

## تأثیر توده‌های متراکم بر جریان باد در جهت تهویه شهری (نمونه موردی: شهر بابلسر)

سیده آزاده آفاجانزاده<sup>۱</sup>، محسن تابان<sup>۱\*</sup>

۱- گروه طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۱۲

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۴/۲۴

### چکیده

با افزایش جمعیت، شهرها با رشد روز افزون بلند مرتبه‌سازی و همچنین تراکم بالای جمعیتی و ارتفاعی روبه‌رو شده‌اند. توریستی بودن و افزایش جمعیت در شهر بابلسر در سال‌های اخیر باعث افزایش بی‌رویه ساخت و ساز و بلند مرتبه‌سازی شده است. دلیل استقرار این ساختمان‌ها در این محدوده‌ها، دید بصری مناسب به دریا، وجود دسترسی با عرض مناسب، وجود زیرساخت‌ها و امکانات می‌باشد که استقبال سرمایه‌گذاران برای ساخت و ساز را به دنبال داشته است. شهر بابلسر در اقلیم معتدل و مرطوب واقع شده است و رطوبت نسبی آن نسبتاً بالاست، شرجی بودن و احساس گرمای بیش از حد واقعی از نتایج بالا بودن رطوبت است. از این رو، مهم‌ترین عامل ایجاد آسایش در این مناطق، برقراری و تداوم کوران در فضا است. با توجه به تغییر در تراکم ارتفاعی و نوع چیدمان و توده‌های جدید، جهت و سرعت جریان باد دچار تلاطم شده است که به لحاظ بیولوژیکی و احساس آرامش برای ساکنین مشکلاتی را در پی دارد. در این پژوهش اثرات بلند مرتبه‌سازی و تغییرات در دو بلوک شهری، در محدوده شمالی شهر بابلسر با نرم‌افزار Flow-3d شبیه‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است. در گرم‌ترین روزهای تابستان تأثیر تراکم ارتفاعی و چیدمان توده‌ها بر دمای بلوک‌ها و سرعت جریان باد بین آنها بررسی شده است. با افزایش ارتفاع، افزایش محصوریت و جهت‌گیری نامناسب توده‌ها، کوران باد اتفاق نمی‌افتد در این صورت دمای بین توده‌ها افزایش می‌یابد و باعث سلب آسایش ساکنین این محدوده شده است. برای بهبود وضعیت نیاز به تغییر در شرایط کالبدی با توجه جهت و توزیع جریان باد است.

**واژه‌های کلیدی:** بلوک شهری، بلندمرتبه‌سازی، سرعت باد، رطوبت، شبیه‌سازی سیال، بابلسر.

## مقدمه

شهری شدن منجر به افزایش شدید وسعت شهرها و ساختمان‌های بلند شده است. با افزایش سطح پوشش غیر قابل نفوذ و کاهش فضای سبز، گردش هوا از بین می‌رود و جزیره داغ حرارتی، آلودگی آب و هوا، آلودگی حاصل از بارش باران‌های اسیدی رخ می‌دهد (Guo et al, 2015). مطالعه در ارتباط با بهبود شرایط محیط و افزایش کیفیت زندگی شهری تبدیل به کلیدی در بسیاری از رشته‌ها مانند محیط زیست، هواشناسی، جغرافیا، برنامه‌ریزی و طراحی شهری شده است. ساختمان‌های بلند می‌توانند به‌طور قابل ملاحظه- ای جریان هوا در مناطق شهری را مختل کنند و سرعت باد را کاهش دهند. در نتیجه مناطق شهری، به‌طور کلی، نسبت به مناطق اطراف از جریان باد کمتری برخوردار می‌شوند (Guo et al, 2015) از این رو نحوه توزیع ساختمان‌ها و نوع چیدمان آنها (ویژگی‌های فضایی-کالبدی) نقش تعیین کننده‌ای بر میزان و نوع جریان هوا در شهر دارند. با توجه به همین میزان و نوع جریان هوای موجود در محیط، بهبود کیفیت شرایط محیطی اتفاق می‌افتد (Givoni, 1998). در پژوهش حاضر، منطقه شمالی شهر بابلسر به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است. این منطقه تحت تاثیر باد غالب غرب و کریدور ورودی جریان نسیم شمالی از سمت دریا به شهر است. نسیم دریا در طی چند ساعت بعد از ظهر بیشترین شدت را دارد. جهت وزش بادهای منطقه نیز در تشدید نسیم دریا اثر دارند. به‌طوری که بادهای موازی ساحل آن را ضعیف و بادهای عمودی آن را تقویت می‌کند. هوای مرطوب دریا به سمت شهر روانه می‌شود. سنگینی هوا و احساس گرمای بیش از حد واقعی از نتایج افزایش رطوبت است که مشکلاتی را برای ساکنین در پی دارد و به این

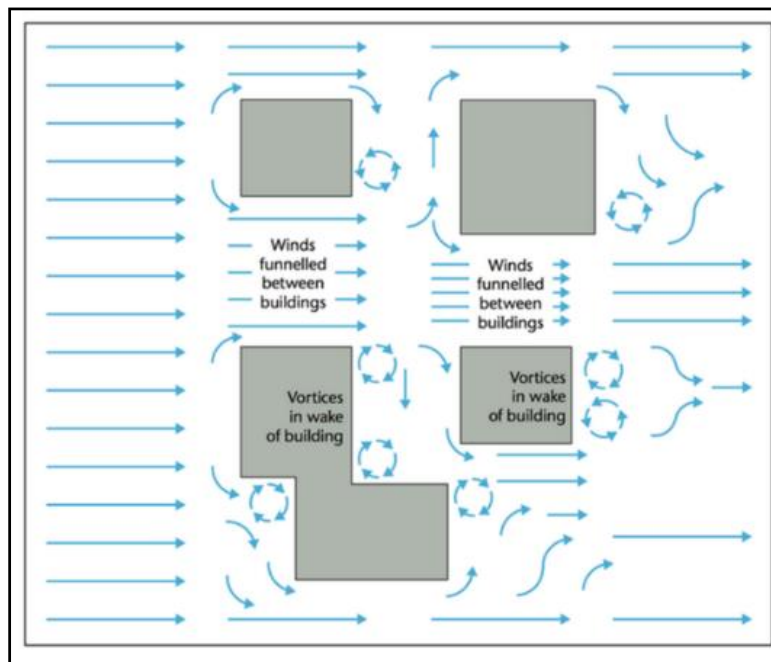
لحاظ لازم است تا ساختمان‌هایی رو به دریا و باد غالب باز شوند و بازشوهایی را نیز در این جهات داشته تا جریان هوا برقرار شود (مازند طرح، ۱۳۸۱). در سال‌های اخیر محله امیرمازندرانی مورد هجوم سرمایه‌گذاران و حجم زیاد بلند مرتبه‌سازی قرار گرفته است، هوای مرطوب به دلیل سنگین‌تر بودن در قسمت زیرین هوای خشک قرار می‌گیرد؛ بنابراین محصور بودن فضای شهری مانع ایجاد کوران می‌شود و تنفس را دچار مشکل می‌کند و همین مسئله به معضل اساسی در این منطقه تبدیل شده است (قبادیان، ۱۳۹۰). در این پژوهش با بررسی تحقیقات در مورد آسایش حرارتی و اثر فرم توده‌های شهری بر جریان باد، الگوی چیدمان توده‌ها و اثر آنها بر جریان باد در محله، شبیه‌سازی و مورد بررسی واقع شده است. در رابطه با آسایش حرارتی و نقشی که باد در ایجاد آن دارد، تحقیقات متعددی صورت گرفته است، ابتدا این تحقیقات منحصر به معماری و فضاهای داخلی بود، به تدریج دامنه تحقیقات گسترش پیدا کرد و فضاهای شهری را نیز در بر گرفت به‌طوری که الکی (Olgay, 1963) در سال ۱۹۶۳ نموداری را در رابطه با آسایش حرارتی ارائه داد، شرایطی که الکی در نظر گرفته بود برای فردی نشسته در سایه با مقداری جزئی جریان هوا بود که فرد در آن احساس آسایش حرارتی کند و آن را محدوده راحتی نامید. بعد از آن در سال ۱۹۷۲ پروفیسور فاگنر (Fanger, 1972) به تعریف محدوده آسایش حرارتی در کتاب کلاسیک خود پرداخت (حیدری، ۱۳۹۳) در سال ۱۹۷۳ نیز پن واردن (Penwarden, 1973) شاخص راحتی بافت را با تمرکز بر فضای شهری و معابر به صورت نموداری ارائه داد. در سال ۱۹۹۴ گیونی (Givoni, 1994) حد آسایش و عدم آسایش ناشی از جریان هوا را بین ۲۹ تا ۳۰ درجه

دریافت شده توسط سطوح خیابان و همچنین جریان هوا در گذرگاه‌های شهری پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که استفاده نادرست از این عوامل گفته شده می‌تواند شرایط محیطی شهری را تغییر دهد. خیابان‌ها به عنوان بخش قابل توجهی از فضاهای باز شهری نقش مهمی در ایجاد میکروکلیماتیک شهری دارند. بنابراین به منظور ایجاد یک محیط مطلوب در مناطق شهری، طراحی خیابان‌ها اثر چشمگیری جهت تهویه به ارمغان می‌آورد. تراکم ساختمان‌ها در یک شهر که بر تغییرات اقلیمی اثرگذار است به چگونگی طراحی از جمله میزان پوشش زمین به وسیله ساختمان‌ها، فاصله بین ساختمان‌ها که خیابان‌ها را در بر می‌گیرد و ارتفاع متوسط ساختمان. ارتفاع متوسط که به چگونگی نظم و قرارگیری ساختمان‌ها بستگی دارد بر سرعت باد اثر ویژه می‌گذارد. در محدوده‌های با ارتفاع یکسان شرایط اقلیمی نسبت به جاهای با ساختمان‌های مرتفع متفاوت است. در تاثیر تراکم بر جریان باد باید توجه داشت که هر چند ارتفاع زیاد ساختمان سبب کاهش جریان باد منطقه‌ای می‌شود ولی با ابزارهای طراحی شهری می‌توان در مناطق ساختمانی متفاوت تهویه بهتری را نسبت به مناطق هم ارتفاع ایجاد کرد. زمانی که یک ردیف ساختمان‌ها به صورت عمودی در مقابل جریان باد قرار می‌گیرند، این‌گونه طراحی شهری اثر باد منطقه‌ای در ساختمان‌های دیگر در پشت این ردیف را کاهش می‌دهد. در این حالت تراکم ساختمانی حتی در مناطق با تراکم پایین شهر (ساختمان‌های کوتاه و فضای باز بزرگ بین آنها) اثر چندانی بر باد ندارند، چرا که جریان باد سد شده است. با توجه به اینکه مهم‌ترین منبع اصلی جریان هوا در خیابان‌ها، برخورد جریان باد

سانتی‌گراد ذکر کرد و همیفریز (Humpherys, 1999) در سال ۱۹۹۹ تا ۳۰/۸ درجه، برای مردم اروپا را تغییر و افزایش داد. دیگر پژوهشگران از جمله، تناب و همکاران (Tanabe et al, 1989)، تاین و همکاران (Tain et al, 1994)، آرنس و همکاران (Arens et al, 1994) و مایر (Mayer, 1992) به این نتیجه رسیده و تاکید داشته‌اند که جریان هوا تاثیر قابل توجهی در رسیدن به آسایش حرارتی و یا عدم آسایش حرارتی افراد دارد (حیدری، ۱۳۹۱). از مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر در مورد باد می‌توان به اسزوسن (Szucs, 2013) که به بررسی آسایش اقلیمی از منظر رفتار باد در یکی از میدان‌های بازسازی شده ایرلند پرداخته است. پس از جمع‌آوری داده‌های اقلیمی مربوط به شهر دوبلین با مدل‌سازی مورفولوژی تأثیرگذار بر رفتار باد در محیط نرم-افزار Envi-met، این شرایط در کانال شهر بررسی و نقاط خارج از محدوده آسایش معرفی شده است. در نهایت راهکارهای معمارانه پیشنهادی جهت بهبود شرایط موجود پیشنهاد و ارائه گردیده است. همچنین کلیم و جابلونسکی (Klemm and Jablonski, 2004) به بالاترین سرعت جریان باد گذرگاه‌های بین ساختمان‌ها اشاره دارد. فضای باز بین مجموعه ساختمان‌ها به همان اندازه که ارتفاع آنها فرایند تهویه را سهل می‌کند، جریان باد را هم می‌تواند مختل کند و این وضعیت می‌تواند با استفاده از بادشکن چه به صورت عناصر خاص و چه به صورت عوامل طبیعی همچون گیاهان و درختان بهبود یابد. در همین راستا پژوهشگران دیگری چون شیشه‌گر (Shishegar, 2013) به بررسی تاثیر مورفولوژی شهری، تراکم، خواص سطوح شهری، پوشش گیاهی، هندسه خیابان و جهت‌گیری در جهت مقدار تابش خورشیدی

اداری شهرک‌های بزرگ می‌تواند تولید کننده‌ی باد با برد زیاد و کاملاً مشخص باشد. این نتیجه‌ی افزایش زبری سطح و نوع فرم توده‌ها با کد ارتفاعی متفاوت نسبت به باد است که منجر به گردبادهای قوی و جریان‌های بادی مخالف می‌گردد. در بعضی موارد، این بادهای سریع و آشفته بین ساختمان‌ها به شکل قیف در گردش است که ایجاد یک اثر به نام ونوتوری کرده که راه عبور از پیاده‌رو را بسیار دشوار می‌کند (شکل ۱) (National Meteorological, 2011). بنابراین توده‌های شهری با توجه به پیکره‌بندی آنها هم می‌توانند نقش دافعه و هم جاذبه باد شهری را در بافت بازی کنند.

منطقه‌ای با ساختمان‌ها است، در این حالت جریان هوا خیابانی به حداقل می‌رسد. ساختمان‌های بلند و قرارگیری آنها در ساختار کالبدی شهر نیز می‌تواند اثر زیادی بر جریان باد در خیابان‌ها و پیاده‌روها داشته باشد. ساختمان‌های برج مانند (عرض کم و ارتفاع زیاد) قسمت عمده‌ای از جریان باد را به اطراف منحرف می‌کنند. هرچه میزان عرض بیشتر شده و ساختمان‌ها به سمت صفحه شدن پیش می‌روند میزان این انحراف بیشتر است (Givoni, 1998, 2003) و حتی ساختمان‌های بیش از ۱۰۰ متر می‌توانند مانع حرکت جریان باد شوند. در نتیجه مناطق شهری به‌طور کلی نسبت به مناطق حاشیه شهری از کوران و جریان باد کمتری برخوردارند. در عین حال، ساختمان‌های



شکل ۱: آرشیو کتابخانه ملی شماره ۱۴ - خرد اقلیم

و در کرانه جنوبی دریای خزر و در ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. محدوده مورد بررسی در این پژوهش خیابان امیرمازندرانی

#### منطقه مورد مطالعه

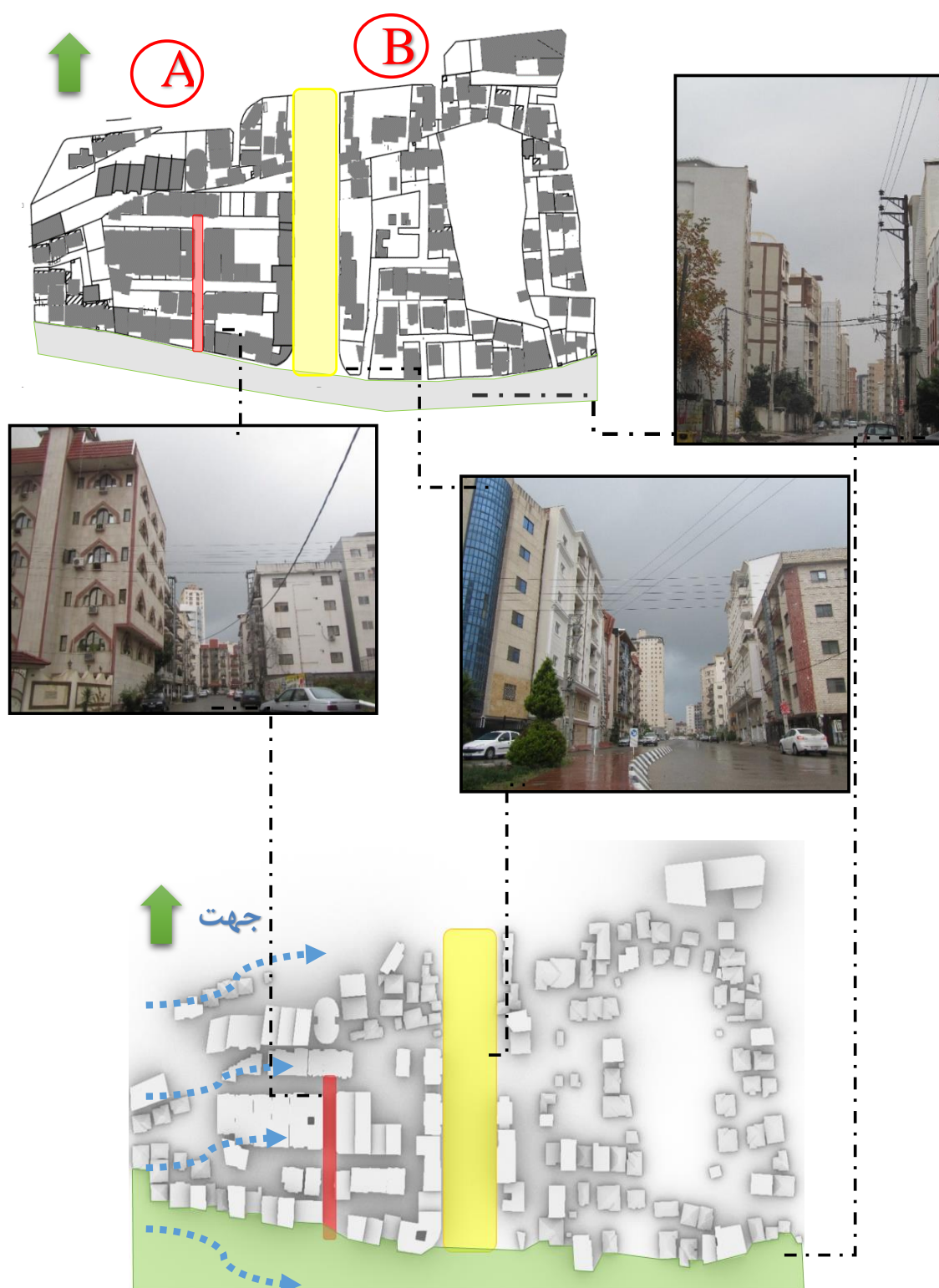
بألسر یکی از شهرهای ساحلی استان مازندران، در شمال ایران، بین دریای مازندران و رشته کوه البرز قرار دارد. این شهر در مصب رودخانه بابلرود

از این رو طراحی این فضاها باید به گونه‌ای باشد که جریان باد در ماه‌های سال در فضاهای بین توده‌ها و معابر، حفظ گردد که در نهایت به مطلوبیت آسایشی و الگوی جریان باد منتج می‌شود. پیش از تجزیه و تحلیل نتیجه پژوهش، شبیه‌سازی با نرم‌افزار FLOW-3D اعتبار سنجی می‌گردد. "اعتبار سنجی فرایند است که یک شبیه‌سازی محاسباتی دنیای واقعی را نشان می‌دهد. این سند تعدادی از اصطلاحات کلیدی را تعریف می‌کند، مفاهیم اساسی را مورد بحث قرار می‌دهد و روش‌های عمومی را برای انجام تایید و اعتبار شبیه‌سازی های دینامیکی سیالات محاسباتی مشخص می‌کند" (AIAA, 1998). استراتژی اساسی اعتبار سنجی شامل شناسایی و تعیین میزان خطا و عدم اطمینان در مدل‌های مفهومی و محاسباتی، تعیین کمیت خطای عددی در راه‌حل محاسباتی، تخمین عدم اطمینان آزمایش و در نهایت مقایسه بین نتایج محاسباتی و داده‌های تجربی است. این استراتژی فرض نمی‌کند که اندازه‌گیری های آزمایشی دقیق‌تر از نتایج محاسباتی هستند. این استراتژی فقط ادعا می‌کند که اندازه‌گیری های تجربی معتبرترین بازتاب واقعیت برای اهداف اعتبارسنجی هستند (Oberkampf and Trucano, 2002). در این مطالعه سرعت باد با استفاده از باد سنج باد hot wire anemometer st-3880 در ۳۲ نقطه (شکل ۳) در دو بلوک با ارتفاع ۱/۷۵ (سطح عابر پیاده) و اطلاعات مرکز هواشناسی محلی اندازه‌گیری شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده باد در ۳۲ نقطه در سایت براساس ساختمان واقعی / واحد همسایگی محلی در بخش شمالی شهر بابلسر در شکل ۶ به دست آمده است.

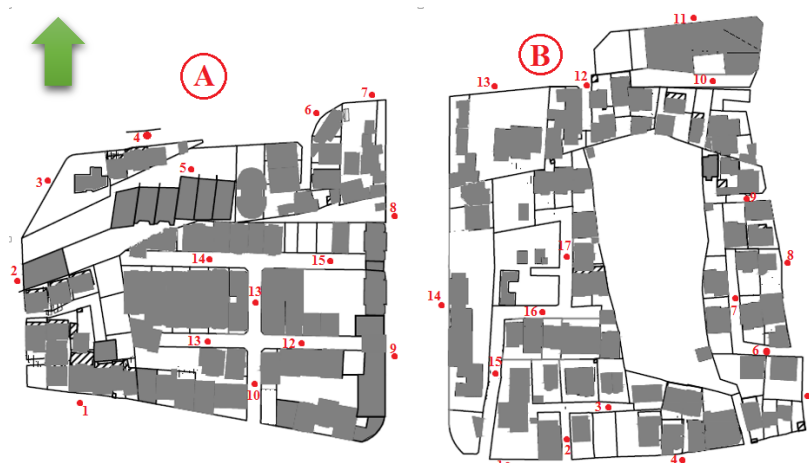
در قسمت شمالی این شهر است. این محدوده شامل ۲ بلوک شهری A و B کنار هم (شکل ۲) با مساحت ۱۱۱۳۱۵ متر مربع و طول ۴۶۶ متر و عرض ۲۵۸ متر در نقطه شمالی شهر بابلسر (محله امیر مازندرانی) واقع شده است. بلوک A بلوکی-ست که کاملاً از لحاظ تراکم ارتفاعی و نوع چیدمان ساختمان‌ها نسبت به بافت اطراف خود مورد تغییر واقع شده و بلند مرتبه است اما بلوک B به تازگی در حال تغییر و بلند مرتبه‌سازی ست و دارای دو ردیف ساختمان بلند است. ساختمان‌ها در این بلوک‌ها دارای ارتفاع‌های متفاوتی هستند که کم‌ترین ارتفاع آن ۴ متر و بیشترین در آن ۳۹ متر می‌باشد. باد غالب در این منطقه از سمت غرب می‌وزد و اندازه آن همان‌طور که قبلاً گفته شد برابر با ۱/۴ متر بر ثانیه است. تمرکز پروژه بر رطوبت‌زدایی هوا با توجه به الگوی جریان باد و نوع چیدمان توده‌ها در دو بلوک شهری خیابان امیر مازندرانی است. بعد کالبدی توده‌ها با تراکم کوتاه و بلند با توجه به شکل پایین در نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است.

### مواد و روش‌ها

روش گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای و میدانی بوده است و پژوهش آن به صورت نیمه تجربی-کاربردی است. پس از انتخاب محدوده موردنظر از طریق نرم‌افزار Google Earth انتخاب شده و سپس در مرحله بعد به صورت دقیق از نقشه وضع موجود شهر بابلسر استخراج شده است. اطلاعات کالبدی مختلفی چون ساختمان‌ها و ارتفاع آنها، پوشش گیاهی و فضای باز، پوشش سطحی زمین و... برای آنالیز فرم و چیدمان بلوک شهری بلندمرتبه در نرم‌افزار flow-3d، شبیه‌سازی و جریان باد با استفاده از آن ارزیابی شده است و



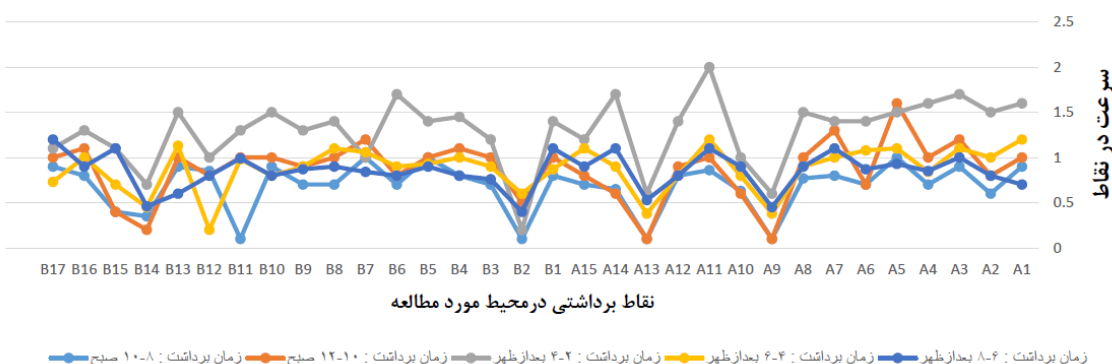
شکل ۲: دید سه بعدی به توده‌ها و خیابان‌های اطراف آن، ترسیم با مقیاس ۱:۱



شکل ۳: نقاط برداشت شده در محیط مورد مطالعه، ترسیم با مقیاس ۱:۱

بلندمرتبه صورت شبکه‌های قابل حل در محیط نرم‌افزار آرشیکد و راینو مدل‌سازی شده‌اند. سپس با انتقال این مدل‌ها به محیط نرم‌افزار flow-3d، رفتار باد در قالب پارامترهای سرعت و کانتور باد در تراز عابر پیاده بررسی گردید. داده‌های کمی حاصل به زبان گرافیکی و به شکل نمودارها و تصاویر متعدد ارائه شد و سپس با داده‌های باد اندازه‌گیری شده مقایسه گردید.

این ۳۲ نقطه با توجه به شکل کالبدی توده‌ها در این منطقه انتخاب شده‌اند. اطلاعات آنها ۵ بار در طول روز با فاصله زمانی ۲ ساعت در نمودار (شکل ۴) بررسی شده است. اندازه‌گیری در حالت فعالیت طبیعی خیابان محله انجام می‌شود. برای این اعتبار سنجی، سرعت باد در ۱۸ مرداد ۱۳۹۷ در محوطه سایت برداشت شده است. به این منظور بلوک‌های شهری با ساختمان‌های



شکل ۴: نمودار نقاط اندازه‌گیری شده ۵ بار در روز با فاصله زمانی ۲ ساعت

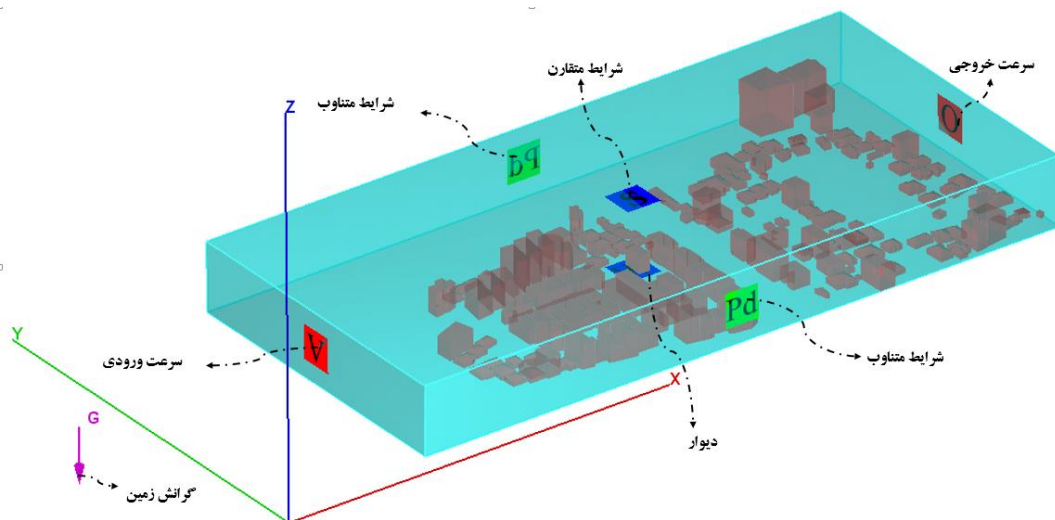
است. اندازه دامنه توسط تعدادی ارتفاع‌های متمایز از بلندترین ساختمان که ۳۹ متر در این منطقه است، گرفته شده است. دامنه شامل

اندازه دامنه محاسباتی و مشبندی مدل چیدمان شهر و لایه مشبندی آن با استفاده از ARCHICAD16 و FLOW-3D ایجاد شده

### شرایط مرزی

نوع شرایط مرزی در شکل (شکل ۵) توضیح داده شده است. وضعیت ورودی در سمت چپ سیال صفحه (y-z دامنه) به شرح زیر است. سرعت ۱/۴ متر بر ثانیه جریان باد نشان دهنده میانگین سرعت باد در این منطقه است که علاوه بر جهت-گیری چیدمان شهر، با توجه به جهت باد غالب انتخاب شده است. وضعیت خروج سرعت در سمت راست سیال صفحه (y-z دامنه) قرار می-گیرد.

مساحت ۵۶۶ متر × ۲۵۸ متر، دربردارنده تمام ساختمان‌ها در دو بلوک است. ارتفاع ۵۰ متر از زمین در راستای عمودی حوزه مش‌بندی محاسبه حدود ۱۱ متر فضای باز در بالاترین ساختمان ایجاد شده است. توده‌ها در مقیاس واقعی ۱:۱ ترسیم و شبیه‌سازی شده است. مش شامل ۵۵۰ بخش در جهت x، ۳۰۰ بخش در جهت y و ۵۰ بخش در جهت z بوده است. در نتیجه ۸,۲۵۰,۰۰۰ سلول در یک سیستم دامنه محاسباتی ایجاد گردیده است.



شکل ۵: دید سه بعدی دامنه دینامیکی سیالات محاسباتی با نشانه ابعاد اصلی و شرایط مرزی

ثابت قادر به توصیف و حل مشکل در این مقاله است؛ بنابراین، از یک مدل حالت پایدار برای محاسبه استفاده می‌شود. معادلات K با استفاده از یک روش آماری دقیق (روش گروه Renormalization) به معادلات ناچجی-استوکس لحظه‌ای حاصل می‌شود. معادلات تنظیم حل می-تواند به صورت روابط ۱ و ۲ نوشته شود:

رابطه (۱)

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_i} = 0$$

### تنظیمات معادلات شبیه‌سازی

شبیه‌سازی با استفاده از کد CFD تجاری FLOW-3D (V11.2) انجام می‌شود. با توجه به گفته آندره بکرر، معادلات پایدار RANS با مدل توربولانس RNG k-ε حل شده است (Bakker, 2002-2006). هوا از منطقه توده سیال غیر متراکم است؛ شبیه‌سازی اثر کیفیت قدرت را بررسی می‌کند. جریان در نظر گرفته شده یک جریان تک فاز است. مدل توربولانس k-ε می‌تواند دقیقاً محیط هوای فضای باز را توصیف کند. با این حال، محیط جریان باد در حال تغییر است، مدل

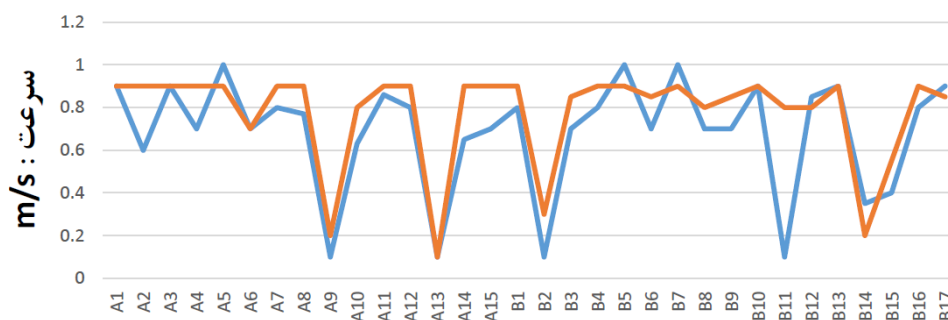


جالب است که توجه داشته باشید که مقادیر ثابت (بجز) به طور صریح در روش RNG مشتق می-شوند. آنها در زیر با مقادیر معمول استفاده شده در زیر آورده شده‌اند: (Yakhot, 1992)

$$\begin{aligned} C_{\mu} &= 0.0845 \\ \sigma_k &= 0.7194 \\ \sigma_{\epsilon} &= 0.7194 \\ C_{\epsilon 1} &= 1.42 \\ C_{\epsilon 2} &= 1.68 \\ \pi_0 &= 4.38 \\ \beta &= 0.012 \end{aligned}$$

### اعتبار سنجی

اعتبار سنجی به طور معمول برای مناطق واقعی شهری با داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی انجام می‌شود. در این قسمت از مطالعه، ارائه داده‌های تجربی برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی مشاهده می-شود. برای تجزیه و تحلیل بیشتر ویژگی‌های جریان، شبیه‌سازی می‌تواند برای داده‌های حاضر مورد استفاده قرار گیرد و از این رو شبیه‌سازی‌ها با دقت مورد تایید قرار می‌گیرند، سرعت شبیه‌سازی در حوزه‌های مختلف اندازه‌گیری شده و در شبیه‌سازی محاسبه می‌شود. نتایج اعتبار سنجی در نمودارهای زیر نشان داده شده است:



### نقاط اندازه‌گیری

— زمان برداشت: 8-10 صبح — شبیه‌سازی: 8-10 صبح

شکل ۶: نمودار مقایسه سرعت نقاط اندازه‌گیری شده در برداشت میدانی و شبیه‌سازی در ساعت ۸-۱۰ صبح

رابطه ۲)

$$U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + v_t) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( v_t \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

جایی که  $x_i$  و  $y_i$  وجود دارد جزء محورهای  $x$  و  $y$  می‌باشند.  $U_i$  به ترتیب مولفه سرعت متوسط در امتداد محور  $x, y$  و  $z$  است.  $\epsilon$  و  $\kappa$  به ترتیب انرژی سینتیکی متلاطم و سرعت تخلیه آشفته هستند؛  $P$  میانگین فشار است،  $\rho$  چگالی هوا است و  $\nu$  گرانروی سینماتیک هوا است.

معادلات RNG مدل:

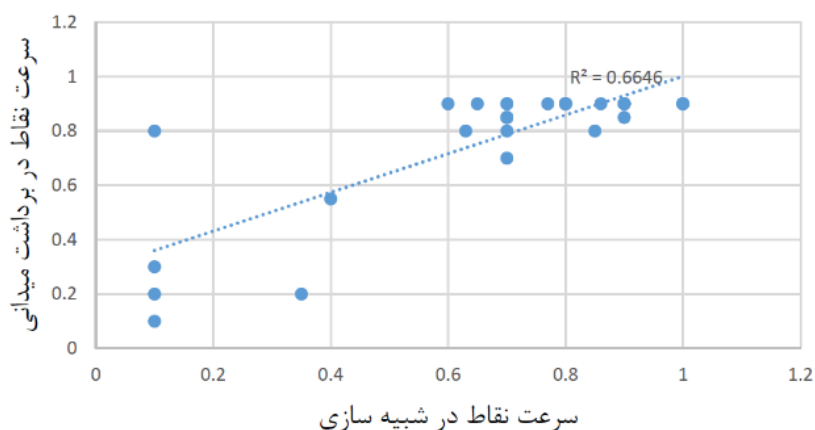
رابطه ۳)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \epsilon$$

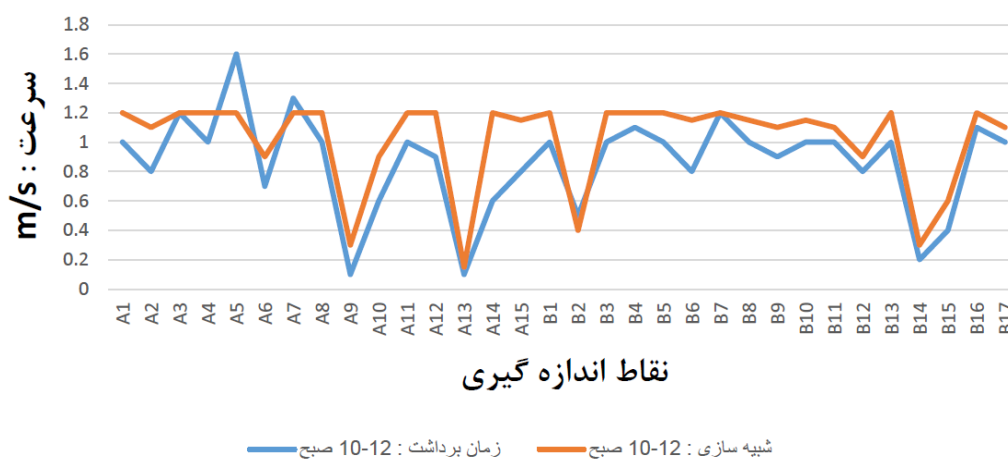
رابطه ۴)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\epsilon}} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} P_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

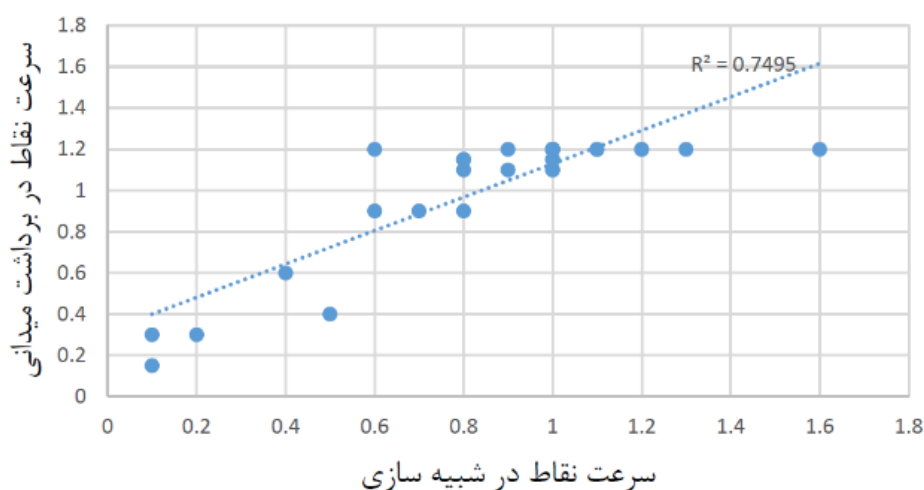
Where  $C_{2\epsilon}^* = C_{2\epsilon} + \frac{C_{\mu} \pi^3 (1 - \pi / \pi_0)}{1 + \beta \pi^3}$   
and  $\pi = Sk / \epsilon$  and  $S = (2S_{ij} S_{ij})^{1/2}$



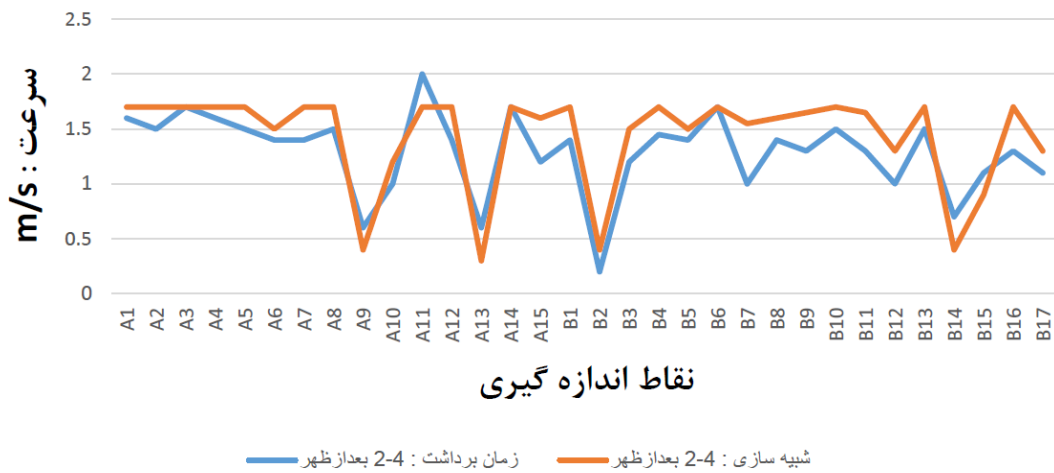
شکل ۷: نمودار رگرسیون خطی بین سرعت برداشتی در محیط و شبیه‌سازی در نرم‌افزار در ساعت ۸-۱۰ صبح



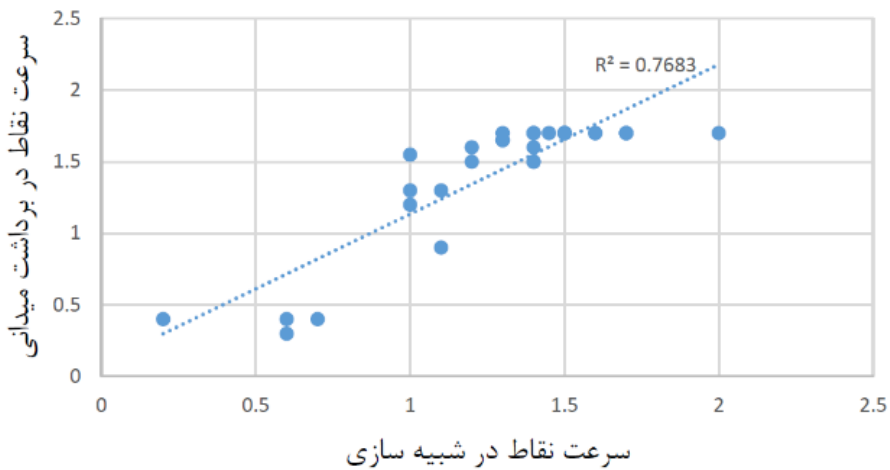
شکل ۸: نمودار مقایسه سرعت نقاط اندازه‌گیری شده در برداشت میدانی و شبیه‌سازی در ساعت ۱۰-۱۲ صبح



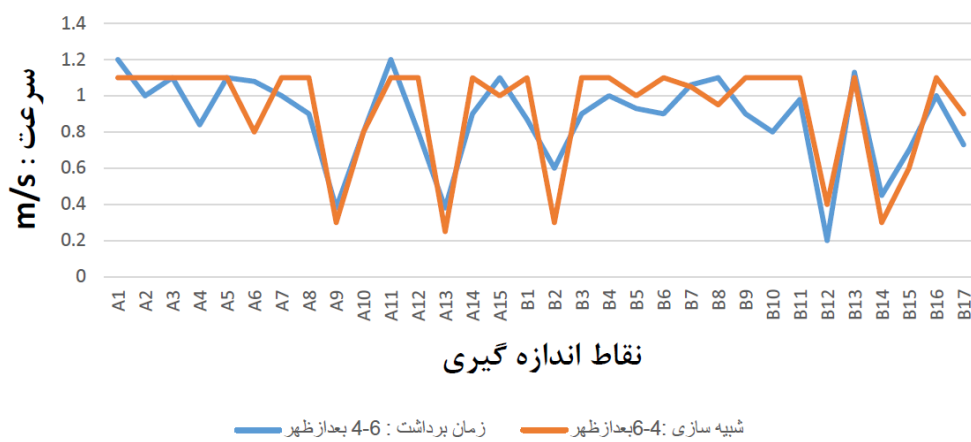
شکل ۹: نمودار رگرسیون خطی بین سرعت برداشتی در محیط و شبیه‌سازی در نرم‌افزار در ساعت ۱۰-۱۲ بعدازظهر



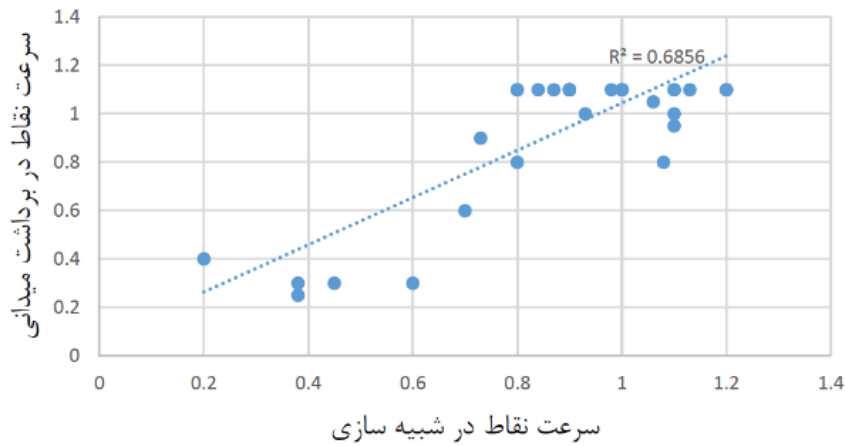
شکل ۱۰: نمودار مقایسه سرعت نقاط اندازه گیری شده در برداشت میدانی و شبیه سازی در ساعت ۲-۴ بعدازظهر



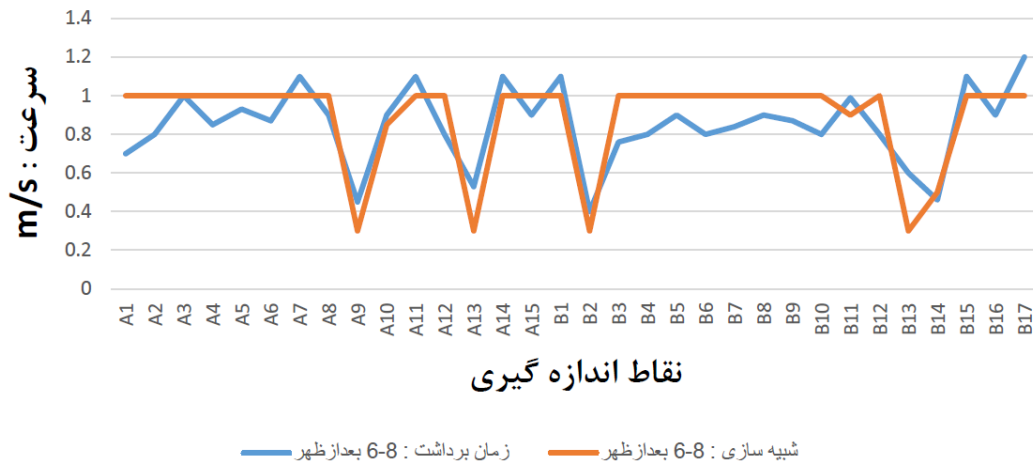
شکل ۱۱: نمودار رگرسیون خطی بین سرعت برداشتی در محیط و شبیه سازی در نرم افزار در ساعت ۲-۴ بعدازظهر



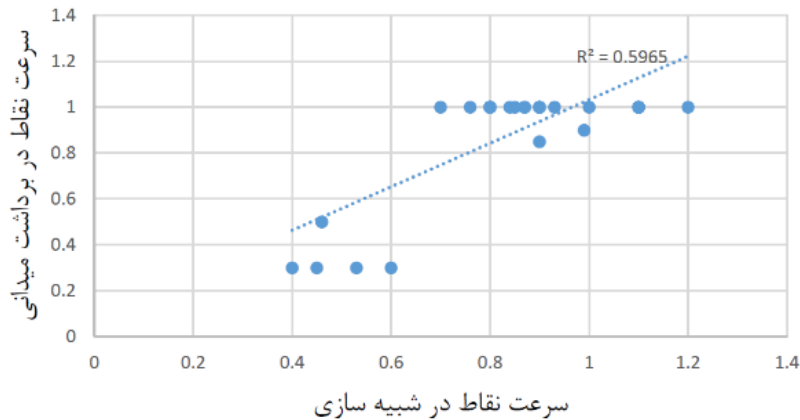
شکل ۱۲: نمودار مقایسه سرعت نقاط اندازه گیری شده در برداشت میدانی و شبیه سازی در ساعت ۴-۶ بعد ازظهر



شکل ۱۳: نمودار رگرسیون خطی بین سرعت برداشتی در محیط و شبیه‌سازی در نرم‌افزار در ساعت ۴-۶ بعدازظهر



شکل ۱۴: نمودار مقایسه سرعت نقاط اندازه‌گیری شده در برداشت میدانی و شبیه‌سازی در ساعت ۶-۸ بعدازظهر



شکل ۱۵: نمودار رگرسیون خطی بین سرعت برداشتی در محیط و شبیه‌سازی در نرم‌افزار در ساعت ۶-۸ بعدازظهر

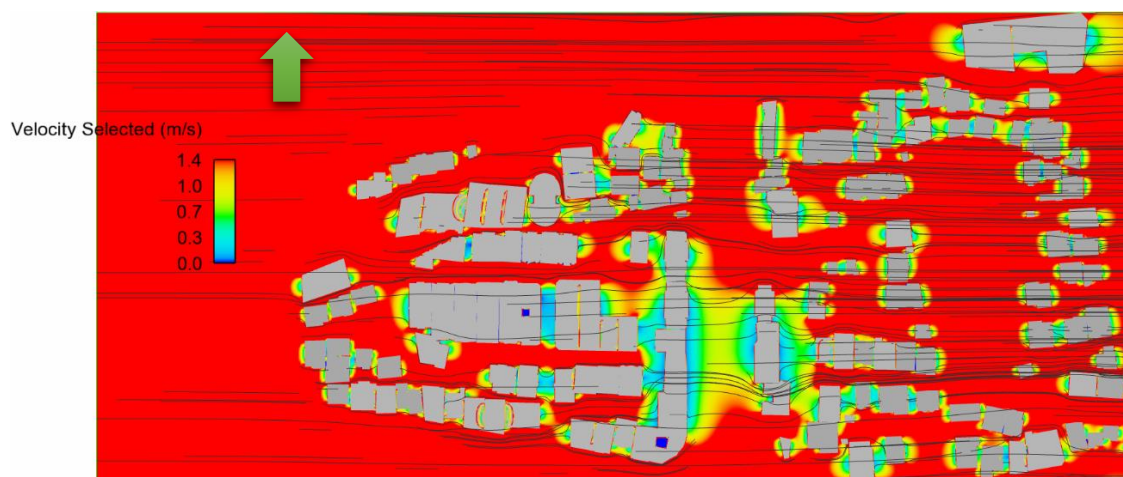
خطا به علت عوامل غیر قابل پیش‌بینی محیط زیستی محدوده موردنظر است.

### نتایج

#### پارامترهای اندازه‌گیری

در این پژوهش عوامل موثر بر سرعت و جهت جریان (تراکم توده‌ها - ارتفاع توده‌ها و اندازه آنها - محصوریت در بافت - نوع مسیر و جهت آنها - نوع چیدمان توده در دو بلوک مورد مطالعه قرار گرفته است. خطوط توزیع و سرعت جریان باد اطراف ساختمان‌ها با استفاده از روش شبیه‌سازی سیالات (شکل ۱۶) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده با توجه به میانگین سرعت باد (V)، در ارتفاع عابر پیاده ۱/۷۵ متر از سطح زمین برای ساختمان‌های بلندمرتبه در بلوک سمت چپ تصویر (A) ارائه شده است. این شکل به صورت پلان و در ادامه به صورت برش‌هایی از آن که خطوط جریان و با متوسط باد غالب سالیانه، بین صفر تا ۱/۴ متر بر ثانیه نشان داده شده‌اند.

در نمودارهای فوق (شکل ۶-۱۵)، مقایسه نتیجه سرعت باد ۳۲ نقطه (۱۵ نقطه برداشتی در بلوک A و ۱۷ نقطه برداشتی در بلوک B در شبیه‌سازی CFD و برداشت میدانی نشان داده شده است. نمودارهای ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ (شکل ۶-۸-۱۰-۱۲ و ۱۴) نشان دهنده‌ی سرعت در هر نقطه اندازه‌گیری شده در محیط با رنگ آبی و سرعت همان نقاط در محیط نرم‌افزار FLOW-3D با رنگ نارنجی است. ضریب همبستگی نقاط برداشتی و شبیه‌سازی شده در نمودارهای ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ (شکل ۷-۹-۱۱-۱۳ و ۱۵) به ترتیب ۰/۶۶۴۶، ۰/۷۴۹۵، ۰/۷۶۸۳، ۰/۶۸۵۶ و ۰/۵۹۶۵ به صورت خطی ارتباط این دو گروه نقاط را نشان می‌دهد و هر چه این عدد به ۱ نزدیک باشد نشان دهنده ضریب همبستگی بیشتر این دو گروه نقاط به یکدیگر است. میانگین ضریب همبستگی این داده‌ها در نمودارهای ذکر شده ۰/۶۹۲۹ که نشان دهنده یک رابطه مثبت و صعودی است. در برخی نقاط، اختلافات پایینی وجود داشته و این میزان



شکل ۱۶: شبیه‌سازی محدوده مورد مطالعه با نرم‌افزار FLOW-3D

معايير شرقی - غربی که هم راستا با جریان باد است، اتفاق می‌افتد. با توجه به غالب بودن جهت وزش باد غربی در این معابر، سرعت بیشتر آنها

#### الگوی جریان باد

با توجه به مدل‌سازی جریان باد در محیط نرم‌افزار این نتایج حاصل می‌گردد که بیشینه سرعت در

جنوبی سرعت باد بسیار کمتر از معابر شرقی- غربی است. باد تحت تأثیر شبکه معابر، فضای باز بین توده‌های ساختمانی و ارتفاع ساختمان‌ها تغییر جهت می‌دهد. این مسئله در بلوک‌های A و B کاملاً مشخص است. در هر کدام از بلوک‌های بلند مرتبه و کوتاه مرتبه الگوی جریان باد به‌طور کاملاً تغییر می‌کند.

#### تحلیل جریان باد با استفاده از شبیه‌سازی

جریان باد توسط برجستگی توده‌های موجود در بافت شهری هدایت می‌شوند و به صورت اتفاقی توزیع نمی‌گردند.

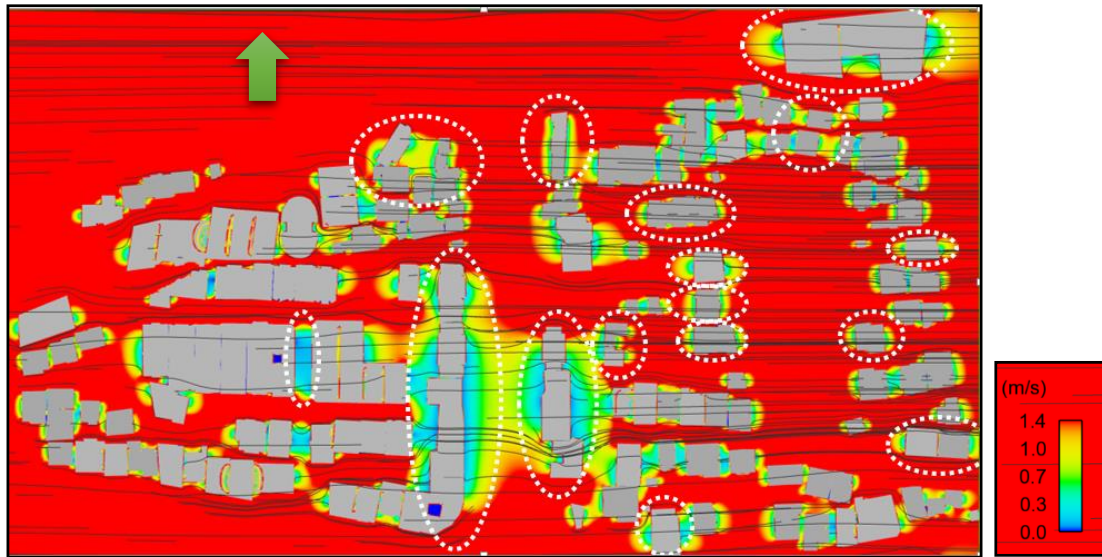
سرعت باد با برخورد به سطح توده‌های موجود (فرم ساختمان‌ها) در بافت شهری دچار افت و کاهش می‌شود (شکل ۱۷).

فرم توده‌ها باعث افزایش و کاهش (افت و خیز) سرعت و تغییر حرکت جریان باد می‌شود. (شکل ۱۷).

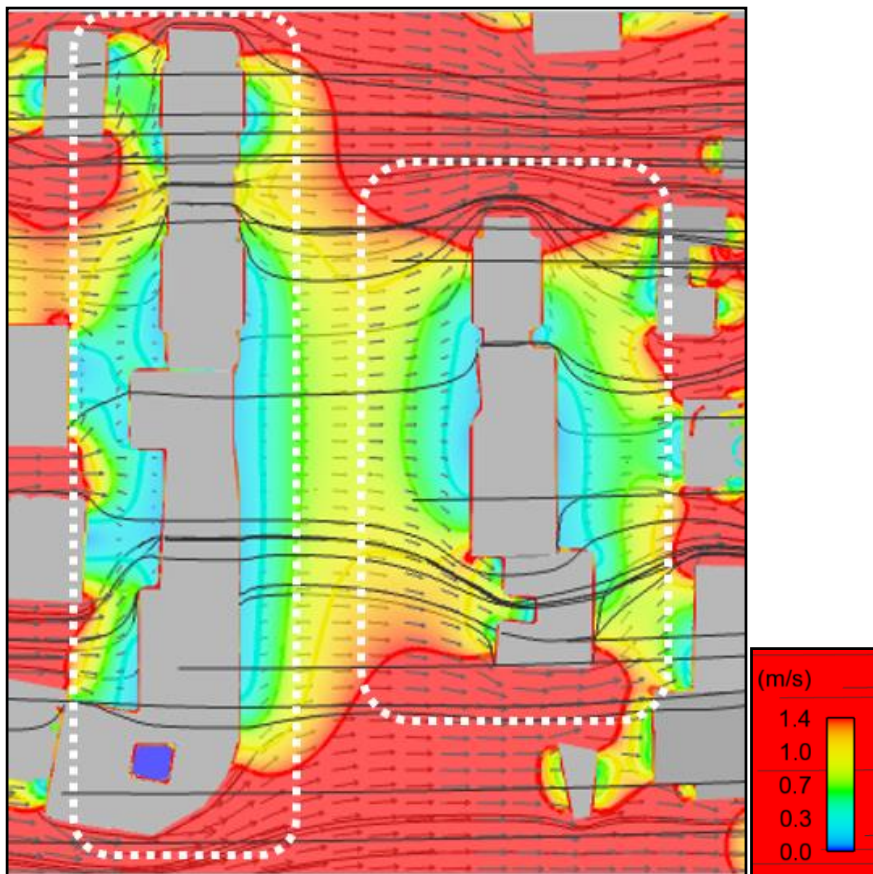
افزایش سرعت باد در بافت کم تراکم به علت برجستگی کمتر و فرم ساده توده‌ها، ارتفاع کم، در نتیجه محصوریت پایین در آن و همچنین پراکندگی آنها و پوشش غیر صلب گیاهان است. اما به علت حضور توده‌های بلندمرتبه در جلوی این توده‌ها سرعت باد کاهش می‌یابد (شکل ۱۷).

وقتی که ساختمان‌ها به صورت ردیفی و عمودی در مقابل جریان باد قرار داشته باشند باعث می‌شود که باد در پشت ساختمان‌های ردیفی کاهش یابد، در این حالت این تعداد ساختمان‌ها در سایه باد قرار می‌گیرند. چون باد به صورت مداوم به جداره‌ها برخورد می‌کند و جریان باد به اطراف و بالای ساختمان‌ها هدایت می‌گردد و این ساختمان‌ها در مسیر خیابان‌ها واقع هستند بنابراین جریان هوا در خیابان نیز کاهش می‌یابد (شکل ۱۸).

می‌تواند به علت کانالیزه شدن جریان هوا در راستای چیدمان توده‌ها باشد. در سمت چپ تصویر که توده بلندمرتبه واقع در سایت بر سرعت موضعی باد تأثیر گذاشته است و جریان باد با سرعت بیشینه به ساختمان‌ها برخورد کرده و در پشت این ساختمان‌ها به علت حفره و سایه باد، کاهش شدید سرعت باد دیده می‌شود. همچنین خروج و فشرده شدن هوا در جهت باد غالب از این معابر موجب افزایش در سرعت باد می‌شود. مسیر-ها شرقی- غربی با خطوط جریان باد زاویه تقریباً صفر درجه می‌سازند. در قسمتی که توده‌های بلندمرتبه واقع شده‌اند زمین‌های بایری نیز وجود دارند، به همین خاطر چیدمانی از نوع حیاط مرکزی ایجاد شده باعث کاهش سرعت باد می‌گردد و جریان نیز به‌طور مداوم ادامه می‌یابد. نوع حیاط مرکزی با ورودی‌هایی که اطراف آن است باعث عبور و کوران باد شده و سایه باد کمتری ایجاد می‌کند. هنگامی که جریان باد با توجه به سرعت اولیه به توده‌ها برخورد می‌کند جهت باد منحرف شده و سرعت باد در ادامه مسیر حرکت کاهش می‌یابد. در این حالت جریانی به بافت کوتاه مرتبه در سمت راست تصویر می‌رسد و به علت وجود ساختمان‌های بلند مرتبه، سایه باد در پشت آنها ایجاد می‌گردد. با توجه به اینکه جریان باد هم راستا با بازوهای بافت جدید است ولی در انتهای بلوک بلندمرتبه، توده‌های بلند بهم پیوسته دیده می‌شود که این پیوستگی مانع جریان باد شده، سرعت باد شدیداً کاهش می‌یابد و سایه باد در جلو و پشت ساختمان ایجاد می‌شود. کمترین سرعت باد نیز در پشت و جلو ساختمان‌های بلند و در امتداد معابر شمالی- جنوبی با عرض ۹ متر دیده می‌شود. این کاهش سرعت باد به علت اصطکاک در برخورد با توده‌های بلند ایجاد می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت در معابر شمالی-

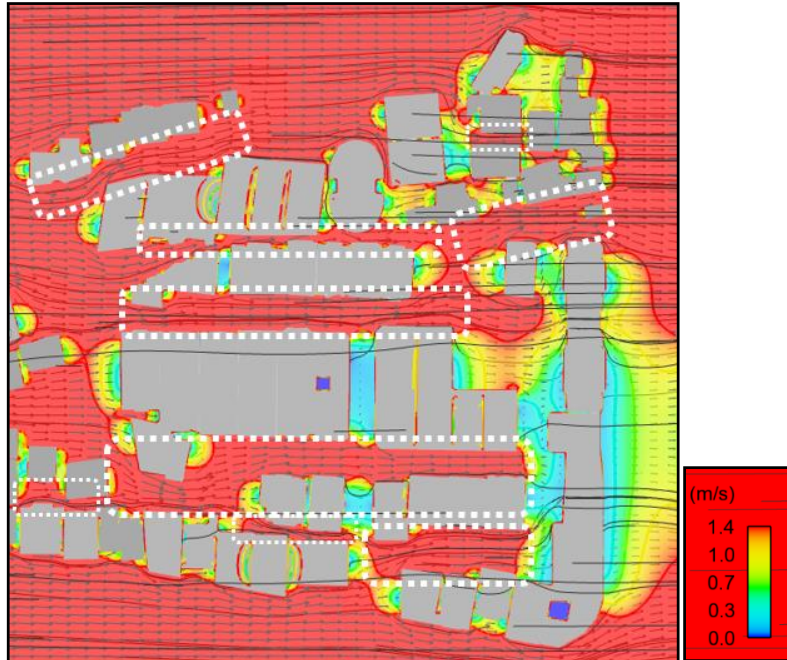


شکل ۱۷: محدوده‌های دارای معضل در اثر ایجاد جریان باد با نرم‌افزار FLOW-3D



شکل ۱۸: شبیه‌سازی توده‌های پیوسته و عمود بر جریان باد

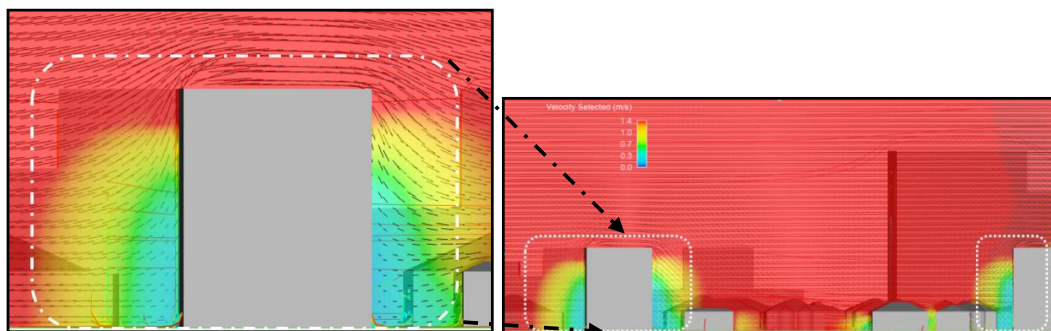
باد از میان توده‌های همراستا با جریان به صورت  
یکنواخت و با حفظ سرعت اولیه به مسیر خود  
ادامه می‌دهد (شکل ۱۹).



شکل ۱۹: شبیه‌سازی سرعت باد از میان توده‌های همراستا

ساختمان‌ها فشار منفی ایجاد می‌شود که سبب  
مکش هوا به سمت پایین شده است و باعث ایجاد  
جریان هوا در سطح زمین می‌شود. (شکل ۲۰).

ساختمان‌های بلند اثر زیادی بر الگوی جریان باد  
در شهر دارند. وقتی که جریان باد به ساختمان-  
های بلند برخورد می‌کند میزان جریان بیشتری  
در اطراف آن‌ها برقرار می‌شود، در پشت این



شکل ۲۰: شبیه‌سازی اثر باد بر ساختمان‌های بلند در مقطع

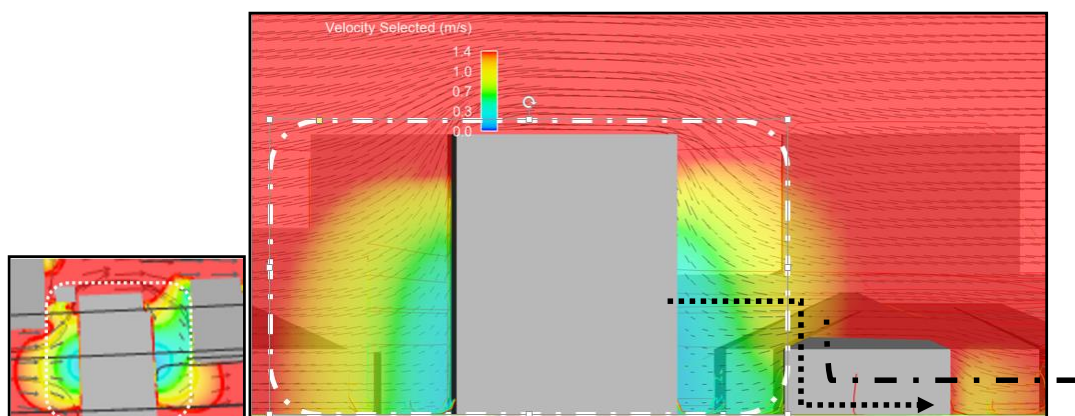
می‌شود و در هر نقطه‌ای که مانع از عبور جریان  
باد می‌شود در آن قسمت رطوبت نسبی هوا  
افزایش می‌یابد و باعث شرحی شدن محدوده می-  
گردد.

رابطه عکس بین سرعت جریان باد و انباشت  
رطوبت نسبی محیط وجود دارد. یعنی هر چه  
سرعت باد افزایش یابد رطوبت بیشتری دفع می-  
گردد، در نتیجه باعث کاهش رطوبت نسبی محیط



ساختمان‌های بلند (عرض کم و ارتفاع زیاد) قسمت زیادی از جریان باد را به اطراف منحرف می‌کند.

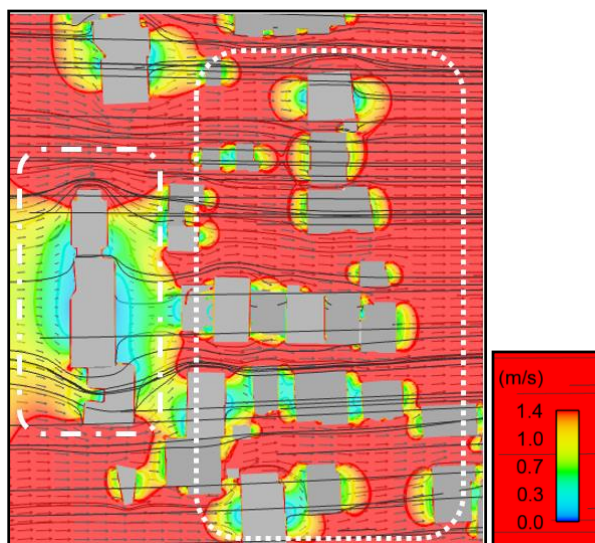
هر چه عرض توده‌ها بیشتر می‌شود میزان انحراف جهت جریان باد به اطراف بیشتر می‌شود. بنابراین جریان باد پشت ساختمان‌ها با عرض زیاد بیشتر از ساختمان‌های برجی شکل با عرض کم است (شکل ۲۱).



شکل ۲۱: شبیه‌سازی اثر باد بر ساختمان‌های بلند در پلان و مقطع

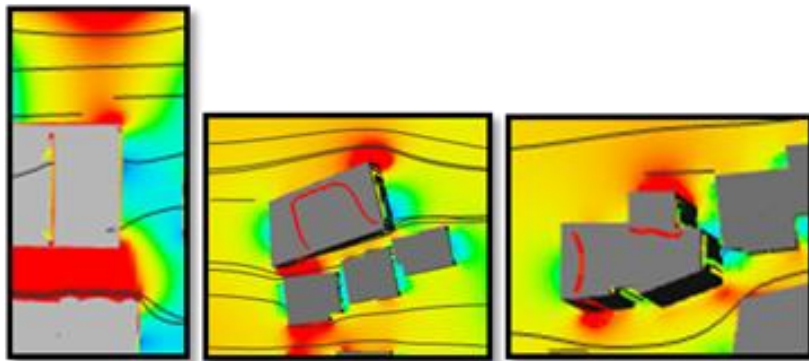
هوا بدون هیچگونه تغییر قابل توجهی از روی آنها عبور می‌کند. اما چنانچه ساختمان‌ها ابعاد بزرگتری داشته باشند و به‌طور فشرده و پیچیده در کنار هم قرار داشته باشند، جهت و سرعت باد به شدت تغییر خواهد کرد. (شکل ۲۲).

هر چه ارتفاع ساختمان‌ها و موانع در مقابل باد بیشتر باشد، نقش آنها در تغییر جهت و سرعت وزش باد بیشتر است. هنگامی که ابعاد ساختمان‌ها کوچک بوده و به‌طور پراکنده در محوطه احداث شده باشد، جریان



شکل ۲۲: شبیه‌سازی اثر جریان باد بر توده‌های کوتاه مرتبه

شتاب حرکت باد در نزدیکی لبه‌ها و گوشه‌های ساختمان زیاد است (شکل ۲۳).



شکل ۲۳: اثر جریان باد در گوشه‌ها

داده‌های تجربی برداشتی و شبیه‌سازی وجود داشته و این موضوع حاکی از تغییرات ویژگی‌های کالبدی محیط موجب تغییر در جهت و سرعت جریان باد شده است. به‌طور جزئی هر چه محصوریت بین توده‌ها و یا موانع در مقابل باد بیشتر می‌شود، تغییر جهت و سرعت توزیع باد بیشتر می‌گردد. نکته مهم این است که شکل و محدوده‌ی سایه باد توده‌ها با توجه به اندازه محصوریت و نوع جهت‌گیری توده‌ها نسبت به باد (تغییر در جهت باد به علت حضور موانع و ساختمان‌ها در مقابل باد) تغییر می‌کند. در نهایت معابر شمالی - جنوبی سرعت باد کمتری از شرقی - غربی دارند و علت آن این است که معابر شمالی - جنوبی عمود بر جریان باد و توده‌های قرار گرفته‌اند و پیوستگی‌ایی در این معابر نیز به وجود آورده‌اند، به همین خاطر جریان هوای اصلی در بالای توده‌های ساختمانی اتفاق خواهد افتاد و با توجه به سرعت پایین باد قادر به صعود در بالای ساختمان‌ها را ندارد.

در معابر شرقی - غربی سرعت باد بالایی را دارند. دلایل اصلی افزایش سرعت در این معابر را می‌توان هم راستا بودن جریان باد با این معابر، عرض کم معابر و کانالیزه شدن آن دانست.

جریان مخالف در جلوی ساختمان ایجاد می‌شود. -آشفته‌گی جریان باد در پشت ساختمان‌های بلند اتفاق می‌افتد (کانتور جریان).

-افزایش جریان باد در فضاها محدود و محصور شده (ورودی و خروجی مسیر باد) (شکل ۲۴).

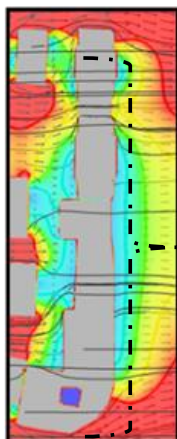
-ایجاد جریان چرخشی باد در بین ساختمان‌ها.

-مسیر ورودی جریان باد که تحت زاویه ۹۰ درجه نسبت به توده‌ها حرکت می‌کند باعث برخورد و انحراف باد شده و از سرعت آن کاسته می‌شود.

-توده‌های افقی با محور جریان باد، مقدار بادی که به سمت بالا و پایین هدایت می‌شود را کاهش می‌دهد بر عکس توده‌های عمودی (برجی شکل).

-مسیرهای هم راستا با جریان باد، جریان باد را به صورت یکنواخت هدایت کرده و این هدایت در نهایت باعث رطوبت‌زدایی و عدم انباشت سایه باد در مسیر می‌شود. برعکس مسیرهای عمود بر جریان باد که این هدایت باد را قطع کرد و سرعت را کاهش می‌دهد و باعث عدم رطوبت‌زدایی محدود می‌گردد (شکل ۲۴).

براساس نتایج به دست آمده از بررسی محدوده مشخص شده در خیابان امیرمازندرانی، در فاصله زمانی ۲-۴ بعدازظهر بیشترین و در فاصله زمانی ۶-۸ بعدازظهر کمترین ضریب همبستگی بین



شکل ۲۴: مسیره‌های عمود بر جریان باد و توزیع جریان باد

### نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه باد به عنوان یکی از عناصر اقلیمی تاثیرگذار مناطق مرطوب است لذا در طراحی فضایی-کالبدی شهر نقش بسیار مهمی در ارتقای کیفیت محیط شهری در راستای ایجاد آسایش محیطی هر چه بیشتر شهروندان دارد. از این رو نوع چیدمان مناسب کالبدی شهر در جهت جذب و تسهیل سیرکولاسیون بادهای مطلوب در جهت رطوبت‌زدایی تاثیر چشمگیری می‌گذارد. در این پژوهش با بررسی تاثیر چیدمان توده‌ها بر جریان و توزیع باد منطقه، سرعت بالای باد در محدوده‌هایی که ایجاد کننده این شرایط هستند،

باعث شده است تا رابطه معکوسی با میزان رطوبت حس شده بین توده‌ها ایجاد شود و بهینه‌ترین اتفاق در این محدوده با توجه به شرایط اقلیمی و رطوبت نسبی بالا رخ دهد. همچنین یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش سرعت در این خیابان را می‌توان به کانالیزه شدن باد در داخل آن و عرض بیشتر خیابان دانست بنابراین، با رعایت اصول طراحی در این محله با تراکم بالا و اصلاحات جدید منطقی و معقول می‌توان بافتی مناسب و فعال در باب سیرکولاسیون باد مطلوب و ایجاد موانعی در نوع چیدمان توده‌های شهری در جهت دفع باد نامطلوب در نظر گرفت.

### منابع

-مازند طرح، ۱۳۸۱. طرح جامع بابلسر، ساری: وزارت مسکن و شهرسازی.

-قبادیان، و.، ۱۳۹۰. بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ۲۶۴ ص.

-حیدری، ش.، ۱۳۹۳. سازگاری حرارتی در معماری نخستین قدم در صرف جویی مصرف انرژی، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۶۸ ص.

-حیدری، ش.، ۱۳۹۱. برهمکنش جریان هوا، دما و راحتی در فضاهای باز شهری، هنرهای زیبا معماری و شهرسازی، شماره ۱۷، ص ۳۷-۴۲.

- American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002. Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations, Published by (AIAA G-077-1998(2002), Feb 27, 2002. <http://doi.org/10.2514/4.472855>
- Bakker, A., 2002-2006. Applied Computational Fluid Dynamics, Turbulence Models, <http://www.bakker.org>, Lecture 10. FLOW-3D Usar Manual. Version 11.2. Flow Science Inc 2016.
- Givoni, B., 2003. Urban Design and Climate, In Time-Saver for Urban Design, Mc Graw Hill. United States of America, 960 p.
- Givoni, B., 1998. Climate Considerations in Building and Urban Design, John Wiley & Sons, New York, January, 480 p.
- Guo, F., Fan, Y. and Zhang, H., 2015. Natural Ventilation Performance in a High Density Urban Area Based on CFD Numerical Simulations, ISUS 9-9<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate, Dalian, June 15, 2015.
- Humphreys, M.A., 1999. The Relationship Between Scales of Comfort and Scales of Warmth, UK Thermal comfort group meeting, University of Sheffield, Sep.
- Klemm, K. and Jablonski, M., 2004. Wind speed at pedestrian level in a residential building complex, At The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Eindhoven, The Netherlands, 19 - 22 September.
- Mayer, E., 1992. New Measurements of the Convective Heat Transfer Coefficients: Influences of Turbulence, Mean Air Velocity and Geometry of Human Body, Proceedings of ROOMVENT'92, Third, International Conference, Aalborg, Denmark, September 2-4, Publisher: DANVAK, Lynqby, Denmark, v. 3.
- National Meteorological Library and Archive Fact sheet 14 — Microclimates, 2011. Produced by the Met Office, 240 p.
- Oberkampf, W.L. and Trucano, T.G., 2002. Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics, Sandia National Laboratories P. O. Box 5800 Albuquerque, 124 p.
- Olgyay, V., 1963. Design with climate: bioclimatic approach to Architectural Regionalism, Princeton University Press Princeton, N.J., 190 P.
- Penwarden, A.D., 1973. Acceptable in Speeds in Towns Build, Garston, Building Science, v. 8(3), p. 259-267.
- Szucs, A., 2013. Wind comfort in a public urban space—Case study within Dublin Docklands, Frontiers of Architectural Research, v. 2, p. 50-66
- Shishegar, N., 2013. Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons, Clean Energy Technologies, v. 1(1), p. 52-56.
- Tanabe, S., Sung, J., Choi, D., Baba, N., Kiyota, M., Yoshida, K. and Tatsukawa, R., 1994. Persistent organochlorine residues in northern fur seal from the Pacific coast of Japan since 1971, Environ Pollut, v. 85, p. 305-314.
- Yakhot, V., Thangam, S., Gatski, T., Orszag, S.A. and Speziale, C.G., 1992. Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique, Physics of Fluids, v. A4(7), p. 1510-1520.