مجله مهندسی مکانیک مدرس، شهریور 1396، دوره 17، شماره 6، ص‌ص 13-22

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی اثر هندسه دودکش میان تونلی بر نحوه پخش آلاینده در محیط بیرونی

قاسم حیدری‌نژاد[1*]، مژده شعاعی[2]

1- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

2- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* تهران، صندوق پستی 143-14115، gheidari@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 27 فروردین 1396

پذیرش: 03 اردیبهشت 1396

ارائه در سایت: 27 اردیبهشت 1396

کلید واژگان:

آلاینده

دودکش میان تونلی

شبیه‌سازی عددی

هندسه

چکیده

در سال‌های اخیر افزایش آلودگی و ترافیک در شهرها، باعث گسترش حمل و نقل زیرزمینی شده است. یک روش مرسوم برای تهویه تونل‌های شهری، ساخت دودکش‌های میان تونلی است. این دودکش‌ها عموماً در مناطق پر تراکم شهری قرار دارند و آلاینده‌های خروجی آن‌ها می‌تواند برای ساکنان ساختمان‌های مجاور خطرناک باشد. هندسه این دودکش‌ها تاکنون بر اساس سلیقه و تنها با هدف رعایت الزامات استانداردها برای هوای داخل تونل، تعیین می‌شود. در این مقاله برای اولین بار، نحوه پخش آلاینده‌های خروجی از هندسه‌های مختلف و متداول دودکش‌های میان تونلی با فرض یک ساختمان بلندتر در پایین دست بررسی شده است. نتایج بررسی می‌تواند به طراحی بهتر این دودکش‌ها و ساختمان‌های اطراف برای داشتن هوای سالم‌تر برای ساکنان ساختمان‌ها، کمک کند. بدین منظور شبیه‌سازی‌هایی با این‌فوم انجام شده است. در شبیه‌سازی‌ها از روش متوسط‌گیری معادلات ناویر-استوکس و مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ استفاده شده است. نتایج نشان داد که برای سرعت‌های خروجی یکسان، اثر هندسه مستطیلی و مربعی بر غلظت آلاینده‌ها، بر روی دیوار جلوی وزش باد، به اندازه ضلع عمود بر جریان بستگی دارد. برای سرعت خروجی کمتر از 6 متر بر ثانیه، حضور ساختمان پایین دست مانع از پخش آلاینده‌ها در ارتفاع بالاتر شده و مقدار آلاینده‌ها 100 درصد افزایش می‌یابد و برای سرعت‌های خروجی بیشتر از 6 متر بر ثانیه، افزایش سرعت، تغییر کمتری در مقدار غلظت در ارتفاعات پایینی دارد. همچنین نتایج نشان داد که سرعت خروجی آلاینده‌ها نسبت به شکل هندسی، اثر بیشتری بر پخش آلاینده‌ها دارد و با افزایش سرعت میزان این اثرگذاری کاهش می‌یابد.

Investigation of the effect of mid-tunnel shaft geometry on dispersion of the pollutant in environment

Ghassem Heidarinejad*, Mozhdeh Shoaei

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
* P.O.B. 14115-143 Tehran, Iran, gheidari@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 16 April 2017
Accepted 23 April 2017
Available Online 17 May 2017

Keywords:
Geometry
Mid-Tunnel Shaft
Numerical Simulation
Pollutant

ABSTRACT

In recent years, increased pollution and traffic in urban areas has caused the development of underground transport. One conventional approach for urban tunnel ventilation is construction of mid-tunnel shafts. These shafts are usually located in high-density urban areas and emissions from them can be harmful for the residents of adjacent buildings. The geometry of these shafts has been determined so far based on taste and only for the purpose of compliance standards criteria for tunnel indoor air. In this paper, pollutant dispersion from different and conventional geometries of mid-tunnel shafts with the assumption of a taller downstream building was investigated for the first time. The results can help to acheive a better design of these shafts and surrounding buildings to have healthier air for residents of buildings. For this purpose, simulations were done by OpenFOAM. Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations method and standard k-ε model were used in simulations. The results showed for the same exhaust velocity, the effect of rectangular and square configuration on front wall depends on dimension of the side which is perpendicular to wind direction. For the exhaust velocity less than 6 m/s, the downstream building prevents pollutants from reaching higher altitude, and the amount of pollutants will be increased around 100 percent. Moreover, for exhaust velocity of more than 6m/s, increasing velocity will cause fewer changes in pollutant concentration at lower level. In addition, the results showed that exhaust velocity has more effect than geometry configuration on pollutant dispersion and this influence will be decreased by increasing the velocity.

1- مقدمه

در سال‌های اخیر یکی از مسائل چالش برانگیز، افزایش آلودگی در سطح شهرها بوده است. این افزایش آلودگی منجر به مشکلات زیستی شده و سلامتی ساکنان شهرها را به خطر می‌اندازد. آلوده‌کننده‌ها به روش‌های مختلف وارد اتمسفر می‌شوند. یکی از روش‌های آزادسازی آلودگی که توجه بیشتری را نسبت به بقیه روش‌ها، به خود جلب کرده است، آلودگی آزاد شده

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Gh. Heidarinejad, M. Shoaei, Investigation of the effect of mid-tunnel shaft geometry on dispersion of the pollutant in environment, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 6, pp. 13-22, 2017 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

از منابع ساکن مانند دودکش‌ها است. دودکش‌ها در سایزهای مختلفی وجود دارند. یکی از انواع دودکش‌ها، دودکش‌های میان تونلی هستند.

از سال 1972 همراه با گسترش سیستم حمل و نقل زیرزمینی و افزایش تعداد تونل‌ها، طراحی سیستم تهویه آن‌ها به منظور آسایش و راحتی مسافرین در شرایط عادی و نجات جان افراد در شرایط اضطراری، توجه خاصی را به خود جلب کرده است. یکی از روش‌های مرسوم برای تهویه تونل‌های شهری که حجم بالایی از آلودگی در آن‌ها تولید می‌شود، استفاده از دودکش‌های میان تونلی در کنار سیستم تهویه طولی است.

همان‌طور که در بالا نیز ذکر شد، هدف از احداث تونل، کاهش آلودگی در سطح شهری یا کاهش ترافیک است. این دو هدف در یک راستا بوده و می‌بایست طبق استانداردهایی مانند PIARC، NFPA، SEDH، SFPE همزمان برقرار شوند. نحوه پخش آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های میان تونلی تنها برای تعداد معدودی از تونل‌هایی که در مناطق پر جمعیت شهری که هوای آلوده‌ای داشتند با آزمایش‌های میدانی ناقصی بررسی شده است[1]. این بررسی‌های محدود نشان داده که در بعضی موارد احداث تونل نه تنها مشکل آلودگی را حل نکرده، بلکه اثرات منفی بیشتری بر میزان آلودگی داشته است. آزمایش‌های میدانی اغلب زمان‌بر و هزینه بر هستند. از سوی دیگر برای توجیه نیاز به احداث تونل الزامی است که میزان غلظت آلاینده‌ها در مجاورت تونل و دودکش میان تونلی، قبل و بعد از احداث تونل تعیین شود که این امر نیازمند استفاده از شبیه‌سازی عددی است. شبیه‌سازی‌هایی که تاکنون انجام شده محدود به نرم افزارهای تجاری بوده که درصد خطایی بیشتر از 50 درصد داشته‌اند[1]. بنابراین با توجه به گسترش حمل و نقل زیرزمینی، بر نیاز به ارائه راهکارهایی برای شبیه‌سازی دقیق‌تر پخش آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های میان تونلی قبل از احداث تونل تاکید شده است[1].

به طور کلی عوامل مؤثر بر پراکندگی آشفتگی آلاینده‌ها در مناطق شهری را می‌توان به سه گروه اصلی پارامترهای منبع صادرکننده آلاینده‌ها، عوامل هواسنجی و مشخصات ساختمان‌های مجاور منابع تولید آلایندگی تقسیم‌بندی کرد.

پیچیدگی فرآیند پراکندگی آلاینده‌ها در مناطق شهری آشکار است و تحلیل دقیق اثر همه عوامل مؤثر، کار بسیار دشواری است. در کارهای که تاکنون انجام شده تمرکز بر روی اثر ساختمان‌های مجاور بر نحوه پخش آلاینده‌ها بوده است. در این تحقیقات عموماً منبع تولید آلاینده به صورت نقطه‌ای، خطی یا حجمی فرض شده‌اند که نمایشی از آلاینده‌های خروجی از ماشین‌ها است. تویمیناگا و همکاران مجموع تحقیقاتی را که تا سال 2008 در زمینه نحوه میدان جریان باد در اطراف ساختمان‌ها انجام شده، را بررسی کردند. بررسی‌های آن‌ها آزمایشات میدانی، تونل باد و شبیه‌سازی‌های عددی را در بر می‌گیرد. نتیجه بررسی‌ها به صورت راهکارهایی برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر و صحیح‌تر از دینامیک سیالات محاسباتی ارائه شد. شرایط مرزی که در این تحقیق به آن اشاره شده منبع صدور آلاینده را شامل نمی‌شود. در این تحقیق به استفاده از محدوده سه بعدی و درست مدل کردن اندازه و شکل ساختمان‌ها توصیه شده است[2]. ییم و همکاران نحوه پخش آلاینده‌ها و جریان هوا را برای یک منبع خطی در راستای خیابان و با نرخ ثابت بر روی 6×3 ردیف ساختمان مکعبی شکل بررسی کردند. بررسی‌ها با استفاده از روش عددی و نرم افزار فلئونت[1] انجام شد. در این تحقیق هدف تعیین اثر احداث 6 ساختمان در بالادست، برای دو حالت بلندتر و کوتاه‌تر از ساختمان‌های اصلی بود[3].

هانگ و همکاران پراکندگی آلاینده‌های خروجی از ماشین‌ها را بر روی مجموعه‌ای از ساختمان‌ها بررسی کردند. منبع تولید آلایندگی، حجمی با نرخ تولید ثابت در نزدیکی سطح زمین فرض شد. آن‌ها برای شبیه‌سازی از نرم افزار فلوئنت و مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ استفاده کردند. در این تحقیق عنوان شده که تأثیرپذیری میدان جریان بیشتر از شرط مرزی بالایی است و شرط مرزی صفحات جانبی تأثیر چندانی بر شکل جریان داخل خیابان ندارد. بنابراین به منظور کاهش حجم محاسباتی، از مجموعه 9 در 18 ردیف ساختمان، فقط یک ردیف 18 تایی ساختمان برای شبیه‌سازی استفاده گردید[4]. بادی و همکاران با استفاده از آزمایشات تونل باد، به بررسی تجربی شکل میدان جریان هوا و نحوه پخش آلاینده‌ها بر روی مجموعه‌ای از ساختمان‌ها پرداختند. منبع تولید آلاینده به صورت چهار نقطه در کف خیابان در نظر گرفته شد. نتایج آزمایشات نشان دادند که شکل ساختمان‌ها، فاصله بین ساختمان‌ها و راستای وزش باد عوامل بسیار مهمی در تعیین هم مشخصات جریان باد و هم پراکندگی آلاینده‌ها هستند[5].

در تعدادی از تحقیقات قبلی نیز دودکش‌های واقع در بالای ساختمان به عنوان منبع تولید آلاینده در نظر گرفته شدند. گوسیو و همکاران نحوه پخش آلاینده‌های خروجی از یک دودکش سقفی را در یک محیط شهری با استفاده از دو روش شبیه‌سازی گردابه‌ای بزرگ[2] و متوسط‌گیری رینولدزی معادلات ناویر-استوکس[3] بررسی کردند. مقایسه نتایج با آزمایشات تونل باد نشان داد که پیش‌بینی صحیح مقدار غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی منبع، نیازمند شبکه‌بندی ریز است. بنابراین در مواردی که هدف بررسی آلودگی در میدان نزدیک[4] است، می‌توان با کم کردن تعداد ساختمان‌های مجاور هزینه محاسباتی را به اندازه قابل قبولی کاهش داد[6]. گوسیو و همکاران در تحقیق دیگری اثر شکل منبع صدور آلاینده را بر پخش آلاینده‌ها بررسی کردند. در این بررسی، دو دودکش سقفی با ارتفاع مختلف در نظر گرفته شد[7]. زیا و همکاران نیز اثر سرعت جریان باد و زبری سطح را بر نحوه پخش آلاینده‌های خروجی از دودکش یک معدن اورانیوم در یک مزرعه پایین دست بررسی کردند. نتایج نشان داد که سرعت باد اثر بسیار بیشتری نسبت به زبری سطحی دارد و از زبری سطحی که نمادی از حضور ساختمان‌های دور دست است، می‌توان صرف‌نظر کرد[8].

دودکش‌های بررسی شده در کارهای پیشین، عموماً دارای ابعادی کوچک هستند و دودکش‌های میان تونلی تاکنون در تحقیقات نادیده گرفته شده‌اند. دودکش‌های میان تونلی به دلیل حجم زیاد آلودگی متفاوت از دودکش‌های خانگی و دیگر منابع آلودگی هستند. همچنین محل احداث این دودکش‌ها، باعث برجسته شدن تمایز آن‌ها از سایر دودکش‌ها می‌شود. هدف از احداث دودکش های میان تونلی کاهش آلودگی در سطح زمین است ولی به با توجه به هزینه زیاد لازم برای احداث این دودکش‌ها، تاکنون تنها معیارها برای هندسه و محل احداث این دودکش‌ها، رسیدن به الزامات استانداردها در داخل تونل، امکان تملک زمین و امکان قرارگیری ادوات مکانیکی لازم در داخل دودکش‌ها بوده است. مسلماً هندسه این دودکش‌ها بر کارایی آن‌ها در پخش آلاینده‌ها در ارتفاعی بالاتر و رقیق‌سازی تا قبل از رسیدن به سطح زمین، تأثیرگذار است. بنابراین بررسی نحوه پخش دود و آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های میان تونلی می‌تواند به طراحی درست و بهینه آن‌ها کمک کند. هدف مقاله حاضر بررسی اثر شکل هندسی این

[1] Fluent

[2] Large Eddy Simulation
[3] Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)
[4] Near-Field

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

دودکش‌ها بر نحوه توزیع آلاینده‌های خروجی، در حضور ساختمان‌ها است.

بدین منظور از شبیه‌سازی عددی با روش مدل‌سازی متوسط‌گیری رینولدزی معادلات ناویر-استوکس استفاده شده است. 9 شبیه‌سازی مختلف برای دو نوع هندسه مربعی و مستطیلی برای دودکش، انجام شده است. ابعاد هندسه‌های به کار رفته در شبیه‌سازی‌ها در جدول 1 آورده شده است. هندسه‌های استفاده شده جز هندسه‌های متداول در تونل‌های احداث شده هستند. نتایج نشان داد که هندسه دودکش‌های میان تونلی باید به گونه‌ای انتخاب شود که سرعت خروجی آلاینده‌ها بیشتر از 6 متر بر ثانیه باشد. برای سرعت‌های کمتر از 6 متر بر ثانیه، حضور یک ساختمان بلند در پایین دست می‌تواند اثرات نامطلوبی بر پخش آلاینده‌ها بگذارد.

2- روش عددی

2-1- معادلات حاکم

یکی از الزامات طراحی سامانه‌های تهویه تونل‌ها این است که دمای تونل‌ها حداکثر 5 درجه سانتیگراد بیشتر از هوای بیرون باشد[1]. با توجه به مومنتم بالای گازهای خروجی و پایین بودن عدد ریچاردسون، از اثر نیروی شناوری صرف‌نظر شد. بنابراین با فرض تراکم ناپذیری برای سیال هوا، معادلات حاکم بر جریان، دو معادله بقای جرم و بقای مومنتم هستند. حل این معادلات نیازمند تعیین روش مناسب برای مدلسازی آشفتگی است. رویکرد جاری در شبیه‌سازی عددی جریان‌های هوا در لایه مرزی اتمسفری، استفاده از مدل‌های متوسط رینولدزی معادلات ناویر-استوکس است. اگرچه نتایج فعالیت‌های پیشین نشان می‌دهد که شبیه‌سازی گردابه‌ای بزرگ در تشخیص جزئیات جریان بهتر عمل می‌کند اما مدل‌های متوسط رینولدزی ناویر-استوکس نیز روند توزیع و مقادیر میانگین کمیت‌ها را درست پیش‌بینی کرده‌اند[9]. همچنین برای یک شبکه‌بندی یکسان که به اندازه کافی ریز نشده باشد، نتایج شبیه‌سازی گردابه‌ای بزرگ برتری نداشته است[10]. در این تحقیق هدف، بررسی اثر هندسه دودکش‌های میان تونلی بر الگوی کلی پخش و مقدار آلاینده‌ها در حضور ساختمان پایین دست است. بنابراین روش متوسط‌گیری رینولدزی معادلات ناویر-استوکس برای مدلسازی آشفتگی انتخاب شده است. در نتیجه معادلات حاکم به صورت زیر نوشته می‌شوند[11].

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} = \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial} \tag{1}$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + (\bar{u}_i \cdot \nabla)\bar{u}_i = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \vartheta \nabla^2 \bar{u}_i - \frac{\partial\left(\overline{\acute{u}_i \acute{u}_j}\right)}{\partial x_j} + g_i \tag{2}$$

ترم $-\overline{\acute{u}_i \acute{u}_j}$ ظاهر شده در معادله (2)، ترم تنش رینولدزی است که برای مدلسازی آن از مدل استاندارد $k-\varepsilon$ استفاده شده است. کارایی این مدل و صحت نتایج آن در مقایسه با آزمایشات میدانی و تونل باد، در گذشته در کارهای بسیاری با فیزیک مشابه نشان داده شده است[12,6]. در مدل آشفتگی $k-\varepsilon$، تانسور تنش‌های رینولدزی با استفاده از فرضیه بوسینسک[1] به صورت زیر تعریف می‌شود[11].

$$-\rho\overline{\acute{u}_i \acute{u}_j} = \mu_t\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial u_i}\right) - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \tag{3}$$

مدل $k-\varepsilon$ به دو معادله انتقال اضافی از k و ε نیاز دارد. این معادلات عبارتند از[11]:

$$\rho\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + P_k + G_k - \rho\varepsilon \tag{4}$$

$$\rho\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}[P_k + C_{\varepsilon 2}G_k] - C_{\varepsilon 2}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \tag{5}$$

که در آن‌ها P_k ترم تولید بوده و به صورت زیر می‌باشد[11].

$$P_k = \mu_t\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial u_i}\right)\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \tag{6}$$

و G_k نیز ترم تولید انرژی جنبشی آشفتگی در نتیجه نیروی شناوری است که به صورت زیر تعریف می‌شود[11].

$$G_k = -\beta g_i \frac{\mu_t}{\sigma_t}\frac{\partial T}{\partial z} \tag{7}$$

مقادیر ضرایب رابطه‌های 4 و 5 نیز عبارتند از[11]:

$\sigma_t = 1,\ \sigma_\varepsilon = 1.3,\ \sigma_k = 1,\ C_{\varepsilon 2} = 1.92,\ C_{\varepsilon 1} = 1.44,\ C_\mu = 0.09$

با فرض عدم امکان واکنش برای آلاینده‌ها، معادله انتقال آلاینده‌ها برای تعیین میدان توزیع آن‌ها، بعد از متوسط‌گیری رینولدزی به صورت زیر نوشته می‌شود[11].

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\bar{u}_i\bar{C} - (\Gamma + \Gamma_t)\frac{\partial \bar{C}}{\partial x_i}\right] = \overline{S_C} \tag{8}$$

در معادله (8) ترم $\partial(\Gamma\,\partial\bar{C}/\partial x_i)/\partial x_i$ شار جرمی مولکولی است (از مرتبه بزرگی 10^{-5}) که در مقایسه با شار جرمی آشفتگی (از مرتبه بزرگی 10) قابل چشم پوشی است[7]. بنابراین ضریب پخش مولکولی در معادله (8) برابر با صفر در نظر گرفته شده است. برای حل معادلات بقای جرم، مومنتم و انتقال آلاینده‌ها از روش حجم محدود و نرم افزار متن باز اپن‌فوم[2] استفاده شد. برای گسسته‌سازی کلیه ترم‌های معادلات حاکم به جز فشار از روش بادسو مرتبه دوم[3] استفاده شده است[13]. ترم فشار با روش استاندارد گسسته‌سازی شده است[13]. معادلات با استفاده از الگوریتم سیمپل[4] حل شده و حل با فرض جریان دائم، تا زمان رسیدن باقیمانده بدون بعد شده همه کمیت‌های جریان تا 1×10^{-6} ادامه یافته است[13].

2-2- هندسه و شبکه‌بندی

هندسه مورد بررسی در شکل 1 نشان داده شده است. دو نوع هندسه مربعی و مستطیلی برای دودکش به کار رفته است. برای بررسی اثر هندسه دودکش‌های میان تونلی در سرعت‌های مختلف جریان باد، نه شبیه‌سازی مختلف انجام شده است که مشخصات آن در جدول 1 آورده شده است.

آلاینده‌ها توسط فن قرار گرفته شده در دودکش به بیرون رانده می‌شوند. نوع فن و در نتیجه دبی جرمی خروجی آلاینده‌ها در شبیه‌سازی‌ها یکسان است. در شبیه‌سازی‌های انجام شده ابعاد دودکش به گونه‌ای انتخاب شده است که بتوان در سرعت‌های مختلف خروجی، اثر شکل دودکش را بر پخش آلاینده‌ها بررسی کرد.

جدول 1 مشخصات هندسی شبیه‌سازی‌ها

Table 1 Geometrical characteristics of simulations

V_{out}(m/s)	U_{ref}(m/s)	W_2(m)	W_1(m)	شماره
8	4.7	3.873	3.873	1
6	4.7	4.472	4.472	2
4	4.7	5.477	5.477	3
8	4.7	5	3	4
6	4.7	5	4	5
4	4.7	5	6	6
8	2.5	5	3	7
6	2.5	5	4	8
4	2.5	5	6	9

[1] Boussinesque

[2] OpenFOAM
[3] Second Order Upwind
[4] SIMPLE

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

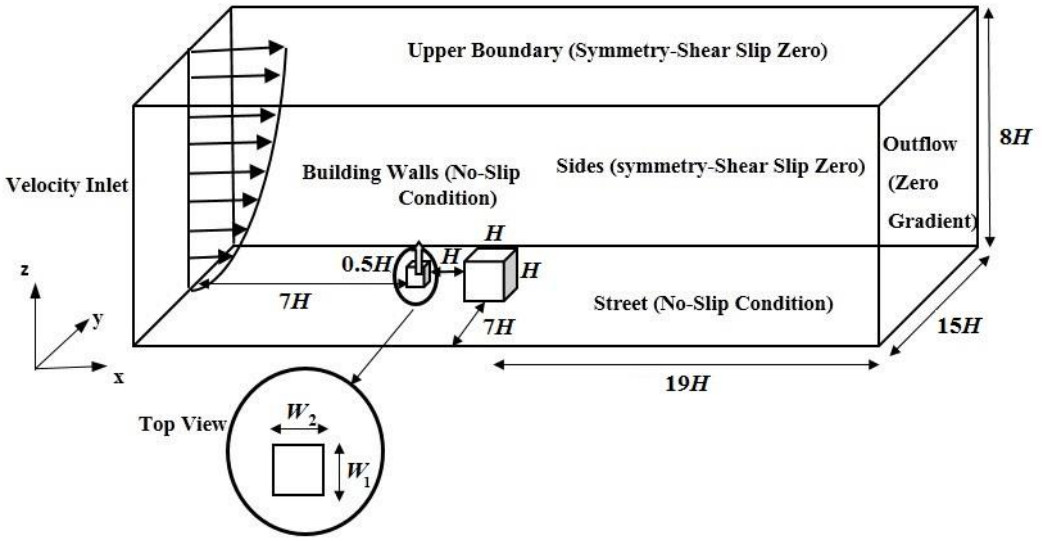

Fig. 1 Geometry and boundary conditions used in the simulation

شکل 1 هندسه و شرایط مرزی مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها

برای کم کردن هزینه محاسباتی، از حضور ساختمان‌های اطراف صرف‌نظر و تنها یک ساختمان با ارتفاع دو برابر دودکش در پایین دست جریان مدل شد[8,6]. این ارتفاع متناسب با ساختمان 6 طبقه است که بیشترین فراوانی را در محیط شهری دارند.

ارتفاع دودکش و فاصله آن از ساختمان پایین دست در تمام شبیه‌سازی‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. در بررسی جریان‌های اطراف ساختمان‌ها، شرایط مرزی در فواصلی بر اساس ارتفاع بلندترین ساختمان موجود در هندسه اعمال می‌شود[2].

فاصله مرزهای خروجی، جانبی، ورودی و بالایی در شبیه‌سازی‌ها نیز به ترتیب برابر با $19H$، 7H، $8H$ و $7H$ است که H ارتفاع ساختمان پایین دست جریان است[9]. این فواصل به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که اعمال شرایط مرزی در مرزهای جانبی، بالایی و خروجی کمترین اثر را بر نتایج داشته باشند. جریان ورودی نیز تا قبل از رسیدن به محدوده مورد بررسی به توسعه یافتگی برسد[2].

برای تولید شبکه از شبکه‌بندی منظم شش وجهی استفاده شده است. شاخص همگرایی شبکه[1] برای شبکه‌بندی منظم شش وجهی، یک مرتبه کمتر از شبکه‌بندی مثلثی است که در نتیجه می‌توان از شبکه‌بندی درشت‌تری استفاده نمود[14]. همچنین خطای قطع[2] در شبکه‌بندی مثلثی منجر به افزایش پخش عددی و در نتیجه تحمین اشتباه مقادیر آلاینده‌ها، به خصوص در نزدیکی گوشه‌ها، می‌شود[14]. با توجه به فیزیک جریان و وجود گرادیان‌های شدید در اطراف ساختمان‌ها، ناحیه محاسباتی به دو ناحیه تقسیم شده است. برای ناحیه محاسباتی کوچکتر که از هر سمت به اندازه $3H$ از ساختمان و دودکش فاصله دارد، شبکه‌بندی ریزتر با ابعاد $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.077H$ به کار رفته است[9]. این اندازه به گونه‌ای انتخاب شد که شرط حداقل ده سلول بر روی دیوارهای ساختمان‌ها ارضا شود و مقدار y^+ کمتر از 100 باشد[9,2].

با فاصله گرفتن از ناحیه محاسباتی کوچکتر، به تدریج اندازه شبکه افزایش یافته است.

[1] Grid Convergence Index
[2] Truncation Error

برای اطمینان از استقلال حل از شبکه‌بندی، شبیه‌سازی شماره 6 بر روی سه شبکه‌بندی مختلف (درشت، ریز و ریزتر) با تعداد سلول 1735437، 3584567 و 5062094 انجام شده است. مقادیر غلظت بر روی خط بین ساختمان و دودکش در راستای عمودی در شکل 2 نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل 2 پیداست، افزایش تعداد سلول‌ها از 3584567 به 5062094، تأثیر چندانی بر نتایج نداشته و بنابراین شبکه ریز با تعداد سلول 3584567 به عنوان شبکه نهایی برای انجام شبیه‌سازی‌ها انتخاب شده است.

3-2- شرایط مرزی

شرایط مرزی مورد استفاده در شبیه‌سازی نیز در شکل 1 نشان داده شده است. طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده در آزمایش تونل باد توسط سلیم و همکاران، در ورودی مقادیر سرعت، انرژی جنبشی آشفتگی و نرخ اتلاف آشفتگی به ترتیب با استفاده از رابطه‌های 9، 10 و 11 به دست آمده است[9].

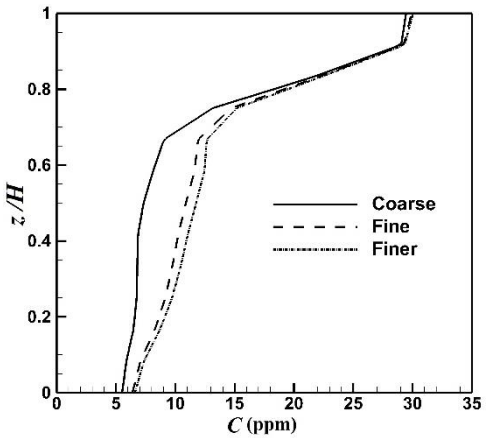

Fig. 2 Comparing numerical results of case No. 6 for coarse, fine and finest grid along vertical line between building and mid-tunnel shaft

شکل 2 مقایسه نتایج عددی مقدار غلظت در شبیه‌سازی شماره 6 برای شبکه‌بندی درشت، ریز و ریزتر بر روی خط عمودی بین ساختمان و دودکش میان تونلی در راستای عمودی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

$$u(z) = u_{\mathrm{ref}}\left(\frac{z}{0.12}\right)^{0.3} \tag{9}$$

$$k = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}}\left(1-\frac{z}{\delta}\right) \tag{10}$$

$$\varepsilon = \frac{u_*^3}{Kz}\left(1-\frac{z}{\delta}\right) \tag{11}$$

که در آن ارتفاع مرجع برابر با ارتفاع ساختمان (H) است. گرادیان تمامی کمیت‌های جریان در مرز خروجی برابر با صفر در نظر گرفته شده است و در مرزهای جانبی و بالایی از شرط مرزی تقارن و تنش برشی صفر استفاده شده است[9]. در خروجی دودکش نیز از شرط مرزی سرعت ثابت استفاده شده است. مدل آزمایشگاهی 1:150 مقیاس واقعی بوده و شبیه‌سازی‌ها نیز برای همین مقیاس انجام شده است.

3- صحت‌سنجی

برای تعیین میدان جریان و آلودگی، کدی نوشته شده است و به حلگرهای موجود در نرم افزار اپن‌فوم اضافه گردیده است. کد مذکور در هر تکرار بعد از حل معادلات بقای جرم، مومنتوم و تصحیح فشار با استفاده از الگوریتم سیمپل، معادله انتقال آلاینده را حل می‌کند. برای سنجش صحت کد در حل معادلات حاکم، لازم است برای جریانی با فیزیک مشابه، نتایج شبیه‌سازی عددی با نتایج آزمایشات تجربی مقایسه گردد. بدین منظور از نتایج آزمایشات تونل باد سلیم و همکاران استفاده شده است[9]. سلیم و همکاران نحوه پخش آلودگی بر روی دو ساختمان را در جریان لایه مرزی اتمسفری با روش عددی و آزمایشات تونل باد بررسی کردند. شبیه‌سازی بر روی هندسه‌ای مشابه با آزمایشات تونل باد و با شرایط مرزی توضیح داده شده در بخش 2-3 انجام شده است. شکل 3 مقایسه نتایج شبیه‌سازی عددی با کد نوشته شده و نتایج تجربی ارائه شده توسط سلیم و همکاران را نشان می‌دهد.

نمودار مقایسه نتایج تجربی و عددی مقادیر غلظت بر روی دیوارهای A و B در شکل 3 (a و b) آورده شده است.

مقادیر غلظت با استفاده از رابطه $c^+ = cu_{\mathrm{ref}}H/(Q/l)$ بی بعد شده است. با توجه به شکل 2، اختلاف بین نتایج حاصل از حل عددی و اندازه گیری تجربی کمتر از 6 درصد می‌باشد. اختلاف کمتر از 6 درصد، تطابق خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی را نشان می‌دهد که می‌تواند درستی کد نوشته شده، روش و شرایط مرزی شبیه‌سازی را تایید کند.

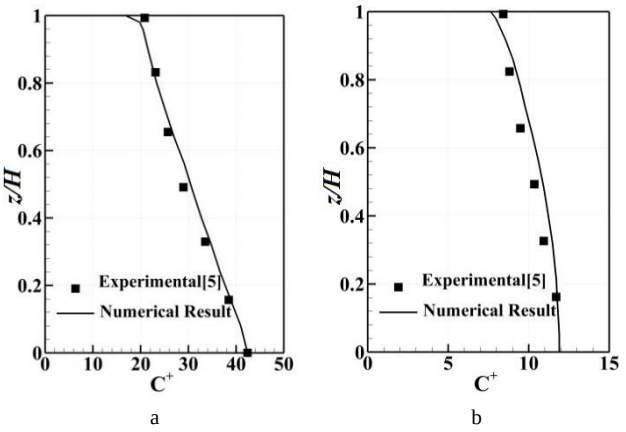

Fig. 3 Comparing numerical results and experimental data of dimensionless concentration (a) on wall A (b) on wall B

شکل 3 مقایسه نتایج تجربی و عددی مقدار غلظت بی بعد شده (a) بر روی دیوار A (b) بر روی دیوار B

4- نتایج

برای بررسی اثر هندسه دودکش‌های میان تونلی بر نحوه پخش آلاینده‌های خروجی از آن‌ها، نه شبیه‌سازی مختلف انجام شده است. مطابق با جداول ارائه شده در استاندارد PIARC بیشترین نرخ آلاینده تولید شده در تونل در اثر عبور خودروها، مربوط به گاز مونوکسید کربن است[15].

مطابق با این استاندارد، حداکثر مقدار مجاز برای مونوکسید کربن در تمام خروجی‌های تونل از جمله دودکش‌ها، 70 ppm است که طراحی سامانه تهویه نیز بر اساس همین مقدار مجاز صورت می‌گیرد[15]. بنابراین با توجه به یکسان بودن دبی حجمی خروجی دودکش در تمامی شبیه‌سازی‌ها (120 متر مکعب بر ثانیه)، دبی آلاینده‌های خروجی از دودکش‌ها نیز برای رسیدن به مقدار مجاز 70 میلی گرم بر متر مکعب برای آلاینده، در تمامی شبیه‌سازی‌ها یکسان و برابر با 8.4 گرم بر ثانیه و نوع آلاینده نیز گاز مونوکسید کربن در نظر گرفته شده است[15].

در بررسی نتایج، از اولین دیوار ساختمان عمود بر جریان باد، در راستای وزش باد، به عنوان دیوار جلویی و از دیوار دوم به عنوان دیوار پشتی نام برده شده است. کانتور توزیع غلظت بر روی دیوار جلویی ساختمان پایین دست در شبیه‌سازی‌های شماره 1 تا 6، در شکل 4 نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که دو توزیع دایره‌ای برای غلظت در گوشه‌های بالایی تشکیل می‌گردد که با کاهش سرعت خروجی، اندازه دایره‌ها بزرگتر شده و در نهایت برای سرعت خروجی 4 متر بر ثانیه با هم ترکیب شده که افزایش حدود 50 درصدی در مقدار غلظت آلاینده‌ها در طبقات پایینی ساختمان را منجر می‌شود. بنابراین میزان متوسط آلاینده‌ها در طبقات پایینی ساختمان از 5 ppm برای سرعت‌های 6 و 8 متر بر ثانیه، به 7.6 ppm برای سرعت خروجی 4 متر بر ثانیه رسیده است. همچنین برای سرعت‌های خروجی و هندسه‌های مختلف، میزان متوسط آلاینده‌ها در طبقات بالایی در دیوار جلویی بیشتر از طبقات پایینی است. مقدار متوسط غلظت در طبقات بالایی دیوار جلویی برای سرعت‌های خروجی 4، 6 و 8 متر بر ثانیه به ترتیب برابر با 11 ppm، 9 ppm و 7 ppm و در طبقات پایینی به ترتیب برابر با 7.6 ppm، 5 ppm و 5 ppm است.

کانتورهای شکل 4 نشان می‌دهد که تغییر ابعاد و سرعت خروجی آلاینده‌ها بر مقادیر غلظت در ارتفاعات بالاتر ساختمان پایین دست اثر گذاشته و در طبقات پایینی ساختمان تغییرات چندانی را به دنبال نخواهد داشت. همچنین از بررسی کانتورها این نتیجه به دست می‌آید که برای سرعت‌های خروجی بیشتر از 6 متر بر ثانیه، مقدار غلظت در طبقات بالایی ساختمان توزیع یکنواختی نداشته و در نزدیکی گوشه‌ها به 15 ppm برای سرعت خروجی 6 متر بر ثانیه و 14 ppm برای سرعت خروجی 8 متر بر ثانیه رسیده است که 100 درصد بیشتر از وسط (حدود 7 ppm) است.

در حالی که در طبقات پایینی توزیع یکنواختی برای غلظت مشاهده می‌شود. این در حالی است که برای سرعت خروجی 4 متر بر ثانیه، این ناهمگونی در توزیع علاوه بر طبقات بالایی (مقدار غلظت در گوشه‌ها برابر با 24 ppm و در وسط برابر با 10 ppm)، در طبقات پایینی نیز وجود دارد.

مقایسه کانتورهای ارائه شده در شکل a-4، c-4 و e-4 با b-4، d-4 و f-4 نشان می‌دهد که برای دیوار جلویی، کارایی هندسه مستطیلی و مربعی به مقدار W_1 وابسته است. در شرایطی که W_1 هندسه مستطیلی شکل نسبت به هندسه مربعی کمتر است، سطح کمتری از جریان خروجی در مقابل وزش باد قرار گرفته و در نتیجه جریان آلاینده‌ها مومنتم کمتری را از دست می‌دهد و این موضوع باعث پخش آلاینده‌ها در ارتفاع بالاتر و در نتیجه انتقال آلاینده‌ها

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

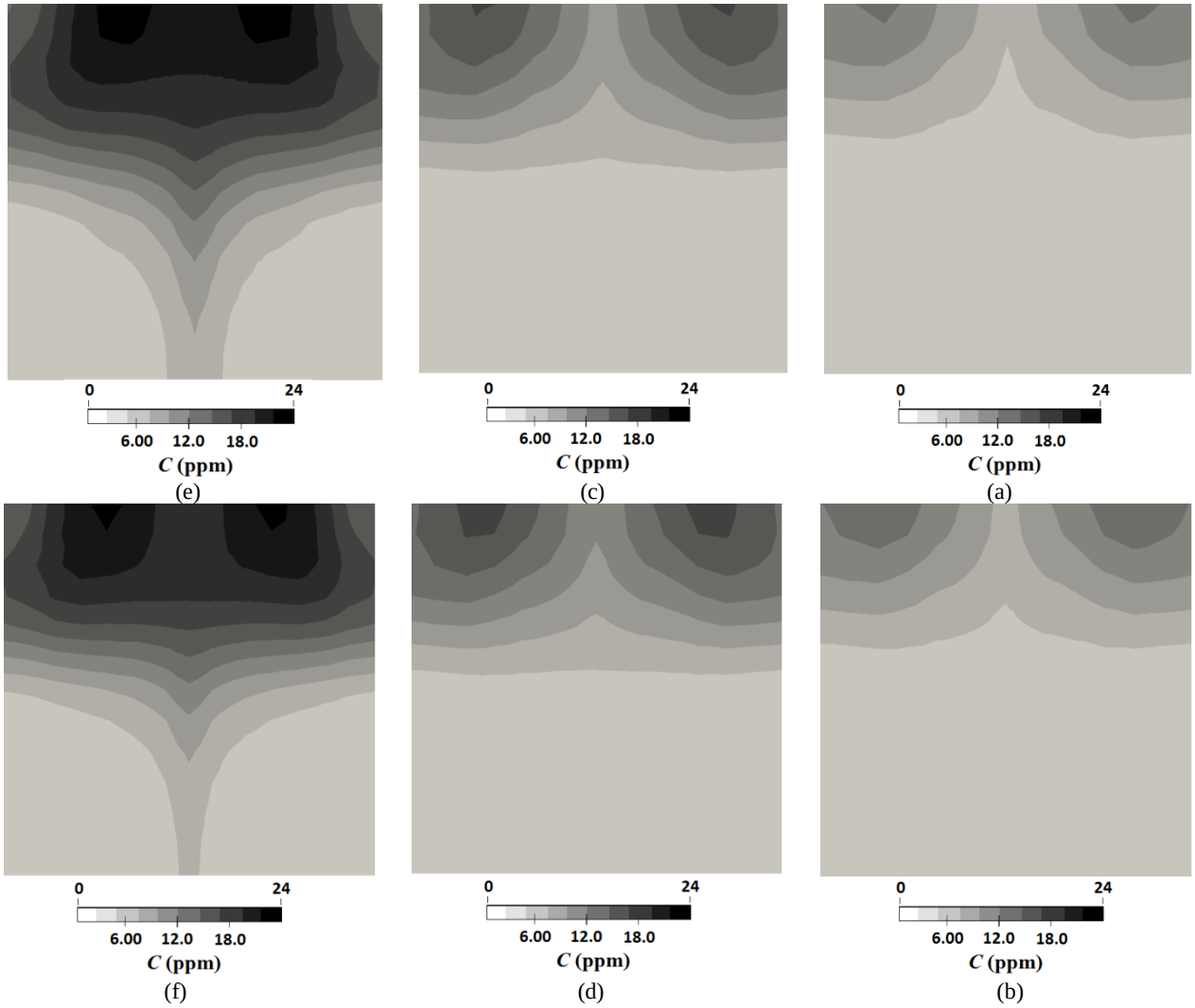

Fig. 4 Countor of pollutant concentration of front wall of building for reference velocity of 4.7 m/s for case No. (a) 4, (b) 1, (c) 5, (d) 2, (e) 6 and (f) 3

شکل 4 کانتور توزیع غلظت آلاینده بر روی دیوار جلوی ساختمان برای سرعت مرجع 4.7 متر بر ثانیه در شبیه‌سازی شماره:(a) 4، (b) 1، (c) 5، (d) 2، (e) 6 و (f) 3

به فاصله بیشتری در پایین دست می‌شود. از سوی دیگر، کمتر بودن مقدار W_1 هندسه مربعی نسبت به هندسه مستطیلی در شبیه‌سازی‌های شماره 3 و 6 (کانتورهای شکل‌های e-4 و f-4)، باعث شده تا برای سرعت خروجی 4 متر بر ثانیه، هندسه مربعی، کارایی بهتری از هندسه مستطیلی بر پخش آلاینده‌ها بر روی دیوار جلویی داشته باشد. در تمامی موارد، این تغییر هندسه تأثیر 5 درصدی بر مقدار آلاینده‌ها دارد. از بررسی کانتورهای شکل a-4 و b-4 با c-4 و d-4 با e-4 و f-4 نیز این نتیجه به دست می‌آید که با افزایش سرعت خروجی آلاینده‌ها، غلظت آن‌ها در نزدیکی دودکش کاهش یافته و مقدار بیشتری از آلاینده‌ها به دوردست منتقل می‌شوند. هنگامی که سرعت خروجی آلاینده‌ها از 6 متر بر ثانیه کم‌تر باشد، کارایی دودکش بسیار کاهش یافته و مقدار غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی دودکش از مقدار متوسط 7 ppm تا 11 ppm برای طبقات بالایی و 5 ppm تا 7.6 ppm برای طبقات پایینی، افزایش می‌یابد. این در حالی است که در حال حاضر طراحان سامانه‌های تونلی سعی بر افزایش ابعاد دودکش‌ها و در نتیجه کاهش سرعت خروجی آلاینده‌ها دارند. علت این امر نیز این است که دودکش‌های میان تونلی عموماً مجهز به فن هستند و وظیفه تامین افت فشار مسیر بر عهده فن‌ها است. افزایش سرعت، افزایش افت فشار و توان مصرفی فن‌ها را به دنبال خواهد داشت. از طرفی دیگر، نتایج نشان می‌دهد که اثر افزایش سرعت بر مقدار غلظت آلاینده‌ها بر دیوار جلویی، در سرعت‌های خروجی بالاتر از 6 متر بر ثانیه کاهش می‌یابد.

شکل 5 نیز کانتورهای توزیع غلظت را در شش شبیه‌سازی انجام شده بر روی دیوار پشتی ساختمان نشان می‌دهد. کانتورهای شکل 5 نشان می‌دهند که بر خلاف دیوار جلویی، تجمع آلاینده‌ها در وسط دیوار پشتی است. مقدار متوسط غلظت در گوشه‌های طبقات بالایی دیوار پشتی برای سرعت‌های خروجی 4، 6 و 8 متر بر ثانیه به ترتیب برابر با 5 ppm، 4.5 ppm و 4 ppm و در وسط طبقات پایینی دیوار پشتی به ترتیب برابر با 13 ppm، 8 ppm و 7 ppm است.

همچنین میزان غلظت آلاینده‌ها در طبقات پایینی ساختمان برای دیوار پشتی و جلویی یکسان است.

فهم بهتر چگونگی پخش آلاینده‌ها بر روی دیوار پشتی، نیازمند بررسی خطوط جریان است. خطوط جریان بر روی ساختمان و دودکش در صفحه میانی برای شبیه‌سازی‌های شماره 1 تا 6، در شکل 6 آورده شده است.

خطوط جریان ارائه شده در شکل 6 بیش از هر چیز موید این موضوع است که بزرگ بودن ابعاد دودکش‌های میان تونلی باعث می‌شود که تغییر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

شکل هندسه و در نتیجه تغییر سرعت خروجی از آن‌ها، شکل و الگوی جریان عبوری را تغییر دهد. که این مسئله، این دودکش‌ها را از سایر دودکش‌های سقف متمایز می‌کند.

همان‌طور که از بررسی خط جریان‌های نشان داده شده در شکل 6 پیداست، با افزایش سرعت خروجی آلاینده‌ها، انحنای جریان تشکیل شده در فاصله بین ساختمان و دودکش کمتر شده و کشیدگی آن در راستای عمود افزایش یافته و در جریان آزاد بالای ساختمان بیشتر نفوذ می‌کند. بنابراین آلاینده‌های خروجی به ارتفاع بالاتری رسیده و غلظت بر روی دیوار جلویی کاهش می‌یابد. خط جریان‌های ارائه شده در شکل a-6 و b-6 نیز نشان می‌دهد که برای سرعت خروجی 8 متر بر ثانیه، کشیدگی جریان منحنی بین ساختمان و دودکش به سمت بالا، باعث ایجاد فشار منفی و تشکیل گردابه‌ای در بالای ساختمان می‌شود. تشکیل این گردابه در بالای ساختمان، به کاهش آلودگی بر روی دیوار پشتی ساختمان کمک می‌کند.

همچنین از آنجایی که گردابه تشکیل شده در بالای ساختمان برای شبیه‌سازی شماره 4، پخ‌تر و خوابیده‌تر از شبیه‌سازی شماره 1 است، میزان غلظت آلاینده‌ها بر روی دیوار پشتی در شبیه‌سازی شماره 4 بیشتر از شبیه‌سازی شماره 1 است. این مسئله از کانتورهای نشان داده شده در شکل a-5 و b-5 نیز پیداست. از بررسی کانتورهای ارائه شده در شکل a-5، c-5 و e-5 با b-5، d-5 و f-5 این نتیجه به دست می‌آید که اثر هندسه‌های مربعی و مستطیلی بر غلظت آلاینده‌ها بر روی دیوار پشتی با دیوار جلویی متفاوت است. که این مسئله ناشی از نوع جریان شکل گرفته در بالای ساختمان است. از آنجایی که غلظت آلاینده‌ها در دیوار جلویی حدود 80 درصد بیشتر از دیوار پشتی است، بهتر است ملاک تصمیم‌گیری برای انتخاب هندسه مربعی در مقابل هندسه مستطیلی، اثر آن‌ها بر مقدار غلظت بر روی دیوار جلویی باشد.

به منظور بررسی اثر سرعت وزش جریان باد، شبیه‌سازی‌های شماره 7 تا 9 در سرعت مرجع 2.5 متر بر ثانیه برای هندسه مستطیلی شکل انجام شده است. مقادیر غلظت آلاینده‌ها بر روی دیوار جلویی و پشتی در شبیه‌سازی‌های شماره 7 تا 9 به ترتیب در شکل‌های 7 و 8 ارائه شده است.

مقایسه کانتورهای شکل 7 نشان می‌دهد که حتی با کاهش سرعت وزش باد، همچنان انتخاب هندسه دودکش به گونه‌ای که سرعت خروجی آلاینده‌ها کمتر از 6 متر بر ثانیه باشد، باعث کاهش کارایی آن و افزایش 100 درصدی مقدار غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی دودکش خواهد شد. این افزایش مقدار در گوشه‌های بالایی رخ می‌دهد که در شکل‌های b-7 و c-7 پیداست. مقایسه کانتور b-7 با a-7 نشان می‌دهد که برای سرعت مرجع 2.5 متر بر ثانیه نیز با افزایش سرعت خروجی از 6 متر بر ثانیه به 8 متر بر ثانیه، مقدار غلظت آلاینده‌ها تنها 20 درصد کاهش می‌یابد.

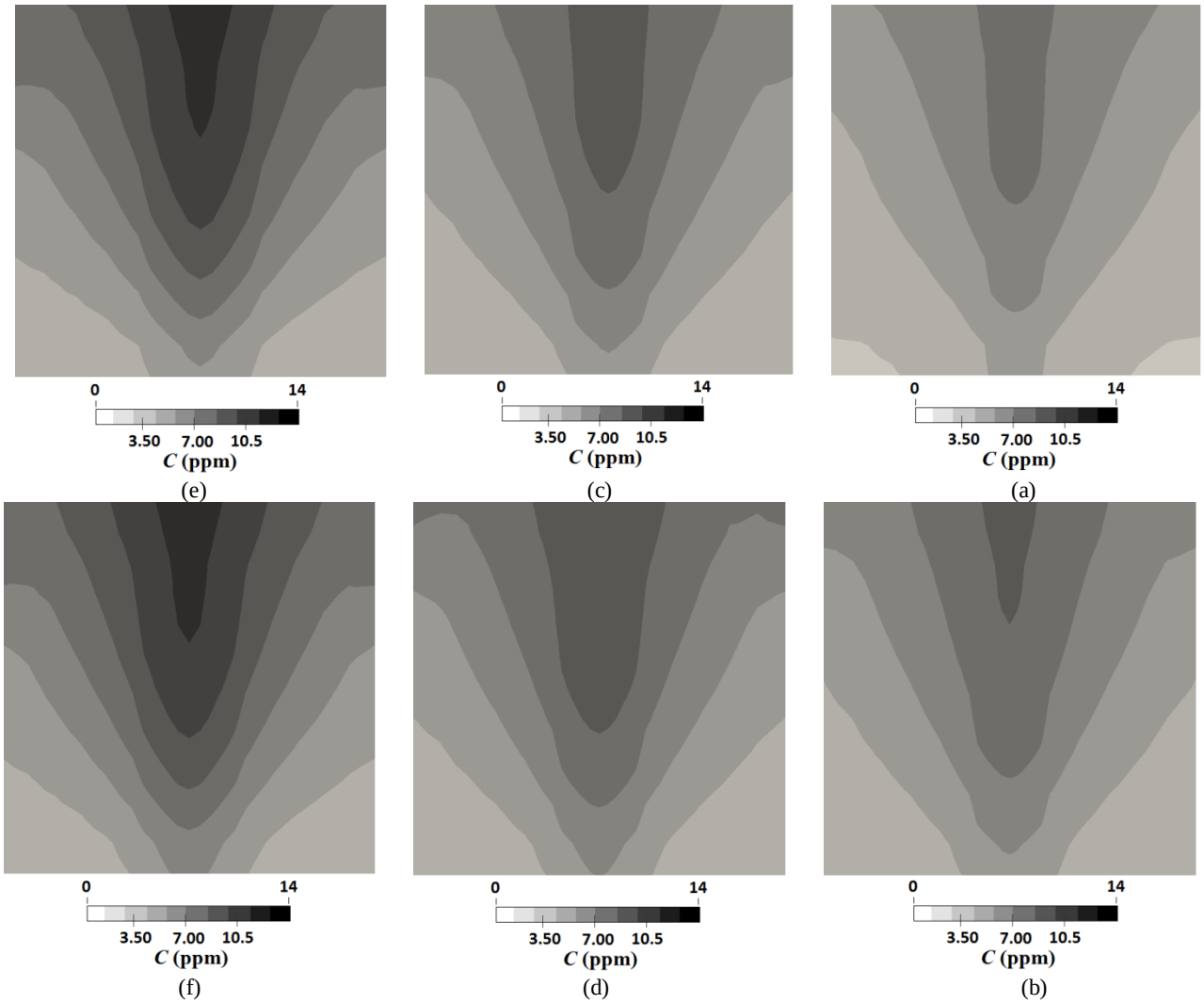

Fig. 5 Countor of pollutant concentration of back wall of building for reference velocity of 4.7 m/s for case No. (a) 4, (b) 1, (c) 5, (d) 2, (e) 6 and (f) 3

شکل 5 کانتور توزیع غلظت آلاینده بر روی دیوار پشتی ساختمان برای سرعت مرجع 4.7 متر بر ثانیه در شبیه‌سازی شماره:(a) 4، (b) 1، (c) 5، (d) 2، (e) 6 و (f)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

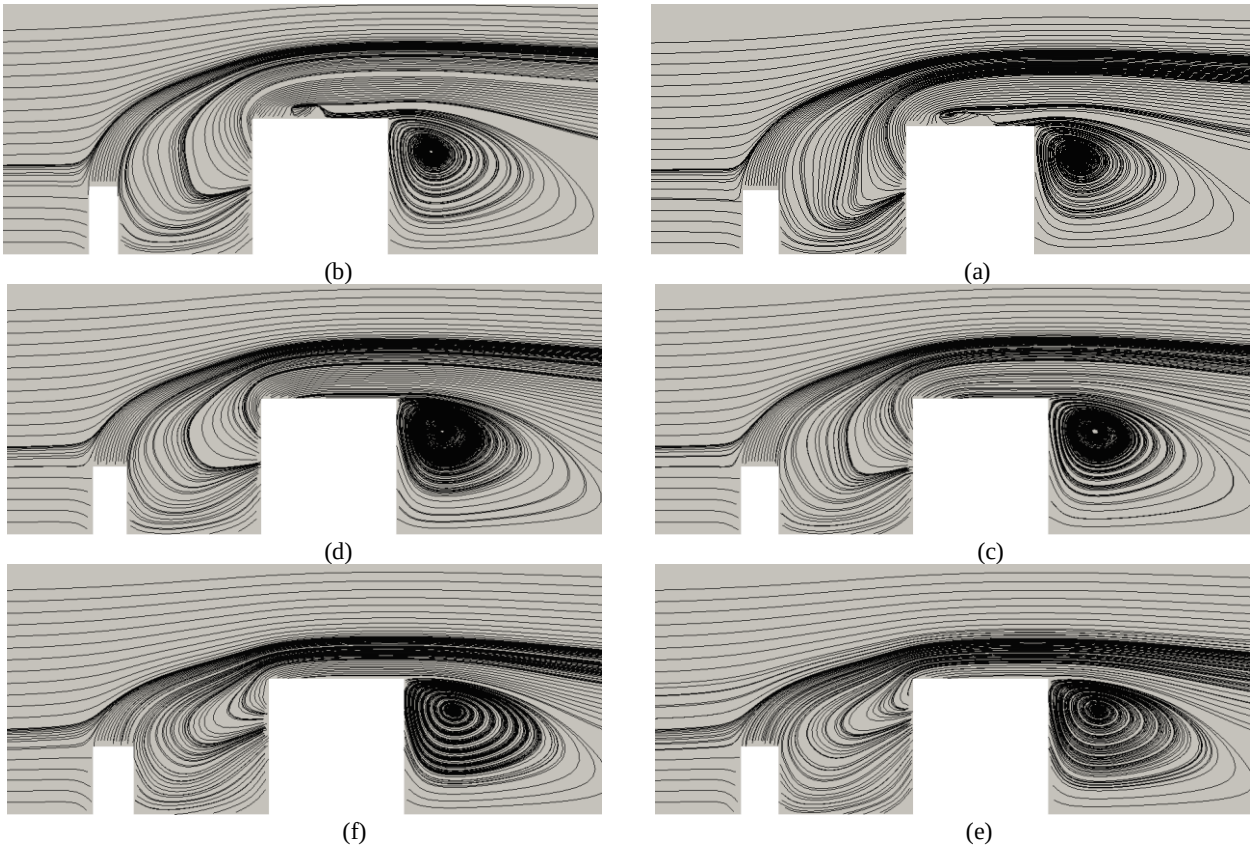

Fig. 6 Streamlines over building and mid-tunnel shaft at middle plane for reference velocity of 4.7 m/s for case No. (a) 4, (b) 1, (c) 5, (d) 2, (e) 6 and (f) 3

شکل 6 خط جریان بر روی ساختمان و دودکش در صفحه میانی برای سرعت مرجع 4.7 متر بر ثانیه در شبیه‌سازی شماره؛(a) 4، (b) 1، (c) 5، (d) 2، (e) 6 و (f) 3

بررسی کانتورهای نشان داده شده در شکل 8 نیز این نتیجه را تایید می‌کند. در نتیجه افزایش سرعت خروجی از 4 به 6 متر بر ثانیه، مقدار غلظت در وسط دیوار پشتی از 14 ppm در شکل c-8 به 7 ppm در شکل b-8 کاهش یافته است. با توجه به شکل a-8، کاهش ایجاد شده در مقدار غلظت در نتیجه افزایش سرعت خروجی به 8 متر بر ثانیه، کمتر از کاهش ناشی از افزایش سرعت از 4 به 6 متر بر ثانیه است که در شکل‌های b-8 و c-8 مشاهده می‌شود. کانتورهای شکل‌های 7 و 8 این مسئله را نیز تایید می‌کند که برای سرعت‌های خروجی بیشتر از 6 متر بر ثانیه، اثر افزایش سرعت خروجی بر توزیع آلاینده‌ها بر دیوار جلویی کاهش می‌یابد و می‌توان برای جلوگیری از افزایش افت فشار در داخل دودکش‌ها، از این اثر مثبت صرف‌نظر کرد.

5- نتیجه‌گیری

در کارهایی که تاکنون انجام شده، بررسی پخش آلاینده‌ها محدود به منبع‌های تولید نقطه‌ای، خطی، حجمی و دودکش‌های کوچک سقفی بوده است و دودکش‌های میان تونلی از این بررسی‌ها جا مانده‌اند. در استانداردها و روش‌هایی که برای طراحی سامانه تهویه تونل‌ها به کار می‌رود، توجهی به محیط بیرونی تونل نشده و تعیین شکل هندسی دودکش‌های میان تونلی کاملاً سلیقه‌ای است که عموماً توسط مهندسان سیویل تعیین می‌شود. در این مقاله برای اولین بار، اثر هندسه دودکش‌های میان تونلی بر کارایی آن‌ها به روش عددی بررسی شده است. متفاوت بودن هندسه و ابعاد دودکش‌های میان تونلی نسبت به دودکش‌های سقفی موجب شده که تغییر هندسه باعث تغییر میدان جریان در اطراف ساختمان پایین دست شود. بدین منظور 9 شبیه‌سازی مختلف انجام شده است. نتایج تاکیدکننده این مطلب است که برای طراحی بهینه یک دودکش میان تونلی، نحوه پخش آلاینده‌های خروجی اهمیت زیادی داشته و علاوه بر محدودیت‌های تملک، توان الکتریکی تجهیزات تهویه و الزامات تهویه در داخل تونل، باید در نظر گرفته شود. نتایج عبارتند از:

- با در نظر گرفتن دبی جرمی یکسان در خروجی، کاهش سطح مقطع و در نتیجه افزایش سرعت خروجی، تأثیر بیشتری نسبت به شکل هندسی دودکش بر پخش آلاینده‌ها دارد.
- برای یک سرعت خروجی یکسان، کارایی هندسه مستطیلی نسبت به مربعی، به طول ضلع عمود بر جریان وابسته است. هندسه مستطیلی با طول ضلع عمود بر جریان کوچکتر، کارایی بهتر 5 درصدی را در رقیق‌سازی آلاینده‌ها تا قبل از رسیدن به ارتفاعات پایین نشان می‌دهد.
- در صورت وجود یک ساختمان بلندتر از دودکش در پایین دست، برای کاهش غلظت آلاینده‌ها در ارتفاعات پایین، هندسه دودکش و اندازه سطح مقطع آن باید به گونه‌ای انتخاب شود که سرعت خروجی بیشتر از 6 متر بر ثانیه باشد. برای سرعت‌های کمتر از 6 متر بر ثانیه، کارایی دودکش بسیار کاهش یافته و مقدار غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی دودکش حدود 100 درصد افزایش می‌یابد. برای سرعت‌های خروجی بیشتر از 6 متر بر ثانیه، تأثیر افزایش سرعت خروجی بر مقدار غلظت آلاینده‌ها کاهش می‌یابد.
- مقدار آلودگی در طبقات بالایی ساختمان‌هایی که در پایین دست یک

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

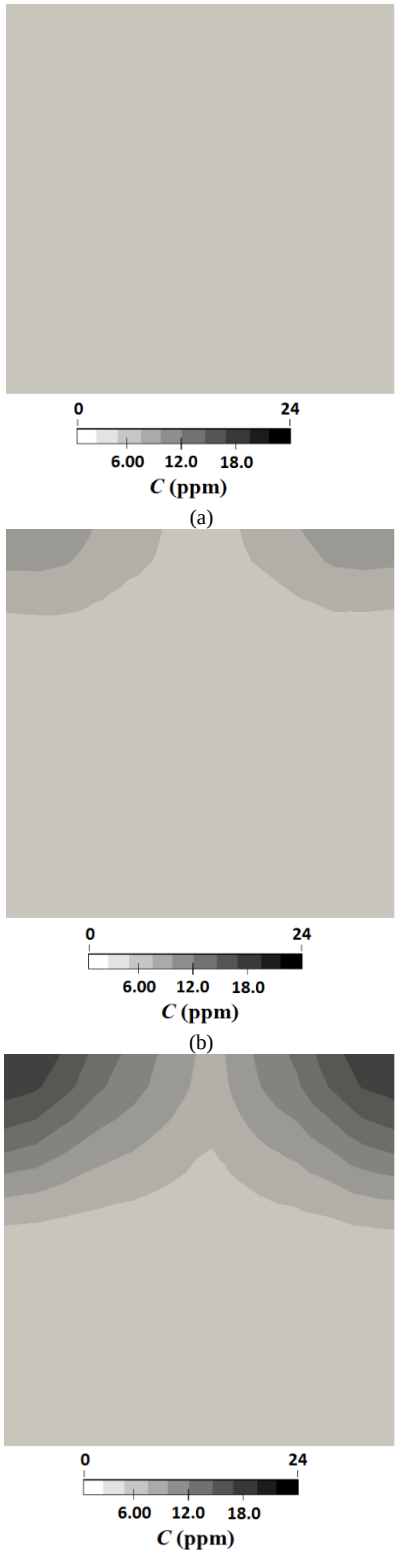

Fig. 7 Countor of pollutant concentration of front wall of building for reference velocity of 2.5 m/s for case No. (a) 7, (b) 8, (c) 9

شکل 7 کانتور توزیع غلظت آلاینده بر روی دیوار جلویی ساختمان برای سرعت مرجع 2.5 متر بر ثانیه در شبیه‌سازی شماره:(a) 7، (b) 8، (c) 9

دودکش میان تونلی قرار دارند، 50 درصد بیشتر از طبقات پایینی است.

- برای جلوگیری از فرو رفتن نامطلوب آلودگی خروجی از دودکش‌های

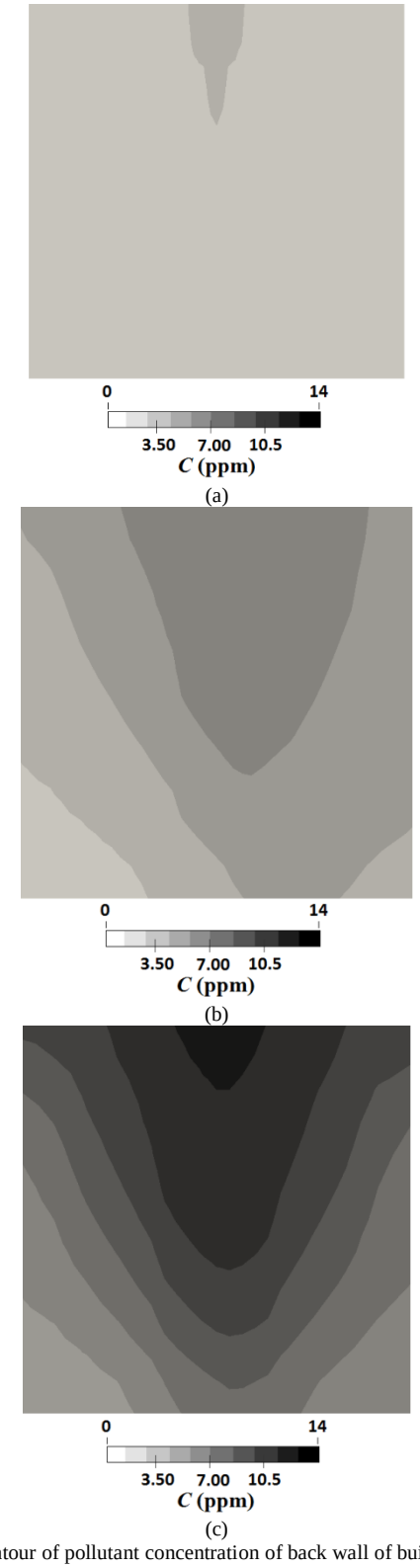

Fig. 8 Contour of pollutant concentration of back wall of building for reference velocity of 2.5 m/s for case No. (a) 7, (b) 8, (c) 9

شکل 8 کانتور توزیع غلظت آلاینده بر روی دیوار پشتی ساختمان برای سرعت مرجع 2.5 متر بر ثانیه در شبیه‌سازی شماره:(a) 7، (b) 8، (c) 9

میان تونلی به ساختمان‌های پایین دست، بهتر است پنجره طبقات بالایی این ساختمان‌ها بر روی کناره‌های دیوار پشتی و یا در وسط دیوار جلویی قرار بگیرند.

- برای سرعت خروجی بالاتر از 6 متر بر ثانیه، غلظت آلاینده‌ها برای

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]

طبقات بالایی، در کناره‌های دیوار جلویی 2 برابر وسط دیوار است که با کاهش سرعت به 4 متر بر ثانیه، این مقدار تا 2.5 برابر افزایش می‌یابد.

- غلظت آلاینده‌ها برای طبقات بالایی در سرعت خروجی 4 متر بر ثانیه ، در وسط دیوار پشتی حدود 4 برابر کناره‌های دیوار است که با افزایش سرعت به 6 متر بر ثانیه، این مقدار تا 2 برابر کاهش می‌یابد.

6- فهرست علایم

C	غلظت آلاینده (kgm^{-3})
g_i	بردار شتاب گرانش (ms^{-2})
k	انرژی جنبشی آشفتگی (m^2s^{-2})
K	ثابت فون کارمن
P	فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$)
x_i, x_j	بردار مختصات (m)
S	منبع تولید آلاینده ($kgm^{-3}s^{-1}$)
t	زمان (s)
T	دما (K)
u_j, u_i	سرعت (ms^{-1})
u_*	سرعت اصطکاکی (ms^{-1})
z	مختصات در راستای عمودی (m)

علایم یونانی

μ	لزجت دینامیکی ($kgm^{-1}s^{-1}$)
ρ	چگالی (kgm^{-3})
ϑ	لزجت سینماتیکی (m^2s^{-1})
δ	ضخامت لایه مرزی (m)
δ_{ij}	تابع دلتای کرونکر
ε	نرخ اتلاف آشفتگی (m^2s^{-3})
β	ضریب شناوری (K^{-1})
Γ	ضریب پخش (ms^{-1})

بالانویس‌ها

–	مقدار متوسط

زیرنویس‌ها

t	آشفتگی
Ref	مقدار مرجع

7- مراجع

[1] PIARC technical committee C3.3 road tunnel operations, *Road tunnels: a guide to optimizing the air quality impact upon the environment*, 2008.

[2] Y. Tominaga, A. Mochida, R. Yoshie, H. Kataoka, T. Nozu, M. Yoshikawa, T. Shirasawa, AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, No. 10-11, pp. 1749-1761, 2008.

[3] S. Yim, J. Fung, A. Lau, S. Kot, Air ventilation impacts of the wall effect resulting from the alignment of high-rise buildings, *Atmospheric Environment*, Vol. 43, No. 32, pp. 4982-4994, 2009.

[4] J. Hang, Y. Li, M. Sandberg, R. Buccolieri, S. Sabatino, The influence of building height variability on pollutant dispersion and pedestrian ventilation in idealized high-rise urban areas, *Building and Environment*, Vol. 56, pp. 346-360, 2012.

[5] M. Bady, Sh. Kato, T. Takahashi, H. Huang, An experimental investigation of the wind environment and air quality within a densely populated urban street canyon, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 99, No. 8, pp. 857-867, 2011.

[6] P. Gousseau, B. Blocken, T. Stathopoulos, G. Heijst, CFD simulation of near-field pollutant dispersion on a high-resolution grid: A case study by LES and RANS for a building group in downtown Montreal, *Atmospheric Environment*, Vol. 45, No. 2, pp. 428-438, 2011.

[7] P. Gousseau, B. Blocken, T. Stathopoulos, G. Heijst, CFD simulation of pollutant dispersion around isolated buildings: On the role of convective and turbulent mass fluxes in the prediction accuracy, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 194, pp. 422-434, 2011.

[8] D. Xiea, H. Wang, K. Kearfottd, Z. Liu, S. Mo, Radon dispersion modeling and dose assessment for uranium mine ventilation shaft exhausts under neutral atmospheric stability, *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 129, pp. 57-62, 2014.

[9] S. Salim, R. Buccolieri, A. Chan, S. Sabatino, Numerical simulation of atmospheric pollutant dispersion in an urban street canyon: Comparison between RANS and LES, *Journal of Wind Engineeting and Industrial Aerodynamic*, Vol. 99, No. 2-3, pp. 103-113, 2011.

[10] Y. Tominaga, T. Stathopoulos, CFD modeling of pollution dispersion in a street canyon: Comparison between LES and RANS, *Journal of Wind Engineeting and Industrial Aerodynamic*, Vol. 99, No. 4, pp. 340-348, 2011.

[11] FLUENT 6.2 User's Guide, January 2005.

[12] J. Hang, Y. Li, M. Sandberg, L. Claesson, Wind conditions and ventilation in high-rise long street models, *Building and Environment*, Vol. 45, No. 6, pp. 1353-1365, 2010.

[13] W. Ng, Ch. Chau, A modeling investigation of the impact of street and building configurations on personal air pollutant exposure in isolated deep urban canyons, *Science of the Total Environment*, Vol. 468-469, pp. 429-448, 2014.

[14] M. M. Hefny, R. Ooka, CFD analysis of pollutant dispersion around buildings: Effect of cell geometry, *Building and Environment*, Vol. 44, No. 8, pp. 1699-1706, 2009.

[15] PIARC technical committee C4.WG4 road tunnel operations, *Road tunnels, vehicle emissions and air demand for road tunnels*, 2011.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.35.5]