



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNALARDA RÜZGAR KAYNAKLI DOĞAL
HAVALANDIRMANIN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak AKTEPE

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Hacımurat DEMİR

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212304403 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Burak AKTEPE tarafından hazırlanan “**BİNALARDA RÜZGAR KAYNAKLI DOĞAL HAVALANDIRMANIN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hacımurat DEMİR

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Burak AKTEPE

TEŞEKKÜR

Binalarda Rüzgar Kaynaklı Doğal Havalandırmanın İncelenmesi adlı yapmış olduğum tez çalışmasında bana yol gösteren her türlü bilgi ve tecrübesiyle destek olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hacımurat DEMİR'e teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her anında bana yön veren, akademik hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini üzerimden eksik etmeyen babam Doç. Dr. Necmettin AKTEPE, annem Esin AKTEPE ve eşim Fatma AKTEPE'ye teşekkür ederim.

Burak AKTEPE
AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması.....	3
1.2 Amaç ve Kapsam.....	17
2. HAVALANDIRMA.....	18
2.1 Doğal Havalandırma Çeşitleri	19
2.2 Doğal Havalandırmanın Avantajları	20
2.3 Sınır Tabaka ve Atmosferik Sınır Tabaka.....	21
2.4 Bina Akış Modeli.....	24
3. AKIŞKANLAR MEKANİĞİ ve HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ	26
3.1 Akışkanlar Mekanik Çözüm Yöntemleri.....	26
3.1.1 Deneysel yöntemler	27
3.1.2 Teorik yöntemler.....	27
3.1.3 Sayısal yöntemler.....	27
3.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Avantajları	28
3.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde Kullanılan Türbülans Modelleri	29
4. SAYISAL YÖNTEM	31
4.1 Bina Modelleri.....	31
4.1.1 Farklı pencere açıklık geometrilerine sahip bina modelleri	31
4.1.2 Farklı çatı eğimlerine sahip bina modelleri	34
4.1.3 Farklı giriş açıklık boyutlarına sahip bina modelleri	34
4.1.4 Farklı çıkış açıklık boyutlarına sahip bina modelleri	35
4.1.5 20 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri	36
4.1.6 40 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri	37
4.1.7 60 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri	38
4.2 Sınır Koşulları	39
4.3 CFD Çözücü Ayarları	41
4.4 Havalandırma Oranı Hesapları	41
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	43
5.1 Farklı Pencere Açıklık Geometrilerine Sahip Bina Modellerinden Elde Edilen Sayısal Sonuçlar.....	43
5.1.1 Modelin doğrulanması	43
5.1.2 Boyutsuz hız profili	43
5.1.3 Hız ve basınç konturları.....	44
5.2 Farklı Çatı Eğimlerine Sahip Bina Modellerinden Elde Edilen Sayısal Sonuçlar.....	47
5.2.1 Modelin Doğrulanması	47
5.2.2 Hız konturları, basınç konturları ve akım çizgileri.....	48

5.3 Farklı Giriş Açıklık Boyutlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri.....	51
5.4 Farklı Çıkış Açıklık Boyutlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri.....	54
5.5 20 mm Sabit Giriş Açıklık Konumu ve Değişken Çıkış Açıklık Konumlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri	57
5.6 40 mm Sabit Giriş Açıklık Konumu ve Değişken Çıkış Açıklık Konumlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri	60
5.7 60 mm Sabit Giriş Açıklık Konumu ve Değişken Çıkış Açıklık Konumlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri	62
5.8 Havalandırma Oranı Sonuçları	64
6. SONUÇ	70
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	81

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİNALARDA RÜZGAR KAYNAKLI DOĞAL HAVALANDIRMANIN İNCELENMESİ

Burak AKTEPE

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hacımurat DEMİR

ÖZET

Bu tez çalışmasında, farklı pencere açıklık şekillerine sahip bina modelleri, değişik çatı eğimlerine sahip bina modelleri, farklı giriş ve çıkış açıklık boyutlarına sahip bina modelleri ile değişen pencere açıklık konumlarına sahip bina modellerinin çapraz havalandırma durumları sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan sayısal analizler, farklı çatı eğimlerine sahip bina modellerinde rüzgarın bina duvarına uyguladığı kuvvetle en yüksek pozitif basınç katsayısının rüzgar yönündeki duvarda oluştuğunu göstermiştir. Çatı eğiminin 15° 'den 35° 'ye artırılması, iç basıncı azaltırken, Bernoulli prensibiyle ilişkilendirilmiştir. Giriş açıklıklarının büyümesi, iç hava hızını azaltmış ve basıncı artırmıştır. C1 modelinde en yüksek, C5 modelinde ise en düşük basınç gözlemlenmiştir. Farklı pencere açıklık geometrilerine sahip binalar arasında, dikdörtgen pencereler $0,004212 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en yüksek, üçgen pencereler ise $0,002158 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en düşük havalandırma oranını sağlamıştır. $\alpha=35^\circ$ eğimli binada $0,003040 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en yüksek havalandırma oranı, $\alpha=15^\circ$ eğimli bina ise $0,003024 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en düşük havalandırma oranı hesaplanmıştır. Bu bulgular, çatı eğiminin havalandırma verimliliğini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Sabit çıkış ve değişken giriş pencere boyutlarıyla yapılan analizlerde, G5 bina modeli $0,004089 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en yüksek, G1 bina modeli ise $0,000418 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en düşük havalandırma oranını sağlamıştır. Çıkış açıklıkları ile ilgili analizde, C5 modeli $0,003814 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en yüksek havalandırma oranını, C1 modeli ise $0,000467 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en düşük havalandırma oranını elde etmiştir. Farklı pencere açıklıklarındaki durumlar için, 20 mm sabit giriş açıklığına sahip Alt-Üst modelde havalandırma oranı $0,003021 \text{ m}^3/\text{s}$, Alt-Alt modelde ise $0,002932 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak bulunmuştur. 40 mm giriş açıklığına sahip Orta-Üst modelde $0,003065 \text{ m}^3/\text{s}$, Orta-Alt modelde $0,002959 \text{ m}^3/\text{s}$ hesaplanmıştır. 60 mm giriş açıklığına sahip Üst-Alt modelde en yüksek oran $0,003129 \text{ m}^3/\text{s}$, Üst-Üst modelde ise en düşük oran $0,003012 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak kaydedilmiştir. Açıklık konumları, havalandırmanın verimliliğini etkileyerek rüzgarüstü açıklığın yüksek konumunun hava akışını artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Doğal Havalandırma, Atmosferik Sınır Tabaka, Havalandırma Oranı

Eylül, 2024; 81 sayfa

M. Sc. THESIS

INVESTIGATION OF WIND-INDUCED NATURAL VENTILATION IN BUILDINGS

Burak AKTEPE

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hacımurat DEMİR

ABSTRACT

In this thesis, the cross-ventilation conditions of building models with different window opening shapes, building models with different roof pitches, building models with different inlet and outlet opening dimensions, and building models with varying window opening positions are numerically analyzed. Numerical analyses have shown that the highest positive pressure coefficient occurs on the upwind wall due to the wind force on the building wall in building models with different roof pitches. Increasing the roof pitch from 15° to 35° decreases the internal pressure, which is related to Bernoulli's principle. The enlargement of the inlet openings decreased the internal air velocity and increased pressure. The highest pressure was observed in model C1 and the lowest in model C5. Among the buildings with different window opening geometries, rectangular windows provided the highest ventilation rate with $0.004212 \text{ m}^3/\text{s}$ and triangular windows provided the lowest ventilation rate with $0.002158 \text{ m}^3/\text{s}$. The building with $\alpha=35^\circ$ slope had the highest ventilation rate with $0.003040 \text{ m}^3/\text{s}$ and the building with $\alpha=15^\circ$ slope had the lowest ventilation rate with $0.003024 \text{ m}^3/\text{s}$. These findings reveal that the roof slope directly affects ventilation efficiency. In the analysis with fixed outlet and variable inlet window sizes, the G5 building model provided the highest ventilation rate with $0.004089 \text{ m}^3/\text{s}$ and the G1 building model achieved the lowest ventilation rate with $0.000418 \text{ m}^3/\text{s}$. In the analysis of the exit openings, the C5 model achieved the highest ventilation rate with $0.003814 \text{ m}^3/\text{s}$ and the C1 model achieved the lowest ventilation rate with $0.000467 \text{ m}^3/\text{s}$. For the cases with different window openings, the ventilation rate was found to be $0.003021 \text{ m}^3/\text{s}$ for the Lower-Upper model with a fixed inlet opening of 20 mm and $0.002932 \text{ m}^3/\text{s}$ for the Lower-Lower model. In the Mid-Upper model with 40 mm inlet opening, $0.003065 \text{ m}^3/\text{s}$ and $0.002959 \text{ m}^3/\text{s}$ were calculated in the Mid-Lower model. With a 60 mm inlet opening, the highest rate was $0.003129 \text{ m}^3/\text{s}$ in the Top-Lower model, and the lowest rate was $0.003012 \text{ m}^3/\text{s}$ in the Top-Upper model. The opening positions affect the efficiency of ventilation, and it was determined that the high position of the upwind opening increases the air flow.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Natural Ventilation, Atmospheric Boundary Layer, Ventilation Rate.

September, 2024; 81 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Havalandırma çeşitleri a) Tek taraflı havalandırma b) Çapraz havalandırma c) Baca havalandırması	20
Şekil 2.2. Sınır tabaka yapısı.....	22
Şekil 2.3. Düz levha üzerindeki sınır tabaka gelişimi ve farklı akış rejimleri	22
Şekil 2.4. Rüzgar hızının yükseklik ve arazi koşullarına göre değişimi.....	23
Şekil 2.5. Tek bir binanın etrafındaki ayırt edilebilir hava akışları.....	24
Şekil 4.1. İzole bina modelinin boyutları.....	32
Şekil 4.2. Farklı pencere açıklık geometrilerine sahip izole bina modelleri.....	32
Şekil 4.3. Hesaplama alanının şematik diyagramı	33
Şekil 4.4. Ağ yapısının kesit ve yakın plan görünüşleri.	33
Şekil 4.5. Farklı çatı eğimlerine sahip bina modellerinin geometrileri	34
Şekil 4.6. Sabit çıkış açıklığında farklı giriş açıklığına sahip bina modellerinin geometrileri.....	35
Şekil 4.7. Sabit giriş açıklığında farklı çıkış açıklığına sahip bina modellerinin geometrileri.....	36
Şekil 4.8. $\alpha=26,6^\circ$ çatı açısında giriş açıklığının 20 mm sabit, çıkış açıklıklarının farklı yüksekliklerdeki geometrileri.....	37
Şekil 4.9. $\alpha=26,6^\circ$ çatı açısında giriş açıklığının 40 mm sabit, çıkış açıklıklarının farklı yüksekliklerdeki geometrileri.	38
Şekil 4.10. $\alpha=26,6^\circ$ çatı açısında giriş açıklığının 60 mm sabit, çıkış açıklıklarının farklı yüksekliklerdeki geometrileri.....	39
Şekil 5.1. a) CFD simülasyonu ve b) PIV deneyinden elde edilen dikey-orta düzlemdeki hız vektörü dağılımlarının karşılaştırılması	43
Şekil 5.2. Çeşitli pencere açıklığı şekilleri için yatay merkez hattı boyunca boyutsuz akımsal rüzgar hızı oranı.	44
Şekil 5.3. Binalar boyunca dikey merkez düzlemindeki basınç konturları.....	46
Şekil 5.4. Dikey orta düzlemdeki ortalama hız büyüklük konturları.....	46
Şekil 5.5. Farklı pencere geometrileri için dikey orta düzlemdeki basınç dağılımlarının konturları.....	47
Şekil 5.6. Akım çizgisi dağılımı a) Referans model ve b) Tominaga vd.	48
Şekil 5.7. Basınç katsayısı dağılımı a) Referans model ve b) Tominaga vd.....	48
Şekil 5.8. Dikey orta düzlemdeki farklı çatı eğimli binaların hız konturları.	49
Şekil 5.9. Dikey orta düzlemdeki farklı çatı eğimli binaların basınç konturları.....	50
Şekil 5.10. Dikey orta düzlemdeki farklı çatı eğimli binaların akım çizgileri.....	51
Şekil 5.11. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı giriş açıklıkları altındaki hız konturları	52
Şekil 5.12. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı giriş açıklıkları altındaki basınç konturları.	53
Şekil 5.13. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı giriş açıklıkları altındaki akım çizgileri.....	54
Şekil 5.14. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı çıkış açıklıkları altındaki hız konturları	55
Şekil 5.15. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı çıkış açıklıkları altındaki basınç konturları.....	56
Şekil 5.16. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı çıkış açıklıkları altındaki akım çizgileri.....	57
Şekil 5.17. Giriş açıklığının 20 mm, çıkış açıklığının değişken olduğu durumda hız konturları	58

Şekil 5.18. Giriş açıklığının 20 mm, çıkış açıklığının değişken olduğu durumda basınç konturları.....	59
Şekil 5.19. Giriş açıklığının 20 mm, çıkış açıklığının değişken olduğu durumda akış çizgileri	59
Şekil 5.20. Giriş açıklığının 40 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki hız konturları.....	61
Şekil 5.21. Giriş açıklığının 40 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki basınç konturları.....	61
Şekil 5.22. Giriş açıklığının 40 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki akış çizgileri	61
Şekil 5.23. Giriş açıklığının 60 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki hız konturları	63
Şekil 5.24. Giriş açıklığının 60 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki basınç konturları.....	63
Şekil 5.25. Giriş açıklığının 60 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki akım çizgileri	64
Şekil 5.26. Çeşitli pencere açıklıklarına sahip izole binanın havalandırma oranı.	65
Şekil 5.27. Çeşitli çatı eğim açılarına sahip izole binanın havalandırma oranı	66
Şekil 5.28. Çeşitli pencere giriş açıklıklarına sahip izole binanın havalandırma oranı.....	67
Şekil 5.29. Çeşitli pencere çıkış açıklıklarına sahip izole binanın havalandırma oranı.....	68
Şekil 5.30. Çeşitli pencere giriş ve çıkış yüksekliklerine sahip izole binanın havalandırma oranı	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Rüzgar kaynaklı çapraz havalandırma çalışmalarına genel bakış	17
Çizelge 2.1. Etkili arazi pürüzlülüğü sınıflandırması	24
Çizelge 3.1. Türbülans modelleri ve açıklamaları	30
Çizelge 4.1. Çıkış açıklığının sabit, giriş açıklığının değişken olduğu beş farklı durum için pencere açıklık boyutları	35
Çizelge 4.2. Giriş açıklığının sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu beş farklı durum için pencere açıklık boyutları	36



SİMGELER VE KISALTMALAR

ABL	Atmospheric Boundary Layer
ACH	Air Change Rate
AEE	Air Exchange Efficiency
AFN	Airflow Networks
AOA	Age of Air
ARH	Air Renovation per Hour
B	Boy
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO₂	Karbondioksit
CTA	Constant Temperature Anemometry
DFR	Dimensionless Flow Rate
E	En
FS	Full Scale
H	Yükseklik
HR	Hybrid Regeneration Scheme
HRLES	Hybrid Reynolds Large Eddy Simulation
LES	Large Eddy Simulation
NS	Navier Stokes
NV	Natural Ventilation
P	Cephe Gözenekliliği
PIV	Particle Image Velocimetry
Q	Volume Flow Rate
R	Regeneration Parameter
RANS	Reynolds Average Navier-Stokes
Rk-ε	Realizable k-ε
SFP	Split Fibre Prop
sRANS	Steady RANS
SST	Shear Stress Transport
SSV	Single Sided Natural Ventilation
TKE	Türbülanslı Kinetik Enerji
TP	Türbülans Parametreleri
U	Uzunluk
UDF	User Defined Function
UP	Upwind Differencing Scheme
uRANS	Unsteady RANS
V	Velocity
VF	Velocity Vector Fields
VFR	Volumetric Flow Rate
W	Width
WT	Wind Tunnel
ε	Türbülans Dağılım Oranı
ω	Spesifik Dağılım Oranı
k	Türbülans Kinetik Enerji
k_s	Pürüzlülük Yüksekliği
K	Von Karman Sabiti
u_{ABL}^*	ABL sürtünme hızı
u_{ref}	Referans Hız

z_{ref}	Referans Yükseklik
z_0	Aerodinamik Pürüzlülük Yüksekliği
λ_p	Düzlemsel Alan Oranı
$^{\circ}C$	Santigrat Derece
C_p	Basınç Katsayısı
C_A	Urban Area Densities



1. GİRİŞ

Enerji kullanımı, insan medeniyetinin ve sanayileşmenin temel göstergelerinden biridir. 19. yüzyıl, elektrik enerjisi üretiminin de dahil olduğu, bilime dayalı endüstrilerin önemli bir dönüm noktası olarak tarih sahnesinde yer aldığı bir dönemdir. Fosil yakıt enerjisinin çeşitli biçimlerinin geniş çapta uygulanması, 20. yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır. Bu yeni endüstriyel ve teknolojik yenilikler ile farklı fosil yakıt türlerinin tüketimi, dünya atmosferindeki karbondioksit (CO_2) konsantrasyonunu artırmaktadır (Ghosh ve Ghosh, 2020).

Küresel ısınma, hava kirliliği ve enerji yetersizliği, günümüz insanlığının karşı karşıya olduğu en önemli sorunlardan bazılarıdır. Özellikle dünyanın hızla ısınması, gezegenin tüm sistemlerini etkilemekte ve bu sistemlerde değişikliklere yol açmaktadır. Son otuz yıl içerisinde bilim insanları, dünya ikliminin hızla değiştiğini belirtmektedir. İklim değişikliği, aynı zamanda hava kalitesi ile de paralellik arz etmektedir. Küresel ısınmaya etkisi olduğu düşünülen gazlar arasında CO_2 , metan (CH_4), nitroz oksit (N_2O) ve kloroflorokarbonlar (CFC) bulunmaktadır. CO_2 bazlı olmayan sera gazları, kısmen daha yüksek radyoaktif zorlamaları nedeniyle ısıyı hapsetme potansiyeli daha yüksek olmasına rağmen, fosil yakıtların yanması sonucu yayılan CO_2 dışı sera gazı miktarı çok daha düşüktür (Annamalai vd., 2018; Hassan vd., 2016). 1751 yılından bu yana, fosil yakıtların küresel olarak kullanımı nedeniyle atmosfere 356 milyar ton karbon salındığı tahmin edilmektedir. Toplam karbon emisyonlarının yaklaşık %77'si katı ve sıvı yakıtların kullanımından, yaklaşık %18'i ise doğal gaz gibi gaz yakıtlarının yanmasından kaynaklanmaktadır (Boden, 2010).

Sanayi çağının başlangıcından bu yana, insanlık fosil yakıtları ölçsüz ve aşırı bir şekilde kullanmaktadır. Güç ve ulaşım alanlarındaki talepleri karşılamak amacıyla tüketilen fosil yakıt miktarının önümüzdeki yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir. Karbon içeriğine bağlı olarak, her bir enerji santrali, yakıtı karbondioksit üretme potansiyeline sahiptir. Fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarına aşırı bağımlılık, hava kirliliği, iklim değişikliği, artan atmosferik sıcaklıklar ile sera gazları ve diğer radyasyona duyarlı gazların birikmesi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Eğer insanlık gelecekte atmosfere sera gazları yaymaya devam ederse, küresel yüzey sıcaklıklarının önümüzdeki on yıllar ve yüzyıllar boyunca artmaya devam edecektir (Chiari ve Zecca, 2011). Sonuç olarak, mekanik havalandırma ve klimalar gibi

iklimlendirme sistemleri termal konforu sağlamak için sıklıkla kullanılmakta, bu da fosil yakıt tüketimini ve çevresel zararı daha da artırmaktadır (Gan, 2000; Gielen vd., 2019). Bu nedenle, fosil yakıtlara olan bu aşırı bağımlılığı azaltmak için alternatif stratejilerin keşfedilmesi büyük önem kazanmaktadır (Moey vd., 2021e).

Uzmanlar, sera gazı emisyonlarının neden olduğu ortalama küresel sıcaklık artışının, sanayi öncesi dönemlerin ortalama küresel sıcaklığından 2°C'yi geçmemesi gerektiği konusunda genel olarak hemfikirdir. Dünya, küresel ısınma etkilerinin ciddiyeti ve daha fazla ısınmayı durdurmanın aciliyeti konusunda neredeyse tam bir fikir birliğine varırken, küresel ısınmayı kontrol altına almanın yollarını ve araçlarını bulmak için araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çabaları önemli ölçüde yoğunlaşmıştır (McGlade ve Ekins, 2015).

Sağlıklı iç mekan koşullarına duyulan ihtiyaç, enerji krizi ve çevresel kaygılar, günümüzde bina havalandırma sistemlerini çok önemli hale getirmektedir. Havalandırma sistemlerinin bileşenlerinin enerji yoğunluğunu azaltma potansiyeli, sürekli olarak çok sayıda bilimsel araştırmanın konusu olmaktadır. Kentleşme ve nüfus artışı, özellikle yoğun nüfuslu mega kentlerde binaların sayısının artmasıyla, binalar arası hava sirkülasyonunun azalmasına neden olmakta; bu durum, araştırmaların havalandırma sistemlerine yönelmesini teşvik etmektedir. Havalandırma sistemlerinde yüksek enerji tüketimi ve bu enerji kaynaklarının çoğunlukla fosil yakıtlar olması, enerji tüketimini azaltma ihtiyacını gündeme getirmektedir (Amanowicz vd., 2023).

Enerji verimli binalarda havalandırma tasarımı önemli bir konudur ve rüzgarla çalışan doğal havalandırma sistemlerine odaklanan stratejilerin uygulanmasına yönelik ilgi giderek artmaktadır. Bu yaklaşım, gelişmiş hava kalitesi ve bina enerji tüketiminin azaltılması gibi çeşitli faydaları nedeniyle giderek daha fazla tercih edilmektedir (Aflaki vd., 2019; Aydın ve Mirzaei, 2017; Liu vd., 2018; Shirzadi vd., 2019a).

Enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltma zorunluluğu nedeniyle, dış havanın kolayca temin edilebildiği binalar için pasif doğal havalandırma teknolojisi hem inşaat endüstrisi hem de akademik araştırmalar açısından artan bir ilgi görmekte ve önem kazanmaktadır (Yik ve Lun, 2010). Günlük bina sakinleri için doğal havalandırma, iç mekan termal ortamını iyileştirmek için birincil teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

Bina sektörünün enerji talebi, küresel enerji arzının yaklaşık %20'sini oluşturmakta olup, projeksiyonlar 2040 yılına kadar bu talepte yıllık ortalama %1,5'lik bir artış öngörmektedir (Sieminski, 2014). Sonuç olarak, termal konforu ve iç ve dış hava kalitesini tatmin edici seviyelerde tutarken bu talebi azaltmak için verimli enerji tasarrufu stratejilerine acil bir ihtiyaç vardır. Etkili bir yöntem olarak kabul edilen doğal havalandırma hem geleneksel hem de çağdaş binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydın ve Mirzaei, 2017).

1.1 Literatür Araştırması

Tipik olarak, çapraz havalandırma üzerine yapılan çalışmalar izole edilmiş bina senaryoları inceleyen araştırmalar ve komşu binaların veya diğer çevresel engellerin neden olduğu akış kesintilerinin etkisinin dikkate alındığı izole edilmemiş (korunaksız) durumları kapsayan araştırmalar olmak üzere ikiye ayrılabilir (Shirzadi vd., 2018).

İzole senaryoda çapraz havalandırmanın tahmin edilmesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarının güvenilirliği çeşitli çalışmalarda kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Ramponi ve Blocken (2012), Teppner vd. (2014) ve van Hooff vd. (2017) izole bina senaryolarında hava akışını analiz etmede hem Reynolds Average Navier Stokes (RANS) hem de Large Eddy Simulations (LES) modellerinin başarılı uygulamalarını göstermiştir.

Meile vd. (2015), tek açıklıklı iç mekanlarda, çapraz havalandırma senaryolarında sıcaklık farklılıklarının tipik olarak rüzgar kaynaklı hava değişim oranını artırdığını gözlemlemiştir. Bununla birlikte, tek taraflı havalandırma için, termal etkilerin etkisinin ihmal edilebilir olduğunu ve bazı durumlarda, daha büyük sıcaklık farklılıklarının rüzgar kaynaklı hava değişim oranında bir azalmaya bile yol açtığını belirtmişlerdir.

Karava vd. (2011), izole bir bina modelinde duvar gözenekliliğinin ve açıklık konumunun çapraz havalandırma oranları üzerindeki etkisini incelemek için Parçacık Görüntü Velosimetrisi (PIV) ve basınç ölçümlerini içeren kapsamlı bir deneysel araştırma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında, iç akış davranışının aydınlatılmasına özellikle vurgu yapmışlardır. Duvar gözenekliliği, giriş-çıkış yüzey alanlarının oranını

ve açıklık konumu, havalandırma oranlarının belirlenmesinde en etkili parametreler olarak tanımlanmışlardır.

Cheung ve Liu (2011), kümeler halinde düzenlenmiş binalardaki saatlik hava değişim hassasiyetini incelemiştir. Binalar sıralı bir şekilde dizildiğinde, binalar arasındaki minimum mesafelerin saatlik hava değişiminde istenmeyen bir düşüşe yol açtığını bulmuşlardır. Binalar arasındaki optimum mesafenin bir binanın genişliğinin beş katı olduğu belirlenmiştir. Ancak bu bulgu, arazinin genellikle sınırlı ve pahalı olduğu durumlarda, binaların birbirine yakın olmasını gerektiren birçok kentsel ortama uygulanamayabilir. Buna karşılık, binaların kademeli olarak sıralandığı bir düzenlemede (sıralı düzenlemenin tersi), binalar arasındaki mesafe en aza indirildiğinde hava değişim oranı önemli ölçüde artmış, hatta bazen iki katına çıkmıştır.

Ramponi vd. (2015), dış mekan havalandırması üzerine yürütülen CFD çalışmalarına ilişkin kapsamlı bir literatür incelemesi sunmuş ve sokak düzenlerinin kentsel çevre üzerindeki önemli etkisine ilişkin anlayışta göze çarpan bir boşluğun altını çizmiştir. Yaya seviyesindeki havanın ortalama yaşına odaklanarak sabit RANS denklemlerini kullanan kendi CFD araştırmaları, rüzgar tüneli deneyleriyle uyumlu bir sonuç göstermiştir.

Shirzadi vd. (2018b) stokastik optimizasyon kullanarak kentsel uygulamalarda, özellikle korunaklı binalarda, çapraz havalandırmanın k- ϵ modelinin doğruluğunun artırılmasını amaçlamıştır. Çalışmada, ilk olarak Tominaga ve Blocken (2015) tarafından sağlanan deneysel veriler kullanılarak bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Daha sonra, k- ϵ modelinin kapanış katsayıları stokastik optimizasyon ve Monte Carlo örnekleme teknikleri ile belirlenmiştir. Ayrıca Navier-Stokes (NS) denklemlerine yerleştirilen hava akış değişkenlerinin ortalama ve dalgalı bileşenlerinden türetilen çapraz havalandırma davranışını simüle etmek için 3D steady Reynolds Avarage Navier Stokes (sRANS) denklemleri kullanılmıştır. Sistemik yaklaşımla elde edilen değiştirilmiş katsayılar, binalardaki çapraz havalandırma olaylarını başarılı bir şekilde simüle ederek hava akış hızı tahmin hatalarını deneylere kıyasla %8'in altına düşürmüştür. Yapılan çalışmadaki sonuçlara göre akış hızı ve türbülanslı kinetik enerji (TKE) dağılımında deneysel ve CFD sonuçları arasında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir.

Golubic vd. (2020) korunaklı ve korunaksız binalarda tek taraflı ve çapraz havalandırma düzenlemelerinde hava değişim oranının (ACH) rüzgar tünelineki analizlerinde Reynolds sayısının ve rüzgar yönünün etkisini incelemiştir. Deneyler, banliyö arazisi üzerindeki ABL koşullarında simüle edilerek, izole bir binanın yanı sıra 3x3 simetrik düzeninde ve çeşitli rüzgar geliş açıları ve farklı bina aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, her iki havalandırma senaryosunda (tek taraflı ve çapraz havalandırma) izole bina için ACH'nin akış hızıyla birlikte arttığı, ayrıca izole binanın tek taraflı havalandırmadaki ACH değerlerinin çapraz havalandırmaya göre önemli ölçüde küçük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, her iki havalandırma senaryosundaki izole bina için normalleştirilmiş hava akış hızı ile ACH'nin, gelen akışın hızıyla doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Kentsel mahalde çapraz havalandırma durumlarında, normalleştirilmiş hava akış hızı/ACH oranının genellikle daha az yoğun aralıklı binalar için daha yüksek olduğu ve akış geliş açısı ile hızına güçlü bir şekilde bağlı olduğu belirlenmiştir. Normalleştirilmiş hava akış hızı, korunaklı binalarda izole binalara göre farklı durumlar sergilemesine rağmen, ACH genel olarak daha küçüktür.

Shirzadi vd. (2021) LES yaklaşımıyla doğrulanmış CFD modellerini kullanarak yüksek yoğunluklu kentsel konfigürasyonlarda çapraz havalandırmayı araştırmışlardır. Çalışmada, dokuz özdeş bina modeli (3x3) ile çevrili bir bina modeli için ortalama akış özellikleri, türbülans istatistikleri, rüzgar basıncı ve çapraz hava akış hızı, farklı düzlemsel alan oranlarına ($0 \leq \lambda_p \leq 0,6$) ve yaklaşan rüzgar açılarına ($0 \leq \alpha \leq 90$) göre karşılaştırılmıştır. Yüksek yoğunluklu kentsel konfigürasyonda, zaman ortalamalı ve anlık hava akış hızı arasındaki farkın genellikle zayıf olduğu, ancak akış yönünün oldukça dalgalı olduğu bulunmuştur. İzole bina ve $\lambda_p = 0,6$ olan korunaklı durum için sRANS sonuçları, tüm rüzgar açıları boyunca ortalama yüzey basıncı ve hava akış hızı açısından deneysel ve LES sonuçlarıyla yakın bir uyum göstermiştir. Orta ve yüksek yoğunluklu bina konfigürasyonlarında, LES modelinin bina çevresi ve içinde zaman ortalamalı hız ve türbülanslı kinetik enerji tahmininde sRANS'tan daha doğru sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek yoğunluklu kentsel konfigürasyonlar için anlık havalandırma hızı, zaman ortalamalı hava akış hızından önemli ölçüde yüksek ve rüzgar açısına karşı duyarsız olduğu gözlemlenmiştir.

Tong vd. (2016) doğal havalandırmada, birleşik iç-dış mekan CFD simülasyonlarını kullanarak kentsel mahal konfigürasyonlarında ACH'yi rüzgar koşulları, bina en-boy oranları ve aşağı akış engellerinin varlığı gibi çeşitli kentsel parametrelerin etkilerini analiz etmişlerdir. Bulgular çevresine göre yüksek binalar için özellikle yüksek katlarda daha az çevre katmanına ihtiyaç olduğunu, aşağı akış yönündeki binaların ACH üzerindeki etkisinin yukarı akış yönündeki binalara göre daha az olduğu, binalar arasındaki yapay kanal etkisi nedeniyle sadece bitişik bina katmanının modellenmesinin yetersiz olduğu sonuçlarına varılmıştır. Çalışmada yoğun kentsel alanlarda doğal havalandırma tasarımına yönelik CFD simülasyonlarında modelleme hatalarını önlemek ve hesaplama maliyetlerini azaltmak için etki alanının değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Shirzadi vd. (2018a) izole bir binada deşarj katsayısı için uyarlanabilir bir korelasyon geliştirip, orifis tabanlı modelin doğruluğunu arttırmak için CFD yöntemi kullanmış, ardından latin hiperküp örnekleme kullanarak bina geometrileri için 750 senaryo içeren bir CFD veri kümesi oluşturmuşlardır. En yüksek hava akış hızı, kare küp ve kübik binalar için rüzgar üstü açıklığın çatıya yakın konumda elde edildiği, uzun koridorlu binalarda ise açıklık konumlarının değişiminin hava akış hızındaki değişimin düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Hava akış ağı (AFN) modelinde uyarlanabilir bir deşarj katsayısının kullanılması, doğruluğu önemli ölçüde arttırmış ve hava akış hızının bağıl hatası senaryolardan birinde %38'den %22'ye, bir diğerinde ise %16,5'ten %8'e düşürüldüğü yapılan çalışmada gözlemlenmiştir. Böylelikle, hava akış hızındaki bağıl hataların önemli ölçüde azaltıldığı belirtilmiştir.

Shirzadi vd. (2019b) 0,25'lik sabit bir düzlemsel alan oranıyla düzenli bir şekilde yerleştirilen, açıklıklardan geçen hava akış hızını izlemek amacıyla anlık hız bileşenlerini ölçen bölünmüş fiber prop (SFP) ve sabit sıcaklık anemometresi (CTA) kullanarak, izleyici gaz sistemleriyle gözleyerek çeşitli rüzgar açılarına ($0^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$) sahip korunaklı bir bina konfigürasyonunda çapraz havalandırmayı ölçmek için kapsamlı bir şekilde rüzgar tüneli deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, normal rüzgar açısında ($\alpha=0^{\circ}$) rüzgaraltı açıklıklarda zayıf bir jet akışı, eğik rüzgar açılarında ($\alpha=30^{\circ}$) daha güçlü hız jeti gözlemlenmiştir. Toplam basınç farkı, bina yoğunluğu arttıkça azalmış, korunaklı binalar için hava akış hızında korunaksız

binalara göre belirgin azalmalar tespit edilmiştir. Sonuçlar CFD modellerinin doğrulanmasında önemli bir veri tabanı sağlamaktadır.

Albuquerque vd. (2020) orta katında iki rüzgar açıklığı bulunan üç katlı kübik bir binada doğal pompalama havalandırmasını yönlendirebilen, rüzgara maruz kalan izole bir binanın arkasında oluşan kayma tabakalarının etkileşimini hem deneysel hem de sayısal çalışmalarla araştırmışlardır. Çalışmada unsteady Reynolds Navier Stokes (uRANS) denklemleri ve LES türbülans modelleri kullanılmış olup, LES türbülans modeli ölçülen havalandırma oranıyla %10'dan az bir hata payı ile daha iyi uyum gösterirken, uRANS türbülans modelinde bu oran %40 seviyelerinde gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre havalandırma akış hızının pencere ayrımı ile arttığı doğrulanmış, LES türbülans modeli akışın doğal kararsızlığını ve etkin akış hızlarını doğru şekilde tahmin edebilirken uRANS modelinin bu temel özellikleri yakalayamadığı sonucuna varılmıştır.

Shirzadi vd. (2018c) yüksek yoğunluklu kentsel alanlarda farklı kentsel alan yoğunluklarına (C_A) sahip düzenli ve kademeli olarak dizilmiş binalarda çapraz havalandırma uygulamalarının sRANS modellerinin sınırlamalarını, CFD simülasyonları kullanarak araştırmıştır. sRANS modellerinin $C_A=0,2$ 'den düşük olduğu durumlarda yüzey ortalama rüzgar basınçlarının deneysel aralıklar dahilinde doğru bir şekilde tahmin edildiği, ancak $C_A=0,2$ 'den yüksek olduğu durumlarda doğruluklarının önemli ölçüde azaldığı ve deneysel değer aralıkların dışına düştüğü sonucuna varılmıştır. Araştırmaya sonuçlarına göre, LES ve Hibrit Reynolds Large Eddy Simulation (HRLES) gibi daha hassas CFD simülasyonlarının, yüksek hesaplama maliyetlerine rağmen, yüksek yoğunluklu kentsel alanlar için daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Shirzadi vd. (2020b) λ_p 0,25 olan çapraz havalandırmalı bir bina modeli üzerinde, farklı rüzgar açılarını dikkate alarak difüzyon ve adveksiyon yöntemleri, ağ yapısı teknikleri ve türbülans modelleri de dahil olmak üzere çeşitli CFD parametrelerinin tahmin doğruluğu ve yakınsama kriterleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve sRANS modelleri ile hesaplanan çapraz havalandırmanın sayısal sonuçlarını atmosferik sınır tabaka rüzgar tüneli deneyi sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Bu çalışmaya göre, daha az hücreye sahip yapılandırılmamış dörtgen ağ yapısı, yapılandırılmış altıgen ağ yapısı

ile benzer bir doğruluk sergilemiş ve birinci dereceden upwind ayırıklaştırma şeması (UP) normal rüzgar açıları için daha yüksek doğruluk sağlarken, ikinci dereceden hibrid ayırıklaştırma şeması (HR) eğik rüzgar açıları için daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Zhou vd. (2021) tek açıklıklı bir binada havalandırma verimliliğinin sayısal simülasyona dayalı analizini gerçekleştirerek pencere açıklığından geçen hava akış hızı ile binalardaki etkin havalandırma akış hızlarını karşılaştırmış ve havalandırma verimliliğini rüzgar hızı, açıklık alanı-konumu ve rüzgar üstü duvarın en-boy oranı gibi çeşitli parametreler açısından değerlendirmişlerdir. Ayrıca, kısa devre oranının tahmin edilebilmesi için tahmini karıştırma katsayısı kullanmışlardır. Aynı açıklık boyutlarında, açıklık merkezlerinin rüzgar üstü duvarın merkezinden uzaklaştıkça arttığı ve karışım katsayısının açıklığın tam merkezde yer alması durumunda zirve yaptığı gözlenmiştir. Pencere açıklık alanının artmasıyla beraber etkin havalandırma hızının arttığı, pencere açıklık oranının 1'e yakın olduğunda etkili havalandırmanın optimum değerlere ulaştığı, oda hacminin artmasıyla beraber başlangıçta havalandırma oranlarının azaldığı sonra kademeli olarak arttığı çalışmanın sonuçları arasında yer almaktadır.

Díaz-Calderón vd. (2021) eksenel, yukarı, köşe ve yukarı-köşe olmak üzere dört farklı çapraz havalandırma konfigürasyonu üzerinde ACH'yi, saat başına hava yenileme (ARH) ve yenileme parametrelerini (R) incelemiştir. Çalışma bulguları, ACH'nin dört konfigürasyon arasında doğal havalandırma performansında önemli farklılıklar göstermediğini ancak eksenel açıklık konfigürasyonunda daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymakla birlikte, ARH ve R köşe konfigürasyonunda en iyi performansı göstermiştir.

Rüzgar tüneli deneyleriyle yapılan karşılaştırmalara dayanarak binanın dokuz farklı pencere konumu ve boyutunun iki bina arasındaki çapraz havalandırma potansiyeli üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla Fu vd. (2020), sRANS denklemlerine dayalı CFD simülasyonlarının güvenilirliğini analiz etmek için bir çalışmada bulunmuştur. Bulgulara göre, yukarı akış yönündeki binada artan pencere alanı aşağı akış yönündeki binanın çapraz havalandırma potansiyelini azalttığı ve pencere cephenin üst kısmında olduğunda açıklık boyutunu değiştirmenin binalar arasındaki girdap üzerinde minimum etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sadeghfar ve Sahebzadeh (2021) segmental, düşük katlı sivri, orta katlı katener, yüksek katlı sivri ve yüksek katlı katener olmak üzere beş farklı kemerli çatı geometrisinin doğal çapraz havalandırma üzerindeki etkilerini CFD simülasyonları kullanarak incelemiş ve bu geometriler benzer özellikteki düz çatılı bir bina ile karşılaştırmışlardır. Tonoz çatıların hacimsel akış hızında %5'ten daha az bir azalmaya yol açtığı, ortalama hız büyüklüğünde bina sakinleri seviyesinde ise %16 ile %29 arasında bir artışa neden olduğu ve düşük hızlı akış bölgelerinin bina sakinleri seviyesinden tavana doğru yönelerek kullanıcı seviyesinde hava tazeliğini arttırdığı sonucuna ulaşılmış ve tonozlu binaların çapraz havalandırma üzerindeki etkilerinin önemini vurgulanmıştır.

Shirzadi vd. (2020a) bir grup jenerik binadaki çapraz havalandırmayı incelemek adına sRANS ve LES modelleri kullanarak üretilen CFD sonuçlarını rüzgar tüneli deneyleriyle karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, sRANS modeli çapraz havalandırmanın önemli özelliklerini tahmin etmekte zorlanırken LES modeli sonuçları zaman ortalamalı hız, bina etrafındaki ve içindeki rüzgar yüzey basıncı ile açıklıklardan geçen hava akış tahminlerinde deneysel tahminlere daha yakın sonuçlar göstermiştir. LES türbülans modeli, cadde kanyonu akışlarında meydana gelen geçici momentum transferi ile yakından ilgili olan ve ortalama akış yapısını önemli ölçüde etkileyen çapraz havalandırma binanın çevresindeki ve içindeki anizotropik türbülansı doğru bir şekilde yeniden üretirken sRANS türbülans modelinin bu dalgalanmaları yeniden üretememesi bulgular arasındadır.

Mohammad vd. (2021) rüzgar kaynaklı havalandırmanın özelliklerini araştırmak için kare ve kademeli olmak üzere iki çevre bina düzenlemesi ve %25 bina kapsama oranı koşulları altında bir dizi rüzgar tüneli deneyi gerçekleştirmiştir. Bulgular, rüzgar yönündeki açıklık yakınındaki rüzgar hızının referans rüzgar hızına oranla 0,3 olduğunu, yan açıklıkların ise 0,1'den daha düşük hızlara sahip olduğunu göstermiş ve açıklık konumlarının ortalama iç mekan rüzgar hızı üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Zamansal dalgalanmalar ise giriş akışının çevre binaların türbülanslı akışından önemli ölçüde etkilendiğini göstermiş, dış ve iç hava akışları arasında hafif bir zamansal gecikmeyle beraber yüksek korelasyonlar gözlemlenmiştir.

Masood vd. (2018) yaptıkları çalışmada pencerelerin konum, alan, eğim, şekil, rüzgar yönü ve miktarı gibi faktörlerin hava kalitesi ve hızındaki etkisini değerlendirmeyi

optimum doğal havalandırma tasarımı için temel öneriler sunmayı amaçlamıştır. CFD yöntemi kullanılan bu çalışmada, dairesel açıklıkların türbülansı azaltarak hava akış hızını artırdığını, daha büyük çıkış alanlarının kenarlardaki türbülansı en aza indirerek hava akışını geliştirdiği ve karşılıklı duvarlardaki açıklıkların bitişik duvarlara oranla daha iyi hava dağılımı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, 0°, 15°, 30° ve 45°'lik rüzgar yönü açıları, diğer açılara kıyasla daha iyi hava akış performansı sağladığı bulgular arasındadır.

Ziarani vd. (2023) literatürde bulunan daha önceki rüzgar tüneli deneyleriyle doğrulanan LES türbülans modelini kullanarak, rüzgar tahrikli tek taraflı doğal havalandırmanın (SSV) üç katlı binayı temsil eden izole bir küp bina üzerindeki farklı sayıda, farklı açıklık konumlarına sahip konfigürasyonlar üzerinde bir LES çalışması yürütmüştür ve Zhong vd. (2021) rüzgar tüneli ölçümleriyle karşılaştırarak etkin havalandırma oranını %4,49 hata payı ile doğrulamıştır. Sonuçlar, açıklıklardan geçen hava akışının %60'ının havalandırma için etkin bir şekilde kullanıldığını, kalan %40'ın ise kısa devre ile son bulduğu göstermektedir. Araştırma, açıklıklardaki ve oda içindeki yerel hava akışı özelliklerinin SSV'nin ön tarafa yakın akışla bağlantılı olduğunu, upwind ve leeward cephelerindeki basınç dalgalanmalarının, cephelere yakın akışın yönsel yapısının binanın ABL akışıyla periyodik etkileşimine bağlı olduğunu göstermiştir. Merkezi cephe açıklıklarına sahip üç katlı bir binadaki akış hızlarının karşılaştırma sonuçlarında rüzgar cephesindeki birinci kattan üçüncü kata kadar akış hızında artan bir eğilim olduğu ve bu durumun SSV'de yerel ortalama basıncın önemi vurgulanmıştır.

Zobaied vd. (2022) 15°, 25°, 35° ve 45° gibi farklı çatı eğimlerine ve 40 mm, 50 mm, 60 mm ve 70 mm gibi iç engel yüksekliklerine sahip olan izole bir bina etrafında ve içindeki hava akış özelliklerini araştırmak amacıyla CFD simülasyonları ve sRANS denklemleri ile SST k- ω türbülans modelini kullanarak bir sayısal analiz yapmıştır. Araştırmadaki bulgular, çatı eğiminin artmasıyla birlikte binanın arkasındaki devridaim bölgesinin yukarı doğru hareket edip genişlemesiyle beraber daha dik çatı eğimlerinin havalandırma hızını arttırması ve daha yüksek engel yükseklikleriyle azalması yönündedir. Ayrıca, iç basıncın daha yüksek engel yükseklikleriyle arttığı, ancak daha dik çatı eğimlerinde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, daha iyi bir

doğal havalandırma için daha dik eğimli ve daha düşük engel yüksekliklerine sahip bir bina modeli önerilmektedir.

Moey vd. (2021d) sRANS ve CFD denklemlerini kullanarak izole binalardaki rüzgar kaynaklı doğal havalandırmaları incelemek amacıyla 15° , 25° , 35° ve 45° çatı eğimleri ile beşik çatı ve saltbox çatı modellerinin karşılaştırmasını sayısal analizlerle test etmiştir. Buna göre, artan çatı eğiminin daha yüksek TKE ve ortalama hız oranına sebep olduğu ve basınç farklılıklarının çatı şekillerinden büyük ölçüde etkilendiği sonucuna varılmıştır. Çalışma bulgularına göre, saltbox çatı konfigürasyonu rüzgar yönündeki çatı yüksekliği nedeniyle daha fazla hız ve basınç farkı sunmuş ve genel olarak araştırma, basınç farklılıkları ve ortalama hız oranlarını arttıran tasarımları nedeniyle saltbox çatı konfigürasyonlarının beşik çatı konfigürasyonlarından daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Moey vd. (2022) 3D sRANS denklemlerine dayalı sayısal simülasyonlar kullanarak izole bir binanın havalandırmasını 1:4, 1:2, 1:1, 2:1 ve 9:4 gibi beş farklı giriş açıklık boyutlarının rüzgar kaynaklı çapraz havalandırma üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlara göre, hava akış özelliklerinin büyük ölçüde açıklık oranlarına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Açıklık oranının 1'den küçük olması durumunda havalandırma oranının arttığı, 1'den büyük olması durumunda ise havalandırma oranının düştüğü ve optimum havalandırma için açıklık oranının 1:1 giriş açıklık oranında olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, açıklık oranı ne kadar küçükse bina içindeki hızın da o kadar yüksek ve basıncın da bir o kadar düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Binanın dış tarafında, upwind altında, sol kanat cephesinin altında ve çatıda türbülans bölgesi oluşurken, bina içinde hava akışının üstünde ve altında da benzer türbülans bölgeleri gözlemlenmiştir.

Moey vd. (2021c) giriş açıklık boyutlarını ve panjur açılarını değiştirerek izole bir binada akış alanı girişine ABL koşulu uygulayarak sRANS denklemleri ve SST k- ω türbülans modelini kullanarak çapraz havalandırma etkilerini incelemiştir. Giriş açıklık boyutları olarak 1:1, 1:0,25 ve 1:0,5 oranları ile 0° , 15° , 30° ve 45° panjur açıları ve panjursuz bina modelleri kullanılarak kıyaslama yapılmıştır. Araştırmadaki bulgulara göre panjur kanatlarından geçen hızın leeward açıklık boyutunun azalmasıyla arttığı, boyutsuz akış hızının (DFR) 1:1 açıklık oranında 0° panjur açısında optimum seviyeye ulaştığı ve bunu 15° panjur açısı ardından panjursuz

konfigürasyonun takip ettiği gözlemlenmiştir. Daha küçük leeward açıklıklarında panjur kanatlarında daha yüksek ivme görülmüştür.

Moey vd. (2021b) sRANS denklemleri ve SST k- ω türbülans modelini kullanarak izole bir binada altı farklı çıkış açıklık boyutunun (4:1, 2:1, 1:1, 1:2, 4:9 ve 1:4) iç mekan hava akış özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Açıklık oranının 1'den büyük olması durumunda havalandırma oranında %100 ile %250 arasında bir artış gözlenirken, açıklık oranının 1'den az olduğu durumlarda havalandırma oranında %10'dan daha az bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Giriş açıklığının çıkış açıklığı boyutundan daha büyük olması halinde daha yüksek hız daha küçük açıklık boyutuna sahip olan leeward tarafında meydana gelmiştir. Basınç katsayısı (C_p) açıklık oranı azaldıkça artmış ve daha yüksek havalandırma oranına yol açmıştır. Havalandırma oranındaki artış ise 4:1, 2:1 gibi daha büyük açıklık oranlarında 1:2, 4:9 gibi açıklık oranlarına kıyasla daha belirgindir.

Moey vd. (2021b) izole bir binada upwind ve leeward duvarlardaki konumları değişen dört hizalanmamış ve üç hizalanmış olmak üzere toplamda yedi farklı açıklık konfigürasyonunu 3D RANS türbülans modeli SST k- ω ile CFD kullanarak havalandırmayı en üst düzeye çıkaran açıklık konfigürasyonunu bulmayı amaçlamış ve iç ortam hava hızı ile basınç dağılımlarının hem giriş hem de çıkış açıklıklarının konumlandırılmasına büyük ölçüde bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada farklı açıklık konfigürasyonlarının bina modelindeki türbülans bölgelerini önemli ölçüde etkilediğini ve çatıya yakın olan açıklık konumlarının zemine yakın olan açıklık konumlarına kıyasla %6,52 oranında havalandırma oranını artırdığı gözlemlenmiştir. Bulgulara göre, yedi açıklık konfigürasyonunun hepsinde ortak bir hava akışı eğilimi olduğu, yüksek hızlı hava akışının binaya giriş açıklığından girip binanın ortasına doğru hızın düştüğü ve çıkış açıklığına doğru yeniden hız kazanmakta olduğu vurgulanmıştır. Havanın upwind cephesinde duvara çarpması nedeniyle basınç yüksek olmakta ve leeward cephesinde diğer cepheye kıyasla basınç daha düşük olmuştur.

Tai vd. (2022) çalışmalarında, izole binalardaki çapraz havalandırma üzerinde açıklık konumu, çatı eğimi ve panjur açılarının iç mekan hava akışı, basınç dağılımı ve havalandırma oranları üzerindeki etkilerini incelemiştir. En yüksek boyutsuz debi oranı (DFR) panjursuz üst-üst konfigürasyonda elde edilip panjur açısının 0°'den

45°'ye yükselmesiyle DFR'nin genel olarak tüm açıklık konfigürasyonları için azaldığı, en yüksek hava değişim verimliliğinin (AEE) 15° panjur açısına sahip merkez konfigürasyonda elde edilip en düşük AEE 0° panjur açısına sahip üst-üst durumunda gözlemlendiği, upwind ve leeward açıklıkları arasında C_p 'nin tüm durumlar için 0°'den 45°'ye kadar olan panjur açısı ile arttığı bu çalışmanın bulguları arasındadır.

Al-Aghbari vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, genel bir izole binada 9°, 18° ve 27° testere dişli çatı eğim açıları ile alt-üst, alt-orta, orta-üst ve orta-orta gibi dört farklı açıklık konfigürasyonlarının rüzgar kaynaklı çapraz havalandırma üzerindeki etkileri araştırılmıştır. sRANS denklemleri ile SST k- ω türbülans modeli kullanılan çalışmada, çatı eğim açısının artırılmasının upwind ve leeward açıklıkları arasındaki basınç farkı nedeniyle iç mekan hava akış hızının arttığı, en yüksek basınç katsayısının 9°'lik düşük çatı eğiminde orta-üst açıklık konumunda elde edildiği, en yüksek hacimsel akış hızının (VFR) 27°'lik çatı eğim açısına sahip orta-üst açıklık konfigürasyonunda olduğu, alt-üst açıklık konumunun farklı açıklık konumlarından kaynaklanan ek akış direnci nedeniyle alt-orta açıklık konumuna kıyasla daha düşük basınç katsayısına sahip olduğu gözlenmiştir.

Meroney (2009), Karava (2008) tarafından gerçekleştirilen rüzgar tüneli deneyindeki bina modelinin çevre ve iç hava akış modelini farklı türbülans modelleri (standart k- ϵ , RNG k- ϵ ve SST k- ω), kullanarak CFD yardımı ile simüle etmiş ve bu simülasyonları rüzgar tüneli deneylerindeki ölçümlerle karşılaştırmıştır. Bu çalışmayla beraber simüle edilen çapraz havalandırmadaki akış hızlarının ve iç basınçların deneysel verilerle iyi bir uyum içinde olduğunu ve CFD yaklaşımının güvenilirliği doğrulanmıştır. İç hava akış özellikleri türbülans modeli seçimine karşı minimum hassasiyet göstermiş ve bu da daha basit modellerin doğruluğa yakın bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Perén vd. (2015a) dikey konumun genel bir izole binada rüzgar kaynaklı çapraz havalandırma üzerindeki etkilerini analiz etmek için asimetrik açıklık konumlarının ve çıkış açıklığının yanı sıra farklı çatı eğimlerinde bir CFD simülasyonu gerçekleştirmiştir. Çalışmada simülasyonlar ızgara hassasiyet analizine dayandırılmış ve rüzgar tüneli ölçümleri PIV kullanarak doğrulanmıştır. Bulgulara göre, RNG k- ϵ ve SST k- ω türbülans modelleri deneysel verilerle en iyi uyumu sağlamış, eğim açısının artırılmasıyla hacimsel akış hızında %22'den fazla artış gözlemlenmiştir. Çalışmada

ulaşılan sonuçlara göre; SST k- ω türbülans modeli en doğru sonuçları vermiş, 45°'lik çatı eğim açısının iç mekan havalandırması için optimum değer olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ıkış açıklığının çatıya yakın olduğunda akış hızı %25'i geçmiştir.

Ramponi ve Blocken (2012b) PIV kullanarak detaylı rüzgar tüneli deneyleri ile izole bir binanın çapraz havalandırması zerine 3D sRANS simülasyonları yapmış ve nümerik bulguları PIV ile doğrulamıştır. Hesaplamalarda hesaplama alanının boyutu, atmosferik sınır tabakasının giriş türbülanslı kinetik enerji profili, türbülans modelleri, ayrıklaşma şemaları ve yakınsama kriterleri gibi faktörler incelenmiştir. Çalışma bulgularına göre, SST k- ω türbülans modeli en iyi performansı gösterirken, bunu RNG k- ϵ modeli izlemiştir. Diğer türbülans modelleri, cephe üzerindeki girdap büyüklüğünü, konumunu ve havalandırma açıklıklarındaki jet yönünü doğru bir şekilde yeniden üretmekte zorlanmış, dolayısıyla temel akış özelliklerini doğru bir şekilde gösteremediği belirtilmiştir. Güvenilir simülasyon sonuçları için en az ikinci dereceden ayrıklaştırma şemalarının kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Ramponi ve Blocken (2012a) izole bir binanın dört farklı konfigürasyonunu SST k- ω türbülans modeli ile 3D sRANS yaklaşımı kullanarak CFD simülasyonlarını rüzgar tüneli ölçümleriyle doğrulayıp çapraz havalandırma akışı üzerindeki fiziksel ve sayısal difüzyonun etkilerini ilk olarak TKE girdi profillerini gerçekçi bir aralıkta değiştirmiş ve fiziksel difüzyonu analiz etmiş daha sonra sayısal difüzyon grid znrlğ değiştirerek birinci ve ikinci dereceden ayrıklaştırma şemaları uygulayarak incelemiştir. Yapılan bu doğrulama sonucunda dört konfigürasyonun nde iyi bir uyum göstermiş, difüzyon çalışmasının fiziksel ile sayısal difüzyonun etkilerinin oldukça benzer olup bu etkiler en çok bina içinde belirgin olduğu ve difüzyonun binaların çapraz havalandırılmasında önemli bir taşıma mekanizması olduğu sonucuna varılmıştır.

Peren vd. (2015b) yapmış oldukları çalışmada, SST k- ω türbülans modeli kullanarak içbükey, hibrit ve dışbükey konfigürasyonlarda beş farklı çatı geometrisi içeren izole bir binada havalandırma durumunu CFD yöntemi ile analiz ederek çalışmalarını mevcut literatürde bulunan PIV ölçümleriyle doğrulamışlardır. Çalışma sonuçları düz ve dışbükey çatı geometrilerinin leeward cephesindeki düşük basıncı st düzeye çıkarabileceği ve böylelikle çapraz havalandırmanın artmasına neden olabileceğini göstermiştir. Normal rüzgar geliş açısı (0°) için düz ve dışbükey çatı geometrilerinin,

içbükey ve hibrit geometrilere oranla daha yüksek hacimsel akış hızları sağladığı çalışmanın bulguları arasındadır.

Li vd. (2023) korunaklı üç katlı yüksek binanın λ_p ve açıklık konumlarının çapraz havalandırma performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için standart k- ϵ türbülans modeliyle sayısal simülasyonlar gerçekleştirmiş ve hız profili, basınç farkları, TKE, DFR, hava yaşı (AOA) ve AEE gibi çeşitli parametreleri analiz etmiştir. Çalışmada üç bina seti ve beş farklı açıklık konfigürasyonu kullanılmıştır. λ_p dış hava akış hızında 1.katta önemli etkiye sahipken, 2. ve 3. katlarda daha az etkili olduğu, aynı şekilde AEE ve AOA üzerinde 1. katta önemli etkiye sahip olurken 2. ve 3. katta daha az etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. $\lambda_p=0,25$ değerinde tüm açıklık konfigürasyonlarında maksimum AEE, DFR ve AOA elde edilmiştir.

Tominaga vd. (2015) 3:10, 5:10 ve 7,5:10 gibi farklı çatı eğimlerine sahip izole beşik çatılı binaların etrafındaki hava akışını sRANS denklemlerinin kullanıldığı CFD simülasyonları ve rüzgar tüneli deneyleri ile incelemişlerdir. Çalışma, bina modelleri etrafındaki zaman ortalamalı hız, basınç katsayıları ve türbülanslı kinetik enerji değerlerinin ölçümelerini sağlamıştır. Türbülans modellerinin duyarlılık analizlerinde standart k- ϵ modelinin aşırı tahmini ile SST k- ω modelinin düşük tahminleri arasında denge kurabilmesinden dolayı RNG k- ϵ modelinin en iyi performansı sergilediği sonucuna varılmıştır. Bulgular, akış yönündeki hız tahminlerinin ortalama %15'ten daha az bir sapma ile ölçülen değerlerle uyum içinde olduğu fakat sRANS tarafından yeniden üretilmeyen büyük ölçekli geçici dalgalanmalar nedeniyle bina arkasındaki noktalar için tahmin doğruluğunda %30 kadar sapmalar olduğu gözlenmiştir. C_p , CFD analizlerinde genel itibariyle iyi bir şekilde üretilmesine rağmen çatı köşesi etrafındaki TKE'nin aşırı tahmini nedeniyle daha sık çatı eğimleri için sırt tarafındaki C_p 'nin negatif tepe değeri fazla tahmin edildiği çalışmanın sonuçlarındandır.

Moey vd. (2021a) sRANS denklemleri ile CFD kullanarak izole beşik çatılı binaların farklı çatı eğimlerine göre (15°, 25° ve 35°) bina etrafındaki ve bina içindeki hava akışı özellikleriyle birlikte bu üç farklı çatı eğimi için normalleştirilmiş hız, basınç katsayısı ve TKE gibi parametreleri araştırmıştır. Sonuçlar, çatı eğiminin artmasıyla beraber pencere açıklıklarındaki hızda buna karşılık gelen bir artış olduğu, binanın arka

tarafındaki sirkülasyon bölgesinin ise yukarı doğru hareket ettiği ve daha belirgin hale geldiğini göstermiştir. 25° ile 35° çatı eğimleri için akış alanlarındaki değişim, 15° ile 25° eğimler arasındaki farka kıyasla daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Genel itibariyle araştırmada daha iyi doğal havalandırma sağlanabilmesi için daha dik eğimli beşik çatıların tercih edilmesi öngörülmüştür.

Díaz-Calderón vd. (2023) eksenel pencerelere sahip izole bir binanın NV değerlendirmesini, upwind ve leeward cephelerinde alt, orta ve üst yüksekliklerdeki pencere yerleşimi ve 0,005, 0,10 ile 0,20 olmak üzere üç farklı cephe gözenekliliğinin (P) etkisine odaklanarak deneysel sonuçlara göre doğrulanan CFD simülasyonları kullanarak bir araştırma yürütmüşlerdir. Yapılan çalışmadaki simülasyon sonuçlarında artan pencere yüksekliğinin normalize edilmiş ortalama hız büyüklüğünü azalttığını ve hem hız homojenlik indeksi (H) hem de normalize edilmiş hacimsel akışı arttırdığını, P'nin artırılmasının normalize edilmiş ortalama hız büyüklüğünü ve normalize edilmiş hacimsel akışı arttırdığı ancak H üzerinde ise etki yaratmadığı gözlemlenmiştir. Genel olarak daha yüksek gözenekliliğe sahip alt ve orta pencere konfigürasyonlarının en iyi havalandırmayı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Moey vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, izole bir binada sawtooth ve saltbox çatı tipleri ve 10°, 20°, 30° ve 40° çatı açıları ile çeşitli iç engel yükseklikleri kullanılarak toplam 40 konfigürasyon oluşturulmuş ve standart k-ε modeli ile sRANS denklemleri kullanarak CFD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulgular, DFR'nin en büyük çatı açısında maksimum, en küçük çatı açısında minimum olduğunu göstermiştir. İç engellere sahip binalarda, hava akışının engellenmesi nedeniyle DFR'nin daha düşük olduğu ve gelen havayı hapseden bu iç engellerin önünde yüksek basınç oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sawtooth çatı şeklinin, saltbox çatı şekline göre ölçülen tüm parametrelerde daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Çizelge 1.1'de literatürde bulunan bazı çalışmaların metotları, kullanılan türbülans modelleri ve yapılan çalışmaların doğrulamaları verilmiştir.

Çizelge 1.1. Rüzgar kaynaklı çapraz havalandırma çalışmalarına genel bakış (Ramponi ve Blocken, 2012).

Referans	Yöntem	Türbülans Modeli	Doğrulama	Parametre
Kato vd. (1992)	LES	Standart Smagorinsky	WT	V, VF, Q, P
Lee vd. (2005)	RANS	SKE, RNG, RLZ, RSM	WT	V, VF, TP
Yang vd. (2006)	RANS	SKE, RNG	FS	Q, P
Meroney (2009)	RANS	SKE, RNG, RLZ, SKO, RSM	WT	V, VF
Larsen vd. (2011)	RANS	SKO	WT/FS	V
Kobayashi vd. (2010)	RANS	RSM	WT	V, VF, P
Mohammed vd. (2013)	RANS	SKE	WT	Q
Tong vd. (2016)	LES	Dynamic Smagorinsky	WT	V
Norton vd. (2010)	RANS	SKE	FS	V

1.2 Amaç ve Kapsam

Hem çevresel kaygılar hem de sürdürülebilir kalkınma hedefleri, enerji verimliliği sağlayan alternatif çözümler arayışını hızlandırmıştır. Enerji tasarruflu bina tasarımının kritik bir bileşeni olan doğal havalandırma, mekanik havalandırma sistemlerine olan bağımlılığı azaltırken, doğal hava akımlarını kullanarak iç mekân hava kalitesini ve sıcaklık düzenlemesini sağlar. Bu yöntem, yalnızca enerji tüketiminin ve karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sunmakla kalmaz, aynı zamanda iç mekân hava kalitesinin iyileştirilmesine ve işletme maliyetlerinin uzun vadede düşürülmesine olanak tanır. Dolayısıyla, doğal havalandırma stratejileri hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik faydalar açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu bağlamda, doğal havalandırmanın potansiyelini ve etkilerini derinlemesine incelemek amacıyla bu tezde, atmosferik sınır tabaka etkisindeki binalarda rüzgar kaynaklı çapraz havalandırma durumu, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi kullanılarak ANSYS yazılımı ile sayısal olarak incelenmiştir. Tez kapsamında, farklı pencere açıklık şekillerine, çatı eğimlerine, pencere giriş ve çıkış açıklık boyutlarına ve pencere konumlarına sahip binaların çapraz havalandırma performansları analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, bina içindeki ve etrafındaki hız ve basınç konturları, akım çizgileri dağılımı ve bina içi havalandırma oranları incelenerek, havalandırma performansı üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

2. HAVALANDIRMA

Genel olarak havalandırma, kapalı bir alan içindeki havanın dış hava ile değiştirilmesi, böylece potansiyel olarak zararlı kirleticilerin giderilmesi ve optimum iç mekan hava kalitesi ile termal konforun sağlanması için sürekli bir süreçtir (Moey vd., 2017).

Bir odayı havalandırmanın nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Yang ve Clements-Croome, 2020):

- a) Oksijen Temini: Havalandırma havası, insan yaşam süreçleri için gerekli olan temel oksijeni sağlar. Solunan havanın solunum sisteminden geçerek oksijeni kana ve ardından beyne aktarması yaklaşık 4 saniye sürer. Düşük oksijen seviyelerine ve yüksek karbondioksit (CO_2) konsantrasyonlarına sahip düşük kaliteli hava, net düşünmeyi ve konsantrasyonu engelleyebilir.
- b) Kirletici Seyreltme: Havalandırma havası, iç ortamda bulunan kirleticileri seyreltmeye yarar. Bu kirleticiler arasında solunumdan kaynaklanan CO_2 , insan derisinden yayılan kokular, sigara dumanı, toz, alerjenler, aerosoller, toksik gazlar ve genel havadaki partiküller gibi çeşitli işlemlerden kaynaklanan emisyonlar yer alabilir.
- c) Sıcaklık ve Nem Düzenlemesi: Havalandırma, konfor ve refahın korunması için gerekli olan aşırı ısı ve/veya nemin giderilmesine yardımcı olarak, bir alan içindeki havanın hareketini kolaylaştırır.

Havalandırma:

- I. Doğal havalandırma
- II. Mekanik havalandırma

olarak iki ana türe ayrılır. Doğal havalandırma, hava sirkülasyonu için rüzgar gibi doğal güçlerden yararlanırken, mekanik havalandırma fanlara, klimaya veya bina içindeki diğer mekanik sistemlere dayanmaktadır. Bununla birlikte, mekanik cihazların kullanımı genellikle enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır (Khan vd., 2008).

Geçmişte, öncelikle rüzgar ve kaldırma kuvvetleri tarafından yönlendirilen doğal havalandırma, binaların havalandırılması için baskın yöntemdi. İç ortam havası,

genellikle sıcaklık, nem ve kirlilik seviyeleri bakımından farklılık gösteren dış ortam havası ile değiştirilirdi (Hetebrij, 2021).

Doğal havalandırma temel olarak iki şekilde ortaya çıkar (Golubić vd., 2020):

- I. Atmosferdeki basınç farklarından kaynaklanan rüzgar kaynaklı havalandırma,
- II. İç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan baca (kaldırma kuvveti kaynaklı) havalandırması.

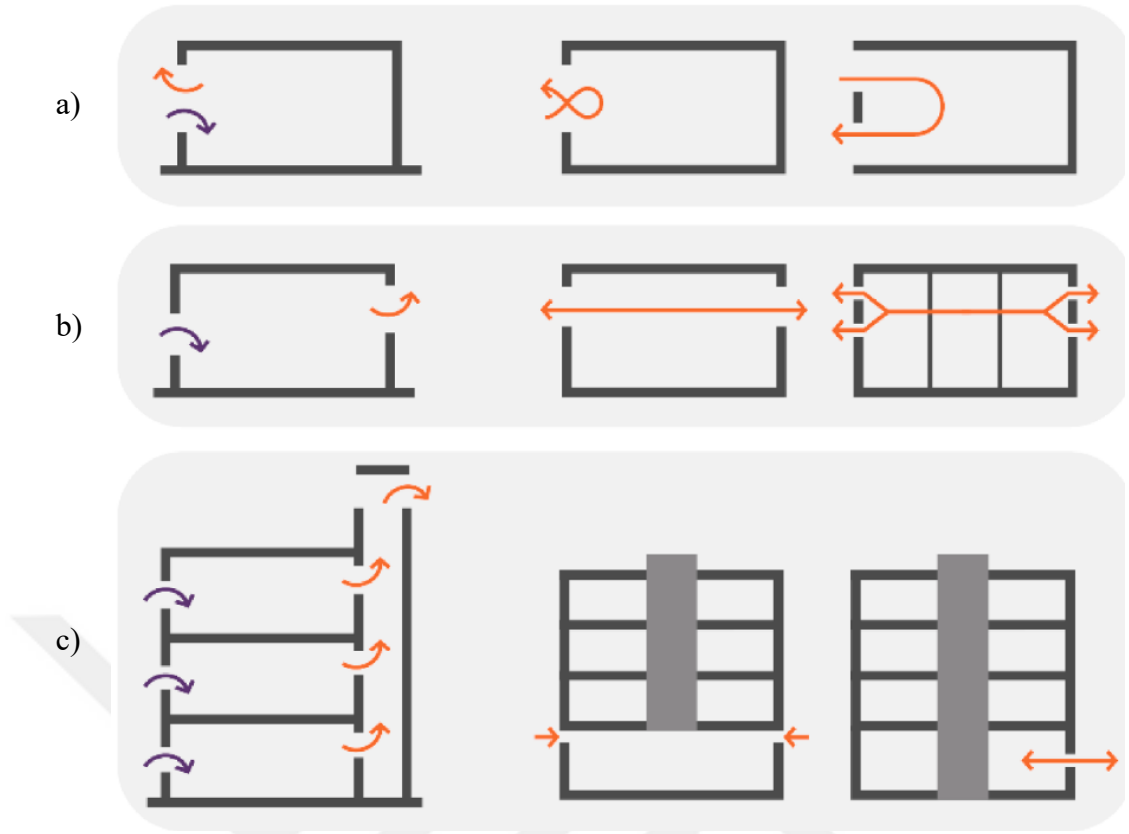
Son elli yılda kapsamlı bir şekilde incelenen doğal havalandırma, karmaşık bir mekanizmadır (Etheridge, 2015; Karava, 2008). Çeşitli biçimleri arasında, rüzgarın bina boyunca oluşturduğu basınç farklarının açıklıklarından hava akışını tetiklediği rüzgar tahrikli çapraz havalandırma en yaygın tür olarak öne çıkmaktadır (Khan vd., 2008).

2.1 Doğal Havalandırma Çeşitleri

Doğal havalandırma;

- Tek taraflı havalandırma
- Çapraz havalandırma
- Baca havalandırması

olarak üç ana teknikten oluşur (Larsen, 2006). Tek taraflı havalandırma, hava akışını kolaylaştırmak için tek bir cephede açıklıklar içerir (Mohamed vd., 2011). Açıklıklar tek taraflı tek açıklık veya çift açıklık şeklinde olabilmektedir. Çapraz havalandırmada ise, biri rüzgar alan tarafta (rüzgar üstü cephe) ve diğeri rüzgar altı cephe olmak üzere karşılıklı iki pencere kullanılır. Bu yöntem, rüzgar veya termal kaldırma kuvveti tarafından yönlendirilebilir; pencereler aynı yükseklikte olduğunda rüzgar birincil itici güç olurken, aralarında yükseklik farkı olduğunda termal kaldırma kuvveti meydana gelir (Larsen, 2006). Baca havalandırması, hava girişi için bir alt açıklık ve hava çıkışı için çatıdaki menfezler gibi bir üst açıklık ile çalışır ve termal kaldırma kuvveti tarafından yönlendirilir (Wahab vd., 2016). Şekil 2.1’de bu üç doğal havalandırma yöntemleri ile alakalı şekiller verilmiştir.



Şekil 2.1. Havalandırma çeşitleri a) Tek taraflı havalandırma b) Çapraz havalandırma c) Baca havalandırması (Plazas ve de Tejada, 2024).

2.2 Doğal Havalandırmanın Avantajları

Mekanik havalandırmanın kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, filtreler, soğutma üniteleri, ısıtma üniteleri, nemlendiriciler ve vantilatörler kullanılarak hava özellikleri üzerinde daha fazla kontrol sağlanmaya başlanmıştır. Bu bileşenler, iç mekan hava koşulları üzerinde hassas kontrol sağlarken, aynı zamanda enerji tüketimine neden olmakta ve doğal havalandırmada daha az önemli olan bir husus olan bakım gerektirmektedir (Hetebrij, 2021).

Doğal havalandırma, termal konforu ve hava kalitesini iyileştirmek için hem geleneksel hem de modern binalarda yaygın olarak kullanılmakta ve binaların soğutma enerjisi talebini azaltmaktadır (Ji vd., 2013; Serrano-Arellano vd., 2013). Ayrıca, doğal havalandırma stratejilerinin kullanılmasıyla, konutların hava kalitesi ve sakinlerinin konfor düzeyleri önemli ölçüde artırılabilir (Guo vd., 2015).

Hastane gibi bazı binaların solunum yolu hastalıklarına ve ölümlere neden olan başlıca yerlerden biri olarak küresel ölçekte kabul edildiği göz önüne alındığında, doğal

havalandırma, havadaki damlacıklar ve aerosoller yoluyla bulaşan solunum yolu hastalıkları riskini azaltmak için uygulanabilir bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Gao vd., 2016; Hobday ve Dancer, 2013; Qian vd., 2010).

Doğal havalandırma sistemleri, sürdürülebilir inşaat tekniklerini benimseme, enerji tüketimini azaltma ve doğru şekilde uygulandığında hem hava kalitesini hem de iç ortam koşullarını iyileştirme fırsatı sunar (Meroney, 2009).

Konforlu ve sağlıklı bir iç ortam sağlarken, binaların enerji verimliliğini artırmak bizler için önemli bir görev haline gelmiştir. Doğal havalandırmanın uygulanması, özellikle soğutma yükünün azaltılması açısından, sürdürülebilir bir tasarım stratejisi olabilir. Mekanik havalandırmanın devreye girmesiyle birlikte, hava özellikleri filtreler, soğutma üniteleri, ısıtma üniteleri, nemlendiriciler ve vantilatörler kullanılarak daha kontrollü hale getirilebilmektedir. Ancak, bu unsurların tümü enerji tüketir ve bakım gerektirir; doğal havalandırmada ise bu gereksinimler daha az önem taşır (Hetebrıj, 2021).

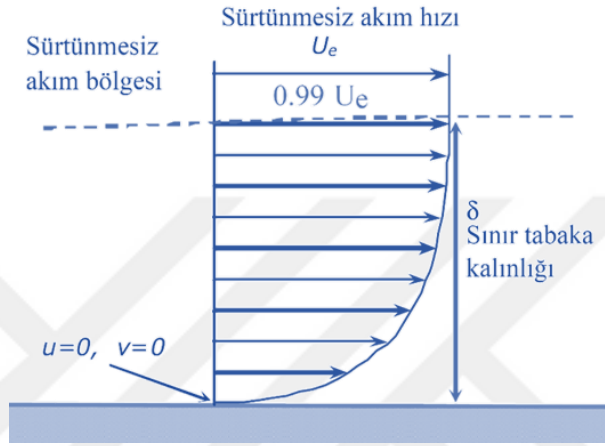
2.3 Sınır Tabaka ve Atmosferik Sınır Tabaka

Viskozite, akışkan tabakalarının birbiri üzerinde kaymaya karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanabilir ve bu direnç, bir akışkan ile katı bir yüzey arasında da mevcuttur. Bir akışkan katı bir cismin etrafında akarken veya bir cisim bir akışkanın içinde hareket ederken, akışkan tarafından temas yüzeyleri boyunca teğetsel kuvvetler uygulanır. Temas yüzeyinin her noktasında, akışkanın katıya göre hızının sıfır olduğu, yani yüzeydeki akışkanın katı ile aynı hıza sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yüzeye yakın yavaş hareket eden akışkan parçacıkları, yukarıdaki katmanlarda daha hızlı hareket eden parçacıklara teğetsel kuvvetler uygulayarak onları kademeli olarak yavaşlatır. Bu etkileşim, yüzeyden uzaklaştıkça azalarak devam eder. Katı yüzeye yakın akış hızındaki bu azalma, viskozitenin doğrudan bir sonucudur. Modern aerodinamiğin kilit isimlerinden Prandtl, viskozitenin etkisinin katı yüzeye yakın bölgede yoğunlaştığını ve bu bölgenin dışına çıkıldığında ihmal edilebilir olduğunu keşfetmiş bunun sonucunda bir cisim etrafındaki akışı iki bölgeye ayırmayı önermiştir (URL-1):

- Viskozitenin duvar yakınındaki akışkan hızını azalttığı sınır tabaka

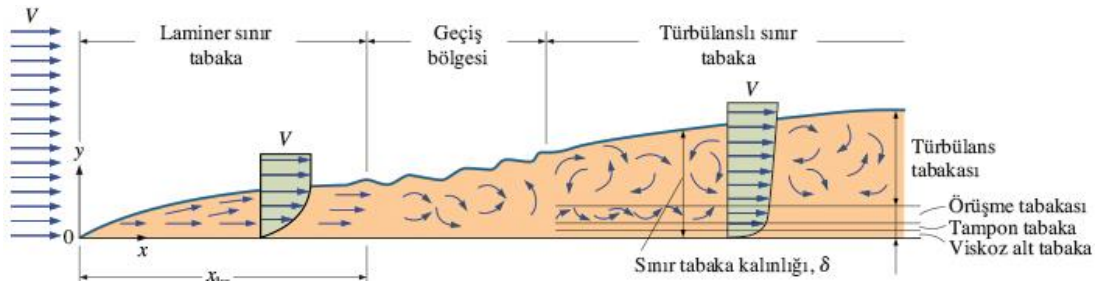
- Viskozite etkilerinin ihmal edilebilir olduğu sürtünmesiz akış bölgesi

Sınır tabaka, akışkan hızının sürtünmesiz akış bölgesindeki hızdan %99 veya daha az olduğu alan olarak tanımlanır ve sınır tabakanın kalınlığı, katı yüzeyden hızın sürtünmesiz akış hızının %99'una ulaştığı noktaya kadar olan mesafedir. Şekil 2.2’de bir yüzeydeki kaymama koşulu ve sürtünme nedeniyle sınır tabakasının gelişimi görülmektedir.



Şekil 2.2. Sınır tabaka yapısı (URL-1).

Şekil 2.3’te verilen gelen akışa sıfır hücum açısıyla yerleştirilmiş pürüzsüz, düz bir levhanın üzerinde gelişen bir sınır tabakası incelendiğinde, yüzeyin düz olmasından dolayı yüzey üzerinde herhangi bir basınç gradyanı oluşmamıştır. Sınır tabakanın kalınlığı, levhanın ön kısmında sıfırdır ve daha sonra kalınlık giderek artmaktadır. Başlangıçta laminar formda başlayan sınır tabaka, laminar sınır tabaka kalınlığının artması ve aşağı yönde gelişmesiyle beraber akışkan tabakalar (laminar ve türbülans) doğal olarak karışma eğilimi göstermektedir. Son olarak, sınır tabakası kendisini iyi karışmış bir türbülanslı sınır tabaka formuna dönüştürür.

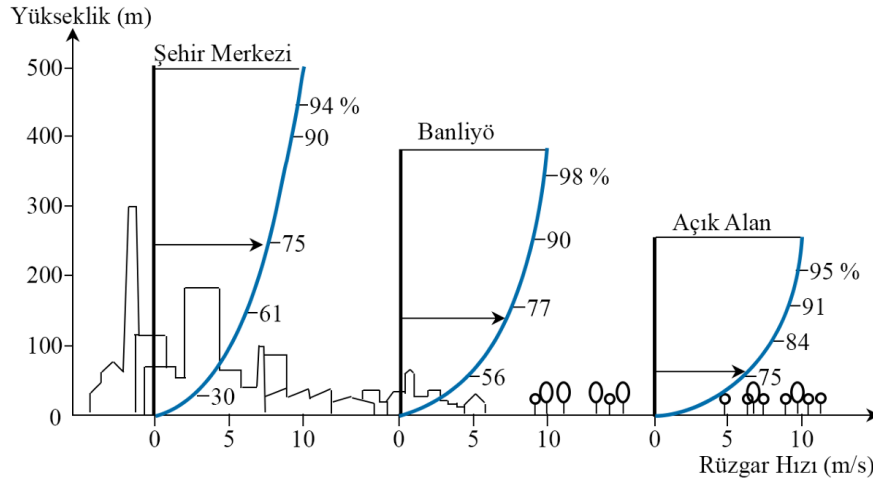


Şekil 2.3. Düz levha üzerindeki sınır tabaka gelişimi ve farklı akış rejimleri (Çengel, 2010).

Kentsel ortamlardaki rüzgar kaynaklı havalandırma, öncelikle atmosferin alt bölgesi olan Atmosferik Sınır Tabakası (ABL) içinde gerçekleşir. Kentsel bağlamlarda bu tabaka, yere en yakın troposferde bulunur ve tipik olarak yaklaşık 1 kilometreye kadar uzanabilmektedir (Cushman-Roisin ve Deleersnijder, 2019). ABL ister kara ister deniz üzerinde olsun, atmosferin Dünya yüzeyi ile doğrudan etkileşime girdiği bir arayüz görevi görür.

Hava ve yüzey arasındaki bu etkileşim mekanik ve termal süreçler olarak ikiye ayrılır. Termal etkileşim, güneş radyasyonu tarafından yönlendirilir. Güneş radyasyonu, elektromanyetik dalgalar halinde atmosfere nüfuz eder ve büyük bir kısmı Dünya yüzeyi tarafından emilir. Sonuç olarak, yüzey ısınır ve ısıyı radyasyon şeklinde geri yayar. Ancak, bu tez çalışmasının amaçları doğrultusunda, bu termal etkilere odaklanılmamıştır.

Rüzgar, atmosferdeki basınç değişimleri sonucunda oluşur. Dünya yüzeyine yakın yerlerde rüzgar akışı, yüzey sürtünmesinin rüzgar hızını etkilediği atmosferik sınır tabaka olarak bilinen bölgeden etkilenmektedir. Şekil 2.4, farklı araziler üzerinde rüzgar hızının yükseklikle değişimini gösterirken, Çizelge 2.1 ise arazi pürüzlülüğü hakkında bilgi vermektedir.



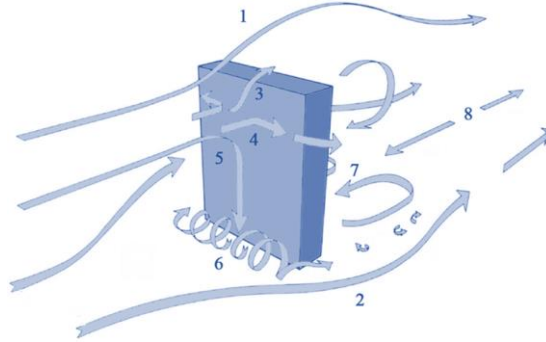
Şekil 2.4. Rüzgar hızının yükseklik ve arazi koşullarına göre değişimi. (Yücel, 2010).

Çizelge 2.1. Etkili arazi pürüzlülüğü sınıflandırması (Wieringa, 1992).

Sınıf	Pürüzlülük [m]	Peyzaj açıklaması
Deniz	0,0002	Açık su, düz ova
Pürüzsüz	0,005	İhmal edilebilir düzeyde bitki örtüsü, bataklık ve sırtsız buzun bulunduğu engelsiz arazi
Açık	0,03	Düz açık çimenler, tundra, havaalanı pisti, izole edilmiş engeller > 50 engel yüksekliği H ;
Kabaca açık	0,10	Mahsul veya bitki örtüsü az, ara sıra $\geq 20 H$ ile ayrılan engeller
Kaba	0,25	Farklı yükseklikteki mahsuller, $x \approx 12-15 H$ aralıklı dağılmış engeller (eğer gözenekliyse (korunaklar) ve $x \approx 8-12 H$ katı ise (binalar))
Çok kaba	0,5	Büyük çiftlikler, meyve bahçeleri ve çalılıkların bulunduğu, yoğun olarak işlenen arazi ($x \approx 8 H$); veya alçak, iyi aralıklı binalar ve yüksek ağaçlar yok ($x \approx 3-7 H$)
Gözden geçirme	1,0	Aralıkları $\approx H$ olan tam benzer yükseklikte engel örtüsü, örneğin olgun ormanlar, banliyö kasaba alanı
Kaotik	≥ 2	Çok büyük unsurların düzensiz dağılımı: yüksek katlı şehir merkezi, geniş açıklıklara sahip büyük düzensiz orman

2.4 Bina Akış Modeli

Kentsel bir ortamda rüzgar akışı önemli ölçüde karmaşıklık gösterebilir. Bununla birlikte, tek bir izole bina için akış modeli daha öngörülebilir olma eğilimindedir. Birkaç ayırt edilebilir akış modeli tanımlanabilir ve bu modeller Şekil 2.5 ile gösterilebilir:



Şekil 2.5. Tek bir binanın etrafındaki ayırt edilebilir hava akışları (Klep, 2016).

- 1 Numaralı akış çizgileri: Yaklaşan akış, bina önündeki yüksek basınç alanından kaçarak en az direnç yönünü takip eder ve bina üzerinden akar.
- 2 Numaralı akış çizgileri: Köşe akışları, bina üzerindeki akışa benzer şekilde, rüzgar alan taraftan başlayarak bina köşelerinden geçer ve rüzgar almayan tarafa ulaşır.

- 3 Numaralı akış çizgileri: Yaklaşan akış, bina yüksekliğinin yaklaşık %70'inde durur ve bir yüksek basınç alanı oluşturur. Bu noktadan itibaren hava yukarı doğru akar ve bina tepesindeki akışla birleşir.
- 4 Numaralı akış çizgileri: Durma noktasından gelen hava akışı, bina yanlarından rüzgar almayan tarafa doğru akar.
- 5 Numaralı akış çizgileri: Yüzey akışı olarak adlandırılan bu akışta, hava akışı durma noktasına çarparak bina cephesinden aşağı doğru akar.
- 6 Numaralı akış çizgileri: Durma noktasından aşağı doğru akan hava, bina önünde zemin seviyesinde duran bir girdap oluşturur. Bu girdaptan hava, bina köşelerine doğru akar ve köşe akışlarına katılarak yüksek hızda bir köşe akışına dönüşür. Bu akış özelliği, özellikle yüksek binaların yakınında, yayaların rüzgardan rahatsız olmasına ve hatta tehlike altında kalmasına neden olabilir.
- 7 Numaralı akış çizgileri: Rüzgar almayan taraf olarak da adlandırılan bu akışta, bina arkasındaki düşük basınç alanı, akışların bina etrafında yeniden dolaşmasına neden olur. Bu noktadan itibaren hava tekrar binaya doğru akar. Bu alan, düşük hızlar ve değişen akış desenleri ile karakterize edilir ve bu nedenle kararsız ve yavaşça dönen girdaplar oluşur.
- 8 Numaralı akış çizgileri: Akış, bu noktadan sonra önceki yönüne geri döner ve yeniden gelişir.

3. AKIŞKANLAR MEKANİĞİ ve HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ

Akışkanlar mekaniğinde, akışkanın durgun (akışkan statik) ve hareket halindeki (akışkan dinamiği) davranışlarını incelenmekle beraber diğer akışkanlarla ve katılarla oluşturdıkları sınırlardaki etkileşimleriyle de ilgilenmektedir. Ayrıca akışkanlar mekaniği hidrodinamik, gaz dinamiği ve aerodinamik gibi birkaç alt sınıfa da ayrılmaktadır (Çengel ve Cimbala 2020).

CFD, NS denklemleri gibi matematiksel denklemleri sayısal yöntemlerle çözerek akışkan akışını modellemek ve ısı transferi, kütle transferi ve kimyasal reaksiyonlar gibi olayları tahmin etmek için kullanılan bir bilim dalıdır. Başka bir ifade ile CFD, kütle, momentum ve enerji korunumu ilkelerine dayanarak akış olaylarını dijital araçlarla tahmin eden bir hesaplama bilimidir. Bu tahminler, belirli akış geometrilerine, akışkan özelliklerine ve akış alanının sınır ve başlangıç koşullarına bağlı olup zaman ve mekân içinde hız, basınç, sıcaklık, kuvvet gibi değişkenlere odaklanır (Hu, 2012). Gerçek dünyadaki akışkan davranışını simüle etmek için fizik, akışkanlar mekaniği, matematik ve bilgisayar bilimi gibi disiplinleri entegre eder. CFD, farklı koşullar altında akışkan davranışını değerlendirmek için makine, biyomedikal, rüzgar ve havacılık mühendisliği gibi çeşitli mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Khan vd., 2008; Linden, 1999; Murakami, 1991). Özetle, CFD akışkanlar dinamiğinde, özellikle de rüzgarın binalarla etkileşiminin tahmin edilmesinde kritik bir rol oynamakta ve mühendislerin çevresel güçlere etkili bir şekilde dayanabilecek yapılar tasarlamasına yardımcı olmaktadır.

3.1 Akışkanlar Mekaniği Çözüm Yöntemleri

Akışkan dinamiği iç ve dış akış gibi genel olarak ikiye ayrıldığı gibi akışkan hareketi de üç ana yöntemle incelenebilmektedir;

- Deneysel yöntemler
- Teorik yöntemler
- Sayısal yöntemler

Genel anlamda, iç ve dış akışların birlikte kullanıldığı birçok durum mevcuttur. Bu tür akışlara örnek olarak uçaklar, otomobiller, bina aerodinamiği ve meteoroloji verilebilir.

3.1.1 Deneysel yöntemler

Akışkan hareketinin incelenmesinde kullanılan ilk yöntemlerden biri deneysel yöntemlerdir. Bu yöntem, gerçek ortam koşullarında modelleme yaparak uygulamaktadır. Deneysel çalışmalarda hız, basınç, kuvvet ve sıcaklık gibi çeşitli verilerin ölçümü gerçekleştirilir. Ancak, akış koşullarını sağlamak açısından Mach sayısı ve Reynolds sayısı gibi parametreleri elde etmek zor olabilmektedir. Ayrıca, deneysel çalışmalar sırasında yalnızca belirli noktalarda veri toplanabilmektedir. Deneysel çalışmalar, dinamik açıdan gerçeğe çok yakın sonuçlar vermekle beraber oldukça pahalıya mal olabilmekte ve zaman istemektedir.

3.1.2 Teorik yöntemler

Teorik çalışmalar, matematiksel modellemelerin karmaşıklaşmasıyla birlikte çözümlemeyi zorlaştırmakta ve elle çözüm zorluğunu beraberinde getirmektedir. Bu zorluklar, teorik çalışmaların zamanla bilgisayar ortamına aktarılmasıyla aşılmış ve CFD yöntemi gelişmiştir. CFD, teorik modellemelerin bilgisayar destekli çözümlerle uygulanmasını sağlamakta, bu sayede deneysel verilere oldukça yakın sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca, bu yöntem, zaman tasarrufu sağlayarak araştırmacıların daha verimli çalışmasına olanak tanımaktadır.

3.1.3 Sayısal yöntemler

Akışkanlar mekaniğinde, karmaşık geometriler ve sınır koşullarında teorik çözümün mümkün olmadığı durumlarda yaklaşık çözümler için sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bilgisayar tabanlı olan bu yöntemde, eğer çözüm doğru ise, akış alanının her noktasında veri elde edilebilmektedir. CFD sonuçlarının karşılaştırılması ve doğrulanması önem arz etmektedir. CFD simülasyonlarında çözülen akışlar, iki boyutlu, üç boyutlu, daimi, zamana bağlı, doğrusal veya doğrusal olmayan, sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz, viskoz veya viskoz olmayan gibi çeşitli özelliklere sahip olabilirler.

Sonlu hacimler yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve spektral eleman yöntemi gibi çeşitli sayısal ayrıklaştırma metotları, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde sıkça kullanılmaktadır.

3.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Avantajları

Son zamanlarda, işlemci hesaplama yeteneklerinin hızla gelişmesiyle, rüzgarla ilgili birçok disiplinde CFD modellerinin uygulanmasında belirgin bir artış gözlemlenmiştir (Shirzadi vd., 2018).

CFD hem deneysel hem de teorik akışkanlar dinamiğini tamamlayan, bir araştırma ve tasarım aracı olarak pek çok önemli avantaj sunmaktadır. Bu avantajları maddeler halinde inceleyecek olursak (Hu, 2012):

- Uygun maliyetli ve hızlı olması: CFD, minimum eğitim gerektiren fiziksel deneylere kıyasla daha ekonomik ve hızlı bir alternatif sunmaktadır. Sonuçların yorumlanması genellikle deneyim gerektirse de hesaplama maliyetleri düşerken işlem gücü her geçen yıl artmaktadır.
- Kapsamlı bilgi üretmesi: CFD, ilgili tüm değişkenler hakkında ayrıntılı bilgiler sunmakta ve bu bilgilere kolay erişim imkânı sağlamaktadır.
- Parametrelerin kolay ayarlanması: CFD, giriş parametrelerinin geniş bir aralıkta kolayca değiştirilebilmesine olanak tanıyarak tasarım sürecini kolaylaştırmaktadır. Deneysel çalışmalarda ise bu durum genellikle ya imkânsız ya da çok maliyetli olabilmektedir.
- Gerçekçi koşulları simüle edebilmesi: Ölçekli modellerin gerekli olduğu deneylerin aksine, gerçek dünya koşulları altındaki akışların doğrudan simülasyonunu sağlayabilmektedir.
- İdeal koşulları simüle edebilmesi: CFD, yönetim denklemlerindeki belirli terimleri kapatma kolaylığı sunarak, deneylerde genellikle mümkün olmayan alakasız özellikleri ortadan kaldırarak belirli anahtar parametrelere odaklanmayı sağlamaktadır.
- Doğal olmayan veya istenmeyen senaryoların incelenebilmesi: CFD, yangın, patlama veya nükleer santral arızaları gibi tehlikeli veya istenmeyen durumların incelenmesine olanak tanıyarak, önleyici stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

3.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde Kullanılan Türbülans Modelleri

Laminer akışın yüksek Reynolds sayılarında meydana gelen kararsızlığı, türbülans olarak adlandırılmaktadır. Yüksek Reynolds sayılarında laminer akışın kararsızlığı, türbülansın başlamasına neden olur ve bu tür kararsızlıklar, viskoz terimler ile NS denklemlerindeki doğrusal olmayan eylemsizlik terimleri arasındaki etkileşimler tarafından yönlendirilir (Sodja, 2007). Düşük Reynolds değerlerinde viskoz kuvvetler baskın konumdadır ve bu durum, akışın kararlı ve laminer kalmasını sağlar. Reynolds değerinin artmasıyla birlikte ataletin etkisi güçlenir ve böylelikle akışta kararsızlığa yol açar.

Türbülanslı akışın en önemli özelliklerinden biri, akışla birlikte hareket eden ve gelişen girdap yapılarının dinamik davranışdır (Sodja, 2007). Bu girdaplar, akış içindeki hız, basınç ve kayma gerilmelerindeki dalgalanmalar nedeniyle oluşan girdaplı akışkan bölgeleridir. Türbülanslı akış ilerledikçe, bu girdap yapıları birbirleriyle etkileşime girerek gerilir, döner ve daha küçük girdaplara ayrılır. Girdapların bu sürekli etkileşimi ve hareketi türbülanslı akışın düzensizliğine katkıda bulunan en önemli faktördür. Bu girdaplar aynı zamanda akıştaki momentum, enerji ve kütlenin daha fazla karışmasından sorumlu olup türbülanslı birçok mühendislik ve doğal süreçte kritik bir faktör haline getirir. Çizelge 3.1’de türbülans modelleri açıklamalarıyla birlikte verilmiştir:

Çizelge 3.1. Türbülans modelleri ve açıklamaları.

Türbülans Modeli	Açıklama
<i>1) Direct Numerical Simulations (DNS)</i>	En büyük girdaplardan en küçük dağıtıcı ölçeklere kadar tüm türbülans ölçekleri tamamen çözülür. DNS en doğru sonuçları sağlar ancak hesaplama açısından çok pahalıdır ve tipik olarak temel araştırmalar veya düşük Reynolds sayılarındaki akışlar için kullanılır.
<i>2) Large Eddy Simulations (LES)</i>	Yalnızca büyük, enerji içeren girdaplar doğrudan çözülürken, daha küçük ölçekler alt ızgara ölçekli modeller kullanılarak modellenir. LES, hesaplama açısından DNS'den daha az yoğunudur ve büyük türbülanslı yapıların baskın bir rol oynadığı yüksek Reynolds sayılı akışlar için uygundur.
<i>3) Detached Eddy Simulations (DES)</i>	Ayrılmış akış bölgelerindeki büyük türbülanslı yapıları çözmek için LES'i ve duvara yakın bölgelerde RANS'ı birleştiren hibrit bir modeldir. DES genellikle hem büyük ölçekli ayrılma olaylarını hem de sınır tabaka davranışını daha verimli bir şekilde yakalamak için kullanılır.
<i>4) Reynolds Avaraged Navier Stokes (RANS)</i>	Bu yaklaşımda, tüm türbülans çözülmek yerine modellenir. En düşük hesaplama maliyetini sağlar, ancak belirli akış ayrıntılarını çözmede daha az doğrudur. RANS modelleri aşağıdaki alt kategorilere ayrılır.
<i>4.a) Reynolds Stress Models (RSM)</i>	Bunlar, Reynolds gerilmeleri için yedi ek taşıma denklemini çözerek anizotropik türbülans için daha ayrıntılı bir yaklaşım sağlar ve genellikle girdaplı veya dönen akışlar gibi karmaşık akışlar için kullanılır.
<i>4.b) 1 Denklemliler Modeller (Spalart-Allmaras)</i>	Bunlar tek bir taşıma denklemini çözer, genellikle havacılık ve uzay uygulamalarında, özellikle sınır katmanlar için kullanılır
<i>4.c) 2 Denklemliler modeller</i>	Bu modeller türbülans büyüklükleri için iki taşıma denklemi çözer (örneğin, k - ϵ , k - ω) ve genel mühendislik uygulamaları için yaygın olarak kullanılır.

4. SAYISAL YÖNTEM

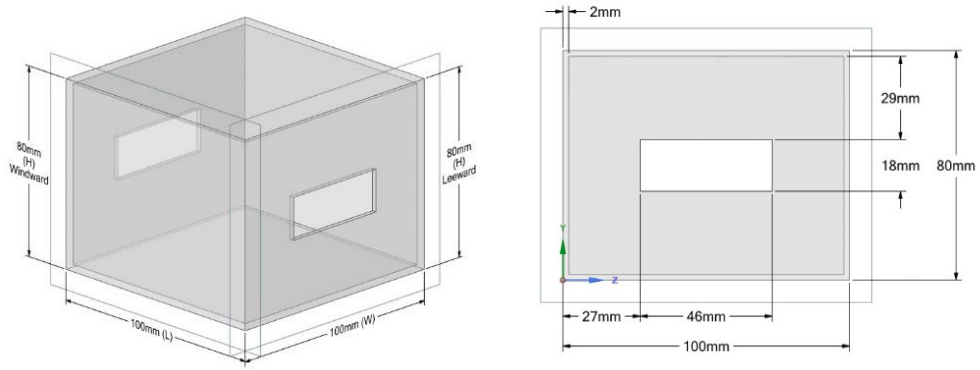
Bu çalışmada, SpaceClaim yazılımında üç boyutlu olarak oluşturulan bina modelleri üzerinde rüzgar kaynaklı çapraz havalandırmanın incelenmesi amacıyla, ANSYS Fluent paket programı kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında yürütülen sayısal analizler aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırılmıştır:

- Farklı pencere açıklık geometrilerine sahip bina modelleri,
- Farklı çatı eğimlerine sahip bina modelleri,
- Farklı giriş açıklık boyutlarına sahip bina modelleri,
- Farklı çıkış açıklık boyutlarına sahip bina modelleri,
- 20 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri,
- 40 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri,
- 60 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri.

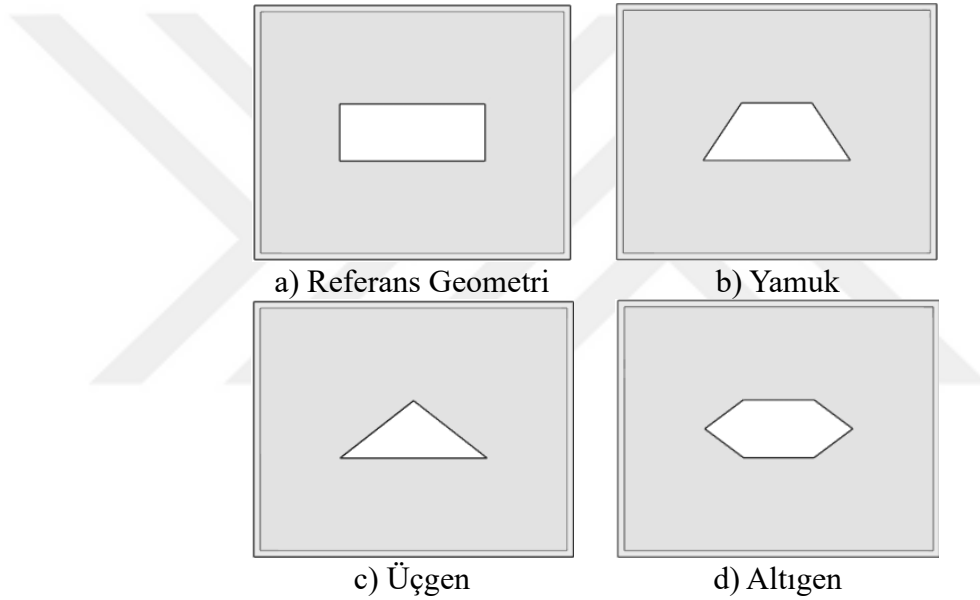
4.1 Bina Modelleri

4.1.1 Farklı pencere açıklık geometrilerine sahip bina modelleri

Bu tez çalışması kapsamında yapılan ilk araştırma, literatürde yaygın olarak kullanılan ve özellikle Karava vd. (2011) ile Ramponi ve Blocken (2012) tarafından sunulan izole bina geometrisine dayanan referans modelini temel almaktadır. Şekil 4.1'de gösterildiği üzere, referans bina modeli $L \times W \times H = 100 \times 100 \times 80 \text{ mm}^3$ boyutlarında olup, 1:200 ölçekli bir küçültmeye ve $20 \times 20 \times 16 \text{ m}^3$ tam ölçekli bir boyuta karşılık gelmektedir. Bina modeli, karşılıklı duvarların ortasına yerleştirilmiş, her biri $46 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ boyutlarında iki özdeş açıklığa sahiptir. Tüm bina modeli, dört yan duvar, zemin ve tavanda 2 mm kalınlığında tek tip bir duvar kalınlığına sahiptir. Farklı pencere açıklık şekillerinin doğal çapraz havalandırma üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, Şekil 4.2'de görülen genel izole bina modelinin pencere açıklığı boyutları ($W=46 \text{ mm}$, $H=18 \text{ mm}$) kullanılarak yamuk, üçgen ve altıgen açıklık geometrilerine sahip bir dizi bina modeli oluşturulmuştur.

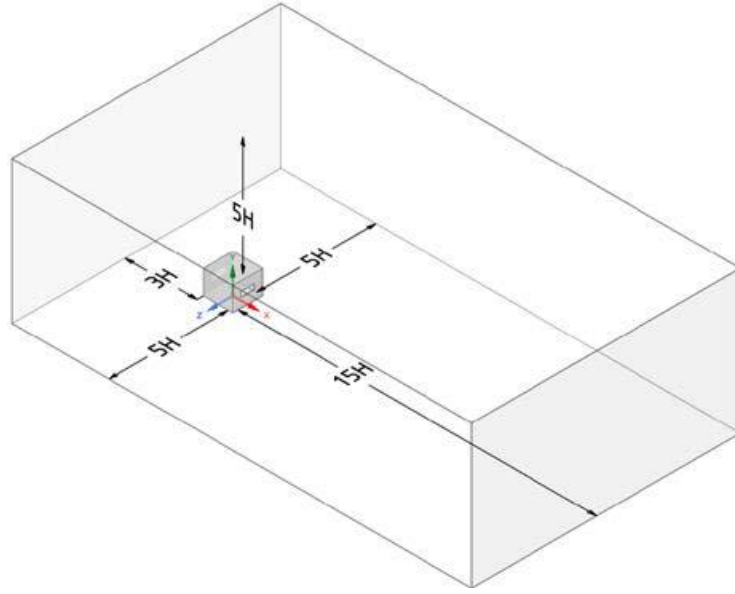


Şekil 4.1. İzole bina modelinin boyutları.



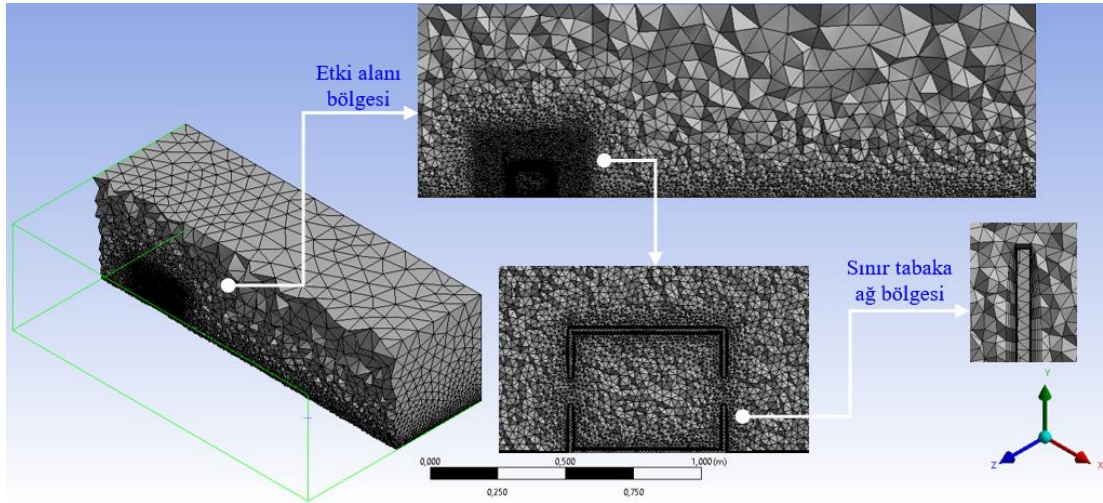
Şekil 4.2. Farklı pencere açıklık geometrilerine sahip izole bina modelleri.

Şekil 4.3, Shirzadi vd. (2018), Ramponi ve Blocken (2012), Tominaga vd. (2008), Demir ve Aktepe (2021) ile Demir (2021)'in literatürdeki önerilerine dayanarak oluşturulan dikdörtgen hesaplama alanının izometrik görünümünü göstermektedir. Akış yönünde istenmeyen durumların oluşmasını önlemek için bina ile giriş düzlemi arasındaki mesafe $3H$ (240 mm) olarak belirlenmiştir; burada $H=80$ mm, model yüksekliğinin üç katıdır. Ayrıca, binanın çıkış düzlemine olan uzaklık $15H$ (1200 mm), üst ve yan kısımlar ise $5H$ (400 mm) olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Hesaplama alanının şematik diyagramı.

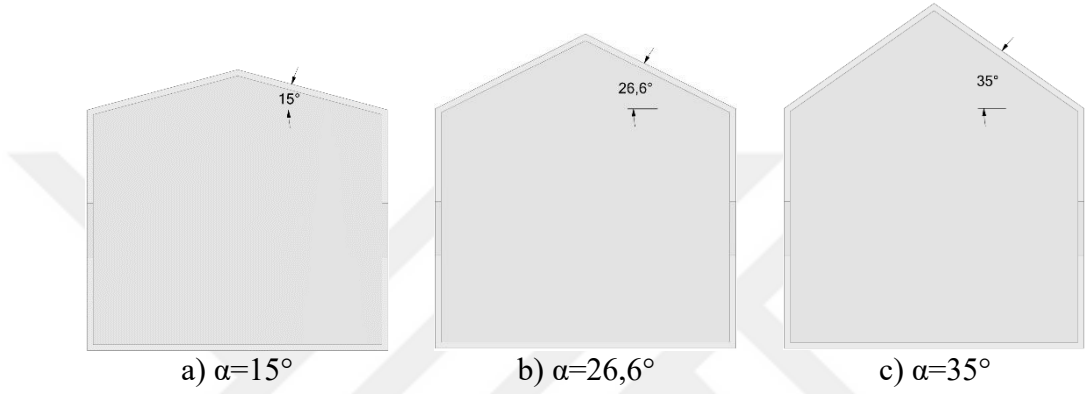
Ağ yapısının XY yönlerindeki dikey orta düzlemde detaylı kesit görüntüsü ve yakın plan görüntüleri Şekil 4.4'te sunulmuştur. Daha kısa sürede daha doğru sonuçlar elde etmek için, binanın şeklini kapsayacak şekilde dikdörtgen bir etki alanı oluşturulmuştur. Buna ek olarak, binayı çevreleyen akış hem bina hem de zemin üzerinde 10 katmandan oluşan ve ilk katman kalınlığı 0,0001 m olan bir sınır katman ağı oluşturularak ele alınmıştır.



Şekil 4.4. Ağ yapısının kesit ve yakın plan görüntüleri.

4.1.2 Farklı çatı eğimlerine sahip bina modelleri

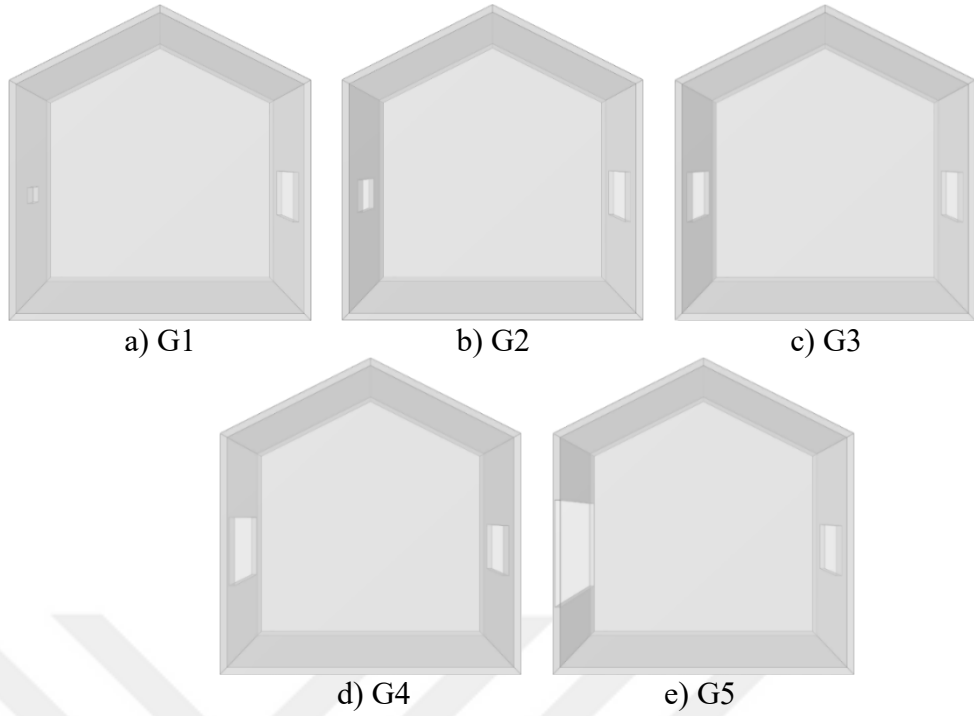
Tez kapsamında gerçekleştirilen ikinci çalışmada, Şekil 4.1’de verilen izole bina geometrisine çatı eklenerek doğal çapraz havalandırma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çatı eğimleri olarak $\alpha=15^\circ$, $\alpha=26,6^\circ$ ve $\alpha=35^\circ$ kullanılarak oluşturulan çapraz havalandırmalı beşik çatılı bina modelleri Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Özellikle $\alpha=26,6^\circ$ ’nin seçilme nedeni, bu değerin Tominaga vd. (2015) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamasıdır.



Şekil 4.5. Farklı çatı eğimlerine sahip bina modellerinin geometrileri.

4.1.3 Farklı giriş açıklık boyutlarına sahip bina modelleri

Çatı eğiminin doğal havalandırma üzerindeki etkisinin incelenmesinin ardından, bu bölümde $\alpha=26,6^\circ$ sabit çatı eğimine ve sabit çıkış pencere açıklık boyutuna sahip bina modelinde, farklı giriş pencere açıklık boyutlarının etkisi incelenmiştir. Oluşturulan bina modellerinin geometrileri Şekil 4.6’da, pencere açıklık boyutlarına ilişkin detaylar ise Çizelge 4.1’de sunulmuştur.



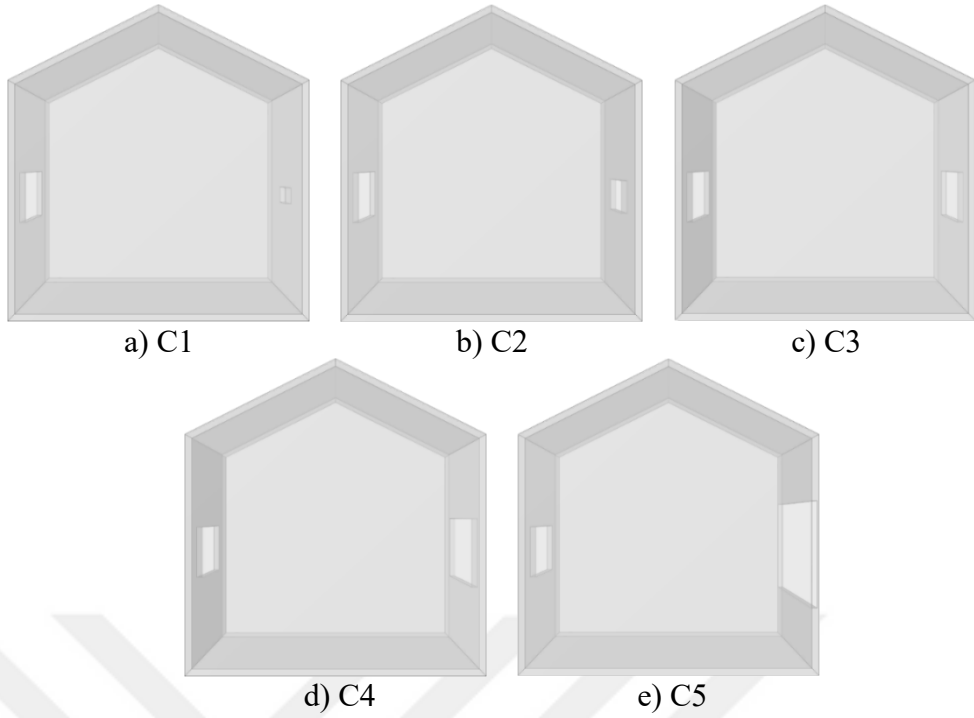
Şekil 4.6. Sabit çıkış açıklığında farklı giriş açıklığına sahip bina modellerinin geometrileri.

Çizelge 4.1. Çıkış açıklığının sabit, giriş açıklığının değişken olduğu beş farklı durum için pencere açıklık boyutları.

Bina Modeli	Giriş Açıklık Boyutu (En x Boy)	Çıkış Açıklık Boyutu (En x Boy)
G1	15,33 mm x 6 mm	46 mm x 18 mm
G2	30,67 mm x 12 mm	46 mm x 18 mm
G3	46 mm x 18 mm	46 mm x 18 mm
G4	61,3 mm x 24 mm	46 mm x 18 mm
G5	92 mm x 36 mm	46 mm x 18 mm

4.1. Farklı çıkış açıklık boyutlarına sahip bina modelleri

$\alpha=26,6^\circ$ sabit çatı eğimine ve sabit giriş pencere açıklık boyutuna sahip bina modelinde, değişen çıkış pencere açıklık boyutlarının doğal çapraz havalandırma üzerindeki etkisini incelemek amacıyla oluşturulan bina modellerinin geometrileri Şekil 4.7'de, pencere açıklık boyutlarına ilişkin ayrıntılar ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.



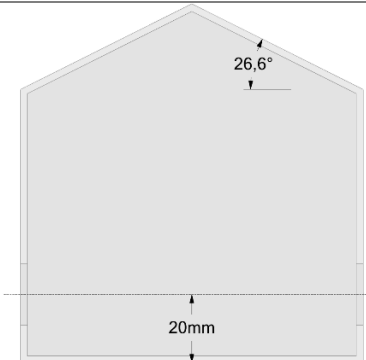
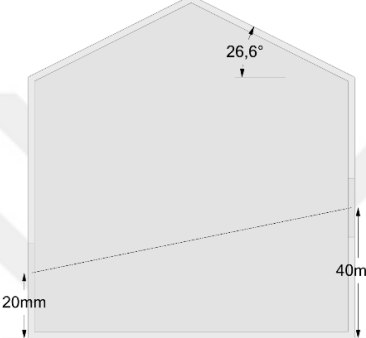
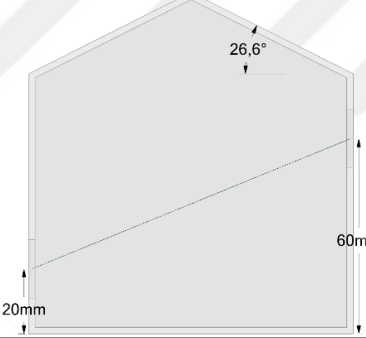
Şekil 4.7. Sabit giriş açıklığında farklı çıkış açıklığına sahip bina modellerinin geometrileri.

Çizelge 4.2. Giriş açıklığının sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu beş farklı durum için pencere açıklık boyutları.

Bina Modeli	Giriş Açıklık Boyutu (En x Boy)	Çıkış Açıklık Boyutu (En x Boy)
C1	46 mm x 18 mm	15,33 mm x 6 mm
C2	46 mm x 18 mm	30,67 mm x 12 mm
C3	46 mm x 18 mm	46 mm x 18 mm
C4	46 mm x 18 mm	61,3 mm x 24 mm
C5	46 mm x 18 mm	92 mm x 36 mm

4.1.5 20 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri

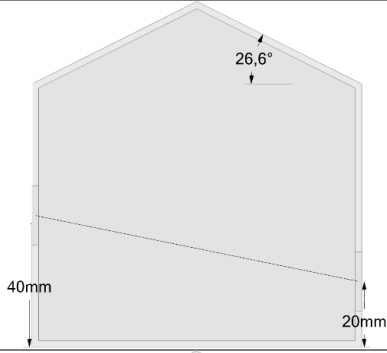
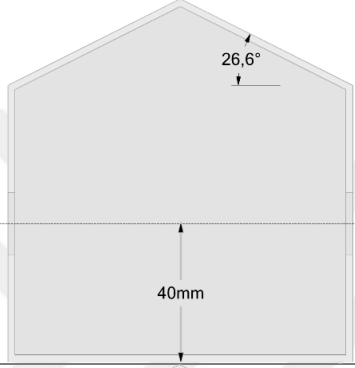
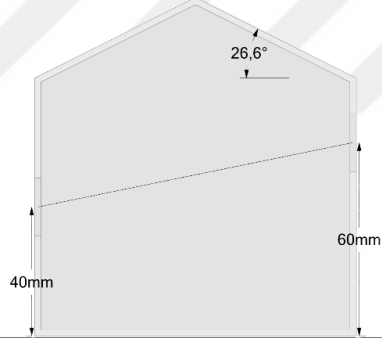
Şekil 4.8’de, $\alpha=26,6^\circ$ sabit eğime sahip beşik çatılı bina modellerinde, 20 mm sabit giriş açıklık konumu ile 20 mm (alt), 40 mm (orta) ve 60 mm (üst) değişken çıkış açıklık konumları kullanılarak rüzgar kaynaklı doğal havalandırma etkisi incelenmiştir.

Durum	Model	Açıklık Konumu	Giriş Açıklık Yüksekliği (mm)	Çıkış Açıklık Yüksekliği (mm)
I		Alt-Alt		20
II		Alt-Orta	20	40
III		Alt-Üst		60

Şekil 4.8. $\alpha=26,6^\circ$ çatı açısında giriş açıklığının 20 mm sabit, çıkış açıklıklarının farklı yüksekliklerdeki geometrileri

4.1.6 40 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri

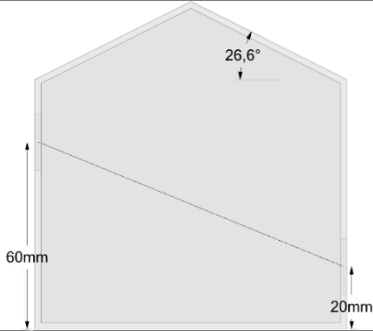
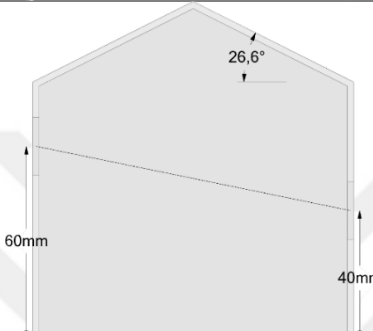
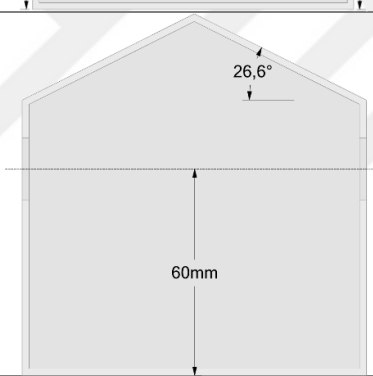
Şekil 4.9'da, $\alpha=26,6^\circ$ sabit eğimli beşik çatılı bina modellerinde, 40 mm sabit giriş açıklık konumuna ek olarak, 20 mm (alt), 40 mm (orta) ve 60 mm (üst) olarak belirlenen değişken çıkış açıklık yüksekliklerinin rüzgar kaynaklı doğal çapraz havalandırma etkisini araştırmak amacıyla hazırlanmış bina modellerinin geometrileri sunulmuştur.

Durum	Model	Açıklık Konumu	Giriş Açıklık Yüksekliği (mm)	Çıkış Açıklık Yüksekliği (mm)
IV		Orta-Alt		20
V		Orta-Orta	40	40
VI		Orta-Üst		60

Şekil 4.9. $\alpha=26,6^\circ$ çatı açısında giriş açıklığının 40 mm sabit, çıkış açıklıklarının farklı yüksekliklerdeki geometrileri.

4.1.7 60 mm sabit giriş açıklık konumu ve değişken çıkış açıklık konumlarına sahip bina modelleri

Tez kapsamında gerçekleştirilen son analizde, $\alpha=26,6^\circ$ sabit eğime sahip beşik çatılı bina modellerinde, giriş pencere açıklık konumunun en yüksek değeri olan 60 mm için, 20 mm, 40 mm ve 60 mm üst olarak belirlenen değişken çıkış açıklık yüksekliklerinin çapraz havalandırma etkisini değerlendirmek amacıyla oluşturulan bina konfigürasyonlarıyla ilgili bilgiler Şekil 4.10'da verilmiştir.

Durum	Model	Açıklık Konumu	Giriş Açıklık Yüksekliği (mm)	Çıkış Açıklık Yüksekliği (mm)
VII		Üst-Alt		20
VIII		Üst-Orta	60	40
IX		Üst-Üst		60

Şekil 4.10. $\alpha=26,6^\circ$ çatı açısında giriş açıklığının 60 mm sabit, çıkış açıklıklarının farklı yüksekliklerdeki geometrileri.

4.2 Sınır Koşulları

Giriş düzlemindeki sınır koşulları, Aşağıdaki denklemlerde gösterildiği üzere, ABL koşullarını tanımlayan bir dizi denklem kullanılarak oluşturulmuştur. Bu aşamada, gerekli giriş sınır koşullarını belirlemek için denklem 4.1 ile denklem 4.6 arasındaki formüller uygulanmıştır. Aşağıda listelenen denklemler, hız profili, türbülans kinetik enerji (k), yutulma (ε) ve özgül yutulma (ω) değerlerinin belirlenmesi için simülasyondan önce ANSYS Fluent'te kullanıcı tanımlı fonksiyonlar (UDF) olarak kullanılmıştır. ABL sürtünme hızı (u_{ABL}^*) denklemi, denklem 4.1'de gösterildiği gibi,

6,97 m/s'lik bir referans hızı (u_{ref}), 0,08 m'lik bir referans yüksekliği (z_{ref}), Von Karman sabiti (κ) ve aerodinamik pürüzlülük yüksekliğini (z_0) içermektedir;

$$u_{ABL}^* = \frac{u_{ref} \cdot \kappa}{\ln \left[\frac{z_{ref}}{z_0} + 1 \right]} \quad (4.1)$$

Daha sonra, girişteki hız profili (u) denklem 4.2 kullanılarak belirlenmiştir;

$$u = \frac{u_{ABL}^*}{\kappa} \ln \left[\frac{z_{ref}}{z_0} + 1 \right] \quad (4.2)$$

u_{ABL}^* , k , ε ve ω değerleri ise sırasıyla denklem 4.3, denklem 4.4 ve denklem 4.5 kullanılarak elde edilmiştir;

$$k = \frac{(u_{ABL}^*)^2}{\sqrt{C_\mu}} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon = \frac{(u_{ABL}^*)^3}{k(z_{ref} + z_0)} \quad (4.4)$$

$$\omega = \frac{\varepsilon}{C_\mu k} \quad (4.5)$$

Akış alanında, yan ve üst duvarlar sıfır özgül kayma gerilmesine sahip olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, çıkış bir basınç çıkışı olarak tanımlanmış ve giriş düzlemi bir hız girişi olarak belirlenmiştir. Giriş koşulları, hız büyüklüğü, türbülanslı dağılma oranı ve türbülanslı kinetik enerji dahil olmak üzere ABL dosyasındaki verilerden elde edilmiştir. Zemin, bir sınır duvarı olarak tanımlanmış ve kaymama şartına tabi tutulmuştur. Pürüzlülük sabitine (C_s) 0,5 değeri atanmış olup, bu değer denklem 4.6'ya girildiğinde 0,0006 m'lik bir öğütülmüş kum tanesi pürüzlülük yüksekliği (k_s) ile sonuçlanmaktadır (Al-Aghbari vd., 2022; Karava vd., 2007; Tablada vd., 2009; Tai vd., 2022).

$$k_s = \frac{9.793z_0}{C_s} \quad (4.6)$$

4.3 CFD Çözücü Ayarları

Kütle ve momentumun korunumu için yönetici denklemler olarak 3D sRANS kullanılmış ve bu denklemler, ANSYS yazılımı aracılığıyla k- ω SST türbülans modeli ile çözülmüştür. Uygun türbülans modelinin seçimi, aerodinamik, hidrodinamik ve rüzgar mühendisliği gibi akış fiziği ve özelliklerinin incelendiği alanlarda, sayısal simülasyonlardan elde edilen sonuçların doğruluğu açısından kritik bir öneme sahiptir (Demir, 2018; Demir ve Kaya, 2023a, 2023b; Demir vd., 2016).

Basınç-hız çifti için ayrıklaştırılan denklemler SIMPLE yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Buna ek olarak, gradyanı hesaplamak amacıyla uzamsal ayrıklaştırma için Green-Gauss düğüm tabanlı teknik tercih edilmiş, diğer tüm parametreler için ise ikinci dereceden upwind yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca, çözümler, tüm bölgeler için ortak bir başlatma kapsamı kullanılarak başlatılmış ve 1×10^{-5} büyüklüğünde bir yakınsama kriteri oluşturulmuştur.

4.4 Havalandırma Oranı Hesapları

Bir etkili giriş ve bir etkili çıkışa sahip doğal çapraz havalandırmalı alçak izole bir bina için havalandırma oranı, aşağıda belirtilen denklemler kullanılarak belirlenebilir (Swami ve Chandra, 1987). Hava akış katsayısı, 6,97 m/s referans hızı ve 0,62 deşarj katsayısı ile denklem 4.7'de hesaplanmıştır (Swami ve Chandra, 1987).

$$C_Q = u_{ref} C_d \sqrt{\Delta C_p} \quad (4.7)$$

Burada ΔC_p , denklem 4.8 ile tanımlandığı üzere, rüzgar yönündeki ve sol taraftaki açıklıklar arasındaki basınç katsayıları farkını ifade etmektedir.

$$\Delta C_p = C_{p,rüzgarüstü} - C_{p,rüzgaraltı} \quad (4.8)$$

Ayrıca, akış katsayısı C_Q , gerçek akış katsayısı C_a 'nın hesaplanması amacıyla denklem 4.9'da kullanılmıştır.

$$C_a = \frac{C_Q}{1 + C_Q} \quad (4.9)$$

Son olarak, havalandırma oranı, denklem 4.10 kullanılarak elde edilebilir.

$$Q = u_{ref} A_e C_a \quad (4.10)$$

Burada A_e etkin açıklık alanı olup denklem 4.11 ile hesaplanmaktadır.

$$A_e = \frac{A_{giriş} \cdot A_{çıkış}}{\left[A_{giriş}^2 + A_{çıkış}^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4.11)$$

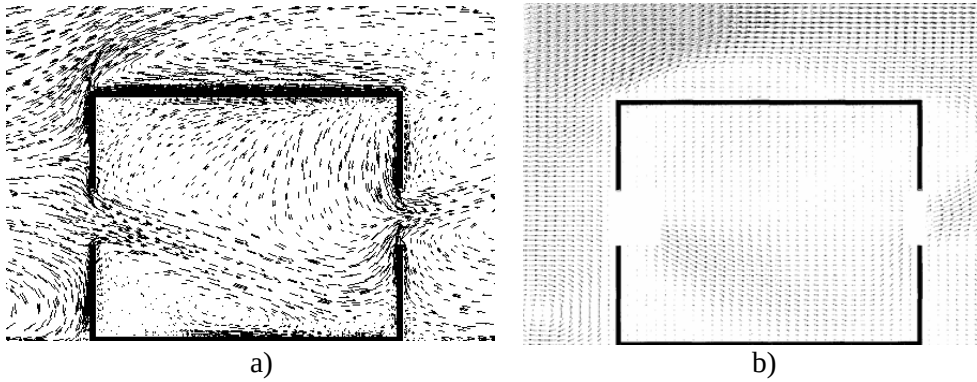
$A_{giriş}$ ve $A_{çıkış}$ sırasıyla giriş ve çıkış açıklıklarının alanıdır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Farklı Pencere Açıklık Geometrilerine Sahip Bina Modellerinden Elde Edilen Sayısal Sonuçlar

5.1.1 Modelin doğrulanması

Şekil 5.1'de, bu çalışmada gerçekleştirilen CFD simülasyonu ile Karava (2008) tarafından yapılan çalışmada belgelenen PIV ölçümlerinden elde edilen dikey-orta düzlemdeki ortalama hız vektör alanları sunulmuştur. Elde edilen CFD simülasyon sonucunun, bina içindeki akış dağılım modelinin doğası ve binanın rüzgar tarafında bulunan durağan girdap akışı dahil olmak üzere en temel akış özelliklerini doğru bir şekilde tahmin ettiği gösterilmiştir. Ayrıca, simülasyonlar giriş açıklığı civarında, sol taraftaki duvara doğru uzanan önemli bir aşağı akışın varlığını da ortaya koymuştur. Bu aşağı akışın ardından, duvar boyunca yukarı doğru güçlü bir hareket meydana gelmiş ve bu da çıkış açıklığından yukarıya doğru eğimli bir akışa neden olmuştur. Sonuçlar, CFD modelinin deneysel verilerle tatmin edici derecede uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. Buna göre, yukarıda belirtilen hesaplama ayarları, sınır koşulları ve kullanılan parametreler hem rüzgar yönünde hem de rüzgar yönünün tersinde farklı açıklık şekillerine sahip binalarda rüzgarın neden olduğu çapraz havalandırma akışını değerlendirmek üzere uygulanmıştır.

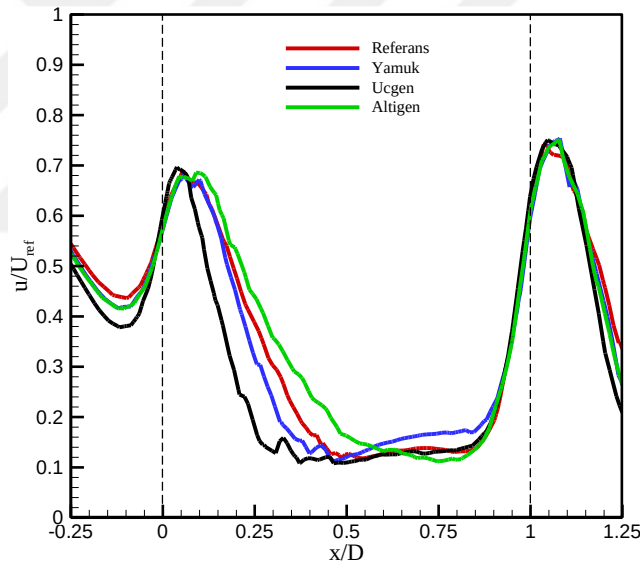


Şekil 5.1. a) CFD simülasyonu ve b) PIV deneyinden elde edilen dikey-orta düzlemdeki hız vektörü dağılımlarının karşılaştırılması (Karava, 2008).

5.1.2 Boyutsuz hız profili

Şekil 5.2, çeşitli açıklık geometrileri için pencere açıklığının yatay merkez hattı boyunca boyutsuz akış yönündeki rüzgar hızı oranını (U/U_{ref}) göstermektedir. Bu

grafik, biri rüzgar yönünde diğeri rüzgar yönünün tersinde olan iki açıklık arasında yer alan yatay bir hattan elde edilen veriler kullanılarak çizilmiştir. Bina içinde elde edilen hızın büyüklüğü, bina yüksekliğindeki U_{ref} değerine bölünerek boyutsuz bir değişken oluşturulmuştur. Açıklık geometrilerinin bina içi hava akışı üzerindeki etkisini değerlendirmek için, boyutsuz akış hızının yatay bir çizgideki değişimi analiz edildiğinde, $0 < x/D < 0,5$ aralığında, tüm eğrilerde bir düşüş gözlenmiştir. Özellikle, üçgen geometriye ait eğri, yaklaşık 0,1'e düşen en keskin düşüşü sergilemiştir. Yamuk ve referans geometrilerinin eğrileri benzer bir düşüş sergilerken, altıgen açıklık geometrisinin eğrisi nispeten daha yüksek değerlerde kalmıştır. $x/D=0,5$ 'te U_{ref} değerleri en düşük seviyelerine inmiştir. $0,5 < x/D < 1$ aralığında tüm eğriler tekrar artış eğilimine girmiştir. Özellikle $x/D=1$ noktasına yaklaşıldığında, tüm eğriler tekrar 0,6-0,7 aralığına ulaşmıştır. Ayrıca, hava akış hızı eğilimi tüm durumlarda U şeklinde bir eğri sergilemektedir.

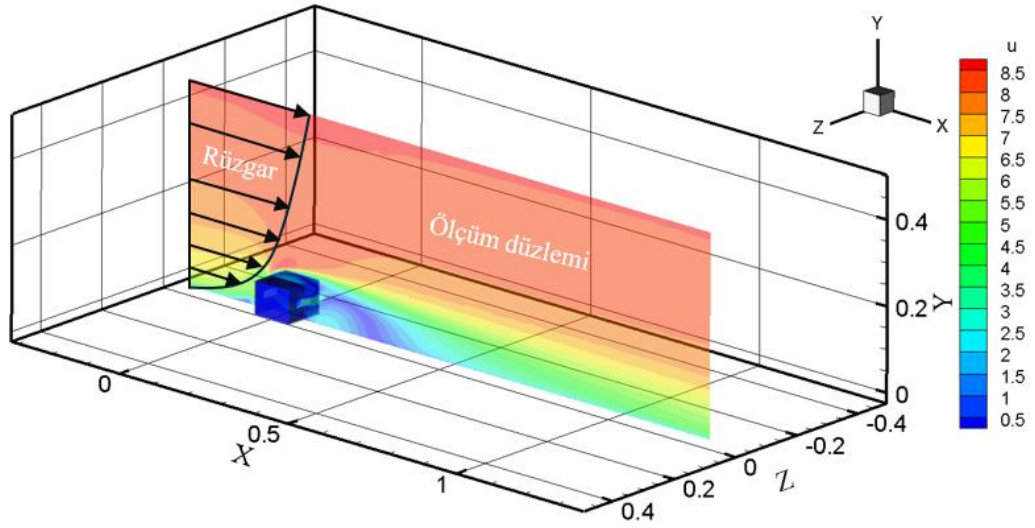


Şekil 5.2. Çeşitli pencere açıklığı şekilleri için yatay merkez hattı boyunca boyutsuz akımsal rüzgar hızı oranı.

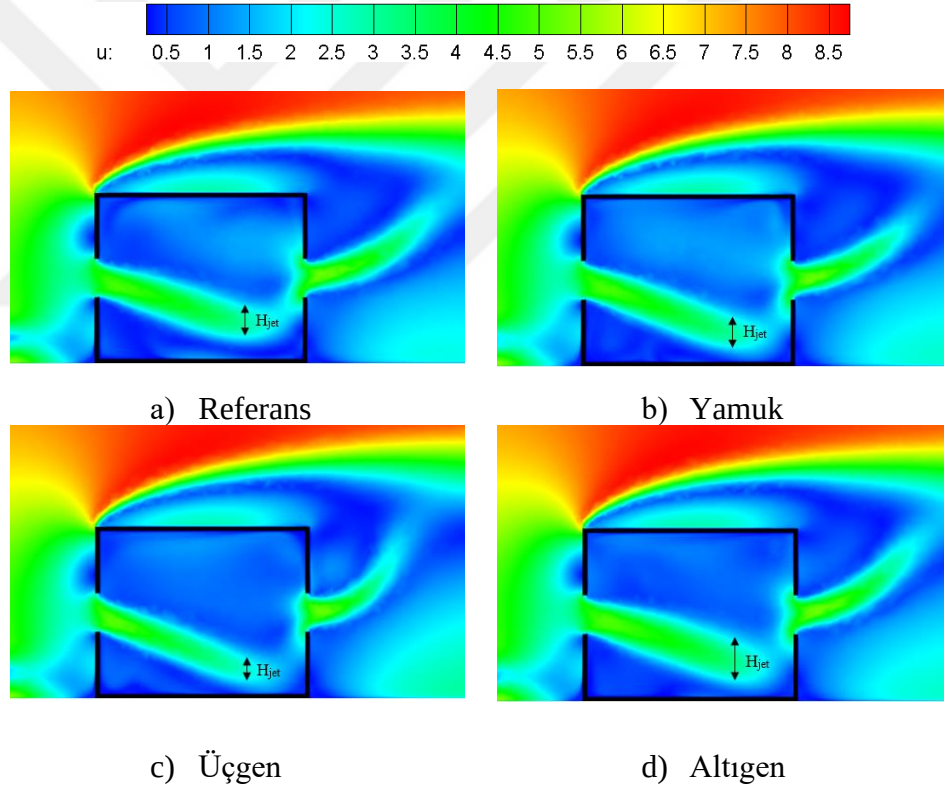
5.1.3 Hız ve basınç konturları

Kontur sonuçlarının elde edildiği binanın düşey merkez ölçüm düzlemi, Şekil 5.3'te örnek olarak verilmiştir. Ayrıca, Şekil 5.4'te dört farklı açıklık geometrisine sahip bina için hava akışının hız dağılımı sonuçları gösterilmektedir. Rüzgar tarafındaki açıklığa girdikten sonra, rüzgarın yüksek bir hız sergilediği ve hemen ardından belirgin bir aşağı doğru jet oluşturduğu gözlemlenmiştir. Gelen jetin yönü tüm geometriler için benzerlik göstermiş fakat jetin yayılma boyutu kullanılan geometriye göre değişiklik

göstermiştir. Referans durum için belirlenen jet yayılma yüksekliği (H_{jet}) ($H_{jet-ref}=0,014m$), diğer durumlarla karşılaştırma yapmak üzere bir temel olarak kullanılmıştır. Yamuk geometri kullanıldığında, H_{jet} referans yüksekliğin %98'ine ulaşmış ve bu geometri ile H_{jet} 'te küçük bir düşüş meydana gelmiştir. Bu durum yamuk geometrinin akışı referans duruma çok benzer bir şekilde etkilediğini göstermiştir. Üçgen geometri kullanıldığında ise, H_{jet} referans yüksekliğin %61'ine düşmüştür. Bu sonuç, üçgen geometrinin H_{jet} 'te önemli bir azalmaya neden olduğunu ve akışı bozarak jetin yayılmasını azalttığını ortaya koymaktadır. Altıgen geometri kullanıldığında ise, H_{jet} referans yüksekliğin %130'una yükselmiştir; bu durum, altıgen geometrinin jet yüksekliğinde önemli bir artışa neden olduğunu göstermiştir. H_{jet} , $1,30H_{ref}$ değerleriyle altıgen geometri için en büyükken, en dar üçgen geometride gözlemlenmiştir. Şekil 5.4, üçgen geometri için elde edilen gelen jetteki daha yüksek hızı göstermekte olup, bu durum daha az yayılma oranıyla doğrudan ilişkilidir. Üçgen geometride, çıkan jet binayı daha dik bir açıyla terk ettiği gözlemlenmiştir. Genel olarak, hava akışı çıkışa ulaştığında daha yüksek bir hızla çıkmıştır. Hava akışının ortak bir modeli belirginleşmektedir: yüksek hızlı hava, girişten binaya girdiğinde, binanın merkezine doğru ilerledikçe hızı azalmaktadır; ardından dış açıklığa ulaştığında tekrar hız kazanmakta ve eski hızına ulaşmaktadır. Şekil 5.5'te dört konfigürasyon için basınç alanları gösterilmiştir. Konturlar, akışkan hızının akışkan basıncı ile ters orantılı olduğunu ortaya koyan Bernoulli denkleminin temel prensibi ile tatmin edici bir uyum sergilemiştir. Ayrıca, tüm durumlar için, maksimum basınç, binanın rüzgar yönündeki duvarında meydana gelmiştir, bu da basınç dağılımı konturlarından da anlaşılacağı üzere rüzgar yönüne çarpan havanın etkisinden kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak, tüm sonuçlar bina çatısı boyunca büyük negatif basınç büyüklükleri göstermekte ve bu da bölgede bir çatı ayrılması ve yeniden birleşmesi ile ilişkilendirilmektedir. Bina içindeki basınç dağılımı genel olarak tutarlı olsa da özellikle bina içindeki sol duvarın alt köşesinde kayda değer bir artış gözlemlenmiştir; bu artış, en az üçgen geometri için elde edilen sonuçta ortaya çıkmıştır.

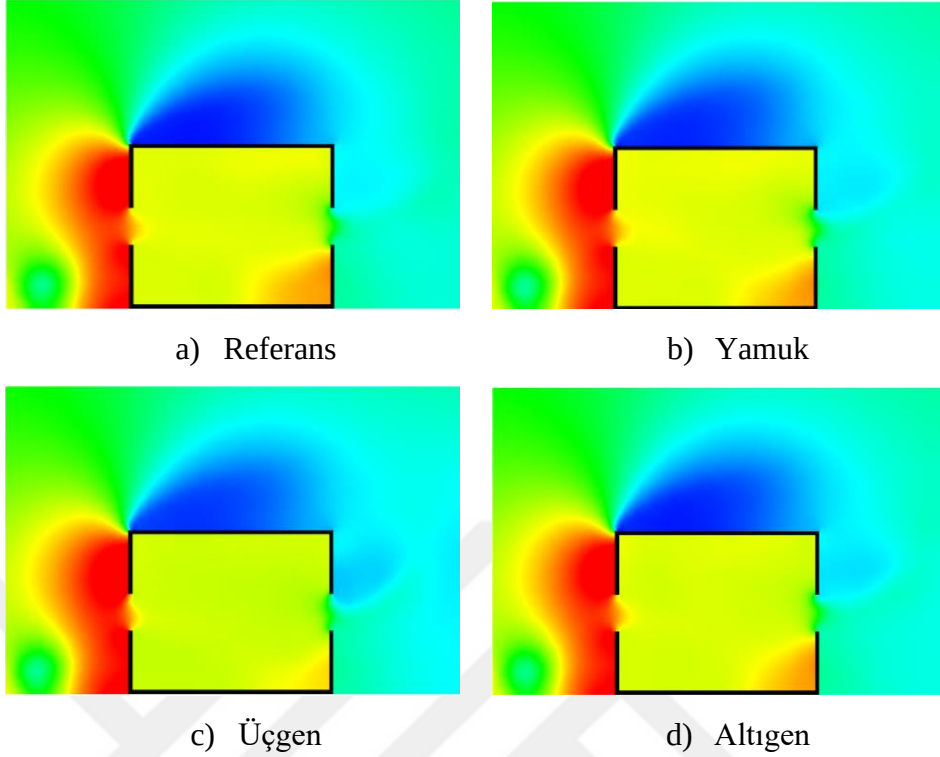


Şekil 5.3. Binalar boyunca dikey merkez düzlemindeki basınç konturları.



Şekil 5.4. Dikey orta düzlemindeki ortalama hız büyüklük konturları.

Basinc: -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25



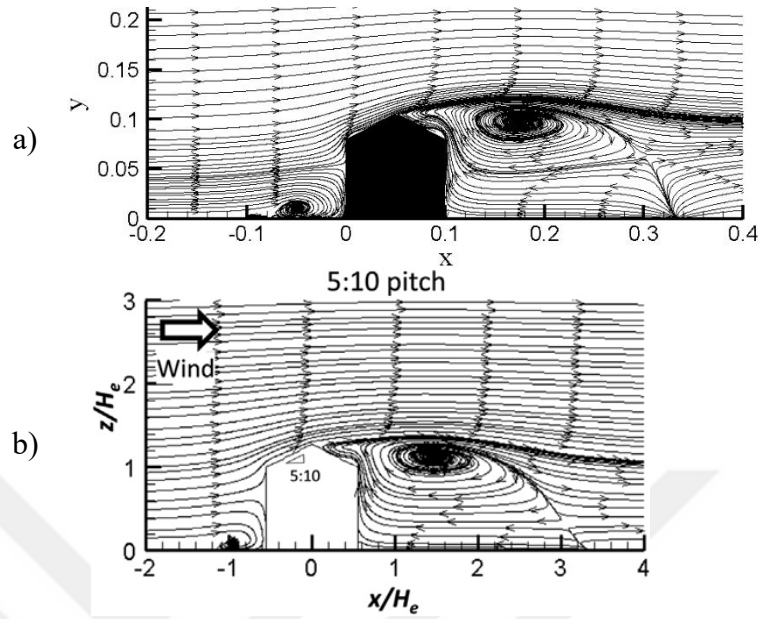
Şekil 5.5. Farklı pencere geometrileri için dikey orta düzlemdeki basınç dağılımlarının konturları.

5.2 Farklı Çatı Eğimlerine Sahip Bina Modellerinden Elde Edilen Sayısal Sonuçlar

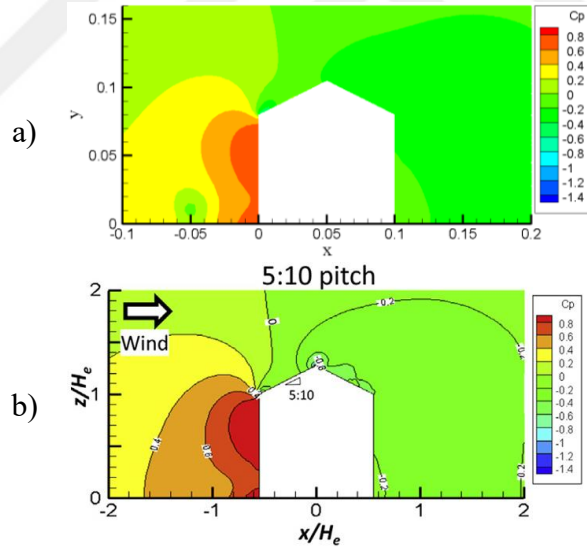
5.2.1 Modelin doğrulanması

Model doğrulaması için Tominaga vd. (2015) yapmış olduğu çalışma dikkate alınmıştır. Bu doğrulama amacıyla pencere açıklığı bulunmayan bir test modeli oluşturulmuştur. Elde edilen akım çizgisi ve basınç katsayısı dağılım sonuçlarının Tominaga vd. (2015) ile karşılaştırılması Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir. Akım çizgisi sonuçları incelendiğinde, binanın arkasında büyük bir devridaim bölgesi ve binanın rüzgar tarafının alt köşesinde ise küçük bir devridaim bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca, bina yapısının neden olduğu blokaj nedeniyle doğrulama modelinin önünde de pozitif basınç gözlemlenmiştir. Basınç katsayısı dağılımına ilişkin sonuçlar incelendiğinde, her iki çalışmada da binanın neden olduğu blokaj nedeniyle modelin ön tarafında pozitif basınç gözlenmektedir. Bu doğrulama süreci, akım çizgisi ve basınç katsayısı dağılımlarının Tominaga vd. (2015) elde ettiği

sonuçlarla tutarlı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, model doğrulaması başarılı kabul edilmiş ve çalışmadaki tüm senaryolar için aynı çözücü ayarları uygulanmıştır.



Şekil 5.6. Akım çizgisi dağılımı a) Referans model ve b) Tominaga vd. (2015).

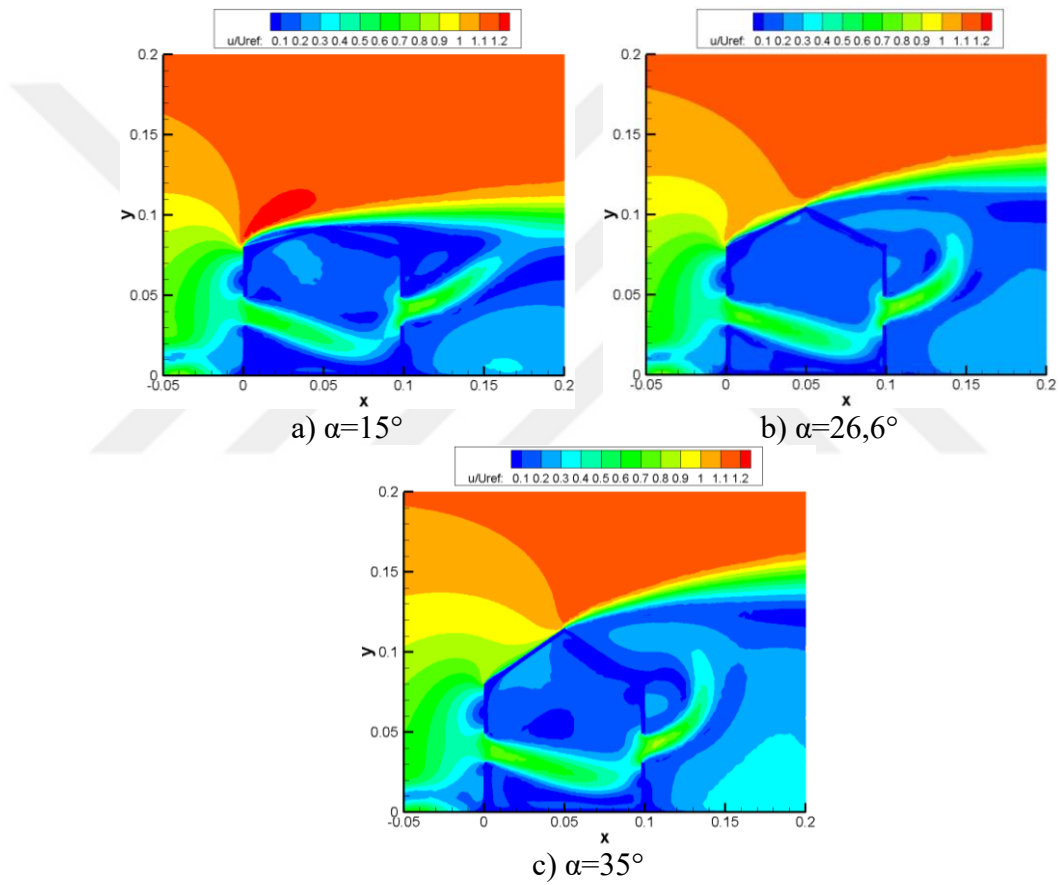


Şekil 5.7. Basınç katsayısı dağılımı a) Referans model ve b) Tominaga vd. (2015).

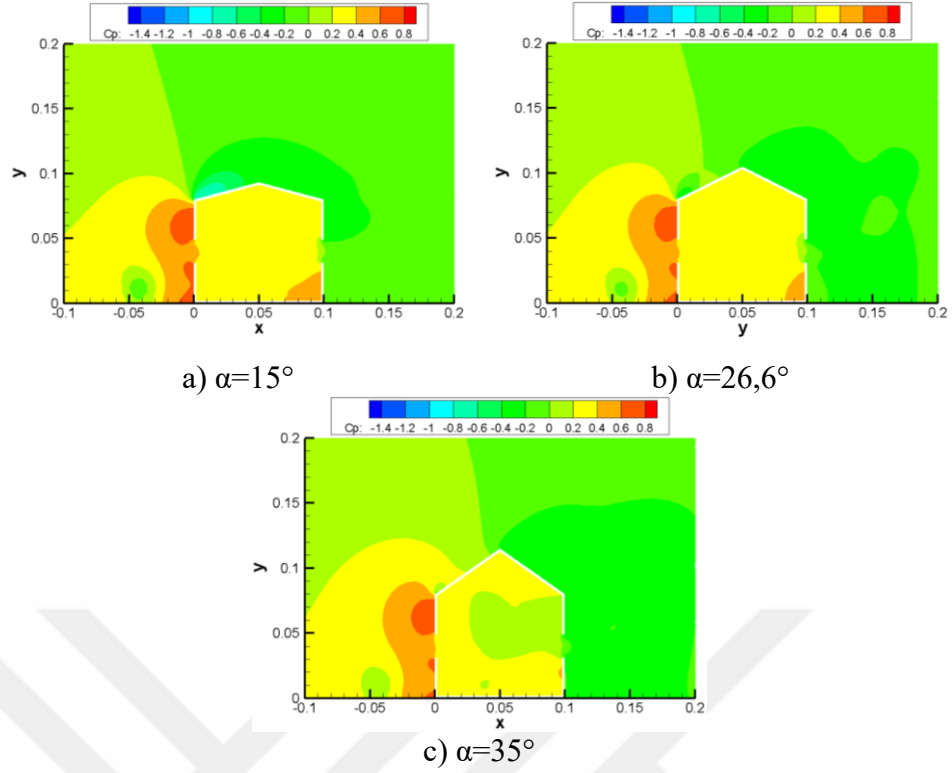
5.2.2 Hız konturları, basınç konturları ve akım çizgileri

Farklı çatı eğimlerine sahip bina modeli etrafındaki hız dağılımı ve basınç katsayısı dağılımları, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilmiştir. Tüm çatı eğimlerinde, rüzgarın bina duvarına uyguladığı kuvvetin etkisiyle en yüksek pozitif basınç katsayısı binanın rüzgar yönündeki duvarında gözlemlenmiştir. Çatı açısının 15°’den 35°’ye

artırılmasıyla birlikte, artan blokaj etkisi nedeniyle binanın rüzgar yönündeki duvarında daha geniş bir pozitif basınç katsayısı bölgesi oluşmuştur. Buna karşın, 15° eğimli çatıya sahip bina modelinde, rüzgar yönündeki kenarda akış ayrılması sonucu belirgin bir negatif tepe değeri ortaya çıkmıştır. Ancak, bu negatif tepe değeri, çatı eğiminin artmasıyla birlikte artan çarpma etkisi nedeniyle azalmıştır. Sonuç olarak, çatı eğiminin artmasıyla birlikte daha yüksek rüzgar hızına bağlı olarak binanın iç basıncında bir azalma gözlemlenmiştir. Bu da bina üzerindeki basınç dağılımının rüzgar hızıyla güçlü bir korelasyona sahip olduğunu ve Bernoulli prensibiyle uyumlu olduğunu göstermektedir.

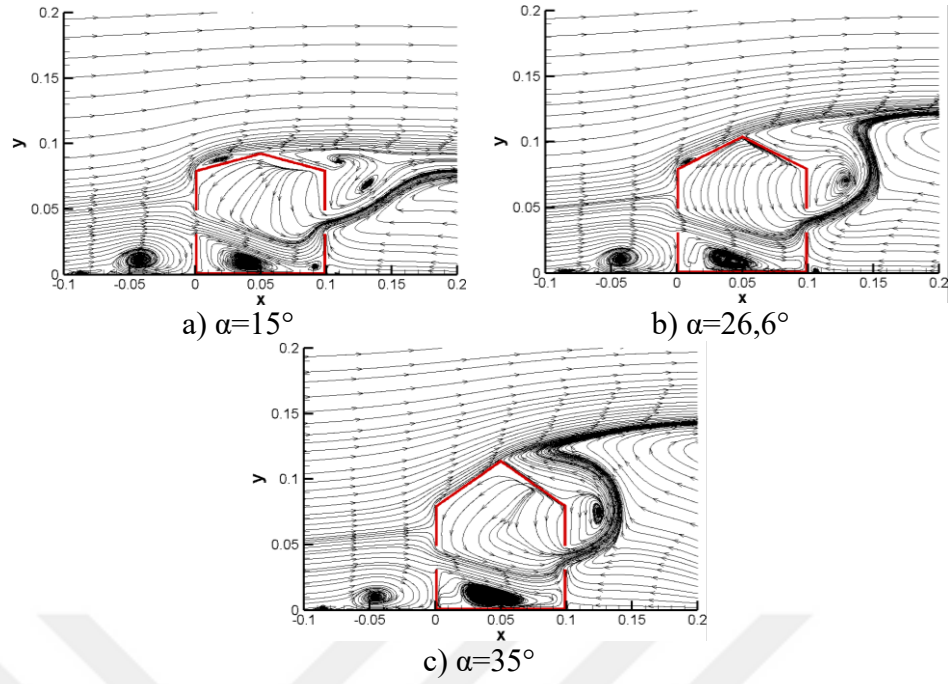


Şekil 5.8. Dikey orta düzlemdeki farklı çatı eğimli binaların hız konturları.



Şekil 5.9. Dikey orta düzlemdeki farklı çatı eğimli binaların basınç konturları.

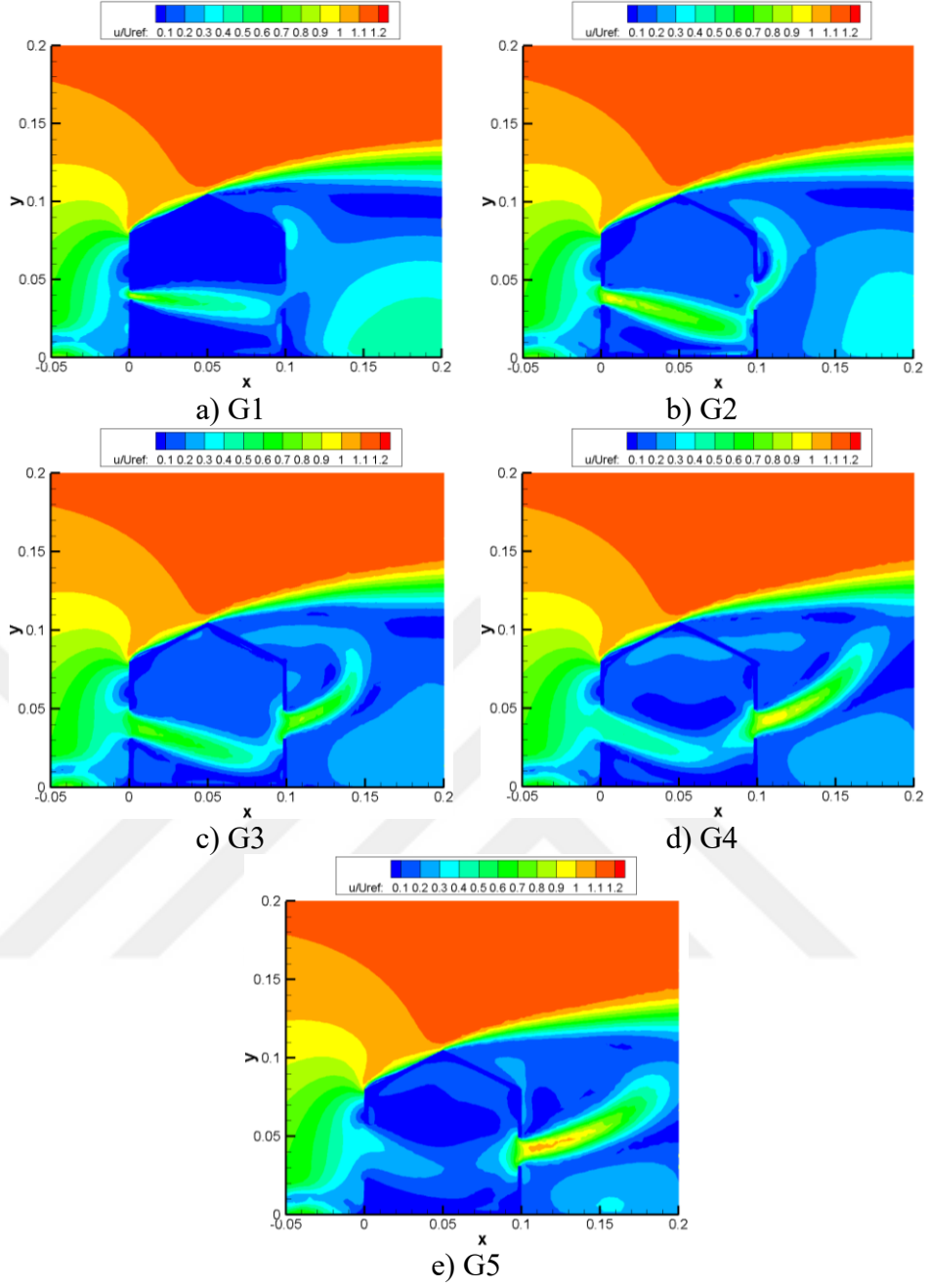
Şekil 5.10'da verilen akım çizgileri, farklı çatı eğimlerine sahip bina modellerinin etrafındaki hava akışını etkileyen temel akış özelliklerini net bir şekilde göstermektedir. Her üç bina modelinde de rüzgar binaya girmeden önce binanın rüzgara bakan kısmının alt tarafında zemine yakın kısımda tipik at nalı girdabının oluştuğu görülmektedir. Bina içerisine giren hava akışında, girdapların meydana geldiği tespit edilmiştir. Gelen jetin üst kısmında oluşan akış saat yönünün tersine doğru hareket ederken, jetin alt kısmında ise saat yönünde dönen bir akış bölgesi oluşmuştur. Özellikle alt kısımda oluşan girdap, oldukça belirgin olup, akışın yönünü ve hızını önemli ölçüde etkilemiştir. Çatı eğiminin etkisiyle, binanın arkasında meydana gelen sirkülasyon girdabının merkez bölgesinin, çatı açısı arttıkça yukarı doğru hareket etme eğilimindedir. $\alpha=15^\circ$ eğime sahip çatının ön kenarında, akışın eğimi yakından takip ettiği $\alpha=26,6^\circ$ ve $\alpha=35^\circ$ çatılarda gözlemlenmeyen bir şekilde, akışın çatı eğiminden ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 5.10. Dikey orta düzlemdeki farklı çatı eğimli binaların akım çizgileri.

5.3 Farklı Giriş Açıklık Boyutlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri

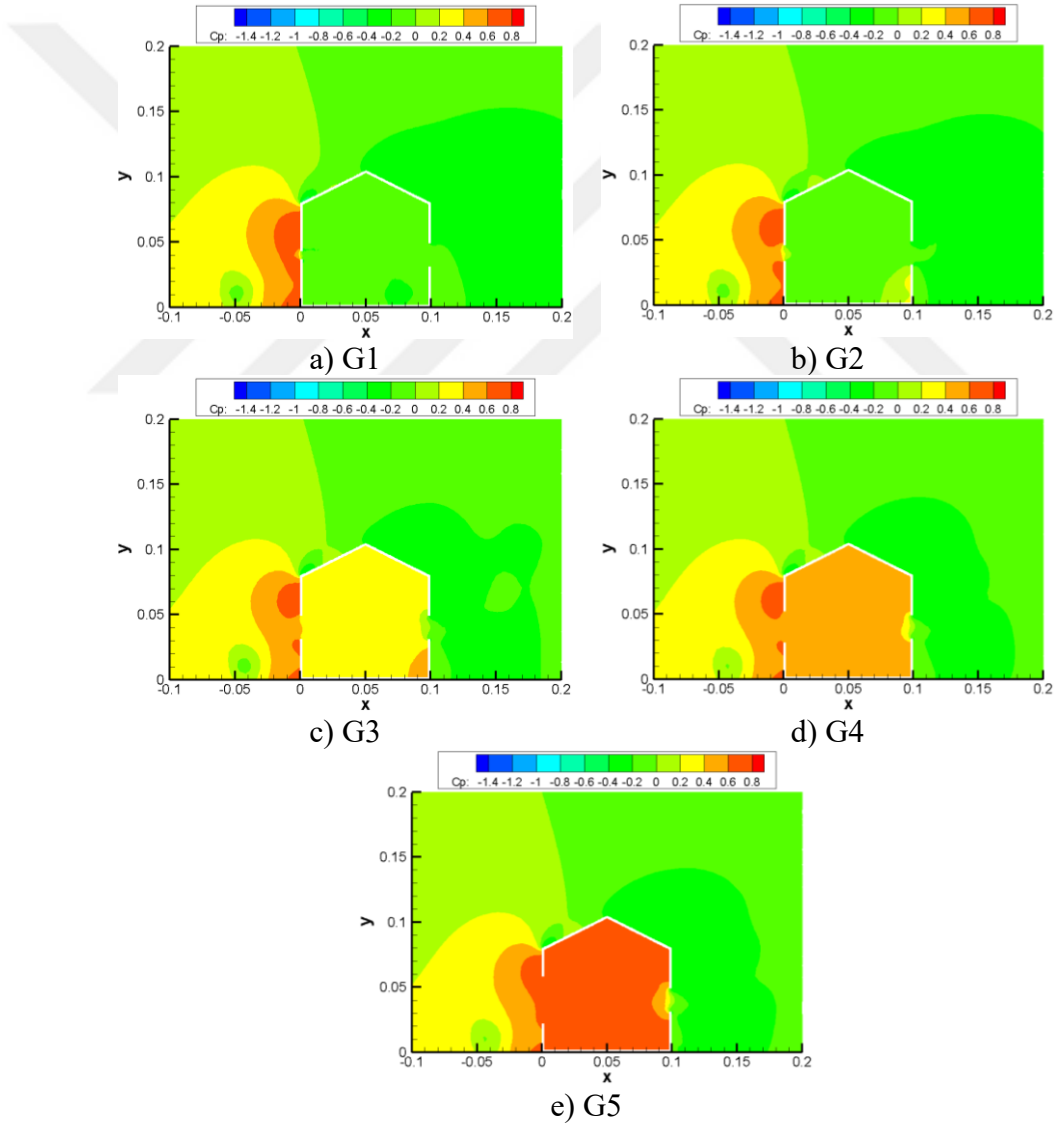
Şekil 5.11 ve Şekil 5.12, sabit çıkış açıklık boyutunda, değişken giriş açıklık boyutlarına sahip bina modelleri için elde edilen hız ve basınç konturlarını göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, giriş açıklık boyutunun artması ile bina modeli içindeki hava hızının azaldığı ve bina içerisindeki basıncın arttığı açıkça görülmektedir. Bu durum, Bernoulli prensibi ile uyumlu bir sonuçtur. G5 bina modeli sonucunda görüldüğü üzere, daha büyük açıklık boyutundaki binaya giren hava hızındaki değişiklikler, daha küçük bir açıklık oranına göre nispeten daha hafiftir. G1 modeli için daha küçük giriş açıklığı, bina içerisine giren hava hacmini sınırlayarak, rüzgar yönündeki duvara çarpan hava hızında ani bir düşüşe yol açmıştır. Bu nedenle, açıklık çevresinde basınç artışı meydana gelmiştir. Bu basınç artışı, havanın bina modeli içerisine daha yüksek bir hızla girmesine neden olurken, giriş açıklık boyutunun artması ile bu hız kademeli olarak azalmıştır. Ayrıca, girişten daha büyük çıkış açıklığı boyutuna sahip bina modellerinde, daha fazla hava bina modelini terk ederek bina içindeki basıncın düşmesine neden olmuştur.



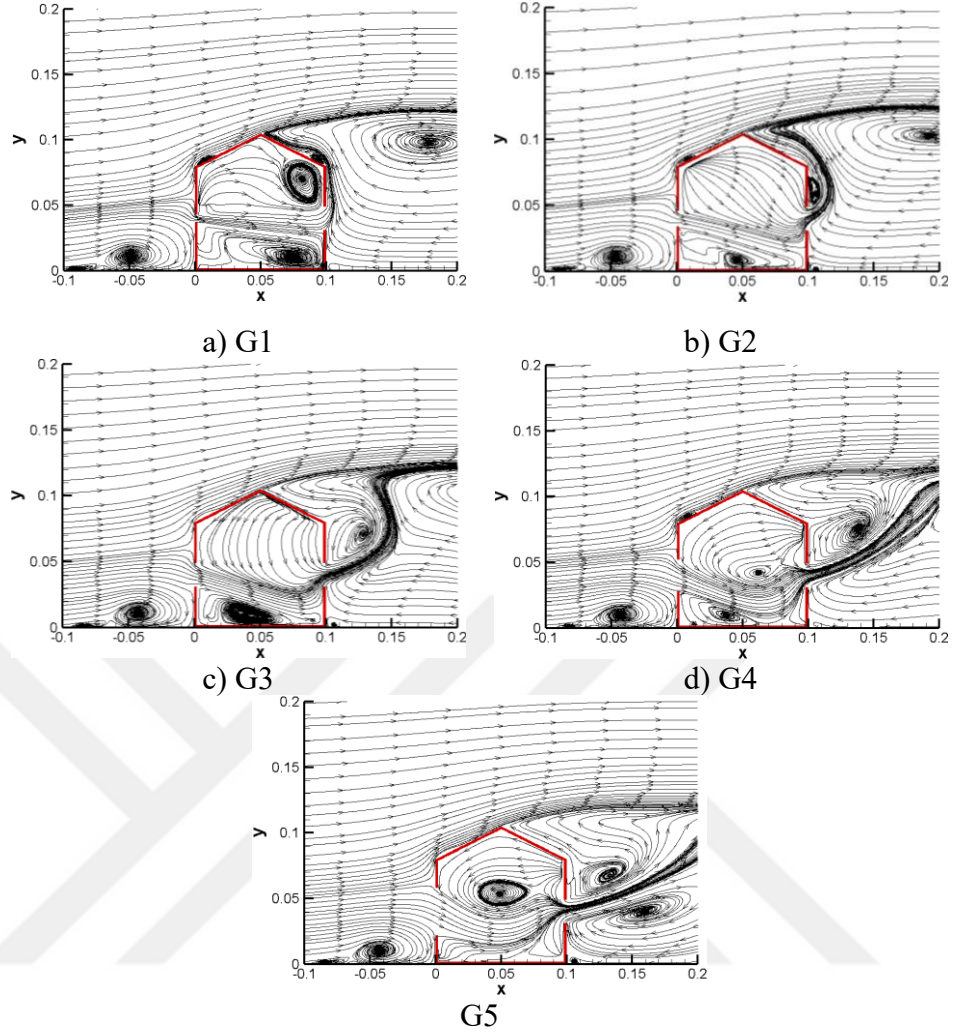
Şekil 5.11. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı giriş açıklıkları altındaki hız konturları.

Şekil 5.13, sabit çıkış açıklık boyutlarında ve farklı giriş açıklık boyutlarındaki binalara ait akım çizgisi dağılımını göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, açıklık boyutlarının değişmesinden bağımsız olarak bina modelinin ön alt kısmında at nalı girdabının olduğu açıkça göze çarpmaktadır. Bina modeli içerisine giren hava, farklı akış yapıları sergilemiştir. G1 bina modelinde, gelen jetin üstünde, binanın sağ üst köşesinde saat yönünün tersine dönen bir girdap oluşurken, binanın sağ alt kenarında ise saat yönünde hareket eden bir girdap meydana gelmiştir. Bina içerisinde alt kenarda

oluşan bu girdap G2 bina modelinde sola doğru kayarak küçülmüştür. G3 ve G4 bina modellerinde, gelen jetin alt kısmında saat yönünde dönen girdaplar daha belirgin hale gelmiştir. G5 bina modelinde ise gelen jetin üst kısmında yaklaşık olarak bina ortasında saat yönünün tersine hareket eden bir girdap oluşmuş, ancak giriş açıklığının geniş olması nedeniyle gelen jet binanın alt tarafına kadar ulaşarak burada ters akışın oluşmasını engellemiştir. Bina içerisinden çıkan hava, binayı terk ettikten sonra büyük bir ters akış bölgesi oluşturmuştur. Bu ters akış bölgesindeki dağılım G1 bina modeli ve G2 bina modeli arasında benzerlik gösterirken, G3 ve G4 modelleri de kendi aralarında benzerdir. G5 bina modelinde ise çıkan jetin hem altında hem de üstünde iki büyük devridaim bölgesi göze çarpmaktadır.



Şekil 5.12. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı giriş açıklıkları altındaki basınç konturları.

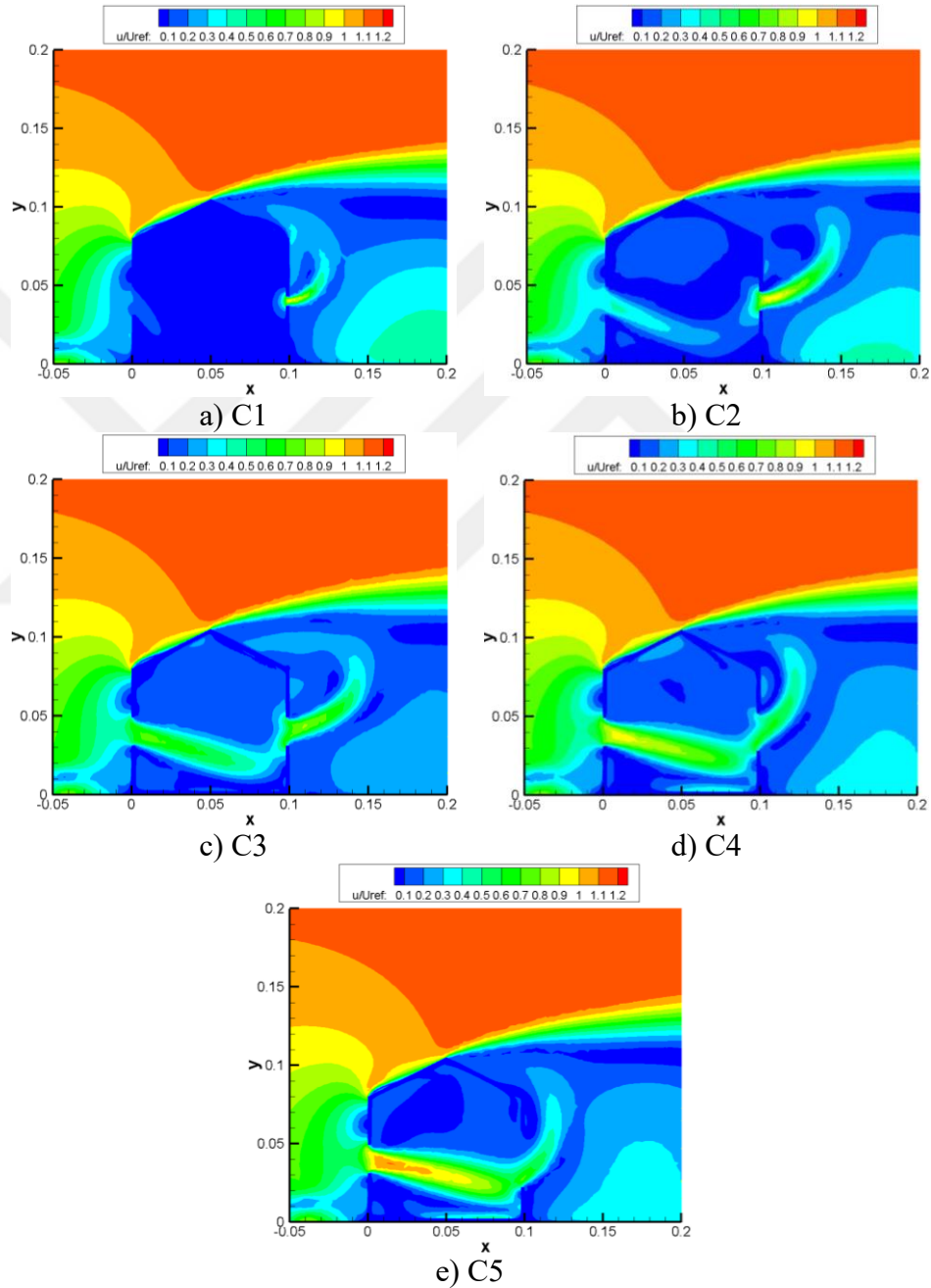


Şekil 5.13. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı giriş açıklıkları altındaki akım çizgileri.

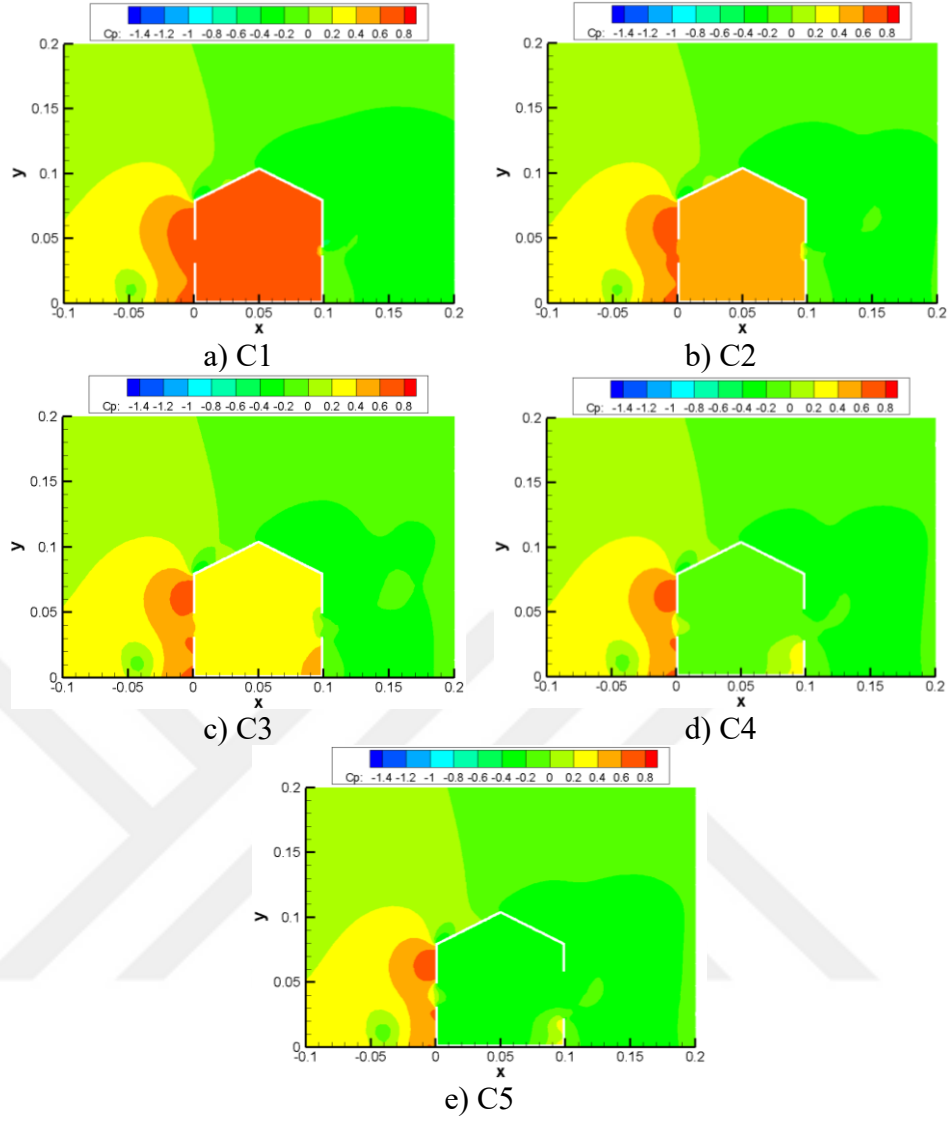
5.4 Farklı Çıkış Açıklık Boyutlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15, $\alpha=26,6^\circ$ çatı eğim açısına sahip bina modellerinde, sabit giriş açıklığı ve değişken çıkış açıklık boyutlarına ait hız ve basınç konturu dağılımlarını göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, çıkış açıklık boyutunun artması ile bina içindeki hava hızında artma meydana gelmiştir. Daha büyük açıklık boyutuna sahip C5 bina modelinde, gelen hava daha yüksek hızda hareket etmekte ve hızda ani bir düşüş yaşamadan bina modelini terk etmektedir. Bununla birlikte, daha küçük bir açıklık boyutuna sahip C1 bina modelinde, havanın bina modelinden geçerken hızda ani bir düşüşe uğramasına neden olmuştur. Hava hızındaki bu ani düşüş, açıklıktan geçen hava hacmini sınırlar ve havanın bina içinde birikmesine neden olarak doğrudan

bina içindeki ve açıklık etrafındaki basıncı artırır. Daha sonra, basınç artışı havayı daha iyi havalandırma için açıklıktan geçmeye zorlar. Bu da daha küçük açıklık boyutuna sahip C1 modelinde çıkışta en yüksek, girişte ise en düşük hıza sahip olmasını açıklamaktadır. C1 modelinde bina içinde en yüksek basınç değeri kaydedilirken, hız açısından en düşük değer tespit edilmiştir. C5 bina modelinde ise bu durum tam tersine gerçekleşmiştir: en düşük basınç ve en yüksek hız değerleri görülmüştür.

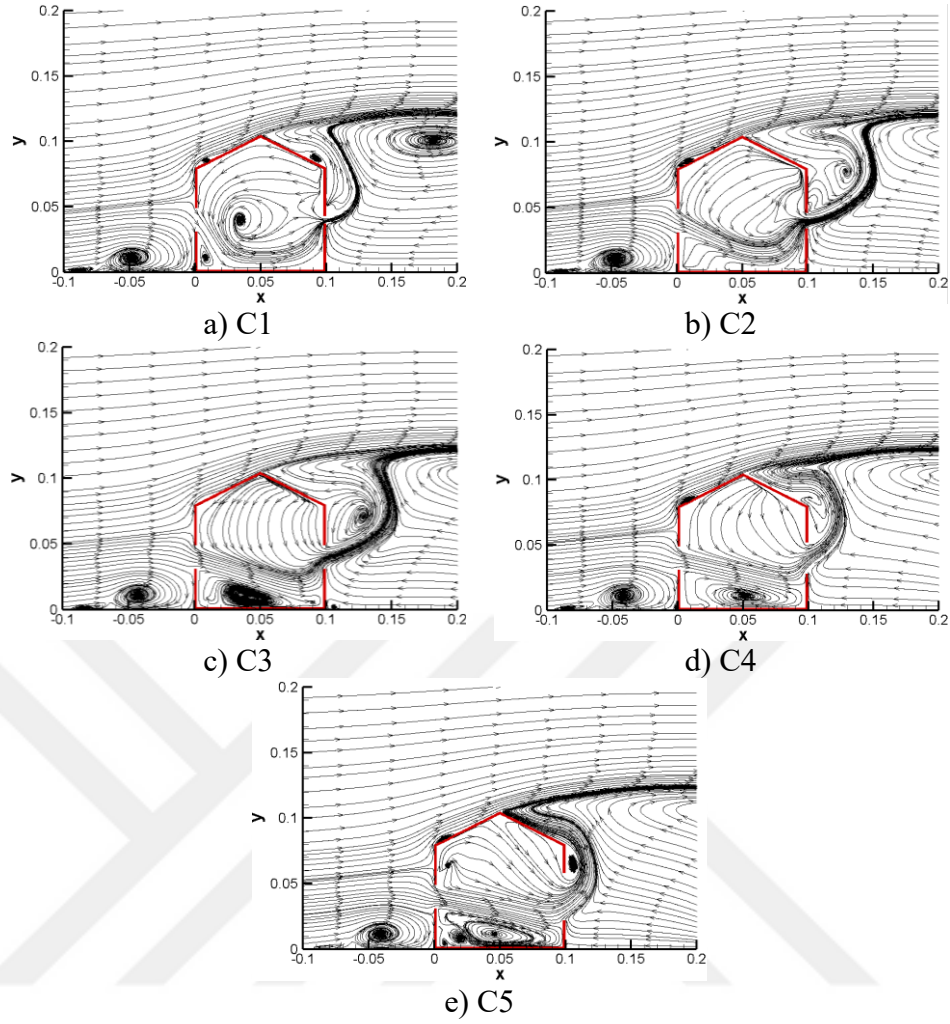


Şekil 5.14. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı çıkış açıklıkları altındaki hız konturları.



Şekil 5.15. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı çıkış açıklıkları altındaki basınç konturları.

Şekil 5.16'da, farklı çıkış açıklık boyutlarındaki bina modellerine ait akım çizgisi dağılımı verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, açıklık boyutlarının değişiminden bağımsız olarak bina modelinin ön alt kısmında at nalı girdabının oluştuğu açıkça göze çarpmaktadır. Tüm durumlar için gelen jetin üst kısmında saat yönünün tersine bir akış hareketi meydana gelirken, C5 modelinde bu durumun tam tersi bir akış gerçekleşmiştir. Ayrıca, bina arkasında oluşan devridaim bölgesinin merkezi, C5 modeline doğru gidildikçe binadan uzaklaşmıştır. Bu durum, farklı açıklık boyutlarının akış yapısı üzerindeki etkisini göstermektedir.

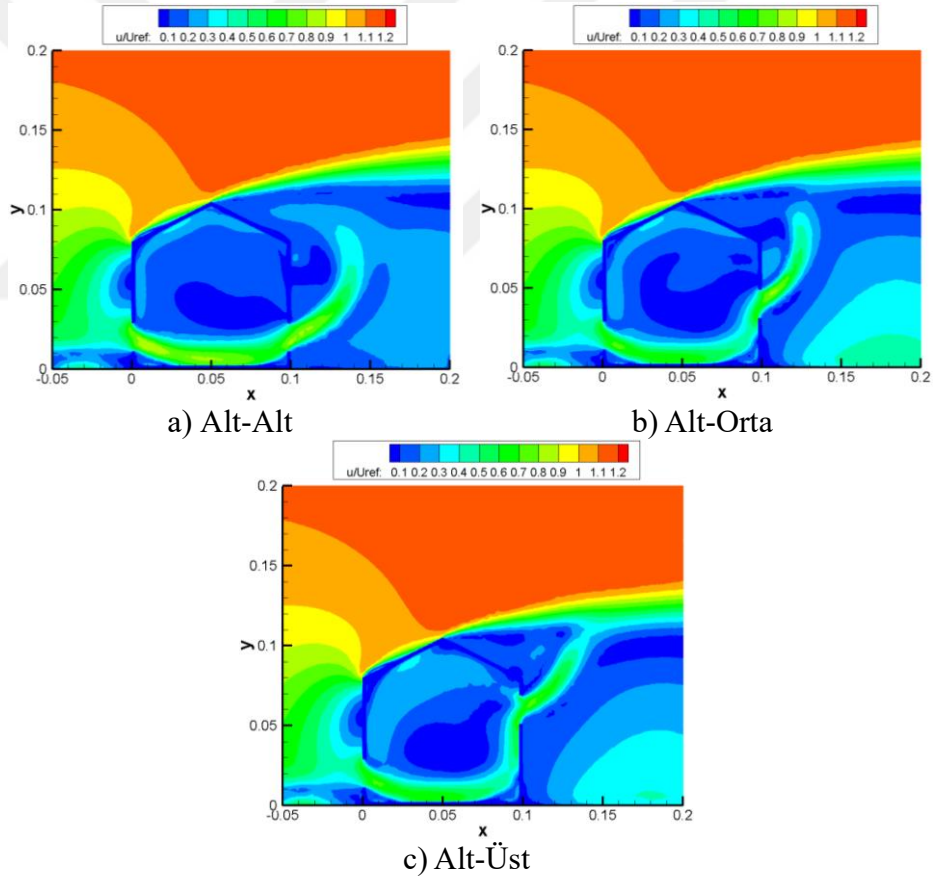


Şekil 5.16. $\alpha=26,6^\circ$ eğimli çatıya sahip binaların farklı çıkış açıklıkları altındaki akım çizgileri.

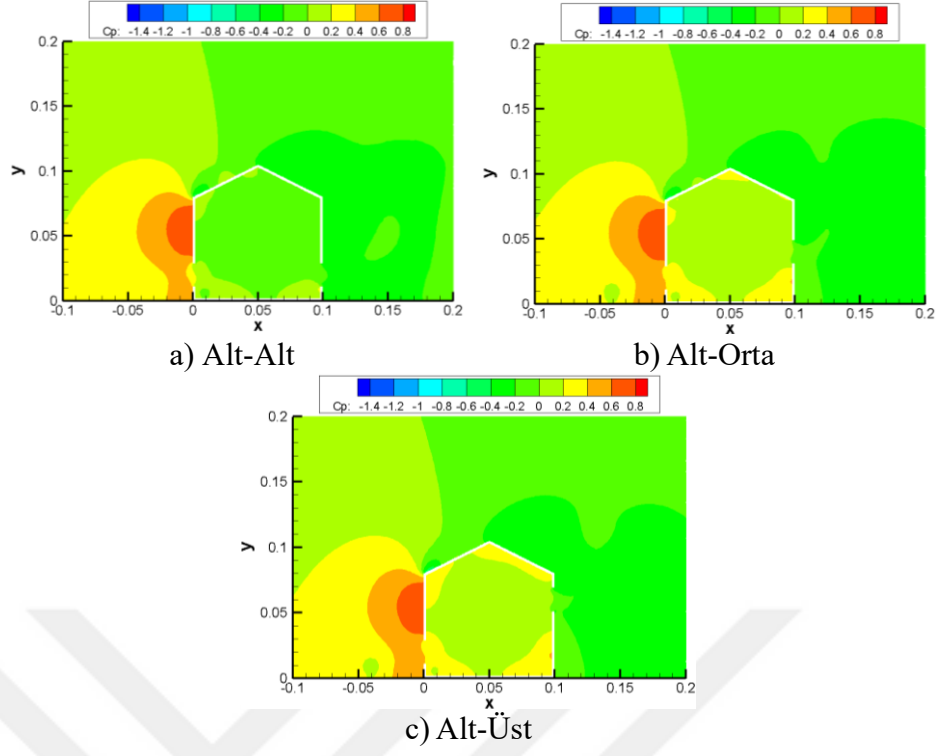
5.5 20 mm Sabit Giriş Açıklık Konumu ve Değişken Çıkış Açıklık Konumlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri

Şekil 5.17 ve 5.18’de $\alpha=26,6^\circ$ çatı eğimine sahip izole bir binada sabit 20 mm yükseklikte giriş açıklığı ve değişken çıkış açıklığı olan (20 mm, 40mm ve 60 mm) olan üç durumun hız ve basınç konturları sunulmuştur. Şekil 5.19’da ise akım çizgileri incelenmiştir. Zemin kaymamazlık durumundan dolayı, tüm giriş açıklıklarının 20 mm olması sebebiyle binaya giren akış aşağıya doğru yönelmekte ve bütün durumlar için benzer bir akış paterni gözlenmektedir. 40 mm (Alt-Orta) ve 60 mm (Alt-Üst) yükseklikteki çıkış açıklıklarında, akışın bina içinde yukarı doğru yöneldiği görülmüş ve bu durumlar birbirine oldukça benzerlik göstermektedir. Tüm durumlar incelendiğinde, en yüksek giriş hızının, aynı hizada bulunan giriş ve çıkış açıklığında

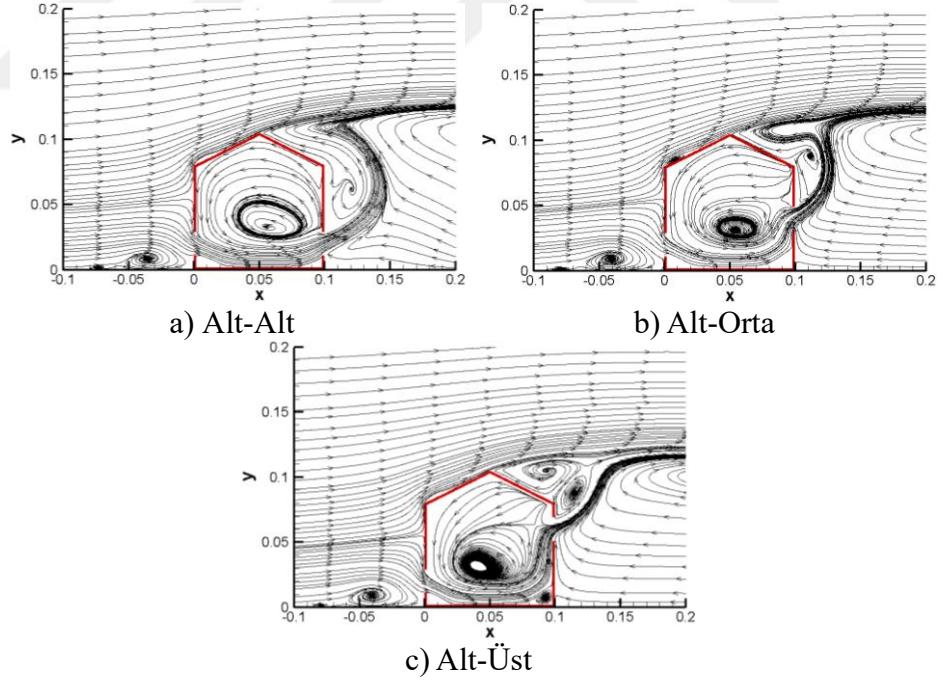
olduğu, çıkış açıklık yüksekliğinin artmasıyla giriş hızlarında ve bina içindeki hızlarda düşüş yaşandığı ve bina içinde basıncın arttığı hız ve basınç konturlarından anlaşılmaktadır. Bu durum Bernoulli prensibiyle de uyum göstermektedir. Tüm durumlarda, rüzgar yönündeki cephedeki basınç dağılımının birbirine benzediği görülmüştür. Şekil 5.19'daki akım çizgisi dağılımları incelendiğinde, Alt-Alt, Alt-Orta ve Alt-Üst durumlarında akışın belirgin bir şekilde aşağıya doğru eğimle binaya girdiği ve ardından yukarı yönlü bir eğilim ile binadan çıktığı görülmektedir. Ayrıca, Alt-Orta ve Alt-Üst konfigürasyonlarında, yani rüzgarüstü açıklığının rüzgaraltı açıklığından daha aşağıda konumlandırıldığı durumlarda, rüzgaraltı açıklığından çıkan akışın yukarı doğru bir eğilim sergilediği görülmektedir. Bu eğilim, bina içindeki akış hareketi ve rüzgar etkisiyle uyumlu bir hava sirkülasyonu oluşturarak havalandırma verimliliğini etkileyebilir.



Şekil 5.17. Giriş açıklığının 20 mm, çıkış açıklığının değişken olduğu durumda hız konturları.



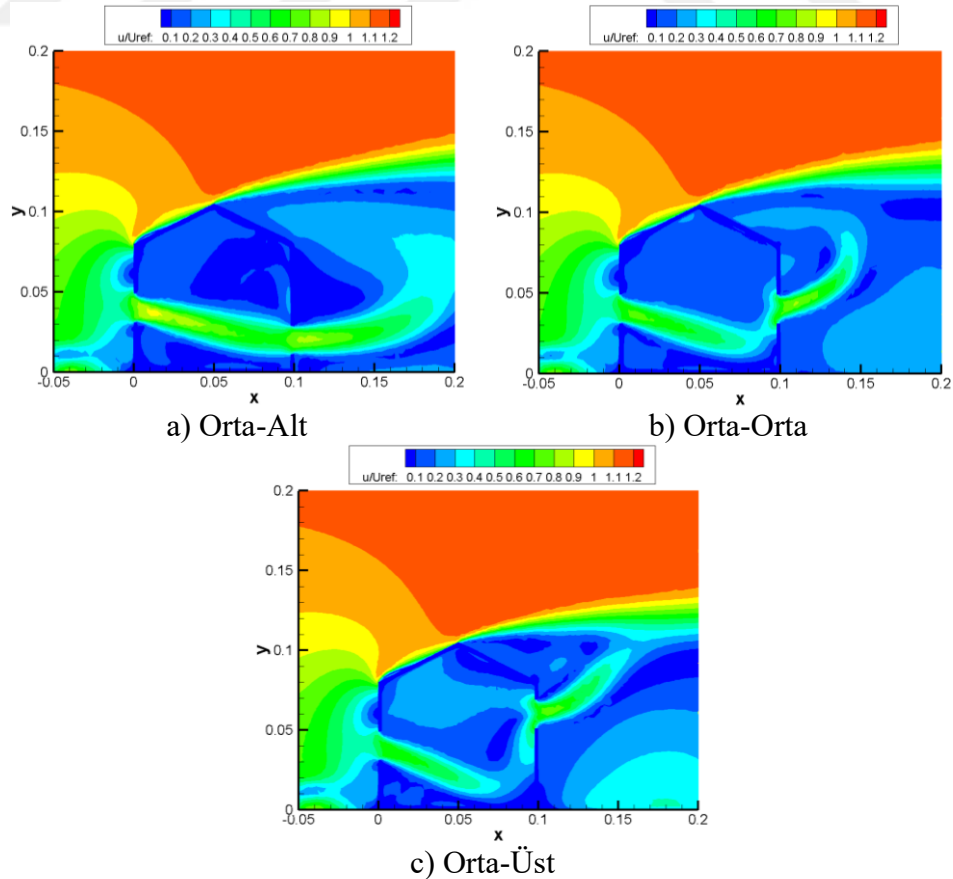
Şekil 5.18. Giriş açıklığının 20 mm, çıkış açıklığının değişken olduğu durumda basınç konturları.



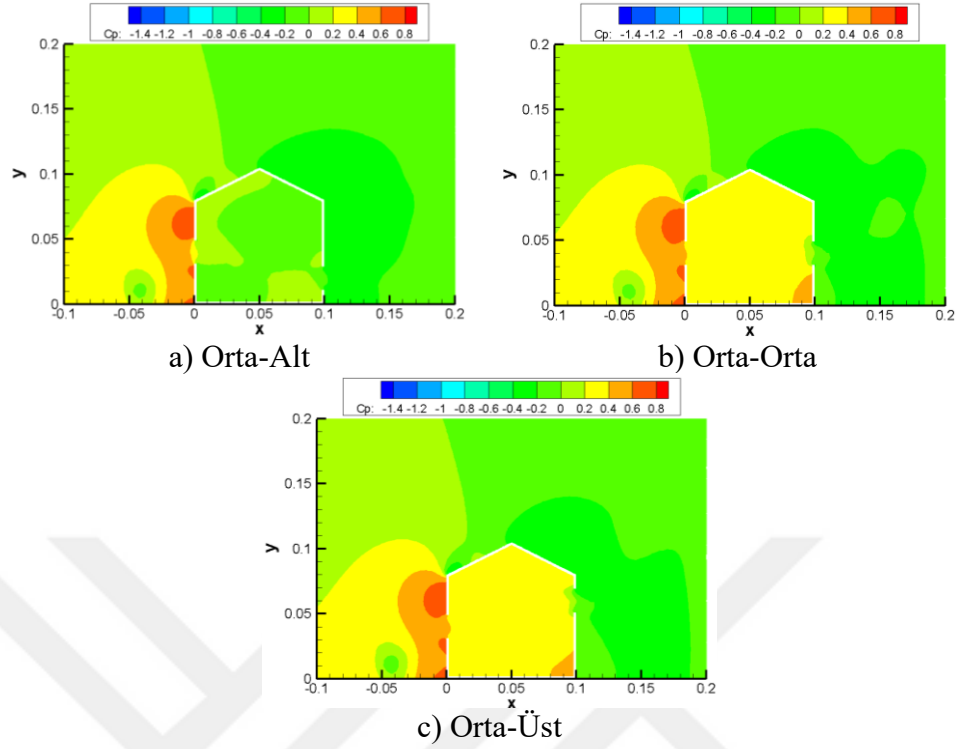
Şekil 5.19. Giriş açıklığının 20 mm, çıkış açıklığının değişken olduğu durumda akış çizgileri.

5.6 40 mm Sabit Giriş Açıklık Konumu ve Değişken Çıkış Açıklık Konumlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri

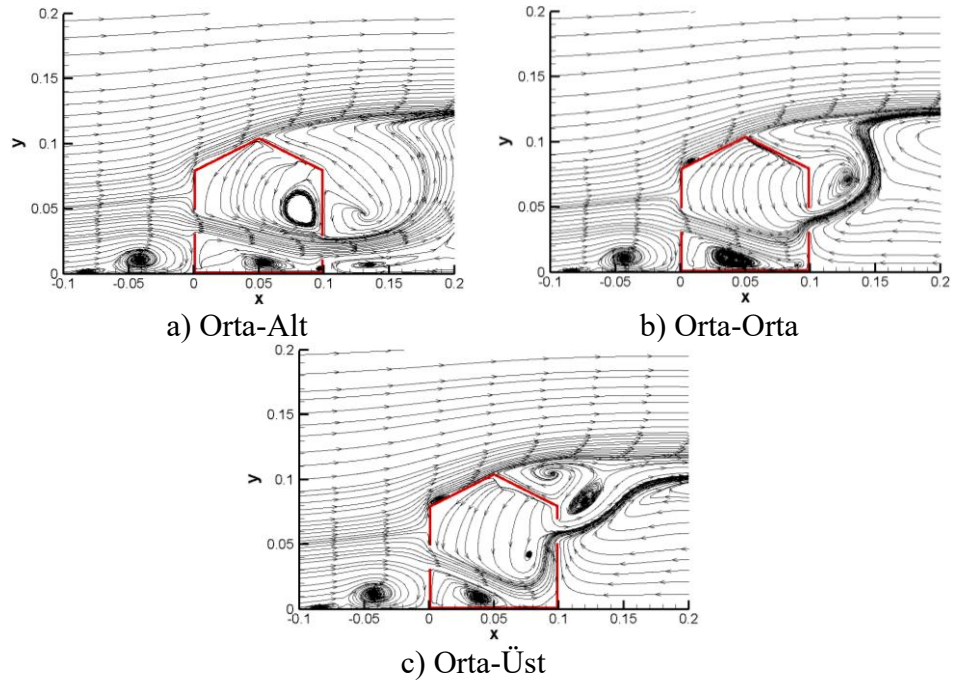
$\alpha=26,6^\circ$ çatı eğim açısına sahip izole bina modelinde, giriş pencere açıklığının merkezinin zemine olan uzaklığı 40 mm olarak sabit tutulurken, çıkış pencere açıklık merkezinin ise 20 mm, 40 mm ve 60 mm olarak değiştirildiği Orta-Alt, Orta-Orta ve Orta-Üst durumlarına ait hız-basınç konturları ve akım çizgilerinin dağılımı sırasıyla Şekil 5.20-5.22’de verilmiştir. Giriş açıklığından geçen akış aşağı yönelimli olduğu ve çıkış açıklığının daha aşağıda olması sebebiyle Orta-Alt durumdaki bina modelinde, giriş hızında belirgin bir düşüş olmadan akışın binayı terk ettiği görülmüştür. Orta-Alt konfigürasyonlu bina modelinde, diğer modellere göre daha yüksek giriş hızı ve daha düşük basınç değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, Bernoulli prensibiyle iyi bir uyum sağlamaktadır. Rüzgar yönündeki cephedeki basınç dağılımı tüm durumlar için benzerlik göstermektedir. Orta-Orta ve Orta-Üst konfigürasyonlara sahip izole bina modellerinde akış üzerinde kalan devridaim bölgesinin akış altındaki devridaim bölgesinden daha yüksek olması sebebiyle akış yukarı doğru bir eğilim sergilemiştir.



Şekil 5.20. Giriş açıklığının 40 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki hız konturları.



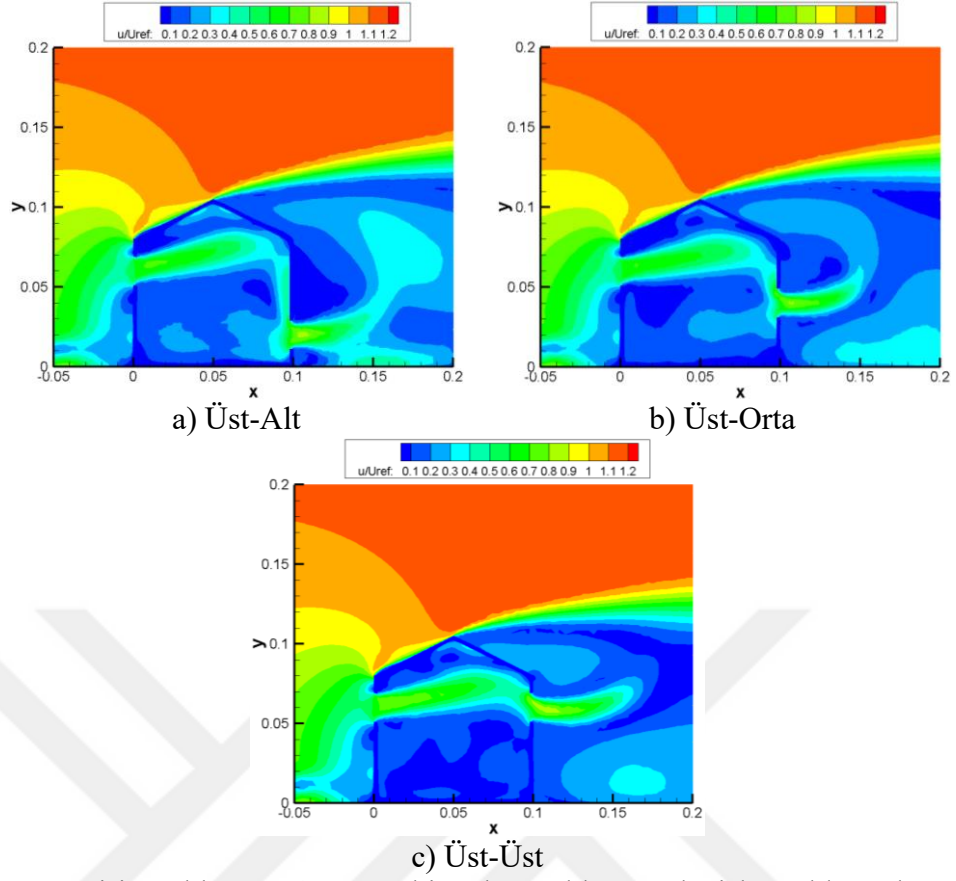
Şekil 5.21. Giriş açıklığının 40 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki basınç konturları.



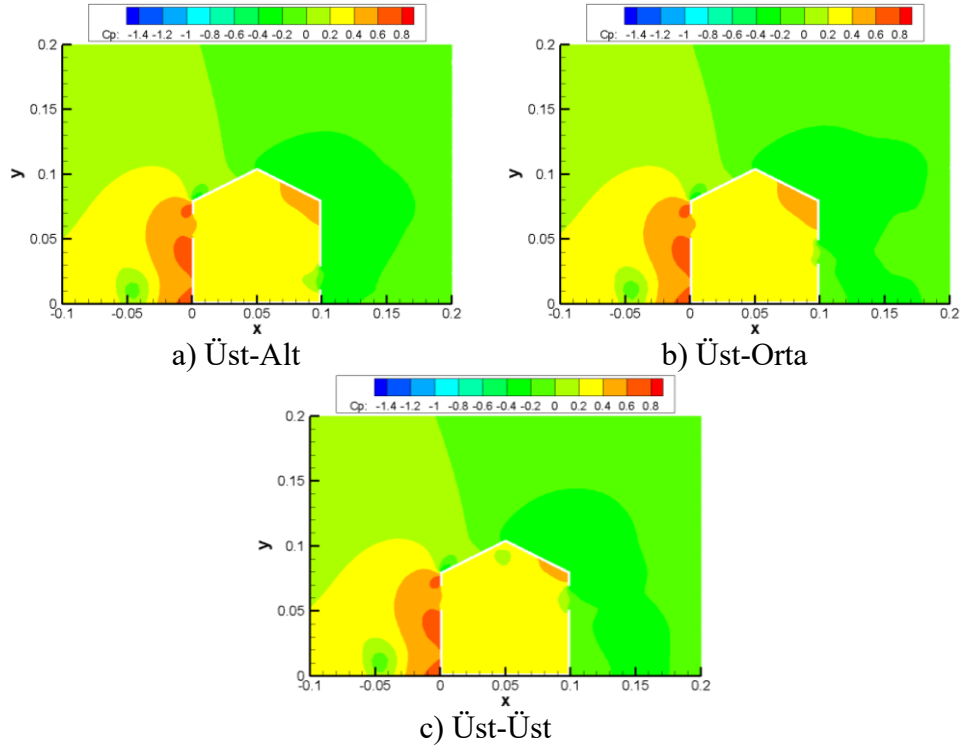
Şekil 5.22. Giriş açıklığının 40 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki akış çizgileri.

5.7 60 mm Sabit Giriş Açıklık Konumu ve Değişken Çıkış Açıklık Konumlarına Sahip Bina Modellerinin Hız Konturları, Basınç Konturları ve Akım Çizgileri

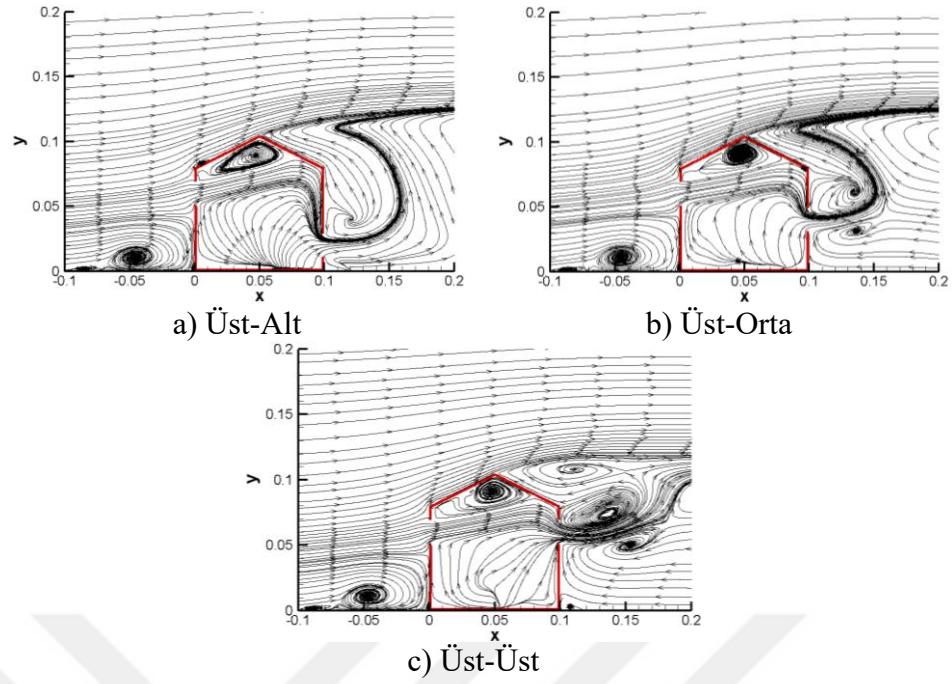
$\alpha=26,6^\circ$ çatı eğim açısına sahip izole bir binanın giriş pencere açıklık konumunun merkezinin zemine olan uzaklığının 60 mm olarak sabit tutulduğu, çıkış pencere açıklığının ise 20 mm, 40 mm ve 60 mm olarak değiştirildiği Üst-Alt, Üst-Orta ve Üst-Üst durumları için yapılan sayısal analiz sonucunda elde edilen hız konturları, basınç konturları ve akım çizgilerinin dağılımı sırasıyla Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, tüm durumlarda binanın alt tarafına çarpan havanın bina duvarına çarptıktan sonra yukarı yönlü hareketi sebebiyle giriş akışı yukarı doğru yönlenmiştir. Benzer şekilde, tüm durumlarda binayı terk eden hava akışı yukarı hareket sergilemekte, aynı hızda bulunan çıkış açıklığında (Üst-Üst) ise hız konturu diğer iki duruma göre daha stabil ve en yüksek hız konturuna sahip olduğu görülmektedir. Tüm durumlar için rüzgar yönündeki cephedeki basınç dağılımı benzerlik göstermiştir, bu da farklı çıkış açıklık oranlarının bu bölgede büyük bir etki yaratmadığını işaret etmektedir. Akım çizgilerinin dağılımı incelendiğinde, rüzgarüstü açıklığının rüzgaraltı açıklığından daha yukarı konumlandırıldığı durumlarda, akışın binaya yukarı doğru bir eğilimle girmekte ve rüzgaraltı açıklığından çıkan akışın ise aşağı doğru bir desen sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durum, hava akışının bina içinde izlediği yolu ve dışarı çıkış yönünü belirleyen pencere konumunun etkisini göstermektedir. Rüzgarüstü açıklığın daha yüksek konumda olduğu bu senaryolar, iç mekân havalandırmasının yönü ve hız dağılımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 5.23. Giriş açıklığının 60 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki hız konturları.



Şekil 5.24. Giriş açıklığının 60 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki basınç konturları.

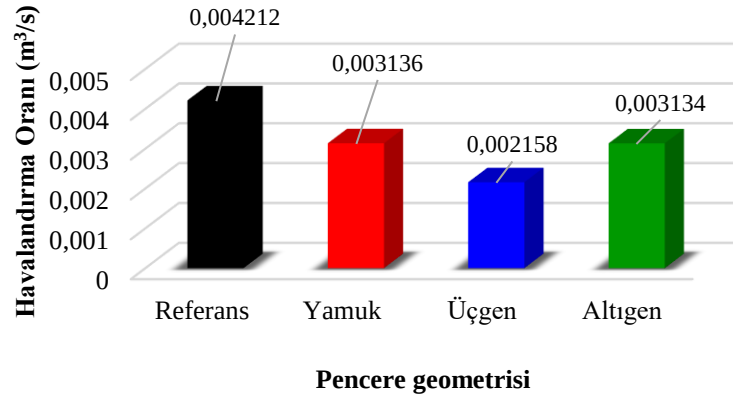


Şekil 5.25. Giriş açıklığının 60 mm sabit, çıkış açıklığının değişken olduğu durumdaki akım çizgileri.

5.8 Havalandırma Oranı Sonuçları

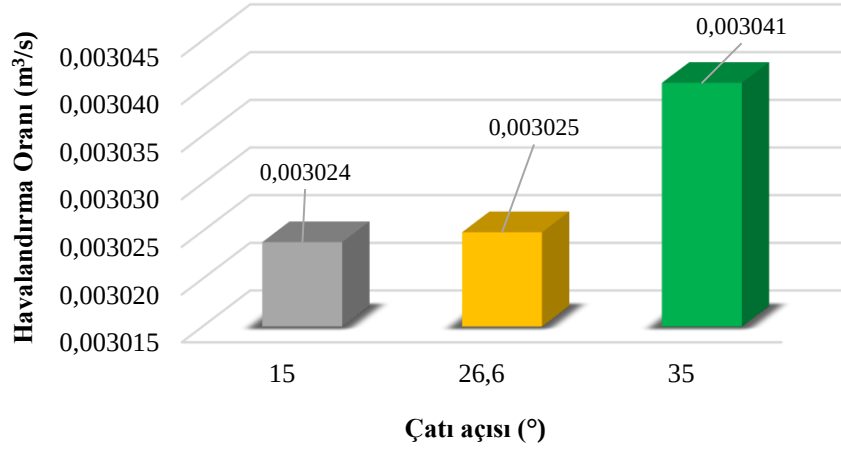
Şekil 5.26, farklı pencere açıklığı geometrilerine sahip çapraz havalandırmalı izole bir bina için elde edilen havalandırma oranlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Referans (dikdörtgen), yamuk, üçgen ve altıgen pencere geometrilerine sahip binalar için havalandırma oranları karşılaştırıldığında, referans pencere geometrisine sahip binanın en yüksek havalandırma oranına sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bu, referans geometrinin $0,004212 \text{ m}^3/\text{s}$ ile en verimli havalandırma oranını sağladığı görülmüştür. Yamuk pencere açıklık geometrisindeki bina modeli, $0,003136 \text{ m}^3/\text{s}$ ile referans geometriden biraz daha düşük bir havalandırma oranına sahip olup, ikinci sırada yer almıştır. Öte yandan, en düşük havalandırma oranı ise $0,002158 \text{ m}^3/\text{s}$ ile üçgen pencere açıklık geometrisine ait olup, bu durum üçgen açıklığın havalandırma açısından en verimsiz olduğunu göstermiştir. Yamuk ve üçgen pencereli yapılarla karşılaştırıldığında, altıgen yapı için havalandırma oranı $0,003134 \text{ m}^3/\text{s}$ olup orta düzeyde bir performansa işaret etmektedir. Ancak, bu oran trapez pencereli izole binada elde edilen havalandırma miktarına neredeyse eşdeğerdir. Bu bulgulara dayanarak, pencere geometrisinin binanın doğal havalandırma performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve havalandırma verimliliğini artırmak için pencere tasarımının dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerektiği sonucuna varılabilir. Optimum

havalandırma için referans geometri tercih edilebilirken, yapısal veya estetik ihtiyaçlar için diğer geometriler de düşünülebilir. Ancak, havalandırma performansının ön planda tutulması gereken durumlarda üçgen geometriden kaçınılması gerektiği sonucuna varılabilir.



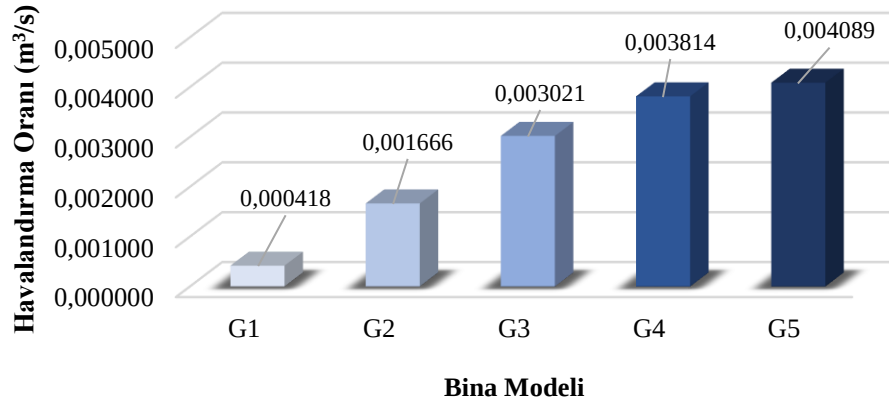
Şekil 5.26. Çeşitli pencere açıklıklarına sahip izole binanın havalandırma oranı.

Şekil 5.27, farklı çatı eğimlerine sahip çapraz havalandırmalı izole bina modelleri için hesaplanan havalandırma oranlarının grafiğini göstermektedir. $\alpha=15^\circ$, $\alpha=26,6^\circ$ ve $\alpha=35^\circ$ çatı eğimlerine sahip bina modellerine ait havalandırma oranları karşılaştırıldığında, $\alpha=35^\circ$ çatı eğim açısına sahip bina modelinin en yüksek havalandırma oranına ulaştığı tespit edilmiştir. Bu, $\alpha=35^\circ$ eğime sahip binanın 0,003040 m³/s'lik havalandırma oranıyla en iyi performansı sunduğunu göstermektedir. $\alpha=26,6^\circ$ çatı eğimine sahip bina, 0,003025 m³/s'lik havalandırma oranıyla ikinci sırada yer almıştır. Bu değer, $\alpha=35^\circ$ 'lik çatı eğimine sahip binaya kıyasla biraz daha düşük bir performans sergilemiştir. En düşük havalandırma oranı ise $\alpha=15^\circ$ çatı eğimine sahip bina modelinde hesaplanmış olup, 0,003024 m³/s olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, $\alpha=15^\circ$ çatı eğiminin havalandırma verimliliği açısından en düşük performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgulara dayanarak, çatı eğiminin binanın doğal havalandırma performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve havalandırma verimliliğini artırmak için çatı açısı tasarımının dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerektiği sonucuna varılabilir.



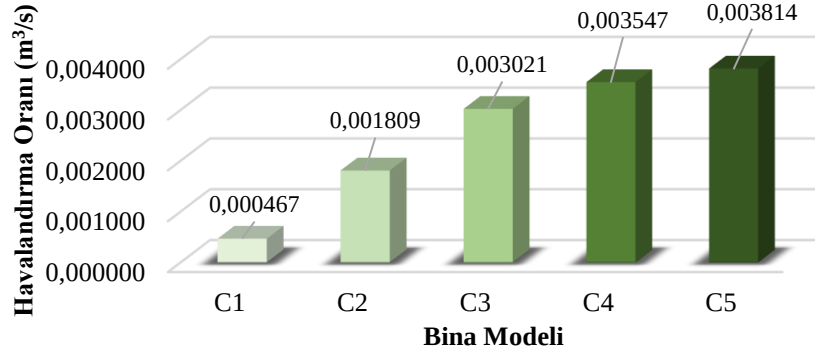
Şekil 5.27. Çeşitli çatı eğim açılarına sahip izole binanın havalandırma oranı.

Sabit çıkış pencere boyutlarına ve değişken pencere giriş açıklığı boyutlarına sahip çapraz havalandırmalı izole bina modelleri için elde edilen havalandırma oranlarının karşılaştırılması Şekil 5.28’de verilmiştir. G1, G2, G3, G4 ve G5 bina modelleri için hesaplanan havalandırma oranları incelendiğinde, G5 bina modelinin en yüksek havalandırma oranına sahip olduğu ortaya çıkmıştır. G5 modelinin 0,004089 m³/s’lik havalandırma oranı, bu modelin havalandırma açısından en verimli olduğunu göstermektedir. Sıralamada, G5’i 0,003814 m³/s havalandırma oranı ile G4 bina modeli takip etmiştir. G3 bina modeli 0,003021 m³/s, G2 bina modeli 0,001666 m³/s ve G1 bina modeli 0,000418 m³/s’lik oranlarla sırasıyla üçüncü, dördüncü ve beşinci sırada yer almıştır. Bu sonuçlar, G1 bina modelinin havalandırma açısından en verimsiz olduğunu göstermektedir. Orta düzeyde bir performans sergileyen G3 modeline kıyasla, G4 ve G5 bina modelleri en verimli havalandırma oranlarına ulaşmıştır. Bu bulgulara dayanarak, pencere giriş açıklık boyutunun binanın doğal havalandırma performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve havalandırma verimliliğini artırmak için pencere tasarımının dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerektiği sonucuna varılabilir. Optimum havalandırma performansı için G5 bina modeli tercih edilebilirken, yapısal veya estetik ihtiyaçlar için diğer G4 veya G3 modelleri de makul birer seçenek olabilir. Ancak, havalandırma performansının ön planda tutulması gereken durumlarda, G1 bina modelinden kaçınılmalıdır.



Şekil 5.28. Çeşitli pencere giriş açıklıklarına sahip izole binanın havalandırma oranı.

Şekil 5.29’da, sabit giriş pencere açıklık boyutuna ve farklı pencere çıkış açıklık boyutlarına sahip çapraz havalandırmalı izole bina modelleri için hesaplanan havalandırma oranlarının grafiği verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, C5 bina modelinin en yüksek havalandırma oranına sahip olduğu ortaya çıkmıştır. C5 modeli, $0,003814 \text{ m}^3/\text{s}$ ’lik bir oranla havalandırma açısından en verimli model olarak öne çıkmıştır. Bu sıralamayı, $0,003547 \text{ m}^3/\text{s}$ havalandırma oranı ile C4 modeli takip etmiştir. C3 modeli $0,003021 \text{ m}^3/\text{s}$, C2 modeli $0,001809 \text{ m}^3/\text{s}$ ve C1 modeli ise $0,000467 \text{ m}^3/\text{s}$ ’lik havalandırma oranlarıyla sırasıyla üçüncü, dördüncü ve beşinci sırada yer almıştır. Bu sonuçlar, C1 modelinin havalandırma açısından en verimsiz olduğunu ortaya koymaktadır. C3 modeli orta düzeyde bir havalandırma oranı sağlarken, C4 ve C5 modelleri en yüksek havalandırma performansını göstermiştir. Bu bulgular, pencere çıkış açıklık büyüklüğünün binanın doğal havalandırma performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu vurgulamaktadır. Havalandırma verimliliğini artırmak için pencere tasarımının dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Optimum havalandırma için C5 modeli önerilirken, yapısal veya estetik ihtiyaçlar doğrultusunda C4 veya C3 modelleri de tercih edilebilir. Ancak, havalandırma performansının öncelikli olduğu durumlarda, C1 bina modelinden kaçınılması tavsiye edilmektedir.

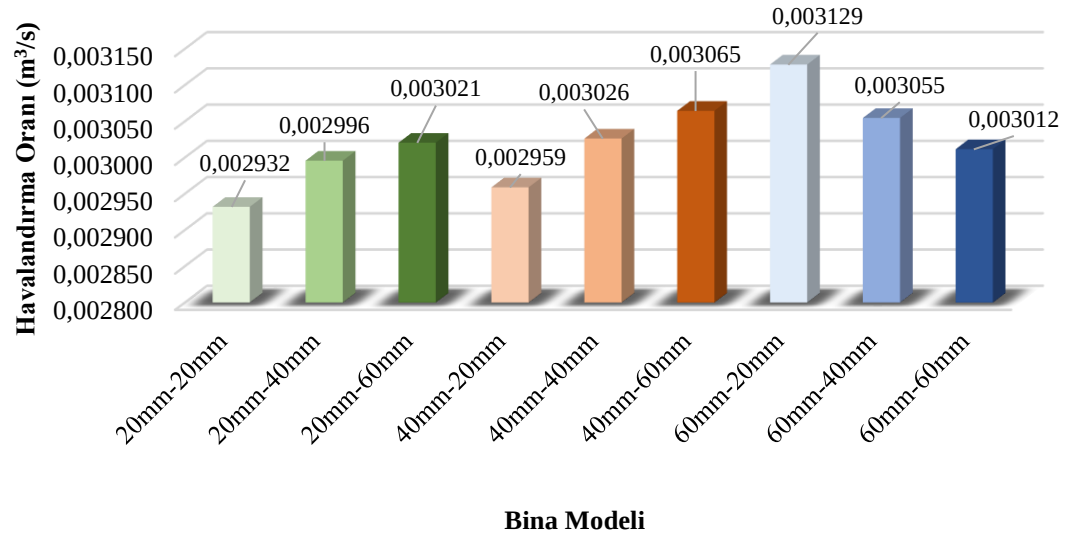


Şekil 5.29. Çeşitli pencere çıkış açıklıklarına sahip izole binanın havalandırma oranı.

Şekil 5.30, farklı pencere giriş ve çıkış açıklık konumlarına sahip çapraz havalandırmalı izole bina modellerinde 20 mm-20 mm (Alt-Alt), 20 mm-40 mm (Alt-Orta), 20 mm-60 mm (Alt-Üst), 400 mm-20 mm (Orta-Alt), 40 mm-40 mm (Orta-Orta), 40 mm-60 mm (Orta-Üst), 60 mm-20 mm (Üst-Alt), 60 mm-40 mm (Üst-Orta), 60 mm-60 mm (Üst-Üst) konfigürasyonlar için hesaplanan havalandırma oranlarının grafiğini göstermektedir.

Sonuçlar incelendiğinde, giriş açıklık konumunun 20 mm sabit ve çıkış açıklık konumunun değişken olduğu bina modelleri karşılaştırıldığında 60 mm pencere çıkış açıklık konumuna sahip binanın (Alt-Üst) 0,003021 m³/s'lik bir oranla en yüksek havalandırma oranına, 0,002932 m³/s ile 20 mm pencere çıkış açıklık konumundaki bina (Alt-Alt) ise en düşük havalandırma oranına sahiptir.

Giriş açıklık konumunun 40 mm sabit ve çıkış açıklık konumunun değişken olduğu bina modelleri karşılaştırıldığında 60 mm pencere çıkış açıklık konumuna sahip binanın (Orta-Üst) 0,003065 m³/s'lik bir oranla en yüksek havalandırma oranına, 0,002959 m³/s ile 20 mm pencere çıkış konumuna sahip bina (Orta-Alt) ise en düşük havalandırma oranına sahiptir. Giriş açıklık konumunun 60 mm sabit ve çıkış açıklık konumunun ise değişken olduğu bina modelleri karşılaştırıldığında 20 mm çıkış açıklık konumuna sahip binanın (Üst-Alt) 0,003129 m³/s'lik bir oranla en yüksek havalandırma oranına, 0,003012 m³/s ile 60 mm pencere çıkış açıklık konumuna sahip binanın (Üst-Üst) ise en düşük havalandırma oranına sahiptir. Optimum havalandırma için çıkış pencere yüksekliğinin 20 mm olduğu bina modeli (Üst-Alt) tercih edilebilir.



Şekil 5.30. Çeşitli pencere giriş ve çıkış yüksekliklerine sahip izole binanın havalandırma oranı.

6. SONUÇ

Bu tez kapsamında, farklı pencere açıklık geometrilerine ve çatı eğimlerine sahip bina modelleri ile birlikte, çeşitli giriş ve çıkış açıklık boyutlarına ve konumlarına sahip bina modellerinin rüzgar kaynaklı çapraz havalandırma durumu, üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak, SST k- ω türbülans modeli kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir.

Yapılan sayısal analiz sonuçları incelendiğinde, farklı çatı eğimlerine sahip bina modellerinde rüzgarın bina duvarına uyguladığı kuvvetle en yüksek pozitif basınç katsayısının rüzgar yönündeki duvarda oluştuğunu göstermiştir. Çatı açısının 15°'den 35°'ye artırılması, bina iç basıncında azalma sağlarken, bu durum rüzgar hızıyla Bernoulli prensibi doğrultusunda ilişkilendirilmiştir. Gelen jetin üst kısmında saat yönünün tersine, alt kısmında ise saat yönünde akış gözlemlenmiştir.

Sabit çıkış açıklık boyutunda değişken giriş açıklıkları olan bina modellerinde, giriş açıklık boyutunun artmasıyla bina içindeki hava hızının azaldığı ve basıncın yükseldiği bulunmuştur. Küçük giriş açıklıkları, rüzgar yönündeki duvara çarpan hava hızını düşürerek çevresinde basınç artışına neden olmuştur. G1 modelinde üst kısımda saat yönünün tersine dönen bir girdap gözlemlenirken, G5 modelinde geniş giriş açıklığı nedeniyle ters akış engellenmiştir. Öte yandan, sabit giriş açıklığı ile değişken çıkış açıklığı olan C5 modelinde, gelen hava daha yüksek hızda hareket ederken, C1 modelinde hava hızında ani düşüşler görülmüştür. C1 modelinde en yüksek basınç, C5 modelinde ise en düşük basınç gözlemlenmiştir. Akım çizgisi dağılımı, gelen jetin üst kısmında saat yönünün tersine akış olduğunu, C5 modelinde bu durumun tam tersi bir akış gerçekleşmiştir.

Farklı açıklık konumlarına sahip bina modelleri için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, akış yönlerinin değiştiği ve rüzgarüstü açıklığın rüzgaraltı açıklığından daha yüksekte olduğu durumların, iç mekan havalandırmasının yönü ve hız dağılımı üzerindeki etkisi belirginleşmiştir. Rüzgarüstü açıklığın yüksek konumu, hava akışının binada izlediği yolu etkileyerek havalandırma verimliliğini artırmıştır.

Ek olarak, tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların sonucunda, havalandırma oranına ilişkin elde edilen bulgular aşağıdaki gibi maddeler halinde verilmiştir:

1. Farklı pencere açıklık geometrilerine sahip binaların havalandırma oranları:

- Dikdörtgen pencere, 0,004212 m³/s ile en yüksek performansı göstermiştir.
- Üçgen pencere, 0,002158 m³/s ile en düşük havalandırma oranına sahiptir.

Bu sonuçlar, havalandırma verimliliği açısından pencere tasarımının önemli olduğunu ve üçgen geometriden kaçınılması gerektiğini göstermektedir.

2. Farklı çatı eğimlerinin etkisi:

- $\alpha=35^\circ$ eğimli bina, 0,003040 m³/s ile en yüksek havalandırma oranına sahiptir.
- $\alpha=15^\circ$ eğimli bina, 0,003024 m³/s ile en düşük havalandırma oranına sahiptir.

Bu sonuçlar, çatı eğiminin havalandırma verimliliğini doğrudan etkilediğini göstermektedir.

3. Sabit çıkış ve değişken giriş pencere boyutlarıyla yapılan analiz:

- G5 bina modeli, 0,004089 m³/s ile en yüksek havalandırma oranına sahip olmuştur.
- G1 bina modeli, 0,000418 m³/s ile en düşük havalandırma oranına sahiptir.
- G4 ve G3 modelleri, sırasıyla ikinci ve üçüncü sıradadır.

Bu sonuçlar, pencere giriş açıklık boyutunun havalandırma performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve optimum verim için G5 modelinin tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir.

4. Sabit giriş ve değişken çıkış pencere boyutlarıyla yapılan analiz:

- C5 bina modeli, 0,003814 m³/s ile en yüksek havalandırma oranına sahiptir.
- C1 bina modeli, 0,000467 m³/s ile en düşük havalandırma oranına sahiptir.

Bu sonuçlar, çıkış pencere boyutunun havalandırma veriminde kritik bir rol oynadığını ve optimum performans için C5 modelinin önerildiğini, C1 modelinden kaçınılması gerektiğini göstermektedir.

5. Farklı pencere giriş ve çıkış açıklık konumlarıyla yapılan analiz:

- a. Giriş açıklık konumu 20 mm sabit, çıkış açıklık konumu değişken olan bina modellerinde:
 - En yüksek havalandırma oranı: 60 mm pencere çıkış açıklığına sahip bina (Alt-Üst): 0,003021 m³/s
 - En düşük havalandırma oranı: 20 mm pencere çıkış açıklığına sahip bina (Alt-Alt): 0,002932 m³/s
- b. Giriş açıklık konumu 40 mm sabit, çıkış açıklık konumu değişken olan bina modellerinde:
 - En yüksek havalandırma oranı: 60 mm pencere çıkış açıklığına sahip bina (Orta-Üst): 0,003065 m³/s
 - En düşük havalandırma oranı: 20 mm pencere çıkış açıklığına sahip bina (Orta-Alt): 0,002959 m³/s
- c. Giriş açıklık konumu 60 mm sabit, çıkış açıklık konumu değişken olan bina modellerinde:
 - En yüksek havalandırma oranı: 20 mm çıkış açıklığına sahip bina (Üst-Alt): 0,003129 m³/s
 - En düşük havalandırma oranı: 60 mm pencere çıkış açıklığına sahip bina (Üst-Üst): 0,003012 m³/s
 - Optimum havalandırma için çıkış pencere yüksekliği 20 mm olan bina modeli (Üst-Alt) tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

- Aflaki, A., Hirbodi, K., Mahyuddin, N., Yaghoubi, M. ve Esfandiari, M., 2019. Improving the air change rate in high-rise buildings through a transom ventilation panel: A case study, *Building and Environment*, 147, 35-49.
- Aizebeokhai, A. P., 2009. Global warming and climate change: Realities, uncertainties and measures, *International Journal of Physical Sciences*, 4, 13, 868-879.
- Albuquerque, D. P., Sandberg, M., Linden, P. F. ve da Graça, G. C., 2020. Experimental and numerical investigation of pumping ventilation on the leeward side of a cubic building, *Building and Environment*, 179, 106897.
- Al-Aghbari, O. H., Moey, L. K., Tai, V. C., Go, T. F. ve Yazdi, M. H., 2022. Study on the impact of sawtooth roof inclination angles and asymmetrical opening positions for an isolated building in cross ventilation, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 16, 865-878.
- Amanowicz, Ł., Ratajczak, K. ve Dudkiewicz, E., 2023. Recent advancements in ventilation systems used to decrease energy consumption in buildings: Literature review, *Energies*, 16, 1853.
- Annamalai, K., Thanapal, S. S. ve Ranjan, D., 2018. Ranking renewable and fossil fuels on global warming potential using respiratory quotient concept, *Journal of Combustion*, 1270708.
- Aydin, Y. C. ve Mirzaei, P. A., 2017. Wind-driven ventilation improvement with plan typology alteration: A CFD case study of traditional Turkish architecture, In *Building Simulation*, 10, 239-254.
- Behari, R., 2020. Special Report: Almost out of time, The Edge Markets. URL Adres: <https://www.theedgemarkets.com/article/special-report-almost-out-time> Erişim tarihi: 13.07.2024.
- Blocken, B., 2018. LES over RANS in building simulation for outdoor and indoor applications: A foregone conclusion, In *Building Simulation*, 11, 821-870.
- Boden, T. A., Marland, G. ve Andres, R. J., 2010. Global, regional and national fossil-fuel CO2 emissions, 1751-2007.
- Cheung, J. O. Liu, C. H., 2011. CFD simulations of natural ventilation behaviour in high-rise buildings in regular and staggered arrangements at various spacings, *Energy and Buildings*, 43, 1149-1158.
- Chiari, L. ve Zecca, A., 2011. Constraints of fossil fuels depletion on global warming projections, *Energy Policy*, 39, 5026-5034.
- Cushman-Roisin, B. ve Deleersnijder, E., 2019. Top-to-bottom Ekman layer and its implications for shallow rotating flows, *Environmental Fluid Mechanics*, 19, 1105-1119.
- Çengel, Y. ve Cimbala, J. M., 2020. Akışkanlar mekaniği, Üçüncü Baskı, Palme Yayınevi, Ankara.

- Demir, H., 2018. Investigation of unsteady aerodynamics of flexible wings at low Reynolds numbers, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Demir, H., 2021. Numerical investigation of wind loads on building with various turbulence models, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Dergisi 37, 356-366.
- Demir, H. ve Aktepe, B., 2021. Numerical investigation of the effects of wind flows in different directions on building in the atmospheric boundary layer, International World Energy Conference, Ankara, 6-19.
- Demir, H. ve Kaya, B., 2023a. A study on aerodynamic performance of airfoil in ground effect, 8th International Asian Congress on Contemporary Sciences, Aksaray, 5-7.
- Demir, H., ve Kaya, B., 2023b. Investigation of the aerodynamic effects of bio-inspired modifications on airfoil at low Reynolds number, Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 9715-9724.
- Demir, H., Özden, M., Genç, M. S. ve Çağdaş, M., 2016. Numerical investigation of flow on NACA4412 aerofoil with different aspect ratios, In EPJ Web of Conferences, 114, 02016.
- Díaz-Calderón, S. F., Castillo, J. A. ve Huelsz, G. 2021. Indoor air quality evaluation in naturally cross-ventilated buildings for education using age of air, In Journal of Physics: Conference Series, 2069, 012182.
- Díaz-Calderón, S. F., Castillo, J. A. ve Huelsz, G., 2023. Evaluation of different window heights and facade porosities in naturally cross-ventilated buildings: CFD validation, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 232, 105263.
- Etheridge, D., 2015. A perspective on fifty years of natural ventilation research, Building and Environment, 91, 51-60.
- Fu, L., Yin, W., Wang, T. ve Zhang, G., 2020. Effect of the porosity the upstream building on the natural ventilation of the downstream building and the reliability of its computational fluid dynamics simulation, Journal of Civil Environment Engineering, 43, 229-242.
- Gan, G. H., 2000. Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation, Energy and Buildings, 31, 65–73.
- Gao, X., Wei, J., Lei, H., Xu, P., Cowling, B. J. ve Li, Y., 2016. Building ventilation as an effective disease intervention strategy in a dense indoor contact network in an ideal city, PLoS One, 11, e0162481.
- Ghosh, S. K. ve Ghosh, B. K., 2020. Fossil fuel consumption trend and global warming scenario: Energy overview, Global Journal of Engineering Science, 5, 1-6.
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N. ve Gorini, R., 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation, Energy Strategy Reviews, 24, 38-50.

- Golubić, D., Meile, W., Brenn, G. ve Kozmar, H., 2020. Wind-tunnel analysis of natural ventilation in a generic building in sheltered and unsheltered conditions: Impact of Reynolds number and wind direction, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 207, 104388.
- Guo, W., Liu, X. ve Yuan, X., 2015. Study on natural ventilation design optimization based on CFD simulation for green buildings, *Procedia Engineering*, 121, 573-581.
- Hall, D. K., 2015. Analysis of civil aircraft propulsors with boundary layer ingestion, Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, İngiltere.
- Hassan, N. A., Hashim, Z. ve Hashim, J. H., 2016. Impact of climate change on air quality and public health in urban areas, *Asia Pacific Journal of Public Health* 28, 38-48.
- Hetebrij, R. F., 2021. CFD analysis of the night cooling capabilities of parallel openable windows including assessment of CFD modeling methodology, Yüksek Lisans Tezi, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Hollanda.
- Hobday, R. A. ve Dancer, S. J., 2013. Roles of sunlight and natural ventilation for controlling infection: Historical and current perspectives, *Journal of Hospital Infection*, 84, 271-282.
- Hu, H. H., 2012. Computational fluid dynamics, in fluid mechanics, Academic Press, 421-472.
- Ji, J., Han, J. Y., Fan, C. G., Gao, Z. H. ve Sun, J. H., 2013. Influence of cross-sectional area and aspect ratio of shaft on natural ventilation in urban road tunnel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 420-431.
- Karava, P., Stathopoulos, T. ve Athienitis, A. K., 2007. Wind-induced natural ventilation analysis, *Solar Energy*, 20-30.
- Karava, P., 2008. Airflow prediction in buildings for natural ventilation design: wind tunnel measurements and simulation, Doktora Tezi, Concordia University, Montreal, Kanada.
- Karava, P., Stathopoulos, T. ve Athienitis, A. K., 2011. Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements, *Building and Environment*, 46, 266-279.
- Khan, N., Su, Y., ve Riffat, S. B., 2008. A review on wind driven ventilation techniques, *Energy and Buildings*, 40, 1586-1604.
- Klep, M., 2016. Cavity airflow in building integrated photovoltaic systems: a numerical study, Yüksek Lisans Tezi, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Hollanda.
- Larsen, T. S., 2006. Natural ventilation driven by wind and temperature difference, Doktora Tezi, Aalborg University, Aalborg, Danimarka.
- Li, Q., Tai, V. C., Moey, L. K., Go, T. F., Safehian, J. ve Yazdi, M. H., 2023. Impact of planar area ratio and opening positions on natural cross ventilation performance in sheltered high-rise buildings: A simulation study, *Building and Environment*, 245, 110889.

- Liu, J., Heidarinejad, M., Pitchurov, G., Zhang, L. ve Srebric, J., 2018. An extensive comparison of modified zero-equation, standard k- ϵ , and LES models in predicting urban airflow, *Sustainable Cities and Society*, 40, 28-43.
- Liu, J. ve Niu, J., 2016. CFD simulation of the wind environment around an isolated high-rise building: An evaluation of SRANS, LES and DES models, *Building and Environment*, 96, 91-106.
- Masood, O. A., Guirguis, N. M., Al-hady, M. I. A. ve Fahmi, A. A., 2018. Windows factors impact on air speed and quality inside architectural spaces, *International Journal of Applied Engineering Research*, 13, 12146-12156.
- McGlade, C. ve Ekins, P., 2015. The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 C., *Nature*, 187-190.
- Meile, W., Langensteiner, B. ve Brenn, G., 2015. Natural ventilation of a residential building storey: An experimental and numerical study, *Conference of Modelling Fluid Flow*, Budapeşte, Macaristan.
- Moey, L. K., Adam, N. M., Ahmad, K. A. ve Malaysia, P., 2017. Effect of venturishaped roof angle on air change rate of a stairwell in tropical climate, *Journal of Mechanical Engineering*, 4, 135-150.
- Moey, L. K., Alyazidi, S. M. S., Tai, V. C., Kai-Seun, J. W., Mathew, P. R. ve Oumer, A. N., 2021a. Effect of opening ratios with and without louvers in cross ventilation using CFD, *International Conference on Mechanical Engineering Research*, 579-594.
- Moey, L. K., Chan, K. L., Tai, V. C., Go, T. F. ve Chong, P. L., 2021b. Investigation on the effect of opening position across an isolated building for wind-driven cross ventilation, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 15, 8141-8152.
- Moey, L. K., Kong, M. F., Tai, V. C., Go, T. F. ve Adam, N. M., 2021c. Effect of gable roof angle on natural ventilation for an isolated building, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 15, 3.
- Moey, L. K., Kong, M. F., Tai, V. C., Go, T. F. ve Adam, N. M., 2021d. Effects of roof configuration on natural ventilation for an isolated building, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 15, 8379-8389.
- Moey, L. K., Sing, Y. H., Tai, V. C., Go, T. F. ve Ng, J. Y., 2022. Numerical investigation of inlet opening size on wind-driven cross ventilation, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 16, 8662-8672.
- Moey, L. K., Sing, Y. H., Tai, V. C., Go, T. F. ve Sia, Y. Y., 2021e. Effect of opening size on wind-driven cross ventilation, *International Journal of Integrated Engineering*, 13, 99-108.
- Moey, L. K., Wan, K. S., Tai, V. C., Go, T. F. ve Chong, P. L., 2023. Effect of roof design configurations on natural ventilation with an obstacle inside the building model, *International Journal of Integrated Engineering*, 15, 11-23.
- Meroney, R. N., 2009. CFD prediction of airflow in buildings for natural ventilation, *Eleventh Americas Conference on Wind Engineering*, San Juan, Porto Riko.

- Mohamed, M. F., King, S., Behnia, M. ve Prasad, D., 2011. A study of single-sided ventilation and provision of balconies in the context of high-rise residential buildings, World Renewable Energy Congress, Linköping, İsveç.
- Mohammad, A. F., Ikegaya, N., Hikizu, R. ve Zaki, S. A., 2021. Turbulence effect of urban-canopy flow on indoor velocity fields under sheltered and cross-ventilation conditions, 13, 586.
- Perén, J. I., Van Hooff, T., Leite, B. C. C. ve Blocken, B., 2015a. CFD analysis of cross-ventilation of a generic isolated building with asymmetric opening positions: Impact of roof angle and opening location, Building and Environment, 85, 263-276.
- Peren, J. I., Van Hooff, T., Ramponi, R., Blocken, B. ve Leite, B. C. C., 2015b. Impact of roof geometry of an isolated leeward sawtooth roof building on cross-ventilation: Straight, concave, hybrid or convex, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 145, 102-114.
- Plazas, F. L. ve de Tejada, C. S., 2024. Natural ventilation to improve indoor air quality (IAQ) in existing homes: The development of health-based and context-specific user guidelines, Energy and Buildings, 314, 114248.
- Qian, H., Li, Y., Seto, W. H., Ching, P., Ching, W. H. ve Sun, H. Q., 2010. Natural ventilation for reducing airborne infection in hospitals, Building and Environment, 45, 559-565.
- Ramponi, R., Blocken, B., de Coo, L. B. ve Janssen, W. D., 2015. CFD simulation of outdoor ventilation of generic urban configurations with different urban densities and equal and unequal street widths, Building and Environment, 92, 152-166.
- Ramponi, R. ve Blocken, B., 2012a. CFD simulation of cross-ventilation flow for different isolated building configurations: validation with wind tunnel measurements and analysis of physical and numerical diffusion effects, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 104, 408-418.
- Ramponi, R. ve Blocken, B., 2012b. CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters, Building and environment, 53, 34-48.
- Sadeghfar, M. ve Sahebzadeh, S., 2021. Impact of roof geometry on cross-ventilation in vaulted buildings: a CFD study, Journal of Physics, CISBAT 2021 Carbon-neutral cities-energy efficiency and renewables in the digital era, Montreal, Kanada, Journal of Physics: Conference Series, 2042, 1, 012106.
- Serrano-Arellano, J., Xamán, J. ve Álvarez, G., 2013. Optimum ventilation based on the ventilation effectiveness for temperature and CO₂ distribution in ventilated cavities, International Journal of Heat and Mass Transfer, 62, 9-21.
- Shirzadi, M., Mirzaei, P. A. ve Naghashzadegan, M., 2018a. Development of an adaptive discharge coefficient to improve the accuracy of cross-ventilation airflow calculation in building energy simulation tools, Building and Environment, 127, 277-290.

- Shirzadi, M., Mirzaei, P. A., Naghashzadegan, M. ve Tominaga, Y., 2018b. Modelling enhancement of cross-ventilation in sheltered buildings using stochastic optimization, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 758-772.
- Shirzadi, M., Mirzaei, P. A. ve Tominaga, Y., 2020a. CFD analysis of cross-ventilation flow in a group of generic buildings: Comparison between steady RANS, LES and wind tunnel experiments, *Building Simulation*, 13, 1353-1372.
- Shirzadi, M., Mirzaei, P. A. ve Tominaga, Y., 2021. LES analysis of turbulent fluctuation in cross-ventilation flow in highly-dense urban areas, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 209, 104494.
- Shirzadi, M., Naghashzadegan, M. ve Mirzaei, P. A., 2019a. Developing a framework for improvement of building thermal performance modeling under urban microclimate interactions, *Sustainable cities and society*, 44, 27-39
- Shirzadi, M., Naghashzadegan, M. Mirzaei, P. A., 2018c. Improving the CFD modelling of cross-ventilation in highly-packed urban areas, *Sustainable Cities and Society*, 37, 451-465.
- Shirzadi, M., Tominaga, Y. Mirzaei, P. A., 2020b. Experimental and steady-RANS CFD modelling of cross-ventilation in moderately-dense urban areas, *Sustainable Cities and Society*, 52, 101849.
- Shirzadi, M., Tominaga, Y. ve Mirzaei, P. A., 2019b. Wind tunnel experiments on cross-ventilation flow of a generic sheltered building in urban areas, *Building and Environment*, 158, 60-72.
- Sieminski, A., 2014. *International Energy Outlook*, Energy Information Administration, 18, 2.
- Sodja, J., 2007. *Turbulence models in CFD*, University of Ljubljana 1-18.
- Swami, M. ve Chandra, S., 1987. Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings, *ASHRAE Final Report*, 163-86.
- Tablada, A., De Troyer, F., Blocken, B., Carmeliet, J. ve Verschure, H., 2009. On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments, the Old Havana case, *Building and Environment*, 44, 1943-1958.
- Tai, V. C., Kai-Seun, J. W., Mathew, P. R., Moey, L. K., Cheng, X. ve Baglee, D., 2022. Investigation of varying louver angles and positions on cross ventilation in a generic isolated building using CFD simulation, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 229, 105172.
- Teppner, R., Langensteiner, B., Meile, W., Brenn, G. ve Kerschbaumer, S., 2014. Air change rates driven by the flow around and through a building storey with fully open or tilted windows: An experimental and numerical study, *Energy and Buildings*, 80, 570-583.
- Tolias, I. C., Koutsourakis, N., Hertwig, D., Efthimiou, G. C., Venetsanos, A. G. ve Bartzis, J. G., 2018. Large Eddy Simulation study on the structure of turbulent flow in a complex city, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 177, 101-116.

- Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M. ve Shirasawa, T., 2008. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96, 1749-1761.
- Tominaga, Y., Akabayashi, S. I., Kitahara, T. ve Arinami, Y., 2015. Air flow around isolated gable-roof buildings with different roof pitches: Wind tunnel experiments and CFD simulations, *Building and Environment*, 84, 204-213.
- Tominaga, Y. ve Blocken, B., 2015. Wind tunnel experiments on cross-ventilation flow of a generic building with contaminant dispersion in unsheltered and sheltered conditions, *Building and Environment*, 92, 452-461.
- Tong, Z., Chen, Y. ve Malkawi, A., 2016. Defining the Influence Region in neighborhood-scale CFD simulations for natural ventilation design, *Applied Energy*, 182, 625-633.
- Van Hooff, T., Blocken, B. ve Tominaga, Y., 2017. On the accuracy of CFD simulations of cross-ventilation flows for a generic isolated building: Comparison of RANS, LES and experiments, *Building and Environment*, 114, 148-165.
- Wahab, I. A., Ismail, L. H. ve Kadir, A. A., 2016. Opening design and position effect on building natural stack effect and cross ventilation, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 5, 13-22.
- Wieringa, J., 1992. Updating the davenport roughness classification, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41, 357-368.
- Yang, T. O. N. G. ve Clements-Croome, D. J., 2020. Natural ventilation in built environment, *Sustainable Built Environments*, 431-464.
- Yik, F. W. ve Lun, Y. F., 2010. Energy saving by utilizing natural ventilation in public housing in Hong Kong, *Indoor and Built Environment*, 19, 73-87.
- Yoshie, R., Mochida, A., Tominaga, Y., Kataoka, H., Harimoto, K., Nozu, T. ve Shirasawa, T., 2007. Cooperative project for CFD prediction of pedestrian wind environment in the Architectural Institute of Japan, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95, 1551-1578.
- Yücel, M. 2010. Yüksek binaların yakın çevre bina yüzeylerindeki hava akışına etkileri-four winds örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhong, H. Y., Lin, C., Sun, Y., Kikumoto, H., Ooka, R., Zhang, H. L. ve Jimenez-Bescos, C., 2021. Boundary layer wind tunnel modeling experiments on pumping ventilation through a three-story reduce-scaled building with two openings, *Building and Environment*, 202, 108043.
- Zhou, J., Hua, Y., Xiao, Y., Ye, C. ve Yang, W., 2021. Analysis of ventilation efficiency and effective ventilation flow rate for wind-driven single-sided ventilation buildings, *Aerosol and Air Quality Research*, 21, 200383.
- Ziarani, N. N., Cook, M. J., Freidooni, F. ve O'Sullivan, P. D., 2023. The role of near-façade flow in wind-dominant single-sided natural ventilation for an isolated three-storey building: An LES study, *Building and Environment*, 235, 110210.

ZOBAIED, A., Tai, V. C., Go, T. F., Chong, P. L. ve Moey, L. K., 2022. Effect of gable roof with various roof pitches and obstacle heights on natural ventilation performance for an isolated building, Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 16, 9033-9042.

URL-1<<https://web.itu.edu.tr/yukselen/Uck351/03-%20Ak%FD%FEkan%20Hareketini%20Y%F6neten%20Genel%20Denklemler.pdf>>, Erişim tarihi: 06.10.2024



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Burak AKTEPE

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 2010-2016

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği ABD, 2021-2024

MESLEKİ DENEYİM

1. Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisi (2021-Halen)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

1. Aktepe, B. ve Demir, H., 2024. Impact of window opening shapes on wind-driven cross ventilation performance in a generic isolated building: a simulation study, Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 12, 758-768.