DOR: 20.1001.1.24234931.1401.9.1.12.3

سال نهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص ص ۱۱۰- ۱۱۸

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۸/۲۱

بررسی کاربرد نماهای دوپوسته جهت بهره‌گیری از باد شهر منجیل درتهویه ساختمان‌ها

مصطفی قلی‌پور گشنیانی[۱*]، دلارام یزدانی[۲]

۱- استادیار، مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۲- کارشناسی ارشد، معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

* بابلسر، ۴۷۴۱۱-۵۱۱۶۷، m.gholipour@umz.ac.ir

چکیده

بحران‌های زیست‌محیطی، متخصصان را بر آن داشته تا راهکارهای بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر را توسعه بخشند. این امر ایجاب می‌کند که معماران تلاش خود را در راستای انطباق راهکارها با شرایط اقلیمی مناطق مختلف افزایش دهند. با عنایت به کاربرد نمای دوپوسته به‌عنوان یکی از راهکارهای پایدار در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر؛ پژوهش حاضر در تلاش است تا چگونگی استفاده بهینه از باد در تهویه طبیعی یک ساختمان مسکونی در شهر منجیل را موردبررسی قرار دهد. این در حالی است که سرعت و فشار باد در منطقه منجیل، کنترل و مهار آن را غیرممکن کرده و امکان استفاده از بالکن‌ها و بازشوها نیز به حداقل رسیده است. سؤال اساسی این است که: رابطه میان مؤلفه‌های کالبدی - نوع دوپوستگی، عمق پوسته، محل و نسبت بازشوها- با سرعت و فشار باد چیست؟ فرضیه پژوهش براین استوار گردید که: به نظر می‌رسد فاصله میان دوپوسته، تعداد بازشوها، اندازه و نسبت بازشوهای پیشنهادی در پوسته بیرونی؛ در کنترل سرعت و فشار باد در فضای داخلی مؤثر است. در ادامه گام‌های پژوهش، با شبیه‌سازی مدل پایه، مشخص کردن مقادیر متغیرها و ورود داده‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخه ۶.۱.۰.۶؛ نتایج حاصله به روش تطبیقی قیاس شده است. نتایج نشان می‌دهند که دوپوستگی نقش حائز اهمیتی در کاهش سرعت و فشار میان پوسته نسبت به محیط بیرونی داشته و در تنظیم آن برای استفاده در تهویه مؤثر است. از سویی دیگر، میزان کاهش سرعت و فشار، رابطه مستقیمی با فاصله دوپوستگی داشته و همچنین بازشوهای عمودی بهره‌وری مناسب‌تری نسبت به بازشوهای افقی دارند.

کلیدواژگان: نمای دوپوسته، دوپوسته راهرویی، تهویه طبیعی، شهر منجیل

Studying the usage of Double Skin Facades in utilizing Manjil wind in building ventilation

Mostafa Gholipour Gashniani[1*], DelaramYazdani[2]

1- Assistant professor, Department of Architecture, Faculty of Arts and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

2- Master of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Arts and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

* P.O.B. 47411-51167 Mazandran, Iran m.gholipour@umz.ac.ir

Received: 8 October 2021 Accepted: 12 November 2021

Abstract

The environmental crisis has induced experts to develop renewable energy alternatives. Architects have strived to achieve between the proposed alternatives and various climates of different regions. Given the application of Double Skin Façade as an alternative in renewable energy usage, the current study aims to investigate an optimized procedure for utilizing wind energy in the natural ventilation of a building in Manjil city. The velocity and pressure of the wind is literally impossible to control and suppress its force. This study is intended to inquire into the relationship between physical components of the double-skin façade as well as the structure of the openings and the velocity and pressure of wind within the internal environment of mid-rise buildings. Therefore, the main goal is to achieve a method through which the wind pressure and its effects on the building is controlled by the use of the double-skin façade. The parameters' values are determined and they are assigned to the variables in the Design-Builder simulation software, version 6.1.0.6. Then, the analytical results are compared to the experimental ones. It is revealed that the use of two skins leads to a decrease in the velocity and pressure of the wind within the internal space of the building with respect to the velocity and pressure in the external space. The extent of reduction in wind velocity and pressure is directly related to the distance between layers of skins. It is also worth mentioning that the vertical openings show better performance compared to the horizontal ones.

Keywords: Double Skin Facades, Corridor type, Natural wind ventilation, Manjil city

۱- مقدمه

نماهای دوپوسته علاوه بر آسایش حرارتی و بصری در ساختمان، مصرف انرژی را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهند و اجازه استفاده از نیروهای محیط خارجی را برای تأمین آسایش و آرامش داخلی فراهم می‌کنند. نمای دوپوسته، با تنظیم انرژی تابشی خورشید و فشار باد، حائل و محافظ مضاعف برای فضای داخلی ساختمان‌ها ایجاد می‌کند. توجه به اقلیم موردمطالعه و درنظرگرفتن اصول طراحی غیرفعال، مهم‌ترین عوامل در تعیین رفتار بهینه نمای ساختمان است. برای رسیدن به این هدف، راهکارهای متنوعی نظیر استفاده از سایه‌بان‌های داخلی و خارجی، فناوری‌های پیشرفته، نماهای شیشه‌ای، سامانه‌های تهویه فعال و غیرفعال و نمای دوپوسته مطرح است [۱،۲].

نماها از مهم‌ترین عناصر در ساختمان‌های کم‌انرژی هستند. میزان بالای شفافیت، اجازه بهره‌گیری حداکثر از نور روز و منظره بیرونی را می‌دهند. انتقال گرما و نور در فضای داخلی با استفاده از کرکره خورشیدی، نماهای دوپوسته و پرده‌ها کنترل می‌شوند [۳]. یکی از مهم‌ترین روش‌های تنظیم دمای داخلی ساختمان و بهبود مصرف انرژی، استفاده از توزیع فشار باد در ساختمان‌های با دیواره دوپوسته است. بهره‌گیری مناسب از این تکنولوژی مستلزم آن است تا پژوهش‌های توسعه‌ای دقیقی در راستای انطباق راهکارها با شرایط اقلیمی منطقه انجام پذیرد تا انتقال تکنولوژی به مقصد با موفقیت صورت پذیرد[۴].

شهر منجیل باوجود نیروگاه‌های بادی و انرژی برق‌آبی، به‌عنوان یکی از قطب‌های انرژی تجدیدپذیر کشور محسوب می‌شود. بااین‌وجود، گزارشی مبنی بر این‌که معماران به شکل علمی یا تجربی، تلاشی در استفاده از باد منجیل در مقیاس ساختمان‌ها کرده باشند، ثبت‌نشده است. سرعت وزش باد در این منطقه مستخرج از فصلنامه زمستان ۱۳۹۹ اداره کل هواشناسی استان گیلان، با مقدار متوسط ۳۵ متر بر ثانیه و با فراوانی ۱۸درصد وقوع، از میزان عددی آن در سایر شهرستان‌های استان بالاتر است. این امر استفاده از انرژی تجدیدپذیر باد را در درون ساختمان‌های این منطقه دچار چالش کرده و سرعت‌بالا و فشار حاصل از آن، کنترل و مهار باد را تقریباً غیرممکن کرده است. با ورود این حجم از هوای بدون کنترل، امکان استفاده از بالکن‌ها و حریم داخل بازشوها به حداقل رسیده است و با جلوگیری از ورود باد به داخل ساختمان، بنای معماری و درنتیجه ساکنان آن از داشتن تهویه طبیعی محروم شده‌اند [۵].

پژوهش حاضر درصدد است که با بررسی روش‌های به‌کارگیری نماهای دوپوسته از نوع راهرویی، امکان استفاده از باد جهت تهویه طبیعی را موردبررسی قرار دهد. به‌عبارت‌دیگر هدف از این تحقیق، دستیابی به نحوه کاهش میانگین فشار باد بر ساختمان‌های میان مرتبه شهر منجیل با استفاده از نماهای دوپوسته است.

۱-۱- مروری بر پیشینه پژوهش

اولین تجربیات پژوهشی ثبت‌شده از الگوی نماهای دوپوسته که منجر به تهویه در لایه‌های بین نمای شیشه‌ای ساختمان گردیده است، در ساختمان موزهٔ صنعتی بروکسل گزارش شد. در سال‌های بعد در کشور آلمان در راستای بهره‌گیری هرچه بیشتر از نور روز و پرهیز از سرما و بادهای شدید منطقه از این الگو بهره جستند. در ادامه، با توجه به بحران‌های ایجادشده در حوزه انرژی و ترجیحات انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده از الگوی نمای دوپوسته در سال‌های ۱۹۹۰ میلادی به بعد رشد چشمگیری مواجه شد [۶]. دو دهه اخیر، تحقیقات نسبتاً گسترده‌ای درزمینه بررسی عملکرد نماهای دوپوسته انجام پذیرفته است و این در حالی است که سهم بیشتر پژوهش‌ها بر رفتار حرارتی و بهره‌وری انرژی نماهای دوپوسته معطوف بوده و سهم پژوهش‌های مؤثر بر تهویه محدوداست [۷-۱۰].

در سال ۲۰۰۱، اوسترل و همکاران در پژوهش خود طبقه‌بندی نماهای دوپوسته را با توجه به نوع هندسه فضای مابین دوپوسته (پارتیشن بندی: عرض بازشوها، ارتفاع و عمق فضای میان دوپوسته و غیره) درنظر گرفتند. ایی، لی و همکاران در سال ۲۰۰۲، در تحقیقی با دسته‌بندی چهارگانه نماهای دوپوسته و انواع آن به بررسی عملکرد و تبیین میزان کارایی آن‌ها پرداختند. در سال ۲۰۰۲، کراگ در پژوهشی نوآورانه در زمان خود، ایده استفاده از تهویه فعال در نماهای دوپوسته را ارائه نمود و میزان بهره‌وری آن را موردسنجش قرارداد. در سال ۲۰۰۴، گراتیا و دیهیرد، در پژوهشی جامع، اثرات تهویه طبیعی را در نماهای دوپوسته مورد ارزیابی قراردادند. در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار TAS، وضعیت تهویه طبیعی در ساختمان چندطبقه با نمای دوپوسته را موردبررسی و آنالیز قراردادند. مؤلفه‌های مورد آزمایش مبتنی بر جهت‌گیری و زاویه جهت وزش باد و همچنین زوایای پوسته انجام‌شده که میزان تأثیر هریک از آن‌ها سنجیده شد [۱۱]. در پژوهشی مروری که باربوسا و همکاران بر روی ساختمان‌ها با تهویه طبیعی انجام داده‌اند، سهم نماهای دوپوسته در رفتار حرارتی برودتی را بسیار چشمگیر قلمداد کردند که توانایی تأمین بازه آسایش حرارتی را در اقلیم‌های گرم دارد [۲].

در سال ۲۰۱۵ در مرکز تحقیقات معماری و ساختمان دانشگاه مرکزی تایوان توسط جوهاچنو همکاران تحت عنوان "تأثیر توزیع فشار باد بر دیوارهای متخلخل خارجی در ساختمان‌های با نماهای دوپوسته" انجام گرفت و یک سلسله آزمایش‌ها آئرودینامیکی در آزمایشگاه مهندسی باد دانشگاه تامکانگ[1] مالزی انجام شد. در این پژوهش، تونلی به ابعاد ثابت ۸/۱ *۲/۱*۱۲ متر با سرعت باد ۲۵ متر بر ثانیه ساخته شد تا تأثیر هریک از موارد مکان قرارگیری خروجی‌های هوا، تأثیر اندازه گشودگی‌ها (سوراخ‌ها) و فاصله میان دوپوسته بر نمای خارجی و داخلی سنجش شود. نمونه یا مدل مصنوعی مورد آزمایش نیز با صفحات آکریلیک ۳ میلی‌متری به ابعاد ۳۰*۳۰*۲۰ سانتی‌متر ساخته شد. با داشتن دیوارهای خارجی قابل‌تغییر، ۳ نوع پوسته با ۳ اندازه متفاوت سوراخ بازشو؛ ۰/۶ درصد، ۱ درصد و ۲/۴ درصد از سطح کل پوسته طراحی گردید. نتایج حاکی از این بود که اندازه فشار خالص بر جداره پوسته، هنگامی‌که اندازه حفره‌ها بزرگ‌تر می‌شوند، کاهش می‌یابد. به همان شکل، توزیع نوسان فشار هم بر پوسته متخلخل خارجی و نما به تعادل نزدیک می‌شود. به عبارتی برای دیواره‌ها، حفره‌های بزرگ‌تر، بار باد را کاهش می‌دهد. در مورد سوم، هرقدر این فاصله بیشتر می‌شود، به‌ویژه وقتی به‌اندازه ۱۰ درصد سطح کل پوسته می‌رسد، توزیع نوسان بالایی تقریباً تمام جداره خارجی را فرامی‌گیرد. این امر نشان می‌دهد که فاصله بیشتر و بزرگ‌تر، جریان هوای شناور بیشتری را به محدوده میان جداره‌ها وارد می‌کند و مقدار نوسان را بالا می‌برد .

گانگ‌هو و همکارانش در سال ۲۰۱۷ میلادی در پژوهشی جامع و ریزبینانه تحت عنوان "واکنش ساختمان‌های بلندمرتبه مجهز به سیستم نمای دوپوسته در برابر باد"، با کمک گرفتن از روش اجرایی و آزمایشگاهی تونل باد، رفتار برج‌های بلندمرتبه را با یا بدون بازشو در نمای بیرونی در برابر بادهای مطلوب و نامطلوب موردبررسی قراردادند. نتایج پژوهش نشان داد که نمای دوپوسته، در برابر وزش بادهای نامطلوب، چنانچه بدون بازشو باشد، کمترین تأثیری در

1. Tamkang

کاهش اثرات باد ندارد. درحالی‌که نمای دوپوسته دارای بازشو، یک تأثیر کاهنده قوی دارد [۱۲].

حسنلی نیز در سال ۲۰۱۸ به همراه سایر نویسندگان، در مطالعه‌ای موردی در ۴ شهر استرالیا، عملکرد نماهای دوپوسته را در تولید انرژی حاصل از باد، موردمطالعه قراردادند. بدین ترتیب که اگر محور کریدورها یا دالان‌های دوپوستگی، شمالی- جنوبی تنظیم شوند، بهترین جهت‌گیری ساختمان در تولید انرژی رقم خورده است [۱۳]. و این اتفاق در دو شهر ملبورن و بریزبن به جهت وزش پرقدرت باد در تمامی جهات پیش‌آمده است.

میتور و همکارانش در مقاله‌ای با نام "تهویه باد در نماهای دوپوسته با بازشوهای عمودی؛ تأثیر شکل بازشوها" در سال ۲۰۲۱، تأثیر بازشوهای پوسته بیرونی و فرم آن‌ها را در تهویه ساختمان‌ها، در زمان‌هایی که باد عمود بر نما، موازی با نما، یا با زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه می‌وزد، موردمطالعه قراردادند. نتایج مقاله نشان داد که آن هنگام که زاویه وزش باد نسبت به ساختمان بین ۰ تا ۳۰ درجه است، نسبت مساحت بازشوهای پوسته بیرونی به درونی، فاکتور بسیار تأثیرگذار در تهویه است [۱۴]. زمانی که این زاویه به ۶۰ یا ۹۰ درجه افزایش می‌یابد، فاصله دوپوستگی بسیار اثرگذار می‌شود و یا اگر تعداد بازشوی روی پوسته بیرونی به عدد ۳ برسد، کارایی سیستم در تهویه بسیار بالا می‌رود. در کشور ایران، تحقیقات محدودی نیز تأثیر نماهای دوپوسته را بر مصرف انرژی ساختمان ارزیابی کرده‌اند [۱۵]. در سال ۱۳۸۹، معرفت و همکاران، بهره‌گیری از نمای دوپوسته به‌جای نمای شیشه‌ای متداول را، در کارگاه‌ها بررسی کرده و تأثیر این نوع نما بر میزان مصرف انرژی در تهران را محاسبه نموده‌اند [۵]. در سال ۱۳۹۲، قنبران و حسین‌پور، گزینه‌های مختلف نمای دوپوسته را روی یک ساختمان اداری در تهران شبیه‌سازی و نتیجه کاهش ۱۶ تا ۲۰ درصد مصرف انرژی در ساختمان را ارزیابی نمودند [۱۶]. در سال ۲۰۱۱، آذربایجانی، امکان ایجاد آسایش در ساختمان را با درنظرگرفتن تهویه، آسایش حرارتی و پایداری بررسی نموده و به نتایج قابل قبولی در امکان ایجاد آسایش حرارتی مناسبی منتج از تهویه طبیعی دست‌یافت. در سال ۲۰۱۲، صابونی و همکاران، بهره‌گیری از نرم‌افزار انرژی پلاس را جهت شبیه‌سازی نماهای دوپوسته توسعه دادند [۱۷].

در سال ۱۳۹۴، افشین مهر و همکاران، در تحقیقی با تغییر اندازه بازشوها و تعداد بازشوها در روز و شب تابستان، تغییرات دما و سرعت باد را مورد مطالعه قراردادند. مدل موردمطالعه، یک ساختمان فرضی ۳ طبقه بوده که در هر طبقه آن، یک واحد تک اتاقی مدنظر قرارگرفته بود و پهنای حفره در این نمای دوپوسته ۵۰ سانتی‌متر درنظر گرفته‌شد. شرایط هندسی مدل نمونه، اندازه بازشو، مکان بازشوی ورودی و مکان بازشوی خروجی از متغیرهای پژوهش بودند. آنالیزها در این پژوهش با استفاده از دو نرم‌افزار فلوئنت[1] و گامبیت[2] صورت پذیرفت. نتایج حاکی از این بود که در شب تابستانی، در صورت باز بودن دریچه‌های خارجی و بسته بودن دریچه‌های داخلی ورود هوا به داخل ساختمان، حرکت هوا به‌صورت تونلی تأثیر مساعدی در تعدیل دمای داخلی ندارد. درعین‌حال، با توجه به دریچه‌های بسته ورود و خروج هوا به داخل ساختمان، سرعت باد تأثیری در جریان هوای داخلی نداشته و تنها جداره را خنک کرده و رطوبت‌زدایی می‌کند. درنهایت پژوهشگران پیشنهاد می‌کنند تا در شب تابستانی، دریچه‌های نمای خارجی نیز بسته باشند تا با حبس هوا بین دولایه، حفره هوا به‌صورت عایق عمل نموده و درنتیجه به نزدیک شدن به دمای آسایش کمک کند [۱۸].

1. Fluent
2. Gambit

در سال ۱۳۹۶، کشاورز و همکاران، در راستای بهینه‌سازی تهویه طبیعی در نمای دوپوسته راهرویی، ارزیابی جامعی را صورت داده‌اند که با مدل‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر[3]، به نتایج کالبدی مؤثری در ساختمان‌های اداری شیراز دست‌یافته‌اند. در این راستا جهت دستیابی به توزیع مناسب جریان هوا در فضای داخلی، عمق مناسب فضای میانی دوپوسته یک‌چهارم عرض کل نمای دوپوسته، به میزان ۵ متر به دست آمد و در همین راستا عمق فضای داخلی نیز به جهت هماهنگی با فضای میانی دوپوسته به همین اندازه در نظر گرفته شد که بعد از ورود جریان هوا مشاهده گردید که جریان هوا تا انتهای فضا نفوذ کرده و با توزیع مناسب کل فضا را با سرعتی مطلوب پوشش داده است [۱۹].

همان‌گونه که اشاره گردید، تحلیل عملکرد نماهای دوپوسته در مواجهه با بادهای شدید، کمتر از یک دهه سابقه دارد و سهم بیشتر پژوهش‌ها بر رفتار حرارتی و بهره‌وری انرژی نماهای دوپوسته معطوف بوده و سهم پژوهش‌های مؤثر بر تهویه محدود است. از سویی دیگر، تاکنون درزمینه مقایسه عملکرد نماهای دوپوسته در مواجهه با مناطق بادخیز در ایران، در راستای استفاده از باد در مقیاس ساختمان‌ها، پژوهش منسجمی انجام نگرفته است و این خلأ پژوهشی وجود دارد.

۱-۲- چارچوب نظری

نمای دوپوسته، به نمایی اطلاق می‌شود که از احداث حداقل دوپوسته داخلی و خارجی، با فاصله ۲۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متری، موسوم به فضای "واسط" و پوسته خارجی غالباً از شیشه شکل‌گرفته باشد. پوسته داخلی به‌طور متداول بخشی شیشه و بخش دیگر نمای غیرنورگذر است. این فضا به دو روش طبیعی یا به مکانیکی تهویه می‌گردد [۵].

لایه خارجی وظیفه حفاظت در برابر هوا را دارد و همچنین عایق صوتی در برابر سروصدای خارجی است و معمولاً دارای بازشوهایی برای تهویه فضای میانی و اتاق‌های داخلی می‌باشد. جریان هوا از طریق فضای میانی یک نمای دوپوسته و به‌وسیله جریان همرفتی و یا مکش، فعال می‌شود. برای تطابق بیشتر با شرایط محیطی، این امکان نیز وجود دارد که بازشوهای لایه بیرونی کاملاً بسته شود. لایه‌های نمای دوپوسته عبارت از شیشه بیرونی، شیشه درونی و حفره هوای بین دو شیشه می‌باشد [۲۰]. روش‌های مختلفی برای دسته‌بندی سیستم نماهای دوپوسته در متون مختلف ذکرشده است و دسته‌بندی‌ها بر اساس حالت‌های تهویه (مبدأ و مقصد جریان هوا در فضای مابین دوپوسته) و نوع تهویه (طبیعی، مکانیکی و ترکیبی) و همچنین ویژگی‌های هندسی انجام‌شده است [۵].

بر اساس ترکیب‌بندی ساختار فضای واسط، می‌توان ترکیب‌بندی نمای دوپوسته را به چهار دسته‌بندی تقسیم نمود (شکل ۱).

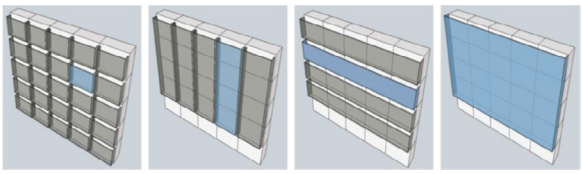
۱. نمای چندطبقه‌ای یا یکپارچه: این سیستم نما هیچ پنجره عملیاتی ندارد و پارتیشن بندی‌های افقی برای آکوستیک، ایمنی، آتش‌سوزی و دلایل تهویه‌ای انجام می‌شود [۵]. بازشوهای ورودی و خروجی نزدیک به کف و سقف قرار می‌گیرند و معمولاً به‌صورت تناوبی عمل می‌کنند، از ورود هوای خروجی از طبقه پایین‌تر به ورودی طبقه بالاتر جلوگیری می‌کند. بین دریچه‌های ورود و خروج در هر طبقه هوا به‌صورت قطری (مورب) جریان می‌یابد تا از مکیده شدن هوای خروجی که از طبقه پایین‌تر آمده توسط بازشو ورودی هوای طبقه بالاتر جلوگیری شود [۲۴-۲۲].

3. Design builder

۲. جعبه ستونی: بسته شدن میان اتاق‌های مجاور و یکپارچگی عمودی فضای حائل، هوای خروجی از طریق یک بازشوی فرعی به سمت بالای فضای مابین دوپوسته هدایت می‌شود. لایه نمای داخلی با پنجره‌های لولایی که دوار و عمودی هستند، با شیشه‌های کم گسیل پوشیده شده است.

۳. دالانی: بسته شدن میان طبقات و یکپارچگی افقی.

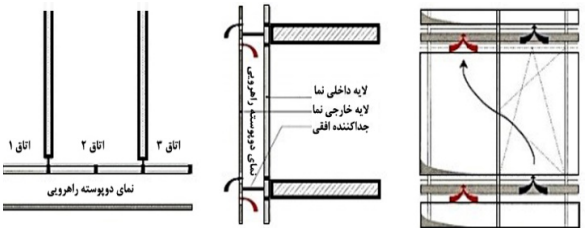
۴. جعبه‌ای: بسته شدن افقی و عمودی فضای حائل در تراز طبقه.



شکل ۱ انواع نما دوپوسته، از راست: یکپارچه، دالانی، ستونی، جعبه‌ای

در پارتیشن‌بندی‌های افقی برای آکوستیک، ایمنی، آتش‌سوزی و تهویه، از نمای دوپوسته راهرویی استفاده می‌شود [۴]. بازشوهای ورودی و خروجی نزدیک به کف و سقف قرار می‌گیرند و به‌صورت تناوبی عمل می‌کنند که از ورود هوای خروجی از طبقه پایین‌تر به ورودی طبقه بالاتر جلوگیری می‌کند [۲۱].

به علت این‌که سیستم نمای راهرویی در هر طبقه به‌صورت جداگانه ایجاد می‌شود و تهویه هر طبقه نیز مستقل از طبقات بالایی و پایینی صورت می‌گیرد، می‌توان انتظار تهویه‌ای مطلوب و توزیع مناسب جریان هوا در فضای میانی و حتی داخلی ساختمان را داشت (شکل ۲) [۱۹].



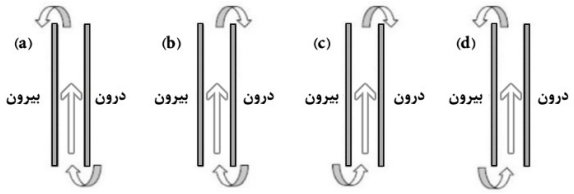
شکل ۲ نمای راهرویی؛ پلان، برش و نما

از منظری دیگر، بر مبنای منبع تهویه فضای حائل؛ چند حالت ترکیبی از تأمین هوا به نقطه تخلیه هوا وجود خواهد داشت [۵].

تهویه به داخل ساختمان: هوا از فضای داخل بنا به شکاف وارد می‌شود و هوای خروجی از آن به سیستم سرمایش و گرمایش مرکزی ساختمان برمی‌گردد.

تهویه مرکب: هوا از داخل بنا یا خارج آن وارد شکاف نما شده و از سمت مخالفش خارج می‌شود. هوای تازه می‌تواند قبل از ورود به اتاق برای فصل زمستان به‌عنوان یک پیش گرم‌کننده عمل نماید. در دو نوع فوق، از تهویه مکانیکی استفاده می‌شود که با سیستم‌های تهویه مطبوع در ساختمان تجمیع می‌شود.

تهویه به خارج ساختمان: هوا از فضای بیرون به شکاف وارد می‌شود و به بیرون نیز تخلیه می‌گردد. این نوع به‌عنوان تنفس نماهای دوپوسته، معمولاً با تهویه طبیعی همراه می‌باشد. از این سیستم می‌توان هوای تازه فضای داخلی را از طریق پنجره‌ها تأمین نمود. همچنین در شرایط بسته، به‌عنوان یک پوسته عایق، پایداری حرارتی مناسبی را ایجاد می‌کند (شکل ۳) [۵].



شکل ۳ انواع نماهای دوپوسته بر اساس تهویه

۱-۳- فرضیات پژوهش

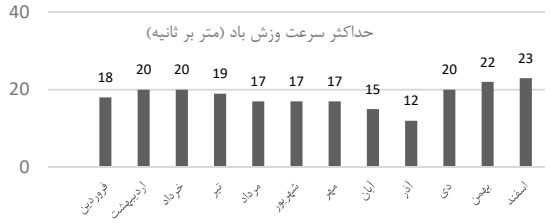
جهت انجام این تحقیق شبیه‌سازی در جهت بررسی فرضیات زیر مورداستفاده قرارگرفته است:

- به نظر می‌رسد فاصله میان دوپوسته داخلی و خارجی در میزان فشار عبور باد مؤثر است.
- به نظر می‌رسد تعداد، اندازه و نسبت بازشوهای موجود در پوسته بیرونی می‌تواند در تنظیم سرعت و فشار باد مؤثر باشد.
- به نظر می‌رسد محل و جهت بازشوها در پوسته بیرونی در تنظیم سرعت و فشار نقش مهمی ایفا می‌کند.

۲- روش تحقیق

۲-۱- تبیین مشخصات آزمون

در این تحقیق جهت بررسی رفتار حرارتی نماهای دوپوسته، از روش شبیه‌سازی استفاده‌شده است. نخستین گام در روند این تحقیق جمع‌آوری اطلاعات موردمطالعه است. اطلاعات آب‌وهوایی شهر منجیل، از فصلنامه‌های تابستان، پاییز و زمستان سال ۱۳۹۹ هواشناسی استان گیلان گردآوری و جهت شبیه‌سازی وارد نرم‌افزار گردید (شکل۴). جهت بررسی سرعت و فشار جریان هوای ورودی و خروجی بین دوپوسته و همچنین فضای داخلی در ساختمان مسکونی در شهر منجیل، اطلاعات مربوط به جهت، سرعت و فشار باد غالب منطقه به شرح اطلاعات زیر استخراج گردید[۲۴-۲۲].



شکل ۴ اطلاعات آب‌وهوایی شهر منجیل

با توجه به نمودار گلباد منجیل، جهت باد غالب از سمت غرب و شمال غرب در نظر گرفته‌شده و سرعت جریان باد نیز ۱۸ متر بر ثانیه و فشار ۱۸۹.۳۶ پاسکال به‌عنوان سرعت متوسط در نظر گرفته‌شده است. اطلاعات مربوط به ساختار ساختمان به‌منظور درنظر گرفتن معیارهای هندسی و سطوح ساختمان (شامل دیوارهای خارجی، طبقات، سقف‌ها و پنجره‌ها) و همچنین اطلاعات سایت و جهت‌گیری ساختمان، نمای ساختمان، مشخصات مصالح و ... بر مبنای استانداردهای متداول طراحی، منعکس در کلیات ضوابط و مقررات ساختمانی و شهرسازی مندرج در طرح جامع شهر منجیل، مصوب سال ۱۳۹۵، گردآوری گردید و در نرم‌افزار شبیه‌سازی به کار گرفته شد. هرچند عمق دوپوستگی می‌تواند تا ۲۰۰ سانتی‌متر هم درنظر گرفته شود و بدین‌جهت می‌توان از بخشی از دوپوستگی به‌عنوان بالکن استفاده کرد، ولی در این پژوهش به جهت

قابل‌استفاده بودن نتایج در مصادیق موجود، دیوار دو پوسته بدون درنظر گرفتن بالکن لحاظ شده است.

۲-۲- انتخاب ابزار گرداوری داده‌ها

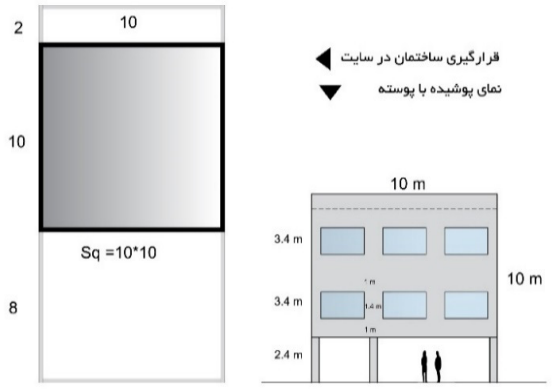
به‌منظور بررسی میزان جریان سرعت و فشار هوای گردشی در چهار مدل زیر در اقلیم منجیل، بر اساس دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، از نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده‌شده است (جدول ۱).

جدول ۱ داده‌های ورودی به نرم‌افزار

اجزای ساختمان	ویژگی
ابعاد نمای دوپوسته	عمق ۰.۵ متر، ۰.۳متر و ۰.۱ متر (ارتفاع هر طبقه ۳.۴۰ به علاوه ۰.۴ متر ارتفاع بالاتر از سقف نهایی و فاصله ۰.۸ متر بین هردو تقسیم نمای راهرویی)
نمای داخلی	شیشه داخلی پنجره‌ها ۶ میلی‌متری شفاف دوجداره، شیشه خارجی ۶ میلی‌متری شفاف، گاز میان دو شیشه: هوا به ضخامت ۶ میلی‌متر، قاب آلومینیومی
نمای خارجی	شیشه ۶ میلی‌متری یک جداره شفاف
سایبان	داخلی و خارجی ندارد.

۲-۳- انتخاب مدل آزمون

مدل مورداستفاده در آزمون‌ها، ساختمانی دوطبقه روی پیلوت، با سقف صاف و با مساحت ثابت در چند الگوی متفاوت پوسته در نظر گرفته‌شده است. مساحت و الگوی مدل پایه مدل بر اساس متراژ متداول الگوی پلان مسکونی بر اساس فراوانی سطح اشغال پروانه‌های صادرشده سال ۱۳۸۹ مستخرج از داده‌های مرکز آمار برای ساختمان‌های مسکونی تک‌واحدی در منطقه تعیین گردیده است.[۱] ساختمان نیز به نحوی در سایت قرارگرفته سه جانب آن در معرض وزش باد قرار دارد و با کاربری مسکونی و با پلان مربع به ابعاد ۱۰*۱۰ در زمین ۲۰*۱۰ در ۳ طبقه (یک طبقه پیلوت بدون نمای دوپوسته و دوطبقه مسکونی با نمای دوپوسته) است. ارتفاع هر طبقه تا کف ۳.۴۰ متر و پیلوت با ارتفاع ۲/۴۰ متر از سطح زمین قرارگرفته و در کل حجمی مکعب شکل به ابعاد ۱۰*۱۰*۱۰ که سمت غرب آن- رو به جهت وزش باد شدید منجیل- به نمای دوپوسته تجهیز شده است به ارتفاع و عرض ۱۰ متر و با تقسیمات داخلی ۳*۳ متر از نوع نمای دوپوسته راهرویی (شکل ۵).



شکل ۵ قرارگیری ساختمان در سایت، نمای پوشیده با پوسته

۱. مساحت زیربنا مستخرج از جدول ۱۲ مرکز آمار : تعداد پروانه های احداث ساختمان مسکونی بر حسب مساحت زیربنا در استان گیلان

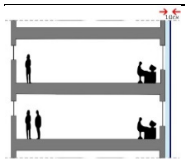
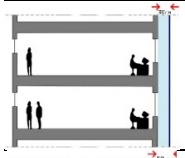
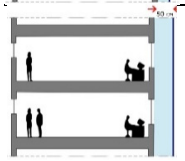
شبیه‌سازی در دو مرحله انجام گرفت؛ هدف از شبیه‌سازی در مرحله اول، تعیین فاصله بهینه میان پوسته و نمای اصلی ساختمان، در دستیابی به کمترین مقدار سرعت و فشار است. مطابق برش از ساختمان، بازشوها بر روی سطح نمای اول (پوسته) شبیه‌سازی گردید. در مرحله دوم، شبیه‌سازی پارامترهای دیگر تأثیرگذار شمال، هندسه بازشوها، ابعاد و مکان قرارگیری‌شان، جهت دستیابی به کمترین مقدار سرعت و فشار انجام گرفت که در این مرحله نیز، بازشوها تنها بر روی سطح نمای اول (پوسته) مکان‌یابی شدند.

۳- شبیه‌سازی و گردآوری داده‌ها

۳-۱- شبیه‌سازی مرحله اول

در هر طبقه به‌صورت مجزا یک فضای راهرو مانند مابین دوپوسته نما ایجاد شد و بازشوها نیز بر روی سطح نما قرار گرفتند. در این مرحله از شبیه‌سازی، تنها فضای مابین پوسته نمای راهرویی بررسی می‌شود. فضای مابین دوپوسته به‌عنوان راهروی جریان هوا عمل می‌کند. بازشوی ورود هوا در پایین‌ترین قسمت سطح نمای دوم و نزدیک به کف و بازشوی خروج هوا در بالاترین قسمت سطح نمای دوم و نزدیک به سقف ایجاد گردید. هر سه به عرض ۳ متر با فاصله میانی ۱۰ سانتیمتر، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر تنظیم شد. مطابق ضوابط و مقررات کیفی سیما و منظر شهری استان، مصوب سال ۱۳۹۳، پیش‌آمدگی روی نما به ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر محدودشده است. عدد ۳۰ سانتی‌متر نیز به‌عنوان میانگین فاصله دو عدد درنظر گرفته‌شده است تا کنترل رابطه بین عمق، سرعت و فشار امکان‌پذیر شود. و به‌طورکلی در هر ۳ حالت سرعت حرکت باد روند کاهشی نشان داد [۲۳] (جدول ۲).

جدول ۲ اطلاعات نمای دوپوسته در مرحله اول

مقطع مدل سه‌بعدی	فاصله دو پوسته (cm)	حین برخورد به پوسته		حین ورود به پوسته	
		سرعت باد (m/s)	فشار باد (pa)	سرعت باد (m/s)	فشار باد (pa)
	۱۰	۱۶.۳۲	۱۸۹	۶.۵۳	۸۹.۷
	۳۰	۱۶.۳۲	۱۸۹	۶.۳۱	۶۴.۸
	۵۰	۱۶.۳۲	۱۸۹	**۵.۶۶**	**۵۹.۷**

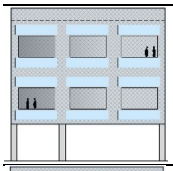
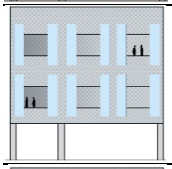
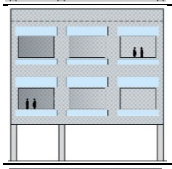
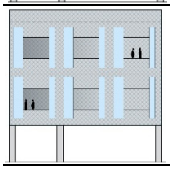
فارغ از این‌که عرض مقطع پوسته چه قدر باشد، سرعت باد در نزدیکی از ۱۸ m/s به ۱۶.۳۲m/s تقلیل می‌یابد. فشار هوا در این موضع ۱۸۹.۳۶ pa می‌باشد. مطابق شبیه‌سازی‌های و بررسی نتایج جدول ۲، مشاهده گردید که الگوی توزیع جریان در فضای میانی و اطراف ساختمان، تقریباً مشابه است.

پیرو تحلیل اطلاعات جدول، سرعت و فشار باد در ورود به داخل پوسته تقلیل پیدا می‌کنند و این روند کاهشی در مورد حرکت باد در درون پوسته هم تداوم می‌یابد. بیشترین تقلیل سرعت و فشار در فاصله دوپوستگی ۵۰ سانتی‌متری اتفاق افتاده است. سرعت باد از ۶.۵۳ متر بر ثانیه به ۵.۶۶ متر بر ثانیه تقلیل یافته و فشار باد نیز از ۸۹.۷۳ پاسکال به ۵۹.۷۳ پاسکال کاهش‌یافته است. لذا این عرض مقطع یا به عبارتی این فاصله دوپوستگی، برای شبیه‌سازی مراحل بعدی، انتخاب و تثبیت شد.

۳-۲- شبیه‌سازی مرحله دوم

پیش از شروع این مرحله، به‌منظور دستیابی به مقادیر بهینه در ابعاد بازشوها، جدولی از اندازه‌ها با نسبت‌های مختلف تهیه و به‌صورت جامع در نرم‌افزار اعمال گردید. نتایج نشان می‌دهند که، اگر مساحت بازشوها در بازه ۱۰ تا ۲۰ درصدی از مساحت کل پوسته درنظر گرفته شود، عملکرد نمای دوپوسته بهینه خواهد بود. لذا دو اندازه ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر با طولی برابر طول خود پانل پوسته برای انجام ادامه آزمایش‌ها انتخاب گردید. در این مرحله از شبیه‌سازی اندازه و مکان بازشوها طبق ۴ آلترناتیو نمایش داده‌شده، موردسنجش قرار گرفت (جدول ۳).

جدول ۳ اطلاعات نمای دوپوسته در مرحله دوم

نوع مدل	شناسه مدل	ابعاد بازشو	حین برخورد با پوسته		حین ورود به پوسته	
			سرعت باد (m/s)	فشار باد (pa)	سرعت باد (m/s)	فشار باد (pa)
	DSF 01	۲.۵*۰.۵	۱۶.۳	۱۸۹	۵.۴۳	۸۸.۷
	DSF 02	۰.۵*۲.۵	۱۶.۳	۱۸۹	۶.۵۲	۶۴.۵
	DSF 03	۲.۵*۰.۵	۱۶.۳	۱۸۹	۴.۰۷	۷۶.۸
	DSF 04	۰.۵*۲.۵	۱۶.۳	۱۸۹	۶.۲۵	۱۲۵

همان‌طور که از نتایج شبیه‌سازی مرحله دوم برآمد، با این‌که هوا به‌طور مناسب در فضای مابین دوپوسته جریان می‌یابد و از بازشوهای جداره مشترک فضای مابین دوپوسته و فضای داخلی وارد ساختمان می‌شود، اما الگوی توزیع هوا و فشار آن در گزینه‌های گوناگون فوق بسیار متفاوت از یکدیگر دیده شدند. همچنین نتایج نشان داد که سرعت حرکت باد بر اساس ساختار بازشوها، بسیار متفاوت عمل می‌کند.

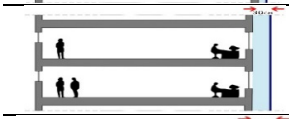
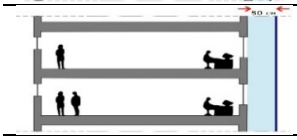
۴- تجزیه‌وتحلیل نتایج و یافته‌ها

با بررسی گزینه‌ها و انواع مختلف نماهای دوپوسته که مورد تائید تحقیق‌های در پیش ذکرشده بودند، سیستم نمای دوپوسته راهرویی انتخاب گردید تا امکان تهویه مستقل طبقات از همدیگر، فراهم گردد و از اجرای مستقل نیز برخوردار باشد [۲۲].

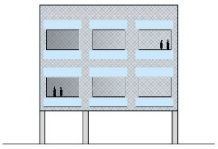
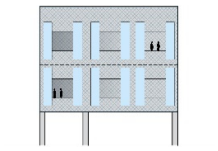
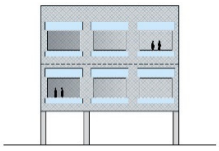
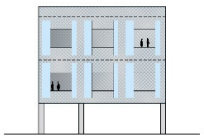
طبق نتایج پژوهش‌های ذکرشده، وجود بازشو در پوسته بیرونی تأثیر بالایی در کاهش و تعدیل اثرات نامطلوب باد بر ساختمان‌ها، به‌ویژه ساختمان‌های بلندمرتبه دارد. در پژوهشی دیگر نیز اثبات گردید که هرقدر ابعاد و اندازه این بازشوها بزرگ‌تر گردند، فشار خالص بر جداره‌های ساختمان کاهش می‌یابد. در پژوهش حاضر نیز در مقایسه مساحت‌های مختلف بازشوها در پوسته بیرونی، مساحت ۱۰ تا ۲۰ درصدیِ کل سطح پوسته، عملکرد دوپوستگی را بهبود بخشیده و کارکرد بازشوهای دارای اندازه‌های مختلف در قیاس با بازشوهای هم‌اندازه و همگن بالاتر است.

پیرو تحلیل اطلاعات که از شبیه‌سازی مرحله نخست استخراج‌شده است، سرعت و فشار باد در ورود به داخل پوسته تقلیل پیدا می‌کنند و این روند کاهشی در مورد حرکت باد در درون پوسته هم تداوم می‌یابد. ولی فشار در درون پوسته فارغ از عرض پوسته در همه نقاط ثابت می‌ماند. از طرفی دیده می‌شود که با افزایش عرض مقطع از ۱۰ cm به ۵۰ cm، سرعت حرکت باد روند کاهشی پیدا می‌کند، بدین معنی که سرعت باد و عرض مقطع یک رابطه معکوس با همدیگر دارند. کمترین سرعت خروج باد را در عرض مقطع ۵۰ cm به مقدار ۴.۳۵ m/s حاصل گردید (جدول ۴). در رابطه با فشار در عرض cm ۱۰ با تقلیل فشاری معادل ۲۰۰ درصد و در مقاطع ۳۰ cm و ۵۰ cm، با تقلیل فشاری حدود ۳۰۰ درصدی روبه‌رو هستیم. بنابراین دو یافته، بیشترین تقلیل سرعت و فشار در فاصله دوپوستگی ۵۰ سانتیمتری اتفاق افتاده است. مقایسه ارقام حاصل از جدول نمایش داده‌شده در ذیل که از شبیه‌سازی مرحله دوم حاصل گردیده است، نشان می‌دهد که سرعت حرکت باد بر اساس بازشوها، متفاوت عمل می‌کند. ارقام شبیه‌ساز حکایت از این دارد که بیشترین کاهش سرعت به ترتیب در مدل دوم، سوم، چهارم و درنهایت در مدل اول اتفاق افتاده است. به همین ترتیب روند کاهش فشار باد در داخل پوسته به ترتیب با مدل چهارم؛ با بازشوهای عمودی با ابعاد دوگانه ۲.۵* ۰.۵ و ۲.۵* ۰.۲۵، دوم؛ با بازشوهای عمودی با ابعاد ۲.۵* ۰.۵، و مدل‌های سوم و اول با بازشوهای افقی است (جدول ۴).

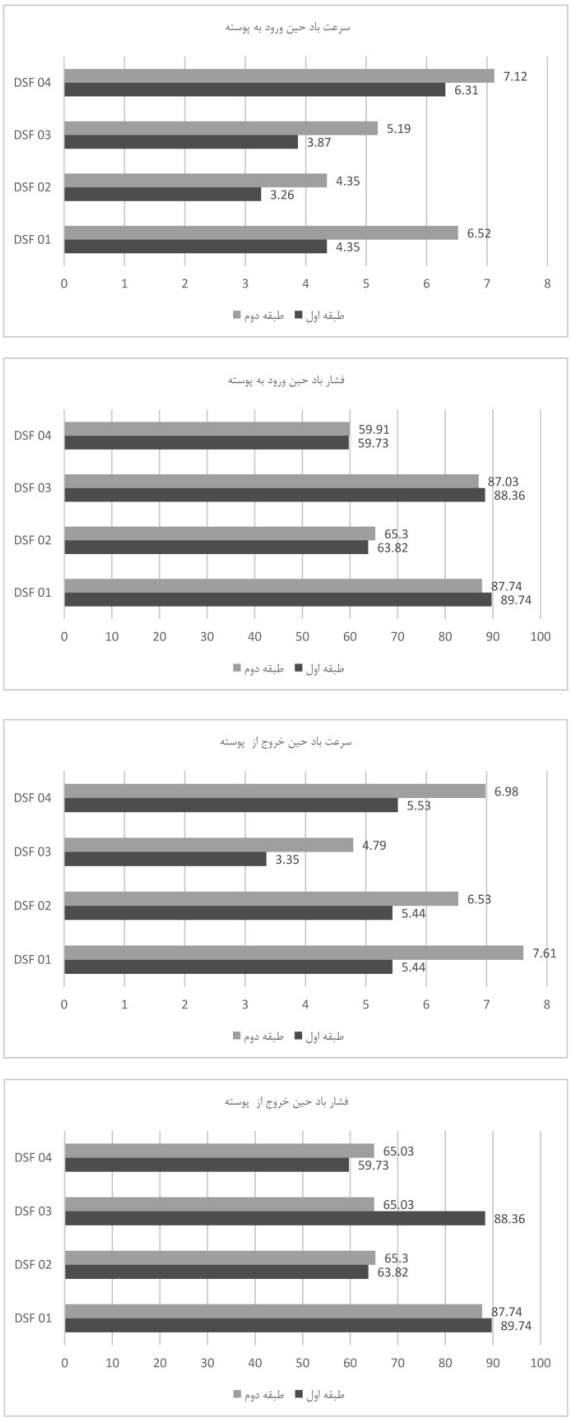
جدول ۴ مقادیر عددی سرعت و فشار هوای ورودی و خروجی در شبیه‌سازی اول

مدل	فاصله دوپوسته (cm)	بیرون پوسته: حین برخورد با پوسته – سرعت باد (m/s)	بیرون پوسته: حین برخورد با پوسته – فشار باد (pa)	درون پوسته: حین ورود به پوسته – سرعت باد (m/s)	درون پوسته: حین ورود به پوسته – فشار باد (pa)	درون پوسته: حین خروج از پوسته – سرعت باد (m/s)	درون پوسته: حین خروج از پوسته – فشار باد (pa)	سرعت باد پس از خروج (m/s)
	۱۰	۱۶.۳۲	۱۸۹.۳۶	۶.۵۳	۸۹.۷۳	۵.۴۴	۸۹.۷۳	۲۲.۸۴
	۳۰	۱۶.۳۲	۱۸۹.۳۶	۶.۳۱	۶۴.۸۲	۴.۷۹	۸۹.۷۳	۲۲.۲۳
	۵۰	۱۶.۳۲	۱۸۹.۳۶	۵.۶۶	۵۹.۷۳	۴.۳۵	۸۹.۷۳	۲۱.۸۷

جدول ۵ مقادیر عددی سرعت و فشار هوای ورودی و خروجی در شبیه‌سازی دوم

نوع مدل	مکان بازشو شناسه مدل	بیرون پوسته: حین برخورد با پوسته – سرعت باد (m/s)	بیرون پوسته: حین برخورد با پوسته – فشار باد (pa)	درون پوسته: حین ورود به پوسته – سرعت باد (m/s)	درون پوسته: حین ورود به پوسته – فشار باد (pa)	درون پوسته: حین خروج از پوسته – سرعت باد (m/s)	درون پوسته: حین خروج از پوسته – فشار باد (pa)
	طبقه اول	۱۶.۳۲	۱۸۹.۳۶	۴.۳۵	۸۹.۷۴	۵.۴۴	۸۹.۷۴
	طبقه دوم			۶.۵۲	۸۷.۷۴	۷.۶۱	۸۷.۷۴
	DSF 01						
	طبقه اول	۱۶.۳۲	۱۸۹.۳۶	۳.۲۶	۶۳.۸۲	۵.۴۴	۶۳.۸۲
	طبقه دوم			۴.۳۵	۶۵.۳۰	۶.۵۳	۶۵.۳۰
	DSF 02						
	طبقه اول	۱۶.۳۲	۱۸۹.۳۶	۳.۸۷	۸۸.۳۶	۳.۳۵	۸۸.۳۶
	طبقه دوم			۵.۱۹	۸۷.۰۳	۴.۷۹	۶۵.۳۰
	DSF 03						
	طبقه اول	۱۶.۳۲	۱۸۹.۳۶	۶.۳۱	۵۹.۷۳	۵.۵۳	۵۹.۷۳
	طبقه دوم			۷.۱۲	۵۹.۹۱	۶.۹۸	۶۵.۳۰
	DSF 04						

بدین ترتیب در بررسی الگوها مشخص گردید که بازشوهای عمودی عملکرد مناسب‌تری نسبت به بازشوهای افقی دارند. به‌ویژه مدل چهارم با بازشوهای عمودی با ابعاد دوگانه ۲.۵* ۰.۵ و ۲.۵* ۰.۲که در کاهش فشار بهترین عملکرد را از خود نشان داده است. به عبارتی بازشوهای عمودی غیرهمسان که نسبت وسعت بازشوهای آن ۱ به ۲ است، کارایی بالاتری را به‌دست داده‌اند (شکل ۶).



شکل ۶ نمودار سرعت با و فشار باد حین ورود پوسته و خروج از پوسته

۵- نتیجه‌گیری

پس از بررسی گزینه‌های مختلف، با تغییر متغیرهایی چون اندازه فاصله دوپوستگی، تغییر ابعاد و مکان بازشوهای پیشنهادی در نمای بیرونی ساختمان مسکونی موردبحث در شهر منجیل، از طریق شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و تقلیل سرعت و فشار باد غالب در داخل دوپوستگی به حدی که بتوان از آن در واحدهای مسکونی بهره برد، احکام ذیل به‌دست آمد که قابل‌تعمیم و استفاده در بناهای مسکونی دیگر هستند. در راستای پاسخ به سوال پژوه؛ رابطه میان مؤلفه‌های کالبدی نمای دوپوسته شامل: نوع دوپوستگی، عمق پوسته، محل و نسبت بازشوها، با سرعت و فشار باد حاصل گردید. نتایج نشان از این دارند که فشار باد داخل پوسته، تابعی از فشار باد بیرون ساختمان است که با کاهش معنی‌داری ثابت می‌ماند. به عبارتی منشاء سرعت و فشار داخل نمای دوپوسته، سرعت و فشار باد بیرون است و نقش دوپوستگی صرفاً کاهش است تا جایی که سرعت و فشار باد بیرون ساختمان را به حداقل قابل‌استفاده بودن، برساند. همچنین در راستای تائید فرضیه اول پژوهش، فاصله میان دوپوستگی، رابطه مستقیم با میزان کاهش سرعت حرکت باد دارد، بدین معنا که هرقدر فاصله بین پوسته بیرونی و درونی کمتر باشد، میزان کاهش سرعت باد نیز کمتر خواهد بود. در مقایسه میان بازشوهای پیشنهادی روی نمای بیرونی مشاهده شد که عملکرد بازشوهای عمودی بهتر از بازشوهای افقی است. در راستای اثبات فرضیه‌های دوم و سوم پژوهش، نتایج نشان از این دارند که عملکرد بازشوهای با اندازه ۱/۲ نسبت به هم از بازشوهای همگن و هم‌اندازه بهتر است. درکل می‌توان استفاده از دوپوستگی را به‌عنوان راهکاری مناسب در راستای کاهش فشار و سرعت باد روی نمای بناها در منجیل بهره برد که می‌تواند با متعادل کردن سرعت و فشار باد از موهبت وزش و خشکی، همچنین تهویه فضا و واحد مسکونی بهره برد.

۶- مراجع

[1] N. Hamza, Double versus single skin facades in hot ardi areas, *Journal of Building Physics*, Vol. 40, No. 3, pp. 240-248, 2004.

[2] B. Sabrina, I. Kenneth, Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 40, pp. 1019-1029, 2014.

[3] H. Poirazis, Double Skin Facades for Office Buildings: Literature review, *Report EBDR 04/3*, Department of Construction and Architecture, Lund University, 2004.

[4] M. Gholipour Gashniani, F. M. Saradj, M. Faizi, Integration Issues for Using Innovative Daylighting Strategies in Light Wells, *Journal of Applied Engineering Sciences*, Vol. 7, No. 2, pp. 31–38, 2017.

[5] M. Marefat, A. Azimi, Analysis of an industrial shed with a double skin in Tehran, *National Conference on Industrial Ventilation and Hygiene*, Tehran, sharif university of technology, 2010.

[6] S. Uuttu, Study of current structures in double-skin facades, *MSc thesis in Structural Engineering and Building Physics*, Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki University of Technology, 2001.

[7] O. Kinnane and T. Prendergast, Assessment of the double-skin façade passive thermal buffer effect, *30th international plea conference*, CEPT University, Ahmedabad, 2014.

[8] A. Zolfaghari, M. Sa'adati Nasab, E. Norouzi Jajarm, Utilizing phase change materials in double skin facade; An effective approach for using solar renewable energy, *Journal of Renewable and New Energy*, Vol. 2, No. 2, pp. 23-30, 2015.

[9] M. Salehi, N. Nasrolahi, J. Khodakarami, Evaluation to implement dualskin façades in hot and arid climate withregards to energy conservation, *The first international convention for the latest inenergy conservation*, Tehran, 2011.

[10] F. Mehdizadeh saradj , M. Danesh and H. Sanayeayan,The effects of inner and outer layers of double glazed facade on the rate of energy consumption in official and educational buildings (case

study: iran university of science and technology), j*ournal of environmental science and technology*, Vol. 16, No. 3, pp. 181-190, 2014.
[11] E. Gratia, A. De Herde, Natural ventilation in a double-skin facade, *Energy and Buildings*, Vol. 36, No. 2, pp. 137-146, 2004.
[12] H.Gang, S.Hassali, K.C.S.Kwok, and K.T.Tse, Wind_indused response of a tall building with a double-skin façade system, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, No.168, pp. 91-100, 2017.
[13] S. Hassanli, K.C.S. Kwok, M. Zhao, Performance assessment of a special Double Skin Façade system for wind energy harvesting and a case study, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics,* No. 175, pp. 292-304, 2018
[14] S. Matour, V. Garcia-Hansen, S.Omrani, S. Hassanli, R. Drogemuller, Wind-driven ventilation of Double Skin Facades with vertical openings: Effects of opening configurations, *Building and Environment*, No, 196, pp. 1-16, 2021.
[15] M. Hafezi, S. Zomorodian, M. Tahsildoost, Energy Efficient Design of Double Skin Faç ade, Case Study: an Office Building in Tehran. *journal of architecture studies*, Vol. 5, No. 2, pp. 101-122, 2017.
[16] A. Ghanbaran and A. Hosseinpour, Assessment of thermal behavior of double skin façade in the climate of Tehran, Sustainable *Architecture and Urban Development*, Vol. 1, No. 2, pp. 43-53, 2013. (In Persian)
[17] M. A. Sabooni, H. M. Vaseti, M. Maerefat, A. Azimi, Development of thecapability of EnergyPlus software to simulation of building double-skin facade, *International Symposium on Sustainable Energy in Buildings and Urban Areas*, Kusadasi, Turkey, 2012.
[18] V. Afshinmehr, F. Aref, M. Shaneh saz, A numerical analysis of double skin facades in summer, *naqshejahan*, Vol. 5, No. 2, pp. 77-85, 2015.
[19] Z. Keshavarz, M. Taban and M. Mehrakizade, Evaluation of natural ventilation in a corridor double skin faç ade (case study office building in shiraz), j*ournal of sustainable architecture and urban design*, Vol. 5, No. 1, pp. 15-28, 2017.
[20] B. Motiee, M. Nasiri, Double Skin Facades Arc news, *Architecture and Urban designing E-magazine*, Vol. 1, No. 3, pp. 111-119, 2006.
[21] E. Oesterle, R.D. Leib, G. Lutz, B. Heusler, Double-skin facades integrated planning: building physics, construction, aerophysics, air-conditioning, economic viability, *Double-skin facades*, Prestel, Munich, 2001.
[22] N. Nikandish, H. Akbari, Analysis of geomorphoclimatic factors in the creation of Manjil local wind, *natural geography*, Vol. 11, No. 42, pp. 125-140, 2017.
[23] Executive instructions of cityscape, *Deputy of Architecture & Urbanism of Municipility of Rasht*, 2014.
[24] Winter Meteorology Quarterly*, Guilan Meteorological Organization*, 2020.
[25] E. Yasa, Evaluation of the Effect of the Different Distances between Two Facades Natural Ventilation on Atrium Builadings with DSF and PMV-PPD Comfort, *9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC)*, 2015.