

Farklı Rüzgar Hızlarında Çoklu Bina Etrafındaki Rüzgar Yükünün Sayısal olarak İncelenmesi

Burak DURAN^{ID}*, Halil Hakan AÇIKEL^{ID}*₂

*_{1,2} Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, KAYSERİ

(Alınış / Received: 18.05.2022, Kabul / Accepted: 20.07.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2022)

Anahtar Kelimeler

Bina Aerodinamiği,
Rüzgar Yükü,
ANSYS Fluent,
Türbülans

Öz: Bu çalışmada, birden çok sayıdaki bina yapılarının birbiri üzerindeki rüzgar yükünün sayısal olarak irdelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bina yapıları üzerinde meydana gelen sürüklenme katsayısı, farklı rüzgar hızlarına göre oluşan türbülans kinetik enerjisi, bina yapısı etrafında meydana gelen girdap oluşumları incelenmiştir. Birden fazla sayıdaki bina yapılarının farklı konumlarda yerleşimleri gerçekleştirilerek, bu etkilerdeki değişimin ne ölçüde olduğu incelenmiştir. Yapıların farklı konumlandırılması ile birlikte rüzgarın olumsuz etkilerinin iyileştirilmesi üzerine simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen sayısal analizler boyunca Realizable k-ε türbülans modeli uygulanmıştır. Sayısal modellemelerden elde edilen sonuçlara göre binalar arasındaki mesafenin azalması binaların sürüklenme katsayılarında düşmeye yol açmıştır.

Numerical Analysis of Wind Load Around Multiple Buildings at Different Wind Speeds

Keywords

Building aerodynamics,
Wind Load,
ANSYS Fluent,
Turbulence

Abstract: In this study, numerical analysis of the wind load of multiple building structures on each other was carried out. The drag coefficient on the building structures, the turbulent kinetic energy formed according to different wind speeds, the eddy formations around the building structure were examined. The placement of more than one building structures in different locations has been performed, and the extent of the change in these effects has been examined. Simulations were carried out on the improvement of the negative effects of the wind with the different positioning of the structures. Realizable k-ε turbulence model was applied throughout the numerical analyzes performed in this study. According to the numerical modeling results, decreasing the distance between the buildings resulted in a decrease in the drag coefficients of the buildings.

*İlgili Yazar, email: hhacikel@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda şehir merkezlerinde görülen arazi eksikliği nedeniyle bina yapılarındaki yerleşim önemli bir hal almıştır. Bununla birlikte, bina yapılarının konumlandırılmasında, bina üzerindeki olumsuz rüzgar etkilerinin en aza indirilmesi önemli hale gelmektedir. Bu nedenle binalarda meydana gelen rüzgar etkilerinin azaltılması ile ilgili bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Birden fazla bina sayısı üzerine yapılan çalışmalarda, binalar arası açılarının değiştirilmesi ile birlikte rüzgar etkilerinin ne ölçüde değiştiği üzerine bir çalışma Cürebal ve Özmen [1] tarafından yapılmıştır. Farklı türbülans modellerinde ve 8 farklı bina modeli üzerine yapılan çalışmada, iki bina arasındaki açının değişmesi sonucunda basınç katsayısında (C_p) değişmelerin ortaya çıktığı görülmüştür. Fertelli ve Balta [2] yaptıkları sayısal çalışmada tek ve iki bina modellemesi ile birlikte rüzgar yükünün etkisini incelemişler. Sivas ili için yapılan sayısal analizde RNG k-ε türbülans modeli kullanarak atmosferik sınır tabaka hız profili oluşturulup akım çizgileri, hız vektörleri, ortalama hız ve türbülans kinetik enerji dağılımları ve basınç dağılımları katsayıları

incelenmiştir. Modellemeden elde edilen sonuçlara göre doğrudan rüzgara etkisinde kalan kısımlarda pozitif basınç katsayısı, yan ve arka yüzeylerde negatif basınç katsayısı oluşmuştur. Demir [3] karışık geometriye sahip bina üzerindeki rüzgar yükünü incelemiştir. Yaptığı çalışmada, Spalart-Allmaras, Transition SST ve $k-\omega$ SST olmak üzere 3 farklı türbülans modelini kullanmıştır. Ele alınan binanın batı cephesinde basınç katsayısı pozitif, diğer cephelerde negatif olarak olmuştur. Kuzeydoğu bölgesinde oluşan girdapların etkisi ile C_p değerlerinde ani değişimler olmuştur. Paltun ve diğerleri [4] tarafından yapılan araştırmada, rüzgarın yüksek binalar üzerinde oluşan ciddi aerodinamik etkilerin olumsuz etkileri azaltmaya çalışmışlar. Binanın yüksek bölümlerinde kesit alanının küçültülmesi ve bina cephesine açıklıklar eklenmesi sonucunda binaya etki eden rüzgar yükünde değişiklikler olmuştur. Özellikle bina çatı kısmına yakın kesimlerde oluşturulacak açıklıklar sayesinde bina aerodinamiğinde olumlu etkiler meydana gelmiştir. Silva ve arkadaşları [5] kentsel rüzgar enerjisi kullanımında optimum bina-çatı şeklinin belirlenmesi için izole edilmiş ve kentsel ortamdaki binanın analizi gerçekleştirmişler. Çalışmada çatı-duvar geçiş geometrisinin analizi, optimum çatı genişliği, hassasiyet analizi ve akış üzerindeki bina en-boy etkisi araştırılmıştır. Buffa ve diğerleri [6] yüksek katlı bina yapıları LES (Large Eddy Simulation) modeli ile incelenmiştir. Hem bina yüzeyi hem de sonrasında tanımlanan miktarlar ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Giriş türbülansının yeniden yapılandırılması, bina yüzeyindeki sınır koşulları ve ızgara çözünürlüğü sonuçlarının analizi gözlemlenmiştir. Gölbaşı ve arkadaşları [7] 4 farklı bina modeli etrafındaki akış alanında, ortalama hız ve türbülans hız profillerini parçacık görüntülü hız ölçümü (PIV) yöntemi ile deneysel olarak inceleyip elde edilen sonuçları ANSYS Fluent programı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmışlar. Bina geometrilerine göre bina arka kısmında meydana gelen girdap büyüklüklerinde değişimler olduğu görülmüştür. Avini ve diğerleri [8] tarafından 80 m yüksekliğindeki dikdörtgen kesitli bir binada konfor kriterlerini göz önüne alarak yapılan çalışmada en üst katta rüzgar kaynaklı yatay tepe ivmelenmeleri gözlemlenmiştir. Çevredeki yapıların rüzgar hareketinin ortalama bileşenini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Kumar ve diğerleri [9] yüksek bir binanın alçak bir binanın çatısındaki emme basıncı üzerindeki etkisini araştırmışlar. Yapılan uygun tasarım ile emme basıncında %30'luk azalmaların sağlanabileceği gözlemlenmiştir. Çeşitli boyutlardaki binaların etrafında yaya seviyesindeki rüzgar hızının, bina yüksekliği ve bina en boy oranına etki etmektedir [10]. Sınır tabaka akışındaki bir bina için yaya seviyesindeki rüzgarın aşağı yönlü etkisinin önemli olduğu gözlemlenmiştir. Sınır tabaka akışındaki maksimum hızlanma oranının, düzgün türbülanslı akıştan daha büyük olduğu belirlenmiştir. Yapılan sayısal analizlere göre, sabit genişliğe sahip binalarda maksimum hızlanma oranı ve hızlanma alanı artmıştır. Elshaer ve diğerleri [11] kentsel bölgelerde yoğunlaşan bina yapıları üzerindeki akış etkilerini, yapıların şekline, konumuna ve yüksekliğine bağlı olarak değişimini incelemiştir. İki farklı durum için yapılan çalışmada ortalama rüzgar basınçlarının azalmasına rağmen, kentsel bölgede meydana gelen yoğunluk arttıkça rüzgar basıncındaki dalgalanmalarda artış görülmüştür. Daemei ve arkadaşları [12] tarafından, yüksek bina yapılarındaki rüzgara karşı olan hassasiyet incelenmiştir. Bina yapıları üzerindeki farklı aerodinamik değişimler ve farklı açılar üzerinden yapılan incelemeler sonucunda, bina yapıları üzerindeki sürükleme katsayılarında %66 ve %24 oranında bir azalmanın gerçekleştiği görülmüştür. Ricci, Patruno, Miranda ve Ubertaini [13] tarafından, en-boy oranı 5:1 olan bir dikdörtgen silindir etrafındaki akış incelenmiştir. LES modeli ile akış simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Türbülanslı akışlar altında, farklı akış çeşitlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Farklı türbülans seviyelerinde akış alanı boyutunda yapılan değişimler ile birlikte, farklı konfigürasyonların akış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bruno ve Oberito [14] tarafından, bir kare silindir aerodinamik yapısı etrafındaki akışın çeşitli türbülans modelleri kullanılarak modellenmiştir. Yapılan çalışmada farklı ağ yapılarının sayısal modelleme de meydana getirdiği hatalar araştırılmıştır. Düşük kalitedeki ağ yapılarının sayısal olarak gerçekleştirilen çalışmalarda hata oranının ne olduğu ve bu hataların ağ yapıları üzerinde gerçekleştirilen iyileştirilmelerin etkileri belirlenmiştir. Abdelfatah ve diğerleri [15] alçak binalardaki kasırga gibi şiddetli rüzgar olaylarına karşı savunmasızlık ve sıklıkla görülen kayıpların etkisini incelemişler. Farklı yükseklikte ve farklı çatı yüksekliklerine sahip yapılardaki bina duvarları, zemini ve çatısı üzerindeki meydana gelen basınç katsayılarını (C_p) araştırılmışlar. Daniels ve arkadaşları [16] LES yöntemi ile yüksek binalar üzerindeki akışın yapısı incelenmiştir. Case, Sarkar ve Siritharan [17] gerçek hayatta karşılaşılan kasırga girdap oranlarına göre modellenen düşük katlı binalar üzerindeki kuvvet ve basınç etkileri belirlenmiştir. Mara ve arkadaşları [18] kentsel bölgelerdeki yüksek binaların yakındaki yapılarla etkileşimden dolayı ortaya çıkan akış etkileri incelenmiştir. Aynı yükseklik ve geometriye sahip iki bina arasındaki rüzgar etkileri, rüzgar tüneline deneysel olarak araştırılmıştır. Zhou ve diğerleri [19] yüksek binalara etki eden rüzgar etkisinin, farklı hücum açılarında bükülmüş rüzgar profili ve geleneksel rüzgar profilinin bina üzerindeki rüzgar yüklerini karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bina üzerindeki yükün büyük oranı bükülmüş rüzgar tarafından oluşmuştur. Marsland ve arkadaşları [20] tarafından, modern yüksek binalarda rüzgar nedeniyle ortaya çıkan titreşimin engellemeye çalışmışlardır. Bina katlarındaki cephelerdeki açıklıklarının, konum ve miktarının bina üzerindeki titreşim sorununda daha iyi performans sağladığını gösterilmişler. Yan ve diğerleri [21] tarafından, farklı arazi koşullarında yüksek binalardaki rüzgar etkilerini değerlendirmişler. Elde edilen sonuçlara göre arazi koşullarındaki artan pürüzlülük, rüzgar hızını önemli ölçüde azaltmıştır. Genç ve arkadaşları [22] düşük Reynolds sayılı akışlarda kanat profili üzerinde akışta türbülansa geçiş etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemişler. Elde edilen sayısal sonuçlarda kkl-w türbülans modelinin deneysel sonuçlara daha yakın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, 5:1 en boy oranına (Aspect Ratio) sahip bina yerleşimlerinin farklı rüzgar hızlarında sayısal olarak modellenmiştir. Yapılan bu modelleme ile binaların konumun sürüklenme katsayı (C_D) üzerindeki etkisi ve binaların arkasında oluşan hız ve basınç dağılımları araştırılmıştır.

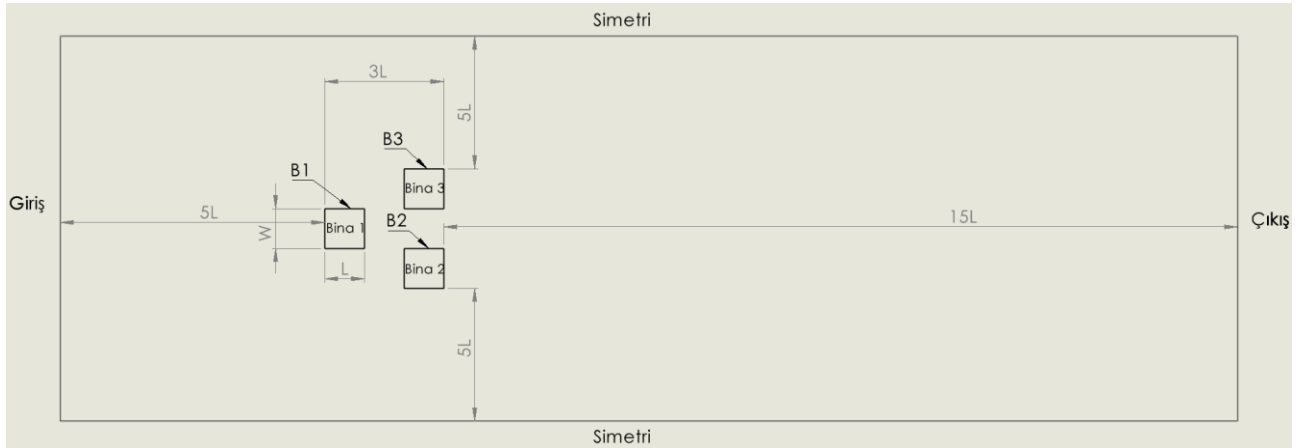
2. Materyal ve Metot

2.1. Sayısal Metot

Yapılan bu çalışmada, aynı boyut ve tipteki üç adet bina yapısı üzerindeki akış farklı mesafeler için 3 boyutlu olarak ANSYS Fluent paket yazılımı ile sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal modellemede Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemi kullanılmıştır. Çözüm aşamasında, türbülanslı akışın karmaşıklığı nedeniyle, yeterli doğrulukta çözüm elde edilebilmesi adına geliştirilmiş modellerden biri olan Realizable k- ϵ türbülans modeli seçilmiştir. Ayrık denklem çözümleri için COUPLED algoritma şeması kullanılırken, gradyan hesabı için 'Least Squares Cell Based' yaklaşımı kullanılmış, geriye kalan diğer tüm parametreler ise 'Second Order Upwind' yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Sayısal Model

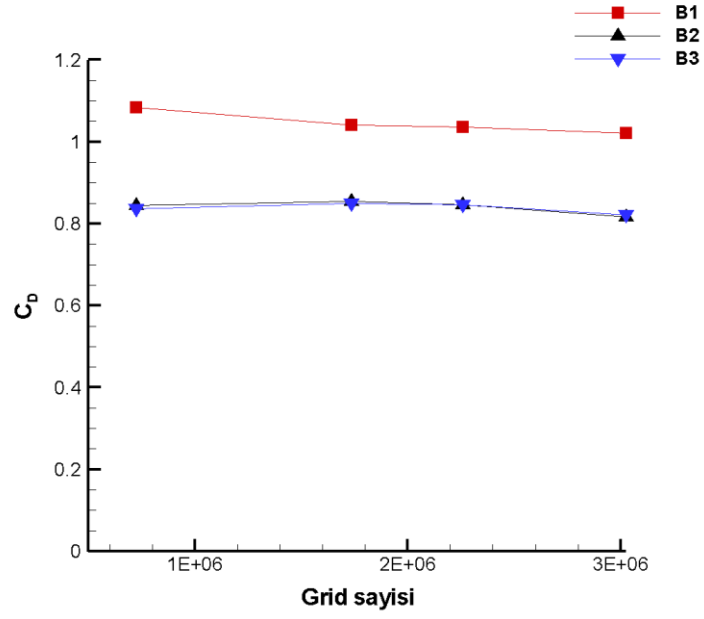
Simülasyon geometrisi, bina kenar uzunluğu $L=1m$, bina yüksekliği $H=5m$, bina genişliği ise $W=1m$ boyutlarındaki üç aynı tip bina yapısının, aynı uzaklıklarda konumlandırılması ile oluşturulmuş ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Akış alanının sol tarafı giriş sağ tarafı ise çıkış olarak tanımlanmıştır. Öndeki bina B1 arkada yer alan binalar B2 ve B3 ile gösterilmiştir. Binaların yan tarafında kalan yüzeyler sınır tabaka etkilerinden dolayı etkilenmemesi için simetri olarak tanımlanmıştır.



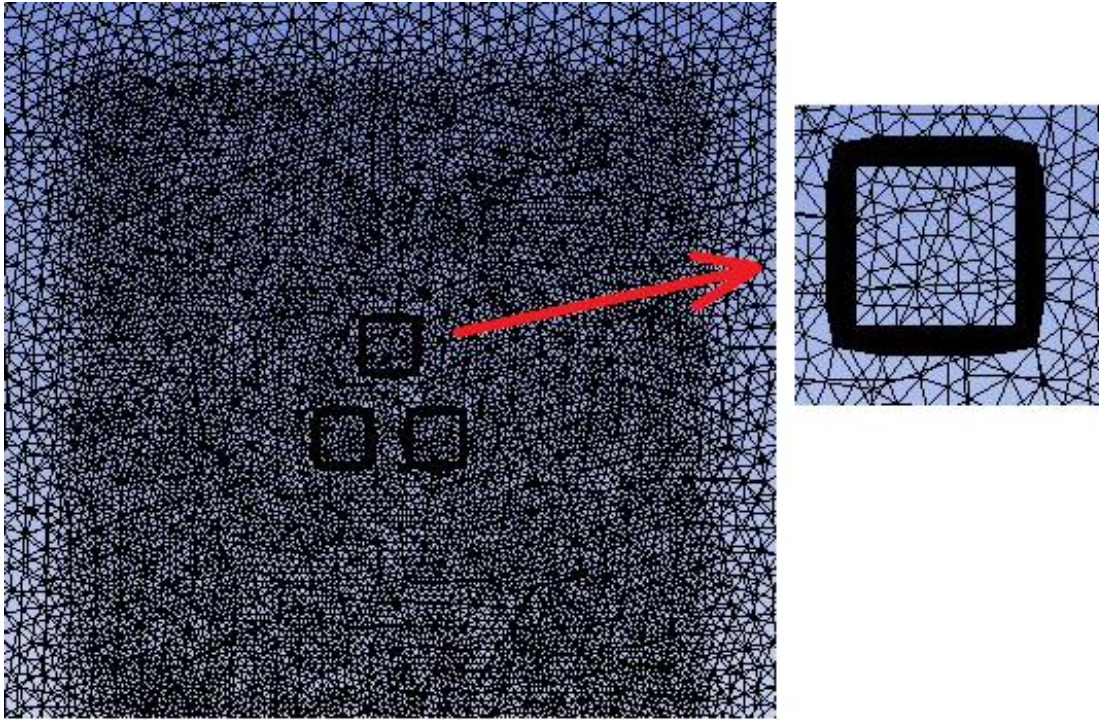
Şekil 1. Bina yerleşimi ve akış alanı

Simülasyon, doğru hesaplama alanı sağlayabilmek adına, binaların boyutu ve toplam alanı dikkate alınarak, akış alanı girişinden $5L$, çıkıştan $15L$ ve bina geometrisi yan bölgelerinden $5L$ uzunluklarında konumlandırılmıştır [23]. Çalışmada, 'Tetrahedrons' ağ yapısı kullanılmıştır ve sonuçların ağ yapısından etkilenmemesi adına ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. 4 farklı ağ yoğunluğu kullanılarak çözümler gerçekleştirilmiş ve Şekil 2'de sunulmuştur.

Ağ bağımsızlığı çalışmalarının sonuçlarının değerlendirilmesi ile birlikte binaların sürüklenme katsayılarındaki değişimlerin %1'in altında olmasından dolayı sonuçların neredeyse yaklaşık 2,25 milyon eleman sayılı ağ yapısı seçilerek çözümler yapılmıştır. Çözümde kullanılan akış alanı için belirlenen sınır şartları, giriş koşulu için 'velocity-inlet', çıkış koşulu için 'pressure-outlet', duvar sınır koşulları için ise 'symmetry' olarak seçilmiştir. Bina yapıları üzerinde kullanılan sınır tabakaları, büyüme oranı 1 olacak şekilde, toplam kalınlık metodu kullanılmış ve toplam katman sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Çözümlerde yakınsama kriteri için 10^{-5} dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Ağdan bağımsızlık çalışması



Şekil 3. Sayısal modellemede kullanılan ağ yapısı

Şekil 3 sayısal modellemede kullanılan ağ yapısını göstermektedir. Akış alanındaki ağ yapısı oluşturulurken ilk önce binaların üzerinde oluşan sınır tabaka etkilerini görebilmek için sınır tabaka ağ yapısı kullanılmıştır. Daha sonra binaların etrafında daha sık ağ yapısı eklenmiştir.

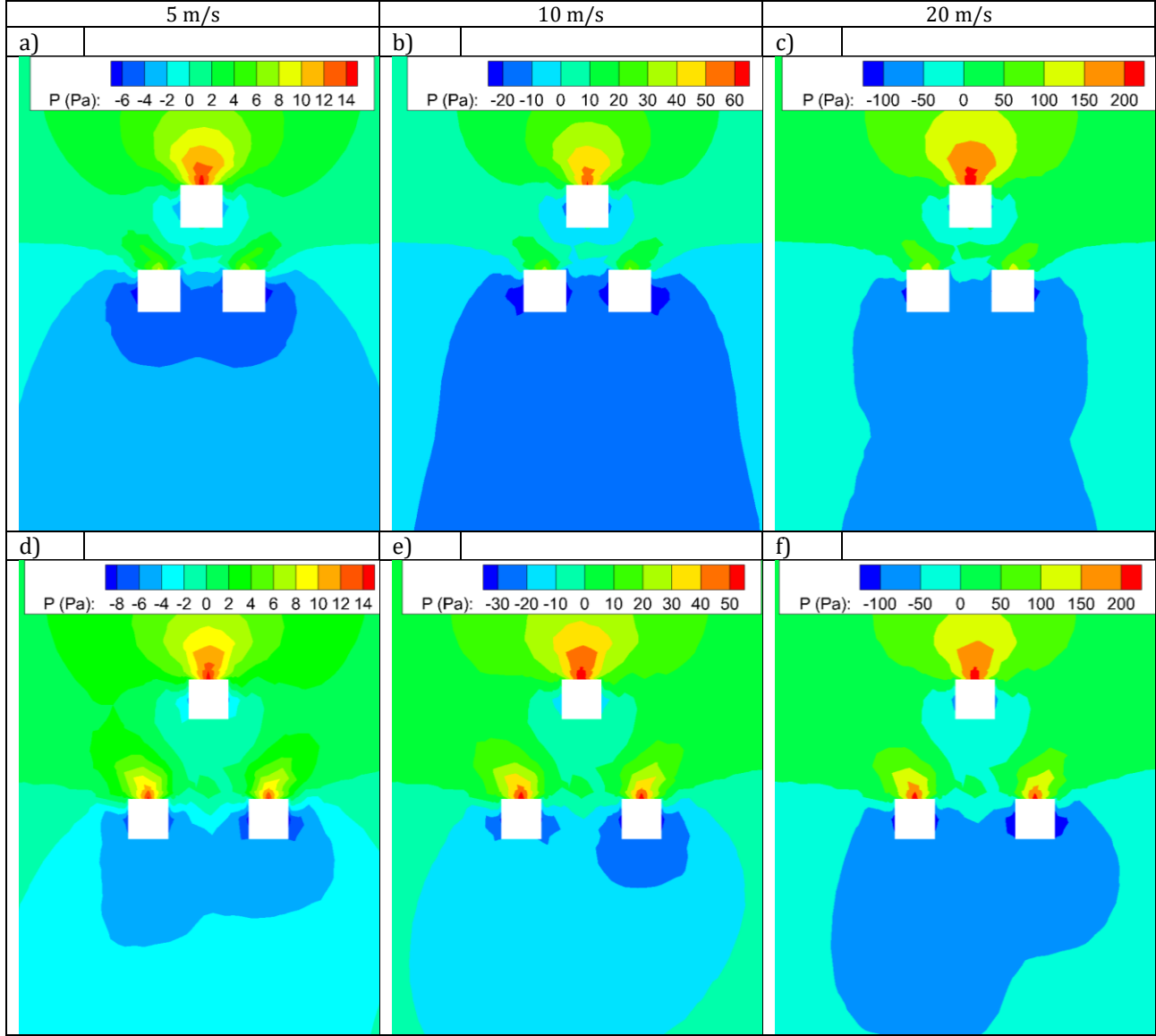
3. Bulgular

3.1. Binaların Basınç Dağılımları

Şekil 4'te farklı rüzgar hızları için (5 m/s, 10 m/s, 20 m/s) yapılan sayısal modellemeye ait basınç dağılımları gösterilmiştir. Basınç dağılımları incelendiğinde en yüksek basıncın tüm rüzgar hızları için öndeki binayı akış ile

karşılaştığı gölgede oluşmuştur. Basınç dağılımlarına göre elde edilen sonuçlarda rüzgar hızının artması ile bina yüzeyinde oluşan basınç yükünün arttığı görülmektedir.

Şekil 4'te farklı rüzgar hızları için (5 m/s, 10 m/s, 20 m/s) yapılan sayısal modellemeye ait basınç dağılımları gösterilmiştir. Basınç dağılımları incelendiğinde en yüksek basıncın tüm rüzgar hızları için öndeki binayı akış ile karşılaştığı gölgede oluşmuştur. Basınç dağılımlarına göre elde edilen sonuçlarda, rüzgar hızının artması ile bina yüzeyinde oluşan basınç yükünün arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Gelen akışa doğrudan maruz kalan yüzeylerde basınç yükünün, binaların kalan diğer bölgelerine oranla çok daha yüksek bir basınç yüküne maruz kaldığı görülmektedir.



Şekil 4. Farklı rüzgar hızları için basınç dağılımları

Akışa doğrudan maruz kalmayan bina yan ve arka yüzeylerinde ise, meydana gelen akış ayrılması durumları neticesinde negatif basınç katsayıları ile karşılaşmaktadır. Binalar arasındaki mesafenin Şekil 4d, 4e ve 4f'de görüldüğü üzere iki bina boyu olduğu durumlardaki elde edilen sonuçlarda görülen negatif basınç katsayısı, binalar arasındaki mesafenin Şekil 4a, 4b ve 4c'de görüldüğü gibi bir bina uzunluğunda olduğu durumlara göre daha düşük seviyelerde ölçülmüştür.

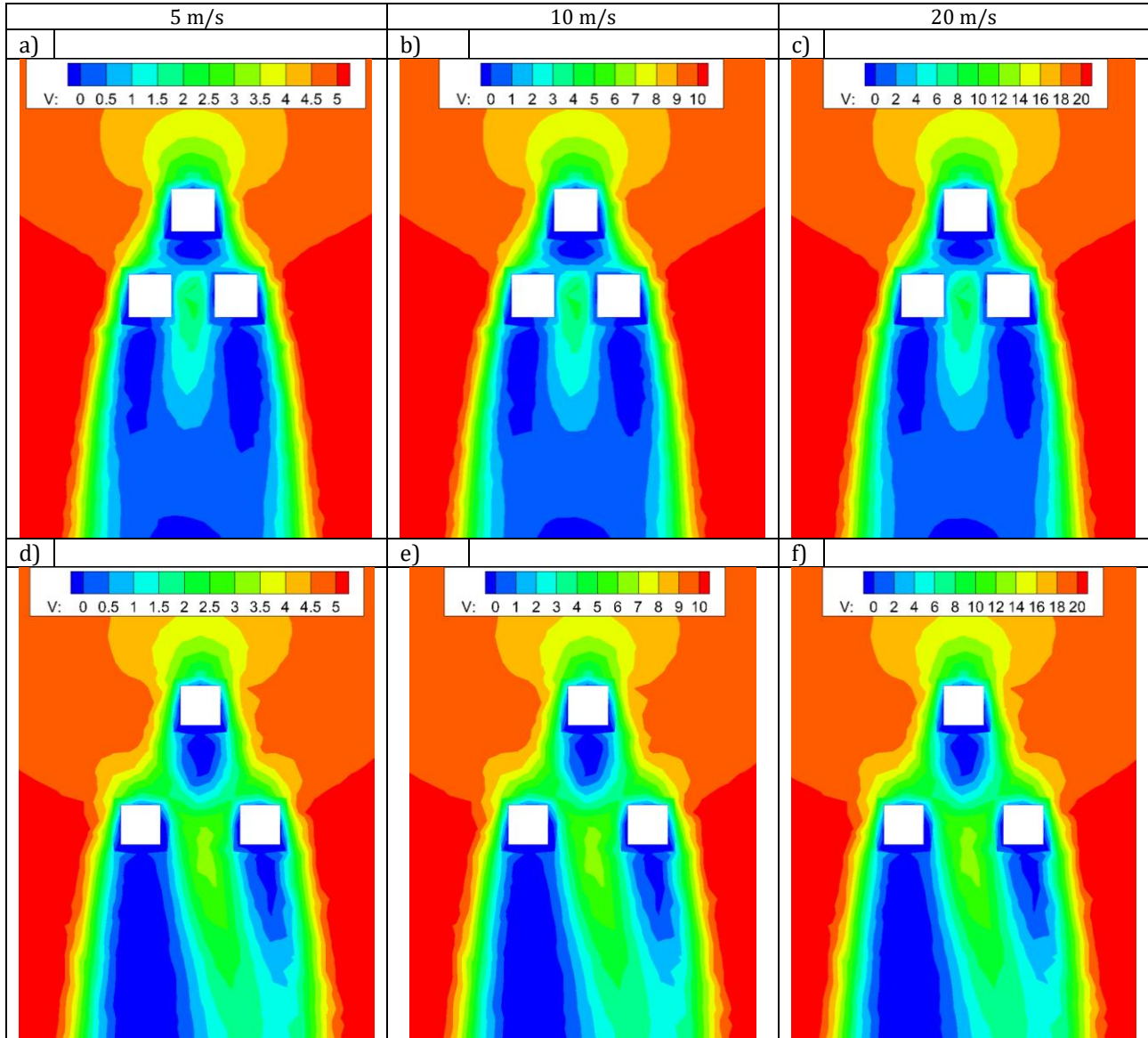
Örneğin Şekil 4c'de ölçülen dar bina modelinde en düşük negatif basınç katsayısı yaklaşık -130Pa olmasına karşın, aynı hız değerlerinde Şekil 4f'de genişletilmiş bina modelinde ölçüden en düşük negatif basınç katsayısı ise yaklaşık -155 Pa olarak ölçülerek ciddi oranda düşüş meydana geldiği görülmektedir. Buna karşın binalar arasındaki mesafenin Şekil 4b'de görüldüğü gibi bir bina uzunluğunda olduğu durumda Şekil 4e'deki gibi binalar arası mesafenin iki bina uzunluğunda artırılması sonucunda, ön binalardaki basınç yükünün, bir bina uzunluğundaki mesafe oranında görüldüğü gibi yaklaşık olarak 64 Pa gibi neredeyse aynı değerlerde olduğu

görülmüştür. Diğer yandan ise Şekil 4e'deki arka bölgede kalan iki binanın akışla karşılaştığı bölgelerinde yaklaşık 22 Pa değerinden, yaklaşık olarak 64 Pa kadar ölçülen önemli ölçüde basınç yükü artışı görülmektedir. Binalar arası mesafenin Şekil 4d, 4e ve 4f'deki gibi arttırıldığı durumda arka iki bina arasındaki basınç yükünün, Şekil 4a, 4b ve 4c'ye göre arttığı ve bunun da arka iki bina üzerindeki basınç yükünün artmasıyla doğrudan ilgisi olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, binalar arası mesafenin arttırılması ile birlikte, bina yapıları üzerinde pozitif ve negatif basınç yüklerinde artış görülmektedir. Binaların konumlandırılmasında olumsuz basınç etkileri ve dolayısıyla karşılaşılan olumsuz konfor etkilerinin önüne geçilebilmesi adına bina aralarındaki mesafe uzunluğunun dikkate alınması önem arz etmektedir.

3.2. Binaların Hız Dağılımları

Şekil 5'te görüldüğü gibi akış hızının arttırılması sonucunda bina çevresinde meydana gelen türbülanslı akış nedeniyle doğrusal bir biçimde artış söz konusu olmaktadır. Akışa dik şekilde konumlandırılmış olan bina yapıları ele alındığında, akışın direkt olarak temas ettiği bina ön yüzlerinde, hız değerlerinin düşük seviyelerde kaldığı görülmektedir. Bina etrafından ayrılan akışın, türbülans etkisiyle, bina yüzeylerine nazaran oldukça yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Farklı rüzgar hızları için hız dağılımları

Binalar arasındaki mesafenin Şekil 5a, 5b ve 5c'de görüldüğü üzere bir bina uzunluğunda olduğu durumlarda, binalar arasındaki hız değerlerinin ve ayrıca arka bölgedeki iki bina arasında meydana gelen hız değerlerinin düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

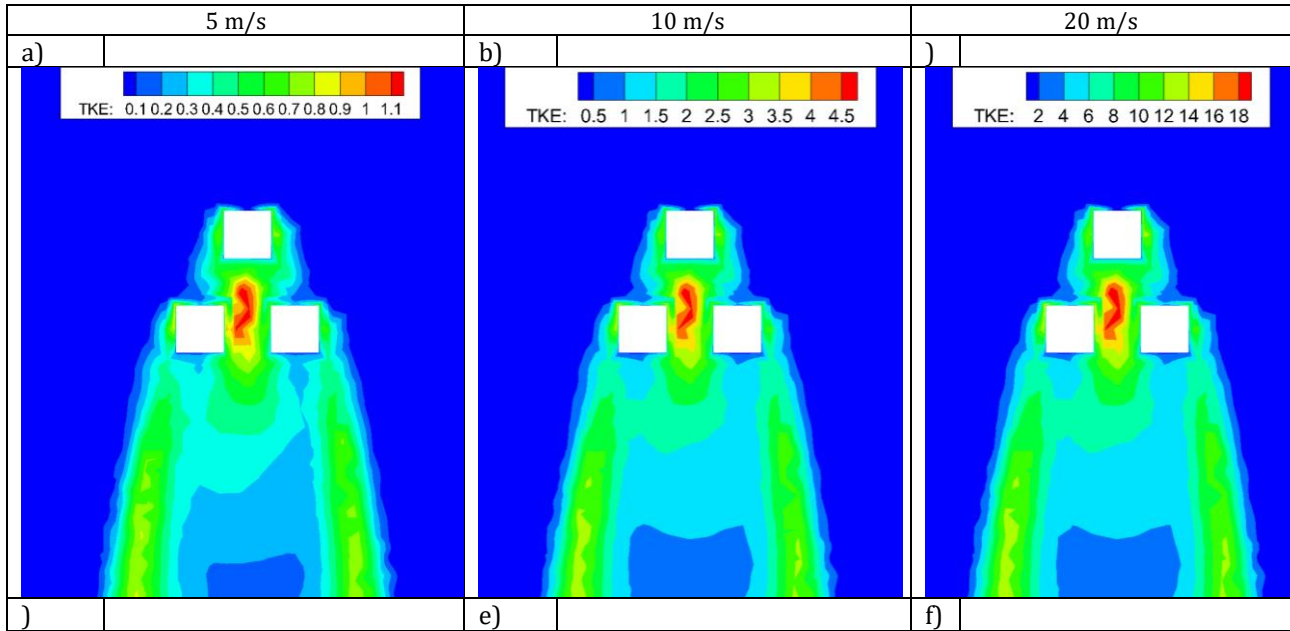
Örneğin, Şekil 5c'de binalar arasındaki hız oranının en yüksek olduğu değer yaklaşık olarak 9 m/s'ye kadar ölçülürken, bu değer Şekil 5f'de ise yaklaşık olarak 16 m/s değerlerine kadar çıkmaktadır. Buna karşılık binalar arasındaki mesafenin Şekil 5d, 5e ve 5f'de görüldüğü gibi iki bina uzunluğunda arttırıldığı durumlarda ise, ön bina ile arka iki bina arasında meydana gelen hız değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca arka iki bina arasındaki mesafenin Şekil 5d, 5e ve 5f'de artmasıyla birlikte, ayrılmış olan akış vasıtasıyla binalar arasındaki hız değerlerinin, dar bina modellemesine göre daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir.

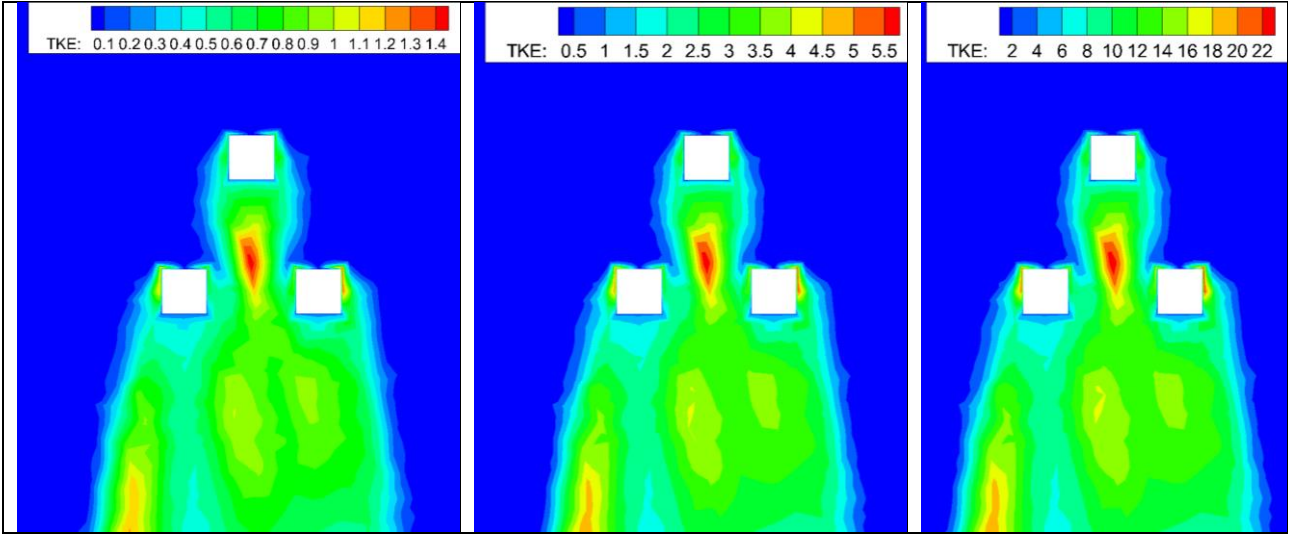
Bina yapıları etrafındaki akış ayrılması durumları neticesinde meydana gelen, en yüksek hız değerlerinin görüldüğü bölgelerde, binalar arasındaki mesafenin arttırılması ile birlikte hız değerlerinin belli bir ölçüde azaldığı görülmektedir.

Binalar arasındaki mesafenin arttırıldığı Şekil 5d, 5e ve 5f görsellerinde, artan bina arası mesafeler neticesinde arka bölgede bulunan iki bina modelinin ardında ölçülen hız değerleri, çeşitli akış bozulmaları ve mesafe nedeniyle Şekil 5a, 5b ve 5c'ye göre simetrik olarak benzer değerlerde çıkmadığı görülmektedir. Örneğin, Şekil 5a'da arka iki bina arkasındaki görülen hız değerleri neredeyse 0 olarak ölçülürken, Şekil 5d'de bina 2 arkasındaki değer yaklaşık 0'ken, bina 3'teki hız değeri yaklaşık 2.3 değerlerinde ölçülerek aralarındaki asimetrik hız farkı oluşmaktadır. Aynı zamanda akışın direkt olarak etki etmediği bina arka yüzeylerinde en düşük hız seviyeleri ölçülmüştür. Binalar arasındaki mesafenin arttırılması, üç bina arasındaki düşük hız seviyesinde artışa neden olarak olumsuz etki göstermektedir. Rüzgar hızının yüksek olduğu bölgelerde, rüzgarın olumsuz etkilerinin en aza indirmek amacıyla, binalar arasındaki mesafenin ayarlanmasına dikkat edilerek olumsuz etkilerin önüne geçilmesine özen gösterilmelidir.

3.3. Binaların Türbülans Kinetik Enerji Dağılımları

Şekil 6'da farklı rüzgar hızları için (5 m/s, 10 m/s, 20 m/s) yapılan sayısal modellemeye ait türbülans kinetik enerji dağılımı gösterilmiştir. Akış hızının artmasıyla birlikte türbülans kinetik enerji değerlerinde doğrusal bir artış meydana gelmektedir. Binalar arası mesafenin bir bina uzunluğunda olduğu durumda, üç bina arasında meydana gelen türbülans kinetik enerji değeri en yüksek seviyede elde edilmektedir. Buna karşılık binalar arası mesafenin, iki bina uzunluğunda arttırılması neticesinde, türbülans kinetik enerji değeri dar bina modellemesine nazaran binalar arasında daha düşük seviyelerde görülmektedir. Bina yan ve arka bölümlerinde yüksek seviyelerde seyreden türbülans kinetik enerji değeri, binaların arasındaki mesafenin arttırılması sonucunda, dar bina modellemesine göre daha geniş bir alanda yüksek seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca binalar arası mesafenin arttırılması ile beraber, arka iki bina etrafındaki türbülans kinetik enerjisi dar bina modellemesine göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Binaların etkisinde olmayan akış hattı boyunca, türbülans kinetik enerji en düşük seviyelerde görülmektedir.





Şekil 6. Farklı hızlar için türbülans kinetik enerji (TKE) dağılımları

3.4. Binaların Sürüklenme Katsayıları

Farklı rüzgar hızlarında binalar arasındaki mesafenin bir ve 2 bina genişliği kadar olduğu durumlara ait sürüklenme katsayısı değerleri Tablo 1’de verilmiştir. B1 öndeki binaya, B2 ve B3 ise arkadaki binaları göstermektedir. Gu ve arkadaşları [24] yaptıkları çalışmada 2 boyutlu dikdörtgen yapılarda en boy oranı arttıkça sürüklenme katsayısının azaldığını görmüşler. En düşük rüzgar hızı olan 5 m/s için öndeki binanın sürüklenme katsayısı 1.037 iken arkadaki binaların sürüklenme katsayısı 0.840’a düşmüştür. Rüzgar hızının artması ile birlikte öndeki binanın sürüklenme katsayısı 1.037’den 1.034’e düşmüştür.

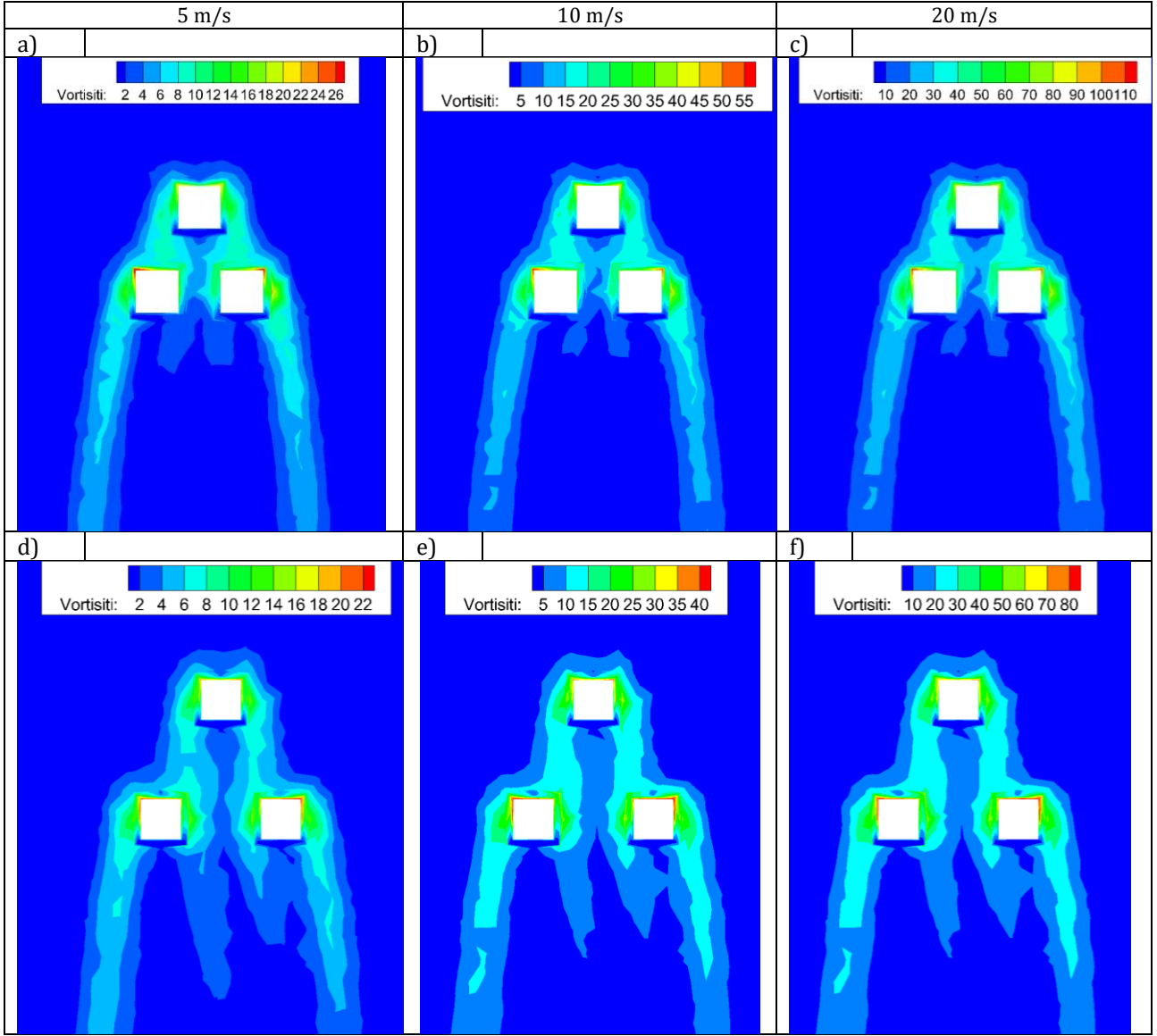
Tablo 1. Farklı mesafelerde binaların sürüklenme katsayıları

Bina/Hız	1m			2m			
	5 m/s	10 m/s	20 m/s	5 m/s	10 m/s	20 m/s	
B1	1,037	1,035	1,034	B1	1,106	1,105	1,104
B2	0,840	0,846	0,847	B2	1,327	1,329	1,331
B3	0,846	0,846	0,847	B3	1,215	1,219	1,220

Rüzgar hızının artması arkadaki binaların sürüklenme katsayısında çok fazla değişikliğe yol açmamıştır. Binalar arasındaki mesafenin 2 bina genişliğine çıkarılması tüm binaların sürüklenme katsayılarında artışa yol açmıştır. Öndeki bina için bir bina genişliğinde 5 m/s’lik rüzgar hızında sürüklenme katsayısı 1.037 iken, iki bina genişliğinde 1.106 olmuştur. Rüzgar hızının maksimum olduğu durumda ise (20 m/s) her iki durum için sürüklenme katsayıları sırası ile 1.034 ve 1.104’tür. Arkadaki binaların sürüklenme katsayılarındaki artış ise daha yüksektir. En yüksek rüzgar hızı olan 20 m/s için arkada yer alan binaların sürüklenme katsayısı yaklaşık 0.84’ten 1.22’ye yükselmiştir.

3.5. Binaların arkasında oluşan vorteks dağılımları

Farklı hız ve bina yerleşimlerine ait vortisite dağılımları Şekil 7’de sunulmuştur. Şekil 7a, 7b ve 7c bir bina mesafesi için vorteks dağılımlarını gösterirken Şekil 7d, 7e ve 7f ise 2iki bina mesafesi için oluşan vorteks dağılımlarını göstermektedir. Binalar arasındaki uzaklık bir bina kadar olduğunda rüzgar hızının artması ile birlikte vortisite değeri 26’dan 110’a yükselmiştir. En yüksek rüzgar hızı olan 20 m/s için binalar arasındaki mesafenin 2 bina boyuna çıkarılması ile oluşan maksimum vortisite değeri 110’dan 80’e düşmüştür.



Şekil 7. Farklı hızlar için vortisiti dağılımları

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, farklı rüzgar yüklerinde çoklu binaların etrafındaki akış sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışmada binalar arasındaki mesafenin bir ve iki bina genişliği olduğu durumlar ele alınmıştır. Binaların etrafında oluşan akış yapıları ve binaların sürüklenme katsayıları farklı rüzgar hızları için değerlendirilmiştir. Sayısal modellemeden elde edilen sonuçlara göre, arkadaki binaların arasındaki mesafe arttıkça binaları sürüklenme katsayısı (C_D) da artmaktadır. Örneğin çalışmada belirlene en yüksek rüzgar hızı olan 20 m/s için sürüklenme katsayısı yaklaşık 0.85'ten 1.21'e yükselmiştir. Binaların arkasındaki negatif basınç değerlerinde ise yaklaşık %20'lik bir artış olmuştur. Rüzgar hızının artması binaların arkasında oluşan vortisiti değerlerinin artırırken aynı rüzgar hızında binaların arasındaki mesafenin artması oluşan maksimum vortisiti değerlerinde azalmaya yol açmıştır.

Kaynakça

- [1] Cürebal, T., & Özmen, Y., 2022. "Açılı konumlandırılmış iki bina arasındaki açının hız ve basınç dağılımı üzerine etkisinin sayısal incelenmesi. Politeknik Dergisi, 361-371.
- [2] Fertelli, A., & Balta, M., 2017. Tek ve iki bina etrafındaki rüzgar etkilerinin sayısal olarak incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32.3: 111-120.

- [3] Demir, H., 2021. Numerical Investigation of Wind Loads on Building with Various Turbulence Models. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 37.2.
- [4] Paltun, S., Gültekin, A., & Çelebi, G., 2015. Binaların Aerodinamik Biçimsel Yapısının İrdelenmesi Bina Formu ve Rüzgar İlişkisi. 2nd International Sustainable Buildings Symposium, 28-30 Mayıs, Ankara, 431-439.
- [5] Toja-Silva, F., et al. 2016. An empirical-heuristic optimization of the building-roof geometry for urban wind energy exploitation on high-rise buildings. Applied Energy, 164, 769-794.
- [6] Buffa, E., Jacob, J., & Sagaut, P., 2021. Lattice-Boltzmann-based large-eddy simulation of high-rise building aerodynamics with inlet turbulence reconstruction. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 212, 104560.
- [7] Gölbaşı, D., Buyruk, E., Karabulut, K., & Şahin, B., 2017. Değişik Bina Modelleri İçin Akış Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 19-22 Nisan, İzmir, 229-248.
- [8] Avini, R., Kumar, P., & Hughes, S., 2019. Wind loading on high-rise buildings and the comfort effects on the occupants. Sustainable cities and society, 45, 378-394.
- [9] Kumar, S., Elanchezian, C., & Ramnath, B., 2019 Wind Effects of an Upstream Building on a Low-Rise Building. Materials Today: Proceedings, 16, 444-448.
- [10] Tamura, Y., Xu, X., & Yang, Q., 2019. Characteristics of pedestrian-level Mean wind speed around square buildings: Effects of height, width, size and approaching flow profile. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 192, 74-87.
- [11] Elshaer, A., et al. 2017. Variations in wind load on tall buildings due to urban development. Sustainable cities and society, 34, 264-277.
- [12] Daemei, A., et al. 2019. Study on wind aerodynamic and flow characteristics of triangular-shaped tall buildings and CFD simulation in order to assess drag coefficient. Ain shams engineering journal, 10.3, 541-548.
- [13] Ricci, M., et al. 2017. Flow field around a 5: 1 rectangular cylinder using LES: Influence of inflow turbulence conditions, spanwise domain size and their interaction. Computers & Fluids, 149, 181-193.
- [14] Bruno, L., & Oberto, D., 2022. Effects of cell quality in grid boundary layer on the simulated flow around a square cylinder. Computers & Fluids, 238, 105351.
- [15] Abdelfatah, N., et al. 2022. Experimental investigation of wind impact on low-rise elevated residences. Engineering Structures, 257, 114096.
- [16] Daniels, S., Castro, I., & Xie, Z., 2013. Peak loading and surface pressure fluctuations of a tall model building. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 120, 19-28.
- [17] Case, J., Sarkar, P., & Sritharan, S., 2014. Effect of low-rise building geometry on tornado-induced loads. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 133, 124-134.
- [18] Mara, T. G., et al. 2014. Aerodynamic and peak response interference factors for an upstream square building of identical height. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 133, 200-210.
- [19] Zhou, L., Tse, K., & Hu, G., 2022. Experimental investigation on the aerodynamic characteristics of a tall building subjected to twisted wind. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 224, 104976.
- [20] Marsland, L., et al. 2022. Improving aerodynamic performance of tall buildings using façade openings at service floors. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 225, 104997.
- [21] Yan, B., et al. 2022. Modeling of downburst outflows and wind pressures on a high-rise building under different terrain conditions. Journal of Building Engineering, 48, 103738.
- [22] Franke, J., et al. 2007. Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment-a summary. 11th Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes.
- [23] Genc, M., Lock, G., & Kaynak, U. 2008. An experimental and computational study of low Re number transitional flows over an aerofoil with leading edge slat. The 26th Congress of ICAS and 8th AIAA ATIO p. 8877.
- [24] Gu, M., Wang, X., & Quan, Y. 2020. Wind tunnel test study on effects of chamfered corners on the aerodynamic characteristics of 2D rectangular prisms. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 204, 104305.