مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هشتم، شماره سی و دوم، تابستان ۱۳۹۷

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۶ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۵/۱۴

صص ۸۰-۶۸

فرم مناسب ساختمان‌های مسکونی شهر زابل در جهت کنترل انباشت آلاینده‌های بادهای ۱۲۰ روزه

سعیده خاکسفیدی، کارشناس ارشد معماری-دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول

بهزاد وثیق *، استادیار گروه معماری-دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول

محسن تابان، استادیار گروه معماری-دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول

چکیده

با وقوع خشک‌سالی در زابل فرسایش زیست‌گاه‌های انسانی بالأخص در مناطقی که در معرض انباشت شن و ماسه هستند، دیده شده است. ایجاد فرم شهری بهینه می‌تواند روشی جهت مقابله در برابر اثرات مخرب آن باشد. روش تحقیق در این مقاله مبتنی بر روش شبیه‌سازی جریان هوای دارای پارتیکل و بررسی فرم شهر است. هدف یافتن بهینه‌ترین فرم شهری متناسب با کاهش نشست آلاینده‌های باد در منطقه‌ی شهری زابل است. طراحی فرم شهری از طریق شبیه‌سازی جریان هوا با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی سیالات Flow 3D موردبررسی قرار گرفت. یک زمین مسطح با یک پیکربندی اولیه برای مدل انتخاب شد و هر بار رفتار جریان هوا در مدل‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. در این مطالعه، رابطه‌ی بین سرعت باد شهری و پارامترهای مورفولوژیکی مانند ابعاد، هندسه ساختمان و تراکم ساختمان بررسی گردید و این نتیجه حاصل شد که سرعت باد شهری می‌تواند به کاهش رکود شن و ماسه با در نظر گرفتن مقادیر مناسب این پارامترها کمک کند؛ بنابراین از طریق مطالعه‌ی شکل شهری و ایجاد تمهیداتی نظیر ارتفاع ساختمان از زمین، تعیین طول مناسب بلوک شهری و نحوه‌ی اتصال ساختمان‌های هم‌جوار می‌توان با تغییر در سرعت باد، ذرات انباشته‌شده را تا حد مجاز از شهر تخلیه کرد.

واژگان کلیدی: زابل، شبیه‌سازی، آلاینده‌های باد.

نویسنده‌ی مسئول: * Email: vasiq@jsu.ac.ir

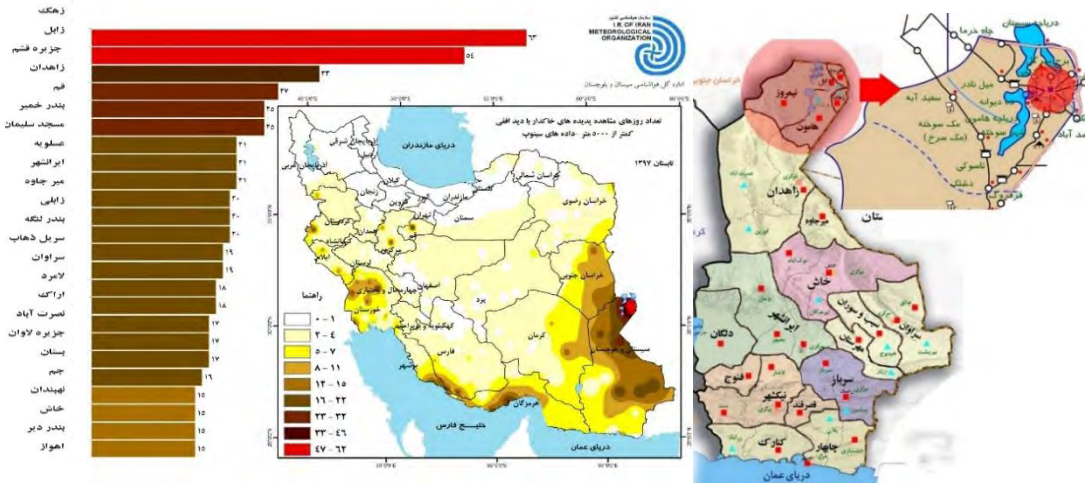
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد سعیده خاکسفیدی تحت عنوان «طراحی مجموعه‌ی مسکونی در جهت استفاده از تهویه‌ی طبیعی در اقلیم گرم وخشک (نمونه‌ی موردی: شهر زابل» می‌باشد.

۱- مقدمه

زیست‌گاه‌های بومی انسانی و جانوری در سال‌های اخیر متحمل خساراتی از سوی پدیده‌ی خشک‌سالی و به تبع آن، گردوغبار بوده است که در منطقه‌ی خاورمیانه به‌واسطه‌ی وقوع و تکرار آن این مطلب بیش‌تر دیده می‌شود. آسیب‌هایی ازاین‌دست، علاوه بر آسیب‌های سلامت و بهداشت جمعیت منجر به تغییرات جمعیتی شده است که مهاجرت جوامع و آسیب‌های اجتماعی بسیاری را در پی دارد(فیروزنیا و رکن‌الدین افتخاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۰). فرسایش بادی به کاهش سیستم ایمنی بدن در مقابل بیماری‌ها، از بین رفتن بافت ریه، افزایش آسم کودکان، ایجاد خسارت به اراضی کشاورزی، دامداران، سکونتگاه‌های روستایی، منجر می‌شود (Mestoul, 2016: 45). به‌عبارتی‌دیگر، پدیده‌ی گردوخاک سبب اختلال گسترده در روند زندگی و کاهش توانایی فردی و جمعی خواهد شد(کیانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۹). ازجمله‌ی این مخاطرات طبیعی در منطقه‌ی زابل، وقوع توفان‌های شن و ماسه و فرسایش بادی ناشی از آن است. عملکرد این پدیده موجب افت محسوسی در فعالیت‌های اقتصادی شده و ناگزیر تجهیزات و امکانات و نیروی انسانی زیادی جهت زدودن رسوب‌های بادی اختصاص می‌یابد(فاضل‌نیا، ۱۳۹۰: ۵). مسئله‌ی اصلی، یافتن مناسب‌ترین وضعیت پارامترهای مورفولوژیک ساختمان جهت کنترل انباشت آلاینده‌های بادهای ۱۲۰ روزه‌ی زابل است. تحقیقات مرتبط با موضوع پژوهش شامل بررسی‌های حرکت باد، تجربیات بهره‌گیری از تهویه در مناطق متحمل گردوخاک و اثرات گردوخاک بر زیست‌بوم‌های طبیعی و انسانی است. صاحب‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعه‌ی تطبیقی معماری مناطق بادی گرم و خشک به بررسی پارامترهایی مانند جهت‌گیری، پیاده‌روها، نماها، متریال، ورودی‌ها، حیاط‌ها، سایبان‌ها و جنبه‌های متفاوت از ساخت و تکنیک‌های مختلف پایداری این مناطق می‌پردازد. زارعی و بهبودی (۱۳۹۵) با استفاده از نرم‌افزار FLUENT سرعت و فشار باد در قسمت‌های مختلف قلعه‌ی ورمال نشان داده که طراحی معماری این قلعه با سرعت و فشار حرکت بادهای غالب ۱۲۰ روزه‌ی زابل شمال و شمال غربی تطبیق مناسبی دارد. عباس‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی نقش باد در آرایش ساختار فضایی-کالبدی شهرهای زابل و بوشهر پرداختند و نتایج نشان می‌دهد که گذرهای اصلی شهر دارای سلسله‌مراتب دریافت، هدایت و توزیع باد مطلوب و دفع باد نامطلوب هستند. مسئول و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه‌ی مدل‌سازی جریان هوا در قالب شهری علیه انباشت شن و ماسه در شهر تیمون الجزایر پرداخته و بیان می‌کنند که نسبت ابعاد، هندسه‌ی ساخت و تراکم ساختمان بر کاهش سرعت باد و کم شدن شن و ماسه در اطراف ساختمان‌ها، عوامل مؤثر مورفولوژیک شکل‌دهنده به ساختمان‌های شهری مقاوم در برابر گردوخاک خواهند بود. اسکندری ثانی و همکاران (۱۳۹۱) بر استقرار ساختمان‌ها بر اساس جهت باد و بهینه-گزینی آن در شهر زاهدان پرداخته و جهات شمال تا شمال شرقی را حالت بهینه که جهت‌گیری مناسب ساختمان می‌دانند. سلیقه (۱۳۸۲) به اثر باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل پرداخته و نتایج نشان داده که در خیابان‌هایی که جهت آن‌ها به‌موازات جهت بادهای غالب است، بنادر در حکم بادشکن عمل کرده و اثر کانالیزاسیون خیابان باعث افزایش سرعت و تشدید اثرات باد شده و در خیابان‌هایی که عمود بر جهت وزش است، اثر سیرکولاسیون و چرخش هوا، سبب انباشته‌شدن ماسه‌های بادی و آلودگی‌های محیطی می‌گردد. یانگ و همکاران (۲۰۱۳) ارتباط متقابل ساختار هندسی ساختمان و رفتار باد را بررسی و نشان داده که بهبود شرایط تهویه در مناطق شهری با حذف بلوک-های بلندمرتبه محقق شده است. آهوجا و دالویی (۲۰۰۶) نشان می‌دهند که وجود سکو در تراز همکف، بیرون‌زدگی و تورفتگی‌های فضای ورودی و ایجاد گوشه‌های پخ در تراز همکف زمینه‌ساز آسایش پیاده است. این تحقیقات عمدتاً بر مطالعه‌ی باد فارغ از وجود ریزدانه و آلاینده‌های محیطی پرداخته است که با توجه به جنس بادهای زابل که حاوی شن و خاک هستند، نمی‌توانند خلأهای پژوهشی مقاله‌ی حاضر را پوشش دهند و یا مطالعه بر روی بازشناسی تجربه‌ی معماری گذشته‌ی منطقه‌ی زابل است که این‌گونه تحقیقات از مدل‌سازی جریان باد جهت شناسایی رفتار باد چشم-پوشی نموده‌اند.

۲- منطقه‌ی موردمطالعه

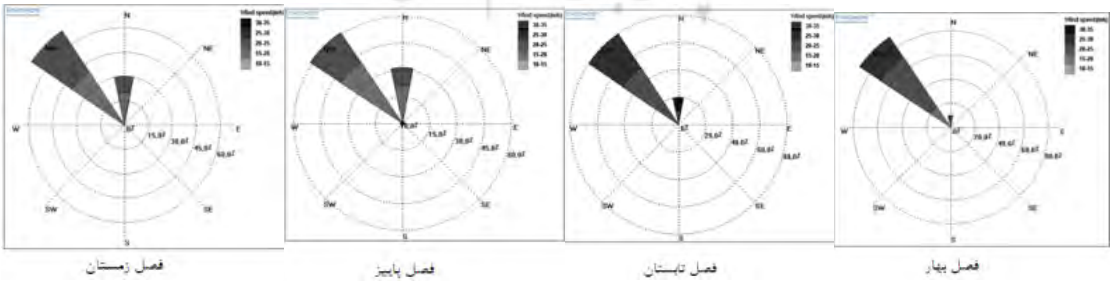
بر اساس آمارهای اقلیمی استان سیستان و بلوچستان دارای اقلیمی گرم و خشک است. این استان از دو منطقه‌ی کاملاً متمایز سیستان و بلوچستان تشکیل شده است(افشار سیستانی، ۱۳۸۳: ۶). در منطقه‌ی سیستان به‌طور متوسط سالیانه بیش از ۳۰۰ روز خشکی وجود دارد. اقلیم آن به روش گوسن، بیابانی و به روش کوپن، بسیار گرم با تابستان خشک و به روش تحلیل خوشه‌ای بسیار کم بارش، گرم و خشک است. منطقه‌ی سیستان شامل شهرستان‌های زاهدان زابل، زهک، نیمروز، هامون و هیرمند است. شهر زابل با فاصله‌ی ۲۰۷ کیلومتری از مرکز استان، زاهدان، منطقه‌ی موردمطالعه‌ی این تحقیق است (شکل ۱، راست). آب‌وهوای زابل از نوع بیابانی و گرم و خشک با حداقل دما در دی‌ماه ۷ درجه و حداکثر دما در تیرماه بالای ۴۵ درجه گزارش شده است. جریان باد در شهرستان در کلیه‌ی فصول برقرار است، بادهای ۱۲۰ روزه حاصل توده‌های پرفشار غربی است که در فصل تابستان از جهت شمال غرب به جنوب شرق می‌وزد. حداکثر وزش این باد در تیرماه به ۱۲۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد که در این مسیر باعث جابه‌جایی ریگ‌های روان می‌گردد و توفان‌های شن، تپه‌ی ماهور و ماسه‌بادی را شکل می‌دهد. طبق برآوردی که از تعداد روزهای توأم با توفان و گردوخاک برای یک دوره‌ی ۱۰ ساله در سطح کشور به عمل آمده، منطقه‌ی زابل با بیش از ۱۵۰۰ روز، بالاترین نسبت را در سطح کشور به خود اختصاص داده است(فاضل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰، ۴-۵). بر اساس مطالعه‌ی سازمان هواشناسی کشوری، مناطق زهک و زابل بالاترین تعداد روزهای آلودگی زیست‌محیطی حاصل از گردوخاک را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۱، چپ)؛ اگرچه بادهای بسیار قوی دارای تداوم کم می‌باشند، اما نقش اصلی و مؤثرتری در حمل ماسه ایفا می‌کنند(امیری و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۸). ازآنجایی‌که نقل‌وانتقال ماسه، نتیجه و برآیند ویژگی‌های باد است، ازاین‌رو محدوده‌ی موردمطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. می‌توان گفت در منطقه‌ی زابل که سرعت وزش بادهای شمالی و شمال غربی در اغلب موارد بیش از ۱۵ کیلومتر در ساعت است، خشک‌سالی پدیده‌ی غالب منطقه‌ی زابل است که نه‌تنها بر اوضاع جوامع زیستی، بلکه بر محیط سکونتگاه‌های شهری و روستایی تأثیرات منفی داشته است. این تأثیرات در محیط‌های فیزیکی-کالبدی باعث ایجاد مسائل و مشکلات متعددی (انباشت ماسه، خسارات به تأسیسات مناطق مسکونی و...) می‌گردد که حل بسیاری از آن‌ها مستلزم صرف هزینه‌های کلان اقتصادی است(نگارش و لطیفی، ۱۳۸۸: ۷۷). اگرچه در منطقه‌ی زابل (به دلیل وجود بادهای ۱۲۰ روزه و از طرفی وجود خاک حساس به فرسایش بادی در این منطقه)، فرسایش بادی در گذشته نیز وجود داشته است، اما پس از وقوع خشک‌سالی به دلیل فراهم شدن شرایط فرسایش بادی شدت یافته و توفان‌های گردوخاک شکل گرفته و به حداکثر شدت خود رسیده است(میری و همکاران، ۱۳۸۸: ص؟). به نظر می‌رسد که علاوه بر مدیریت ناصحیح خشک‌سالی منطقه، مشکلاتی از قبیل جهت‌گیری نادرست شکل کالبدی نسبت به بادهای مخرب و شکل نامناسب ساختمان‌ها مطابق با شرایط اقلیمی موجود بر شدت این آسیب‌ها افزوده است؛ بنابراین با قبول این نکته که در زابل بادهایی شدید حاوی گردوخاک با قدرت بیش از ۱۰ m/s در اغلب سال می‌وزند، این تحقیق به دنبال آن است تا با تعریف یک شکل شهری خاص بر حرکت باد تأثیر بگذارد.



شکل ۱: راست: موقعیت استان و زابل (صاحب‌زاده و همکاران ۲۰۱۷ :۳) چپ: میزان آلودگی باد (پورتال سازمان هواشناسی سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۷)

۳- مواد و روش‌ها

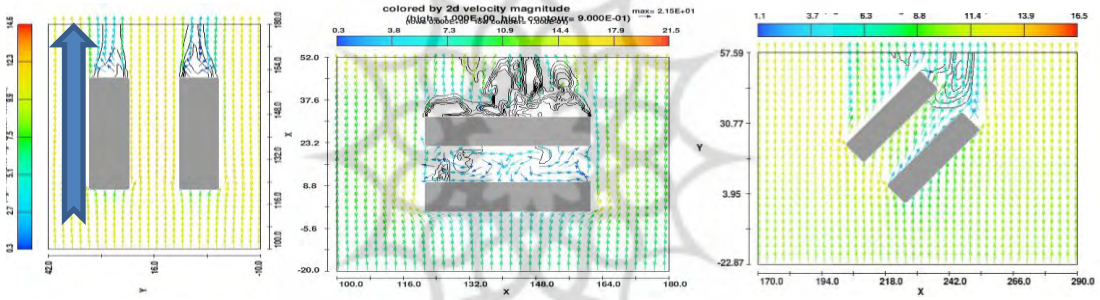
داده‌های آماری (سرعت و جهت باد) از آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زابل گرفته شده است (شکل ۲) و در ادامه با استفاده از شبیه‌سازی برای درک رفتار باد در قالب شهری، از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده شده است. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار Flow3D استفاده می‌شود؛ چون در مورد صحت نتایج حاصل از آن پژوهش‌های زیادی انجام شده است. در این نرم‌افزار، مدل آشفتگی k استاندارد انتخاب شده است. این مدل بیش‌ترین استفاده را برای شبیه‌سازی ویژگی‌های میانگین جریان در شرایط جریان آشفته دارد. مدل کا-اپسیلن استاندارد یا Standard k-ε Model یک مدل بر اساس مدل معادلات انتقال برای انرژی جنبشی آشفته (K) و نرخ اتلاف آن است. معادله‌ی انتقال برای انرژی جنبشی آشفته از معادله‌ی دقیق مشتق شده است؛ درحالی‌که معادله‌ی انتقال برای نرخ اتلاف (اپسیلن) با استفاده از استدلال فیزیکی و شباهتی به همتای ریاضی دقیق آن به دست آمد. در به دست آوردن مدل کا-اپسیلن استاندارد فرض بر این است که جریان کاملاً آشفته است و از اثرات لزجت مولکولی قابل‌اغماض است؛ بنابراین مدل کا-اپسیلن استاندارد تنها برای جریان متلاطم معتبر است. مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای ترسیم سه‌بعدی صورت گرفت. سپس در نرم‌افزار FLOW 3D نوع سیال و میزان تراکم‌پذیری، نوع سیال و شرایط فیزیکی آن معین شد. مدل موردنظر مش‌بندی شده، شرایط مرزی و جهت و سرعت جریان مشخص شد و درنهایت خروجی موردنظر برداشت می‌شود.



شکل ۲: گلباد فصلی ایستگاه زابل (۲۰۰۸-۱۹۹۹) منبع (طاووسی و همکاران ۱۳۸۹: ۱۰۱)

۴- بحث و نتایج

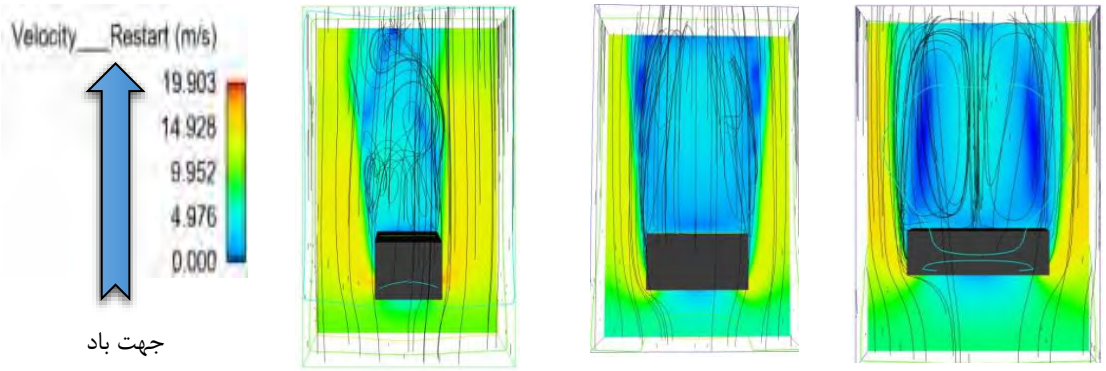
گلباد زابل جهت بیشینه‌ی سرعت باد را در سمت شمال غربی نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن جهت قرارگیری خیابان‌ها و معابر اصلی بافت شهری از طریق نقشه‌های هوایی باید جهت‌گیری توده‌ها متناسب با اقلیم و جهت باد منطقه انتخاب شود. بر اساس مطالعات، زمانی که خیابان‌ها در آرایش منظم و توده‌ها با زاویه‌ای در محدوده‌ی ۲۰ درجه نسبت به باد مطلوب قرار گیرند، تهویه‌ی هوا بهینه است. رابطه‌ی مستقیمی بین افزایش سرعت باد و کاهش انباشت ذرات وجود دارد و با افزایش سرعت باد، ذرات شن و ماسه حمل‌شده از محدوده خارج می‌شوند (Passe&, Battaglia 2015: 212). با توجه به این نکته، هدف از جهت‌گیری در برابر باد این است که علاوه بر در نظر گرفتن تهویه‌ی مناسب خیابان، جهتی انتخاب شود که کم‌ترین میزان انباشت آلاینده را داشته و عامل انتشار آلودگی در شهر نشود. بنابراین در توده‌ی کلان پیش‌فرض را بر بیشینه‌ی سرعت باد قرار داده تا آلودگی‌ها به‌وسیله‌ی سرعت باد جابه‌جا شود؛ بنابراین ابتدا با در نظر گرفتن پیش‌فرض بیشینه‌ی سرعت باد در توده‌ی کلان شبیه‌سازی‌ها مطالعه می‌شود. بدین منظور به‌وجودآوردن خیابان‌هایی که نسبت به باد زاویه‌های مختلف ۱۸۰،۹۰،۴۵ درجه دارند، مدنظر است. در همه‌ی شبیه‌سازی‌ها دو توده در دو طرف خیابان با ارتفاع‌های یکسان مدل‌سازی شدند و با چرخش گفته‌شده نسبت به جهت باد غالب بررسی شدند. سرعت و شدت باد متناسب با سرعت متوسط سالیانه‌ی باد منطقه‌ی m/s۱۰ انتخاب شد. فلش، جهت باد را و رنگ آن‌ها، سرعت متوسط باد را نشان می‌دهند (شکل ۳).



شکل ۳: معابر در سه حالت از راست؛ ۴۵ درجه موازی و عمود بر جهت باد

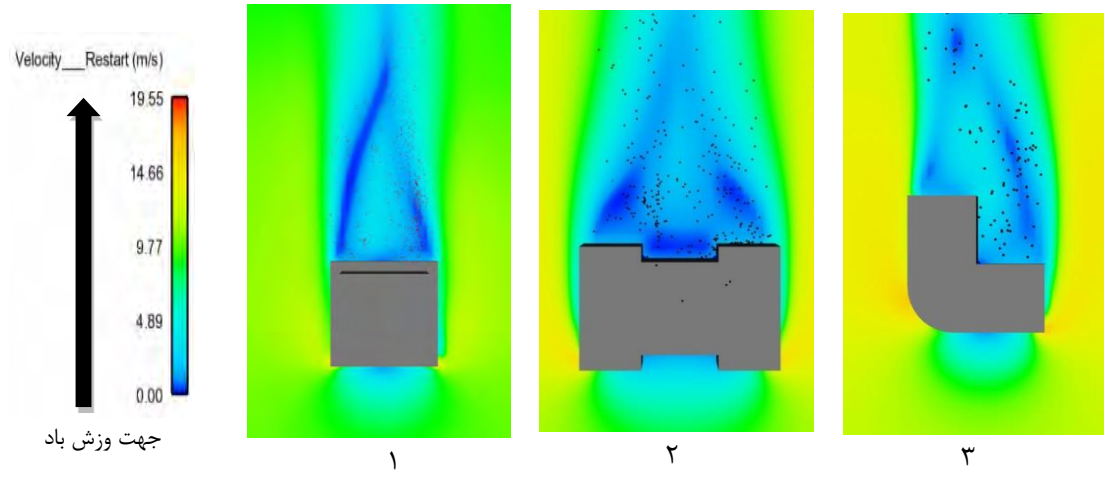
با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی این مورد حاصل شد که معابر و خیابان‌هایی که در جهت عمود بر باد نامطلوب شهر قرارگرفته‌اند، به دلیل کاهش سرعت باد در برخورد با موانع، باعث انباشت گردوخاک و معابری که با زاویه‌ی نسبت به جهت باد نامطلوب قرار گرفته‌اند، باعث پراکندگی سرعت و نیز ذرات در برخورد با موانع شده‌اند. همچنین معابر موازی با جهت باد به دلیل بیشینه‌ی سرعت دارای کم‌ترین اثر انباشت شن و ماسه است؛ بنابراین از بین سه حالت بالا، خیابان‌های موازی با جهت باد بیش‌ترین هماهنگی با پیش‌فرض تعریف‌شده را دارند و بهترین گزینه می‌باشند. ازآنجایی‌که در برخی از فصول، سرعت باد در زابل بسیار زیاد است، تأثیر این بادها در طراحی توده اهمیت دارد. در مقیاس میانه، سنجه‌های نحوه‌ی هم‌جواری، چیدمان و موقعیت ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر قیاس می‌شوند. ویژگی‌های باد اعم از سرعت، شتاب، تواتر وزش و... ازجمله پارامترهای مؤثر بر آسایش اقلیمی در یک فضای شهری هستند. رفتار آیرودینامیکی باد در تراز پیاده‌ی اطراف ساختمان، حاصل تعامل ویژگی‌های اولیه‌ی باد و ساختار کالبدی خود ساختمان‌ها (شکل، اندازه، ارتفاع) است(blocken &: carmelient 2008: 55). با توجه به این نکته که افراد در محدوده‌ای که سرعت باد بین ۲ تا ۶ m/s باشد، احساس آسایش می‌کنند، این پیش‌فرض در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر ویژگی‌هایی چون حرکت چرخشی، دما و تواتر و... باد علاوه بر خصوصیات جهت و سرعت، در برخورد با موانع اهمیت خاصی دارد که در این رابطه نیز شبیه‌سازی انجام شد. ابتدا رفتار باد در اطراف مکعب بررسی شد، سپس تناسبات مکعب تغییر داده شد و هر بار رفتار باد در پشت مانع مطالعه می‌شود. سیال هوا با سرعت اولیه‌ی ۱۰ m/s

(متناسب با متوسط سرعت باد در سال در شهر زابل) و محدوده‌ی مش‌بندی با ابعاد ۳ برابر حجم در منطقه‌ی سایه‌ی باد تعریف شد تا بتوان رفتار باد را تحلیل کرد. بر این اساس مشاهده می‌شود که هرچه تناسبات شکل از ۱ به ۱ به سمت شکل مکعب مستطیل تغییر می‌کند، منطقه‌ی پشت به باد بیش‌تر تحت تأثیر قرارگرفته؛ تا جایی که در شکلی با تناسبات ۳ به ۱ حرکت چرخشی باد به دو قسمت تقسیم شده و با بیش‌ترین سرعت در مرکز منطقه پشت به باد بر شکل اثر می‌گذارد (شکل ۴).



شکل ۴: مطالعه‌ی سایه‌ی باد از طریق شبیه‌سازی مکعب با ابعاد مختلف در برابر باد

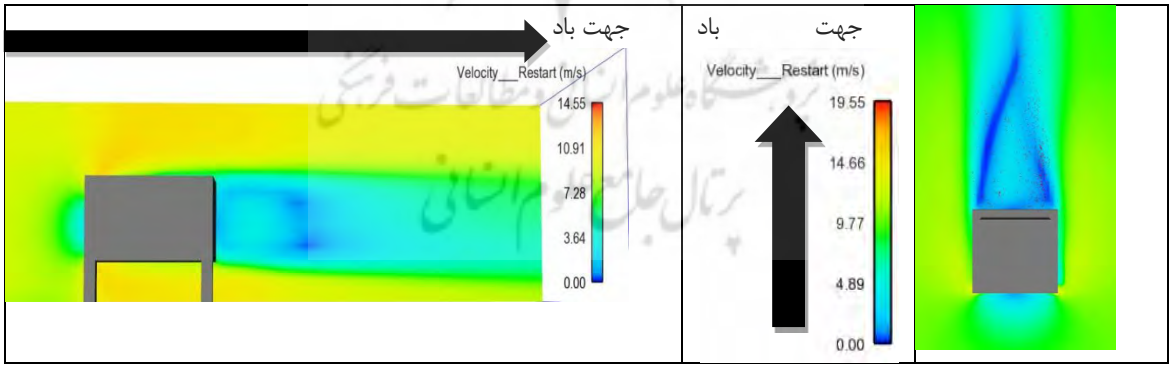
با توجه به نوع آلودگی در بادهای ۱۲۰ روزه با استفاده از شبیه‌سازی شرایط موجود و فعال‌سازی پارتیکل و تعریف ذراتی با قطر ۰/۲۵ میکرون در جهت سرعت بیشینه‌ی باد نتایج نشان می‌دهد که با وجود کاهش سرعت باد در پشت مانع، افزایش حرکت چرخشی باد، باعث هدایت ذرات همراه با سرعت به پوسته‌ی پشت مانع می‌شود؛ بنابراین گردوغبارها می‌توانند برخلاف جهت باد محلی نیز حرکت کنند. این نکته نشان می‌دهد که در پشت مانع یا باید بازشو قرار نگیرد یا با تمهیدات بسیار خاصی برای جلوگیری از ورود ذرات به داخل فضا اجرا شود. با توجه به ماهیت باد، مهم‌ترین عامل کنترل جریان هوا در مقیاس شهری، هندسه‌ی فضایی است. تمام فضاهای بین ساختمان‌ها، هر دو فاصله‌ی افقی، رابطه‌ی ساختمان با ارتفاع آن پارامترهایی است که با قرار گرفتن در معرض باد، سطح در پناه باد را ازنظر توزیع فشار، متوسط سرعت و... تحت تأثیر قرار می‌دهد(Teodor, & etal. 2013: 727). از طریق شبیه‌سازیCFD، ابتدا سعی خواهد شد که تا به این نکته پی برده شود که دانه‌های شن و ماسه در چه سرعتی از باد همچنان محفوظ می‌مانند و حرکت نمی‌کنند؛ یا کم‌ترین سرعتی که باعث حرکت شن و ماسه می‌شود، چند m/s است. برای این منظور ابتدا شکل‌های مختلفی مورد آزمایش قرار گرفت. مدل‌سازی هریک از حجم‌ها در نرم‌افزار اتوکد انجام شد. مش‌بندی با ابعادی حدود سه برابر در اطراف حجم صورت گرفت و تعدادی ذره برای هر کدام از حجم‌ها تعریف شد. همچنین سرعت اولیه متناسب با کم‌ترین مقدار میانگین سرعت در منطقه برای سیال ۱۰ m/s در نظر گرفته شد. ابتدا سه شکل شبیه‌سازی شدند و رفتار جریان باد در اطراف آن‌ها بررسی می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵ نمایش متوسط سرعت سیال و پراکندگی ذرات شن و ماسه در سرعت‌های مختلف

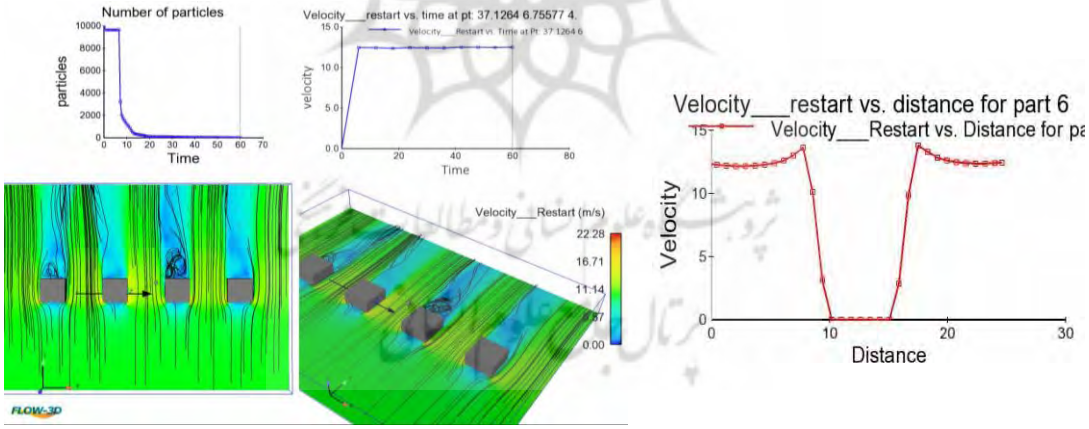
پارامترهای فیزیکی شامل شکل ساختمان و ارتباط ساختمان با زمین، با سرعت باد برابر با ۲ تا ۴ m/s (آستانه‌ی جهش ذرات گردوغبار) مرتبط است. با توجه به راهنمای نقشه، سرعت‌های پایین‌تر از ۴ m/s با ترکیبات رنگ آبی و بالاتر از آن با رنگ‌های سبز و زرد و قرمز نشان داده شده است. در هر سه شکل مدل‌سازی‌شده در سرعت‌های پایین‌تر از ۴ m/s انباشت ذرات مشاهده می‌شود (ذرات بزرگ‌نمایی شده‌اند) و در فرم شماره‌ی ۲ که شکستگی در جهت پشت به باد دارد، بیش‌ترین مقدار سرعت کم‌تر از ۴ m/s در نزدیکی ساختمان دیده می‌شود؛ بنابراین برای جلوگیری از این انباشت باید تناسبات و فرم هندسی شکل‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شود که در تمام نقاط سرعت بالاتر از ۴ m/s ایجاد شود. از دو شکل باقی‌مانده، تناسبات فرم شماره‌ی ۱ موردپژوهش قرار گرفت (کوتاه‌ترین منطقه‌ی دنباله برای ساختمانی است که قاعده‌ی آن مربع و ارتفاع آن نصف طول قاعده باشد (رازجویان، ۱۳۸۶: ۲۰۴)). بر این اساس، مکعبی با ابعاد ۸*۸*۴ که کم‌ترین ارتباط را با محیط بیرون را دارد انتخاب شد (جدول ۱).

جدول ۱: راست: نمایش سرعت حرکت باد در اطراف ساختمان چپ: تناسبات حجمی شکل شبیه‌سازی‌شده چپ: شبیه‌سازی سرعت حرکت باد در اطراف ساختمان با پیلوت



همان‌طور که مشاهده می‌شود در منطقه‌ی سایه‌ی باد این حجم سرعت‌های پایین‌تر از ۴ m/s وجود دارد. هدف افزایش سرعت باد برای کاهش تجمع ذرات تعیین شده است؛ لذا باید تغییراتی در حجم و یا جانمایی ساختمان صورت گیرد تا سرعت افزایش یابد. راهکارهای زیادی برای کنترل رفتار باد در اطراف ساختمان‌ها وجود دارد؛ ازجمله تغییر فرم ساختمان‌ها، چیدمان آن‌ها، نوسان ارتفاع ساختمان‌ها و...؛ اما در این پژوهش، هدف افزایش سرعت در محدوده‌ای نزدیک به زمین است. علت گزینش این هدف، کاهش تجمع ذرات شن و ماسه و آسیب‌های وارده به ساختمان در اثر بادهای ۱۲۰ روزه است. برای این منظور، فاصله از زمین به‌عنوان راه‌کاری برای افزایش سرعت باد و کاهش تجمعات

شن و ماسه در نظر گرفته شد. بر این مبنا حجمی با تناسبات شکل زیر مدل‌سازی شده و با سرعت اولیه‌ی ۱۰ متر بر ثانیه در برابر باد قرار گرفت. با توجه به هدف تحقیق که یافتن رابطه بین فاصله‌ی بنا از زمین، حداکثر طول برای یک مجموعه شهری، محصوریت بین ساختمان‌ها و کنترل سرعت باد است، لازم است ابتدا متغیر فاصله از زمین سنجیده شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با فاصله گرفتن ساختمان از زمین و ایجاد شرایطی برای عبور جریان باد از زیر ساختمان سرعت در منطقه‌ی نزدیک به زمین افزایش یافته است (جدول ۱). این نکته‌ی مثبتی برای حل مسئله است، اما این سرعت بسیار بیش‌تر از حداکثر سرعت موردنیاز در زیر ساختمان‌هاست. از طرفی به‌ندرت می‌توان ساختمان منفردی طراحی کرد که مناطق ایرودینامیکی آن‌ها متأثر از ساخت‌وساز ساختمان‌های اطراف آن نباشد یا منطقه‌ی ایرودینامیکی ساختمان‌های اطراف خود را تحت تأثیر قرار ندهند؛ بنابراین آگاهی از رفتار باد در یک مجموعه‌ی ساختمانی ضروری به نظر می‌رسد(رازجویان ۱۳۸۶: ۱۰۲). گونه‌های مختلفی از قرارگیری ساختمان‌ها جهت کنترل اثر باد، مانند گونه‌ی ستونی، ردیفی، کنجی، حیاط مرکزی، خیابانی، قیفی، پلکانی و زیگوراتی وجود دارد. در این پژوهش با توجه به مطلوب یا نامطلوب بودن گونه‌ها در برابر مقابله با گردوغبار از گونه‌ی ردیفی استفاده شده است و با توجه به اینکه یک مجموعه به‌صورت ردیفی پشت سرهم طراحی می‌شود و سرعت اولیه‌ی باد بسیار زیاد است، جهت جلوگیری از افزایش بی‌رویه‌ی سرعت اولیه (به وجود آمدن تونل باد) در این‌گونه در محدوده‌ی فاصله‌ی بین ساختمان‌ها باید از افزایش سرعت بیش‌تر از سرعت اولیه کاست؛ بنابراین جهت کاهش سرعت باد در این محدوده می‌توان فاصله‌ی بین ساختمان‌ها را از نصف ارتفاع آن‌ها کوچک‌تر و یا از دو برابر ارتفاع آن‌ها بزرگ‌تر انتخاب کرد (همان: ۲۰۹). با توجه به ارتفاع ساختمان (۴ متر) فاصله‌ی ساختمان‌ها به‌اندازه‌ی ۳ برابر ارتفاع ساختمان‌ها؛ یعنی ۱۲ متر در نظر گرفته شد و شبیه‌سازی با تغییر سایر پارامترهای تأثیرگذار بر رفتار آیرودینامیکی باد انجام شد؛ بنابراین، در این مدل‌سازی ساختمان‌هایی با اندازه‌ی ۸ در ۸ و با ارتفاع معین ۴ متر با فاصله‌ی ۱۲ متر از یکدیگر مدل‌سازی و شبیه‌سازی انجام شد (شکل ۶).

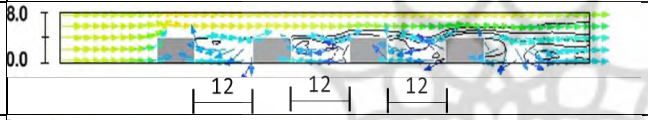
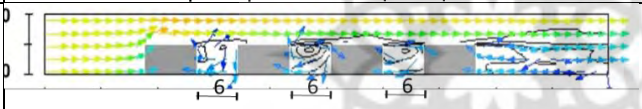
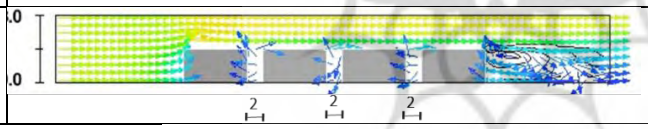


شکل ۶ شبیه‌سازی سرعت حرکت باد در اطراف یک ردیف ساختمان با فاصله‌ی معین

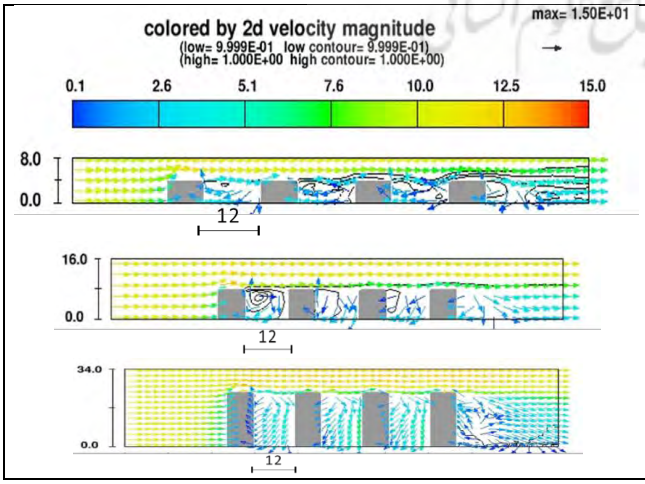
طبق شبیه‌سازی انجام‌شده (جدول ۲) مشاهده می‌شود که با نزدیک شدن سیال به حجم از سرعت کاسته شده تا جایی که سرعت به صفر می‌رسد و دوباره با گذر از حجم سرعت باد به مقدار اولیه‌ی خود می‌رسد؛ لذا مکان قرارگیری ساختمان بعدی اهمیت می‌یابد. همچنین با گذر زمان، سرعت افزایش می‌یابد تا جایی که سرعت ثابت شده و در محدوده‌ی جریان با توجه به‌سرعت زیاد باد (m/s۱۰) در ۵ ثانیه‌ی اول شبیه‌سازی از تعداد ذرات به‌شدت کاسته شده و از زمان ۲۰ ثانیه به بعد تعداد ذرات به صفر می‌رسد. علاوه بر ابعاد ساختمان، فاصله و نحوه‌ی قرارگیری ساختمان‌ها کنار یکدیگر نیز اهمیت می‌یابد. فاصله‌ی بین ساختمان‌ها پارامتر مهمی است که می‌تواند روی نوع جریان باد تأثیر

بگذارد. مطالعات نشان می‌دهد (Oke, 1988, Schiefer et al., 1999: 480) که رفتار باد زمانی که ساختمان‌ها عمود بر جهت باد طراحی می‌شوند، تغییر می‌کند؛ لذا زمانی که تراکم ساختمان‌ها در یک ردیف (عمود برجهت باد) وجود داشته باشد، تناسبات H به D و L به D، ۳ حالت از رفتار جریان باد را به وجود می‌آورد. جریان باد به‌صورت مستقل با هر ساختمان رفتار کند (۱)، تداخل جریان باد و تأثیر آن روی سقف ساختمان‌ها (۲) و حالت بعدی جریان از روی سقف ساختمان عبور می‌کند و کم‌ترین برخورد را با ساختمان‌ها دارد (۳). تناسبات مقطع طولی ساختمان‌های شهری در هریک از سه حالت گفته‌شده در جدول زیر آمده است. حال با توجه به حالت‌های ایجادشده جریان باد با تناسبات مختلف ساختمان‌ها در مقطع طولی شهری شبیه‌سازی برای اثبات حالت‌های تعریف‌شده انجام می‌شود. این شبیه‌سازی می‌تواند با در تغییرات نسبت H/D در سه بازه‌ی قرارگیری در نمودار بالا صورت گیرد. در هر مرحله با تغییرات D یا H شبیه‌سازی انجام شد. نتایج حاصل از هر دو حالت اول و دوم باید مشابه باشد؛ زیرا در هر بازه با یک نسبت انجام می‌شود. در حالت اول، با ثابت نگه‌داشتن مقدار H ارتفاع ساختمان‌ها مقدار D تغییر داده شده است.

جدول ۲:حالت اول. تغییر D با ثابت نگه‌داشتن سایر متغیرها-بزرگی سرعت و جهت جریان باد بالا: مدل ۱. نسبت H/D =0/33 وسط: مدل ۲. نسبت H/D =0/66 پایین: مدل ۳. نسبت H/D =۲

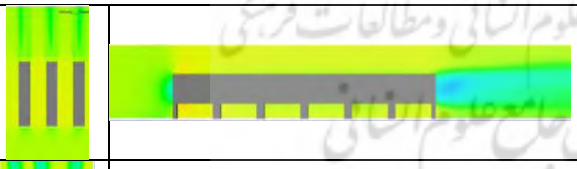
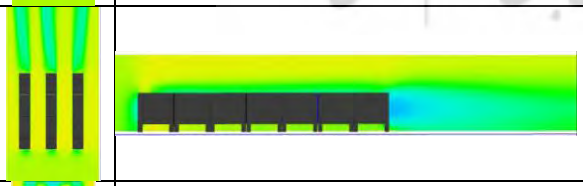
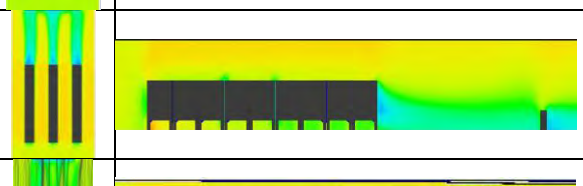
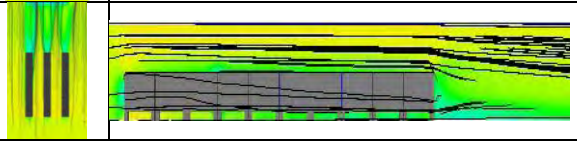
مدل		ارتفاع حجم H	عرض حجم N	D فاصله‌ی ساختمان	H/D میزان محصوریت
۱		۴	۸	۱۲	۰/۳۳
۲		۴	۸	۶	۰/۶۶
۳		۴	۸	۲	۲

جدول ۳:حالت دوم. تغییرH با ثابت نگه‌داشتن سایر متغیرها بزرگی سرعت و جهت جریان باد بالا: مدل ۱. نسبت H/D =0/33 وسط: مدل ۲. نسبت H/D =0/66 پایین: مدل ۳. نسبت H/D =۲

	ارتفاع حجم H	عرض حجم N	D فاصله‌ی ساختمان‌ها	H/D میزان محصوریت
	۴	۸	۱۲	۰/۳۳
	۸	۸	۱۲	۰/۶۶
	۲۴	۸	۱۲	۲

شبیه‌سازی جریان باد در دو حالت(حالت اول و دوم) با سه مدل از تناسبات ساختمان‌ها که باد به‌صورت عمودی به آن‌ها می‌وزد، انجام شد؛ درحالی‌که انتظار می‌رفت شبیه‌سازی‌ها در حالت اول و دوم در نسبت‌های معین نتایج کاملاً مشابهی را نشان دهد، اما در تمام موارد این‌گونه نبود. مدل یک که در حالت اول و دوم یکسان است، در مدل دوم اثر جریان باد درخورد با ساختمان‌ها برگشت و تداخل دارد. در حالت اول و دوم تقریباً نزدیک به هم است، اما در مدل سوم که با توجه به نمودار، باد به‌صورت کم‌ترین تداخل در بین ساختمان‌ها فرض شده بود و بیش‌تر جریان باد از روی ساختمان‌ها عبور می‌کرد. در حالت اول و دوم مخصوصاً در سرعت باد بین ساختمان‌ها تفاوت وجود دارد، اما بررسی بیش‌تر در این مورد به پژوهشی دیگر موکول می‌شود و این تغییر (نسبت H/D) به‌عنوان متغیر مداخله‌گر در تحقیق، ثابت لحاظ شده و ارتفاع ساختمان‌ها یکسان در نظر گرفته خواهد شد؛ بنابراین سعی می‌شود تا بهترین گزینه از بین شبیه‌سازی‌های حالت اول انتخاب شود. با دقت در ۳ مورد شبیه‌سازی در حالت اول مشاهده می‌شود که مدل ۳ با تناسبات ۲ کم‌ترین جریان ورودی بین ساختمان‌ها را دارد و بیش‌تر جریان باد از بالای ساختمان‌ها عبور می‌کند و بهینه‌ترین گزینه است. این در حالی است که سیال باد در منطقه‌ی موردمطالعه به نسبت زیادی دارای آلودگی است و کم‌ترین جریان باد وارد بر ساختمان مدنظر است؛ بنابراین به نظر می‌رسد اگر ساختمان‌ها بدون فاصله و چسبیده به هم طراحی شوند، سطح کم‌تری از ساختمان در تماس مستقیم با جریان باد قرار می‌گیرد و درعین‌حال نزدیک‌تر به چیدمان ساختمان‌ها در منطقه‌ی شهری است؛ بنابراین طبق این اصل که طراحی ساختمان در دنباله‌ی موانع مصنوع و طبیعی از سرعت مزاحم باد می‌کاهد، مدل‌سازی به‌گونه‌ای انجام شد که ساختمان‌ها در پناه یکدیگر قرار گیرند و چون سرعت کم، باعث انباشت ذرات شده و سرعت زیاد همراه با آلودگی است، ساختمان‌ها چسبیده به یکدیگر در نظر گرفته شدند. بدین منظور شبیه‌سازی تعمیم داده‌شده به مجموعه‌ای از حجم‌ها که ابعاد تعریف‌شده در جدول ۲ را دارند. در ادامه هدف این است که از طریق شبیه‌سازی CFD، مقدار عددی (h و E) به‌منظور کاهش رکود شن و ماسه در محدوده‌ای معین تعریف شود (جدول ۴).

جدول ۴: ویژگی مدل‌های تست‌شده

مدل		ارتفاع حجم H	عرض حجم n	فاصله‌ی بین ردیف‌ها b - b=3H	تعداد در هر ردیف M	طول کلی ساختمان ها E	فاصله از زمین h
۱		۴	۸	۱۲	۶	۴۸	۲
۲		۴	۸	۱۲	۷	۵۶	۱
۳		۴	۸	۱۲	۹	۷۲	۱
۴		۴	۸	۱۲	۱۰	۸۰	۱

بنابراین شکل‌ها مدل‌سازی و سپس در نرم‌افزار FLOW 3D شبیه‌سازی شدند، مش‌بندی با نسبت‌هایی بزرگ‌تر از مدل انجام شد. نوع سیال هوا با سرعت اولیه (متناسب با سرعت متوسط منطقه)m/s۱۰ انتخاب و با تنظیم سایر پارامترها شبیه‌سازی صورت گرفت. همان‌طور که مشاهده شد، زمانی که ساختمان، ۲ متر از زمین فاصله داشته و طول کلی ساختمان ۴۸ متر است، سرعت باد در منطقه‌ی پشت به باد زیاد است و می‌توان طول ساختمان‌ها را به مقدار بیش‌تری افزایش داد؛ بنابراین در شکل بعدی طول ساختمان‌ها به مقدار ۵۶ متر در هر ردیف افزایش یافت و چون سرعت باد در حالت قبل بسیار زیادتر از مقدار لازم بود، این بار فاصله از زمین به اندازه‌ی ۱ متر انتخاب شد. در روند شبیه‌سازی، هر بار مقدار بیش‌تری به طول ساختمان اضافه شد (مدل‌های ۲ و ۳ و ۴) تا بتوان به بیش‌ترین طولی از ساختمان‌ها که می‌تواند سرعت باد را به اندازه‌ی ۴ m/s در محدوده‌ی نزدیک به زمین حفظ کند، دست یافت.

۵-نتیجه‌گیری

امروزه افزایش جمعیت و استفاده‌ی بیش‌تر از منابع طبیعی انرژی، باعث گران شدن قیمت انرژی و پیدایش آلودگی‌های زیست‌محیطی شده است. ازاین‌رو، طراحی ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی می‌تواند گام مؤثری در بهبود اوضاع جهان باشد. در ایران (به‌ویژه مناطق جنوب و شرق) به دلیل شرایط آب و هوایی گرم و خشک، تهویه‌ی طبیعی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر آسایش اقلیمی مطرح است. منطقه‌ی سیستان از بادخیزی‌ترین مناطق ایران بوده و سهمناک‌ترین باد ایران با نام "باد صدوبیست روزه" با جهت غالب شمال غربی به جنوب شرقی در این منطقه می‌وزد. جهت‌گیری توده‌های ساختمانی شکل و نحوه‌ی چیدمان ساختمان‌ها در کنار یکدیگر برای ایجاد تهویه‌ی طبیعی از طریق باد اهمیت دارد. این پژوهش با ایجاد فرم و شکل مناسب هندسی ساختمان‌ها به دنبال راه‌کارهایی جهت کاهش این انباشت است. برای این منظور ابتدا شبیه‌سازی برای یافتن سرعت آستانه جهش ذرات شن و ماسه انجام و این نتیجه حاصل شد که باد، ذرات شن و ماسه را با قطر ۵۰ میکرون در سرعت‌های بالاتر از ۲ تا ۴ m/s حمل می‌کند. ازآنجایی‌که شن و ماسه بیش‌تر در نزدیک سطح زمین وجود دارد، به علت سنگینی به‌وسیله‌ی باد، زیاد از زمین فاصله نمی‌گیرند، بررسی جریان هوا در محل اتصال زمین به ساختمان در موارد مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و رفتار جریان هوا در اطراف ساختمان منفرد ۱-روی زمین و ۲-با فاصله‌ی ۲ متر از زمین شبیه‌سازی شد و این نتیجه حاصل شد که در اطراف ساختمان‌های روی زمین سرعت باد کاهش می‌یابد و در مرز اتصال زمین به ساختمان، سرعت به صفر می‌رسد؛ درحالی‌که ساختمان روی پیلوت افزایش سرعت در تمام نقاط ساختمان نزدیک به زمین را به همراه دارد، بنابراین فاصله از زمین معیاری برای کنترل انباشت است. فاصله از زمین و سرعت بالاتر از ۲ تا ۴ m/s تلاش شد تا طول بلوک شهری، کم‌ترین مقدار فاصله از زمین و رسش به‌سرعت بالای m/s۴ مدنظر قرار گیرد. ازآنجایی‌که شکل مجموعه‌ی ساختمان‌ها بر رفتار آیرودینامیکی باد تأثیر می‌گذارد و بالعکس، ساختمان‌ها در ردیف‌هایی کنار هم مدل‌سازی شدند و هدف، پیدا کردن مقدار E با توجه به شبیه‌سازی‌هایی که در ۴ مدل شهری انجام شد، مشاهده می‌شود که بیش‌ترین نسبت برای نیل به این هدف ساختمان‌ها در یک ردیف به‌اندازه‌ی ۳ برابر ارتفاع ساختمان‌ها؛ یعنی ۱۲ متر انتخاب و نیز با فاصله از زمین شبیه‌سازی شدند و این نتیجه حاصل شد که بیش‌ترین طول شهری زمانی که ساختمان‌ها ۱ متر از زمین فاصله داشته باشند، ۸۰ متر است و این بهینه‌ترین مقدار برای کنترل سرعت باد در محدوده‌ی ساختمان است. زمانی که ۲ متر از زمین فاصله داشته باشد، طول شهری بیش‌تر از این مقدار است؛ مگر این‌که تمهیداتی برای کاهش سرعت قبل از رسیدن به مجموعه انجام شود و یا چیدمان دیگری برای ساختمان‌ها در نظر گرفته شود.

۶- منابع

۱- اسکندری ثانی، ارشد؛ قاسمی قاسموند (۱۳۹۴). تحلیلی بر استقرار ساختمان‌ها بر اساس جهت باد و بهینه‌گزینی آن (مطالعه‌ی موردی: شهر زاهدان)، اولین کنفرانس جامع مدیریت شهری ایران باد و رویکرد چالش‌های قانون مدیریت شهری و مشارکت شهروندی، دانشگاه تهران.

۲- افشارسیستانی، ایرج (۱۳۸۳). نگاهی به سیستان و بلوچستان، تهران: انتشارات مهتاب.

۳- امیری، نعمت‌مال، حسین‌زاده، رضا، خسرو شاه‌آبادی، رؤیا (۱۳۹۶). ارزیابی نظریه‌ی عدم تغییرات مکانی ریگ‌زارها با استفاده از سنجش‌ازدور، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۲۷، صص ۳۵-۲۳.

۴- پورتال سازمان هواشناسی کشور، اداره‌ی کل هواشناسی سیستان و بلوچستان، (۱۳۹۷). https://sbmet.ir.

۵- رازجویان، محمود (۱۳۸۶). آسایش در پناه باد، چاپ دوم، تهران: دانشگاه شهید بهشتی مرکز چاپ و انتشارات.

۶- زارعی، محمدابراهیم؛ بهبودی، نغمه؛ (۱۳۹۵). بررسی سرعت و فشار حرکت باد در بخش مرکزی سکونتگاه قلعه‌ی ورمال سیستان با بهره‌گیری از شبیه‌سازی CFD، فصلنامه‌ی پژوهش‌های معماری اسلامی، شماره‌ی ۱۰، سال ۴، صص ۱۱۰-۹۹.

۷- سلیقه، محمد؛ (۱۳۸۲)، توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل، جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان، ص ۱۲۱-۱۱۰.

۸- عباس‌زاده؛ ذوالفقاری؛ پژوهان‌کیا (۱۳۹۳). بررسی نقش باد در آرایش ساختار فضایی-کالبدی شهرهای مناطق گرم و خشک، گرم و مرطوب (نمونه‌ی موردی: شهرهای زابل و بوشهر)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۴، شماره‌ی ۱۵، ص ۶۹-۵۳.

۹- کیانی، اکبر؛ میرشکاری، محمدعلی، (۱۳۹۳). بررسی اندازه‌ی شکل درخت در ایجاد سایه برای آسایش بیش‌تر عابرین پیاده در سطح خیابان‌های شهر زابل، معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، شماره‌ی ۱۵، پاییز ۹۴، صص ۳۵۶-۳۴۵.

۱۰- طاووسی، تقی؛ رئیس‌پور، کوهزاد (۱۳۸۹). تحلیل آماری و پیش‌بینی احتمال وقوع توفان‌های شدید با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل سری‌های جزئی (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی سیستان) مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره‌ی ۲، صص ۱۰۵-۹۳.

۱۱- طاووسی، تقی، سلیقه، محمد، صفرزایی، نعمت‌اله (۱۳۹۱) بررسی پارامترهای برداری باد و نقش آن در توفان‌های گردوغباری سیستان ایران، جغرافیا و پایداری محیط، شماره‌ی ۲، صص،۳۰-۱۹.

۱۲- فیروزنیا قدیر، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا، (۱۳۹۲). تحلیل تداوم کارکرد اقتصادی روستاهای در معرض تخلیه‌ی جمعیتی شهرستان قزوین، فضای جغرافیایی، بهار ۱۳۹۲، دوره‌ی ۱۳، شماره‌ی ۴۱; صص ۳۷-۵۶.

۱۳- فاضل‌نیا، غریب؛ کیانی، اکبر؛ خسروی، محمدعلی؛ بندانی، میثم؛ (۱۳۹۰)، بررسی انطباق الگوی بومی توسعه‌ی کالبدی-فیزیکی روستای تمبکاء شهرستان زابل با جهت حرکت توفان‌های شن و ماسه، مسکن و محیط روستا، شماره‌ی ۱۳۶، صص ۱۶-۳.

۱۴- میری، عباس؛ احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ پهلوانروی، احمد (۱۳۸۸). تشدید فرسایش بادی در نتیجه‌ی وقوع خشک‌سالی در شهرستان زابل، جنگل و مرتع، شماره‌ی ۴، صص ۸۱-۴۷

۱۵- نگارش، حسین؛ لطیفی، لیلا (۱۳۸۸). بررسی خسارت‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۶۷، صص ۸۷-۷۳.

16- Ahuja, R., Dalui, S. K., & Gupta, V. K (2006). Unpleasant pedestrian wind conditions around building", Asian Journal of Civil Engineering) Building and Housing (, 7, 147- 154.

17- Blocken, B., & Carmeliet, J (2008). Pedestrian wind conditions at outdoor platforms in a high-rise apartment building: generic sub-configuration validation, wind comfort assessment and uncertainty issues. Wind and Structures, 11(1), 51-70.

18- Mestoul, D., Bensalem, R., & Adolphe, L (2016). Modeling Airflow in Urban Form against Sand Accumulation: a Case of Saltation in the Town of Timimoun in Southern Algeria. International Journal of Architecture and Urban Development, 6(2), 43-48

19- Oke, T. R (1988). The urban energy balance. Progress in Physical geography, 12(4), 471-508.

20- Passe, U., & Battaglia, F (2015). Designing Spaces for Natural Ventilation: An Architect's Guide. Routledge

21- Tominaga, Y., & Stathopoulos, T (2013). CFD simulation of near-field pollutant dispersion in the urban environment: A review of current modeling techniques. Atmospheric Environment, 79, 716-730.
22- Sahebzadeh, S., Heidari, A., Kamelnia, H., & Baghbani, A (2017). Sustainability features of Iran's vernacular architecture: a comparative study between the architecture of hot–arid and hot–arid–windy regions. Sustainability, 9(5), 749.
23- Schiefer, C., Heimrath, R., Hengsberger, H., Mach, T., Streicher, W., Santamouris, M., Duarte, R (2008). Best Practice for Double Skin Façades. Publishable Report, Intellegent Energy-Europe. EIE/04/135/S.07.38652, Publishable. Report: Reporting Period:1.1.2005-31.12.2007.http://bestfacade.com
24- Yang, A. S., Wen, C. Y., Wu, Y. C., Juan, Y. H., & Su, Y. M (2013). Wind field analysis for a high-rise residential building layout in Danhai, Taiwan. In Proceedings of the World Congress on Engineering (Vol. 2, pp. 3-5).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی