

شبیه‌سازی جریان شهری و نحوه پخش آلاینده با استفاده از مدل‌های WRF و FLUENT (مطالعه موردی خیابان امام خمینی یزد)

محمدحسین معماریان^{۱*}، شهین حاتمی^۲

^۱استادیار بخش فیزیک فضا، دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، یزد، ایران
^۲کارشناسی ارشد هواشناسی بخش فیزیک فضا، دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۹

چکیده

جریان هوا و پراکندگی آلاینده در یک خیابان باریک در شهر یزد، با استفاده از جفت کردن یک مدل دینامیک سیالات محاسباتی (مدل فلونت) با یک مدل میان‌مقیاس جوی (WRF) بررسی عددی شده است. مدل WRF از ساعت ۸ صبح، ۱۲ ژانویه ۲۰۱۵ برای ۷۲ ساعت اجرا و مدل فلونت برای محاسبه میدان جریان در ساعت ۹ صبح، ۱۳ ژانویه ۲۰۱۵ با مدل WRF جفت‌شده است که هم‌زمان با استقرار یک پرفشار روی منطقه در این روز بوده است. برای درستی‌سنجی مدل فلونت از داده‌های تونل باد و برای اعتبارسنجی مدل WRF از نتایج پژوهش مایو و همکاران (۲۰۱۳) و همچنین داده هواشناسی استفاده شده است. مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی مدل‌های جفت‌شده نشان می‌دهد که برای تعیین الگوی پراکندگی آلاینده از منبع خطی نیاز به مدل CFD می‌باشد و این الگو نمی‌تواند به‌تنهایی از میدان باد مدل WRF به‌دست آید، چون این الگوها تحت تاثیر سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد محیط، اثر ساختمان‌ها بر یکدیگر، گردابه‌های مختلف و سایر عوامل می‌باشند. در این پژوهش در نرم‌افزار فلونت برای جریان از مدل دو گونه‌ای مخلوط و برای آشفستگی از مدل تلاطمی $k-\epsilon RNG$ استفاده و اثر پارامتر هندسی مثل طولانی بودن خیابان و اثر پارامتر هواشناختی مانند تندی باد بررسی شده است. به‌طور کلی نتایج مطالعه نشان می‌دهد که جفت کردن این دو مدل یک ابزار مهم برای مطالعه و پیش‌بینی جریان شهری و پخش آلاینده در نواحی می‌باشد، که تعداد ساختمان‌ها زیاد است.

کلمات کلیدی: CFD ، WRF ، $FLUENT$ ، پخش آلاینده، جریان متلاطم

تردد و عبور و مرور در سطح شهرها رو به افزایش است و این امر موجب ایجاد آلودگی در سطح خیابان‌ها و به خطر افتادن سلامت انسان‌ها می‌شود. خیابان‌ها نقش مهمی در حفظ آلودگی، میزان مصرف سوخت خودروها و زندگی افراد ایفا می‌کنند. بنابراین پارامترهایی که روی الگوهای شارش هوا و توزیع تمرکز آلاینده در خیابان اثر می‌گذارند مورد توجه محققان می‌باشد. پارامترهای هندسی شامل شکل بنا، جهت‌دهی و نسبت ابعاد W/H، نسبت ارتفاع به پهنا، ساختمان تعریف شده است و پارامترهای هواشناختی شامل تندی باد، جهت باد و تعادل گرمایی می‌باشد. بنابر این در طراحی ساختمان و همچنین ساخت خیابان‌ها باید توجه شود، چون حضور ساختمان در اطراف خیابان، باعث تغییر در پارامترهای هواشناختی می‌شود. برای رفع آلاینده در خیابان باید سرعت باد کافی وجود داشته باشد. در دهه اخیر یکی از متداول‌ترین ابزارهای استفاده شده برای برنامه‌ریزی شهری در بخش‌های بهینه‌سازی تهویه، مدل‌های عددی می‌باشد. به‌عنوان نمونه می‌توان به کار یاسین (۲۰۱۳) اشاره کرد. ایشان تاثیر هندسه خیابان بر نحوه انتشار آلاینده‌های ایجاد شده توسط وسایل نقلیه با استفاده از مدل فلونت را بررسی کرد و نتایج نشان داد که با تنگ‌تر شدن باریکه خیابان مقدار غلظت آلاینده افزایش می‌یابد و تهویه آلاینده‌ها در خیابان بدتر می‌شود. الگوهای آلودگی هوا در مناطق شهری به دلیل تاثیر ساختمان‌ها بر روی شارش و پراکندگی هوا، برای مطالعه کاملاً پیچیده هستند. همچنین مناطق شهری به‌طور قابل توجهی می‌توانند تحت تاثیر وضع و کیفیت هوا در شهر باشد. به‌طور سنتی اثرات شهرسازی و میدان باد محلی به‌صورت میدان مشاهداتی مطالعه شده است. به‌عنوان مثال، لایه‌مرزی در یک منطقه شهری در مarseille (مستیر و همکاران، ۲۰۰۵) و در شهر باسل (Basel) (روتج و همکاران، ۲۰۰۵) مورد مطالعه قرار گرفت. در ضمن آزمایش تونل باد و تانک آب به‌طور مداوم برای کمک به درک جریان تلاطمی و الگوی پراکندگی در

اطراف ساختمان‌ها استفاده شده است (یوهر و همکاران، ۲۰۰۰؛ چانگ و مرونی، ۲۰۰۳؛ هوزی و همکاران، ۲۰۰۳). مدل دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای شبیه‌سازی رفتار جریان هوا در یک پوشش شهری در خردمقیاس استفاده شده که نقش مهمی در ارزیابی محیط‌زیست و هواشناسی شهری بازی می‌کند. برای ارائه فیزیکی مبتنی بر مدل‌سازی باد و تحقیق فرسایش باد در مقیاس منطقه‌ای، یک مدل باد سه بعدی مدل (CFD) گسترش داده شده است. ژنگ یک آزمایش جریان به داخل ناحیه بلوکه شده برای تست اطمینان از مدل، روی شبیه‌سازی فرآیند شارش پایه طراحی شده است. نتایج نشان می‌دهد که شبیه‌سازی و اندازه‌گیری میدان‌های باد همبستگی بالایی دارد و مدل باد می‌تواند هر دو فرآیند پایه باد و تاثیرات موانع روی میدان باد را شبیه‌سازی کند. این نتایج یک اعتبار بالایی از مدل باد را نشان می‌دهد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۲). گودرزی و همکاران (۱۳۹۰)، از مدل محاسباتی دینامیک سیالات برای شبیه‌سازی جریان در خیابان‌ها و در اطراف خودروها استفاده کردند و نحوه توزیع آلودگی در خیابان‌های شهر را نشان دادند. همچنین ضریب پسا هر یک از خودروها را به‌دست آورده و در حالت بدون جریان باد و در حضور باد نتایج را مقایسه کردند. ضریب پسا خودروها در حالت وزش باد بالاتر از حالت بدون وزش باد بود که نشان‌دهنده مصرف سوخت بیشتری می‌باشد و این به دلیل تلاطم جریان حاصل از جریان باد و حرکت خودروها می‌باشد. جریان تلاطمی در اطراف ساختمان، به دلیل پیچیدگی‌های فیزیکی از جمله وجود گوشه‌های تیز، اثر زمین، گردابه‌های مختلف و سایر عوامل، یکی از بهترین گزینه‌ها برای ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های تلاطم است. در یک مجموعه ساختمانی، علاوه بر 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 تلاطم دقیق استفاده شود که موجب افزایش هزینه محاسباتی خواهد شد. مدل DES (Detached Eddy Simulation) از روش‌های

ملاحظات در محیط‌های باز مانند جو و سایر محیط‌های بسته و نیمه باز به موضوعی قابل تامل در حیطه استفاده از نرم‌افزارهای CFD تبدیل شده است. در این پژوهش با استفاده از جفت‌شدگی دو مدل WRF-CFD، جریان متلاطم و نحوه پخش آلاینده در یکی از خیابان‌های شهر یزد بررسی شده است. از مدل تلاطمی $k-\epsilon$ RNG به‌منظور شبیه‌سازی جریان متلاطم در یک خیابان طولانی استفاده گردید. برای اعتبارسنجی مدل، داده‌های تونل باد که در سایت دانشگاه هامبورگ موجود است، به کار گرفته شده است. معادلات حاکم بر دینامیک سیالات محاسباتی همان ترکیب معادلات دینامیکی حاکم بر شار، پیوستگی، تکانه و انرژی که به معادلات ناویر-استوکس معروفند، می‌باشد. مدل WRF یک مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا و شبیه‌سازی سامانه‌های جوی است و برای کاربردهای پژوهشی و عملیاتی طراحی شده است. مدل توانایی اجرا به‌صورت سریال و موازی را دارد. می‌توان از مدل مذکور برای اهداف مختلفی استفاده کرد چرا که گستره بزرگی از مقیاس‌ها از چندین متر تا هزاران کیلومتر را می‌توان با این مدل شبیه‌سازی نمود. برای تعیین شرایط مرزی از مدل میان‌مقیاس پیش‌بینی وضع هوا (WRF) با ورژن ۳,۵,۱ کمک گرفته شده است.

محدوده موردنظر برای شبیه‌سازی، خیابان امام خمینی در شهر یزد می‌باشد. این خیابان در راستای شمال‌شرقی به سمت جنوب‌غربی قرار دارد که تصویر گوگل ارث آن در شکل ۱ آورده شده است. شبیه‌سازی مورد انتخاب شده برای مطالعه، یک رویداد پرفشار برای روز سیزدهم از ماه ژانویه سال ۲۰۱۵ می‌باشد. در اجرای مدل ۴ آشیانه تودرتو در نظر گرفته شده است که فاصله افقی شبکه ۴۵، ۱۵، ۵ و ۱,۶۶۶ کیلومتر و ابعاد افقی شبکه ۱۳۰×۱۳۰ و ۱۵۴×۱۵۴ می‌باشد (شکل ۲). حوزه تحت پوشش درونی‌ترین منطقه، قسمتی از شهر یزد را پوشش می‌دهد. داده‌هایی که برای ایجاد شرایط مرزی و جانبی در مدل به کار رفته برای تاریخ ۲۰۱۵/۰۱/۱۴-۲۰۱۵/۰۱/۱۲ از نوع GFS (Global Forecast System) که دارای تفکیک ۰,۵×۰,۵ درجه بوده و برای هر ۳ ساعت

نسبتاً جدید ترکیبی RANS-LES برای شبیه‌سازی جریان آشفته است که در نزدیکی مرز از روش RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) و در نواحی دورتر از آن از روش LES (Large Eddy Simulation) استفاده می‌کند و متعاقباً زمان اجرای شبیه‌سازی در آن نسبت به روش‌های رایج LES کمتر است. جدیدی و حیدری‌نژاد (۱۳۹۳)، از مدل DES برای شبیه‌سازی جریان آشفته باد در سرعت‌های مختلف بر روی پردیس دانشگاه تربیت مدرس استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که نواحی اطراف ساختمان‌های بلند جزء نواحی پرخطر برای عابر پیاده می‌باشد.

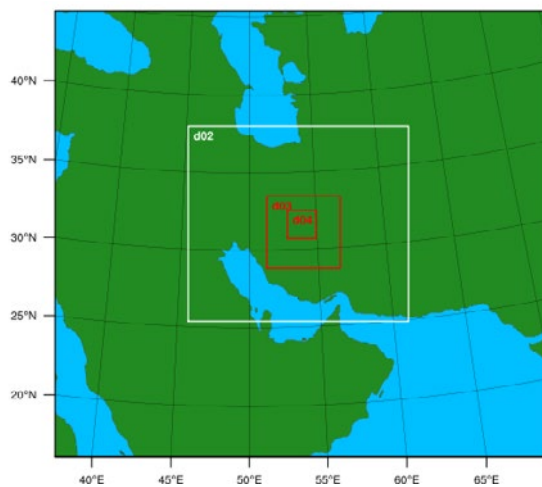
مایوه‌مکارانش (۲۰۱۳)، به منظور شبیه‌سازی جریان شهری و پراکندگی در پکن، جفت‌شدگی مدل CFD با WRF را در منطقه وسیع‌تری به کار گرفتند. مدلی که مورد استفاده قرار گرفت، بسته نرم‌افزاری OpenFOAM (Open Source Field Operation And Manipulation) که برای حل عدد رینولدز و ناویراستوکس و همچنین مدل اغتشاش با استفاده از الگوریتم SIMPLE (SemiImplicit Method for Pressure Linked Equations) می‌باشد. مدل WRF برای مجموعه‌ای از شرایط مرزی و اولیه و یک شبیه‌سازی ۴۲ ساعته به کار گرفته شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که جریان در اطراف ساختمان واقعی کاملاً متفاوت از باد محلی در مرز و الگوی پراکندگی تحت تاثیر منطقه پر از ساختمان بوده است. شبیه‌سازی این فوم برای میدان باد اطراف تک‌ساختمان، با مشاهدات به خوبی تطابق داشت به‌جزء تاوایی بادپناه که شبیه‌سازی آن از مشاهدات بزرگتر بود. با استفاده از جفت‌کردن دو مدل، مشخص شده که WRF می‌تواند گردش دره کوه و میدان جریان را به‌وضوح شبیه‌سازی کند و شبیه‌سازی در بیشتر نواحی معقول می‌باشد. در نهایت تواری و همکاران (۲۰۱۰)، اثبات کردند که با استفاده از خروجی مدل WRF به‌عنوان ورودی و شرایط مرزی مناسب، توانایی پیش‌بینی یک مدل CFD به کار گرفته شده بر روی یک منطقه شهری، به‌صورت قابل‌توجهی می‌تواند بهبود یابد. پیش‌بینی و مطالعه پراکنش آلاینده‌ها و جریان

ژانویه ۲۰۱۵ جهت باد ۲۰ درجه و بزرگی آن ۴ متر بر ثانیه می‌باشد و یک سامانه نسبتاً پرفشار در این منطقه ساکن است. در صورتی که نتایج شبیه‌سازی تندی باد ۳ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد (شکل ۳). این تندی باد که یک رژیم باد ضعیف است را به همراه تندی باد ۱۲ متر بر ثانیه، که یک باد نسبتاً قوی است، برای ورودی فلونت (ورژن ۶،۳،۲۶) در نظر گرفته شده است.

در دسترس می‌باشد استفاده شده است (این داده‌ها از وبگاه ftp://ftp.ncep.noaa.gov/ftp/ftp.ncep.noaa.gov استخراج شده است). گام زمانی ورودی مدل برای ۳ ساعته تنظیم و در نهایت خروجی‌های مدل برای هر سه آشیانه یک ساعته استخراج و سپس با استفاده از نرم‌افزار گردس نقشه‌های میدان فشار سطح زمین و میدان بردار باد رسم شده است. طبق گزارش اداره هواشناسی در ساعت ۹، ۱۳



شکل ۱: تصویر گوگل ارث از محدوده خیابان امام خمینی و ساختمان‌های اطراف آن



شکل ۲: آشیانه‌های انتخابی برای اجرای مدل WRF

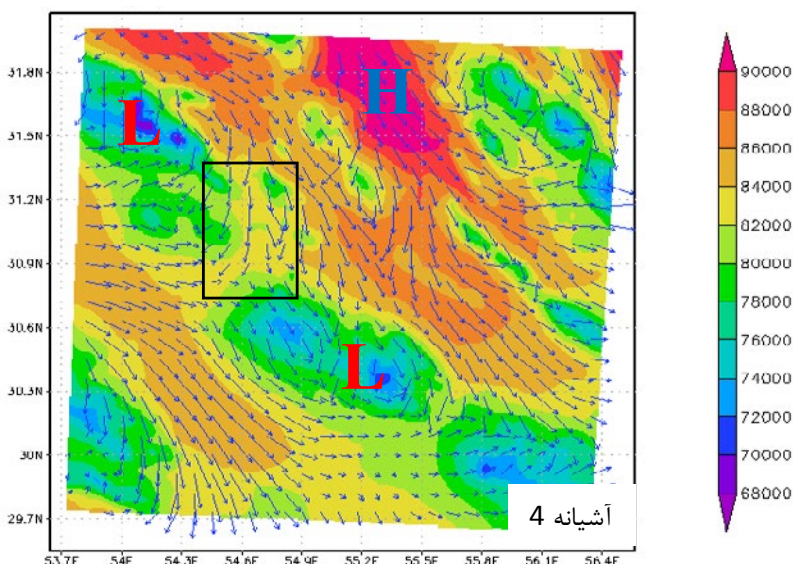
روش جفت کردن

قسمتی از درونی‌ترین قلمرو مدل WRF که ۱۶۶۶٫۶ متر است (آشپانه ۴)، به‌عنوان قلمرو محاسباتی فلونت استفاده گردید. همچنین برای تعیین شرایط مرزی مدل فلونت، از نتایج مدل WRF استفاده شده است. در مطالعه موردی شهر یزد، خیابان امام خمینی به‌عنوان قلمرو مدل CFD انتخاب شده از این نظر که انتهای این خیابان در راستای شمال‌شرقی به یک محدوده خالی از سکنه و ساختمان منتهی می‌شود و کار را برای شروع و از نظر تعیین شرایط مرزی راحت می‌کند. شبیه‌سازی

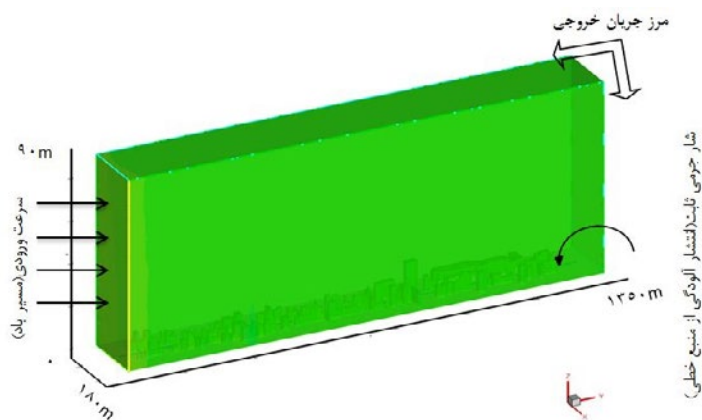
مدل CFD روی این خیابان انجام شده است.

شرایط مرزی و مدل مسئله

برای شبیه‌سازی با نرم‌افزار فلونت نیاز به یک حوزه محاسباتی و شبکه‌بندی می‌باشد که در نرم‌افزار گمبیت تولید شده است. از روی نقشه $\frac{1}{2000}$ اطلاعات طول، عرض و ارتفاع مربوط به ساختمان‌های اطراف خیابان امام خمینی و همچنین طول و عرض این خیابان استخراج شد (این نقشه از شهرداری یزد تهیه گردید). ساختمان‌های هر دو طرف خیابان امام خمینی در نرم‌افزار گمبیت وارد



شکل ۳: میدان فشار سطح زمین و میدان بردار باد در ساعت ۹، ۱۳/۱۱/۲۰۱۵



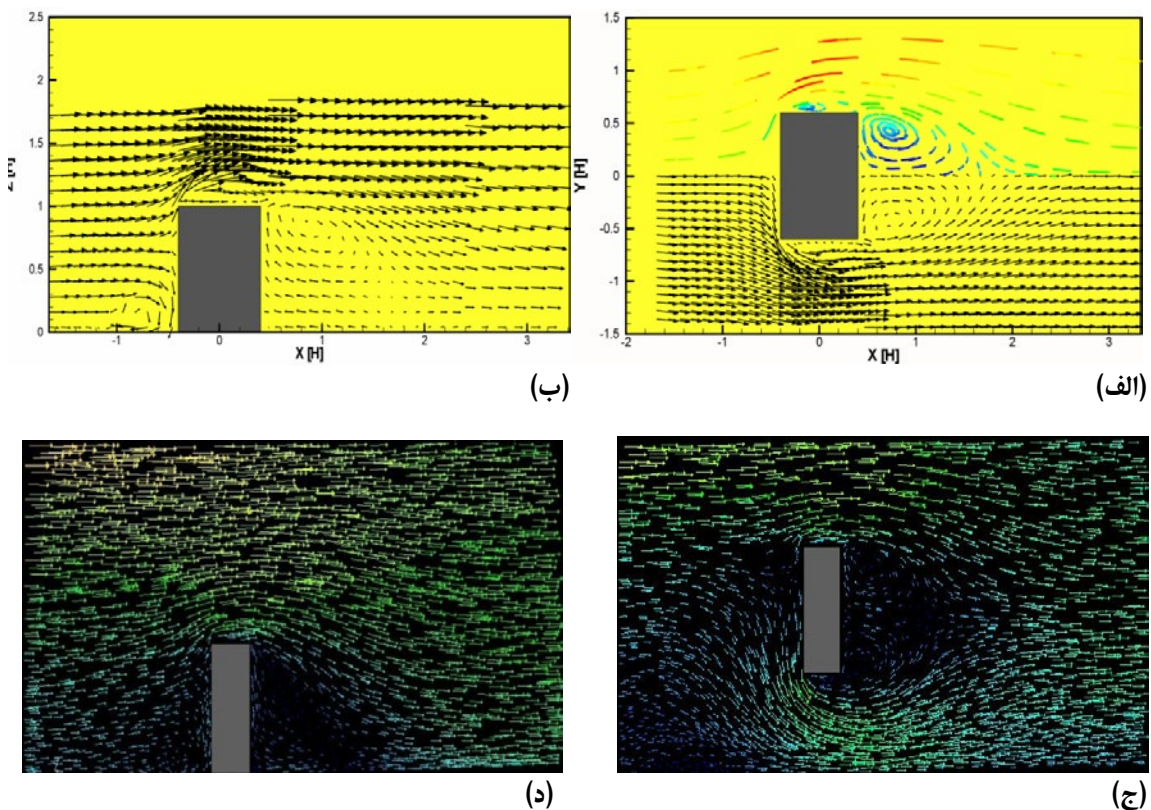
شکل ۴: نمایه‌ای از حوزه محاسباتی و شرایط مرزی سطوح مختلف

سیالات محاسباتی، مقید ساختن فرم گسسته معادلات برای حل آن در یک چهارچوب خاص و نیز تعریف ویژگی جریان در مرزهای حوزه محاسباتی می‌باشد.

شرایط مرزی استفاده شده در این مسئله، شرط مرزی سرعت ورودی که برای تعیین سرعت و خواص اسکالر جریان در مرزهای ورودی و شرط مرزی جریان خروجی؛ برای شبیه‌سازی جریان‌هایی که جزئیات خصوصیات جریان در خروجی مشخص نیست، می‌باشد. شرط مرزی دبی جرمی ورودی و شرط مرزی دیواره به ترتیب برای خروج آلاینده از منبع خطی و در مرزهایی که شاره توسط یک جامد محصور می‌گردد، استفاده می‌شود (شکل ۴).

فاصله طولی بین خودروها باعث ایجاد جریان برگشتی و در نتیجه گردابه‌های بیشتری در پشت خودروها می‌شود. بنابراین افزایش مصرف سوخت خودرو را در پی خواهد داشت. با توجه به این موضوع هرچه خودروها در بین یکدیگر و در فاصله طولی در وسط قرار بگیرند، کمترین

شده است. به این صورت که ابتدا در نرم‌افزار گمبیت یک مکعب به طول، $y=1350$ ، عرض $x=1180$ و ارتفاع $z=90$ m تولید شد و سپس یک منبع خطی آلاینده به طول ۱۳۳۰ متر و ارتفاع و عرض ۱،۵ متر در وسط باریکه خیابان اعمال گردید. پس از اینکه هندسه حل ایجاد شد، باید شبکه‌بندی مناسبی در نقاط حل ایجاد شود. برای این مورد از شبکه بی‌سازمان با سلول‌های مثلثی استفاده شده است. از آنجا که تعداد نقاط شبکه در نواحی مرزی اهمیت دارد، شبکه‌بندی از ریز در نواحی اطراف ساختمان و منبع آلاینده و در نزدیکی سطح زمین به درشت در نواحی دورتر انجام می‌شود. برای حل عددی فرم گسسته معادلات دیفرانسیلی پاره‌ای، تعیین شرایط مرزی و اولیه الزامی است. در شبیه‌سازی عددی جریان شاره نیز علاوه بر مطرح بودن بحث ریاضی حل معادلات، باید فیزیک جریان نیز در مرزهای حوزه محاسباتی به حلگر شناسانده شود. بنابراین هدف از تعریف شرایط مرزی در دینامیک



شکل ۵: نیمرخ افقی و قائم جریان باد، (الف و ب) جریان باد مشاهده شده؛ (ج و د) جریان باد شبیه‌سازی شده با فلوئنت

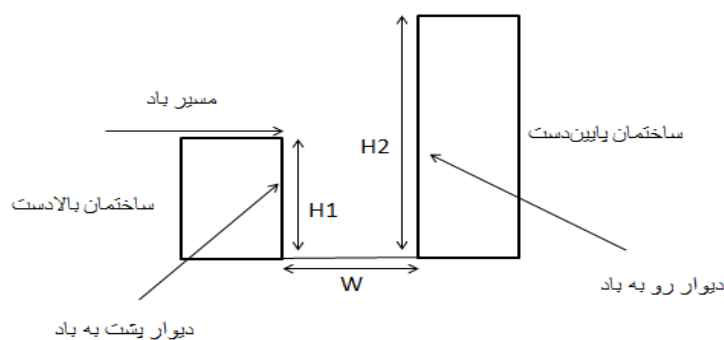
که نتایج خوبی از این مقایسه حاصل شده است. در اعتبارسنجی با داده تونل باد، هدف شبیه‌سازی جریان باد در اطراف تک‌ساختمان مستطیل شکل در مقیاس ۱:۲۵ در تونل باد می‌باشد. طول، عرض و ارتفاع ساختمان به ترتیب، $H_1, 2, H_0, 8$ و $H_1, 2$ است و طول، عرض و ارتفاع حوزه محاسباتی به ترتیب $H_2, 5$ و $H_3, 2$ می‌باشد (m^2H). برای جریان ورودی در مرز از بزرگی سرعت که به صورت نیمرخ در راستای X توسط داده آزمایش تونل باد داده شده، استفاده گردیده است. شکل ۵، مقایسه نقشه‌ی عمودی و افقی شبیه‌سازی شده در دانشگاه هامبورگ (الف و ب) و شبیه‌سازی حال حاضر (ج و د) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نحوه‌ی توزیع جریان باد در اطراف تک‌ساختمان یکسان نشان می‌دهد و نتایج به‌خوبی با مشاهدات تطابق دارند. از این اعتبار اولیه که محاسبه شده است می‌توان دریافت کرد که فلوننت به‌خوبی می‌تواند میدان باد را در اطراف تک‌ساختمان شبیه‌سازی کند.

نتایج عددی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی جریان متلاطم و نحوه پخش آلاینده در یک خیابان طولانی ارائه می‌شود. یک باریکه خیابان که ساختمان‌ها در اطراف آن به‌صورت ادامه‌دار قرار دارند، با عرض W در شکل ۶ مشخص شده است. انتخاب نام ساختمان‌ها براساس جهت وزش باد است. به ساختمان در جهت وزش باد با ارتفاع H_1

مصرف سوخت را خواهند داشت. به‌همین دلیل منبع انتشار آلاینده به‌صورت خطی و در وسط باریکه خیابان در نظر گرفته شده است (گودرزی و ذاکری، ۱۳۹۰). آلاینده مورد بررسی گاز CO_2 می‌باشد و با خطی در نظر گرفتن منبع آلاینده حداقل انتشار گاز CO_2 بررسی می‌شود. دبی جرمی گاز دی‌اکسیدکربن برابر $10^{-4} \times 1/8127$ کیلوگرم بر ثانیه می‌باشد (اشرفی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین دمای آلاینده خروجی از اگزوز خودرو ۳۳۰ کلوین است. در نرم‌افزار فلوننت برای جریان دو گونه‌ای از مدل دو گونه‌ای مخلوط و برای آشفنگی از میان مدل‌های آشفنگی مختلف موجود در نرم‌افزار، مدل تلاطمی $k-\epsilon$ RNG استفاده شده است. گونه یک، هوا و گونه دو گاز دی‌اکسیدکربن است. الگوریتم حلی که برای جریان تراکم‌ناپذیر در نظر گرفته شده، الگوریتم SIMPLE به همراه گسسته‌سازی مرتبه دوم برای میدان‌های جریان و غلظت می‌باشد. از الگوریتم سیمپل برای جفت کردن سرعت و فشار استفاده شده است. روش گسسته‌سازی معادلات تکانه، انرژی جنبشی آشفنگی و تنش‌های رینولدز روش پیشرو مرتبه دو و روش گسسته‌سازی معادله فشار، روش استاندارد انتخاب شده است. زمان اجرای شبیه‌سازی در یک شبکه با ۹۷۰ هزار سلول تقریباً ۱۹ روز بوده است و شبکه به‌کار رفته آنقدر ریز است که جواب‌های حاصل مستقل از شبکه‌اند.

همچنین به‌دلیل در اختیار نبودن داده تجربی، از داده تونل باد برای اعتبارسنجی فلوننت استفاده گردید

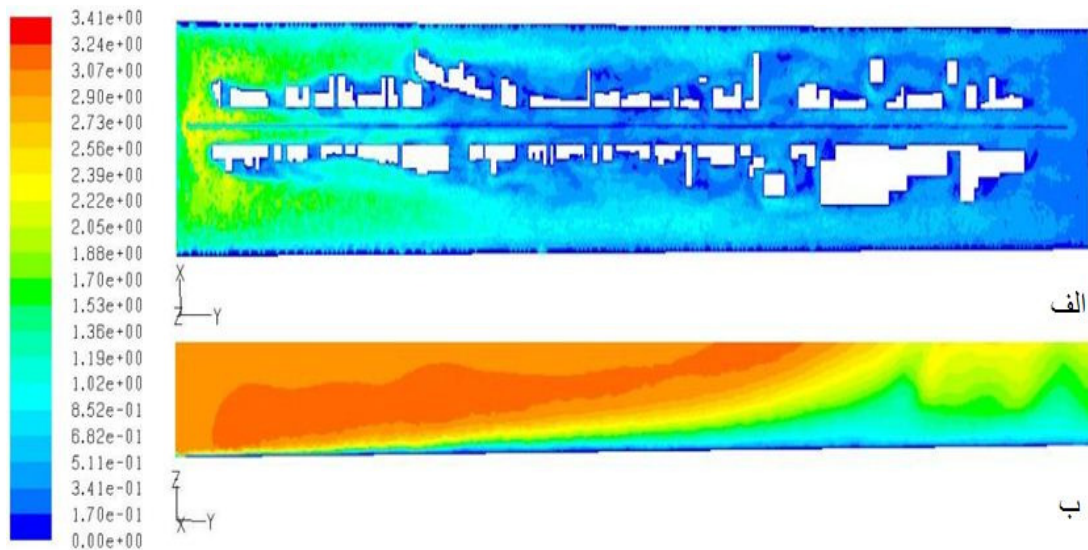


شکل ۶: نمایه‌ای از باریکه خیابان و ساختمان‌های اطراف آن

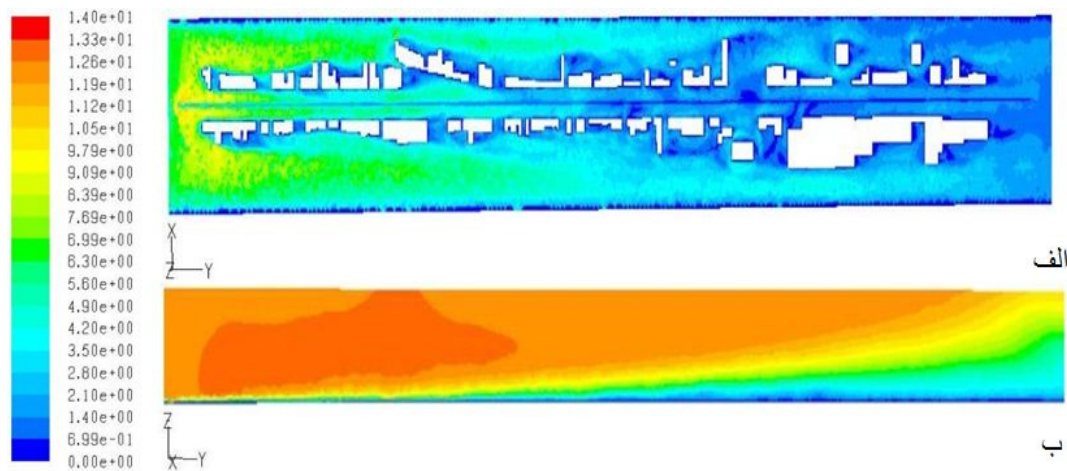
شکل ۷ و ۸ پربند جریان باد را با سرعت ورودی کانال ۳ و ۱۲ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. شکل (الف) یک سطح جریان باد در ارتفاع ۱٫۵ متر است. شکل (ب) یک برش دوبعدی قائم در راستای Y و Z می‌باشد که شامل منبع خطی آلاینده یعنی در مرکز باریکه خیابان قرار دارد. در شکل ۷ در ارتفاع ۱٫۵ متری تندی باد با نزدیک شدن به انتهای کانال کاهش یافته است که این به دلیل طولانی بودن باریکه خیابان می‌باشد و جریان باد با تندی قابل قبولی فقط در یک چهارم مسافت اولیه قلمرو حضور دارد.

ساختمان بالادست جریان، و به ساختمان H_2 که بادپناه می‌باشد ساختمان پایین دست جریان گفته می‌شود.

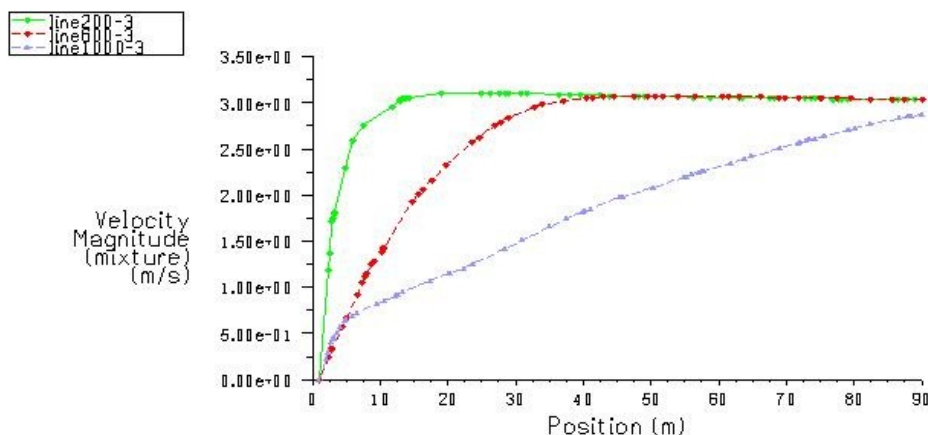
شرایط مرزی طبق نتایج حاصل از شبیه سازی WRF به دست می‌آید. سرعت در ورودی کانال ۳ ۱۲٫۳۵ متر بر ثانیه می‌باشد که بیشینه سرعت به دست آمده از شبیه سازی WRF است. این قلمرو شامل یک منبع آلاینده خطی است که آلاینده را به طور مستمر گسیل می‌کند. ارتفاع ۱٫۵ متر ارتفاع تنفس است که شبیه سازی پدیده های هواشناختی در این ارتفاع بررسی می‌شود.



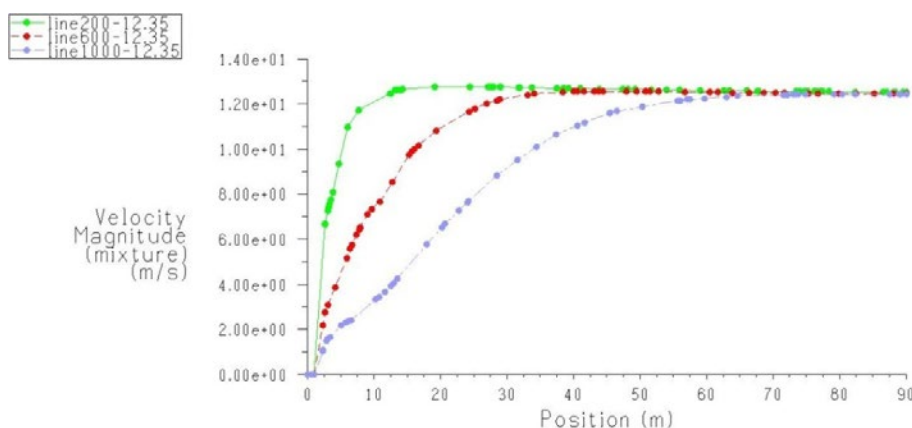
شکل ۷: پربند جریان برای سرعت ۳ متر بر ثانیه، (الف) سطح در ارتفاع ۱٫۵ متری و (ب) نیمرخ در وسط باریکه خیابان



شکل ۸: پربند جریان برای سرعت ۱۲ متر بر ثانیه، (الف) سطح در ارتفاع ۱٫۵ متری و (ب) نیمرخ در وسط باریکه خیابان



شکل ۹: نیمرخ جریان با ارتفاع در فواصل مشخص برای تندی ورودی ۳ متر بر ثانیه



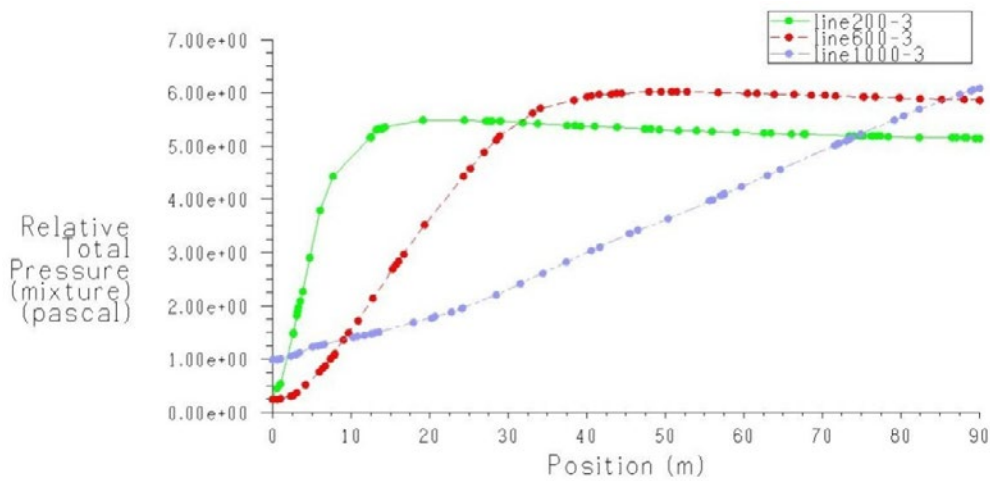
شکل ۱۰: نیمرخ جریان با ارتفاع در فواصل مشخص برای تندی ورودی ۱۲ متر بر ثانیه

در باریکه خیابان نیز جریان باد مناسب است. همچنین در انتهای باریکه نیز جریان باد (۴ متر بر ثانیه) در ارتفاع پایین است.

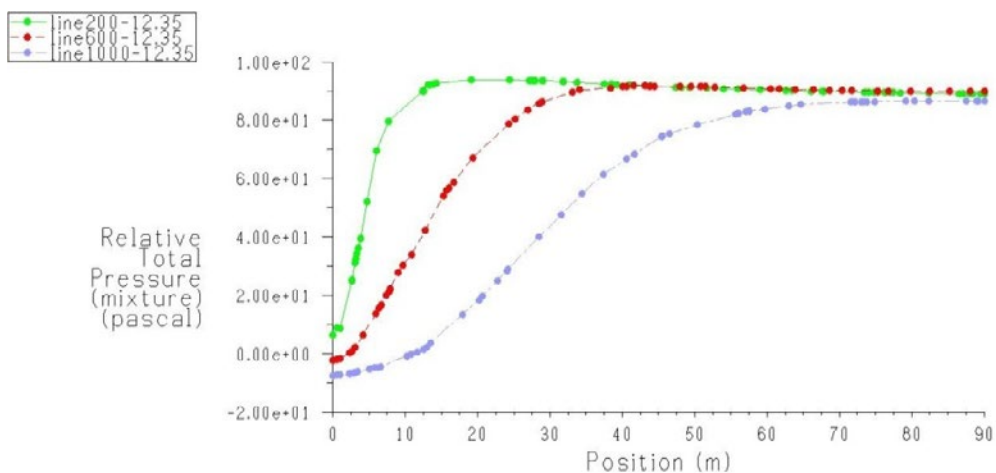
برای اینکه عبور جریان باد به صورت کمی تر بیان شود، تغییرات ارتفاعی جریان باد در وسط باریکه خیابان در شکل‌های ۹ و ۱۰ در مسافت ۲۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ متر نسبت به ابتدای باریکه به ترتیب برای سرعت‌های ۳ و ۱۲ متر بر ثانیه آورده شده است. در شکل ۹ برای فاصله ۲۰۰ متری جریان در ارتفاع ۱۰ متر و برای فاصله ۶۰۰ متری جریان در ارتفاع ۳۵ متری ثابت با مقدار بیشینه سرعت می‌باشد؛ تنها در فاصله ۱۰۰۰ متری جریان تا انتهای ارتفاع تغییرات خطی دارد. در شکل ۱۰ در کلیه فواصل

در انتهای قلمرو در نواحی بادپناه حتی تندی باد به صفر نیز رسیده است. همان‌طور که از شکل (ب) پیداست در باریکه خیابان تندی باد در ابتدا ۳ متر بر ثانیه می‌باشد و در برخورد جریان باد به ساختمان‌ها و همگرایی باد در این ناحیه تندی باد هم در راستای افقی و هم در راستای قائم افزایش یافته است (۳٫۵ متر بر ثانیه)؛ تا اینکه جریان باد به نیمه افقی قلمرو می‌رسد که در $y > 600m$ در راستای افقی تندی باد کاهش می‌یابد و مقدار آن تا حدودی ناچیز می‌شود. بنابراین آلاینده با این سرعت ورودی جریان، کاملاً از باریکه خیابان پاک نمی‌شود.

در شکل ۸ جریان با تندی باد نسبتاً خوبی (۱۲ متر بر ثانیه) تا نیمه اول باریکه حاکم شده و در ارتفاعات بالاتر



شکل ۱۱: نیمرخ فشار نسبی با ارتفاع در فواصل مشخص برای تندی ورودی ۳ متر بر ثانیه



شکل ۱۲: نیمرخ فشار نسبی با ارتفاع در فواصل مشخص برای تندی ورودی ۱۲ متر بر ثانیه

از این رو که می‌توان از میزان نفوذ جریان بیرون به داخل ساختمان‌ها و بالتبع ورود آلاینده به داخل ساختمان‌ها و در نواحی عبور عابر پیاده تا حدودی آگاهی پیدا کرد. با مراجعه به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ می‌توان دریافت که بیشینه فشار برای مسافت‌های ۲۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ متر به ترتیب در ارتفاعات ۱۰، ۳۰ و ۷۰ متر رخ داده است. به این ترتیب اثر ساختمان‌هایی که در مسیر جریان باد قرار دارند و همچنین طولانی بودن خیابان مشخص می‌شود (پربند فشار نسبی با سرعت ورودی کانال ۳ و ۱۲ متر بر ثانیه به دلیل محدودیت آورده نشده است).

تغییرات آنچنانی از نظر گسترش ارتفاعی جریان، دیده نمی‌شود؛ اما در ارتفاع‌های مشترک فقط تندی جریان بیشتر است که این به دلیل افزایش تندی جریان ورودی می‌باشد.

پارامتر هواشناختی بعدی که اهمیت دارد و باید بررسی شود، فشار نسبی است. فشار نسبی در واقع اختلاف فشار بین دو سیال می‌باشد که در اینجا اختلاف فشار بین جریان هوای ورودی به خیابان و گسیل آلاینده دی‌اکسیدکربن از خودروها در خیابان است و هدف اندازه‌گیری فشار گسیل آلاینده دی‌اکسیدکربن می‌باشد.

نتیجه‌گیری

ابتدا شبیه‌سازی جریان باد با مدل WRF در نزدیکی سطح زمین بدون در نظر گرفتن سایبان شهری صورت گرفته است. سپس نحوه پخش آلاینده در باریکه خیابان و در اطراف خوشه‌های ساختمان با وضوح بالا توسط نرم‌افزار فلوئنت در سه بعد شبیه‌سازی گردید. در این مطالعه پارامتر هواشناختی مانند تندی باد مورد بررسی قرار گرفته است.

منبع خطی در یک ارتفاع ۱٫۵ متر آلاینده را به‌طور مستمر در طول دوره شبیه‌سازی گسیل می‌کند. بیشتر آلاینده آزاد شده از منبع توسط جریان کانال منتقل شده است و در ارتفاعات پایین و در نواحی میانی باریکه در راستای افقی جمع می‌شود؛ به‌دلیل اینکه جریان در ابتدای باریکه قوی و در برخورد با ساختمان‌های بلند در ابتدای باریکه و نشست آن در انتهای آن، باعث پخش بیشتر آلاینده در این نواحی می‌شود و در نواحی میانی حضور جریان باد کم‌تر و بالتبع فشار نسبی کم‌تر و آلاینده تا ارتفاعات بیشتری نفوذ می‌کند. همان‌طور که مشاهده شد با دور شدن از ابتدای قلمرو محاسباتی در راستای افقی، حضور جریان باد کمتر و تاثیر آن روی پخش آلودگی نیز کمتر شده است. پس می‌توان گفت آلاینده در انتها و نواحی میانی باریکه خیابان در ارتفاعات پایین به حالت سکون حضور دارد و این موضوع برای ساکنان این نواحی خطرناک می‌باشد. برعکس آلاینده در نواحی بیشتری پخش شده و حتی در کل ارتفاع قلمرو حضور دارد.

در جریان ورودی با سرعت‌های اولیه ۳ متر بر ثانیه، به‌دلیل طولانی بودن باریکه خیابان جریان هوا در ارتفاعات پایین بسیار کم و حتی در نواحی بادپناه ساختمان‌ها وجود ندارد. در سرعت ۱۲ متر بر ثانیه جریان تا حدودی تا انتهای باریکه خیابان نفوذ کرده است. ارتفاع ساختمان‌ها در این باریکه کم است و پخش‌شدگی در راستای افقی افزایش می‌یابد.

الگوی پراکندگی آلاینده از منبع خطی تحت تاثیر سرعت‌ها و جهت‌های مختلف باد محیط در ناحیه پر از

ساختمان است و نمی‌تواند به تنهایی با استفاده از مدل WRF به‌دست بیاید. بنابراین استفاده از مدل CFD برای این شبیه‌سازی مورد نیاز است.

در اینجا نمونه‌ای از یک مجموعه آزمایش عددی آورده شده است. مطالعات بیشتری برای تایید اعتبار این مدل جفت شده مورد نیاز است؛ پیشنهاد می‌شود از نتایج این پژوهش، به‌عنوان یک ابزار مهم برای پیش‌بینی جریان‌ها و پراکندگی شهری در نواحی متراکم پر از ساختمان، استفاده شود.

منابع

- گودرزی، ک. و ذاکری، م. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی توزیع آلودگی ناشی از خودروها در خیابان‌های شهری. مهندسی مکانیک، شماره ۷۷، سال بیستم.
- جدیدی، ا. م. و حیدری‌نژاد، ق. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی جریان متلاطم باد بر روی پردیس دانشگاه تربیت مدرس. مجله مهندسی مکانیک مدرس، ۱۴(۱۳)، ۲۷۲-۲۸۰.
- Ashrafi, K., Shafie-pour, M., Kalhor, M., & Esfahanian, V. (2012). Numerical Simulation of Air Pollutant Distribution in Urban Tunnels. *Environmental Modeling & Assessment*, 17(5), 555-564.
- Miao, Y., Liu, S., Chen, B., Zhang, B., Wang, S., & Li, S. (2013). Simulating Urban Flow and Dispersion in Beijing by Coupling a CFD Model with the WRF Model. *Advances in atmospheric sciences*, 30(6), 1663-1678.
- Tewari, M., Kusaka, H., Chen, F., Coirier, W. J., Kim, S., Wyszogrodzki, A. A., & Warner, T. T. (2010). Impact of coupling a microscale computational fluid dynamics model with a mesoscale model on urban scale contaminant transport and dispersion. *Atmospheric Research*, 96(4), 656-664.
- Zhang, Z. D., Wieland, R., Reiche, M., Funk, R., Hoffmann, C., Li, Y., & Sommer, M., (2012). A computational fluid dynamics model for wind simulation: model implementation and experimental validation. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 13(4), 274-283.
- Uebara, K., Murakami, S., Oikawa, S., & Wakamatsu, S. (2000). Wind tunnel experiments on how thermal

- Coppalle, A., Delbarra, H., Dousset, B., & Drobinski, P. (2005). The urban boundary-layer field campaign in Marseille (UBL/CLU-ESCOMPTE): set-up and first results. *Boundary-Layer Meteorology*, 114(2), 315-365.
- Rotach, M. W., Vogt, R., Bernhofer, C., Batchvarova, E., Christen, A., ... & Voogt, J. A. (2005). BUBBLE- An urban boundary layer meteorology project. *Theoretical and Applied Climatology*, 81(3-4), 231-261.
- Yassin, M. (2013). Numerical modeling on air quality in an urban environment with changes of the aspect ratio and wind direction. *Environmental Science and Pollution Research*, 99(6), 3975-3988.
- stratification affects flow in and above urban street canyons. *Atmospheric Environment*, 34(10), 1553-1562.
- Chang, C. H., & Meroney, R. N. (2003). Concentration and flow distributions in urban street canyons: Wind tunnel and computational data. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91(9), 1141-1154.
- Huizhi, L., Bin, L., Fengrong, Z., Boyin, Z., & Jianguo, S. (2003). A laboratory model for the flow in urban street canyons induced by bottom heating. *Advances in atmospheric sciences*, 20(4), 554-564.
- Meštayer, P. G., Durand, P., Augustin, P., Bařtin, S., Bonnefond, J. M., Bénéch, B., Campiřtron, B.,

Simulating Urban Flow and Dispersion of Air Pollution Using FLUENT and WRF Models (Case Study of Imam Khomeini Street in Yazd)

M.H. Memarian¹, S. Hatami²

Division of space physics, Department of physics, physics faculty, Yazd University, Yazd, Iran

Division of space physics, Department of physics, physics faculty, Yazd University, Yazd, Iran

*Corresponding Author Email: memarian@yazd.ac.ir

Received: 24 February 2018 accepted: 30 May 2018

ABSTRACT

The streets play an important role in preserving pollution and fuel consumption. Therefore, geometrical and meteorological conditions are of interest to researchers. The geometrical parameters include building shape, orientation and aspect ratio (W/H), which is the ratio of the building height (H) to building width (W). The meteorological parameters include ambient wind speed, direction and thermal stability. Furthermore, the design and construction of streets and buildings should be considered, since the presence of buildings in the streets can affect meteorological parameters. For example, there must be enough wind speed to eliminate the pollutant in the street.

In recent decades, numerical models have been one of the most commonly used tools for urban planning in ventilation optimization units. In this study, the air flow and dispersion of pollutants in a narrow street in the city of Yazd are investigated numerically, using the combination of a computational fluid dynamics model (Fluent model) with a mesoscale model (WRF). The WRF is a numerical weather forecast, and a simulation of an atmospheric systems model that is designed for research and operational applications.

In the case of Yazd, Imam Street was chosen as an area for the CFD model, since the north-eastern end of this street leads to a vacant area which makes defining the boundary conditions straightforward. The CFD model is simulated for this city. The simulation with FLUENT software requires a computing domain and meshes that are generated using the Gambit software. The initial and boundary conditions should be determined in order to provide a numerical solution of partial differential equations.

The inlet mass and wall boundary conditions are used for pollutant removing from linear source and at the boundaries where the fluid is enclosed by a solid. According to the results, the boundary conditions were obtained from the simulation of the WRF model. At first, the airflow was simulated by the WRF model near the surface without considering urban canopy. Then the pollution dispersion in the street canyon and around the build-up was simulated with high resolution by the FLUENT software in three dimensions. In this study, a meteorological parameter such as wind speed has been investigated.

The WRF model was executed on the 12th of January 2015 at 8 am, and the FLUENT model was coupled to calculate the flow field on the 13th of January 2015 at 9 am; there was a high-pressure system on this day in the area. The FLUENT model was tested using wind tunnel data. The results of Miao et al. (2013) and meteorological data have been used to validate the WRF model. Comparison of the coupled model results shows that the CFD model is required to determine the pollutant dispersion pattern from the linear source, and this pattern cannot be solely obtained from the wind blowing environment of the WRF model due to these patterns being influenced by various blowing environment speeds and directions, the effect of buildings on each other, vortices, and other factors. The two-phase mixture model is used for two-phase flow in the FLUENT software in this paper. The k-ε RNG turbulence model is used for turbulence. The effect of geometric parameters such as the longitude of the street, and of meteorological parameters such as wind speed, has been investigated. The pollutant dispersion pattern from the linear source is influenced by the speeds and various directions of the blowing environment in the build-up area, and cannot be solely obtained by using WRF model. Therefore, the use of the CFD model is required in this simulation.

Results: In summary, the results of this study suggest that the pairing of the WRF-CFD model can be considered as an important tool to study and predict the urban flow and dispersions in dense, built-up areas.

Keywords: CFD, WRF, FLUENT, pollution dispersion, turbulent flow

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Memarian, M.H.; Hatami, S. (2018). *Simulating Urban Flow and Dispersion of Air Pollution Using FLUENT and WRF Models (Case Study of Imam Khomeini Street in Yazd)*. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(1): 13-24.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

