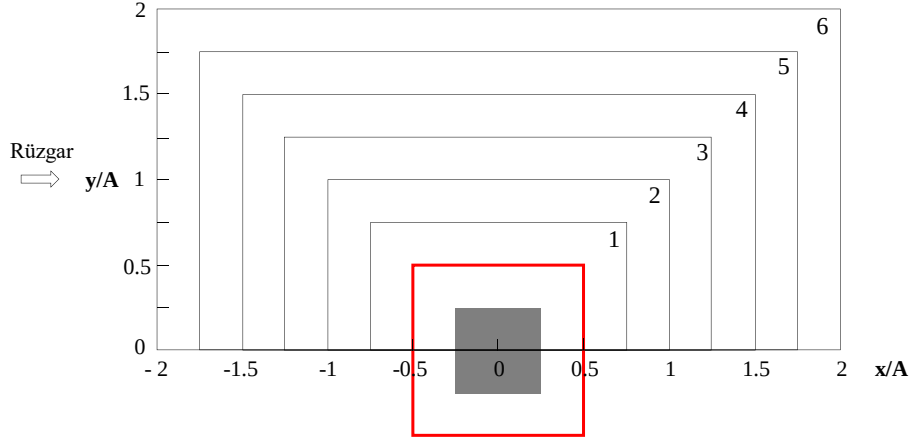
Tablo 8. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip kare kesitli bina modelleri için hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranları

BÖLGE	Normal Bina	Yükseltilmiş Bina		
	(h=0)	h=12.5 mm	h=25 mm	h=50 mm
1	0.297	0.460	0.462	0.460
2	-	0.329	0.344	0.337
3	0.320	0.275	0.224	0.213
4	0.356	0.251	0.180	0.184
5	0.121	0.109	0.163	0.204
6	0.700	0.696	0.698	0.655
7	0.716	0.757	0.805	0.812
8	0.582	0.505	0.577	0.667
9	0.511	0.405	0.438	0.511
10	0.452	0.380	0.378	0.405



Şekil 93. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip kare kesitli bina modelleri için alan ağırlıklı ortalama hız oranları değerlerinin karşılaştırılması

Kare kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafında tanımlanan 10 bölgedeki alan ortalama hız değerleri değerlendirildiğinde, yükseltilmiş bina modellerinde, modellerin yakın çevresinde yer alan rüzgar geliş tarafındaki düşük rüzgar hızı ve model yanlarındaki yüksek rüzgar hızı bölgelerinde hız değerinin arttığı, ancak diğer bölgelerde boyutsuz hız değerlerinde kararlı bir değişimin oluşmadığı görülmüştür. Bu nedenle, kare kesitli yükseltilmiş bina modellerinin yakın çevresindeki rüzgar hızı etkilerini daha ayrıntılı incelemek amacıyla, model etrafında daha geniş bir bölgedeki hız değerleri Şekil 94’de gösterildiği gibi, modeli çevreleyen ve büyüyerek modelden uzaklaşan 6 bölge üzerinden yeniden değerlendirilmiştir.

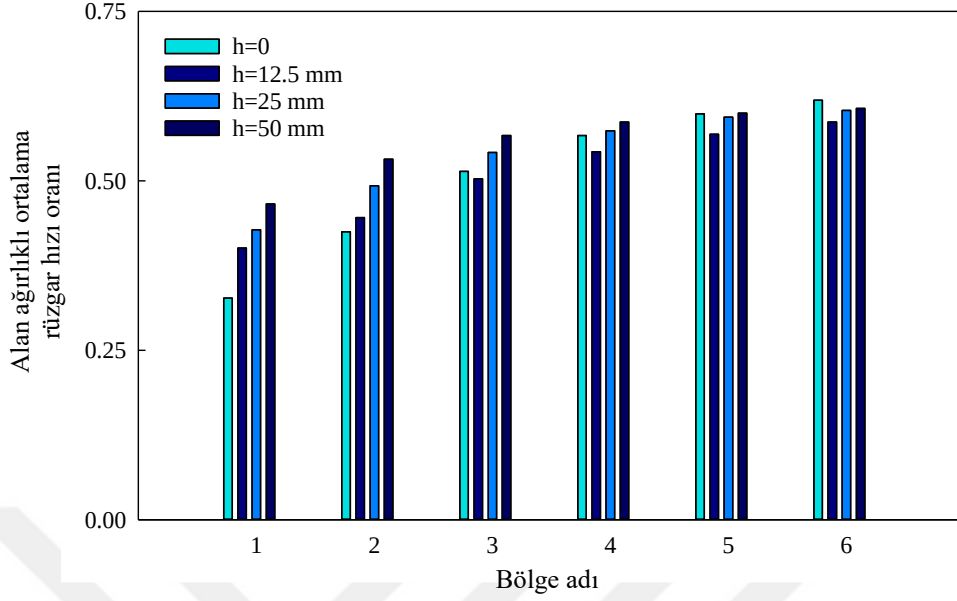


Şekil 94. Bina modellerinin yakın çevresindeki alan ağırlıklı hız değerlerinin hesaplandığı akış bölgeleri

Bu 6 bölgedeki alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri Tablo 9’da ve Şekil 95’de verilmektedir. Yükseltilmiş bina modellerinde bina modeli etrafındaki bölgelerde, normal bina modeline kıyasla, genel olarak daha yüksek alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri oluşmaktadır. Bu durum, yükseltilmiş bina modellerinin yakın çevresinde yaya seviyesindeki rüzgar hızlarının arttığını göstermektedir. Kare kesitli normal bina modeline kıyasla hız değerlerinde sağlanan en iyi artış oranları, 50 mm çekirdek yüksekliğine ve genişliğine sahip yükseltilmiş bina modelinde 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı bölgelerde sırasıyla % 42.4, % 25.0, % 10.2, % 3.5 ve % 0.1 olarak elde edilmiştir.

Tablo 9. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip kare kesitli bina modelleri için model etrafında hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri

BÖLGE	Normal Bina	Yükseltilmiş Bina		
	(h=0)	h=12.5 mm	h=25 mm	h=50 mm
1	0.327	0.401	0.428	0.466
2	0.425	0.446	0.493	0.532
3	0.514	0.503	0.542	0.567
4	0.567	0.543	0.574	0.587
5	0.599	0.569	0.594	0.600
6	0.619	0.587	0.604	0.607



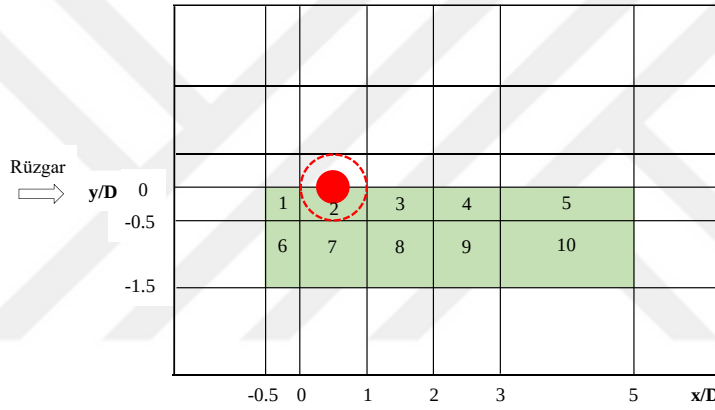
Şekil 95. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip kare kesitli bina modelleri için alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri

4.2.2. Dairesel Kesitli Bina Modelleri

Dairesel kesitli bina modelleri etrafındaki akış alanı yapıları ve hız dağılımları incelendiğinde, yükseltilmiş bina tasarımının, aynı yükseklikteki normal binaya göre, yaya seviyesindeki rüzgar ortamını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Yükseltilmiş bina tasarımı, özellikle bina modeli etrafında rüzgar geliş tarafındaki düşük rüzgar hızı ve model yanlarındaki yüksek rüzgar hızı bölgelerinde belirgin değişikliklere yol açmaktadır. Yükseltilmiş bina modellerindeki yüksek rüzgar hızı bölgeleri, normal bina modelindeki bölgelere kıyasla daha geniş bir alana yayılmaktadır. Yükseltilmiş bina modeline yaklaşan akışın çekirdek etrafından geçmesi, blokaj etkisini azaltmakta ve modelin ön yüzeyinde oluşan ters akışı zayıflatmaktadır. Bu durum, yükseltilmiş bina modellerindeki rüzgar geliş tarafındaki düşük rüzgar hızı bölgelerinin, normal binaya kıyasla çok daha dar bir alanda oluşmasına ve bu dar alanı çevreleyen bölgede rüzgar hızlarının artmasına neden olmaktadır. Bu artış, bina modellerinin orta eksenı boyunca düşey doğrultuda hesaplanan ortalama rüzgar hızı oranı dağılımlarında net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, yükseltilmiş bina modellerinin arkasında oluşan düşük rüzgar hızı bölgeleri de normal bina modelinin arkasında oluşan düşük rüzgar hızı bölgesinden farklı olmaktadır.

Dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki hız profilleri, modellerin arkasında ters akış bölgelerinin oluştuğunu göstermektedir. Normal bina modelinde, model arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerleri model yüksekliğinin yaklaşık 3/4'ü seviyesine kadar negatif olurken, yükseltilmiş bina modellerinde yaklaşık çekirdek yüksekliği seviyesine kadar negatif olmaktadır.

Yükseltilmiş bina tasarımının yaya seviyesindeki rüzgar ortamına olan etkisini nicel olarak değerlendirmek için, modeller etrafındaki akış alanları Şekil 96'da görüldüğü gibi 10 bölgeye ayrılmıştır. Böylece, dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkilerini doğrudan karşılaştırma imkanı sağlanmıştır. Modeller etrafında tanımlanan bölgelerin büyüklükleri, bina çapına (D) göre belirlenmiştir.

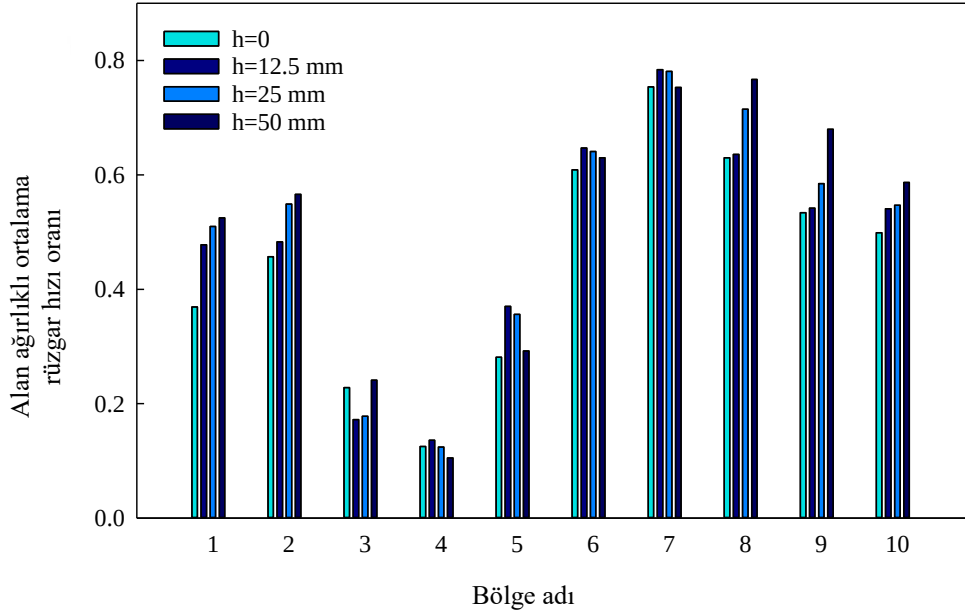


Şekil 96. Alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranlarının hesaplandığı akış bölgeleri

Dairesel kesitli normal ve yükseltilmiş bina modelleri etrafında belirlenen 10 bölgedeki alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranları Tablo 10'da ve Şekil 97'de görülmektedir. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip yükseltilmiş bina modelleri etrafında, normal bina modeline kıyasla, genel olarak daha yüksek alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri oluşmaktadır. Dairesel kesitli yükseltilmiş bina tasarımı yaya seviyesindeki rüzgar hızlarında artışa neden olmaktadır. En yüksek artış, % 42.5 oranıyla 50 mm çekirdek yüksekliğine ve genişliğine sahip yükseltilmiş bina modelinde 1 numaralı bölgede meydana gelmektedir. Bu durum, bina modeline yaklaşan akışın, çekirdek etrafından geçerken modelin ön yüzeyinde oluşan ters akışı zayıflatması ve rüzgar geliş tarafındaki düşük rüzgar hızı bölgesindeki rüzgar hızlarını artmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 10. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip dairesel kesitli bina modelleri için hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranları

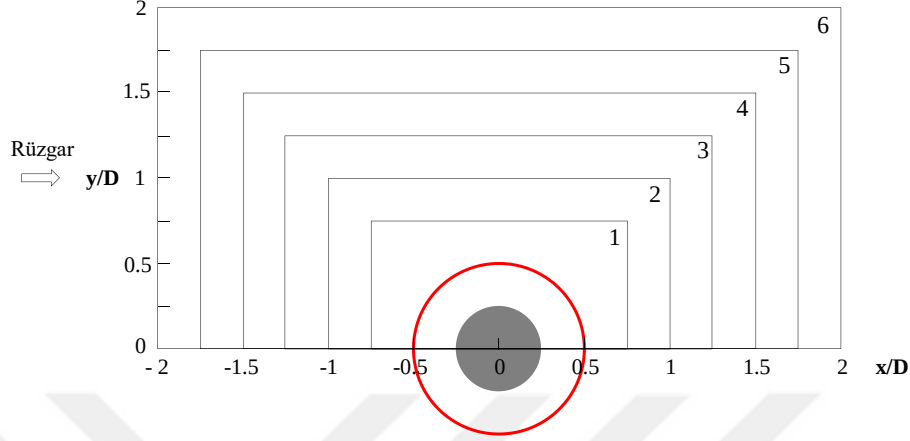
BÖLGE	Normal Bina	Yükseltilmiş Bina		
	(h=0)	h=12.5 mm	h=25 mm	h=50 mm
1	0.369	0.478	0.510	0.525
2	0.457	0.483	0.549	0.566
3	0.228	0.172	0.178	0.241
4	0.125	0.136	0.124	0.105
5	0.281	0.370	0.356	0.292
6	0.609	0.647	0.641	0.630
7	0.754	0.784	0.781	0.753
8	0.630	0.636	0.715	0.767
9	0.534	0.542	0.585	0.680
10	0.499	0.541	0.547	0.587



Şekil 97. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip dairesel kesitli bina modelleri için alan ağırlıklı ortalama hız oranları değerlerinin karşılaştırılması

Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinin yakın çevresindeki rüzgar hızı etkilerini daha ayrıntılı incelemek amacıyla, model etrafında daha geniş bir bölgedeki hız değerleri

Şekil 98’de gösterildiği gibi, modeli çevreleyen ve büyüyerek modelden uzaklaşan 6 bölge üzerinden yeniden değerlendirilmiştir.



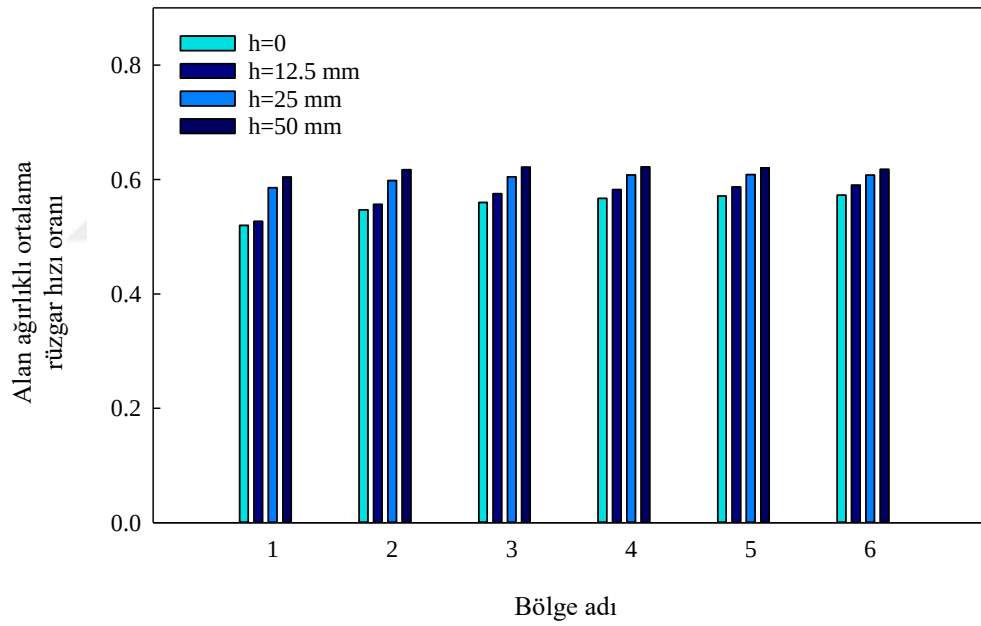
Şekil 98. Bina modellerinin yakın çevresindeki alan ağırlıklı hız değerlerinin hesaplandığı akış bölgeleri

Bu 6 bölgedeki alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri Tablo 11’de ve Şekil 99’da verilmektedir. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip yükseltilmiş bina modellerinin her üçünde de, modellerin yakın çevresi etrafındaki tüm bölgelerde, normal bina modeline kıyasla daha yüksek alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri oluşmakta ve çekirdek yüksekliği arttıkça bu bölgelerdeki alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri de artmaktadır. Dairesel kesitli normal bina modeline kıyasla hız değerlerinde sağlanan en iyi artış oranı, 50 mm çekirdek yüksekliğine ve çapına sahip yükseltilmiş bina modelinde 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı bölgelerde sırasıyla % 16.31, % 12.83, % 11.07, % 9.74 , % 8.71 ve % 7.88 olarak elde edilmiştir.

Kare ve daireli kesitli bina modelleri etrafında hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri, yükseltilmiş bina tasarımlarının yaya seviyesindeki rüzgar hızını önemli ölçüde arttırdığını ve bu artış üzerinde en etkili parametrenin çekirdek yüksekliği olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, dikdörtgen kesitli bir yükseltilmiş bina modelinin incelendiği Tse vd. (2017)’nin çalışmasında da belirtilmiş ve en uygun yükseltilmiş tasarıma sahip bina modelinin belirlenmesinde, öncelikle çekirdek yüksekliğinin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır

Tablo 11. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip dairesel kesitli bina modelleri için model etrafında hesaplanan alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri

BÖLGE	Normal Bina	Yükseltilmiş Bina		
	(h=0)	h=12.5 mm	h=25 mm	h=50 mm
1	0.5198	0.5270	0.5859	0.6045
2	0.5473	0.5567	0.5984	0.6175
3	0.5599	0.5756	0.6049	0.6218
4	0.5671	0.5825	0.6080	0.6223
5	0.5711	0.5872	0.6087	0.6208
6	0.5728	0.5902	0.6078	0.6179



Şekil 99. Farklı çekirdek yüksekliklerine sahip dairesel kesitli bina modelleri için alan ağırlıklı ortalama rüzgar hızı oranı değerleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kare ve dairesel kesitli normal ve merkezi bir çekirdek ile yerden yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Rüzgar tüneline modellenen atmosferik sınır tabaka akışı içine yerleştirilen bina modellerinin yüzeylerinde farklı rüzgar geliş açıları için ortalama ve çalkantı basınçları ölçülmüştür. Yükseltilmiş bina modellerinde, çekirdek yüksekliğinin model yüzeylerindeki basınç dağılımlarına ve modeller etrafındaki hız dağılımlarına etkisini incelemek amacıyla, farklı çekirdek yükseklikleri için ilave sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümlerden elde edilen akış alanı yapıları ve hız dağılımları incelenerek çekirdek yüksekliğinin yaya seviyesindeki rüzgar ortamına etkileri değerlendirilmiştir. Model kesit tipi, rüzgar geliş açısı, bina modelinin yükseltilme durumu ve çekirdek yüksekliği gibi parametrelerin bina modellerinin yüzeylerinde oluşan basınç dağılımlarına ve modeller etrafındaki türbülanslı akış yapısına etkileri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Çalışma kapsamında incelenen tüm bina modellerinde, $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında, modellerin ön yüzeylerinde itme etkisi nedeniyle pozitif basınç değerleri, modellerin düz çatıları ve arka yüzeylerinde ise emme etkisi nedeniyle negatif basınç değerleri oluşmaktadır.

2) Çalışma kapsamında incelenen tüm bina modellerinde, çatı üzerinde rüzgar geliş tarafında daha kritik olan emme etkisi, çatı üzerinde akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır.

3) Kare kesitli bina modellerinde, rüzgar geliş açısının artmasıyla birlikte ön yüzeylerdeki itme etkisi ve rüzgar geliş yönündeki yan yüzeylerindeki emme etkisi azalmaktadır.

4) Kare kesitli normal bina modelinde en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında sırasıyla -3.34 ve -3.85 değerleriyle 45° 'lik rüzgar geliş açısında ortaya çıkmaktadır.

5) Kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde en kritik ortalama ve minimum basınç katsayıları rüzgar geliş tarafındaki çatı ön köşesi yakınında sırasıyla -3.38 ve -3.86 değerleriyle 45° 'lik rüzgar geliş açısında ortaya çıkmaktadır.

6) $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında, kare kesitli yükseltilmiş bina modelinde çatı üzerindeki emme etkisine oranla yan yüzeyde daha kritik olan emme etkisi dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinde çatı üzerinde daha kritik olacak şekilde farklılaşmaktadır.

7) $\theta=0^\circ$ rüzgar geliş açısında, kare kesitli bina modelinin yerden yükseltilmesi yan yüzeylerde yaklaşık % 21 ve çatı üzerinde yaklaşık % 24 oranında emme etkisini arttırmaktadır.

8) Dairesel kesitli bina modelinin yerden yükseltilmesi yan yüzeylerde yaklaşık % 7.5 ve çatı üzerinde yaklaşık % 9 oranında emme etkisini arttırmaktadır.

9) Dairesel kesitli bina modellerinde, normal ve yükseltilmiş bina modeli durumları arasında basınç dağılımlarındaki fark, kare kesitli bina modellerine kıyasla daha az olmaktadır.

10) Kare ve dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde çekirdek üzerindeki bölümün taban yüzeylerinde oldukça kritik emme etkisi oluşmaktadır.

11) Çekirdek yüksekliği arttıkça, hem kare hem de dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde çekirdek yüzeylerindeki emme etkisi artmaktadır.

12) Hem kare hem de dairesel kesitli bina modellerinde modellerin yükseltilme durumu, özellikle bina modelleri etrafında oluşan düşük rüzgar hızı ve yüksek rüzgar hızı bölgelerinde belirgin değişikliklere yol açmaktadır. Artan çekirdek yüksekliğiyle birlikte rüzgar geliş tarafındaki düşük rüzgar hızı bölgelerinin etki alanı azalırken, yüksek rüzgar hızı bölgelerinin etki alanı artmaktadır.

13) Hem kare hem de dairesel kesitli yükseltilmiş bina modellerinde, normal bina modellerine kıyasla hız değerlerinde sağlanan en iyi artış oranı, 50 mm çekirdek yüksekliğine ve genişliğine/çapına sahip yükseltilmiş bina modelinde oluşmaktadır.

14) Dairesel kesitli bina modellerinde, normal bina modeli arkasında ilk istasyondaki hız profilinde yerel hız değerleri model yüksekliğinin 3/4'ü seviyesine kadar negatif olurken, yükseltilmiş bina modellerinde aynı istasyondaki negatif hız değerleri çekirdek yüksekliği seviyesinde olmaktadır.

6. ÖNERİLER

Yükseltilmiş bina modelleri etrafındaki rüzgar etkilerini ve yükseltilmiş bina tasarımlarının yaya konforu üzerindeki etkilerini daha doğru bir şekilde anlamak için en uygun tasarım parametrelerini belirlemek amacıyla mevcut çalışmanın kapsamının ötesinde gelecekteki araştırmalar için aşağıdaki çalışmalar önerilmektedir.

- Bina modelleri etrafındaki akış alanlarının daha doğru bir şekilde incelenmesi için teorik çalışmalar, deneysel çalışmalarla desteklenebilir. Ortalama hız ve türbülans ölçümleri için Kızgın Tel Anemometre (HWA), Laser Doppler Anemometre (LDA) ve Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçer (PIV) gibi ileri ölçüm teknikleri kullanılarak daha hassas sonuçlar elde edilebilir.
- Akış alanları, zaman bağımlı çözümler için kullanılan Large Eddy Simulation (LES) gibi ileri türbülans modelleri ile çözülerek deneysel verilere daha yakın sayısal sonuçlar türetilir.
- Farklı geometrik yapılara sahip binalar etrafındaki akış alanlarının bina boyutu, çekirdek yüksekliği, çekirdek genişliği ve bina sayısı gibi parametreler açısından deneysel ve sayısal olarak incelenmesi konunun kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkı sağlayabilir.
- Yükseltilmiş bina modellerinin, birden çok çekirdek, kolon veya perde duvar ile oluşturularak incelenmesiyle bu alanda uygulamaya yönelik yeni bilgiler sağlanabilir.

7. KAYNAKLAR

- Abdelfatah, N., Elawady, A., Irwin, P., & Chowdhury, A.G. (2022). Experimental investigation of wind impact on low-rise elevated residences. *Engineering Structures*, 257, 114096.
- Allegrini, J., & Lopez, B. (2016). The influence of angular configuration of two buildings on the local wind climate. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 156, 50-61.
- Aly A.M. (2014). influence of turbulence, orientation, and site configuration on the response of buildings to extreme wind. *The Scientific World Journal*. 2014 (2), 15.
- Amini, M., & Memari, A.M. (2021a). CFD-based evaluation of elevated coastal residential buildings under hurricane wind loads. *Journal of Architectural Engineering*, 27(3), 04021014-1-19.
- Amini, M., & Memari, A.M. (2021b). LES simulations of wind-induced pressure on the floor system underside of elevated buildings. *Wind and Structures*, 33(5), 397-407.
- Blocken, B., Stathopoulos, T., & Carmeliet, J.E. (2008a). Wind environmental conditions in passages between two long narrow perpendicular buildings. *Journal of Aerospace Engineering*, 21(4), 280- 287.
- Blocken, B., Carmeliet, J., & Stathopoulos, T. (2007). CFD evaluation of wind speed conditions in passages between parallel buildings effect of wall-function roughness modifications for the atmospheric boundary layer flow. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95(9-11), 941-962.
- Blocken, B., Janssen, W.D., & van Hooff, T. (2012). CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University campus. *Environmental Modelling & Software*, 30, 15-34.
- Blocken, B., Moones, P., Stathopoulos, T., & Carmeliet, J.E. A numerical study on the existence of the venturi-effect in passages between perpendicular buildings. *Journal of Engineering Mechanics*, 134(12), 1021-1028.
- Blocken, B., Stathopoulos, T., Carmeliet, J., & Hensen, J.L.M. (2011). Application of computational fluid dynamics in building performance simulation for the outdoor environment: An overview. *Journal of Building Performance Simulation*, 4(2), 157-184.
- Bottema, M. (1993). *Wind climate and urban geometry*. Technische Universiteit Eindhoven, Dokora tezi, Eindhoven.
- Brutsaert, W. (1982). *Evaporation into the atmosphere: theory, history and applications*. Dordrecht: Springer Science+Business Media.

- Businger, J.A., Wyngaard, J.C., Izumi, Y. & Bradley, E.F. (1971). Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 28(2), 181-189.
- Castro, I.P., & Robins, A.G. (1977). The flow around a surface mounted cube in uniform and turbulent streams. *Journal of Fluid Mechanics*, 79(2), 307-335.
- Cermak, J.E. (1971). Laboratory simulation of the atmospheric boundary layer. *AIAA Journal*, 9(9), 1746-1754.
- Cermak, J.E. (1998). *Wind tunnel studies of buildings and structures -ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 67*. American Society of Civil Engineers.
- Cermak, J.E., & Arya, S.P.S. (1970). Problems of atmospheric shear flow and their laboratory simulation, *Boundary-Layer Meteorology*, 1, 40-60.
- Chen, L., & Mak, C. M. (2021a). Numerical evaluation of pedestrian-level wind comfort around “lift-up” buildings with various unconventional configurations. *Building and Environment*, 188, 107429.
- Chen, L., & Mak, C. M. (2021b). Integrated impacts of building height and upstream building on pedestrian comfort around ideal lift-up buildings in a weak wind environment. *Building and Environment*, 200, 107963.
- Cochran, L., & Derickson, R. (2005). Low-rise buildings and architectural aerodynamics. *Architectural Science Review*, 48, 265–276.
- Cook, N.J. (1985). *The designer’s guide to wind loading of building structures - Part 2: Static structures*, London: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Counihan, J. (1975). Adiabatic atmospheric boundary layers: a review and analysis of data from the period 1880 – 1972. *Atmospheric Environment*, 10(9), 871-905.
- Counihan, J., (1969). An improved method of simulating an atmospheric boundary layer in a wind tunnel. *Atmospheric Environment*, 3 (2), 197–214.
- Counihan, J., (1973). Simulation of an adiabatic urban boundary layer in a wind tunnel. *Atmospheric Environment*, 7, 673–689.
- Cürebal, T. (2016). *Boru ekleme parçalarındaki akışın üç boyutlu incelenmesi*. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Trabzon.
- Cürebal, T., & Özmen, Y. (2022). Açılı konumlandırılmış iki bina arasındaki açının hız ve basınç dağılımı üzerine etkisinin sayısal incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 361-371.
- Çengel, Y.A., & Cimbala, J.M. (2008). *Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları*, İzmir: Güven Kitapevi.

- Davenport, A.G. , & Isyumov, N. (1967). The application of the boundary layer wind tunnel to the prediction of wind loading. *International Research Seminar: Wind Effects on Buildings and Structures*, University of Toronto Press, s. 210-230. Ottawa, Canada.
- de Dear, R., & Kim, J. (2016). Thermal comfort inside and outside buildings. *Advanced Environmental Wind Engineering*, 89–99.
- Demir, H. (2021). Numerical investigation of wind loads on building with various turbulence models. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 37(2), 356-366.
- Du, Y., Mak, C.M., Huang, T., & Niu, J. (2017). Towards an integrated method to assess effects of lift-up design on outdoor thermal comfort in hong kong, *Building and Environment*, 125, 261-272.
- Du, Y., Mak, C.M., Huang, T., & Niu, J. (2017). Towards an integrated method to assess effects of lift-up design on outdoor thermal comfort in Hong Kong. *Building and Environment*, 125, 261-272.
- Dyrbye, C., & Hansen, S. O. (1996). Wind loads on structures, Wiley.
- Eaton, K.J., Mayne, J.R., & Cook, N.J.. (1975). Wind loads on low-rise buildings effects of roof geometry. *4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, s. 8-12. London.
- Fackrell, J. E. (1984). Parameters characterising dispersion in the near wake of buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 16(1),97-118.
- Garratt, J. R. (1994). *The atmospheric boundary layer*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gu M., & Quan Y. (2004). Across-wind loads of typical tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 92(13), 1147-1165.
- Gu, M., Zhou, Y., Zhang, F., & Xiang, H.F. (1999). Dynamic responses and equivalent wind loads of the Jin Mao Building in Shanghai. *Wind Engineering Into The 21st Century: Proceedings of the Tenth International Conference on Wind Engineering*, s. 1497–504. Kopenhagen, Denmark.
- Gumley, S.J. (1984). A parametric study of extreme pressures for the static design of canopy structures, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 16(1),43-56.
- Holmes, J. D. (2001). Wind loading of structures. New York: CRC Press.
- Huang, T., Li, J., Xie, Y., Niu, J., & Mak, C.M. (2017). Simultaneous environmental parameter monitoring and human subject survey regarding outdoor thermal comfort and its modelling. *Building and Environment*, 125, 502-514.
- Hunte S. (2010). Testing the application of cfd for building design. Delft Teknoloji Üniversitesi, Yüksek lisans Tezi, Hollanda.

- Irtaza, H., Beale, R.G., Godley, M.H.R., & Jameel, A. (2013). Comparison of wind pressure measurements on Silsoe experimental building from full-scale observation, wind-tunnel experiments and various CFD techniques. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 5 (1), 28-41.
- Irwin, H.P.A.H., (1981). The design of spires for wind simulation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 7, 361–366.
- Ishizaki, H., & Sung, I.W. (1971). Influence of adjacent buildings to wind. In: *Proceedings of the Third International Conference Wind Effects on Buildings and Structures*, s. I.15.1–I.15.8. Tokyo.
- Isyumov, N., Davenport, A. G. (1975). The ground level wind environment in built up areas, *4th International Conf. On Wind Effects on Buildings and Structures*, London.
- Jamieson, N.J., Carpenter, P., & Cenek, P.D. (1992). The effect of architectural detailing on pedestrian level wind speeds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 44(1-3), 2301-2312.
- Jiang, Z., & Gao, W. (2021). Impact of enclosure boundary patterns and lift-up design on optimization of summer pedestrian wind environment in high-density residential districts. *Energies*, 14(11), 3199.
- Kaimal, J. C., & Finnigan, J. J. (1994). *Atmospheric boundary layer flows: their structure and measurement*. New York: Oxford Academic.
- Kanda, M., & Maruta, E., (1993). Characteristics of fluctuating wind pressure on long low-rise buildings with gable roofs. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 50, 173-182.
- Kawai H. (1998). Effects of corner modifications on aeroelastic instabilities of tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76, 719-729.
- Kawai, H., & Nishimura, G. (1996). Characteristics of fluctuating suction and conical vortices on a flat roof in oblique flow. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 60, 211-225.
- Kaydok, T. (2014). *Farklı kesitlere sahip yüksek binalar üzerinde türbülanslı akışların sayısal incelenmesi*. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Kind, R.J. (1986). Worst Suctions Near Edges of Flat Rooftops on Low-Rise Buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 25, 31-47.
- Kim, J. H., Moravej, M., Sutley, E. J., Chowdhury, A., & Dao T. N. (2020). Observations and analysis of wind pressures on the floor underside of elevated buildings. *Engineering Structures*, 221, 111101.
- Kline, S.J., & McClintock, F.A. (1953). Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, *Mechanical Engineering*, 75(1), 3-8.

- Koyuncu, G.N. (2019). *Yüksek katlı yapı tasarımında rüzgar faktörünün yaya konforuna etkisi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kumar S., Irwin P.A., & Davies A., (2006). Design of tall building for wind: wind tunnel vs. Codes/Standards, *Third National Conference on Wind Engineering*, s. 318-325.
- Kuo, C.Y., Tzeng, C.T., Ho, M.C., & Lai, C.M. (2015). Wind tunnel studies of a pedestrian-level wind environment in a street canyon between a high-rise building with a podium and low-level attached houses. *Energies*, 10942-10957.
- Letchford, C.W. (1995). Simultaneous flow visualization and pressure measurements on the texas tech building, *Proceedings of the 9th National Conference on Wind Engineering*, s. 524 535. New Delhi, India.
- Letchford, C.W., & Ginger, J.D. (1992). Wind loads on planar canopy roofs – part 1: mean pressure distributions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 45(1), 25-45.
- Levitan, M.L., & Mehta, K.C. (1992a). Texas tech field experiments for wind loads part I: building and pressure measurement system. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 43(1-3), 1565-1576.
- Levitan, M.L., & Mehta, K.C. (1992b). Texas tech field experiments for wind loads part II: meteorological instrumentation and terrain parameters, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 43(1-3), 1577-1588.
- Li, B., Luo, Z., Sandberg, M., & Liu J. (2015) Revisiting the ‘venturi effect’ in passage ventilation between two non-parallel buildings. *Building and Environment*, 94, 714-722.
- Li, Q.S., Fu, J.Y., Xiao, Y.Q., Li, Z.N., Xie, Z.N., & Gu, M. (2006). Wind tunnel and full-scale study of wind effects on China’s tallest building. *Engineering Structures*, 28(12), 1745-1758.
- Li, Q.S., Xiao, Y.Q., Fu, J.Y., & Li, Z.N. (2007). Full-scale measurements of wind effects on the Jin Mao building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95(6), 445-466.
- Liu, J.L., Niu, J.L., & Xia, Q. (2016). Combining measured thermal parameters and simulated wind velocity to predict outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 105, 185-197.
- Lloyd, A. (1967). The generation of shear flow in a wind tunnel, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 93(395), 79-96.
- Miyashita, K., Katagiri, J., Nakamura, O., Ohkuma, T., Tamura, Y., Itoh, M., & 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.

- Mo, Z., & Liu, C.H. (2018). A wind tunnel study of ventilation mechanism over hypothetical urban roughness: The role of intermittent motion scales., *Building and Environment*, 135,94-103.
- Murakami, S., Uehara, K., & Komine, H. (1979). Amplification of wind speed at ground level due to construction of high-rise building in urban area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 4 (3-4), 343-370.
- Nagip, H.M., Morkovin, M.V., Yung, J.T., & Tan-atichat, J. (1976). On modelling of atmospheric surface layers by the counter jet technique. *AIAA Journal*, 14 ,185-190.
- Ng, E., Yuan, C., Chen, L., Ren, C., & Fung J.C.H. (2011). Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 101(1), 59-74.
- Niu, J., Liu, J., Lee, T., Lin, Z., Mak, C., Tse, K.-T., Tang, B., & Kwok, K.C.S. (2015). A new method to assess spatial variations of outdoor thermal comfort: Onsite monitoring results and implications for precinct planning. *Building and Environment*, 91, 263-270.
- Özmen, Y., & Aksu, E. (2013). Düz Çatılı Silindirik Bir Bina Üzerinden Türbülanslı Akış, *ULIBTK'13*, Samsun.
- Özmen, Y., & Aksu, E. (2017). Wind pressures on different roof shapes of a finite height circular cylinder. *Wind and Structures*, 24(1), 25-41.
- Özmen, Y., & Kaydok, T. (2014). Kare kesitli bir yüksek bina üzerindeki türbülanslı akışın sayısal olarak incelenmesi. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*. 17(2), 15-25.
- Özmen, Y., & Kaydok, T., (2015). Farklı kesitlere sahip yüksek binalar üzerinde rüzgar etkilerinin sayısal incelenmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 488(60), 40-49.
- Özmen, Y., (2006). *Farklı çatı tipleri ve eğimlerdeki binalar üzerinde rüzgar etkilerinin deneysel ve teorik incelenmesi*. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Özmen, Y., Baydar, E., & van Beeck, J.P.A.J. (2016). Wind flow over the low-rise building models with gabled roofs having different pitch angles. *Building and Environment*, 95, 63-74.
- Panofsky, H.A. (1974). The atmospheric boundary layer below 150 meters. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 6, 147-177.
- Pendwarden, A.D., & Wise, A.F.E. (1975). Wind environment around buildings. Building Research Establishment Digest.
- Peterka, J. A., Meroney, R. N., & Kothari, K. M. (1985). Wind flow patterns about buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 21(1), 21–38.

- Pourteimouri, P., Campmans, G.H.P., Wijnberg, K.M. & Hulscher, S.J.M.H. (2022). A numerical study on the impact of building dimensions on airflow patterns and bed morphology around buildings at the beach. *Journal of Marine Science and Engineering*, **10**(1), 34.
- Richards, P.J., & Hoxey, R.P. (2012). Pressures on a cubic building-part 1: full-scale results. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 102, 72-86.
- Richards, P.J., Hoxey, R.P., & Short, L.J. (2001). Wind pressures on a 6 m cube. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89(14–15), 1553-1564.
- Roth, M., & Chow, W.T.L. (2012). A historical review and assessment of urban heat island research in Singapore. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 33(3), 381–397.
- Sarkar, P.P., Zhao, Z.Z., & Mehta, K.C. (1997). Flow visualization and measurement on the roof of the texas tech building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 69-71, 597-606.
- Schon, J.P. & Mery, P. (1971). A Preliminary Study of the Simulation of Neutral Atmospheric Boundary Layer Using Air Injection in a Tunnel. *Atmospheric Environment*, 5(5), 299-311.
- Sha, C., Wang, X., Lin, Y., Fan, Y., Chen, X., & Hang, J. (2018). The impact of urban open space and 'lift-up' building design on building intake fraction and daily pollutant exposure in idealized urban models. *Science of The Total Environment*, 633, 1314-1328.
- Stathopoulos, T. (2009). Wind And Comfort. *5th European and African Conference on Wind Engineering*, s. K.67-82. Italy.
- Stathopoulos, T., & Baskaran, B. A. (1996). Computer simulation of wind environmental conditions around buildings. *Engineering Structures*, 18(11), 876–885.
- Stathopoulos, T., & Storms, R. (1986). Wind environmental conditions in passages between buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 24(1), 19-31.
- Stathopoulos, T., & Zhou, Y.S. (1995). Numerical evaluation of wind pressures on flat roofs with the $k-\epsilon$ model, *Building and Environment*, 30(2), 267-276.
- Stathopoulos, T., Baskaran, A., & Goh, P. A. (1990). Full scale measurements of wind pressures on flat roof corners. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 36(2), 1063-1072.
- Stull, R. B. (1988). *An introduction to boundary layer meteorology*. Springer Science & Business.
- Sutton, O. G. 1953 *Micrometeorology*, New York: McGraw-Hill.
- Tennekes, H. (1973). The logarithmic wind profile. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 30, 234-238.

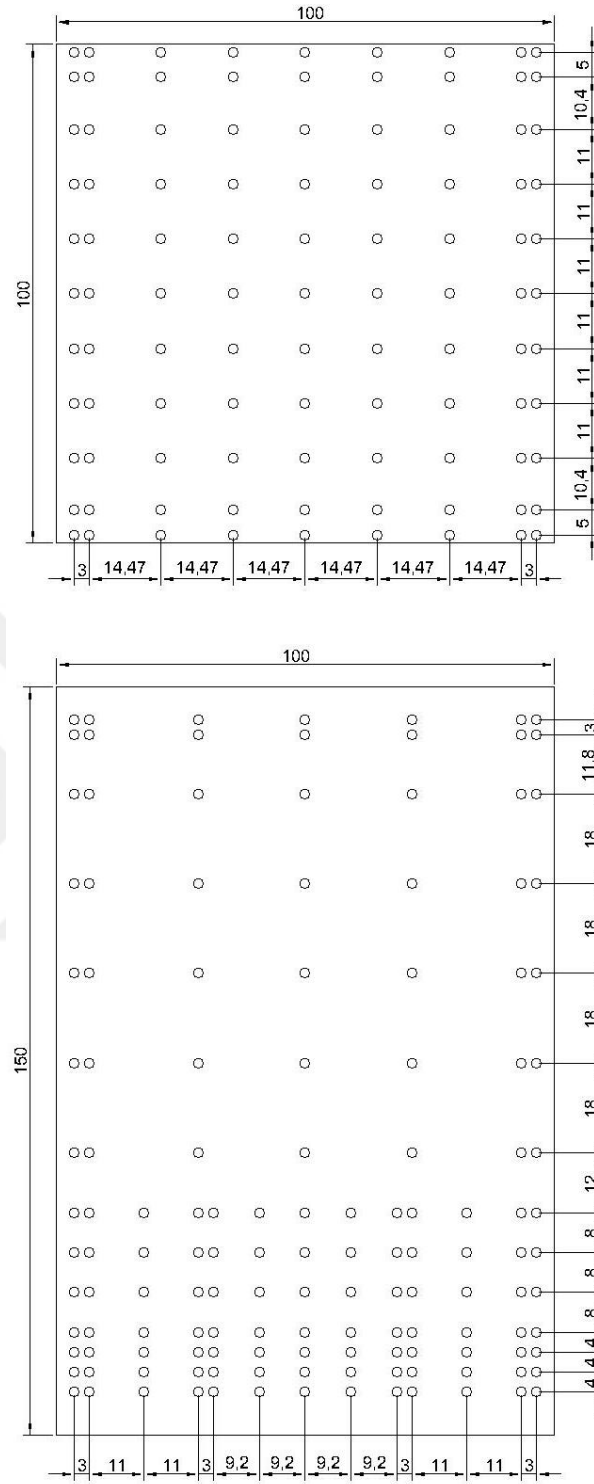
- Tsang, C.W., Kwok, K.C.S., & Hitchcock, P.A. (2012). Wind tunnel study of pedestrian level wind environment around tall buildings: Effects of building dimensions, separation and podium, *Building and Environment*, 49, 167-181.
- Tse, K.T., Zhang, X., Weerasuriya, A.U., Li, S.W., Kwok, K.C.S., Mak, C.M., & Niu, J.L. (2017). Adopting ‘lift-up’ building design to improve the surrounding pedestrian-level wind environment, *Building and Environment*, 117, 154-165.
- Tutar, M., & Oguz, G. (2002) Large eddy simulation of wind flow around paralel buildings with varying configurations. *Fluid Dynamics Research* , 31, 289 315.
- Uematsu, Y., & Isyumov, N. (1999). Wind pressures acting on low-rise buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 82, 1-25.
- Uematsu, Y., Moteki T., & Hongo T. (2008). Model of wind pressure field on circular flat roofs and its application to load estimation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(6-7), 1003–1014.
- van Druenen, T., van Hooff, T., Montazeri, H., & Blocken, B. (2019). CFD evaluation of building geometry modifications to reduce pedestrian-level wind speed, *Building and Environment*, 163,106293.
- van Hooff, T., & Blocken, B. (2010). Coupled urban wind flow and indoor natural ventilation modelling on a high-resolution grid: A case study for the Amsterdam ArenA stadium. *Environmental Modelling & Software*, 25(1), 51-65.
- van Hooff, T., Blocken, B., Aanen, L., & Bronsema, B. (2011). A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: Wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. *Building and Environment*, 46(9), 1797-1807.
- Wagaman, S.A. (1993). *Full-scale flow visualization over a low-rise building*, Texas Tech University, Yüksek lisans tezi, Lubbock, Texas.
- Weerasuriya, A. U. (2013). computational fluid dynamic (cfd) simulation of flow around tall buildings. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers*, 46(3), 43.
- Weerasuriya, A.U., Zhang, X., Lu, B., Tse, K.T., & Liu, C.H. (2020). Optimizing lift-up design to maximize pedestrian wind and thermal comfort in ‘hot-calm’ and ‘cold-windy’ climates. *Sustainable Cities and Society*, 58, 102146.
- Wei, Y., Wong, N.H., & Jusuf, S.K. (2013). Thermal comfort in outdoor urban spaces in Singapore. *Building and Environment*, 59, 426–435.
- Willemsen, E., & Wisse, J. A. (2007). Design for wind comfort in The Netherlads: Procedures, criteria and open research Issues. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95(9-11), 1541-1550.
- Wiren B.G. (1975). A wind tunnel study of wind velocities in passages between and through buildings, *Proceedings of the 4th International Conference Wind Effects on Buildings and Structures*, s. 465-475. Cambridge,

- Xia, Q., Liu, X., Niu, J., & Kwok, K.C.S. (2015). Effects of building lift-up design on the wind environment for pedestrians, *Indoor and Built Environment*, 26(9), 1214-1231.
- Xing, F., Mohotti, D., & Chauhan, K. (2018). Experimental and numerical study on mean pressure distributions around an isolated gable roof building with and without openings. *Building and Environment*, 132, 30-44.
- Yiğit, C. Ö., & İnal, C. (2011). Yüksek bir binanın rüzgar tepkisinin farklı sensörler ile tam ölçekli izlenmesi ve sensör entegrasyonuna ilişkin ön analiz sonuçları. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (104), 30-40.
- Yuan, C., & Ng, E. (2012). Building porosity for better urban ventilation in high-density cities- A computational parametric study. *Building and Environment*, 50, 176-189.
- Zhang, A., Gao, C., & Zhang, L. (2005). Numerical simulation of the wind field around different building arrangements. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(12), 891-904.
- Zhang, X., (2018). *Wind circulation and pedestrian wind comfort near buildings with a 'lift-up' design*. HKUST, İnşaat Mühendisliği, Doktora Tezi, Hong Kong.
- Zhang, X., Gao, Y., Tao, Q., Min, Y., & Fan, J. (2023). J. (2023). Improving the pedestrian-level wind comfort by lift-up factors of panel residence complex: Field-measurement and CFD simulation. *Building and Environment*, 229, 109947.
- Zhang, X., Tse, K.T., Weerasuriya, A.U., Kwok, K.C.S., Niu, J., Lin, Z., & Mak, C.M. (2018). Pedestrian-level wind conditions in the space underneath lift-up buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 179, 58-69.
- Zhang, X., Tse, K.T., Weerasuriya, A.U., Li, S.W., Kwok, K.C.S., Mak, C.M., Niu, J., & Lin, Z. (2017). Evaluation of pedestrian wind comfort near 'lift-up' buildings with different aspect ratios and central core modifications. *Building and Environment*, 124, 245-257.
- Zheng, C., Li, Y., & Wu, Y. (2016). Pedestrian-level wind environment on outdoor platforms of a thousand-meter-scale megatall building: Sub-configuration experiment and wind comfort assessment. *Building and Environment*, 106, 313-326.
- Zorer Gedik, G., Çaçan, R. (2013). Farklı iklim bölgelerinde açık alan rüzgar konforu değerlerinin belirlenmesi. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, s. 1987-1994. İzmir.

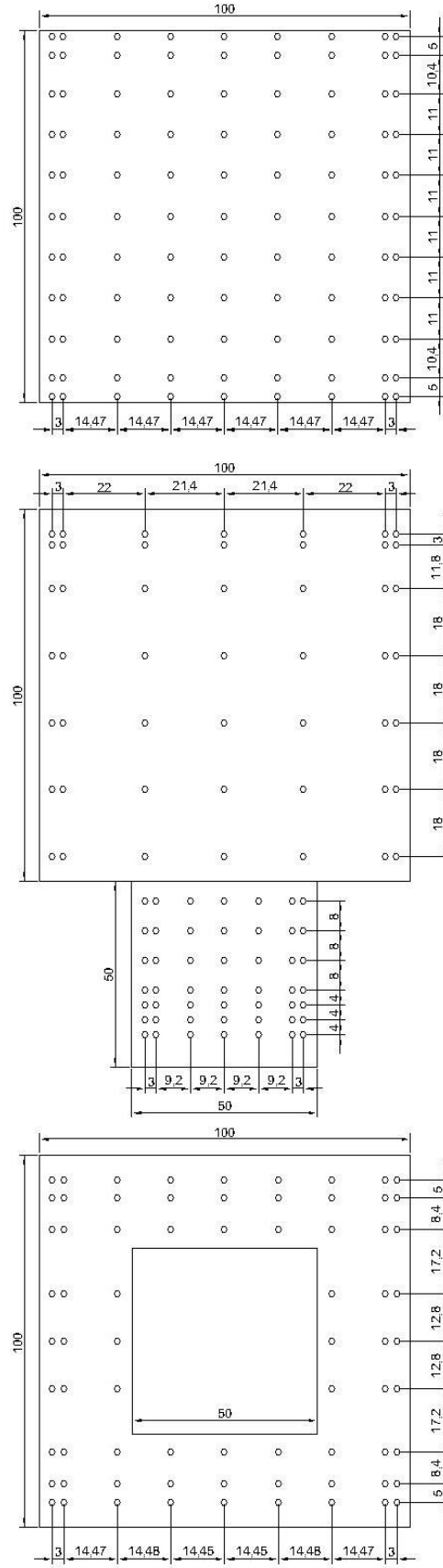
8. EKLER

Ek 1. Basınç Ölçüm Delikleri

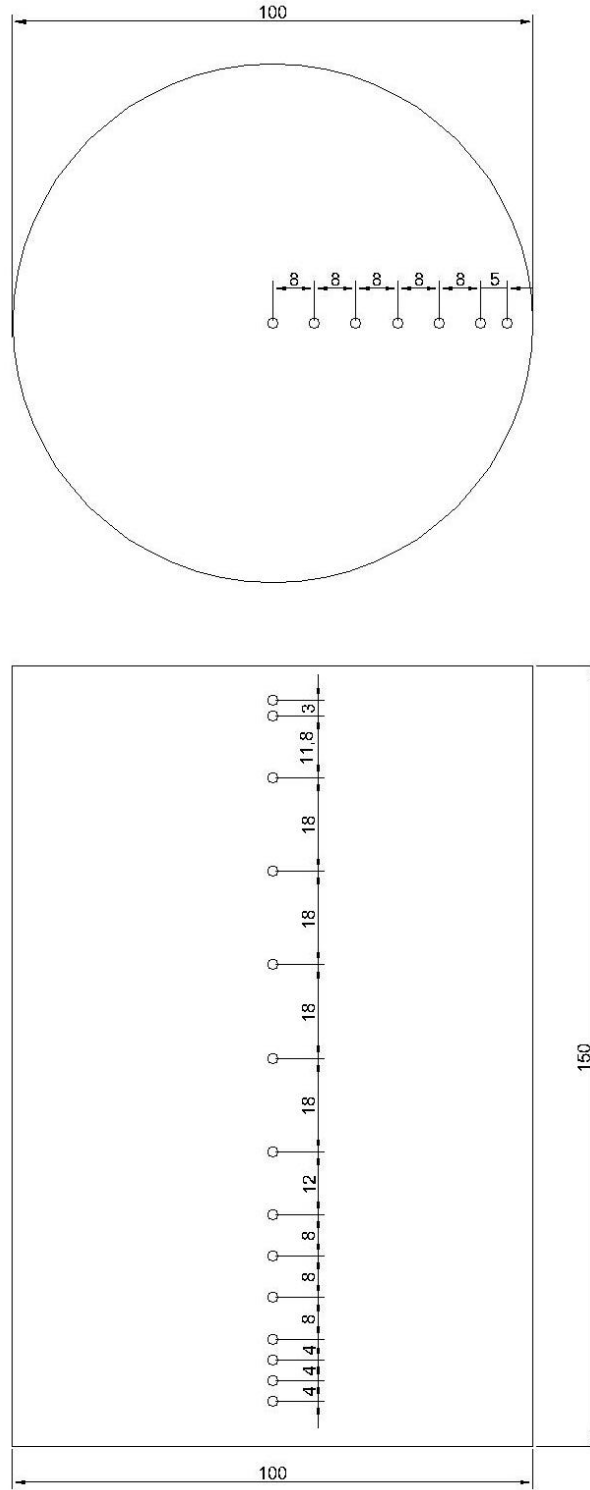
Deneyisel çalışmada, $A=100$ mm kenar uzunluğuna ve $H=150$ mm yüksekliğe sahip kare kesitli normal bina modeli, $D=100$ mm çapa ve $H=150$ mm yüksekliğe sahip dairesel kesitli bina normal modeli, genişliği $a=50$ mm olan kare kesitli bir çekirdek ile yerden $h=50$ mm yükseltilmiş kare kesitli bina modeli ve çapı $d=50$ mm olan dairesel kesitli bir çekirdek ile yerden $h=50$ mm yükseltilmiş dairesel kesitli bina modeli olmak üzere dört farklı bina modeli kullanılmıştır. Bina modellerinin yüzeylerindeki basınç dağılımlarını belirlemek amacıyla, modellerin yüzeylerine 1 mm çaplı delikler açılarak basınç ölçüm prizleri yerleştirilmiştir. Özellikle emme etkilerinin kritik olduğu bölgelerde ve zeminden itibaren yaya seviyesine denk gelen konumlarda ölçüm noktaları yoğunlaştırılmıştır. Kare kesitli bina modellerinde, model ön, arka ve yan yüzeylerindeki basınç ölçüm prizlerinin konumları ve sayıları aynıdır. Normal ve yükseltilmiş kare kesitli bina modellerinin yüzeylerine açılan basınç ölçüm prizlerinin detaylı konumları sırasıyla Şekil E.1 ve Şekil E.2’de verilmektedir. Dairesel kesitli bina modellerinde basınç ölçüm prizleri modellerin yan yüzeyleri ve çatıları üzerinde tek çizgisel hat şeklinde açılmış ve modellerin 15° açısı aralığında döndürülmesiyle tüm yüzey boyunca basınç değerleri elde edilmiştir. Normal ve yükseltilmiş dairesel kesitli bina modellerinin yüzeylerindeki basınç ölçüm prizlerinin detaylı konumları sırasıyla Şekil E.3 ve Şekil E.4’de gösterilmektedir. Tüm ölçüler milimetre cinsinden verilmiştir.



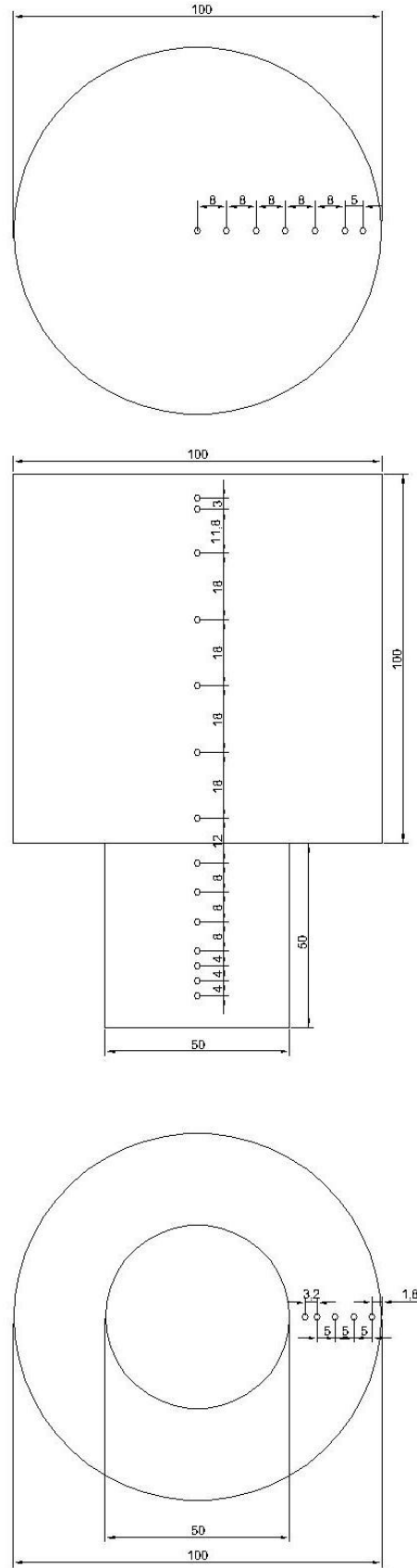
Şekil E.1. Kare kesitli normal bina modelinin yüzeylerindeki basınç ölçüm prizleri



Şekil E.2. Kare kesitli yükseltilmiş bina modelinin yüzeylerindeki basınç ölçüm prizleri



Şekil E.3. Dairesel kesitli normal bina modelinin yüzeylerindeki basınç ölçüm prizleri



Şekil E.4. Dairesel kesitli yükseltilmiş bina modelinin yüzeylerindeki basınç ölçüm prizleri

Ek 2. Belirsizlik Analizi

Deneysel büyüklüklerin ölçümü sırasında ortaya çıkan hatalar ve belirsizliklerin tespiti, sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Hata ve belirsizlik terimleri, anlam bakımından farklılık göstermektedir. Belirsizlik, bir dizi ölçüm için geçerli olup, belirli bir güven aralığında ölçümdeki potansiyel hata miktarını ifade etmektedir. Buna karşın, hata terimi tek bir ölçüm sonucu üzerinde odaklanmakta ve gerçek değer ile ölçümden elde edilen değer arasındaki farkı belirtmektedir. Belirsizlik genel bir ölçüm aralığı içindeki hata olasılığını ifade ederken, hata, yalnızca bir ölçümdeki kesin sapmayı göstermektedir. Deneysel çalışmalarda ortaya çıkan hatalar, deney düzeneğinden ve ölçüm sistemlerinden kaynaklanan sistematik ve rastgele hataları içermektedir. Sistematik hatalar, her zaman aynı yönde ve miktarda sapmaya neden olan hatalardır. Bu hatalar, diğer hata türlerinin olmadığı durumda tekrarlanan ölçümlerde sabit bir fark oluşturmaktadır. Rastgele hatalar ise, her bir ölçümde farklılık gösteren ve ortadan kaldırılamayan değişkenliklerden kaynaklanmaktadır. Bu tür hatalar, ölçüm sonuçlarının ortalama değerden sapmasını temsil etmektedir. Belirsizlik analizinde, deneysel sonuçlardaki muhtemel rastgele hataları belirlemek amacıyla çeşitli analiz yöntemleri ve istatistiksel teknikler kullanılmaktadır.

Ek 2.1. Basınç Ölçümlerinde Oluşan Belirsizlik

Bu çalışmada, ölçülen parametrelere ait belirsizlik değerlerini elde etmek için Kline ve McClintock (1953) tarafından önerilen hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre belirsizlik, ölçümün tüm bileşenlerinden kaynaklanan hataların kombinasyonu olarak istatistiksel tekniklerle hesaplanmaktadır. Herhangi bir deneysel çalışma sonucunda elde edilen büyüklük R , bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olmak üzere R , kendisinin belirlenebilmesi için gerekli her bir değişkenin fonksiyonu cinsinden

$$R = R(x_1, x_2, x_3 \dots \dots, x_n) \quad (E.1)$$

olarak ifade edilmektedir. x_i parametrelerindeki belirsizlik etkisini ortaya koymak için R özelliği,

$$\Delta R^2 = \frac{\partial R^2}{\partial x_1} \Delta x_1^2 + \frac{\partial R^2}{\partial x_2} \Delta x_2^2 + \dots + \frac{\partial R^2}{\partial x_n} \Delta x_n^2 \quad (E.2)$$

şeklinde matematiksel olarak ifade edilmektedir. Belirsizlik için türetilmiş ifadenin genel formu, ölçüm parametrelerinin fonksiyonu olarak

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E.3)$$

şeklinde belirlenmektedir. Bu bağıntıda yer alan w_i 'ler her bir bağımsız değişkene ait belirsizliği ifade etmektedir. R sonucuna ait toplam belirsizlik w_R/R şeklinde yüzdelik olarak ifade edilmektedir. Bu durumda eşitlik,

$$\frac{w_R}{R} = \left[\left(\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E.4)$$

şeklini almaktadır. u , yüzde olarak belirsizliği göstermek üzere, $u_R = w_R/R$ ve $u_i = w_i/x_i$ dönüşümü ile yüzde olarak toplam belirsizlik aşağıdaki gibi yeniden ifade edilmektedir.

$$u_R = \left[\left(\frac{x_1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} u_1 \right)^2 + \left(\frac{x_2}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} u_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{x_n}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} u_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E.5)$$

Bu çalışmada basınç ölçümlerindeki toplam belirsizlik, aşağıda maddeler halinde yüzde olarak belirtilen ve basınç ölçümünde etkili olan parametrelerin her birinin belirsizlik katkılarının toplamı ile oluşmaktadır. Bu belirsizlikler,

- 1 - Basınç ölçerden kaynaklanan toplam belirsizlik ($u_1 \cong \% 1$),
- 2 - Basınç ölçerin kalibrasyon işleminden kaynaklanan belirsizlik ($u_2 \cong \% 2.5$),

3 - Ortam sıcaklığındaki 2°C'lik değişim nedeniyle basınç ölçerde oluşan belirsizlik ($u_3 \cong \% 0.1$),

4 - 15 mmSS basınçta $\partial U / \partial E = 23$ mmSS/volt'luk değişim için 10 volt aralığındaki 12 bit'lik A/D dönüştürücü kartın çözünürlüğünden oluşan belirsizlik ($u_4 \cong \% 0.4$),

5 - Basınç deliklerinin 0.5 mm hatalı yerleştirilmesi durumunda model yüzeyindeki basınç değişiminde oluşan belirsizlik ($u_5 \cong \% 2.3$) şeklindedir. Bu belirsizlik değerleri dikkate alınarak, ortalama basınç ölçümünde oluşan toplam belirsizlik,

$$u_{AP} = [u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2]^{1/2} \cong \% 3.6 \quad (E.6)$$

olarak elde edilmiştir. Çalkantı basıncında oluşan belirsizlik ise, % 4.6 civarındadır.

Ek 2.2. Hız Ölçümlerinde Oluşan Belirsizlik

Hız değerlerindeki belirsizlik, üretici firma tarafından ürün kataloğunda belirtilen standart belirsizlik değeri referans alınarak belirlenmiştir. Ölçüm aralığı 0-20 m/s olan Testo 425 Model Kızgın Tel Termal Anemometresi ile ölçülen hız değerlerinin belirsizliği, ± 0.03 m/s + ölçülen değerin (mv) % 5'i olarak belirtilmektedir. Ölçümlerde maksimum hız değeri için belirsizlik ± 0.78 m/s olarak elde edilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Tekmile CÜREBAL, İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2007 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitime başladı ve buradan 2012 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2016 yılında yüksek lisans eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde tamamlamasının ardından doktora eğitime başladı. Halen aynı görevine devam etmekte olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.