



*Research Article*

## **Title: Investigation of Wind Flow Around Tall Rectangular Buildings**

**Houshyar Eimani<sup>1\*</sup>, Behnaz Niknam<sup>2</sup>**

*1\**- Associate Professor, Technical Faculty of Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

*2*- Master of Structures, Islamic Azad University, Germe Branch, Germe, Iran

Received: 17 April 2024; Revised: 21 April 2024; Accepted: 28 May 2024; Published: 05 June 2024

### **Abstract**

*Wind flow around buildings affects worker safety, construction equipment performance, air and pollution protection at entrances, and the ability to control temperature, humidity, airflow, and pollutants inside. Wind creates variable pressures on buildings that change the flow rates of inlet and outlet systems, natural ventilation, infiltration and explosion, and internal pressures. The average wind flow patterns and resulting turbulence as it passes over a building can return exhaust gases to air inlets. In this research, three buildings with rectangular plan dimensions of 30 meters by 45 meters and heights of 180, 120 and 240 meters have been modeled and the effect of changing the height of these buildings on the wind flow around them has been investigated. The results show that with the increase in height and the rest of the characteristics of the buildings remaining constant, the average wind speed around buildings with a height of 180 and 120 meters has reached 10 meters per second, and the comfort of passers-by around them is endangered; But the average wind speed around the building with a height of 240 meters and at the level of pedestrians has reached up to 5 meters per second and is within the permissible range. The suction in the building with a height of 240 meters takes place behind the building and at the level of its upper quarter. The suction behind the 180-meter building is equal to the suction behind the 120-meter building, but the location of the suction behind the 120-meter building is as far as the large dimension of the plan.*

**Keywords:** *Tall building, wind flow, large eddy simulation, average wind speed, CAARC standard building*

**Cite this article as:** Eimani Kalehsar,H. and Niknam,B. (2024). Investigation of Wind Flow Around Tall Rectangular Buildings. (e197391). Civil and Project, 6(9), e197391.  
<https://doi.org/10.22034/cpj.2024.458271.1293>

**ISSN:** 2676-511X / **Copyright:** © 2024 by the authors.

**Open Access:** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Journal's Note:** CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



## نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

### بررسی جریان باد حول ساختمان‌های بلند با پلان مستطیلی

هوشیار ایمانی کله سر<sup>۱\*</sup>، بهناز نیکنام<sup>۲</sup>

\*۱- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمی، گرمی، ایران

تاریخ دریافت: ۲۹ فروردین ۱۴۰۳؛ تاریخ بازنگری: ۰۲ اردیبهشت ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۰۸ خرداد ۱۴۰۳؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۶ خرداد ۱۴۰۳

#### چکیده:

جریان باد در اطراف ساختمان‌ها بر ایمنی کارگران، عملکرد تجهیزات ساختمانی، حفاظت از هوا و آلودگی در ورودی‌ها، و قابلیت کنترل دما، رطوبت، جریان هوا و آلاینده‌ها در داخل آنها تأثیر می‌گذارد. باد فشارهای متغیری بر روی ساختمان‌ها ایجاد می‌کند که نرخ جریان سیستم‌های ورودی و خروجی، تهویه طبیعی، نفوذ و انفجار، و فشارهای داخلی را تغییر می‌دهد. الگوهای جریان میانگین باد و آشفتگی ناشی از آن که از روی یک ساختمان عبور می‌کند می‌تواند گازهای خروجی را به ورودی هوا بازگرداند. در این تحقیق سه ساختمان با ابعاد پلان مستطیل ۳۰ متر در ۴۵ متر و با ارتفاع‌های ۱۲۰، ۱۸۰، و ۲۴۰ متر مدل‌سازی و اثر تغییر ارتفاع این ساختمان‌ها بر جریان باد در اطراف آنها بررسی گردیده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع و ثابت ماندن بقیه مشخصات ساختمان‌ها، سرعت میانگین باد در اطراف ساختمان‌های با ارتفاع ۱۸۰ و ۱۲۰ متر، به ۱۰ متر بر ثانیه رسیده و آسایش عابران را در اطراف آنها به مخاطره می‌اندازد؛ ولی سرعت میانگین باد در اطراف ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متر و در تراز گذر عابران تا ۵ متر بر ثانیه رسیده و در محدوده مجاز می‌باشد. مکش در ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متر در پشت ساختمان و در تراز یک‌چهارم بالایی آن اتفاق می‌افتد. مکش در پشت ساختمان ۱۸۰ متری برابر با مکش در پشت ساختمان ۱۲۰ متر می‌باشد ولی محل تشکیل مکش در پشت ساختمان ۱۲۰ متری به‌اندازه بعد بزرگ پلان از آن فاصله می‌گیرد.

#### کلمات کلیدی:

ساختمان بلند، جریان باد، شبیه‌سازی پیچک‌های بزرگ، سرعت میانگین باد، ساختمان استاندارد CAARC

## ۱- مقدمه

از نظر مهندسی هنگامی می‌توان سازه را بلند نامید که ارتفاع آن باعث شود نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله، بر طراحی آن اثر قابل توجهی گذارند. در سازه‌های بلند تغییر مکان جانبی ساختمان چنان زیاد می‌شود که ملاحظات سختی نسبت به مقاومت مصالح سازه‌ای، کنترل کننده طرح می‌گردند. در حالت کلی ساختمان‌های بلند در معرض نیروهای وارده از باد دارای سه نوع حرکت در امتداد وزش باد، عمود بر امتداد وزش باد و حرکت پیچشی می‌باشند که معمولاً به طور هم‌زمان رخ می‌دهد. اما باتوجه به ماهیت متغیر و غیر ثابت باد، تحلیل ساختمان‌ها در مقابل بار باد مشکل می‌باشد. در مطالعه حاضر به بررسی و معرفی اثر سرعت میانگین باد بر ساختمان‌های بلند و تأثیر ارتفاع آنها بر تغییرات سرعت باد در اطراف آنها پرداخته می‌شود. در کل ارتفاع سازه یا همان لاغری یکی از مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر رفتار سازه تحت نیروی باد می‌باشد. ابعاد ساختمان در برخورد مستقیم با نیروی باد موثر می‌باشد؛ بنابراین ارتفاع ساختمان تأثیر چشمگیری در هدایت نیروی باد ارتعاش حاصل از باد دارد. لذا سرعت میانگین باد در اطراف ساختمانها به‌عنوان نتایج خروجی اصلی حاصل از نرم‌افزار ANSYS مورد بررسی قرار گرفته است.

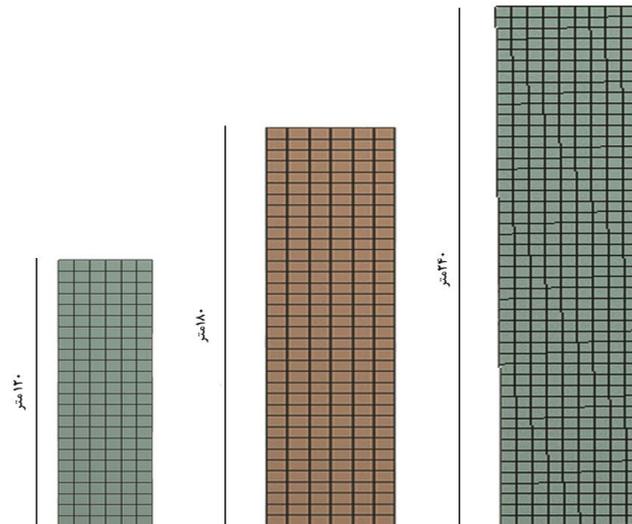
## ۲- مروری بر ادبیات فنی

در اواسط سال ۱۹۶۰ آزمایشات تونل باد برای اولین بار مطرح و در ساختمان مرکز تجارت جهانی<sup>۱</sup> در نیویورک در سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۱ مورد استفاده قرار گرفت. در تونل باد با مدلسازی ساختمان با مقیاس مناسب و اعمال نیروی باد، رفتار ساختمان در برابر نیروهای جانبی باد به دقت بررسی می‌گردد. بعدها به کمک چنین آزمایشاتی و تغییر هندسه ساختمان در راستای کاهش آثار باد، رفتار ساختمان‌های بلند بهبود یافت. تلاش مهندسی بر روی تخلیه نیروهای باد از پیرامون ساختمان‌های بلند نیز مدنظر می‌باشد. از جمله کارهای پیشگام در مورد آیرودینامیک ساختمان‌ها توسط داونپورت (۱۹۷۱) صورت گرفته است. با رونق گرفتن ساختمانهای بسیار بلند در دهه ۱۹۹۰، تحقیقات بیشتری انجام گردیده و نتایج نشان دادند که اصلاحات زوایای پلان ساختمانهای بلند با کاهش بالقوه نیروهای آیرودینامیکی می‌باشد. پیش آمدگی و فرورفتگی، بازشوها و شکاف‌ها و آثار ناشی از پیچش برپاسخ سازه ساختمانهای بلند موثر می‌باشند. آثار بالقوه چنین اصلاحات آیرودینامیکی بر روی ابعاد اقتصادی (هزینه و فضای قابل استفاده) نیز بررسی شده است. در این تحقیق آثار ناشی از شکل و ارتفاع ساختمان با استفاده از آزمایش های مدل آیرودینامیکی صورت گرفته است. یک مدل آیرودینامیک با پلان مستطیلی و با نسبت ابعاد (۱:۲:۱۲) را مورد مطالعه قرار داده و ضمن استخراج طیف بی بعد نیروی عرضی ساختمان، جریان باد را حول ساختمانهای فوق اندازه گرفته و طی نمودارهایی ترسیم نمود (Eimani-kalehsar, 2000). در اقدامی به انجام آزمایش های همه جانبه تونل باد برای پیکربندی های متعدد ساختمان نموده که از آن جمله می‌توان به مدل های اساسی (مربع، گرد، مستطیلی و بیضی)، مدل های اصلاح یافته زاویه، مدل های تک بر، مدل های باریک شده، مدل های مارپیچی (پیچشی)، مدل های باز و مدل های مرکب با در نظر گرفتن لاغری ساختمان اشاره نمود. این داده ها نه تنها برای طراحی مقدماتی سودمند می‌باشد؛ بلکه فرانس های ارزشمندی را برای کارهای تحقیقاتی بیشتر در مورد آیرودینامیک ساختمان‌ها ارائه می‌کند (Tamura, 2013). در تحقیقی دیگر ساختمان دو بعدی را تحلیل عددی کرده و جریان باد را حول آن اندازه گیری کرده و طیف بی بعد نیروی عرضی را استخراج نمود (Eimani-kalehsar & Agha Alizadeh, 2013). در تحقیق بعدی ضریب ضربه ساختمانها بر یکدیگر بررسی و برای موقعیت ها و سرعت های میانگین باد ضرائبی ارائه گردید (Mohammadi, 2015). در خصوص طراحی ساختمانهای لاغر در مقابل باد نشان داد که هرچه ارتفاع ساختمان بیشتر شود اثر باد افزایش می‌یابد. وی دریافت که در این شرایط، اجرای ساختمانها با مصالح کامپوزیت، آثار ناشی از باد را کاهش می‌یابد (Qureshi, 2015). به بررسی اثر باد بر سازه‌های بلند و لاغر دارای شکل‌های هندسی متفاوت در پلان با استفاده از روش اجزای محدود پرداخت که پارامترهای متغیر مورد نظر به ترتیب شامل ارتفاع طبقات (ساختمان‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه) و شکل هندسی پلان (مربع، مستطیل و شش‌ضلعی) بودند نتایج حاصل نشان داد که با افزایش ارتفاع سازه مقادیر بیشینه جابجایی ناشی از اعمال بارهای ناشی از باد در حالت ساختمان‌های منفرد، افزایش می‌یابد؛ به طوری که بیشینه

جابجایی حاصل در ساختمان ۲۰ طبقه به میزان ۱۵۷ درصد نسبت به ساختمان ۱۰ طبقه افزایش نشان داده و از سوی دیگر نتایج حاصل نشان دادند که عملکرد ساختمان‌های با شکل هندسی (پلان) شش ضلعی در مقایسه با سایر پلان‌ها به مراتب مناسب‌تر می‌باشد (Nasiri Porehshkarsaraei & Rabiefar, 2015). با بررسی ساختمانهای لاغر با پلان مختلف به این نتیجه رسید که در حالت کلی می‌توان دریافت با فرض سیستم سازه ای و شرایط ژئوتکنیکی ساختمان یکسان شکل و با در نظر گرفتن وزن موثر لرزه ای سازه در مقابل زلزله، شکل پلان تأثیری در برش پایه سازه‌ها نخواهد داشت. این در حالی است که پاسخ سازه به شدت تحت تأثیر شکل پلان سازه و جانمایی آن تحت بار باد قرار دارد (Izadi, 2016). یک ساختمان مستطیلی را با زوایای مختلف تحت اثر باد تحلیل کرد و نتیجه گرفت که با افزایش ارتفاع ستونها تغییر شکل آنها بیشتر میشود (Devi, 2021). یک ساختمان بلند شش ضلعی منتظم چند درجه آزادی را در تونل باد آزمایش کرده و نسبت میرایی آئرو دینامیکی عرضی را بدست آوردند (Fan & Lu & Wang, 2023). جریان باد را در اطراف استوانه‌های مربع سه بعدی (۳ بعدی) دارای باز شو در جهت طولی و عرضی با نسبت عرض به ارتفاع ۱:۶ و با استفاده از روش شبیه سازی پیچک های بزرگ (LES) با نرم افزار فلوئنت شبیه سازی کردند (Gu & et.al., 2023). هشت نوع ساختمان بلند مدل‌ها به صورت تجربی مورد مطالعه قرار داده تا اثر آیرودینامیکی بر روی آنها بررسی کنند. آنها از روش دینامیک سیالات محاسباتی آبرای شبیه‌سازی مقاطع مختلف مدل‌های ساختمانی استفاده کرده و تحت سه سرعت میانگین باد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر بر ثانیه نتایج را بدست آورده و مشاهده کردند که شکل ساختمان‌های مرتفع تأثیر زیادی بر نیروی پسا بر روی ساختمان‌ها دارد (Hassan Ahmed & et.al., 2023).

### ۳- روش کار

در کار تحقیقاتی حاضر، با استفاده از نرم‌افزار ANSYS مسئله اندرکنش سازه و سیال<sup>۳</sup> را در نظر گرفته و سپس مدل‌های مورد استفاده در حالت‌های مختلف که شرح داده می‌شود به تحلیل و آنالیز گذاشته می‌شود. شبیه‌سازی لایه مرزی جوی در تونل باد و مشخصات دینامیکی سازه‌ها مطابق تونل‌های باد آزمایشگاهی سرلوحه عمل در این مدل‌سازی می‌باشند. در این تحقیق ساختمان استاندارد CAARC با پلان مستطیل و همان پلان با ارتفاع‌های مختلف و با لاغری‌های متفاوت مدل‌سازی گردیده و اثر تغییر ارتفاع این ساختمان (یکی کمتر بلندتر از آن و یکی کوتاه تر از آن) بر روی جریان باد بررسی گردیدند.



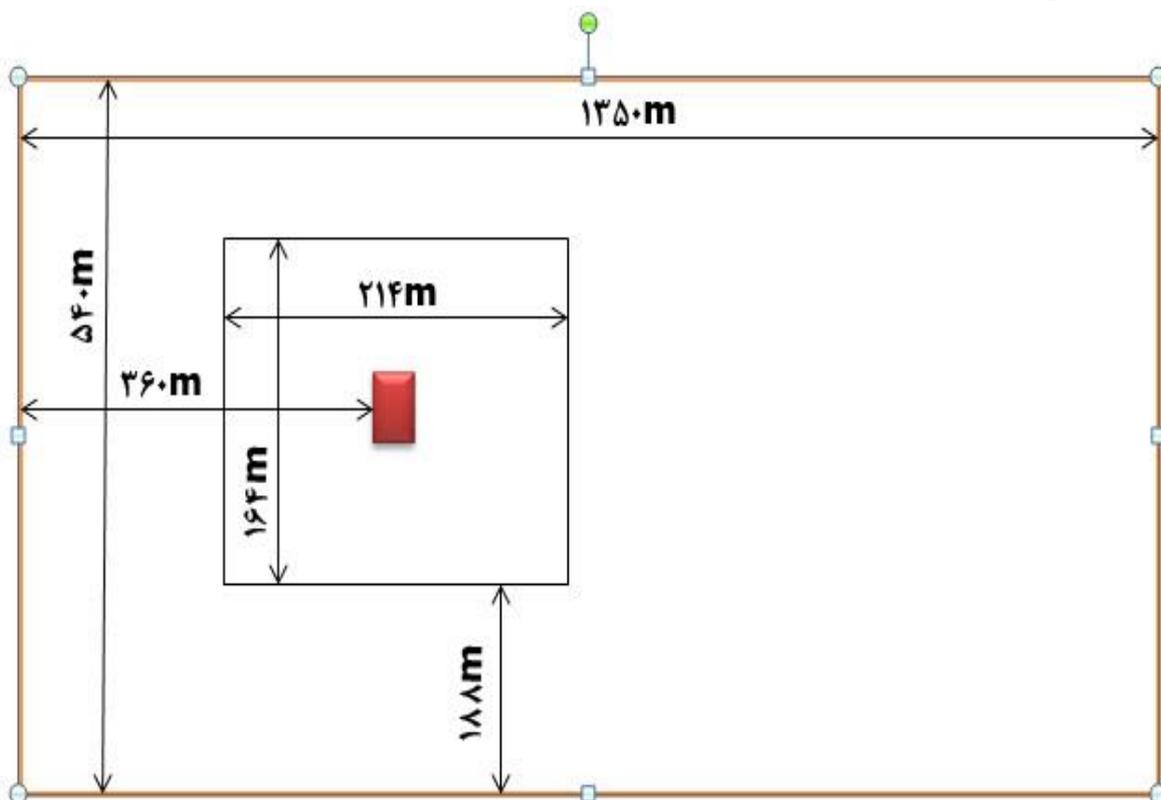
شکل ۱- ساختمانهای شبیه سازی شده با ارتفاعهای مختلف

در این تحقیق در مجموع ۱۲ مدل ساختمان در چهار سرعت ۱۸، ۳۶، ۵۴ و ۷۲ متر بر ثانیه شبیه سازی شده است. مشخصات ساختمانهایی شبیه سازی شده مطابق جدول ۱ می باشد.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی ساختمان‌های مدل شده

مشخصات فیزیکی ساختمان‌های مدل شده با ارتفاع ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ متر	
$\rho = 160 \text{ kg/m}^3$	چگالی
$f = 0.2 \text{ Hz}$	فرکانس طبیعی
30×45×180	ابعاد ساختمان (به متر)
$E = 2.3 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	مدول الاستیسیته مصالح
$\mu = 0.25$	ضریب پواسون مصالح
1%	درصد میرایی

چون در ادبیات فنی مربوطه، ابعاد تونل باد مجازی بر اساس ارتفاع آنها در نظر گرفته می‌شود. لذا در شکل ۲ ابعاد تونل باد برای ساختمان با ارتفاع ۱۲۰ متر نشان داده شده و برای بقیه ساختمان‌ها در جدول ۲ آورده شده است. این نسبت ابعاد بر اساس استاندارد تونل باد مجازی استفاده شده برای ساختمان CAARC توسط Braun و Awruch انتخاب گردیده اند. مستطیل میانی نیز یک فضای کمکی برای مش بندی ریزتر بوده تا کل تونل باد با ابعاد ریز مش بندی نگردیده تا زمان تحلیل کاهش یابد.



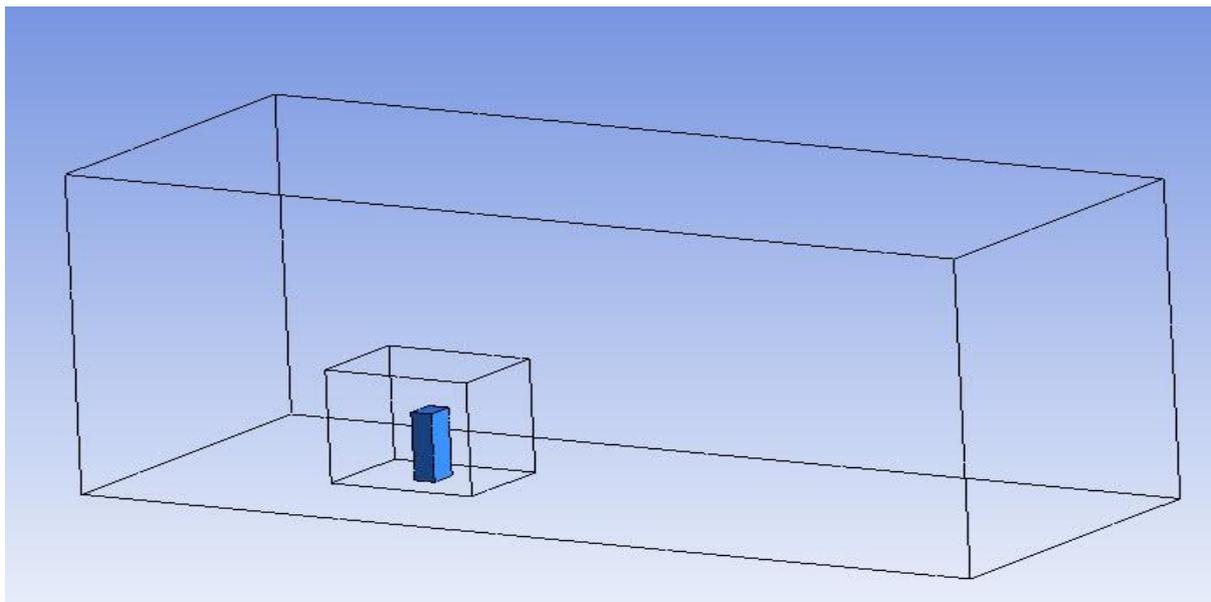
شکل ۲ - ابعاد تونل باد برای ساختمان با ارتفاع ۱۲۰ متر

همه ابعاد بر اساس متر بوده و تونل باد شبیه سازی در سه قسمت ابعاد تونل، ابعاد محیط واسط جهت مش بندی و فاصله ساختمان از بخش ورودی و خروجی نشان داده شده است.

جدول ۲: مشخصات ابعاد تونل باد برای ساختمان با ارتفاعهای مشخص

ارتفاع تونل (متر)	ابعاد تونل (متر)	ابعاد محیط واسط (متر)	فاصله ساختمان از ورودی تونل (متر)
۱۲۰	1350×540×540	214×164×200	۳۶۰
۱۸۰	2010×846×810	320×245×300	۵۴۰
۲۴۰	2670×1128×1080	430×326×400	۷۲۰

در شکل ۳ وضعیت قرار گرفتن ساختمان در تونل باد به صورت ایزومتریک نشان داده شده است.

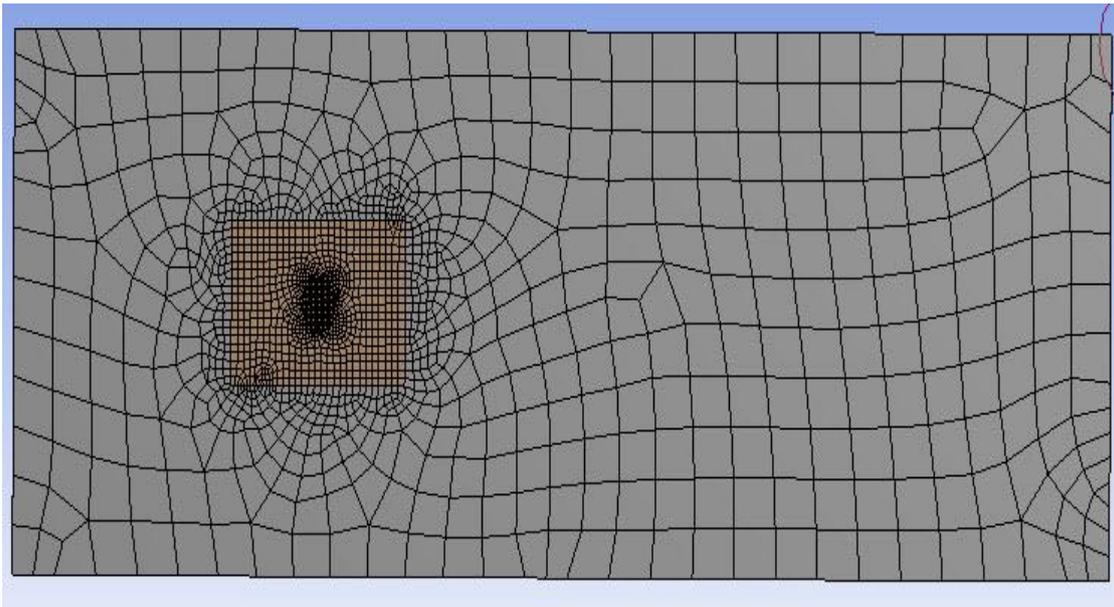


شکل ۳- نمایش تونل باد شبیه سازی شده

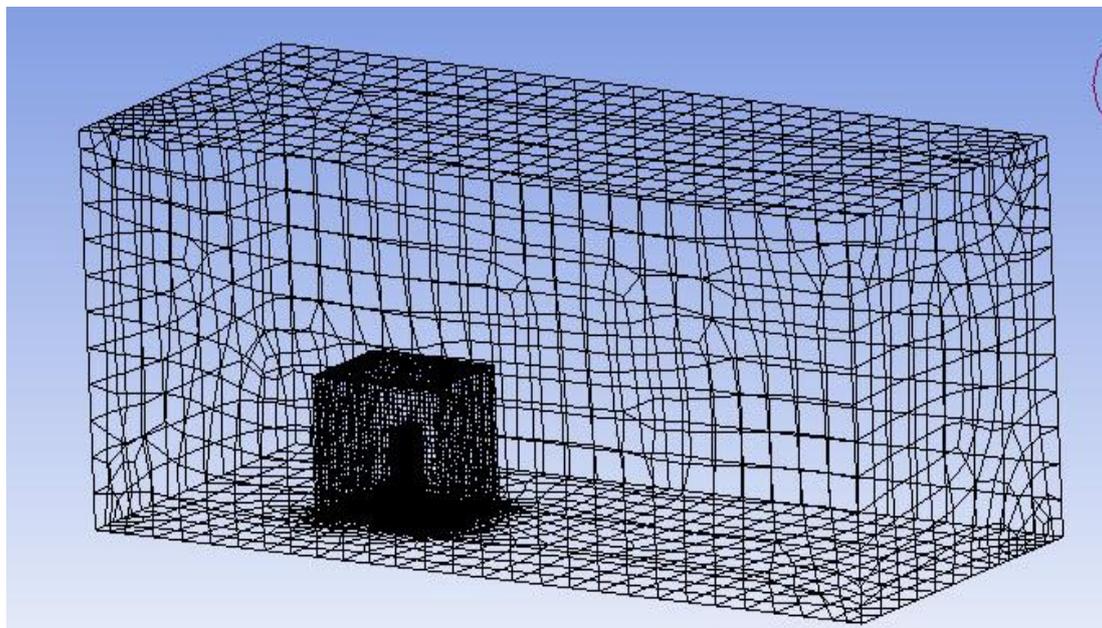
#### ۴- مش بندی

مش بندی مدل محاسباتی یکی از مهم ترین قسمت های یک شبیه سازی هست. یک شبکه با کیفیت می تواند روند حل را تسریع بخشیده و جواب های دقیق تری بدست بدهد. مش بندی این تحقیق هگزا و یا مکعبی هست شبکه مکعبی<sup>۴</sup> به دو صورت خودکار و تطبیقی<sup>۵</sup> انجام می شود. در حالت اول متناسب با ساختار و پارامترهای تعریف شده مانند ابعاد کوچک ترین و بزرگ ترین سلول شبکه، مش بندی انجام شده و شبیه سازی شروع می شود. در حالت تطبیقی، بعد از هر مرحله مش بندی و شبیه سازی، مقدار خطا بررسی می شود. در صورتی که مقدار خطا، بیشتر از مقدار خطای تعریف شده باشد، شبکه ها اصلاح شده و مجدداً شبیه سازی انجام می شود. این فرایند تا زمان رسیدن به خطای مورد نظر ادامه می یابد. در شکل های ۴ و ۵ مش بندی اطراف ساختمان از دید پایین و از دید ایزومتریک در تونل باد نشان داده شده است.

4 Hexahedral  
5 Adaptive



شکل ۴- مش بندی اطراف ساختمان از دید از پایین در تونل باد



شکل ۵- ترسیم ایزومتریک مش بندی اطراف ساختمان

## ۵- شرایط مرزی

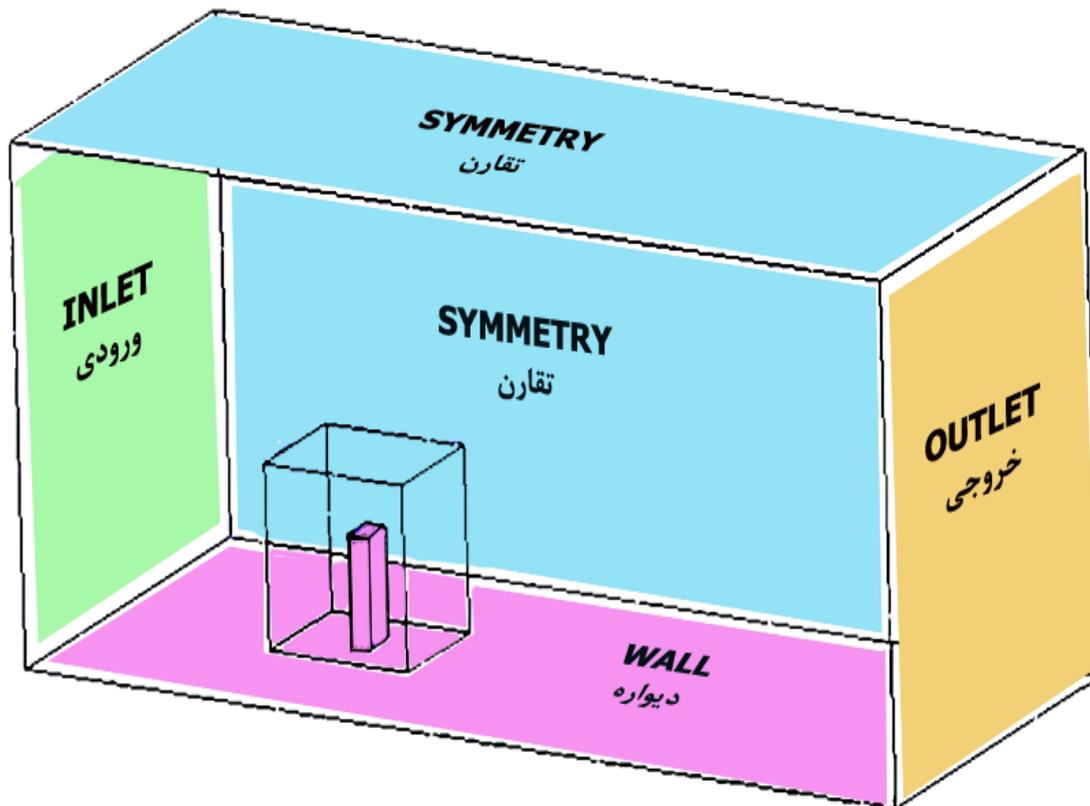
شرایط مرزی، جریان سیال را روی مرزهای دامنه محاسباتی را مشخص می‌کند؛ بنابراین تعیین شرایط مرزی یک موضوع حساس در شبیه‌سازی عددی جریان سیال بوده و تعریف مناسب آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به‌طور کلی شرایط مرزی در نرم‌افزار فلونت به چند دسته زیر تقسیم می‌شود:

### ۵-۱- شرط مرزی ورودی<sup>۶</sup>

در نرم‌افزار inlet نام‌گذاری می‌گردد (شکل ۶). از شرط مرزی سرعت ورودی برای تعیین سرعت و پارامترهای اسکالر جریان در مرز ورود استفاده می‌شود. در شرط مرزی سرعت ورودی، خواص سکون سیال ثابت نبوده بلکه بسته به مقدار و توزیع سرعت در

6 Inlet

ورودی تغییر میکند. از این شرط مرزی تنها برای شبیه سازی جریانهای تراکم ناپذیر استفاده میشود. چراکه در جریانهای تراکم پذیر شرایط سکون میتوانند به هر اندازه ای افزایش یافته بطوریکه ممکن است منجر به کسب نتایج غیرفیزیکی شود. همچنین ممکن است در مواردی از شرط مرزی سرعت ورودی بعنوان شرط مرزی در خروج جریان استفاده شود.



شکل ۶- نمایش شروط مرزی تونل باد

#### ۵-۲- شرط مرزی خروجی<sup>۷</sup>

برای تعیین فشار استاتیک و سایر متغیرهای اسکالر جریان در مرز خروجی استفاده می‌شود. استفاده از این شرط مرزی بجای شرط مرزی جریان خروجی، اغلب موجب بهتر شدن نرخ همگرایی در زمانی که جریان برگشتی در طول مراحل تکرار اتفاق می‌افتد، می‌گردد. در شکل ۶ محل قرارگیری شرط مرزی خروجی نشان داده شده و در نرم‌افزار outlet نام‌گذاری می‌گردد. در صورتی که مشخصات جریان نظیر سرعت یا فشار در مرز خروجی مشخص نباشد، از شرط مرزی جریان خروجی استفاده می‌شود.

#### ۵-۳- شرط مرزی دیواره<sup>۸</sup>

از شرط مرزی دیواره در مرزهایی که سیال توسط یک جامد، محصور می‌گردد، استفاده می‌شود. این شرط مرزی را می‌توان انعطاف‌پذیر یا صلب در نظر گرفت در تحقیق حاضر سطوح برخورد ساختمان با باد نیز جز این شرط مرزی می‌باشد.

7 Outlet  
8 Wall

## ۵-۴- شرط مرزی تقارن<sup>۹</sup>

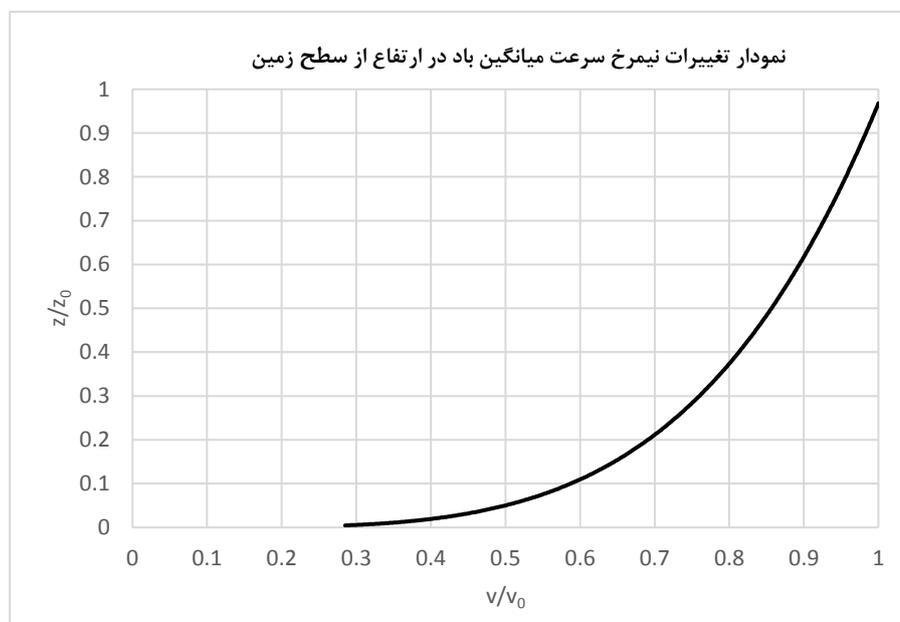
در شبیه‌سازی جریان در هندسه‌های متقارن می‌توان، جریان در نصف مدل هندسی را شبیه‌سازی نموده و نتایج به دست آمده را برای کل مدل تعمیم داد. به عنوان مثال در شبیه‌سازی جریان حول خودروها، هواپیماها، سایر موارد که هندسه متقارنی دارند، کافی است که میدان جریان برای نصف مدل خودرو و یا هواپیما شبیه‌سازی گردد. در این گونه مسائل صفحه تقارن به عنوان یک مرز تقارن در نظر گرفته می‌شود. البته همچنین می‌توان صفحه تقارن را به صورت یک دیواره بدون تنش برشی، نیز فرض نمود. لازم به توضیح است که در شرط مرزی تقارن هیچ‌گونه پارامتر دیگر تعریف نمی‌شود. باید توجه داشت که در مدل‌های متقارن محوری بهتر است که از شرط مرزی تقارن محوری<sup>۱۰</sup> در محور تقارن استفاده شود نرم‌افزار فلونت شار تمام پارامترهای جریان در مرز تقارن را صفر در نظر می‌گیرد. هیچ‌گونه شار جابه‌جایی در مرز تقارن وجود نداشته و بنابراین مولفه‌های عمودی سرعت در مرز تقارن صفر می‌باشد (شکل ۶).

## ۶- پارامترهای لازم برای شبیه‌سازی لایه مرزی جوی

در مطالعه ساختمان‌ها در تونل باد، مشخصات و پارامترهای ساختمان و باد باید به درستی شبیه‌سازی گردند. پارامترهای مهم که باید شبیه‌سازی گردد تغییرات سرعت میانگین باد با تغییرات ارتفاع از سطح زمین، شدت و طول تلاطم باد در تونل باد می‌باشند. نیمرخ شبیه‌سازی شده باد بر اساس رابطه (۱) انجام گرفته و به قانون توانی معروف است.

$$V/V_0 = (Z/Z_0)^\alpha \quad (1)$$

در این پژوهش، جهت شبیه‌سازی  $\alpha = 0.20$  (نمای رابطه توانی) در نظر گرفته شده است.  $Z_0$  ارتفاع مرجع،  $V_0$  سرعت میانگین مرجع باد و  $Z$  ارتفاع مورد نظر و  $V$  سرعت میانگین باد در ارتفاع  $Z$  است.



شکل ۷: نیمرخ طبیعی سرعت میانگین باد شبیه‌سازی شده

ابعاد تونل باد و شبیه‌سازی مشخصات تلاطم بر طبق مطالعات مدل آقایان (2009) Braun و Awruch،<sup>11</sup> LES در نظر گرفته شده است.

## ۷- بررسی کانتور فشار در اطراف مدل های مورد بررسی

بار باد از جمله نیروهای جانبی وارد بر سازه است. معمولاً در ساختمان‌های کوتاه و با وزن زیاد، نیروی باد (در مقایسه با نیروی زلزله) تعیین‌کننده نیست. اما در ساختمان‌های بلند یا سبک، ممکن است آثار ناشی از باد شدید بوده و نیروی ناشی از باد، نیروی غالب سازه باشد. لازم به ذکر است که در طراحی اعضای سازه، آثار ناشی از بار باد با بار زلزله جمع نمی‌شوند و طراحی اعضا برای اثر هر یک از این دو که بحرانی‌تر باشد صورت می‌گیرد. توزیع نیروی باد در ساختمان علاوه بر ابعاد و شکل ظاهری آن، به موقعیت ساختمان (به لحاظ تراکم ساختمان‌ها و درخت‌های موجود در ناحیه) و بادخیز بودن منطقه نیز بستگی دارد. نیروی باد وارد بر ساختمان‌ها، باتوجه به حداکثر سرعت باد در منطقه، ارتفاع و شکل هندسی ساختمان‌ها و میزان حفاظتی که موانع مجاور برای آنها در مقابل باد ایجاد می‌کند، با فرض این که این نیرو به صورت افقی در هر امتداد به ساختمان اثر می‌کند، محاسبه می‌شود. آثار باد بر روی اشیا و عوارض ثابت و مستقر در مسیر باد را می‌توان به شرح ذیل بیان نمود که در فشار مستقیم مثبت سطوحی که در رؤیایی باد و عمود بر مسیر آن قرار می‌گیرند بر اثر حرکت توده هوا فشار مستقیمی را تحمل می‌کنند. در شکل ۸، کانتور فشار در تراز یک سوم هر سه از ساختمانها با ارتفاعهای ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ که به ترتیب ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متری از پای ساختمان، در سرعت ۱۸ متربرثانیه نشان داده شده است باتوجه به شکل فوق مشخص است که تقریباً فشار وارد بر ساختمانهای با ارتفاع ۱۲۰ و ۱۸۰ متر در حدود ۱۹۰ پاسکال می باشد و برای ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ حدود ۲۱۷ پاسکال می باشد. درخصوص مکش اطراف سه ساختمان در تراز ارتفاعی یک سوم برای ساختمان‌ها به ترتیب ارتفاع ۱۵۷، ۲۴۶ و ۱۷۰ پاسکال می باشد.

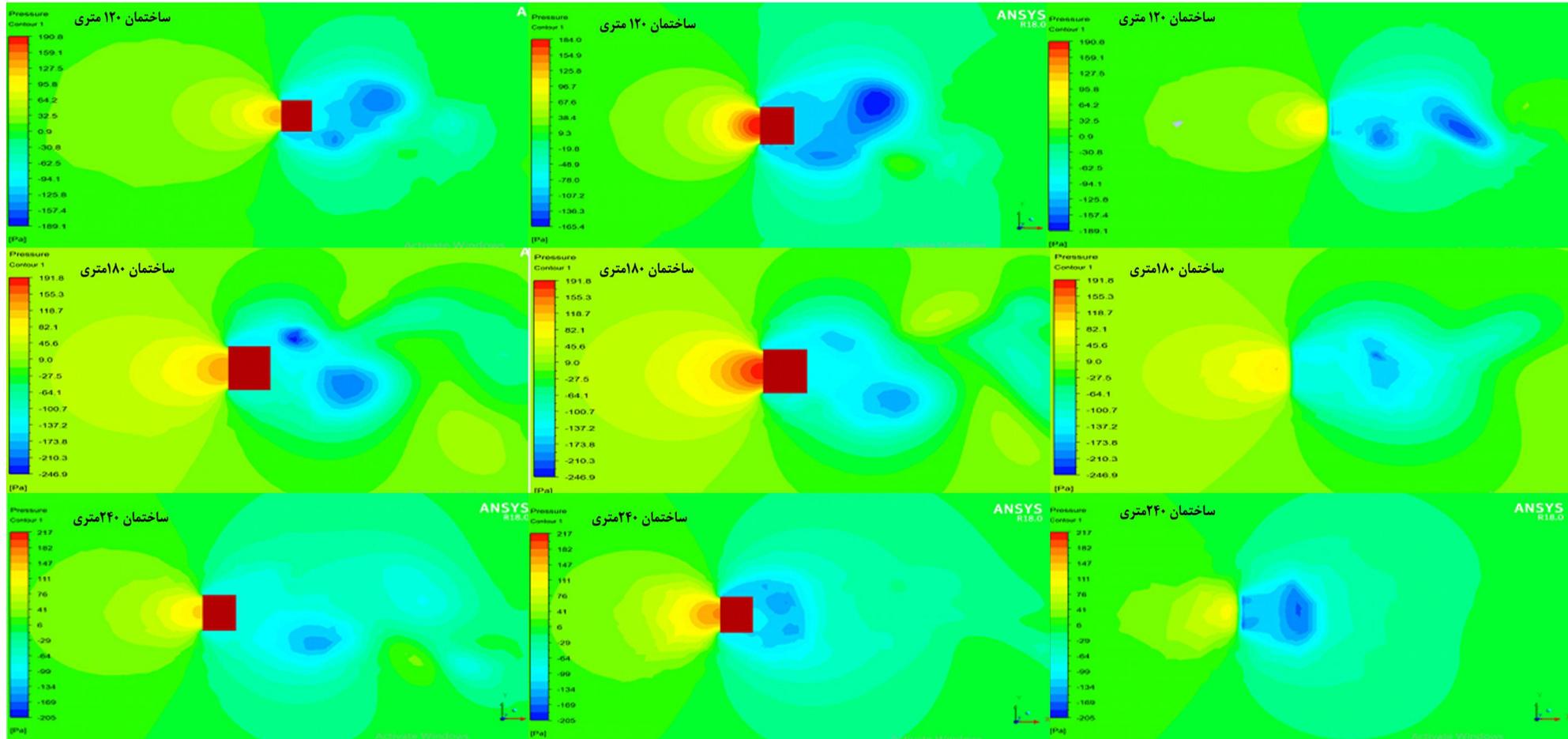
بر اساس مشاهدات فوق برای ساختمان با ارتفاع ۱۸۰ متر مکش در تراز ارتفاعی یک سوم، محل مکش و اندازه مکش رفتار متفاوتی نسبت به سایر ساختمانها دارد. در شکل ۹ کانتور فشار در تراز دو سوم از پای ساختمانهای مدل شده با سه ارتفاع مختلف را نشان می دهد اندازه مکش در ساختمان با ارتفاع ۱۲۰ متر در این تراز بزرگتر شده و مقدار آن به ۱۶۵ پاسکال رسیده است. در ساختمان با ارتفاع ۱۸۰ متر با اینکه اندازه مکش کوچکتر شده ولی بیشینه مقدار مکش به ۲۳۰ پاسکال رسیده است. برای ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متر در تراز دو سوم ارتفاعی باگستره مکش بزرگتر پشت ساختمان ولی تقریباً بدون مکش به اندازه ۲۰۵ پاسکال می باشد. بیشینه فشار وارد بر ساختمانها در محدود ۱۹۰ الی ۲۰۰ پاسکال می باشد.

<sup>11</sup> Large Eddy Simulation

الف) تراز یک سوم ارتفاع ساختمان

ب) تراز دو سوم ارتفاع ساختمان

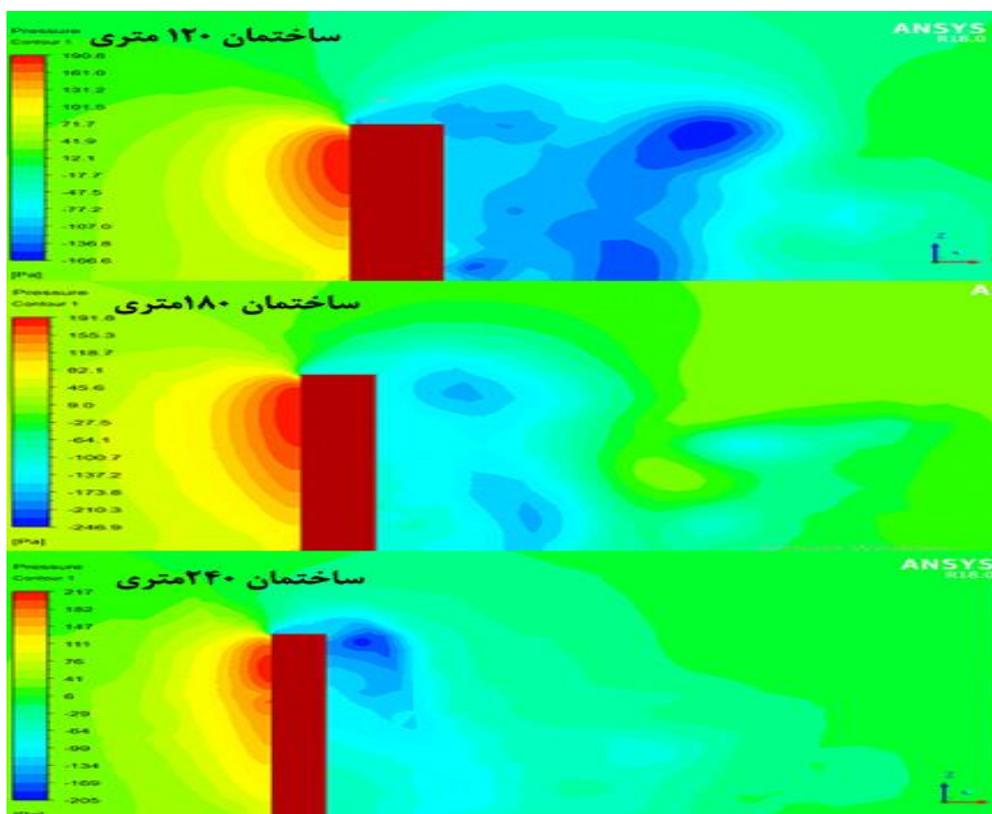
ج) تراز بام ساختمان



شکل ۸- کانتور فشار در تراز های مختلف ارتفاعی ساختمان های مدل شده

در شکل ۸-ج کانتور فشار را برای تراز سقف در سه ساختمان با سه ارتفاع مختلف نشان می‌دهد. بیشینه مکش در بالای سه ساختمان به ترتیب ۱۸۹، ۲۳۰ و ۲۰۵ پاسکال می‌باشد. برای ساختمان با ارتفاع ۱۲۰ این بیشینه مکش در فاصله حدود بعد بزرگ در سمت پشت ساختمان ایجاد شده برای ساختمان با ارتفاع ۱۸۰ تقریباً مکش در بالای ساختمان به طور متوسط ۱۷۵ پاسکال و برای ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متر این مکش دقیقاً در لبه پشتی سقف ۲۰۵ پاسکال می‌باشد.

در شکل ۹ کانتور فشار در صفحه ZX گذرنده از وسط ساختمان را نشان می‌دهد. این اشکال یک تحلیل کلی و خیلی خوبی از فشار موجود در اطراف این ساختمانها را به دست می‌دهد. در ساختمان با ارتفاع ۱۲۰ حفره مکشی به صورت ستونی در پشت ساختمان کشیده شده و مقدار آن ۱۶۷ پاسکال می‌باشد ولی برای ساختمان با ارتفاع ۱۸۰ مکش به صورت یکنواخت پخش گردیده و مقدار آن ۱۴۰ پاسکال می‌باشد. برای ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متر بیشینه مکش در بالای ساختمان رخ داده است و مقدار آن ۲۰۵ پاسکال می‌باشد. در خصوص فشار وارد بر این ساختمانها مساحت فشار وارد بر ساختمان ۱۲۰ متری و ۱۸۰ متری نسبت به ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متری زیاد می‌باشد.



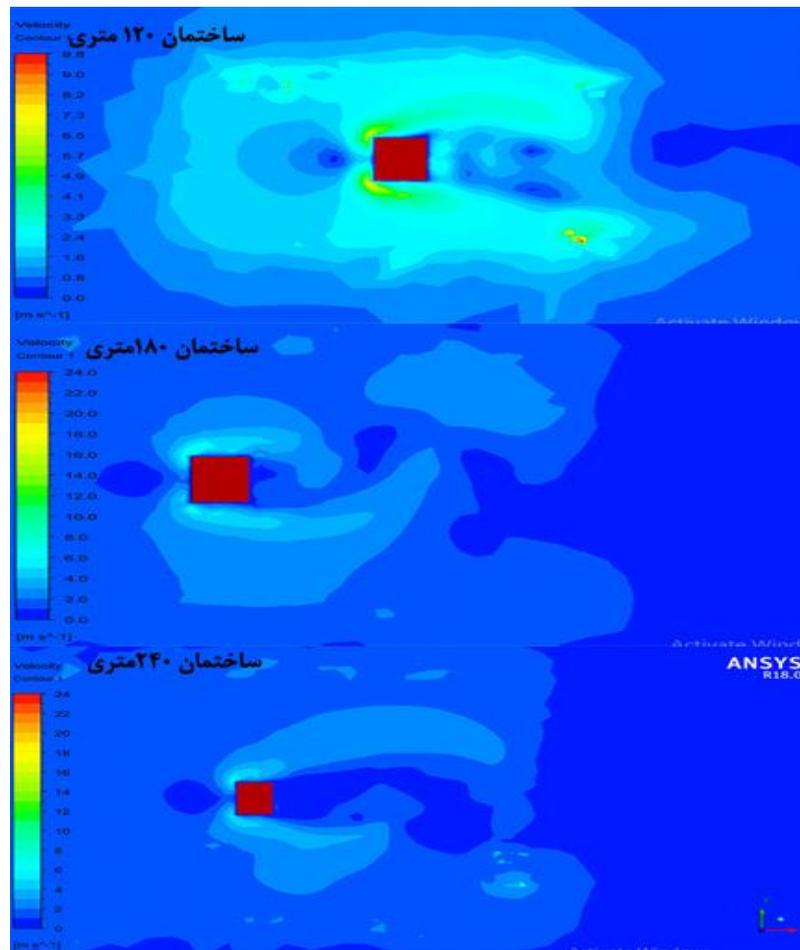
شکل ۹- کانتور فشار در صفحه ZX گذرنده از وسط برای ساختمان های مدل شده

## ۸- بررسی کانتور سرعت در اطراف مدل های مورد بررسی

سرعت یکی از مشخصات اصلی باد است که با افزایش ارتفاع از سطح زمین، افزایش می‌یابد. نیروی باد باتوجه به سرعت آن و بر اساس سرعت مبنای باد محاسبه می‌شود. سرعت مبنای باد سرعت متوسطی است که در فاصله ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود. اندازه این سرعت باتوجه به آمار موجود منطقه و بر اساس دوره بازگشت ۵۰ ساله (احتمال وقوع ۲ درصد در یک سال) تعیین می‌شود. در این ساختمانها با افزایش ارتفاع، سرعت و فشار باد افزایش چشمگیری خواهد یافت.

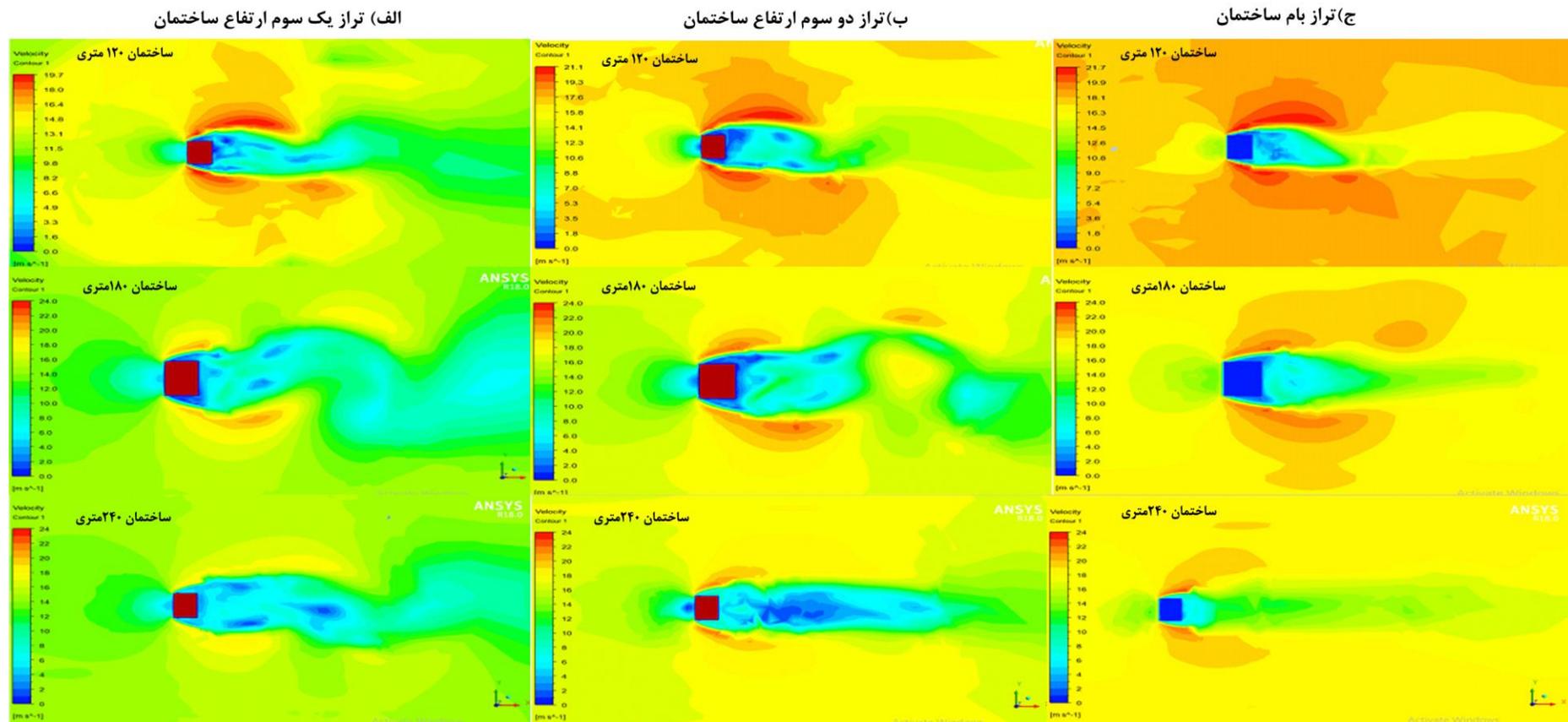
در این گونه از سازه‌ها آثار ناشی از باد شدید بوده و نیروی باد ممکن است از نیروی زلزله بیشتر شده و نیروی غالب سازه محسوب شود. در این ساختمانها و در سازه‌های لاغر غیرساختمانی نظیر دودکشها، مخازن و دکلها، محاسبه بار باد به روش استاتیکی کافی نبوده و باید از روش تحلیل دینامیکی و یا از آزمایش تونل باد (در صورت اهمیت زیاد سازه) استفاده کرد.

شکل‌های ۱۰ کانتور سرعت در اطراف ساختمان‌ها را در ارتفاع ۱٫۵ متری از سطح زمین نشان می‌دهد انتخاب این ارتفاع از لحاظ کنترل امنیت عابران در اطراف ساختمانها می باشد. در ساختمان با ارتفاع ۱۲۰ متر سرعت میانگین در اطراف ساختمان از ۲ متر تا ۱۲ متر برثانیه می باشد که در طرفین ساختمان به حداکثر می رسد. سرعت مجاز در اطراف ساختمان برای عابران ۵ متر برثانیه می باشد. این سرعت در اطراف ساختمان با ارتفاع ۱۸۰ متر از ۲ تا ۶ متر بر ثانیه متغیر می باشد و در ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متر نیز از ۲ تا ۸ متر متغیر می باشد. این کانتورها در خصوص وضعیت حرکت جریان باد اطلاعات مفیدی به دست می دهند.



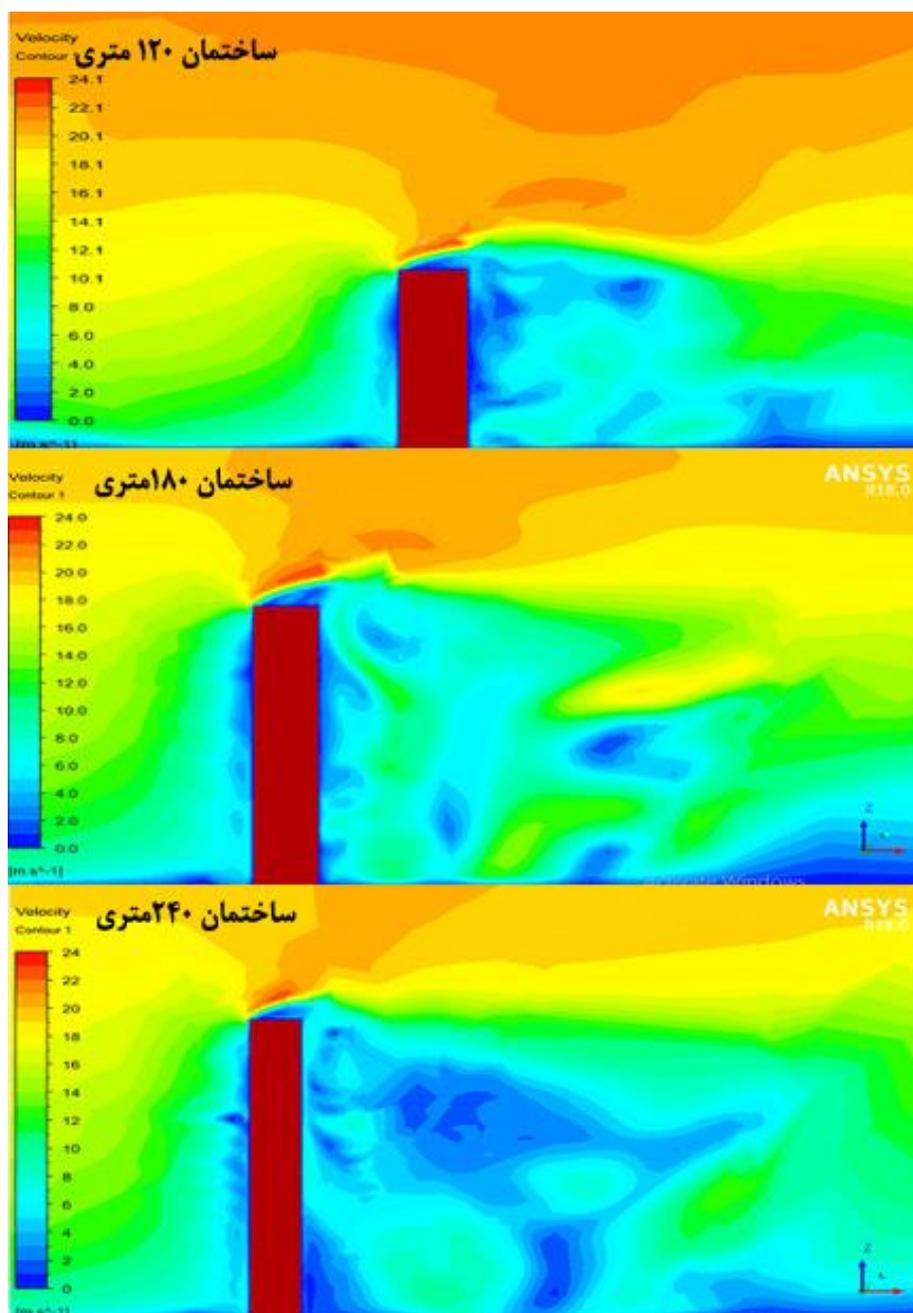
شکل ۱۰- کانتور سرعت در تراز ارتفاعی ۱٫۵ متر در سرعت ۱۸ متر برثانیه برای ساختمان های مدل شده

شکل ۱۱- الف کانتور سرعت میانگین باد را در تراز ارتفاعی یک سوم ساختمانها را در سرعت ۱۸ متر برثانیه نشان می دهد. در ساختمان با ارتفاع ۱۲۰ متر سرعت در ارتفاع ساختمان تا ۱۹٫۷ متر برثانیه می رسد. این اتفاق برای ساختمان با ارتفاع ۱۸۰ متر به ۲۱ متر برثانیه رسیده و برای ساختمان ۲۴۰ متر به ۱۹ متر بر ثانیه می رسد. در شکل ۱۱- ب کانتور سرعت را در دو سوم ارتفاع برای هر سه مدل نشان می دهد. سرعت در اطراف هر سه ساختمان افزایش یافته و در پشت ساختمان کاهش و تا ۲۴ متر برثانیه در ساختمان با ارتفاع ۱۸۰ متر می رسد. جریان باد بعد از برخورد با ساختمان در کناره های آن افزایش پیدا کرده و به همین دلیل در خصوص طراحی ساختمانهای اطراف این ساختمانها همه این موارد را باید مدنظر قرار داد. در شکل ۱۱- ج کانتور سرعت را در تراز سقف برای هر سه مدل در سرعت ۱۸ متر بر ثانیه نشان می دهد. سرعت در این ارتفاع به ۲۴ متر برثانیه رسیده و گستره آن نیز افزایش یافته است. در مطالعات همجواری ساختمانها این سرعتها و تاثیر آنها بسیار مهم می باشد. دانستن سرعت در اطراف ساختمانها از لحاظ کارکردن تاور کرینها و چرثقیلها نیز حائز اهمیت می باشد.



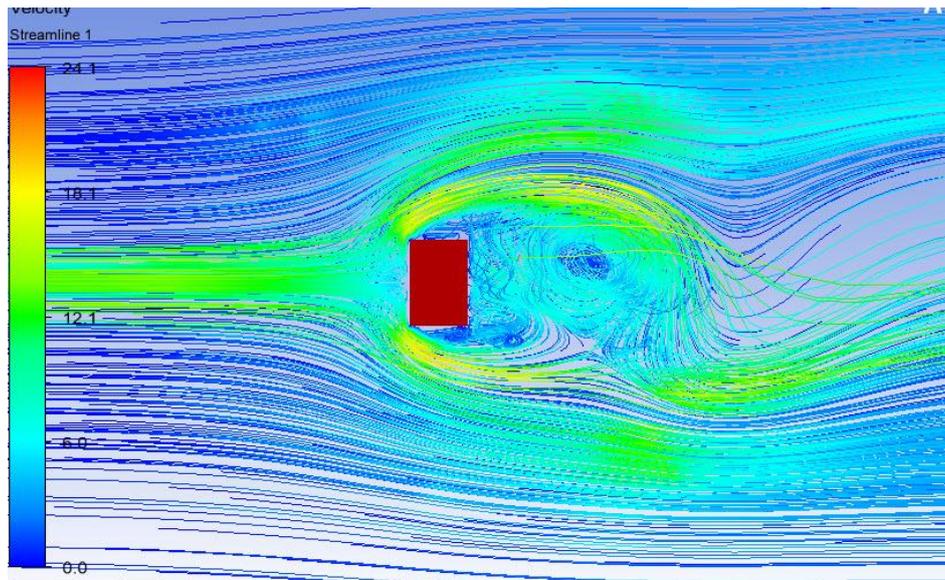
شکل ۱۱- کانتور سرعت در سه تراز ساختمانهای مدل شده

کانتور سرعت برای هر سه مدل در صفحه گذرنده از صفحه ZX وسط ساختمان در شکل ۱۲ نشان داده شده است. توزیع سرعت در این شکل‌ها به خوبی نشان دهنده سرعت بین ۲ الی ۴ متر بر ثانیه تا ۲ الی سه متری می‌باشد و در تراز بام به ۱۴ متر بر ثانیه رسیده و از ارتفاع سقف به بالا نیز به سرعت بالای ۱۸ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. سرعت در پشت ساختمان ۲۴۰ با ارتفاع متر در پشت ساختمان و یک سوم پایین آن دارای سرعت ۱۰ الی ۱۴ متر بر ثانیه بوده که برای تجهیزات ساختمانی و کارگران که در این بخش کار می‌کنند می‌تواند خطر آفرین باشد.

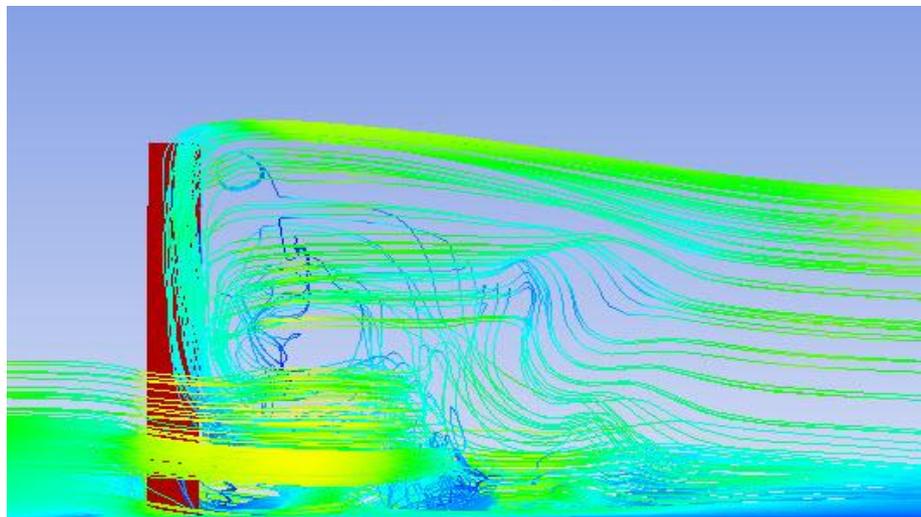


شکل ۱۲- کانتور سرعت در صفحه ZX گذرنده از وسط برای ساختمان های مدل شده

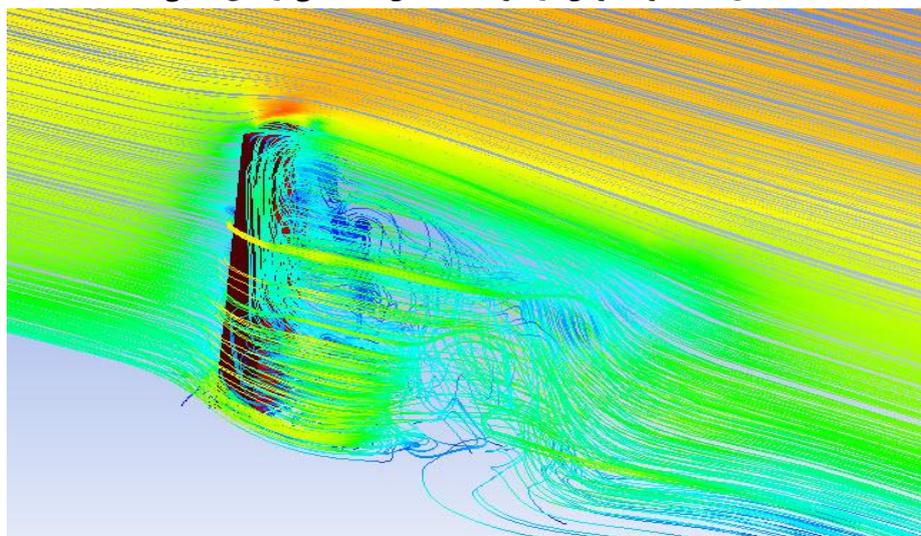
در شکل‌های ۱۳ الی ۱۵ نمونه ای از خطوط جریان باد در تراز بام و ناحیه پشت اطراف ساختمانها نشان داده شده است. خطوط جریان باد بسته به ارتفاع ساختمان تغییر جهت داده و موقعیت مکش تغییر میکند.



شکل ۱۳- خطوط جریان در اطراف ساختمان مستطیلی از نمای بالا



شکل ۱۴- خطوط جریان در اطراف ساختمان مستطیلی از نمای جانبی



شکل ۱۵- خطوط جریان در اطراف ساختمان مستطیلی از نمای پرسپکتیو

## ۹- نتیجه گیری

نتایج حاصل از مدل سازی ساختمان های فوق به صورت زیر می باشد:

۱. از لحاظ آسایش عابران پیاده در اطراف ساختمان ها، ساختمان با ارتفاع ۱۸۰ و ۱۲۰ متر که در اطراف آنها سرعت میانگین باد به ۱۰ متر بر ثانیه نیز می رسد مناسب نبوده ولی در اطراف ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متر در تراز عبور عابران تا ۵ متر بر ثانیه رسیده و در محدوده مجاز می باشد.
۲. ناحیه مکش در ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ متر در پشت ساختمان و در تراز یک چهارم بالایی آن اتفاق می افتد.
۳. مکش در پشت ساختمان ۱۸۰ متری برابر با مقدار مکش پشت ساختمان ۱۲۰ متر بوده با این تفاوت که در فاصله ای به اندازه بعد بزرگ پلان در پشت آن اتفاق می افتد.
۴. کانتور فشار در تراز یک سوم دو ساختمان با ارتفاع های ۱۲۰، ۱۸۰ به ترتیب ۴۰، ۶۰ متری از پای ساختمان، در سرعت ۱۸ متر بر ثانیه در حدود ۱۹۰ پاسکال بوده و برای ساختمان با ارتفاع ۲۴۰ حدود ۲۱۷ پاسکال می باشد. در خصوص مکش اطراف سه ساختمان در تراز ارتفاعی یک سوم برای ساختمان ها به ترتیب در ۱۵۷، ۲۴۶ و ۱۷۰ پاسکال می باشد.
۵. خطوط جریان با توجه به ارتفاع ساختمان تغییر پیدا کرده و موقعیت مکش نیز فرق میکند.

## ۱۰- پیشنهادات

برای مطالعات آینده موضوعات زیر پیشنهاد می گردد:

- ۱- برای جلوگیری از پرتاب کارگران در موقع کار، در حالات مختلف نیروهای وارد بر آنها بررسی گردد.
- ۲- جهت جانمایی تجهیزات ساختمانی (مانند بالابرها، تاور کرینها و وسایل دیگر)، اثر باد بر آنها در جاهای مختلف ساختمانیها مطالعه گردد.
- ۳- برای جلوگیری از پرتاب وسایل و ملزومات دیگر در کارگاه بصورت موردی اثر باد مورد بررسی قرار گیرد.
- ۴- موارد بالا در مورد ساختمانیهای هم جوار نیز مهم بوده و بهتر است بررسی شوند.

## مراجع

- Devi, P. (2021). Response Of Tall Building With Different Side Ratio Under WindLoad. *Master thesis Delhi Technological University, New Delhi, India.*
- Eimani Kalesar, H., & Agha Alizadeh Piraqom, R. (2013). Numerical simulation of tall buildings and investigation of their response to wind load with ANSYS software. *National Conference on Construction and Sustainable Development*. Mashhad, Khavaran Institute of Higher Education, . Persian.
- Eimani-kalehsar, H. (2000). "Experimental Aerodynamic studies on Tall Rectangular Buildings". *Ph.D. thesis. Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee, India.*
- Fan, Y. & Lu, J. & Wang, L. (2023). Cross-Wind Aeroelastic Effects of Tall Buildings with a Hexagonal Cross-Section. *J. of Atmosphere* . (14). ۹۹۶. <https://doi.org/10.3390/atmos14060996>.
- Gu, Z. & Chen, F. & Zhu, . & Mei, Y. & Wang, Z. & Xu, L. & Li, Y. (2023). Numerical Simulation on Wind Speed Amplification of High-Rise Buildings with Openings. *Atmosphere* . ۱۴ , ۱۶۸۷ . <https://doi.org/10.3390/atmos14111687>
- Hassan Ahmed, A. & Eman Elnos Aly ,B. & Mostafa, E.A. & Elsayed, c. & Mohamed, A. & Khalifad, M. A. & Aziz, E. & Osama, A. Gaheen. (2023) . Prediction Model And Experimental Study Of Wind Speed Effect On The Tall Buildings Using Machine Learning. *Journal of Mechanical and Civil Engineering Volume 20, Issue 6 Ser. (PP 36-5).*

Izadi, E. (2016). The effect of lateral loads on buildings with a special plan. *Master's thesis*. Islamic Azad University, Germe branch . Persian.

Nasiri Poreshkarsaraei, M . & Rabiefar, H. (2015). Investigation of the effect of lateral wind force on the behavior of tall buildings. *The third national conference on the development of engineering sciences, Tonkaban*, <https://civilica.com/doc/543650>

Mohammadi, A. (2015). Extraction of the dimensionless spectrum of transverse force of neighboring tall buildings against the wind using one of the civil engineering software. *Master's thesis*. *Civil Engineering, Mohaghegh Ardabili University. Ardabil*. Persian.

Qureshi, J. (2015). Design of Slender Tall Buildings for Wind and Earthquake. *Regency Steel Asia Symposium on Latest Design & Construction Technologies for Steel and Composite Steel-Concrete Structures*

Tamura, Y. (2013). Damping in Buildings and Estimation Techniques. In: Tamura, Y., Kareem, A. (eds) *Advanced Structural Wind Engineering*. Springer, Tokyo. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-54337-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-4-431-54337-4_13)

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است."