

# Farklı En-Boy Oranlarına Sahip Binaların Etrafındaki Akışın Sayısal Çözümünde Türbülans Modellerinin Etkisinin Karşılaştırmalı Araştırılması

Muhammet Özdoğan<sup>1\*</sup>, Bilal Sungur<sup>2</sup>, Lütfü Namli<sup>3</sup>, Bahattin Topaloğlu<sup>4</sup>, Aydın Durmuş<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Samsun, (0362)3121919, muhammet.ozdogan@omu.edu.tr

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Samsun, (0362)3121919, bilal.sungur@omu.edu.tr

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Samsun, (0362)3121919, lnamli@omu.edu.tr

<sup>4</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Samsun, (0362)3121919, btopal@omu.edu.tr

<sup>5</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Samsun, (0362)3121919, adurmus@omu.edu.tr

\*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Received: 28 Ağustos (August) 2016

Kabul / Accepted: 17 Kasım (November) 2016

DOI: 10.18466/cbayarfb.281616

## Özet

Hızla artan dünya nüfusu ile birlikte enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Ülkemizde ısınma amaçlı enerji tüketimi oldukça fazladır. Bu manada özellikle binalarda ısı tasarrufu oldukça önemlidir. Bina dış duvarları üzerindeki akış ve ısı transferinin modellenerek en az ısı kaybı olacak şekilde tasarlanması yakıt tüketimini düşürerek ekonomik kazanç sağlama konusunda son derece etkilidir. Bu çalışmada farklı en-boy oranlarına (EBO) sahip üç bina ele alınarak, bu binaların etrafındaki akış farklı rüzgâr hızları için üç boyutlu olarak modellenmiştir. Türbülans modeli olarak standart k-ε model, RNG k-ε model ve realizable k-ε model ayrı ayrı kullanılmıştır. Bu farklı durumlar için elde edilen binalar üzerindeki hız vektörleri, binalardan meydana gelen ısı transfer miktarları ve kullanılan türbülans modellerinin çözüm üzerindeki etkileri incelenerek değerlendirilmeler yapılmıştır. Çalışmada kullanılan üç modelde de rüzgâr hızları arttıkça ve bina en-boy oranları azaldıkça, taşınım katsayısının artışına bağlı olarak binanın tüm yüzeylerindeki ortalama ısı akısının arttığı görülmüştür. Genel olarak, EBO'nun 1:1 olması durumunda üç model de yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bina en-boy oranının azalmasıyla elde edilen sonuçlar farklılıklar göstermiştir. Sonuçlar arasındaki fark düşük hızlarda yok denilecek kadar az iken ortalama rüzgâr hızının artması ile bu fark belirginleşmiştir. EBO'ya ve binanın yüzeyine bağlı olarak ısı akısı-hız değişim eğrileri üç modelde de benzerlik göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler** — Isı transferi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, türbülans modelleme, dış akış, binalarda enerji verimliliği.

## A Comparative Study of Turbulence Model Effects in Numerical Analyzing Flow around the Buildings Having Various Aspect Ratios

### Abstract

Energy demand is increasing with the rising world population. Energy consumption for heating purposes are very high in our country so energy saving is very important especially in buildings. The outer walls of the buildings which are designed to have a minimal heat loss will reduce fuel consumption and so it will provide economic benefits. In this study, two dimensional numerical

analysing of the buildings having a various aspect ratio (AR) were performed for different wind velocities by using different turbulence models. The standard  $k-\epsilon$  model, RNG  $k-\epsilon$  model and realizable  $k-\epsilon$  model were used for modelling the turbulent flow. For these different geometrical situations, velocity vectors on buildings, heat transfer rate from buildings and turbulence models effects on the solution were investigated in detail. It was observed that with the decreasing wind speeds and aspect ratio, the average heat flux of all surfaces of the building increased depending on the convection coefficient. For the all three models used in the study it was seen that the average heat flux on all of the building surfaces increased depending on the heat transfer coefficient. With the decreasing wind velocities and the building aspect ratio. On the condition of AR=1:1, the three models gave very similar results. The results obtained showed differences with the decreasing in the building aspect ratio. The difference between the results was very little in low velocities, but this difference became clear with the increase in the average wind velocity. Depending on AR and the surface of the building, the heat flux-velocity curves gave similar results in all three models.

**Keywords** – Heat transfer, computational fluid dynamics, turbulence modelling, external flow, energy efficiency in buildings.

## 1 Giriş

Günümüzde enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Enerjinin üretilmesi kadar var olan enerjinin verimli bir şekilde kullanılması da önemlidir. Yapılan araştırmalar, dünyadaki enerji tüketiminin önemli bir kısmının binalardan kaynaklandığını göstermektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde bulunan binaların toplam enerji tüketimindeki payı %40'tır [1]. Binalarda ısı kayıplarının azaltılması için gerekli yalıtımların yapılmasının yanında hakim rüzgar hızları ve bina en-boy oranları da önemlidir. Deneysel olarak bu şekildeki problemleri analiz etmek oldukça zaman alıcı ve pahalıdır. Bu nedenle bu problemler, özellikle son yıllarda bilgisayar alanındaki gelişmeler ile sayısal yöntemler kullanılarak çözümlenmeye başlanmış ve oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır [2, 3]. Günümüzde çok sayıda sayısal yöntem ve yaklaşımla çözümlenme yapan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) paket programları mevcuttur. Fluent paket programı da bunlardan biridir. Fluent, akışkan hareketleri, ısı transferi, partikül hareketleri, yanma gibi çok farklı akışkan hareketi süreçlerini modelleyebilmektedir. Fluent, kısmi diferansiyelli temel denklemleri sonlu hacimler metoduna kullanarak cebirsel denklem takımına dönüştürmekte ve farklı modeller kullanarak çözüm yapabilmektedir.

Bilim insanları bina etrafındaki akışı farklı momentum ve ısı sınır koşulları için sayısal olarak modelleyerek incelemişlerdir. Tsuchiya ve ark. [4] çalışmalarında MMK adlı yeni bir  $k-\epsilon$  modeli geliştirmişlerdir. Yazarlar, bu yeni modeli, iki boyutlu kare, küp ve düşük katlı bina etrafındaki akışı modellemede kullanmışlar, standart  $k-\epsilon$  model ve deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Irtaza ve ark. [5] çalışmalarında hesaplamalı rüzgar mühendisliği

için en uygun türbülans modellerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Standart  $k-\epsilon$ , RNG  $k-\epsilon$ , Realizable  $k-\epsilon$ , Reynoldss Stress Metod ve Large Eddy Simulation (LES) olmak üzere beş farklı modeli test etmişlerdir ve bunları deneysel rüzgar tüneli verileriyle karşılaştırmışlardır. Nitatwichit ve ark. [6] çalışmalarında geometrinin, okul binasının etrafındaki hava akış dağılımına etkisini sayısal olarak araştırmışlardır. Yazid ve Sidik [7] çalışmalarında küp etrafındaki akışı, iki eşitlikli türbülans modeli kullanarak modellemişlerdir. Bu çalışmada iki eşitlikli modelin doğruluğunu deneysel verilerle kıyaslayarak belirlemişlerdir. Yazarlar, tüm iki eşitlikli türbülans modellerin, küp duvarları yakınlarında ayrılma noktasını belirleyebildiklerini ancak yeniden birleşme boylarını belirleyemediklerini belirtmişlerdir. Özellikle simetri düzlemi boyunca küpün arka kısmında akış yönündeki akışta standart  $k-\epsilon$  modelin deneysel sonuçlarla iyi uyum sağladığını belirtmişlerdir. Shao ve ark. [8] çalışmalarında yüksek katlı binaların etrafındaki rüzgar akışını çeşitli lineer olmayan  $k-\epsilon$  modelleri kullanarak belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada sonuç olarak; Craft modelin deneysel verilerle en iyi uyumu sağladığı, Ehrhard ve Shih'in modellerinin ise binanın arkasında yeniden birleşme boylarını doğru hesaplayamadığı belirlenmiştir. Mochida ve ark. [9] çalışmalarında yüksek katlı binalar etrafındaki akışı farklı sayısal metodlarla modellemişlerdir ve modellerin doğruluklarını test etmişlerdir. Aynı çalışmada daha sonra çözümde kullanılan modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tominaga ve ark. [10] çalışmalarında üçgen tipli çatıların etrafındaki akışı rüzgar tüneli deneyleriyle ve HAD ile farklı çatı eğimleri için araştırmışlardır. Öncelikle rüzgar tüneline ölçüm veritabanı oluşturma amacıyla üç

farklı eğim için bina etrafındaki akışın zaman ortalamalı hız, türbülans kinetik enerjisi ve basınç katsayısını belirlemişlerdir. Daha sonra grid çözünürlüğü ve türbülans modellerinin hassasiyet analizlerini 5:10 çatı eğimi için gerçekleştirmişlerdir. Genel olarak akım yönündeki hız değerlerinde, simülasyon sonuçlarıyla deneysel sonuçların ortalama %15'ten az farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Bina arkasındaki noktalarda ise bu farkın %30'lara kadar çıktığını ifade etmişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada yazarlar, akış bölgelerindeki farklılığın 3:10 ve 5:10 çatı eğiminde, 5:10 ve 7.5:10 çatı eğimine göre daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Ozmen ve ark. [11] alçak binalardaki üçgen çatının üç farklı eğimi için akışı deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Türbülans modeli olarak Standart k-ε ve Realizable k-ε modeli kullanmışlardır.

Literatürde genellikle bina etrafındaki akışların sayısal modellenmesiyle ilgili çalışmalar mevcuttur. Ancak bina etrafındaki akışa bağlı olarak meydana gelen ısı transferleri ve sayısal modellemede kullanılan türbülans modellerinin akış ve ısı transferi sonuçlarına olan etkileri ile ilgili çalışmalar oldukça az sayıdadır. Bu çalışmada, farklı en-boy oranlarına sahip binalar etrafındaki akış ve bu binalardan meydana gelen ısı transferi miktarları farklı türbülans modelleri kullanılarak üç boyutlu olarak incelenmiştir. Bina en-boy oranının ve rüzgar hızının, bina üzerinde meydana gelen hız vektörlerine ve binadan çevreye gerçekleşen ısı transferine olan etkileri detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

## 2 Materyal ve Yöntem

Bina etrafındaki akış ve ısı transferi problemlerinin çözümünde; kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinin çözümü yapılmıştır. Ayrıca türbülanslı akışın modellenmesinde ortaya çıkan büyüklüklerin modellenmesi için ilgili diferansiyel denklemlerin çözümü yapılmıştır. Bu diferansiyel denklemler problemlere uygun sınır şartları kullanılarak çözümlenmiştir. Daimi, sıkıştırılmaz ve türbülanslı akış için süreklilik, momentum ve enerji korunum denklemleri Kartezyen koordinatlarda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (2)$$

$$U_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_j t} \right) \quad (3)$$

Burada,  $U_i$ , ortalama hız vektörünü,  $P$ , ortalama basıncı,  $\rho$ , akışkanın yoğunluğunu,  $\nu$ , kinematik viskoziteyi ve  $\alpha$  ise ısı yayılım katsayısını ifade etmektedir. Momentum korunum eşitliğindeki Reynolds gerilmeleri ( $\overline{u_i u_j}$ ), Boussinesq'in girdap viskozitesi hipotezinde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\overline{u_i u_j} = \nu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (4)$$

Burada,  $\nu_t$  türbülans viskozitesidir ve aşağıda verilen Prandtl-Kolmogorov eşitliği yardımıyla hesaplanır.

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

Enerjinin korunum eşitliğindeki türbülans ısı akısı ( $\overline{u_j t}$ ) aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\overline{u_j t} = \alpha_t \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (6)$$

Bu eşitlikte,  $\alpha_t$  türbülans ısı yayılım katsayısı olarak adlandırılır ve aşağıdaki bağıntı ile belirlenir:

$$\alpha_t = \frac{\nu_t}{Pr_t} \quad (7)$$

Bu eşitlikte,  $Pr_t$ , türbülans Prandtl sayısıdır ve değeri 0.85 olarak alınmıştır.

Uygulamadaki çoğu akımda olduğu gibi bu çalışmadaki akım da türbülanslıdır. Bu çalışmada türbülans modeli olarak Standart k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε modelleri ayrı ayrı kullanılmıştır [12] ve kullanılan modellerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

### 2.1 Standart k-ε Model

Standart k-ε model, türbülans kinetik enerji ( $k$ ) ve türbülans kinetik enerjinin yutulma miktarı ( $\varepsilon$ ) için taşınım eşitliklerini modellemeye dayanan yarı ampirik iki eşitlikli bir modeldir. Bu modelde türbülans viskozitesinin, türbülans hızı ve uzunluk ölçeği ile orantılı olduğu kabul edilir. Bu hız ve uzunluk ölçekleri türbülans kinetik enerjisi ( $k$ ) ve

onun yutulma miktarından ( $\varepsilon$ ) elde edilir.

Türbülans kinetik enerji ( $k$ ) ve türbülans kinetik enerjinin yutulma miktarı ( $\varepsilon$ ) aşağıdaki eşitliklerden elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + S_\varepsilon + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (9)$$

Bu denklemlerde,  $G_k$ , ortalama hız gradyentinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimi,  $G_b$ , kaldırma kuvvetleri etkisinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimi,  $Y_M$ , toplam yutulma oranına sıkıştırılabilir türbülanstaki çalkantı ayrılmasından dolayı oluşan katkı,  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$  ve  $C_{3\varepsilon}$  sabitlerdir.  $\sigma_k$  ve  $\sigma_\varepsilon$ ,  $k$  ve  $\varepsilon$  için türbülans Prandtl sayıları,  $S_k$  ve  $S_\varepsilon$  kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir. Standart k- $\varepsilon$  modelde kullanılan sabitlerin değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Standart k- $\varepsilon$  modelde kullanılan sabitler ve değerleri.

Sabit	Değer
$C_{1\varepsilon}$	1.44
$C_{2\varepsilon}$	1.92
$C_\mu$	0.09
$\sigma_k$	1.0
$\sigma_\varepsilon$	1.3

## 2.2 RNG k- $\varepsilon$ Model

RNG k- $\varepsilon$  model matematiksel teknikler kullanılarak anlık Navier-Stokes denklemlerinden türetilmiştir ve yeniden normalleştirme grup metodları olarak adlandırılır. Standart k- $\varepsilon$  modelle aynı formdadır fakat RNG model  $k$  ve  $\varepsilon$  eşitliklerinde ek terimler içerir ve bu terimler ani gerilmeli akışlarda iyileştirmeler sağlar. RNG k- $\varepsilon$  model ayrıca dönme (swirl)'nin türbülansa etkisini içerir ve dönmeli olan akışlarda daha doğru sonuçlar verir.

RNG k- $\varepsilon$  modelde kullanılan  $k$  ve  $\varepsilon$  terimleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (11)$$

Bu denklemlerde,  $\alpha_k$ ,  $\alpha_\varepsilon$ ,  $k$  ve  $\varepsilon$  terimleri için ters etkili Prandtl sayılarını,  $\mu_{eff}$ , efektif viskoziteyi simgelemektedir. RNG k- $\varepsilon$  modelde kullanılan sabitlerin değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** RNG k- $\varepsilon$  modelde kullanılan sabitler ve değerleri.

Sabit	Değer
$C_{1\varepsilon}$	1.42
$C_{2\varepsilon}$	1.68
$C_\mu$	0.0845
$\alpha_k$	1.393
$\alpha_\varepsilon$	1.393

## 2.3 Realizable (Gerçeklenebilir) k- $\varepsilon$ Model

Realizable k- $\varepsilon$  modeli, standart k- $\varepsilon$  modelden iki önemli açıdan farklılık göstermektedir: 1) Realizable k- $\varepsilon$  modeli türbülans viskozite için yeni bir formül içerir. 2) Yutulma miktarı ( $\varepsilon$ ) için yeni bir transport denklemi, ortalama vortisite dalgalanmalarının karekökünün tam eşitliğinden türetilir. Bu model düzlemsel ve dairesel kesitli jetlerin yayılım hızlarını daha doğru bir şekilde belirler. Aynı zamanda dönme, güçlü basınç gradyanlarındaki sınır tabakalar, ayrılmalar ve resirkülasyonlu akışlar için iyi bir performans sağlar. İlk çalışmalar göstermiştir ki birçok ayrılmış akışlar ve karmaşık ikincil akış özellikli akışlar için Realizable model, k- $\varepsilon$  modelleri arasında en iyi performansı sağlar.

Realizable k- $\varepsilon$  modeldeki  $k$  ve  $\varepsilon$  terimleri aşağıdaki eşitliklerden elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_{1\varepsilon} S_\varepsilon - \rho C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (13)$$

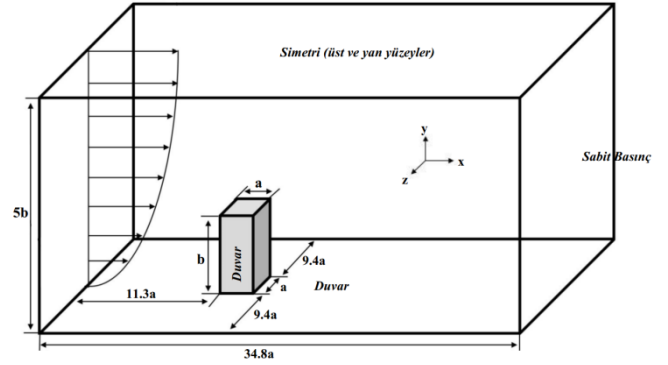
Realizable k-ε modelde kullanılan sabitlerin değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Realizable k-ε modelde kullanılan sabitler ve değerleri.

Sabit	Değer
$C_{1\varepsilon}$	1.44
$C_{2\varepsilon}$	1.9
$C_\mu$	0.09
$\sigma_k$	1
$\sigma_\varepsilon$	1.2

## 2.4 Çözüm Bölgesi

Ai Z.T. ve Mak C.M. [13] yapmış oldukları çalışmada, bina etrafındaki akış için oluşturulan sayısal modelde kullanılan ölçek büyüklüğünün çözüme etkisini incelemişlerdir. Yazarlar çözümlemede kullanılan eleman sayısını sabit tutarak farklı ölçekler için analizler yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Bahsedilen durum için küçük ölçeğin kullanılması ile daha doğru sonuçlar elde etmişlerdir. Sonuç olarak, yazarlar büyük ölçekli modellerin kullanılmasının daha sık örgü yapısı gerektirdiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada ise, eleman sayısını azaltıp çözüm süresini kısaltmak için çözüm bölgesi, CEDVAL [14]'in çalışması referans alınarak 1/200 oranında küçültülerek modellenmiştir. Ai Z.T. ve Mak C.M. [15] yapmış oldukları çalışmada pencerenin ve balkonun olması durumunda binanın içindeki akış dağılımını incelemişlerdir. Oluşturulan modelde çözüm bölgesi, Ai Z.T. ve Mak C.M. [15]'nin çalışmaları göz önüne alınarak Şekil 1'deki gibi tanımlanmıştır. Çözümleme üç farklı EBO için yapıldığından, çözüm bölgesinin yüksekliği, en yüksek bina uzunluğu (b=150 mm) referans alınarak 750 mm alınmıştır. Çözüm bölgesinin uzunluğu sabit olan bina genişliği (a=50 mm) referans alınarak 34.8a (1740mm) olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 1.** Çözüm bölgesi.

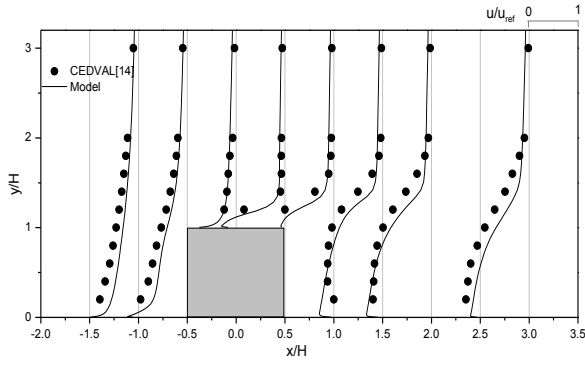
Çözüm bölgesinin giriş kesitindeki türbülanslı akış ile ilgili sınır şartlarından, türbülans yoğunluğu %15 olarak tanımlanmıştır ve bina yüksekliği hidrolik çap olarak kabul edilmiştir. Bina cidarları ve yeryüzü, kaymama (no-slip) sınır koşuluna sahip duvar olarak tanımlanmıştır. Ortamın üst ve yan yüzeyleri simetri olarak kabul edilmiş ve ortamın çıkış kesitinde basınç tanımlı çıkış sınır koşulu tanımlanmıştır. Havanın 280 K sıcaklığında homojen bir şekilde çözüm bölgesine girdiği ve bina yüzeylerinin 285 K'lık sabit yüzey sıcaklığına sahip olduğu kabul edilmiştir. Yeryüzünden havaya olan ısı geçişi göz ardı edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan bina EBO'ları ve ortalama rüzgâr hızları Çizelge 4'de verilmiştir.

**Çizelge 4.** Çözümlemeleri yapılan rüzgâr hızları ve bina en-boy oranları.

Rüzgâr hızları (m/s)	Bina EBO'ları
2	
3	
4	
5	1:1, 1:2, 1:3
6	
7	
8	

## 2.5 Modelin Doğrulanması

Çözüm için oluşturulan model, CEDVAL'in H=80 mm bina boyu ve 7 m/s rüzgâr hızı için yapmış olduğu çalışma ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Karşılaştırmanın yapılması için türbülans modeli olarak RNG k-ε model ile CEDVAL'in kullanmış olduğu çözüm bölgesi ve ilgili parametreleri kullanılmıştır.



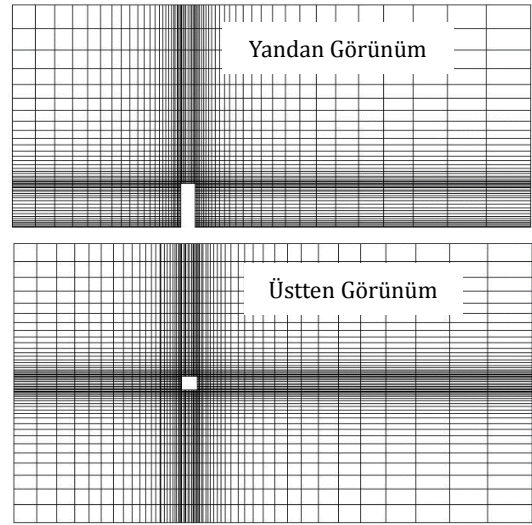
Şekil 2. Model sonuçlarının deneysel verilerle karşılaştırılması.

Farklı konumlarda hesaplanan hız dağılımlarının CEDVAL'in bulmuş olduğu hız dağılımları ile karşılaştırılması Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, bu çalışmada oluşturulan model sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, binanın önünde ve binanın üstünde bulunan hız dağılımları, binanın arkasındaki hız dağılımlarına oranla daha çok örtüşmektedir.

## 2.6 Ağ Yapısının Oluşturulması

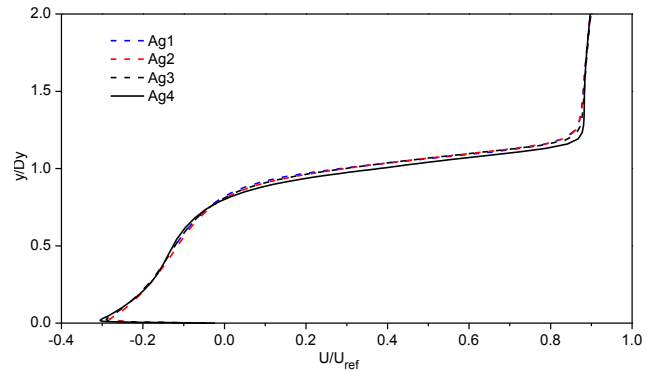
Bu çalışmada akış ve sıcaklık bölgelerinin hesaplanmasında Fluent 6.3 paket programı kullanılmıştır. Sayısal çözüm için geometrinin bir ağ (grid) ile örtülmesi gerekmektedir. Üç boyutlu olarak modellenen geometri GAMBIT programında ağ ile örtülmüş ve daha sonra bu ağ ile örtülen geometri Fluent 6.3 HAD programına aktararak sayısal çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmada çözümün kullanılan ağ yapısından bağımsızlığının test edilmesi amacıyla, 150 mm bina yüksekliği için dört farklı ağ yapısı oluşturulmuştur. Dört ağ yapısında da fiziksel büyüklüklerin hızla değiştiği kritik bölgeler (özellikle bina çevresi) daha sık ağ yapısıyla donatılmıştır. Ağ-1 ağ yapısının yandan ve üstten görünümü, Şekil 3'te verilmiştir.

Oluşturulan dört farklı ağ yapısı için, RNG k-ε türbülans modeli kullanılarak ve ortalama rüzgar hızı 5 m/s alınarak model oluşturulup analizler yapılmıştır. Karşılaştırma için kullanılan dört farklı ağ yapısının eleman sayıları ve eleman yüzeyinin boyutları ile analizler sonucu elde edilen bazı ortalama büyüklükler Çizelge 5'te verilmiştir. Isı akışı ve y+ değerlerine bakıldığında Ağ-3 ağ yapısının kabul edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir.



Şekil 3. Ağ-1 ağ yapısının yandan ve üstten görünümü.

Çözümün ağ yapısından bağımsızlığını incelemek amacıyla, (x=1330 mm, z=0 mm) konumundaki Vx hızının yüksekliğe göre değişimi eğrileri Şekil 4'te verilmiştir. Şekle bakıldığında hız büyüklüklerinin mevcut ağ yapılarından bağımsız olduğu söylenebilir. Çizelge 5 ve Şekil 4 dikkate alınarak, yapılan çalışmada Ağ-3 ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 4. Farklı ağ yapıları için Vx hızının yüksekliğe bağlı değişimi.

Çözüm için oluşturulan modelde, basınç-hız çiftinin çözüm algoritması olarak SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Çözümde basınç denklemlerinin dışındaki denklemlerinin ayrıştırılması için Birinci Dereceden Upwind Şema kullanılmıştır. Basınç denklemlerinin ayrıştırılması için Standart Şema kullanılmıştır. Denklem çözümlerinde, 10<sup>-5</sup> mertebesine yakınsayana kadar iterasyonlar sürdürülmüştür. Çözüm yapılırken hava sıkıştırılmaz akışkan olarak kabul edilmiştir.

**Çizelge 5.** Karşılaştırılan ağ yapıları.

Ağ yapısı	Eleman sayısı				Eleman yüzey büyüklüğü		Ortalama y <sup>+</sup>	Yüzey Isı Akısı [W/mm <sup>2</sup> ]			
	X	Y	Z	Toplam	Min. [mm <sup>2</sup> ]	Maks. [mm <sup>2</sup> ]		Ön	Arka	Yan	Üst
Ağ-1	60	46	54	146740	10.792	12245.890	16.764	140.313	56.529	86.648	88.658
Ağ-2	72	53	64	238932	4.306	11931.780	12.324	143.284	66.710	93.243	100.788
Ağ-3	100	70	90	594000	0.120	16446.110	2.194	161.320	69.840	89.637	108.907
Ağ-4	114	85	105	956200	0.025	16390.260	0.874	149.511	69.305	85.161	108.980

### 3 Bulgular ve Tartışma

Bina en-boy oranının (EBO) ve rüzgâr hızının, binanın farklı yüzeylerinden olan ısı geçişine etkisinin incelenmesi amacıyla yedi farklı rüzgâr hızı için toplam 63 analiz yapılmıştır. Analizler ile ortalama rüzgâr hızlarına göre bina yüzeyindeki ortalama ısı akılarının değişimi ve hız vektörlerinin dağılımları incelenmiştir. Rüzgâr terminolojisinde rüzgârın geldiği taraf rüzgâr üstü, gittiği taraf rüzgâr altı olarak adlandırılır. Bu çalışmada ise kolaylık olması açısından rüzgârın geldiği taraf, ön taraf, rüzgârın gittiği taraf, arka taraf olarak adlandırılmıştır.

Şekil 5'te üç farklı bina EBO'su için binanın ön yüzeyindeki ortalama ısı akısının ortalama rüzgâr hızına göre değişim eğrileri verilmiştir. Ortalama rüzgâr hızları arttıkça taşınım katsayısındaki artışa bağlı olarak ortalama ısı akısının arttığı görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde en yüksek ısı akısının standart k-ε modelinde, en düşük ısı akısının ise RNG k-ε modelinde olduğu görülmektedir. Kullanılan modele göre sonuçlar incelendiğinde, EBO=1:1 olduğu durumda elde edilen sonuçların kullanılan model ile değişmediği görülmektedir. EBO'nun 1:2 ve 1:3 olduğu durumlarda ise, düşük rüzgâr hızlarında kullanılan türbülans modeli sonuçları etkilemezken rüzgâr hızının artması ile kullanılan türbülans modelinin çözüme etkisi artmaktadır. Bu EBO'lar için yüksek rüzgâr hızlarında RNG k-ε modelin kullanılan diğer modellerden farklılaştığı görülmektedir. EBO'nun 1:1'den 1:2'ye düşmesiyle, ortalama ısı akısının değeri iki katından fazla artmıştır. Diğer taraftan, EBO'nun 1:2'den 1:3'ye düşmesiyle, ortalama ısı akısı artışı daha düşük olmuştur. EBO'nun azalmasıyla ve ortalama rüzgâr hızının artmasıyla ortalama ısı akısı da artmaktadır.

Binanın arka yüzeyinde oluşan ortalama ısı akısının ortalama rüzgâr hızına bağlı olarak değişiminin incelenmesi amacıyla üç farklı bina EBO'su ve üç

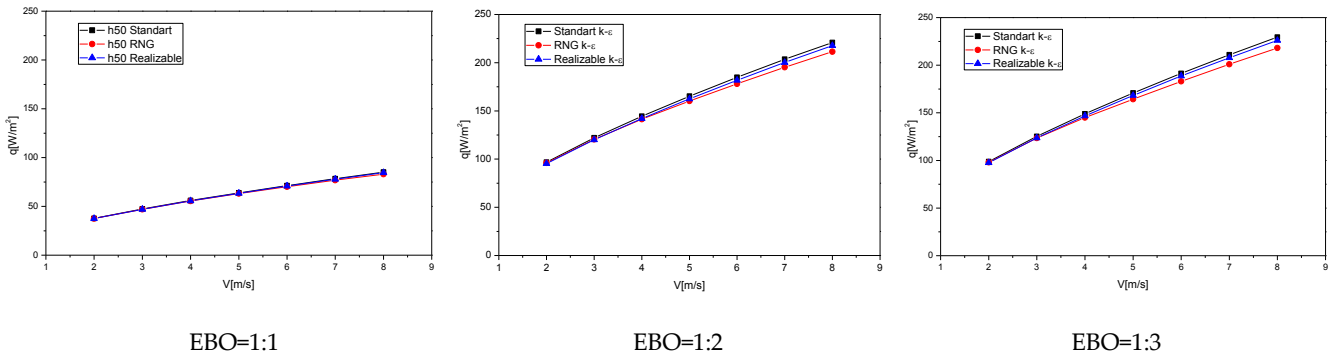
farklı türbülans modeli için elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'dan görüldüğü üzere, kullanılan türbülans modelinin etkisi, EBO=1:1 durumunda ihmal edilebilir düzeydeyken EBO'nun 1:2 ve 1:3 olması durumunda türbülans modeller arasındaki fark belirgin düzeydedir. Binanın arka yüzeyinde de ön yüzeyinde olduğu gibi EBO'nun 1:2'den 1:3 değerlerinde RNG k-ε model kullanılan diğer iki modelden farklılaşmıştır. Literatürden bilindiği üzere bazı fiziksel kısıtlamalardan dolayı standart k-ε modelin iyi sonuçlar vermediği bilindiğine göre en iyi sonucun RNG k-ε modelde aldığı söylenebilir. Diğer taraftan üç EBO'da da maksimum ısı akısı, RNG k-ε'in kullanıldığı modelde elde edilmiştir. Diğer iki model ise yakın sonuçlar vermiştir. Üç modelde de EBO'nun azalması ve ortalama rüzgâr hızının artması, ortalama ısı akısını arttırmıştır.

Bina EBO'sunun ve kullanılan türbülans modelinin binanın yan yüzeyindeki ortalama ısı akısına etkisi Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, bina yüksekliğinin ve ortalama rüzgâr hızının artması ile yüzeydeki ortalama ısı akısının arttığı görülmektedir. Maksimum ısı akısı standart k-ε modelde elde edilmiştir. EBO=1:1 durumunda, üç model de yakın sonuçlar vermiştir. EBO'nun 1:2 ve 1:3 olması durumunda düşük rüzgâr hızlarında ısı akıları yakın çıkmıştır. Rüzgâr hızlarının artması ile türbülans modellerinden kaynaklanan fark artmıştır. Düşük rüzgâr hızlarında, EBO=1:2 ve EBO=1:3 için, standart k-ε model ile RNG k-ε model birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir. Rüzgâr hızının 4 m/s'yi geçmesi ile RNG k-ε modelden elde edilen sonuçlar ile realizeable k-ε modelden elde edilen sonuçlar birbirlerine yaklaşıırken standart k-ε modelden elde edilen sonuçların bu modellerden farklılaştığı görülmektedir. Bu durumda, binanın yan yüzeyinde realizeable k-ε model ve RNG k-ε modelin standart k-ε modele göre daha iyi bir performans gösterdiği

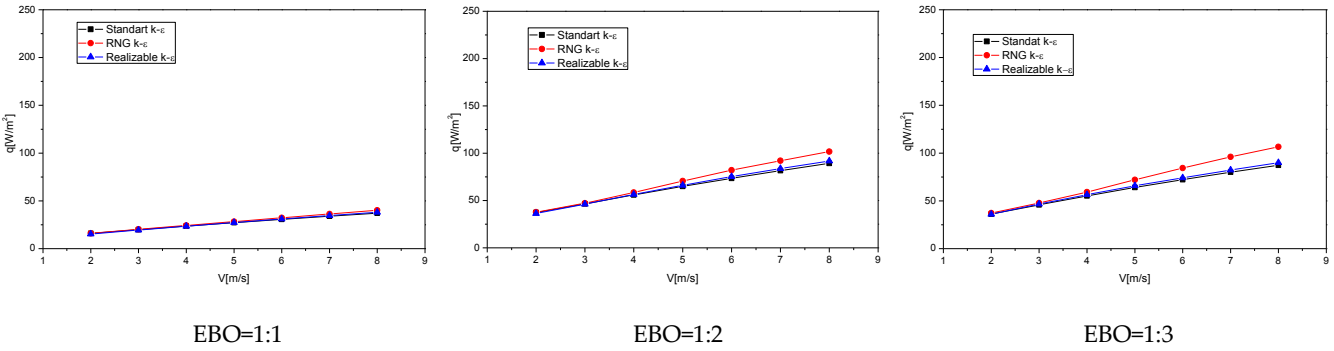
söylenbilir.

Binanın üst yüzeyindeki ortalama ısı akısının ortalama rüzgâr hızına göre değişimi Şekil 8’de verilmiştir. Binanın üç yüzeyinde olduğu gibi, ortalama rüzgâr hızının ve bina boyunun artması ile binanın üst yüzeyindeki ortalama ısı akısı artmıştır. Düşük rüzgâr hızlarında kullanılan türbülans modelleri yakın sonuçlar vermiştir ve rüzgâr hızının artması ile türbülans modelleri arasındaki fark da

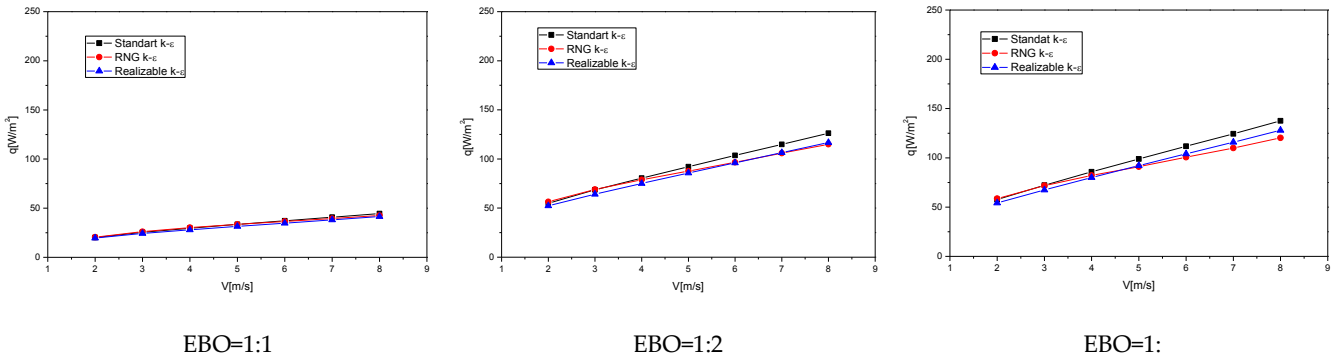
artmaya başlamıştır. Bu fark, özellikle yüksek rüzgâr hızlarında ve EBO’nun 1:2 ve 1:3 değerlerinde diğer bina yüzeylerine göre daha belirgindir. Bunun sebebi olarak, bina üstündeki dönmeli akışın çözümünde, kullanılan model daha hassas çözüm yapabilme yeteneğinin ön plana çıkması gösterilebilir. Literatürden bilindiği üzere standart k-ε modelin dönmeli akışlarda performansının düşük olması çözülen bu problemde de kendini göstermiştir



Şekil 5. Binanın ön yüzeydeki ısı akısının rüzgâr hızı ile değişimi.

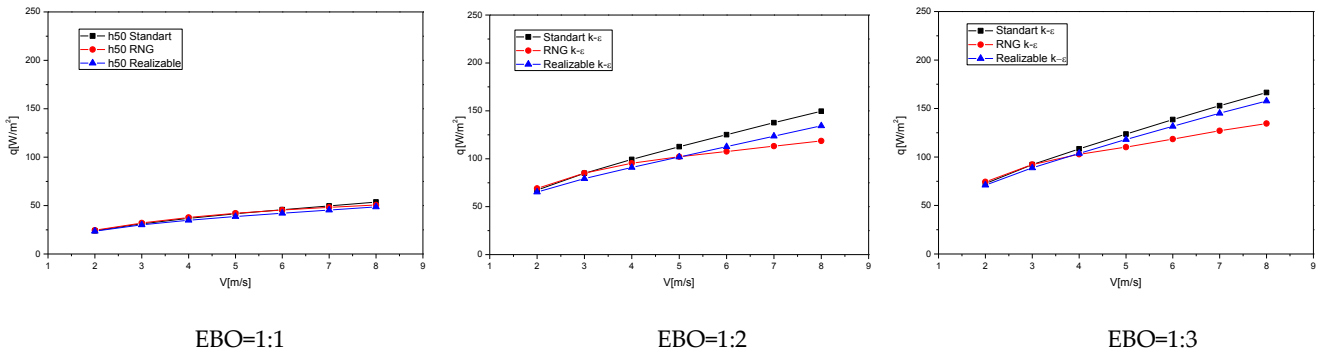


Şekil 6. Binanın arka yüzeydeki ısı akısının rüzgâr hızı ile değişimi.



Şekil 7. Binanın yan yüzeydeki ısı akısının rüzgâr hızı ile değişimi.





Şekil 8. Binanın üst yüzeydeki ısı akısının rüzgâr hızı ile değişimi.

Şekil 9'da ise  $V=5$  m/s rüzgâr hızı için, üç farklı EBO için kullanılan türbülans modellerle elde edilen  $z=0$  düzlemindeki (bina ön yüzeyinin orta noktasındaki) hız vektörü grafikleri verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde bina ön ve arka yüzeyinde oluşan hızların daha belirgin bir şekilde değiştiği görülmektedir. Bina en-boy oranları arttıkça oluşan maksimum hızların da arttığı ve bina üstünde ve sonrasında artan hızların etki ettikleri alanın uzadığı görülmektedir. Binanın arka yüzeyinde, oluşan nispeten yüksek hızların etkisiyle akış ayrılması ve zeminde kaymama koşullarının etkisiyle büyük girdapların olduğu görülmektedir. Binanın ön yüzeyinde ise akımın yukarı doğru yükseldiği ancak zemine yakın bölgelerde yüzeyde kaymama koşulunun da etkisiyle düşük hızların oluştuğu ve bunun sonucunda girdapların meydana geldiği görülmektedir. Bu vektör grafiklerden de görüleceği üzere bina EBO oranı azaldıkça gerek bina üstündeki dönme akışının yapısı gerekse bina arkasındaki tekrar tutunma (reattachment) noktasının konumunun arttığı görülmektedir.

#### 4 Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada farklı en-boy oranlarına (EBO) sahip binalar etrafındaki akış ve binalardan dış ortama gerçekleşen ısı transferi, ortalama hakim rüzgâr hızlarına bağlı olarak farklı türbülans modelleri kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çözümlerlerde, seçilen üç farklı türbülans modeli kullanılmıştır ve bu modeller kullanılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 1) Çalışmada kullanılan üç modelde de hakim rüzgâr hızları arttıkça ve bina EBO azaldıkça, taşınım katsayısının artışına bağlı olarak bina duvarlarındaki ortalama ısı akısının arttığı görülmüştür.
- 2) Tüm modeller için bina EBO azaldıkça, oluşan maksimum hızların da arttığı ve bina üstünde ve sonrasında artan hızların etki ettikleri alanın uzadığı belirlenmiştir.

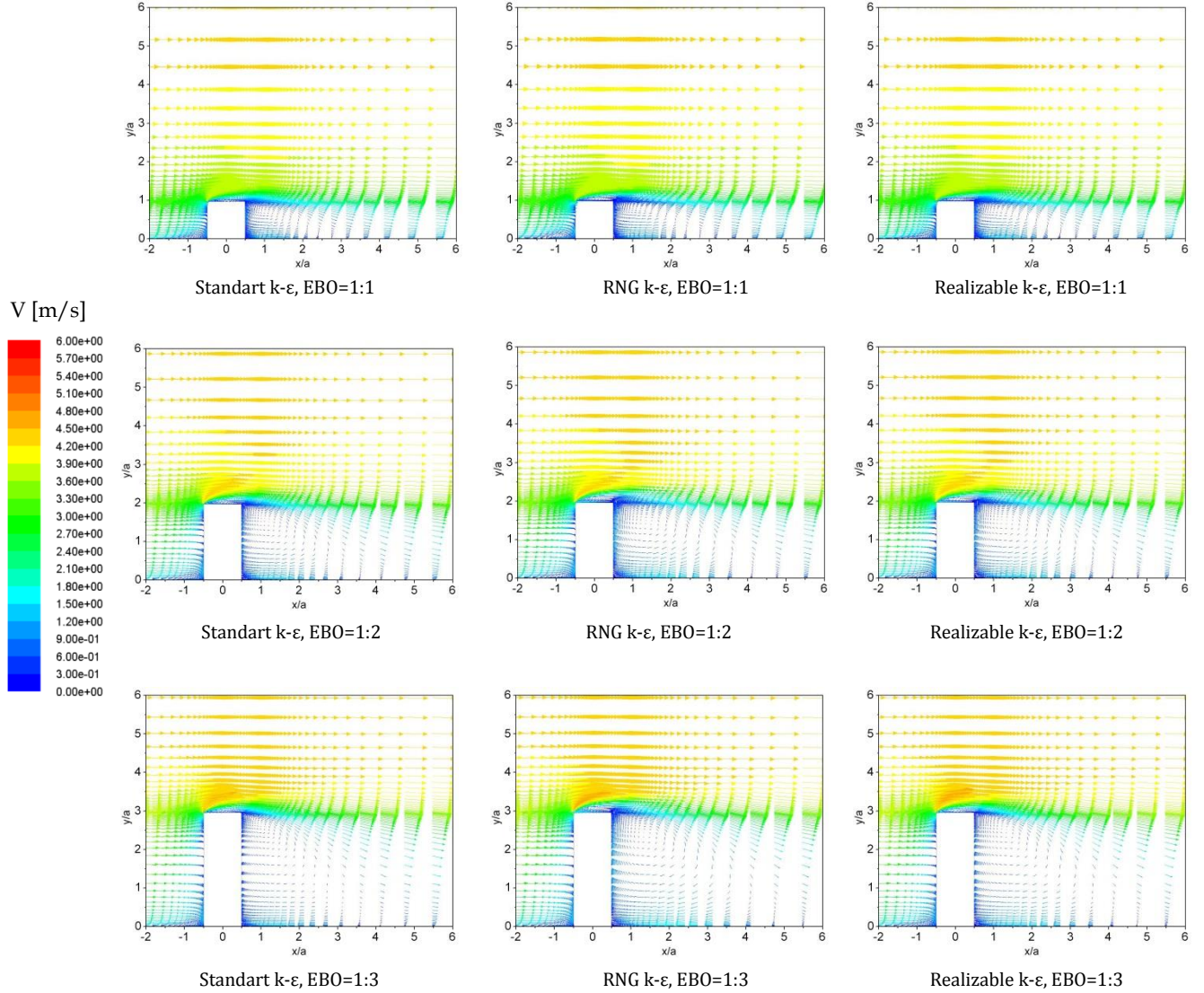
- 3) Bina ön duvarlarındaki ısı akısı değerlerinin en yüksek değere standart k-ε modelde ulaştığı, en düşük değerlerin ise RNG k-ε modelde ortaya çıktığı görülmüştür. Binanın arka duvarında en yüksek ısı akısı değerlerinin RNG k-ε modelde olduğu, standart k-ε model ve realizable k-ε modelin ise daha düşük ısı akısı değerleri verdiği ve birbirlerine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

- 4) EBO'nun 1:1 olduğu durumlarda kullanılan türbülans modelinin elde edilen sonuçlara etkisi yok derecede az iken, EBO'nun azalmasıyla bu etkinin belirginleştiği görülmüştür.

- 5) Düşük ortalama rüzgâr hızlarında, kullanılan türbülans modellerinde sonuçlar birbirine yakın çıkmakla birlikte, ortalama rüzgâr hızlarının artmasıyla sonuçların birbirinden ayrıldığı tespit edilmiştir.

- 6) EBO'nun 1:1'den 1:2'ye düşmesiyle, modellerde ortalama ısı akıları iki katından fazla artmıştır. Ancak EBO'nun 1:2'den 1:3'e düşmesi ortalama ısı akısı miktarı artışı çok düşük olmuştur.

- 7) Bina yüzeylerindeki ısı akıları incelendiğinde, üç modelde de en yüksek ısı akısının binanın ön yüzeyinde, en düşük ısı akısının ise binanın arka yüzeyinde olduğu söylenebilir.



Şekil 9. Farklı bina en-boy oranları ve türbülans modelleri için  $z=0$  düzlemindeki hız vektörlerinin dağılımı.

#### 4 Referanslar

- [1] Şahin, C.D.; Gökçen, G.; Arsan, Z.D. Bina Enerji Performansı Simülasyonlarının Geçerliliği: BESTEST (Building Energy Simulation Test) Prosedürü. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği. 2014; 39, 14-22.
- [2] Mirsadeghi, M.; Costola, D.; Blocken, B.; Hensen, J.L.M. Review of external convective heat transfer coefficient models in building energy simulation programs: Implementation and uncertainty. Applied Thermal Engineering. 2013; 56, 134-151.
- [3] Peren, J.I.; van Hoff, T.; Leite, B.C.C.; Blocken, B. CFD analysis of cross-ventilation of generic isolated building with asymmetric opening positions: Impact of roof angle and opening location. Building and Environment. 2015; 85, 263-276.
- [4] Tsuchiya, M.; Murakami, S.; Mochida, A.; Kondo, K.; Ishida, Y. Development of a new  $k-\epsilon$  model for flow and pressure fields around bluff body. Journal of Wind and

- Engineering and Industrial Aerodynamics. 1997; 67-68, 169-182.
- [5] Irtaza, H.; Beale, R.G.; Godley, M.H.R.; Jameel, A. Comparison of wind pressure measurements on Silsoe experimental building from full-scale observation, wind-tunnel experiments and various CFD techniques. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2013; 5(1), 28-41.
- [6] Nitatwichit, C.; Khunatorn, Y.; Tippayawong, N. Computational analysis and visualization of wind-driven naturally ventilated flows around a school building. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 2008; 2(1), 240-254.
- [7] Yazid, A.W.M.; Sidik, N.A.C. Prediction of the Flow Around a Surface-Mounted Cube using Two-Equation Turbulence Models. *Applied Mechanics and Materials*. 2013; 315, 438-442.
- [8] Shao, J.; Liu, J.; Zhao, J. Evaluation of various non-linear  $k-\epsilon$  models for predicting wind flow around an isolated high-rise building within the surface boundary layer. *Building and Environment*. 2012; 57, 145-155.
- [9] Mochida, A.; Tominaga, Y.; Murakami, S.; Yoshie, R.; Ishihara, T.; Ooka, R. Comparison of various  $k-\epsilon$  models and DSM applied to flow around a high-rise building –report on AIJ cooperative project for CFD prediction of wind environment-. *Wind and Structures*. 2002; 5(2-4), 227-244.
- [10] Tominaga, Y.; Akabayashi, S.I.; Kitahara, T.; Arinami, Y. Air flow around isolated gable-roof buildings with different roof pitches: Wind tunnel experiments and CFD simulations. *Building and Environment*. 2015; 84, 204-213.
- [11] Ozmen, Y.; Baydar, E.; van Beeck, J.P.A.J. Wind flow over the low-rise building models with gabled roofs having different pitch angles. *Building and Environment*. 2016; 95, 63-74.
- [12] FLUENT, *Fluent User's Guide*, Fluent Incorporated, Lebanon, NH, 2006.
- [13] Ai, Z.T.; Mak, C.M. Potential use of reduced-scale models in CFD simulationsto save numerical resources: Therotical analysisand case studyof flow around an isolated building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2014; 134, 25-29.
- [14] CEDVAL Database (2006), <http://mi.uni-hamburg.de/Data-Sets.432.0.html>
- [15] Ai, Z.T.; Mak, C.M. A study of interunit dispersion around multistorybuildings with single-sided ventilation under different wind directions. *Atmospheric Environment*. 2014; 88, 1-13.