

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI KESİTLERE SAHİP YÜKSEK BİNALAR ÜZERİNDE
TÜRBÜLANSLI AKIŞLARIN SAYISAL İNCELENMESİ**

Makina Müh. Timur KAYDOK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MAKİNAYÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 01.04.2014
Tezin Savunma Tarihi: 18.04.2014**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yücel ÖZMEN

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında

Timur KAYDOK Tarafından Hazırlanan

**FARKLI KESİTLERE SAHİP YÜKSEK BİNALAR ÜZERİNDE
TÜRBÜLANSLI AKIŞLARIN SAYISAL İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 01 / 04 /2014 gün ve 1547 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr. Ertan BAYDAR


.....

Üye : Prof.Dr. Ercan KÖSE


.....

Üye : Doç.Dr. Yücel ÖZMEN


.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

19.yüzyılın ortalarına doğru malzeme bilimi ve mühendislik alanındaki gelişmelere paralel olarak yüksek binaların inşası kolaylaşmıştır. Giderek artan nüfus yoğunluğu, büyük şehirlerin ve şirketlerin ihtişamlarını gösterme arzusu ve arsalardan daha fazla yararlanma gibi başlıca nedenlerden dolayı son yıllarda yüksek bina sayılarında hızlı bir artış meydana gelmiştir. İnşa edilen bu yüksek binaların olumsuz çevre koşullarından nasıl etkileneceği araştırma konusu olmaktadır. Olumsuz çevre koşullarından biri de yüksek binaların maruz kaldıkları şiddetli rüzgarlardır. Yüksek binaların rüzgar yüklerine karşı göstereceği performansın yanı sıra, binalar etrafında oluşan hava hareketleri ve bu hava hareketlerinin çevre binalara, insanlara ve ortam havasına olan etkilerini de belirlemek araştırmacıların ilgisini çeken konular olmuştur.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, farklı kesit geometrilerine sahip bina modelleri etrafındaki akış yapıları sayısal olarak incelenmiş, sonuçlar literatürde mevcut deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma ile bina kesit geometrisindeki değişikliğin akış karakteristiklerine olan etkilerini incelemek amaçlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi, birikim ve tecrübesinden tereddütsüz istifade etmemi sağlayan, çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen ve değerli yorumlarıyla katkı sağlayan danışman hocam sayın Doç. Dr. Yücel Özmen'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, hayatımın her safhasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Timur KAYDOK

Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Kesitlere Sahip Yüksek Binalar Üzerinde Türbülanslı Akışların Sayısal İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Yücel ÖZMEN’ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığım yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

18/04/2014

Timur KAYDOK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	3
1.1.1. Amaç.....	3
1.1.2. Kapsam	3
1.1.3. Çalışmanın Bilimsel Önemi	4
1.2. Literatür Araştırması.....	5
2. GENEL BİLGİLER.....	9
2.1. Rüzgar ve Hava Hareketleri	9
2.2. Rüzgar –Yapı Etkileşimi	10
2.3. Bina Aerodinamiği	11
2.4. Yüksek Bina Kavramı	11
2.5. Yüksek Binalar Etrafındaki Hava Hareketleri.....	11
2.6. Rüzgarın Yüksek Binalar Üzerindeki Etkisi	15
2.6.1. Rüzgar Akışı Doğrultusunda Oluşan Hareket	15
2.6.2. Sapan Akış Doğrultusundaki Hareket	16
2.6.3. Girdap Hareketi	16
2.7. Rüzgar Etkilerine Karşı Aerodinamik Modifikasyonlar	17
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19

3.1.	Hareket Denklemleri.....	19
3.2.	Türbülans Modelleri	20
3.2.1.	Standard k- ϵ Türbülans Modeli	21
3.2.2.	RNG k- ϵ Türbülans Modeli.....	22
3.2.3.	Realizable k- ϵ Türbülans Modeli.....	22
3.2.4.	Standard k- ω Türbülans Modeli	24
3.3.	Bina Modelleri.....	24
3.4.	Akış Alanı.....	26
3.5.	Çözüm Yöntemi.....	26
3.6.	Başlangıç ve Sınır Şartları	27
3.7.	Ağ Yapısı.....	30
4.	BULGULAR	35
4.1.	Hesaplanmış Akış Alanları.....	35
4.1.1.	Kare Kesitli Yüksek Bina Modeli	35
4.1.2.	Artı - 1 Kesitli Yüksek Bina Modeli	37
4.1.3.	Artı - 2 Kesitli Yüksek Bina Modeli	40
4.1.4.	Artı - 3 Kesitli Yüksek Bina Modeli	42
4.2.	Ortalama Hız ve Türbülans Kinetik Enerji Profilleri	44
4.2.1.	Kare Kesitli Yüksek Bina Modeli	44
4.2.2.	Artı - 1 Kesitli Yüksek Bina Modeli	46
4.2.3.	Artı - 2 Kesitli Yüksek Bina Modeli	48
4.2.4.	Artı - 3 Kesitli Yüksek Bina Modeli	50
4.3.	Model Yüzeylerinde Basınç Dağılımları.....	52
4.3.1.	Kare Kesitli Yüksek Bina Modeli	54
4.3.2.	Artı - 1 Kesitli Yüksek Bina Modeli	61
4.3.3.	Artı - 2 Kesitli Yüksek Bina Modeli	66
4.3.4.	Artı - 3 Kesitli Yüksek Bina Modeli	71

5.	İRDELEME.....	77
5.1.	Model Geometrisinin Ortalama Hız ve Türbülans Kinetik Enerjiye Etkisi	77
5.2.	Basınç Dağılımları.....	79
5.2.1.	Reynolds Sayısının Etkisi.....	79
5.2.2.	Bina Modeli Geometrisinin Yüzey Basınç Dağılımına Etkisi.....	81
6.	SONUÇLAR.....	85
7.	ÖNERİLER	87
8.	KAYNAKLAR.....	88
9.	EKLER	91
	ÖZGEÇMİŞ.....	95

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FARKLI KESİTLERE SAHİP YÜKSEK BİNALAR ÜZERİNDE
TÜRBÜLANSLI AKIŞLARIN SAYISAL İNCELENMESİ

Timur KAYDOK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Yücel ÖZMEN
2014, 90 Sayfa, 4 Ek Sayfa

Bu çalışmada, kare kesite ve kare kesitin köşelerinden üç farklı oranda boşaltma yapılarak oluşturulmuş kesitlere sahip yüksek bina modelleri etrafındaki akış alanları, üç boyutlu ve zaman bağımsız olarak Reynolds sayısının 3.5×10^5 değeri için Standard k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve Standard k- ω türbülans modelleriyle hesaplanmıştır. Kare kesitli modeldeki geometrik değişikliklerin akış alanı üzerindeki etkisi, hesaplanmış akış alanı görüntüleri, modeller etrafında ortalama hız ve türbülans profilleri ve model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımları şeklinde incelenmiştir. Yüksek bina modellerinde oluşturulan geometrik değişiklikler, akış alanlarında ve özellikle yüzey basınç dağılımlarında belirgin farklılıklara yol açmaktadır. Türbülans modellerinin deneysel sonuçlar karşısındaki hassasiyetleri değerlendirildiğinde, RNG k- ϵ türbülans modelin deneysel verilerle daha uyumlu sonuçlar hesapladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yüksek bina, Köşe modifikasyonu, Basınç katsayısı, Türbülans modeli

Master Thesis

SUMMARY

NUMERICAL INVESTIGATION OF TURBULENT FLOWS OVER HIGH-RISE
BUILDINGS WITH DIFFERENT CROSS-SECTIONAL AREAS

Timur KAYDOK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Yücel ÖZMEN
2014, 90 Pages, 4 Pages Appendix

In this study, three dimensional flow fields around tall buildings with square cross sectional area and its derivatives which are created by applying the three different rates of corner modifications have been numerically investigated. Simulations have been carried out by using the Standard $k-\varepsilon$, RNG $k-\varepsilon$, Realizable $k-\varepsilon$ and Standard $k-\omega$ turbulence models for Reynolds number of 3.5×10^5 . The effects of geometrical differences on the flow fields have been examined with predicted flow fields, mean velocity and turbulence profiles and surface pressure distributions. Geometrical modifications effect the flow filed and especially pressure distributions. When the performances of turbulence models were evaluated, it is seen that RNG $k-\varepsilon$ turbulence model exhibits a better agreement with experimental data.

Keywords: High-rise building, Corner modification, Pressure coefficient, Turbulence model

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Hava akışı çeşitleri [23].....	9
Şekil 2.2. Binalar etrafındaki basınç alanları [28].....	12
Şekil 2.3. Yüksek ve alçak basınç alanlarında türbülans ve girdap akımları [28].....	12
Şekil 2.4. Bina etrafındaki akış yapıları [29].....	13
Şekil 2.5. Dikdörtgen prizması etrafında oluşan akış karakteristikleri [32].....	14
Şekil 2.6. Binalarda rüzgar kaynaklı oluşan hareket biçimleri (a) basitleştirilmiş rüzgar akışı [33] (b) rüzgar etkime doğrultuları [34].....	15
Şekil 2.7. Dikdörtgen kesitli bina etrafında oluşan girdap yapıları [35].	16
Şekil 2.8. Yüksek binalara uygulanan çeşitli köşe modifikasyonları [36].	17
Şekil 3.1. Yüksek bina modelleri (a) Kare kesitli bina (b) Artı-1 bina (c) Artı-2 bina (d) Artı-3 bina.....	25
Şekil 3.2. Bina modelleri kesit geometrileri.....	25
Şekil 3.3. Akış alanı boyutları.....	26
Şekil 3.4. Akış alanı için kullanılan sınır şartları.....	27
Şekil 3.5. Kentsel arazi şartları için oluşturulmuş giriş profilleri (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji (c) yutulma (d) özgül yutulma.....	29
Şekil 3.6. Artıkların iterasyon sayısı ile değişimi.....	30
Şekil 3.7. Bina modelleri etrafındaki ağ düzenleri (a) kare kesitli bina (b) artı kesitli bina.....	31
Şekil 3.8. Kare kesitli yüksek bina modeli etrafında ağ yapısı.....	32
Şekil 3.9. Modifikasyonlu yüksek bina modeli etrafında ağ yapısı.....	32
Şekil 3.10. Model yüzeyleri boyunca basınç katsayılarının değişimi.....	33
Şekil 3.11. $y=0,24$ m yükseklikteki kare kesit boyunca basınç katsayılarının değişimi.....	33
Şekil 4.1. $y=0,24$ m’de kare kesit etrafında hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$ (d) Standard $k-\omega$	36
Şekil 4.2. $z=2,46$ m’de kare kesitli bina modeli üzerinde hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$ (d) Standard $k-\omega$	37
Şekil 4.3. $y=0,24$ m’de artı-1 kesit etrafında hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$	38
Şekil 4.4. $z=2,46$ m’de artı-1 kesitli bina modeli üzerinde hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$	39
Şekil 4.5. $y=0,24$ m’de artı-2 kesit etrafında hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$	40

Şekil 4.6. $z=2.46$ m’de artı-2 kesitli bina modeli üzerinde hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ	41
Şekil 4.7. $y=0.24$ m’de artı-3 kesit etrafında hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ	42
Şekil 4.8. $z=2.46$ m’de artı-3 kesitli bina modeli üzerinde hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ	43
Şekil 4.9. Kare kesitli model orta eksenli boyunca düşey doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji	45
Şekil 4.10. Kare kesitli model orta yüksekliğinde ($y=0.24$ m) yatay doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji	46
Şekil 4.11. Artı-1 kesitli model orta eksenli boyunca düşey doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji	47
Şekil 4.12. Artı-1 kesitli model orta yüksekliğinde ($y=0.24$ m) yatay doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji	48
Şekil 4.13. Artı-2 kesitli model orta eksenli boyunca düşey doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji	49
Şekil 4.14. Artı-2 kesitli model orta yüksekliğinde ($y=0.24$ m) yatay doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji	50
Şekil 4.15. Artı-3 kesitli model orta eksenli boyunca düşey doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji	51
Şekil 4.16. Artı-3 kesitli model orta yüksekliğinde ($y=0.24$ m) yatay doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji	52
Şekil 4.17. Bina modeli yüzeylerinde basınç katsayılarının hesaplandığı doğrultular	53
Şekil 4.18. Kare kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç katsayıları (a) ön, üst ve arka yüzey (b) sağ, üst ve sol yüzey	55
Şekil 4.19. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca basınç dağılımları (a) $y=0.16$ m (b) $y=0.24$ m (c) $y=0.32$ m (d) $y=0.4$ m (e) $y=0.475$ m	57
Şekil 4.20. Kare kesit kenarlarında RNG k- ϵ ile hesaplanmış basınç katsayılarının yükseklikle değişimi	59
Şekil 4.21. Kare kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış ve ölçülmüş [15] eş basınç alanları (a) ön yüzey, sayısal (b) ön yüzey, deneysel (c) arka yüzey, sayısal (d) arka yüzey, deneysel (e) sol yüzey, sayısal (f) sol yüzey, deneysel (g) sağ yüzey, sayısal (h) sağ yüzey, deneysel (i) üst yüzey, sayısal (j) üst yüzey, deneysel	60
Şekil 4.22. Artı-1 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç katsayıları a) ön, üst ve arka yüzey b) sağ, üst ve sol yüzey	62
Şekil 4.23. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca basınç dağılımları (a) $y=0.24$ m (b) $y=0.475$ m	63
Şekil 4.24. Artı-1 kesit kenarlarında RNG k- ϵ ile hesaplanmış basınç katsayılarının yükseklikle değişimi	64

Şekil 4.25. Artı-1 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları (a) ön yüzey (b) arka yüzey (c) sol yüzey (d) sağ yüzey (e) üst yüzey	65
Şekil 4.26. Artı-2 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç katsayıları (a) ön, üst ve arka yüzey (b) sağ, üst ve sol yüzey.....	67
Şekil 4.27. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca basınç dağılımları (a) y=0.24 m (b) y=0.475 m	68
Şekil 4.28. Artı-2 kesit kenarlarında RNG k-ε ile hesaplanmış basınç katsayılarının yükseklikle değişimi	70
Şekil 4.29. Artı-2 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları (a) ön yüzey (b) arka yüzey (c) sol yüzey (d) sağ yüzey (e) üst yüzey	71
Şekil 4.30. Artı-3 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç katsayıları a) ön, üst ve arka yüzey b) sağ, üst ve sol yüzey	72
Şekil 4.31. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca basınç dağılımları (a) y=0.24 m (b) y=0.475 m	74
Şekil 4.32. Artı-3 kesit kenarlarında RNG k-ε ile hesaplanmış basınç katsayılarının yükseklikle değişimi	75
Şekil 4.33. Artı-3 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları (a) ön yüzey (b) arka yüzey (c) sol yüzey (d) sağ yüzey (e) üst yüzey	76
Şekil 5.1. Modellerin arkasında RNG k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış düşey profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji.....	78
Şekil 5.2. Modellerin arkasında y =0.24 m’de RNG k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış yatay profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji.....	79
Şekil 5.3. Farklı akış hızlarında ortalama basınç katsayısı değişimleri (a) düşey düzlemde (b) yatay düzlemde	80
Şekil 5.4. Farklı bina modelleri için model yüzeylerinin orta eksenleri boyunca RNG k-ε ile hesaplanmış basınç katsayıları (a) ön, üst ve arka yüzey b) sağ, üst ve sol yüzey	82
Şekil 5.5. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca RNG k-ε ile hesaplanmış basınç katsayıları (a) y=0.24 m (b) y=0.475 m.....	83

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Farklı ülkeler için yüksek bina tanımları [27].....	11
Tablo 3.1. Farklı ağ yoğunlukları için düğüm noktası ve hücre sayısı.....	32

SEMBOLLER DİZİNİ

Re	: Reynolds Sayısı
P	: Basınç [N/m^2]
P_s	: Statik basınç [N/m^2]
C_p	: Basınç katsayısı
U	: Serbest Akış Hızı [m/s]
u^*	: Sürtünme Hızı [m/s]
u_i, u_j, u_k	: i, j ve k yönündeki hızlar [m/s]
k	: Türbülans kinetik enerji [m^2/s^2]
ε	: Yutulma [m^2/s^3]
ω	: Özgül yutulma [s^{-1}]
μ	: Dinamik viskozite [$N.s/m^2$]
ρ	: Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
t	: Zaman [s]
z_0	: Pürüz yüksekliği [m]
m	: kütle [kg]
x	: Yatay koordinat
y	: Dikey koordinat
z	: Derinlik koordinatı
F	: Kütlesel kuvvetler [N]
μ_t	: Türbülans viskozitesi [$N.s/m^2$]
κ	: von Karman sabiti
δ	: Sınır tabaka kalınlığı [m]
A	: Bina kısa kenar uzunluğu [m]
H	: Bina yüksekliği [m]

1.GİRİŞ

Havanın dünya yüzeyine göre hareketi, rüzgar olarak adlandırılmaktadır. Güneş hava hareketinde etkili olan birincil enerji kaynağıdır. Atmosfer tarafından büyük ölçüde geçirilen güneş ışınımı yeryüzü tarafından soğurulur. Işınımın yer yüzeyinin değişik bölgelerine farklı açılarda gelmesi, havanın deniz ve karasal bölgeler üzerinde farklı şekilde ısınmasına yol açmaktadır. Bu durum, düzensiz sıcaklık dağılımları oluşturmakta ve büyük ölçekli hava hareketlerini başlatan yüksek ve alçak basınç sistemlerini meydana getirmektedir. Bu iki sistem arasındaki basınç farkı da rüzgarın oluşmasına neden olmaktadır. Tropiklerin dışında, rüzgarların çoğunluğu, doğudan batıya hareket eden ve güney yarım kürede saat yönünde, kuzey yarım kürede ise saat yönünün tersinde bir sirkülasyona sahip büyük ölçekli düşük basınçlı sistemler (siklonlar) vasıtasıyla ekvator dan kutuplara doğru olan ısı transferi ile ilgilidir. Dünyanın dönmesi doğu-batı hareketini üretirken ve sirkülasyonun yönünü belirlerken, sıcaklık farkları kuzey-güney akışını meydana getirmektedir [1].

Yeryüzü üzerindeki rüzgar hareketleri, bir yüzey üzerindeki sınır tabaka akışına benzer şekilde, atmosferik sınır tabaka içinde gerçekleşmektedir. Dünyadaki bütün yapılar, kalınlığı 1 kilometreye kadar değişebilen, bu atmosferik sınır tabaka içinde yer almaktadır. Atmosferik sınır tabakanın alt kısmında rüzgarın hız ve türbülans değerlerinin önemli değişimler göstermesi, binaların tasarım ve yapım aşamalarında dikkatli olunmasını gerektirmektedir. Rüzgar mühendisliği, sınır tabaka kavramı, rüzgar hız dağılımı üzerindeki zemin etkileri ve yapıları etkileyen rüzgar kuvvetleri ile ilgilenmektedir. Rüzgar yükleri ile ilgili yaklaşımların geliştirilmesinde, meteoroloji ve uzay mühendisliği gibi diğer alanlardan da yararlanılmaktadır. Geçen yarım yüzyılda yapısal tasarımlarda rüzgar yüklerinin etkilerine yönelik önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu süreçte, geleneksel modellere göre, iklim, meteoroloji, aerodinamik, yapı mekaniği ve dinamiği ile ilgili gerçekçi ve basit kavramlar oluşturulmuştur. Böylece, rüzgar-yapı etkileşimi kavramı mühendislik ve tasarım açısından önemli bir konu haline gelmiştir.

Rüzgar mühendisliğine yönelik çalışmalar çoğunlukla, rüzgar-bina etkileşimini esas alan rüzgar tüneli çalışmaları ve tam ölçekli çalışmalar olarak gerçekleştirilmektedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve bilgisayarların hız ve kapasitelerindeki artış sayesinde rüzgar-bina etkileşimine yönelik sayısal çalışmalarda hızla artmaktadır.

Dünya nüfusunun giderek artması ve nüfus yoğunluğunun metropol olarak nitelendirilen büyük şehirlere doğru kaymasıyla insanların yaşam alanları daralmaktadır. Bu nedenle günümüzde az katlı alçak binalar yerine çok katlı yüksek binaların yapımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak, inşa edilen bu ihtişamlı ve yüksek binaların çevre koşullarına karşı gösterecekleri performans tartışma konusu olmaktadır. Olumsuz birçok çevre şartına karşı dirençli olması istenilen bu yapıların kuvvetli rüzgarlara karşı da dayanıklı nitelikte olması gerekmektedir. Rüzgar tünelleri deneyleri ve sayısal incelemeler sayesinde binaların daha tasarım aşamasındayken bile olumsuz hava koşullarına karşı gösterecekleri performansın belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Bu nedenle bu alandaki çalışmalar giderek önem kazanmakta ve yaygınlaşmaktadır.

Rüzgarın bina yüzeyleri üzerinde oluşturduğu basınç alanları; sürekli ve süreksiz yükler oluşturmaktadır. Rüzgar basıncı çalkantı karakteristikleri, ortalama rüzgar hızının şiddeti ve doğrultusu, türbülans derecesi, arazi şartları, çevre, bina geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü gibi birçok özelliğe bağlıdır. Rüzgar hareketinin karmaşık bir yapıda olması nedeniyle, bu konuda kesin bir matematiksel yaklaşım geliştirmede güçlüklerle karşılaşmaktadır. Ancak, bu konuda yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar, akış alanı hakkında iyi bir fikir verebilmektedir. Binalar üzerindeki rüzgar etkilerinin deneysel olarak araştırılmasında, gerçek-yapı ölçümleri ve rüzgar tüneli benzeşim çalışmaları yapılmaktadır. Gerçek ölçekli araştırmaların zaman alıcı, zahmetli ve pahalı olmasından ötürü, rüzgar tüneli model deneyleri, rüzgar yüklerinin değerlendirilmesinde önemli rol oynamakta ve ilgili rüzgar standartları ile kodların oluşturulmasına ve geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu konuda yapılan sayısal çalışmalar ise, karmaşık bina geometrileri etrafındaki akış alanlarının hesaplanmasına ve türbülans modellerinin hassasiyetlerinin denenmesine imkan sağlamaktadır.

Sayısal çalışmalarda gerçek türbülanslı akış davranışını karakterize edebilmek için Navier-Stokes denklemleri ile birlikte farklı türbülans modelleri kullanılmaktadır. Geleneksel türbülans modelleri basit geometrilerde genellikle iyi sonuçlar verirken, karmaşık geometrilerde yetersiz kalmaktadır. Akış karakteristiklerinin daha hassas bir biçimde hesaplandığı ileri türbülans modelleri ise yüksek hesaplama yükü gerektirmeleri nedeniyle sadece süper bilgisayarda kullanılabilir. Son zamanlarda bilgisayar kapasitelerindeki hızlı artışla, söz konusu ileri türbülans modellerinin kullanımını da kolaylaştırmaktadır.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

1.1.1. Amaç

Rüzgarın binalar üzerinde meydana getirdiği etkiler ve bina etrafında oluşan akış karakteristikleri bina geometrileri ile yakından ilgilidir. Bina geometrilerindeki farklılıklar rüzgar-bina etkileşiminin de farklı olmasına neden olmaktadır. Rüzgar-bina etkileşimini esas alarak yapılan çalışmalar ile çevre şartlarına uygun bina geometrilerini belirlemek mümkün olabilmektedir.

Mevcut mühendislik uygulamalarında, bina geometrilerindeki bazı düzenlemeler ile binalar üzerinde rüzgar kaynaklı olumsuz etkilerin azaltılması yoluna gidilmektedir. Bu geometrik düzenlemeler ile bina etrafındaki akış alanının da nasıl değişeceği araştırma konusu olmaktadır. Bina geometrilerine uygulanan değişiklikler modifikasyon olarak ifade edilmektedir. Modifikasyon esaslı çalışmalar genellikle bina üzerine etkiyen yüklerin belirlenmesine yönelik olup bina etrafındaki akış alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar az sayıdadır.

Bu çalışmada, kare kesitli bir yüksek bina modeli etrafındaki akış alanının ve kare kesitin köşelerinden üç farklı oranda boşaltma yapılarak oluşturulan yeni geometrilerdeki modeller etrafındaki akış alanlarının, üç boyutlu ve zaman bağımsız olarak farklı türbülans modelleri ile hesaplanması ve her bir geometri için akış karakteristiklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Geometrik değişikliklerin akış alanı üzerindeki etkisi, modeller etrafındaki ortalama hız ve türbülans profilleri ile model yüzeylerindeki basınç dağılımları incelenerek belirlenecektir.

1.1.2. Kapsam

Bu çalışma kapsamında, öncelikle kare kesitli bina modeli etrafındaki akış alanı için uygun ağ yoğunluğunu belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Sayısal incelemede akışkanlar mekaniği ile ilgili problemlerde yaygın olarak kullanılan ANSYS-FLUENT ticari paket programı kullanılmıştır. Kare kesitli bina modeli etrafında üç farklı ağ yoğunluğu için gerçekleştirilen çözümler, yüzey basınç katsayıları açısından deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak ağdan bağımsız çözümler için uygun ağ yoğunluğu belirlenmiştir. Belirlenen ağ yoğunluğu bütün modellerde aynı oranda uygulanmıştır. İlk

olarak, kare kesitli bina modeli etrafındaki akış alanı farklı türbülans modelleri için hesaplanarak elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra bina geometrisindeki değişikliğin akış alanına etkisini incelemek amacıyla, kare kesitli yüksek bina modelinin kenarlarının her iki tarafında sırasıyla % 10, % 20 ve % 30 oranlarında azaltma uygulanarak (köşe boşaltması) artı kesitli yüksek bina modelleri olarak tanımlanabilecek üç farklı bina geometrisi türetilmiştir. Oluşturulan yeni geometriler etrafındaki akış alanları yine farklı türbülans modelleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İncelenen bütün geometrilerde sayısal sonuçlar, hesaplanmış akış alanı görüntüleri, modeller etrafında ortalama hız ve türbülans profilleri ve model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımları şeklinde değerlendirilmiştir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm tezin amacı ve kapsamı, çalışmanın bilimsel önemi ve tez konusu ile ilgili literatür bilgilerinden oluşmuştur. İkinci bölüm, rüzgar ve türbülans ilişkisi, yüksek bina kavramı ve yüksek binalar etrafında rüzgar etkileri konularını kapsayan genel bilgilerden oluşmuştur. Tez kapsamında yapılan çalışmaların yer aldığı üçüncü bölümde sayısal çalışma kapsamında incelenen bina modelleri, kullanılan türbülans modelleri, akış alanının çözümüne yönelik bilgiler ve uygun ağ yoğunluğunu belirlenmesine yönelik çalışmalar yer almıştır. Sayısal çalışmalardan elde edilen bulgular dördüncü bölümde sunulmuştur. Beşinci bölümde, çalışmanın pratik sonuçlarına yer verilmiş ve son bölümde, ileriye yönelik önerilerde bulunulmuştur.

1.1.3. Çalışmanın Bilimsel Önemi

Metropol olarak nitelendirilen büyük şehirlerde ihtişamın bir göstergesi olarak inşa edilen yüksek binaların sayısı giderek artmaktadır. Bu nedenle, yüksek binaların rüzgara ve çevre koşullarına karşı gösterecekleri direnç etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmalar da yaygınlaşmaktadır. Rüzgar-bina etkileşimi sonucunda bina üzerinde farklı büyüklüklerde basınç alanları oluşmakta bu durum binaların hasar görmesine neden olmaktadır. Rüzgar-bina etkileşimi sonucu meydana gelen girdapların yayılması ile oluşan titreşimler çevre binalarda ve insanlar üzerinde olumsuz etkiler doğurmaktadır. Ayrıca, yüksek binalarda bulunabilecek bacalardan dış ortama bırakılan, duman ve benzeri gaz halindeki atıkların atmosferde dağılımı bina etrafındaki akış karakteristiklerinden etkilenerek hava kirliliğine neden olabilmektedir. Bütün bu olumsuz etkilerin

önlenebilmesi için rüzgar-bina etkileşiminin detaylı olarak incelenmesi ve bazı önlemlerin tasarım aşamasında alınması gerekmektedir. Bu konuda yapılan deneysel ve sayısal incelemeler sonucunda akış alanına yönelik elde edilen veriler, mühendislere ve tasarımcılara büyük oranda katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma konusu ile ilgili literatür incelendiğinde, farklı bina geometrileri etrafındaki akış alanlarının incelendiği çok sayıda araştırma literatürde bulunmasına rağmen, geometrik değişikliklerle çeşitlendirilmiş yüksek bina modelleri etrafındaki akış alanlarının kapsamlı bir şekilde incelendiği araştırma sayısının çok az olduğu görülmektedir. Kare kesitli bir yüksek bina modeli üzerine uygulanan farklı oranlarda köşe boşaltması işlemiyle türetilmiş artı kesitli yüksek bina modelleri etrafındaki akış alanlarının üç boyutlu sayısal analizi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Köşe boşaltma işlemiyle geometrik değişikliğe uğrayan modellerin akış alanında oluşturacağı farklılığın bu çalışmaya orijinal bir nitelik kazandıracağı ve bu alanda çalışacaklar için önemli yararlar oluşturacağı düşünülmektedir.

1.2. Literatür Araştırması

Literatürde farklı bina geometrileri etrafındaki akış alanlarının incelenmesine yönelik çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma mevcuttur. Deneysel çalışmalar çoğunlukla rüzgar tünellerinde modelleme çalışmaları şeklinde gerçekleştirilmekte, sayısal çalışmalar ise genellikle türbülans modellerinin hassasiyetine yönelik sonuçlar üretmeyi amaçlamaktadır.

Miyashita ve diğ. [2] kare kesitli bir bina modeline uygulanan köşe kesimi ve köşe boşaltması gibi modifikasyonların binaya etkileyen rüzgar yükleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla rüzgar tüneli çalışması yürütmüşlerdir. Bina köşelerinde uygulanan köşe kesilmesi (corner cut) ve köşe boşaltılması (corner recession) işleminin bina yüzeylerine etkileyen rüzgar kuvveti katsayısını azalttığını belirtmişlerdir.

Köşe kesimi ve köşe boşaltılması modifikasyonlarının uygulandığı kare ve dikdörtgen prizma şeklindeki bina modelleri üzerinde girdap kaynaklı etkileri incelemek amacıyla yapılan bir diğer rüzgar tüneli çalışması Kawai [3] tarafından gerçekleştirilmiştir. Köşe modifikasyonları yapılmış binalar ile normal kare ve dikdörtgen kesitli binalardaki akış alanı değişimlerin incelendiği çalışmada, model genişliğinin %5'i kadarlık köşe modifikasyonunda aerodinamik ve aeroelastik açıdan yüksek oranda yarar sağlanacağını belirtilmiştir.

Gu ve Quan [4] köşe kesimi ve köşe boşaltmasının binaya etkiyen rüzgar yükleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kare kesitli bir yüksek bina modelini rüzgar tüneline “yüksek frekanslı kuvvet dengesi tekniği” kullanarak test etmişlerdir. Bina modeli üzerinde bina genişliğinin % 5’i, %10’nu ve %20 si oranlarında köşe boşaltma ve köşe kesme işlemleriyle türettikleri modellerin kare kesitli modele göre binaya etkiyen rüzgar kuvvetlerinde iyileşme sağladığını ve en fazla iyileşmenin % 10’luk düzenlemede gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Kumar ve diğ. [5] iki basamaklı köşe boşaltma düzenlemesinin bina üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla oluşturdukları modeli rüzgar tüneline testlere tabii tutmuşlardır. İki basamaklı köşe boşaltmasının bina üzerine etkiyen rüzgar kuvvetlerinde kare kesitli modele göre % 40 oranında azalma sağladığını belirtmişlerdir.

Ikhwan ve Ruck [6], farklı boyutlardaki piramidal binalar etrafında akış yapılarını ve basınç alanlarını rüzgar tüneli deneyleri ile belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, en yüksek pozitif basınçların piramidal bina ön yüzeyinde oluştuğunu ve rüzgar açılarının bina yüzeylerindeki basınç dağılımlarını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir.

Zikov ve diğ. [7], yan yana iki yüksek bina modeli etrafındaki rüzgar akışını incelemek amacıyla rüzgar tüneli deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Maksimum negatif basınçların bina çatılarında meydana geldiği belirtmişlerdir.

Shao, Liu ve Zhao [8], bir yüksek bina modeli etrafındaki akış alanını farklı türbülans modelleri kullanarak sayısal olarak incelemişler ve elde ettikleri sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır.

Tominaga [9], yüksek bina modeli etrafındaki akışı, k-ε türbülans modeli ve LES türbülans modeli ile sayısal olarak incelemiştir. LES türbülans modelinin deneysel verilere uyum açısından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Braun ve Awruch [10], “CAARC Standart Yüksek Binası” üzerindeki aerodinamik ve aeroelastik karakteristikleri belirleyebilmek amacıyla LES türbülans modeli kullanarak sayısal çözümler gerçekleştirmişlerdir. Bina etrafındaki akış karakteristiklerini ve bina yüzeylerindeki basınç dağılımlarını inceledikleri çalışmada elde ettikleri sayısal sonuçların literatürde mevcut deneysel verilerle oldukça iyi bir uyum sağladıklarını vurgulamışlardır.

Yüksek bir binanın 1:200 ölçekli küçültülmüş modeli etrafındaki üç boyutlu akış alanı, RNG k-ε türbülans modeli Revuz [11] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada akış alanı boyutlarının akış karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir.

Baskaran [12], bir bina etrafındaki akışı, k- ϵ türbülans modeli kullanarak geliştirdiği bir kod ile farklı rüzgar açıları için çözmüştür. Basınç ve hız dağılımlarını elde ettiği çalışmada, deneysel verilere yakın sayısal sonuçlar üretmiştir.

Kim ve Baik [13], bir bina dizisi etrafındaki rüzgar akışını ve kirletici gazların dağılımını sayısal olarak incelemiştir. RNG k- ϵ türbülans modelini kullanarak farklı rüzgar açıları için gerçekleştirdikleri çalışmada, rüzgar açılarının binalar etrafında oluşan akış yapılarını önemli ölçüde etkilediğini vurgulamışlardır.

Dagnew, Bitsumalk ve Marrick [14], “Standart CAARC Binası”nın 1:400 ölçekli küçültülmüş modelini kullanarak sayısal ve deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Tekli ve çiftli bina konfigürasyonları şeklinde çeşitlendirdikleri çalışmalarının sayısal kısmında, RNG k- ϵ ve LES türbülans modelleri kullanmışlardır. RNG k- ϵ türbülans modeli ile karşılaştırıldığında, LES türbülans modelinin deneysel verilerle çok daha uyumlu sonuçlar ürettiğini belirtmişlerdir.

Hunte [15], kare kesitli bir yüksek bina modeli etrafındaki akışı rüzgar tüneli deneyleri ve üç boyutlu ve zaman bağımsız sayısal çözümler ile incelemiştir. RSM ve Realizable k- ϵ türbülans modellerini kullandığı sayısal çalışmada, RSM k- ϵ türbülans modeli kullanarak elde ettiği basınç katsayısı değerlerinin deneysel verilerle daha uyumlu olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, yüzey pürüzlülük değerlerinin bina üzerinde oluşan basınç katsayılarına önemli ölçüde bir etkisi olmadığını belirtmiştir.

Zoubi ve diğ. [16], “Chongqing Municipality” iş merkezi binasının 1:300 ölçekli küçültülmüş modelini kullanarak rüzgar tüneli çalışmaları ve sayısal çözümler gerçekleştirmişlerdir. Rüzgar tüneli deneyleri sonucunda, 0° rüzgar açısında bina ön yüzeyinde pozitif basınç katsayılarının, bina yan ve arka yüzeylerinde negatif basınç katsayılarının meydana geldiğini, bina köşelerinde ise basınç katsayılarının pik değerler aldığını vurgulamışlardır. Sayısal çözümlerden elde edilen basınç katsayılarının, rüzgar tüneli sonuçlarıyla genel olarak uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

CAARC Standart Yüksek Binasının 1:250 ölçekli küçültülmüş modeli etrafındaki aerodinamik karakteristiklerin belirlenmesi amacıyla yürütülen bir diğer deneysel ve sayısal çalışma Huang, Li, ve Xu [17] tarafından gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümlerde, RANS türbülans modellerini ve LES türbülans modelini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, sayısal çözümde kullanılan ağ metodunun sonuçları etkilediği ve LES türbülans modeli sonuçlarının deneysel verilerle daha uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Özmen ve Aksu [18], düz çatılı silindirik bir yüksek bina modeli üzerindeki ve etrafındaki türbülanslı akışı deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Akış görüntüleme, ortalama hız ve türbülans ölçümü, ortalama ve çalkantı basıncı ölçümü ve akış alanının üç boyutlu sayısal çözümü ile oluşturdukları çalışmada, silindirik bir binanın aerodinamik karakteristiklerini incelemeyi amaçlamışlardır.

Guirguis ve Nassief [19], farklı boyutlardaki bina modelleri etrafındaki akış yapılarını belirlemek için rüzgar tüneli deneyleri ve sayısal çözümler gerçekleştirmişlerdir. Bina boyutundaki değişimin akış alanına ve bina yüzeylerindeki basınç dağılımına etkisinin incelendiği çalışmada, bina ön yüzünün arka ve yan yüzlere göre daha yüksek basınçların etkisi altında olduğunu ve bina ön yüzeylerinde oluşan durma noktasının bina yüksekliğinin yaklaşık 2/3'ü gibi bir yükseklikte oluştuğunu belirtmişlerdir.

Malavasi ve Trabucchi [20], dikdörtgen kesitli bir bina modeli etrafındaki akış alanını RNG k- ϵ türbülans modeli kullanarak üç boyutlu ve zaman bağımlı olarak incelemişlerdir. Model yüzeylerinde hesaplanan basınç, direnç (drag) ve kaldırma (lift) katsayılarının, literatürde mevcut deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, bina etrafında hesaplanan akış yapılarının bina en-boy oranından etkilendiğini belirtmişlerdir.

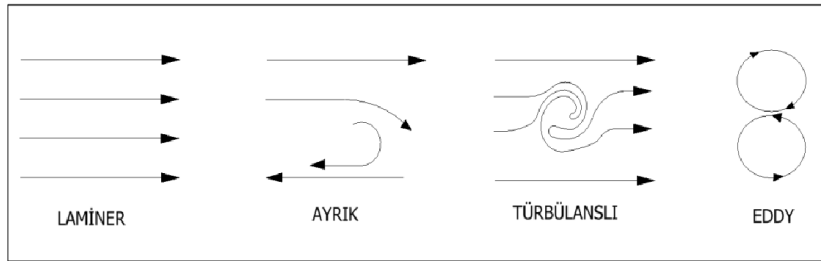
Montazari ve Blocken [21], balkonlu ve balkonsuz bina modeli üzerinde sayısal ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Balkonlar etrafında ayrılan akış yapıları nedeniyle, balkonlu bina yüzeylerindeki basınç dağılımının düz bina modeline oldukça farklı olduğunu belirtmişlerdir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Rüzgar ve Hava Hareketleri

Hava hareketleri ve rüzgarın oluşumu incelendiğinde dinamik ya da ısı kaynaklı basınç sistemlerinin etkili olduğu görülmektedir. Dünyanın dönmesiyle oluşan “coriolis ivmesi”, yeryüzü pürüzlülüğü nedeniyle oluşan “sürtünme”, düşey sıcaklık gradyanı nedeniyle oluşan “yüzdürme”, havanın akışkanlığıyla ilgili “viskozite” kuvvetleri rüzgar oluşumunda etkili olmaktadır [22].

Hava akışı, sıcaklıktaki ve basınçtaki farklılıklardan kaynaklanan doğal taşınım yolu ile oluşmaktadır. Düzgün (laminer), ayırık, türbülanslı ve girdap (eddy) şeklinde dört farklı rüzgar kaynaklı hava akışı mevcuttur (Şekil 2.1). Bu hava akışı görüntüleri, rüzgar tünellerinde gerçekleştirilen akış görüntüleme deneyleriyle elde edilebilmektedir.



Şekil 2.1. Hava akışı çeşitleri [23].

Hava akışı bir bina gibi sert bir engelle karşılaştığı zaman düzgün formdaki laminer akış türbülanslı akış haline gelmektedir. Laminer ya da türbülanslı akışların çevrintili düzende olanlarına ise girdap denilmektedir. Havanın belirli bir kütlesi olması nedeniyle, hareket halindeki hava doğrusal çizgiler şeklinde oluşmakta, herhangi bir kuvvetle yön değiştirdiğinde ise, eğrisellik kazanmaktadır.

Güneş ışınlarının, yeryüzünün çeşitli bölgelerinde oluşturduğu atmosferik ışıınım şiddetinin farklı olması nedeniyle bazı bölgelerde alçak, bazı bölgelerde ise yüksek basınç merkezleri belirlemektedir. Bu merkezler arası basınç farkı da rüzgârı doğurmaktadır. Doğal rüzgâr akışı türbülanslı karakterdedir. Türbülansın içinde ise bazen sağanaklar, bazen de durgunluklar vardır. Rüzgârın doğrultusu saatlerce değişmeyeceği gibi, çok ani değişimler de olabilmektedir. Yani rüzgârın yönü, hızı ve şiddeti sürekli değişim halindedir.

Değişimler genellikle düzensiz ve çok farklı frekanslarda olmaktadır. Bu nedenle, rüzgârın hızının temel karakteristikleri olarak, rüzgâr hızının yönü, rüzgâr hızının şiddeti ve bu iki karakteristikteki anlık değişimler dikkate alınmalıdır [24].

2.2. Rüzgar –Yapı Etkileşimi

Yapıların tasarımında rüzgârın statik ve dinamik etkilerinin göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Önceleri, yapılar üzerinde rüzgârın sadece statik etkilerinin olduğu düşünülmekteydi. 1950’li yıllardan itibaren araştırmalar rüzgârın dinamik etkilerine doğru yoğunlaştırıldı. Yapılan kapsamlı rüzgâr tüneli çalışmaları sonrasında bir yapı üzerinde rüzgârın dinamik etkilerinin de olduğu ve rüzgâr kaynaklı olumsuzlukların esasen dinamik etkiler nedeniyle olduğu anlaşılmıştır.

Statik etkiler, rüzgâr tarafından yapının dış yüzeyinde oluşturulan basınç (basma ve çekme etkisinde), sürüklenme ve kaldırma kuvveti ile momentlerdir. Bu etkiler rüzgâr hızının karesi ile doğru orantılıdır. Bu nedenle yapının bulunduğu bölgedeki rüzgâr hızının uzun yıllar boyunca gözlenen en büyük değerlerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu veriler ışığında, statik etkilerden doğabilecek zararlar küçük boyutta olup önlenabilmektedirler.

Dinamik etkiler, özellikle yüksek binalar, asma köprüler, enerji nakil hatları, anten direkleri, kuleler ve petrol platformları gibi yapılar için büyük önem taşımaktadır. Rüzgârın doğası olan bu etkiler, rüzgâr hızının en büyük değerinden daha çok, hızın şiddet ve yönündeki yerel ve zamana bağlı değişimlerin frekans ve genliğine bağlı olmaktadır.

Bunun sonucu, yapılar rüzgâr doğrultusunda ve buna dik doğrultuda titreşimlere maruz kalmaktadırlar. Rüzgâr doğrultusundaki titreşimler, hızdaki azalma ve artmalarla ilgilidir. Yapının doğal frekansı ile aerodinamik kuvvetlerin frekansının çakışması durumunda, rezonansa giren yapı, titreşimlerin genliğinin büyümesiyle hasar görebilmekte veya yıkıma uğrayabilmektedir. Ancak, yapı elemanlarına yönelik bu titreşimleri söndürecek şekilde çalışmalar ve kısa periyotlar içinde rüzgâr hızındaki değişimlerin az olması, rezonans olayını önleyebilmektedir. Yüksek bir yapı için tehlikeli olan titreşimler, rüzgâr doğrultusuna dik olan titreşimlerdir. Bu titreşimler, yapı etrafından geçen rüzgârın yapı arkasında oluşturduğu iz bölgesi ve beraberindeki girdaplardan kaynaklanmaktadır [25].

2.3. Bina Aerodinamiği

Bina aerodinamiği, rüzgarın binalar üzerindeki etkilerinin yanı sıra çevre koşullarını nasıl etkilediği, bina etrafında oluşan hava akışları ve bunların oluşturmuş olduğu konforsuz alanların belirlenmesi, kirleticilerin dağılımı ve iklim koşullarına olan etkileriyle de ilgilenmektedir.

2.4. Yüksek Bina Kavramı

Amerika’da “Skyscraper” ve “High-Rise Building”, İngiltere’de “Tower Block” ve “Tall Building”, Fransa’da “Gratte-Ciel”, Almanya’da “Hochhaus” ve “Wolkenkratzer” ve Türkiye’de “Gökdelen” olmak üzere farklı ülkelerde farklı isimlerle ifade edilen yüksek binalar konusunda günümüze kadar birçok tanımlama yapılmış ve çeşitli görüşler belirtilmiştir [26].

Yüksek binalar (gökdelenler) genel olarak, "taban alanı küçük, yüksekliği taban boyutlarına göre fazla, genellikle kule biçimindeki narin binalar" şeklinde tanımlanmaktadır. Bina yüksekliğini esas alan yüksek bina tanımları bazı ülkeler için aşağıdaki tabloda verilmiştir.

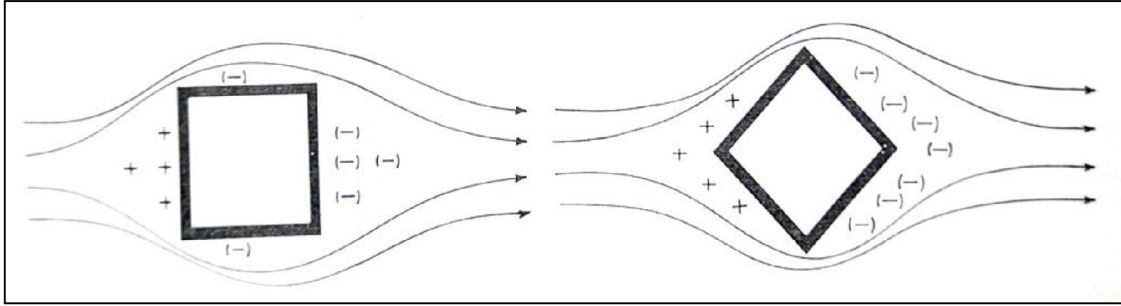
Tablo 2.1. Farklı ülkeler için yüksek bina tanımları [27].

Almanya	22 metre ve daha yüksek binalar
A.B.D.	21 metre ve daha yüksek binalar
İngiltere	28 metre ve daha yüksek binalar
İsviçre	25 metreyi geçen binalar
Rusya	9 kat ve üstü binalar
Macaristan	11 kat ve üstü binalar
Türkiye	10 kat ve üstü binalar

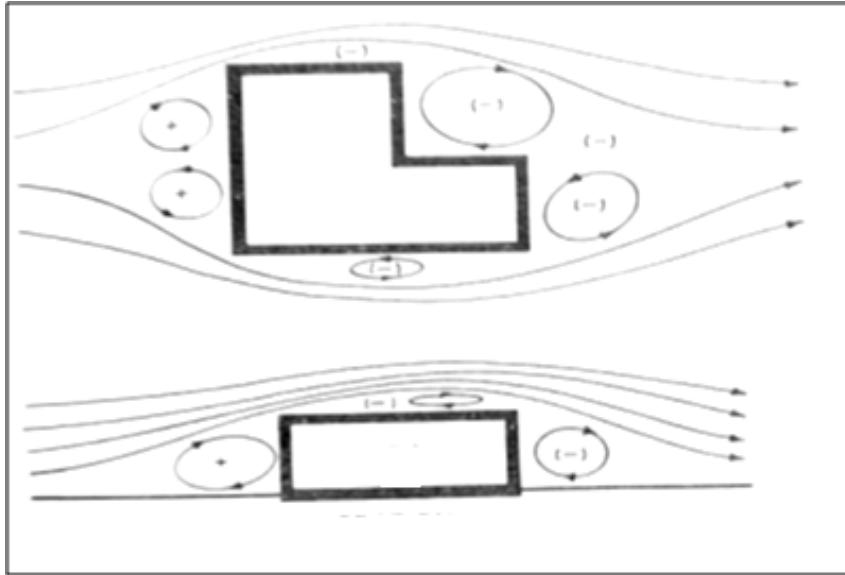
2.5. Yüksek Binalar Etrafındaki Hava Hareketleri

Süreklilik denkleminde göre, binaya yaklaşan hava ile binadan ayrılan havanın birbirine eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle hava akışını gösteren çizgiler sürekli çizgi görüntüsündedirler. Havanın bina ön bölgesine çarpması durumunda bina ön yüzeyinde

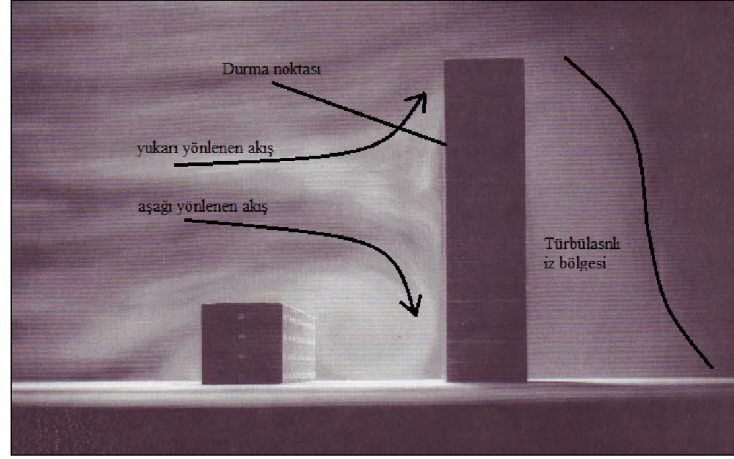
pozitif bir basınç alanı oluşur. Binanın arka bölgesinde ise oluşan negatif basınç alanı nedeniyle bu bölgede emme etkisi oluşur. Bina çevresinde sapma gösteren hava da negatif basınç oluşturur. Çatı üzerinde oluşan basınç alanı ise çatının eğimine bağlı olarak değişim gösterirler. Şekil 2.2 ve 2.3'den görülebileceği gibi iki boyutlu yüksek bina kesitleri etrafındaki hava akışı, bina etrafında pozitif ve negatif basınç alanları oluşturur. Binaların rüzgar arkası bölgesinde negatif basınç alanları oluşurken, rüzgar önü bölgesindeki pozitif basınç alanları kesit geometrisine bağlı olarak değişir. Bina ön yüzeyi köşelerinden ayrılan akışlar nedeniyle yan yüzeylerde negatif basınç alanları oluşmaktadır. Geometrinin durumuna göre, binanın önünde arkasında farklı büyüklükte girdap bölgeleri oluşur.



Şekil 2.2. Binalar etrafındaki basınç alanları [28].



Şekil 2.3. Yüksek ve alçak basınç alanlarında türbülans ve girdap akımları [28].



Şekil 2.4. Bina etrafındaki akış yapıları [29].

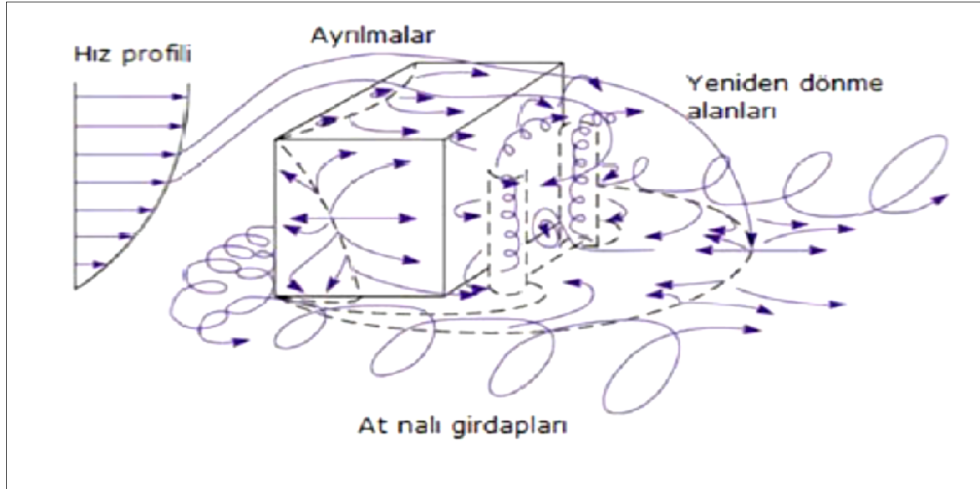
Türbülanslı sınır tabaka akışı bir binaya yöneldiğinde, yerden belirli bir yükseklikte ortalama rüzgâr hızıyla binanın ön duvarına çarpmakta ve durma noktasından itibaren ön kısımda girdap oluşturmak üzere aşağıya yönelmektedir. Aynı zamanda bina üst kenarından ayrılarak bina çatısı boyunca ilerlemektedir. Bina çatısı üzerinde belli bir konumda tutunan akış, bina arka kenarından tekrar ayrılarak bina arkasında bir ters akışların etkili olduğu türbülanslı iz bölgesi oluşturabilmektedir (Şekil 2.4).

Yüksek binalar gibi küt cisimler etrafında akış alanını incelemek için bir küp veya dikdörtgen cisim etrafında akışı bir test durumu olarak incelemek yararlı olmaktadır. Geometri oldukça basit olsa da akış alanı türbülanslı ve girdaplı yapılar içermektedir. Bu basit geometrilerin incelenmesi ayrılmalar ve tutunmalar gibi karmaşık akış karakteristiklerinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bina grupları etrafında akışı incelemeden önce tek bir bina etrafındaki akışı inceleyerek öncelikle akışın nasıl bir davranış sergileyeceği anlaşılmalıdır. Atmosferik sınır tabaka ile etkileşim halindeki binalar etrafında akış hareketlerinin incelenmesinde, binanın büyüklüğü, şekli ve çoklu bina durumunda bina dizilimi gibi faktörler akış alanını değiştirmektedir [30]. Atmosferik sınır tabaka ve atmosferik türbülans etkisindeki binaya gelen rüzgârın yönü ve şiddetindeki ani değişimler de akışın karakteristiği değiştirmektedir.

Küt bir cisme etkiyen dış akış, cismin arkasında karmaşık ve zamana göre değişen bir davranış sergilemektedir. Akışın çarptığı bölgelerde cismin şekline ve akışın hızına göre basınç farklılıkları oluşmakta küt cisim etrafındaki akış karakteristikleri Reynolds sayısından bağımsız olmaktadır. Rüzgâra maruz ön yüzeyde pozitif basınç alanları oluşurken üst, yan ve arka yüzeylerde negatif basınç alanları oluşturmaktadır. Bu

farklılıklar Şekil 2.5’de görüldüğü gibi ayrılmalara, tutunmalara, türbülanslı ve girdaplı akışa ve akış çizgilerinin zamanla değişmesine neden olmaktadır [31].

Binaya çarpan akış yavaşlamakta ve binaya çarptıktan sonra yanlardan hızını artırarak geçmektedir. Bu durum akışın dengesiz yön değişimine göre binanın ön alt köşesinde bir girdabın oluşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca binanın önünde yere yakın yerde kopan akış yanlara ve arkaya doğru uzanarak at nalı şeklinde girdaplar oluşturmaktadır. Binanın üst köşesinden kopan akış ve at nalı girdapları binanın arkasındaki iz bölgesinin oldukça karmaşık bir yapıya bürünmesine sebep olmaktadır. Yalnızca iki boyutlu akışta bina üst köşesinden ayrılan akış bina üst yüzeyinin belirli bir noktasında yeniden tutunmaktadır. Üç boyutlu akışta ise ayrılmanın başladığı ve tutunmanın bittiği sabit bir bölge bulunmamaktadır. Bunun sebebi, bina üst köşelerindeki girdapların zamana bağlı olarak akışı bozması ve bina arkasında oluşan ters akış bölgesini etkilemesidir. Bina arkasındaki girdap bölgelerinin zamanla bozulup tekrar oluşması akışın üç boyutlu, zaman bağımlı ve karmaşık olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.5. Dikdörtgen prizması etrafında oluşan akış karakteristikleri [32]

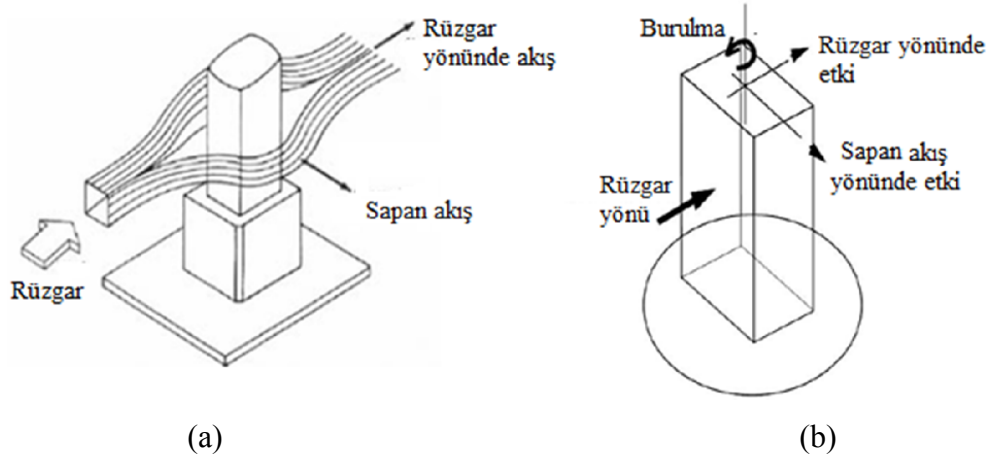
Rüzgârın yüksek binalara olan etkilerini incelemek üzere sayısal incelemelerin yanı sıra rüzgar tüneli testleri de yapılmaktadır. Rüzgar tüneli testleri çok faydalı ve çoğu durumun incelenmesi için pratikte uygulanabilecek tek yöntem olma özelliğine sahiptir. Buna rağmen rüzgar tüneline, rüzgarın etki ettiği tüm çevre ve atmosferik sınır tabaka akışlarını birebir gerçeği ile örtüşecek şekilde modellemek çok zordur. Bu durum sayısal incelemelere olan ilgili artırmaktadır.

2.6. Rüzgarın Yüksek Binalar Üzerindeki Etkisi

Rüzgar akışı nedeniyle yüksek binaların maruz kalacağı hareketleri üç grupta incelemek mümkündür. Bunlar; rüzgar akışı doğrultusunda (along wind) meydana gelen hareket, yan akış veya sapan akış (across wind) doğrultusunda meydana gelen hareket ve burulma hareketidir. Daha öncede bahsedildiği gibi rüzgar akışı nedeniyle bina etrafında değişik basınç bölgeleri oluşmakta ve bu da binanın çeşitli bölgelerine farklı kuvvetlerin etki etmesi anlamına gelmektedir. Birçok araştırmacı yukarıda bahsedilen rüzgar etkisiyle oluşan bu hareketlerin, binalar üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Yapılan bu çalışmaların temel amacı rüzgarın binalar üzerine olan etkilerini en aza indirebilmek ve rüzgar etkilerine karşı performansı yüksek binalar yapabilmektir. Rüzgarın binalar üzerine olan etkilerini yok edebilmek gibi bir durum söz konusu olmadığı için etkileri minimum düzeyde tutmanın yolları araştırılmaktadır.

2.6.1. Rüzgar Akışı Doğrultusunda Oluşan Hareket

Rüzgar akışı doğrultusunda hareket sürüklenme (drag) kuvvetlerinin binalar üzerinde etkili olmasını sağlar. Rüzgar etkisindeki yapılar ana akış doğrultusunda etkiyen, içinde sürüklenme kuvvetini de barındıran bazı aerodinamik kuvvetlere maruz kalmaktadırlar. Akış doğrultusunda etkiyen ve Şekil 2.6'de görülen bu hareket bina ön ve arka yüzeylerinde basınç değişikliğine yol açmaktadır.



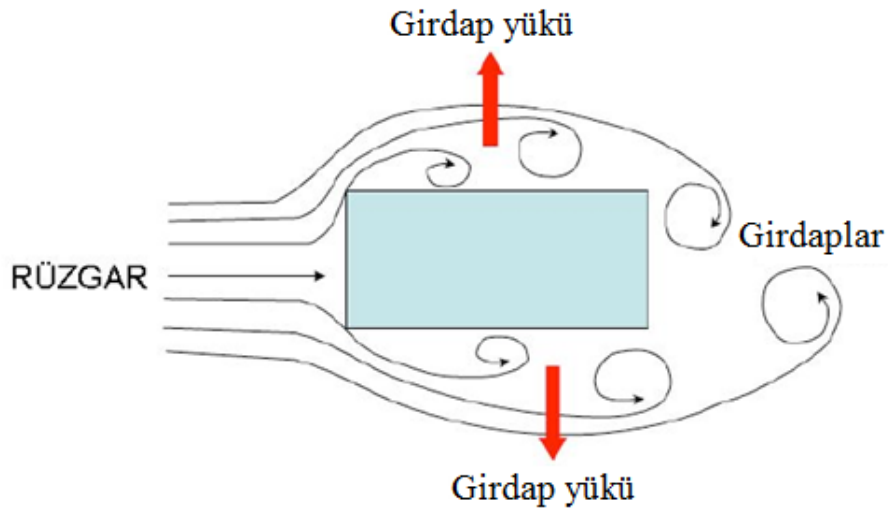
Şekil 2.6. Binalarda rüzgar kaynaklı oluşan hareket biçimleri (a) basitleştirilmiş rüzgar akışı [33] (b) rüzgar etkime doğrultuları [34]

2.6.2. Sapan Akış Doğrultusundaki Hareket

Sapan akış doğrultusundaki hareket, binanın yan kısımlarından geçen akışın oluşturduğu hareket olarak tanımlanmaktadır. Sapan akış hareketi rüzgar akışına dik doğrultudaki bir düzlemde meydana gelmektedir. Günümüz modern yüksek bina tasarımlarında sapan akışın etkileri, ana akış doğrultusundaki etkilere göre daha yüksek öneme sahiptir. Örneğin, Çin’de bulunan “Jin Mao” binasına ait modelin rüzgar tünelineki deneylerinde belirli bir rüzgar hızında sapan akış doğrultusunda modelde oluşan ivmelenmenin ana akış doğrultusundaki ivmelenmeden 1.2 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir [4]. Yüksek binalarının aşırı ince ve esnek bir yapıda olmaları nedeniyle, rüzgar kaynaklı en ufak bir düzensizlik binalar üzerinde sapan akış doğrultusunda çok büyük etkilere neden olabilmektedir.

2.6.3. Girdap Hareketi

Rüzgarın oluşturduğu hava akışı binanın yan yüzleri etrafından geçerken Şekil 2.7’de görüldüğü gibi türde girdaplar oluşur. Ayrıca bina arkasında da bu girdap yapıları oluşmaktadır. Girdaplar değişken olarak (önce bir yan yüzeyde, sonra diğer yan yüzeyde) oluştuğu için yarattığı dinamik yükler de değişken olup rüzgar akış yönüne dik doğrultuda etkiler. Girdap yükleri çok belirgin ve dar bir frekans bandında etkilediği için sinüzoidal bir yük olarak tanımlanabilirler.



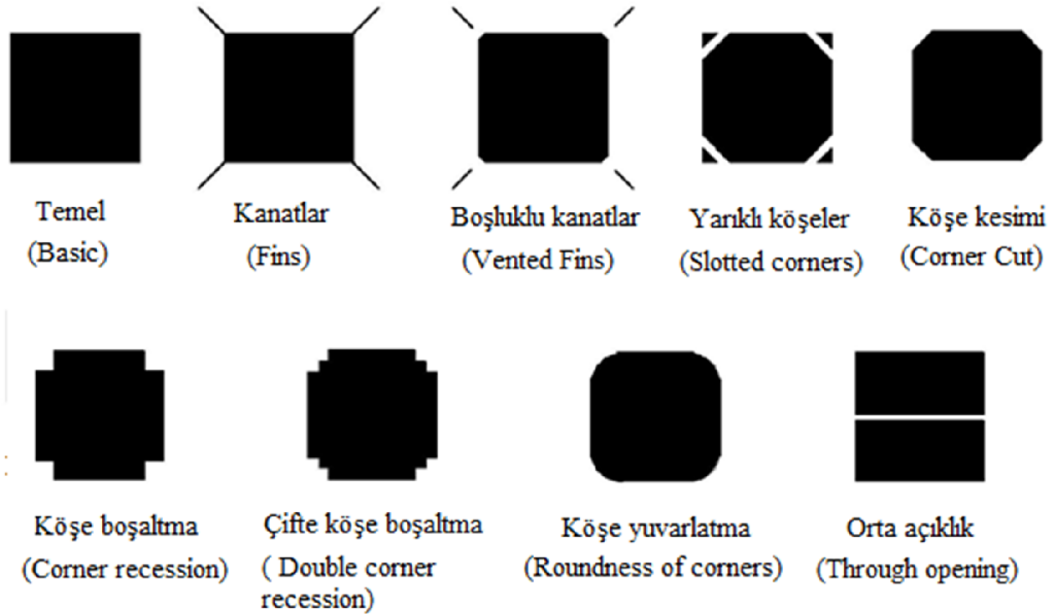
Şekil 2.7. Dikdörtgen kesitli bina etrafında oluşan girdap yapıları [35].

2.7. Rüzgar Etkilerine Karşı Aerodinamik Modifikasyonlar

Bu modifikasyonlar genelde binanın şeklini değiştirmek şeklinde olmaktadır. Böylece, hem tasarım açısından daha değişik bina türleri ortaya çıkmakta hem de binalar üzerindeki rüzgar etkilerine yönelik iyileşme mümkün olmaktadır [36]. Bina tasarımında aerodinamik açıdan yapılan küçük bir iyileştirme ile bina çevresindeki akış yapısı düzenlenmekte ve rüzgarın binaya olan olumsuz etkileri de belli düzeylere indirilmektedir. Günümüz yüksek binaları ve gökdelenleri, tasarım aşamasında, tasarımcıların, mimarların ve mühendislerin ortak çalışmalarıyla daha dayanıklı ve çevreye duyarlı hale getirilebilmektedir.

Yüksek binalar üzerinde rüzgarın olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla, uygulanan çeşitli aerodinamik modifikasyonlar minör ve majör modifikasyonlar olmak üzere iki ana grup altında incelenmektedir.

Minör modifikasyonlar, yapısal ve mimari açıdan ihmal edilebilir düzeyde etkiler içeren aerodinamik modifikasyonlar olarak ifade edilmektedir. Bu modifikasyonlar; köşelerden kanat çıkarılması, köşelere eklenen boşluklu kanatlar, oluklu köşeler, köşe kırılması, köşe boşaltılması, köşe yuvarlatılması ve rüzgar yönünü değiştirecek bazı düzenlemeler şeklindedir [36]. Şekil 2.8'de yüksek binalara uygulanan bu modifikasyonlara ait kesit formları verilmiştir.



Şekil 2.8. Yüksek binalara uygulanan çeşitli köşe modifikasyonları [36].

Majör modifikasyonlar ise, yapısal ve mimari açıdan büyük değişimlerin olduğu aerodinamik modifikasyonları ifade etmektedir. Bu modifikasyonlar ise; kesiti giderek daralan binalar (tapering effect), kesit formu yükseklikle değişen binalar ve burulma şekilde yükselen binalar şeklindeki modifikasyonlardır.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada üç boyutlu bir çizim programı kullanılarak oluşturulan dört farklı bina modeli etrafındaki akış karakteristikleri, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS FLUENT 14.0 paket programı yardımıyla sayısal olarak hesaplanmıştır. Modellenmek istenen akışın özelliğine uygun olarak çözüm algoritmaları ve sınır koşulları seçilmiştir. Model binalar etrafındaki akış yapılarının dört farklı türbülans modeli kullanılarak zaman bağımsız ve üç boyutlu çözümleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplama yapılan akış alanı ve ağ yapıları literatüre uygun oluşturulmuştur. Çalışmanın ağdan bağımsız çözümü için gerekli uygun ağ yoğunluğunu belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak, kare kesitli bina modeli etrafındaki akış alanı farklı türbülans modelleri için hesaplanarak elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra bina geometrisindeki değişikliğin akış alanına etkisini incelemek amacıyla, kare kesitli yüksek bina modelinin kenarlarının her iki tarafında sırasıyla % 10, % 20 ve % 30 oranlarında azaltma uygulanarak (köşe boşaltması) artı kesitli yüksek bina modelleri olarak tanımlanabilecek üç farklı bina geometrisi türetilmiştir. Oluşturulan yeni geometriler etrafındaki akış alanları yine farklı türbülans modelleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İncelenen bütün geometrilerde sayısal sonuçlar, hesaplanmış akış alanı görüntüleri, modeller etrafında ortalama hız ve türbülans profilleri ve model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımları şeklinde değerlendirilmiştir.

3.1. Hareket Denklemleri

Herhangi bir akış probleminin sayısal çözümünde, akışkanlar mekaniğinin genel denklemleri olan Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri kullanılmaktadır. İkinci mertebeden kısmi türevli, lineer olmayan bu denklemlerle, uygun başlangıç ve sınır şartlarının kullanılmasıyla, akış alanının yaklaşık çözümleri elde edilebilmektedir.

Sıkıştırılamaz bir akışkanın zaman bağımlı hareketi, kartezyen koordinatlarda,

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + F \quad (3.1)$$

atalet kuvvetleri

basınç kuvveti

sürtünme kuvveti

kütlelesel kuvvetler

şeklinde Navier-Stokes denklemleri ve

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.2)$$

süreklilik denklemi ile ifade edilmektedir. Bu denklemler türbülanslı akış için hız ve basınç büyüklükleri zaman ortalamalı ve çalkantı terimleri cinsinden yazıldığında,

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho \bar{u}_j \bar{u}_i)}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u_i u_j} \right] + F_i \quad (3.3)$$

şeklindeki Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemleri olarak elde edilmektedir. Bu denklemlerde yer alan çalkantı terimlerinin hesaplanmasına yönelik olarak çok sayıda türbülans modeli geliştirilmiş ve geliştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, Standard k-ε, RNG k-ε, Realizable k-ε ve Standard k-ω türbülans modelleriyle çözümler gerçekleştirilmiştir.

3.2. Türbülans Modelleri

Doğadaki akışların neredeyse tamamının türbülanslı karakterde olması nedeniyle, türbülanslı akışlar pratikte büyük öneme sahiptir. Üç boyutluluk, zaman bağımlılık ve çalkantı hali gibi özellikleri nedeniyle oldukça karmaşık bir yapıda olan türbülanslı akışın sayısal olarak incelenmesi için akış alanını çözmeyi amaçlayan modeller geliştirilmiş ve “türbülans modeli” kavramı bu şekilde ortaya çıkmıştır [37]. Son yıllarda teknolojinin gelişimine paralel olarak bilgisayarların hız ve kapasitesindeki iyileşme sayesinde, türbülanslı akışların sayısal incelenmesine yönelik çalışmalar son derece yaygınlaşmıştır. Farklı türbülans modelleriyle hesaplanan akış alanları, türbülans modellerinin hassasiyetlerine yönelik bilgiler de sunmaktadır. Birçok türbülans modelinin bazı akış alanlarındaki deneysel verilerle uyumlu sonuçlarına rağmen, yine de bütün türbülanslı akışları yüksek doğrulukta çözen genel bir model üretilmemiştir. Türbülans modelleri, gerçek türbülanslı akış karakteristiklerini hesaplayabilmek için, Navier-Stokes denklemleri ile birlikte çözülen bir dizi diferansiyel transport denklemleri ve cebirsel sabitler içermektedir. Literatürde yaygın olarak bilinen k-ε türbülans modeli, Standard, RNG ve

Realizable şeklinde üç farklı formda kullanılmaktadır. k-ε türbülans modelinin bu üç farklı formu, k ve ε'u hesaplamak için aynı yapıdaki denklemleri kullanılmaktadır. Aralarındaki belirleyici farklar, türbülans viskozitesini hesaplama yöntemi, türbülanslı Prandtl sayısı ve ε denklemindeki terimlerde ortaya çıkmaktadır.

3.2.1. Standard k-ε Türbülans Modeli

Lauder ve Spalding [37] tarafından önerilen Standard k-ε türbülans modeli, kolay uygulanması nedeniyle, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yarı ampirik bir model olan Standard k-ε türbülans modeli, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans yutulma oranı (ε),

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (3.5)$$

şeklinde iki adet transport denkleminde oluşmaktadır. Burada; G_k , ortalama hız gradyanına bağlı oluşan türbülans kinetik enerjisini, G_b , kaldırma kuvvetine bağlı oluşan türbülans kinetik enerjisini, $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$, model sabitlerini, σ_k ve σ_ε , k ve ε için türbülans Prandtl sayılarını, S_k ve S_ε , kaynak terimlerini ve Y_M , sıkıştırılabilir türbülanslı bölge içindeki türbülans hacim değişiminin toplam yayılım oranına katkısını ifade etmektedir. Denklemlerde yer alan ' μ_t ', türbülans viskozitesi,

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.6)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Model sabitleri $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$ şeklindedir.

3.2.2. RNG k-ε Türbülans Modeli

RNG k-ε türbülans modeli, Navier-Stokes denklemlerinin “renormalisation group (RNG)” metodu olarak bilinen bir matematiksel teknikle çözülmesiyle elde edilmiştir. RNG metodu kullanılarak çözülen denklemlerin oluşturduğu model Standard k-ε modeline göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, oluşan yeni katsayılar, eklenen yeni terimler ve transport denklemlerindeki değişimler şeklindedir [38]. RNG k-ε türbülans modelinde transport denklemleri,

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon + S_k \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (3.8)$$

şeklinde oluşmaktadır. Burada; G_k, G_b, S_k, Y_M ve S_ε , Standard k-ε modelindeki terimler ile aynı olmakta,

α_k : k için ters etkili Prandtl sayısı,

α_ε : ε için ters etkili Prandtl sayısı,

μ_{eff} : efektif viskozite,

R_ε : RNG modelinde ε için kullanılan ek terim,

$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ ve $C_{3\varepsilon}$: model sabitleri

olarak tanımlanmaktadır. $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ model sabitleri, RNG k-ε türbülans modelinde analitik olarak $C_{1\varepsilon} = 1.42$, $C_{2\varepsilon} = 1.68$ olarak belirlenmişlerdir.

3.2.3. Realizable k-ε Türbülans Modeli

Shih ve diğ. tarafından önerilen Realizable k-ε model, türbülanslı akışın fiziği ile ilgili normal gerilmeler üzerindeki belli matematiksel sınırlamaları aşmaya yönelik bir

yaklaşım getirmektedir [39]. Bu yaklaşımda, δ_{ij} kroneker delta olmak üzere, sıkıştırılmaz bir akış için Reynolds gerilmeleri,

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Türbülans viskozitesi,

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.10)$$

ve normal gerilmeler,

$$\overline{u^2} = \frac{2}{3} k - 2\nu_t \frac{\partial U}{\partial x} \quad (3.11)$$

olarak tanımlanmaktadır. Türbülans viskozitesi ifadesinde yer alan C_μ terimi değişken olup, ana şekil değişimi, rotasyon oranı ve sistemin açılal hızının bir fonksiyonudur.

k ve ε için modellenmiş transport denklemleri,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon + S_k \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (3.13)$$

şeklindedir. Bu denklemlerde, G_k , ortalama hız gradyenti nedeniyle türbülanslı kinetik enerji üretimini; G_b , kaldırma kuvveti nedeniyle türbülanslı kinetik enerji üretimini ifade etmektedir. $C_{1\varepsilon}$, C_2 ve $C_{3\varepsilon}$ sabitler olup, σ_k ve σ_ε ise türbülans Prandtl sayılarıdır. S_k ve S_ε sırasıyla, k ve ε için kaynak terimleridir. Realizable k- ε modelinde kullanılan sabitler, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_2 = 1.9$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.2$ şeklindedir.

3.2.4. Standard k- ω Türbülans Modeli

Kolmogorov tarafından önerilen bu türbülans modelinde, k türbülans kinetik enerjisi; ω ise yutulmanın kinetik enerjiye oranını ($\omega=\varepsilon/k$) ifade etmektedir [40]. Bu modelde türbülans viskozitesi,

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega} \quad (3.14)$$

olarak tanımlanmaktadır. Türbülans kinetik enerji (k) ve özgül yutulma (ω) için transport denklemleri,

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \omega u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (3.16)$$

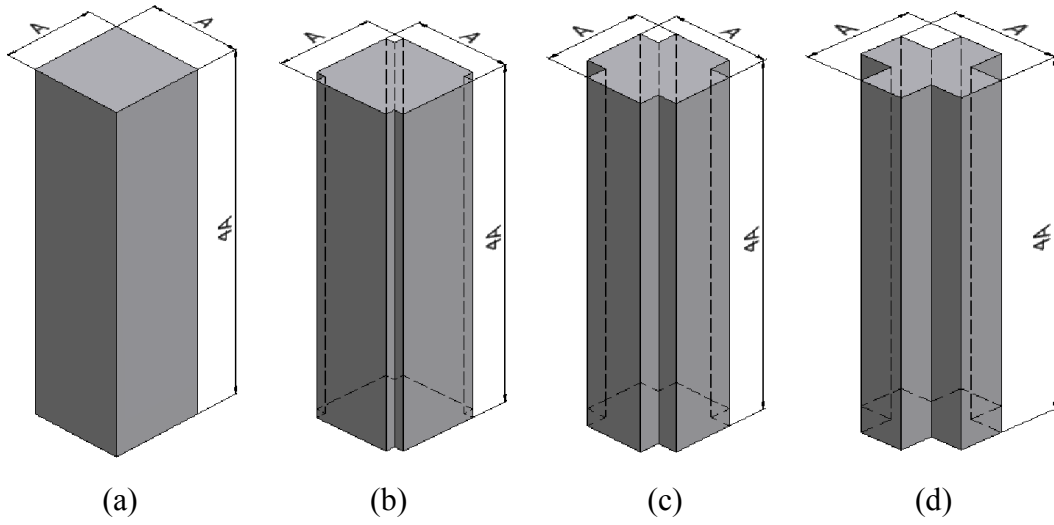
şeklindedir. Bu denklemlerde, G_k , ortalama hız gradyanları nedeniyle türbülans kinetik enerjisi üretimini; G_ω , ω 'nin üretimini ifade etmektedir. Γ_k ve Γ_ω , k ve ω için efektif difüzyivite; S_k ve S_ω ise, kaynak terimleridir.

3.3. Bina Modelleri

Tez kapsamında dört farklı yüksek bina modeli kullanılmıştır. Bina modelleri üç boyutlu bir çizim programı olan Solidworks paket programı kullanılarak oluşturulmuştur. Öncelikle, kare kesitli bina modeli etrafındaki akış alanı, aynı model için literatürde mevcut olan deneysel sonuçlarla karşılaştırma yapmak üzere, farklı türbülans modelleriyle hesaplanmıştır. Diğer bina modelleri ise kare kesitli bina modeline üç farklı oranda köşe modifikasyonu uygulanarak türetilmiştir. Türetilen bina modellerine ait literatürde herhangi bir deneysel sonuç olmaması nedeniyle, bu modeller etrafındaki akış alanı incelemeleri sayısal analizlerle sınırlı tutulmuştur.

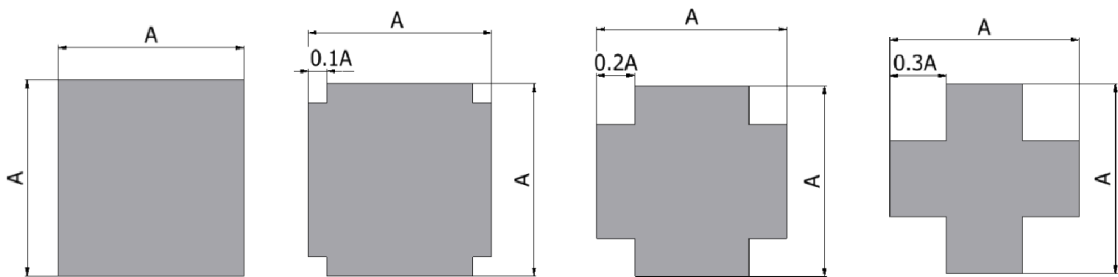
Çalışma kapsamında incelenen yüksek bina modelleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Kare kesitli modele üç farklı oranda uygulanan köşe boşaltması (corner recession) işlemi sonucunda, kare kesitli modellerle birlikte toplam dört adet yüksek bina modeli oluşturulmuştur. Bu şekilde, geometrik değişikliklerin akış alanı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Kare kesitli yüksek bina modelinin kenarlarının her iki tarafında % 10, % 20 ve % 30 oranlarında azaltma uygulanarak (köşe boşaltması) türetilen yeni modeller, azalma oranına göre sırasıyla, Artı-1 bina, Artı-2 bina ve Artı-3 bina şeklinde isimlendirilmiştir.



Şekil 3.1. Yüksek bina modelleri (a) Kare kesitli bina (b) Artı-1 bina (c) Artı-2 bina (d) Artı-3 bina

Köşe modifikasyonları, Şekil 3.2’de görüldüğü, kare kesitli bina modelinin kenarlarının her iki tarafında sırasıyla %10, %20 ve %30 oranında azaltma uygulanarak oluşturulmuştur.

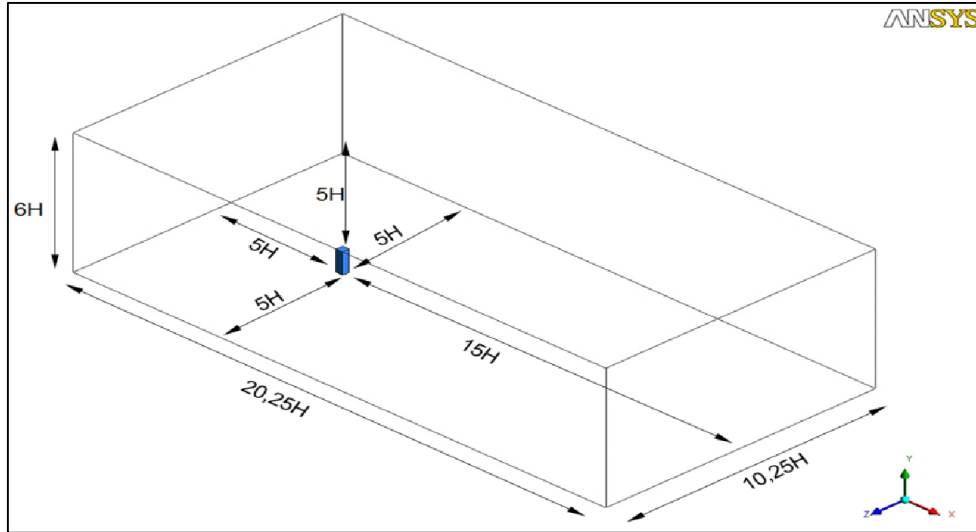


Şekil 3.2. Bina modelleri kesit geometrileri

Literatürde incelenmiş yüksek bina modellerine ait boyutlar göz önünde tutularak, mevcut çalışma için bina en-boy oranı $H/A=4$ olarak belirlenmiştir. Karşılaştırma amaçlı deneysel sonuçlarından yararlanılacak kare kesitli bina modeline uygunluk açısından $A=120$ mm olarak seçilmiştir. Buna göre, model uzunluğu $H=480$ mm olmaktadır.

3.4. Akış Alanı

Oluşturulan kare kesitli yüksek bina modelinin üç boyutlu akış alanındaki yerleşim düzeni Şekil 3.3’de görülmektedir. Akış alanı boyutlarının, sayısal çözümlerin doğruluğu üzerindeki etkisi son derece önemlidir. Bu nedenle, model etrafında model yüksekliğine göre tanımlanmış ve akış alanının sınırlarını gösteren mesafeler, Franke [41]’nin önerdiği boyutlar referans alınarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Akış alanı boyutları

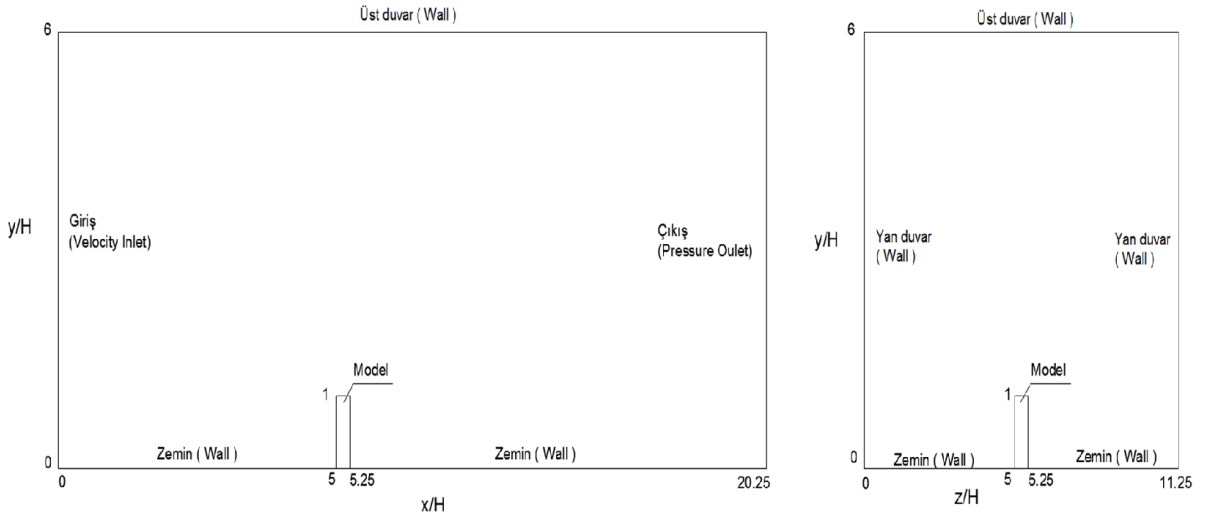
3.5. Çözüm Yöntemi

Yüksek bina modelleri etrafındaki üç boyutlu akış alanının sayısal çözümleri, ANSYS 14.0 programı bünyesinde bulunan FLUENT paket programı kullanılarak, İntel İ7 işlemci ve 16 GB RAM özelliklerine sahip bir kişisel bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir. Bina modellerine ait geometriler, “Solidworks 12.0” çizim programında oluşturulup daha sonra ANSYS bünyesine aktarılmıştır. Akış alanında ağ oluşturma işlemleri için ANSYS bünyesinde bulunan ICFM CFD 12.0 programı kullanılmıştır.

Sayısal çözümlerde Standard k- ϵ , Realizable k- ϵ , RNG k- ϵ ve Standard k- ω türbülans modelleri kullanılmıştır. Duvar yaklaşımı olarak Standart Duvar Fonksiyonu (Standard Wall Function) kullanılmıştır. İteratif çözücü olarak SIMPLE algoritması esas alınmıştır. Değişkenlerin ağ noktaları arasındaki değişim için, Second Order Upwind çözüm yolu izlenmiştir.

3.6. Başlangıç ve Sınır Şartları

Üç boyutlu akış alanında geçerli sınır şartları Şekil 3.4’de görülmektedir. İncelenen bütün modeller etrafındaki akış alanları için aynı olan sınır şartları, ICEM CFD programındaki şekliyle, girişte “VELOCITY INLET”, çıkışta “PRESSURE OUTLET” ve duvarlarda “WALL” olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.4. Akış alanı için kullanılan sınır şartları

FLUENT bünyesinde bulunan “User Defined Function (UDF)” özelliği kullanılarak oluşturulmuş ortalama hız ve türbülans profilleri, akış alanında giriş sınır şartı olarak verilmiştir. Giriş profillerine ait UDF kodları ekte verilmiştir. von Karman sabiti $K=0.4187$, model sabiti $C_\mu = 0.09$ ve sınır tabaka kalınlığı $\delta = 0.8m$ olmak üzere, ortalama hız (U), türbülans kinetik enerji (k), yutulma (ϵ) ve özgül yutulma (ω) için giriş profilleri,

hız profili (U) için;

$$U = \left(\frac{u_*}{K} \right) \ln \left(\frac{y}{y_0} \right) \quad (3.17)$$

türbülans kinetik enerji (k) için;

$$k = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}} \left(1 - \frac{y}{\delta} \right) \quad (3.18)$$

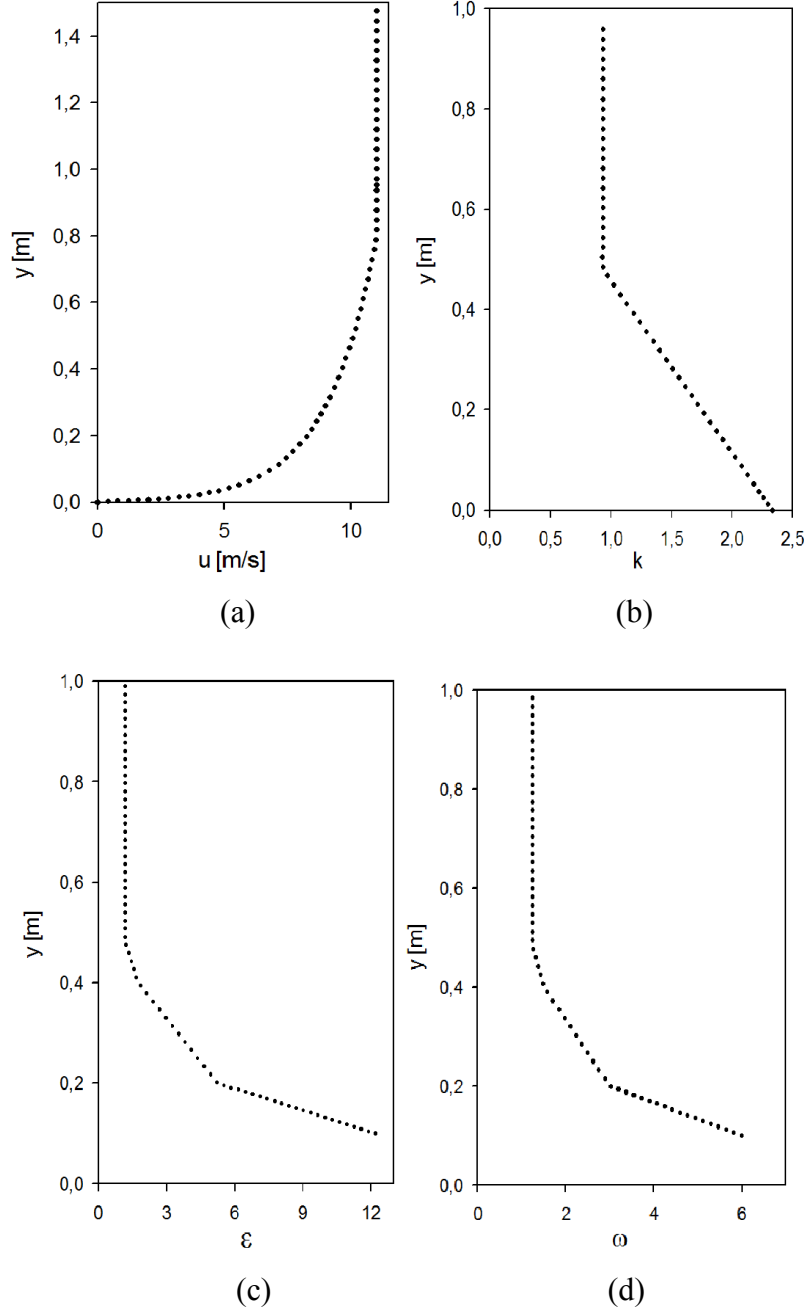
yutulma (ε) için;

$$\varepsilon = \frac{u_*^3}{K y} \left(1 - \frac{y}{\delta} \right) \quad (3.19)$$

özgül yutulma (ω) için;

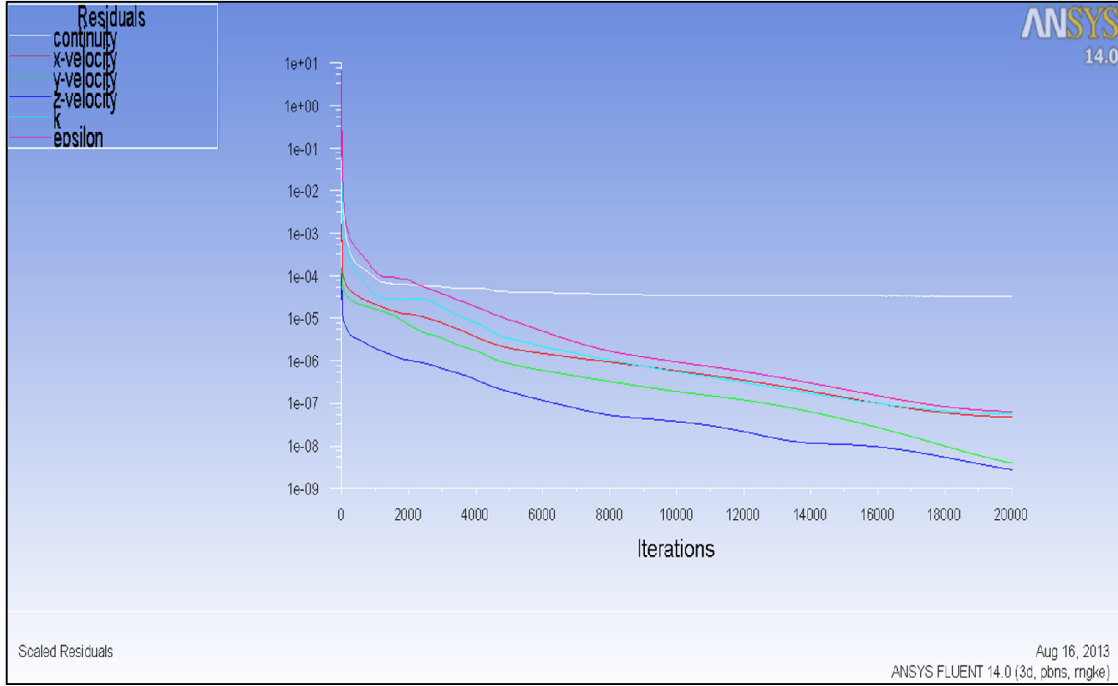
$$\omega = \frac{\varepsilon}{k} \quad (3.20)$$

bağıntıları kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan profiller giriş sınır şartı olarak tanıtılmıştır. Burada, u_* , rüzgar hızının 10 m/s değerinde olduğu model yüksekliği seviyesindeki sürtünme hızını ifade etmekte ve $u_* = 0.836$ m/s değerinde hesaplanmaktadır. Ayrıca y_0 değeri karşılaştırma amaçlı kullanılan çalışmada [15] rüzgar tünelineki pürüz yüksekliği değeri olan $y_0 = 0.0032$ m olarak alınmıştır. Bu tam ölçekli şartlar için $y_0 = 0.8$ m olmaktadır. Bu değer orta pürüzlülükte kentsel bir arazi için belirlenen değerdir [42]. Kentsel arazi için oluşturulan giriş profilleri sırasıyla, Şekil 3.5 a-d’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Kentsel arazi şartları için oluşturulmuş giriş profilleri
 (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji (c) yutulma
 (d) özgül yutulma

Normalize edilmemiş artıkların süreklilik denkleminde $1 \cdot 10^{-4}$ den, diğer denklemlerde (x , y , z hızları, k ve ϵ) ise $1 \cdot 10^{-6}$ 'dan küçük olma şartı, çözüm yakınsama kriteri olarak alınmıştır. Akış büyüklükleri ile ilgili artıkların çözümlene boyunca tipik değişimini veren Şekil 3.6'dan, iterasyon sayısının yaklaşık 15000 değerinde yakınsamanın gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.6. Artıkların iterasyon sayısı ile değişimi

U_0 , serbest akış hızı, H , model yüksekliği ve ν , kinematik viskozite olmak üzere, Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{U_0 H}{\nu} \quad (3.21)$$

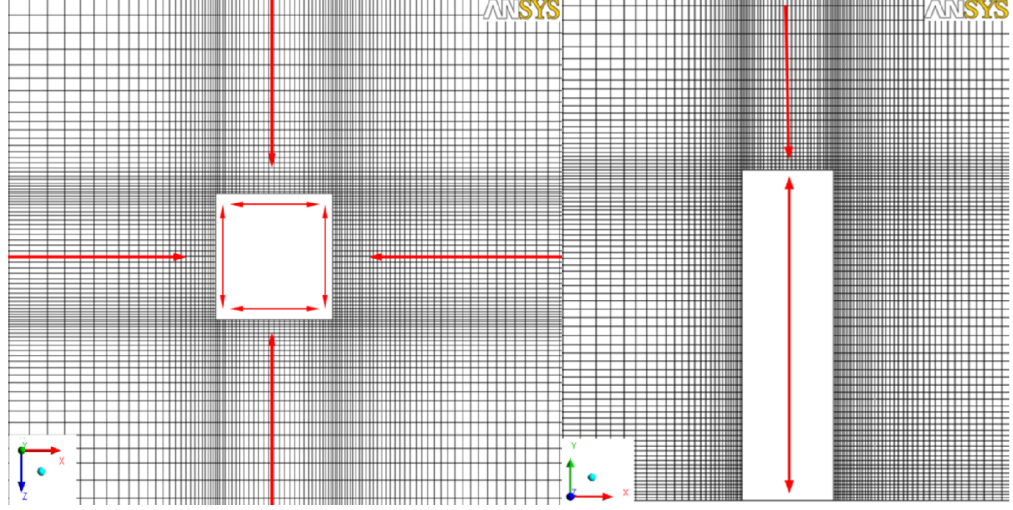
olarak tanımlanmıştır. Çalışmada, engel yüksekliğine bağlı Reynolds sayısı 350000 değerindedir.

3.7. Ağ Yapısı

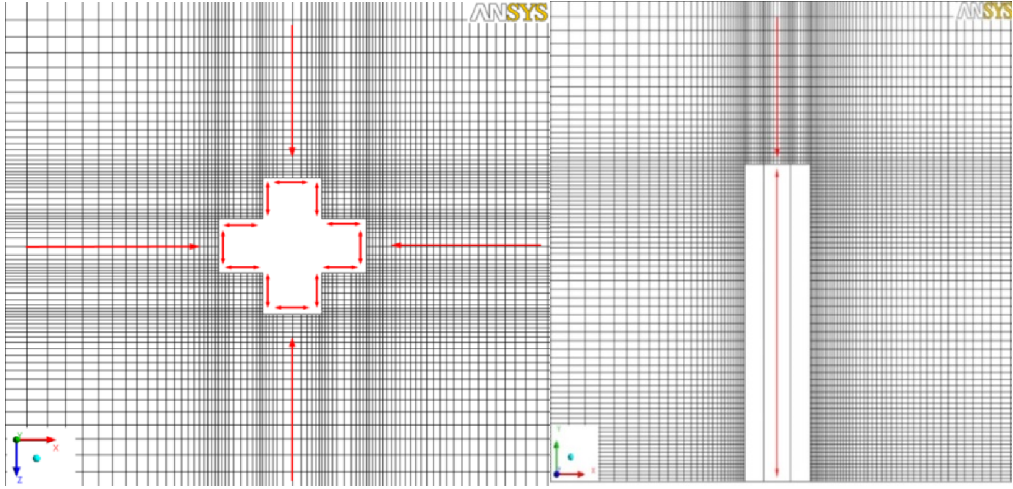
ANSYS-FLUENT programında iki farklı ağ hücresi bulunmaktadır. Yapılandırılmış ağ olarak tanımlanan hücreler dörtgen, yapılandırılmamış olanlar ise üçgen şeklindedir. Bu çalışmada, kare kesitli bina modelleri etrafındaki akış alanlarının üç boyutlu sayısal analizlerinde sıkça kullanılan yapılandırılmış dörtgen tabanlı üç boyutlu (hexahedral) ağ yapısı kullanılmıştır. Ağ yapıları ICEM CFD programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Bina modelleri etrafındaki iki boyutlu ağ yapıları, Şekil 3.7'de görüldüğü gibi model etrafında sıklaşan bir düzende oluşturulmuştur. Modelden uzak bölgelerde ise ağ yapısı

giderek seyrekleşmektedir. Kare kesitli ve köşe modifikasyonlu yüksek bina modelleri etrafındaki ağ yapılarının detaylarının görüldüğü şekillerde ağ düzenleri ok yönünde sıklaşmaktadır.



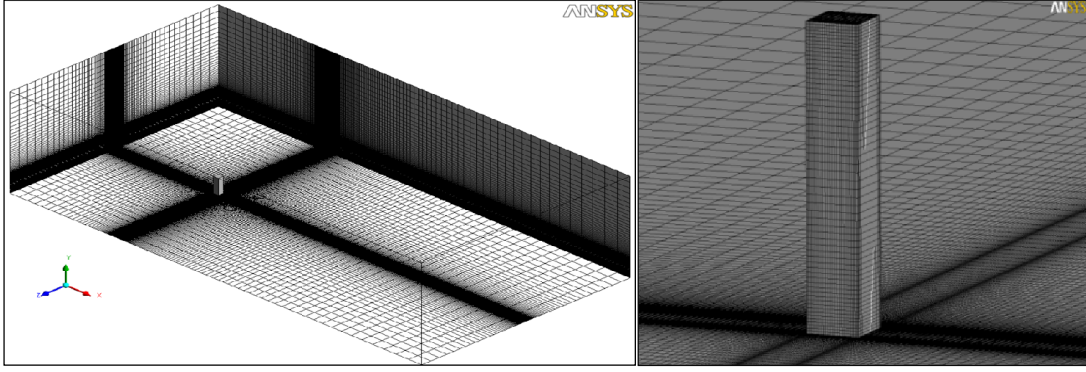
(a)



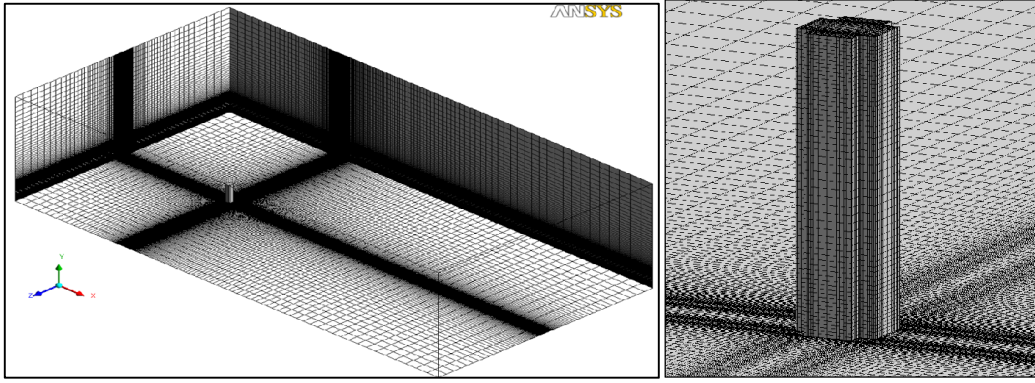
(b)

Şekil 3.7. Bina modelleri etrafındaki ağ düzenleri (a) kare kesitli bina (b) artı kesitli bina

Kare kesitli ve köşe modifikasyonlu yüksek bina modelleri etrafındaki ağ yapılarının üç boyutlu detaylı görüntüleri sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da verilmiştir. Her iki model etrafındaki akış alanında da, ağ sıklığının model yakınında arttığı, modelden uzak bölgelerde ise seyrekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.8. Kare kesitli yüksek bina modeli etrafında ağ yapısı



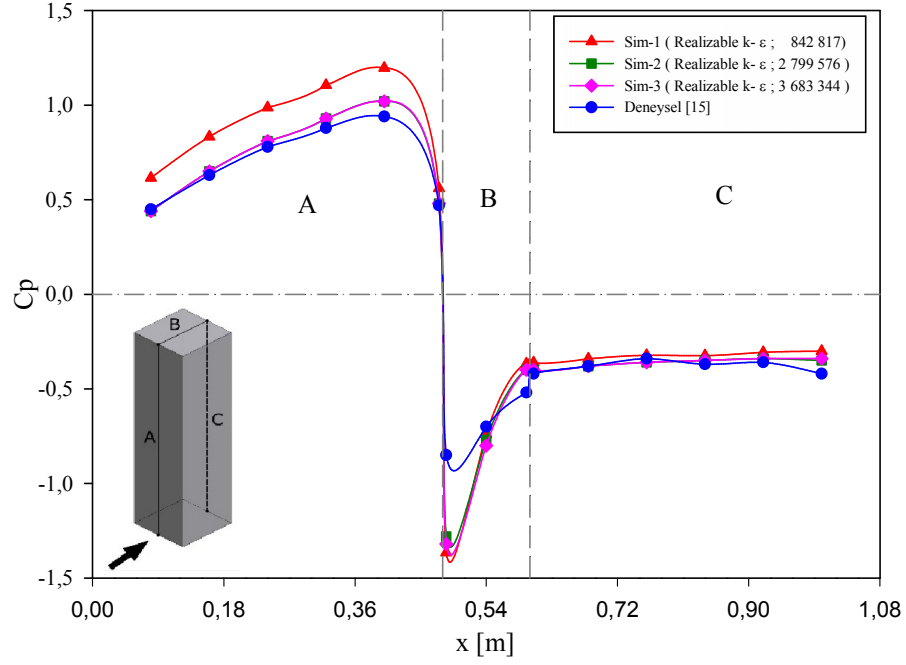
Şekil 3.9. Modifikasyonlu yüksek bina modeli etrafında ağ yapısı

Akış alanları, ağdan bağımsız çözümleri sağlamak için uygun hücre ve düğüm noktası sayısını belirlemek amacıyla üç farklı ağ yoğunluğunda oluşturulmuştur. Kare kesitli yüksek bina modeli etrafındaki akış alanında, üç farklı ağ yoğunluğu için Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Üç farklı ağ yoğunluğunda bina modeli yüzeylerinde hesaplanan basınç katsayıları, aynı modele ait deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Kullanılan ağ yoğunlukları için düğüm noktası ve hücre sayısı Tablo 3.1’de verilmiştir.

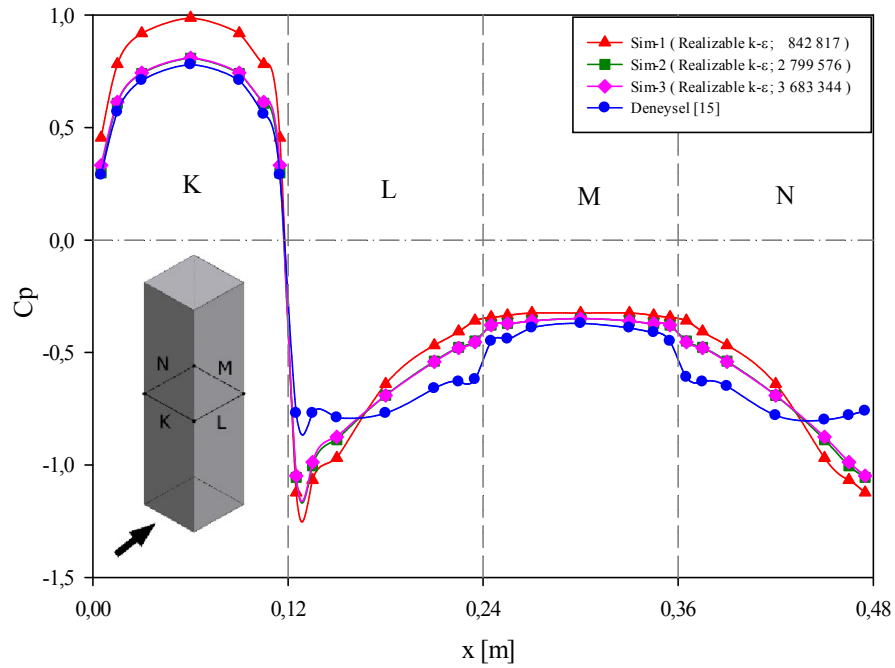
Tablo 3.1. Farklı ağ yoğunlukları için düğüm noktası ve hücre sayısı

	Nokta Sayısı	Hücre Sayısı	Çözüm Süresi
Kaba Ağ Düzeni	842 817	813 792	13 saat
Orta Ağ Düzeni	2 799 576	2 734 500	21 saat
Sık Ağ Düzeni	3 683 344	3 603 000	33 saat

Farklı ağ yoğunluklarında bina modeli yüzeylerinde boylamasına ve kare kesit boyunca hesaplanmış basınç katsayıları, aynı modele ait deneysel verilerle birlikte sırasıyla Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.10. Model yüzeyleri boyunca basınç katsayılarının değişimi



Şekil 3.11. $y=0,24$ m yükseklikteki kare kesit boyunca basınç katsayılarının değişimi

Kare kesitli modelin farklı yüzeylerinde hesaplanmış basınc katsayılarının farklı yoğunluktaki  ağ yapısında da aynı modele ait deneysel sonuçlarla benzerlik gösterdiği, ancak orta ve sık ağ düzenlerinde sayısal sonuçların deneysel verilerle daha uyumlu olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Tablo 3.11’de verilen çözüm süreleri değerlendirilerek, ağdan bağımsız çözümü sağlayan ve daha kısa sürede yakınsama sağlayan ‘‘orta ağ düzeni’’ çalışmanın tamamında uygulanacak ağ yoğunluğu olarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada elde edilen sayısal sonuçlar, hesaplanmış akış alanı görüntüleri, modeller etrafında ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri ve model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımları şeklinde değerlendirilmiştir.

4.1. Hesaplanmış Akış Alanları

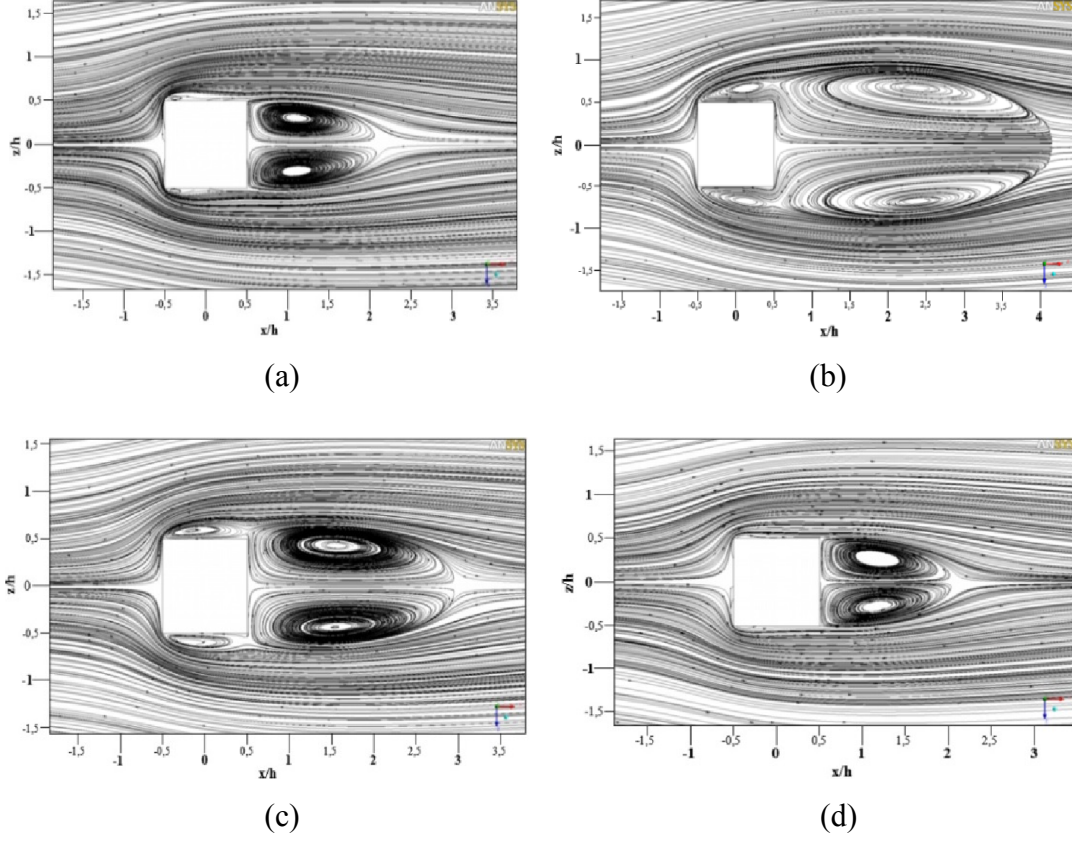
Çalışma kapsamında incelenen modeller etrafındaki akış yapıları, modellerin orta yükseklikteki kesitleri etrafında ve modeller üzerinde hesaplanmış iki boyutlu akış alanları şeklinde incelenmiştir. Standard k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve Standard k- ω türbülans modelleriyle farklı yüksek bina modelleri için hesaplanmış akış alanlarıyla, geometrik değişikliklerin akış yapıları üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

4.1.1. Kare Kesitli Yüksek Bina Modeli

Yüksek bina modelinin $y=0.24$ m seviyesindeki kare kesiti etrafında (xz-düzleminde) dört farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.1'de verilmiştir.

Kare kesit etrafında dört farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu, ancak oluşan girdap yapılarının boyutlarında farklılık olduğu görülmektedir. Kare kesitin ön kenarına gelen akış, durma noktasından itibaren yönlenerak ön köşelerden ayrılmakta ve akışa paralel durumdaki yan kenarlar üzerinde küçük ölçekli simetrik girdap bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılarak kare kesit arkasında birbirine göre ters yönde dönen simetrik girdap çiftlerini oluşturmaktadır. Standard k- ϵ ve Standard k- ω türbülans modelleri ile hesaplanan akış alanı yapılarının hemen hemen aynı olduğu ve girdap boyutlarının RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modeli sonuçlarına göre daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 4.1a,d). Kare kesit arkasında oluşan girdap boyutları RNG k- ϵ türbülans modelinde en büyük olmakta ve yan kenarlarda oluşan girdaplarla bütünleşik bir görüntü oluşturmaktadır (Şekil 4.1b). Kare kesitin yan kenarları üzerinde ve arkasında hesaplanmış girdap yapıları, Realizable k- ϵ türbülans modelinde daha düzgün bir

görüntüde oluşmakta ve literatürdeki benzer akış alanı görüntüleriyle daha iyi bir uyum sergilemektedir (Şekil 4.1c).

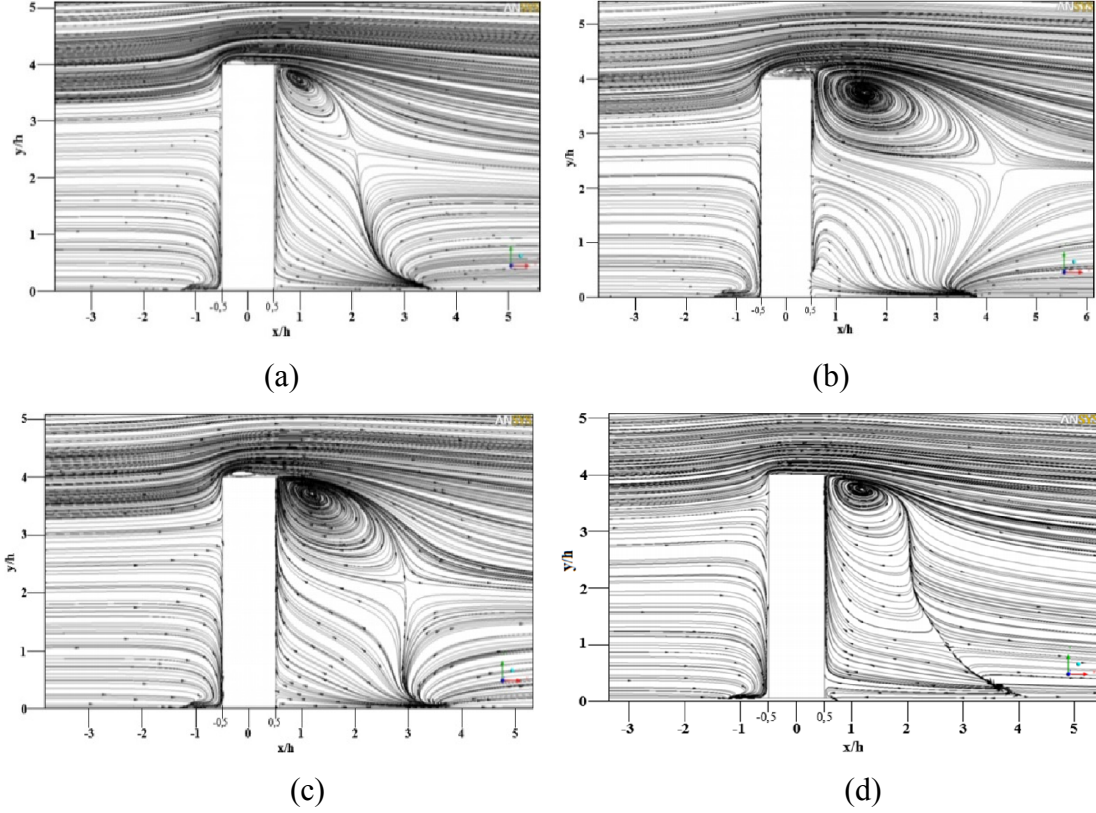


Şekil 4.1. $y=0.24$ m’de kare kesit etrafında hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$ (d) Standard $k-\omega$

Kare kesitli yüksek bina modelinin düşey orta düzlemi üzerinde ($z=2.46$ m’deki xy -düzleminde) dört farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.2’de görülmektedir. Model ön yüzüne gelen akış, model tabanından itibaren model yüksekliğinin $3/4$ ’ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenmektedir. Aşağı doğru yönlenmiş akış nedeniyle model tabanına yakın küçük ölçekli bir ters akış bölgesi oluşmaktadır. Yukarı doğru yönlenmiş akış ise, model ön üst köşesinden ayrılmakta ve model üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır.

Dört farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Model arkasında model yüksekliği seviyesinde oluşan girdap bölgeleri karşılaştırıldığında, en büyük girdap boyutunun RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli ile

hesaplandığı görülmektedir (Şekil 4.2b). Standard $k-\varepsilon$ ve Standard $k-\omega$ türbülans modelleri ile hesaplanan akış alanı yapılarının hemen hemen aynı olduğu ve girdap boyutlarının RNG $k-\varepsilon$ ve Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modeli sonuçlarına göre daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 4.2a,d).



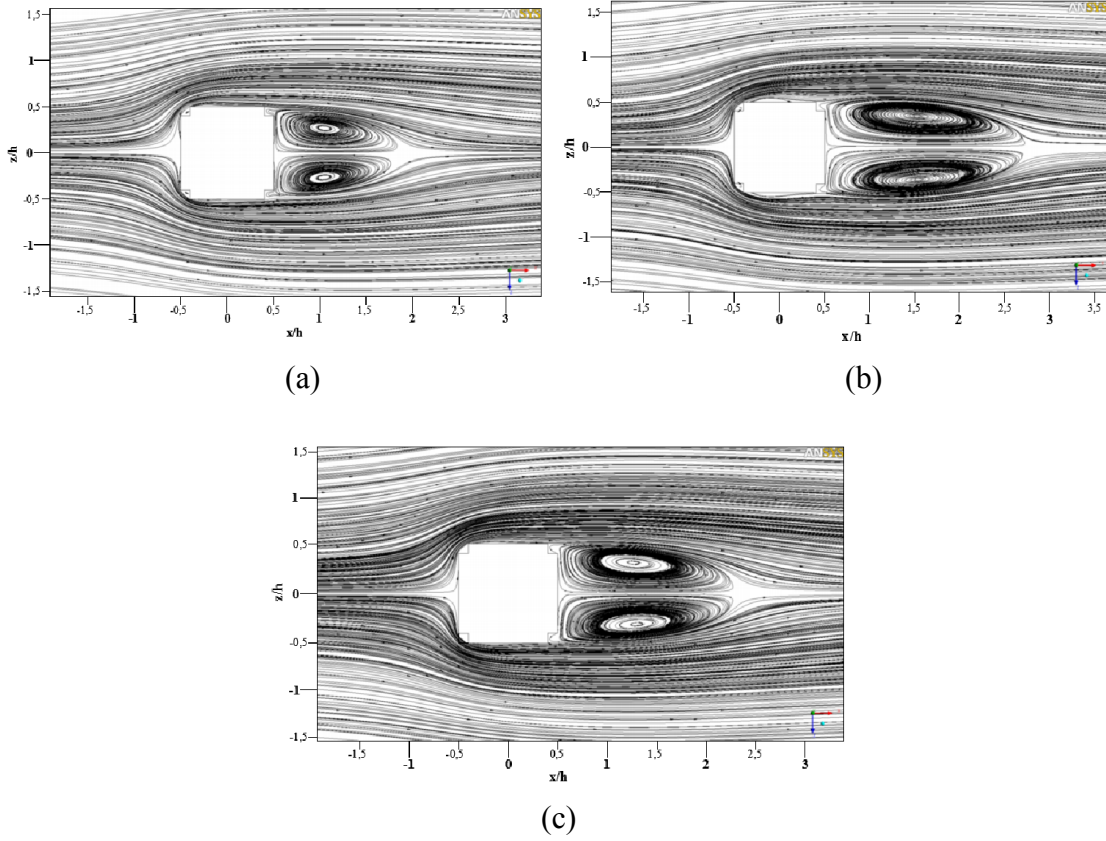
Şekil 4.2. $z=2.46$ m’de kare kesitli bina modeli üzerinde hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$ (d) Standard $k-\omega$

Standard $k-\varepsilon$ ve Standard $k-\omega$ türbülans modelleri ile hesaplanan akış alanı yapılarının benzerliği nedeniyle, modifiye edilmiş bina modellerinde Standard $k-\omega$ türbülans modeli hesaplanmış akış alanı görüntülerine yer verilmemiştir.

4.1.2. Artı - 1 Kesitli Yüksek Bina Modeli

Artı-1 kesitli yüksek bina modelinin $y=0.24$ m seviyesindeki kesiti etrafında (xz -düzleminde) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.3’de verilmiştir.

Artı-1 kesit etrafında üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu, ancak oluşan girdap yapılarının boyutlarında farklılık olduğu görülmektedir. Kare kesit etrafındaki akış yapısına benzer şekilde, artı-1 kesitin ön kenarına gelen akış, durma noktasından itibaren yönlenerak ön köşelerden ayrılmakta artı-1 kesit arkasında birbirine göre ters yönde dönen simetrik girdap çiftlerini oluşturmaktadır. Artı-1 kesit arkasında oluşan girdap çifti boyutları RNG k- ϵ türbülans modelinde en büyük olmaktadır. (Şekil 4.3b). Kare kesit kenarlarının her iki tarafında %10 oranında azaltma uygulanarak elde edilmiş artı-1 kesitin akış yapısında belirgin bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür.

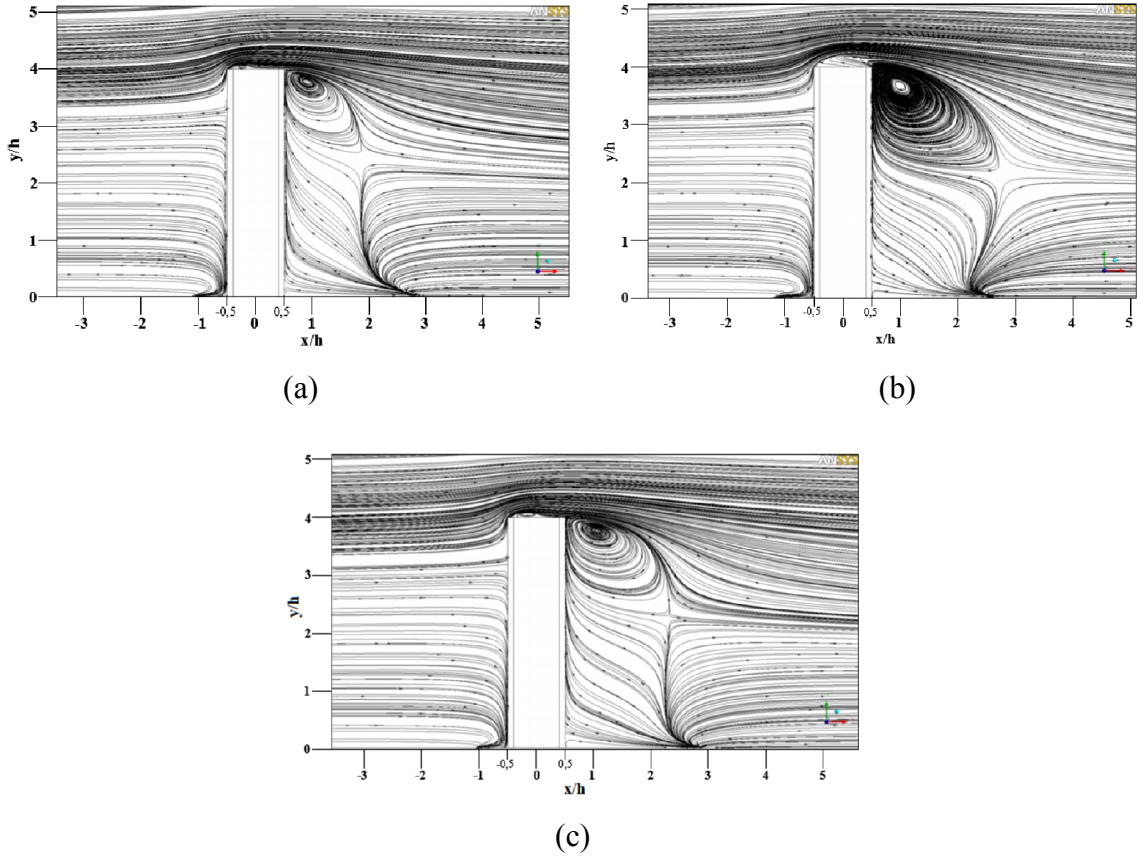


Şekil 4.3. $y=0.24$ m’de artı-1 kesit etrafında hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

Artı-1 kesitli yüksek bina modelinin düşey orta düzlemi üzerinde ($z=2.46$ m’deki xy-düzleminde) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.4’de görülmektedir.

Kare kesitli bina modeli üzerindeki akış yapısına benzer şekilde, model ön yüzüne gelen akış, model tabanından itibaren model yüksekliğinin 3/4'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren aşağı ve yukarı doğru yönelmektedir. Aşağı doğru yönelmiş akış nedeniyle model tabanına yakın küçük ölçekli bir ters akış bölgesi oluşmaktadır. Yukarı doğru yönelmiş akış ise, model ön üst köşesinden ayrılmakta ve model üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır.

Model arkasında model yüksekliği seviyesinde oluşan girdap bölgeleri karşılaştırıldığında, en büyük girdap boyutunun RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplandığı görülmektedir (Şekil 4.4b).



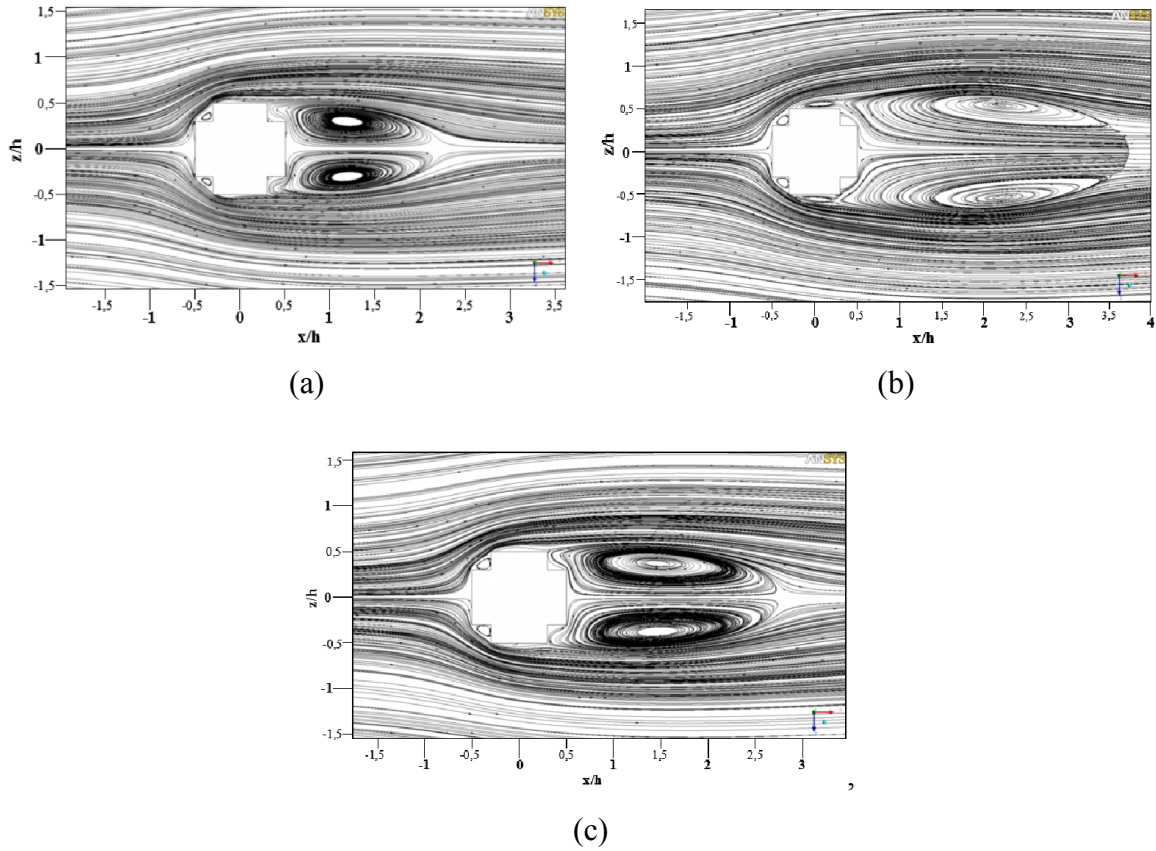
Şekil 4.4. $z=2.46$ m'de artı-1 kesitli bina modeli üzerinde hesaplanmış akış alanları
(a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

4.1.3. Artı - 2 Kesitli Yüksek Bina Modeli

Artı-2 kesitli yüksek bina modelinin $y=0.24$ m seviyesindeki kesiti etrafında (xz -düzleminde) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.5’de verilmiştir.

Artı-2 kesitin ön kenarına gelen akış, durma noktasından itibaren yönlenecek ön köşelerden ayrılmakta ve boşalmış köşelerde, akışa paralel kesit yan yüzeylerinde ve kesit arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Artı-2 kesit arkasında oluşan girdap çiftinin kesit arkasındaki boşalmış köşe bölgeleriyle bütünleşik bir yapıda olduğu görülmektedir. Artı-2 kesit arkasında oluşan girdap çifti boyutları RNG $k-\epsilon$ türbülans modelinde en büyük olmaktadır. (Şekil 4.5b).

Kare kesit kenarlarının her iki tarafında %20 oranında azaltma uygulanarak elde edilmiş artı-2 kesitin boşalmış köşeleri nedeniyle akış yapısında değişikliğe yol açtığı görülmüştür.

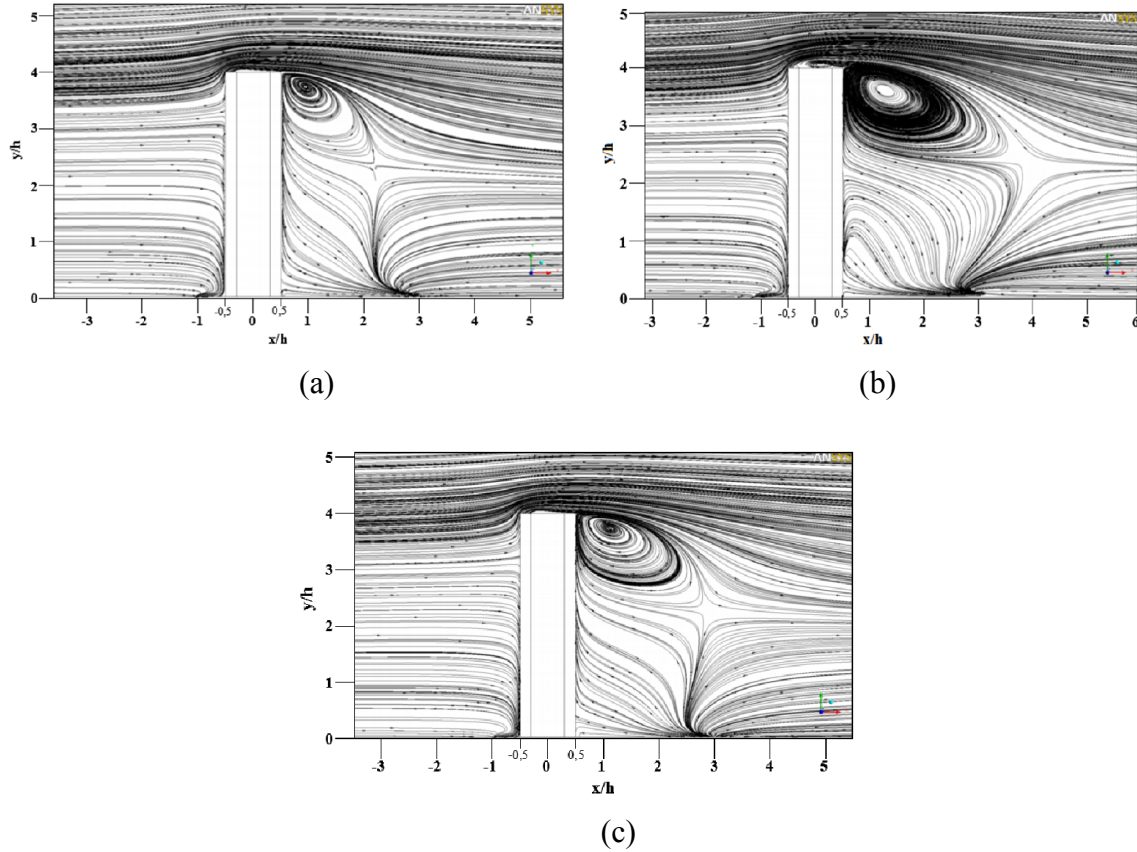


Şekil 4.5. $y=0.24$ m’de artı-2 kesit etrafında hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$

Artı-2 kesitli yüksek bina modelinin düşey orta düzlemi üzerinde ($z=2.46$ m'deki xy -düzleminde) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.6'de görülmektedir.

Kare kesitli bina modeli üzerindeki akış yapısına benzer şekilde, model ön yüzeyine gelen akış, model tabanından itibaren model yüksekliğinin $3/4$ 'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenecek akış nedeniyle model tabanına yakın küçük ölçekli bir ters akış bölgesi oluşmaktadır. Yukarı doğru yönlenecek akış ise, model ön üst köşesinden ayrılmakta ve model üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır.

Model arkasında model yüksekliği seviyesinde oluşan girdap bölgeleri karşılaştırıldığında, en büyük girdap boyutunun RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli ile hesaplandığı görülmektedir (Şekil 4.6b).



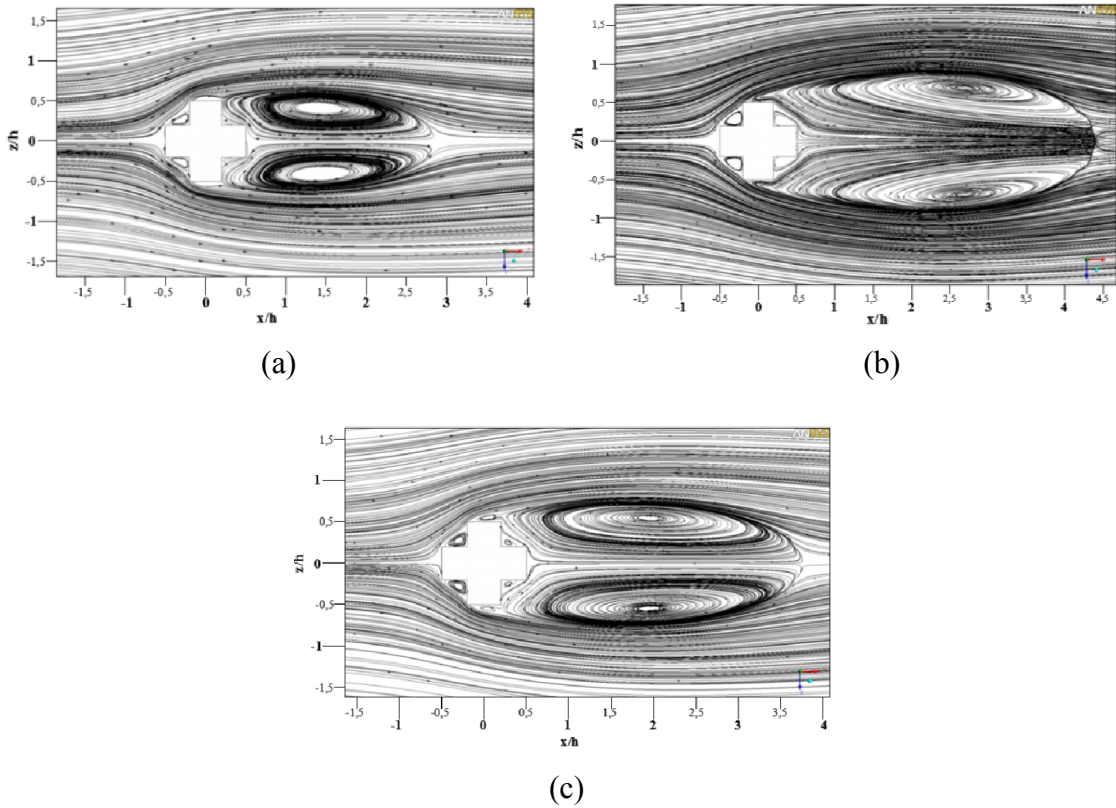
Şekil 4.6. $z=2.46$ m'de artı-2 kesitli bina modeli üzerinde hesaplanmış akış alanları
(a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$

4.1.4. Artı - 3 Kesitli Yüksek Bina Modeli

Artı-3 kesitli yüksek bina modelinin $y=0.24$ m seviyesindeki kesiti etrafında (xz -düzleminde) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.7’de verilmiştir.

Artı-3 kesitin ön kenarına gelen akış, durma noktasından itibaren yönlendirilerek ön köşelerden ayrılmakta ve artı-2 kesit etrafındaki akış yapısına benzer şekilde boşalmış kesit köşelerinde, akışa paralel kesit yan yüzeylerinde ve kesit arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Artı-3 kesit arkasında oluşan girdap çiftinin kesit arkasındaki boşalmış köşe bölgeleriyle oluşturduğu bütünleşik yapı kesit yan yüzeylerine doğru genişlemektedir. Artı-3 kesit arkasında oluşan girdap çifti boyutları RNG $k-\epsilon$ türbülans modelinde en büyük olmaktadır. (Şekil 4.7b).

Kare kesit kenarlarının her iki tarafında %30 oranında azaltma uygulanarak elde edilmiş artı-3 kesitin boşalmış köşelerinde oluşan ters akış bölgelerinin akış yapısında belirgin değişikliğe yol açtığı görülmüştür.

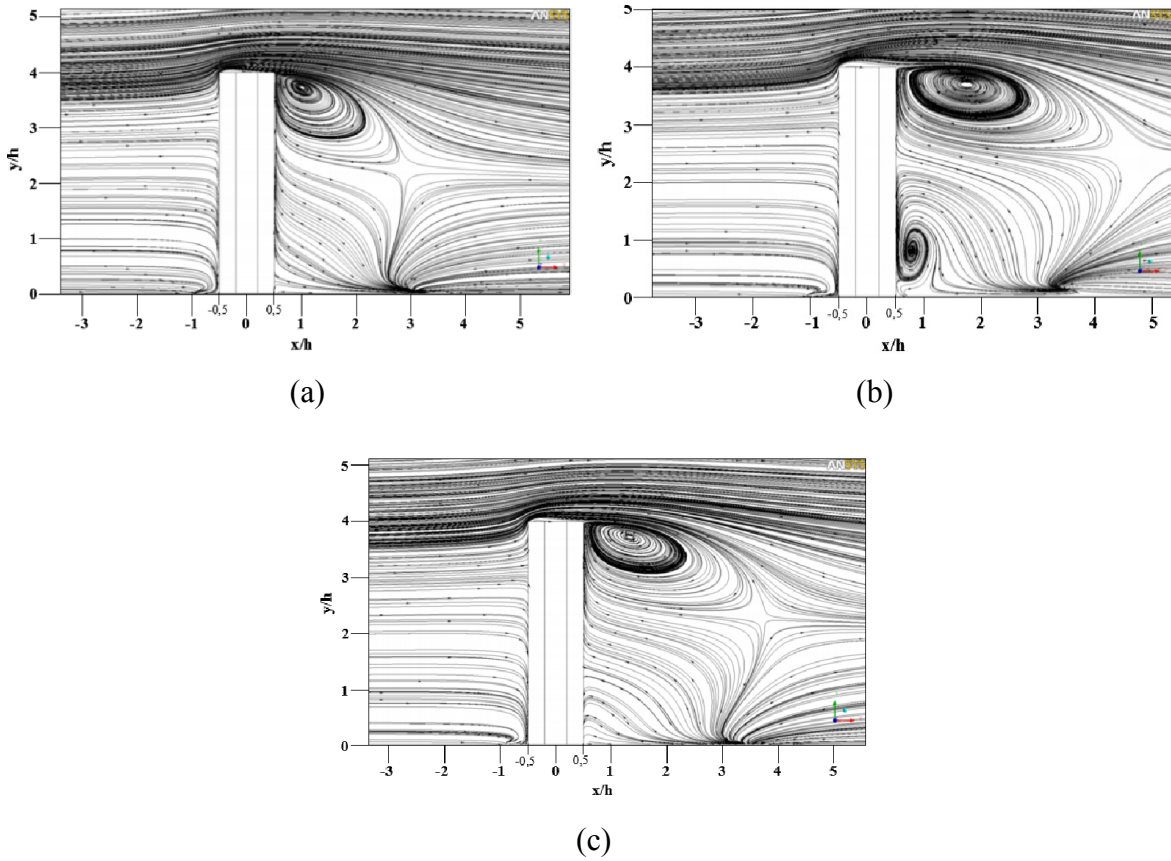


Şekil 4.7. $y=0.24$ m’de artı-3 kesit etrafında hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$

Artı-3 kesitli yüksek bina modelinin düşey orta düzlemi üzerinde ($z=2.46$ m'deki xy -düzleminde) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.8'de görülmektedir.

Diğer bina modelleri üzerindeki akış yapısına benzer şekilde, model ön yüzüne gelen akış, model tabanından itibaren model yüksekliğinin $3/4$ 'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenebilir akış nedeniyle model tabanına yakın küçük ölçekli bir ters akış bölgesi oluşmaktadır. Yukarı doğru yönlenebilir akış ise, model ön üst köşesinden ayrılmakta ve model üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır.

Model arkasında model yüksekliği seviyesinde oluşan girdap bölgeleri karşılaştırıldığında, en büyük girdap boyutunun RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli ile hesaplandığı ve bina modeli arkasında tabana yakın yeni bir girdap bölgesinin oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.8b).



Şekil 4.8. $z=2.46$ m'de artı-3 kesitli bina modeli üzerinde hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$

4.2. Ortalama Hız ve Türbülans Kinetik Enerji Profilleri

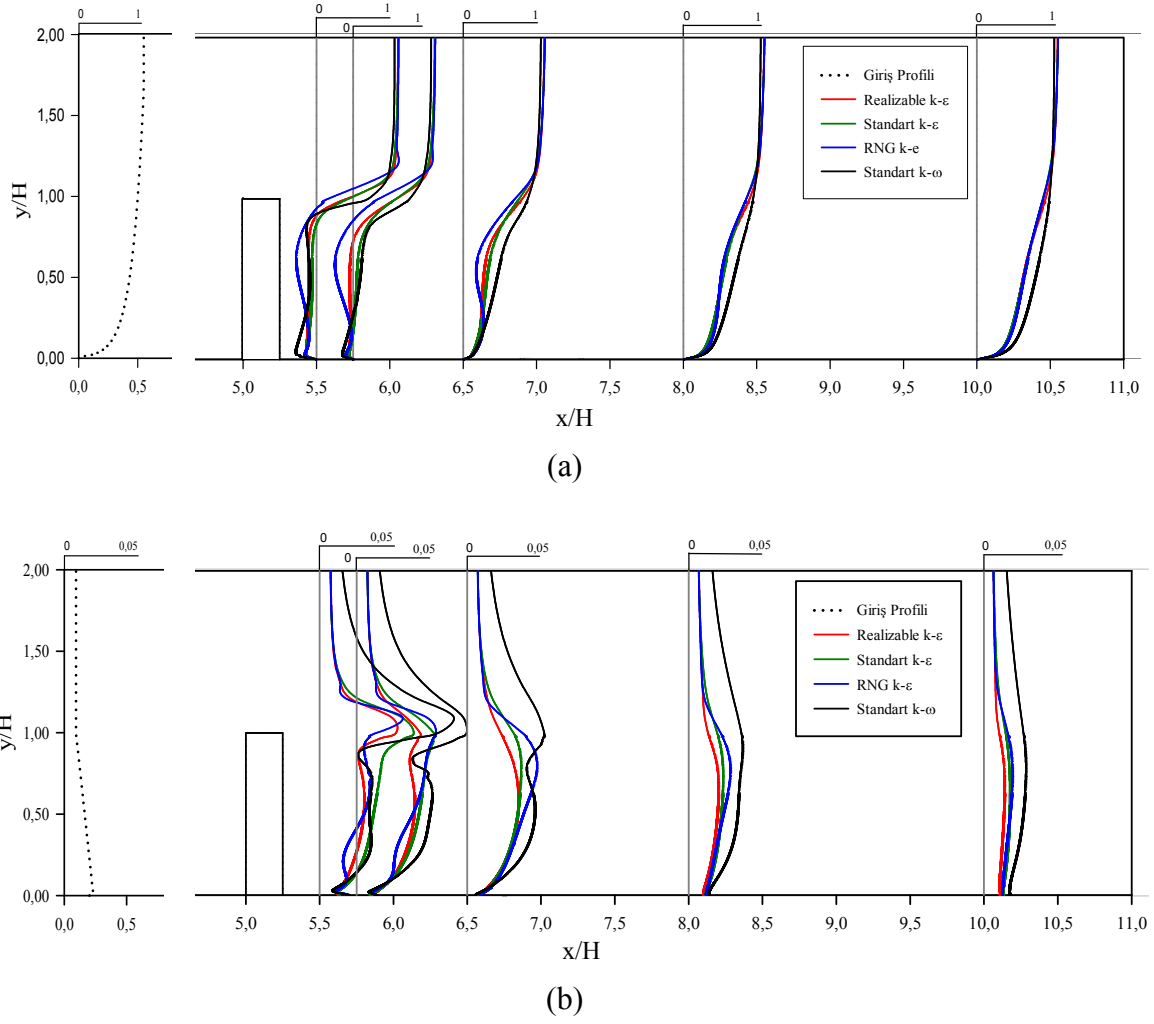
Yüksek bina modelleri etrafındaki akış yapılarının incelenmesi için, yatay ve düşey düzlemlerde farklı istasyonlarda dört farklı türbülans modeli ile ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri hesaplanmıştır. Model yüksekliğine bağlı Reynolds sayısı 350000 ve δ/H oranı 1.67 dir. Yatay ve düşey koordinatlar, x ve y , karakteristik model yüksekliği H ile boyutsuz yapılmıştır. Kare kesitli bina modeli için dört farklı türbülans modeli ile hesaplanan profiller, köşe modifikasyonlu modeller için üç farklı türbülans modeli ile sınırlı tutulmuştur.

4.2.1. Kare Kesitli Yüksek Bina Modeli

Kare kesitli yüksek bina modeli arkasında orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, Realizable $k-\epsilon$ ve Standard $k-\omega$ türbülans modelleriyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.9'da görülmektedir. Şekil 4.9a'da verilen ortalama hız profillerinden, model arkasında model yüksekliği seviyesinde bir ters akış bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Aynı istasyondaki türbülans kinetik enerji profilleri incelendiğinde, türbülans şiddetinin model yüksekliği seviyesinde aldığı en büyük değerler, serbest akış ve ters akış bölgesi arasındaki karışım tabakasının varlığını desteklemektedir (Şekil 4.9b).

Model arkasında ilerleyen istasyonlarda ortalama hız profillerinin formu, ters akış bölgesinin sonlandığını göstermektedir. Aynı istasyonlarda model yüksekliği seviyesindeki türbülans kinetik enerji değerlerinin de azaldığı görülmektedir.

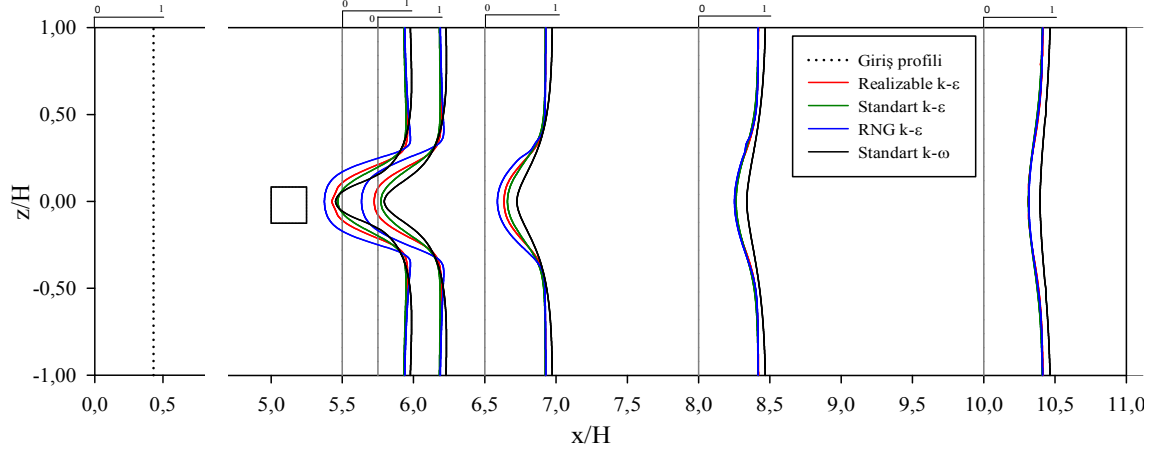
Dört farklı türbülans modeli ile hesaplanan profiller değerlendirildiğinde, Standard $k-\omega$ türbülans modeliyle hesaplanan profillerin diğer türbülans modelleriyle hesaplanan profillerden farklılaştığı görülmektedir. Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$ ve Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelleri ile hesaplanan profiller arasındaki benzerlik (uyum), ters akış bölgelerinde azalmaktadır.



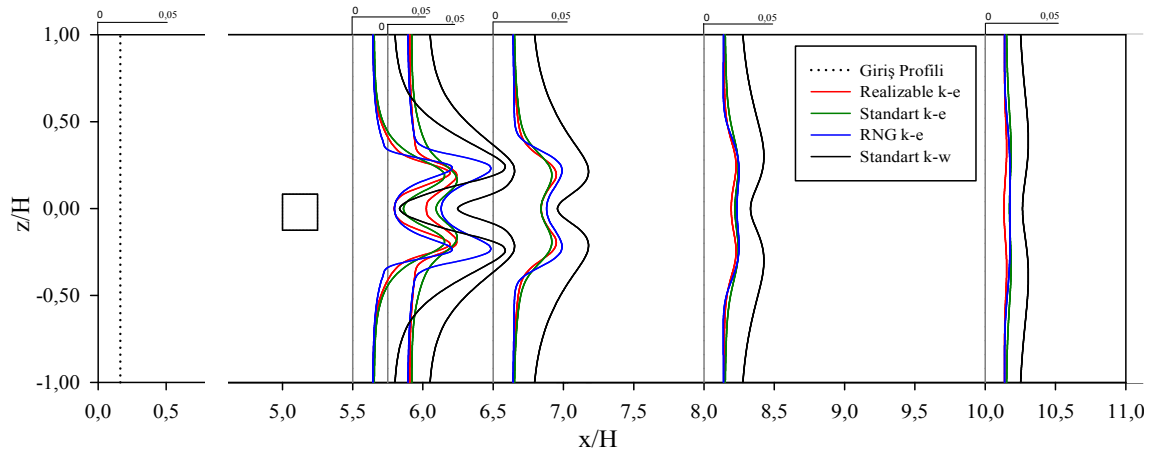
Şekil 4.9. Kare kesitli model orta eksenini boyunca düşey doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

Şekil 4.10'da, kare kesitli yüksek bina modeli arkasında, modelin yarı yüksekliği seviyesinde ($y=0.24$ m), yatay doğrultuda değişik istasyonlarda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri görülmektedir. Model arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerleri azalmaktadır (Şekil 4.10a). Akış yönünde ilerleyen istasyonlarda hız değerlerindeki azalma etkisini kaybetmektedir. Model arkasındaki türbülans kinetik enerji profillerinde, modelin her iki yanından kopan girdaplar nedeniyle türbülans kinetik enerji değerlerinde artışı ifade eden iki tepeli bir görüntü oluşmaktadır. Model arkasında ilerleyen istasyonlarda bu iki tepeli görüntü ortadan kalkmaktadır (Şekil 4.10b). Farklı türbülans modelleriyle elde edilmiş profiller incelendiğinde yine Standart $k-\omega$ türbülans modeliyle hesaplanan profillerin diğer türbülans modelleriyle hesaplanan profillerden farklılaştığı

görülmektedir. Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri ile hesaplanan profiller arasındaki küçük ölçekli farklar yine iz bölgesinde ortaya çıkmaktadır.



(a)



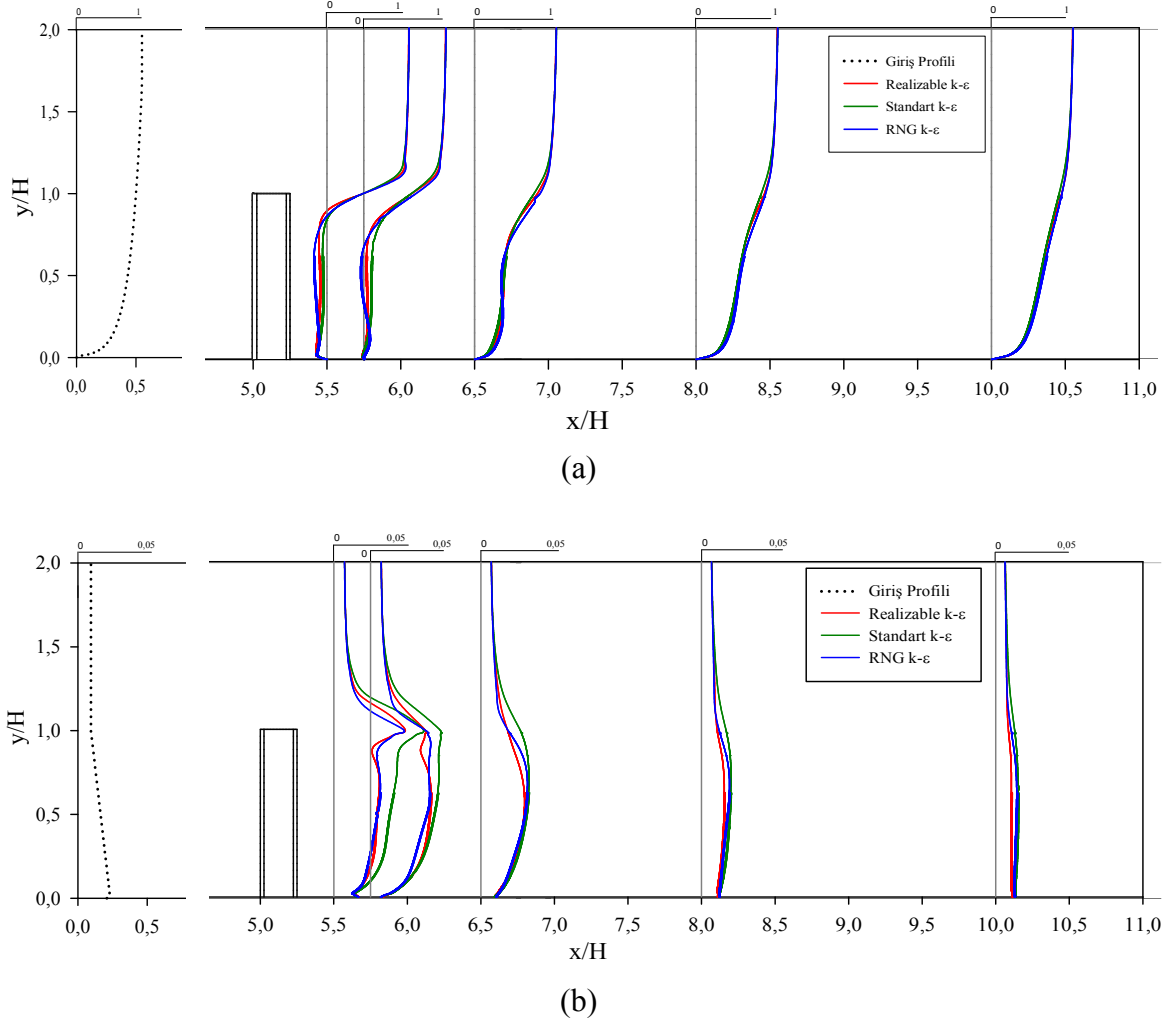
(b)

Şekil 4.10. Kare kesitli model orta yüksekliğinde ($y=0.24$ m) yatay doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerjisi

4.2.2. Artı - 1 Kesitli Yüksek Bina Modeli

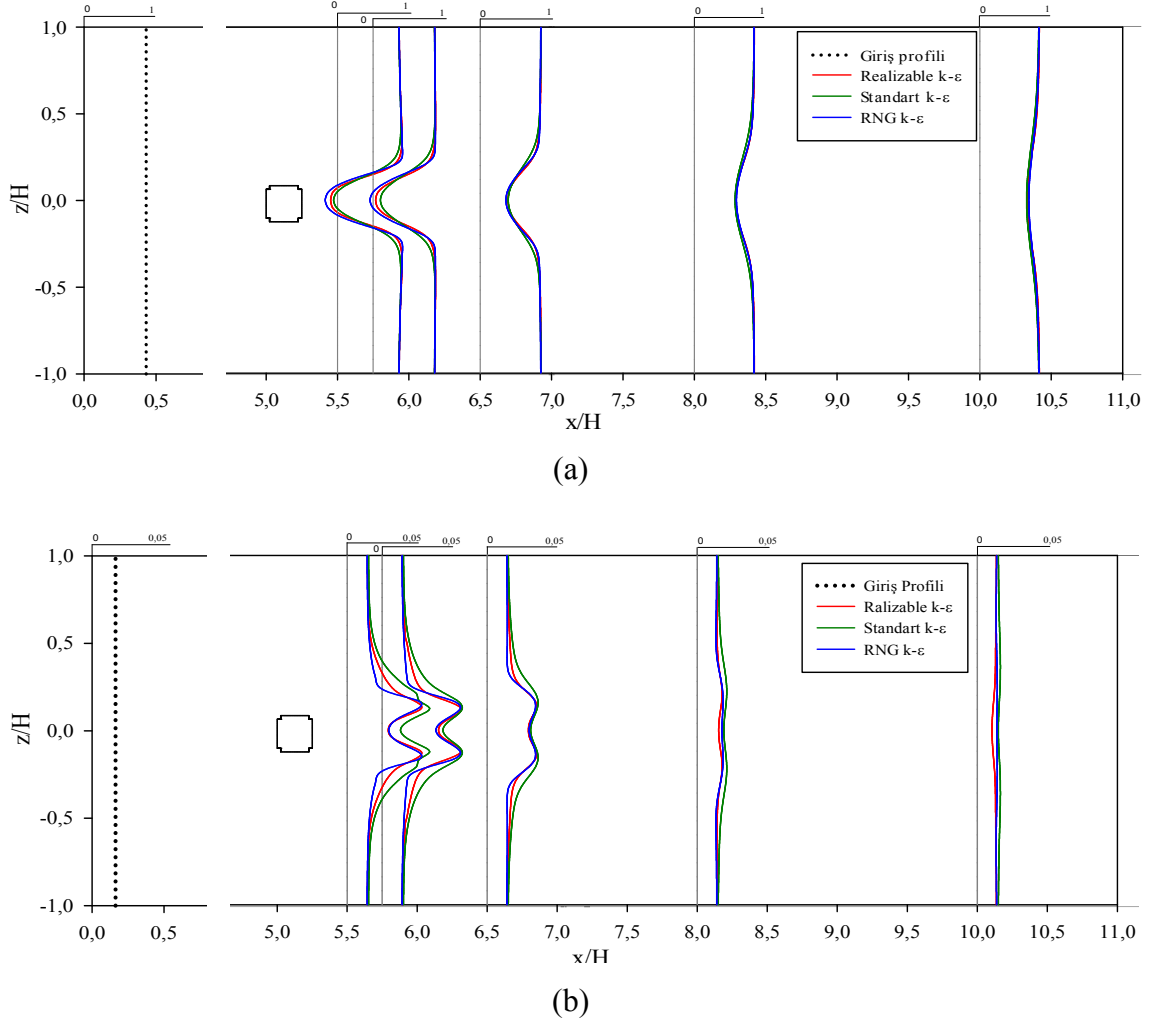
Artı-1 kesitli yüksek bina modeli arkasında orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleriyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.11’de görülmektedir. Kare kesitli model arkasındaki düşey profillere benzer şekilde, artı-1 model arkasında ters akış bölgesi oluştuğu, türbülans kinetik enerji değerlerinde model yüksekliği seviyesinde artış olduğu ve her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik

enerji profillerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Artı-1 kesit formunun kare kesite göre ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profillerinde bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür.



Şekil 4.11. Artı-1 kesitli model orta eksenini boyunca düşey doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

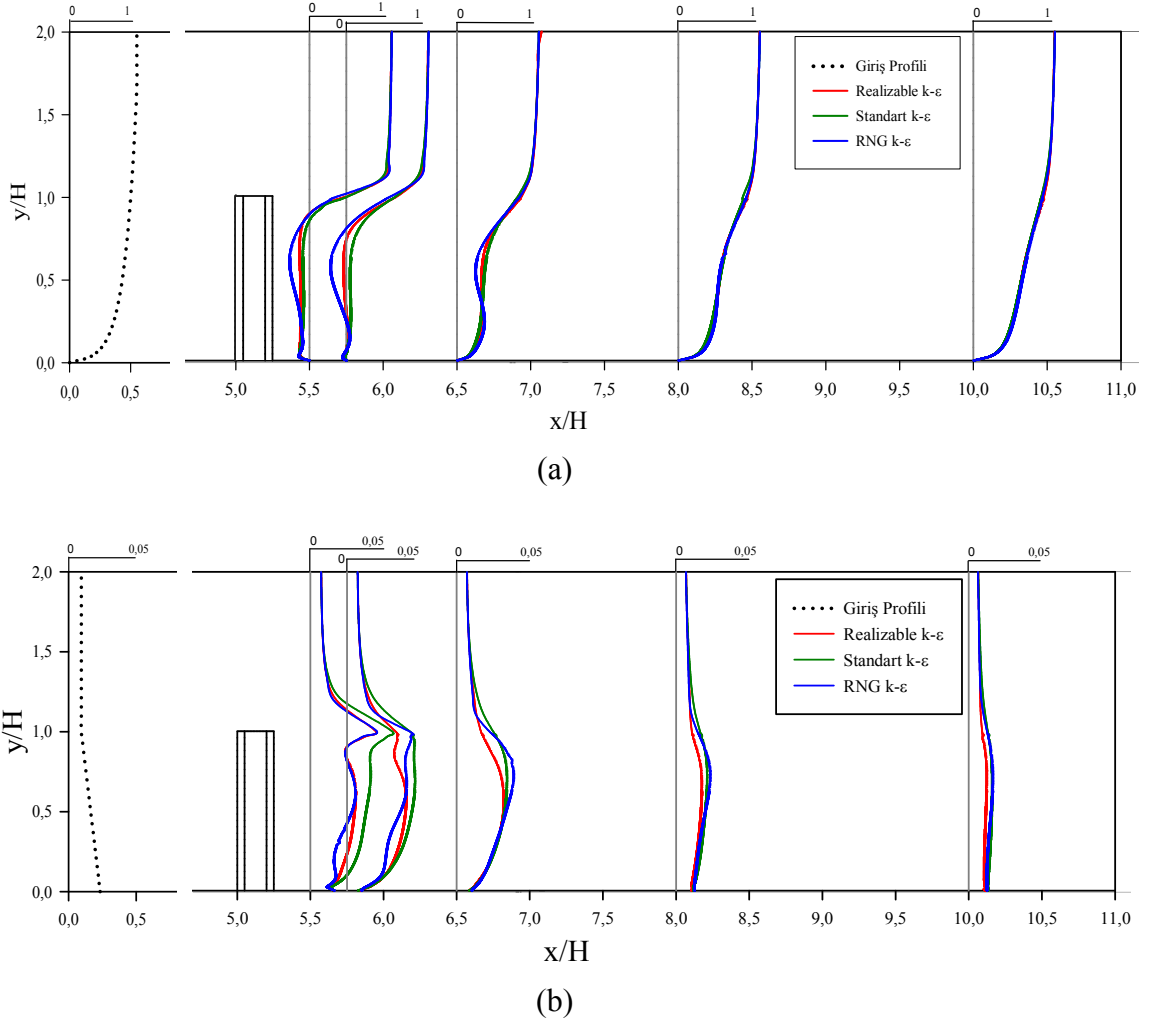
Şekil 4.12’de, artı-1 kesitli yüksek bina modeli arkasında, modelin yarı yüksekliği seviyesinde ($y=0.24$ m), yatay doğrultuda değişik istasyonlarda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri görülmektedir. Kare kesitli model arkasındaki yatay profillere benzer şekilde, artı-1 kesitli model arkasında oluşan iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı, modelin her iki yanından kopan girdaplar nedeniyle model arkasında türbülans kinetik enerji değerlerinde artışı olduğu ve her üç türbülans modeli ile hesaplanan sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. Artı-1 kesitli model orta yüksekliğinde ($y=0.24$ m) yatay doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

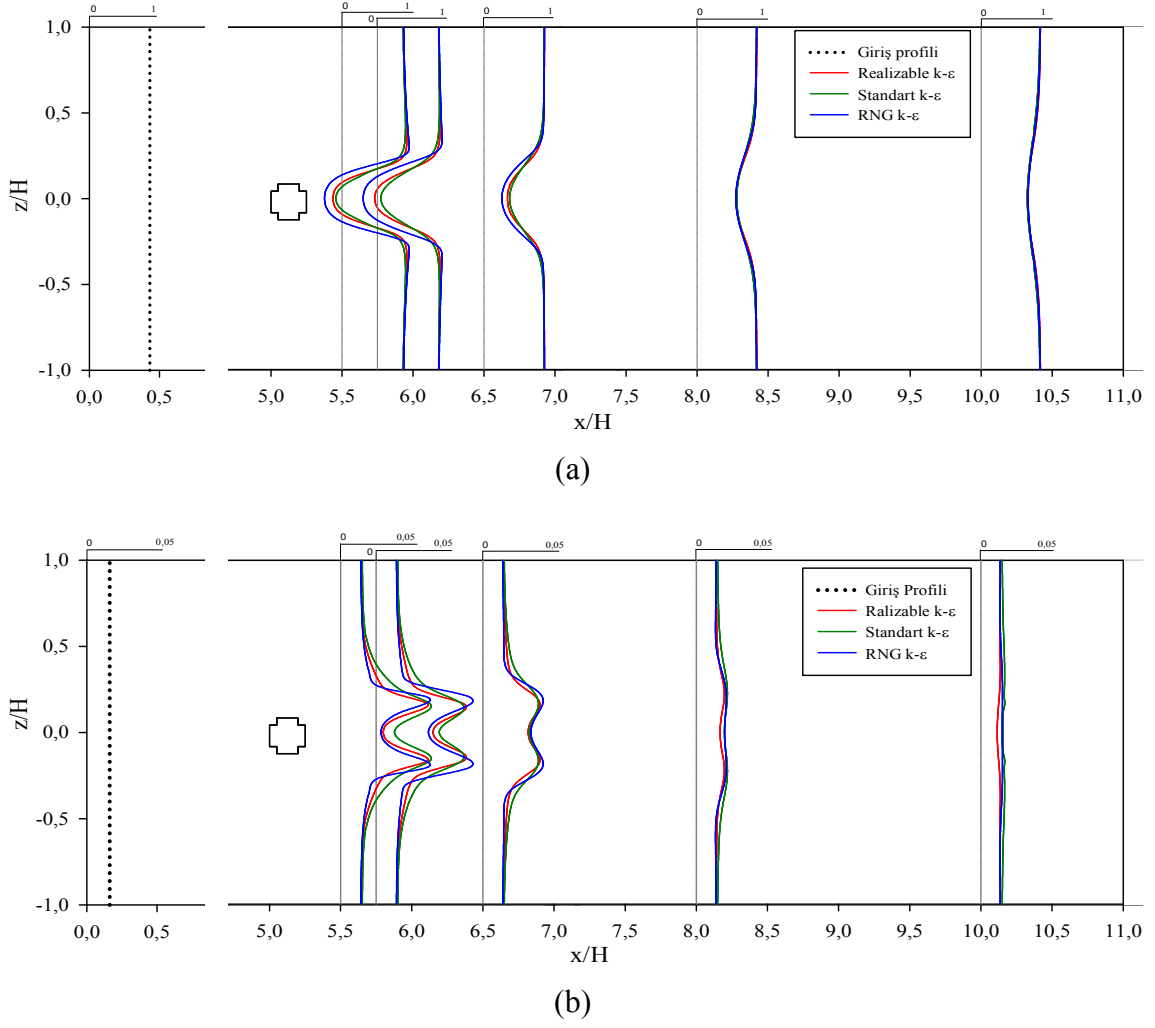
4.2.3. Artı - 2 Kesitli Yüksek Bina Modeli

Artı-2 kesitli yüksek bina modeli arkasında orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$ ve Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelleriyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.13’de görülmektedir. Kare ve artı-1 kesitli modeller arkasındaki düşey profillere benzer şekilde, artı-2 model arkasında ters akış bölgesi oluştuğu, türbülans kinetik enerji değerlerinde model yüksekliği seviyesinde artış olduğu ve her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profillerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Artı-2 kesit formunun kare ve artı-1 kesitlere göre ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profillerinde belirgin bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür.



Şekil 4.13. Artı-2 kesitli model orta eksenli boyunca düşey doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

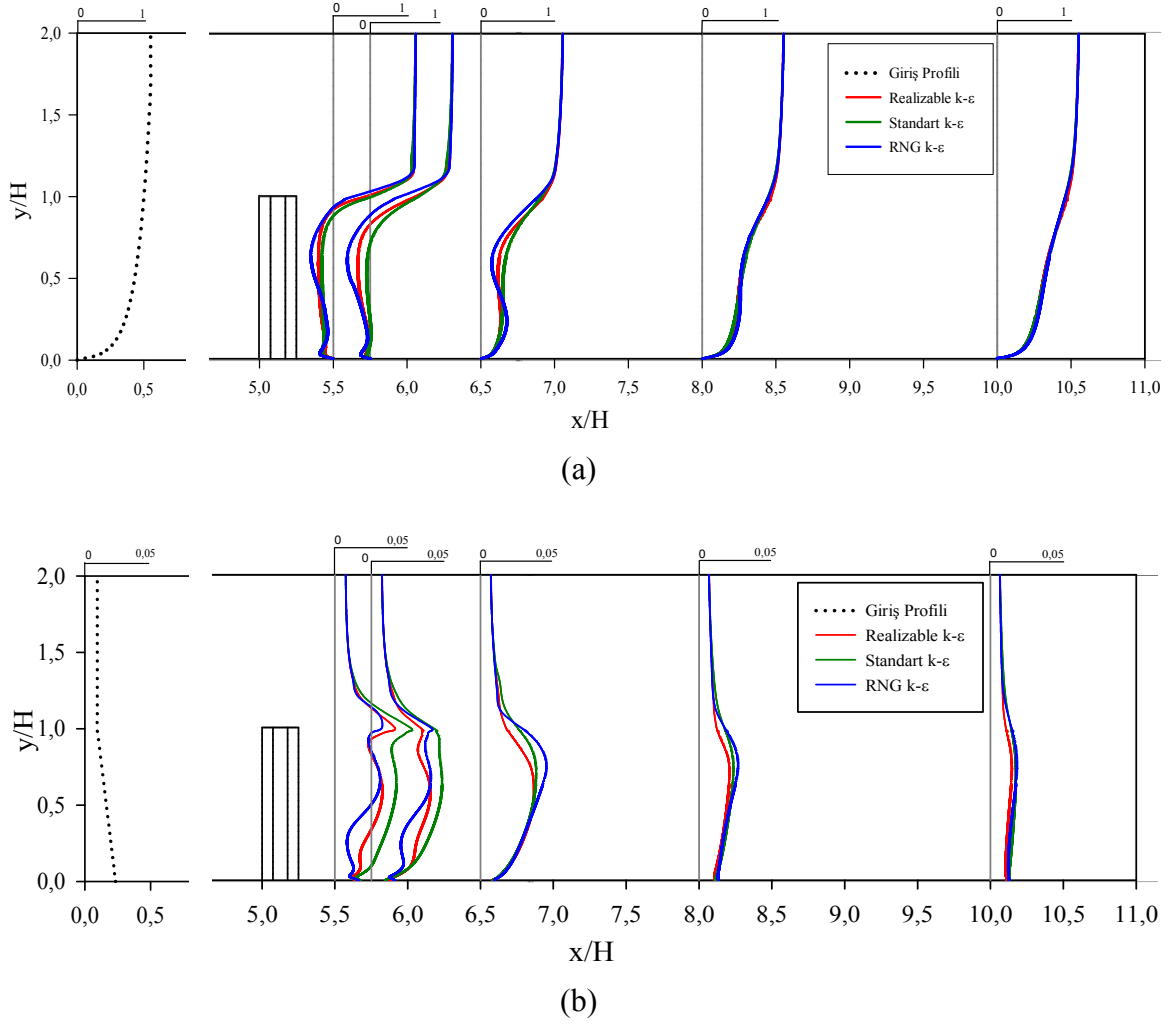
Şekil 4.14'de, artı-2 kesitli yüksek bina modeli arkasında, modelin yarı yüksekliği seviyesinde ($y=0.24$ m), yatay doğrultuda değişik istasyonlarda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri görülmektedir. Kare ve artı-1 kesitli modeller arkasındaki yatay profillere benzer şekilde, artı-2 kesitli model arkasında oluşan iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı, modelin her iki yanından kopan girdaplar nedeniyle model arkasında türbülans kinetik enerji değerlerinde artışı olduğu ve her üç türbülans modeli ile hesaplanan sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14. Artı-2 kesitli model orta yüksekliğinde ($y=0.24$ m) yatay doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

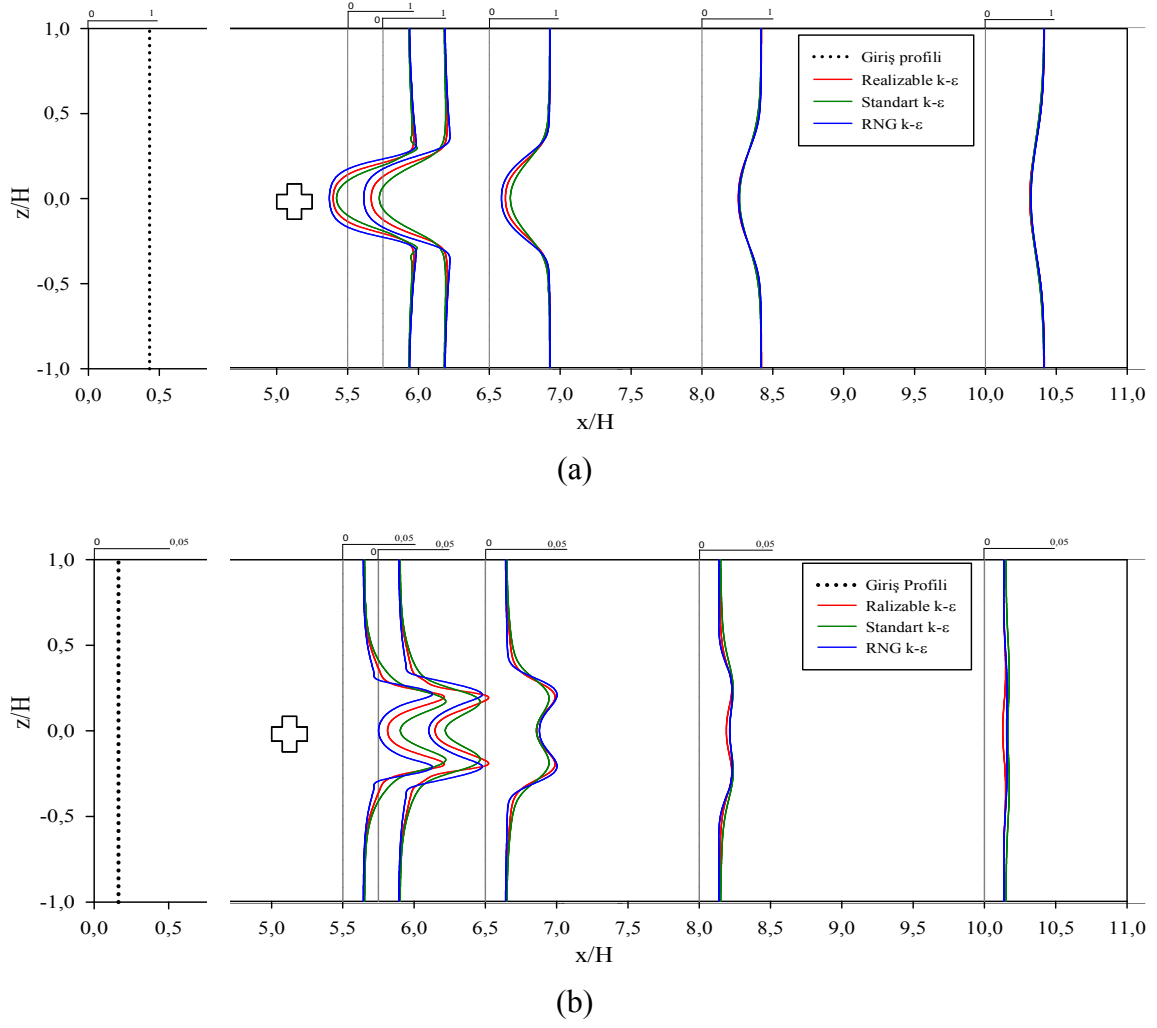
4.2.4. Artı - 3 Kesitli Yüksek Bina Modeli

Artı-3 kesitli yüksek bina modeli arkasında orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$ ve Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelleriyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.15’de görülmektedir. Diğer modeller arkasındaki düşey profillere benzer şekilde, artı-3 model arkasında ters akış bölgesi oluştuğu ve türbülans kinetik enerji değerlerinde model yüksekliği seviyesinde artış olduğu görülmektedir. Hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profillerinin ters akış bölgesinde türbülans modelinden etkilendiği görülmektedir.



Şekil 4.15. Artı-3 kesitli model orta eksenini boyunca düşey doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

Şekil 4.16'da, artı-3 kesitli yüksek bina modeli arkasında, modelin yarı yüksekliği seviyesinde ($y=0.24$ m), yatay doğrultuda değişik istasyonlarda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri görülmektedir. Diğer modeller arkasındaki yatay profillere benzer şekilde, artı-3 kesitli model arkasında oluşan iz bölgesinde ortalama hız değerlerinin azaldığı, modelin her iki yanından kopan girdaplar nedeniyle model arkasında türbülans kinetik enerji değerlerinde artışı olduğu ve her üç türbülans modeli ile hesaplanan sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.16. Artı-3 kesitli model orta yüksekliğinde ($y=0.24$ m) yatay doğrultuda hesaplanan profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

4.3. Model Yüzeylerinde Basınç Dağılımları

Tez kapsamında incelenen yüksek bina modellerinin yüzeylerindeki basınç dağılımları, ΔP , yüzey basıncı ve ortam basıncı arasındaki fark olmak üzere,

$$C_p = \frac{\Delta P}{0.5\rho U^2} \quad (4.1)$$

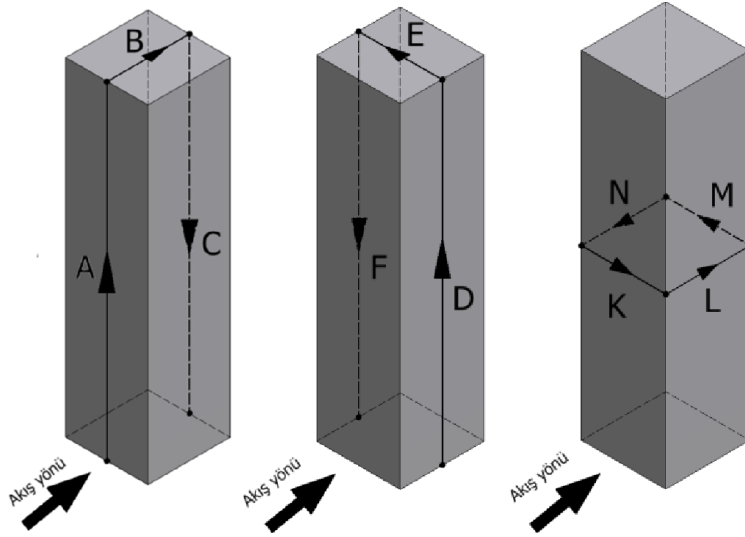
şeklinde tanımlanan yüzey basınç katsayısı cinsinden verilmiştir.

Standard k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve Standard k- ω türbülans modelleriyle hesaplanan basınç katsayıları, model yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç

dağılımları, model kesitlerinin kenarları boyunca basınç dağılımları ve model yüzeylerinde eş basınç alanları şeklinde değerlendirilmiştir.

Literatürde, bu çalışma kapsamında incelenen bina modellerinden biri olan kare kesitli yüksek bina modeline ait yüzey basıncı ölçümleri mevcuttur. Hunte [15] tarafından rüzgar tüneli deneyleriyle elde edilen bu ölçümler, dört farklı türbülans modeliyle hesaplanmış sonuçlarla karşılaştırılarak türbülans modellerinin hassasiyetleri test edilmiştir. Köşe modifikasyonlu bina modellerine ait deneysel yüzey basınç dağılımları mevcut olmadığından, bu modellere yönelik çalışmalar farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış ortalama basınç katsayıları ile sınırlı tutulmuştur.

Yatay ve düşey düzlemlerde model yüzeylerinde basınç katsayılarının hesaplandığı doğrultular Şekil 4.17’de kare kesitli bina modeli üzerinde görülmektedir. Buna göre, düşey düzlemde basınç dağılımları, bina yüzeylerinin orta eksenleri boyunca devam eden hatlar üzerindeki değerlere göre oluşmuştur. Yatay düzlemde ise, model tabanından itibaren $y=0,16$ m, $y=0,24$ m, $y=0,32$ m, $y=0,4$ m ve $y=0,475$ m yüksekliklerdeki kesitler için kesit kenarları boyunca basınç dağılımları elde edilmiştir. Köşe modifikasyonlu bina modellerinde de basınç dağılımları aynı doğrultularda ve konumlarda elde edilmiştir.



Şekil 4.17. Bina modeli yüzeylerinde basınç katsayılarının hesaplandığı doğrultular

4.3.1. Kare Kesitli Yüksek Bina Modeli

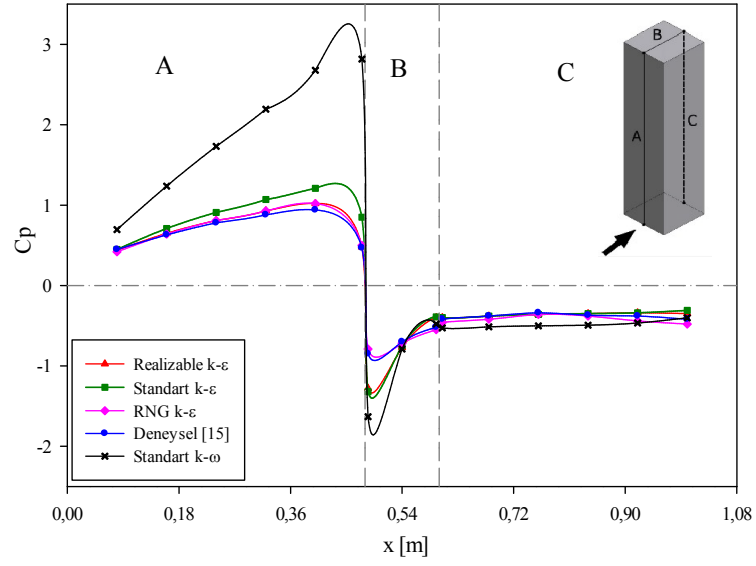
Kare kesitli yüksek bina modeli yüzeylerindeki basınç dağılımlarını incelemek amacıyla Standard k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve Standard k- ω türbülans modelleri kullanılarak ortalama basınç katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan basınç katsayıları, aynı bina modeline ait deneysel basınç katsayılarıyla karşılaştırılmıştır.

Düşey düzlemde kare kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca devam eden hatlar üzerinde farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları, aynı hattaki deneysel sonuçlarla birlikte Şekil 4.18'de verilmiştir.

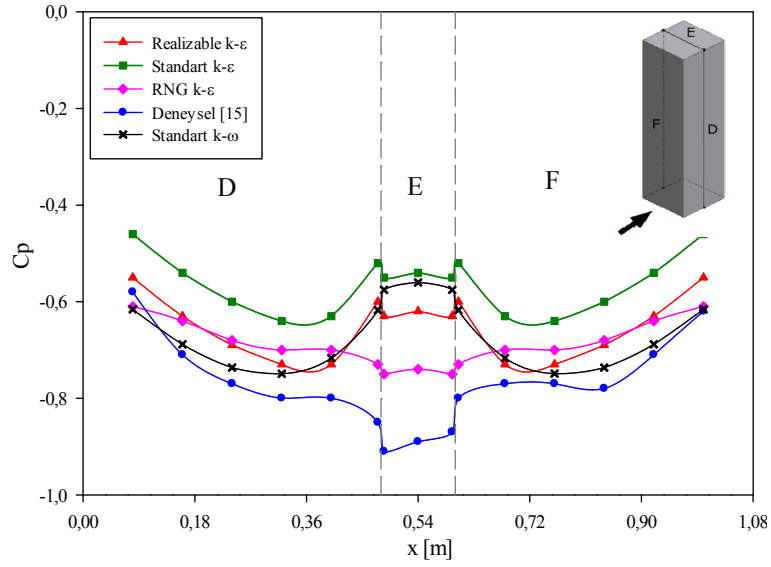
Şekil 4.18a'da görüldüğü gibi rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeyde (A) itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır. Binanın ön yüzeyinin üst kenarından ayrılan akış nedeniyle bina düz çatısı üzerinde (B) ve arka duvarda (C) negatif bir basınç alanı oluşmaktadır. Çatı ön kenarından ayrılan akış çatı yüzeyine tekrar tutunduktan sonra arka yüzeyden tekrar ayrılmaktadır. Bina arkasında meydana gelen ters akış nedeniyle arka duvar emme etkisi altında olup bu yüzeyde aynı değerlerde negatif basınç katsayıları oluşmaktadır. En kritik negatif basınçlar, çatı ön kenarından ayrılmış akış bölgesinde oluşmakta ve çatı üzerinde ilerledikçe aşamalı olarak azalmaktadır.

Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri ile hesaplanan basınç katsayılarının deneysel verilerle genel olarak uyumlu olduğu, ancak Standard k- ω türbülans modelinin basınç katsayılarını daha büyük değerler olarak hesapladığı görülmektedir. k- ϵ türbülans modelinin üç farklı türü ile hesaplanmış basınç katsayıları değerlendirildiğinde, deneysel verilere en yakın sonuçların RNG k- ϵ türbülans modeli ile elde edildiği görülmüştür. RNG k- ϵ türbülans modelinin başarısı özellikle çatı üzerindeki basınç dağılımında ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.18b'de görüldüğü gibi, model yan duvarları (D ve F) ve model çatısı (E) tamamen negatif basınç etkisi altındadır. Modelin her iki yan duvarında hesaplanan basınç dağılımlarının simetrik olduğu görülmektedir. Farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımlarının birbirine yakın olduğu, ancak RNG k- ϵ türbülans modeli sonuçlarının deneysel verilerle daha uyumlu olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.18. Kare kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç katsayıları (a) ön, üst ve arka yüzey (b) sağ, üst ve sol yüzey

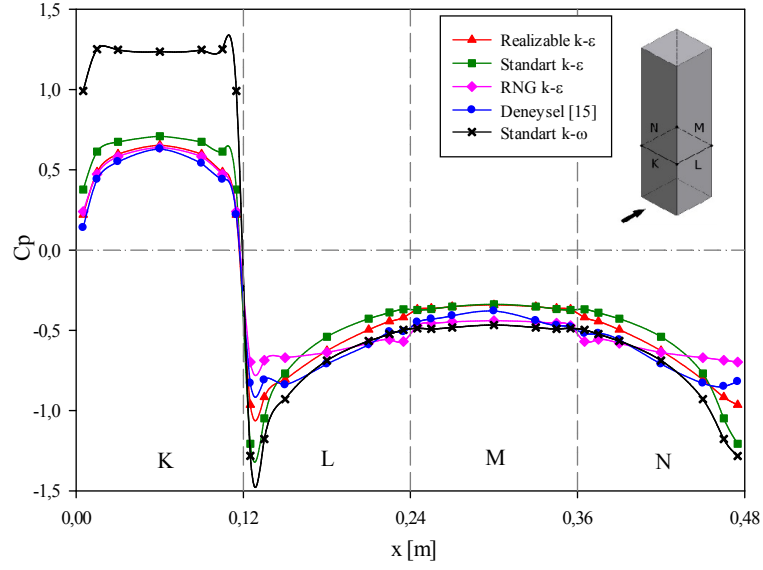
Model tabanından itibaren $y=0.16$ m, $y=0.24$ m, $y=0.32$ m, $y=0.4$ m ve $y=0.475$ m yüksekliklerdeki kesitlerde kesit kenarları boyunca farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları deneysel verilerle karşılaştırmalı olarak Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekil 4.19a'da $y=0.16$ m'deki kesit kenarları boyunca basınç dağılımları incelendiğinde, akışa doğrudan maruz kalan ön duvarda (K) itme etkisinden dolayı pozitif basınç katsayılarının, yan (L ve N) ve arka duvarda (M) ise emme etkisinden dolayı negatif

basınç katsayılarının oluştuğu görülmektedir. Model yan yüzeylerinde oluşan negatif basınç katsayıları, arka yüzeyde oluşan negatif basınç katsayılarından daha yüksek olmaktadır. Model ön yüzeyinin yan kenarlarından ayrılan akış nedeniyle, yan yüzeylerdeki ayrılmış akış bölgelerinde negatif pik basınç katsayısı değerleri meydana gelmektedir. k- ϵ türbülans modellerinin genel olarak basınç dağılımlarını deneysel verilere yakın hesapladığı görülmektedir. Standard k- ω türbülans modeli bina ön yüzünde oluşan pozitif basınç katsayılarını diğer türbülans modellerine ve deneysel verilere göre çok daha büyük olarak hesaplamaktadır. RNG k- ϵ türbülans modeli dışındaki tüm türbülans modelleri ayrılmanın gerçekleştiği bölgelerdeki kritik emme basıncı değerlerini deneysel verilere göre oldukça büyük hesaplamışlardır.

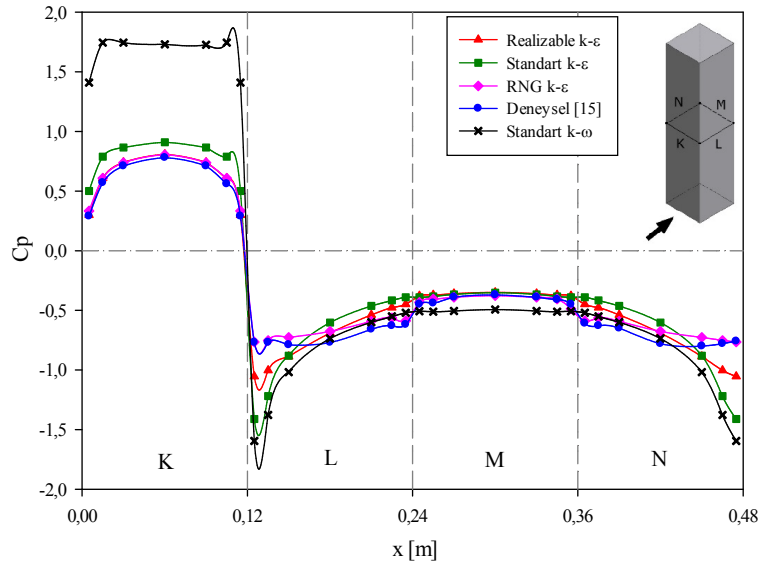
y=0.24 m, 0.32 m ve 0.4 m yüksekliklerdeki kesitler için basınç dağılımlarının y=0.16 m yükseklikteki kesite ait basınç dağılımıyla hemen hemen aynı oldukları görülmektedir (Şekil 4.19b, c ve d).

Bina çatısına çok yakın olan y = 0.475 m yükseklikteki kesite ait basınç dağılımının, serbest uç etkisi (çatı ön kenarından ayrılan akışın etkisi) nedeniyle diğer kesitlere ait dağılımlardan farklılaştığı ve hem ön yüzeyde hem de yan ve arka yüzeylerde basınç katsayılarının yaklaşık üniform olduğu görülmektedir (Şekil 4.19e).

Kare kesitli bina modelinin yüzeyleri üzerinde yatay ve düşey doğrultularda farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları değerlendirildiğinde, Standard k- ω türbülans modelinin diğer türbülans modellerine göre daha başarısız olduğu ve deneysel verilerle en iyi uyumun RNG k- ϵ türbülans modeli ile sağlandığı görülmüştür. Standard k- ω türbülans modelinin yetersizliği nedeniyle, köşe modifikasyonlu bina modellerinde çözümler k- ϵ türbülans modelleriyle sınırlı tutulmuştur.



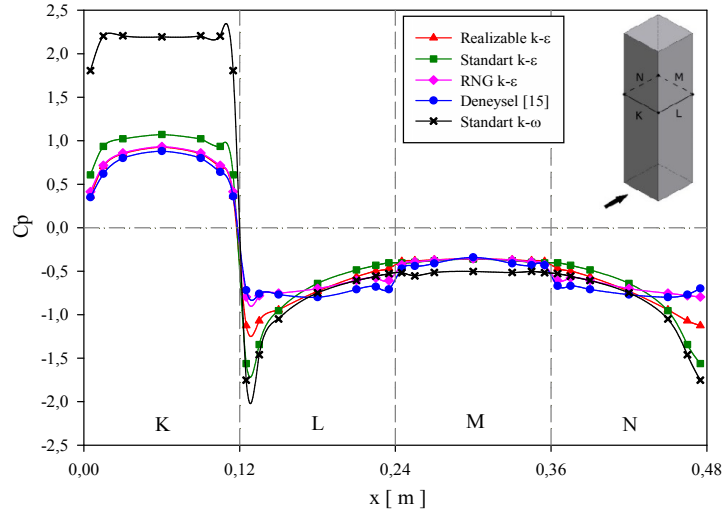
(a)



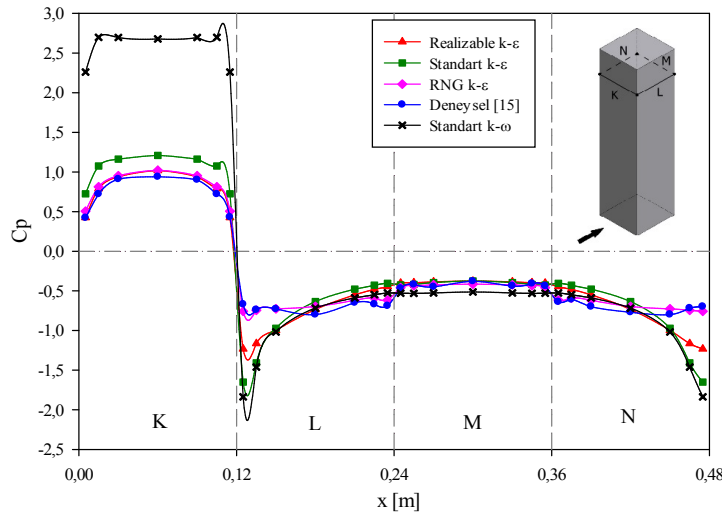
(b)

Şekil 4.19. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca basınç dağılımları (a) $y=0.16$ m (b) $y=0.24$ m (c) $y=0.32$ m (d) $y=0.4$ m (e) $y=0.475$ m

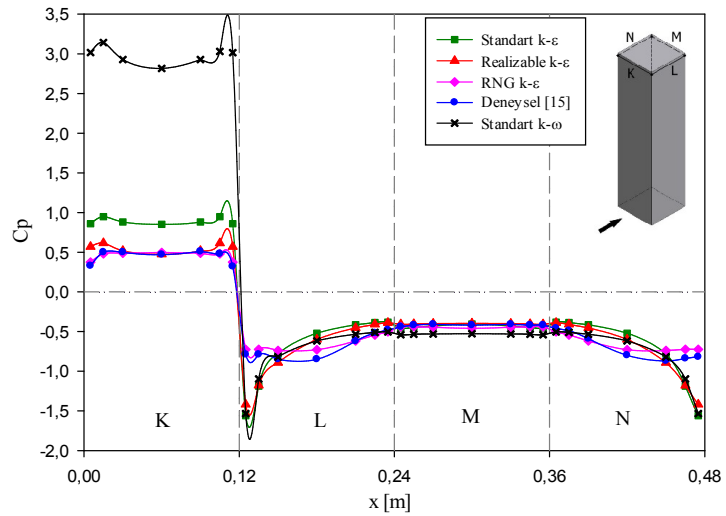
Şekil 4.19'un devamı



(c)

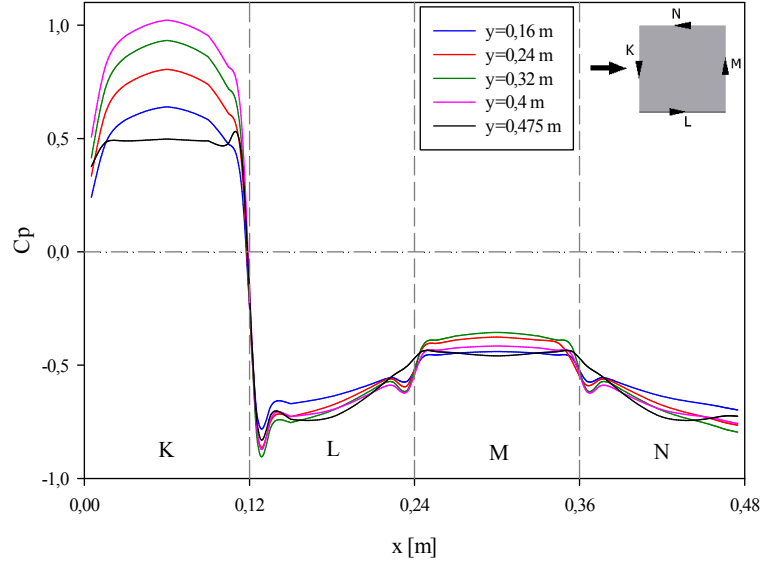


(d)



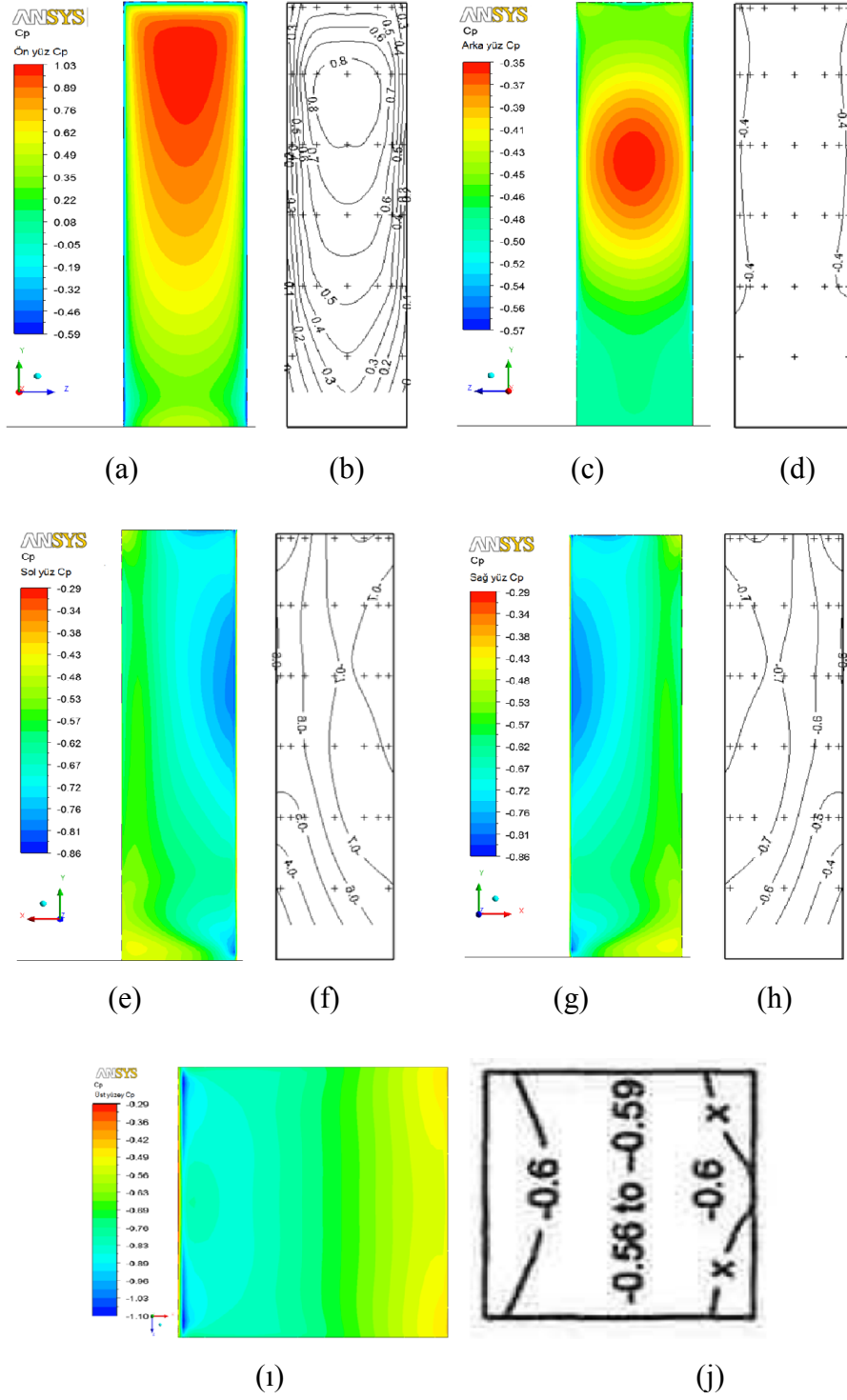
(e)

Şekil 4.20’de kare kesitli yüksek bina modelinin tabanından itibaren farklı yüksekliklerdeki kesitlerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış basınç katsayıları bir arada görülmektedir. Artan yükseklikle birlikte ön yüzey boyunca basınç katsayılarının arttığı, ancak model yüksekliğine yakın kesitte ($y=0.475$ m) birden azaldığı görülmektedir. Yan yüzeyler (L ve N) ve arka yüzeyde (M) hesaplanmış basınç katsayıları ise tüm yüksekliklerde hemen hemen birbirine yakın değerlerde oluşmaktadır.



Şekil 4.20. Kare kesit kenarlarında RNG k- ϵ ile hesaplanmış basınç katsayılarının yükseklikle değişimi

Şekil 4.21’de kare kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile eş basınç alanı olarak hesaplanmış basınç dağılımlarının, aynı yüzeylere ait deneysel basınç dağılımları ile birlikte görüntüleri verilmektedir. Model yüzeylerinde hesaplanmış eş basınç alanlarının, aynı yüzeylerde ölçülmüş basınç dağılımları ile genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Hem hesaplanmış hem de ölçülmüş basınç dağılımlarından ön yüzeydeki basınç katsayılarının pozitif, yan, arka ve üst yüzeylerdeki basınç katsayılarının ise negatif olduğu görülmektedir. Model ön yüzeyinin yan ve üst kenarlarından ayrılan akışlar nedeniyle kritik basınçlar modelin yan ve üst duvarlarının ön kısmında oluşmaktadır. Ayrılmanın başladığı bölümlerde pik değerler alan basınç katsayıları, arka tarafa doğru hafiflemektedir.



Şekil 4.21. Kare kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış ve ölçülmüş [15] eş basınç alanları (a) ön yüzey, sayısal (b) ön yüzey, deneysel (c) arka yüzey, sayısal (d) arka yüzey, deneysel (e) sol yüzey, sayısal (f) sol yüzey, deneysel (g) sağ yüzey, sayısal (h) sağ yüzey, deneysel (i) üst yüzey, sayısal (j) üst yüzey, deneysel

4.3.2. Artı - 1 Kesitli Yüksek Bina Modeli

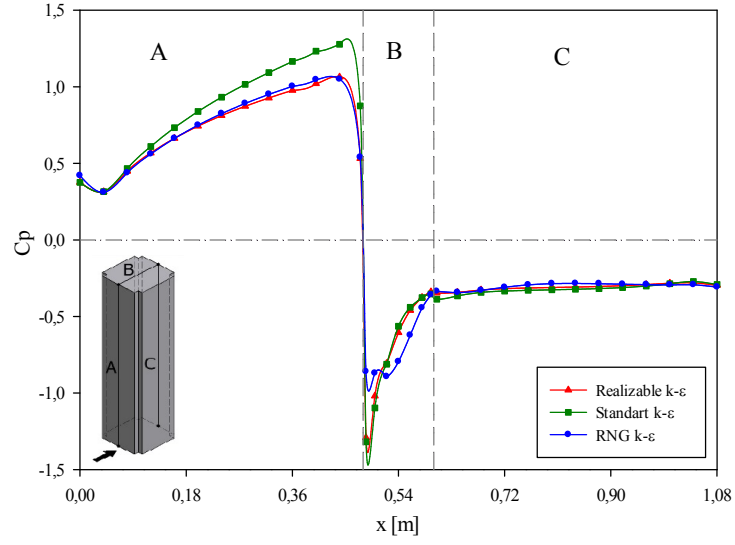
Artı-1 kesitli yüksek bina modeli yüzeylerindeki basınç dağılımlarını incelemek amacıyla Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri kullanılarak ortalama basınç katsayıları hesaplanmıştır.

Düşey düzlemde artı-1 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca devam eden hatlar üzerinde farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.22'de verilmiştir.

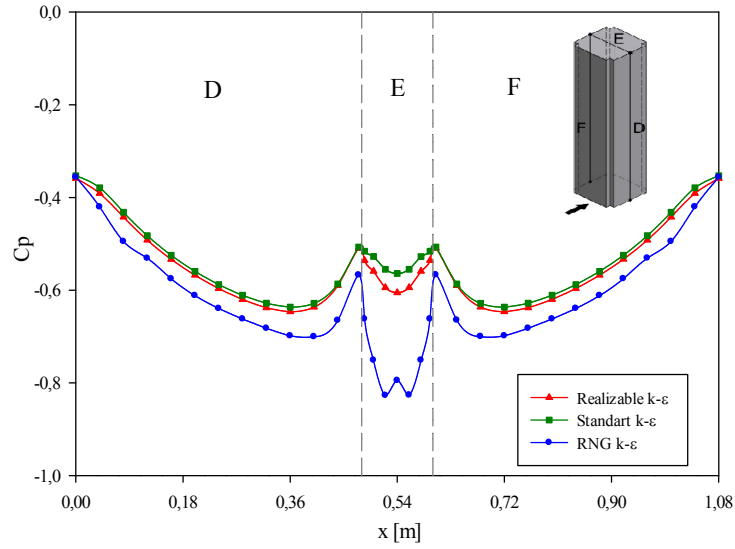
Şekil 4.22a'da görüldüğü gibi rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeyde (A) itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır. Binanın ön yüzeyinin üst kenarından ayrılan akış nedeniyle bina düz çatısı üzerinde (B) ve arka duvarda (C) negatif bir basınç alanı oluşmaktadır. En kritik negatif basınçlar, çatı ön kenarından ayrılmış akış bölgesinde oluşmakta ve çatı üzerinde ilerledikçe aşamalı olarak azalmaktadır.

Ön yüzey üzerinde Standard k- ϵ türbülans modelin basınç katsayılarını biraz daha büyük hesapladığı, çatı üzerinde ise RNG k- ϵ türbülans modelin negatif pik basınç katsayısını diğer modellere göre daha küçük değer olarak hesapladığı görülmektedir. Arka yüzeyde üç türbülans modeli ile hesaplanan sonuçlar da aynı olmaktadır.

Şekil 4.22b'de görüldüğü gibi, model yan duvarları (D ve F) ve model çatısı (E) tamamen negatif basınç etkisi altındadır. Modelin her iki yan duvarında ve çatı üzerinde hesaplanan basınç dağılımlarının simetrik olduğu görülmektedir. RNG k- ϵ türbülans modeli, emme etkisini diğer modellere göre daha kritik değerler olarak hesaplamaktadır.



(a)



(b)

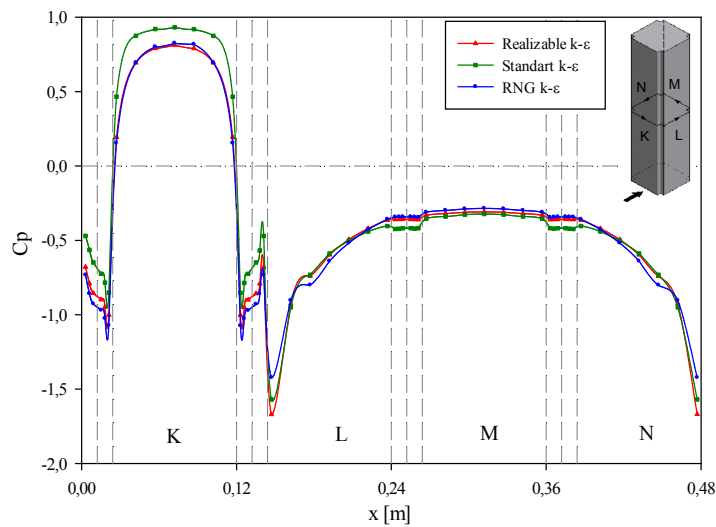
Şekil 4.22. Artı-1 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç katsayıları a) ön, üst ve arka yüzey b) sağ, üst ve sol yüzey

Model tabanından itibaren $y=0.24$ m ve $y=0.475$ m yüksekliklerdeki artı-1 kesitlerde kesit kenarları boyunca farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.23'de verilmiştir. Şekil 4.23a'da $y=0.24$ m'deki kesit kenarları boyunca basınç dağılımları incelendiğinde, akışa maruz kalan köşelerin yüzeyleri dışındaki ön duvarda (K) itme etkisinden dolayı pozitif basınç katsayılarının, diğer duvarlarda ise emme etkisinden dolayı negatif basınç katsayılarının olduğu görülmektedir. Köşe boşaltılması sonucu ön

yüzeyde oluşan ek yüzeylerde de ters akışlar nedeniyle negatif basınç katsayıları hesaplanmaktadır. Model yan yüzeylerinde oluşan negatif basınç katsayıları, arka yüzeyde oluşan negatif basınç katsayılarından daha yüksek olmaktadır. Model ön yüzeyinin ek bölgelerinin kenarlarından ayrılan akış nedeniyle, yan yüzeylerdeki ayrılmış akış bölgelerinde negatif pik basınç katsayısı değerleri meydana gelmektedir. Yan yüzey boyunca ilerledikçe negatif basınç katsayıları hafifleyerek arka yüzeyde (M) uniform bir görüntü oluşturmaktadır. Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan akışa paralel ve akışa dik konumdaki ek yüzeylerde, negatif basınç katsayıları sırasıyla artan ve azalan değerlerde oluşmaktadır. Standard k-ε türbülans modeli, ön yüzeydeki basınç katsayılarını diğer modellere göre daha büyük hesaplamaktadır. RNG k-ε türbülans modeli, ön duvarın boşaltılmış köşelerindeki yüzeylerinde oluşan negatif basınç katsayılarını, diğer modellere göre daha büyük değerler olarak hesaplamaktadır. Yan yüzey (L) köşelerinde oluşan kritik negatif basınç katsayıları Realizable k-ε türbülans modelinde daha büyük değerler olarak hesaplanmıştır.

Bina çatısına çok yakın olan $y = 0.475$ m yükseklikteki artı-1 kesite ait basınç dağılımının, serbest uç etkisi (çatı ön kenarından ayrılan akışın etkisi) nedeniyle özellikle ön yüzeyde farklılaştığı görülmektedir. Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan ek yüzeylerde hesaplanan negatif basınçlar ortam basıncına kadar azalmaktadır (Şekil 4.23b).

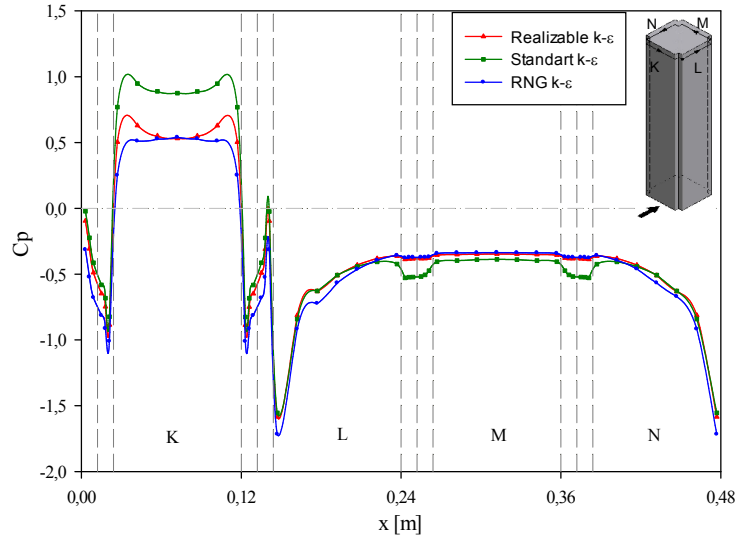
Köşelerdeki boşalmanın sağladığı geometrik değişiklik, özellikle akışa maruz ön kısımda basınç dağılımını etkilemektedir.



(a)

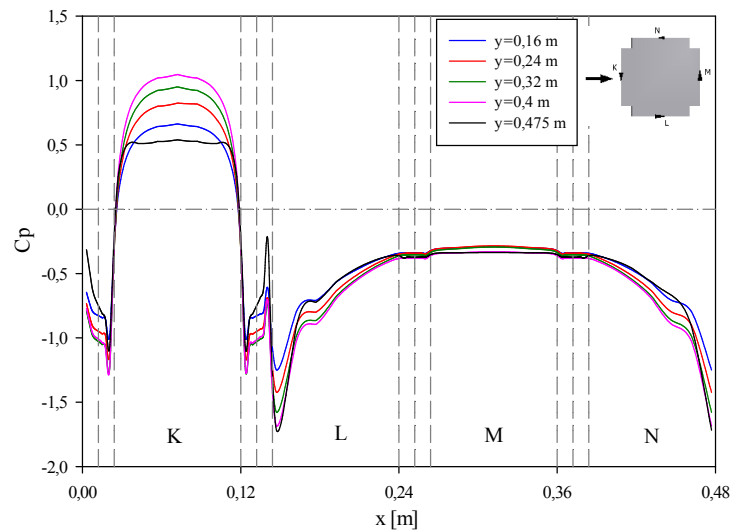
Şekil 4.23. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca basınç dağılımları (a) $y=0.24$ m (b) $y=0.475$ m

Şekil 4.23'ün devamı



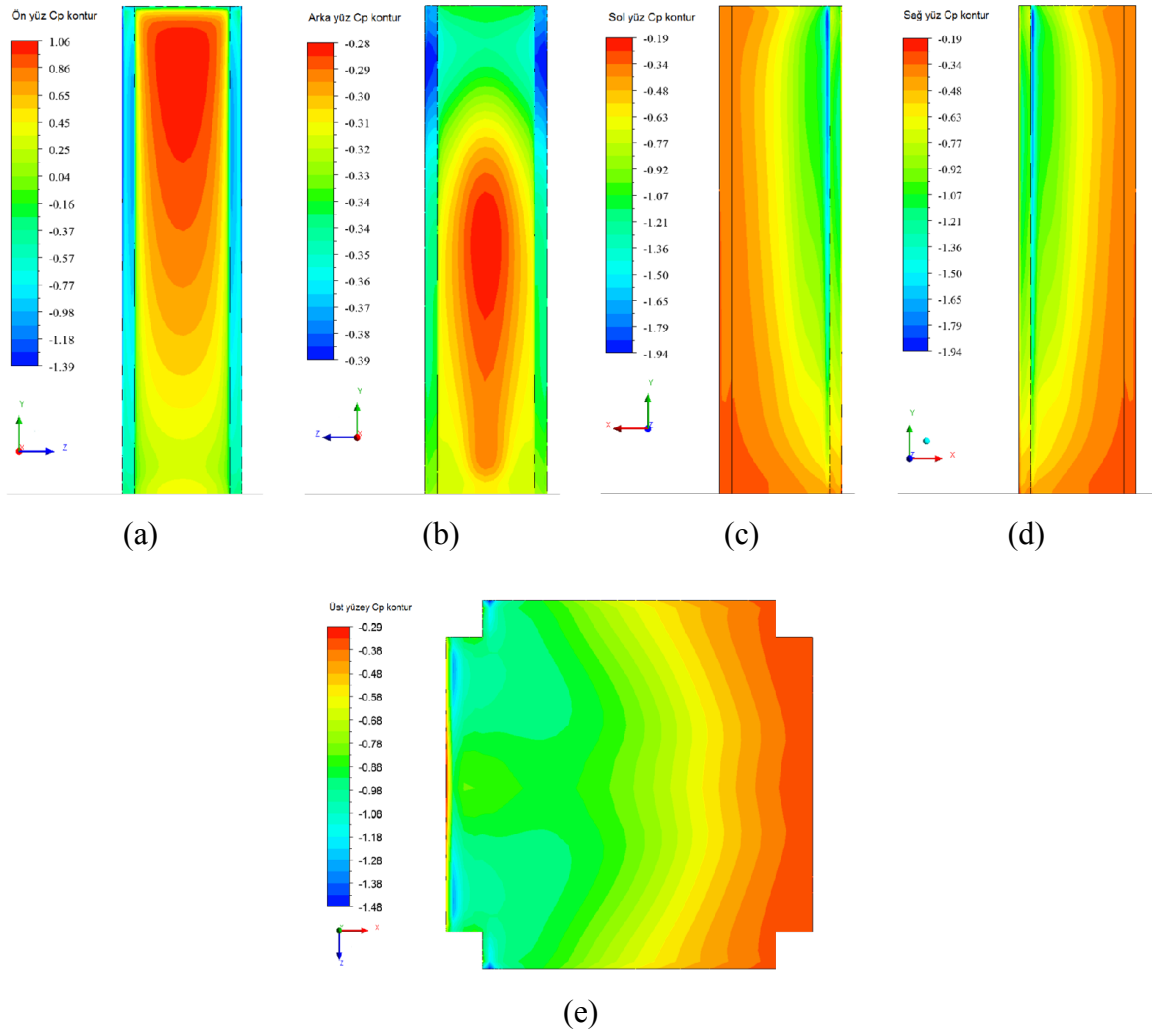
(b)

Şekil 4.24'de artı-1 kesitli yüksek bina modelinin tabanından itibaren farklı yüksekliklerdeki kesitlerinde RNG k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış basınç katsayıları bir arada görülmektedir. Ön yüzey boyunca artan yükseklikle birlikte basınç katsayılarının arttığı, ancak model yüksekliğine yakın kesitte ($y=0.475$ m) birden azaldığı görülmektedir. Yan yüzeyler (L ve N) model tabanından itibaren yüksekliğin artmasıyla daha kritik negatif basınçlara maruz kalmaktadır. Arka yüzeyde (M) hesaplanmış basınç katsayıları ise tüm yüksekliklerde hemen hemen birbirine yakın değerlerde oluşmaktadır.



Şekil 4.24. Artı-1 kesit kenarlarında RNG k-ε ile hesaplanmış basınç katsayılarının yükseklikle değişimi

Şekil 4.25’de artı-1 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile eş basınç alanı olarak hesaplanmış basınç dağılımları verilmektedir. Hesaplanmış basınç dağılımlarından ön yüzeydeki basınç katsayılarının ek yüzeyler dışında pozitif, yan, arka ve üst yüzeylerdeki basınç katsayılarının ise negatif olduğu görülmektedir. Model ön duvarının ek yüzeylerinin yan kenarlarından ve üst kısımdan ayrılan akışlar nedeniyle kritik negatif basınçlar modelin yan ve üst duvarlarının ön kısmında oluşmaktadır. Ayrılmanın başladığı bölümlerde pik değerler alan basınç katsayıları, arka tarafa doğru hafiflemektedir.



Şekil 4.25. Artı-1 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları (a) ön yüzey (b) arka yüzey (c) sol yüzey (d) sağ yüzey (e) üst yüzey

4.3.3. Artı - 2 Kesitli Yüksek Bina Modeli

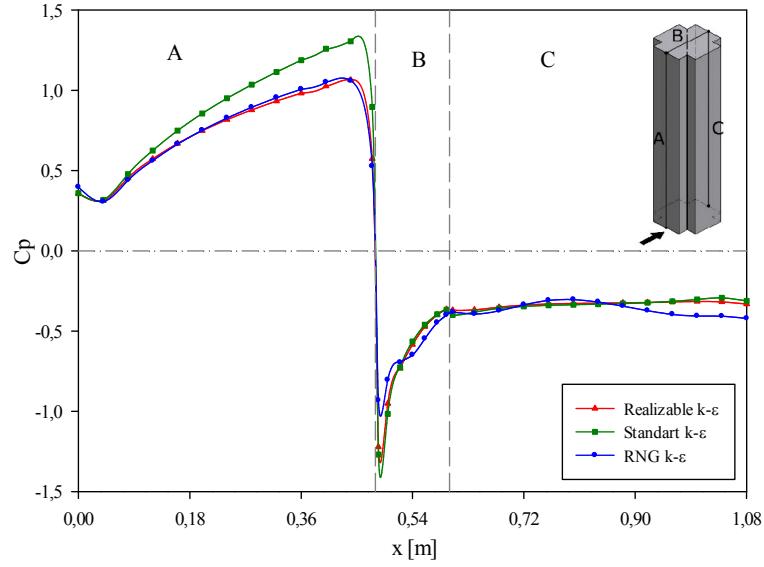
Artı-2 kesitli yüksek bina modeli yüzeylerindeki basınç dağılımlarını incelemek amacıyla Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri kullanılarak ortalama basınç katsayıları hesaplanmıştır.

Düşey düzlemde artı-2 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca devam eden hatlar üzerinde farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.26'de verilmiştir.

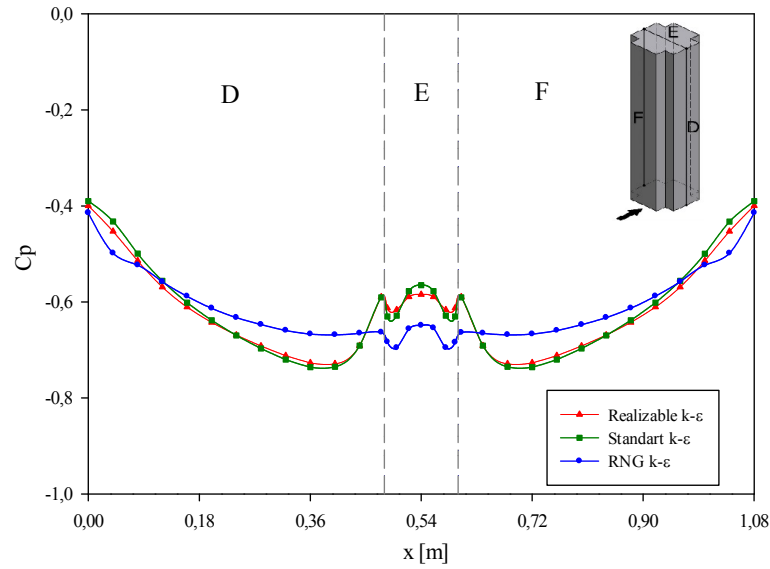
Şekil 4.26a'da görüldüğü gibi rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeyde (A) itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır. Binanın ön yüzeyinin üst kenarından ayrılan akış nedeniyle bina düz çatısı üzerinde (B) ve arka duvarda (C) negatif bir basınç alanı oluşmaktadır. En kritik negatif basınçlar, çatı ön kenarından ayrılmış akış bölgesinde oluşmakta ve çatı üzerinde ilerledikçe aşamalı olarak azalmaktadır.

Ön yüzey üzerinde Standard k- ϵ türbülans modelin basınç katsayılarını biraz daha büyük hesapladığı, çatı üzerinde ise RNG k- ϵ türbülans modelin negatif pik basınç katsayısını diğer modellere göre daha küçük değer olarak hesapladığı görülmektedir. Arka yüzeyde üç türbülans modeli ile hesaplanan sonuçlar da aynı olmaktadır.

Şekil 4.26b'de görüldüğü gibi, model yan duvarları (D ve F) ve model çatısı (E) tamamen negatif basınç etkisi altındadır. Modelin her iki yan duvarında ve çatı üzerinde hesaplanan basınç dağılımlarının simetrik olduğu görülmektedir. RNG k- ϵ türbülans modeli, basınç dağılımını diğer modellere göre daha farklı değerlerde hesaplamaktadır.



(a)



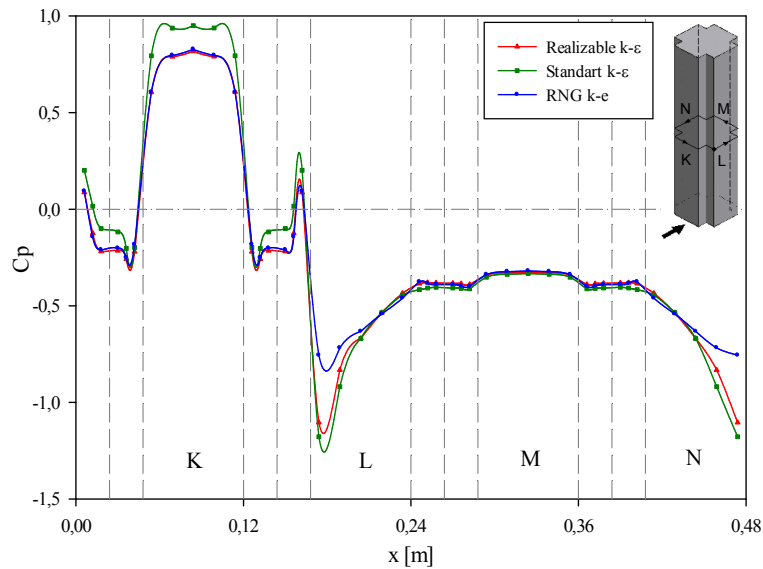
(b)

Şekil 4.26. Artı-2 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç katsayıları (a) ön, üst ve arka yüzey (b) sağ, üst ve sol yüzey

Model tabanından itibaren $y=0.24$ m ve $y=0.475$ m yüksekliklerdeki artı-2 kesitlerde kesit kenarları boyunca farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.27'de verilmiştir. Şekil 4.27a'da $y=0.24$ m'deki kesit kenarları boyunca basınç dağılımları incelendiğinde, akışa maruz kalan köşelerin yüzeyleri dışındaki ön duvarda (K) itme etkisinden dolayı pozitif basınç katsayılarının, diğer duvarlarda ise emme etkisinden

dolayı negatif basınç katsayılarının olduğu görülmektedir. Köşe boşaltılması sonucu ön duvarda oluşan ek yüzeylerde de ters akışlar nedeniyle negatif basınç katsayıları hesaplanmaktadır. Model yan yüzeylerinde oluşan negatif basınç katsayıları, arka yüzeyde oluşan negatif basınç katsayılarından daha yüksek olmaktadır. Model ön yüzeyinin ek bölgelerinin kenarlarından ayrılan akış nedeniyle, yan yüzeylerdeki ayrılmış akış bölgelerinde negatif pik basınç katsayısı değerleri meydana gelmektedir. Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan akışa paralel ve akışa dik konumdaki ek yüzeylerde, negatif basınç katsayıları sırasıyla artan ve azalan değerlerde oluşmaktadır. Standard k- ϵ türbülans modeli, ön yüzeydeki basınç katsayılarını diğer modellere göre daha büyük hesaplamaktadır. Yan yüzey köşelerinde oluşan kritik negatif basınç katsayıları RNG k- ϵ türbülans modelinde daha küçük değerler olarak hesaplanmıştır. Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan ek yüzeylerde hesaplanan negatif basınçlar ortam basıncının üzerine çıkmaktadır.

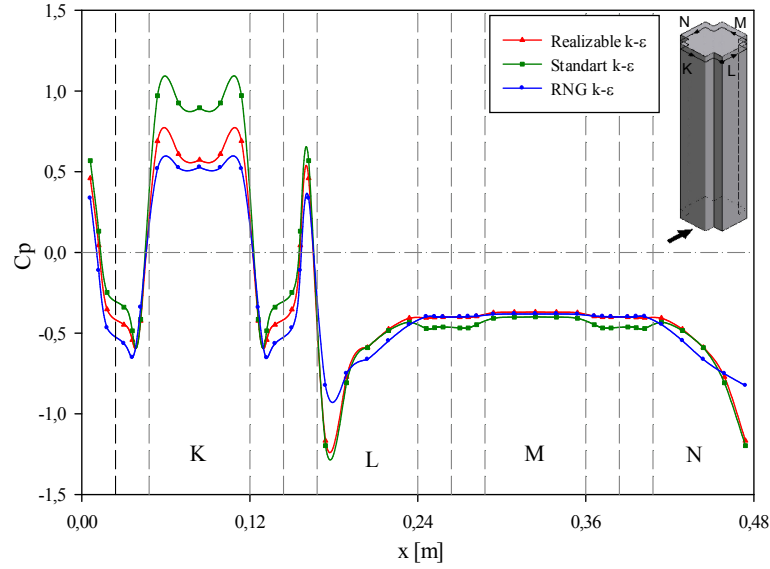
Bina çatısına çok yakın olan $y=0.475$ m yükseklikteki artı-2 kesite ait basınç dağılımının, serbest uç etkisi (çatı ön kenarından ayrılan akışın etkisi) nedeniyle özellikle ön yüzeyde farklılaştığı görülmektedir. Model ön yüzeyinde iki tepeli pozitif basınç dağılımı oluşmaktadır. Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan ek yüzeylerde hesaplanan negatif basınçlar ortam basıncının üzerine çıkmaktadır (Şekil 4.27b).



(a)

Şekil 4.27. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca basınç dağılımları (a) $y=0.24$ m (b) $y=0.475$ m

Şekil 4.27'in devamı

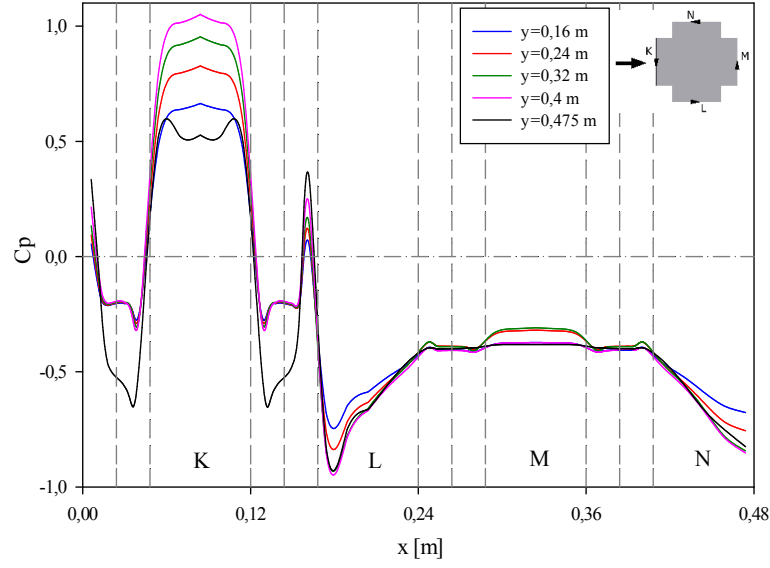


(b)

Şekil 4.28'de artı-2 kesitli yüksek bina modelinin tabanından itibaren farklı yüksekliklerdeki kesitlerinde RNG $k-\epsilon$ türbülans modeli ile hesaplanmış basınç katsayıları bir arada görülmektedir. Ön yüzey boyunca artan yükseklikle birlikte basınç katsayılarının arttığı, ancak model yüksekliğine yakın kesitte ($y=0.475$ m) birden azaldığı görülmektedir.

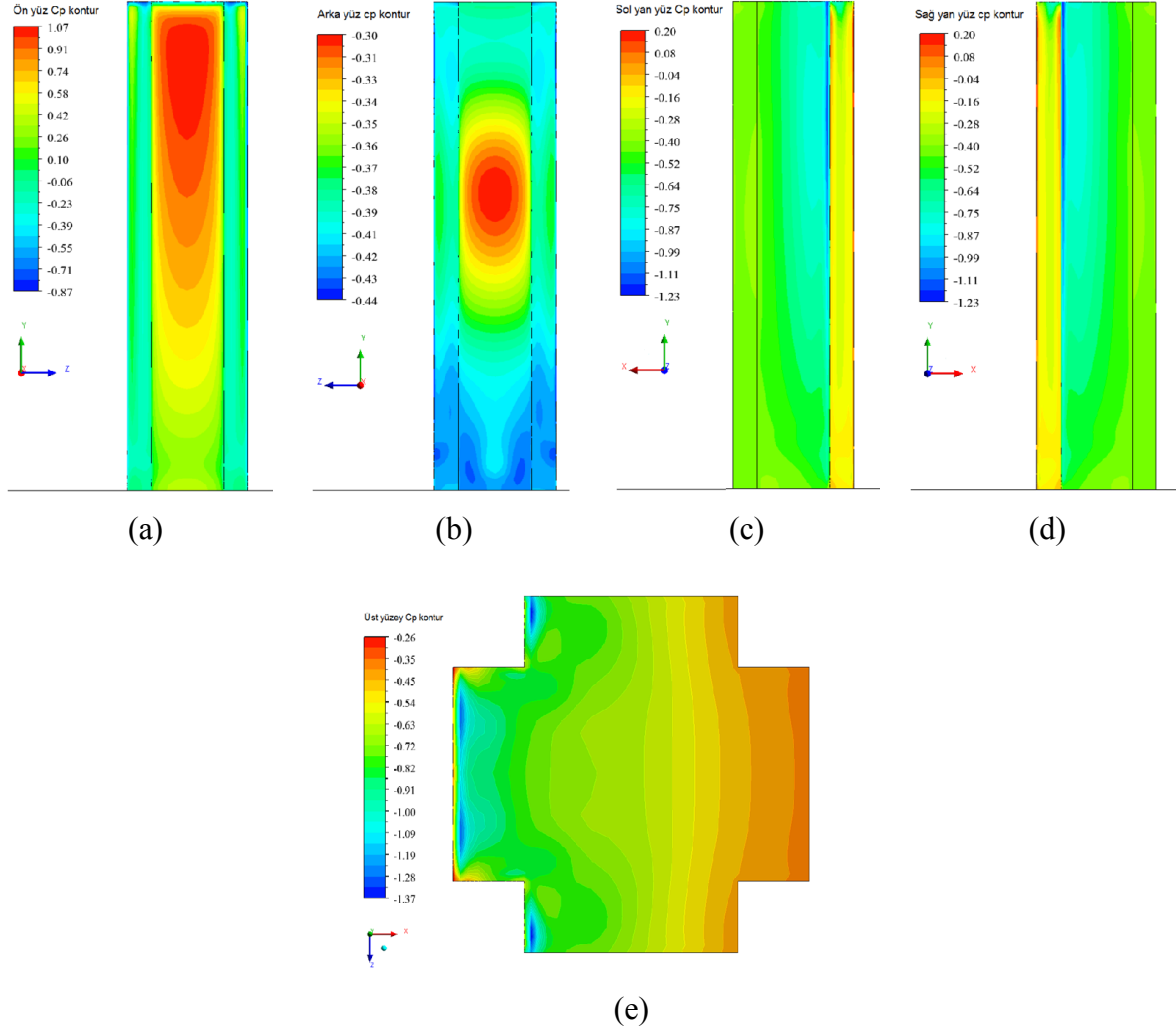
Yan yüzeyler (L ve N) model tabanından itibaren yüksekliğin artmasıyla daha kritik negatif basınçlara maruz kalmaktadır. Arka yüzeyde (M) hesaplanmış basınç katsayıları ise tüm yüksekliklerde hemen hemen birbirine yakın değerlerde oluşmaktadır. $y=0.475$ m yükseklikte, ek yüzeyler üzerinde oluşan negatif basınçlar daha kritik olmaktadır.

Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan ek yüzeylerde hesaplanan negatif basınçlar model tabanından itibaren artan yükseklikle birlikte ortam basıncının üzerinde daha çok etkili olmaktadır.



Şekil 4.28. Artı-2 kesit kenarlarında RNG k- ϵ ile hesaplanmış basınç katsayılarının yükseklikle değişimi

Şekil 4.29’da artı-2 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile eş basınç alanı olarak hesaplanmış basınç dağılımları verilmektedir. Hesaplanmış basınç dağılımlarından ön yüzeydeki basınç katsayılarının ek yüzeyler dışında pozitif, yan, arka ve üst yüzeylerdeki basınç katsayılarının ise negatif olduğu görülmektedir. Model ön duvarının ek yüzeylerinin yan kenarlarından ve üst kısımdan ayrılan akışlar nedeniyle kritik negatif basınçlar modelin yan ve üst duvarlarının ön kısmında oluşmaktadır. Ayrılmanın başladığı bölümlerde pik değerler alan basınç katsayıları, arka tarafa doğru hafiflemektedir.



Şekil 4.29. Artı-2 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları (a) ön yüzey (b) arka yüzey (c) sol yüzey (d) sağ yüzey (e) üst yüzey

4.3.4. Artı - 3 Kesitli Yüksek Bina Modeli

Artı-3 kesitli yüksek bina modeli yüzeylerindeki basınç dağılımlarını incelemek amacıyla Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri kullanılarak ortalama basınç katsayıları hesaplanmıştır.

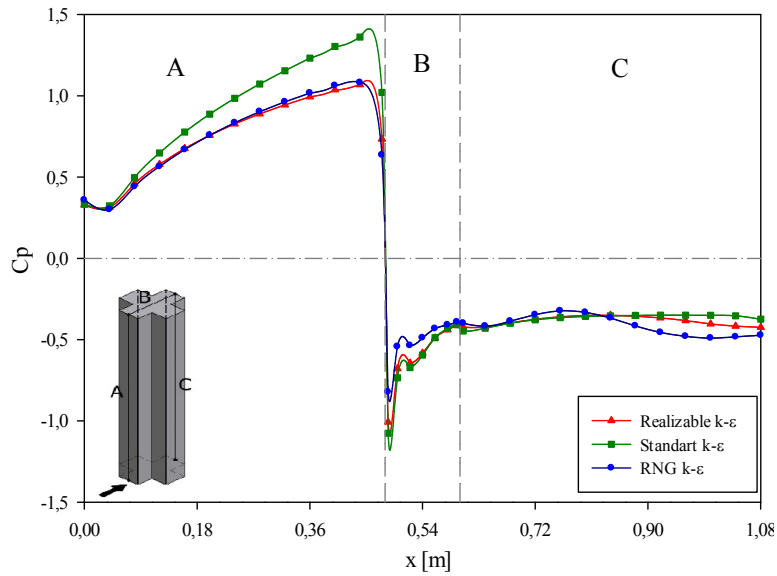
Düşey düzlemde artı-3 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca devam eden hatlar üzerinde farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.30'da verilmiştir.

Şekil 4.30a'da görüldüğü gibi rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeyde (A) itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır. Binanın ön yüzeyinin üst

kenarından ayrılan akış nedeniyle bina düz çatısı üzerinde (B) ve arka duvarda (C) negatif bir basınç alanı oluşmaktadır. En kritik negatif basınçlar, çatı ön kenarından ayrılmış akış bölgesinde oluşmakta ve çatı üzerinde ilerledikçe aşamalı olarak azalmaktadır.

Ön yüzey üzerinde Standard k- ϵ türbülans modelin basınç katsayılarını biraz daha büyük hesapladığı, çatı üzerinde ise RNG k- ϵ türbülans modelin negatif pik basınç katsayısını diğer modellere göre daha küçük değer olarak hesapladığı görülmektedir.

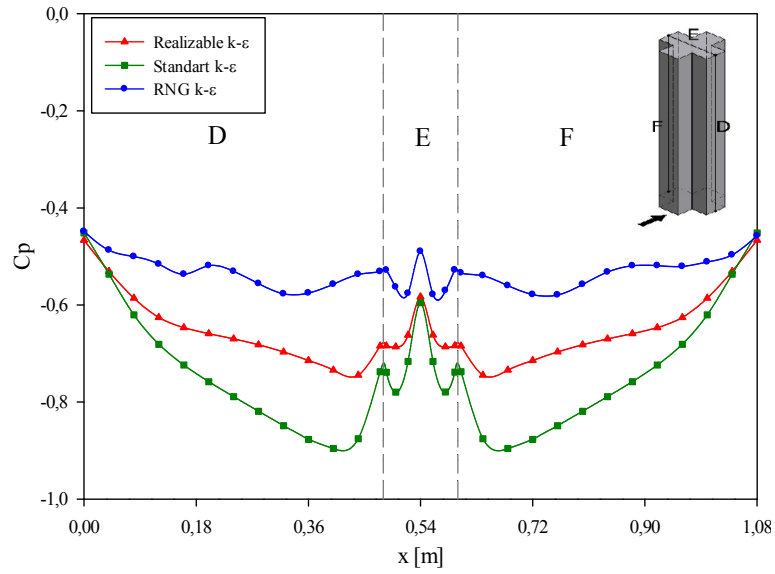
Şekil 4.30b'de görüldüğü gibi, model yan duvarları (D ve F) ve model çatısı (E) tamamen negatif basınç etkisi altındadır. Modelin her iki yan duvarında ve çatı üzerinde hesaplanan basınç dağılımlarının simetrik olduğu görülmektedir. RNG k- ϵ türbülans modelinin, basınç dağılımını diğer modellere göre oldukça farklı ve daha küçük değerlerde hesapladığı görülmüştür.



(a)

Şekil 4.30. Artı-3 kesitli bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç katsayıları a) ön, üst ve arka yüzey b) sağ, üst ve sol yüzey

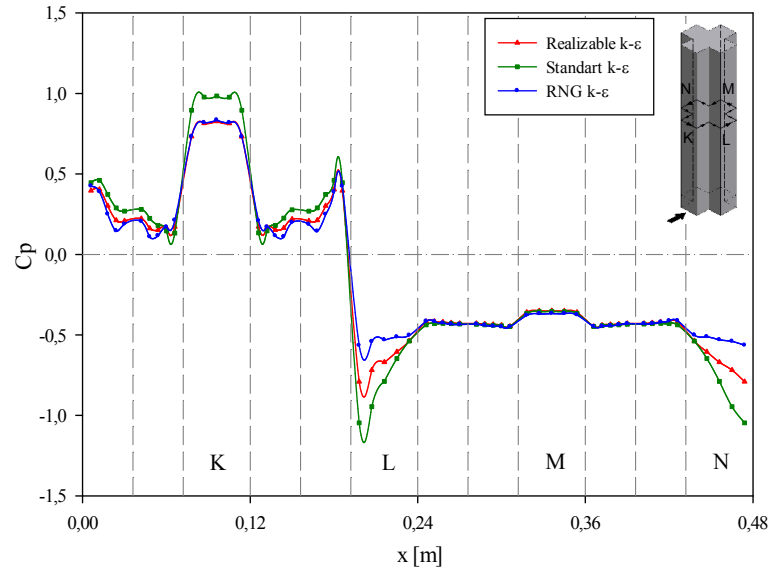
Şekil 4.30'un devamı



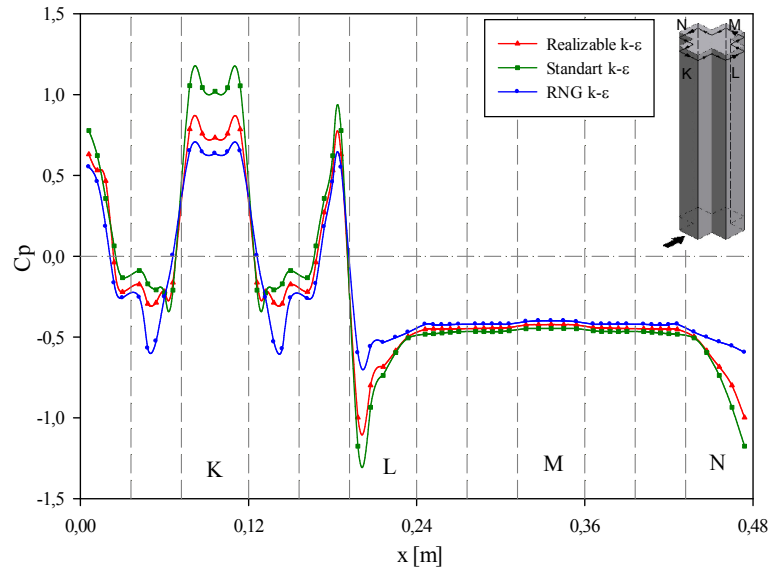
(b)

Model tabanından itibaren $y=0.24$ m ve $y=0.475$ m yüksekliklerdeki artı-2 kesitlerde kesit kenarları boyunca farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.31'de verilmiştir. Şekil 4.31a'da $y=0.24$ m'deki kesit kenarları boyunca basınç dağılımları incelendiğinde, akışa maruz kalan köşelerin ek yüzeyleri ile birlikte ön duvarda (K) itme etkisinden dolayı pozitif basınç katsayılarının, diğer duvarlarda ise emme etkisinden dolayı negatif basınç katsayılarının olduğu görülmektedir. Köşe boşaltılması sonucu ön duvarda oluşan ek yüzeylerde pozitif basınç katsayıları hesaplanmaktadır. Model yan yüzeylerinde oluşan negatif basınç katsayıları, arka yüzeyde oluşan negatif basınç katsayılarından daha yüksek olmaktadır. Model ön yüzeyinin ek bölgelerinin kenarlarından ayrılan akış nedeniyle, yan yüzeylerdeki ayrılmış akış bölgelerinde negatif pik basınç katsayısı değerleri meydana gelmektedir. Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan akışa paralel ve akışa dik konumdaki ek yüzeylerde, pozitif basınç katsayıları artan ve azalan değerlerde oluşmaktadır. Standart k- ϵ türbülans modeli, ön yüzeydeki basınç katsayılarını diğer modellere göre daha büyük hesaplamaktadır. Yan yüzey köşelerinde oluşan kritik negatif basınç katsayıları RNG k- ϵ türbülans modelinde daha küçük değerler olarak hesaplanmıştır. Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan ek yüzeylerde hesaplanan basınçlar ortam basıncının üzerinde olmaktadır.

Bina çatısına çok yakın olan $y=0.475$ m yükseklikteki artı-3 kesite ait basınç dağılımı, serbest uç etkisi (çatı ön kenarından ayrılan akışın etkisi) nedeniyle özellikle ön duvarda ve bitişik ek yüzeylerde farklılaşmaktadır. Model ön yüzeyinde iki tepeli pozitif basınç dağılımı oluşmaktadır. Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan ek yüzeylerde hesaplanan basınçlar, akışa paralel ek yüzeyde negatif, akışa dik ek yüzeyde ise pozitif olmaktadır (Şekil 4.31b).



(a)



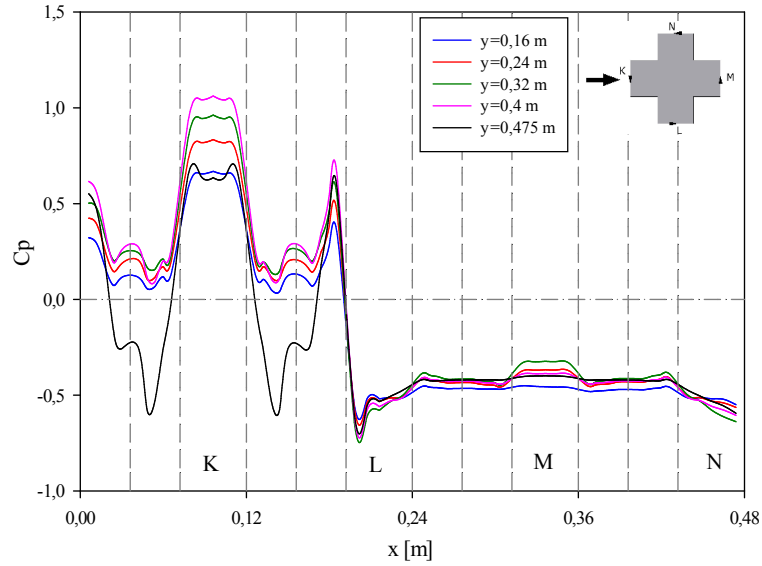
(b)

Şekil 4.31. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca basınç dağılımları (a) $y=0.24$ m (b) $y=0.475$ m

Şekil 4.32’de artı-3 kesitli yüksek bina modelinin tabanından itibaren farklı yüksekliklerdeki kesitlerinde RNG k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış basınç katsayıları bir arada görülmektedir. Ön yüzey boyunca artan yükseklikle birlikte basınç katsayılarının arttığı, ancak model yüksekliğine yakın kesitte ($y=0.475$ m) birden azaldığı görülmektedir.

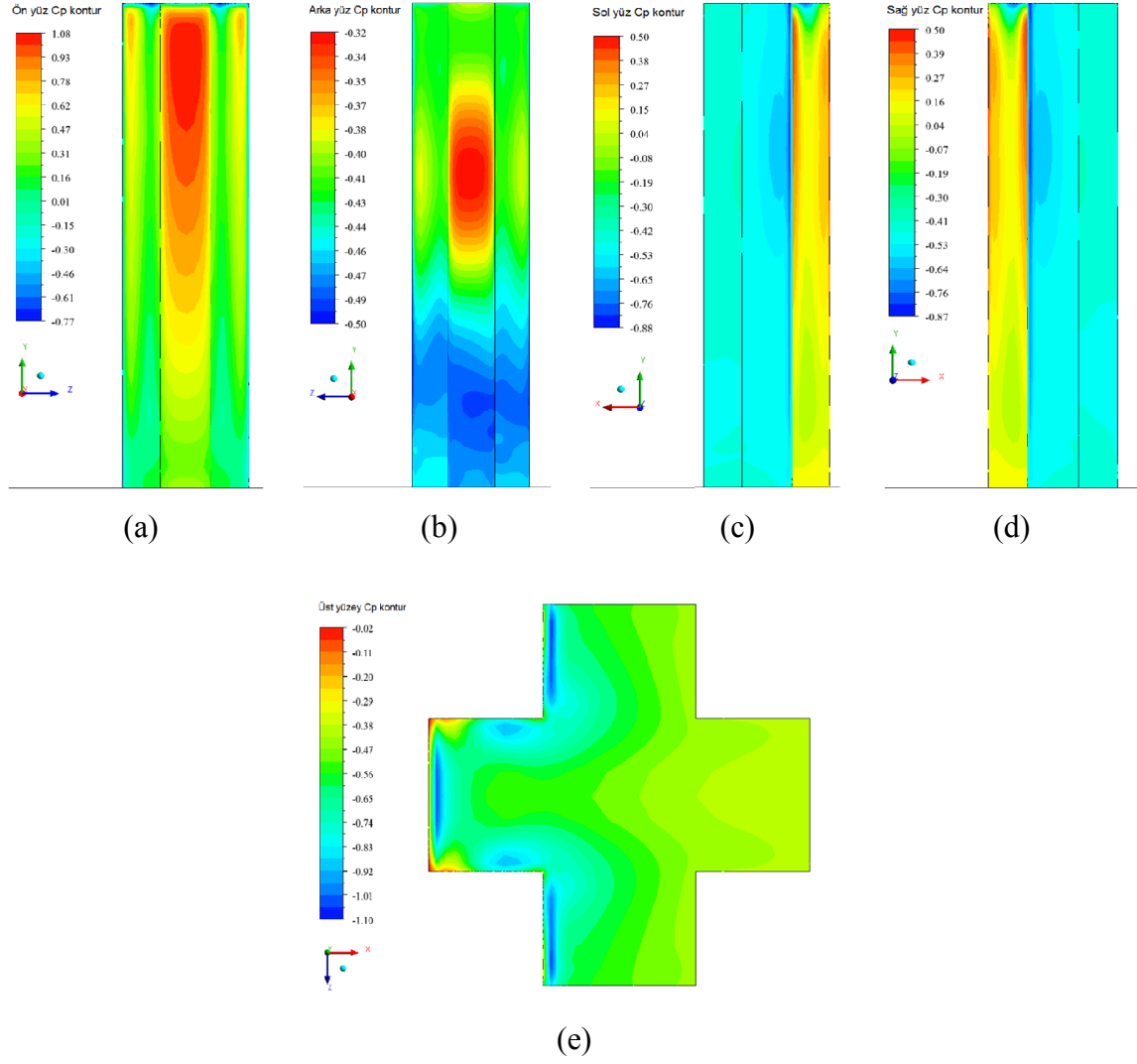
Yan ve arka yüzeylerde hesaplanmış basınç katsayıları ise tüm yüksekliklerde hemen hemen birbirine yakın değerlerde oluşmaktadır. $y=0.475$ m yükseklikte, ek yüzeyler üzerinde büyük ölçüde negatif basınçlar oluşmaktadır.

Köşe boşaltılması sonucu ön kısımda oluşan ek yüzeylerde hesaplanan pozitif basınçlar model tabanından itibaren artan yükseklikle birlikte daha etkili olmaktadır.



Şekil 4.32. Artı-3 kesit kenarlarında RNG k-ε ile hesaplanmış basınç katsayılarının yükseklikle değişimi

Şekil 4.33’de artı-3 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k-ε türbülans modeli ile eş basınç alanı olarak hesaplanmış basınç dağılımları verilmektedir. Hesaplanmış basınç dağılımlarından ön yüzeydeki basınç katsayılarının ek yüzeyler dışında pozitif, yan, arka ve üst yüzeylerdeki basınç katsayılarının ise negatif olduğu görülmektedir. Model ön duvarının ek yüzeylerinin yan kenarlarından ve üst kısımdan ayrılan akışlar nedeniyle kritik negatif basınçlar modelin yan ve üst duvarlarının ön kısmında oluşmaktadır. Ayrılmanın başladığı bölümlerde pik değerler alan basınç katsayıları, arka tarafa doğru hafiflemektedir.



Şekil 4.33. Artı-3 kesitli bina modeli yüzeylerinde RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları (a) ön yüzey (b) arka yüzey (c) sol yüzey (d) sağ yüzey (e) üst yüzey

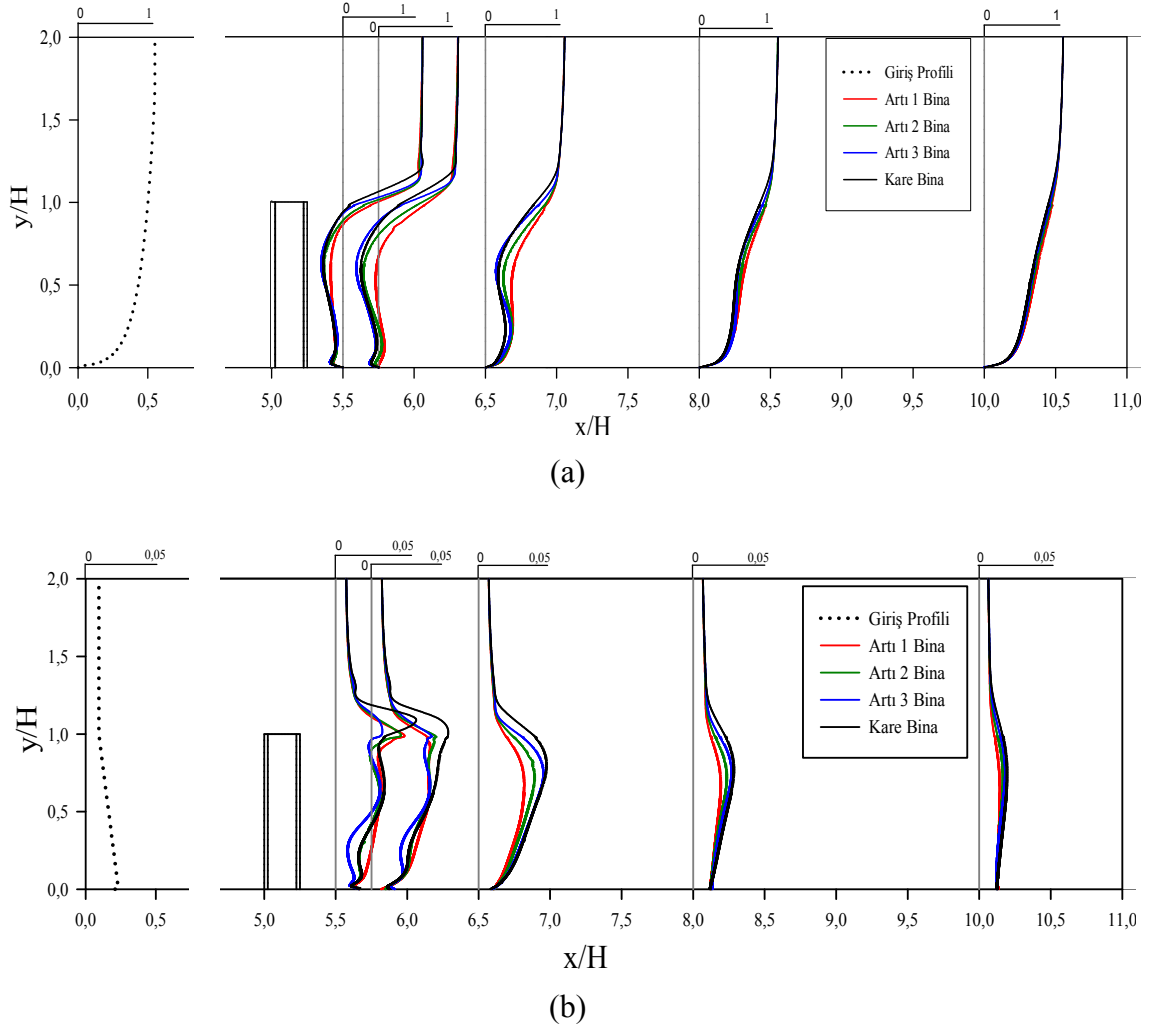
5. İRDELEME

Bu çalışmada, kare kesitli bina modeli ve kare kesitin kenarlarının her iki tarafında % 10, % 20 ve % 30 oranlarında azaltma uygulanarak (köşe boşaltması) türetilen bina modelleri etrafındaki akış alanları, ortalama hız, türbülans kinetik enerji ve ortalama yüzey basınç katsayılarının hesaplanması şeklinde kapsamlı olarak araştırılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde irdelenmiştir.

5.1. Model Geometrisinin Ortalama Hız ve Türbülans Kinetik Enerjiye Etkisi

Dört farklı kesit geometrisine sahip yüksek bina modelleri arkasında orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda RNG k- ϵ türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 5.1'de görülmektedir.

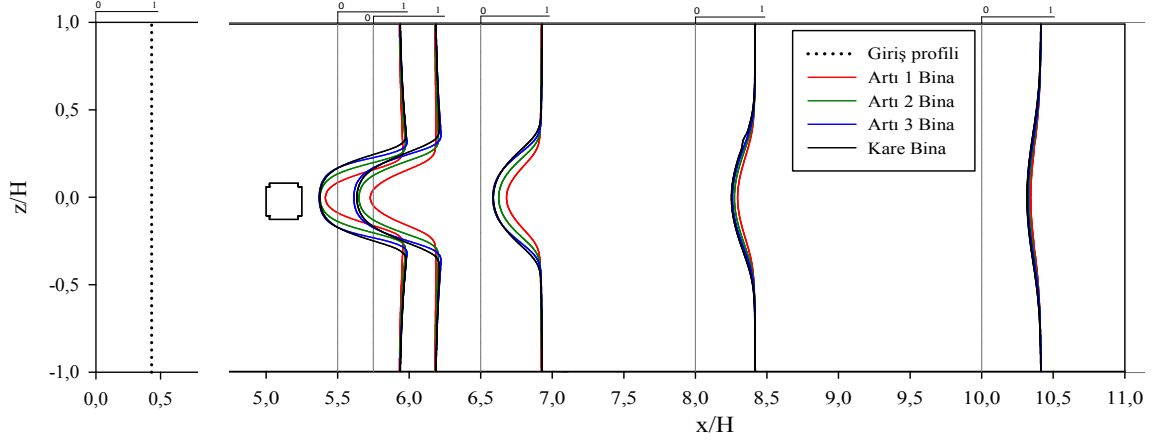
Şekil 5.1a'da farklı bina modelleri için düşey doğrultuda verilen ortalama hız profillerinden, model arkasında model yüksekliği seviyesinde ters akış bölgeleri oluştuğu görülmektedir. Ters akış bölgelerinde hız profilleri model geometrisinden etkilenmekte, bu durum akış yönünde ilerleyen istasyonlarda ortadan kalkmaktadır. Farklı bina modelleri arkasında düşey doğrultuda hesaplanan türbülans kinetik enerji profilleri incelendiğinde, türbülans şiddetinin model yüksekliği seviyesinde en büyük değerler aldığı ve türbülans kinetik enerjisi profillerinin de model geometrisinden etkilendiği görülmektedir. Ters akış bölgesinin akış yönündeki sonlanmasından itibaren türbülans kinetik enerji değerleri belirgin azalmaktadır (Şekil 5.1b).



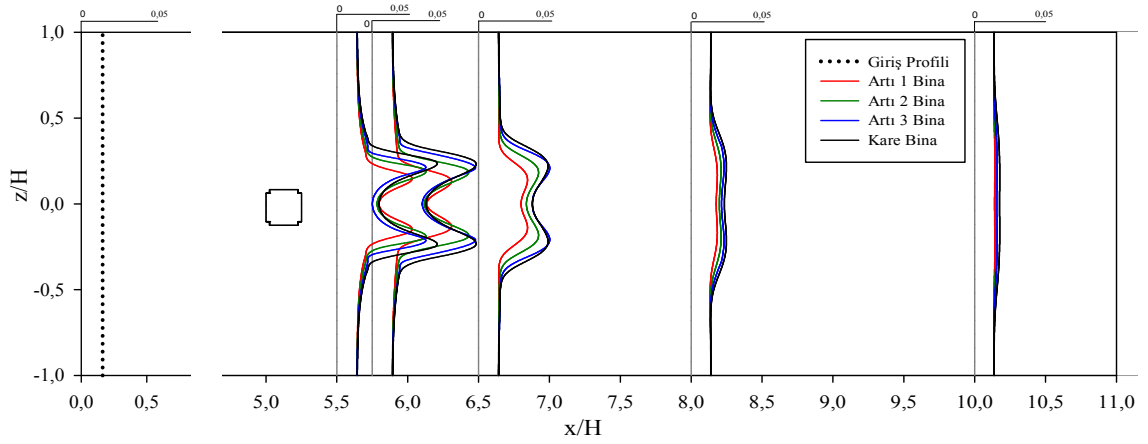
Şekil 5.1. Modellerin arkasında RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış düşey profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

Şekil 5.2’de, farklı bina modelleri arkasında, model yarı yüksekliği seviyesinde ($y=0.24$ m), yatay doğrultuda değişik istasyonlarda RNG k- ϵ türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri bir arada görülmektedir. Modellerin arkasındaki iz bölgesinde ortalama hız değerleri azalmakta ve bu azalma model geometrisinden etkilenmektedir (Şekil 5.2a). Akış yönünde ilerleyen istasyonlarda hız değerlerindeki azalma etkisini kaybetmekte ve incelenen bütün bina modelleri için aynı hız profili görüntüsü ortaya çıkmaktadır. Modeller arkasındaki türbülans kinetik enerji profillerinde, modellerin her iki yanından kopan girdaplar nedeniyle türbülans kinetik enerji değerlerinde artışı ifade eden iki tepeli bir görüntüler oluşmaktadır. İz bölgesi içerisinde türbülans değerlerindeki bu artışlar bina geometrisinden etkilenmekte, iz

bölgesinin ötesindeki istasyonlarda ise türbülans kinetik enerji değerleri azalmakta ve bütün bina modelleri için aynı profil görüntüsü oluşmaktadır (Şekil 5.2b).



(a)



(b)

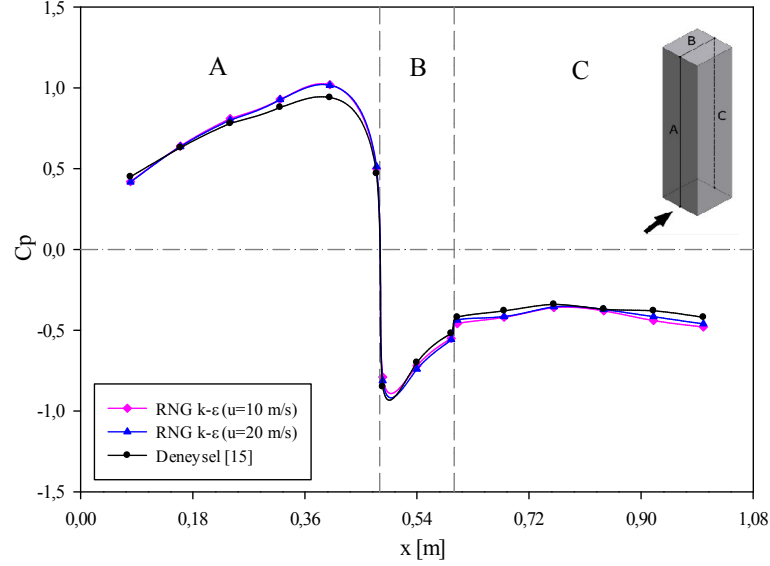
Şekil 5.2. Modellerin arkasında $y=0.24$ m'de RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış yatay profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji

5.2. Basınç Dağılımları

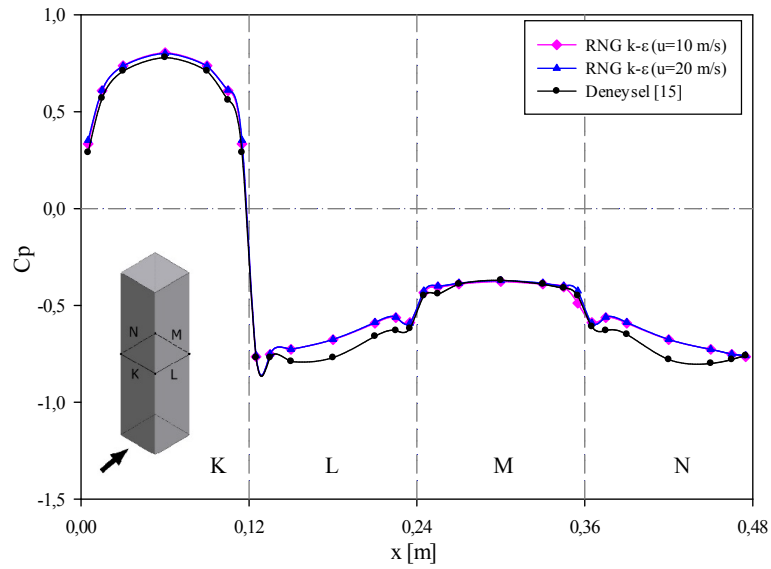
5.2.1. Reynolds Sayısının Etkisi

Akış alanı üzerinde Reynolds sayısının etkisinin belirlenmesi amacıyla, 10 m/s ve 20 m/s lik akış hızlarında sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Kare kesitli yüksek bina modeli için iki farklı akış hızında RNG k- ϵ türbülans modeliyle düşey düzlemde bina modeli yüzeylerinin orta eksenleri boyunca ve yatayda $y=0.24$ m yükseklikteki kesitin

kenarları boyunca hesaplanmış ortalama basınç katsayıları deneysel sonuçlarla birlikte Şekil 5.3'de verilmiştir. Her iki akış hızı için düşey ve yatay düzlemlerde hesaplanmış ortalama basınç katsayısı değerlerinin hemen hemen aynı olması akış alanının Reynolds sayısından bağımsız olduğunu göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.3. Farklı akış hızlarında ortalama basınç katsayısı değişimleri
(a) düşey düzlemde (b) yatay düzlemde

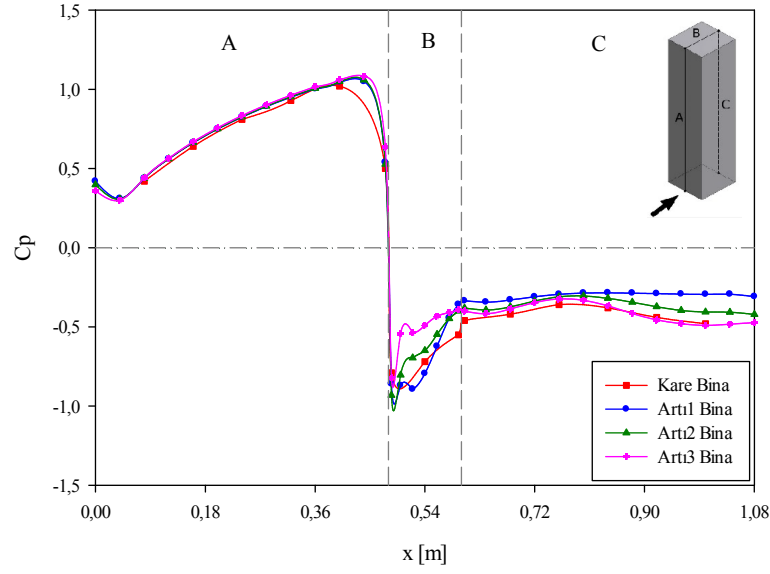
5.2.2. Bina Modeli Geometrisinin Yüzey Basınç Dağılımına Etkisi

Yüksek bina modellerindeki geometrik değişikliklerin ortalama basınç katsayıları üzerindeki etkisi, düşey ve yatay düzlemlerde RNG k- ϵ türbülans modeliyle elde edilmiş dağılımlarla incelenmiştir.

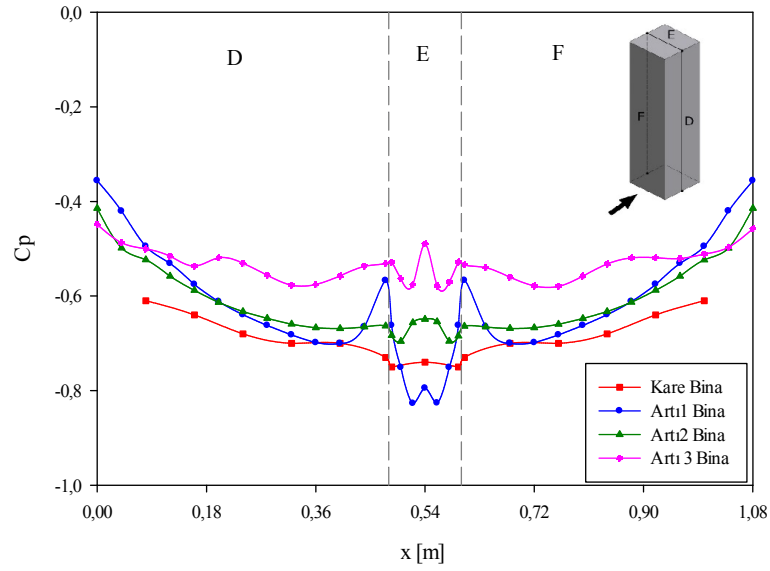
Düşey düzlemde farklı bina modelleri için model yüzeylerinin orta eksenleri boyunca devam eden hatlar üzerinde RNG k- ϵ türbülans modeliyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 5.4'de verilmiştir.

Şekil 5.4a'da görüldüğü gibi tüm bina modellerinde rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeyde (A) itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır. Binaların ön yüzeylerinin üst kenarından ayrılan akış nedeniyle binaların düz çatıları üzerinde (B) ve arka duvarlarda (C) negatif basınç alanları oluşmaktadır. Bütün bina modellerinde en kritik negatif basınçlar, çatıların ön kenarlarından ayrılmış akış bölgelerinde oluşmakta ve çatılar üzerinde ilerledikçe aşamalı olarak azalmaktadırlar. İncelenen bütün bina modellerinde rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeylerde pozitif basınç dağılımları aynı değerlerde hesaplanmaktadır. Modellerin çatılarında ise negatif basınç dağılımları bina modelinin geometrisine göre farklılaşmaktadır. Bu farklılık, artı kesitler etrafındaki ters akış bölgeleriyle ilgilidir. İncelenen bina düz çatıları üzerindeki en kritik negatif basınç katsayısı artı-2 kesitli bina modelinin çatısında gerçekleşmektedir. Bina modellerinin arka yüzeylerindeki basınç katsayıları değerlendirildiğinde, model geometrilerindeki değişikliğin belirgin bir fark oluşturmadığı görülmektedir.

Şekil 5.4b'de görüldüğü gibi, incelenen bütün bina modelleri için, modellerin yan duvarları (D ve F) ve modellerin çatısı (E) tamamen negatif basınç etkisi altındadır. Modellerin her iki yan duvarında hesaplanan basınç dağılımlarının simetrik olduğu görülmektedir. Hem yan duvarlarda hem de çatılar üzerinde hesaplanmış negatif basınç dağılımları, model geometrisindeki değişikliklerden belirgin etkilenmektedir. En kritik negatif basınç dağılımları yan yüzeyler için kare kesitli bina modelinde, çatı için ise artı-1 kesitli bina modelinde oluşmaktadır. Negatif basınç katsayılarının en az (en hafif) olduğu dağılım artı-3 kesitli bina modelinde gerçekleşmektedir. Çatı üzerindeki basınç katsayılarının çatı kenarından itibaren azalıp, çatı orta eksenine doğru artması, çatı kenarından ayrılan ve çatı üzerinde tekrar tutunan akış yapısı ile ilgilidir.



(a)



(b)

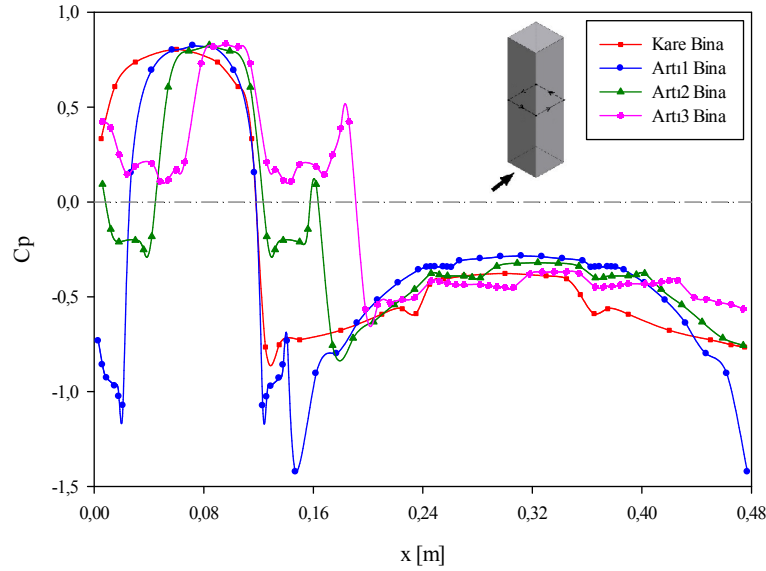
Şekil 5.4. Farklı bina modelleri için model yüzeylerinin orta eksenleri boyunca RNG k- ϵ ile hesaplanmış basınç katsayıları (a) ön, üst ve arka yüzey (b) sağ, üst ve sol yüzey

Farklı bina geometrileri için, model tabanından itibaren $y=0.24$ m ve $y=0.475$ m yüksekliklerdeki kesitlerde kesit kenarları boyunca RNG k- ϵ türbülans modeliyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 5.5'de verilmiştir.

Şekil 5.5a'da $y=0.24$ m'deki kesit kenarları boyunca basınç dağılımları incelendiğinde, en kritik negatif basınç katsayısı değerlerinin artı-1 kesitli bina modelinde

gerçekleştiği görülmektedir. Rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeyin yan kenarlarından itibaren köşe boşluklarının oluşturduğu bölgelerde basınç katsayıları önce azalan sonra artan değerler şeklinde oluşmaktadır. Artı-2 kesitli bina modelinin ön yüzeyindeki köşe boşluklarının oluşturduğu bölgelerde negatif basınç katsayılarındaki azalma (hafifleme), artı-3 kesitli bina modelinde pozitif basınç katsayılarına dönüşmekte ve o bölgelerde ortam üstü basınç katsayısı değerleri hesaplanmaktadır. Modellerin yan duvarlarından ayrılan akışlar nedeniyle, modellerin arkasında bütün modeller için yaklaşık aynı basınç katsayısı değerlerine sahip dağılımlar oluşmaktadır.

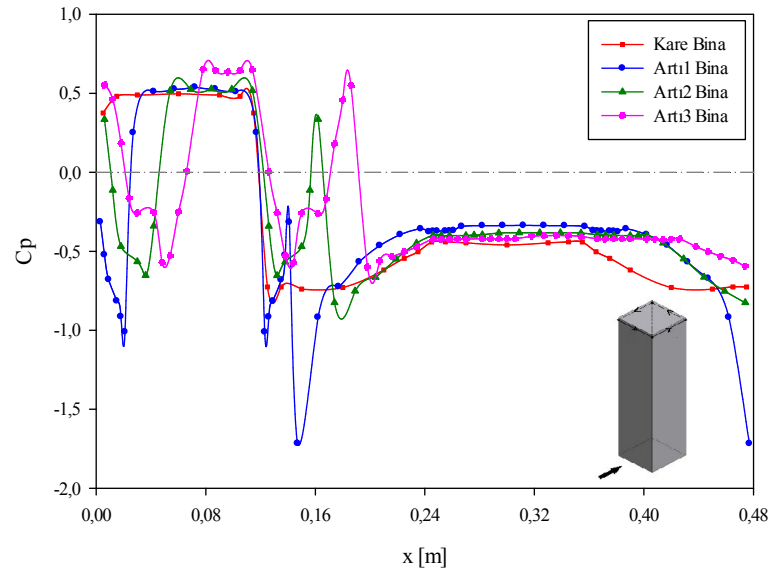
Şekil 5.5b'de $y=0.475$ m'deki kesit kenarları boyunca basınç katsayıları incelendiğinde, serbest uç etkisi (çatı ön kenarından ayrılan akış nedeniyle) nedeniyle basınç dağılımlarının $y=0.24$ m'deki dağılıma göre farklılaştığı görülmektedir. Kare kesitli bina modeline ait dağılımdan farklı olarak, negatif basınç katsayılarının, en kritik değerler olarak hesaplandığı artı-1 kesitli bina modelinden itibaren hafifleyerek artı-3 kesitli modelde en küçük değerleri aldığı görülmektedir. Artı-2 ve artı-3 kesitli bina modellerinde ön yüzeylerin dışında basınç katsayısının pozitif değerler aldığı bölgeler oluşmaktadır. Arka duvarda tüm bina modelleri için basınç katsayısı değerlerinin yaklaşık aynı olduğu uniform basınç dağılımları oluşmaktadır.



(a)

Şekil 5.5. Yatay düzlemde model kesit kenarları boyunca RNG k-ε ile hesaplanmış basınç katsayıları (a) $y=0.24$ m (b) $y=0.475$ m

Şekil 5.5'in devamı



(b)

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kare kesitli bir yüksek bina modeli etrafındaki akış alanı ve kare kesitin köşelerinden üç farklı oranda boşaltma yapılarak oluşturulan yeni geometrilerdeki modeller etrafındaki akış alanlarını üç boyutlu ve zaman bağımsız olarak farklı türbülans modelleri ile hesaplanmıştır. Geometrik değişikliklerin akış alanı üzerindeki etkisi, hesaplanmış akış alanı görüntüleri, modeller etrafında ortalama hız ve türbülans profilleri ve model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımları şeklinde değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Yüksek bina modellerinin geometrik farklılık içeren bütün kesitlerinde, akış ön köşelerden ayrılmakta ve akışa paralel durumdaki yan kenarlar üzerinde küçük ölçekli girdap bölgeleri ve kesitler arkasında birbirine göre ters yönde dönen simetrik girdap çiftleri oluşturmaktadır.
2. Köşe modifikasyonu uygulanan modellerde, köşelerin boşaltıldığı bölgelerde büyüklükleri boşalma oranına göre değişen girdap yapıları oluşmaktadır.
3. İncelenen bütün yüksek bina modellerinde, model ön yüzeyine gelen akış, model tabanından itibaren model yüksekliğinin 3/4'ü seviyesinde oluşan durma noktasından itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenmektedir.
4. İncelenen bina modellerinin arkasında yatay ve düşey düzlemlerde oluşan girdap bölgeleri karşılaştırıldığında, en büyük girdap boyutu RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmaktadır.
5. Farklı bina modelleri arkasında düşey doğrultularda hesaplanmış ortalama hız profillerinden, model yüksekliği seviyesinde ters akış bölgeleri olduğu görülmektedir.
6. Farklı bina modelleri arkasında düşey doğrultularda hesaplanmış türbülans kinetik enerji profillerinden, türbülans şiddetinin model yüksekliği seviyesinde aldığı en büyük değerler, serbest akış ve ters akış bölgesi arasındaki karışım tabakasının varlığını desteklemektedir.
7. Farklı bina modelleri arkasında yatay doğrultularda hesaplanmış ortalama hız profillerinden, modellerin arkasındaki iz bölgelerinde ortalama hız değerlerinin azaldığı görülmektedir.

8. Farklı bina modelleri arkasında yatay doğrultularda hesaplanmış türbülans kinetik enerji profillerinden, modellerin her iki yanından kopan girdaplar nedeniyle türbülans kinetik enerji değerlerinde artışı ifade eden iki tepeli yapıların oluştuğu görülmektedir.
9. İncelenen bütün bina modellerinde en kritik negatif basınçlar, ön yüzeylerin kenarlarından ayrılmış akış bölgelerinde oluşmaktadır.
10. Bina modellerinin çatı yüzeylerinde oluşan negatif basınç dağılımları bina modelinin geometrisinden etkilenmekte, en kritik negatif basınç katsayısı artı-1 kesitli bina modelinin çatısında gerçekleşmektedir.
11. Farklı kesitlere sahip bina modellerinde kesit kenarları boyunca basınç dağılımları incelendiğinde, en kritik negatif basınç katsayısı değerlerinin artı-1 kesitli bina modelinde gerçekleştiği görülmektedir.
12. Rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeylerin yan kenarlarından itibaren köşe boşluklarının oluşturduğu bölgelerde basınç katsayıları önce azalan sonra artan değerler şeklinde oluşmaktadır.
13. Artı-2 kesitli bina modelinin ön yüzeyindeki köşe boşluklarının oluşturduğu bölgelerde negatif basınç katsayılarındaki azalma (hafifleme), artı-3 kesitli bina modelinde pozitif basınç katsayılarına dönüşmektedir.
14. Kare kesitli bina modelinin yüzeyleri üzerinde yatay ve düşey doğrultularda farklı türbülans modelleri ile hesaplanmış basınç dağılımları değerlendirildiğinde, Standard k- ω türbülans modelinin diğer türbülans modellerine göre daha başarısız olduğu ve deneysel verilerle en iyi uyumun RNG k- ϵ türbülans modeli ile sağlandığı görülmüştür.
15. Farklı akış hızları için yatay ve düşey düzlemlerde hesaplanmış ortalama basınç katsayısı değerlerinin hemen hemen aynı olması akış alanının Reynolds sayısından bağımsız olduğunu göstermektedir.

7. ÖNERİLER

Yüksek bina modelleri etrafındaki akış alanlarının incelenmesine yönelik çalışmalar, uygulamada karşılaşılan yeni geometriler için çeşitlendirilebilir.

Farklı tipte köşe modifikasyonları uygulanarak bina geometrilerinde sağlanan değişikliklerin akış alanlarına etkisi sistematik olarak incelenebilir.

Akış alanları, zamana bağımlılık içeren LES ve DNS gibi ileri türbülans modelleri ile incelenerek deneysel verilere daha yakın sayısal sonuçlar türetilebilir.

Bu çalışmada incelenen bütün yüksek bina modelleri için rüzgar tüneli ölçümleriyle akış alanına yönelik deneysel sonuçlar elde edilerek, türbülans modellerinin hassasiyetlerinin denenmesinde veri olarak kullanılabilir.

8. KAYNAKLAR

1. Aynsley, R.M., Melbourne, W. ve Vickery, B.J., *Architectural Aerodynamics*, Applied Science Publishers Ltd., London, 1977.
2. Miyashita K., Katagiri J., Nakamura O., Ohkuma T., Tamura Y., Itoh M. ve Mimachi T. Wind Induced Response of High Rise Building: Effects of Corner Cuts or Opening in Square building, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 50 (1993) 319-328.
3. Kawai H., Effects of Corner Modifications on Aeroelastic Instabilities of Tall Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 74-76(1998) 719-729.
4. Gu M. ve Quan Y., Across-wind Loads of Typical Tall Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 92 (2004) 1147-1165.
5. Kumar S., Irwin P.A. ve Davies A., Design of Tall Building for Wind: Wind Tunnel vs. Codes/Standards, Third National Conference on Wind Engineering , 2006, India, 318-325.
6. Ikhwan M. ve Ruck B., Flow and Pressure Field Characteristics Around Pyramidal Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 94 (2006) 745-765.
7. Zikov E.A., Liabchuk A.V., Obukhovskiy A.D., Salenko S.D. ve Telkova J.V., Investigation in Wind Tunnel Flow Interaction with Models of two High-Rise Apartment Houses, International Conference on Methods of Aerophysical Research (ICMAR), 2008, Russia.
8. Shao J., Liu J. ve Zhao J., Evaluation of Various Non-linear k- ϵ Models for Predicting Wind Flow Around Anisolated High-Rise Building within the Surface Boundary Layer, Building and Environment, 57 (2012) 145-155.
9. Tominaga, Y., Mochida, A., Murakami, S. ve Sawaki, S., Comparison of Various Revised k- ϵ Models and LES Applied to Flow Around a High-rise Building Model with 1:1:2 Shape Placed within the Surface Boundary Layer, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96 (2008) 389-411.
10. Braun A.L. ve Awruch A.M., Aerodynamic and Aeroelastic Analyses on the CAARC Standard Tall Building Model Using Numerical Simulation, Computers and Structures, 87 (2009) 564-581.
11. Revuz J., Numerical Simulation of the Wind Flow Around a Tall Building and its Dynamic Response to Wind Excitation, PhD, The University of Nottingham, School of Civil Engineering, 2011.
12. Baskaran, A., Computer Simulation of 3D Turbulent Wind Effects on Buildings, PhD Concordia Universitesi, Canada, 1990.

13. Kim J.J. ve Baik J.J., A Numerical Study of the Effects of Ambient Wind Direction on Flow and Dispersion in Urban Street Canyons Using the RNG k- ϵ Turbulence Model, Atmospheric Environment, 38 (2004) 3039–3048.
14. Dagnev A.K., Bitsumalk G.T. ve Merrick R., Computational Evaluation of Wind Pressures on Tall Buildings, 11th Americas Conference on Wind Engineering, June 2009, Puerto Rico.
15. Hunte S., Testing the Application of CFD for Building Design, Master Thesis, Delft University of Technology, Netherland, 2010.
16. Zoubi F., Zheng-liang L., Qi-ke W. ve Yi S., Wind Tunnel Testing and Numerical Simulation of Wind Pressure on a High-Rise Building . J. Chongqing Univ. Eng. Ed., (2010) 47-53.
17. Huang S., Li Q.S. ve Xu S., Numerical Evaluation of Wind Effects on a Tall Steel Building by CFD, Journal of Constructional Steel Research, 63 (2007) 612–627.
18. Özmen Y. ve Aksu E., Düz Çatılı Silindirik bir Bina Üzerinden Türbülanslı Akış, 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül 2013, Samsun.
19. Guirguis N.M. ve Nassief M.M., Numerical and Experimental Study of Wind Load Around Buildings of Different Heights, Eighth International Congress of Fluid Dynamics & Propulsion, December 2006, Egypt.
20. Malavasi S. ve Trabucchi N., Numerical Investigation of the Flow Around a Rectangular Cylinder Near a Solid Wall, BBAA VI International Colloquium on: Bluff Bodies Aerodynamics & Applications, July 2008, Italy.
21. Montazeri H. ve Blocken B., CFD Simulation of Wind-Induced Pressure Coefficients on Buildings with and without Balconies: Validation and Sensitivity Analysis, Building and Environment, 60 (2013) 137-149.
22. Lawson, T.V., Wind Effects on Buildings,1, Design Applications, Applied Science Publishers, London, 1980.
23. Yücel M., Yüksek Binaların Yakın Çevre Bina Yüzeylerindeki Hava Akışına Etkileri- Four Winds Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
24. Ünal B., Bina Biçimlenmesinde Boşlukların Yakın Çevredeki Hava Hareketi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.
25. Yüksel A.N., Yapılar Üzerinde Rüzgar Tesirleri, MMLS Öğretimi Ders Notu, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, 1972.
26. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b6dd7db9af49e67_ek.pdf?dergi=144, Prof. Dr. Altan Öke, Yüksek Binalar ve Problemleri, 1 Mart 2014.
27. Kırkan H.S., Çok Katlı Yüksek Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörlerin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.

28. Lechner, Heating, Cooling, Lighting, John Wiley & Sons, New York, 1991.
29. Building Research Establishment, Wind around tall buildings, BRE Digest 390, UK, 1994.
30. Holmes J., Wind Loading Structures, Taylor & Francis, USA, 2007.
31. Mertens S., Wind Energy in Built Environment, Multi-Science, United-Kingdom 2006.
32. Yılmaztürk S., Yüksek Binalar Etrafındaki Akışın Sayısal ve Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
33. Taranath B., Steel, Concrete and Composite Design of Tall Buildings, McGraw-Hill Book Company, New York, 1998.
34. Mendis P., Ngo T., Haritos N., Hira A., Samali B. ve Cheung J., Wind Loading on Tall Buildings, EJSE Special Issue: Loading on Structures, (2007) 41-44.
35. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Müdürlüğü, İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği, Versiyon 5, İstanbul, 2009.
36. Amin J.A. ve Ahuja A.K., Aerodynamic Modifications to the Shape of the Buildings: a Review of the State-of-the-Art, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing) ,11 (2010) 433-450.
37. Launder B.E. ve Spalding D.B., The Numerical Computation of Turbulent Flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3 (1974) 269-289.
38. Fluent 6 Users Guide, Fluent Inc., (2001).
39. Shih T.H., Liou W.W., Shabbir A. ve Zhu J., A New k- ϵ Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows – Model Development and Validation, Computers Fluids, 24 (1995) 227-238.
40. Wilcox D.C., Turbulence Modeling for CFD, Second Edition, DCW Industries Inc., USA, 2002.
41. Franke. J., Recommendations of the COST Action C14 on The Use of CFD in Predicting Pedestrian Wind Environment, The Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering, 2006.
42. Blocken B., Stathopoulos T. ve Carmeliet J., CFD Simulation of the Atmospheric Boundary Layer: Wall Function Problems, Atmospheric Environment, 41 (2007) 238-252.

9. EKLER

EK 1. Sayısal Analizlerde Kullanılan UDF (User Defined Function) Kodları

Sayısal analizlerde giriş şartları olarak kullanılan UDF kodları aşağıdaki gibidir.

```
#include "udf.h"

/* DÜŞEY HIZ PROFİLİNİN HESAPLANMASI */

DEFINE_PROFILE(vel, thread, nv)
{

    real uf = 0.836;
    real zo = 0.0032;
    real uref = 11.024;
    face_t f;
    real x[ND_ND];

    begin_f_loop (f,thread)
    {
        F_CENTROID(x,f,thread);
        if (x[1] <= 0.8)
            F_PROFILE(f,thread,nv) = (uf/0.4187)*log((x[1])/zo);
        else
            F_PROFILE(f,thread,nv)= uref;
    }
    end_f_loop(f,thread)
}
```

```
/* DÜŞEY TÜRBÜLANS KİNETİK ENERJİ (k) PROFİLİNİN HESAPLANMASI */
```

```
DEFINE_PROFILE(k, thread, nv)
```

```
{
```

```
    real uf = 0.836;
```

```
    real zo = 0.0032;
```

```
    real Cmu = 0.09;
```

```
    real del = 0.8;
```

```
    real kref = 0.932;
```

```
    face_t g;
```

```
    real x[ND_ND];
```

```
    begin_f_loop (g,thread)
```

```
    {
```

```
        F_CENTROID(x,g,thread);
```

```
        if (x[1] <= 0.48)
```

```
            F_PROFILE(g,thread,nv) = uf*uf/sqrt(Cmu)*(1-x[1]/del);
```

```
        else
```

```
            F_PROFILE(g,thread,nv) = kref;
```

```
    }
```

```
    end_f_loop(g,thread)
```

```
}
```

```
/* DÜŞEY YUTULMA ( $\epsilon$ ) PROFİLİNİN HESAPLANMASI */
```

```
DEFINE_PROFILE(eps, thread, nv)
```

```
{
```

```
    real uf = 0.836;
```

```
    real zo = 0.0032;
```

```
    real Cmu = 0.09;
```

```
    real del = 0.8;
```

```
    real eref= 1.163;
```

```
    face_t h;
```

```
    real x[ND_ND];
```

```
    begin_f_loop (h,thread)
```

```
    {
```

```
        F_CENTROID(x,h,thread);
```

```
        if (x[1] <= 0.48)
```

```
            F_PROFILE(h,thread,nv) = uf*uf*uf/(0.4187*(x[1]))*(1-x[1]/del);
```

```
        else
```

```
            F_PROFILE(h,thread,nv) = eref;
```

```
    }
```

```
    end_f_loop(h,thread)
```

```
}
```

```
/* DÜŞEY ÖZGÜL YUTULMA ( $\omega$ ) PROFİLİNİN HESAPLANMASI */
```

```
DEFINE_PROFILE(omg, thread, nv)
```

```
{
```

```
    real uf = 0.836;
```

```
    real zo = 0.0032;
```

```
    real Cmu = 0.09;
```

```
    real del = 0.8;
```

```
    real wref= 1.248;
```

```
    face_t h;
```

```
    real x[ND_ND];
```

```
    begin_f_loop (h,thread)
```

```
    {
```

```
        F_CENTROID(x,h,thread);
```

```
        if (x[1] <= 0.48)
```

```
            F_PROFILE(h,thread,nv) = uf*sqrt(Cmu)/(0.4187*(x[1]))*(1-x[1]/del);
```

```
        else
```

```
            F_PROFILE(h,thread,nv) = wref;
```

```
    }
```

```
    end_f_loop(h,thread)
```

```
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Timur KAYDOK, 1986 yılında İstanbul'da doğdu. Gebze Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra, 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Bu süre zarfında çeşitli şirketlerde Makina Mühendisi olarak görev yaptı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.