

شبیه‌سازی عددی میدان جریان، ریزگردها و بررسی اثر تغییر معماری ساختمان بر توزیع آنها

محمد کاظم مویدی*

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، آزمایشگاه پژوهشی دینامیک سیالات محاسباتی، دانشگاه قم، قم،

ایران

احسان جباری

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

محمد مهدی هاشمی پرپنچی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم،

ایران

چکیده

امروزه با خشک شدن تالابها، سوزاندن سوخت‌های فسیلی و مواردی از این دست، وقوع پدیده‌ی ریزگردها شدت گرفته‌است. جدای از پیامدهای آلاینده‌ی زیستی و فنی ریزگردها، آنها تبعات روانی و اجتماعی نیز دارند. در پژوهش حاضر مدل‌سازی پخش ریزگردها با استفاده از شبیه‌سازی عددی انجام شده‌است. اثرات تغییر شرایط پیرامونی و معماری ساختمان با ترسیم خطوط جریان و میدان فشار و نیز محاسبه‌ی غلظت ریزگردها در ترازهای مختلف و در تمام حالات مورد بررسی قرار گرفته‌است. پس از بررسی نتایج مشخص شد از میان پنج ناحیه‌ی تعریف شده در اولین مدل ساخته‌شده کدام نواحی مکان‌های مناسب‌تری برای دوری از ریزگردها هستند. سپس نتایج نشان داد که معماری ساختمان اثر قابل توجهی در توزیع ریزگردها در اطراف ساختمان دارد. همچنین با مطالعه نتایج مشخص شد که با نزدیک شدن هر چه بیشتر به سطح زمین، تغییرات غلظت ریزگردها همراه با نوسان‌هایی با دامنه‌ی بزرگتر بوده و تفاوت‌های معماری در غلظت ریزگردها در ارتفاع‌های پایین‌تر اثر بیشتری دارد. نتایج نشان داد در مدل‌سازی معماری ساختمان موجود هنگامی که درب ورودی باز باشد نسبت به وقتی که درب بسته است انباشت گرد و غبار کمتر است. در این پژوهش از الگوی‌های مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی و مدل عددی توسعه‌یافته برای نرم افزار تجاری ANSYS جهت شبیه‌سازی میدان جریان و انتقال ذرات آلاینده استفاده شده‌است.

واژه‌های کلیدی: غلظت ریزگردها، شبیه‌سازی عددی، فازگسسته، مدل‌های هندسی، معماری ساختمان.

Numerical Simulation of Air Flow and Particles Deposition and Studying about the Effect of Building Architecture in Dust Distribution

M. K. Moayyedi

Department of Mechanical Engineering, University of Qom, Qom, Iran

E. Jabbari

Department of Civil Engineering, University of Qom, Qom, Iran

M. M. Hashemi Perpenchy

Department of Civil Engineering, University of Qom, Qom, Iran

Abstract

Nowadays, due to drying wetlands, burning fossil fuels and so on, the dust phenomenon has intensified. In addition to the consequences of environmental and technical pollution for dust, they also have psychological and social consequences. In the present study dust dispersion modeling using numerical simulation is done. The effects of changes in conditions and the architecture of the building by drawing lines and calculating the flow and pressure fields in dust concentration levels in all cases were evaluated. After reviewing the results, it was found that among the five areas identified in the first model, which areas are better places to avoid dust. The results showed a significant effect on the distribution of dust around the building with different architecture. The results also showed the more approaching to the earth surface; the more concentration of dust associated with greater fluctuations is, and differences of architecture in dust concentration at lower heights have greater effect. Furthermore, in present architectural form, for the case the building door is open, the accumulated dust is more than when the door is closed. The study is based on computational fluid dynamics and numerical model developed for commercial software ANSYS (FLUENT) is used to simulate the flow field and pollutant particles.

Keywords: Dust concentration, numerical simulation, discrete phase, geometric modeling, and architecture.

۱- مقدمه

ریزگردها و پیامدهای زیستی و فنی آنها امروزه تبدیل به مسئله‌ای شده است که حتی ذهن پژوهشگران و صنعتگران را نیز درگیر نموده و آنها را از جنبه‌های مختلفی بررسی نموده‌اند. پدیده‌ی گرد و غبار از جمله تغییرات اقلیمی و پیامدهای زیست محیطی نامطلوبی است که در چند سال اخیر از سیر طبیعی خود خارج شده و تعدد وقوع آن‌ها در کشورمان مشاهده می‌شود. یکی از دلایل طبیعی وقوع این پدیده قرار گرفتن کشورمان در کمربند خشک و نیمه خشک جهان است که مکرراً در معرض سامانه‌های گرد و غبار محلی قرار می‌گیرد. عوامل انسانی نیز تاثیر زیادی در شکل‌گیری این پدیده دارند که به عنوان نمونه می‌توان به

سوزاندن سوخت‌های فسیلی، بعضی از فعالیت‌های تولیدی و صنعتی و استفاده‌ی بی رویه از منابع آبی (دریاچه ارومیه) اشاره نمود. به طور کلی می‌توان گفت معضل ریزگردها بر سلامت انسان‌ها، محیط پیرامون و حتی اقتصاد و گردشگری تاثیرات منفی خواهند گذاشت [۲۰۱].

از منظر تاریخی اولین بررسی‌ها راجع به آلودگی هوا در ایران به نخستین همایش شرکت ملی نفت در سال ۱۳۵۰ بر می‌گردد [۳]. شعبانی و حاج نصرالهی در پژوهش‌های مجزایی آلودگی هوا در شهر تهران را مرتبط به میزان مصرف انواع انرژی (سوخت‌های فسیلی و ...) دانسته‌اند. هوشمند آیینی، تهرانی و همکاران چگونگی پخش

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: mk.moayyedi@qom.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۲

آلودگی از یک دودکش را در نرم افزار Fluent و به صورت دو بعدی بررسی نموده‌اند [۵ و ۴]. ساباتینو و همکاران در چندین پژوهش پخش آلودگی در محیط شهری را بررسی کرده‌اند. در یکی از این پژوهش‌ها بخشی از خیابان کانیناس در نرم افزار فلوئنت و به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی شده که شامل چهار بلوک هم اندازه است. نتایج شامل نمودارهای غلظت مونواکسید کربن در جهت های صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه و در مکان های مختلف و نیز الگوی جریان در اطراف ساختمان‌ها است [۷ و ۶]. در پژوهش دیگر آنها پخش اتمسفری آلودگی در محدوده خیابان کانیناس را بررسی نموده و مدل سه بعدی با دو بلوک مکعب مستطیل که خیابان کانیناس در میان آن قرار گرفته، ایجاد نموده‌اند. نتایج این پژوهش تفاوت الگوی جریان با مدل تنش‌های رینولدز^۱، $k-\epsilon$ ^۲ و شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ^۳ را نشان می‌دهد. همچنین نتایج مقدار غلظت آلاینده بر روی دیوارهای ساختمان‌ها با روش شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ و در زمان های مختلف نشان داده شده‌است [۸]. در سال ۲۰۱۴ گان و سلیم اثر درختان در الگوی جریان هوا را با هندسه ساده‌ای مدل سازی و متغیرهای سازه‌ای را نیز در مدل دخیل نموده‌اند [۹]. سلیم و همکاران در سال ۲۰۱۵ آنالیز حساسیت روش شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ را برای الگوی جریان و پخش آلودگی در خیابان کانیناس انجام داده و بهینه‌سازی در تعداد سلول‌ها را با در نظر گرفتن سرعت جذر میانگین مجذور^۴ انجام داده‌اند. آنها سپس میزان پخش آلودگی را با دو پارامتر Sst و دوره‌های نمونه برداری مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند [۱۰]. سولازو، گالیف، نولان و دیگران با استفاده از کدهای عددی و نرم‌افزار Fluent پخش آلودگی را به صورت جامد و مایع بررسی کرده‌اند.

در سالیان اخیر بررسی ریزگردها از جنبه های گوناگونی انجام شده است. گروهی علل و منشأ وجود آمدن ریزگردها را مطالعه نموده‌اند، عده‌ای به نحوه حرکت طوفان‌های گرد و غباری بعضاً با استفاده از نقشه‌های ماهواره‌ای پرداخته‌اند [۱۱]. بعضی به تحلیل فیزیکی و عددی و یا آماری رفتار ریزگردها در ابعاد کوچک و یا در اندازه‌های وسیع پرداخته‌اند، پاره‌ای دیگر نیز به تأثیرات زیست محیطی و بیولوژیکی ریزگردها و نقش آنها در سلامت انسان‌ها، موجودات زنده، کشاورزی، اقتصاد، روابط بین‌الملل و ... پرداخته‌اند [۲۱ و ۱۲].

ریزگردها ذرات معلق جامد و حتی مایع با اندازه بسیار کوچک هستند که گاهی با عنوان آئروسول^۵ یاد می‌شوند و به طور معمول در سه اندازه شناخته شده ۱، ۲/۵ و ۱۰ میکرون در نظر گرفته می‌شوند. ریزگردها عمدتاً از اسیدها، فلزات و گرد و غبار تشکیل شده‌اند. نویسندگان در پژوهش پیشین از الگوی اوپلری- لاگرانژی جهت شبیه‌سازی عددی میدان جریان و ریزگردها (قطر ۱۰ میکرون) در محدوده اطراف یک ساختمان استفاده نموده و مدلی سه بعدی را در نرم افزار Fluent شبیه سازی نموده‌اند. نتایج نشان داد از بین چند محل پیشنهادی برای اجتناب از ریزگردها و با کمترین میزان غلظت آنها در طی مواجه شدن با توده‌ی ریزگردها، چه مکانی مناسب‌تر است [۳].

قیمی و قدیمی آلاینده‌های عناصر سنگین موجود در ریزگردهای شهر اراک را بررسی نموده و نشان داده‌اند که از ۲۹ محلی که اندازه گیری‌ها

انجام گرفته هریک چه غلظتی از عناصر را دارند و چه مقدار از ریزگردها منشأ طبیعی دارند و چه مقدار انسانی‌اند [۱۳]. همتی و رحیمی توزیع مکانی عناصر سنگین (فلزات) حاصل از ریزگردها را در شهر همدان بررسی نموده‌اند. یکی از نتایج این پژوهش نشان داد در مناطق پرتراфик و صنعتی شهر همدان میزان عناصر سنگین زیاده‌تر و در پارک‌ها عناصر سنگین موجود در ریزگردها کمتر است [۱۴].

رفیعی و همکاران به چگونگی میانگین تغییرات ماهانه غلظت PM_{10} (ذرات با قطر ۱۰ میکرون و کمتر) در فصول زمستان و تابستان پرداخته و تأثیر سرعت باد بر روی تغییر غلظت ریزگردها در شهر اهواز (اندازه گیری شده در ایستگاههای سازمان محیط زیست) را با استفاده از روش های آماری مورد مطالعه قرار داده‌اند. یکی از نتایجی که آنها گرفته‌اند این است که به علت افزایش سرعت باد در فصل تابستان گرد و غبار از نواحی دوردست وارد شهر اهواز شده و این امر باعث افزایش غلظت این آلاینده با شروع دوره گرم می‌شود [۱۵].

ژانگ و همکاران انتشار ریزگردها را در میدان سرعت باد مطالعه نموده و از برنامه‌ای متن باز با نام CFD-WEM استفاده کرده‌اند. نتایج شامل نمودارهای هم‌سرعت از سه برنامه‌ی مختلف بوده و آن را با نتایج مدل ساخته شده در تونل باد مقایسه کرده و نشان داده‌اند که از میان این سه برنامه، CFD-WEM سرعت محاسبه بیشتری دارد. [۱۶]. هونگ و همکاران میزان بلند شدن ریزگردها از سطوح دارای پتانسیل را به کمک آزمایش در تونل باد مطالعه نموده و نتایج آن را با مقادیر پیش بینی شده از نرم افزار Fluent مقایسه کرده‌اند. آنها سپس برای منطقه مشخصی میزان تولید گرد و خاک را برای وزش باد از چهار جهت اصلی (شمالی، جنوبی، شرقی، غربی) پیش بینی نموده‌اند [۱۷].

در پژوهش عطاءالله سلطانی گوهرریزی و همکاران حرکت و نشست ذرات میکرونی (آئروسول‌ها) تحت تأثیر نیروهای پسا، گرانشی، براونی و لیفت با مدل‌سازی لاگرانژی ذره و حل یک‌طرفه در هندسه پله با نمای پس رو مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. آنها با بررسی نشست ذرات در اعداد رینولدز ۱۰-۳۸۹ مشاهده نمودند که ذرات در اعداد استوکس کم خطوط جریان را دنبال می‌کنند و با افزایش عدد رینولدز جریان ورودی به هندسه پله نشست ذرات کاهش می‌یابد [۱۸].

اسماعیل فاتحی فر و همکاران در پژوهشی به مدل‌سازی پخش آلودگی هوا با استفاده از نرم‌افزار ISCST در اطراف شرکت پالایش نفت تبریز پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد که در هیچ یک از روزهای مورد مطالعه میزان غلظت متوسط ۸ ساعته و ۲۴ ساعته آلاینده‌های SO_2 و CO در منطقه مورد مطالعه، از استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست تجاوز نمی‌کند [۱۹]. در پژوهش دیگری آنها همبستگی بین ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق با قطر کوچک تر از ۲.۵ میکرون را در پنج نقطه از هوای شهر تهران مطالعه نموده‌اند. نتایج تحلیل با نرم‌افزار SPSS نشان داده‌است که با افزایش ترکیبات آلی فرار در هوا، میزان ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۲.۵ میکرون نیز افزایش می‌یابد [۲۰].

¹ Reynolds Stress Model (RSM)

² K-epsilon (k-ε)

³ Large Eddy Simulation (LES)

⁴ Root Mean Square (RMS)

⁵ Aerosol

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + (u \cdot \nabla) \omega = \frac{\gamma}{\nu_T} P - \beta^* \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right\} + 2(1 - F_1) \frac{\sigma_\omega^2}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}$$

$$\mu_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)}$$

۳-۲- معادله‌ی انتشار ریزگردها (فاز گسسته)

نتایج این پژوهش متأثر از اثرات جریان سیال بر حرکت ریزگردها بوده که ضمن معادلات مختلفی شکل می‌گیرد. الگوی مورد استفاده مبتنی بر یک رویکرد اوپلری- لاگرانژی است که در آن فاز گسسته (ریزگردها) در دستگاه مختصات لاگرانژی و در بستری از فاز پیوسته (با دستگاه مختصات اوپلری) مدل می‌شود. حرکت ذرات به کمک حل معادله‌ی تعادل نیروها بر روی یک ذره تخمین زده می‌شود. در واقع این تعادل نیرویی، میان اینرسی ذره، نیروی پسا و شناوری وارد بر آن و هر نیروی اضافی دیگر بوده و به‌صورت زیر نوشته شود [۲۲]:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + a, \quad (3)$$

$$F_D = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2 24},$$

$$Re = \frac{\rho_d |u_p - u|}{\mu}$$

در این روابط F_D نیروی پسا بر واحد جرم ذره، a شتاب ناشی از هر نیروی اضافی و Re عدد رینولدز است [۳]. در این پژوهش نیروهای ناشی از گرادیان فشار و متأثر از ادی‌های آشسته و نیروی سافمن مورد استفاده قرار گرفته‌است.

۴- هندسه مسئله، شرایط مرزی و روش حل عددی

جهت ایجاد مدل محاسباتی، ابتدا مدل هندسی مورد نظر ساخته شده و سپس فرایند تحلیل بر روی مدل ساخته‌شده انجام می‌گیرد. اطلاعات ورودی که از هواشناسی و آمارهای دیگر بدست آمده، در معرفی شرایط مرزی بکار گرفته‌شده‌اند. در نهایت برنامه اجرا، و اطلاعات مورد نیاز از آن استخراج شده و سپس تحلیل‌های آماری موردنظر با این نتایج انجام می‌شود. برای مدل کردن این مسأله با روش حجم محدود نیاز است هندسه‌ای مناسب و فواصل متناسبی برای اعمال شرایط مرزی انتخاب شود. هندسه‌ی مدل، شرایط مرزی و کیفیت شبکه تولید شده نقش به‌سزایی در حل و به دست آوردن نتایج درست دارند. در شکل ۱ مقطعی از شبکه تولیدشده نشان داده شده‌است.

در پژوهش حاضر برای بررسی تأثیر معماری ساختمان بر مقدار ریزگردها از روش‌های شبیه‌سازی عددی یا به عبارتی دینامیک سیالات محاسباتی^۱ استفاده شده‌است. سوال اصلی مورد چالش این است که شرایط محیطی (در حالت کلی سرعت هوا، فشار و نیز دمای آن در نقاط مختلف) و معماری ساختمان چه اثری روی توزیع ریزگردها در محدوده‌ی مورد بررسی دارد.

۲- فرضیات مدل سازی

فرضیات ساده کننده‌ای به شرح زیر در نظر گرفته شده‌است:

۱. شیب زمین در این محدوده برابر صفر در نظر گرفته شده‌است.
۲. عوامل تأثیر گذار در پخش شدن آلاینده تنها شامل سرعت و فشار هوا در محدوده‌ی مورد بررسی است. از اثر تغییرات دما در محدوده مورد بررسی چشم پوشی شده‌است.
۳. جریان تراکم ناپذیر فرض شده است.
۴. به دلیل وجود معادن آهکی در مجاور محدوده‌ی دانشگاه، جنس ذرات گرد و غبار آهکی فرض شد.

سپس با در نظر گرفتن این موارد چند هندسه‌ی مختلف طراحی شده، شرایط مرزی مناسب برای آنها تعریف و روش حل عددی سازگار با مسئله انتخاب شده‌است. در این خصوص در ادامه توضیحات بیشتر ارائه خواهد شد.

۳- معادلات حاکم

برای تحلیل جریان در محیط از فرض جریان تراکم ناپذیر استفاده شده، در این حالت معادلات بدون بعد پیوستگی و اندازه حرکت به صورت زیر می‌باشند [۲۱]:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u} \quad (1)$$

به طوری که $\mathbf{u}$ بردار سرعت، P فشار و Re عدد رینولدز است.

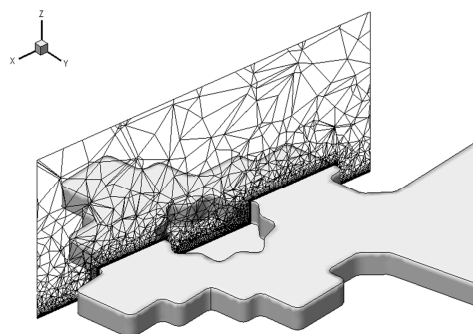
۳-۱- معادلات آشفتگی

برای مدل‌سازی اثرات آشفتگی میدان جریان سیال و در نتیجه تأثیرات آن در نحوه پخش ذرات در اطراف ساختمان، از مدل آشفتگی $SST - k - \omega$ ^۲ استفاده شده‌است. این مدل یک الگوی متداول دو معادله‌ای لزجت-گردابی بوده که می‌تواند به عنوان یک مدل آشفتگی رینولدز لزجت-گردابی بوده که می‌تواند به عنوان یک مدل آشفتگی رینولدز پایین بدون هیچ گونه تابع میرایی اضافی مورد استفاده قرار گیرد. مدل $k - \omega - SST$ در جریان آزاد رفتاری شبیه به مدل $k - \varepsilon$ داشته و عملکرد بهتری نسبت به خواص آشفتگی جریان آزاد ورودی دارد. معادلات این مدل برای یک جریان تراکم ناپذیر به صورت زیر است [۲۱]:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + (u \cdot \nabla) k = P - \beta^* \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} \quad (2)$$

¹ Computational Fluid Dynamics (CFD)

² k- ω -shear stress transport (SST)



شکل ۱ - مقطعی از شبکه شش وجهی تولید شده

در فرآیند شبیه‌سازی مسئله، ابتدا چند هندسه‌ی مختلف طراحی شده، شرایط مرزی مناسب روی آنها تعریف و روش حل عددی سازگار با مسئله انتخاب شده‌است. در این خصوص در ادامه توضیحات بیشتر ارائه خواهد شد.

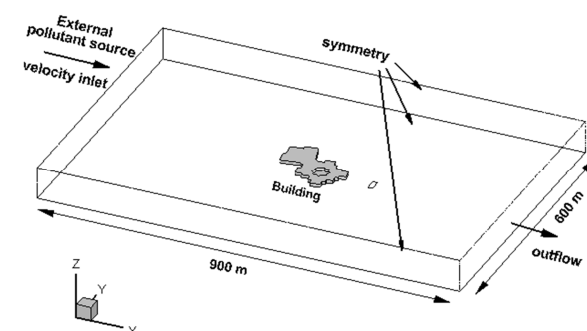
۴-۱- شرایط مرزی

در شکل ۲ شمای کلی از حجم کنترل مفروض و شرایط مرزی تعریف شده بر وجوه آن مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است در تعریف مقادیر در برخی مرزها (ورودی) از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه کمک گرفته شده‌است.

لازم به ذکر است که در این مدل‌سازی بزرگی سرعت باد به میزان یک متر بر ثانیه و جهت آن به صورت غربی- شرقی در نظر گرفته شده است.

۴-۲- روش حل عددی

برای حل مسأله از روش SIMPLE با دقت مرتبه دوم^۱ جهت به‌دست آوردن میدان فشار و سرعت استفاده شده‌است. همانطور که پیش‌تر نیز گفته شد شبیه‌سازی میدان جریان به صورت تک فازی (اویلری) انجام و



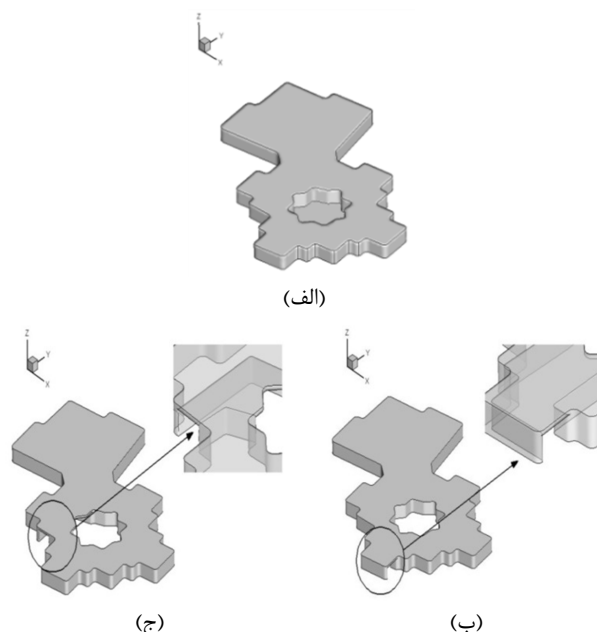
شکل ۲- نمای کلی از حجم کنترل مفروض و شرایط مرزی تعریف شده بر وجوه آن

برای مدل‌سازی حرکت و توزیع ذرات گردوغبار از الگوی فاز گسسته (مدل لاگرانژی) استفاده شده‌است. به منظور محاسبه اثرات آشفتگی میدان

جریان سیال از مدل آشفتگی $k-\omega-SST$ و با تصحیح انحنا^۲ استفاده شده‌است.

۴-۳- تعریف سه معماری مختلف ساختمانی

برای بررسی اثر هندسه‌ی ساختمان در توزیع ریزگردها سه مدل مختلف طراحی شده‌اند. در حالت اول مطابق شکل ۳ (الف) ساختمان اصلی بدون هرگونه ورودی در نظر گرفته شده است. در حالت دوم (مطابق شکل ۳ (ب)) ورودی در ضلع شرقی قرار دارد. در حالت سوم (مطابق شکل ۳ (ج)) ورودی در جهت جنوبی قرار گرفته است. قرارگیری ورودی در حالت (ج) مطابق شرایط واقعی ساختمان است.



شکل ۳ - مدل‌های هندسی ساختمان، (الف): مدل شماره ۱ (بدون در ورودی)، (ب): مدل شماره ۲ (ورودی در ضلع شرقی) و (ج): مدل شماره ۳ (ورودی در ضلع جنوبی)

لازم به ذکر است که شرایط مرزی تعریف شده برای تمام مدل‌های هندسی بالا یکسان است.

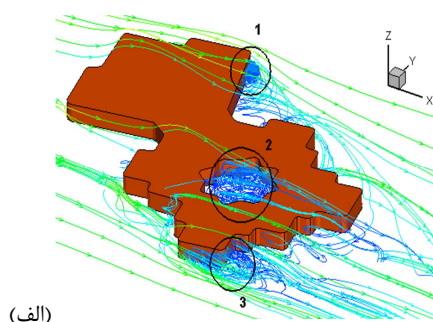
۵- نتایج

صحت‌سنجی نتایج میدان جریان حاصل از نرم‌افزار برای مسأله Lid-driven cavity تست شده و جواب قابل قبولی حاصل شد. برای بخش گسسته مسأله نیز، حدود قطر ذرات آئروسل ذکر شده در مراجع با عدد حاصل از مدل‌سازی انجام گرفته تطابق داشت. پس از ایجاد مدل محاسباتی مربوط به هر طرح معماری، شبیه‌سازی جریان با توجه به شرایط مرزی مناسب انجام شد. در این مطالعه مدل جریان سیال به‌صورت یک حل پایا شبیه‌سازی شده تا به عنوان شرط اولیه برای گام بعدی مورد استفاده قرار گیرد. به منظور مدل سازی حرکت ذرات آلاینده از مدل وابسته به زمان استفاده شده است. روشن است در این گام از داده‌های میدان جریان، که در

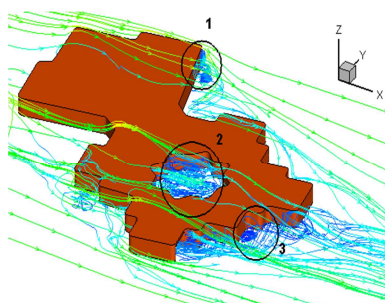
² Curvature Correction

¹ Double Precision

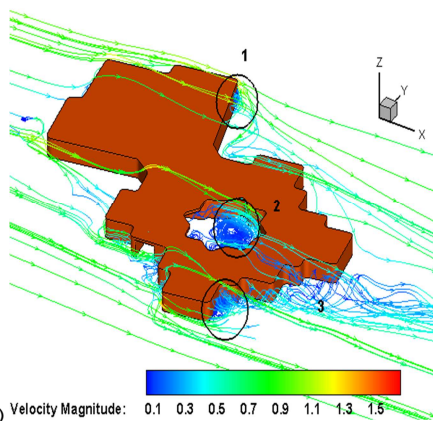
تغییر یافته و در مدل شماره ۳ علاوه بر تغییر اندک مکان گردابه‌ی سوم، اندازه‌ی گردابه‌ی دوم نیز کوچک‌تر شده‌است (مطابق شکل ۵ (ب و ج)).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵ - خطوط جریان در اطراف ساختمان در سه مدل مختلف، رنگی شده با اندازه‌ی سرعت (متر بر ثانیه): (الف): مدل شماره ۱، (ب): مدل شماره ۲ و (ج): مدل شماره ۳

۲-۵- شبیه‌سازی مسیر حرکت و غلظت ریزگردها

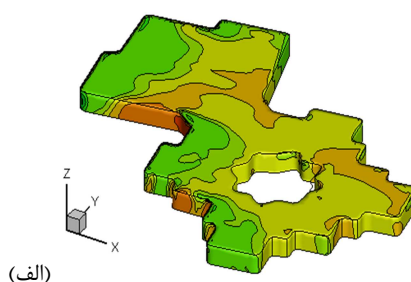
در این قسمت به بررسی ساختار مدل محاسباتی جهت شبیه‌سازی حرکت ذرات آلاینده و نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود. در مسائل شبیه‌سازی چند فازی انتخاب شرایط اولیه سهم به سزایی در جواب‌های نهایی خواهد داشت. به منظور مدل‌سازی میدان جریان سیال از یک الگوی پایا جهت محاسبه‌ی متغیرهای سرعت، فشار و ... در حجم کنترل مورد نظر استفاده شده‌است. پس از همگرایی حل در این مرحله، داده‌های بدست آمده، به عنوان مقادیر اولیه جهت شبیه‌سازی مسیر حرکت ذرات و غلظت آلاینده‌ها بکار می‌روند. همانطور که پیش‌تر گفته شد، از یک رویکرد اولیری- لاگرانژی جهت شبیه‌سازی حرکت ریزگردها استفاده شده‌است. تعداد ذرات با

مرحله پیشین بدست آمده‌اند، استفاده شده و شبیه‌سازی به صورت یک فرآیند پیمایش در زمان انجام می‌گیرد. در ادامه در خصوص شرایط مسئله موردنظر و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های انجام گرفته بحث خواهد شد.

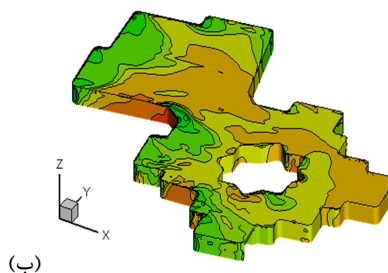
۵-۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی میدان جریان

پس از اجرای مدل‌ها و رسیدن به حل پایای اولیه، نتایج شبیه‌سازی میدان جریان بدست آمد. در این قسمت به ارائه‌ی نتایج فشار و سرعت سیال در میدان جریان و در نقاط مختلف پرداخته می‌شود. در ابتدا نتایج فشار و پس از آن نتایج الگوی جریان آورده می‌شود.

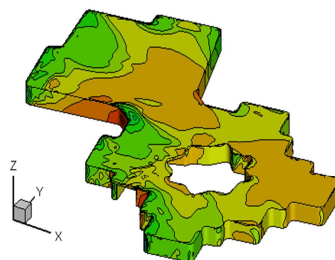
در شکل ۴ خطوط همتراز فشار با فرض فشار اتمسفر برابر صفر برای سه مدل به ترتیب در قسمت‌های الف، ب و ج نشان داده شده‌است. فشار وارده بر ساختمان در سه مدل ساخته شده تفاوت اندکی را (بیشتر در نزدیکی محل‌های ورودی) نشان می‌دهد.



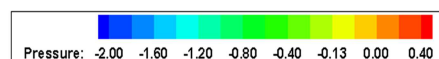
(الف)



(ب)



(ج)



شکل ۴- خطوط همتراز فشار وارد بر دیوارها ساختمان، (الف): مدل شماره ۱، (ب): مدل شماره ۲ و (ج): مدل شماره ۳

الگوی جریان در نزدیکی ورودی مدل‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. همانطور که در شکل ۵ (الف) مشاهده می‌شود در مدل شماره ۱، بیشترین ساختارهای چرخشی (گردابه‌ها) در مکان‌هایی که با دایره نشان داده شده، وجود دارند. دایره‌های ۱ و ۲ مکان گردابه‌هایی را نشان می‌دهد که در سایر مدل‌ها نیز وجود دارد. در مدل شماره ۲ محل تشکیل گردابه‌ی سوم

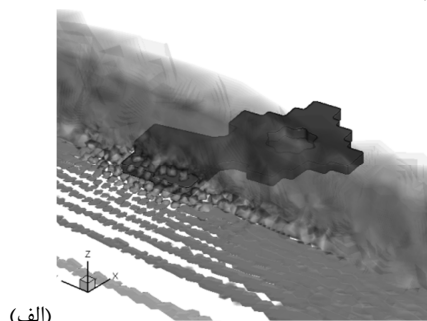
توجه به تعداد گره‌های شبکه چشمه و زمان ورود آنها مشخص می‌گردد. در جدول ۱ مشخصات ذرات گردوغبار (فاز گسسته) آورده شده‌است.

جدول ۱ - مشخصات ریزگردها

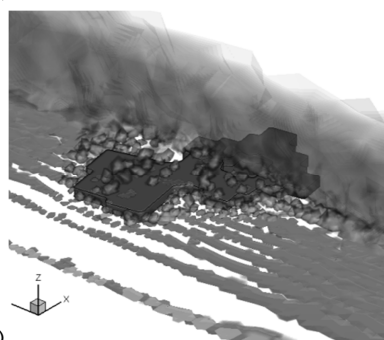
ویژگی	مقدار
قطر ریزگردها (میکرون)	1
چگالی ریزگردها (kg/m^3)	3320
تعداد کل ریزگردها (ذره)	78200

۵-۲-۱- مسیر حرکت ریزگردها

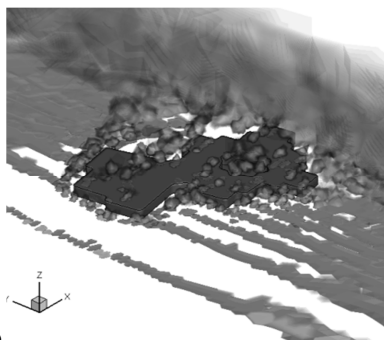
در شکل ۶ مسیر حرکت ریزگردها برای مدل شماره یک در سه زمان متفاوت نشان داده شده‌است. مدل شماره ۱ شکل سمت راست (الف)، مدل شماره ۲ شکل وسط (ب) و مدل شماره ۳ در سمت چپ آورده شده‌است (شکل ج)).



(الف)



(ب)

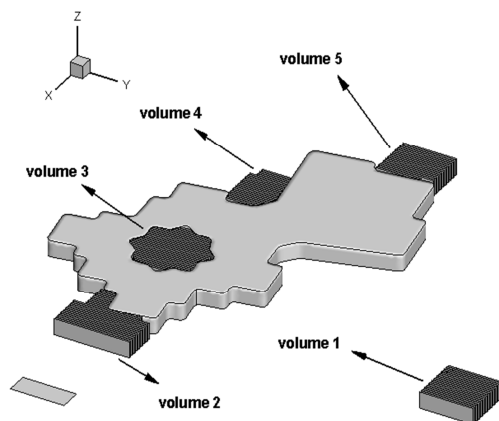


(ج)

شکل ۶ مسیر حرکت ریزگردها در سه زمان متفاوت با فواصل زمانی یک دقیقه: (الف): $t=390\text{ s}$ ، (ب): $t=450\text{ s}$ و (ج): $t=510\text{ s}$

۵-۲-۲- غلظت ریزگردها در حجم‌های تعریف شده در اولین مدل

برای تعیین غلظت ریزگردها در منطقه‌ی مورد بررسی، مطابق شکل ۷ تعداد ۵ حجم در مدل اول و برای تعیین میزان غلظت مواد آلاینده در نظر گرفته شده‌است. سپس مجموع غلظت ذرات گردوغبار برای این مدل و در حجم‌های مورد بررسی در گام‌های زمانی متفاوت محاسبه شده‌است.



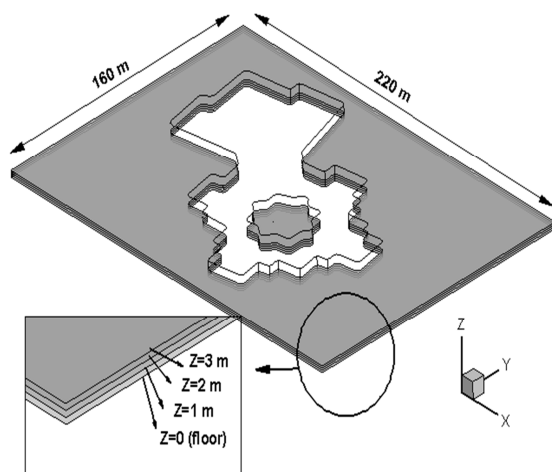
شکل ۷ - حجم کنترل‌های مشخص شده برای تعیین میزان غلظت مواد آلاینده

جدول ۲ حداکثر میزان آلاینده را در مدل اول و در هر حجم کنترل نشان می‌دهد. زمان رویداد این مقادیر بسته به مکان قرارگیری احجام متفاوت است.

جدول ۲ - مقادیر حداکثر آلاینده

حجم کنترل	حداکثر مقدار آلاینده بر حسب میکروگرم
شماره ۱	66.87
شماره ۲	58.09
شماره ۳	4.28
شماره ۴	7.35
شماره ۵	5.76

در شکل‌های ۸ (الف) و (ب)، میزان آلاینده در اولین مدل و در هر یک از حجم‌های کنترل نشان داده شده‌است.



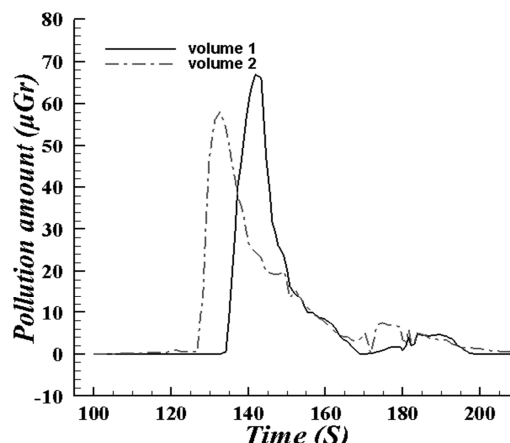
شکل ۹ - ترازهای مرجع برای محاسبه مجموع غلظت ریزگردها

شکل ۱۰ (الف)، مجموع غلظت ریزگردها در سطوح تعریف شده (در شکل ۹) را در مدل شماره ۱ نشان می‌دهد. به طور مشابه این مجموع برای مدل‌های شماره ۲ و ۳ محاسبه شده است (شکل ۱۰ (ب و ج)).

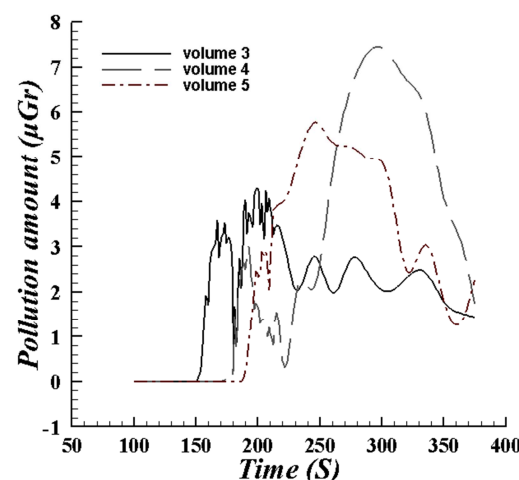
این سه نمودار نشان می‌دهد که در تمام حالات میزان غلظت ریزگردها در لایه‌های نزدیک‌تر به زمین (کم ارتفاع‌تر) بیشتر است (به جز در ارتفاع صفر که صفحه‌ی تعریف شده در مرز قرار گرفته و اختلاف قابل توجهی است). در توجیه این موضوع می‌توان گفت که در این سه حالت سرعت جریان هوا در نزدیکی ساختمان کمتر بوده، در نتیجه ریزگردها در ناحیه‌ی نزدیک زمین تجمع می‌یابند. نکته دیگر آنکه اکثر نمودارها با گذشت زمان سیر صعودی داشته و این نشان می‌دهد تراز ارتفاعی توده‌ی ریزگردها با برخورد به ساختمان کاهش می‌یابد.

۵-۲-۴- بررسی تاثیر معماری ساختمان بر غلظت ریزگردها

همانطور که انتظار می‌رود میزان غلظت ریزگردها با توجه به شکل هندسی ساختمان و محل قرارگیری ورودی متفاوت است. به منظور مقایسه‌ی توزیع ذرات در مدل‌های مختلف، نمودار غلظت ریزگردها در ارتفاع‌های یکسان رسم شده است (شکل ۸). نتایج نشان دهنده اینست که با نزدیک شدن هر چه بیشتر به سطح زمین، تغییرات غلظت ریزگردها همراه با نوسان‌هایی با دامنه‌ی بزرگتر خواهند بود و تفاوت‌های معماری در غلظت ریزگردها در ارتفاع‌های پایین‌تر اثر بیشتری دارد.



(الف)



(ب)

شکل ۸ - میزان آلاینده در حجم‌های مفروض بر حسب زمان: (الف) حجم شماره ۱ و ۲، (ب) حجم‌های شماره ۳، ۴ و ۵

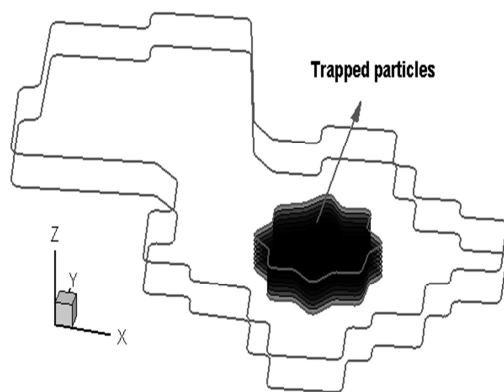
به جهت تفاوت‌های مقادیر حداکثر غلظت ریزگردها، حجم‌های شماره ۱ و ۲ جدای از سایر حجم‌ها در نمودار ترسیم شده‌اند. همانطور که نمودار نشان می‌دهد حداکثر غلظت ریزگردها در حجم شماره ۱ و برابر ۶۶/۸۷ میکروگرم اتفاق می‌افتد.

۵-۲-۳- بررسی غلظت ریزگردها در ترازهای نزدیک به سطح زمین

برای بررسی میزان غلظت ریزگردها در ارتفاع، مجموع غلظت ریزگردها در صفحاتی که در شکل ۹ نمایش داده شده برای هر یک از سه مدل ساخته شده، محاسبه شده است. صفحات اطراف ساختمان در چهار تراز با ارتفاع‌های ۰، ۱، ۲ و ۳ متر از زمین در نظر گرفته شده است.

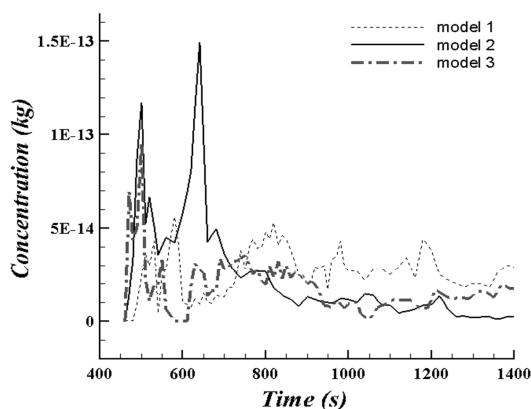
۵-۲-۵- مقایسه‌ی به دام‌افتادگی ذرات در سه مدل ساخته‌شده (تأثیر معماری ساختمان بر میزان به دام افتادن ذرات گرد و غبار)

برای بررسی میزان به دام افتادگی ذرات، حجم متقارن وسط ساختمان تا ارتفاع ساختمان (حدوداً ۷ متر) مطابق شکل ۱۱ در نظر گرفته شده و میزان ذرات آلاینده در سه معماری مختلف، بر حسب زمان و برای این حجم فرضی محاسبه شده است.



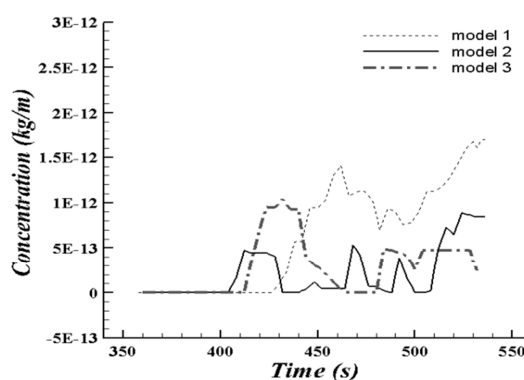
شکل ۱۱ - حجم متقارن موردنظر مشرف به ورودی‌های ساختمان

در شکل ۱۲ مقایسه‌ی میزان آلاینده وارد شده به حجم مفروض، بین سه مدل مورد بحث مشاهده می‌شود.

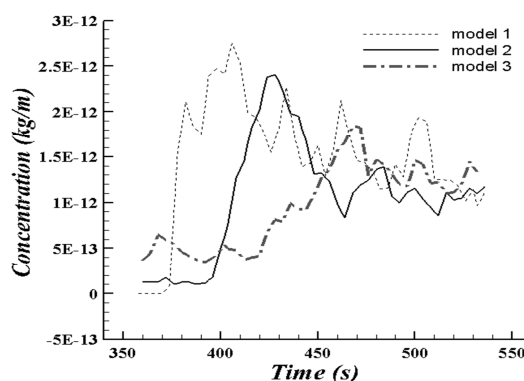


شکل ۱۲ - میزان آلاینده در حجم مفروض بر حسب زمان

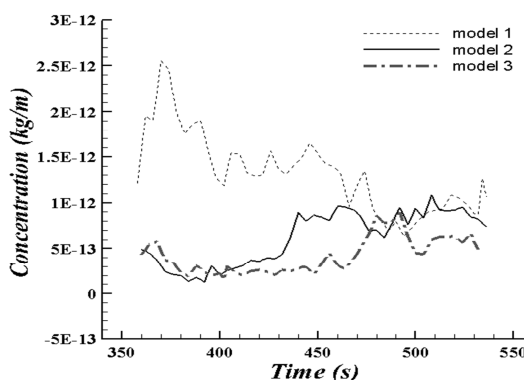
همانطور که از شکل پیداست بیشترین میزان به دام افتادگی ذرات در مدل شماره ۱ (بدون درب ورودی) و کمترین میزان به دام افتادگی ذرات در مدل شماره ۲، که تقریباً برابر صفر است، اتفاق می‌افتد. لازم به ذکر است ورودی ساختمان در مدل شماره ۲ در قسمت انتهایی، در جهت وزش باد غالب قرار گرفته و بنابراین انتخاب این مکان برای درب خروجی باعث کاهش در انباشت ذرات گرد و غبار می‌شود. در جدول ۳ مقادیر ذرات به دام افتاده در سه مدل مشاهده می‌شود.



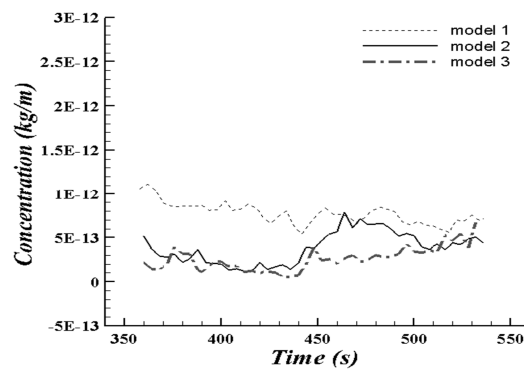
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۱۰ - غلظت ریزگردها در سطح تعریف شده بر حسب ارتفاع؛ (الف): غلظت در $Z=0$ m، (ب): غلظت در $Z=1$ m، (ج): غلظت در $Z=2$ m، (د): غلظت در $Z=3$ m

۲ از نظر انباشت گردوغبار نسبت به معماری موجود، شرایط مناسب‌تری دارد.

۷- تقدیر و تشکر

نویسندگان از مسئولین محترم دانشگاه قم، دانشکده فنی و مهندسی، مرکز محاسبات دانشگاه و اداره‌ی هواشناسی استان قم به جهت همکاری در تهیه اطلاعات اولیه‌ی مورد نیاز و فراهم آوردن بسترهای لازم تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۸- نمادها

P	فشار ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$)
d	قطر ذرات (m)
k	انرژی جنبشی آشفستگی
ω	سرعت زاویه‌ای
Re	عدد رینولدز
u_j	سرعت (ms^{-1})
علامت یونانی	
μ	لزجت دینامیکی ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$)
ν	لزجت سینماتیکی (m^2s^{-1})
ρ	چگالی (kgm^{-3})
بالانویس‌ها، زیرنویس‌ها	
air	هوا
Ave	مقدار متوسط
t	اغتشاش

۹- مراجع

- [1] S. M. Hoseini, Heidarinejad, Legal Examination of transboundary contamination with dust from the perspective of looking at the situation in Iran, Journal of Environment, No. 25, 2013. (in Persian)
- [2] A. Badalzadeh, A. DaneshShahraki, Dust and environmental effects, the first national conference on the environment Payam Noor University, Esfahan, 1393. (in Persian)
- [3] M. K. Moayyedi, E. Jabbari, M. M. Hashemi Prpnchy, Euler-Lagrange model for numerical simulation of flow field and particle air pollution (fine dusts) Case Study: Building Central Library of the University of Qom, the first national conference on sustainable development in energy engineering systems, Water and Environment, Tehran, University of science and Technology, 2015. (in Persian)
- [4] M. H. Shabani, time series analysis of air pollution and energy consumption in Tehran, MSc Thesis, Sharif University of Technology, Tehran, 1377. (in Persian)
- [5] K. Haj Nasrollahi, natural gas impact of cars on air pollution in Tehran, accessed 23 jun 2015; <http://ganj.irandoc.ac.ir/articles/190429>, retrieved in 1394, 1374. (in Persian)
- [6] S. Di. Sabatino, R. Buccolieri, B. Pulvirenti, R. E. Britter, Flow and Pollutant Dispersion in Street Canyons using FLUENT and ADMS-Urban, WindEng.Ind.Aerodyn, 2007.
- [7] S. M. Salim, R. Buccolieri, A. Chan, S. Di Sabatino, Large eddy simulation of the aerodynamic effects of trees on pollutant concentrations in street canyons, Urban Environmental Pollution, 2011.

جدول ۳ - میزان به دام افتادن ذرات

شماره‌ی مدل	متوسط وزن گردوغبار به‌دام افتاده بر حسب کیلوگرم
۱	2.865E-14
۲	1.814E-15
۳	1.702E-14

از مقادیر جدول پیداست که میزان گرد و غبار به دام افتاده در محوطه‌ی مرکزی وابستگی زیادی به شکل معماری ساختمان داشته و مکان درب ورودی در مدل شماره‌ی ۲ به گونه‌ای است که میزان به دام افتادن ذرات در آن تقریباً ۱۰ درصد میزان به دام افتادن ذرات در معماری موجود می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش پیرامون شبیه‌سازی عددی جریان سیال و انتقال آلاینده‌ها (فاز جامد) بحث و در این خصوص ساختمان کتابخانه‌ی مرکزی دانشگاه قم با تغییر ساختار معماری (موقعیت درب ورودی محوطه‌ی مرکزی) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. از ویژگی‌های این پژوهش می‌توان به نگاه آن در مورد مسئله‌ی ریزگردها و بررسی آنها در اندازه‌ی نسبتاً وسیع و آنهم به صورت عددی و تحلیلی اشاره نمود. از دیگر ویژگی‌های این پژوهش اینکه نتایج آن با انجام آزمایش‌های میدانی در محدوده‌ی ساختمان مغروض و با شرایط مشابه قابل تحقیق است.

نتایج نشان می‌دهد که منابع آلاینده‌ی محلی مکان‌های نزدیکتر به خود و در سمت غالب وزش باد را بیشتر تحت تاثیر آلاینده قرار می‌دهد. در اولین مدل حداکثر غلظت برای حجم کنترل (۱) اتفاق می‌افتد. دلیل این رویداد این است که این حجم کنترل در معرض اثراتی که ساختمان در جریان ورودی ایجاد می‌کند، قرار نگرفته و لذا سرعت جریان دچار تغییرات کاهشی شدید نشده و در نتیجه توانایی حمل ذرات در این منطقه بیشتر بوده است. نکته‌ی قابل تامل اینکه مقادیر حداکثر آلاینده در سه حجم کنترلی که در معرض مستقیم جریان نبوده‌اند نسبت به احجام شماره ۱ و ۲ بسیار کوچک است و مکان‌های مناسبی برای دوری از ذرات گرد و غبار غلیظ می‌باشد.

در مدل اول با توجه به شکل روشن است که از میان احجام فوق حجم شماره ۳ کمترین حداکثر غلظت را طی زمان مواجهه با توده‌ی گرد و غبار دارد و نسبت به احجام شماره‌ی ۴ و ۵ سطح زیر نمودار آن بین زمان‌های ۱۵۰ تا ۳۷۵ ثانیه کمتر است. به دلیل به دام افتادن ذرات در حجم ۳، سطح زیر نمودار ۲ برای این حجم نسبت به احجام ۴ و ۵ در زمان طولانی بیشتر می‌شود. بنابراین در کوتاه مدت حجم ۳ و در بلند مدت حجم ۵ که زمان ماند گرد و غبار کمتری دارد، مکان‌های مناسبتری برای اجتناب از ریزگردها هستند.

پژوهش حاضر نشان داد معماری ساختمان اثر قابل توجهی در توزیع ریزگردها در اطراف ساختمان دارد. از میان سه مدل ساخته‌شده کمترین مقدار غلظت ریزگردها (ارتفاع بین صفر تا ۳ متر) در بیشتر زمان‌ها، مربوط به مدل شماره‌ی ۳ است. همچنین بیشترین مقدار غلظت ریزگردها در غالب اوقات مربوط به مدل شماره‌ی ۱ است. بنابراین از نقطه نظر انباشت ریزگردها، معماری واجد درب ورودی باز نسبت به حالت درب ورودی بسته ارجحیت دارد. همچنین معماری معرفی‌شده در مدل شماره

- [8] S. M. Salim, R. Buccolieri, A. Chan, S. Di. Sabatino, Numerical simulation of atmospheric pollutant dispersion in an urban street canyon: Comparison between RANS and LES, WindEng.Ind.Aerodyn, 2011.
- [9] C. J. Gan, S. M. Salim, 2014, Numerical Analysis of Fluid-Structure Interaction between Wind Flow and Trees, Proceedings of the World Congress on Engineering.
- [10] S. M. Salim, M. Y. Afiq Witri, C. S. Nor Azwadi, M. Shuhaimi, Model Sensitivity Test of Large Eddy Simulation for Wind Flow and Pollutant Dispersion in a Street Canyon, Applied Mechanics and Materials, 2015.
- [11] A. Soleimani, H. M. Asgari, S. A Dadalahy, H Elmizadeh, S. H. Khazaei, Optical depth assessment of MODIS satellite imagery in the Persian Gulf, accepted in the journal Marine Science and Technology, 2015. (in Persian فارسی)
- [12] Sh. Mehrabizadeh, S. Soltani, R. jafari, investigating the relationship between climatic factors and the occurrence of dust (CASE STUDY: Khuzestan), Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences, Vol. 19, No. 71, 2015. (in Persian فارسی)
- [13] M. Qomi, F. Ghadimi, the emissions of heavy metals in the dust of the city of Arak, the National Conference on environment and sustainable development, Arak., 1393. (in Persian فارسی)
- [14] M. Hemati, Gh. Rahimi, to investigate the spatial distribution of heavy metals from fine dust particles in the cities, the first national conference on sustainable management of soil resources and the environment, Shahid Bahonar University, 1393. (in Persian فارسی)
- [15] M. Rafeie, S. BaniNaimeh, A. Rasekh, Effect of wind speed in the intensifying concentration of PM10 in the air in Ahvaz, the first national conference on the environment Payam Noor University, Esfahan, 1393. (in Persian فارسی)
- [16] Z. Zhang, R. Wieland, M. Reiche, R. Funk, C. Hoffmann, Y. Li, M. Sommer, Wind modelling for wind erosion research by open source computational fluid dynamics, Ecological Informatics, pp 316-324, 2011.
- [17] S. W. Hong, I. B. Lee, I. H. Seo, K. S. Kwon, T. W. Kim, Y. H. Son, M. Kim, Measurement and prediction of soil erosion in dry field using portable wind erosion tunnel, biosystems engineering, pp 68 -82, 2014.
- [18] A. soltani, S. jafari, M. Kadkhodaei, Study of aerosol particles movement in laminar flow and the geometry of the stairs with a view After using the Lattice-Boltzmann method, First National Conference and exhibitions on Environment, Energy and Clean Technology, tehran, 1392. (in Persian فارسی)
- [19] Kh. Zorufchy Bennis, I. fatehi far, J. Ahmadi, M. Mohammadi, air pollution modeling software using ISCST around Tabriz Oil Refining Company, Journal of Civil and Environmental Engineering, University of Tabriz, No 44, 1393. (in Persian فارسی)
- [20] S. Asadi, I. fatehi far; R. A. Ashrafi Pour, M. Rastegari, the correlation between volatile organic compounds and particulate matter with a diameter smaller than 2.5 microns in the air of Tehran, the Sixteenth National Congress of Environmental Health, Tabriz University of Medical Sciences , School of Public Health, 1392. (in Persian فارسی)
- [21] D. C. Wilcox, Turbulence Modeling for CFD, 3rd edition, hardcover – D C W Industries, November 1, 2006.
- [22] Fluent Inc . 2003-01-25, <http://jullio.pe.kr/fluent6.1/help/html/ug/node661.htm>, accessed jun 2015.