

# تحلیل عددی تأثیر مقدار آشفتگی جریان خارجی و نسبت ابعادی ساختمان بر مقدار ضریب تخلیه بازشوها در تهویه طبیعی

وحید عبدی\*  
فرزاد ویسی  
حبیب اله صفرزاده

کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران  
دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران  
استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

## چکیده

در این مطالعه با استفاده از شبیه‌سازی تهویه طبیعی عبوری در یک ساختمان به بررسی تأثیر نسبت ابعادی ساختمان و مقدار آشفتگی جریان خارجی بر روی مقدار ضریب تخلیه پرداخته شده است. روش حل استفاده از رویکرد دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از نرم افزار Fluent می‌باشد و به منظور درستی سنجی نتایج حل عددی، از نتایج حل تجربی که توسط دیگران انجام گرفته شده استفاده شده است. کلیه نتایج به دست آمده در فضای سه بعدی و با فرض جریان حالت پایدار و سیال تراکم ناپذیر به دست آمده‌اند. مدل آشفته به کار گرفته شده k-ε استاندارد می‌باشد که بیشترین تطابق را با نتایج تجربی دارد. در پایان مطالعه به این نتیجه رسیده شد که مقدار ضریب تخلیه بازشو با افزایش عدد رینولدز در بازشو افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش نسبت عرض به طول ساختمان مقدار ضریب تخلیه افزایش می‌یابد و با افزایش نسبت طول به عرض ساختمان کاهش می‌یابد و در نهایت نتیجه به دست آمد که با افزایش مقدار آشفتگی جریان خارجی، مقدار ضریب تخلیه کاهش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** دینامیک سیالات محاسباتی، ضریب تخلیه، تهویه طبیعی عبوری، جریان تراکم ناپذیر، جریان حالت پایدار.

## Numerical Analyse of the Effect of External Flow Turbulence and Aspect Ratio of Building on the Amount of Opening Discharge Coefficient in Natural Ventilation

V. Abdi Department of Mechanical Engineering, Razi University of Kermanshah, Kermanshah, Iran  
F. Veysi Department of Mechanical Engineering, Razi University of Kermanshah, Kermanshah, Iran  
H. Safarzadeh Department of Mechanical Engineering, Razi University of Kermanshah, Kermanshah, Iran

### Abstract

In this study, numerical analysis of the effect of external flow turbulence and aspect ratio of building on the amount of opening discharge coefficient in natural ventilation is reviewed by modelling. The solution is the use of computational fluid dynamics (CFD) approach by Fluent Software and to understand taken properly of the result of numerical solution, the result of experimental solution that had been obtained by others is used. All the obtained results are gotten in three-dimensional space assuming steady state flow and incompressible fluid. Turbulent model was used is standard k-ε that has the most accommodation with experimental results. At the end of the study, this conclusion was reached that the amount of opening discharge coefficient is increased by increasing the number of Reynolds in opening and with increasing the width to length ratio of building the amount of discharge coefficient decreases. And finally it is concluded that by increasing of the turbulence of external flow, discharge coefficient decrease.

**Keywords:** Computational fluid dynamics (CFD), Discharge coefficient, Natural ventilation through, Incompressible flow, Steady-state flow.

### ۱-مقدمه

با افزایش بی‌رویه مصرف انرژی نوع دیگر تهویه که به صورت طبیعی هوای تازه مورد نیاز را تأمین می‌کند ابداع گردید. اصول عملکردی در این روش به این صورت است که با طراحی ساختمان و به کارگیری عوامل دیگر بدون مصرف انرژی بتوان تمامی و یا قسمتی از بار تهویه ساختمان را با این روش تأمین کرد. شکل ساختمان همراه با موقعیت ورودی‌های تهویه طراحی شده روش‌های تهویه طبیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. انواع روش‌های تهویه طبیعی را می‌توان به سه دسته کلی تهویه یک طرفه، تهویه مکشی و تهویه عبوری تقسیم بندی کرد. اجزا تهویه نشان می‌دهد که چگونه راه‌های درونی و بیرونی به هم ملحق می‌شوند و اینکه چگونه هوا به یک ساختمان وارد می‌شود. در تهویه یک طرفه هوای تازه از یک سمت ساختمان

به کارگیری تهویه در ساختمان به دو منظور انجام می‌گیرد. هدف نخست تأمین هوای با کیفیت برای داخل ساختمان می‌باشد که بر پایه تأمین هوای تازه و دفع یا حذف هوای آلوده داخل ساختمان می‌باشد. اما هدف دیگری که در تهویه دنبال می‌شود ایجاد دمای مناسب بوسیله مکانیزم انتقال گرما از هوای داخل ساختمان می‌باشد. روش‌های تهویه در ساختمانها به دو نوع کلی مکانیکی و طبیعی دسته‌بندی می‌شود. در تهویه مکانیکی با استفاده از سیستم‌های سرمایشی و یا گرمایشی مرکزی و یا غیر مرکزی با مصرف انرژی عمل تهویه و تأمین هوای مطبوع انجام می‌گیرد که دامنه استفاده از این روش در صنعت و ساختمان بسیار گسترده می‌باشد اما از سوی دیگر

بازشو عبور کند به نحوی که در بازشوهایی که مقدار ضریب تخلیه آنها ۱ می‌باشد بیشترین مقدار دبی را از خود عبور می‌دهند. از جمله پارامترهایی که در این مطالعه به آن پرداخته می‌شوند عدد رینولدز در بازشو می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (2)$$

که  $u$  سرعت متوسط در بازشو بر حسب متر بر ثانیه،  $d$  قطر هیدرولیکی بازشو بر حسب متر و  $\nu$  لزجت سینماتیکی سیال هوا بر حسب مترمربع بر ثانیه می‌باشد. دو پارامتری که بر مقدار ضریب تخلیه تأثیرگذارند نسبت ابعادی ساختمان و نیز مقدار درهمی جریان هوای خارج از ساختمان می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از شبیه‌سازی سه بعدی یک ساختمان نمونه و درستی سنجی نتایج با استفاده از نتایج حاصل از حل آزمایشگاهی که در تونل باد توسط چو و همکارانش [۸] انجام گرفته است به بررسی تأثیر نسبت ابعادی ساختمان و مقدار آشفتگی جریان خارجی بر روی ضریب تخلیه پرداخته خواهد شد. در واقع هدف از انجام این مطالعه دسترسی به بازشوهایی با بیشترین مقدار ضریب تخلیه می‌باشد. دسترسی به بازشوهایی با بیشترین ضریب تخلیه افزایش نرخ تهویه هوا را در پی خواهد داشت. نحوه کار به این صورت است که ابتدا با استفاده از نتایج تجربی به یک مدل و ساختار مناسب جهت شبیه‌سازی تهویه طبیعی در یک ساختمان نمونه دست پیدا خواهد شد و پس از شبیه‌سازی عددی شرایط آزمایش و به دست آوردن نتایج تجربی با استفاده از حل عددی به بررسی سایر پارامترهای تأثیرگذار بر تهویه طبیعی پرداخته خواهد شد. مزیت شبیه‌سازی عددی بررسی حالت‌های مختلف و پارامترهای مختلف بدون انجام آزمایش می‌باشد. متغیرهایی که در این مطالعه به آن پرداخته خواهد شد تأثیر فیزیک هندسی ساختمان و همچنین میزان درهمی جریان هوا بر میزان تهویه ساختمان می‌باشد. با استفاده از نتایج به دست آمده می‌توان در نهایت نمای ساختمان را از لحاظ میزان مصرف انرژی بهینه طراحی کرد. پارامتر دیگری که بر روی مقدار تهویه تأثیرگذار است میزان درهمی جریان خارجی است. با استفاده از نتایج حل می‌توان با به کارگیری ابزار خارجی قبل از ورود هوا به ساختمان میزان درهمی جریان را کنترل کرد و با تغییر میزان درهمی در نهایت میزان تهویه هوای ساختمان را بهینه کرد.

## ۲- بدنه اصلی مقاله

### ۲-۱- ابعاد ناحیه محاسباتی

ابعاد ناحیه محاسباتی  $500 \text{ cm} \times 400 \text{ cm} \times 420 \text{ cm}$  می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. این ابعاد امکان شبیه‌سازی انواع مختلف جریان را فراهم می‌کند. فاصله دیوارهای جانبی و دیوار جلویی ساختمان از دیواره‌های تونل باد دو برابر ارتفاع ساختمان می‌باشد و همچنین فاصله دیوار پشتی ساختمان از قسمت خروجی سه برابر ارتفاع ساختمان می‌باشد.

وارد و از همان سمت خارج می‌شود. تهویه مکشی حالتی است که هنگامی که هوا می‌وزد بین دو جهت از پوشش ساختمان به وسیله اختلاف فشار باد القا شده در بین دو جهت به وجود می‌آید. هنگامی که هوا از یک جهت از فضا داخل می‌شود و از جهت مخالف خارج می‌شود اما نوعی که در این مطالعه به آن پرداخته شده است تهویه طبیعی عبوری می‌باشد. تهویه طبیعی عبوری زمانی صورت می‌گیرد که جریان هوا از یک یا چندین بازشو واقع در یک طرف ساختمان وارد شده و از طرف دیگر ساختمان از یک یا چندین بازشو دیگر خارج می‌شود. جریان هوا در این حالت عمدتاً منجر به ایجاد فشار باد در طرفین ساختمان می‌شود و باعث می‌شود که هوا به داخل ساختمان کشیده شود. بازشوهایی که در این نوع از تهویه مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توانند یک دریچه کوچک هوا و یا یک درب و یا یک پنجره باشند [۱]. اثبات شده است که تهویه طبیعی عبوری روشی مناسب و قابل اطمینان در تأمین هوای تازه و سالم می‌باشد و در عین حال که می‌تواند در مصرف انرژی باعث صرفه جویی شود می‌تواند به عنوان جانشین مناسب برای تهویه مکانیکی به کار گرفته شود [۲]. امروزه تلاش‌ها به سمتی است که این نوع تهویه را در ساختمان‌های اداری و تجاری به کار گیرند، پس بنابراین یک طراحی مناسب و بهینه می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. پارامتر مهمی که بر روی مقدار تهویه صورت گرفته مؤثر است ضریب تخلیه بازشو می‌باشد. ضریب تخلیه در یک بازشو با استفاده از رابطه (۱) که به معادله اوریفیس موسوم است و به صورت زیر تعریف می‌شود به دست می‌آید [۳]:

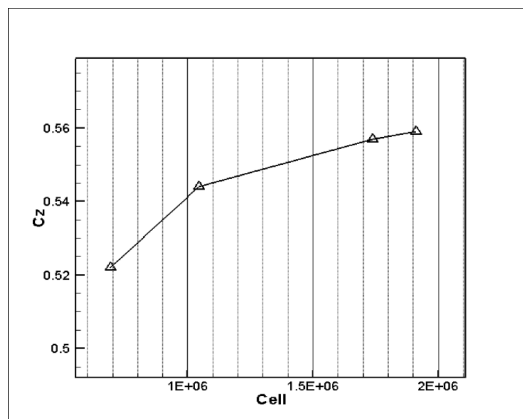
$$C_z = \frac{q}{A \sqrt{2\Delta P} \rho} \quad (1)$$

که  $C_z$  ضریب تخلیه،  $q$  دبی حجمی بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $A$  مساحت سطح مقطع بازشو بر حسب مترمربع،  $\rho$  چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و  $\Delta P$  اختلاف فشار استاتیکی عبوری از بازشو بر حسب پاسکال می‌باشند. معادله (۱) با استفاده از معادله‌های پیوستگی و برنولی و با فرض جریان تراکم ناپذیر و در حالت پایا به دست آمده است. در مراجع مقدار ضریب تخلیه برای بازشوهایی با لبه تیز بین ۰/۶ تا ۰/۶۵ داده شده است [۳-۵]. کاراوا و همکارانش چندین آزمایش انجام دادند و دریافتند که نسبت دادن یک مقدار ثابت برای ضریب تخلیه یک فرض اشتباه و نادرست می‌باشد [۶]. هیزلبرگ و ساندبرگ معادله اوریفیس را برای محاسبه مقدار جریان هوای صورت گرفته در یک تهویه و در یک ساختمان به کار گرفتند و دریافتند که مقدار ضریب تخلیه در بازشو به اندازه و نوع بازشو بستگی دارد [۷]. چو و همکارانش با استفاده از آزمایشات صورت گرفته در یک تونل باد که بر روی یک ساختمان نمونه فاقد اجزایی داخلی صورت گرفت دریافتند که مقدار ضریب تخلیه به جهت باد و مقدار عدد رینولدز در بازشو وابسته می‌باشد و مستقل از مقدار شدت آشفتگی و سرعت جریان خارجی می‌باشد [۸]. اکسلی و چانگ در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که بازشوهایی مانند درب و پنجره از نوع بازشوهایی با لبه تیز نیستند [۹]. ساواچی و همکارانش نیز به این نتیجه رسیدند که مقدار ضریب تخلیه در بازشو به جهت جریان و نیز مقدار اختلاف فشار طرفین بازشو بستگی دارد [۱۰]. بالا بودن مقدار ضریب تخلیه بازشو باعث می‌شود مقدار دبی هوای بیشتری از

می‌باشد. از آنجایی که مقدار عدد ماخ در همه نقاط و کلیه حالات مورد بحث خیلی کوچکتر از ۱ می‌باشد پس می‌توان هوا را تراکم ناپذیر فرض کرد. نرم افزار تجاری مورد استفاده برای حل شبکه سه بعدی، *Fluent* می‌باشد و همچنین برای ایجاد شبکه از نرم افزار گمبیت استفاده شده است.

#### ۴- استقلال حل از شبکه

برای آن که حل از شبکه مستقل شود شبکه به نحوی مش زده می‌شود که اندازه‌ی سلول‌ها از یک مقدار درشت شروع شده و پس از ریز کردن در نهایت به تعدادی از سلول رسیده می‌شود که پس از آن با تغییر در تعداد آنها تغییر محسوسی در نتایج به دست نمی‌آید (نتایج کمتر از ۰/۲ درصد تغییر می‌کند). در نهایت شبکه‌ای که به دست می‌آید متشکل از ۱۹۱۰۸۴۲ سلول می‌باشد. در شکل (۲) چگونگی استقلال حل از شبکه نشان داده شده است. لازم به ذکر است که به منظور مطالعه شبکه، کلیه مقادیر به دست آمده برای ضریب تخلیه در یک رینولدز ثابت و برابر به دست آمده‌اند.



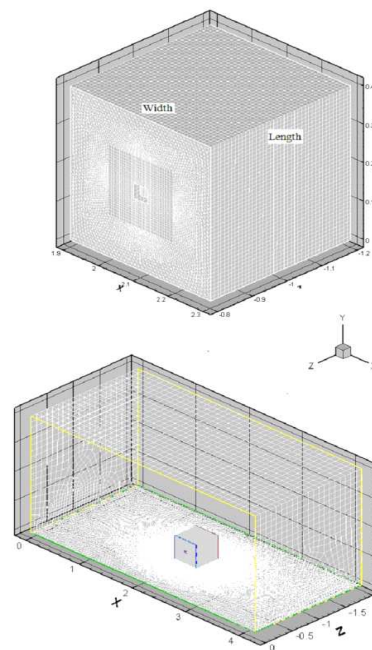
شکل ۲- استقلال از شبکه

#### ۵- مطالعه مدل آشفتگی

شبیه‌سازی عددی سه بعدی توسط مدل‌های آشفتگی مختلفی انجام گرفته شده که فهرستی از آن در زیر آورده شده است:

- مدل *k-ε* استاندارد .
- مدل *k-w* استاندارد .
- مدل *RNG* .
- مدل تنش رینولدز .
- مدل انتقال تنش برشی *k-w* .
- مدل *k-ε* تحقق پذیر .

تأثیر مدل‌های آشفتگی مختلف بر روی مقدار ضریب تخلیه بررسی شد و همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است مدل *k-ε* استاندارد بهترین انطباق را با نتایج تجربی دارد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد نتایج مدل‌های *k-ε* و *k-w* تفاوت فاحشی با مدل *sst* (shear stress transport) دارد که دلیل این پدیده این است که *k-ε* مدلی دو معادله‌ای است ولی *k-w* مدلی پنج معادله‌ای است اگر *sst* (shear stress transport) ترکیبی از آنها باشد به دلیل غیرخطی بودن روابط حاکم و افزایش تعداد معادلات الزاماً نباید جواب

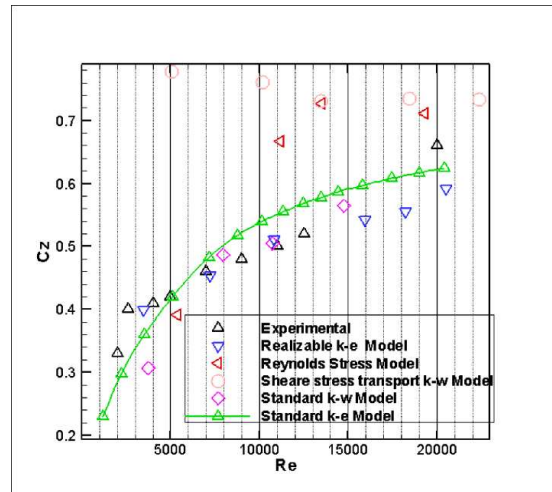


شکل ۱- نمایی از ناحیه محاسباتی

#### ۳- شرح مدل و تنظیمات

مدل انتخاب شده برای حل ساختمان مکعب شکل به ابعاد مساوی و برابر ۴۰ سانتیمتر است که دارای یک بازو مربعی به ضلع ۴ سانتی متر بر روی دیوار رو به باد ساختمان و یک بازو با همین ابعاد بر روی دیوار پشت به باد ساختمان می‌باشد. موقعیت مکانی این بازوها دقیقاً در مرکز دیوارهای فوق می‌باشد. جریان هوا پس از آنکه به ساختمان برخورد می‌کند قسمتی از آن از بازو واقع در قسمت جلویی ساختمان وارد شده و از بازوئی که بر روی دیوار پشت به باد قرار دارد از اتاقک خارج می‌شود. با تغییر در مقدار سرعت جریان خارجی در سطح آزاد مقدار سرعت هوای وارد شده به ساختمان نیز تغییر می‌کند و به این ترتیب مقادیر مختلف عدد رینولدز برای جریان هوا عبوری از بازو به دست خواهد آمد. شرط مرزی جریان در صفحه انتهایی ناحیه حل و در موقعیت  $Z=-2$  خروجی فشار (Pressure Outlet) و شرط مرزی جریان در موقعیت  $Z=0$  ورودی سرعت (Velocity Inlet) و شرط مرزی در نواحی جانبی دیوار (Wall) می‌باشد و همچنین در مرزها شرط عدم لغزش در نظر گرفته شده است. در بازوهای واقع بر روی ساختمان نمونه شرط مرزی اینترفیس (Interface) در نظر گرفته شده است و نهایتاً با استفاده از *Interface Grid* به یکدیگر متصل شده‌اند. شرط مرزی در بازوئی واقع در روی صفحه پشت به باد دمنده می‌باشد که با تغییر در مقدار مکش دمنده می‌توان مقدار هوای وارد شده به ساختمان را کنترل کرد و به رینولدزهای مختلف در بازو رو به باد دست پیدا کرد. لازم به ذکر است که در روی ساختمان نمونه همه خواص به کار گرفته شده برای هوا در دمای ۲۷ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است. در مقدار دهی به شرط مرزی سرعت در ورود به ناحیه این قابلیت وجود دارد که میزان شدت درهمی و مقیاس طول درهمی مقداردهی شود به نحوی که میزان درهمی بر حسب درصد و نیز مقدار مقیاس طول درهمی بر حسب متر قابل بیان

نزدیک به هم داشته باشند هر چند که مش بندی لایه مرزی نزدیک به دیواره و توابع دیواره تأثیر به سزایی بر عملکرد مدل های توربولانسی دارد.



شکل ۳- مدل های مختلف جریان آشفته برای ساختمانی با  $d = 4$  cm,  $Iu=10\%$

### ۶- معادلات حاکم بر حل

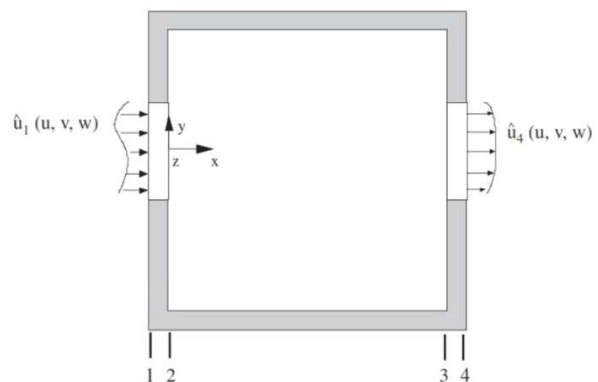
معادلات مختلف حاکم بر مدل  $k-\epsilon$  استاندارد برای یک جریان تراکم ناپذیر و در حالت پایدار می تواند به صورت زیر نوشته شود: معادله پیوستگی [۳]:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(u_j) = 0 \quad (3)$$

برای ساختمان هایی با یک باز شو در ورود و خروجی مانند شکل (۴)، معادله پیوستگی با انتگرال گیری از بردار سرعت در صفحات (۱) و (۴) به دست می آید:

$$\rho \int u_1 dA_1 - \rho \int u_4 dA_4 = 0 \quad (4)$$

که  $A_1$  و  $A_4$  مساحت سطح مقطع دریاچه های ورودی و خروجی بر حسب متر مربع می باشند.



شکل ۴- طرحواره ای از یک ساختمان با دو باز شو

معادله مومنتم:

$$\rho u_j \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \mu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (5)$$

که در آن  $\mu_t$  و لزجت گردابی می باشد که رابطه آن به صورت زیر می باشد:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$C_\mu = 0.09$  و ثابت می باشد.

مدل  $k-\epsilon$  استاندارد یک مدل نیمه تجربی بر پایه معادلات انتقال انرژی جنبشی آشفته  $k$  و نرخ پراکندگی  $\epsilon$  می باشد. معادلات انتقال برای  $k$  از حل دقیق به دست می آید ولی برای به دست آوردن معادلات انتقال  $\epsilon$  از دلایل فیزیکی برای حل دقیق ریاضی استفاده می شود. در به دست آوردن مدل آشفته  $k-\epsilon$  فرض شده است که جریان بسیار آشفته می باشد و از تأثیر لزجت مولکولی صرف نظر شده است. انرژی جنبشی درهم  $k$  و نرخ پراکندگی  $\epsilon$  از معادلات انتقال زیر به دست می آیند [۳]:

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - \frac{\epsilon^2}{k} \rho C_{2\epsilon} \quad (7)$$

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (8)$$

که در آن و اعداد پراوتل درهم برای  $k$  و  $\epsilon$  می باشند  $C_{1\epsilon} = 1.44$  و  $C_{2\epsilon} = 1.92$  ثابت هایی هستند که در طول حل تغییر نمی کنند.

$G_k$  نشان دهنده انرژی جنبشی آشفته تولیدی می باشد که منجر به گردادی های سرعت متوسط می شود و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (9)$$

که  $S$  مدول متوسط زمانی نرخ تانسور کرنش می باشد و به صورت زیر تعریف می شود [۳]:

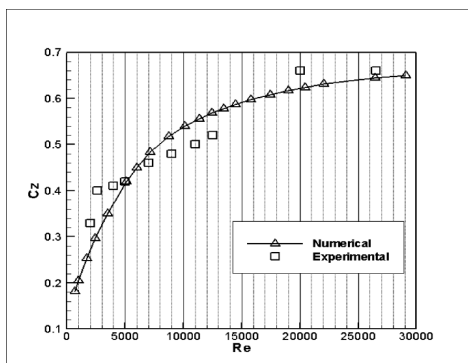
$$S = \sqrt{2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij}} \quad (10)$$

که از رابطه زیر به دست خواهد آمد [۳]:

$$\bar{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (11)$$

### ۷- بررسی صحت نتایج حل عددی

به منظور اینکه نتایج حاصل از حل عددی با نتایج تجربی مقایسه شود و مقدار خطای آن محاسبه شود با تغییر دادن مقدار رینولدز در باز شو و در حالتی که مقدار آشفتگی جریان خارجی برابر با ۱۰ درصد و اندازه ضلع باز شو ۴ سانتیمتر می باشد، دقت مدل بررسی خواهد شد. همان طور که در شکل (۵) مشاهده می شود در مقایسه با نتایج تجربی مقدار بیشینه خطای نسبی ۱۵ درصد و کمترین مقدار خطای نسبی ۱/۵ درصد می باشد.

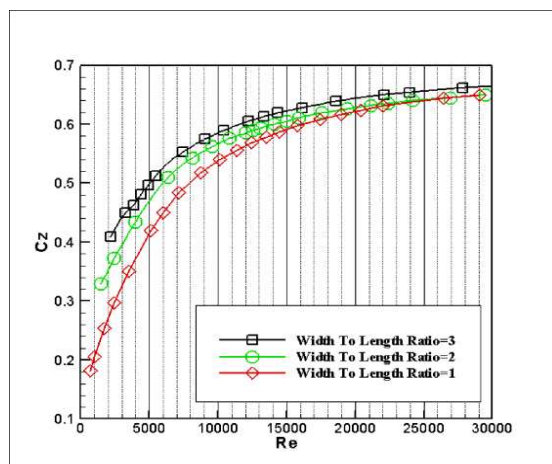


شکل ۵- نتایج به دست آمده از حل عددی و تجربی در حالت

$d=4$  cm و  $Iu=10\%$

## ۸- ضریب تخلیه

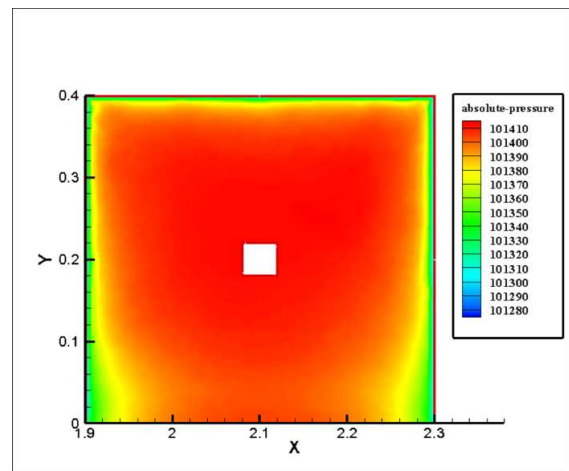
مقدار ضریب تخلیه با زیاد شدن مقدار رینولدز در باز شو افزایش می‌یابد. در رینولدزهای پایین (کمتر از ۲۹۰۰۰) با افزایش نسبت عرض به طول ساختمان مقدار ضریب تخلیه افزایش می‌یابد ولی با زیاد شدن مقدار رینولدز در باز شو از تأثیر این افزایش نسبت ابعادی بر ضریب تخلیه کاسته شده تا جایی که مقدار ضریب تخلیه با افزایش نسبت ابعادی عرض به طول ساختمان تغییر نمی‌کند و با گذر از رینولدز ۲۹۰۰۰ مقدار ضریب تخلیه برای هر سه نسبت ابعادی مقدار ثابت ۰/۶۵ را خواهد داشت. شکل (۸) نمودار تغییرات ضریب تخلیه بر حسب رینولدز را برای حالتی که مقدار آشفتگی جریان خارجی ۱۰ درصد و نیز اندازه ضلع باز شو ۴ سانتیمتر می‌باشد را برای سه نسبت عرض به طول ساختمان مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۸- اثر افزایش نسبت عرض به طول ساختمان بر روی ضریب تخلیه در رینولدزهای مختلف و در  $d=4\text{ cm}$ ,  $Iu=10\%$

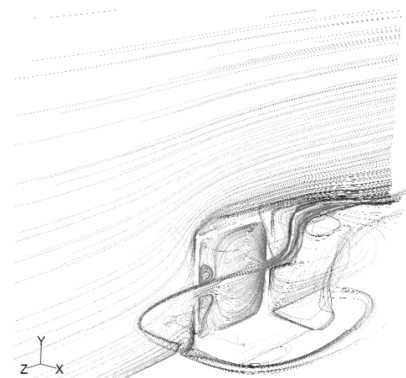
به طور مشابه برای نسبت طول به عرض‌های مختلف نمودار تغییرات ضریب تخلیه بر حسب رینولدز در شکل (۹) آورده شده است. همان طور که در شکل دیده می‌شود مقدار ضریب تخلیه برای این حالت نیز با افزایش مقدار رینولدز در باز شو، افزایش می‌یابد (در رینولدزهای کمتر از ۲۹۰۰۰) و با افزایش نسبت طول به عرض کاهش می‌یابد ولی با افزایش رینولدز تأثیر افزایش این نسبت کم شده و با گذر از رینولدزهای ۲۹۰۰۰ مقدار ضریب تخلیه در هر سه نسبت ابعادی برابر با ۰.۶۵ خواهد شد.

با دقت در نتایج به دست آمده از حل عددی و مقایسه با نتایج تجربی این نکته استنباط می‌شود که انطباق خوبی بین نتایج وجود دارد و نتایج عددی قابل اعتنا و اتکا می‌باشد و می‌توان از مدل عددی برای بررسی سایر حالات نیز استفاده شود. در ابتدا کانتورهای توزیع فشار بر روی دیوار روبه باد و در اطراف باز شو و نیز همچنین خطوط جریان در اطراف ساختمان آورده می‌شود و در ادامه تأثیر نسبت ابعادی ساختمان و نیز تأثیر مقدار آشفتگی جریان در سطح آزاد بر روی مقدار ضریب تخلیه در تهویه عبوری از ساختمان بررسی خواهد شد. همان طور که از شکل (۶) می‌توان دریافت بیشترین مقدار فشار در اطراف باز شو می‌باشد و با حرکت به سمت طرفین باز شو از شدت آن کاسته شد می‌شود. در واقع مقدار بالای فشار در اطراف باز شو باعث مکش هوا از باز شو جلویی می‌شود و عامل اصلی کشیده شدن هوا به داخل ساختمان می‌باشد و باعث می‌شود هوا به داخل ساختمان نفوذ کند.



شکل ۶- کانتور توزیع فشار بر روی دیوار رو به باد (بر حسب پاسکال) و در حالت  $U=8\text{ m/s}$  و  $Iu=10\%$  و  $d=4\text{ cm}$

شکل (۷) توزیع خطوط جریان در اطراف ساختمان را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل نیز دیده می‌شود تراکم خطوط جریان در اطراف ساختمان بیشترین مقدار را داراست. پس از اصابت جریان هوا با ساختمان، در پشت ساختمان گردابه‌هایی ایجاد می‌شود که جریان هوا در آن به صورت بازگشتی می‌باشد.



شکل ۷- توزیع خطوط جریان در اطراف ساختمان در حالت  $U=8\text{ m/s}$  و  $Iu=10\%$  و  $d=4\text{ cm}$

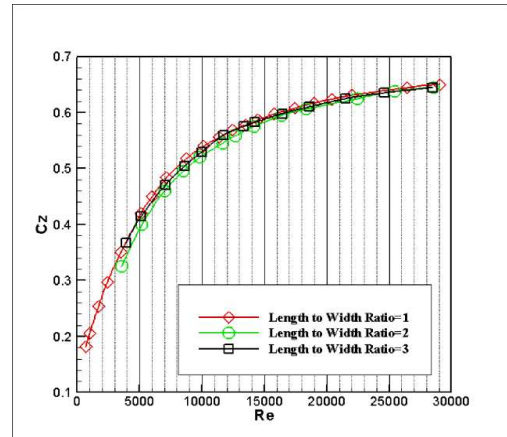
- مقدار ضریب تخلیه بازشو با افزایش عدد رینولدز در بازشو افزایش می‌یابد.
- مقدار ضریب تخلیه متوسط وقتی که نسبت عرض به طول ساختمان برابر با ۲ است در مقایسه با ساختمان با نسبت ابعاد ۱، ۱۴/۷ درصد افزایش می‌یابد و در حالتی که نسبت عرض به طول ساختمان برابر با ۳ است ۱۶/۸ درصد افزایش می‌یابد.
- مقدار ضریب تخلیه متوسط وقتی که نسبت طول به عرض ساختمان برابر با ۲ است در مقایسه با ساختمان با نسبت ابعاد ۱، ۱۷/۷ درصد کاهش می‌یابد و در حالتی که نسبت طول به عرض ساختمان برابر با ۳ است، ۳/۲ درصد کاهش می‌یابد.
- مقدار متوسط ضریب تخلیه برای دو مقدار آشفته‌گی ۱ درصد و ۱۰ درصد به ترتیب برابر با ۰/۵۵۶۹ و ۰/۴۸۸۳ خواهد بود. به عبارت دیگر با افزایش مقدار آشفته‌گی جریان خارجی، مقدار ضریب تخلیه ۱۲/۳ درصد کاهش می‌یابد.

#### ۱۰- نمادها

A	مساحت سطح مقطع بازشو (مترمربع)
Cu	ضریب تخلیه بازشو
d	قطر هیدرولیکی بازشو (متر)
Iu	شدت درهمی (درصد)
q	نرخ دبی حجمی در داخل بازشو (متر مکعب بر ثانیه)
Re	عدد رینولدز در داخل بازشو
u	سرعت متوسط در داخل بازشو (متر بر ثانیه)
U	سرعت هوا در خارج از لایه مرزی و در حالت یکنواخت ورودی (متر بر ثانیه)
v	لزجت سینماتیکی (متر مربع بر ثانیه)
$\Delta P$	چگالی ه اختلاف فشار استاتیکی در طرفین بازشو (پاسکال)

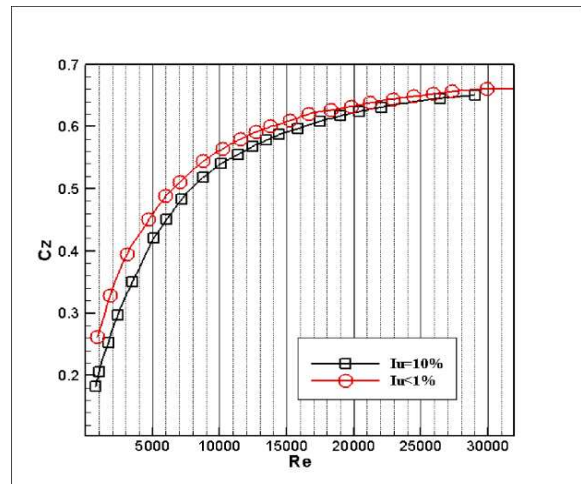
#### ۱۱- مراجع

- [1] Hazim Awbi: Ventilation of Buildings. spon press; 2005
- [2] Mochida A., Yoshino H., Takeda T., Kakegawa T., Miyauchi S., Methods for controlling airflow in and around a building under cross ventilation to improve indoor thermal comfort, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, PP. 437-449, 93, 2005.
- [3] Awbi H.B., Ventilation of Buildings, Taylor and Francis, London, England, pp.61, 1991.
- [4] Linden P.F., The Fluid Mechanics of Natural Ventilation, Annual Review of Fluid Mechanics 31, PP. 201-238, 1999.
- [5] Axley J.W., Analytical methods and computing tools for ventilation, in: M.Santamouris, P. Wouters (Eds.), Building Ventilation: The State of the Art, Earthscan, London, England, pp. 39-49, 2006.
- [6] Karava P., Stathopoulos T., Athienitis A.K., Wind driven flow through openings—a review of discharge coefficients, International Journal of Ventilation, Vol. 3, No.3, pp. 255-266, 2004.
- [7] Heiselberg P., Sandberg M., Evaluation of discharge coefficients for window openings in wind driven natural ventilation, International Journal of Ventilation, Vol. 5, No.1, PP. 43-52, 2006.
- [8] Chu C.R., Chiu Y.H., Chen Y.J., Wang Y.W., Chou C.P., Turbulence effects on the discharge coefficient and mean flow



شکل ۹- اثر افزایش نسبت طول به عرض ساختمان بر روی ضریب تخلیه در رینولدزهای مختلف و در  $d=4\text{ cm}$ ,  $Iu=10\%$

حال تأثیر تغییرات مقدار آشفته‌گی جریان در سطح آزاد را بر روی مقدار ضریب تخلیه بررسی خواهد شد. در این حالت برای دو آشفته‌گی متفاوت ۱۰ درصد و کمتر از ۱ درصد و در حالتی که اندازه ضلع بازشو برابر با ۴ سانتیمتر است به بررسی مدل پرداخته می‌شود. همان طور که در شکل (۱۰) دیده می‌شود در رینولدزهای کم (کمتر از ۲۹۰۰۰) با افزایش مقدار آشفته‌گی مقدار ضریب تخلیه کاهش می‌یابد ولی با زیاد شدن رینولدز از تأثیر آن کاسته شده تا جایی که از رینولدزهای ۲۹۰۰۰ به بعد ضریب تخلیه در هر دو حالت مقدار ۰/۶۵ را دارا خواهد بود.



شکل ۱۰- اثر مقدار آشفته‌گی جریان خارجی بر روی مقدار ضریب تخلیه و در  $d=4\text{ cm}$ ,  $Iu=10\%$ ,  $Iu<1\%$

#### ۹- نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، با افزایش نسبت عرض به طول ساختمان مقدار ضریب تخلیه بازشوها افزایش می‌یابد و در مقابل با افزایش نسبت طول به عرض ساختمان از مقدار ضریب تخلیه کاسته می‌شود. همچنین با افزایش مقدار آشفته‌گی جریان هوا در سطح آزاد از مقدار ضریب تخلیه کاسته می‌شود. در ذیل مقادیر دقیق نتایج مذکور به طور خلاصه آورده شده است:

rate of wind-driven cross ventilation, *Building and Environment* 44, PP.2064–2072, 2009.

[9] Axley JW., Chung DH., Well-posed models of porous buildings for macroscopic ventilation analysis. *Int J Vent*, Vol. 5, No.1, PP.:89–104, 2006.

[10] Sawachi T., Narita K., Kiyota N., Seto H., Nishizawa S, Ishikawa Y., Wind pressure and air flow in a full-scale building model under cross ventilation. *Int J Vent*, Vol.2, No.4, pp. 343–57, 2004.