

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Dünya üzerinde yapımları kolay ve maliyetleri düşük olan müstakil evler, okullar, ticari binalar, depolar, alışveriş merkezleri gibi birçok yapı alçak binalar olarak sınıflandırılmaktadır. Yüksek emniyet kriterine göre tasarlanan ve ileri teknolojik malzemelerle inşa edilen yüksek yapılar kuvvetli rüzgarlara karşı daha iyi performans gösterirken, daha basit şekilde inşa edilen alçak yapılar rüzgar kaynaklı hasarlara daha çok maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle, rüzgarın bu yapılar üzerindeki etkilerini incelemek günümüzde oldukça önemli bir hale gelmiştir.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, farklı çatı ve saçak eğimlerine sahip beşik çatılı bina modelleri etrafındaki akış yapıları sayısal olarak incelenmiş ve bina geometrisindeki değişimlerin akış karakteristiklerine olan etkileri ortaya koyulmuştur.

Yüksek Lisans eğitimim sürecinde bilgi, birikim ve tecrübelerinden istifade etmemi sağlayan, çalışma sürecimde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve değerli yorumlarıyla katkı sağlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Yücel ÖZMEN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma kapsamında özellikle sayısal çözümlerin her aşamasında bilgilerini ve değerli zamanını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olmaya çalışan sevgili arkadaşım Makine Yüksek Mühendisi Fatih ATCI' ya teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme sonsuz teşekkür eder çalışmamın yararlı olmasını içtenlikle dilerim.

Yunus KOPUZ
Trabzon, 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Çatı ve Saçak Eğimlerine Sahip Beşik Çatılı Binalar Üzerindeki Akış Alanlarının Sayısal İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Yücel ÖZMEN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/07/2020

Yunus KOPUZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ	XVII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.1.1. Amaç.....	2
1.1.2. Kapsam	3
1.1.3. Çalışmanın Bilimsel Önemi	4
1.2. Literatür Araştırması	5
2. GENEL BİLGİLER.....	8
2.1. Rüzgar ve Hava Karakteristikleri	8
2.2. Alçak Binalar Üzerinde Rüzgar Etkileri ve Rüzgar Yapısı.....	9
2.3. Geleneksel Çatı Çeşitleri	12
2.4. Sınır Tabaka Kavramı.....	15
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	17
3.1. Hareket Denklemleri.....	17
3.2. Türbülans Modelleri	18
3.2.1. Standard k-ε Türbülans Modeli	19
3.2.2. RNG k-ε Türbülans Modeli.....	19
3.2.3. Realizable k-ε Türbülans Modeli	20
3.3. Bina Modelleri.....	21
3.4. Akış Alanı.....	23
3.5. Çözüm Yöntemi.....	24
3.6. Sınır Şartları.....	24
3.7. Ağ Yapısı.....	27

4.	BULGULAR	31
4.1.	Hesaplanmış Akış Alanları.....	31
4.1.1.	15° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	31
4.1.2.	15° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	33
4.1.3.	15° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	34
4.1.4.	15° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	35
4.1.5.	15° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	37
4.1.6.	30° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	38
4.1.7.	30° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	40
4.1.8.	30° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	41
4.1.9.	30° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	42
4.1.10.	30° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	43
4.1.11.	45° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	45
4.1.12.	45° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	46
4.1.13.	45° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	47
4.1.14.	45° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	49
4.1.15.	45° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	50
4.2.	Ortalama Hız ve Türbülans Kinetik Enerji Profilleri	51
4.3.	Model Yüzeylerinde Basınç Dağılımları	72
4.3.1.	15° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	72
4.3.2.	15° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	74
4.3.3.	15° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	76
4.3.4.	15° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	77
4.3.5.	15° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	79
4.3.6.	30° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	81
4.3.7.	30° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	83
4.3.8.	30° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	85
4.3.9.	30° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	87
4.3.10.	30° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	89
4.3.11.	45° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	91
4.3.12.	45° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	93
4.3.13.	45° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	95
4.3.14.	45° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	96

4.3.15.	45° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli.....	98
5.	İRDELEME	100
5.1.	Model Geometrisinin Akış Yapısına Etkisi.....	100
5.2.	Model Geometrisinin Ortalama Hız ve Türbülans Kinetik Enerjiye Etkisi	100
5.3.	Basınç Dağılımları	101
5.3.1.	Çatı Eğimi Etkisi	101
5.3.2.	Saçak Eğimi Etkisi.....	105
6.	SONUÇLAR.....	111
7.	ÖNERİLER	113
8.	KAYNAKLAR.....	114
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FARKLI ÇATI VE SAÇAK EĞİMLERİNE SAHİP BEŞİK ÇATILI BİNALAR
ÜZERİNDEKİ AKIŞ ALANLARININ SAYISAL İNCELENMESİ

Yunus KOPUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Yücel ÖZMEN
2020, 117 Sayfa

Bu çalışmada, çatı eğim açısının 15° , 30° ve 45° ve saçak eğim açısının 0° , 15° , 30° , 45° ve 60° olduğu beşik çatılı bina modelleri etrafında sürekli rejimdeki üç boyutlu akış alanları, Reynolds sayısının 40000 değeri için Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri ile hesaplanmıştır. Çatı ve saçak eğim açılarındaki değişikliğin akış alanı üzerindeki etkisi, hesaplanmış akış görüntüleri, modeller etrafında ortalama hız ve türbülans profilleri ve model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımları şeklinde incelenmiştir. Sayısal çözümlerde rüzgar geliş açısı 90° olarak dikkate alınmıştır. Bina modellerinde sağlanan geometrik değişiklikler akış alanlarında ve yüzey basınç dağılımlarında farklılık oluşturmaktadır. Yüzey basınç dağılımlarındaki farklılıklar çatı ön yüzeylerinde ve saçak yüzeylerinde ortaya çıkmaktadır. En kritik negatif pik basınç katsayıları 15° eğimli çatıların sırtlarında oluşmaktadır. Saçak eğim açısı arttıkça çatı ön yüzeylerindeki pikler arasındaki fark azalmaktadır. Üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan sayısal sonuçlar birbirine yakın olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alçak Bina, Beşik Çatı, Saçaklar, Basınç Katsayısı, Akış Ayrılması
Türbülans modeli

Master Thesis

SUMMARY

NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW FIELDS ON BUILDINGS WITH GABLE
ROOF HAVING DIFFERENT ROOF AND EAVE SLOPES

Yunus KOPUZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Yücel ÖZMEN
2020, 117 Pages

In this study, the three-dimensional flow fields in the steady state around the building models with gable roof where the roof pitch angle is 15° , 30° and 45° , and the eave pitch angle is 0° , 15° , 30° , 45° and 60° were computed for the 40000 value of the Reynolds number with Standard k- ϵ , RNG k- ϵ and Realizable k- ϵ turbulence models. The effect of the change in roof and eave slope angles on the flow field was investigated as calculated flow images, mean velocity and turbulence profiles around the models and mean pressure coefficient distributions on the model surfaces. In numerical solutions, wind angle of incidence is considered as 90° . Geometric changes in building models create differences in flow structures and surface pressure distributions. Differences in surface pressure distributions occur on the windward roof and eave surfaces. The most critical negative peak pressure coefficients are formed on the ridges of 15° inclined roofs. The difference between the peaks on the windward roof surfaces decreases as the angle of the eaves inclination increases. The numerical results calculated by three different turbulence models are close to each other.

Key Words: Low-Rise Building, Gable Roof, Eaves, Pressure Coefficient, Flow Separation, Turbulence Model

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Hava akışı çeşitleri [35].....	8
Şekil 2.2. Tipik bir bina etrafında oluşan girdap tipleri [36].....	9
Şekil 2.3. Bir küt cisim etrafında oluşan akışın yapısı [37].....	10
Şekil 2.4. Yerel rüzgar etkileri [38].....	11
Şekil 2.5. İç basınç değişimleri (a) Geleneksel model (b) Ön duvarda açıklık bulunan model (c) Arka duvarda açıklık bulunan model (d) Birden fazla açıklık bulunan model [39]	12
Şekil 2.6. Eğimlerine göre çatı çeşitleri (a) Az eğimli çatı (b) Orta eğimli çatı (c) Dik çatı [40].....	13
Şekil 2.7. Değişik çatı çeşitleri (a), (b) Sundurma çatı (c) Beşik çatı (d) Kıırma çatı (e) Birleşik kıırma çatı (f), (g) Mansard çatı (h) Kule çatı (ı) Fenerli çatı (i) Şet çatı (j) Kombine çatı [40].....	14
Şekil 2.8. Tipik atmosferik sınır tabaka.....	15
Şekil 2.9. Farklı yüzey pürüzlülüklerindeki sınır tabaka kalınlıkları	16
Şekil 3.1. Model ölçüleri (a) 30° çatı eğimine sahip saçak bulunmayan beşik çatılı bina (b) Farklı çatı ve saçak eğimlerine sahip bina.....	22
Şekil 3.2. Bina modelleri (a) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=0^\circ$ eğimli saçak modeli (b) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=15^\circ$ eğimli saçak modeli (c) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=30^\circ$ eğimli saçak modeli (d) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=45^\circ$ eğimli saçak modeli (e) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=60^\circ$ eğimli saçak modeli (f) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=0^\circ$ eğimli saçak modeli (g) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=15^\circ$ eğimli saçak modeli (h) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=30^\circ$ eğimli saçak modeli (ı) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=45^\circ$ eğimli saçak modeli (i) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=60^\circ$ eğimli saçak modeli (j) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=0^\circ$ eğimli saçak modeli (k) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=15^\circ$ eğimli saçak modeli (l) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=30^\circ$ eğimli saçak modeli (m) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=45^\circ$ eğimli saçak modeli (n) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=60^\circ$ eğimli saçak modeli	23
Şekil 3.3. Akış alanı boyutları	24
Şekil 3.4. Akış alanı için kullanılan sınır şartları	25
Şekil 3.5. Açık kırsal arazi şartları için oluşturulmuş giriş profilleri (a) Ortalama hız, (b) Türbülans kinetik enerji, (c) Yutulma.....	26
Şekil 3.6. Artıkların iterasyon sayısı ile değişimi.....	26
Şekil 3.7. Bina modelleri etrafındaki ağ düzenleri	27

Şekil 3.8. 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip beşik çatılı bina modeli etrafındaki ağ yapısı	28
Şekil 3.9. Model yüzeyleri boyunca basınç katsayısı değişimleri (a) Standard k-ε, (b) RNG k-ε, (c) Realizable k-ε.....	29
Şekil 3.10. Model yüzeyleri boyunca basınç katsayısı değişimleri.....	30
Şekil 4.1. z=50mm'de 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	32
Şekil 4.2. y=20mm'de 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	32
Şekil 4.3. z=50mm'de 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	33
Şekil 4.4. y=20mm'de 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	34
Şekil 4.5. z=50mm'de 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	34
Şekil 4.6. y=20mm'de 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	35
Şekil 4.7. z=50mm'de 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	36
Şekil 4.8. y=20mm'de 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	36
Şekil 4.9. z=50mm'de 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε	37
Şekil 4.10. y=20mm'de 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε.....	38
Şekil 4.11. z=50mm'de 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε.....	39
Şekil 4.12. y=20mm'de 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε.....	39
Şekil 4.13. z=50mm'de 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε.....	40
Şekil 4.14. y=20mm'de 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε.....	41
Şekil 4.15. z=50mm'de 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε.....	41

- Şekil 4.16. $y=20\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 42
- Şekil 4.17. $z=50\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 43
- Şekil 4.18. $y=20\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 43
- Şekil 4.19. $z=50\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 44
- Şekil 4.20. $y=20\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 44
- Şekil 4.21. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 45
- Şekil 4.22. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 46
- Şekil 4.23. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 46
- Şekil 4.24. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 47
- Şekil 4.25. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 48
- Şekil 4.26. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 48
- Şekil 4.27. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 49
- Şekil 4.28. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 50
- Şekil 4.29. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 50
- Şekil 4.30. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ 51
- Şekil 4.31. 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji 52
- Şekil 4.32. 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji 53
- Şekil 4.33. 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) ortalama hız (b) türbülans kinetik enerji 55

Şekil 4.34. 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	56
Şekil 4.35. 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	57
Şekil 4.36. 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	59
Şekil 4.37. 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	60
Şekil 4.38. 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	61
Şekil 4.39. 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	62
Şekil 4.40. 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	64
Şekil 4.41. 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	65
Şekil 4.42. 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	67
Şekil 4.43. 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	68
Şekil 4.44. 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	69
Şekil 4.45. 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji.....	71
Şekil 4.46. 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	73
Şekil 4.47. 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	74
Şekil 4.48. 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	75
Şekil 4.49. 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	75
Şekil 4.50. 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	76
Şekil 4.51. 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	77

Şekil 4.52. 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	78
Şekil 4.53. 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	79
Şekil 4.54. 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	80
Şekil 4.55. 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	81
Şekil 4.56. 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	82
Şekil 4.57. 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	83
Şekil 4.58. 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	84
Şekil 4.59. 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	85
Şekil 4.60. 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	86
Şekil 4.61. 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	87
Şekil 4.62. 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	88
Şekil 4.63. 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	89
Şekil 4.64. 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	90
Şekil 4.65. 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	91
Şekil 4.66. 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	92
Şekil 4.67. 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	93
Şekil 4.68. 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	94
Şekil 4.69. 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	94

Şekil 4.70. 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	95
Şekil 4.71. 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	96
Şekil 4.72. 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	97
Şekil 4.73. 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	97
Şekil 4.74. 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları	98
Şekil 4.75. 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları	99
Şekil 5.1. Farklı çatı ve saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları (a) 0° eğimli saçak (b) 30° eğimli saçak (c) 60° eğimli saçak	104
Şekil 5.2. Farklı çatı ve saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları (a) 15° eğimli çatı (b) 30° eğimli çatı (c) 45° eğimli çatı	107
Şekil 5.3. Farklı çatı ve saçak eğimine sahip bina modellerinin saçak yüzeylerinde orta eksen boyunca Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları (a) 15° eğimli çatı (b) 30° eğimli çatı (c) 45° eğimli çatı.....	109

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1 Farklı ağ yoğunlukları için hücre sayısı ve çözümler süreleri.....	30
--	----



SEMBOLLER DİZİNİ

C_p	: Basınç katsayısı
E	: Bina saçak uzunluğu [m]
F	: Kuvvet [N]
H	: Bina yüksekliği [m]
k	: Türbülans kinetik enerji [m^2/s^2]
L	: Bina uzunluğu [m]
m	: Kütle [kg]
P	: Basınç [N/m^2]
P_s	: Statik basınç [N/m^2]
Re	: Reynolds sayısı
t	: Zaman [s]
U_0	: Serbest akış hızı [m/s]
u_i, u_j, u_k	: i, j ve k yönündeki hızlar [m/s]
x	: Yatay koordinat
y	: Dikey koordinat
z	: Derinlik Koordinatı
z_0	: Pürüz yüksekliği [m]
W	: Bina genişliği [m]
ε	: Yutulma [m^2s^3]
μ	: Dinamik viskozite [$N.s/m^2$]
ρ	: Yoğunluk [kg/m^3]
μ_t	: Türbülans viskozitesi [$N.s/m^2$]
δ	: Sınır tabaka kalınlığı [m]
α	: Bina çatı açısı
β	: Bina saçak açısı
θ	: Rüzgar geliş açısı

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 kuzey yarım kürede saat yönünün tersinde, güney yarım kürede ise saat yönünde bir sirkülasyona sahip büyük ölçekli düşük basınçlı sistemler (siklonlar) vasıtasıyla ekvatorlardan 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 tabakanın içerisinde 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. 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 [2].

Günümüzde, bilim ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak, rüzgarın yapılar üzerindeki etkileri önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Dünya üzerinde inşa edilen yapıların önemli bir bölümü alçak bina olarak sınıflandırılmaktadır. Yapımları kolay ve maliyetleri düşük olan müstakil evler, okullar, ticari ve fabrika binaları, depolar ve alışveriş merkezleri gibi yapılar bu sınıf kapsamındadır. Aşırı emniyet kriterlerine göre tasarlanıp,

ileri teknoloji ve malzeme kullanılarak inşa edilen yüksek yapılar kuvvetli rüzgarlara karşı daha iyi bir performans gösterirken, daha basit yapılan alçak yapılar rüzgar kaynaklı hasarlara daha çok maruz kalmaktadır. Yapılan araştırmalar alçak binaların en çok dış cephe ve özellikle çatılarının hasara uğradığını göstermektedir. Rüzgara dirençli bina bileşenleri oluşturmak ekonomik kayıplarda önemli bir azalma sağlamaktadır. Bölgelerin etkin rüzgarlarının ve arazi yapılarının farklı olmasının yanı sıra, geleneksel yapı türleri ve mimarilerinin de farklı olması, bu alandaki çalışmaların sayısını sürekli arttırmaktadır.

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.

Yapılar etrafındaki akışlarla ilgili sayısal çalışmalar, rüzgar mühendisliğinde önemli yer tutmaktadır. Gerçek yapı ve laboratuvar ölçümlerinin zahmetli olması ve karmaşık geometrilerin getirdiği zorluklar, sayısal çalışmaları yaygınlaştırmaktadır.

Sayısal çalışmalarda, türbülanslı akış davranışını temsil edebilmek için Navier-Stokes denklemleri ile birlikte farklı türbülans modelleri kullanılmaktadır. Geleneksel türbülans modelleri basit geometrilerde genellikle iyi sonuç 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 artış, söz konusu ileri türbülans modellerinin kullanımını da kolaylaştırmaktadır.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

1.1.1. Amaç

Rüzgar olarak adlandırılan hava hareketi, yer yüzeyindeki yapıları önemli ölçüde etkilemektedir. Atmosferik şartların değişkenliği nedeniyle bina çatıları üzerinde meydana gelen basınç değişiklikleri sonucunda, aerodinamik yönden uygun olmayan bina çatıları hasar görebilmekte ve hatta uçabilmektedir. Ayrıca, rüzgar ve bina arasındaki etkileşim,

girdaplara neden olmakta ve oluşan titreşim ve girdaplar hasara yol açabilmektedir. Bina çatıları üzerinde rüzgarın oluşturduğu etkiler, çatı geometrisine göre değişmektedir. Rüzgarın çatılar ve saçaklar üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerin incelenmesi ve iyileştirmelerin yapılabilmesi için, çatılar etrafındaki akış alanlarının ayrıntılı bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma, uygulamada karşılaşılan bu olumsuzlukların önlenmesine yönelik uygun çatı ve saçak geometrilerinin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Literatürde mevcut çalışmalarda çoğunlukla çatı eğim açısı, rüzgar geliş açısı, bina konumu, bina yüksekliği gibi parametreler değiştirilerek bu parametrelerin çatılar üzerindeki rüzgar yükünü nasıl etkilediği incelenmektedir. Saçak açısındaki değişimin çatı ve bina etrafındaki akış alanını nasıl etkileyeceğine dair çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmada, saçak açılarında gerçekleştirilecek değişimin akış alanı üzerindeki etkisine odaklanılmıştır. Saçak açılarının değiştirilmesiyle sağlanacak geometrik değişikliğin çatılar üzerindeki rüzgar yüklerine olan etkisinin incelenmesi çalışmanın özgün yönünü oluşturmaktadır.

1.1.2. Kapsam

Bu çalışmada, farklı saçak geometrilerine sahip beşik çatılı bina modelleri etrafındaki akış alanları sayısal olarak incelenmiştir. Ticari bir yazılım olan ANSYS-FLUENT paket programının kullanıldığı çalışmada, farklı çatı ve saçak açılarıyla çeşitlendirilen bina modelleri etrafında sürekli rejimdeki üç boyutlu akış alanları, üç farklı türbülans modeli ile çözülmüştür. Akış alanlarında uygun ağ yapısı oluşturmak için FLUENT ile uyumlu çalışan bir diğer paket program olan ICEM CFD programı kullanılmıştır.

Öncelikle, akış alanlarında uygun ağ yoğunluğunu belirleyerek ağdan bağımsız çözümleri elde etmek ve sayısal çözüm sonuçlarının literatürdeki deneysel verilerle uyumunu göstermek amacıyla ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, çatı eğim açısının 15° , 30° ve 45° ve saçak eğim açısının 0° , 15° , 30° , 45° ve 60° olduğu durumlar için 15 farklı bina geometrisi türetilmiştir. Oluşturulan bina geometrileri etrafındaki akış alanları Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sayısal çözümlerde rüzgar geliş açısı 90° olarak dikkate alınmıştır.

Sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar, bina modelleri etrafında akış çizgileri, bina modelleri etrafında ortalama hız ve türbülans profilleri ve saçak ve çatı yüzeyleri boyunca basınç dağılımları oluşturularak değerlendirilmiştir.

Bu çalışma yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm tezin amacı ve kapsamı, çalışmanın bilimsel önemi ve tez konusu ile ilgili literatür bilgilerinden oluşmuştur. İkinci bölüm, rüzgar karakteristikleri ve alçak binalar üzerinde rüzgar etkilerine yönelik 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, bulguların irdelemesi yapılmıştır. Altıncı bölümde, çalışmanın pratik sonuçlarına yer verilmiş ve son bölümde, ileriye yönelik önerilerde bulunulmuştur.

1.1.3. Çalışmanın Bilimsel Önemi

Rüzgar olarak adlandırılan hava hareketi, canlı yaşamını olduğu kadar yer yüzeyindeki yapıları da önemli ölçüde etkilemektedir. Dünya üzerinde inşa edilen konut, ticari ve diğer amaçla inşa edilmiş yapılar alçak binalar olarak sınıflandırılmaktadır. Okullar, fabrika binaları, depolar, alışveriş merkezi gibi birçok yapı alçak binalara örnek olarak gösterilmektedir. Bu nedenle alçak binaların rüzgar ve çevre koşullarına karşı göstereceği direnci incelemeye yönelik çalışmalar literatürde fazla sayıda mevcuttur. Rüzgar bina etkileşimi sonucunda binalar üzerinde farklı büyüklüklerde basınç alanları oluşmakta ve bu durum ise binaların hasar görmesine neden olmaktadır. Bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için rüzgar-bina arasındaki etkileşimin detaylı olarak incelenmesi ve tasarım aşamasında gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu konuda yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda akış alanına yönelik elde edilen veriler, mühendis ve tasarımcılara önemli oranda katkı sağlamaktadır.

Çatı aerodinamiği ile ilgili literatür incelendiğinde, genellikle çatı eğim açısı, rüzgar geliş açısı, bina konumu, bina yüksekliği, çatı türü gibi parametrelerin değiştirildiği ve bu değişimlerin çatılar üzerindeki rüzgar yüküne etkisinin incelendiği deneysel ve sayısal çalışmalar görülmektedir. Saçak geometrisindeki değişimin çatı etrafındaki akış alanında nasıl bir etki oluşturduğu konusundaki çalışmalar son derece kısıtlıdır. Bu çalışma kapsamında yeni bir parametre olarak incelenen saçak eğim açısının, akış alanında farklılık oluşturması nedeniyle çalışmaya orijinal bir nitelik kazandırdığı ve bu alanda çalışacak olanlara önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu tür çalışmaların, binalarla

ilgili rüzgar standartları ve kodlarının, iklimsel koşullardaki değişimlere göre düzeltilmesine ve yenilenmesine de büyük katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

1.2. Literatür Araştırması

Değişik bina geometrileri etrafındaki akışların incelenmesi amacıyla literatürde çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar çoğunlukla rüzgar tünellerinde modelleme çalışmaları şeklinde gerçekleştirilmekte, sayısal çalışmalar ise genellikle türbülans modellerinin hassasiyetine yönelik sonuçlar üretmeyi amaçlamaktadır. Mevcut çalışmaların çoğunda model yüzeylerindeki basınç dağılımları incelenmiştir. Alçak binaların çatıları üzerindeki basınç dağılımlarının düz ve pürüzlü arazi durumları için ve incelendiği ve düz arazilerde basınç katsayısı değerlerinin daha küçük olduğunu gösteren bir çalışma Davenport ve Surry [3] tarafından gerçekleştirilmiştir. Stathopoulos [4], beşik çatılarda değişen çatı eğim açısıyla birlikte çatı yüzeylerindeki basınç dağılımlarının farklılaştığını ortaya koymuştur. Kind [5], model yüzeylerindeki ayrıntılı basınç ölçümleriyle gerçekleştirdiği çalışmada, negatif pik basınç değerlerinin çatı köşelerine yakın küçük bölgelerde oluştuğunu belirlemiştir. Meecham ve diğ. [6] tarafından, kırma ve beşik çatı modellerinin yüzeyleri üzerinde yapılan basınç ölçüm deneyleri, emme etkisi açısından kırma çatıların beşik çatılara göre daha uygun olduğunu göstermiştir. Robertson [7], keskin hatlara ve eğrisel forma sahip iki saçak tipi üzerindeki rüzgar yüklerini karşılaştırmalı olarak incelemiş ve saçak geometrisindeki değişikliğin basınç dağılımlarını etkilediğini belirlemiştir. Silsoe binasının yüzeylerindeki basınç dağılımları üzerinde saçak detayının ve akış şartlarının etkisi Savory ve diğ. [8] tarafından incelenmiştir. Bienkiewicz ve Sun [9], TTU test binasının modelini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, çatı üzerine yerleştirilen korkulukların ve rüzgar geliş açısının çatı yüzeylerindeki basınç dağılımlarına etkisini incelemişlerdir. Karem ve Lu [10], kare kesitli bir bina çatısı üzerindeki ortalama ve çalkantı basınç dağılımlarını belirlemişlerdir. Açık kırsal arazi ve kentsel arazi şartlarında, iki farklı yükseklikte korkuluk duvarı kullanarak yaptıkları ölçümlerde, korkulukların ortalama, rms ve pik basınç dağılımlarını etkilediğini belirlemişlerdir. Beşik çatılı uzun alçak bir bina üzerindeki basınç dağılımları Kanda ve Maruta [11] tarafından deneysel olarak belirlenmiştir. Stathopoulos ve Luchian [12], saçak detayları olan bir bina modelinin yüzeyleri üzerinde basınç ölçümleriyle gerçekleştirdiği çalışmalarında, saçak yüzey bölgelerinin diğer yüzeylere göre daha kritik

negatif basınç değerlerine maruz kaldığını belirlemişlerdir. Holmes [13], rüzgar tüneline gerçekleştirdiği model çalışmasıyla, beşik çatılı tropik evlerin duvar ve çatıları üzerinde etkili olan rüzgar yüklerini, yükseklik, çatı eğimi ve rüzgar geliş açısı parametrelerini değiştirerek incelemiştir. Baskaran ve Kashef [14], tekli ve çoklu bina konfigürasyonları etrafındaki akış alanlarını, geliştirdikleri kişisel bir kodla çözmüşler ve sayısal tekniklerin binalar etrafındaki hava hızlarını çok ayrıntılı hesaplayabileceğini belirtmişlerdir. Richardson ve diğ. [15], rüzgar tüneli ve gerçek yapı ölçümleriyle gerçekleştirdikleri çalışmalarında, saçak detayının çatı yüzeyleri üzerindeki basınç dağılımlarını değiştirdiğini belirtmişlerdir. Akışın çatı yüzeyleri üzerinde tutunmasında, eğrisel formdaki saçakların keskin saçaklara göre daha elverişli olduğu Hoxey ve diğ. [16] tarafından ifade edilmiştir. Kentsel ve kırsal arazi koşullarında, beşik çatılı bina modelleri üzerindeki basınç dağılımlarının deneysel olarak belirlendiği ve kentsel arazi durumunda basınç değerlerinin daha kritik olduğunun saptandığı bir çalışma Case ve Isyumov [17] tarafından gerçekleştirilmiştir. Kıрма ve beşik çatılı bina modellerinin yüzeylerinde karşılaştırma amaçlı basınç ölçümlerinin gerçekleştirildiği bir diğer çalışma Xu ve Reardon [18] tarafından yapılmıştır. Ham ve Bienkiewicz [19] tarafından gerçekleştirilen bir diğer deneysel çalışmada, hem gerçek yapı hem de model üzerinde rüzgar basınçları ölçülmüş ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Uematsu ve Isyumov [20], alçak binaların yüzeylerindeki basınç dağılımlarını karşılaştırmalı inceleyen bir literatür çalışması gerçekleştirmiştir. Tipik bir alçak bina modelinin çatı yüzeylerinde ortalama ve minimum basınç dağılımlarının deneysel olarak belirlendiği bir çalışma Ginger ve diğ. [21] tarafından yürütülmüştür. Ginger ve Holmes [22], rüzgar tüneline basınç ölçümleriyle gerçekleştirdikleri çalışmalarında, rüzgar geliş doğrultusunun açılı olması durumunda emme yüklerinin daha kritik olduğunu belirtmişlerdir. Quan ve diğ. [23], geniş bir eğim açısı aralığındaki beşik çatıya sahip alçak bina modelleri yüzeylerinde kentsel arazi koşullarında rüzgar basınçlarını belirlemişlerdir. Prasad ve diğ. [24] tarafından yapılan bir diğer çalışmada, farklı eğim açılara sahip beşik ve kıрма çatılı bina modellerinin yüzeylerinde basınç katsayıları belirlenmiş ve kıрма çatı yüzeylerindeki emme yüklerinin % 42 daha az olduğunu belirlenmiştir. Cao ve diğ. [25], basit ve çok katmanlı düz çatılar üzerindeki rüzgar etkilerini, farklı rüzgar geliş açıları için deneysel olarak incelemişlerdir. Çatılar üzerinde ölçülen pozitif ve negatif basınç değerlerini, literatürde mevcut deneysel sonuçlarla ve rüzgar kodlarıyla karşılaştırılmıştır. Gavanski ve diğ. [26] tarafından gerçekleştirilen bir diğer rüzgar tüneli çalışmasında, arazi ve çatı tipinin çatı yüzeylerindeki rüzgar basınçlarını

önemli ölçüde etkiledikleri saptanmıştır. Bitsuamlak ve diğ. [27], çatı köşelerindeki emme etkisini azaltmak amacıyla o bölgelere mimari elemanlar yerleştirmişler ve bu elemanların emme yükünü çatı köşelerinde % 65, saçaklarda ise % 25 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Tominago ve diğ. [28], farklı eğimlere sahip kırma çatılı bina modeli üzerinde bir dizi deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlar ve bina etrafındaki ortalama hız, türbülans kinetik enerji ve basınç katsayılarını dağılımlarını elde etmişlerdir. Farklı türbülans modellerinin hassasiyetlerini de denedikleri çalışmalarında, sayısal sonuçların deneysel verilerle uyum içerisinde olduğu belirtmişlerdir. Gölbaşı ve diğ. [29], 30° eğimli beşik çatıya sahip farklı yüksekliklerdeki bina modelleri etrafındaki akışın alanlarını deneysel ve sayısal olarak incelemişler, hız ve basınç dağılımlarını elde etmişlerdir. Fouad ve diğ. [30], farklı eğimlerdeki sundurma, beşik ve kule tipi çatılara sahip alçak bina modelleri etrafındaki akış alanlarını sayısal olarak incelemişler ve elde ettikleri sonuçları uluslararası rüzgar kodları ile karşılaştırmışlardır. Xing ve diğ. [31], beşik çatılı bir bina modeli üzerine etki eden rüzgar yüklerini farklı çatı eğimleri ve rüzgar geliş açıları için sayısal ve deneysel olarak incelemişler ve özellikle 90° rüzgar geliş açısı durumunda akış çizgileri ve basınç dağılımlarında önemli farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. LES ve RANS modelleri ile elde ettikleri sayısal sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlar ve RANS temelli modellerin eğimli yüzeylerdeki akış alanını çözmede yetersiz kaldığını ifade etmişlerdir. Shan ve diğ. [32], yüzey eğiminin, çatı sırt formunun ve çift saçak düzenlemesinin Çin kırma çatıları üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Tek saçaklı geleneksel Çin kırma çatısı üzerinde oluşan emme etkisinin, çift saçaklı durumda her iki saçak üzerinde oluşan emme etkisine göre daha kritik olduğunu ortaya koymuşlardır. Singh ve Roy [33], piramit çatıya sahip kare kesit bina modelleri etrafındaki akış alanlarını, model duvarlarında açıklık durumunu da dikkate alarak farklı çatı eğimleri ve rüzgar geliş açıları için Realizable k- ϵ türbülans modeli kullanarak çözmüşlerdir. Çatı yüzeylerindeki basınç katsayılarını ve modeller etrafındaki hız dağılımlarını hesapladıkları çalışmada, duvar açıklığı bulunmayan modellere ait çatı yüzeylerindeki basınç katsayılarının, duvar açıklığı bulunan modellere ait çatı yüzeylerindeki basınç katsayılarının yaklaşık üç katı olduğunu belirlemişlerdir.

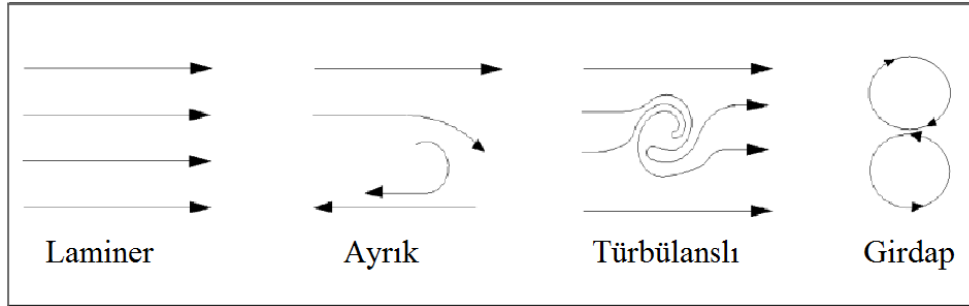
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Rüzgar ve Hava Karakteristikleri

Rüzgar güneş enerjisinin dönüşmüş bir biçimi olarak ortaya çıkmakta ve güneşin atmosfer kütesine eşit olmayacak şekilde yaymış olduğu ısı, yer yüzeyinin coğrafi yapısı ve dünyanın kendi etrafında dönmesi sonucu oluşmaktadır. Karalar, denizler ve havaküre farklı özgül ısıları dolayısıyla farklı sıcaklıklara sahip olmaktadır. Bu durum bazı bölgelerde yüksek, bazı bölgelerde alçak basınç sistemlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Bu iki merkez arasındaki basınç farkları rüzgarı meydana getirmektedir [2].

Doğal rüzgar akışı türbülanslı karakterdedir ve bu nedenle rüzgarın yönü, hızı ve şiddeti sürekli değişim halindedir. Rüzgar hızının üç temel karakteristiği vardır. Bu karakteristikler, rüzgar hızının yönü, rüzgar hızının şiddeti ve bu iki karakteristikteki anlık değişimlerdir [34].

Hava akışı sıcaklık ve basınç farklı nedeniyle meydana gelen doğal taşınım yolu ile oluşmaktadır. Hava akışı, laminer, ayırık, türbülanslı ve girdap olmak üzere dört farklı tipte ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.1).



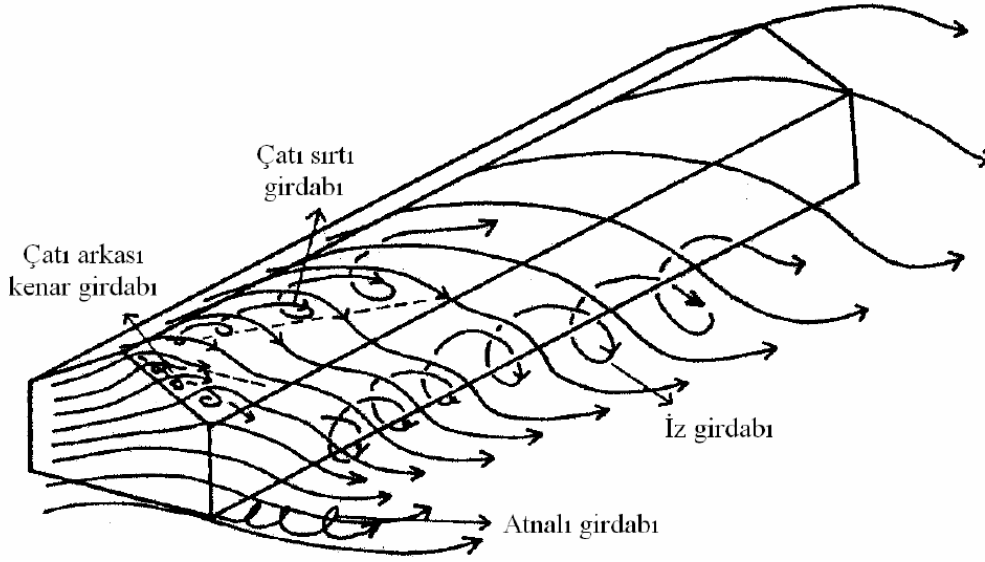
Şekil 2.1. Hava akışı çeşitleri [35]

Hava akışı bina gibi sert bir engelle karşılaştığı zaman laminer akış, türbülanslı akış haline geçmektedir. Laminer veya türbülanslı akışların dairesel formda olanları ise girdap

olarak adlandırılmaktadır. Hava belirli bir kütleyle sahip olduğundan, hareket eden hava doğrusal çizgilerle gösterilmekte ve herhangi bir kuvvetle yön değiştirdiğinde ise, eğrisellik kazanmaktadır.

2.2. Alçak Binalar Üzerinde Rüzgar Etkileri ve Rüzgar Yapısı

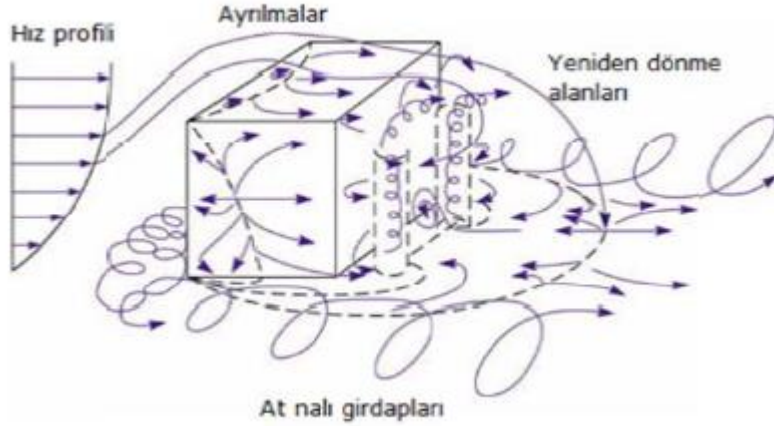
Alçak binalar, atmosferik sınır tabakanın alt kısmında bulunmaları nedeniyle binalara etki eden rüzgar hızları oldukça değişkendir. Alçak bir binaya gelen rüzgar binanın etrafından geçerek yön değiştirmekte ve saçaklar, çatı sırtları, duvar köşeleri gibi binanın ön kenarlarından ayrılarak girdapların oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, binanın arka taraflarında oluşan dört tür girdap vardır. Bunlar çatı sırtında ayrılmış akışın ürettiği çatı sırtı girdabı, çatı kalkanı üzerinden ayrılan akışın ürettiği çatı arkası kenar girdabı, arka yan kenarların oluşturduğu at nalı girdabı ve arka duvar boyunca meydana gelen iz bölgesi girdabıdır. Girdaplar oluştuğu bölgede basınçların negatif değerler almasına ve emme etkisinin meydana gelmesine neden olmaktadır [36].



Şekil 2.2. Tipik bir bina etrafında oluşan girdap tipleri [36]

Rüzgarın çarptığı bölgelerde binanın şekline ve akışın hızına bağlı olarak basınç farklılıkları oluşmaktadır. Binaya yaklaşmakta olan akış yavaşlamakta ve binaya çarptıktan sonra yanlardan hızını arttırarak geçmektedir. Akışın binaya çarpması sonucunda oluşan farklılıklar, Şekil 2.3’de görüldüğü gibi ayrılmalara, yeniden tutunmalara, türbülanslı ve

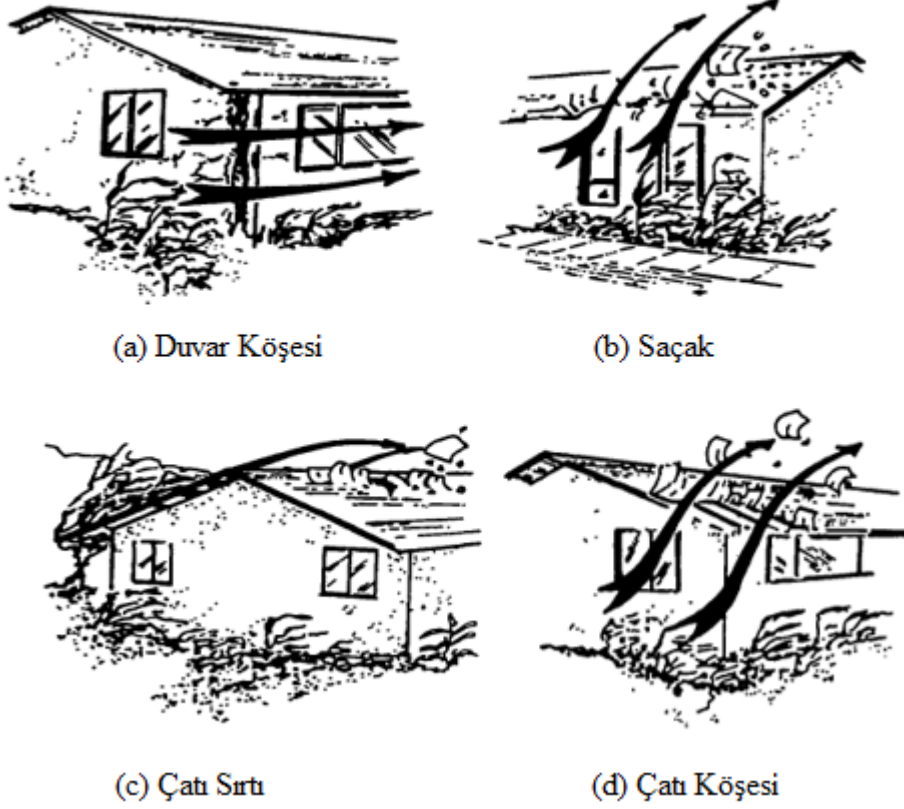
girdaplı akışa ve akış çizgilerinin zamanla değişmesine neden olmaktadır. Binaya yaklaşan akış, bina ön yüzüne çarptıktan sonra düzensiz yön değiştirmekte ve buna bağlı olarak binanın ön alt kısmında bir girdabın oluşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca binanın önünde, yere yakın ayrılan akış yanlara ve arkaya doğru uzanarak at nalı şeklinde girdaplar oluşturmaktadır. Binanın üst köşesinden ayrılan akış ve at nalı girdaplar, bina arkasındaki iz bölgesinin oldukça karmaşık bir yapıda olmasına neden olmaktadır. İki boyutlu akışta, bina üst köşesinden ayrılan akış binanın üst yüzeyinin belirli bir noktasında yeniden tutunurken, üç boyutlu akışta ayrılan akışın yeniden tutunduğu sabit bir bölge oluşmamaktadır. Üç boyutlu akışta, binanın üst yüzeyinde yığılmış olan girdaplar akışı bozmakta ve bina arkasında oluşan ters akış bölgelerini etkilemektedir. Bu ters akış bölgelerinin bozulup tekrar oluşması, akışın üç boyutlu ve zaman bağımlı olması nedeniyledir.



Şekil 2.3. Bir küt cisim etrafında oluşan akışın yapısı [37]

Rüzgarın bina yüzeylerinde oluşturduğu basınç etkileri binaları hasara uğratabilmektedir. Binanın doğrudan rüzgara maruz kalan yüzeylerinde pozitif basınç dağılımları oluşurken, diğer yüzeyler emme etkisine maruz kalmaktadır. Çatılar üzerinde oluşan negatif basınçlar, emme kuvvetini oluşturmakta ve bu kuvvet büyük oranda çatı eğimine ve çatı türüne bağlı olarak değişmektedir. Rüzgar, binanın keskin köşelerinden geçerken, akış ayrılmaları nedeniyle duvar kenarları, saçaklar, çatı sırtı ve çatı köşelerinde kritik negatif basınçlar meydana getirmektedir. Bu negatif basınçlar bina geometrisiyle yakından ilgilidir. Farklı rüzgar açılarında binanın değişik elemanları Şekil 2.4'teki gibi

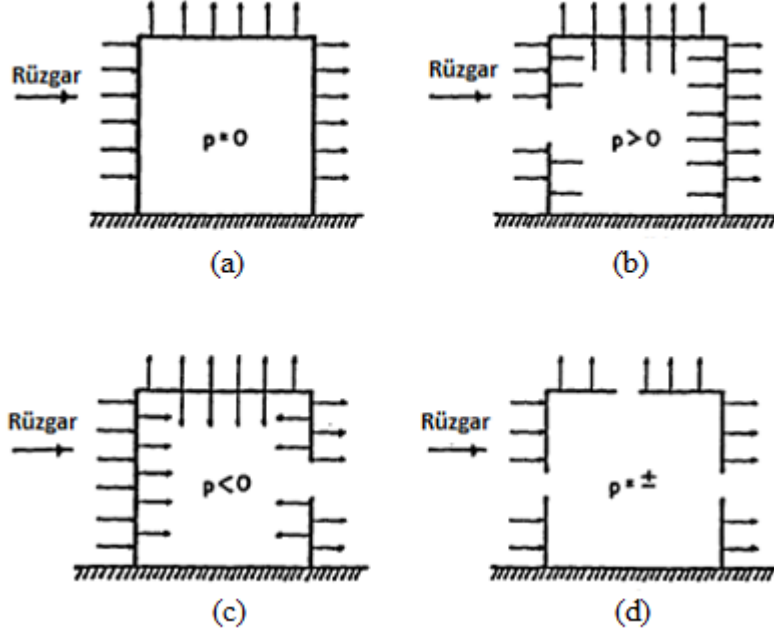
kritik yüklere maruz kalabilmektedirler. Bu kritik yükler ise duvar ile çatı arasındaki bağlantıların kopmasına neden olabilmektedir.



Şekil 2.4. Yerel rüzgar etkileri [38]

Binalarda hasar oluşumuna neden olan bir diğer etken, bina bileşenlerindeki herhangi bir açıklık nedeniyle meydana gelen iç basınçlardır. Herhangi bir açıklığın olmadığı binalarda bina iç basıncında bir değişiklik olmamaktadır (Şekil 2.5a). Rüzgara doğrudan maruz kalan duvarında açıklık bulunan bir bina modelinde ise, iç basınçta bir artış ortaya çıkmakta ve bunun sonucu olarak binanın rüzgara göre arka ve yan duvarlarında dışa doğru etki eden basınçlarda önemli ölçüde artış meydana gelmektedir (Şekil 2.5b). Öte yandan rüzgara göre arka duvarında açıklığı bulunan bina modelinde, iç basınçta bir azalma meydana gelmektedir. Binanın rüzgar taraftaki dış duvarında basınç değerleri artarken, çatı, yan duvarlar ve rüzgara göre arka duvarlardaki basınç değerlerinde azalma meydana gelmektedir (Şekil 2.5c). Bir diğer durum olan ve pratikte daha sık görülen birden fazla bileşeninde açıklık bulunan bina modellerinde ise, açıklıkların büyüklüğü ve buldukları

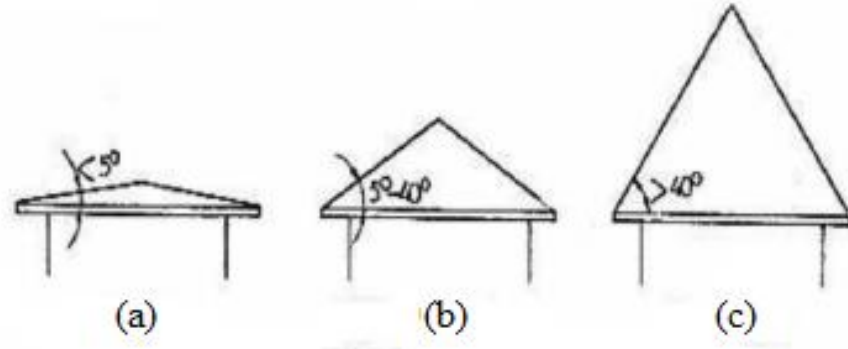
konumlara göre bina duvarlarındaki basınçlarda artma veya azalma meydana gelebilmektedir (Şekil 2.5d).



Şekil 2.5. İç basınç değişimleri (a) Geleneksel model (b) Ön duvarda açıklık bulunan model (c) Arka duvarda açıklık bulunan model (d) Birden fazla açıklık bulunan model [39]

2.3. Geleneksel Çatı Çeşitleri

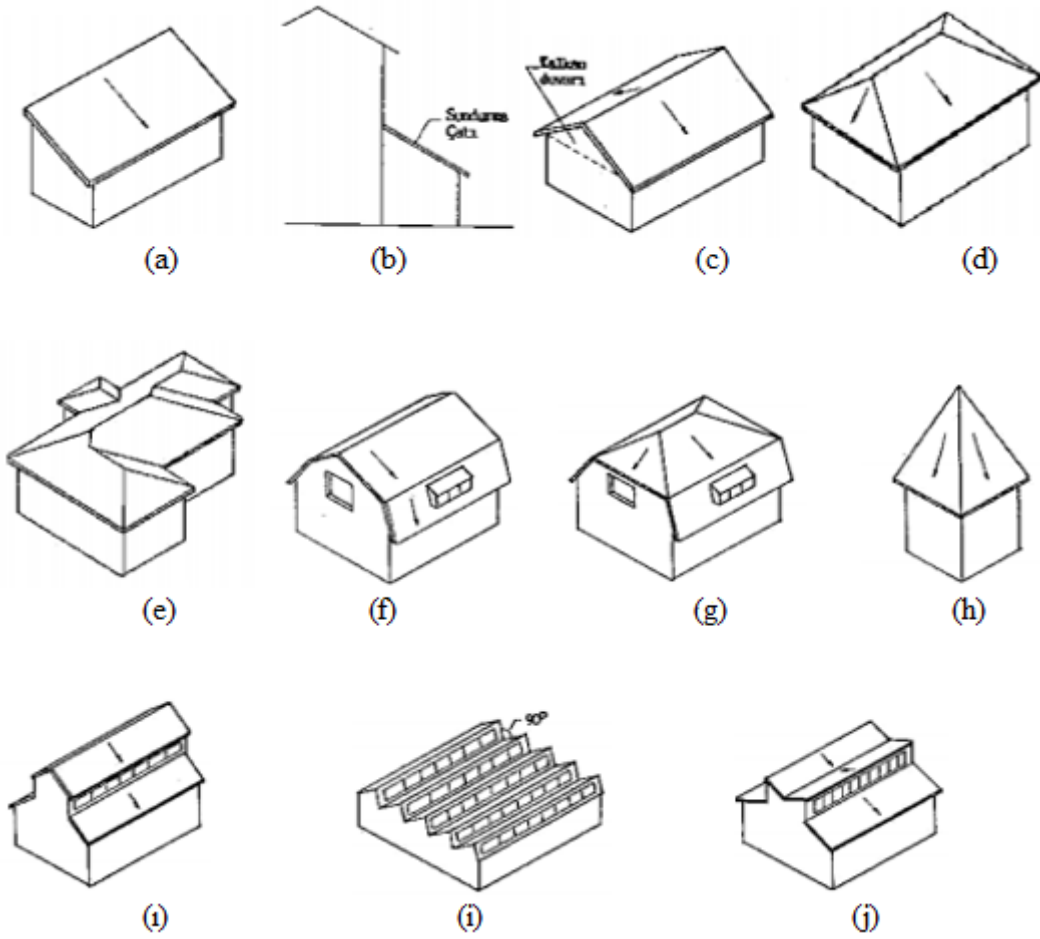
Çatı, binayı dış ortamdan ayıran ve sınırlayan, binayı üstten örterek yağış, nem, rüzgar, güneş ışını, ısı, gürültü ve toz gibi dış ortam etkilerinden koruyan bir yapı elemanıdır. Taşıyıcılık, yalıtım ve esneklik gibi özelliklerin ön plana çıktığı bu yapı elemanının tasarımında; çatının kendi ağırlığı ve yağmur ve kar yüklerinin yanında rüzgar yükleri de dikkate alınması gereken çok önemli bir etkidir. Çatı üst yüzeyinin bir yatay düzlemlle kesişmesi ile ortaya çıkan açı, çatı eğimi olarak adlandırılmaktadır. Çatılar eğimlerine göre az eğimli ($0^\circ - 5^\circ$ aralığında eğimi olan), orta eğimli ($5^\circ - 40^\circ$ aralığında eğimi olan) ve dik ($\geq 40^\circ$ eğimi olan) çatılar olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.



Şekil 2.6. Eğimlerine göre çatı çeşitleri (a) Az eğimli çatı (b) Orta eğimli çatı (c) Dik çatı [40]

Az eğimli çatıların tasarımında, yürüme ve oturma gibi faaliyetlerin yapılacağı tasarım sırasında dikkate alınmalıdır. Bu amaçla yapılan çatılarda, kullanılan koruma amaçlı kaplama malzemesi aşınma ve darbelere dayanıklı olmalıdır. Genellikle yağışlı bölgelerde tercih edilen eğimli çatılar da ise, bölgenin iklim koşullarına göre, çatı kaplamasının türü, boyutu ve biçimi, çatı arasının kullanım koşulları ve yönetmelikler dikkate alınmaktadır.

Çatılar, farklı gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanmaları nedeniyle, uygulamada farklı geometrilere birçok çatı tipi mevcuttur. Şekil 2.7'de geometrik biçimlerine göre farklı çatı çeşitleri görülmektedir.



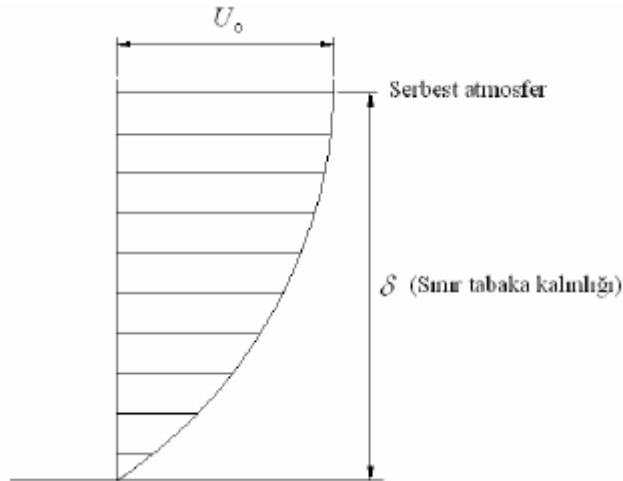
Şekil 2.7. Değişik çatı çeşitleri (a) Sundurma çatı (c) Beşik çatı (d) Kıрма çatı (e) Birleşik kıрма çatı (f), (g) Mansard çatı (h) Kule çatı (i) Fenerli çatı (i) Şet çatı (j) Kombine çatı [40]

Çatılarda oluşan hasarlar, çoğunlukla çatı köşeleri, çatı sırtı ve çatı saçaklarında meydana gelmektedir. Özellikle çatı kenarlarında etkili olan rüzgar ile çatı arasındaki etkileşimi azaltmak için saçaklara değişik şekiller verilebilmektedir. Bazı ahşap ve selender tarzı yapıların saçak kısımlarına belirli bir eğim verilerek yelkırın saçak biçimi oluşturulmaktadır. Bu sayede saçığın alt ve üst kısmında oluşacak basınç dağılımlarının birbirine direnç göstermesi sonucu, saçak üzerindeki emme etkisinin azalacağı düşünülmektedir.

2.4. Sınır Tabaka Kavramı

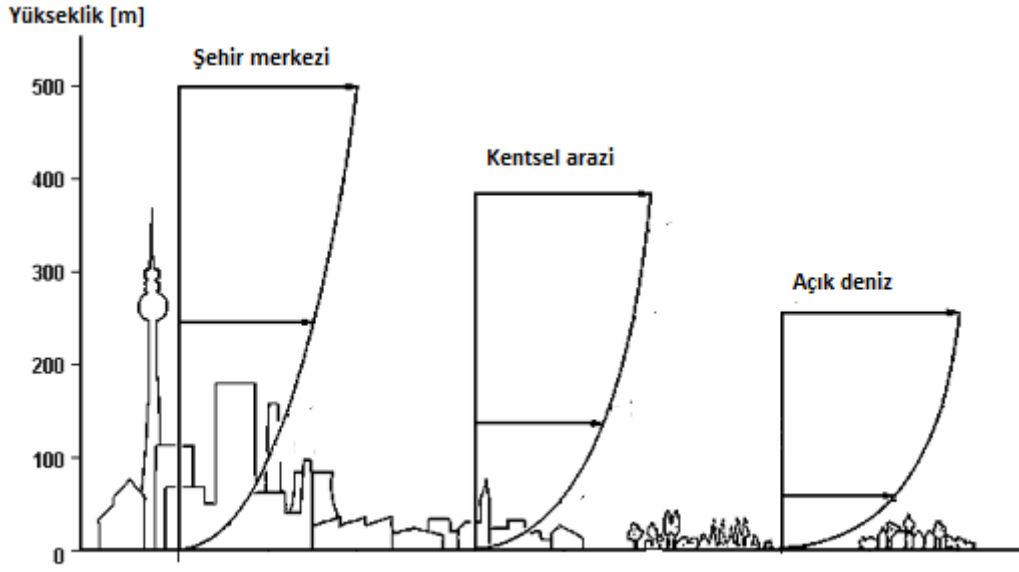
Yeryüzüne yakın bölgelerdeki hava sirkülasyonu, hava koşullarını (temiz veya kirli hava bakımından) ve bölgede hakim olan iklim özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Rüzgar hızı, hava sirkülasyonunun bir ölçütü olarak kullanılmaktadır. Yerleşim alanlarının yeryüzüne yakın olan bölgelerinde, açık kırsal arazilere oranla ortalama rüzgar hızı % 20-30 arasında düşmektedir. Bu nedenle, açık kırsal arazilerde inşa edilen yapılar, rüzgar ve fırtına gibi hava koşullarının oluşturacağı olumsuz etkenlerden daha fazla etkilenmektedir [41].

Dünya yüzeyi üzerindeki hava hareketi, atmosferik sınır tabaka adı verilen, sürtünme etkilerinin hakim olduğu bir tabakayı oluşturmaktadır. Bu tabakanın kalınlığı, rüzgar yoğunluğu, arazi pürüzlülüğü ve enlem açısına bağlı olarak birkaç yüz metreden birkaç yüz kilometreye kadar değişebilmektedir. Sınır tabaka içerisindeki rüzgar hızı yükseklikle artmakta ve sınır tabakanın üst sınırındaki serbest akış hız değerine ulaşmaktadır (Şekil 2.8). Bu kalınlık değişimi düşey doğrultudaki ısı transferi ile meydana gelmektedir. Yukarı yöndeki ısı transferi sınır tabakadaki türbülansın şiddetine katkıda bulunmakta ve sınır tabaka kalınlığının artmasına yardım etmektedir. Aşağı yönde ısı transferi ise sınır tabakadaki türbülansı azaltma etkisi göstermektedir. Sınır tabakanın üst kısmında, yüzey etkilerinin ihmal edildiği serbest atmosfer bölgesinde, rüzgar eş basınç alanları boyunca yaklaşık serbest akış hızında esmektedir [2].



Şekil 2.8. Tipik atmosferik sınır tabaka

Atmosferdeki ısıl şartlar ve yeryüzü şeklinin oluşturduğu karmaşık etkiler nedeniyle tam olarak tanımlanamayan sınır tabaka, bu karmaşık etkilerin basitleştirilmesiyle incelenmektedir. Atmosferik sınır tabakanın kararlı yüksekliği 100 m civarındadır. Ancak, bazen 10 m ile 500 m ve hatta daha yüksek değerlere kadar değişim gösterebilmektedir. Bu değişim üzerinde güneş ışınımı şartları, rüzgar yoğunluğu ve zemin özellikleri etkili olmaktadır. Sınır tabaka karakteristiklerini etkileyen önemli faktörlerden biri yüzey pürüzlülüğüdür. Farklı yüzey pürüzlülüklerinin sınır tabaka kalınlığı üzerindeki etkileri Şekil 2.9’da görülmektedir [2].



Şekil 2.9. Farklı yüzey pürüzlülüklerindeki sınır tabaka kalınlıkları

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, öncelikle AUTOCAD çizim programı kullanılarak çalışma kapsamındaki bina modelleri üç boyutlu olarak oluşturulmuştur. Daha sonra ticari bir yazılım olan ANSYS FLUENT 18.0 paket programı ile bina modelleri etrafındaki akış alanları sayısal olarak hesaplanmıştır. Akış alanlarının özelliklerine uygun şekilde çözüm algoritmaları ve sınır koşulları seçilmiştir. Üç boyutlu bina modelleri etrafındaki akış alanları, üç farklı türbülans modeli ile zaman bağımsız olarak çözülmüştür. Hesaplamaların yapıldığı akış alanlarındaki ağ yapıları literatüre uygun şekilde oluşturulmuştur. Sayısal çalışmada, ilk önce ağdan bağımsız çözümü sağlayacak uygun ağ yoğunluğunu belirlemek amacıyla farklı ağ yoğunluklarında çözümler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, çalışmada kullanılan türbülans modellerinin hassasiyetlerini belirlemek amacıyla, saçaksız bir bina modeli etrafındaki akış alanı farklı türbülans modelleri ile hesaplanarak elde edilen sonuçlar literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Çatı ve saçak geometrisindeki değişimin akış alanına etkisini incelemek amacıyla, çatı eğim açısının $\alpha=15^\circ$, 30° ve 45° ve saçak eğim açısının $\beta=0^\circ$, 15° , 30° , 45° ve 60° olduğu durumlar için 15 farklı bina geometrisi türetilmiştir. Oluşturulan bina geometrileri etrafındaki akış alanları Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sayısal çözümlerde rüzgar geliş açısı $\theta=90^\circ$ olarak dikkate alınmıştır. Sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar, bina modelleri etrafında akış çizgileri, bina modelleri etrafında ortalama hız ve türbülans profilleri ve saçak, çatı ve model yüzeyleri boyunca basınç dağılımları oluşturularak değerlendirilmiştir.

3.1. Hareket Denklemleri

Sıkıştırılamaz bir akışkanın zaman bağımsız hareketi, Kartezyen koordinatlarda,

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

atalet kuvvetleri basınç kuvveti sürtünme kuvvetleri kütleli kuvvetler

şeklinde Navier-Stokes denklemleri ve

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

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

$$0 = -\frac{\partial(\rho \bar{u}_j \bar{u}_i)}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] + F_i \quad (3.3)$$

şeklindeki Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemleri olarak elde edilmektedir. Literatürde, söz konusu denklemlerdeki çalkantı terimlerinin hesaplanması için farklı türbülans modelleri mevcuttur. Bu çalışma kapsamında, Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri ile çözümler gerçekleştirilmiştir.

3.2. Türbülans Modelleri

Doğadaki akışların neredeyse tamamının türbülanslı olması nedeniyle, türbülanslı akışlar pratikte büyük öneme sahiptir. Üç boyutlu, zaman bağımlı ve çalkantı olma hali gibi özellikleri nedeniyle oldukça karmaşık bir yapıda olan türbülanslı akışların sayısal olarak incelenmesi için akış alanını çözmeyi amaçlayan modeller geliştirilmiş ve türbülans modeli kavramı ortaya çıkmıştır [42]. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar hız ve kapasiteleri de gelişmekte ve türbülanslı akışların sayısal olarak incelenmesine yönelik çalışmalar da gün geçtikçe artmaktadır. Çoğu türbülans modelinin bazı akış alanlarındaki deneysel verilerle uyumlu sonuçlarına rağmen, bütün türbülanslı akışları yüksek doğrulukta çözen genel bir yöntem üretilmemiştir. Literatürde yaygın olarak bilinen k-ε türbülans modeli, Standard, RNG ve Realizable şeklinde üç farklı formda kullanılmaktadır. k-ε modelinin bu üç farklı formu, k ve ε'u hesaplamak için aynı yapıdaki denklemleri kullanmaktadır. 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 [42] tarafından önerilen Standard k-ε türbülans modeli, kolay uygulaması nedeniyle, günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Yarı ampirik bir model olan Standard k-ε türbülans modeli, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans yutulma oranı (ε),

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

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

şeklinde iki adet transport denkleminde oluşmaktadır. Burada; G_k , ortalama hız gradyanına bağlı türbülans kinetik enerjisini, G_b , kaldırma kuvvetine bağlı 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 sayısını, S_k ve S_ε , kaynak terimlerini ve Y_M , 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 metodu kullanılarak çözülen denklemlerin oluşturduğu model Standard k-ε modeline göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, yeni katsayılar, yeni terimler ve transport denklemlerindeki değişimler şeklindedir [43]. RNG k-ε türbülans modelinde transport denklemleri,

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

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

şeklinde oluşmaktadır. Burada $G_k, G_b, S_k, R_\varepsilon$ 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. $C_{1\varepsilon}$ ve $C_{2\varepsilon}$ model sabitleri, RNG k- ε türbülans modelinde analitik olarak $C_{1\varepsilon} = 1.42$, $C_{2\varepsilon} = 1.68$ olarak belirlenmiştir.

3.2.3. Realizable k- ε Türbülans Modeli

Shih ve diğ. tarafından önerilen Realizable k- ε modelde, normal gerilmelerdeki bazı matematiksel yetersizliklerin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir [44]. Bu yaklaşımda, δ_{ij} kroneker delta olmak üzere, sıkıştırılamaz bir akış için Reynolds gerilmeleri,

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

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 katsayısı, şekil değişimi, rotasyon ve açısız hızının bir fonksiyonudur.

k ve ε için modellenmiş transport denklemleri,

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

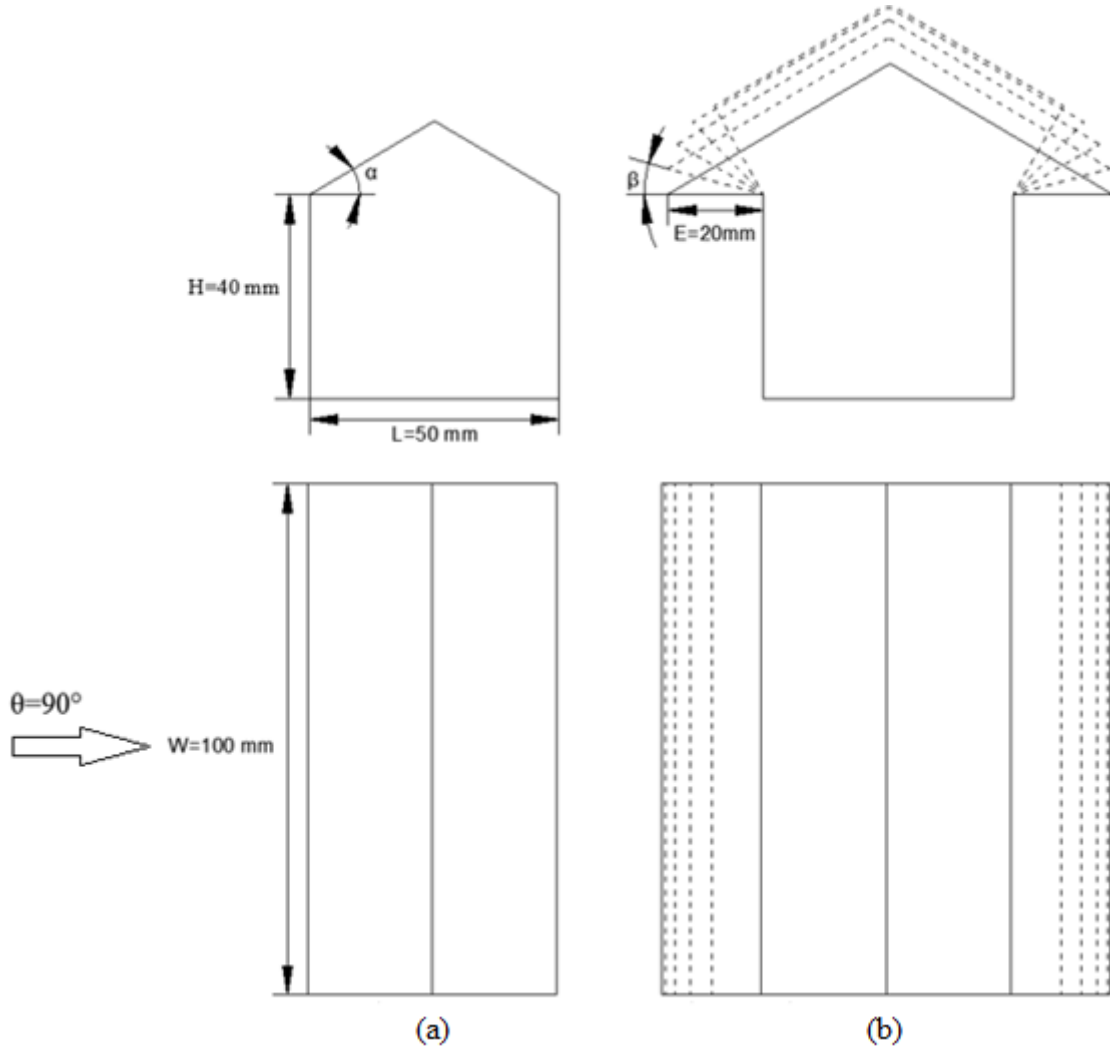
$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_\varepsilon} \right] - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k}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

şeklindedir. Bu denklemde G_k , ortalama hız gradyenti kaynaklı türbülanslı kinetik enerji üretimini; G_b , kaldırma kuvveti kaynaklı 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 sırayla, 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.

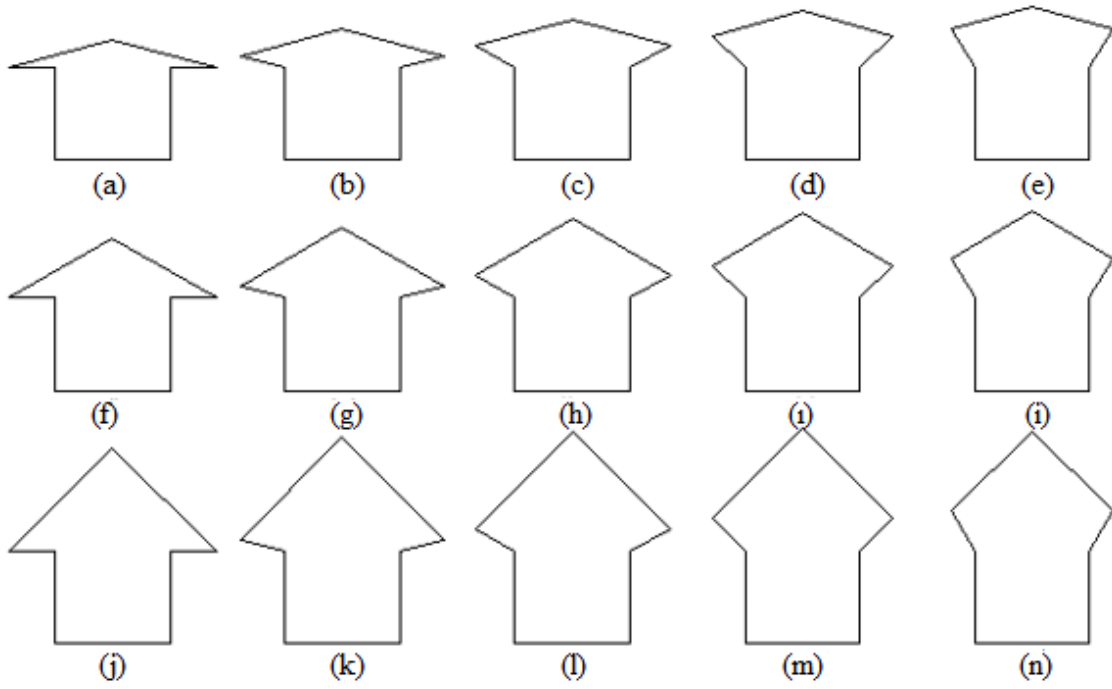
3.3. Bina Modelleri

Bu tez kapsamında, öncelikle şematik görüntüsü Şekil 3.1a'da verilen çatı eğim açısının 30° olduğu saçaksız beşik çatılı bina modeli etrafındaki akış alanı, literatürde mevcut deneysel sonuçlarla karşılaştırma yapmak üzere üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmıştır. Daha sonra Şekil 3.1a'da görülen bina modeline sabit uzunluktaki saçak detayının ilave edilmesiyle ve çatı ve saçak açısının değiştirilmesiyle türetilmiş bina modelleri etrafındaki akış alanları üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmıştır (Şekil 3.1b). Türetilmiş bina modellerine ait literatürde herhangi bir deneysel çalışma olmaması nedeniyle, bu modeller etrafındaki akış alanı incelemeleri sayısal analizlerle sınırlı tutulmuştur. Bina modelleri bir çizim programı olan AUTOCAD 2019 paket programı kullanılarak üç boyutlu olarak oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında incelenen bina modellerinin boyutları, $H=40$ mm yükseklik, $L=50$ mm uzunluk, $W=100$ mm genişlik ve $E=20$ mm saçak uzunluğu şeklindedir.

Çalışmada, çatı eğim açısının $\alpha=15^\circ$, 30° ve 45° ve saçak eğim açısının $\beta=0^\circ$, 15° , 30° , 45° ve 60° olduğu durumlar için 15 farklı bina geometrisi türetilmiştir (Şekil 3.2). Oluşturulan bina geometrileri etrafındaki akış alanları Standard k- ε , RNG k- ε ve Realizable k- ε türbülans modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sayısal çözümlerde rüzgar geliş açısı $\theta=90^\circ$ olarak dikkate alınmıştır.



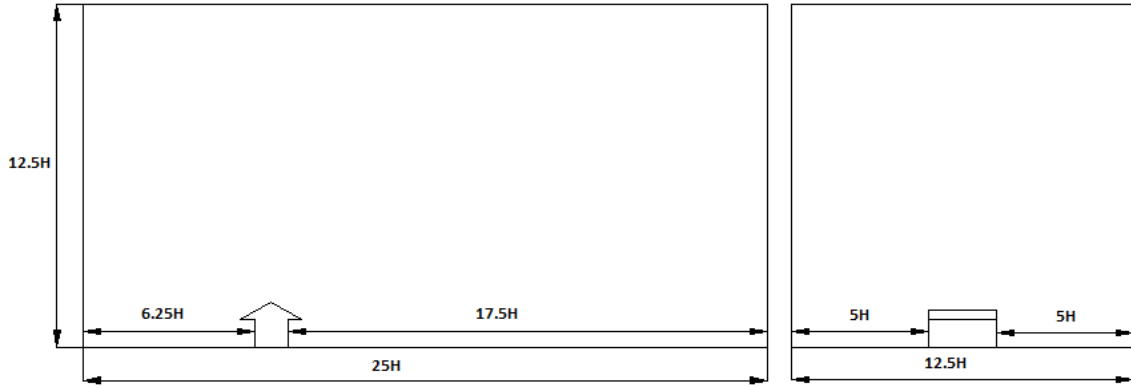
Şekil 3.1. Model ölçüleri (a) 30° çatı eğimine sahip saçak bulunmayan beşik çatılı bina (b) Farklı çatı ve saçak eğimlerine sahip bina



Şekil 3.2. Bina modelleri (a) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=0^\circ$ eğimli saçak modeli (b) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=15^\circ$ eğimli saçak modeli (c) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=30^\circ$ eğimli saçak modeli (d) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=45^\circ$ eğimli saçak modeli (e) $\alpha=15^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=60^\circ$ eğimli saçak modeli (f) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=0^\circ$ eğimli saçak modeli (g) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=15^\circ$ eğimli saçak modeli (h) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=30^\circ$ eğimli saçak modeli (i) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=45^\circ$ eğimli saçak modeli (j) $\alpha=30^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=60^\circ$ eğimli saçak modeli (k) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=0^\circ$ eğimli saçak modeli (l) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=15^\circ$ eğimli saçak modeli (m) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=30^\circ$ eğimli saçak modeli (n) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=45^\circ$ eğimli saçak modeli (o) $\alpha=45^\circ$ eğimli çatı ve $\beta=60^\circ$ eğimli saçak modeli

3.4. Akış Alanı

30° çatı eğim açısına ve 0° saçak eğim açısına sahip bina modelinin akış alanındaki örnek yerleşim düzeni Şekil 3.3'de görülmektedir. Hesaplama alanındaki boyutlar, sayısal çözümlerin doğruluğunu önemli derecede etkilemektedir. Model yüksekliğine göre tanımlanmış ve hesaplama alanının sınırlarını belirten uzunluklar, Özmen [2]'nin çalışmasındaki gibi seçilmiştir.



Şekil 3.3. Akış alanı boyutları

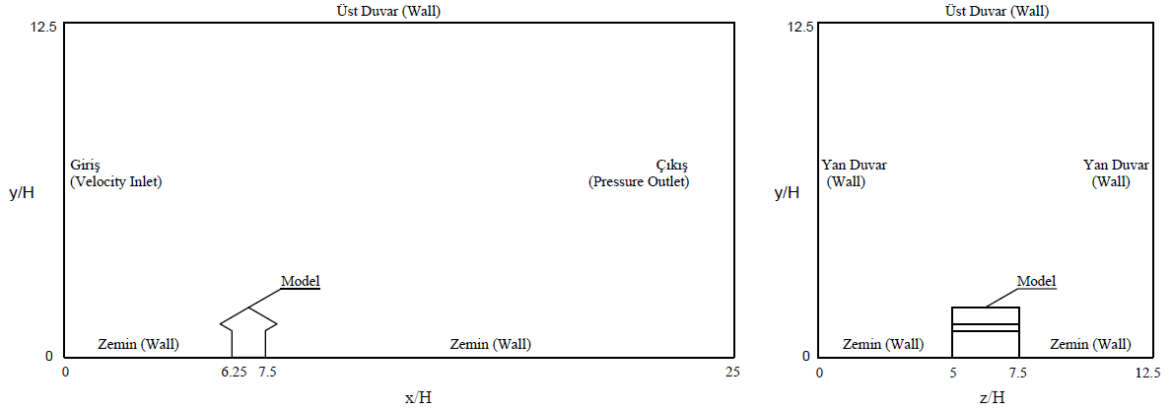
3.5. Çözüm Yöntemi

Bina modelleri etrafındaki üç boyutlu akış alanının sayısal çözümleri, ANSYS 18.0 programı bünyesinde bulunan FLUENT paket programı kullanılarak, KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Intel i7 işlemcili 32GB RAM özelliklerine sahip bir Workstation (İş İstasyonu) bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Bina modellerinin geometrileri, AUTOCAD 2019 programında çizilip ANSYS programına taşınmıştır. Hesaplama alanlarına ağ giydirme işlemleri için, ANSYS ticari yazılımıyla uyumlu ICEM CFD programı kullanılmıştır.

Sayısal çözümlerde, Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri kullanılmıştır. Duvar yaklaşımı olarak İyileştirilmiş Duvar Fonksiyonu (Enhanced Wall Function) kullanılmıştır. İteratif çözücü olarak ise SIMPLE algoritması tercih edilmiştir. Değişkenlerin ağ noktaları arasındaki değişim için Second Order Upwind çözüm yolu benimsenmiştir.

3.6. Sınır Şartları

Üç boyutlu akış alanı için geçerli sınır şartları Şekil 3.4'de verilmiştir. İncelenen bütün modeller etrafındaki akış alanları tüm modeller için aynıdır. ICEM CFD programındaki şekliyle sınır şartları, girişte "VELOCITY INLET", çıkışta "PRESSURE OUTLET", duvarlarda ise "WALL" şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 3.4. Akış alanı için kullanılan sınır şartları

Şekil 3.5’de görülen ve Özmen [2] tarafından daha önce açık kırsal arazi şartları için deneysel olarak elde edilen ortalama hız ve türbülans profilleri, akış alanında giriş sınır şartı olarak kullanılmıştır.

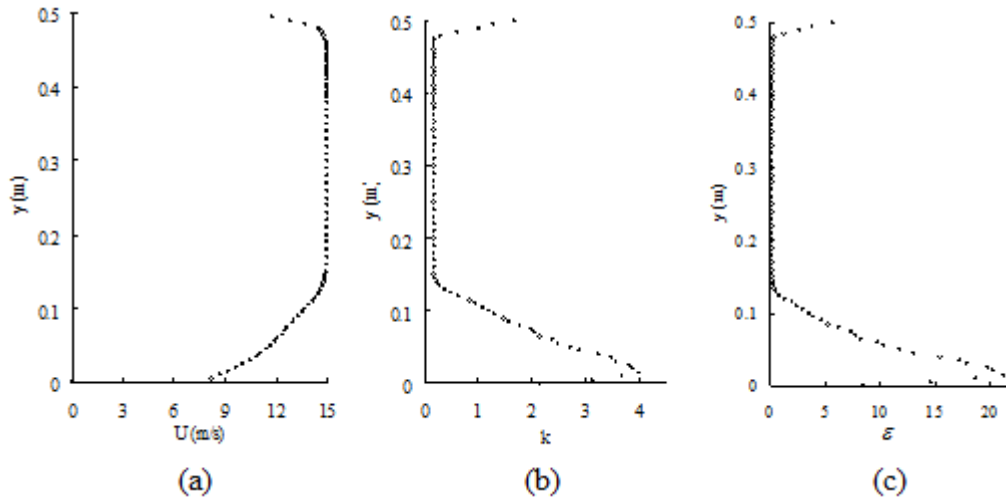
$K = 0.41$, $\delta = 0.15$ m, $C_\mu = 0.09$, $l = K\delta$, olmak üzere,

türbülans kinetik enerji (k) ve yutulma (ε) için giriş profilleri,

$$k = \frac{3}{2}(U_{ort} \cdot TI)^2 \quad (3.14)$$

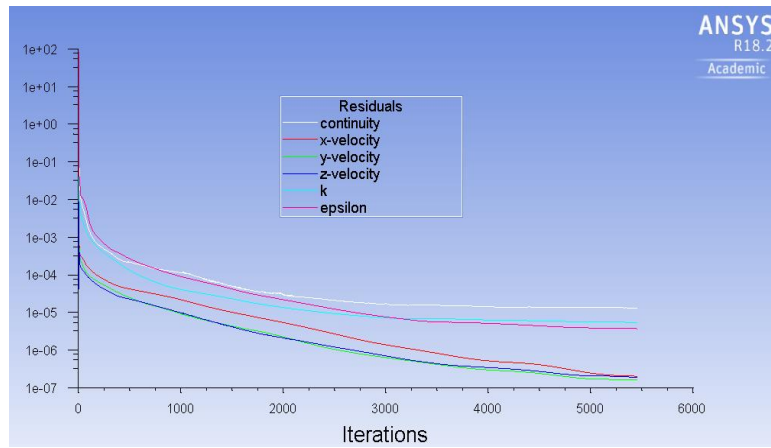
$$\varepsilon = C_\mu^{\frac{3}{4}} \cdot \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l} \quad (3.15)$$

bağıntıları ile oluşturulmuştur.



Şekil 3.5. Açık kırsal arazi şartları için oluşturulmuş giriş profilleri (a) Ortalama hız, (b) Türbülans kinetik enerji, (c) Yutulma

Normalize edilmemiş artıkların süreklilik, k ve ε denklemleri için 10^{-5} den, diğer denklemler için (x , y , z hızları) ise 10^{-6} dan küçük olma koşulu, yakınsama kriteri olarak kullanılmıştır. Şekil 3.6'da görülen yakınsama eğrileri, iterasyon sayısının yaklaşık 5000 değerinde yakınsamanın gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 3.6. Artıkların iterasyon sayısı ile değişimi

U_0 , serbest akış hızını, H model yüksekliğini ve ν , kinematik viskoziteyi göstermek üzere,

Reynolds sayısı,

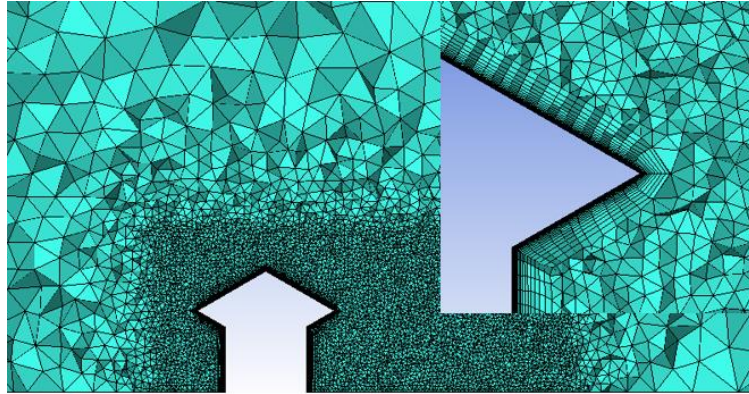
$$Re = \frac{u_0 H}{\nu} \quad (3.16)$$

olarak tanımlanmıştır. Çalışmada, model yüksekliğine göre tanımlanmış Reynolds sayısı 40000 olarak gerçekleştirilmiştir.

3.7. Ağ Yapısı

ANSYS-FLUENT paket programında iki farklı ağ hücresi bulunmaktadır. Yapılandırılmış ağ olarak tanımlanan hücreler dörtgen tabanlı, yapılandırılmamış olanlar ise üçgen tabanlı şeklindedir. Bu çalışmada karmaşık modeller etrafındaki akış alanının üç boyutlu sayısal analizinde sıkça kullanılan yapılandırılmamış üçgen tabanlı üç boyutlu tetrahedral ağ yapısı ve çözüm hassasiyetini artırmak amacıyla model yakın bölgelerinde sınır tabaka ağı kullanılmıştır. Ağ yapıları ANSYS bünyesinde bulunan ICEM CFD programı kullanılarak oluşturulmuştur.

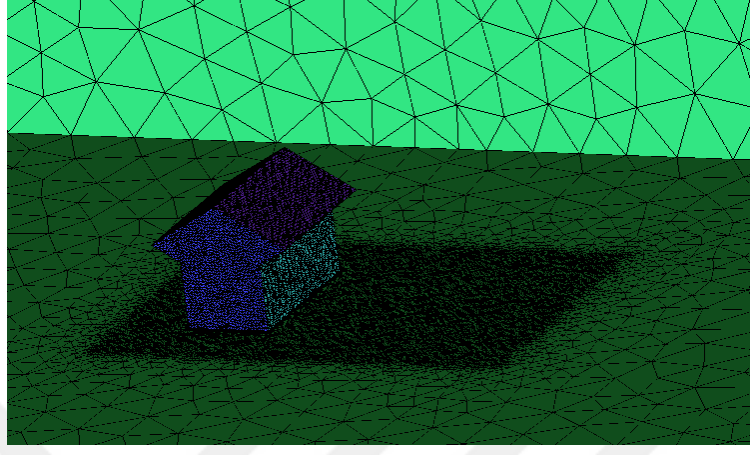
Şekil 3.7’de örnek olarak 30° eğimli çatı ve 30° eğimli saçak geometrisine sahip beşik çatılı bina modeli etrafındaki ağ yapısının iki boyutlu görüntüsü verilmiştir. Bina modelinde, çözüm hassasiyetini artırmak amacıyla bina modeline yaklaştıkça sıklaşan bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ayrıca bina modelinin katı duvarından ilk ağ noktasına olan mesafe 0.02 mm, sınır tabaka ağ büyütme oranı 1.2 alınarak toplam 26 katmandan oluşan bir sınır tabaka ağı oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. Bina modelleri etrafındaki ağ düzenleri

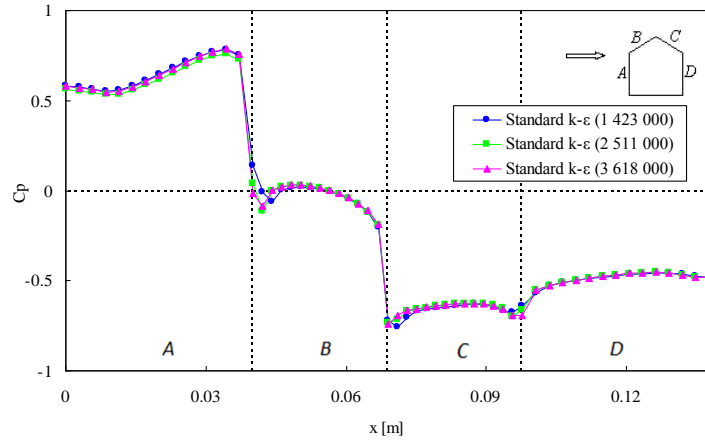
30° çatı eğimine ve 30° saçak eğimine sahip beşik çatılı bina modeli etrafındaki ağ yapısının üç boyutlu görüntüsü Şekil 3.8 de ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir. Model

etrafındaki ağ sıklığının yine fazla olduğu, modelden uzaklaştıkça ise bu ağ sıklığının azaldığı görülmektedir.

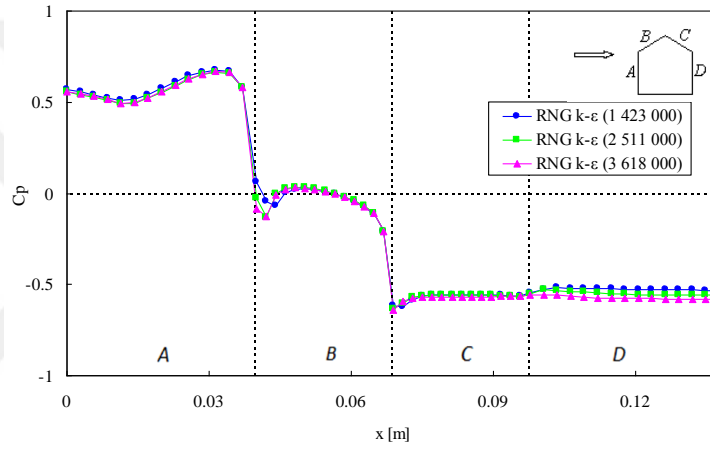


Şekil 3.8. 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip beşik çatılı bina modeli etrafındaki ağ yapısı

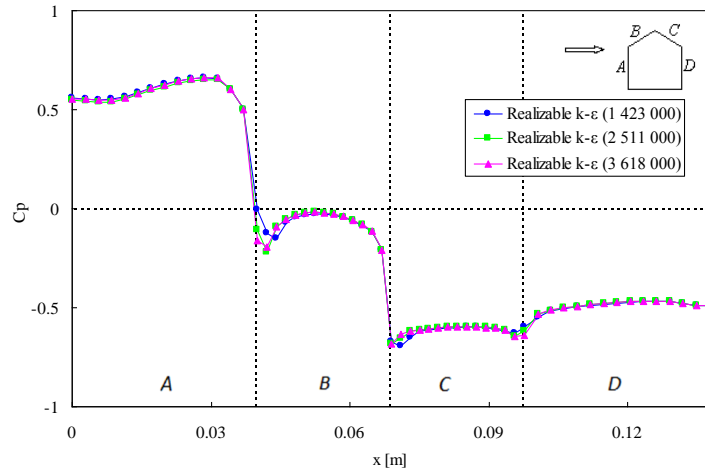
30° çatı eğimine sahip saçaksız beşik çatılı bina modelinde ağdan bağımsız çözümler için, Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri ile üç farklı ağ yoğunluğunda hesaplanan basınç katsayısı dağılımları Şekil 3.9'da verilmiştir. Her üç türbülans modelinde de orta ağ yoğunluğundan itibaren sonuçların değişmediği ve sonuçların ağdan bağımsız olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışma kapsamındaki tüm çözümlerde yaklaşık 2.5 milyon ağ yoğunluğu kullanılmıştır.



(a)



(b)



(c)

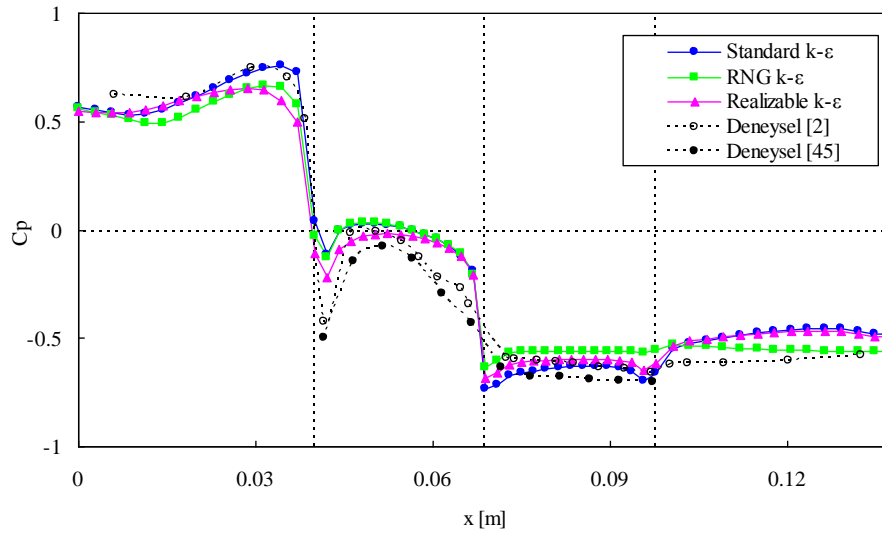
Şekil 3.9. Model yüzeyleri boyunca basınç katsayısı değişimleri
(a) Standard $k-\epsilon$, (b) RNG $k-\epsilon$, (c) Realizable $k-\epsilon$

Üç farklı ağ yoğunluğunda Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modellerine ait hesaplama süreleri Tabla 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1 Farklı ağ yoğunlukları için hücre sayısı ve çözüm süreleri

	Hücre Sayısı	Çözüm Süresi (Standard k- ϵ)	Çözüm Süresi (RNG k- ϵ)	Çözüm Süresi (Realizable k- ϵ)
Kaba Ağ Düzeni	1 423 186	6 Saat	6 Saat	6 Saat
Orta Ağ Düzeni	2 511 723	9 Saat	11 Saat	10 Saat
Sıkı Ağ Düzeni	3 618 347	17 Saat	19 Saat	17 Saat

30° çatı eğimine sahip saçaksız beşik çatılı bina modelinde Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç katsayısı dağılımlarının aynı modele ait olan deneysel verilerle karşılaştırması Şekil 3.10’da görülmektedir. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan basınç katsayısı dağılımlarının da birbirine yakın ve deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10. Model yüzeyleri boyunca basınç katsayısı değişimleri

4. BULGULAR

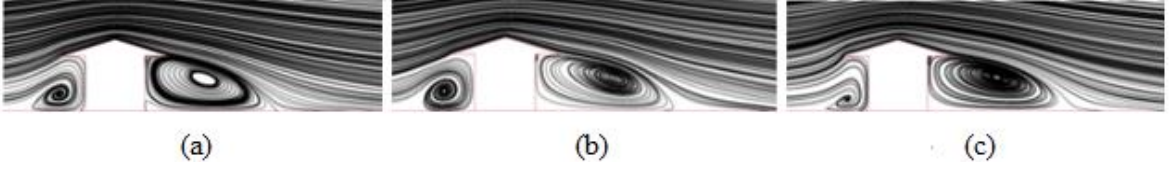
Bu çalışmadan elde edilen sayısal sonuçlar, hesaplanmış akış yapısı görüntüleri, bina modelleri etrafında farklı istasyonlarda ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri ve model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımları olarak tezde yer almıştır.

4.1. Hesaplanmış Akış Alanları

Bu çalışma kapsamında modeller etrafındaki akış yapıları modellerin orta derinlikteki (xy-düzlemi) ve orta yükseklikteki kesitleri (xz-düzlemi) etrafında hesaplanmış iki boyutlu akış alanları şeklinde incelenmiştir. Farklı çatı ve saçak eğim açılarına sahip bina modelleri etrafındaki akış alanları, Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri ile hesaplanarak saçak açısının değiştirilmesiyle sağlanan geometrik değişikliklerin akış yapıları üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen modeller etrafındaki akış yapısı görüntüleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

4.1.1. 15° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

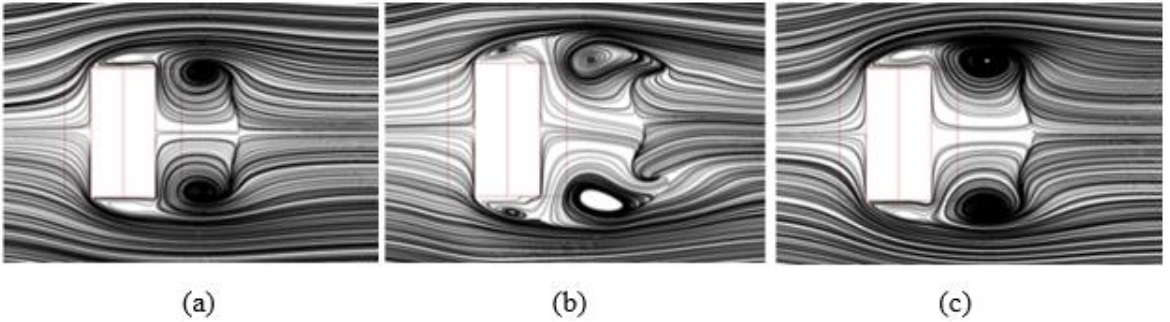
Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 0° olduğu beşik çatılı bina modelinin z=50mm derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.1'de görülmektedir. Her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da oluşan girdap yapılarının boyutlarındaki küçük farklılıklar dışında genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenebilir akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenebilir akış ise çatı ön kenarından itibaren çatı ön yüzeyi, çatı sırtı ve çatı arka yüzeyi boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrılmakta ve model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. $z=50\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

Modelin ön kısmındaki ters akış bölgesinin Standard k- ϵ ve RNG k- ϵ türbülans modellerine ait görüntülerde daha belirgin olduğu, model arkasındaki ters akış bölgesinin ise RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modellerine ait görüntülerde daha büyük olduğu görülmektedir.

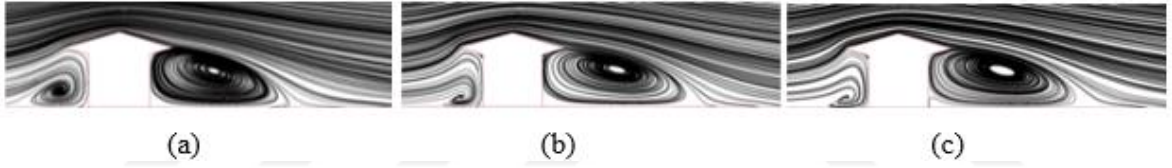
15° çatı eğim açısına ve 0° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.2'de verilmiştir. Her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış yapısının da benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan akış alanları incelendiğinde bina modelinin arkasındaki girdap çiftlerinin birbirine benzer olduğu fakat aralarındaki mesafenin RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modellerinde daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. $y=20\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

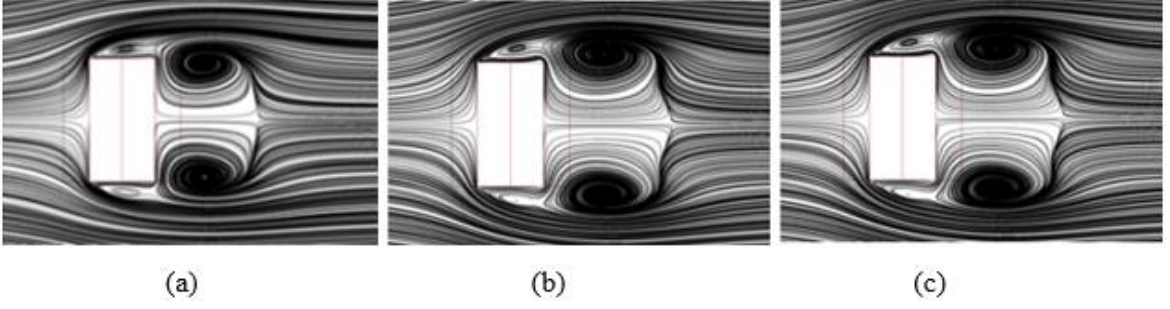
4.1.2. 15° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 15° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.3'de görülmektedir. 15° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenebilir akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenebilir akış ise çatı ön kenarından itibaren çatı ön yüzeyi, çatı sırtı ve çatı arka yüzeyi boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrılmakta ve model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Hem model önünde hem de model arkasında oluşan girdaplar saçak açısının sağladığı geometrik değişikliğe uyumlu olmaktadır.



Şekil 4.3. $z=50\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

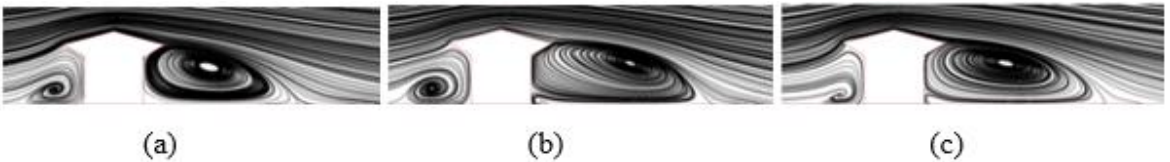
15° çatı eğim açısına ve 15° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.4'de verilmiştir. 15° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış yapısının da benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan akış alanları incelendiğinde bina modelinin arkasındaki girdap çiftlerinin birbirine benzer olduğu fakat Standard k- ϵ türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. $y=20\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

4.1.3. 15° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

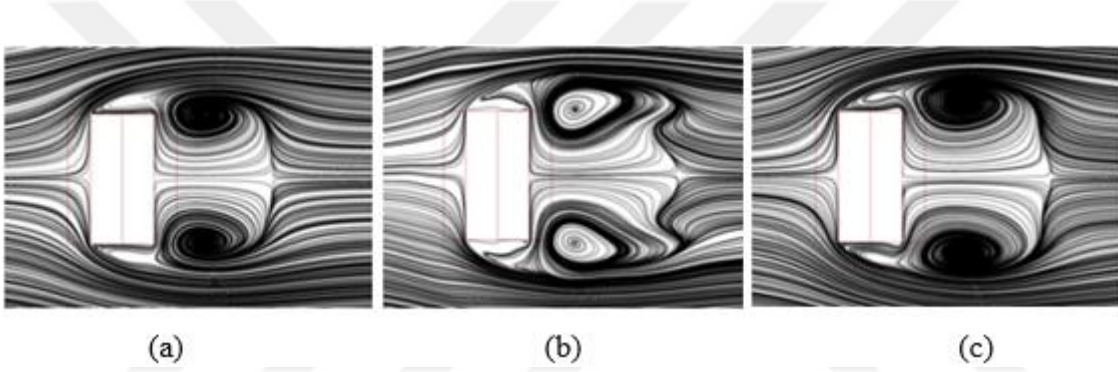
Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 30° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.5'de görülmektedir. 15° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenen akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatı ön kenarından itibaren çatı ön yüzeyi, çatı sırtı ve çatı arka yüzeyi boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrılmakta ve model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın model arka duvarına yakın alt kısmında ikincil bir küçük girdabın olduğu görülmektedir. Hem model önünde hem de model arkasında oluşan girdaplar saçak açısının sağladığı geometrik değişikliğe uyumlu olmaktadır.



Şekil 4.5. $z=50\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

15° çatı eğim açısına ve 30° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için

hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.6'da verilmiştir. 15° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış yapısının da benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan akış alanları incelendiğinde bina modelinin arkasındaki girdap çiftlerinin birbirine benzer olduğu fakat Realizable k- ϵ türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. $y=20\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

4.1.4. 15° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

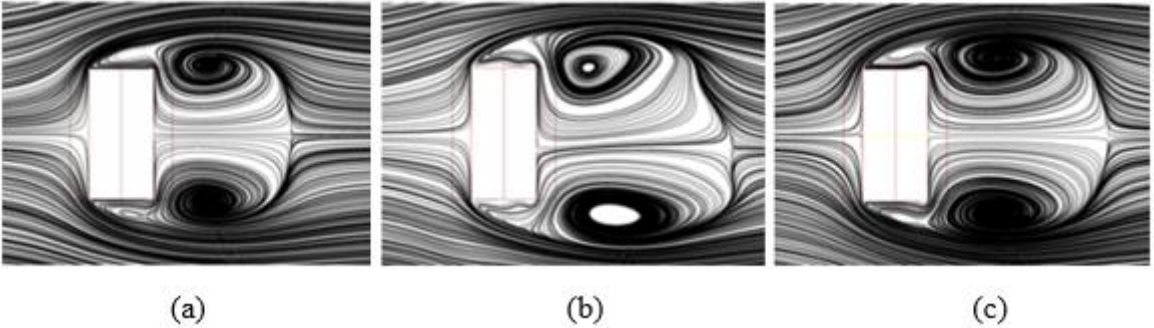
Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 45° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.7'de görülmektedir. 15° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenen akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatı ön kenarından itibaren çatı ön yüzeyi, çatı sırtı ve çatı arka yüzeyi boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrılmakta ve model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın model arka duvarına yakın alt kısmında ikincil bir küçük girdabın oluştuğu görülmektedir. Hem model önünde hem de

model arkasında oluşan girdaplar saçak açısının sağladığı geometrik değişikliğe uyumlu olmaktadır. Model arkasında Standard k- ϵ türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. $z=50\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

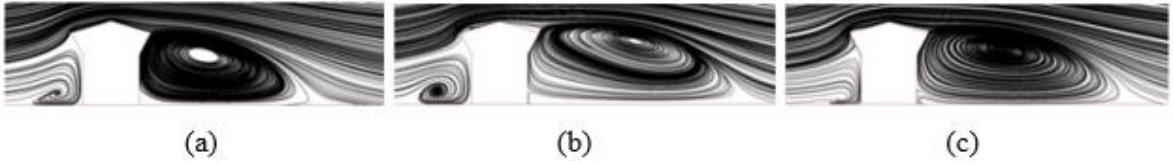
15° çatı eğim açısına ve 45° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.8'de verilmiştir. 15° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış yapısının da benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan akış alanları incelendiğinde bina modelinin arkasındaki girdap çiftlerinin birbirine benzer olduğu fakat Realizable k- ϵ türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. $y=20\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

4.1.5. 15° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

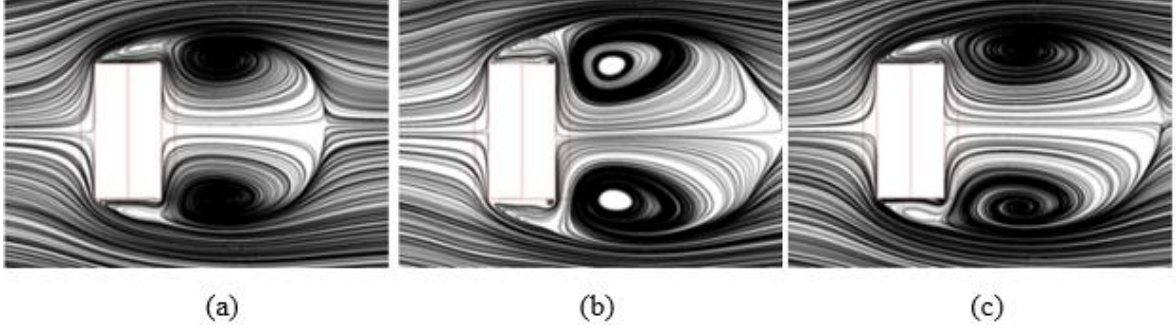
Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 60° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy -düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.9'da görülmektedir. 15° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenebilir akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenebilir akış ise çatı ön kenarından itibaren çatı ön yüzeyi, çatı sırtı ve çatı arka yüzeyi boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrılmakta ve model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın model arka duvarına yakın alt kısmında ikincil bir küçük girdabın oluştuğu görülmektedir. Hem model önünde hem de model arkasında oluşan girdaplar saçak açısının sağladığı geometrik değişikliğe uyumlu olmaktadır. RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeli ile hesaplanan akış alanı görüntüsünde, ön saçak ucundan yönlenebilir çatı sırtına doğru ilerleyen akışın çatı ön kısmında küçük ölçekli bir girdap oluşturarak çatı sırtına doğru ilerlediği görülmektedir. Model arkasında RNG $k-\varepsilon$ ve Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modellerinde oluşan girdap boyutları daha büyük olmaktadır.



Şekil 4.9. $z=50\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$

15° çatı eğim açısına ve 60° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz -düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.10'da verilmiştir. 15° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış yapısının da benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar

üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır.



Şekil 4.10. $y=20\text{mm}$ 'de 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

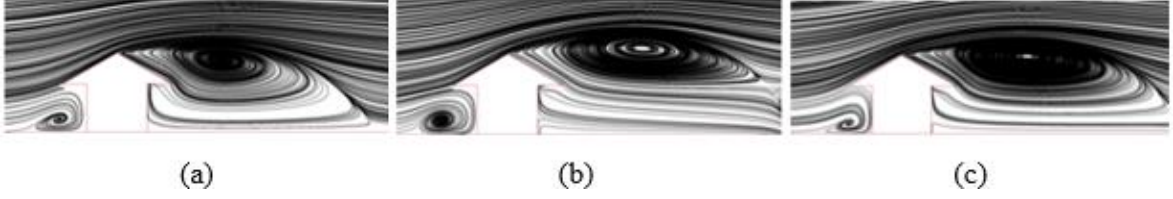
15° çatı eğim açısına sahip bina modellerine ait $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzlemlerdeki (xy-düzlemi) iki boyutlu akış alanları birlikte incelendiğinde, saçak açısının artması ile birlikte model arkasında oluşan girdapların uzunluğu da artmaktadır. Ön saçak ucundan aşağı doğru yönelen akışın model tabanından saçak alt kısmına kadar oluşturduğu girdap boyutunda saçak açısının artışıyla belirgin bir değişimin olmadığı görülmektedir.

15° çatı eğim açısına sahip bina modellerine ait $y=20\text{mm}$ derinliğindeki düzlemlerdeki (xz-düzlemi) iki boyutlu akış alanları birlikte incelendiğinde, saçak açısının artması ile birlikte bina modellerinin arkasında birbirine göre ters yönde dönen simetrik girdap çaplarının da arttığı görülmektedir. Yan kenarlar üzerinde oluşan küçük ölçekli girdap bölgelerinde ise belirgin bir değişim olmamaktadır.

4.1.6. 30° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

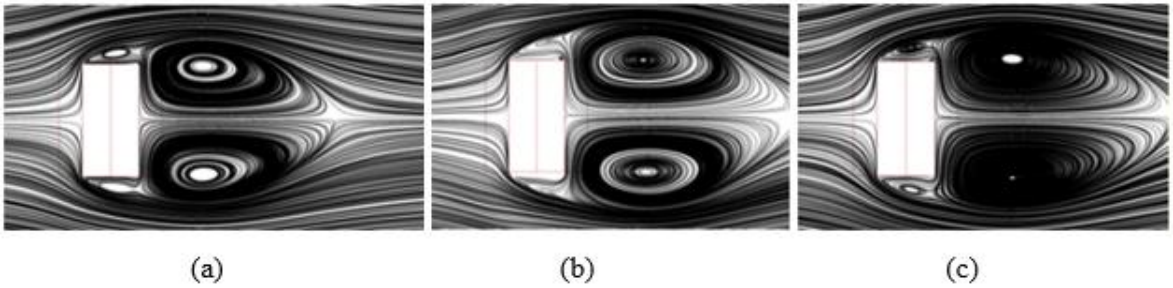
Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 0° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.11'de verilmiştir. Her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönelmektedir. Aşağı doğru yönelen akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönelen akış ise çatı sırtından ayrılmakta ve model arkasında büyük bir ters

akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir.



Şekil 4.11. $z=50\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$

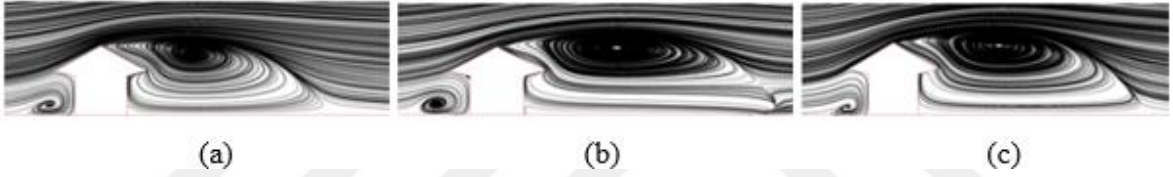
30° çatı eğim açısına ve 0° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz -düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.12'de verilmiştir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan akış alanları incelendiğinde bina modelinin arkasındaki girdap çiftlerinin birbirine benzer olduğu fakat Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. $y=20\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$

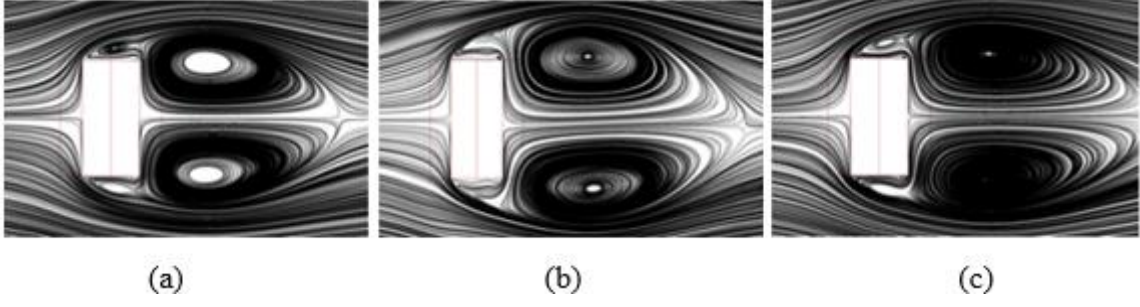
4.1.7. 30° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 15° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.13'de verilmiştir. 30° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilmektedir. Aşağı doğru yönlenen akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatı sırtından ayrılmakta model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir.



Şekil 4.13. $z=50\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε

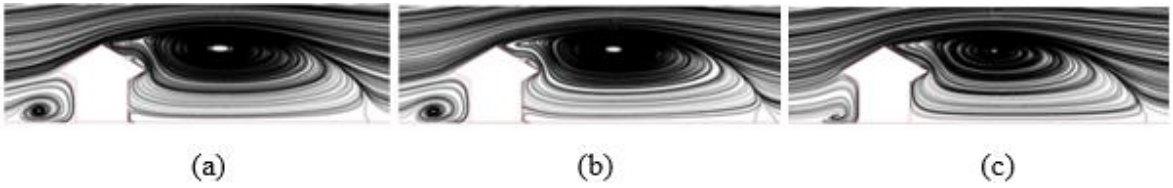
30° çatı eğim açısına ve 15° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.14'de verilmiştir. 30° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan akış alanları incelendiğinde bina modelinin arkasındaki girdap çiftlerinin birbirine benzer olduğu fakat Realizable k-ε türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14. $y=20\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$

4.1.8. 30° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

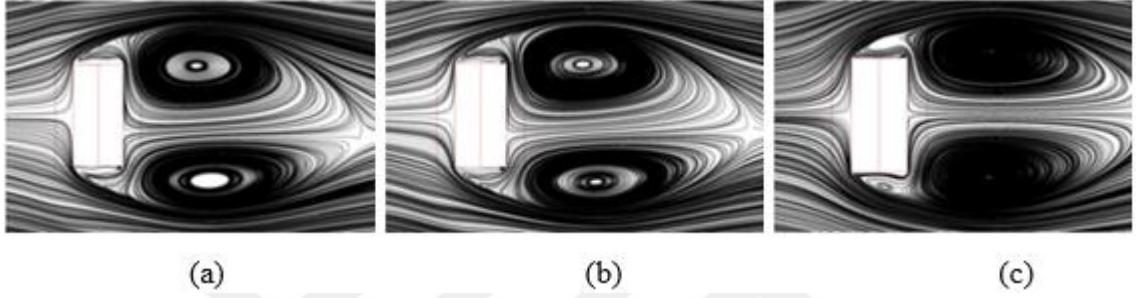
Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 30° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy -düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.15'de verilmiştir. 30° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenecek akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenecek akış ise çatı sırtından ayrılmakta ve model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir.



Şekil 4.15. $z=50\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$

30° çatı eğim açısına ve 30° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz -düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.16'da verilmiştir. 30° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış,

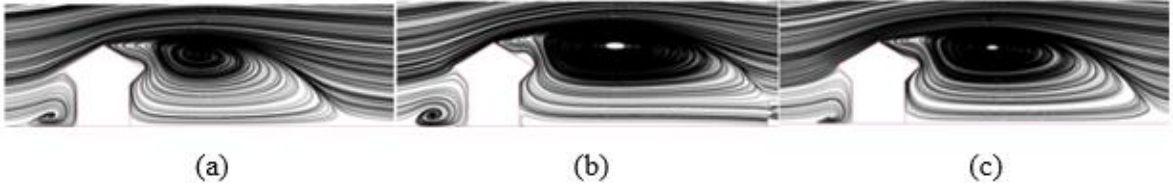
durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan akış alanları incelendiğinde bina modelinin arkasındaki girdap çiftlerinin birbirine benzer olduğu fakat Realizable k- ϵ türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha büyük olduğu görölmektedir.



şekil 4.16. $y=20\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 30° saćak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

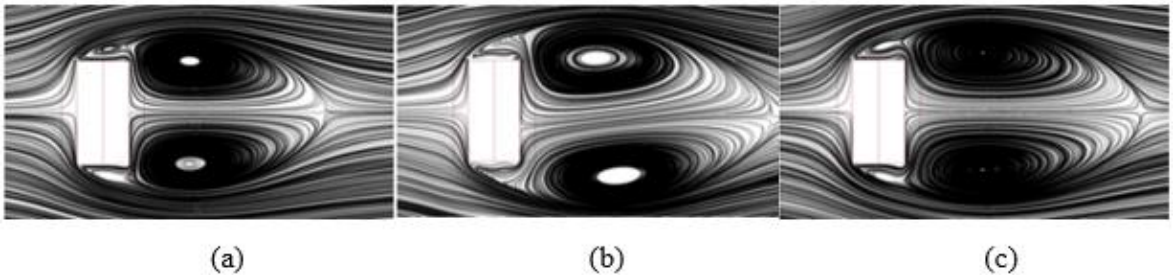
4.1.9. 30° Çatı Eęimine ve 45° Saćak Eęimine Sahip Beřik Çatılı Bina Modeli

Çatı eęim açısının 30° ve saćak eęim açısının 45° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları şekil 4.17'de verilmiştir. 30° çatı ve 30° saćak eęim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görölmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saćak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenmektedir. Aşağı doğru yönlenen akış model tabanından saćak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatı sırtından ayrılmakta model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görölmektedir.



Şekil 4.17. $z=50\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

30° çatı eğim açısına ve 45° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz -düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.18'de verilmiştir. 30° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumundaki gibi, üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Her üç türbülans modeliyle hesaplanan akış alanları incelendiğinde bina modelinin arkasındaki girdap çiftlerinin birbirine benzer olduğu fakat Realizable k- ϵ türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir.

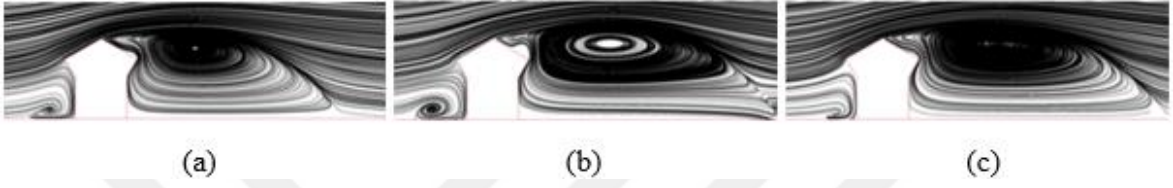


Şekil 4.18. $y=20\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

4.1.10. 30° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

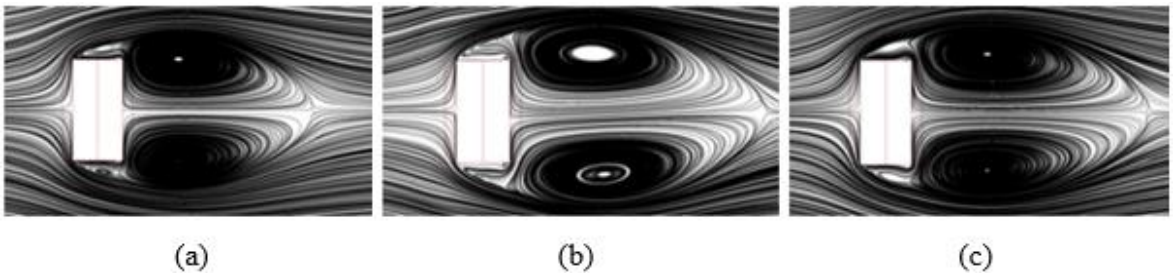
Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 60° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy -düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.19'da verilmiştir. 30° çatı ve 45° saçak eğim açısı

durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenebilir akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenebilir akış ise çatı sırtından ayrılmakta ve model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir.



Şekil 4.19. $z=50\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$

30° çatı eğim açısına ve 60° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz -düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.20'de verilmiştir. 30° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumundaki gibi, üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır.

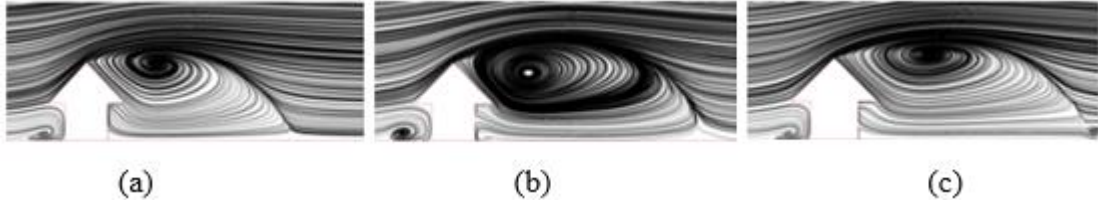


Şekil 4.20. $y=20\text{mm}$ 'de 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\epsilon$ (b) RNG $k-\epsilon$ (c) Realizable $k-\epsilon$

30° çatı eğim açısına sahip bina modellerine ait akış alanları birlikte incelendiğinde, saçak açısının artması ile birlikte model arkasında oluşan girdapların hem uzunluğunun hem de yüksekliğinin arttığı ve girdap çaplarının büyüdüğü görülmektedir. Artan saçak açısı ile birlikte, girdapların merkez konumu yukarı doğru kaymakta ve çatı sırt seviyesine yaklaşmaktadır.

4.1.11. 45° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

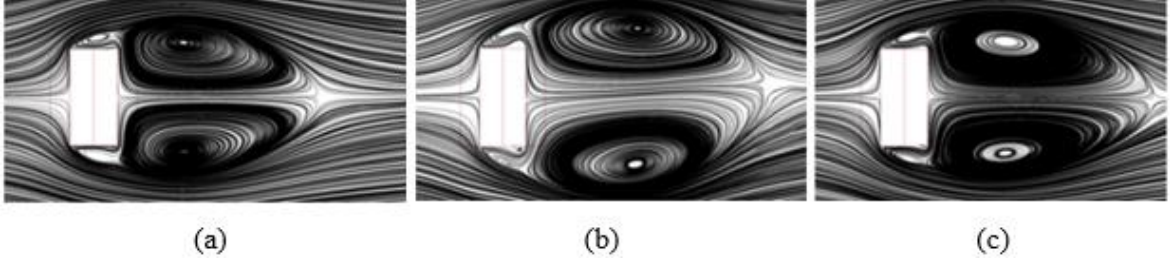
Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 0° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.21’de verilmiştir. Her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenebilir akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenebilir akış ise çatı sırtından ayrılmakta model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir.



Şekil 4.21. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k-ε (b) RNG k-ε (c) Realizable k-ε

45° çatı eğim açısına ve 0° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.22’de verilmiştir. Üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış

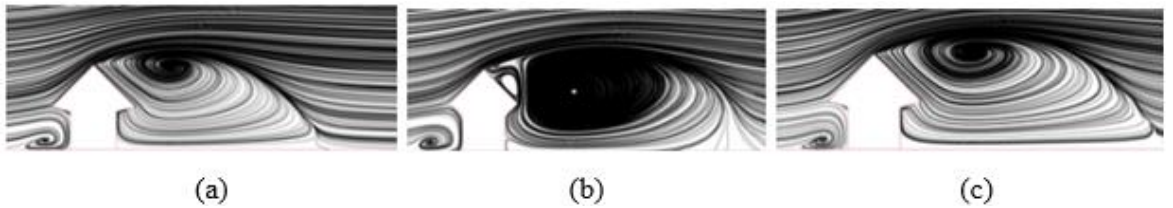
yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır.



Şekil 4.22. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$

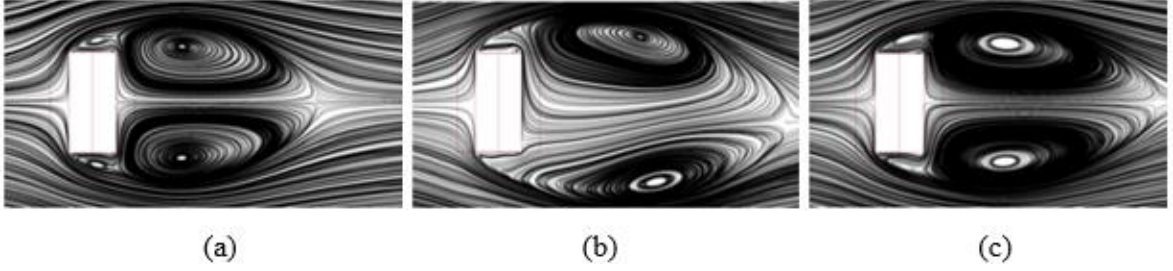
4.1.12. 45° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 15° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy -düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.23'da verilmiştir. 45° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenen akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatı sırtından ayrılmakta model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir. RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeliyle elde edilen akış alanı görüntüsünde, diğer türbülans modellerine ait görüntülerden farklı olarak çatı arka yüzeyi üzerinde model arkasındaki büyük girdaba komşu küçük ölçekli bir girdap oluşmaktadır.



Şekil 4.23. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$

45° çatı eğim açısına ve 15° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz -düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.24'de verilmiştir. 45° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeliyle elde edilen akış alanı görüntüsünde, diğer türbülans modellerine ait görüntülerden farklı olarak model arkasında oluşan girdap çiftinin simetrik olmadığı görülmektedir.

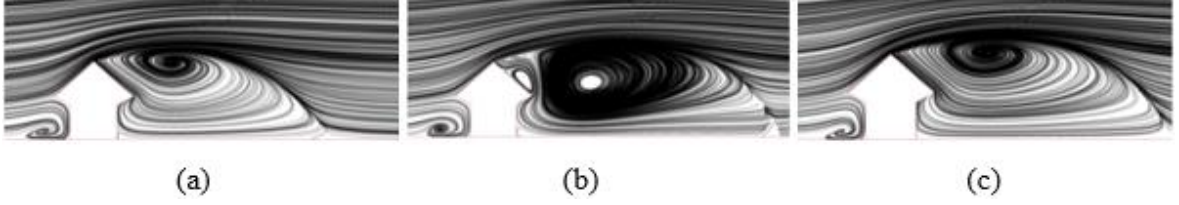


Şekil 4.24. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$

4.1.13. 45° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

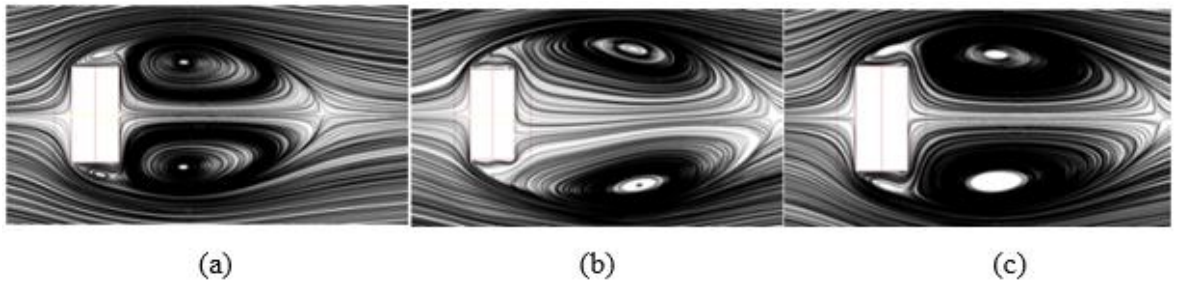
Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 30° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy -düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.25'de verilmiştir. 45° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenen akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatı sırtından ayrılmakta model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir. RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeliyle elde edilen akış alanı

görüntüsünde, diğer türbülans modellerine ait görüntülerden farklı olarak çatı arka yüzeyi üzerinde model arkasındaki büyük girdaba komşu küçük ölçekli bir girdap oluşmaktadır.



Şekil 4.25. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

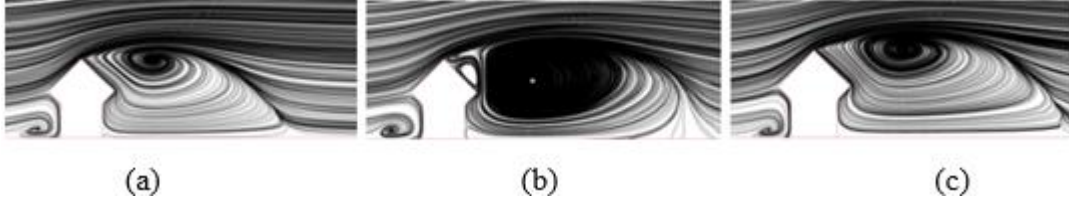
45° çatı eğim açısına ve 30° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.26'da verilmiştir. 45° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. Realizable k- ϵ türbülans modelinde oluşan girdap boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

4.1.14. 45° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

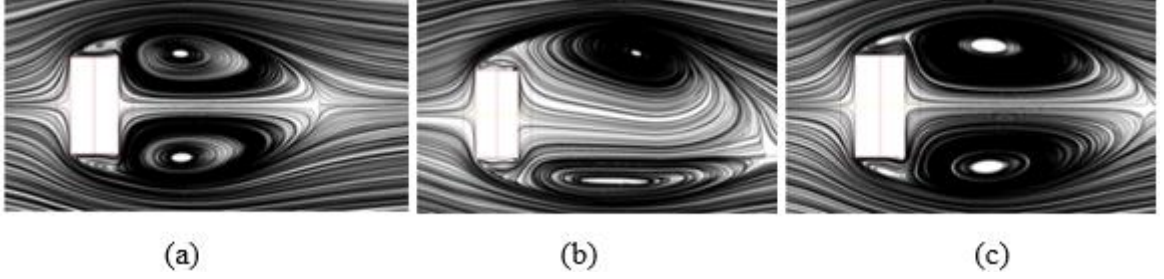
Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 45° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy-düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.27’de verilmiştir. 45° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenebilir akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenebilir akış ise çatı sırtından ayrılmakta model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir. RNG k- ϵ türbülans modeliyle elde edilen akış alanı görüntüsünde, diğer türbülans modellerine ait görüntülerden farklı olarak çatı arka yüzeyi üzerinde model arkasındaki büyük girdaba komşu küçük ölçekli bir girdap oluşmaktadır.



Şekil 4.27. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

45° çatı eğim açısına ve 45° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.28’de verilmiştir. 45° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumundaki gibi, üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır. RNG k- ϵ türbülans modeliyle elde edilen akış alanı görüntüsünde,

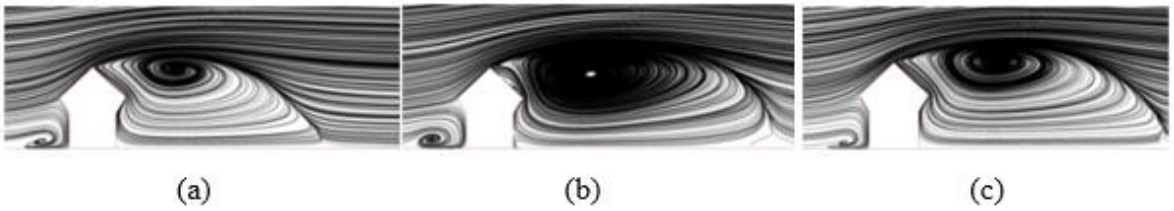
diğer türbülans modellerine ait görüntülerden farklı olarak model arkasında oluşan girdap çiftinin simetrik olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.28. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$

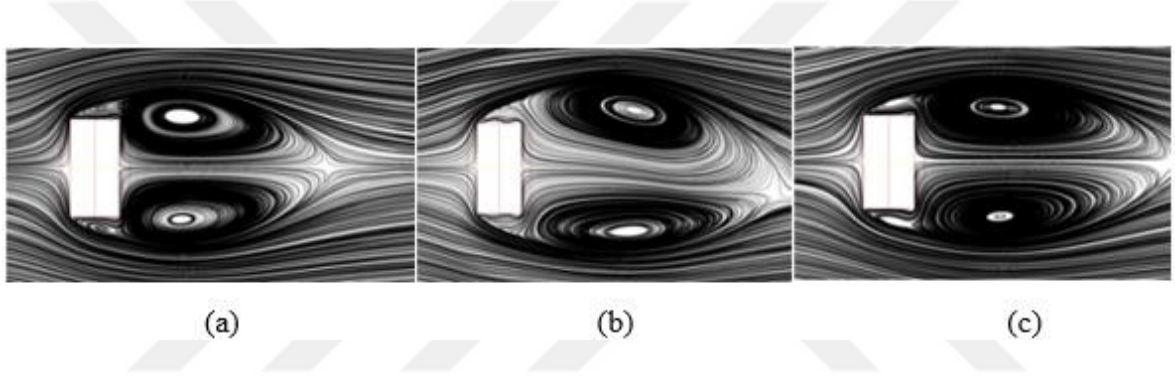
4.1.15. 45° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 60° olduğu beşik çatılı bina modelinin $z=50\text{mm}$ derinliğindeki düzleminde (xy -düzlemi) üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.29'da verilmiştir. 45° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumundaki gibi, her üç türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, ön saçak ucundan itibaren aşağı ve yukarı doğru yönlenebilir. Aşağı doğru yönlenen akış model tabanından saçak alt kısmına kadar uzanan bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Yukarı doğru yönlenen akış ise çatı sırtından ayrılmakta model arkasında büyük bir ters akış bölgesi oluşturmaktadır. Model arkasında oluşan büyük girdabın çatı sırtına kadar uzanarak çatı arka yüzeyini de etkisi altına aldığı görülmektedir. RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeliyle elde edilen akış alanı görüntüsünde, diğer türbülans modellerine ait görüntülerden farklı olarak çatı arka yüzeyi üzerinde model arkasındaki büyük girdaba komşu küçük ölçekli bir girdap oluşmaktadır.



Şekil 4.29. $z=50\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard $k-\varepsilon$ (b) RNG $k-\varepsilon$ (c) Realizable $k-\varepsilon$

45° çatı eğim açısına ve 60° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin $y=20\text{mm}$ yüksekliğindeki düzleminde (xz-düzlemi) üç farklı türbülans modeli için hesaplanmış iki boyutlu akış alanları Şekil 4.30'da verilmiştir. 45° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumundaki gibi, üç farklı türbülans modeli ile hesaplanmış akış alanının da genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Bina modelinin ön kısmına dik doğrultuda gelen akış, durma noktasından itibaren 90° yön değiştirerek model ön kenarı boyunca birbirine ters doğrultularda ilerleyip model ön köşelerden ayrılmakta ve modelin her iki yan kenarı üzerinde küçük ölçekli ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Akış yönündeki yan kenarlar üzerinde tutunan akış, arka köşelerden tekrar ayrılmakta ve bina modelinin arkasında girdap çifti oluşturmaktadır.



Şekil 4.30. $y=20\text{mm}$ 'de 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli etrafındaki hesaplanmış akış alanları (a) Standard k- ϵ (b) RNG k- ϵ (c) Realizable k- ϵ

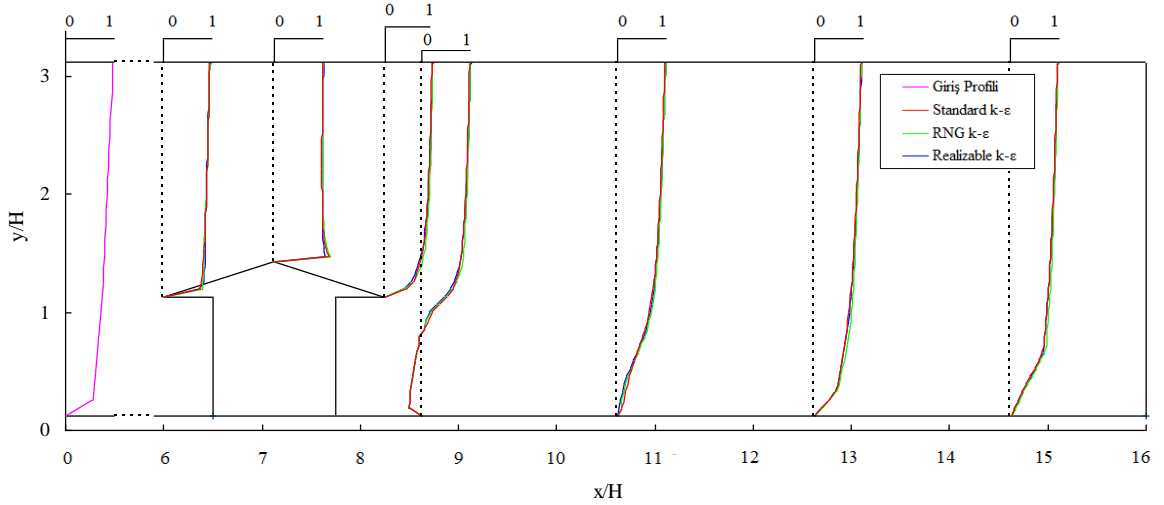
45° çatı eğim açısına sahip bina modellerine ait akış alanları birlikte incelendiğinde, saçak açısının artması ile birlikte model arkasında oluşan girdapların boyutunun arttığı görülmektedir. Artan saçak açısı ile birlikte, girdapların merkez konumu yukarı doğru kaymakta ve çatı sırt seviyesine yaklaşmaktadır. RNG k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanan akış alanı görüntülerinde, model arkasında oluşan girdap çiftlerinin simetrik olmadığı görülmektedir.

4.2. Ortalama Hız ve Türbülans Kinetik Enerji Profilleri

Bu çalışma kapsamında incelenen bina modelleri etrafındaki akış yapılarının incelenmesi amacıyla akış doğrultusunda düşey düzlemde modellerin orta eksenini boyunca çatıların üzerinde ve modellerin arkasında farklı istasyonlarda üç farklı türbülans modeli ile ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri elde edilmiştir. Model yüksekliğine bağlı

Reynolds sayısı 40000 ve δ/H oranı 1.25 olarak gerçekleştirilmiştir. Yatay ve dikey koordinatlar x ve y , karakteristik model yüksekliği H ile boyutsuz hale getirilmiştir.

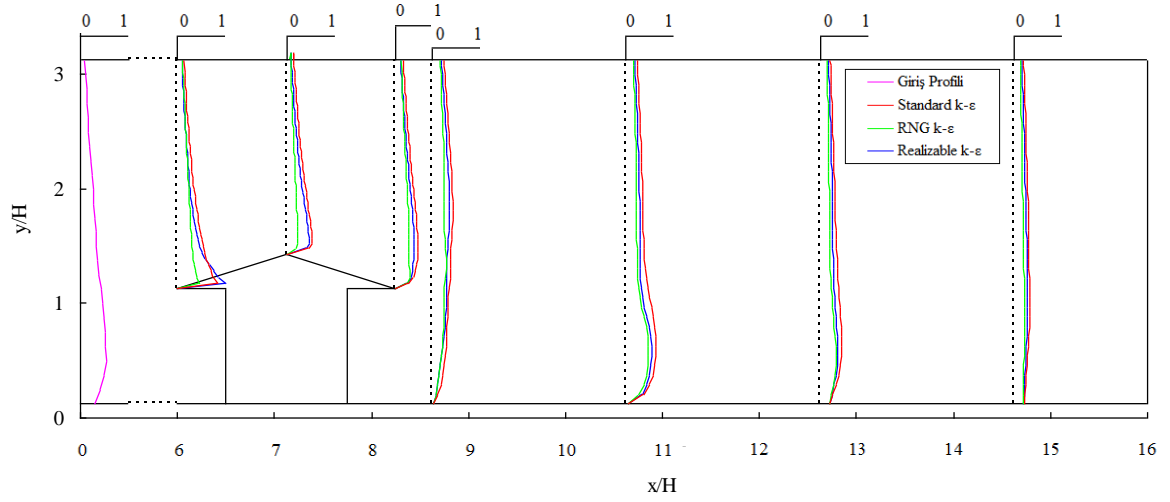
Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 0° olduğu beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda dikey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.31’de görülmektedir. Şekil 4.31a’da verilen ortalama hız profillerinden, modelin ön kısmına dik doğrultuda gelen akışın, çatı ön kenarından itibaren çatı ön yüzeyi, çatı sırtı ve çatı arka yüzeyi boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrıldığı ve model arkasında bir ters akış bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Model arkasındaki türbülans profillerinde gözlenen türbülans şiddetindeki artış ise serbest akış ve ters akış bölgeleri arasında bir karışım tabakası olduğunu göstermektedir (Şekil 4.31b). Model arkasında ilerleyen istasyonlarda ortalama hız profillerinin formu, ters akış bölgesinin sonlandığını göstermektedir. Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerjisi profillerinin de benzer olduğu görülmektedir.



(a)

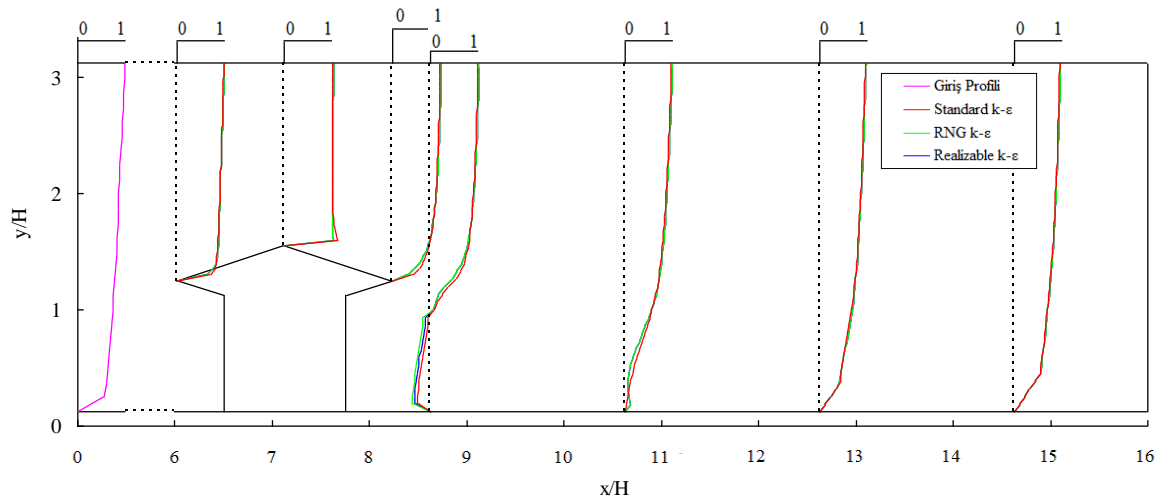
Şekil 4.31. 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

Şekil 5.31'in devamı



(b)

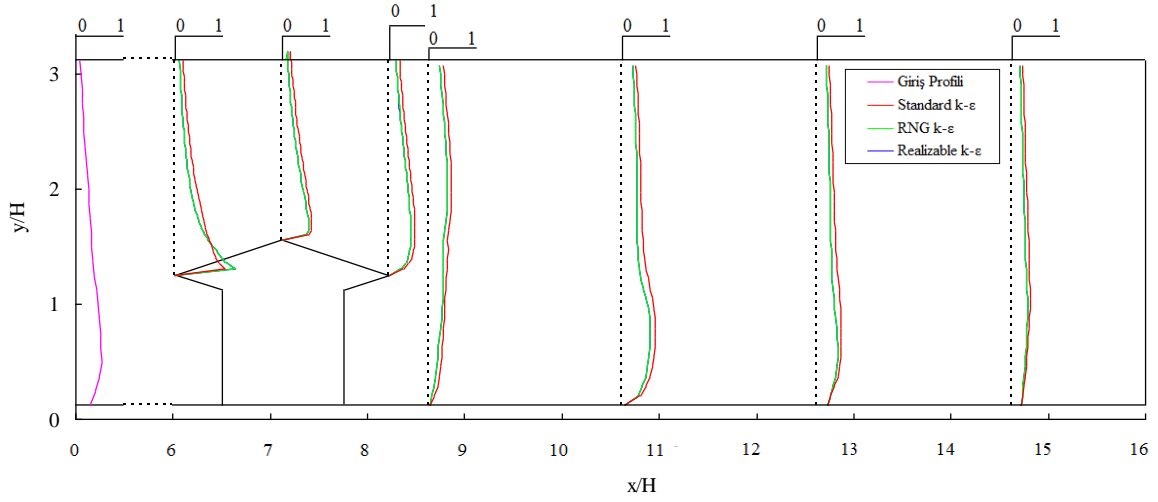
15° çatı eğim açısına ve 15° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.32'de görülmektedir. Hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri, 15° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki profillere benzerlik göstermektedir.



(a)

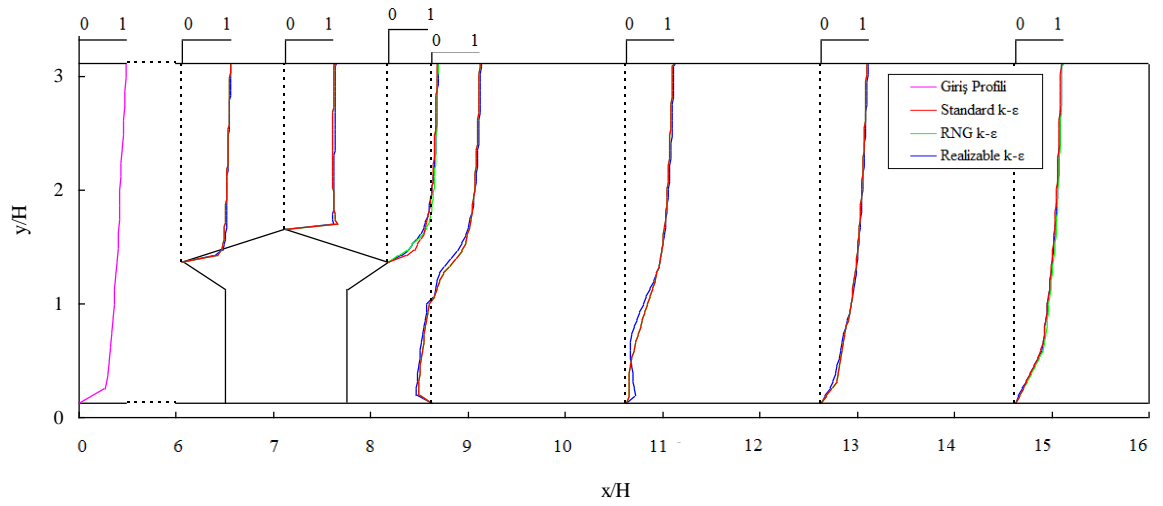
Şekil 4.32. 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

Şekil 4.32'nin devamı

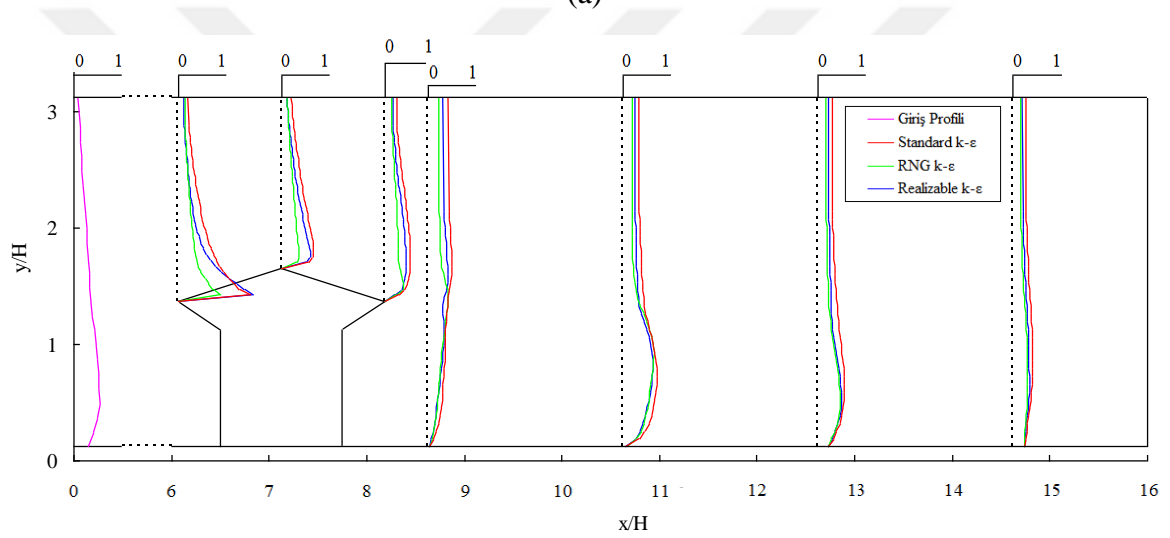


(b)

Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 30° olduğu beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.33'de görülmektedir. Şekil 4.33a'da verilen ortalama hız profillerinden, 15° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı yüzeyleri boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrıldığı ve model arkasında bir ters akış bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Model arkasındaki türbülans profillerinde gözlenen türbülans şiddetindeki artış yine serbest akış ve ters akış bölgeleri arasında bir karışım tabakası olduğunu göstermektedir (Şekil 4.33b). Model arkasında ilerleyen istasyonlarda ortalama hız profillerinin formu, ters akış bölgesinin biraz uzayarak sonlandığını göstermektedir. Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerjisi profillerinin de benzer olduğu görülmektedir.



(a)

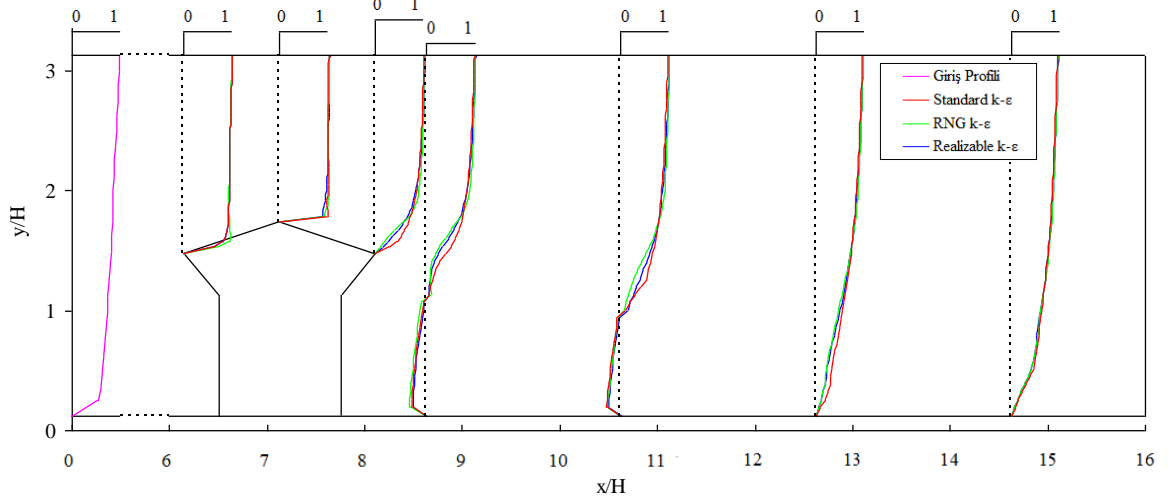


(b)

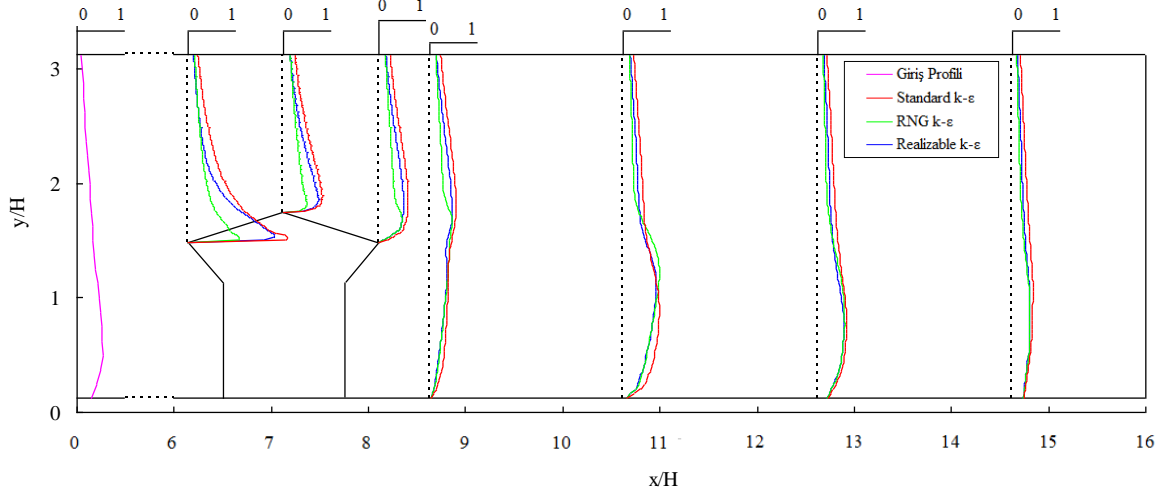
Şekil 4.33. 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

15° çatı eğim açısına ve 45° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.34’de görülmektedir. 15° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı yüzeyleri boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrıldığı ve model arkasında bir ters akış bölgesi oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4.34a). Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değeri arka saçak yüksekliği seviyesinde aldığını göstermektedir. Çatı üzerindeki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini

çatı yüzeyi yakınında aldığı ve ön saçak civarındaki değerin çatının diğer kısımlarına göre daha büyük olduğunu göstermektedir. (Şekil 4.34b). Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız profilleri benzer olduğu, bazı türbülans kinetik enerjisi profillerinin ise farklılık gösterdiği görülmektedir.



(a)

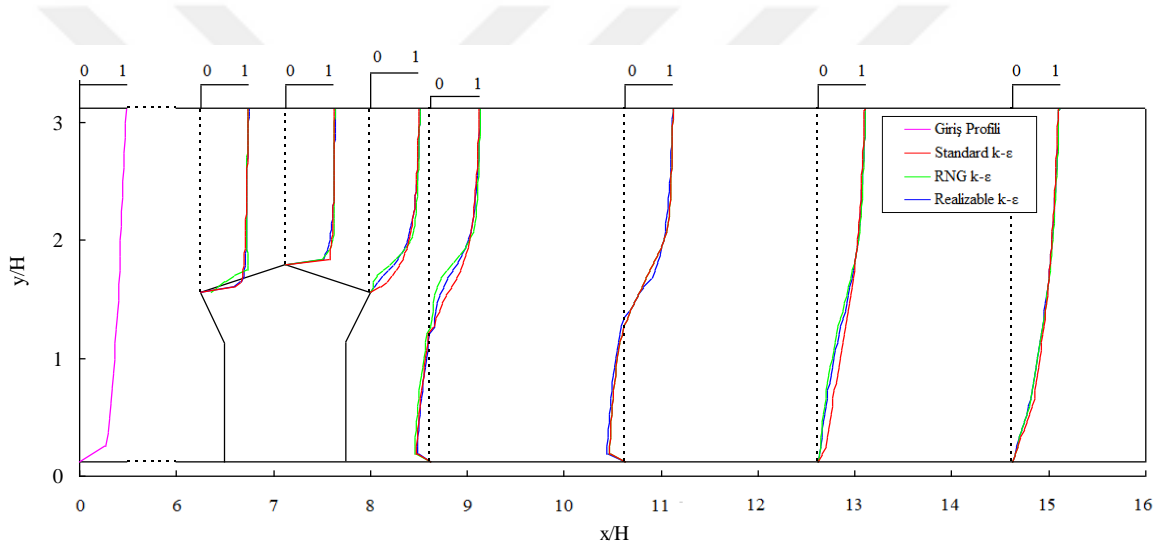


(b)

Şekil 4.34. 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 60° olduğu beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.35'de görülmektedir. Şekil 4.35a'da verilen ortalama hız profillerinden, 15° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumuna

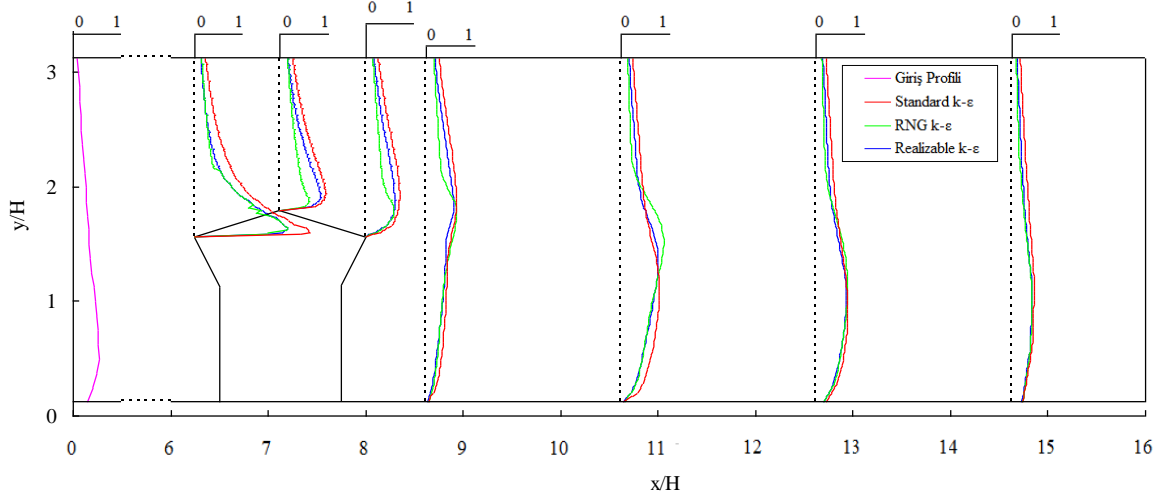
benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı yüzeyleri boyunca ilerleyerek arka saçak ucundan ayrıldığı ve model arkasında bir ters akış bölgesi oluşturduğu görülmektedir. Ters akış bölgesinin uzunluğu ve yüksekliği saçak eğim açısının sağladığı model yüksekliğindeki artışla orantılı olarak artmaktadır. Çatı üzerindeki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı yüzeyi yakınında aldığını ve ön saçak civarındaki değer çatının diğer kısımlarına göre daha büyük olduğunu göstermektedir. Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerinin çatı sırt seviyesine ulaştığını göstermektedir. (Şekil 4.35b). Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız profilleri benzer olduğu, bazı türbülans kinetik enerjisi profillerinin ise farklılık gösterdiği görülmektedir.



(a)

Şekil 4.35. 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

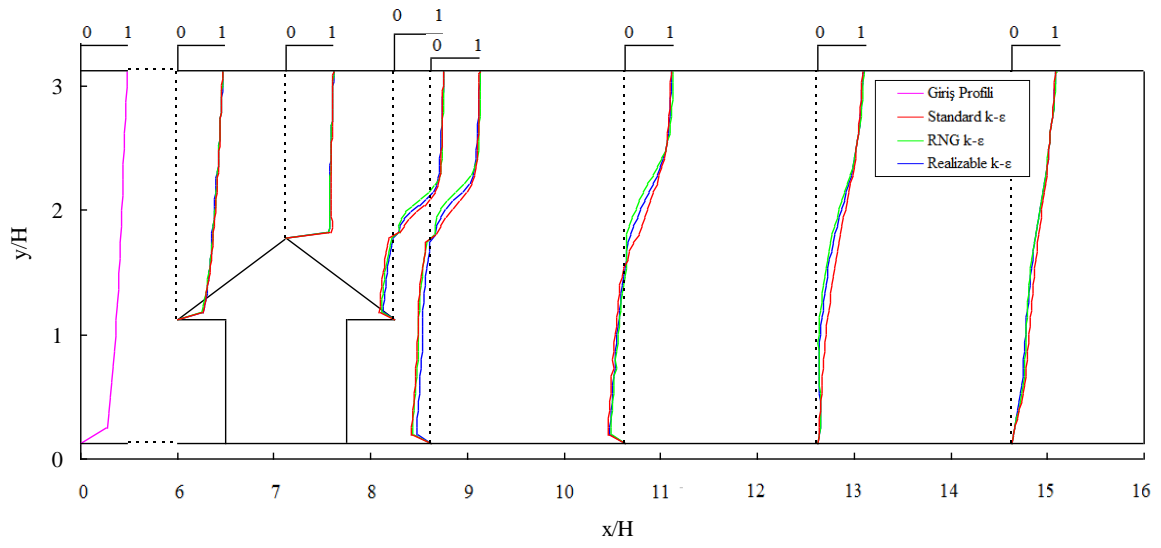
Şekil 4.35'in devamı



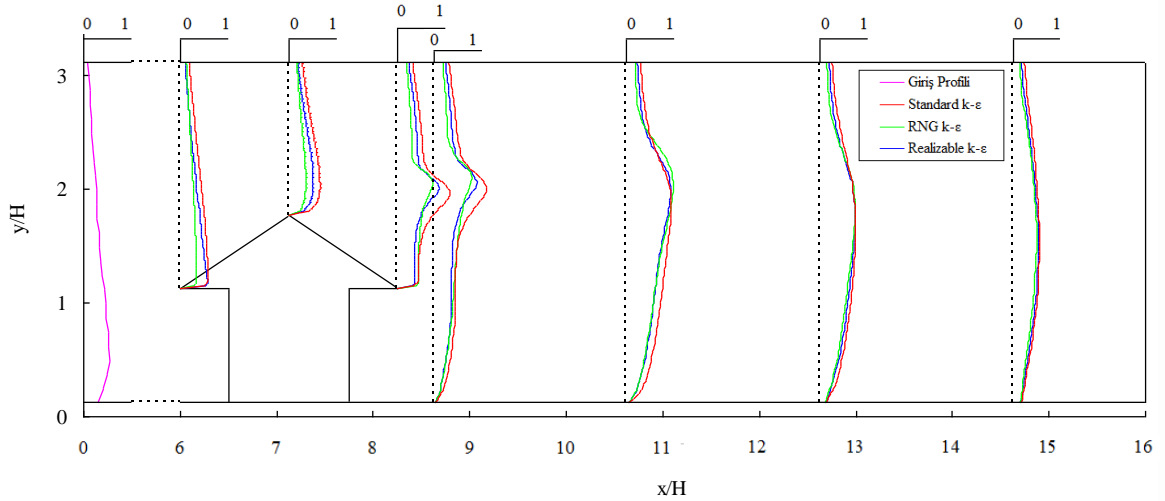
(b)

15° çatı eğim açısına sahip bina modellerinin ait orta eksenleri boyunca değişik istasyonlarında düşey doğrultuda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri birlikte değerlendirildiğinde, model arkasındaki girdapların varlığını gösteren ortalama hız profillerindeki negatif bölgelerin, artan saçak eğim açısıyla birlikte güçlendiği görülmektedir. Bu durum saçak açısının artmasıyla model arkasında oluşan ters akış bölgelerinin yüksekliğinin ve uzunluğunun arttığını göstermektedir. Aynı istasyonlardaki türbülans kinetik enerjisi profilleri ise, türbülans şiddetinin en yüksek değerini aldığı karışım tabakasının artan saçak eğim açısıyla birlikte yukarı doğru kaydığını göstermektedir.

30° çatı eğim açısına ve 0° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.36'da görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, çatı ön yüzeyi boyunca ilerleyerek çatı sırtından ayrılmakta ve çatı arka yüzeyi üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Model arkasındaki ters akış bölgesinin yüksekliğinin çatı sırt seviyesinde oluştuğu, model arkasındaki hız profillerinin negatif kısımlarından anlaşılmaktadır. (Şekil 4.36a). Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. (Şekil 4.36b). Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız profillerinin benzer olduğu, bina modeli yakınındaki türbülans kinetik enerjisi profillerinde ise küçük farklılıkların olduğu görülmektedir.



(a)

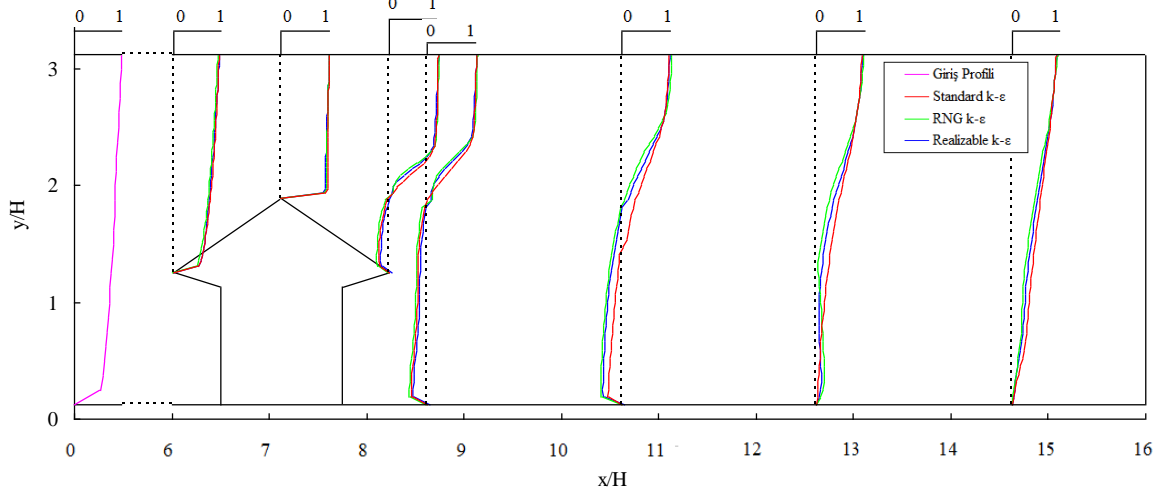


(b)

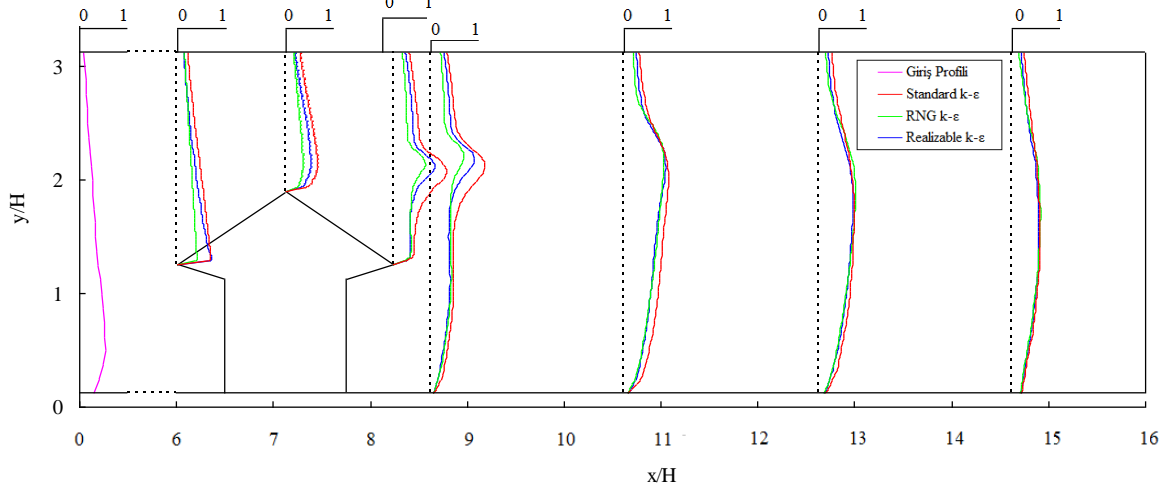
Şekil 4.36. 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 15° olduğu beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.37’de görülmektedir. Şekil 4.37a’da verilen ortalama hız profillerinden, 30° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı sırtından ayrıldığı ve çatı ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturduğu görülmektedir. Model arkasındaki ortalama hız profillerinde negatif hız değerleri çatı sırtı seviyesine kadar ulaşmaktadır. Model arkasındaki

türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini yine çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. (Şekil 4.37b).



(a)

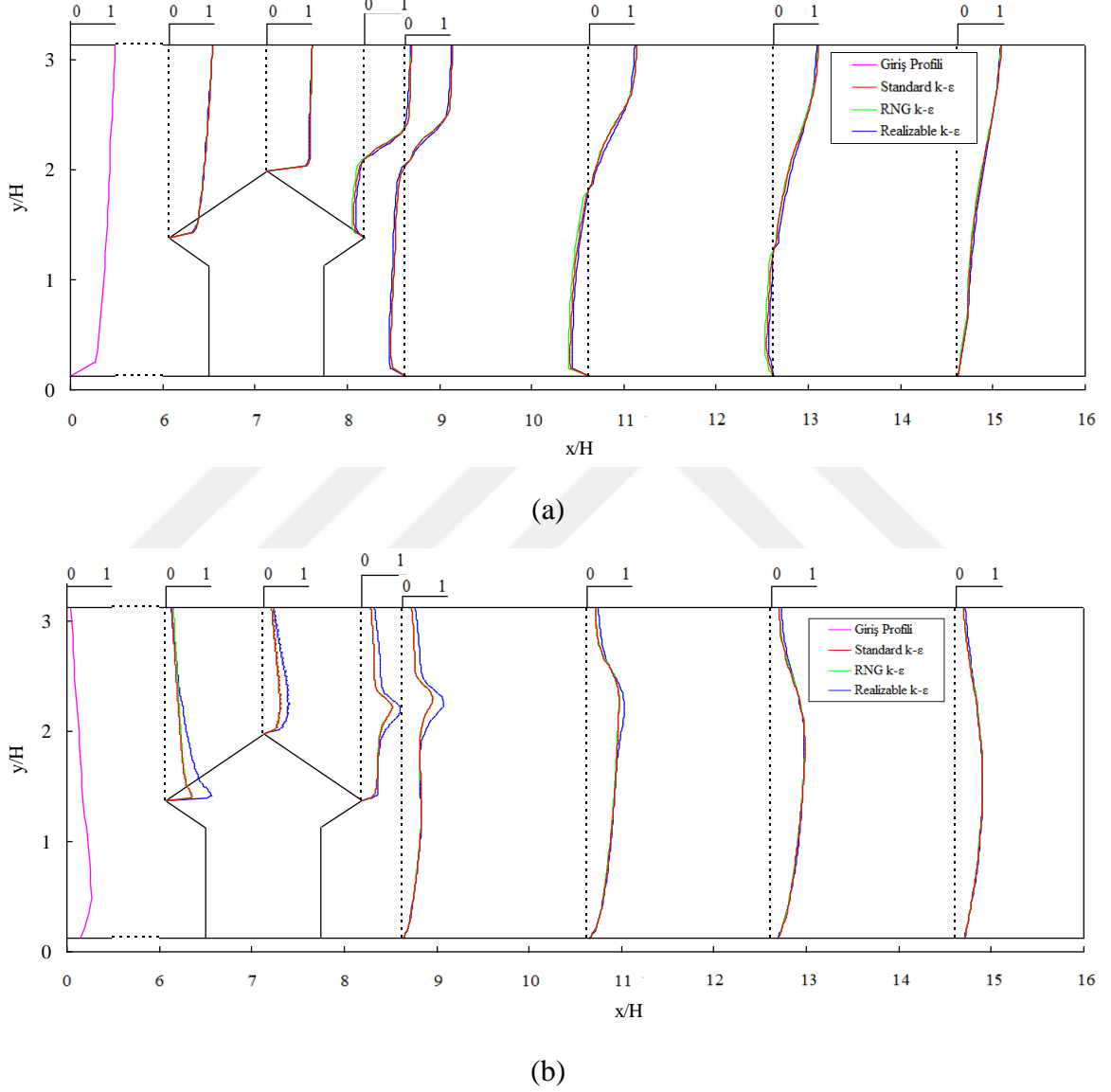


(b)

Şekil 4.37. 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

30° çatı eğim açısına ve 30° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.38'de görülmektedir. Şekil 4.38a'da verilen ortalama hız profillerinden, 30° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı sırtından ayrıldığı ve çatı ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturduğu görülmektedir. Model arkasındaki ortalama hız

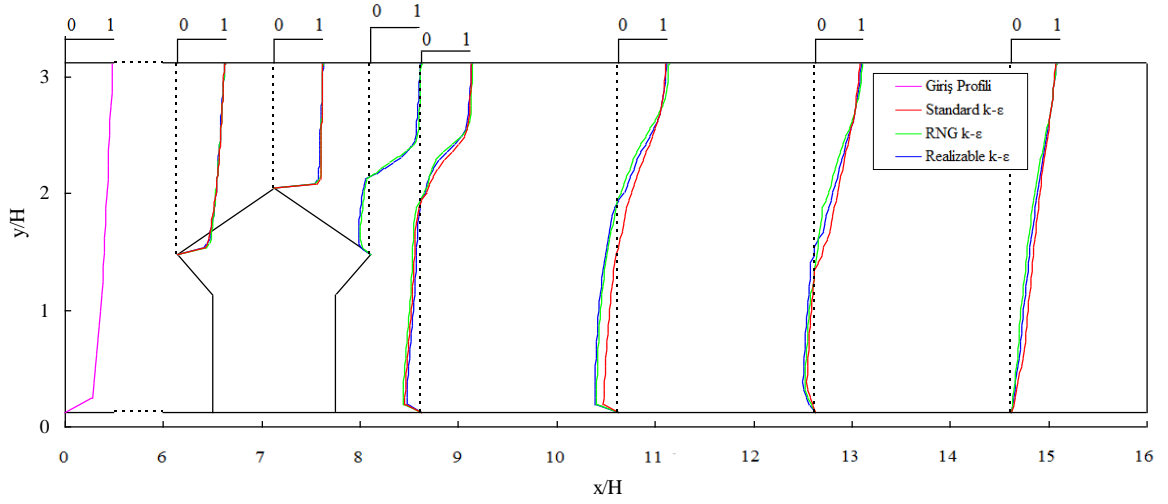
profillerinde negatif hız değerleri çatı sırtı seviyesine kadar ulaşmaktadır. Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. Saçak açısının artmasıyla sağlanan model yüksekliğindeki artış, türbülans şiddetindeki en büyük değerlerin daha yüksekte gerçekleşmesini sağlamaktadır (Şekil 4.38b).



Şekil 4.38. 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 45° olduğu beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.39'da görülmektedir.

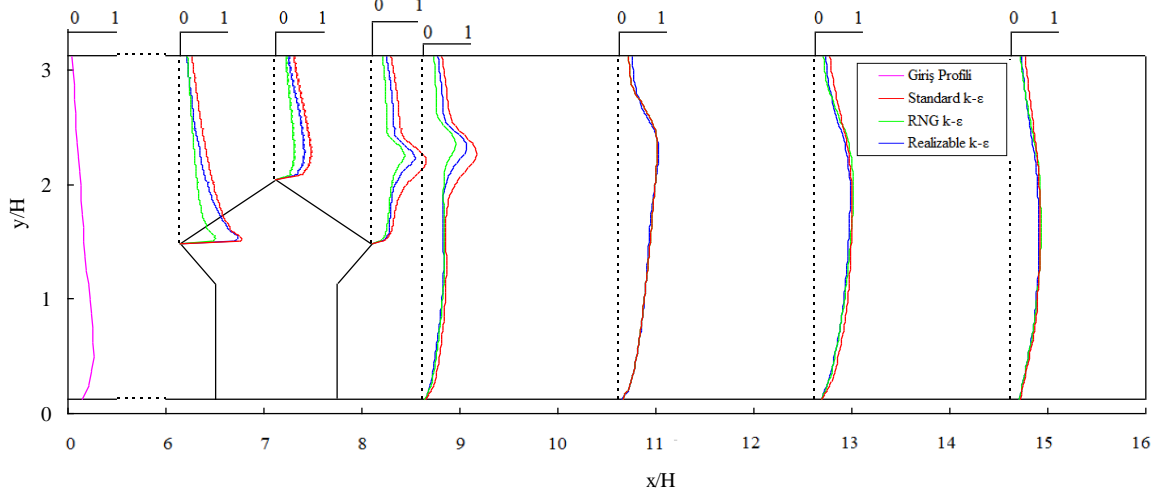
Şekil 4.39a’da verilen ortalama hız profillerinden, 30° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı sırtından ayrıldığı ve çatı ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturduğu görülmektedir. Model arkasındaki ortalama hız profillerinde negatif hız değerleri çatı sırtı seviyesine kadar ulaşmaktadır. Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. Saçak açısının artmasıyla sağlanan model yüksekliğindeki artış, türbülans şiddetindeki en büyük değerlerin daha yüksekte gerçekleşmesini sağlamaktadır (Şekil 4.39b).



(a)

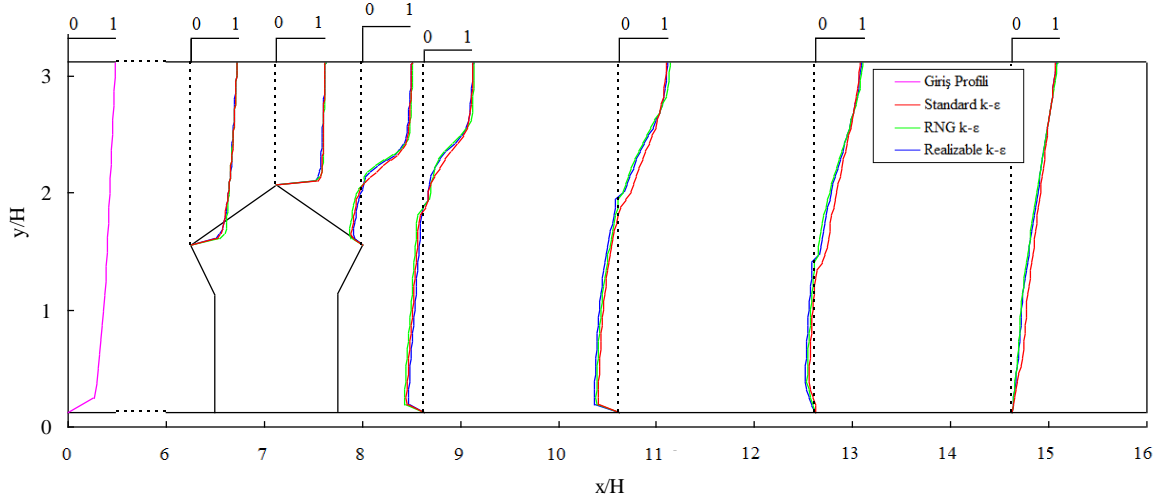
Şekil 4.39. 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

Şekil 4.39'un devamı

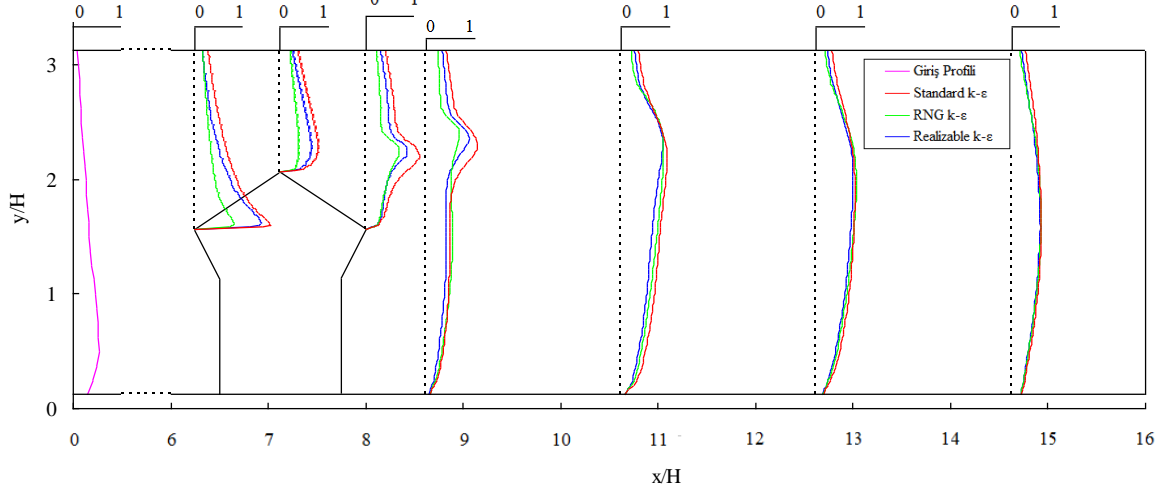


(b)

30° çatı eğim açısına ve 60° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.40'da görülmektedir. Şekil 4.40a'da verilen ortalama hız profillerinden, 30° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akış, çatı sırtından ayrılmakta ve çatı ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Model arkasındaki ortalama hız profillerinde negatif hız değerleri çatı sırtı seviyesine kadar ulaşmaktadır. Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. Saçak açısının artmasıyla sağlanan model yüksekliğindeki artış, türbülans şiddetindeki en büyük değerlerin daha yüksekte gerçekleşmesini sağlamaktadır (Şekil 4.40b).



(a)



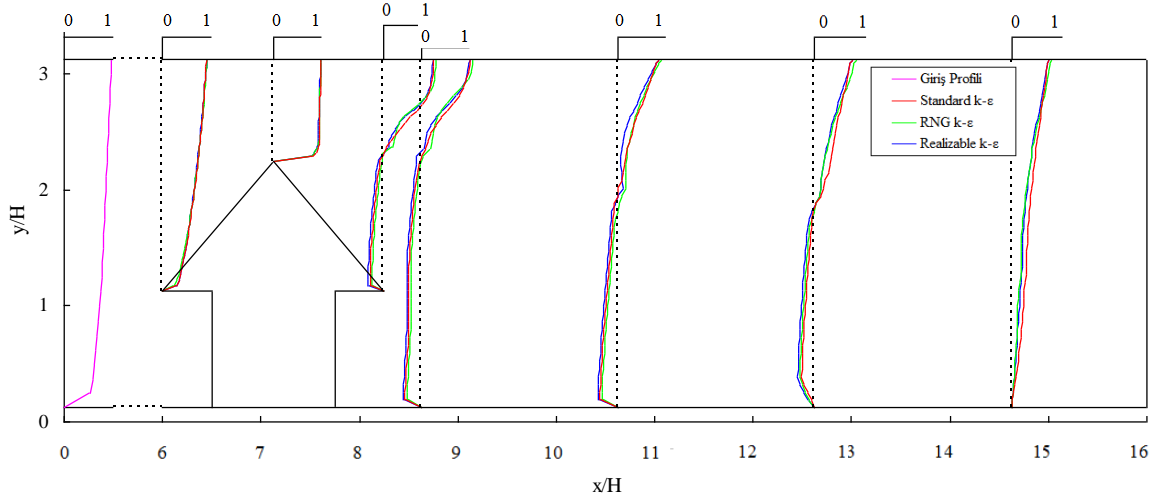
(b)

Şekil 4.40. 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

30° çatı eğim açısına sahip bina modellerinin ait orta eksenleri boyunca değişik istasyonlarında düşey doğrultuda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri birlikte değerlendirildiğinde, çatı sırtından itibaren çatı arka yüzeyi üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluştuğu ve model arkasındaki girdapların varlığını gösteren ortalama hız profillerindeki negatif bölgelerin yüksekliklerinin, artan saçak eğim açısıyla birlikte arttığı görülmektedir. Bu durum saçak açısının artmasıyla model arkasında oluşan ters akış bölgelerinin yüksekliğinin ve uzunluğunun arttığını göstermektedir. Aynı istasyonlardaki türbülans kinetik enerjisi profilleri ise, türbülans şiddetinin en yüksek

değerini aldığı karışım tabakasının artan saçak eğim açısıyla birlikte yukarı doğru kaydığını ve çatı sırt seviyesinin üzerine çıktığını göstermektedir.

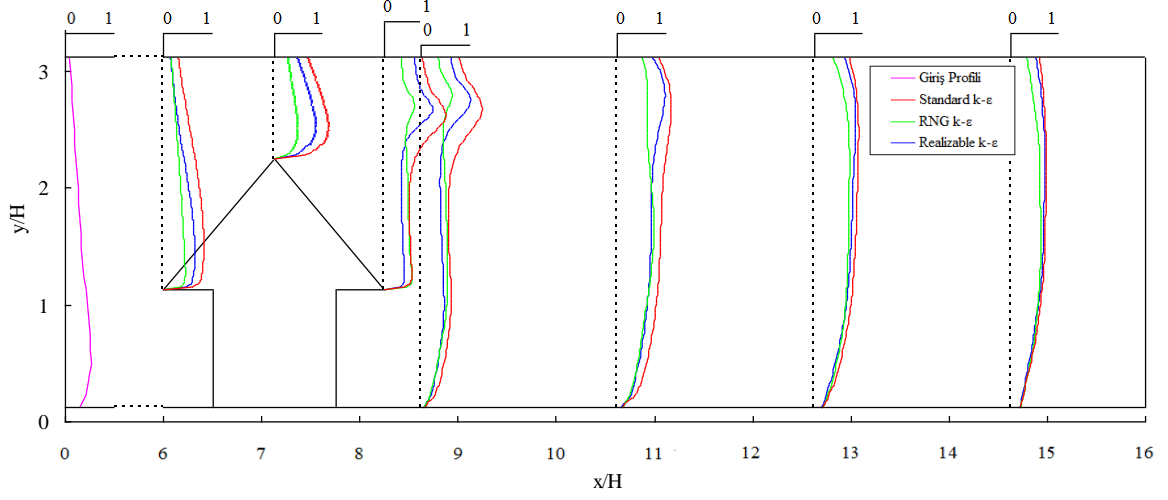
Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 0° olduğu beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.41’de görülmektedir. Modelin ön kısmına gelen akış, çatı ön yüzeyi boyunca ilerleyerek çatı sırtından ayrılmakta ve çatı arka yüzeyi üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Model arkasındaki ters akış bölgesinin yüksekliğinin çatı sırt seviyesinde olduğu, model arkasındaki hız profillerinin negatif kısımlarından anlaşılmaktadır. (Şekil 4.41a). Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. (Şekil 4.41b). Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız profillerinin benzer olduğu, bina modeli yakınındaki türbülans kinetik enerjisi profillerinde ise farklılıkların olduğu görülmektedir.



(a)

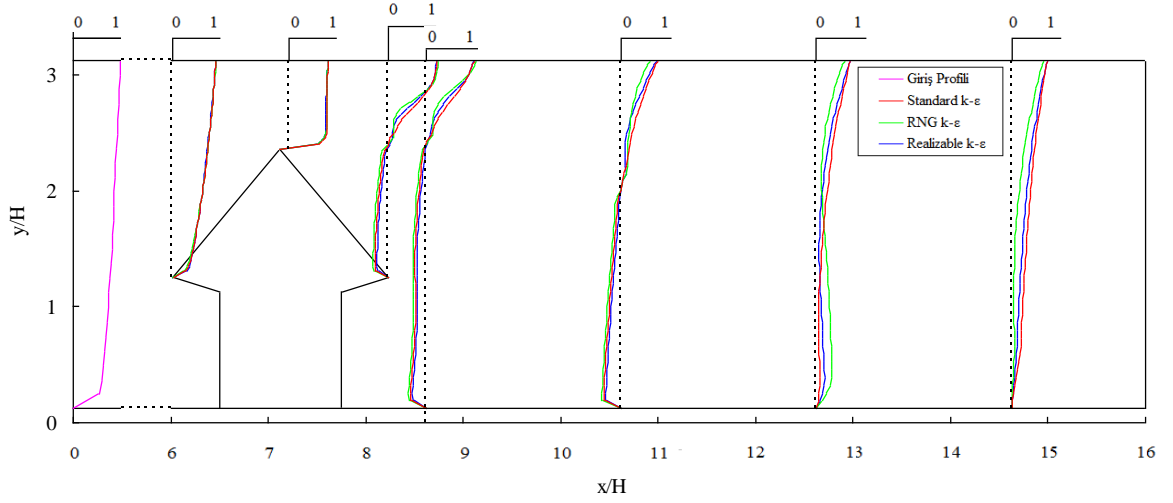
Şekil 4.41. 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerjisi

Şekil 4.41'in devamı

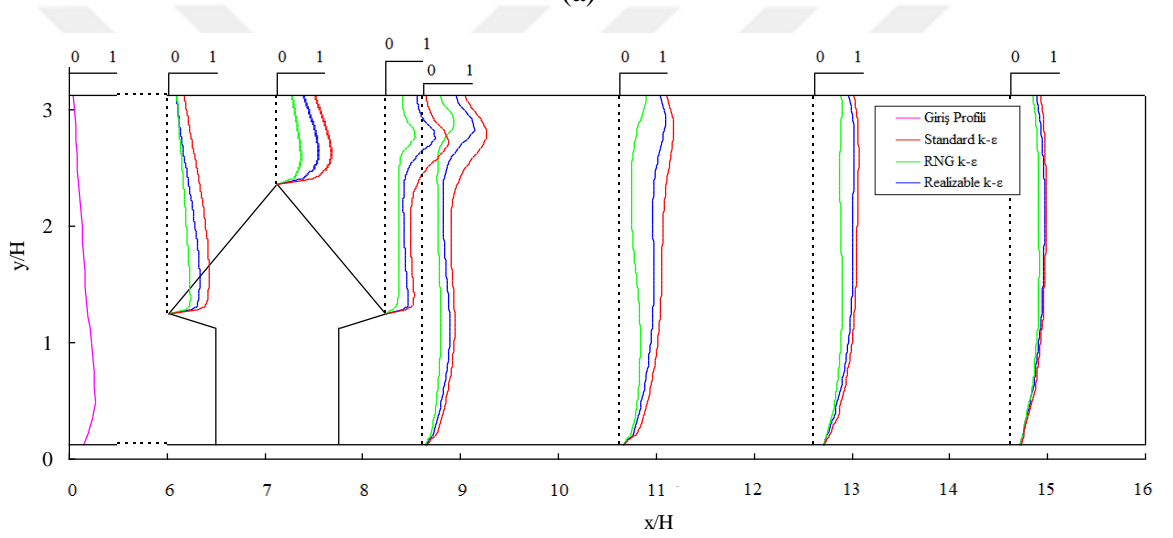


(b)

45° çatı eğim açısına ve 15° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.42'de görülmektedir. Şekil 4.42a'da verilen ortalama hız profillerinden, 45° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı sırtından ayrıldığı ve çatı ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturduğu görülmektedir. Model arkasındaki ortalama hız profillerinde negatif hız değerleri çatı sırtı seviyesine kadar ulaşmaktadır. Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini yine çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. (Şekil 4.42b).



(a)

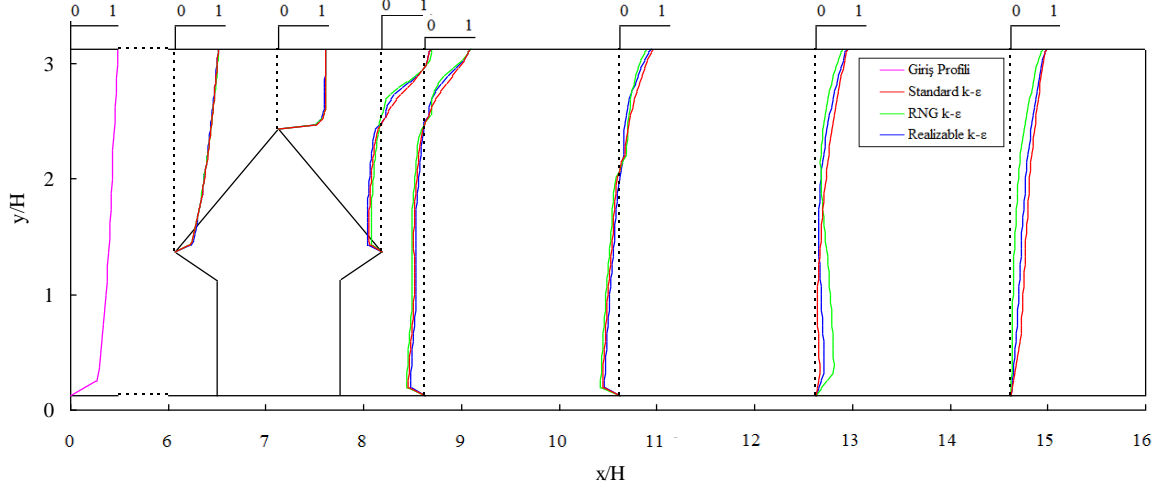


(b)

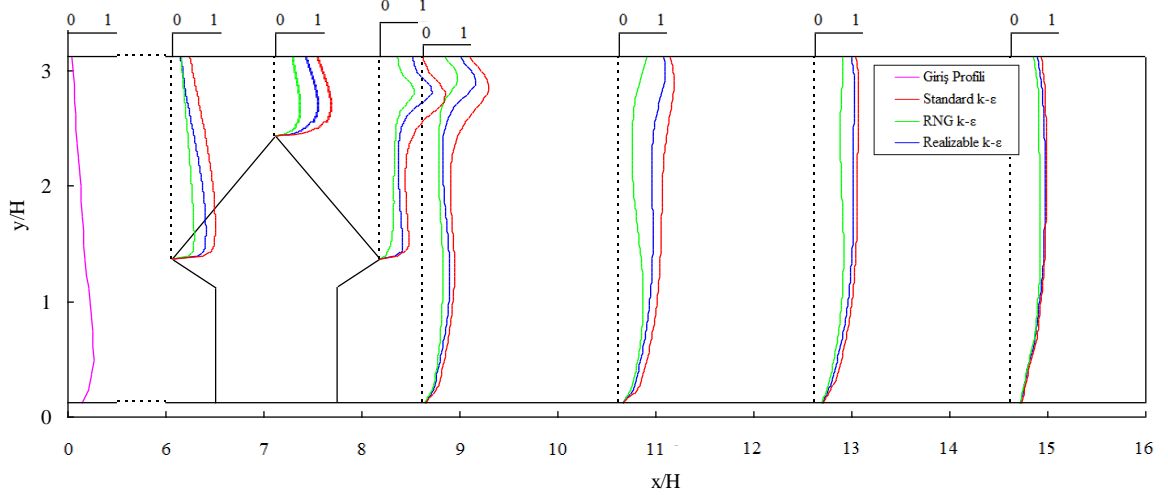
Şekil 4.42. 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 30° olduğu beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.43'de görülmektedir. Şekil 4.43a'da verilen ortalama hız profillerinden, 45° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı sırtından ayrıldığı ve çatı ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturduğu görülmektedir. Model arkasındaki ortalama hız profillerinde negatif hız değerleri çatı sırtı seviyesine kadar ulaşmaktadır. Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı sırt seviyesinin üzerindeki

bir yükseklikte aldığını göstermektedir. Saçak açısının artmasıyla sağlanan model yüksekliğindeki artış, türbülans şiddetindeki en büyük değerlerin daha yüksekte gerçekleşmesini sağlamaktadır. Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız profilleri benzer olduğu, bazı türbülans kinetik enerjisi profillerinin ise farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.43b).



(a)

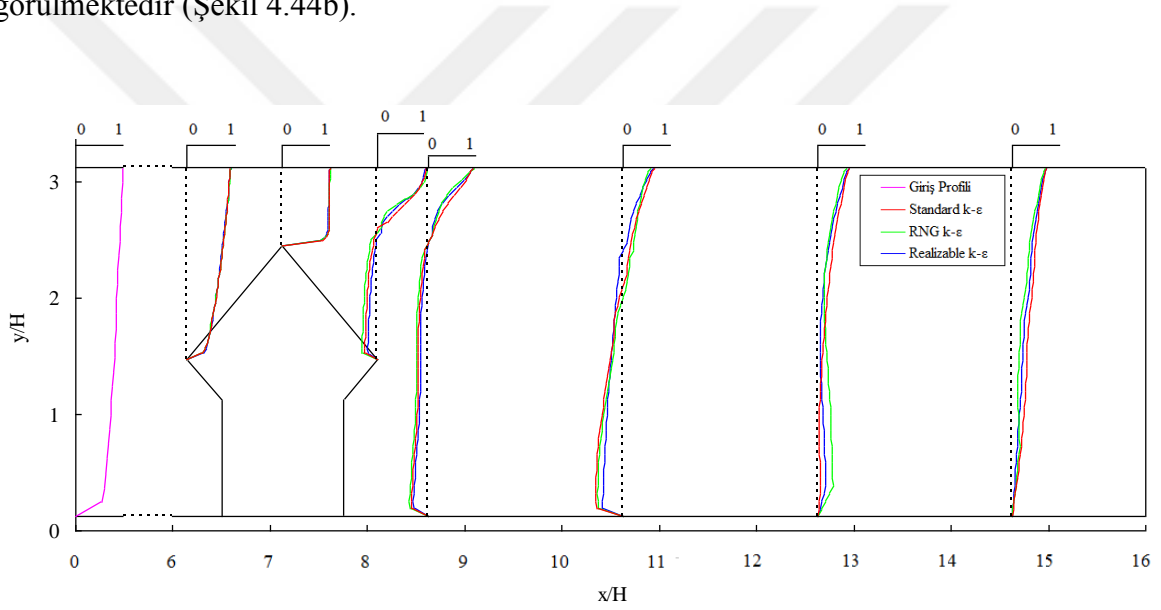


(b)

Şekil 4.43. 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerjisi

45° çatı eğim açısına ve 45° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle

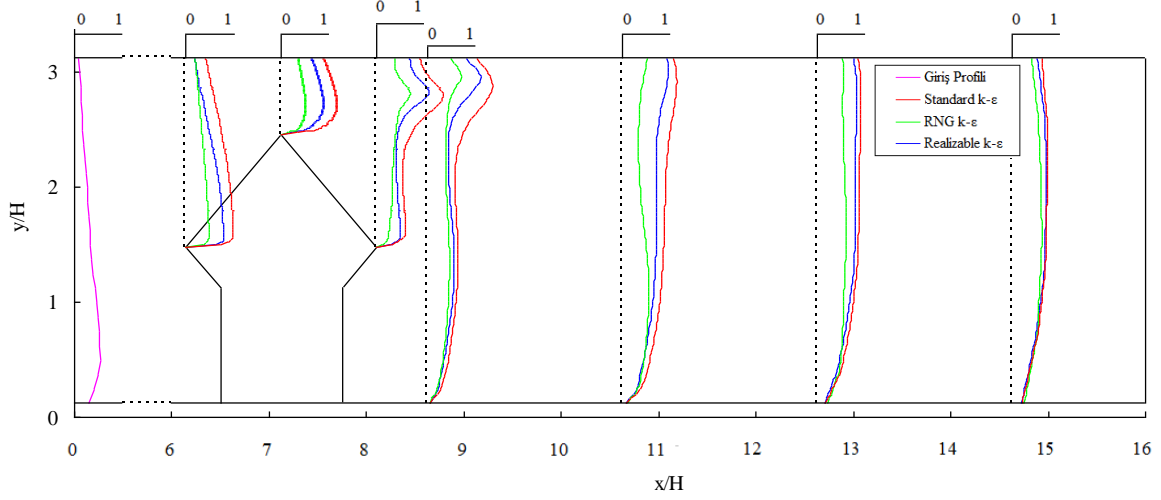
hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.44'de görülmektedir. Şekil 4.44a'da verilen ortalama hız profillerinden, 45° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akışın, çatı sırtından ayrıldığı ve çatı ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturduğu görülmektedir. Model arkasındaki ortalama hız profillerinde negatif hız değerleri çatı sırtı seviyesine kadar ulaşmaktadır. Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. Saçak açısının artmasıyla sağlanan model yüksekliğindeki artış, türbülans şiddetindeki en büyük değerlerin daha yüksekte gerçekleşmesini sağlamaktadır. Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız profilleri benzer olduğu, bazı türbülans kinetik enerjisi profillerinin ise farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.44b).



(a)

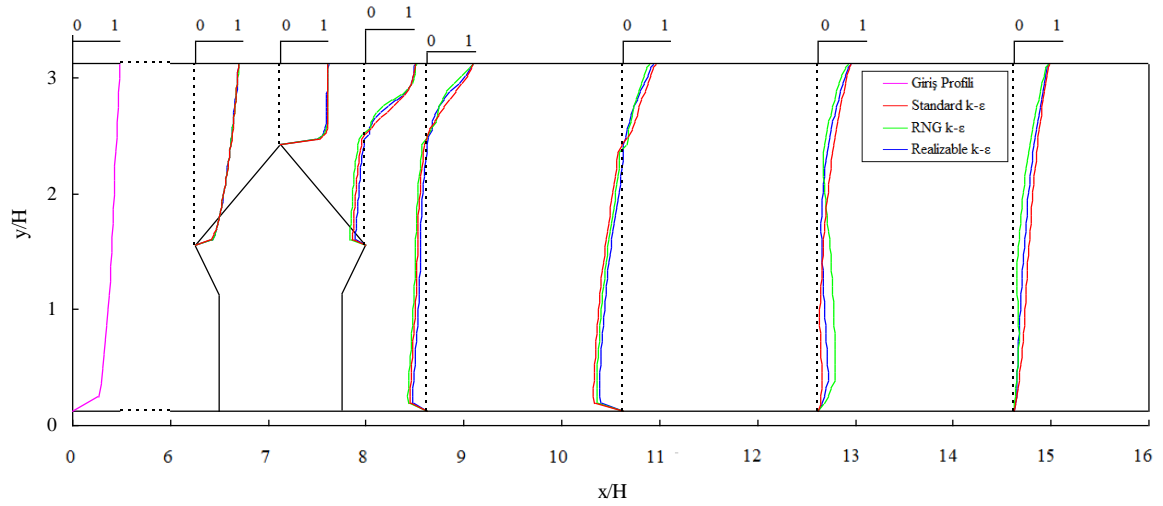
Şekil 4.44. 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller
(a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerjisi

Şekil 4.44'ün devamı

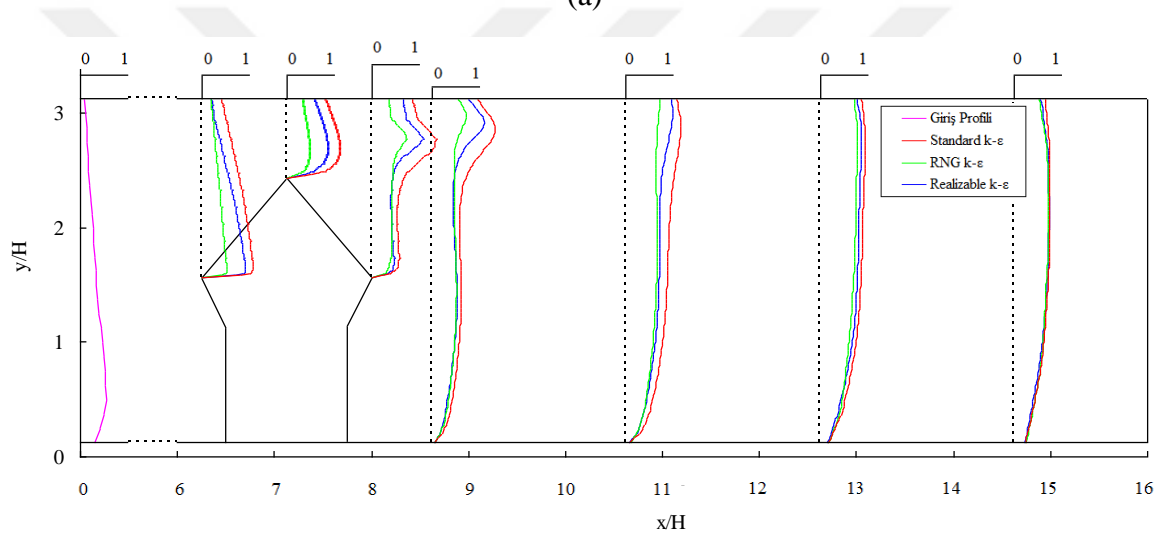


(b)

45° çatı eğim açısına ve 60° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinde orta eksen boyunca değişik istasyonlarda düşey doğrultuda üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 4.45'de görülmektedir. Şekil 4.45a'da verilen ortalama hız profillerinden, 45° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumuna benzer şekilde, modelin ön kısmına gelen akış, çatı sırtından ayrılmakta ve çatı ve model arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Model arkasındaki ortalama hız profillerinde negatif hız değerleri çatı sırtı seviyesine kadar ulaşmaktadır. Model arkasındaki türbülans profilleri, türbülans şiddetinin en yüksek değerini çatı sırt seviyesinin üzerindeki bir yükseklikte aldığını göstermektedir. Saçak açısının artmasıyla sağlanan model yüksekliğindeki artış, türbülans şiddetindeki en büyük değerlerin daha yüksekte gerçekleşmesini sağlamaktadır. Her üç türbülans modeli ile hesaplanan ortalama hız profilleri benzer olduğu, bazı türbülans kinetik enerjisi profillerinin ise farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.45b).



(a)



(b)

Şekil 4.45. 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modelinde orta eksen boyunca profiller (a) Ortalama hız (b) Türbülans kinetik enerji

45° çatı eğim açısına sahip bina modellerinin ait orta eksenleri boyunca değişik istasyonlarında düşey doğrultuda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri birlikte değerlendirildiğinde, çatı sırtından itibaren çatı arka yüzeyi üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluştuğu ve model arkasındaki girdapların varlığını gösteren ortalama hız profillerindeki negatif bölgelerin yüksekliklerinin, artan saçak eğim açısıyla birlikte arttığı görülmektedir. Bu durum saçak açısının artmasıyla model arkasında oluşan ters akış bölgelerinin yüksekliğinin ve uzunluğunun arttığını göstermektedir. Aynı istasyonlardaki türbülans kinetik enerjisi profilleri ise, türbülans şiddetinin en yüksek

değerini aldığı karışım tabakasının artan saçak eğim açısıyla birlikte yukarı doğru kaydığını ve çatı sırt seviyesinin üzerine çıktığını göstermektedir.

4.3. Model Yüzeylerinde Basınç Dağılımları

Tez kapsamında incelenen bina modellerinin yüzeylerindeki basınç dağılımları,

$$C_p = \frac{\Delta P}{0,5\rho U^2} \quad (4.1)$$

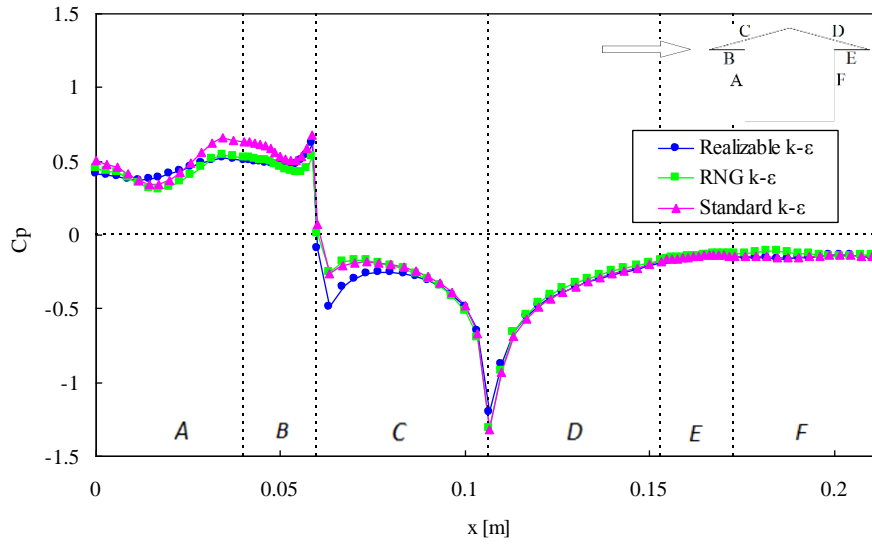
şeklinde basınç katsayısı cinsinden verilmiştir. Burada; ΔP , yüzey basıncı ve ortam basıncı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır.

Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleriyle hesaplanan basınç katsayıları, bina model yüzeylerinin orta eksenleri boyunca basınç dağılımları ve model yüzeylerinde eş basınç alanları şeklinde değerlendirilmiştir.

4.3.1. 15° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

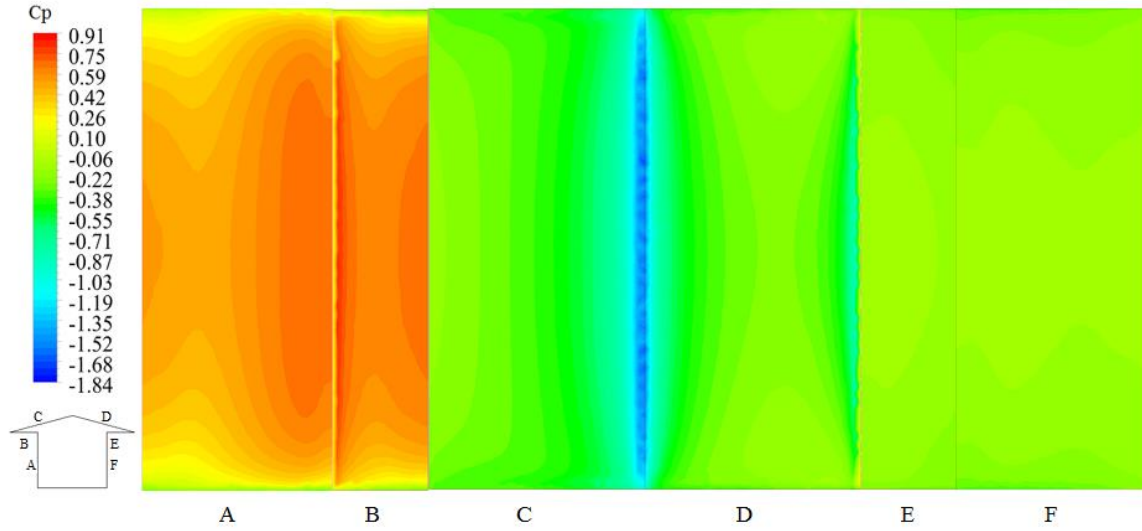
Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 0° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k- ϵ , RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.46'da verilmiştir.

Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A) ve ön saçak yüzeyinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçak ucundan itibaren çatı yüzeylerinde (C ve D) ve arka saçak (E) ve model arka yüzeyinde (F), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Ön saçak ucu civarında küçük bir negatif pikten sonra çatı sırtına kadar gittikçe kuvvetlenen emme etkisi, çatı sırtında en kritik değerine ulaşmaktadır. Çatı sırtından itibaren ise çatı arka yüzeyi boyunca hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi üzerinde yaklaşık sabit olmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının ön saçak ucu yakınında ve çatı sırtındaki pik değerler dışında birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k- ϵ türbülans modeli ile çatı sırtında -1.32 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.46. 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

15° çatı eğim açısına ve 0° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.47’de verilmiştir. Şekil 4.46’daki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde ve ön saçak yüzeyinde pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.84 olarak hesaplanmıştır.

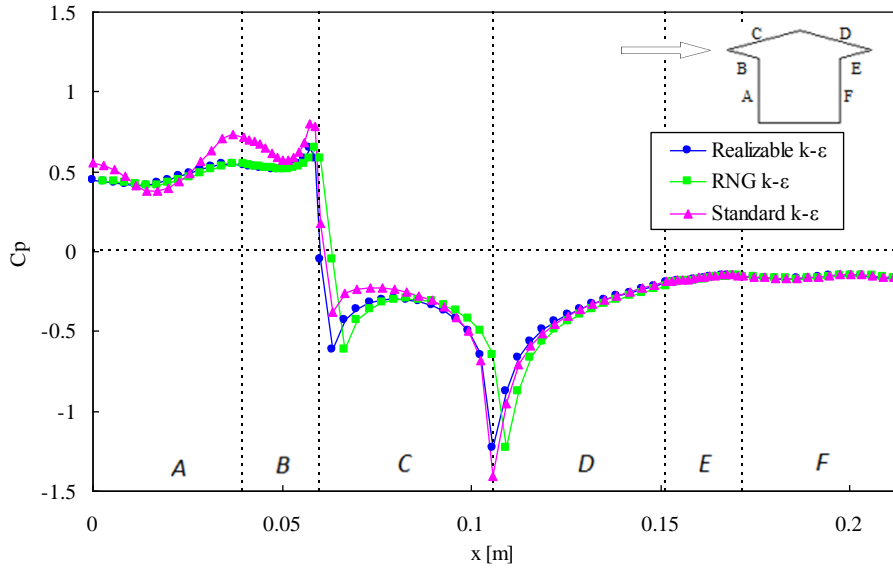


Şekil 4.47. 15° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.2. 15° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

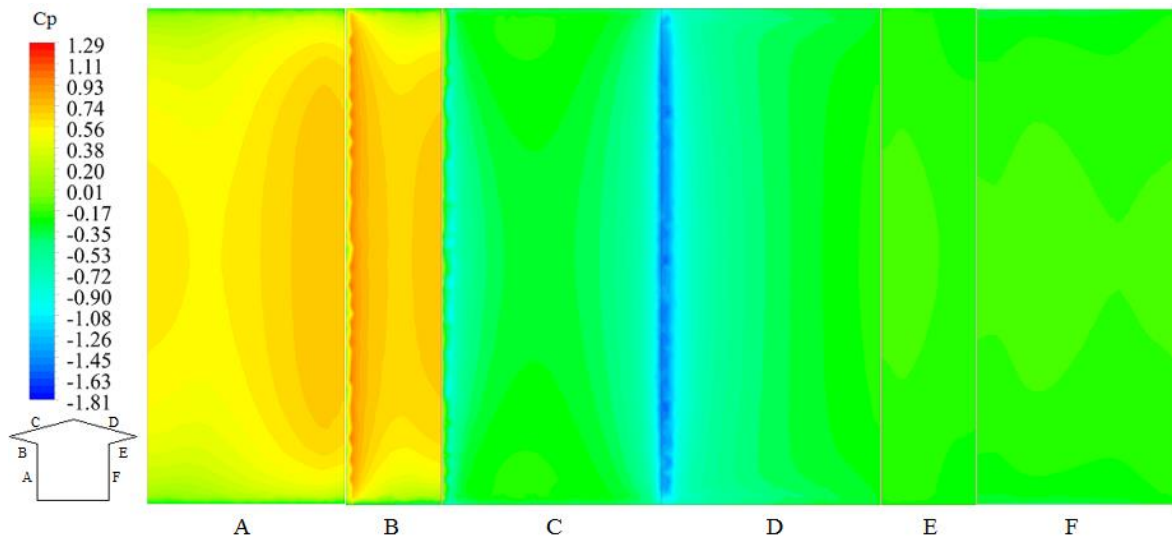
Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 15° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.48’de verilmiştir.

15° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A) ve ön saçak yüzeyinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçak ucundan itibaren çatı yüzeylerinde (C ve D) ve arka saçak (E) ve model arka yüzeyinde (F), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Ön saçak ucu civarında küçük bir negatif pikten sonra çatı sırtına kadar gittikçe kuvvetlenen emme etkisi, çatı sırtında en kritik değerine ulaşmaktadır. Çatı sırtından itibaren ise çatı arka yüzeyi boyunca hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi üzerinde yaklaşık sabit olmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının ön saçak ucu yakınında ve çatı sırtındaki pik değerler dışında birbirine yakın olduğu görülmektedir. Standard k-ε türbülans modelinin model ön yüzeyi ve ön saçak yüzeyi üzerinde hesapladığı pozitif basınç katsayıları, diğer türbülans modelleri ile hesaplanan değerlerden farklı olmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -1.41 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.48. 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

15° çatı eğim açısına ve 15° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.49’da verilmiştir. Şekil 4.48’deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde ve ön saçak yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.81 olarak hesaplanmıştır.

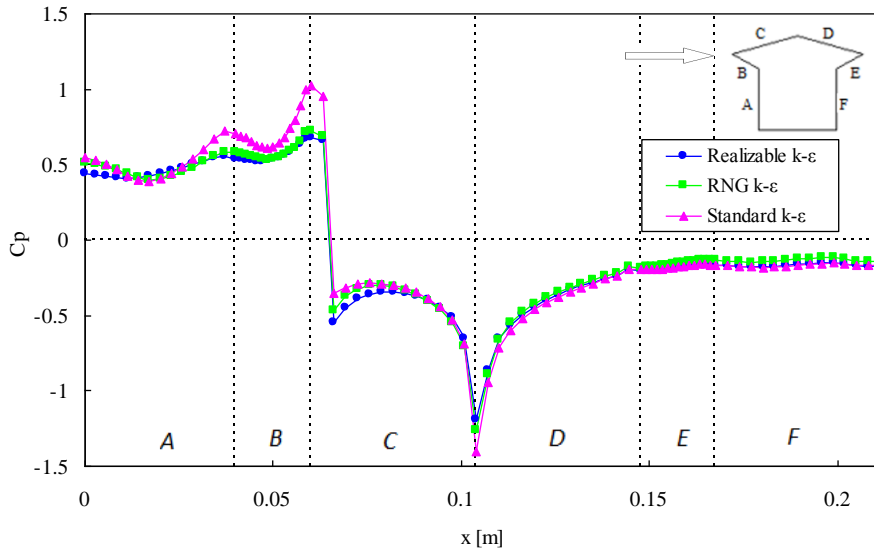


Şekil 4.49. 15° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.3. 15° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

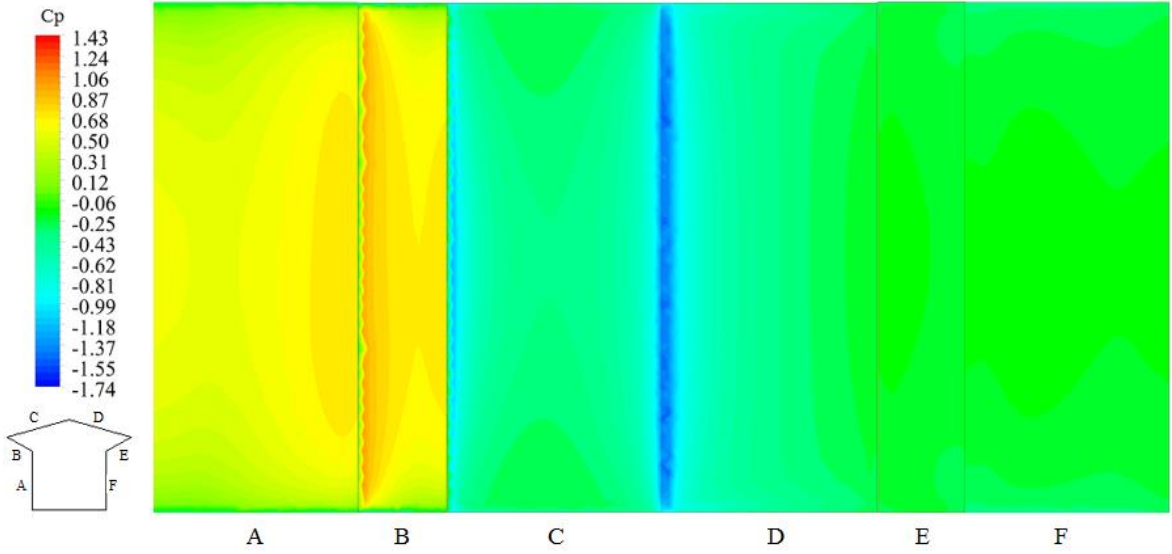
Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 30° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.50’de verilmiştir.

15° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A) ve ön saçak yüzeyinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçak ucundan itibaren çatı yüzeylerinde (C ve D) ve arka saçak (E) ve model arka yüzeyinde (F), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Sırasıyla ön saçığın altında ve üstünde oluşan küçük ölçekli pozitif ve negatif piklerden sonra çatı sırtına kadar gittikçe kuvvetlenen emme etkisi, çatı sırtında en kritik değerine ulaşmaktadır. Çatı sırtından itibaren ise çatı arka yüzeyi boyunca hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi üzerinde yaklaşık sabit olmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının ön saçak ucu yakınında ve çatı sırtındaki pik değerler dışında birbirine yakın olduğu görülmektedir. Standard k-ε türbülans modelinin model ön yüzeyi ve ön saçak yüzeyi üzerinde hesapladığı pozitif basınç katsayıları, diğer türbülans modelleri ile hesaplanan değerlerden daha büyük olmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -1.40 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.50. 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

15° çatı eğim açısına ve 30° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.51’de verilmiştir. Şekil 4.50’deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde ve ön saçak yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.74 olarak hesaplanmıştır.



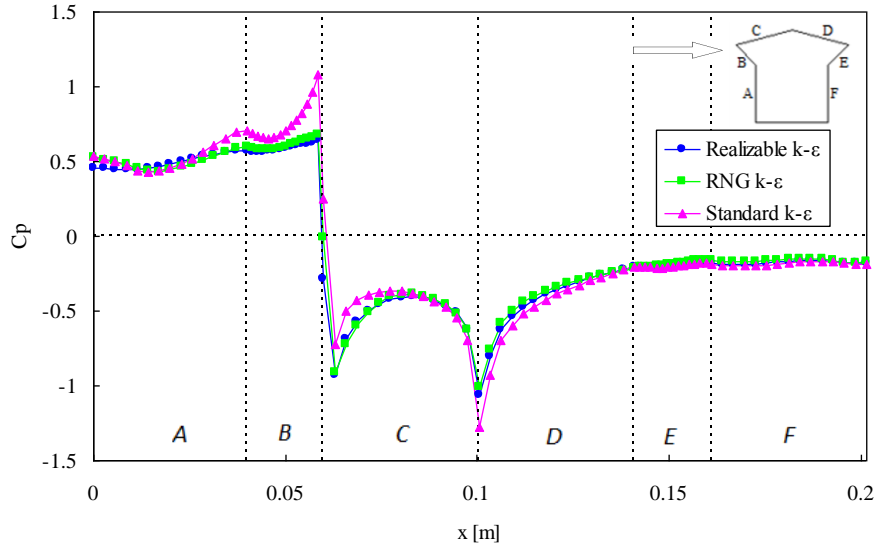
Şekil 4.51. 15° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.4. 15° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 45° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.52’de verilmiştir.

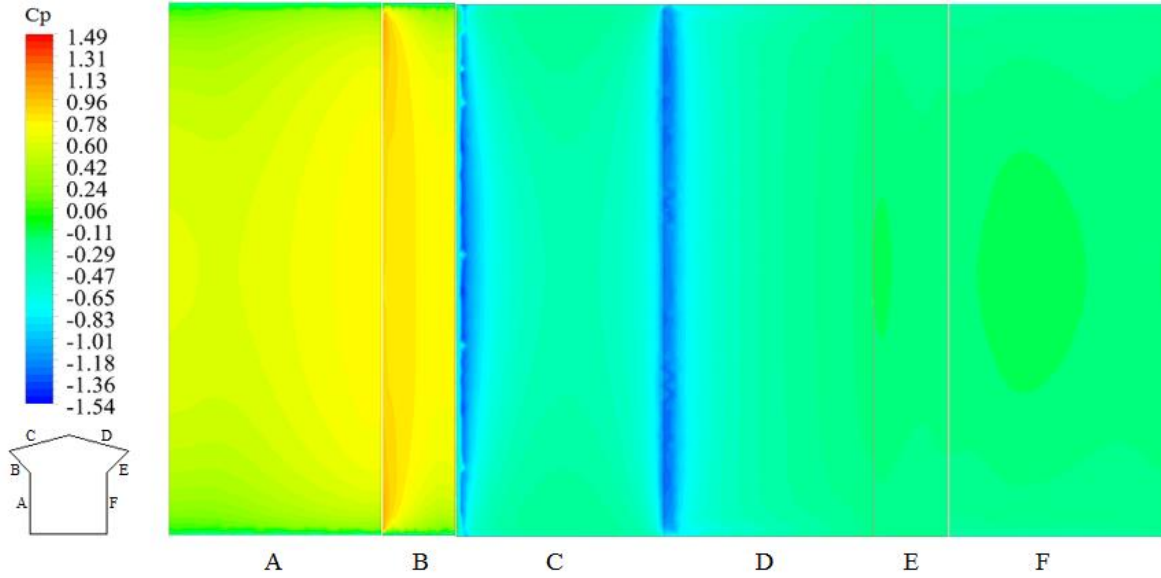
15° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A) ve ön saçak yüzeyinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçak ucundan itibaren çatı yüzeylerinde (C ve D) ve arka saçak (E) ve model arka yüzeyinde (F), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Sırasıyla ön saçığın altında ve üstünde oluşan pozitif ve negatif piklerden sonra çatı sırtına kadar gittikçe kuvvetlenen emme etkisi, çatı sırtında en kritik değerine ulaşmaktadır. Çatı sırtından itibaren ise çatı arka yüzeyi boyunca hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi üzerinde yaklaşık sabit olmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç

katsayılarının ön saçak ucu yakınında ve çatı sırtındaki pik değerler dışında birbirine yakın olduğu görülmektedir. Standard k-ε türbülans modelinin ön saçak yüzeyi üzerinde hesapladığı pozitif basınç katsayıları, diğer türbülans modelleri ile hesaplanan değerlerden daha büyük olmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -1.28 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.52. 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

15° çatı eğim açısına ve 45° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.53'de verilmiştir. Şekil 4.52'deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde ve ön saçak yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.54 olarak hesaplanmıştır.



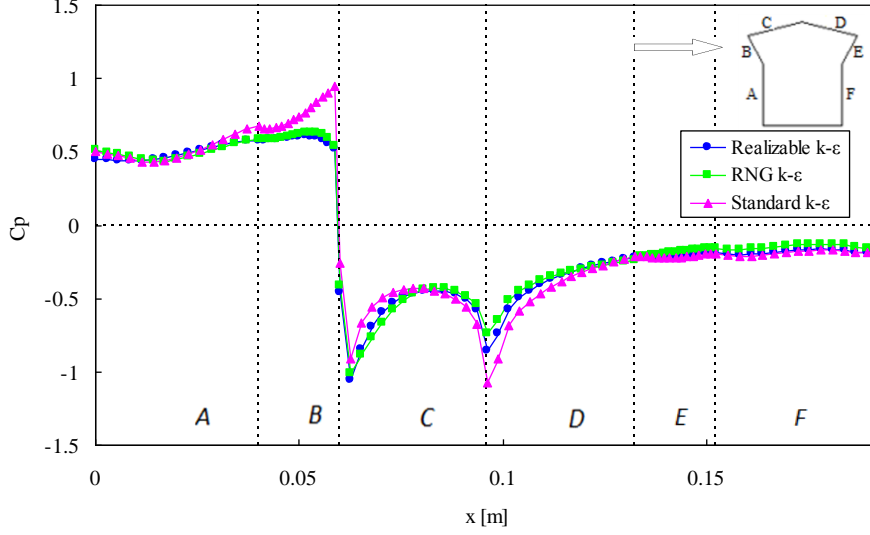
Şekil 4.53. 15° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.5. 15° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 15° ve saçak eğim açısının 60° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.54’de verilmiştir.

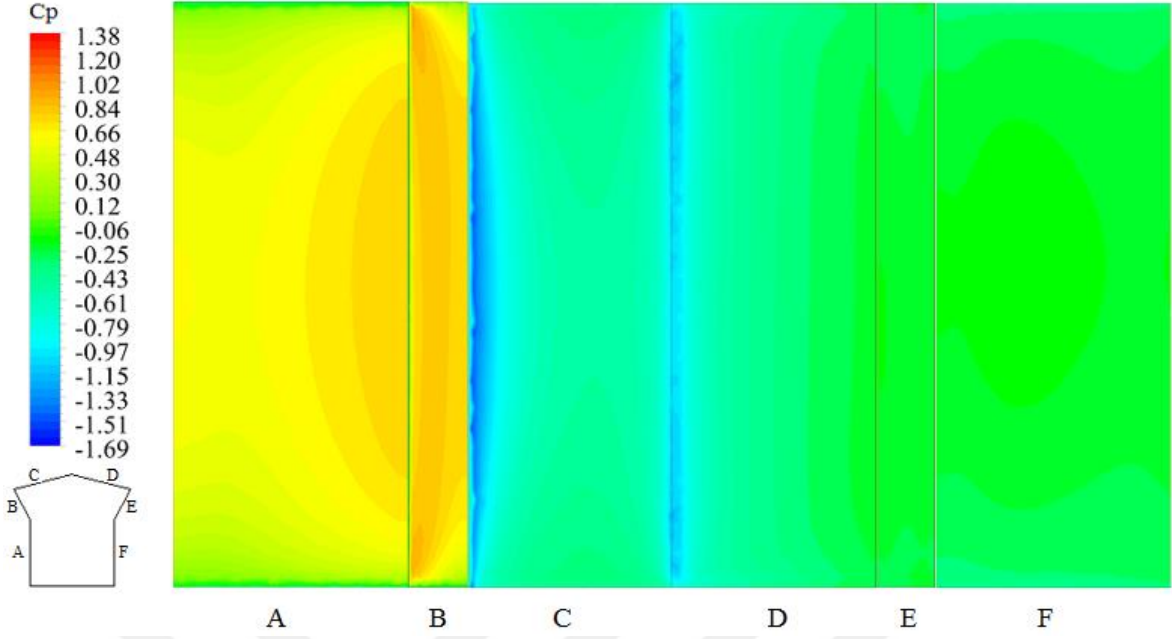
15° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A) ve ön saçak yüzeyinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçak ucundan itibaren çatı yüzeylerinde (C ve D) ve arka saçak (E) ve model arka yüzeyinde (F), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Ön saçığın altında oluşan küçük ölçekli pozitif pikten hemen sonra çatı ön yüzeyinin ön saçak üzerine yakın kısmında kritik bir negatif pik oluşmaktadır. Çatı ön yüzeyinin orta bölümüne doğru hafifleyen emme etkisi çatı ön yüzeyinin çatı sırtına yakın bölgesinde tekrar kuvvetlenerek çatı sırtında ikinci bir kritik pik oluşturmaktadır. Çatı ön yüzeyinin ön saçak ve çatı sırtı yakınındaki bölgelerinde oluşan negatif piklerin aynı etkide olduğu görülmektedir. Emme etkisi, çatı sırtından itibaren çatı arka yüzeyi boyunca hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi üzerinde yaklaşık sabit olmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının ön saçak ucu yakınında ve çatı sırtındaki pik değerler dışında birbirine yakın olduğu görülmektedir. Standard k-ε türbülans modelinin ön saçak yüzeyi üzerinde hesapladığı pozitif basınç katsayıları, diğer türbülans modelleri ile

hesaplanan değerlerden daha büyük olmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k- ϵ türbülans modeli ile çatı sırtında -1.07 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.54. 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

15° çatı eğim açısına ve 60° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k- ϵ türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.55’de verilmiştir. Şekil 4.54’deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde ve ön saçak yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.69 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.55. 15° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

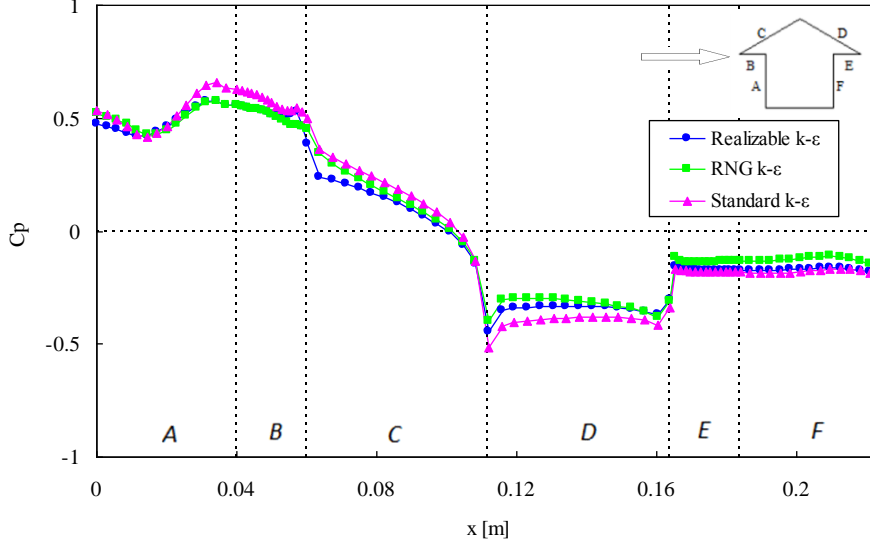
15° çatı eğim açısına sahip bina modellerinin yüzeylerinde hesaplanmış basınç dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, çatı ön yüzeylerinin ön saçak ve çatı sırtına yakın bölgelerinde oluşan negatif piklerin, artan saçak eğim açısı ile birlikte birbirine yaklaştığı görülmektedir.

4.3.6. 30° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 0° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.56'da verilmiştir.

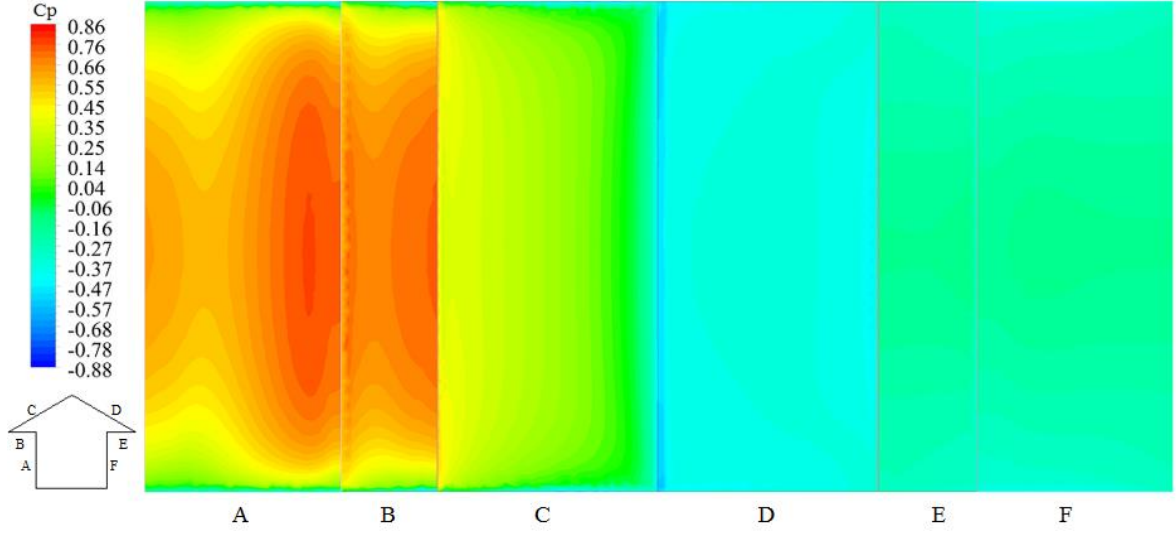
Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinin (C) büyük bölümünde basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Çatı ön yüzeyinin çatı sırtına yakın bölümünden itibaren negatif olan basınç katsayıları çatı sırtında negatif pik oluşturduktan sonra hafifleyerek çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit emme etkisi göstermektedir. Çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren daha da hafifleyen emme etkisi arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit olmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model

yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k- ϵ türbülans modeli ile çatı sırtında -0.51 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.56. 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

30° çatı eğim açısına ve 0° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k- ϵ türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.57’de verilmiştir. Şekil 4.56’daki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinin büyük bölümünde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -0.88 olarak hesaplanmıştır.

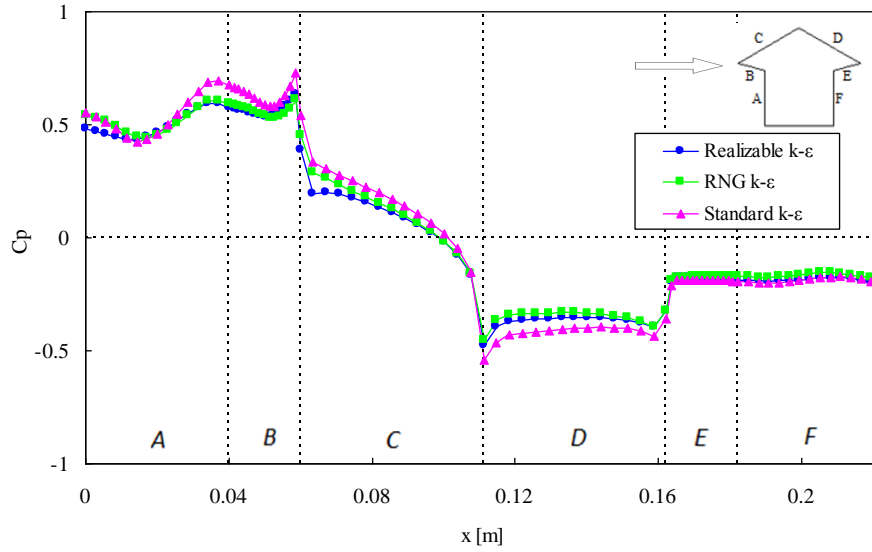


Şekil 4.57. 30° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.7. 30° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

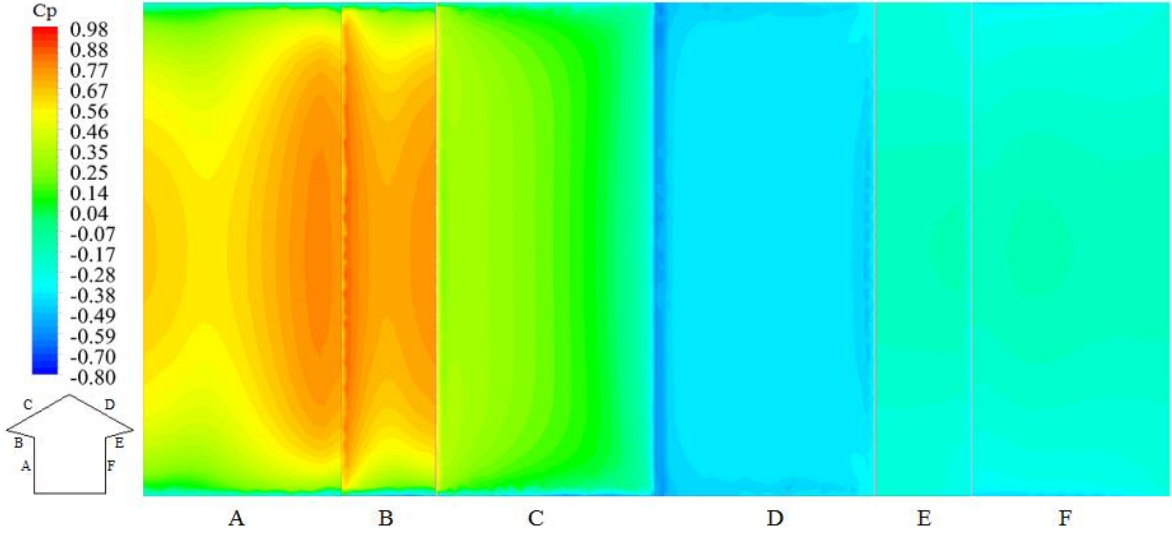
Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 15° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.58’de verilmiştir.

30° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinin (C) büyük bölümünde basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Çatı ön yüzeyinin çatı sırtına yakın bölümünden itibaren negatif olan basınç katsayıları çatı sırtında negatif pik oluşturduktan sonra hafifleyerek çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit emme etkisi göstermektedir. Çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren daha da hafifleyen emme etkisi arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit olmaktadır. Ön saçak ucunun alt ve üst bölgelerinde pozitif değerler alan basınç katsayıları, sırasıyla küçük ölçekli maksimum ve minimum pikler oluşturmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -0.54 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.58. 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

30° çatı eğim açısına ve 15° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.59'da verilmiştir. Şekil 4.58'deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinin büyük bölümünde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -0.80 olarak hesaplanmıştır.

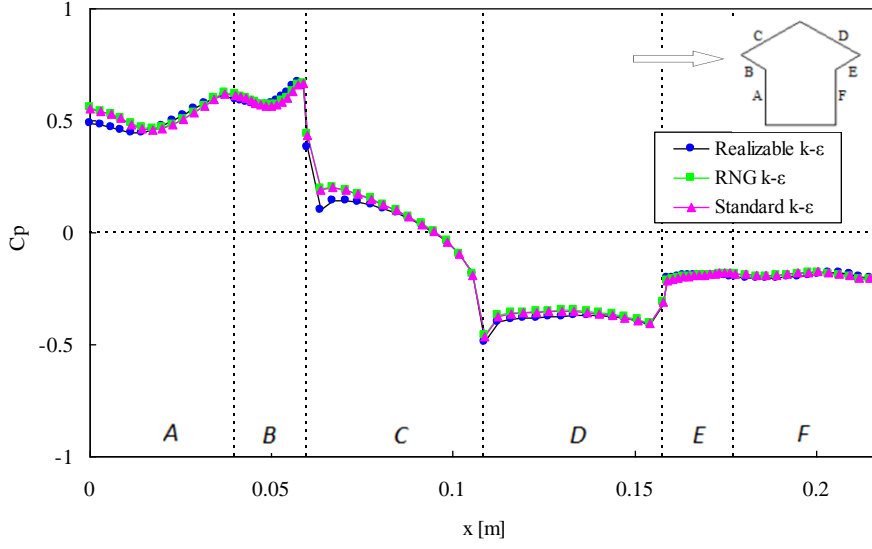


Şekil 4.59. 30° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.8. 30° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

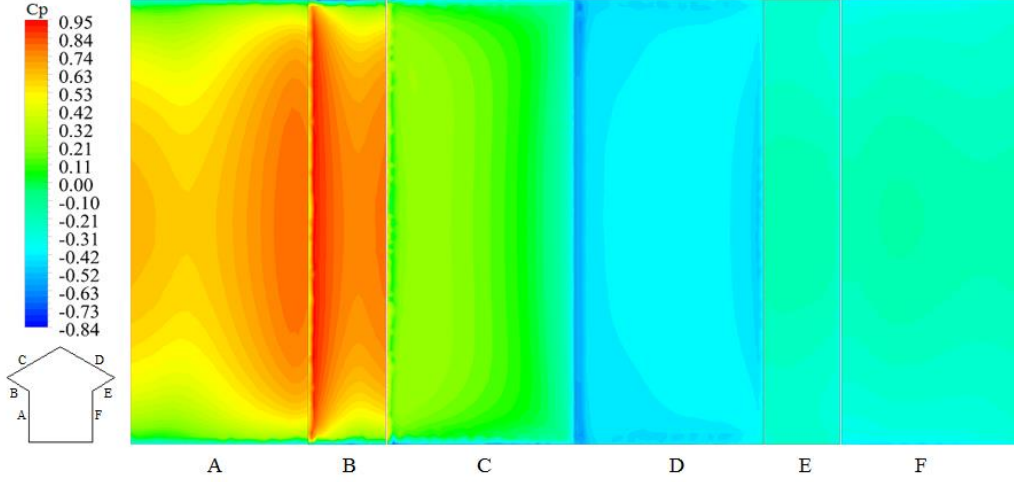
Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 30° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.60'da verilmiştir.

30° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinin (C) büyük bölümünde basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Çatı ön yüzeyinin çatı sırtına yakın bölümünden itibaren negatif olan basınç katsayıları çatı sırtında negatif pik oluşturduktan sonra hafifleyerek çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit emme etkisi göstermektedir. Çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren daha da hafifleyen emme etkisi arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit olmaktadır. Ön saçak ucunun alt ve üst bölgelerinde pozitif değerler alan basınç katsayıları, sırasıyla küçük ölçekli maksimum ve minimum pikler oluşturmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Realizable k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -0.49 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.60. 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

30° çatı eğim açısına ve 30° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.61'de verilmiştir. Şekil 4.60'daki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinin büyük bölümünde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -0.84 olarak hesaplanmıştır.

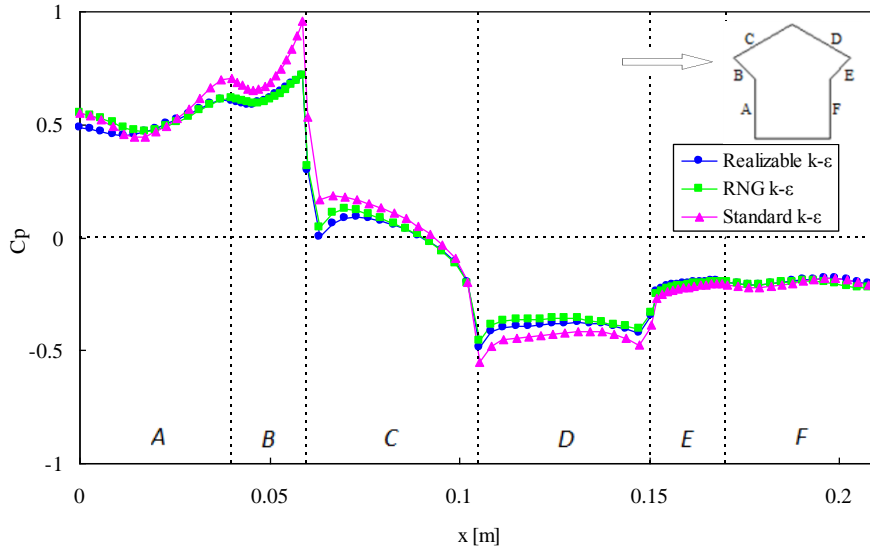


Şekil 4.61. 30° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.9. 30° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

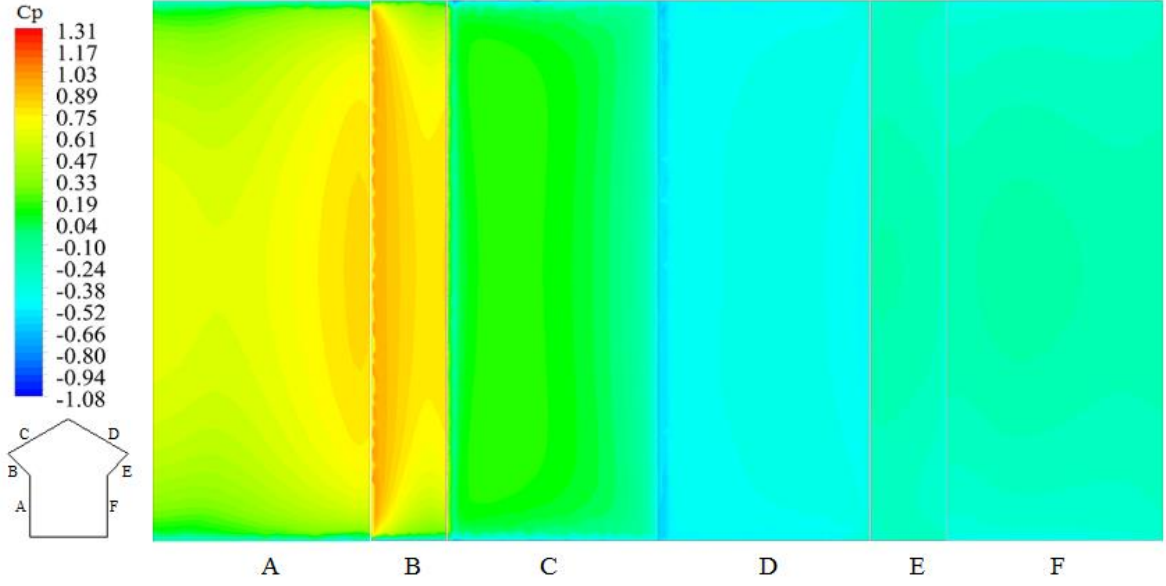
Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 45° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.62’de verilmiştir.

30° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinin (C) büyük bölümünde basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Çatı ön yüzeyinin orta kısmından itibaren negatif olan basınç katsayıları çatı sırtında negatif pik oluşturduktan sonra hafifleyerek çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit emme etkisi göstermektedir. Çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren daha da hafifleyen emme etkisi arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit olmaktadır. Ön saçak ucunun alt ve üst bölgelerinde pozitif değerler alan basınç katsayıları, sırasıyla maksimum ve minimum pikler oluşturmaktadır. Ön saçak üst ucunda oluşan minimum pik basınç katsayısının sıfıra yaklaştığını göstermektedir. Standard k-ε türbülans modelinin ön saçak yüzeyi üzerinde hesapladığı pozitif basınç katsayıları, diğer türbülans modelleri ile hesaplanan değerlerden daha büyük olmaktadır. Bunun dışında model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -0.55 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.62. 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

30° çatı eğim açısına ve 45° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.63’de verilmiştir. Şekil 4.62’deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinin büyük bölümünde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.08 olarak hesaplanmıştır.

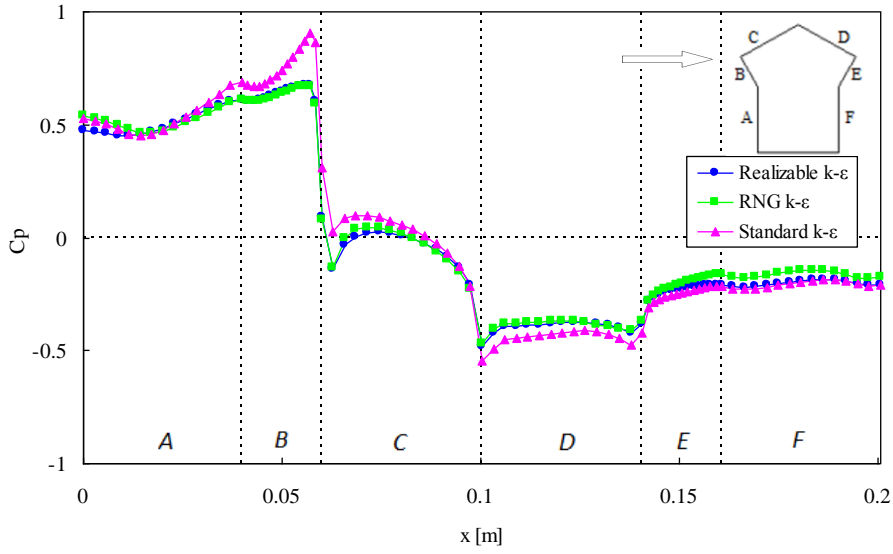


Şekil 4.63. 30° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.10. 30° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

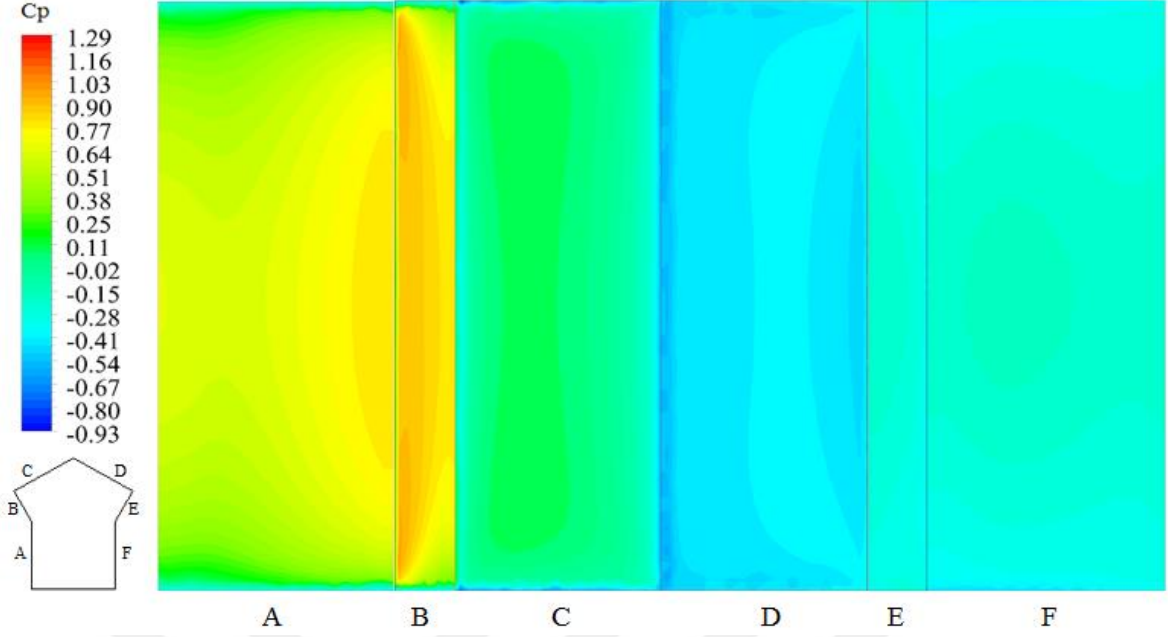
Çatı eğim açısının 30° ve saçak eğim açısının 60° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.64’de verilmiştir.

Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A) ve ön saçak yüzeyinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçığın alt yüzeyi boyunca artarak ön saçığın ucunda maksimum olan basınç katsayısı, aniden azalarak ön saçığın çatı ön yüzeyiyle birleştiği bölgede küçük ölçekli bir minimum pikle emme etkisi göstermektedir. Çatı ön yüzeyinin büyük bölümünde de gözlenen emme etkisi çatı sırtında kritik negatif pik oluşturduktan sonra hafifleyerek çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit olmaktadır. Çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren arka saçak alt yüzeyi (E) boyunca daha da hafifleyen emme etkisi model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit olmaktadır. Standard k-ε türbülans modelinin ön saçak yüzeyi üzerinde hesapladığı pozitif basınç katsayıları, diğer türbülans modelleri ile hesaplanan değerlerden daha büyük olmaktadır. Bunun dışında model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -0.54 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.64. 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

30° çatı eğim açısına ve 60° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.65’de verilmiştir. Şekil 4.64’deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinin büyük bölümünde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -0.93 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.65. 30° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

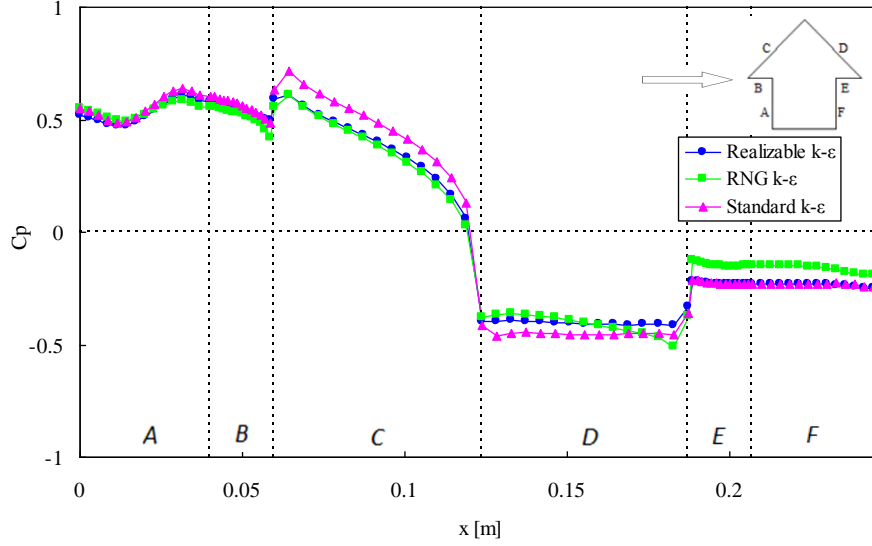
30° çatı eğim açısına sahip bina modellerinin yüzeylerinde hesaplanmış basınç dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, 15° çatı eğim açısına sahip bina modellerindeki sonuçlara benzer şekilde, çatı ön yüzeylerinin ön saçak ve çatı sırtına yakın bölgelerinde oluşan piklerin, artan saçak eğim açısı ile birlikte yine birbirine yaklaştığı görülmektedir.

4.3.11. 45° Çatı Eğimine ve 0° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 0° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.66'da verilmiştir.

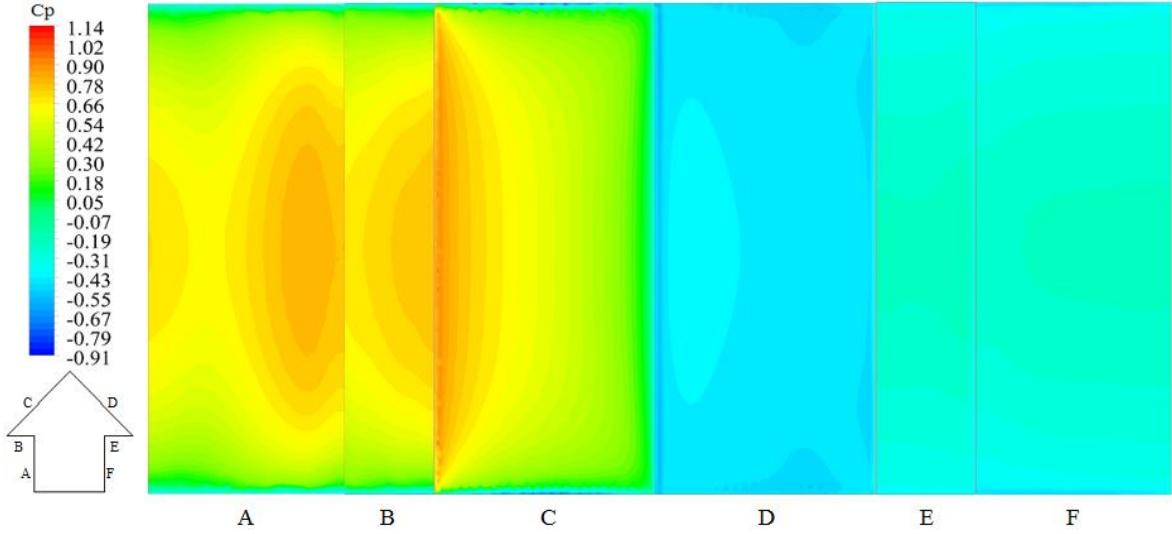
Rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinde (C) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçığın alt yüzeyi boyunca azalan basınç katsayısı, ön saçığın çatı ön yüzeyiyle birleştiği bölgede maksimum değer almakta ve çatı ön yüzeyi boyunca tekrar azalarak çatı sırtında negatif olmaktadır. Çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit olan emme etkisi çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren hafifleyerek arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit kalmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model

yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı RNG k- ϵ türbülans modeli ile çatı sırtında -0.51 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.66. 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

45° çatı eğim açısına ve 0° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k- ϵ türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.67'de verilmiştir. Şekil 4.66'daki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -0.91 olarak hesaplanmıştır.

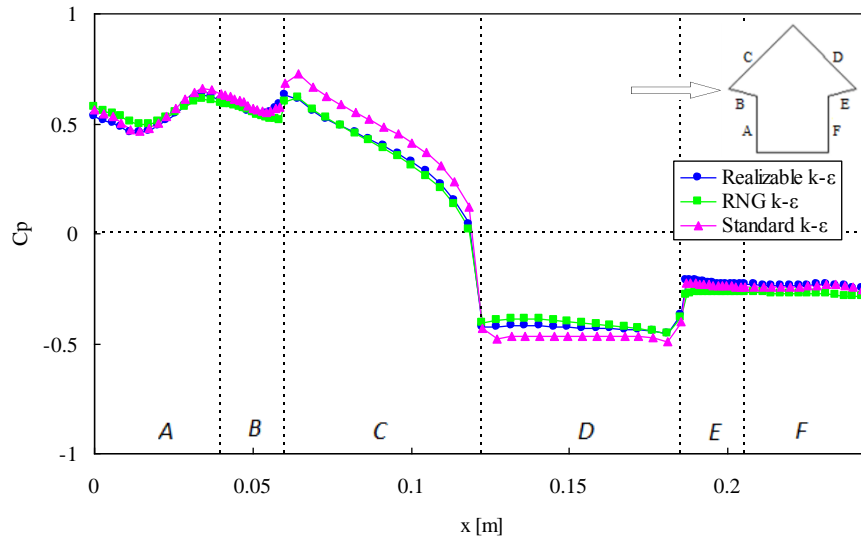


Şekil 4.67. 45° çatı ve 0° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.12. 45° Çatı Eğimine ve 15° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

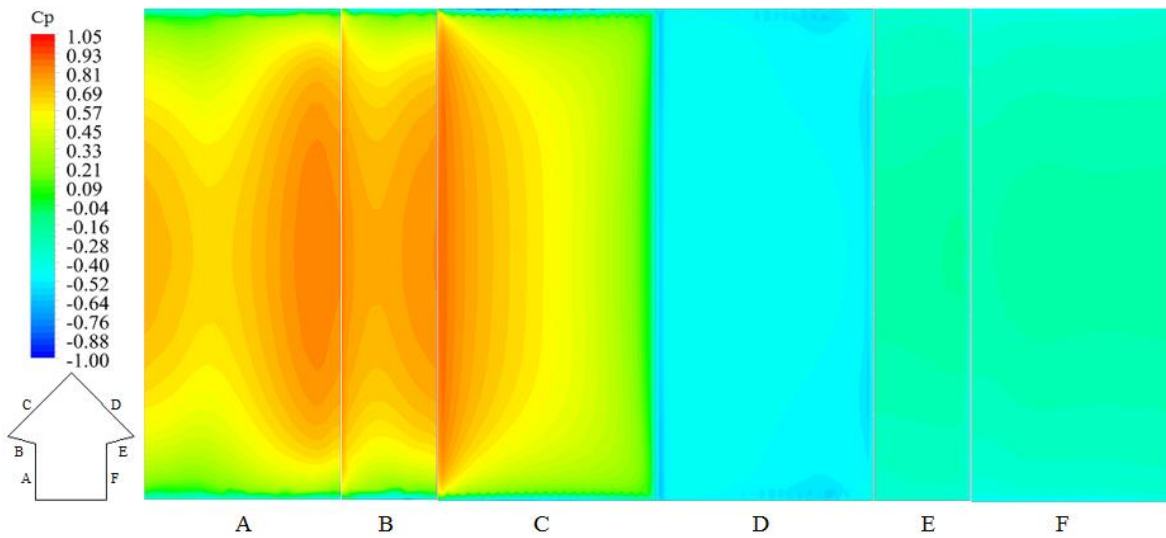
Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 15° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.68’de verilmiştir.

45° çatı ve 0° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinde (C) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçığın alt yüzeyi boyunca azalan basınç katsayısı, ön saçığın çatı ön yüzeyiyle birleştiği bölgede maksimum değer almakta ve çatı ön yüzeyi boyunca tekrar azalarak çatı sırtında negatif olmaktadır. Çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit olan emme etkisi çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren hafifleyerek arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit kalmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -0.47 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.68. 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

45° çatı eğim açısına ve 15° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.69'da verilmiştir. Şekil 4.68'deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.00 olarak hesaplanmıştır.

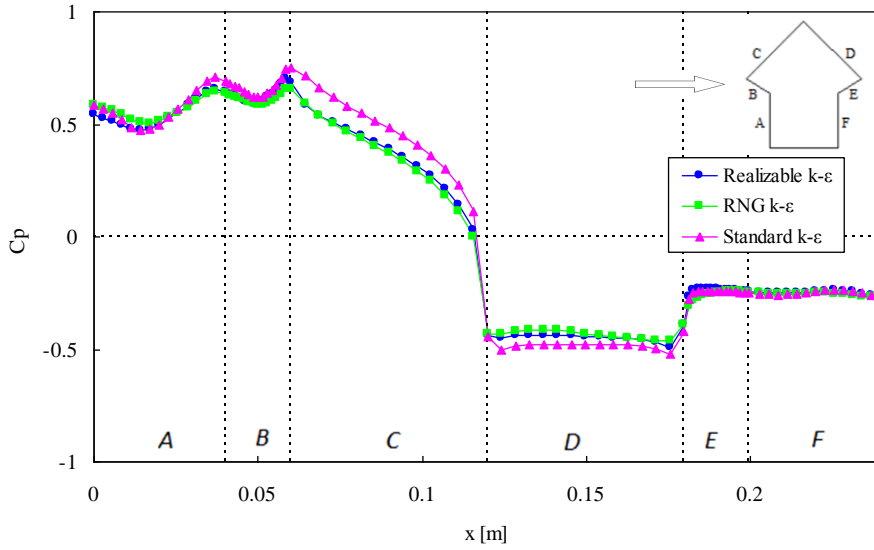


Şekil 4.69. 45° çatı ve 15° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.13. 45° Çatı Eğimine ve 30° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 30° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.70'de verilmiştir.

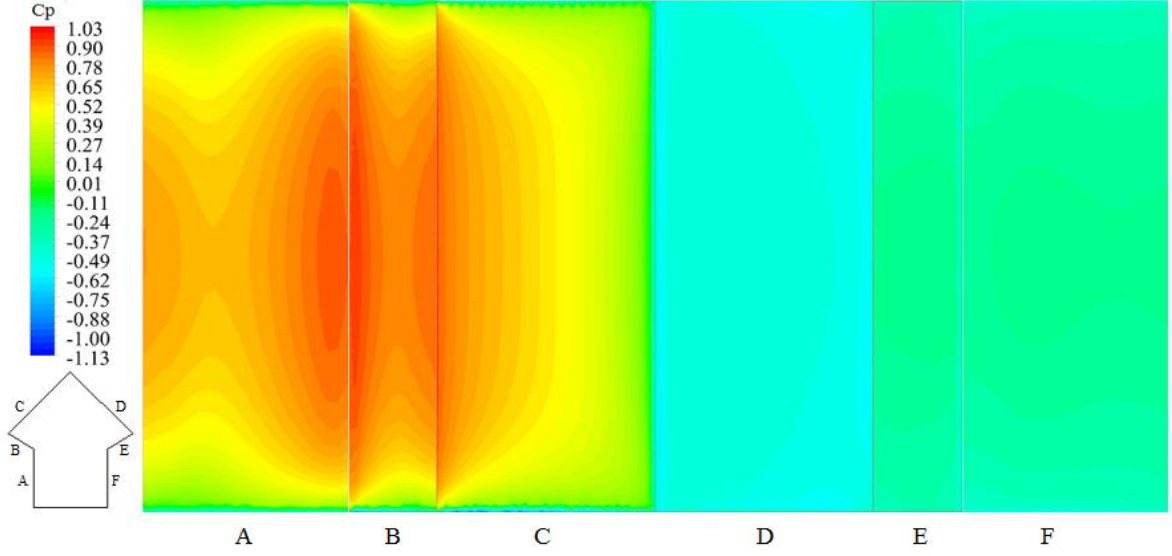
45° çatı ve 15° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinde (C) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçığın alt yüzeyi boyunca önce azalan basınç katsayısı, ön saçığın çatı ön yüzeyiyle birleştiği bölgede maksimum değer almakta ve çatı ön yüzeyi boyunca tekrar azalarak çatı sırtında negatif olmaktadır. Çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit olan emme etkisi çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren hafifleyerek arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit kalmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -0.48 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.70. 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

45° çatı eğim açısına ve 30° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.71'de verilmiştir. Şekil 4.70'deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif

basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.13 olarak hesaplanmıştır.

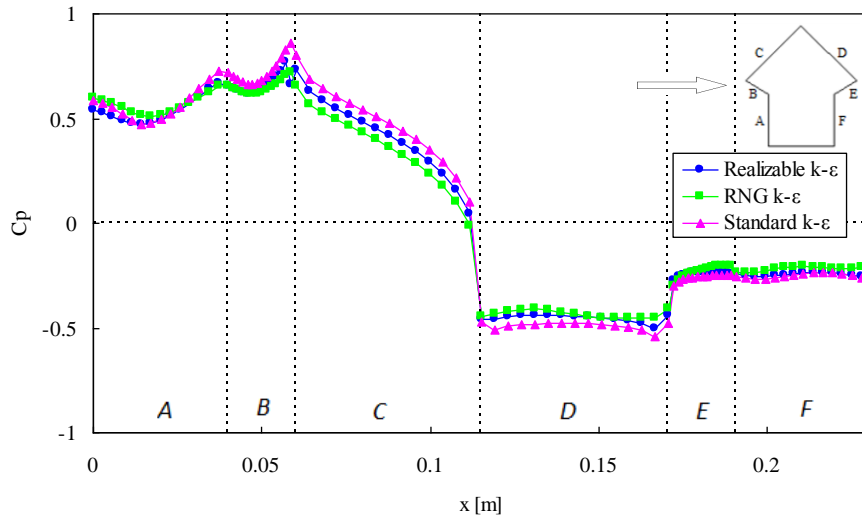


Şekil 4.71. 45° çatı ve 30° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.14. 45° Çatı Eğimine ve 45° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

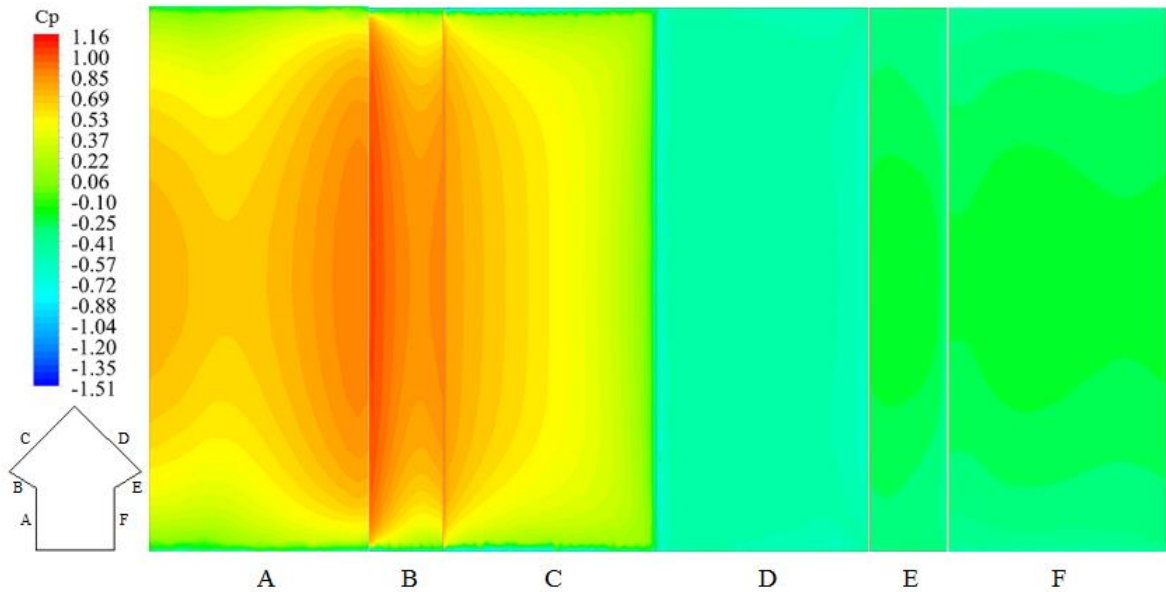
Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 45° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.72’de verilmiştir.

45° çatı ve 30° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinde (C) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçığın alt yüzeyi boyunca önce azalan basınç katsayısı, ön saçığın çatı ön yüzeyiyle birleştiği bölgede maksimum pik yapmakta ve çatı ön yüzeyi boyunca tekrar azalarak çatı sırtında negatif olmaktadır. Çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit olan emme etkisi çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren hafifleyerek arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit kalmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -0.53 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.72. 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

45° çatı eğim açısına ve 45° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.73’de verilmiştir. Şekil 4.72’deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.51 olarak hesaplanmıştır.

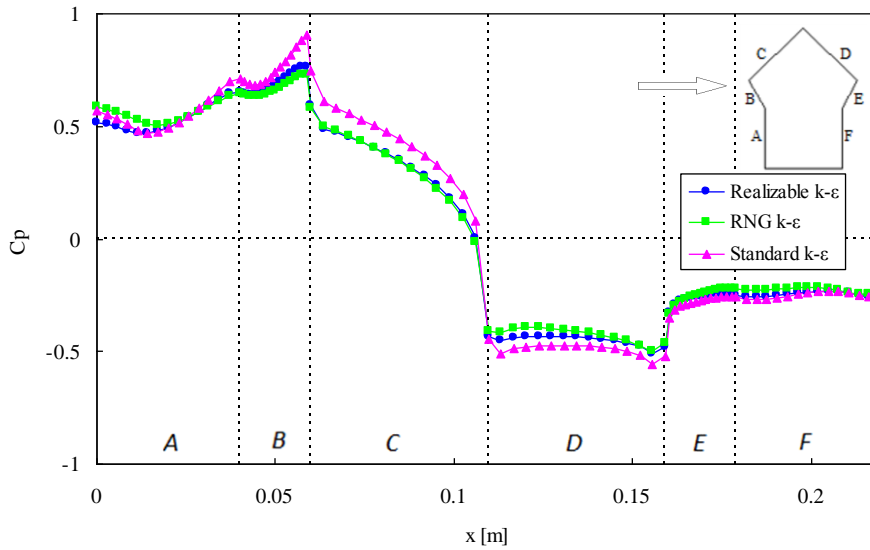


Şekil 4.73. 45° çatı ve 45° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

4.3.15. 45° Çatı Eğimine ve 60° Saçak Eğimine Sahip Beşik Çatılı Bina Modeli

Çatı eğim açısının 45° ve saçak eğim açısının 60° olduğu beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleriyle hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.74’de verilmiştir.

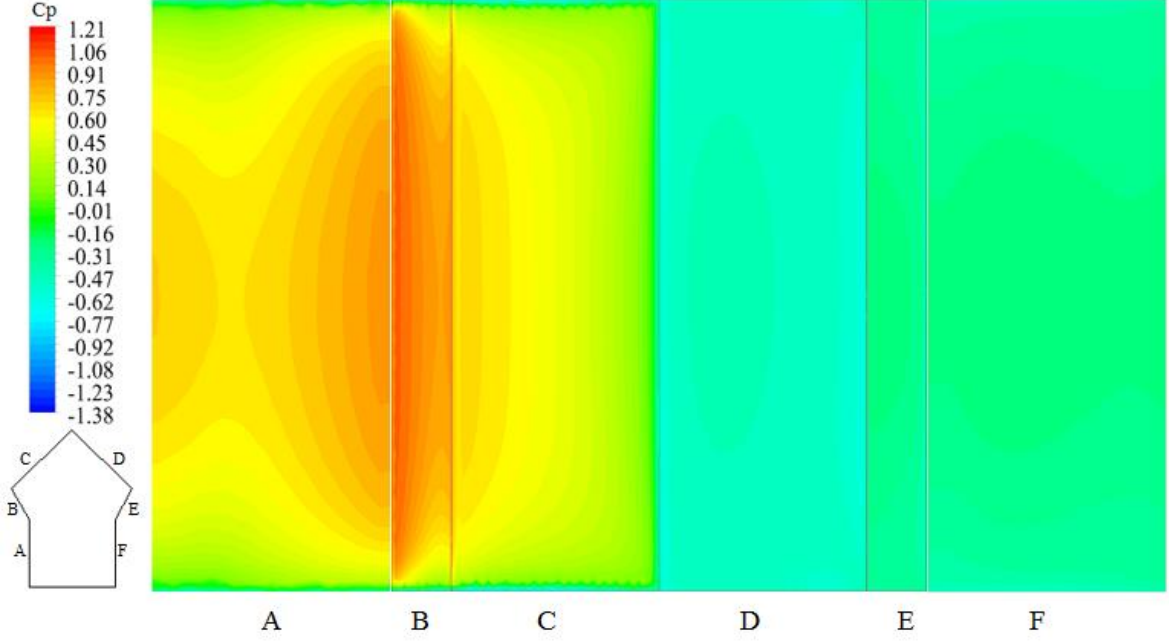
45° çatı ve 45° saçak eğim açısı durumundaki gibi, rüzgara doğrudan maruz kalan model ön yüzeyinde (A), ön saçak yüzeyinde (B) ve çatı ön yüzeyinde (C) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Ön saçığın alt yüzeyi boyunca önce azalan basınç katsayısı, ön saçığın çatı ön yüzeyiyle birleştiği bölgede maksimum pik yapmakta ve çatı ön yüzeyi boyunca tekrar azalarak çatı sırtında negatif olmaktadır. Çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit olan emme etkisi çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren hafifleyerek arka saçak (E) ve model arka yüzeyi (F) boyunca yine yaklaşık sabit kalmaktadır. Model yüzeylerinde her üç türbülans modeliyle hesaplanmış basınç katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı Standard k-ε türbülans modeli ile çatı sırtında -0.54 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.74. 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca basınç dağılımları

45° çatı eğim açısına ve 60° saçak eğim açısına sahip beşik çatılı bina modelinin yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeliyle eş basınç alanı şeklinde hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 4.75’de verilmiştir. Şekil 4.74’deki basınç dağılımlarına benzer şekilde model ön yüzeyinde, ön saçak yüzeyinde ve çatı ön yüzeyinde kenar bölgeler dışında pozitif

basınç alanları oluşmakta, bina modelinin diğer yüzeylerinde ise negatif basınç alanları oluşmaktadır. Model yüzeylerindeki en kritik basınç katsayısı -1.38 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.75. 45° çatı ve 60° saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış eş basınç alanları

5. İRDELEME

Bu çalışmada, farklı çatı ve saçak eğimlerine sahip beşik çatılı alçak bina modelleri etrafındaki akış alanları, modeller etrafında ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profillerini ve model yüzeylerinde ortalama yüzey basınç dağılımlarını belirlemek amacıyla hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular aşağıdaki gibi irdelenmiştir.

5.1. Model Geometrisinin Akış Yapısına Etkisi

15° çatı eğim açısına sahip bina modelleri etrafındaki akış yapıları incelendiğinde, artan saçak eğim açısı ile birlikte model arkasında oluşan girdapların uzunluğunun arttığı görülmektedir. Ön saçakların ucundan aşağı doğru yönlene akışın oluşturduğu girdapların boyutunda ise saçak açısının belirgin bir etkisi olmamaktadır. Artan saçak açısı, bina modellerinin arkasında oluşan girdap çiftlerinin çaplarını da arttırmaktadır. Modellerin yan kenarları üzerinde oluşan küçük ölçekli girdap bölgelerinde ise belirgin bir değişim olmamaktadır. 30° çatı eğim açısına sahip bina modellerine ait akış yapıları incelendiğinde, saçak açısının artması ile birlikte model arkasında oluşan girdapların hem uzunluğunun hem de yüksekliğinin arttığı ve girdap çaplarının büyüdüğü görülmektedir. Artan saçak açısı ile birlikte, girdapların merkez konumu yukarı doğru kaymakta ve çatı sırt seviyesine yaklaşmaktadır. 45° çatı eğim açısına sahip bina modellerine ait akış yapılarında da, 30° eğimli çatı durumdaki gibi artan saçak eğim açısı ile birlikte model arkasında oluşan girdapların boyutunun arttığı ve girdapların merkez konumunun yukarı doğru kayarak çatı sırt seviyesine yaklaştığı görülmektedir.

5.2. Model Geometrisinin Ortalama Hız ve Türbülans Kinetik Enerjiye Etkisi

15° çatı eğim açısına sahip bina modelleri etrafında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri birlikte değerlendirildiğinde, modellerin arkasındaki girdapların varlığını gösteren ortalama hız profillerindeki negatif bölgelerin, artan saçak eğim açısıyla birlikte güçlendiği görülmektedir. Bu durum saçak açısının artmasıyla model arkasında oluşan ters akış bölgelerinin yüksekliğinin ve uzunluğunun arttığını göstermektedir. Benzer bulguları, modellerin etrafındaki akış yapısı görüntüleri de

desteklemektedir. Aynı istasyonlardaki türbülans kinetik enerjisi profilleri ise, türbülans şiddetinin en yüksek değerini aldığı karışım tabakasının artan saçak eğim açısıyla birlikte yukarı doğru kaydığını göstermektedir.

30° çatı eğim açısına sahip bina modelleri etrafında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri birlikte değerlendirildiğinde, çatı sırtından itibaren çatı arka yüzeyi üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluştuğu ve model arkasındaki girdapların varlığını gösteren ortalama hız profillerindeki negatif bölgelerin yüksekliklerinin, artan saçak eğim açısıyla birlikte arttığı görülmektedir. Bu durum saçak açısının artmasıyla model arkasında oluşan ters akış bölgelerinin yüksekliğinin ve uzunluğunun arttığını göstermektedir. Benzer bulgular model etrafındaki akış yapılarında da gözlenmektedir. Aynı istasyonlardaki türbülans kinetik enerjisi profilleri ise, 15° eğimli çatı durumdaki gibi, türbülans şiddetinin en yüksek değerini aldığı karışım tabakasının artan saçak eğim açısıyla birlikte yukarı doğru kaydığını ve çatı sırt seviyesinin üzerine çıktığını göstermektedir.

45° çatı eğim açısına sahip bina modelleri etrafında farklı istasyonlarda hesaplanan ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profilleri birlikte değerlendirildiğinde, 30° eğimli çatı durumdaki gibi, çatı sırtından itibaren çatı arka yüzeyi üzerinde ve model arkasında ters akış bölgeleri oluştuğu ve model arkasındaki girdapların varlığını gösteren ortalama hız profillerindeki negatif bölgelerin yüksekliklerinin, artan saçak eğim açısıyla birlikte arttığı görülmektedir. Aynı istasyonlardaki türbülans kinetik enerjisi profilleri ise, yine türbülans şiddetinin en yüksek değerini aldığı karışım tabakasının artan saçak eğim açısıyla birlikte yukarı doğru kaydığını ve çatı sırt seviyesinin üzerine çıktığını göstermektedir.

5.3. Basınç Dağılımları

5.3.1. Çatı Eğimi Etkisi

Beşik çatılı bina modellerinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Realizable k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları üzerinde çatı eğim açısının etkisi üç farklı saçak eğim açısı için Şekil 5.1'de görülmektedir. Saçak eğim açısının 0° olduğu durumda, her üç çatı eğim açısında da modellerin ön yüzeyi (1-2) ve ön saçakların alt yüzeylerinde (2-3) itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları yaklaşık aynı değerlerle pozitif olmaktadır. Çatı eğim açısının 15° olduğu modelde ön saçak ucundan itibaren çatı

yüzeylerinde (3-4 ve 4-5) ve arka saçak (5-6) ve model arka yüzeyinde (6-7), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Ön saçak ucu civarında küçük bir negatif pikten sonra çatı sırtına kadar gittikçe kuvvetlenen emme etkisi, çatı sırtında en kritik değerine ulaşmaktadır. Çatı sırtından itibaren ise çatı arka yüzeyi boyunca hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi üzerinde yaklaşık sabit olmaktadır. Çatı eğim açısının 30° olduğu modelde ise, ön saçak ucundan itibaren azalan pozitif basınç katsayısı değerleri, çatı sırtına yakın bir bölgede negatif olup çatı sırtında kritik değerine ulaşmaktadır. Çatı sırtında negatif pik oluşturduktan sonra hafifleyerek çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit negatif değerler göstermektedir. Çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren daha da hafifleyen emme etkisi ile arka saçak ve model arka yüzeyi boyunca basınç katsayıları yine yaklaşık sabit olmaktadır. 45° çatı eğim açısına sahip modelde, pozitif basınç katsayıları çatı ön yüzeyi boyunca azalarak çatı sırtında negatif olmaktadır. Çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit negatif değerlerde olan basınç katsayıları çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi boyunca yine yaklaşık sabit olmaktadır. Üç farklı çatı eğimine sahip bina modellerinin çatı ön yüzeylerindeki basınç dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, 15° eğimli çatının ön yüzeyinde emme etkisi gözlenirken, 30° ve 45° eğimli çatıların ön yüzeylerinde basınç katsayılarının pozitif olduğu ve yine çatı sırtındaki en kritik negatif pikin 15° eğimli çatıda olduğu görülmektedir. Bu durum, küçük eğim açısına sahip çatıların rüzgar kaynaklı hasarlara daha çok maruz kalacağını göstermektedir (Şekil 5.1a).

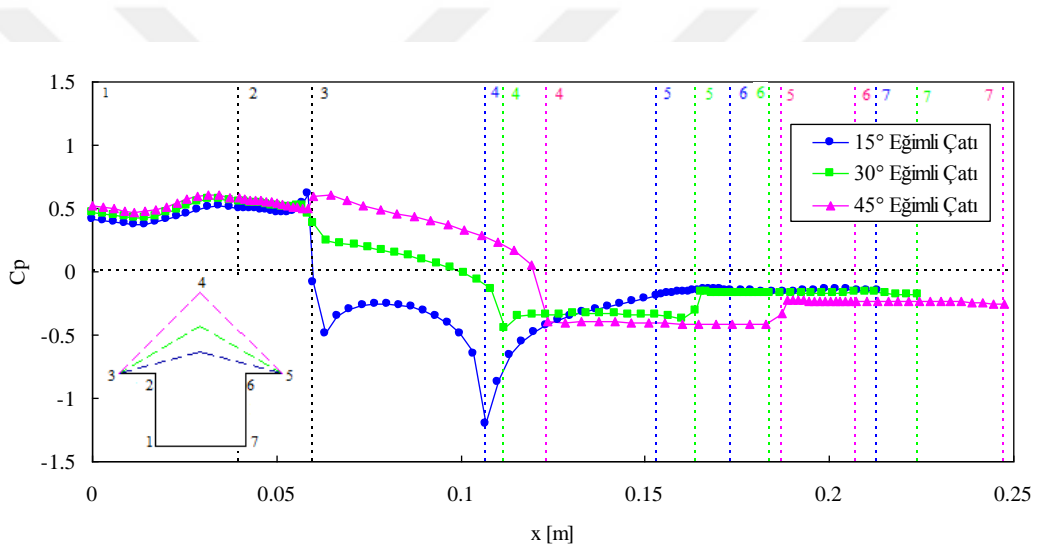
Saçak eğim açısının 30° olduğu durumda, yine her üç çatı eğim açısında da modellerin ön yüzeyi (1-2) ve ön saçakların alt yüzeylerinde (2-3) itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları yaklaşık aynı değerlerle pozitif olmaktadır. Çatı eğim açısının 15° olduğu modelde ön saçak ucundan itibaren çatı yüzeylerinde (3-4 ve 4-5) ve arka saçak (5-6) ve model arka yüzeyinde (6-7), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Ön saçak ucu civarındaki negatif pikten sonra çatı sırtına kadar gittikçe kuvvetlenen emme etkisi, çatı sırtında en kritik değerine ulaşmaktadır. Çatı sırtından itibaren ise çatı arka yüzeyi boyunca hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi üzerinde yaklaşık sabit olmaktadır. Çatı eğim açısının 30° olduğu modelde ise, ön saçak ucundan itibaren azalan pozitif basınç katsayısı değerleri, çatı ön yüzeyinin ortasında bir bölgede negatif olup çatı sırtında kritik değerine ulaşmaktadır. Çatı sırtında negatif pik oluşturduktan sonra hafifleyerek çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit negatif değerler göstermektedir. Çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren daha da hafifleyen emme etkisi ile arka saçak ve model arka yüzeyi boyunca basınç

katsayıları yine yaklaşık sabit olmaktadır. 45° çatı eğim açısına sahip modelde, pozitif basınç katsayıları çatı ön yüzeyi boyunca azalarak çatı sırtında negatif olmaktadır. Çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit negatif değerlerde olan basınç katsayıları çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi boyunca yine yaklaşık sabit olmaktadır. Üç farklı çatı eğimine sahip bina modellerinin çatı ön yüzeylerindeki basınç dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, 15° eğimli çatının ön yüzeyinde ve 30° eğimli çatının çatı sırtına yakın bölümünde emme etkisinin gözlemlendiği, 45° eğimli çatının ön yüzeyinde ise basınç katsayılarının pozitif olduğu ve yine çatı sırtındaki en kritik negatif pikin 15° eğimli çatıda olduğu görülmektedir. Bu durum yine, küçük eğim açısına sahip çatıların rüzgar kaynaklı hasarlara daha çok maruz kalacağını göstermektedir (Şekil 5.1b).

Saçak eğim açısının 60° olduğu durumda, her üç çatı eğim açısında da modellerin ön yüzeyi (1-2) ve ön saçakların alt yüzeylerinde (2-3) itme etkisi nedeniyle basınç katsayıları yaklaşık aynı değerlerle pozitif olmaktadır. Çatı eğim açısının 15° olduğu modelde, ön saçak ucundan itibaren çatı yüzeylerinde (3-4 ve 4-5) ve arka saçak (5-6) ve model arka yüzeyinde (6-7), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Ön saçığın altında oluşan küçük ölçekli pozitif pikten hemen sonra çatı ön yüzeyinin ön saçak üzerine yakın kısmında kritik bir negatif pik oluşmaktadır. Çatı ön yüzeyinin orta bölümüne doğru hafifleyen emme etkisi çatı ön yüzeyinin çatı sırtına yakın bölgesinde tekrar kuvvetlenerek çatı sırtında ikinci bir kritik pik oluşturmaktadır. Çatı ön yüzeyinin ön saçak bölgesinde oluşan negatif pikin, çatı sırtı yakınındaki bölgede oluşan negatif pikten daha kritik olduğu görülmektedir. Emme etkisi, çatı sırtından itibaren çatı arka yüzeyi boyunca hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi üzerinde yaklaşık sabit olmaktadır.

Çatı eğim açısının 30° olduğu modelde ise, ön saçığın alt yüzeyi boyunca artarak ön saçığın ucunda maksimum olan basınç katsayısı, aniden azalarak ön saçığın çatı ön yüzeyiyle birleştiği bölgede küçük ölçekli bir minimum pikle emme etkisi göstermektedir. Çatı ön yüzeyinin büyük bölümünde de gözlenen emme etkisi çatı sırtında kritik negatif pik oluşturduktan sonra hafifleyerek çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık sabit olmaktadır. Çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren arka saçak alt yüzeyi boyunca daha da hafifleyen emme etkisi model arka yüzeyi boyunca yine yaklaşık sabit olmaktadır. 45° çatı eğim açısına sahip modelde, ön saçığın alt yüzeyi boyunca önce azalan basınç katsayısı, ön saçığın çatı ön yüzeyiyle birleştiği bölgede maksimum pik yapmakta ve çatı ön yüzeyi boyunca tekrar azalarak çatı sırtında negatif olmaktadır. Çatı arka yüzeyi boyunca yaklaşık

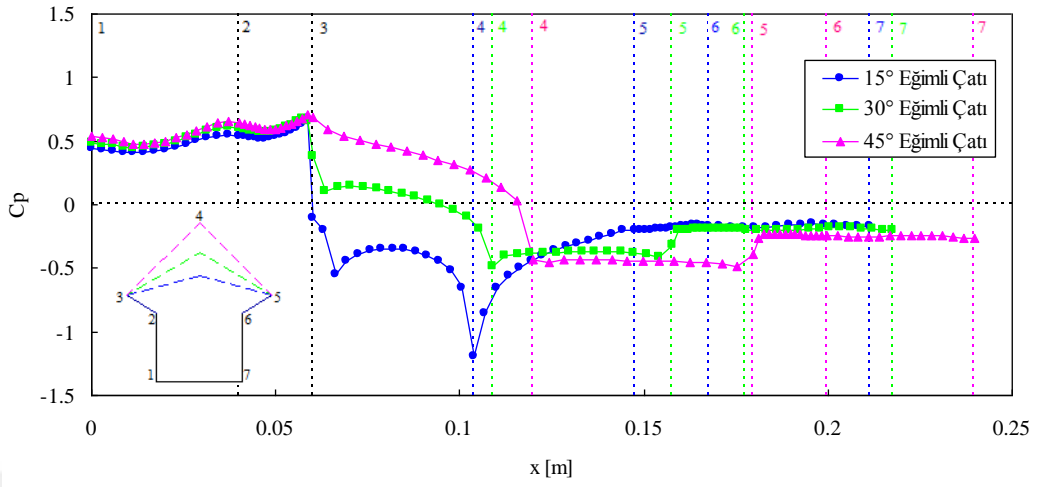
sabit olan emme etkisi çatı arka yüzeyinin arka saçakla birleştiği noktadan itibaren hafifleyerek arka saçak ve model arka yüzeyi boyunca yine yaklaşık sabit kalmaktadır. Üç farklı çatı eğimine sahip bina modellerinin çatı ön yüzeylerindeki basınç dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, 15° ve 30° eğimli çatıların ön yüzeylerinde emme etkisinin gözlemlendiği, 45° eğimli çatının ön yüzeyinde ise basınç katsayılarının pozitif olduğu görülmektedir. Çatı sırtındaki en kritik negatif piklerin yine 15° eğimli çatıda olduğu ve ön saçak üzerinde oluşan pikin çatı sırtındaki pike göre daha kritik olduğu görülmektedir. (Şekil 5.1c). Artan saçak açısı ile birlikte, çatıların ön yüzeylerindeki emme etkilerinin daha büyük çatı eğimlerinde de olduğu ve çatı yüzeylerinde oluşan pikler arasındaki farkın azaldığı görülmektedir.



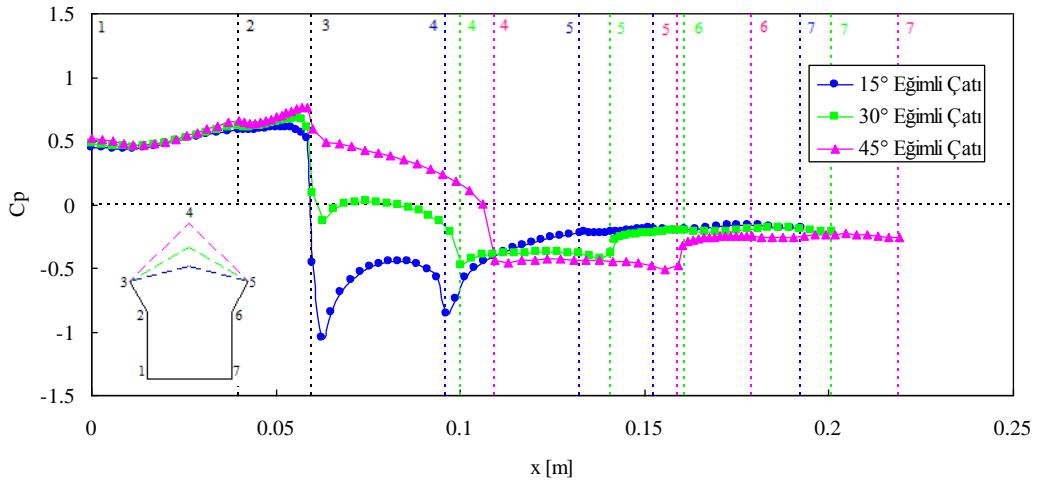
(a)

Şekil 5.1. Farklı çatı ve saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca Realizable k-ε türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları (a) 0° eğimli saçak (b) 30° eğimli saçak (c) 60° eğimli saçak

Şekil 5.1'in devamı



(b)



(c)

5.3.2. Saçak Eğimi Etkisi

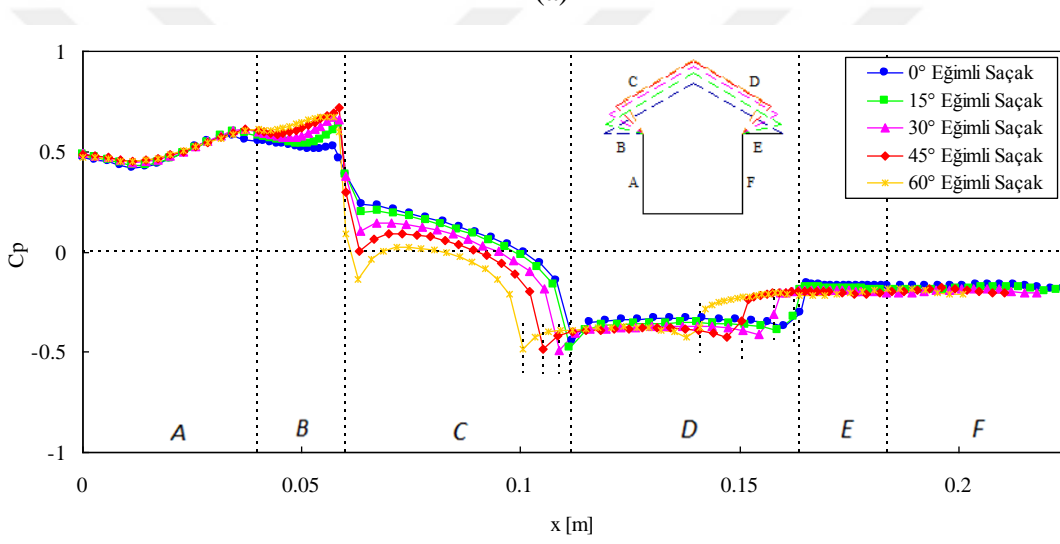
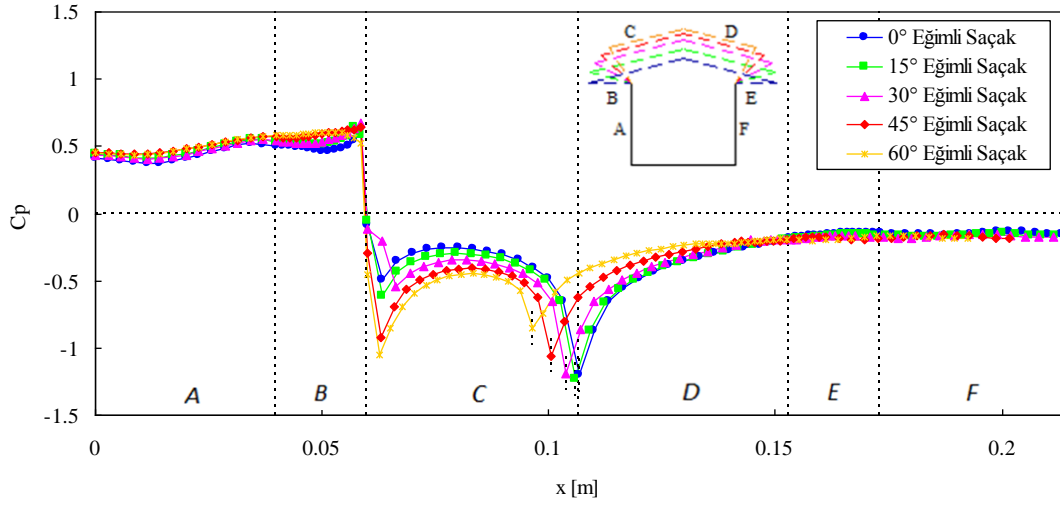
Beşik çatılı bina modellerinin yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları üzerinde saçak eğim açısının etkisi üç farklı çatı eğim açısı için Şekil 5.2'de görülmektedir.

Çatı eğim açısının 15° olduğu durumda, beş saçak açısı durumunda da, rüzgara doğrudan maruz kalan modellerin ön yüzeylerinde (A) ve ön saçakların alt yüzeylerinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle birbirine yakın pozitif değerler almaktadır. Ön saçakların üst ucundan itibaren çatı yüzeylerinde (C ve D) ve arka saçak (E) ve model arka yüzeylerinde (F), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Saçak açısının değişmesiyle ortaya çıkan çatı

yüzeylerindeki emme etkisi farklılığı ağırlıklı olarak çatı ön yüzeylerinde gözlenmektedir. Çatıların ön yüzeylerinin ön saçağa ve çatı sırtına yakın bölgelerinde negatif pikler oluşmakta, söz konusu pikler düşük saçak eğim açılarında çatı sırtı yakınında daha kritik olurken, yüksek saçak eğim açılarında ön saçak yakınında daha kritik olmaktadır. Saçak eğim açısı arttıkça iki pik arasındaki fark küçülmektedir (Şekil 5.2a).

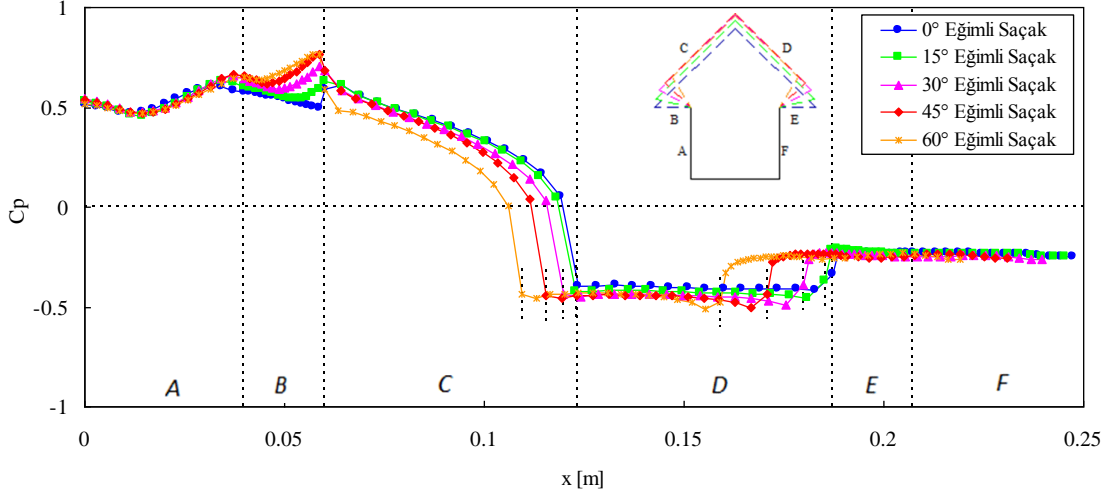
Çatı eğim açısının 30° olduğu durumda, beş saçak açısı durumunda da, yine rüzgara doğrudan maruz kalan modellerin ön yüzeylerinde (A) ve ön saçakların alt yüzeylerinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Çatı ön yüzeylerinin orta bölümünden itibaren basınç katsayıları negatif olmakta ve çatı arka yüzeylerinde (D), arka saçak yüzeylerinde (E) ve model arka yüzeylerinde (F), basınç katsayıları negatif olmaktadır. Saçak açısının değişmesiyle çatı yüzeylerindeki basınç dağılımlarında ortaya çıkan farklılık ağırlıklı olarak ön saçak yüzeylerinde ve çatı ön yüzeylerinde gözlenmektedir. Çatıların ön yüzeylerinin ön saçağa ve çatı sırtına yakın bölgelerinde pikler oluşmakta, çatı sırtı yakınında kritik negatif değerlerden oluşan pikler beş saçak eğim açısı için de yaklaşık aynı değerleri alırken, ön saçağa yakın küçük ölçekli pikler artan saçak eğim açısı ile birlikte daha kritik olmaktadır. Saçak eğim açısı arttıkça çatı ön yüzeylerindeki pikler arasındaki fark küçülmektedir (Şekil 5.2b).

Çatı eğim açısının 45° olduğu durumda, beş saçak açısı durumunda da, rüzgara doğrudan maruz kalan modellerin ön yüzeylerinde (A) ve ön saçakların alt yüzeylerinde (B) basınç katsayıları itme etkisiyle pozitif değerler almaktadır. Çatı ön yüzeyleri boyunca azalan basınç katsayıları, çatı sırtlarından itibaren negatif olmakta ve çatı arka yüzeylerinde (D), arka saçak yüzeylerinde (E) ve model arka yüzeylerinde (F), basınç katsayıları negatif etkisini sürdürmektedir. Saçak açısının değişmesiyle çatı yüzeylerindeki basınç dağılımlarında ortaya çıkan farklılık ağırlıklı olarak ön saçak yüzeylerinde ve çatı ön yüzeylerinde gözlenmektedir. Çatıların ön yüzeylerinin çatı sırtına yakın bölgelerinde negatif olan basınç katsayıları, beş saçak eğim açısı için de yaklaşık aynı değerleri alarak çatı arka yüzeyleri boyunca etkilerini sürdürmektedir (Şekil 5.2c).



Şekil 5.2. Farklı çatı ve saçak eğimine sahip bina modeli yüzeylerinde orta eksen boyunca Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları (a) 15° eğimli çatı (b) 30° eğimli çatı (c) 45° eğimli çatı

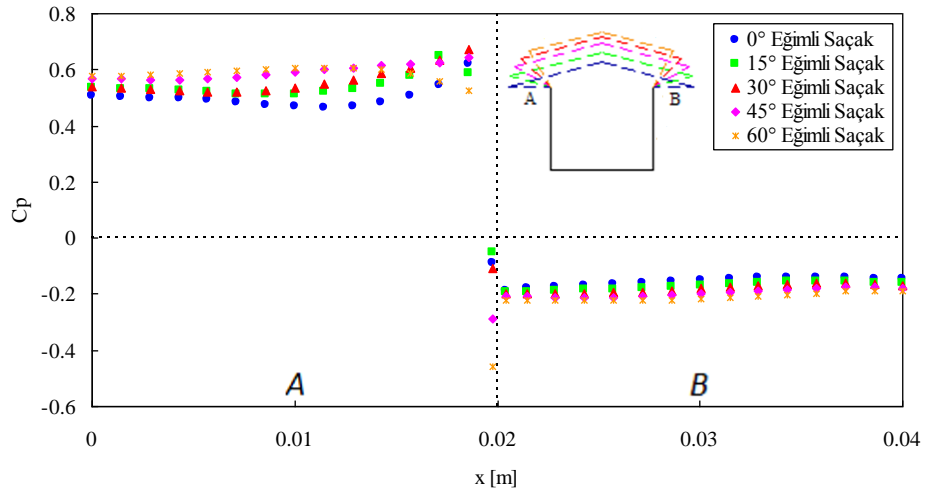
Şekil 5.2'nin devamı



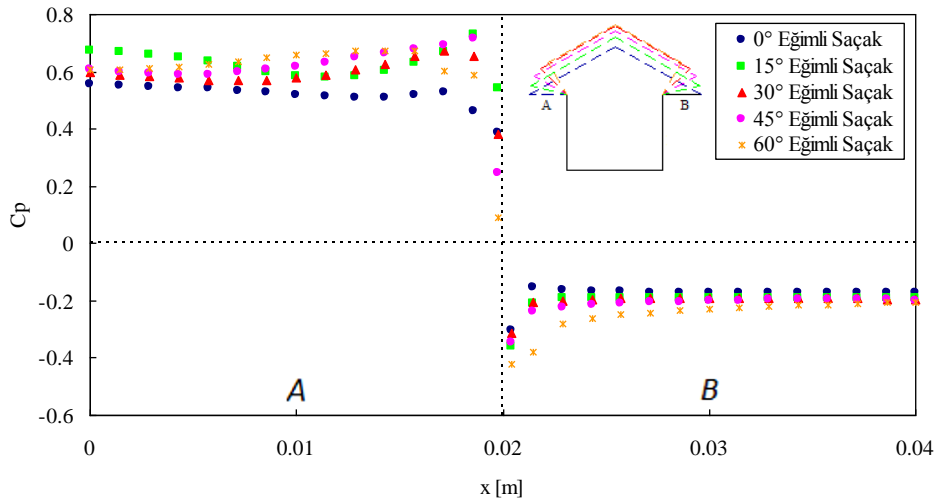
(c)

Beşik çatılı bina modellerinin saçak yüzeylerinde akış doğrultusunda orta eksen boyunca Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları üzerinde saçak eğim açısının etkisi üç farklı çatı eğim açısı için Şekil 5.3'de görülmektedir.

Çatı eğim açısının 15° olduğu durumda, ön saçakların alt yüzeylerinde (A), itme etkisiyle basınç katsayıları pozitif olurken, arka saçakların alt yüzeylerinde (B) emme etkisiyle basınç katsayıları negatif olmaktadır. Artan saçak eğim açısı ile birlikte, ön saçak yüzeylerindeki basınç katsayıları daha büyük değerler almakta, arka saçak yüzeylerindeki negatif basınç katsayıları ise daha kritik olmaktadır (Şekil 5.3a). Çatı eğim açısının 30° olduğu durumda, Şekil 5.3a'ya benzer şekilde, ön saçakların alt yüzeylerinde artan saçak eğim açısıyla daha da güçlenen pozitif basınç katsayıları, arka saçakların alt yüzeylerinde ise artan saçak eğim açısıyla daha da güçlenen emme etkileri gözlenmektedir. Saçak eğim açısının etkisi saçakların uçları yakınında daha belirgin olmaktadır (Şekil 5.3b). 45° eğimli çatı durumuna ait Şekil 5.3c'de verilen basınç katsayısı değişimleri de Şekil 5.3b'deki gibi değişimlere benzerlik göstermektedir.



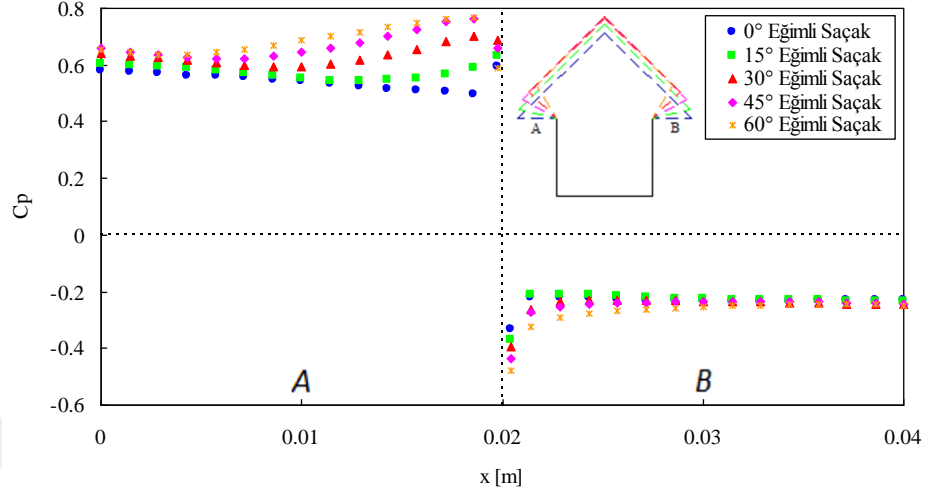
(a)



(b)

Şekil 5.3. Farklı çatı ve saçak eğimine sahip bina modellerinin saçak yüzeylerinde orta eksen boyunca Realizable k- ϵ türbülans modeli ile hesaplanmış basınç dağılımları (a) 15° eğimli çatı (b) 30° eğimli çatı (c) 45° eğimli çatı

Şekil 5.3'ün devamı



(c)

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı çatı ve saçak açılarıyla çeşitlendirilen bina modelleri etrafında sürekli rejimdeki üç boyutlu akış alanları, farklı türbülans modelleri ile hesaplanmıştır. Geometrik değişikliklerin akış alanı üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. İncelenen tüm bina modellerinde xy düzleminde modellerin önünde ve arkasında ters akış bölgeleri oluşmaktadır. Artan çatı ve saçak eğim açısı ile birlikte modellerin arkasında oluşan girdapların boyutları artmakta ve merkez konumları yukarı doğru kayarak çatı sırt seviyesine yaklaşmaktadır.
2. İncelenen tüm bina modellerinde xz düzleminde modellerin arkasında girdap çiftleri oluşmakta ve çatı ve saçak eğim açısının artması ile bina modellerinin arkasında oluşan girdap çiftlerinin çaplarını da arttırmaktadır.
3. İncelenen tüm bina modellerinde, çatı ve modellerin arkasındaki ortalama hız profillerindeki negatif bölgeler, artan çatı ve saçak eğim açısıyla birlikte güçlenmektedir.
4. İncelenen tüm bina modellerinde, türbülans şiddetinin en yüksek değerini aldığı karışım tabakası artan çatı ve saçak eğim açısıyla birlikte yukarı doğru kaymakta ve çatı sırt seviyesinin üzerine çıkmaktadır.
5. İncelenen tüm bina modellerinde, modellerin ön yüzeylerinde ve ön saçakların alt yüzeylerinde itme etkisiyle basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır.
6. İncelenen tüm bina modellerinde, çatıların arka yüzeylerinde, arka saçak yüzeylerinde ve modellerin arka yüzeylerinde basınç katsayıları negatif olmaktadır.
7. 15° eğimli çatıların ön yüzeylerinde emme etkisi gözlenirken, 30° eğimli çatıların yüzeylerinde bu etki kaybolmakta, 45° eğimli çatıların ön yüzeylerinde ise basınç katsayıları pozitif olmaktadır.
8. İncelenen tüm bina modellerinde, en kritik negatif pik basınç katsayıları 15° eğimli çatıların sırtlarında oluşmaktadır.

9. 15° eğimli çatıların ön yüzeylerinde oluşan negatif piklerden çatı sırtına yakın olanlar artan saçak eğim açısıyla birlikte hafiflerken, ön saçağa yakın olanlar ise artan saçak eğim açısıyla birlikte kuvvetlenmektedir.
10. 15° çatı eğimine ve 60° saçak eğimine sahip modelin ön yüzeyinde oluşan piklerden ön saçak yakınında oluşan pik çatı sırtında oluşan pikten daha kritik olmaktadır.
11. 30° eğimli çatıların sırtlarında oluşan negatif pikler saçak eğim açısından etkilenmezken, ön saçakların yakınında oluşan küçük ölçekli pozitif pikler, artan saçak eğim açısıyla birlikte daha kritik olmaktadır.
12. Artan saçak eğim açısı ile birlikte, çatıların ön yüzeylerindeki emme etkileri daha büyük çatı eğimlerinde de oluşmaktadır.
13. Saçak eğim açısı arttıkça çatı ön yüzeylerindeki pikler arasındaki fark azalmaktadır.
14. Artan saçak eğim açısı ile birlikte, ön saçak yüzeylerindeki pozitif basınç katsayıları daha büyük değerler almakta, arka saçak yüzeylerindeki negatif basınç katsayıları ise daha kritik olmaktadır.
15. Çalışmada üç farklı türbülans modeliyle hesaplanan sayısal sonuçlar birbirine yakın olmaktadır.

7. ÖNERİLER

Çalışma kapsamında incelenen modeller etrafındaki akış alanları farklı rüzgar geliş açıları için de 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 bina modelleri için rüzgar tüneli ölçümleriyle akış alanına yönelik deneysel sonuçlar elde edilerek, türbülans modellerinin hassasiyetlerinin denenmesinde veri olarak kullanılabilir.



8. KAYNAKLAR

1. Aynsley, Melbourne, W. ve Vickery, B.J., Architectural Aerodynamics, Applied Science Publishers Ltd., London, 1997.
2. Özmen, Y., Farklı Çatı Tipleri ve Eğimlerindeki Binalar Üzerinde Rüzgar Etkilerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006.
3. Davenport, A.G. ve Surry, D.J., The Pressures on Low Rise Structures in Turbulent Wind, Canadian Structural Engineering Conference, Ottawa, 1974, 1-39.
4. Stathopoulos, T., Wind Loads on Low-Rise Buildings with Various-Sloped Roofs, Engineering Structures, 23 (1984) 813-824.
5. Kind, R.J., Worst Suctions Near Edges of Flat Rooftops with Parapets, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 31 (1988) 251-264.
6. Meecham, D., Surry, D. ve Davenport, A.G., The Magnitude and Distribution of Wind-Induced Pressures on Hip and Gable Roofs, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 38 (1991) 257-272.
7. Robertson, A.P., Effect of Eaves Detail on Wind Pressures over an Industrial Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 38 (1991) 325-333.
8. Savory, E., Dalley, S. ve Toy, N., The Effects of Eaves Geometry, Model Scale and Approach Flow Conditions on Portal Frame Buildings Wind Loads, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 41-44 (1992) 1665-1676.
9. Bienkiewicz, B., ve Sun, Y., Local Wind Loading on the Roof of a Low-Rise Building, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 45 (1992) 11-24.
10. Kareem, A. ve Lu, P.C., Pressure Fluctuations on Flat Roofs with Parapets, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 41-44 (1992) 1775-1786.
11. Kanda, M. ve Maruta, E., Characteristics of Fluctuating Wind Pressure on Long Low-Rise Buildings with Gable Roofs, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 50 (1993) 173-182.
12. Stathopoulos, T. ve Luchian, H., Wind-induced Forces on Eaves of Low Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 52 (1994) 249-261.

13. Holmes J.D., Wind Pressures on Tropical Housing, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 53 (1994) 105-123.
14. Baskaran, A. ve Kashef A., Investigation of Air Flow around Buildings Using Computational Fluid Dynamics Techniques, Engineering Structures, 11 (1996) 861-875.
15. Richardson, G.M., Hoxey, R.P., Robertson, A.P. ve Short, J.L., The Silsoe Structures Building: Comparisons of Pressures Measured at Full Scale and in Two Wind Tunnels, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 72 (1997) 187-197.
16. Hoxey, R.P., Reynolds, A.M., Richardson, G.M., Robertson, A.P. ve Short, J.L., Observations of Reynolds Number Sensitivity in the Separated Flow Region on a Bluff Body, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 73 (1998) 231-249.
17. Case, P.C. ve Isyumov, N., Wind Loads on Low Buildings with 4:12 Gable Roofs in Open Country and Suburban Exposures, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 77-78 (1998) 107-118.
18. Xu, Y.L. ve Reardon, G.F., Variations of Wind Pressure on Hip Roofs with Roof Pitch, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 73 (1998) 267-284.
19. Ham, H.J. ve Bienkiewicz, B., Wind Tunnel Simulation of TTU Flow and Building Roof Pressure, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 77-78 (1998) 119-133.
20. Uematsu, Y. ve Isyumov, N., Wind Pressures Acting on Low-Rise Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 82 (1999) 1-25.
21. Ginger, J.D., Reardon, G.F. ve Whitbread, B.J., Wind Load Effects and Equivalent Pressures on Low-Rise House Roofs, Engineering Structures, 22 (2000) 638-646.
22. Ginger, J.D. ve Holmes J.D., Effect of Building Length on Wind Loads on Low-Rise Buildings with a Steep Roof Pitch, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 91 (2003) 1377-1400.
23. Quan, Y., Tamura, Y. ve Matsui, M., Mean Wind Pressure Coefficients on Surfaces of Gable-Roofed Low-Rise Buildings, Advances in Structural Engineering, 1583 (2007) 243-0297.
24. Prasad, D., Uliate, T. ve Ahmed, M.R. Wind Loads on Low-Rise Building Models with Different Roof Configurations, Fluid Mechanics Research, 36 (2009) 231-243.

25. Cao, J., Tamura, Y. ve Yoshida, A. Wind Pressures on Multi-Level Flat Roofs of Medium-Rise Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 103 (2012) 1-15.
26. Gavanski, E., Kordi, B., Kordi, G.A. ve Vickery, P.J., Wind Loads on Roof Sheathing of Houses, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 114 (2013) 106-121.
27. Bitsuamlak, G.T., Warsido, W., Ledesma, E. ve Chowdhury, A.G., Aerodynamic Mitigation of Roof and Wall Corner Suctions Using Simple Architectural Elements, Journal of Engineering Mechanics, 139 (2013) 396-408.
28. Tominago, Y., Akabayashi, S., Kitahara, T. ve Arinami, Y., Air Flow around Isolated Gable-Roof Buildings with Different Roof Pitches: Wind Tunnel Experiments and CFD Simulations, Building and Environment, 84 (2015) 204-213.
29. Gölbaşı, D., Buyruk, E., Şahin, B., Karabulut, K. ve Kılınç F., Bina Yüksekliği Değişiminin Akış Yapıları Üzerindeki Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, 21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül. 2017, Çorum, Bildiriler Kitabı 356-366.
30. Fouad, N.S., Mahmoud, G.H. ve Nasr, N.E., Comparative Study of International Codes with Loads and CFD Results for Low Rise Buildings, Alexandria Engineering Journal, 57 (2018) 3623-3639.
31. Xing, F., Mohotti, D. ve Chauhan, K., Study on Localised Wind Pressure Development in Gable Roof Buildings Having Different Roof Pitches with Experiments, RANS and LES Simulation Models, Building and Environment, 143 (2018) 240-257.
32. Shan, W., Tamura, Y., Yang, Q. ve Li, B., Effects of Curved Slopes, High Ridges and Double Eaves on Wind Pressures on Traditional Chinese Hip Roofs, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 183 (2018) 68-87.
33. Singh, J. ve Roy, A.K., Effects of Roof Slope and Wind Drection on Wind Pressure Distribution on the Roof of a Square Plan Pyramidal Low-Rise Building Using CFD Simulation, International Journal of Advanced Structural Engineering, 11 (2019) 231-254.
34. Ünal, B., Bina Biçimlenmesinde Boşlukların Yakın Çevredeki Hava Hareketi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.
35. Meral, Y., Yüksek Binaların Yakın Çevre Bina Yüzeylerindeki Hava Akışına Etkileri- Four Winds Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.

36. Metha, K.C., Levitan, M.L., Iverson, R.E. ve McDonald, J.R., Roof Corner Pressures Measured in the Field on a Low Building, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 41-44 (1992) 181-192.
37. Yılmaztürk, S., Yüksek Binalar Etrafındaki Akışın Sayısal ve Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, T.O.B.B. Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
38. Kumar, K.S., Simulation of Fluctuating Wind Pressures on Low Building Roofs, PhD, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, 1997.
39. Unanwa, C.O., A Model for Probable Maximum Loss in Hurricanes, Doctoral Thesis, Texas Tech University, USA, 1997
40. Özdemir, İ., Yapı Elemanları Ders Notları, T.C. Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2003.
41. https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ed403_01.htm, Berlin Environmental Atlas, 20 Şubat 2019.
42. Launder B.E. ve Spalding D.B., The Numerical Computation of Turbulent Flows, Computer Methods in Applied Mechanincs and Engineering, 3 (1974) 269-289.
43. Fluent 6 Users Guide, Fluent Inc., (2001)
44. Shih T.H., Liou W.W., Shabbir A. ve Zhu J., A New $k - \varepsilon$ Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows – Model Development and Validation, Computers Fluids, 24 (1995) 227-238.
45. Oliveira, P.J. ve Younis, B.A., On the Prediction of Turbulent Flows Around Full-Scale Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 86 (2000) 203-220.

ÖZGEÇMİŞ

Yunus KOPUZ 1993 yılında Rize’de doğdu. 2011 yılında Rize Lisesini bitirdi. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden Makine Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

