مجله مهندسی مکانیک مدرس، فوق‌العاده اسفند 1393، دوره 14، شماره 13، ص‌ص 272-280

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

شبیه‌سازی جریان متلاطم باد بر روی پردیس دانشگاه تربیت مدرس

امیرمحمد جدیدی[1]، قاسم حیدری‌نژاد[2*]

1- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
2- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
*تهران، صندوق پستی 143-14115، gheidari@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 23 آذر 1392
پذیرش: 26 بهمن 1392
ارائه در سایت: 19 مهر 1393

کلید واژگان:
جریان باد
دانشگاه تربیت مدرس
مدل DES
آسایش پیاده‌رو
پردازش موازی

چکیده

پیش‌بینی الگوی جریان باد در اطراف ساختمان‌های بلند، به‌دلیل مطرح شدن مسایلی چون آسایش پیاده‌رو، مشکل عدم تخلیه آلاینده‌های مضر در سرعت‌های پایین باد و غیره، امروزه جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. جریان آشفته باد در اطراف ساختمان، به‌دلیل پیچیدگی‌های فیزیکی ازجمله وجود گوشه‌های تیز، اثر زمین، وجود گردابه‌های مختلف و سایر عوامل، یکی از بهترین گزینه‌ها برای ارزیابی دقت و کارآیی مدل‌های آشفتگی است. در یک مجموعه ساختمانی، علاوه‌بر دشواری‌های ذکر شده، تاثیر ساختمان‌ها بر یکدیگر و به‌وجود آمدن نواحی بسیار پرسرعت در بین ساختمان‌ها باعث می‌شود تا برای حصول جواب‌های مورد اعتماد از یک شبکه ریز به‌همراه یک مدل آشفتگی دقیق استفاده شود که موجب افزایش هزینه محاسباتی خواهد شد. مدل DES از روش‌های نسبتا جدید ترکیبی RANS-LES برای شبیه‌سازی جریان آشفته است که در نزدیکی مرز از روش RANS و در نواحی دورتر از آن از روش LES استفاده می‌کند و متعاقبا زمان اجرای شبیه‌سازی در آن نسبت به روش‌های رایج LES کمتر است. در این مقاله، جریان آشفته باد در سرعت‌های مختلف بر روی پردیس دانشگاه تربیت مدرس با استفاده از مدل DES شبیه‌سازی شده و به‌دلیل تعداد زیاد نقاط شبکه از یک کلاستر به‌منظور پردازش موازی استفاده شده است. به‌منظور صحت‌سنجی، نتایج حاصل از روش DES با مدل‌های متداول آشفتگی مانند اسماگورینسکی مقایسه شده‌اند.

Turbulent wind flow simulation over Tarbiat Modares University

Amir Mohammad Jadidi, Ghassem Heidarinejad *

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 14 December 2013
Accepted 15 February 2014
Available Online 11 October 2014

Keywords:
Wind Flow
Tarbiat Modares University
DES Model
Pedestrian Comfort
Parallel Processing

ABSTRACT

Predicting wind flow pattern around high rise building, because of some important issues like pedestrian comfort, air pollution. in weak wind region and etc. has great position in wind engineering. Turbulent wind flow over buildings due to the complexity like sharp corners, ground effect, different vortexes and other factors is one of the best choices to evaluate efficiency and accuracy of turbulence methods. Moreover in a large building collection due to high velocity region between buildings, simulating wind flow is more complex. Therefore reaching acceptable result needs a fine grid with an accurate turbulence model that increases computational cost. DES is hybrid RANS-LES models for simulating turbulent flow which for their characteristic, treat near wall as RANS and farther the wall act as LES model. Consequently computational time will decrease compared to traditional LES models. In this article turbulent wind flow over Tarbiat Modares University with DES method in different wind velocities is simulated. Because cells number is great parallel processing has been used. For verification, DES results are compared with traditional LES models such as smagorinsky. The DES results show good agreement with smagorinsky model.

1- مقدمه

هندسه یک ساختمان بر روی شرایط آب و هوایی محیط داخل و اطرافش به طرز غیر قابل اجتنابی تاثیر می‌گذارد. به‌ویژه در ساختمان‌های بلند، بادهای پرسرعت در اطراف ساختمان می‌تواند برای افراد بیرون از ساختمان (پیاده‌رو) نامطبوع و حتی خطرناک باشد. بنابراین، در طراحی ساختمان، می‌بایست به شرایط آسایش افراد داخل ساختمان و هم به تاثیر آن بر روی محیط بیرون توجه داشت.

در کاربردهای مدلسازی جریان بر روی ساختمان بیشتر توجه به آسایش افراد داخل ساختمان بوده و تاثیر باد در بیرون ساختمان بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است. اگر هم شرایط بیرون از ساختمان مد نظر قرار گرفته به‌منظور تعیین شرایط مرزی باد روی ساختمان بوده و تاثیر باد بر اقلیم اطراف ساختمان کمتر مورد توجه بوده است.

اقلیم بیرون از ساختمان متاثر از سرعت باد، جهت باد، باران، آلودگی هوا، تشعشع و نور است که این عوامل با حضور ساختمان تغییر می‌کنند و

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
A. M. Jadidi, Gh. Heidarinejad, Turbulent wind flow simulation over Tarbiat Modares University, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 13, pp. 272-280, 2015 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]

تغییر آنها به ابعاد، شکل و جهت ساختمان‌ها و همچنین، به تاثیر ساختمان‌ها بر یکدیگر و تاثیر عوامل دیگر بر ساختمان (همانند درخت‌ها و غیره) بستگی دارد.

مطالعه آسایش پیاده‌رو در جریان باد ترکیبی از اطلاعات آماری مربوط به هواشناسی، اطلاعات آیرودینامیکی جریان باد و معیارهای آسایش است. پس از ترکیب اطلاعات آماری هواشناسی و آیرودینامیکی جریان باد، معیار آسایش برای قضاوت آسایش افراد در جریان باد به‌کار گرفته می‌شود.

معیارهای مختلفی برای آسایش در جریان باد وجود دارد. اکثر این معیارها شامل آستانه‌ای برای سرعت باد و ماکزیمم حد مجاز برای سرعت آستانه هستند. همچنین، بسیاری از این معیارها در مورد فعالیت‌هایی مانند نشستن، قدم زدن، حرکت سریع و غیره بحث‌هایی کرده‌اند. یکی از اولین کسانی که به بحث در مورد آسایش در جریان باد پرداخت ملبورنه[1] است. او در مقاله‌اش ذکر کرد که تفاوت اصلی معیارهای مختلف آسایش جریان باد در نحوه ارائه آن‌هاست. مطالعات بعدی که توسط محققانی چون راتکلیف[2]، کوبایاشی و موراکامی[3] انجام گرفت نشان داد که معیار ملبورنه تا حدی سختگیرانه است.

یک مطالعه جامع درباره مقایسه معیارهای آسایش در جریان باد توسط بوتما[4] انجام پذیرفت. ایشان اکثر معیارهای آسایش باد در جریان باد را براساس U/U_{ref} (فاکتور بزرگنمایی باد) مورد مقایسه قرار داد که U سرعت متوسط محلی باد و U_{ref} سرعت باد پتانسیل نامیده می‌شود که در ارتفاع 10 متری اندازه‌گیری شده است. براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، بوتما اظهار داشت که تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای در نتایج معیارهای آسایش دیده می‌شود و معیار گاندمر[5]، ایزیوموف و داونپورت[6]، لاوسون[7] و ویسر[8] برای کشور هلند از سایر معیارها مناسب‌تر است. او همچنین ذکر کرد که معیار ملبورنه برای اکثر فعالیت‌ها بیش از حد سختگیرانه است.

بلوکن[9] از 4 معیار پرکاربرد آسایش پیاده‌رو (ایزیوموف و داونپورت، لاوسون، ملبورنه و استاندارد هلندی NEN 8100) برای تعیین شرایط آسایش پیاده‌رو در دانشگاه آینت هوون بهره برد. وی از مدل آشفتگی k-ε و از یک شبکه با تعداد تقریبی 8 میلیون برای شبیه‌سازی بهره برد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده این بود که مدل‌های مختلف منجر به نتایج مختلفی در آسایش پیاده‌رو می‌شوند. همچنین، نتایج مدلهای ملبورنه و لاوسون بسیار محدودکننده گزارش شد، در حالی که نتایج مدل ایزیوموف و داونپورت و استاندارد NEN 8100 تا حدی به یکدیگر شبیه بودند.

به‌منظور مطالعه آسایش افراد در جریان باد حول ساختمان، الگو و مقدار سرعت جریان می‌بایست اندازه‌گیری شود که برای این منظور می‌توان از تونل باد یا دینامیک سیالات محاسباتی بهره برد. مزیت اصلی روش‌های عددی کاهش هزینه‌های استفاده از تونل باد است، اما در عوض دارای این عیب بزرگ نیز هستند که برای اعتبارسنجی نتایج هنوز نیاز به نتایج تونل باد دارند، علاوه بر اینکه برای تحلیل 3 بعدی رژیم توربولانس حول چندین ساختمان هنوز محدودیت‌های پردازش کامپیوتری در روش‌های دقیق‌تر بسیار جدی به‌نظر می‌رسد.

جریان غیردائم آشفته حول یک ساختمان مکعب شکل با استفاده از روش LES اولین‌بار توسط موراکامی و موچیدا[10] بررسی شده است. ایشان برای مدلسازی زیرشبکه از روش اسماگورینسکی استفاده کردند و به خوبی نشان دادند که روش مذکور پتانسیل بسیار بالایی برای پیش‌بینی صحیح جریان حول ساختمان دارد. در تحقیقات محققان مذکور به‌جز جریان پایین‌دست جریان، بقیه نواحی الگوی صحیحی نسبت به جواب‌های تجربی نشان دادند.

موراکامی در سال‌های 1988، 1989 و 1990 از هر دو روش LES و RANS برای تخمین جریان حول مکعب و ساختمان‌های پیچیده استفاده کرد [11-13]. وی نشان داد که ابعاد شبکه به‌کار رفته و شرایط مرزی به‌طرز مؤثری بر روی جواب‌ها تأثیر می‌گذارند. او با استفاده از یک شبکه ریز و اعمال صحیح شرایط مرزی توانست جواب‌های میانگین سرعت و فشار نسبتاً خوبی به‌دست آورد. او از نتایج کارها این گونه جمع‌بندی کرد که به‌طور کلی روش LES نسبت به روش‌های میانگین‌گیری زمانی برای محاسبه جریان حول ساختمان ارجحیت دارد، اما در روش LES نیز اختلاف جواب‌ها وجود دارد.

رودی[14] مقایسه‌ای میان LES و RANS انجام داد و نشان داد که LES به‌طرز آشکاری از روش‌های RANS بهتر عمل می‌کند و از پتانسیل بالایی برای شبیه‌سازی جریان‌های پیچیده برخوردار است. هزینه محاسباتی این روش بالاست، اما با استفاده از روش‌های پردازش موازی و کامپیوترهای امروزی این مشکل تا حدی مرتفع شده است.

آریستودمو و بنتهام[15] از مدل اسماگورینسکی برای مدلسازی جریان باد آشفته تراکم‌پذیر بر روی 4 ساختمان بهره بردند و نتایج عددی را با نتایج تونل باد مقایسه کردند. نوآوری مقاله در ترکیب روش LES با شبکه محاسباتی خود انطباق[1] است، به‌گونه‌ای که امکان تغییر عرض فیلتر و اجرای مدل لزجت گردابه‌ای غیرهمسانگرد وجود دارد. مقادیر خطای سرعت متوسط در برخی مناطق تا 85 درصد نیز گزارش شده است.

همان‌گونه که بیان شد، مدل‌های آشفتگی که تا کنون برای شبیه‌سازی جریان باد بر روی ساختمان به‌کار رفته‌اند یا دقت کافی نداشته‌اند (اکثر مدل‌های مرسوم RANS مانند k-ε) و یا زمان اجرای آنها بالاست (مدل‌های LES، حتی ساده‌ترین مدل LES که اسماگورینسکی است زمان اجرای نسبتا بالایی دارد).

به همین دلیل، محققان در سال‌های اخیر از روش‌های ترکیبی RANS-LES، به‌منظور کاهش زمان محاسبات در عین حفظ دقت محاسبات، استفاده می‌کنند. یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های ترکیبی DES[2] است. این مدل اولین‌بار توسط اسپالارت و آلاماراس[16] در سال 1994 به‌عنوان یک مدل آشفتگی یک معادله‌ای و نه به‌عنوان مدل DES ارائه شد و در سال 1997 توسط اسپالارت، جو و استریلت[17] برای اولین‌بار برای شبیه‌سازی جریان بر روی بال هواپیما با موفقیت به‌کار گرفته شد. به‌عبارت دیگر، DES یک مدل توربولانسی از نوع LES با دو طول مقیاس طولی اختلاطی است که در ناحیه نزدیک دیواره از روش RANS و در ناحیه دور از دیواره از روش LES استفاده می‌کند. انتقال بین این دو ناحیه بسیار مهم است و در ناحیه خاکستری[3] اتفاق می‌افتد. اسپالارت در سال 2006[18] برای رفع برخی ایرادات روش DES اصلاحی بر روی روش مذکور انجام داد و نام روش جدید DDES نام گرفت.

ارزیابی مدل DES و DDES در شبیه‌سازی جریان آشفته باد بر روی یک ساختمان توسط حیدری‌نژاد و جدیدی[19] انجام شد و مدل‌های مذکور با مدل‌های توربولانسی نظیر اسماگورینسکی و k-ε مقایسه شدند. نتایج حاکی از آن بوده که روش DES از دقت بالاتری نسبت به مدل‌های RANS برخوردار است و زمان اجرای کمتری نسبت به مدل‌های LES دارد و از پتانسیل خوبی

1- Adaptive Grid
2- Detached Eddy Simulation
3- Gray Area

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]

برای شبیه‌سازی جریان آشفته باد بر روی ساختمان برخوردار است.

در این تحقیق، از مدل توربولانسی DES به‌منظور شبیه‌سازی جریان آشفته باد بر روی یک مجموعه پیچیده ساختمانی (پردیس دانشگاه تربیت مدرس انتخاب شده است) استفاده شده است. سپس، به‌منظور ارزیابی شرایط آسایش پیاده‌رو، استاندارد NEN 8100 مورد استفاده قرار گرفته است. برای ارزیابی نتایج، روش مذکور با مدل اسماگورینسکی، که یک مدل صفر معادله‌ای LES است، مقایسه شده است. به‌دلیل بزرگ بودن دامنه محاسباتی و تعداد بالای سلول‌های شبکه محاسباتی، از پردازش موازی در محیط لینوکس (با استفاده از یک کلاستر بدون دیسک) استفاده شده است. در بخش بعد، معادلات حاکم بر جریان و روش‌های آشفتگی مورد استفاده در این مقاله بررسی شده‌اند.

2- معادلات حاکم

به‌طور کلی دو دسته روش LES و RANS برای شبیه‌سازی جریان آشفته وجود دارند که تفاوت آنها در نوع میانگین‌گیری از معادله ناویر-استوکس است. در دسته روش‌های LES از میانگین‌گیری مکانی با استفاده از فیلتر و در دسته روش‌های RANS از میانگین‌گیری زمانی استفاده می‌شود. روش DES یک روش ترکیبی LES-RANS است که به‌طور خودکار در نزدیکی مرز تبدیل به روش RANS شده و در نواحی دورتر شبیه یک مدل LES یک معادله‌ای عمل می‌کند. معادله پیوستگی و ناویر-استوکس میانگین‌گیری شده، در حالتی که سیال تراکم‌ناپذیر باشد، به‌صورت رابطه (1) هستند:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i}=0$$
$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t}+\frac{\partial \bar{u}_i\bar{u}_j}{\partial x_j}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left((\nu+\nu_T)\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}\right) \qquad (1)$$

در رابطه (1)، u_i بیانگر سرعت، p فشار، ν لزجت سینماتیکی سیال و ν_T لزجت آشفتگی است. در روش DES، برای به‌دست آوردن لزجت آشفتگی از معادله اسپالارت-آلاماراس[1] به‌صورت رابطه (2) استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial t}+u_j\frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_j}=c_{b1}\tilde{S}\tilde{\nu}-c_{w1}f_w\left(\frac{\tilde{\nu}}{d}\right)^2+\frac{1}{\sigma}\frac{\partial}{\partial x_k}\left[(\nu+\tilde{\nu})\frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_k}\right]+\frac{c_{b2}}{\sigma}\frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_k}\frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_k} \qquad (2)$$

در معادله (2) با u_T (تنش آشفتگی) از طریق رابطه (3) ارتباط پیدا می‌کند.

$$u_T=\tau f_{n1} \qquad (3)$$

در رابطه (2)، c_{b1}، c_{b2}، c_{w1} و σ ضرایب ثابت هستند و f_w، f_{n1} و f_{n2} توابعی هستند که از رابطه (4) حاصل می‌شوند.

$$f_w=g\left(\frac{1+c_{w3}^6}{g^6+c_{w3}^6}\right)^{1/6}, \quad g=r+c_{w2}(r^6-r)$$
$$r=\frac{\tau}{S\kappa^2 d_w^2}, \quad S=\Omega+\frac{\tau}{\kappa^2 d_w^2}f_{n2} \qquad (4)$$
$$f_{n1}=\frac{c^3}{c^3+c_{n1}^3}, \quad f_{n2}=1-\frac{c}{1+c\,f_{n1}}, \quad c=\frac{\tau}{u}$$

1- Spalart- Allamaras

مقیاس طولی DES، d_{DES} است که توسط رابطه (5) محاسبه شده و در معادله (2) جایگزین d می‌شود:

$$d_{DES}=\min(d_w, C_{DES}\mathrm{D}) \qquad (5)$$

در رابطه (5)، d_w فاصله از دیواره، $C_{DES}=0.65$ و $\mathrm{D}=\max(\mathrm{D}_x,\mathrm{D}_y,\mathrm{D}_z)$ است. به‌عبارت دیگر، این مقیاس طولی به‌طور اتوماتیک مشخص می‌کند که در چه ناحیه‌ای باید RANS و در کجا باید LES اجرا شود. در نواحی نزدیک دیواره، که $d_w \le C_{DES}\Delta$ است، مقیاس طولی فاصله از دیواره است و در نواحی که $d_w > C_{DES}\Delta$ است، مقیاس طولی DES طول شبکه است. یعنی در نواحی دور از دیوار، متد عملا تبدیل به یک روش LES یک معادله‌ای می‌شود. در شکل 1 شمایی از نحوه عملکرد روش DES نشان داده شده است.

در رابطه (2) تا (4) ضرایب ثابتی دیده می‌شوند که در جدول 1 آورده شده‌اند.

یکی دیگر از تغییراتی که در روش DES اعمال می‌شود حذف ناحیه خاکستری یا کوچک کردن این ناحیه است، زیرا موجب تولید جواب‌های غیرفیزیکی می‌شود. بدین منظور، اسپالارت[18] تابع f_d را به تعریف مقیاس طولی به شکل روابط (6) و (7) اضافه کرد:

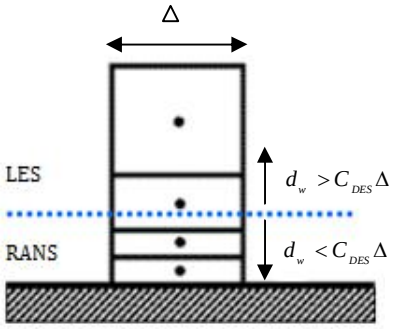
$$\tilde{d}=d-f_d\max\{0, d-C_{DES}\Delta\} \qquad (6)$$
$$f_d=1-\tanh\left[(8r_d)^3\right]$$
$$r_d=\frac{\tilde{\nu}}{S\kappa^2 d^2} \qquad (7)$$

چون در روش جدید قصد بر آن است که ناحیه RANS سریع به ناحیه LES نرسد، لذا روش اصلاح شده، شبیه‌سازی تأخیری گردابه‌های جدا شده[2] نام گرفته است. شایان ذکر است، همان‌گونه که فرولیچ در [20] ذکر کرده است، تنها تفاوت روش DDES و DES در نواحی نزدیک دیواره است که لزوما جواب‌ها دقیق‌تر از روش DES نخواهند شد.

در شبیه‌سازی‌های انجام شده، به‌منظور صحت‌سنجی نتایج، روش DES با روش اسماگورینسکی، که جزء روش‌های LES صریح صفر معادله‌ای است، مورد مقایسه قرار گرفته است. در معادله (8)، مدل اسماگورینسکی تشریح شده است شایان ذکر است که در روش اسماگورینسکی، در گام زمانی اول،

جدول 1 مقادیر ضرایب به‌کار رفته در معادلات (2) تا (4)[10]

S	c_{w3}	c_{w2}	c_{w1}	c_{b2}	c_{b1}
0/6667	2	0/3	3/2391	0/622	0/1325



شکل 1 شمایی از نحوه عملکرد روش DES

2- Delayed Detached Eddy Simulation

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]

جریان به‌صورت آرام حل می‌شود. سپس، با یافتن مقادیر سرعت‌ها و با استفاده از رابطه تانسور نرخ کرنش $\overline{S}_{ij}$ و قراردادن آن در معادله ν_{SGS}، مقدار تنش آشفتگی محاسبه می‌شود. در گام‌های بعدی، از تنش آشفتگی حاصل برای حل معادله (1) استفاده خواهد شد.

$$\nu_{SGS} = (C_{SGS}\Delta)^2 \,|\overline{S}\,| = C\Delta^2(2\overline{S}_{ij}\cdot\overline{S}_{ij})^{\frac{1}{2}}$$
$$\overline{S}_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u}_j}{\partial x_i}\right)$$
$$\Delta = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)}\,,\ C = 0.1 - 0.25 \qquad (8)$$

آسایش حرارتی بسیار نسبی است که به بسیاری از خواص فیزیکی مانند سرعت باد، دما و رطوبت وابسته است. یک شخص در یک دما و رطوبت مشخص احساس آسایش می‌کند، در حالی که شخصی دیگر احساس عدم آسایش دارد که بیانگر این موضوع است که آسایش، علاوه‌بر عوامل فیزیکی، به عوامل روانی مانند ادراک افراد نیز وابسته است.

بهترین روش برای تعریف احساس آسایش افراد در جریان باد استفاده از مقدار آستانه سرعت باد به‌همراه مقداری مجاز است که برای فعالیت‌های مختلف پیاده‌رو در محدوده زمانی خاصی تعریف شده است[21]. برای یک فعالیت خاص پیاده‌رو، سرعت باد حد u_{lim} برای رسیدن به آسایش تعریف می‌شود. معیار عمومی، برای اینکه نقطه‌ای خاص در شرایط آسایش باشد، با استفاده از رابطه (9) تعریف می‌شود[21]:

$$u_g = \overline{u} + g\, s_u < u_{\lim}$$
$$T_p(u_g > u_{\lim}) < p_{comfort} \qquad (9)$$

که در رابطه (9)، $\overline{u}$ سرعت متوسط باد، σ_u متناظر با انحراف استاندارد (نماینده مقادیر *rms*)، g مقدار ثابتی است که بسته به هر معیار آسایش مقدار متفاوتی دارد، T_p احتمال افزایش سرعت u_g از سرعت حد در محدوده‌ای از زمان است و $P_{comfort}$ ماکزیمم احتمال مجاز برای زمانی است که شرایط آسایش حاصل شده است. در مدل‌های آسایش مختلف نه‌تنها مقدار، بلکه مفهوم هر یک از پارامترهای تشریح شده نیز متفاوت است. به‌عنوان مثال، در معیار آسایش ملبورنه، u_g به‌عنوان سرعت باد ماکزیمم تعریف می‌شود، در حالی که ایزیوموف و داونپورت u_g را به‌صورت سرعت باد موثر معرفی کرده‌اند. در جدول 2، مقادیر g و احتمال عدم گذر از شرایط آسایش در مدل‌های مختلف آسایش آورده شده است.

در این تحقیق، از استاندارد هلندی NEN 8100، که یکی از معیارهای مهم و پرکاربرد آسایش در جریان باد است، برای تعیین آسایش پیاده‌رو در پردیس دانشگاه تربیت مدرس استفاده شده است. معیار آسایش در این استاندارد براساس مقدار آستانه سرعت باد متوسط *UTHR* است که برای

جدول 2 معیارهای مختلف آسایش پیاده‌رو در جریان باد

مدل آسایش	احتمال عدم گذر از آسایش	g
داونپورت	50	0
گاندمر	84	1
ایزیوموف و داونپورت	93	1/5
لاوسون و پندواردن	99/63	2/68
هانت	99/87	3
ملبورنه	99/99	3/5

تمامی فعالیت‌ها 5 متر بر ثانیه درنظر گرفته شده است. این مقدار براساس معیار لاوسون و پنواردن[22] انتخاب شده است. آستانه سرعت ایمنی در این استاندارد برابر *UTHR* = 15m/s و ماکزیمم احتمال گذر از شرایط آسایش 0/3% است. در این استاندارد، فعالیتهای پیاده‌رو به 3 دسته نشستن، حرکت آرام و حرکت سریع تقسیم شده است و بر این اساس آسایش پیاده‌رو در سرعت‌های مختلف به 3 حالت خوب، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی شده است. خلاصه‌ای از معیار آسایش پیاده‌رو در استاندارد NEN 8100 در جداول 3 آورده شده است.

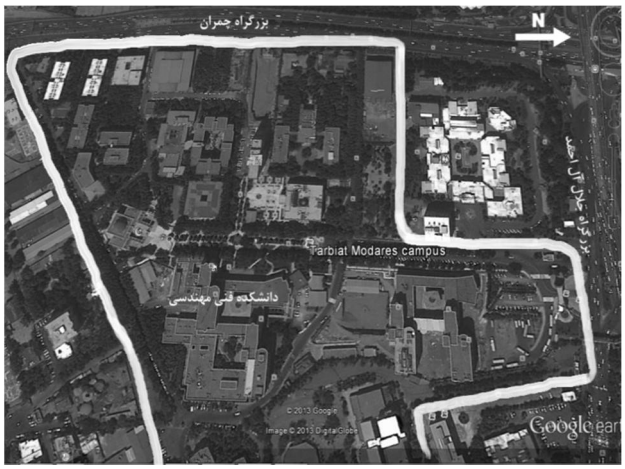
3- شرایط مرزی و روش حل

همان‌گونه که قبلا نیز بیان شد، هدف از این تحقیق شبیه‌سازی جریان آشفته و آسایش پیاده‌رو در پردیس دانشگاه تربیت مدرس است. دانشگاه تربیت مدرس از شمال به بزرگراه جلال آل احمد، از سمت غرب به بزرگراه چمران و از سمت شرق به بیمارستان قلب شریعتی متصل است. در شکل 2، نمایی از دانشگاه تربیت مدرس دیده می‌شود. این عکس با استفاده از نرم‌افزار نقشه شرکت گوگل تهیه شده است و بخش‌های مختلف دانشگاه به‌خوبی در آن قابل مشاهده است. نقشه 3 بعدی پردیس دانشگاه تربیت مدرس به کمک نقشه 2 بعدی که در اختیار بود و با استفاده از یک متر لیزری با دقت بالا (برای اندازه‌گیری ارتفاع ساختمان‌ها) تهیه شده است. شایان ذکر است که نقشه 3 بعدی در نرم‌افزار سالید ورک تهیه شده است.

طبق اطلاعات جمع‌آوری شده، سازمان هواشناسی وضعیت بادهای تهران در یک دوره ده‌ساله بدین صورت است: بادهای ضعیف (بین 0/5 تا 3 متر بر ثانیه) صبح‌ها 83 درصد و بعدازظهرها 50 درصد و هنگام غروب 65 درصد

جدول 3 خلاصه‌ای از استاندارد NEN 8100

حرکت سریع	حرکت آرام	نشستن	سرعت متوسط باد
خوب	خوب	خوب	<2/5
خوب	خوب	متوسط	2/5 - 5
خوب	متوسط	ضعیف	5 - 10
متوسط	ضعیف	ضعیف	10 - 20
ضعیف	ضعیف	ضعیف	20<



شکل 2 نمایی از پردیس دانشگاه تربیت مدرس

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]

بادها را تشکیل می‌دهند. بادهای تهران غالباً ضعیف بوده و هوای این شهر، در بیشتر روزهای سال، آرام است. می‌توان گفت 70 درصد بادهای شهر تهران ضعیف هستند و جهت مشخصی ندارند. وزش باد در شهر تهران به‌طور عمده از سمت غرب است. به همین دلیل، در شبیه‌سازی، وزش باد از جانب غرب درنظر گرفته شده است.

در شکل 3، نقشه سه‌بعدی پردیس دانشگاه تربیت مدرس در نمای ایزومتریک نشان داده شده است. ساختمان جدید با ارتفاع 42 متر و ساختمان‌های فنی مهندسی و علوم پایه با 39/5 متر از بلندترین ساختمان-های دانشگاه به‌حساب می‌آیند.

اعمال شرایط مرزی به‌طور صحیح، به‌نحو آشکاری، بر کیفیت نتایج تاثیر می‌گذارد. طول، عرض و ارتفاع دامنه حل آنقدر درنظر گرفته شده که تاثیر جریان بالادست بر جریان مابین ساختمان‌ها بسیار کم باشد. ابعاد دامنه حل 400×1200×1500 متر است که 1500 در جهت حرکت باد (محور x)، 1200 در جهت عرضی (محور y) و 400 در جهت ارتفاع است (محور z). شرط مرزی ورودی باد به دو صورت لگاریتمی و توانی در کدها اعمال می‌شود که برای سهولت بیشتر پروفیل توانی به شکل رابطه (10) اعمال شده است.

$$\frac{u}{u_b} = \left(\frac{z}{H_b}\right)^{a} \qquad (10)$$

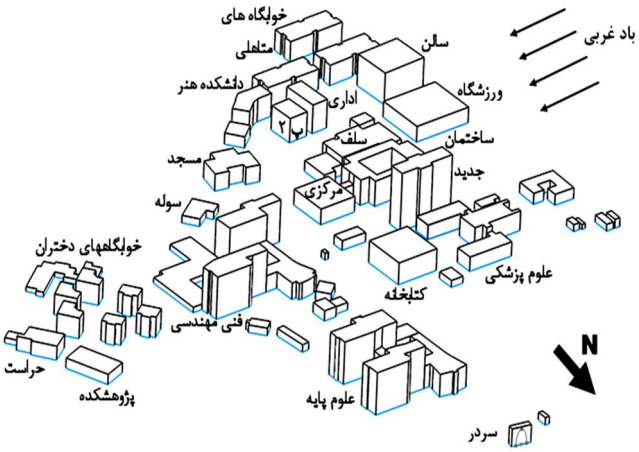
u_b متوسط سرعت جریان در ارتفاع H_b است که H_b ارتفاع شاخص است و برابر 10 درنظر گرفته شده است. a نیز، براساس مرجع اشری، برابر 0/3 درنظر گرفته می‌شود. همچنین، u_b برابر 2، 5 و 10 متر بر ثانیه درنظر گرفته شده تا تاثیر بادهای ضعیف، متوسط و قوی در آسایش پیاده‌رو بررسی شود.

برای افزایش کیفیت، نتایج روش DES و DDES جریان ورودی، براساس فاکتور شدت توربولانس[1]، 5 درصد طبق رابطه (11) آشفته شده است.

$$I = \frac{u'}{U} \qquad (11)$$

که در آن u' به‌صورت رابطه (12) تعریف می‌شود.

$$u' = \sqrt{\frac{1}{3}(u_x'^2 + u_y'^2 + u_z'^2)} \qquad (12)$$



شکل 3 نقشه 3 بعدی پردیس دانشگاه تربیت مدرس

1- Turbulence Intensity Factor

در رابطه (11)، U میانگین سرعت ورودی و u' سرعت‌های نوسانی هستند. شایان ذکر است که برای فشار میانگین ورودی شرط گرادیان صفر و برای فشار میانگین خروجی نیز شرط فشار اتمسفر قرار داده شده است. برای دیواره‌ها شرط عدم لغزش و برای سرعت خروجی شرط گرادیان سرعت صفر اعمال شده است. همچنین، برای دیواره‌های جانبی دامنه محاسباتی، شرط لغزش[2] اعمال شده است، که در رابطه (13) آورده شده است.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \;,\; w = 0 \quad \text{صفحه پایینی}$$
$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \;,\; v = 0 \quad \text{صفحه کناری} \qquad (13)$$

شایان ذکر است که مقدار Δt در دیواره برابر صفر درنظر گرفته می‌شود تا از بی‌نهایت شدن ترم δt در معادله (4) جلوگیری شود. برای حل معادلات حاکم از نرم‌افزار اوپن فوم و برای جداسازی معادلات حاکم از روش حجم محدود[3] استفاده شده است.

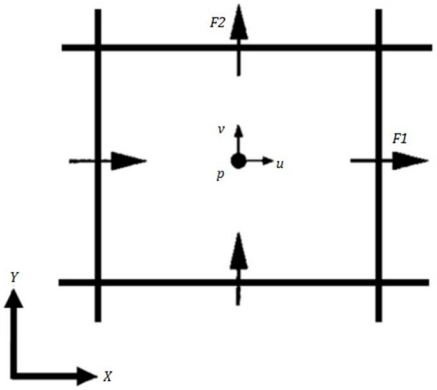
در اوپن فوم، معادلات حاکم بر روی یک شبکه هم‌مرکز حل می‌شوند که اولین‌بار توسط رای و چو، در سال 1983، ارائه شده است[23]. در شکل 4، نمایی از یک شبکه هم‌مرکز، که در آن سرعت و فشار بر روی یک شبکه یکسان حل می‌شوند، آورده شده است. F_1 و F_2 بیانگر شار جرمی عبوری از سطح المان هستند. همان‌گونه که از شکل مشاهده می‌شود، سرعت و فشار در مرکز المان و شار جرمی در سطح المان با استفاده از میانیابی رای-چو محاسبه می‌شود.

ترم زمانی معادله ناویر-استوکس، براساس روش اولر مرتبه اول ضمنی، جداسازی شده است. ترم‌های جابه‌جایی معادله ناویر-استوکس براساس روش TVD مرتبه دوم و ترم‌های دیفیوژن با استفاده از روش تفاضل مرکزی جداسازی شده‌اند. شایان ذکر است که برای حل کوپلینگ سرعت و فشار در معادله ناویر-استوکس از الگوریتم PISO با دو تصحیح فشار استفاده شده است.

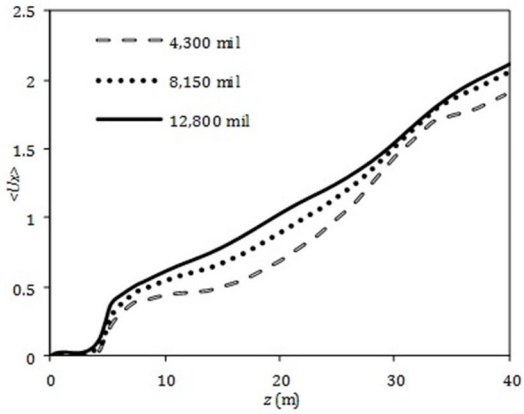
نکته مهمی که بایستی بدان اشاره کرد شبکه به‌کار رفته در شبیه‌سازی است. شبکه به‌کار رفته در مساله آنقدر ریز شده است که جواب‌های حاصل مستقل از شبکه[4] شده‌اند. چون هدف ارزیابی مدل DES در جریان آشفته باد در یک مجموعه بزرگ ساختمانی بوده است، استقلال از شبکه در مدل مذکور ارائه شده است. همچنین، شایان ذکر است که مدل اسماگورینسکی همیشه دقیق‌تر از مدل DES است؛ لذا به‌دلیل در اختیار نبودن جواب‌های تجربی و نتایج خوبی که از روش اسماگورینسکی در شبیه‌سازی جریان باد بر روی یک ساختمان حاصل شده است[19]، این مدل برای مقایسه انتخاب شده است. به‌دلیل بزرگ بودن دامنه محاسباتی، استقلال از شبکه در چندین نقطه چک شده است، اما، به‌دلیل اختصار نتایج، نتیجه استقلال از شبکه تنها در یک نقطه، در فاصله 1 متری کیوسک نگهبانی در ضلع غربی دانشکده فنی-مهندسی، آورده شده است. این امر در شکل 5 نشان داده شده است. همان-طور که از شکل مذکور پیداست، مساله در شبکه‌ای با 12/800/000 سلول مستقل از تعداد مش شده است. به‌دلیل زیاد بودن تعداد سلول‌ها، از پردازش موازی در محیط سیستم عامل لینوکس و از 12 پردازنده 4 هسته‌ای در سامانه پردازش موازی دانشگاه تربیت مدرس (این سامانه مجهز به 16 پردازشگر 4 هسته‌ای است) استفاده شده است.

2- Slip Condition
3- Finite Volume
4- Grid Independent Solution

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]



شکل 4 نمایی از یک شبکه هم مرکز



شکل 5 نتایج استقلال از شبکه

4- نتایج عددی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی جریان آشفته باد بر روی پردیس دانشگاه تربیت مدرس ارائه می‌شود. سپس، با استفاده از استاندارد NEN 8100، آسایش پیاده‌رو در بخش‌های مختلف دانشگاه بررسی خواهد شد. همچنین، به‌منظور ارزیابی نتایج، مدل DES با مدل آشفتگی اسماگورینسکی از لحاظ دقت و زمان محاسبه مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که روش DES از پتانسیل بسیار خوبی برای شبیه‌سازی جریان باد بر روی یک مجموعه بزرگ ساختمانی برخوردار است.

همان‌گونه که در [19] بیان شده است، در شبیه‌سازی جریان باد بر روی ساختمان دقت مدل‌های آشفتگی LES مانند اسماگورینسکی و یک معادله‌ای از مدل ترکیبی DES بالاتر است و به همین دلیل برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی از مدل اسماگورینسکی، که ساده‌ترین مدل LES به‌حساب می‌آید، استفاده شده است.

در شکل 6 و 7، مقایسه‌ای میان سرعت‌های میانگین به‌دست آمده در شبیه‌سازی بین مدل‌های DES و اسماگورینسکی انجام شده است. بدین منظور سرعت‌های متوسط در رژیم کم‌سرعت باد (سرعت مرجع 2 متر بر ثانیه) و در صفحه $z = 1.75$ m (ارتفاعی است که اصولا شرایط آسایش در آن بررسی می‌شود) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با مراجعه به هر دو شکل، می‌توان دریافت که در هر دو روش بیشترین سرعت میان ساختمان جدید و دانشکده انسانی اتفاق افتاده است. در روش DES میزان ماکزیمم سرعت متوسط برابر 2/67 متر بر ثانیه و در روش اسماگورینسکی برابر 2/42 متر بر ثانیه به‌دست آمده است. میزان اختلاف روش DES با اسماگورینسکی تقریبا 9% است.

شایان ذکر است که در هر دو روش الگوی به‌دست آمده از نواحی پرسرعت و کم‌سرعت بسیار مشابه یکدیگر است که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل DES در شبیه‌سازی جریان باد در مجموعه‌های پیچیده ساختمانی است.

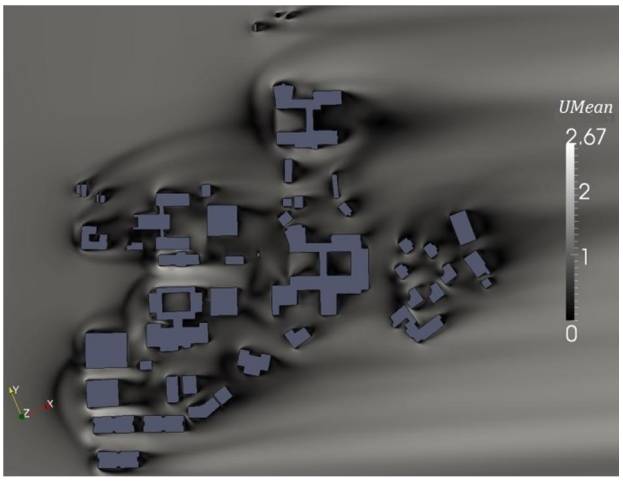
همچنین، به‌دلیل اینکه نتایج تجربی در این قسمت در اختیار نبوده است، برای اطمینان بیشتر از نتایج به‌دست آمده، شاخص‌هایی به‌نام η و *LES I.Q.*، که شاخص کیفیت نتایج حاصل از روش‌های LES هستند، استفاده شده‌اند. این شاخص‌ها به‌صورت رابطه (14) تعریف می‌شوند[24]:

$$h = \frac{k_{gs}}{k_{tot}} = \frac{k_{gs}}{k_{gs} + k_{sgs}}$$

$$LES\ I.Q. = \frac{1}{1 + 0.05\left(\frac{\langle n + n_T \rangle}{n}\right)^{0.53}} \qquad (14)$$

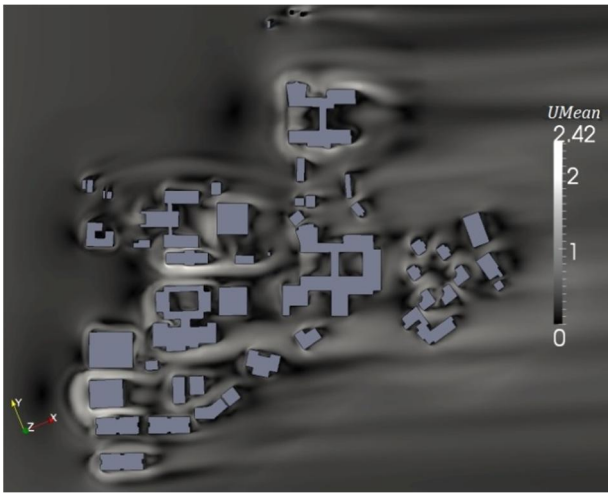
که در رابطه (14)، k_{gs} بیانگر انرژی جنبشی آشفتگی تسخیر شده در مقیاس شبکه و k_{sgs} نشان‌دهنده انرژی جنبشی آشفتگی تسخیر شده در مقیاس زیرشبکه است. همچنین اپراتور < > نشان‌دهنده میانگین‌گیری است. در [24] گفته شده که میزان شاخص‌های فوق اگر بالای 0/95 شود، جواب‌های LES به‌سمت DNS میل می‌کند و اگر بالاتر از 0/75 شود، جواب‌های حاصل از LES خوب هستند. معیار η، که براساس انرژی جنبشی آشفتگی تعریف شده، تعریفی واقعی‌تر برای کیفیت نتایج ارائه می‌دهد، اما دارای این نقطه ضعف است که تنها برای روش‌هایی قابل اجراست که انرژی جنبشی آشفتگی زیرشبکه را محاسبه می‌کنند (مانند مدل یک معادله‌ای که مقدار k زیرشبکه به‌صورت یک معادله انتقال حل می‌شود).

نکته حائز اهمیت در این است که اصولا نتایج معیار *LES I.Q.* از معیار η کمتر تخمین زده می‌شود. در شکل 8 شاخص *LES I.Q.* در صفحه z=1.75 m که آسایش پیاده‌رو در آن بررسی شده است، در روش اسماگورینسکی نشان داده شده است. همان‌گونه که از نتایج مشخص است، در نواحی نزدیک ساختمان (لایه اول مش)، که جواب‌ها برای محاسبه نیروهای وارد بر ساختمان از سوی باد اهمیت دارند، ما بین 0/6 تا 0/92 است که بر اساس این معیار قابل قبول است. در لایه دوم عمدتا نواحی مابین 0/4 تا 0/6 و در لایه سوم، که بسیار دورتر از ساختمان‌هاست، این شاخص زیر 0/4 است. استفاده از روش مش‌زنی لایه‌ای کمک بسیار شایانی به کم کردن تعداد سلول‌ها در عین حفظ کیفیت نتایج در مناطق مهم داشته است.



شکل 6 سرعت متوسط در صفحه $z = 1.75$ m با مدل DES

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]

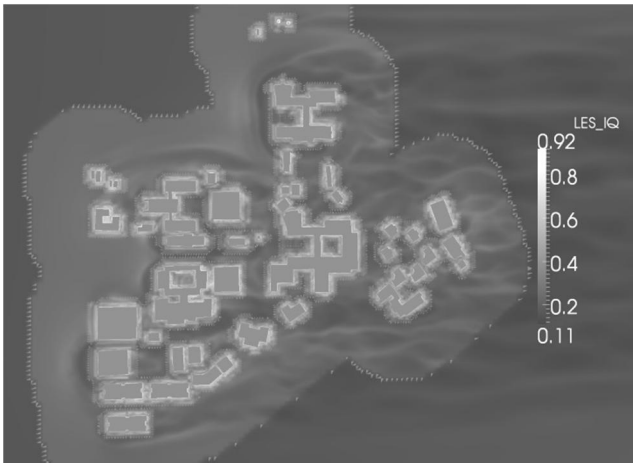


شکل 7 سرعت متوسط در صفحه $z = 1.75$ m با مدل اسماگورینسکی

در شکل‌های 9، 10 و 11 شرایط آسایش پیاده‌رو به‌ترتیب در سرعت‌های مرجع 2، 5 و 10 با استفاده از پارامتر بدون بعد U/U_{TH} متر بر ثانیه بررسی شده است. U_{TH} سرعت آستانه است، که در استاندارد NEN 8100 برای تمامی فعالیتها 5 متر بر ثانیه است. همان‌گونه که از شکل 9 مشخص است، این پارامتر در تمام صفحه $z = 1.75$ m کمتر از یک است. به‌عبارت دیگر، در رژیم کم سرعت (سرعت مرجع 2 متر بر ثانیه) در تمامی نواحی، برای هر سه نوع فعالیت نشستن، حرکت آهسته و حرکت تند، آسایش در حد خوب است.

در شکل 10 که رژیم باد متوسط است (سرعت مرجع 5 متر بر ثانیه)، در برخی نقاط نسبت U/U_{TH} از یک بزرگ‌تر شده است. این نقاط شامل حد فاصل بین ساختمان جدید و دانشکده انسانی، ساختمان جدید و مجموعه علوم پزشکی، ورزشگاه و سالن، سالن و خوابگاه متاهلی مدرس 2، حد فاصل بین خوابگاه های متاهلی، ضلع شمالی و جنوبی دانشکده علوم پایه هستند. در این نقاط، پیاده‌رو در حالت نشسته آسایش نخواهد داشت و چنانچه در حال حرکت آهسته باشد، از آسایش در حد متوسط برخوردار خواهد بود. اما چنانچه در حرکت سریع باشد، آسایش خواهد داشت.

در شکل 11، آسایش پیاده‌رو در رژیم باد قوی (سرعت مرجع 10 متر بر ثانیه) مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌گونه که از شکل کاملا مشخص است، در اکثر نواحی، جز نواحی که عموما در پشت برخی ساختمان‌ها (ازجمله علوم پایه، علوم انسانی، علوم پزشکی، سالن و غیره که در شکل با



شکل 8 کیفیت نتایج LES در مدل اسماگورینسکی در صفحه $z = 1.75$ m

رنگ تیره مشخص شده‌اند) قرار گرفته‌اند، نسبت U/U_{TH} بزرگ‌تر از یک است. در این رژیم، در نواحی که U/U_{TH} مابین یک و 2 قرار گیرد، پیاده‌رو در حالت نشسته آسایش نخواهد داشت و چنانچه در حال حرکت آهسته باشد از آسایش در حد متوسط برخوردار خواهد بود. اما چنانچه در حرکت سریع باشد، آسایش خواهد داشت. این نواحی شامل حد فاصل جنوبی دانشکده فنی مهندسی تا مسجد، ضلع جنوبی دانشکده علوم پایه، ضلع غربی کتابخانه تا علوم پزشکی، ساختمان مرکزی تا دفتر فنی، دانشکده علوم انسانی و سلف تا اداری، اداری تا خوابگاه متاهلی مدرس 1، خوابگاه متاهلی مدرس 2 تا مدرس 3 و نواحی مابین خوابگاه‌های دختران و غیره است.

در نواحی که U/U_{TH} بزرگ‌تر از 2 باشد، نشستن و حرکت آرام دارای آسایش نخواهند بود و حرکت سریع نیز دارای آسایش در حد متوسط است. این نواحی شامل حد فاصل بین ساختمان جدید و دانشکده انسانی، ساختمان جدید و مجموعه علوم پزشکی، ورزشگاه و سالن، سالن و خوابگاه متاهلی مدرس 2 و ضلع شمالی دانشکده علوم پایه است که در بین این نواحی، ناحیه مابین ساختمان جدید و ساختمان علوم انسانی و حد فاصل سالن و خوابگاه متاهلی مدرس 2 دارای سرعتی معادل 13/4 متر بر ثانیه خواهند شد. شایان ذکر است که در معیار NEN 8100 آستانه سرعت برای ایمنی افراد 15 متر بر ثانیه است؛ یعنی در نواحی ذکر شده ایمنی افراد دچار تردید خواهد بود.

در شکل‌های 12 تا 14 نمایشی 3 بعدی از میزان فشار نسبی وارده بر ساختمان‌ها از طرف باد در سرعت‌های مرجع 2، 5 و 10 متر بر ثانیه نشان داده شده است که در محاسبه میزان نفوذ هوای خارج به داخل ساختمان یکی از پارامترهای مهم در طراحی است. با مراجعه به شکل‌های 12 تا 14، می‌توان دریافت که ماکزیمم فشار وارده بر ساختمان‌های مرتفع همانند ساختمان جدید، دانشکده فنی مهندسی و دانشکده علوم پایه بیشتر از سایر ساختمان‌هاست، ضمن اینکه ماکزیمم فشار وارده بر ساختمان‌های مذکور در بالاترین ارتفاع آنهاست.

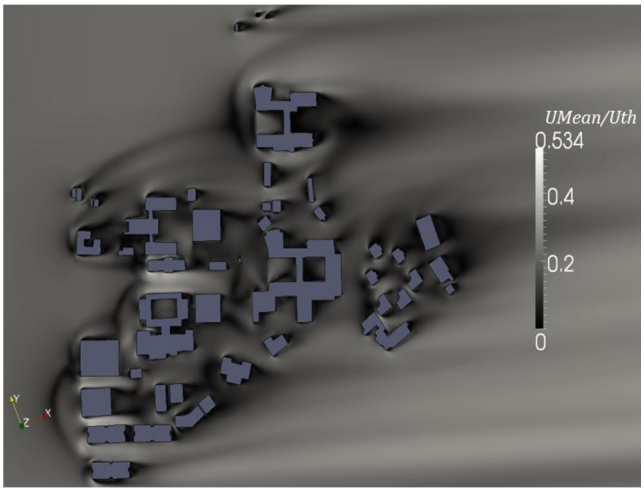
همچنین، نکته دیگری که مهم به‌نظر می‌رسد این است که در این شبیه‌سازی، با n برابر شدن سرعت مرجع، میزان ماکزیمم فشار تقریبا به‌صورت 2^n افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، افزایش فشار در وجوهی از ساختمان که در برابر باد هستند، خصوصا در سرعتهای بالا، می‌تواند باعث اثرات جدی شود که این امر لزوم درنظر گرفتن اثر باد بر سازه را در سرعت‌های بسیار بالا متذکر می‌شود.

به‌منظور مقایسه دقیق‌تر هر دو روش DES و اسماگورینسکی، سرعت‌های متوسط هر دو روش در نقاط مختلف در نزدیک زمین به‌صورت تصادفی مقایسه شده‌اند. نمونه‌ای از این مقایسه در شکل 15 آورده شده است. خط مقایسه در ارتفاع $z = 1.75$ m در حد فاصل بین ضلع شمالی دانشکده فنی و ضلع جنوبی دانشکده علوم پایه است. نکته مهمی که از این شکل می‌توان دریافت این است که اولا در نقاط نزدیک دیواره، که شبکه به حد کافی ریز شده است، هر دو روش به یکدیگر همگرا می‌شوند؛ ثانیا، در نقاط مرکزی، که جواب‌های هر دو روش تا حدی با یکدیگر فاصله دارند، روند هر دو روش تقریبا همانند یکدیگر است. به‌دلیل موجود نبودن جواب‌های تجربی، نمی‌توان کاملا از دقت جواب‌های حاصل اطمینان حاصل نمود، اما می‌توان گفت، با توجه به شواهد مختلف که ارائه شد، دقت DES در شبکه مذکور قابل قبول است.

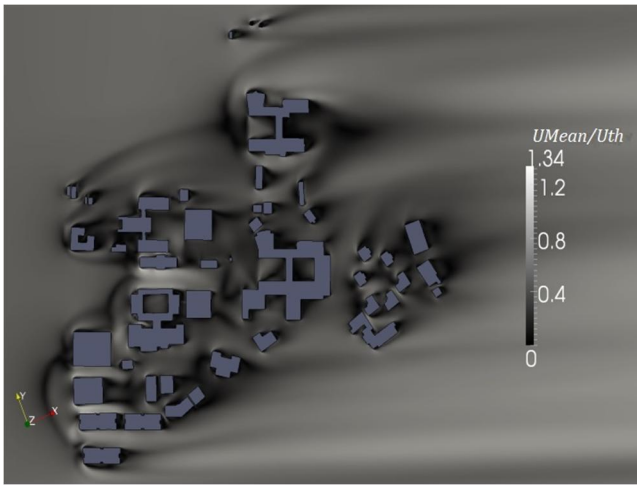
زمان اجرای شبیه‌سازی در رژیم کم‌سرعت و با استفاده از 12 پردازنده 4 هسته‌ای (مجموعا 48 هسته) در یک شبکه 12/800/000 سلولی با استفاده از مدل آشفتگی DES تقریبا 47 روز بوده است، در حالی که همین

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]

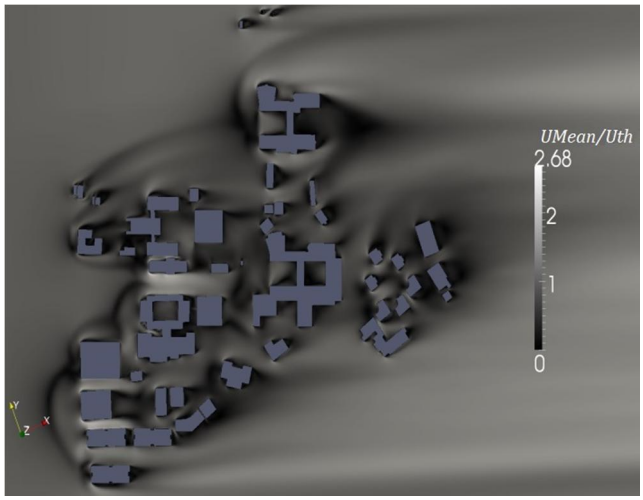
شبیه‌سازی با استفاده از مدل اسماگورینسکی 58 روز زمان نیاز داشته است (11 روز بیشتر نسبت به مدل DES). به‌عبارت دیگر، مدل DES نسبت به



شکل 9 بررسی معیار آسایش پیاده‌رو در رژیم باد ضعیف در صفحه‌ای با ارتفاع 1/75 متر از زمین



شکل 10 بررسی معیار آسایش پیاده‌رو در رژیم باد متوسط در صفحه‌ای با ارتفاع 1/75 متر از زمین

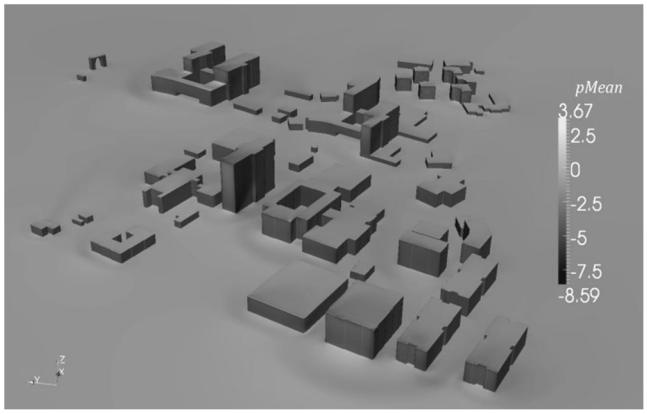


شکل 11 بررسی معیار آسایش پیاده‌رو در رژیم باد قوی در صفحه‌ای با ارتفاع 1/75 متر از زمین

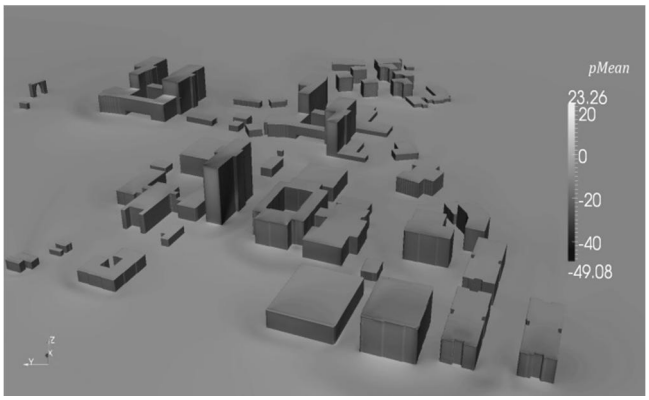
اسماگورینسکی 23/4% کاهش در زمان محاسبات در یک مجموعه پیچیده ساختمانی داشته است که دلیل آن بالاتر بودن نرخ همگرایی در روش DES و کاهش محاسبات در ناحیه نزدیک دیواره در مدل مذکور است.این موضوع مزیت استفاده از این مدل را در شبیه‌سازی‌های بزرگ به‌خوبی نشان می‌دهد. در بخش بعدی به جمع‌بندی نتایج مدلهای به‌کار رفته در این شبیه‌سازی پرداخته خواهد شد.

5- نتیجه‌گیری

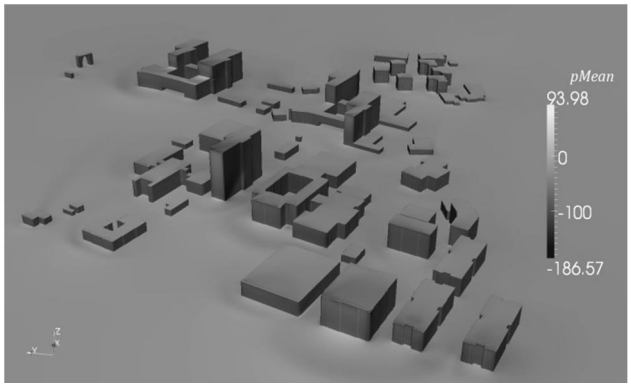
در این مقاله، شبیه‌سازی جریان باد غربی در 3 رژیم ضعیف، متوسط و قوی بر روی پردیس دانشگاه تربیت مدرس، به‌منظور بررسی شرایط آسایش



شکل 12 فشار نسبی میانگین بر روی وجوه ساختمان و سرعت متوسط در صفحه z = 1.75 m در رژیم باد ضعیف

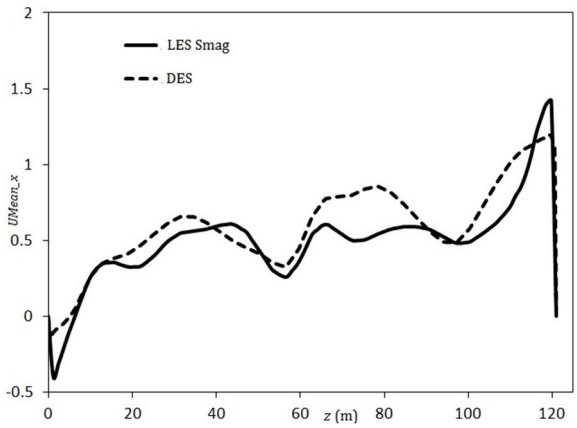


شکل 13 فشار نسبی میانگین بر روی وجوه ساختمان و سرعت متوسط در صفحه z = 1.75 m در رژیم باد متوسط



شکل 14 فشار نسبی میانگین بر روی وجوه ساختمان و سرعت متوسط در صفحه z = 1.75 m در رژیم باد قوی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]



شکل 15 مقایسه سرعت‌های متوسط میانگین در جهت X در حد فاصل بین ضلع شمالی دانشکده فنی و ضلع جنوبی دانشکده علوم پایه

پیاده‌رو، انجام پذیرفته است. علاوه‌بر یافتن شرایط آسایش پیاده‌رو، مطالعه و ارزیابی روش DES در شبیه‌سازی‌های بزرگ نیز جزء اهداف این تحقیق بوده است. خلاصه‌ای از نتایج به‌دست آمده به شرح ذیل است:

- در هر 3 رژیم جریان باد ضعیف، متوسط و قوی ماکزیمم سرعت-ها در نقاط مشابهی است که عبارت‌اند از حد فاصل بین ساختمان جدید تا دانشکده علوم انسانی، ساختمان جدید تا ضلع جنوبی مجموعه علوم پزشکی، ضلع جنوبی سالن تا ضلع شمالی خوابگاه متاهلی یک، ضلع شمالی سالن تا ضلع جنوبی ورزشگاه، ضلع شمالی و جنوبی دانشکده علوم پایه و نواحی اطراف ساختمان‌های خوابگاه‌های ضلع جنوبی دانشگاه. این نقاط جزء نقاط پرخطر در جریان باد غربی به‌شمار می‌روند.
- حضور ساختمان‌های با ارتفاع کم در کنار ساختمان‌های مرتفع موجب به‌وجود آمدن نواحی با گرادیان بالا (نواحی بسیار پرسرعت) در کناره‌های ساختمان‌های بلند می‌شود. این امر در شبیه‌سازی مذکور به‌وضوح دیده می‌شود. به‌عنوان مثال، نواحی اطراف ساختمان جدید و ساختمان علوم پایه جزء نواحی پرخطر به‌حساب می‌آیند.
- مدل DES با دقت بسیار خوبی نسبت به روش اسماگورینسکی میدان سرعت را محاسبه کرده است. ضمن اینکه 11 روز در زمان شبیه‌سازی صرفه‌جویی کرده است.
- در این تحقیق، مدل DES در شبیه‌سازی جریان باد آشفته با تعداد زیادی سلول با کمک پردازش موازی به‌کار رفته است که نتایج حاصل بر دقت خوب این روش صحه می‌گذارد. ضمن اینکه زمان اجرای این مدل نیز 23% کاهش نسبت به مدل اسماگورینسکی از خود نشان می‌دهد که این موضوع کاربرد این مدل را در شبیه‌سازی‌های بزرگ کاملا اقتصادی می‌کند.

6- تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است که از زحمات جناب آقای دکتر حمید نادران، استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، و مهندس محمود نادران، که در راه‌اندازی کلاستر آزمایشگاه CFD دانشگاه تربیت مدرس کمک‌های شایانی نمودند، کمال تشکر و امتنان به‌عمل آید.

7- مراجع

[1] W. H. Melbourne, Criteria for environmental wind conditions, *Journal of Wind Engineering and Industrial* Aerodynamics, Vol. 3, No. 2–3, pp. 241-249, 1978.
[2] M. A. Ratcliff, J. A. Peterka, Comparison of pedestrian level wind acceptability criteria, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* Vol. 36, Part 2, pp. 791-800, 1989.
[3] M. Ohba, N. Kobayashi, S. Murakami, Study on the assessment of environmental wind conditions at ground level in a built-up area based on long term measurements using portable 3-cup anemometers, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* Vol. 28, Part 1, pp. 129-138, 1988.
[4] M. Bottema, A method for optimisation of wind discomfort criteria, *Building Environment,* Vol. 35, No. 1, pp. 1-18, 2000.
[5] J. Gandemer, Aerodynamic studies of built-up areas made by CSTB at Nantes, France, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* Vol. 3, pp. 227-240, 1978.
[6] N. Isyumov, A. G. Davenport, The ground level wind environment in built-up areas, *Fourth International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Heathrow, UK, Cambridge University Press, pp. 403-422, 1975.
[7] T. V. Lawson, The wind content of the built environment, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* Vol. 3, No. 2–3, pp.93-105, 1978.
[8] G. Th. Visser, *Wind discomfort criteria: A literature study into and proposals for the use of uniform TNO wind discomfort criteria,* Report 80-02746, TNO-IMET-ST, Apeldoorn, NL 1980.
[9] B. Blocken., W. D. Janssen, T. van Hooff, CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University campus, *Journal of Environmental modeling & software,* Vol. 30, pp. 15-34, 2012.
[10] S. Murakami, Current status and future trends in computational wind engineering, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* Vol. 67–68, pp. 3-34, 1997.
[11] S. Murakami, A. Mochida, 3-D numerical simulation of airflow around a cubic model by means of the k-ε model, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* Vol. 31, No. 2–3, pp. 283-303, 1988.
[12] S. Murakami, A. Mochida, Three-dimensional numerical simulation of turbulent flow around buildings using the k–ε turbulence model, *Journal of Building and Environment,* Vol. 24, No. 1, pp. 51-64, 1989.
[13] S. Murakami , Numerical simulation of turbulent flow field around cubic model current status and applications of k–ϵ model and LES, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* Vol. 33, No. 1-2, pp. 139-152, 1990.
[14] W. Rodi, Comparison of LES and RANS calculations of the flow around bluff bodies, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,* Vol. 69–71, pp. 55-75, 1997.
[15] E. Aristodemou, T. Bentham, C. Pain, R. Colvile, A. Robins, H. ApSimon, A comparison of mesh-adaptive LES with wind tunnel data for flow past buildings: Mean flows and velocity fluctuations, *Atmospheric Environment,* Vol. 43, No. 39, pp. 6238-6253, 2009.
[16] P. R. Spalart, S. R. Allmaras, A one-equation turbulence model for aerodynamic flows, *La RechercheA_erospatiale,* Vol. 1, No. 1, pp. 5-21, 1994.
[17] M. Shur, P. R. Spalart, M. Strelets, A. Travin, Detached-eddy simulation of an airfoil at high angle of attack, *Engineering Turbulence Modeling and Experiments,* Vol. 4, pp. 669-678, 1999.
[18] P. R. Spalart, S. Deck, M. L. Shur, K. D. Squires, M. K. Strelets, A. Travin, A new version of Detached eddy simulation resistant to ambiguous grid densities, *Theoretical Compuation Fluid Dynamics,* Vol. 20, pp. 181-195, 2006.
[19] A. M.Jadidi, G. Heidarinejad, Evaluating DES and DDES models for wind flow over building and comparing with traditional turbulence models, *Modares Mechanical Engineering Journal*, No. 13, pp. 81-93, 2013.
[20] J. Frohlich, D. von Terzi, Hybrid LES/RANS Methods for the Simulation of Turbulent Flows, *Progress in Aerospace Sciences,* Vol. 44, No. 5, pp. 349-377, 2008.
[21] H. H. Koss, On differences and similarities of applied wind comfort criteria, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* ,Vol. 94, No. 11, pp. 781-797, 2006.
[22] T. V. Lawson, A. D. Penwarden, The effects of wind on people in the vicinity of buildings, *Proceedings 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures,* Cambridge University Press, pp. 605–622, 1975.
[23] C. Rhie, W. Chow, Numerical study of the turbulent flow past an airfoil with trailing edge separation, *AIAA Journal,* Vol. 21, No. 11, pp. 1525–1532, 1983.
[24] I. B. Celik, Z. N. Cehreli, I. Yavuz, Index of resolution quality for large eddy simulation, *Journal of fluids engineering,* Vol. 127, No. 5, pp. 949–958, 2005.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.21.4]