نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹
صفحات ۱۹۷ تا ۲۱۲

طراحی بهینه ی حیاط مرکزی در ساختمان های مسکونی در برابر باد ۱۲۰روزه زابل براساس تحلیل CFD

سعیده خاکسفیدی، دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، ایران.
بهزاد وثیق[۱]، هیات علمی دانشکده معماری و شهرسازی ، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، ایران.
محسن تابان، هیات علمی دانشکده معماری و شهرسازی ، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۷/۰۶/۲۱ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۲/۲۴

چکیده

منطقه‌ی زابل یکی از مناطق بادخیز شرق ایران است. کیفیت، شدت و سرعت زیاد بادهای این منطقه موسوم به بادهای ۱۲۰روزه سیستان عامل بروز مشکلات فراوان زیست محیطی و اجتماعی است. این بادها نقش موثری در حمل ماسه‌های کویری ایفا می‌کنند. تجربه تاریخی معماری و شهرسازی این منطقه معطوف به مقابله با اثرات مخرب پراکنش ماسه است. یکی از این گزینه ها جهت-گیری و قرارگیری مناسب ساختمان‌ها است که می‌تواند در کاهش آسیب‌های ناشی از این بادها کمک‌کند. این مقاله به تدوین بهینه گونه حیاط مرکزی ساختمان‌ها در برابر بادهای ۱۲۰روزه می‌پردازد. هدف این تحقیق تعیین نوع مانع، جهت‌گیری و میزان محصوریت حیاط مرکزی است به گونه ای که بتواند در دو زمینه کاهش سرعت باد و کاهش ورود آلودگی ناشی از گرد و غبار در محدوده‌ی ساختمان مفید واقع شود. در ابتدا مدل های مختلف حیاط مرکزی طراحی و سه بعدی گردید. شبیه‌سازی جریان‌هوا در این مدل ها با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی سیالات Flow ۳D انجام پذیرفته است. نتایج نشان می دهد؛ ساختمان‌هایی یا موانعی که در برابر جهت باد دارای فرم مقعر هستند؛ بیشتر از سایر گونه‌ها مانع ورود باد به محوطه‌ی سایه باد هستند. همچنین نوع جانمایی و جهت‌گیری ساختمان‌ها در برابر باد و میزان محصوریت در دو نقطه ورود و خروج باد، به همراه استفاده از موانع طبیعی می‌تواند در کاهش سرعت باد و کاهش ورود گرد وغبار به مجموعه تا رسیدن به حد آسایش بسیار موثر باشد.

واژه های کلیدی: زابل، باد صدوبیست روزه، شبیه سازی CFD، مجموعه مسکونی، حیاط مرکزی

[۱] . نویسنده مسئول: Email: vasiq@jsu.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

مقدمه

ایران در کمربند خشک و بیابانی قرار دارد و دوسوم از وسعت آن در قلمرو مناطق خشک واقع شده است (Maghsoudi, ۲۰۰۶). در این میان ۱۴ استان کشور تحت‌تاثیر فرسایش بادی نیز قرار دارند (Mahmoudi, ۱۹۹۱). و شهرستان زابل به علت وزش بادهای موسوم به صدوبیست روزه، در شرایط حاد قرار دارد. (فرجزاده و رازی، ۱۳۹۰)، فراوانی و توزیع زمانی و مکانی توفان‌های ایران را براساس بادهای با سرعت بیش از ۱۵ متر بر ثانیه تحلیل و پهنه‌بندی کردند. براساس این تحقیق، توزیع توفان‌ها در کشور روند ثابتی ندارد و به طور کلی ایستگاه زابل با تفاوت زیاد، بیشترین فراوانی وقوع توفان‌ها را داشته است (اصغری سراسکانرود و زینالی، ۱۳۹۳). ریگ‌های بیابان‌های پیرامون زابل به ویژه ریگ‌های کوچک، دارای دینامیک پویا و فعالی بوده و ماسه‌های روان ناشی از حرکت این ریگزارها هرساله خسارات زیادی به سکونت‌گاه و تاسیسات، وارد می‌نماید (مقصودی و همکاران،۱۳۹۱). لذا طراحی سکونت‌گاه و کالبد معماری، می تواند برپایه مطالعه ویژگی‌های باد، عوامل ایجاد وقوع طوفان‌ها و... چارچوبی برای کنترل اثر مخرب ناشی از این طوفان‌ها به دست دهد. در این پژوهش به انتخاب بهترین گونه‌ی حیاط مرکزی ساختمان‌ها در مناطق مسکونی پرداخته می‌شود.

در اینجا لازم است به پیشینه پژوهش پرداخته شود. پیشینه براساس تحقیقاتی تنظیم شده است که در زمینه موضوع و یا روش‌های تحقیق؛ مورد توجه قرار گرفته‌اند. آهوجا و دالویی(Ahuja & Dalui ,۲۰۰۶)، به بررسی تاثیرات متقابل ایجاد گشودگی و پیلوتی در طبقه همکف ساختمان، وجود سکو در تراز همکف، بیرون‌زدگی و تورفتگی‌های فضای ورودی و ایجاد گوشه‌های پخ در تراز همکف و رفتار باد و آسایش عابران پیاده در اطراف ساختمان می‌پردازد و راهکارهای مناسب در جهت تعدیل شرایط پیرامونی و تامین آسایش اقلیمی عابران را معرفی می‌کند. سزوسز(Szucs, ۲۰۱۳)، آسایش اقلیمی از منظر باد را در یکی از میدان‌های بازسازی شده ایرلند بررسی کرد. پس از جمع‌آوری داده‌های اقلیمی مربوط به شهر وبلین با مدل‌سازی مورفولوژی تاثیرگذار بر رفتار باد در محیط نرم‌افزار Envimet، شرایط آسایش اقلیمی در میدان گرند کانال بررسی، و نقاط خارج از محدوده آسایش معرفی شدند. در نهایت راه‌کارهای معمارانه‌ای جهت بهبود شرایط موجود پیشنهاد و ارائه کرد. طاووسی و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله‌ای به بررسی پارامترهای برداری باد سیستان از طریق بررسی مسیر طوفان‌های گرد و غباری پرداخته و سامانه‌هایی را که برجهت باد سیستان تاثیر می‌گذارد را شناسایی کرد. نتایج حاصل از پژوهش او نشان می‌دهد که بادهای شدید سیستان از دو سامانه‌ی گردشی فعال نشات می‌گیرند. مستول و دیگران(mestoul et all ,۲۰۱۶) ،در مقاله‌ای به مدلسازی جریان هوا مرتبط با بلایای طبیعی مثل طوفان‌های شن پرداخته و بیان می‌کنند، مورفولوژی ساخت ساختمان‌های شهری شامل نسبت ابعاد، هندسه ساخت و تراکم ساختمان بر کاهش سرعت باد و کم‌شدن شن و ماسه در اطراف ساختمان تاثیر دارد. صاحب زاده و همکاران (Sahebzadeh, ۲۰۱۷)، بر این عقیده‌اند که المان‌های اصلی موثر بر پایداری معماری مناطق بادی گرم وخشک شامل جهت‌گیری، شکل ورودی‌ها، گونه حیاط و سایبان‌ها است. زارعی و بهبودی (۱۳۹۵). در مقاله ای به بررسی روش های استفاده از انرژی باد در گذشته بر پایه مطالعه سرعت و فشار حرکت باد در بخش مرکزی سکونتگاه قلعه ای ورمال سیستان پرداخته اند. ایشان بر این عقیده‌اند که طراحی فضاهای باز و نیمه باز این بنا منطبق بر سرعت و فشار حرکت بادهای غالب۱۲۰روزه‌ی سیستان است. براساس تحقیقات فوق دانسته می‌شود؛ در زمینه بررسی شکل ساختمان بالاخص ساختمان‌های مجموعه‌ای که به واسطه فرم نوعی حیاط مرکزی در حدفاصل آنها به وجود می‌آید؛ تحقیق نظام‌یافته‌ای وجود ندارد. با توجه به آنکه برخی تحقیقات به تک بنا توجه نموده‌اند و به نحوه اثر قرارگیری بافتی بلوک‌های ساختمانی در کنار هم پرداخته نشده است؛

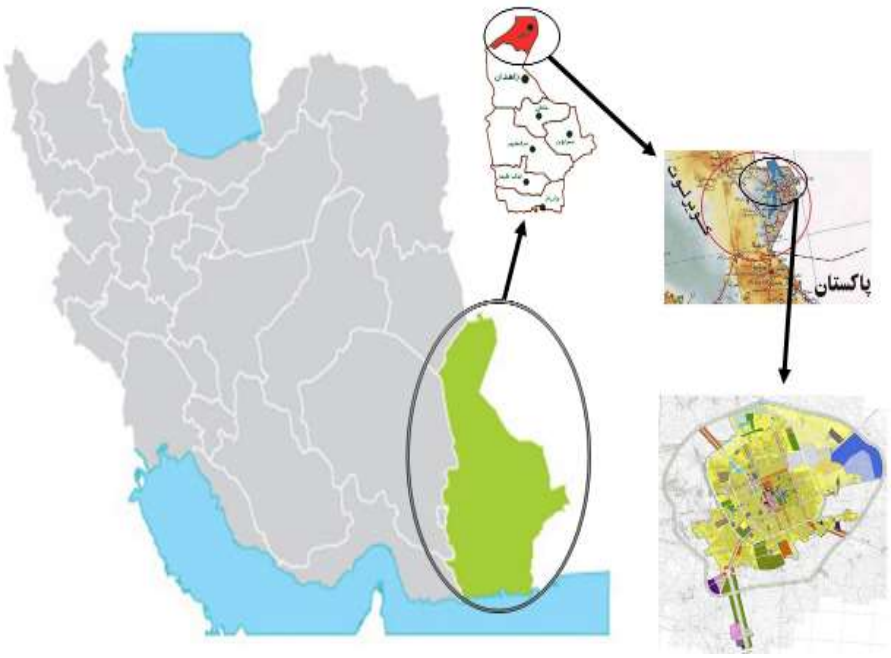
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

تحقیق حاضر حاوی نوآوری است. ضرورت این امر آنست که مهمترین منطقه رکود گرد و خاک در مناطق شهری در ناحیه سایه باد اتفاق می‌افتد؛ که این منطقه با فاصله ساختمان‌ها از هم مرتبط است.

داده‌ها و روش کار

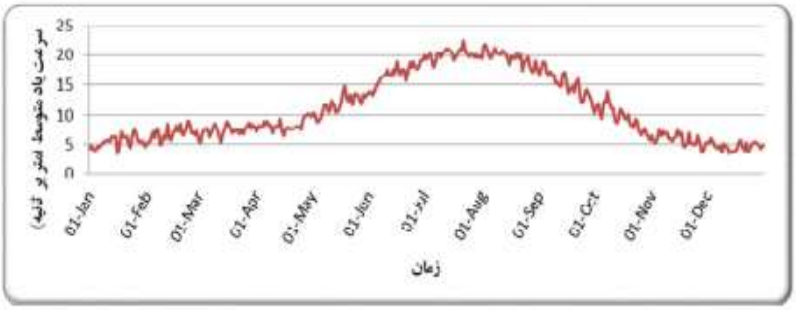
منطقه سیستان با ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع مساحت در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از شمال و شرق با افغانستان، از غرب با استان خراسان جنوبی و از جنوب با شهرستان زاهدان مرز مشترک دارد (حیدری نسب، ۱۳۸۶: ۸). داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک هواشناسی زابل مختصات عرض جغرافیایی را ۳۱ درجه و ۲ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه‌ی شرقی و ارتفاع ۴۸۹ متر نشان می‌دهد (طاووسی و همکاران، ۱۳۹۱). اقلیم آن به روش گوسن، بیابانی و به روش کوپن، خشک بسیارگرم با تابستان خشک و به روش تحلیل خوشه‌ای بسیار کم‌بارش، گرم و خشک می‌باشد (طاووسی و رئیس پور، ۱۳۸۹). این منطقه پتانسیل بیشترین مقدار تبخیر سالانه کشور (۴۰۰۰-۵۰۰۰ میلی‌متر در سال) را دارد (میرلطفی و همکاران، ۱۳۹۱). از خصوصیات مهم اقلیمی این منطقه می‌توان به وزش بادهای شدید، میانگین تعداد روزهای آفتابی سالیانه بیش از ۲۶۰ روز تابش آفتاب، دامنه‌ی تغییرات زیاد دما در شبانه‌روز، بارندگی متوسط سالیانه ۶۴ میلی‌متر با پراکندگی نامناسب، بالا بودن دما و تعداد ساعات آفتابی اشاره کرد. این شهرستان یکی از مناطق بادخیز شرق ایران است که به علت سرعت نقل و انتقال ماسه، به عنوان منطقه خطر مورد ارزیابی قرار گرفت. اگرچه بادهای بسیار قوی تداوم کمی دارند؛ اما نقش موثرتری درحمل ماسه ایفا می‌کنند (امیری و همکاران ،۱۳۹۵). شکل ۲ میانگین سرعت باد طی دوره ۴۲ ساله ۱۹۷۱-۲۰۱۲ در منطقه سیستان را نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت شهر زابل در کشور و استان (نگارندگان)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]



شکل ۲-میانگین سرعت باد طی دوره ۴۲ ساله ۲۰۱۲-۱۹۷۱منبع: (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵).

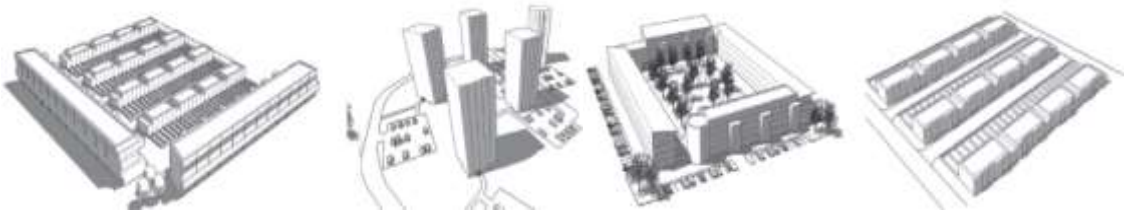
همانطور که مشاهده می‌شود؛ باد در تمام طول سال در منطقه می‌وزد که در فصل‌های تابستان و بهار بر شدت آن افزوده می‌شود. خشکسالی پدیده‌ی غالب منطقه سیستان است؛که از سال ۱۳۷۸ شرایط مساعدی را جهت شکل گیری گردو غبار مهیا کرده است،به طوری که تعداد روزهای همراه با گردو غبار از میانگین ۱۰ روز در سالهای ۱۳۶۹-۱۳۷۷ به ۵۴ روز طی ۱۳۷۸-۱۳۸۳ افزایش داشته است(ولی و همکاران،۱۳۹۸). این پدیده نه‌تنها بر اوضاع جوامع زیستی (گیاهی-جانوری) بلکه بر محیط فیزیکی-کالبدی مناطق مسکونی شهری و روستایی نیز تاثیرات منفی فراوان داشته‌است. این تاثیرات در محیط‌های فیزیکی-کالبدی باعث ایجاد مسایل و مشکلات متعددی (انباشت ماسه‌های روان، خسارت به تاسیسات مناطق مسکونی و...) می‌گردد؛ که حل بسیاری از آن‌ها مستلزم صرف هزینه‌های کلان اقتصادی است (نگارش و لطیفی ۱۳۸۸). بنابراین با قبول این نکته که در سیستان بادهایی شدید حاوی گرد و خاک با قدرت بیش از ۱۰ متر بر ثانیه در اغلب اوقات سال می‌وزند؛ این مقاله به دنبال آن است تا با طراحی بهینه شکل و ابعاد و جهت گیری حیاط مرکزی به عنوان یک روش سازماندهی ساختمان ها در کنار هم، با استفاده از شبیه‌سازی جریان‌باد منطقه بر حرکت باد تاثیر بگذارد. علاوه بر آن میزان اثر استفاده از موانع طبیعی برای کاهش سرعت باد و کاهش انتشار آلودگی‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور برای درک رفتار باد، از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده شد. تا پیش از سال ۱۹۹۷ استفاده از این نرم افزارهای cfd برای اکثر طراحان در سطح دنیا جدید بود و تا آن زمان، مرحله حصول اطمینان از نتایج را با مقایسه با نتایج به دست آمده از دیگر روش ها ی شبیه‌سازی، پشت سر می‌گذاشتند. اما پس از آن و با حصول اطمینان از اعتبار نتایج و بهبود سیستم‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارهای cfd دوره‌ای جدید را در پیش گرفتند که منجر به استفاده از آن ها در سطح وسیعی گشته است. همچنین از کاربردهای نرم افزارهای cfdدر شبیه سازی و تحلیل وضعیت جریان های هوا در سایت پلان و فضاهای باز عمومی بود(zhai,۲۰۰۶). نرم افزارهای فلوئنت،فلوونت، فلو تری دی و فلو ئنیکس از رایج ترین نرم افزارهای cfdهستندکه در بخش شبیه سازی از آنها استفاده می شود که در این مقاله برای شبیه‌سازی محیط و رفتار باد از نرم افزار فلو تری دی استفاده شده است. در این نرم‌افزار مدل آشفتگی (k-standard) انتخاب شده‌است، این مدل بیشترین استفاده را برای شبیه‌سازی ویژگی‌های میانگین جریان را در شرایط جریان آشفته دارد. مدل K-ε بر روی مکانیسم های که بر انرژی جنبشی آشفته (در واحد جرم) K متمرکز است، استفاده می شود.

مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ترسیم سه بعدی اتوکد صورت گرفت. و سپس در نرم‌افزار Flow ۳D نوع سیال و تراکم پذیر بودن یا نبودن، و شرایط فیزیکی آن معین شد. مدل مورد نظر مش‌بندی شده و شرایط مرزی و جهت جریان و سرعت آن مشخص و در نهایت خروجی‌های موردنظر از آن تحلیل گردید.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

شرح و تفسیر نتایج

براساس نظریه‌ها گونه‌های مختلفی از جانمایی ساختمان‌ها وجود دارد به طور مثال بی‌دالف (Biddulph, ۲۰۰۷)، گونه-شناسی خاصی از مجموعه‌های مسکونی را براساس همنشینی فضاهای باز و بسته ارائه کرده است. بر این اساس، وی چهار الگوی محیطی، خطی، منفرد و ترکیبی را در طرح‌های مسکونی دسته‌بندی می‌کند(شکل ۳).

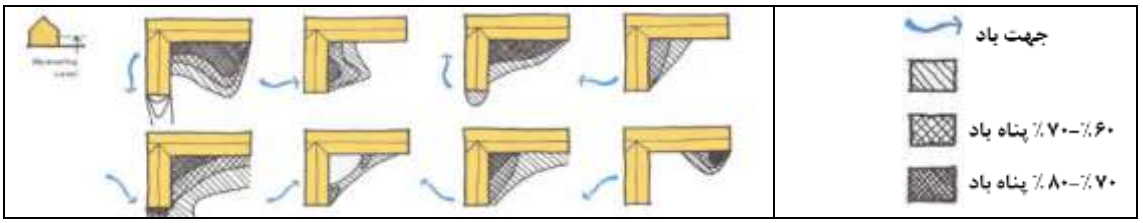


شکل۳- مجموعه مسکونی از راست شامل: الگوی خطی-الگوی محیطی- الگوی منفرد- الگوی ترکیبی، منبع: (ibid, ۵۳)

علاوه بر جنبه‌های فرهنگی، آسایش زیستی نیز در سکونت‌گاه‌ها و در این تحقیق آسایش در رابطه با باد؛ مدنظر است. از این رو لازم است؛ به تهویه و آسایش از منظر حرکت باد، در ساختمان‌های مسکونی پرداخته شود. تا زمانی که هوا در تماس با سطح ساختمان است؛ فشارهای مثبت ناشی از جریان باد در سطح بادگیر ساختمان ایجاد شده و با افزایش سرعت باد، در سمت بادپناه ساختمان، جریان‌های چرخشی ایجاد می‌شود. این گردبادها باعث فاصله گرفتن توده‌ی هوا از سطح ساختمان شده و مناطقی با فشار منفی در سمت بادپناه ساختمان ایجاد می‌شود (مستوفی‌نژاد، ۱۳۸۸). باد شدید حاوی ذرات گردوغبار، پدیده غالب زابل است و این ذرات همزمان با حرکت باد جابه‌جا و به سمت بخش بادپناه ساختمان حرکت می‌کنند. با وجود کاهش سرعت باد و فشار منفی در پشت مانع، افزایش حرکت چرخشی باد، باعث هدایت ذرات همراه با سرعت به پوسته‌ی پشت مانع می‌شود و گردوغبار می‌توانند برخلاف جهت باد محلی حرکت کند. لذا؛ نوع حرکت چرخشی باد که در سمت بادپناه مانع ایجاد می‌شود؛ حائز اهمیت است. پیش‌فرض این تحقیق آنست که علاوه بر کاهش سرعت باد در محدوده‌ی حیاط مرکزی احتمالا کاهش حرکت چرخشی باد نیز وجود خواهد داشت.

- **انتخاب بهینه مانع در برابر باد**

برای این منظور انتخاب شکل مانعی از ساختمان‌ها که بتواند بیشترین منطقه‌ی محفوظ در برابر باد را ایجاد کند اهمیت می‌یابد. در ابتدا الگوی L شکل از آرایش ساختمان‌ها با جهت مختلف وزش باد بررسی شد (شکل ۴).

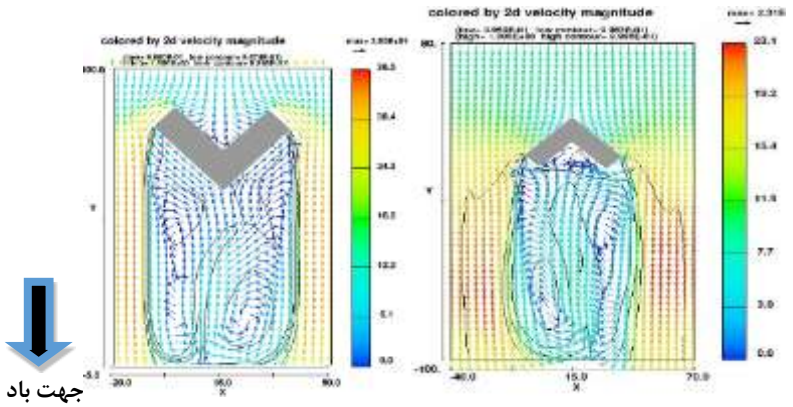


شکل۴: الگوهای L شکل از قرارگیری ساختمان‌ها به عنوان پناه گاه در برابر باد منبع: (Battaglia & Passe, ۲۰۱۵)

در هرکدام از این نمونه‌ها پناه باد متناسب با جهت باد متغیر است. این ارقام می توان به عنوان یک ابزار اولیه کمک در آرایش ساختمان با توجه به پیشنهاد پذیرش باد یا انسداد دسترسی به سایت و ساختمان‌های آن استفاده کرد Battaglia & Passe, ۲۰۱۵). برای بررسی بیشتر، دو نمونه با شکل‌های محدب و مقعر در برابر باد شبیه‌سازی شدند. ارتفاع مدل‌ها ثابت درنظرگرفته شده است و سرعت باد ۱۰ متر بر ثانیه متناسب با سرعت متوسط باد منطقه انتخاب شد (شکل ۵).

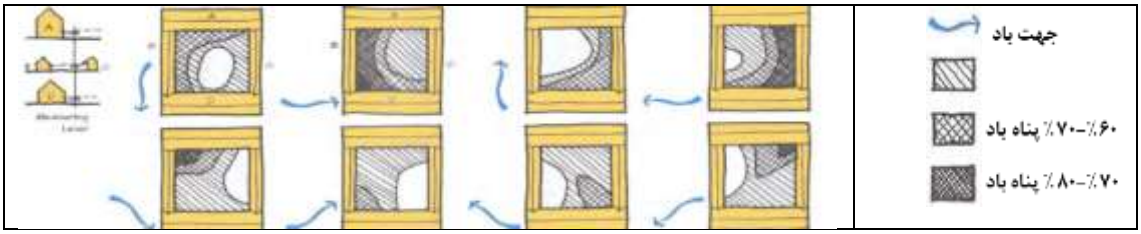
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]



شکل۵: پلان مانع محدب در برابر باد(راست) مانعی مقعر در برابر باد(چپ). منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow۳d)

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که موانعی که فرمی مقعر در برابر باد دارند، بیشتر از موانع محدب، محوطه‌ی سایه‌ی باد را از جریان باد حفظ می‌کنند و با کاهش سرعت باد در منطقه بادگیر خود باعث ته‌نشین شدن ذرات سنگین‌تر شده و مانع حمل آن‌ها به داخل مجموعه می‌شوند. همچنین حرکت چرخشی باد در محدوده‌ی سایه باد، با فاصله از مانع ایجاد شده و هنگام برگشت جهت جریان و رسیدن به مانع ازسرعت باد کاسته می‌شود. جریان باد روی مانع سر خورده؛ بنابراین کمتر به مانع آسیب وارد می‌کند. این در حالی است که در مانع محدب در برابر باد، جریان باد در منطقه سایه باد با رسیدن به مانع متمرکز می‌شود و حرکت چرخشی آن تشدید و با شدت به ساختمان برخورد می‌کند و این باعث انتشار آلودگی می‌شود. این نکته در انتخاب زاویه قرارگیری حیاط ساختمان‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. اما مطالعات جنسن و فرانک (Jenssen & Franck, ۱۹۶۳) نشان می‌دهد؛ کنترل رفتار باد در چیدمان ساختمان با حیاط مرکزی و ایجاد خرداقلیم کوچک توسط ساختمان، راحت‌تر از زمانی است که با ساختمان‌ها به‌صورت منفرد رفتار می‌شود (شکل ۶).

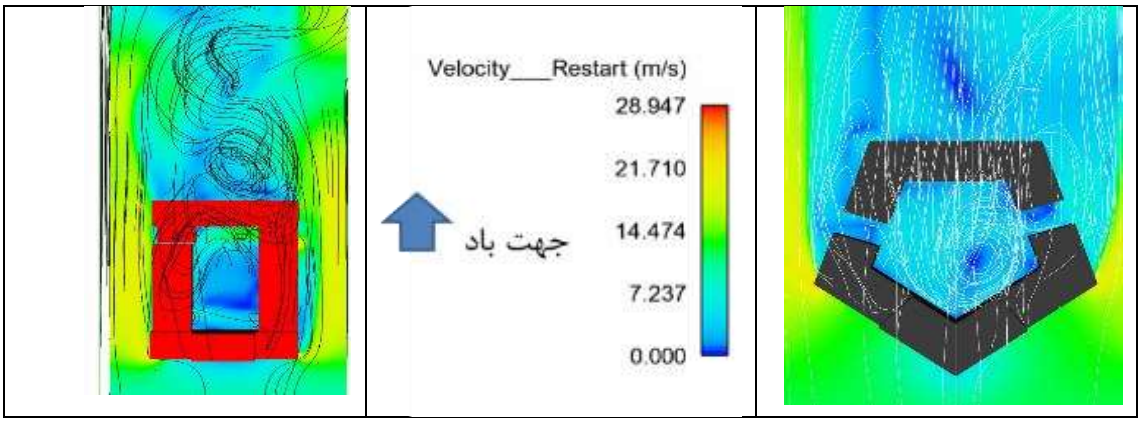


شکل۶: الگوی سایه باد در آرایش بسته قرارگیری ساختمان ها با جهت های مختلف وزش باد ، منبع:(Brown &Dekay, ۲۰۰۱)

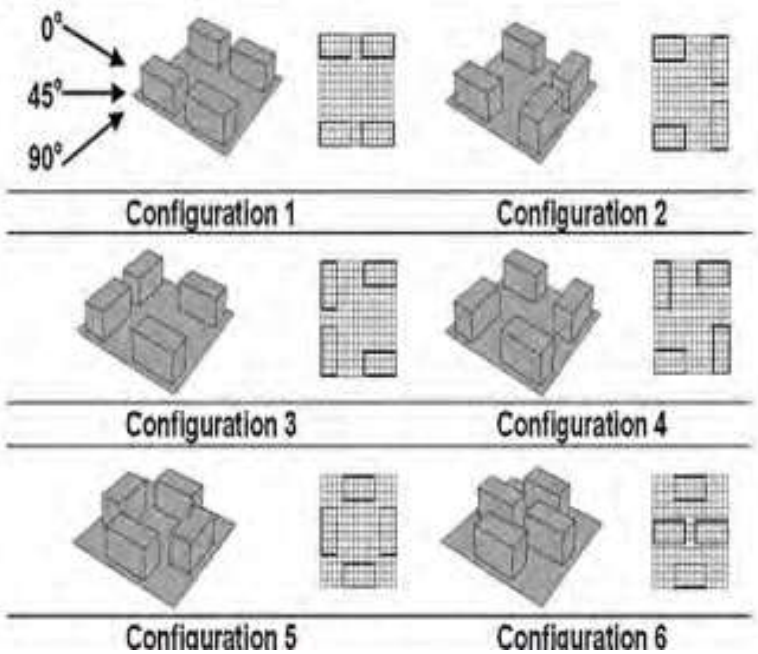
بنابراین شکل‌های مختلفی از حیاط مرکزی مدل‌سازی شده و شبیه‌سازی رفتار باد در محدوده‌ی پناه آن‌ها انجام پذیرفت. با توجه به آلوده بودن باد منطقه به ذرات گردوغبار، هدف این است که علاوه بر کاهش سرعت در حیاط مرکزی کمترین میزان توزیع جریان و حرکت چرخشی باد نیز مشاهده شود. بدین‌منظور ابتدا در نرم‌افزار اتوکد شکل‌های مختلفی از حیاط مرکزی ترسیم شدند. هدف آن است که نحوه بهینه کشیدگی حیاط در برابر باد شناخته شود (شکل ۷). با توجه به شکل ۷ که نحوه‌ی توزیع جریان و سرعت باد را در یک ارتفاع معین نزدیک به زمین نشان می‌دهد؛ مشاهده می‌گردد که با توجه به بسته بودن حیاط مرکزی، جریان باد بعد از برخورد با مانع به علت عدم وجود روزنه‌ای برای حرکت هوا دچار حرکت چرخشی می‌شود. با وجود کاهش سرعت باد در محوطه‌ی حیاط مرکزی نسبت به باد آزاد منطقه، شرایط آسایش پیاده به دست نمی‌آید. لذا در مدل‌های بعدی سعی می‌شود تا ساختمان‌ها با فاصله در کنار هم قرارگیرند و یا میزان محصوریت حیاط مرکزی کاهش یابد. اسفور و همکاران (Asfour, ۲۰۱۰) که ۴ عدد از ساختمان‌ها را با سرعت

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

اولیه معین در برابر باد قرار دادند و چنین نتیجه گرفته شد که بهترین نحوه‌ی قرارگیری ساختمان‌ها در برابر باد نمونه ۱ با زاویه صفردرجه در برابر باد و بدترین آن‌ها مدل۶ با زاویه ۴۵ درجه در برابر باد غالب از لحاظ آسایش اقلیمی عابر می‌باشد به دلیل آنکه باد آزادانه به مسیر خود ادامه می دهد و مانعی سر راه آن قرار ندارد و با توجه به سرعت باد در مدل ۱ بیشترین منطقه آسایش و در مدل ۶ کمترین منطقه آسایش مشاهده می‌شود. (شکل ۸). لذا؛ درشبیه‌سازی‌های بعدی سعی شد تا در طراحی ساختمان‌ها، فرم حیاط مرکزی حفظ شود؛ اما ساختمان‌ها با فاصله نسبت به هم طراحی شوند (شکل ۹). در همه مدل ها ارتفاع ثابت و برابر در نظر گرفته شده و جهت فلش ها جهت وزش باد را نشان می‌دهد.



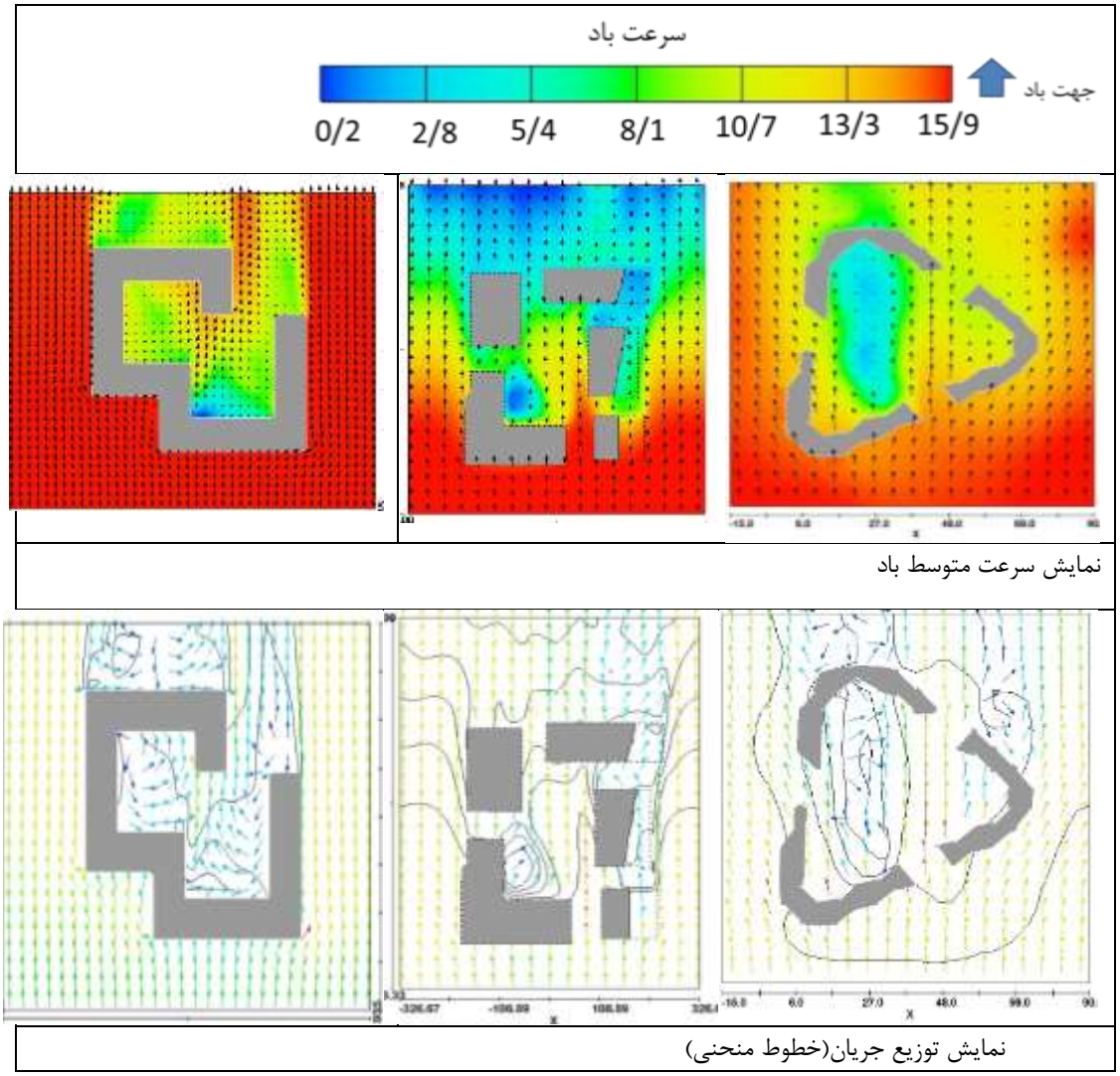
شکل۷: شبیه سازی جریان باد در مدل های بسته ای از حیاط مرکزی، منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow ۳d)



شکل ۸: تغییر شرایط آسایش اقلیمی پیرامونی ساختمان های بلند از طریق تغییر ساختار مجموعه و موقعیت ساختمان ها نسبت به یکدیگر منبع: (Hong & Lin, ۲۰۱۵)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

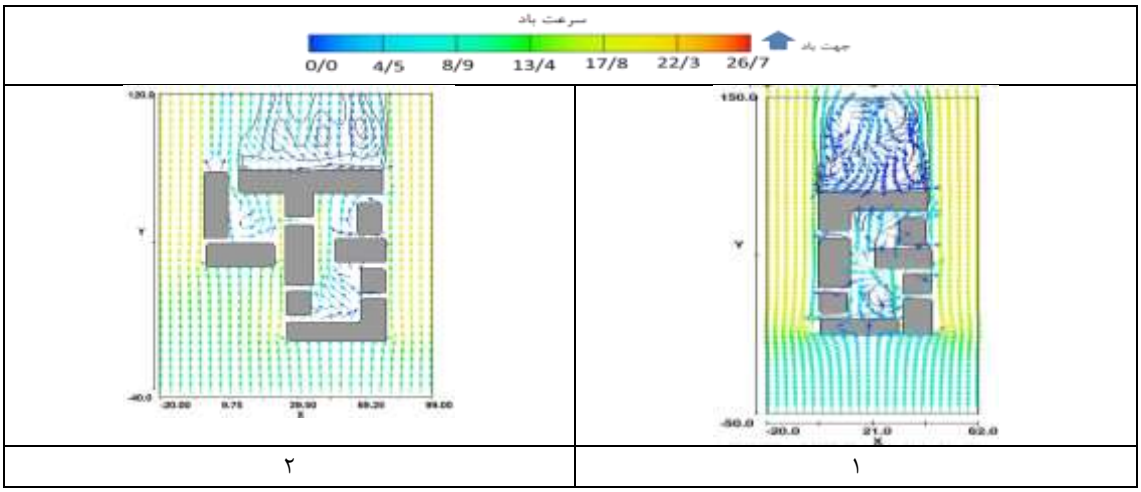


شکل ۹: شبیه سازی آرایش ساختمان‌ها (در ایجاد حیاط مرکزی) در برابر باد منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow۳d)

نتایج متوسط سرعت باد و توزیع جریان در شکل۹ نشان داده شده است؛ و هرکدام دارای معایب و مزایای هستند. در همه شکل‌های نمایش سرعت متوسط باد، سرعتی بسیار بیشتر از سرعت در محدوده‌ی آسایش را نمایش می‌دهند. لذا برای کاهش سرعت باد میزان محصوریت افزایش داده شد(عرض راه های ورودی باد کاهش پیدا کرد). همچنین در شکل نمایش توزیع جریان باد، جریان به خوبی در تمام حیاط مرکزی توزیع نشده است(در برخی مکان ها متراکم و بعضی جاها آزادانه حرکت می کنند). ؛ بنابراین در این مرحله سعی می‌شود تا با درنظرگرفتن مزیت‌هایی که هرکدام از مدل‌ها دارد؛ شکلی بهینه که پاسخگوی پیش‌فرض‌های تعریف شده باشد؛ انتخاب شود. با توجه به اطلاعات کسب شده از شبیه‌سازی‌های بالا و سایر پارامترهای دخیل در طراحی فرمی از حیاط مرکزی با ساختمان‌های مکعب مستطیل که دارای تناسبات تقریبا ۲ به ۱ باشند؛ انتخاب و تعمیم داده شد و مطالعه برای یافتن بهترین توده‌گذاری و جهت‌گیری در مورد آن صورت گرفت. باتوجه به سرعت اولیه تعریف‌شده برای نرم‌افزار و مقایسه‌ی کاهش سرعت در مدل‌های شبیه‌سازی شده با شرایط آسایش اقلیمی، مشاهده می‌شود که هرچند چیدمان یک ردیف از ساختمان‌ها در کاهش سرعت باد تاثیر چشم‌گیری داشته است؛ اما همچنان محدوده‌هایی که خارج از شرایط آسایش قرار گرفته‌اند؛ وجود دارد. دلیل این موضوع،

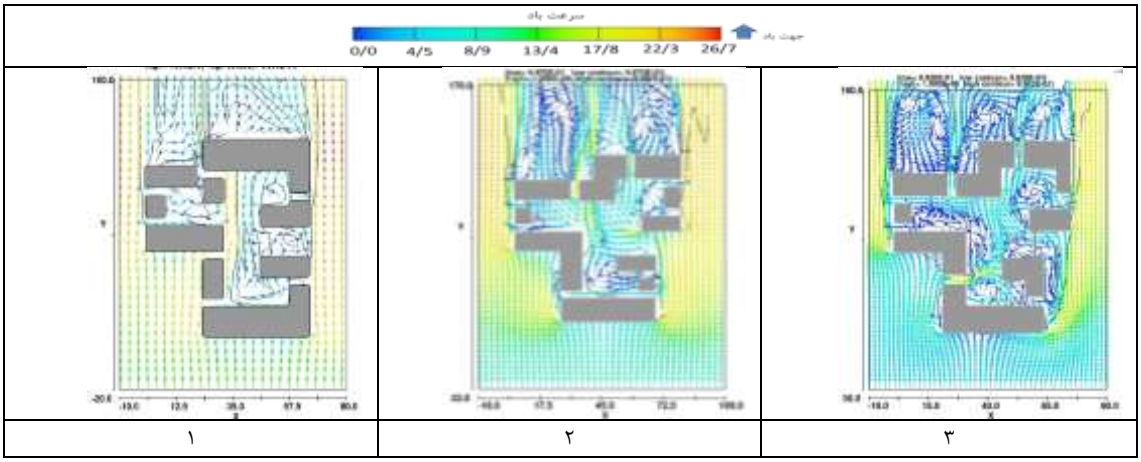
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

سرعت زیاد باد منطقه می‌باشد. لذا سعی‌می‌شود با تعمیم این مجموعه به ساختمان‌های بیشتر و ایجاد تراکم با استفاده از نحوه‌ی چیدمان جدید، شرایط آسایش در محدوده‌ی پیاده ایجاد شود. همچنین در کنار چیدمان مختلف میزان محصوریت(نسبت ارتفاع به عرض) نیز در مدل‌ها بررسی می‌شود (شکل ۱۰).



شکل۱۰: شبیه سازی اشکال تعمیم یافته حیاط مرکزی، منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow۳d)

در هر دو بخش شکل ۱۰، سرعت اولیه ۱۰متربرثانیه و این بار با محصوریت بیشتر نسبت به حالت قبل مدلسازی شدند که در هر دو حالت، کاهش سرعت دیده می‌شود. با این حال، وقتی سرعت به صفر می‌رسد تهویه صورت نمی‌گیرد. لذا باید سعی‌شود تا ساختمان‌ها به‌گونه‌ای کنار هم قرارگیرند که محدوده‌ی سرعت باد برای آسایش اقلیمی حفظ شود. در بخش ۱ شکل ۱۰، علاوه بر سرعت صفر، حرکت چرخشی باد دیده شده و در بخش ۲ شکل ۱۰، در کنار کاهش سرعت باد به‌دلیل افزایش کانتورهای ورود و خروج باد از مجموعه توزیع جریان بهتری در محدوده‌ی حیاط مرکزی مشاهده می‌شود. در ادامه سعی شده با ایجاد تغییرات در سازمان استقرار، شکل بهینه شود (شکل ۱۱).

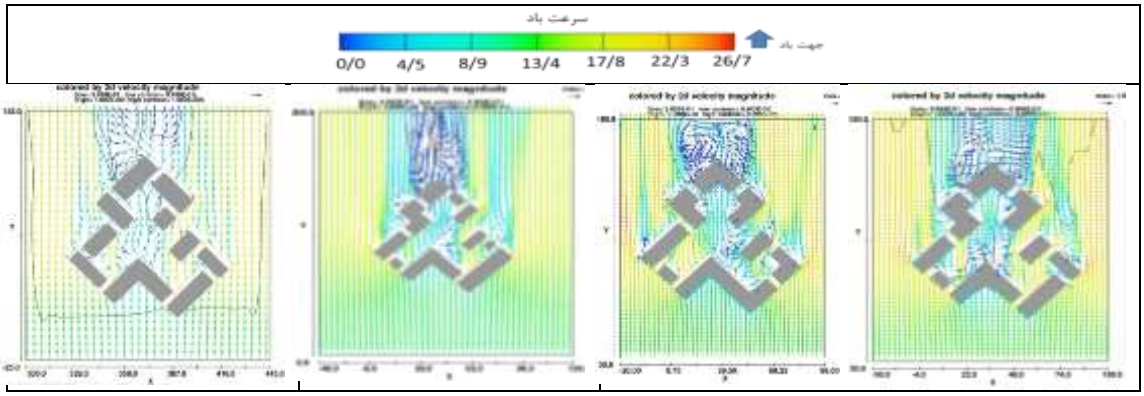


شکل۱۱- توده‌گذاری با استفاده از تغییر استقرار با زاویه ۹۰ درجه نسبت به باد؛ منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow۳d)

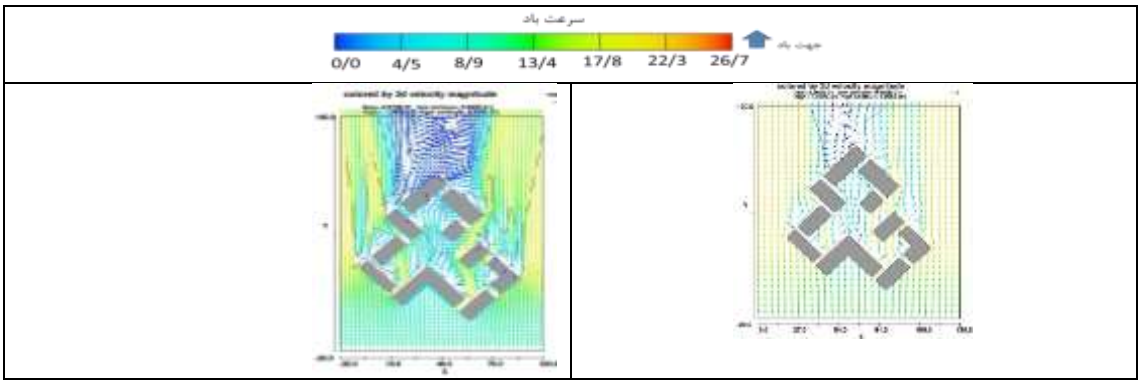
در شکل ۱۱ تغییراتی در ابعاد ساختمان‌ها، حیاط مرکزی و نحوه‌ی جانمایی آن‌ها در سایت ایجاد شده و هربار شبیه‌سازی انجام شد. به نظر می‌رسد میزان محصوریت در این مدل‌ها به جواب مسئله نزدیک‌تر است. زیرا در محدوده ی حیاط مرکزی سرعت به میزان بیشتری کاهش یافته و به محدوده‌ی آسایش نزدیک شده‌است این میزان محصوریت (نسبت

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

ارتفاع به عرض کانتورهای ورود باد) عدد ۳ است. در ادامه با همین میزان محصوریت شبیه‌سازی‌ها انجام می‌شود. همچنین در شکل‌های بالا با وجود میزان مناسبی از سرعت متوسط باد، همچنان حرکت‌چرخشی باد و توزیع نامناسب جریان در حیاط‌مرکزی دیده‌می‌شود. با توجه به نکته‌ای که موانع مقعر در برابر ویژگی‌های باد منطقه بهتر عمل‌می‌کنند؛ چند نمونه از مدل‌ها انتخاب و این بار ساختمان‌ها نسبت به جهت وزش باد چرخیده‌اند؛ تا فرمی مقعر در برابر باد ایجاد شود. بلوک ساختمانی با زاویه‌ی۴۵درجه در برابر باد قرار گرفتند (شکل ۱۲). نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با چرخش بلوک با زاویه‌ی ۴۵ درجه نسبت به باد با برخورد مایل باد به ساختمان از میزان فشار باد بر یک ساختمان کاسته شده و میزان حرکت چرخشی باد کاهش یافته و توزیع بهتری از جریان باد در حیاط مشاهده می‌شود. حالا با حفظ این زاویه دوباره روی نحوه‌ی جانمایی احجام بلوک مطالعه و شکل بهینه انتخاب شد(شکل ۱۳). در این مرحله میزان محصوریت عدد۳ و جانمایی ساختمان‌ها، ثابت درنظرگرفته‌شد و تنها در مورد اعتبار انتخاب زاویه مناسب آن در برابر باد شبیه‌سازی با زاویه‌های دیگری نسبت به جهت باد انجام شد(شکل۱۴). در همه‌ی این شکل‌ها جهت جریان باد ثابت و از سمت پایین است و بلوک نسبت به جهت‌باد چرخیده‌است.



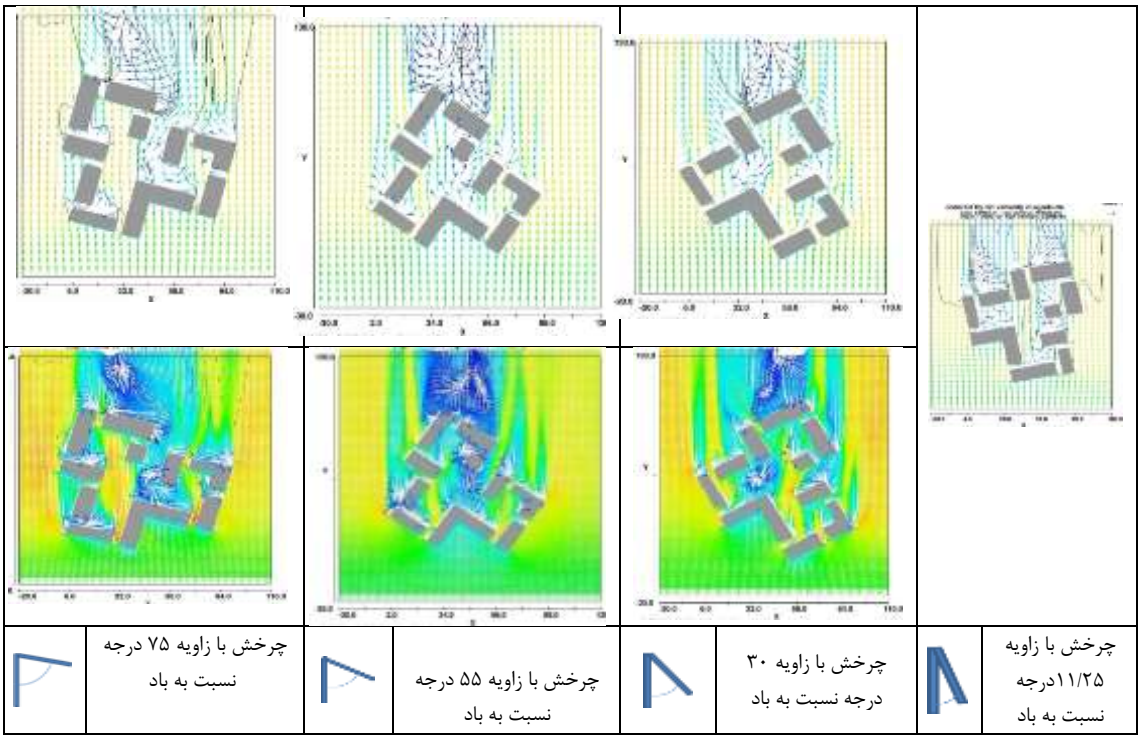
شکل ۱۲: شبیه‌سازی و جانمایی متفاوت بلوک‌ها با زاویه ۴۵ درجه در مقابل باد، منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow۳d)



شکل۱۳: شبیه سازی شکل منتخب از جانمایی ساختمان‌ها در برابر باد، منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow۳d)



[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]



شکل ۱۴: شبیه سازی چرخش بلوک‌ها با زاویه‌های مختلف در برابر باد، منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow۳d)

همانطور که مشاهده‌می‌شود؛ چرخش بلوک با زاویه ۴۵ درجه بهترین جواب است و در سایر زاویه‌های چرخش بلوک وضعیت از لحاظ کاهش سرعت باد و کاهش حرکت چرخشی باد بهتر نشده‌است. با توجه به این نکته که حتی در بهترین نوع چیدمان ساختمان‌ها همچنان سرعت‌های زیاد مشاهده می‌شود لذا در ادامه‌ی جهت بهینه نمودن شرایط، از موانع طبیعی و مصنوع بهره گرفته می‌شود. درخت و درختچه از جمله موانع طبیعی بسیار موثر در هدایت یا کاهش سرعت باد در محدوده‌ی موردنظر است؛ لذا استفاده از انواع گیاهان بومی که با شرایط اقلیمی منطقه سیستان تطابق بیشتری دارد؛ بهترین گزینه می‌باشد. این گیاهان علاوه بر کاهش سرعت باد در به دام انداختن آلودگی‌ها قبل از رسیدن به مجموعه موردنظر کمک می‌کنند. اما در میان گیاهان بومی سیستان، درخت گز به دلیل داشتن بیشترین سازگاری با اقلیم منطقه و در جهت اهداف پژوهش، انتخاب شد.

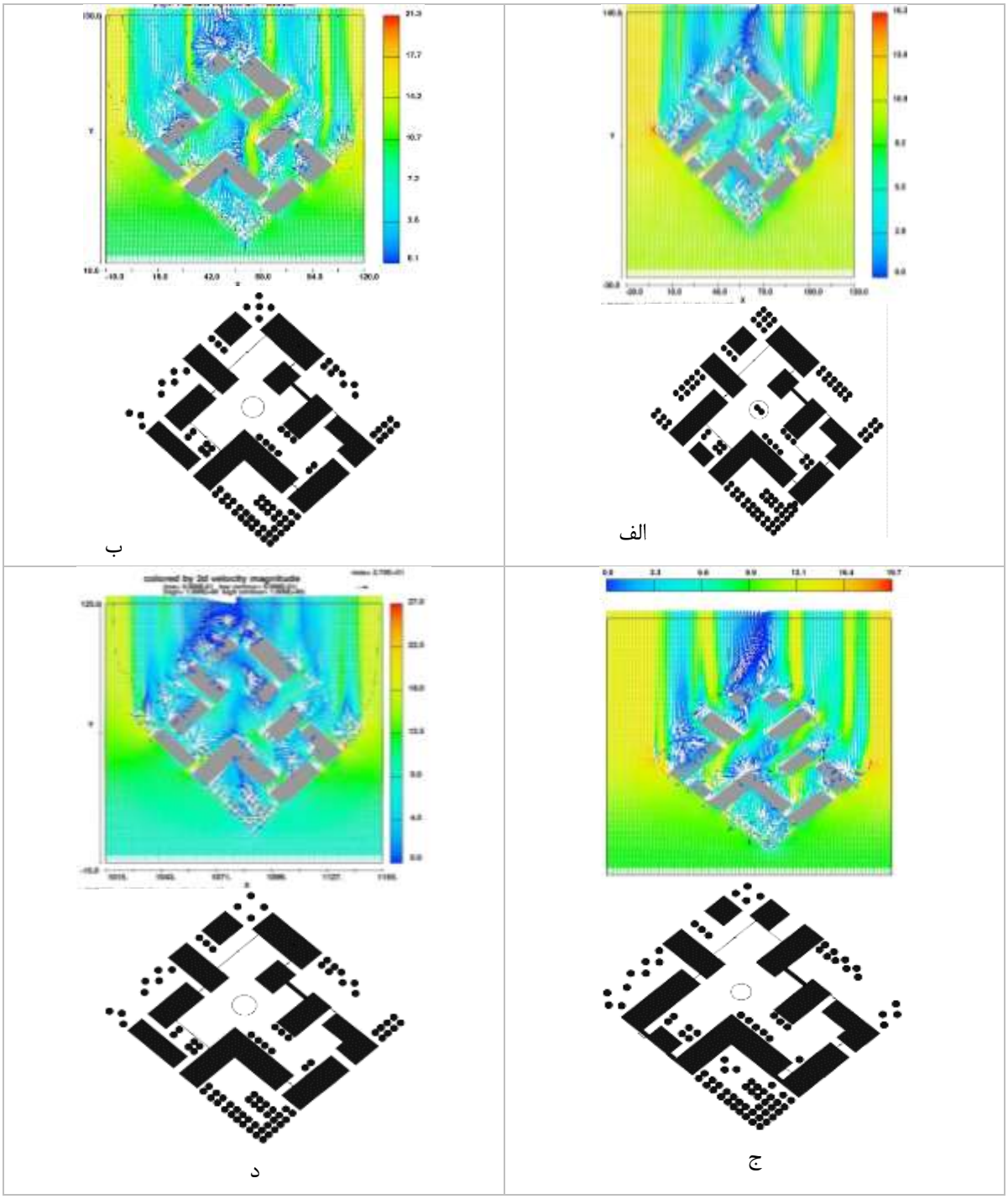
- **مشخصات مانع طبیعی شبیه سازی**

چند نمونه درخت گز وجود دارد؛ که تقریباً همه انواع درخت گز دارای برگ‌های سوزنی و باریک و به‌هم فشرده‌اند. شاخه‌های این درخت از ارتفاع پایین شروع شده و دست انسان به شاخه‌های پایین آن به راحتی می‌رسد و بلندترین آنها درخت گز شاهی است.. میزان بلندی آن تا ارتفاع پانزده متر نیز می‌رسد. خصوصیات فیزیکی این درخت به صورتی که برای محیط نرم‌افزار قابل تعریف باشد؛ برداشت شد. در جدول ۱ میانگین اندازه درختان گز در محدوده‌ی زابل (با توجه به ارتفاع تنه درخت تا زیر تاج آن، قطرتاج و ارتفاع درخت) نشان داده شده است. لذا حجمی با ویژگی‌های درخت گز، مدل‌سازی شده و به عنوان درخت در مکان‌های مورد نظر از سایت جانمایی شد و هر بار رفتار باد بررسی گردید (شکل ۱۵). در همه شکل ها جهت باد از سمت پایین می‌باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

جدول ۱: ابعاد درخت گز مدلسازی شده

گونه درخت	ارتفاع درخت(متر)	قطر تاج درخت(متر)	ارتفاع‌تنه درخت(متر)		
گز	۸	۳	۱		

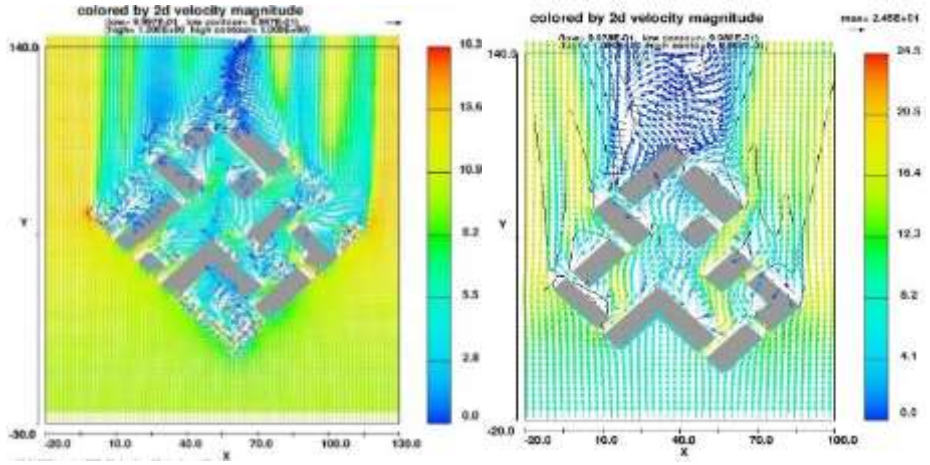


شکل ۱۵: جانمایی مختلف درخت گز در سایت، منبع: نگارندگان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

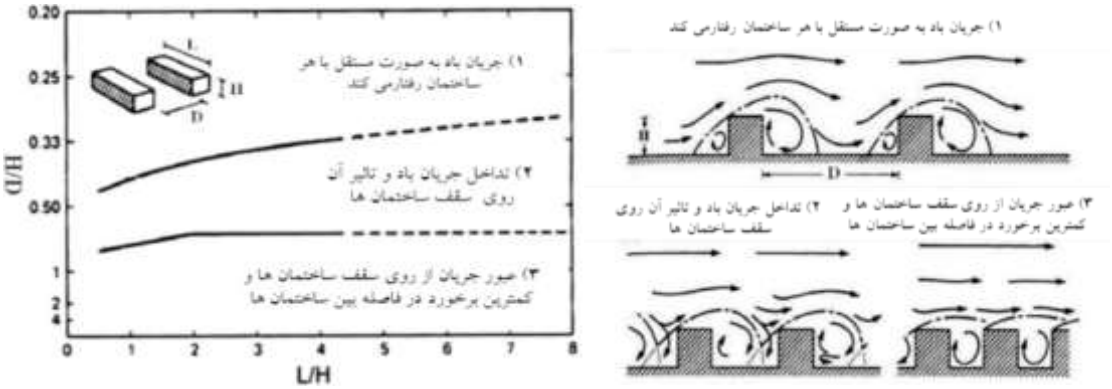
در تمامی شکل‌های بالا هر بار درخت‌ها جانمایی شدند و شبیه‌سازی انجام شد. در برخی از موارد با جابه‌جایی ساختمان‌ها و یا تغییر در اندازه‌های طولی آن‌ها و سپس جانمایی درخت، مدل‌ها موردمطالعه قرار گرفتند. قبل از جانمایی درخت؛ (شکل ۱۶ راست) بهترین مدل از لحاظ سرعت باد در محدوده‌ی حیاط مرکزی و کمترین میزان حرکت چرخشی باد بود. اما پس از جانمایی درخت با تناسبات گفته شده (شکل ۱۶ چپ) عملکرد بهینه داشت.



تصویر ۱۶: راست، مدل بهینه جانمایی بلوک‌ها در جهت کاهش سرعت باد و حرکت چرخشی باد، چپ، مدل بهینه جانمایی بلوک‌ها با مانع طبیعی در جهت کاهش سرعت باد و کاهش حرکت چرخشی باد، منبع: (نگارندگان برگرفته از نرم افزار flow۳d)

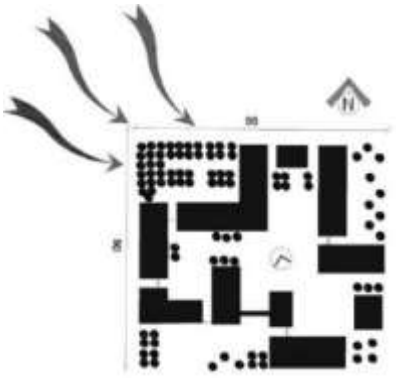
- **تحلیل ویژگی های هندسی سایت:**

برای اعتبارسنجی سایت طراحی شده ویژگی‌های هندسی سایت، با نظریه‌ها در این ارتباط سنجیده می‌شود. هر مجموعه ساختمانی شامل ساختمان‌ها و خیابان‌هایی است. هندسه خیابان را می‌توان با استفاده از سه متغیر ارتفاع ساختمان‌ها در هر دو طرف (H)، عرض خیابان (D) و طول خیابان (L) مشخص کرد (Battaglia & Passe ۲۰۱۵). (Oke: ۱۹۹۸) سه نوع الگوی جریان هوا را براساس همبستگی بین دو نسبت L/H و H/D زمانی که باد عمود بر مانع می‌وزد؛ مشخص کرد. دره مستقل زمانی‌که H/D<۰/۳ دره کم‌عمق هنگامی‌که ۰/۳< H/D<۰/۶۵، دره عمیق هنگامی‌که H/D >۲ (شکل ۱۷). سایت مورد نیاز در این پژوهش در شهر زابل دارای ابعادی ۹۰ *۹۰ مترمربع است. و چرخشی ۴۵ درجه نسبت به جهت باد غالب دارد (شکل ۱۸).



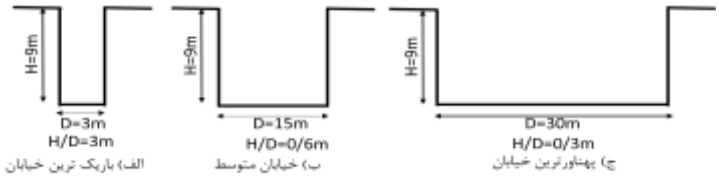
شکل۱۷- سه حالت از جریان باد در فاصله بین ساختمانها زمانی که باد عمود بر ساختمان‌ها می وزد.منبع:(Hosker,۱۹۸۵)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]



شکل۱۸: سایت طراحی شده مجموعه مسکونی

در سایت طراحی شده، ۶ عدد از خیابان‌ها دارای عرض بین ۳ تا ۵ متر و ۲ عدد دارای عرض ۱۲ تا ۱۵ متر ۱ عدد ۲۰ متری و ۱ عدد دارای عرض ۳۰ متر هستند. با توجه به ارتفاع بلوک‌ها که ۹ متر می‌باشد نسبت H/D در سایت بین عدد ۰/۳ و عدد ۳ متر می‌باشد و اکثر آن‌ها نسبت H/D=۳ دارند (شکل ۱۹). همچنین به دلیل پراکندگی بلوک‌ها در سایت طول خیابان‌ها L است و ابعاد بلوک (عرض ۱۰/۶۰ متر و طول ۲۰/۶۰ متر) است. بنابراین نسبت L/H بین۱/۶و۳/۳ متر متغیر می‌باشد؛ و همچنین با توجه به شکل بالا اگر فرض شود؛ باد تقریبا به صورت عمود بر موانع می‌وزد؛ می‌توان نتیجه گرفت که در این سایت اکثر خیابان عمیق هستند. یا به عبارتی در محدوده‌ی الف از شکل بالا قرار می‌گیرند. قرارگرفتن در این محدوده می‌تواند عبور جریان هوا در حیاط مرکزی را کاهش دهد. بنابراین با کاهش سرعت باد در حیاط مرکزی و استفاده از موانع طبیعی در برابر باد در اطراف مجموعه، می‌توان باعث کاهش ورود گرد و غبار و شن و ماسه حمل شده با باد به مجموعه شد.



شکل۱۹- مقطع عرضی خیابان طراحی شده در سایت

نتیجه‌گیری

خشکسالی سال‌های متمادی در سیستان مشکلات زیستی بسیاری ایجاد کرده است. از طرفی سرعت زیاد باد همراه با آلودگی ناشی از ذرات گرد و غبار در منطقه به‌طور مستقیم بر آسایش اقلیمی تاثیر گذاشته‌است. هرچند سرعت زیاد باد و حمل ذرات توسط باد امری اجتناب ناپذیر است. اما این پژوهش با ایجاد بهترین جانمایی و شکل مناسب هندسی ساختمان‌ها در گونه حیاط مرکزی به دنبال راهکارهایی برای کاهش سرعت باد حداقل در محدوده‌ی حیاط مرکزی تعریف شده و کاهش انتشار آلودگی در حیاط مرکزی است که از طریق حرکت چرخشی باد تشدید می‌شود. برای این منظور ابتدا از میان موانع مختلف در برابر باد دو نمونه که به نظر می رسید؛ بیشترین منطقه‌ی محفوظ در برابر باد را در منطقه سایه باد ایجاد می‌کند؛ انتخاب شدند. شبیه سازی در مورد آن ها صورت گرفت و مشخص شد؛ مانع مقعر در برابر باد برای این منظور مناسب‌تر است، زیرا علاوه بر کاهش سرعت باد در منطقه‌ی سایه باد باعث کاهش حرکت چرخشی باد در این محدوده شده‌است. در ادامه مدل‌های مختلف جانمایی ساختمان‌ها در گونه‌ی حیاط مرکزی مدل‌سازی شدند و پس از شبیه‌سازی مشخص شد به دلیل سرعت زیاد اولیه باد، علاوه بر کانتورهای ورود و خروج باد (میزان محصوریت)،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

نحوه قرارگیری و جهت‌گیری ساختمان‌ها با زاویه‌های مختلف، نیز می‌تواند در کاهش سرعت باد و کاهش حرکت چرخشی باد موثر باشد. لذا با تعمیم این مجموعه به ساختمان های بیشتر و ایجاد تراکم با استفاده از نحوه‌ی چیدمان جدید، شرایط آسایش در محدوده‌ی پیاده بررسی شد. در ادامه با در نظر گرفتن ارتفاع ثابت عدد ۹ و میزان محصوریت (یعنی نسبت H/D) ورود باد به مجموعه برابر عدد ۳ این بار مجموعه با زاویه‌های مختلف در برابر باد قرار گرفت شبیه سازی شدند و هر بار پیش فرض کاهش سرعت باد و کاهش حرکت چرخشی باد در آن‌ها بررسی شد. و بهترین جانمایی با زاویه ۴۵درجه در برابر باد بود انتخاب شد. اما در ادامه با توجه به این نکته که حتی در بهترین نوع چیدمان ساختمان‌ها همچنان سرعت‌های زیاد باد (به دلیل سرعت زیاد اولیه باد منطقه) مشاهده می‌شود لذا برای کاهش سرعت باد از موانع طبیعی نیز بهره گرفته‌شد. اما در میان گیاهان بومی سیستان، درخت گز به دلیل داشتن بیشترین سازگاری با اقلیم منطقه و در جهت اهداف پژوهش انتخاب شد. خصوصیات فیزیکی آن که قابل شناسایی برای نرم‌افزار بود؛ برداشت شد؛ مدلسازی‌ها انجام شد. و در مدل‌های جانمایی ساختمان قرارگرفت؛ و هر بار شبیه‌سازی انجام‌گرفت؛ تا بهترین مدل با مانع طبیعی در برابر باد منطقه مشخص شد. هرچند پژوهش درباره جانمایی را بتوان بسیار تعمیم داد؛ اما در این پژوهش بهترین جانمایی که به پیش‌فرض‌های تعریف شده، نزدیک بود انتخاب، و به آن اکتفا شد.

منابع

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ بتول زینالی. ۱۳۹۳. تحلیل و پهنه‌بندی فراوانی فصلی توفان‌های گردوغباری ایران به منظور کاهش مخاطرات. *دانش مخاطرات*، **۲**: ۲۱۷-۲۳۹.

امیری، نعمت‌مال؛ رضا حسین‌زاده و رویا خسرو شاه آبادی. ۱۳۹۵. ارزیابی نظزیه ی عدم تغییرات مکانی ریگ‌زارها با استفاده از سنجش از دور. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، **۲۷**: ۲۳-۳۵.

حیدری نسب، مهدی .۱۳۸۶. *نقش باد در ایجاد لند فرم‌های بادی منطقه‌ی سیستان*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۱۰۴.

زارعی، محمد ابراهیم. نغمه بهبودی. ۱۳۹۵. بررسی سرعت و فشار حرکت باد در بخش مرکزی سکونتگاه قلعه ای ورمال سیستان با بهره‌گیری از شبیه سازی CFD. *فصلنامه پژوهش های معماری اسلامی*،**۱۰**: ۲۲-۳۵.

فرج زاده، منوچهر. مهین رازی. ۱۳۹۰. بررسی توزیع زمانی و مکانی توفان‌ها و بادهای شدید در ایران. *مجله پژوهش های آبخیز داری*، **۹۱**: ۲۱-۳۲.

طاووسی، تقی؛ محمدسلیقه و نعمت ا.. صفرزایی. ۱۳۹۱. بررسی پارامترهای برداری باد و نقش آن در طوفان‌های گرد و غباری سیستان ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*، **۲**: ۱۹-۳۰.

طاووسی، تقی؛ کوهزاد رئیس‌پور. ۱۳۸۹. تحلیل آماری و پیش بینی احتمال وقوع طوفان‌های شدید با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سری‌های جزئی (مطالعه‌موردی: منطقه سیستان). *مطالعات‌جغرافیایی مناطق خشک*، **۲** : ۹۳-۱۰۵.

میرلطفی، محمودرضا؛ مرتضی توکلی و میثم بندانی. ۱۳۹۱. بررسی تطبیقی وضعیت استقرار جهات جغرافیایی مسکن روستایی و مصرف انرژی در منطقه سیستان. *مسکن و محیط روستا*، **۱۳۸**: ۵۲-۳۹.

مقصودی، مهران؛ سعید نگهبان و سجاد باقری. ۱۳۹۱. تحلیل مخاطرات ناشی از ماسه‌های روان سکونتگاه‌های غرب دشت لوت (مطالعه موردی: روستای حجت‌آباد- شرق شهداد). *مجله‌جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۱**: ۸۴-۹۶.

مستوفی‌نژاد، داوود. ۱۳۸۸. *بارگذاری سازه ها*. انتشارات ارکان دانش، تهران.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]

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

ولی، عباسعلی؛ سید حجت موسوی و اسماعیل زمانی. ۱۳۹۸. تحلیل آماری فراوانی وقوع گردو غبارهای استان یزد و الگوسازی آنها بر اساس عناصر اقلیمی و پوشش گیاهی. *مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*،**۳**:۱۴۲-۱۲۱.

Asfour, O.S. ۲۰۱۰. Prediction of wind environment in different grouping patterns of housing blocks Energy and Buildings. ۴۲(۱۱): p. ۲۰۶۱-۲۰۶۹. ۱۱۹. **DOI:** ۱۰,۳۳۹۰/atmos۹۰۲۰۰۳۹

Ahuja, R; S.K Dalui, and V.K, Gupta. ۲۰۰۶. Unpleasant Pedestrian Wind Conditions around Building, *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, **۷:** ۱۴۷- ۱۵۴

Biddulph, M. ۲۰۰۷. *Introduction to Residential Layout*. Architectural Press, Amsterdam Building Simulation Group, University of Pennsylvania. Achieved at: http://www.gafa.upenn.edu/bsg/ flash.htm#scence.

Brown, G.Z; M. Dekay, Sun, wind and light: Architectural design strategies. ۲nd ed. ۲۰۰۱. New York; Chichester: John Wiley & Sons, Inc.

Passe, U. Battaglia, F. ۲۰۱۵. *Designing Spaces for Natural Ventilation*, New York, NY ۱۰۰۱۷

Hong, B; B Lin. ۲۰۱۵. Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement, *Renewable Energy Journal*, **۷۳:** ۱۸-۲۷. **DOI**: ۱۰,۱۰۱٦/j.renene.۲۰۱٤,۰٥,۰٦۰

Hosker, R. P.۱۹۸۵. "*Flow around isolated structures and building clusters: a review*. ASHRAE Trans. United States. (CONF-۸۵۰۶۰۶). **۹۱**.

Jensen, M; N. Franck .۲۰۱۶. *Model-scale tests in turbulent wind, Part ۱: Phenomena dependent on the wind speed, shelter at houses-despersal of smoke.* ۱۹۶۳, Copenhagen: Danish Technical Press.

Sahebzadeh, Sadra, Abolfazl Heidari, Hamed Kamelnia, and Abolfazl Baghbani. "Sustainability Features of Iran's Vernacular Architecture: A Comparative Study between the Architecture of Hot–Arid and Hot–Arid–Windy Regions." *Sustainability* ۹, no. ۵ (۲۰۱۷): ۷۴۹. DOI: ۱۰,۳۳۹۰/su۹۰۵۰۷٤۹

Szucs, A. ۲۰۱۳. Wind comfort in a public urban space (Case study within Dublin Docklands), *Frontiers of Architectural Research*, **۲**: ۵۰–۶۶. **DOI:**org/۱۰,۱۰۱۶/j.foar.۲۰۱۲,۱۲,۰۰۲

Mestoul, D.; B. Rafik. and A. Luc. ۲۰۱۶. 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*, **۲:** ۴۳-۴۸.

Mahmoudi, F. ۱۹۹۱. *Important Erg of Iran*, research report, deputy of research. University of Tehran, Tehran.

Maghsoudi, M. ۲۰۰۶. Assessment of effective factors on evolution of sand landforms (case study: sand landforms of Sirjan playa), *Geography research Quarterly*, **۵۶:** ۱۴۹-۱۶۰.

Zhai, Z. ۲۰۰۶. Application of computational fluid dynamics in building design: aspects and trends. Indoor and built environment, **۱۵**: ۳۰۵-۳۱۳. **DOI**:org/۱۰,۱۱۷۷/۱۴۲۰۳۲۶X۰۶۰۶۷۳۳۶

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.13]