بهینه سازی تهویه طبیعی در نمای دوپوسته راهرویی نمونه موردی ساختمان اداری در شیراز

زهرا کشاورز[1]، محسن تابان[2] و محمد مهرکی‌زاده[3]

چکیده: یکی از موضوعات مهم در طراحی ساختمان‌های اداری توجه به ایجاد شرایط آسایش حرارتی با استفاده از روش‌های غیر فعال طراحی است. یکی از راهکارهایی که در این زمینه بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد استفاده از نماهای دوپوسته در این ساختمان‌هاست. تعیین شرایط مناسب برای پوسته ساختمان متضمن دریافت مناسب نور طبیعی و بهره‌مندی از تهویه طبیعی در پوسته ساختمان و در فضاهای داخلی است. در این تحقیق کوشش گردیده تا شرایط تهویه طبیعی در نمای دوپوسته راهرویی در ساختمانی با کاربری اداری در اقلیم گرم‌وخشک (شیراز) با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نسخه 4.5 بررسی و شبیه‌سازی گردد. طی چندین مرحله مدل‌های مختلف نمای دوپوسته در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و با کمک داده‌های آب‌وهوایی نرم‌افزار انرژی‌پلاس مدل‌سازی و شبیه‌سازی شدند، پارامترهایی چون سرعت، دما و الگوی توزیع و گردش جریان هوا در فضای مابین دوپوسته و فضای داخل ساختمان، جهت تعیین اندازه بهینه بازشوها در نمای ساختمان و نمای خارجی از سویی و فاصله بهینه میان دو پوسته مورد بررسی و تحلیل قرارگرفت. با توجه به نتایج شبیه‌سازی می‌توان نتیجه گرفت که با کم کردن طول راهرو به میزان مشخص می‌توان بر سرعت و توزیع جریان تأثیر مثبت گذاشت. کم کردن طول راهرو بیش از حد تعیین شده نه تنها تأثیری بر پارامترهای مؤثر بر تهویه ندارد، بلکه سبب کم شدن سرعت و عدم توزیع مناسب جریان می‌گردد.

واژگان کلیدی: ساختمان اداری، نمای دوپوسته راهرویی، تهویه طبیعی، نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر.

1 دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران.

2 استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران.

3 عضو هیئت علمی دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران.

1- مقدمه

نماهای دوپوسته علاوه بر بهبود آسایش حرارتی و بصری در ساختمان مصرف انرژی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهند و اجازه استفاده از محیط خارجی، برای حفظ آسایش و آرامش داخلی را می‌دهد. نمای دوپوسته، با بهره‌گیری از انرژی تابش خورشید و فشار باد برای تهویه، گرمایش یا سرمایش ساختمان، یک حائل و محافظ مضاعف برای ساختمان ایجاد می‌کند. توجه به اقلیم مورد مطالعه و در نظرگرفتن اصول طراحی غیرفعال، مهمترین عوامل در تعیین رفتار بهینه نمای ساختمان است. در اقلیم‌های گرم مانند بسیاری از شهرهای کشورمان، یکی از اهداف اصلی نما باید کاهش دریافت حرارتی خورشید در فصل گرم باشد. برای رسیدن به این هدف، راهکارهای متنوعی چون استفاده از سایه‌بان‌های داخلی و خارجی، فناوری‌های پیشرفته، نماهای شیشه‌ای، سامانه‌های تهویه فعال و غیر فعال و نمای دوپوسته مطرح است (Hmaza, 2008).

نماها مهم‌ترین عنصر مفهوم ساختمان کم‌انرژی هستند. میزان بالای شفافیت، اجازه بهره‌گیری از حداکثر نور روز و منظره بیرونی را می‌دهند. انتقال گرما و نور در فضای داخلی با استفاده از کرکره خورشیدی و پرده‌ها کنترل می‌شوند، این منطقه حائل نمای دوپوسته، عایق خوبی را ایجاد می‌کند.

پیچیدگی و انطباق نماهای دوپوسته در شرایط آب و هوایی متفاوت لزوم طراحی با دقت بیشتر آنها را افزایش می‌دهد. استراتژی‌های طراحی ملزم به درنظر گرفتن شرایط اقلیمی و ویژگی‌های محلی چون دما، تابش خورشید و سرعت باد به منظور کاهش مصرف انرژی است. نمای دوپوسته در صورت طراحی صحیح، می‌تواند شرایطی فراهم کند که همزمان هوای داخلی را بهبود و مصرف انرژی را کاهش دهد. زمانی‌که رویکرد کلی و اهداف مشخص و واضح باشند، سیستم مذکور هم، به اندازه کافی انعطاف‌پذیر هست که با تغییر آب و هوا برای انواع مختلف کاربری‌های ساختمان سازگار باشد. (Poirazis,2004)

هدف این پژوهش مدل‌سازی تهویه طبیعی در یک نمونه نمای دوپوسته در اقلیم گرم‌وخشک (شیراز) و همچنین بهینه‌سازی تهویه طبیعی از طریق طراحی اجزای نمای دوپوسته در این اقلیم است. دسته‌بندی نماهای دوپوسته و شناخت عملکرد هر کدام از آنها بسیار مهم است، چراکه انتخاب روش و رویکرد اولیه در مراحل طراحی می‌تواند تأثیر گذار باشد. بعد از انتخاب نوع نمای دوپوسته مناسب برای ساختمان، لازم است که پارامترهای طراحی و فنی که بر روی عملکرد و کارایی سیستم و خصوصیات فیزیکی فضای میانی[1] تأثیرگذار است، تعریف شود.

1-1- پیشینه تحقیق

پژوهشی با عنوان « افزایش تهویه طبیعی، آسایش حرارتی و صرفه جویی در انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی در بانکوک از طریق استفاده از شفت‌های تهویه" در سال 2011 انجام گردید. در این مقاله سرعت هوا در مناطق از پیش اشغال شده در دو اتاق بدون و با استفاده از شفت تهویه (که به ترتیب اتاق مرجع و آزمایش نامیده شدند) بعد از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر با استفاده از (CFD) همین نرم‌افزار ارزیابی شدند، همچنین ساعت‌های آسایش در تابستان در هر دو اتاق بر اساس دمای مؤثر اتاق، بعد از اینکه سرعت جریان هوای افزایش یافته تعدیل شد، مورد بررسی قرار گرفتند (Prajongsan, 2011).

مونا آذربایجانی (2011)، در پژوهش خود "اقلیم مبتنی بر سیستم نمای دوپوسته - مقایسه تطبیقی عملکرد انرژی ساختمان‌های با نمای دوپوسته در اقلیم مدیترانه‌ای» اثر نیروی باد و دودکشی (نیروهای شناوری) را با کمک نرم‌افزار انرژی‌پلاس/ دیزاین‌بیلدر مورد مطالعه قرار داد، تا امکان ایجاد آسایش در ساختمان را با درنظرگرفتن تهویه، آسایش حرارتی و پایداری بررسی کند. این مطالعه نشان داده است که نمای دوپوسته توانایی ایجاد آسایش حرارتی قابل قبولی را از طریق استراتژی تهویه طبیعی فراهم کرده است. در پژوهش دیگری (2011) با عنوان" ارزیابی عملکرد تطبیقی نمای چندطبقه دوپوسته در اقلیم قاره‌ای مرطوب» عملکرد پوسته ساختمان را با مدل‌سازی سناریوهای مختلف از طراحی نماهای دوپوسته و همچنین مقایسه آنها با درنظر گرفتن میزان مصرف انرژی واقعی در ساختمان و نمای دوپوسته مورد بررسی قرار گرفته است (Azarbayjani, 2011).

در مقاله‌ای با عنوان "بررسی رفتار حرارتی نماهای دوپوسته در اقلیم شهر تهران"، نویسندگان به منظور

بررسی کارایی ایده نمای دوپوسته در اقلیم شهر تهران، یک ساختمان اداری را در گزینه‌های مختلف با و بدون نمای دوپوسته مدل‌سازی و عملکرد انرژی آن را به‌وسیله نرم‌افزار شبیه‌سازی EQUEST شبیه‌سازی نمودند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی نتیجه گرفتند که استفاده از نمای دوپوسته در مقایسه با نمای تک‌پوسته، منجر به کاهش 16 الی 20٪ مصرف انرژی سیستم HVAC1 ساختمان می‌گردد (عبدالحمید قنبران،1392).

امید رهایی (1393)، در مقاله خود "بررسی فرایند جریان هوای داخل و مدل‌های تحلیلی آن در سوله‌های صنعتی کوچک با روش CFD " به بررسی وضعیت جریان هوای داخل در ساختمان‌های صنعتی پرداخته است. شبیه سازی‌ها در یک سوله موردی صورت گرفته و توسط برنامه‌های Gambit و Fluent انجام شده‌اند. نتایج نشان دادند که جریان هوای داخل تحت تأثیر متغیرهای مستقل معماری به همراه موقعیت بازشوها، دمنده‌ها و مکنده‌ها قرار داشته و تغییرات در شرایط این متغیرها می‌تواند جریان هوای داخل را اصلاح و خروج آلاینده‌ها را امکان پذیر نماید (امید رهایی، 1393).

در پژوهشی با عنوان «عملکرد تهویه متقاطع دودکش خورشیدی مؤثر در خانه‌های تراس‌دار مالزی» دودکش خورشیدی در خانه‌های تراس‌دار به عنوان یکی از گزینه‌های افزایش عملکرد تهویه و حرارت در محیط داخلی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفته است (Chung, 2014).

ارزیابی اثر شناوری دودکش در مقاله‌ای با عنوان «میزان اثرخشی تهویه طبیعی از طریق دودکش در کارخانه آبجوسازی» با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر- انرژی‌پلاس مورد مطالعه قرار گرفته است. شبیه‌سازی‌های مختلفی به منظور دست‌یابی به مناسب‌ترین نحوه کارکرد بازشوهای پنجره‌ها انجام شده تا بهترین شرایط تهویه به‌دست آید (De la Torrea, 2014).

2-1- نمای دوپوسته

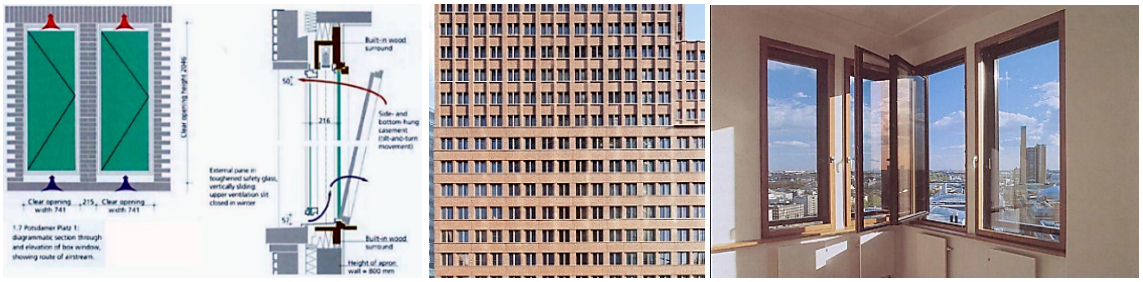
روش‌های مختلفی برای دسته‌بندی سیستم نماهای دوپوسته در متون مختلف ذکر شده است؛ دسته‌بندی‌ها بر اساس حالت‌های تهویه (براساس مبداء و مقصد جریان هوا در فضای مابین دوپوسته) و نوع تهویه (طبیعی، مکانیکی، ترکیبی) و همچنین ویژگی‌های هندسی (پارتیشن‌بندی) انجام شده است (Schiefer,2008).

اوسترل و همکاران (2001)، عمدتا دسته‌بندی نماهای دوپوسته را با توجه به نوع هندسه فضای مابین دوپوسته (پارتیشن‌بندی نما: عرض بازشوها، ارتفاع و عمق فضای میان دوپوسته و غیره) درنظر گرفتند. مشابه همین رویکرد را سالنس (2002) و ایی، لی و همکاران (2002)، در «نماهای ساختمان‌های تجاری با کارایی بالا 2» انجام دادند. با دسته بندی آنها انواع آن به این صورت خواهد بود: سیستم نمای پنجره جعبه‌ای3، جعبه ستونی4، چندطبقه 5 و در نهایت سیستم نمای راهرویی 6 که در این پژوهش به بررسی عملکرد و میزان کارایی آن پرداخته شده است (اشکال 1 تا 5).

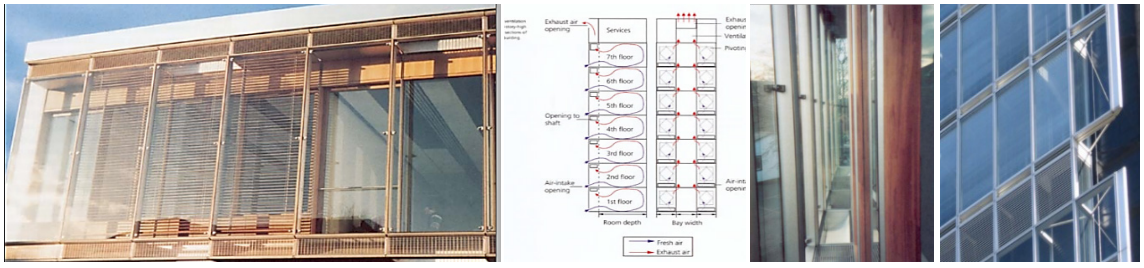
ساختمان پست دامر پلاز آلمان با نمای آجری به صورت دوپوسته با سیستم پنجره جعبه‌ای طراحی شده است. تهویه فضای میانی و اتاق‌های داخلی از پایین‌ترین قسمت پنجره انجام می شود. جریان هوا از آنجا وارد فضای میانی می‌شود و سپس به فضای داخل ساختمان راه پیدا می‌کند (شکل1).

در سیستم جعبه‌ستونی برج ARAG 2000 هر کدام از جعبه‌های پنجره آن دارای بازشویی به ارتفاع 15 سانتیمتر با درپوشی با قابلیت بسته شدن هستند. هوای خروجی از طریق یک بازشوی فرعی به سمت بالای فضای مابین دوپوسته هدایت می‌شود. لایه نمای داخلی با پنجره‌های لولایی آلومینیومی که دوار و عمودی هستند، با شیشه‌های کم گسیل پوشیده شده است. تهویه طبیعی از طریق پنجره‌ها برای 50 تا 60 درصد مواقع سال امکان پذیر است(شکل 2).

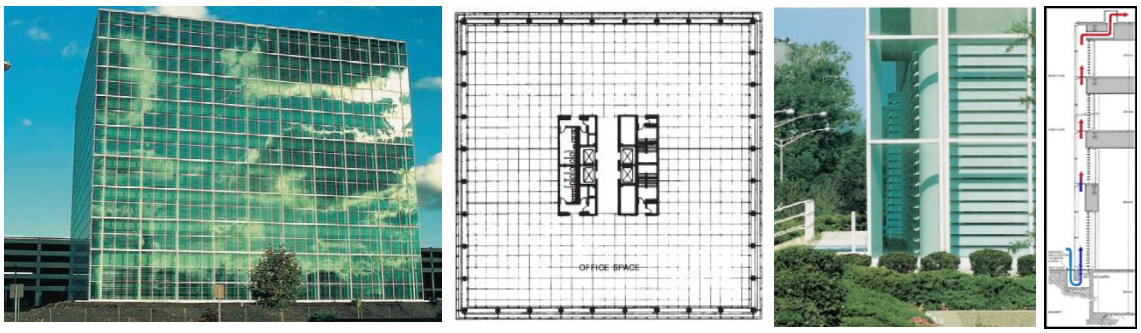
ساختمان شیمی اکسیدنتال (هوکر)، یک فضای هوای تقسیم‌نشده کلاسیک یا یک سیستم نمای چندطبقه کلاسیک است، این سیستم نما هیچ پنجره عملیاتی ندارد، سر و صدا می تواند از اتاق به اتاق منتقل شود. عمق فضای میانی 1200 میلی متر است. که بدون مانع از پایین به بالا ادامه پیدا می‌کند و در گوشه‌ها نیز قطع نمی‌شود. هوا از پایین ساختمان وارد و از بالا خارج می‌شود. مسأله مهم، تعدیل دمای هوای فضای میانی است، این هوا با هوای درون اتاق مخلوط نمی‌شود (شکل 3).



شکل 1 - نمونه سیستم نمای پنجره جعبه‌ای؛ ساختمان Potsdamer **Platz 1** آلمان**(Wigginton, 2002)**
Fig1- Box Window System; Debis headquarters (Potsdamer Platz 1, Berlin centre building). (Wigginton, 2002)



شکل 2- نمونه سیستم نمای جعبه‌ستونی، برج ARAG 2000 ، آلمان(Wigginton, 2002)
Fig2- shaft-box System. ARAG 2000 Tower, Germany . (Wigginton, 2002)



شکل 3– نمونه سیستم نمای چندطبقه در ساختمان مرکز شیمی اکسیدنتال، آمریکا. (Wigginton, 2002)
Fig3- Multi stored System. Occidental Chemical Center, USA. (Wigginton, 2002)

3-1- نمای دوپوسته راهرویی

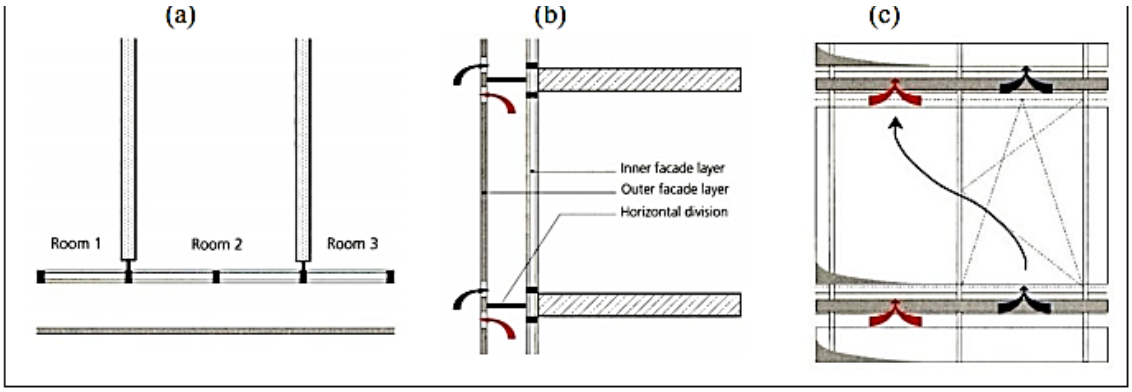
در این سیستم، پارتیشن‌بندی‌های افقی برای آکوستیک، ایمنی، آتش‌سوزی و دلایل تهویه‌ای انجام می‌شود (Poirazis,2004). بازشوهای ورودی و خروجی نزدیک به کف و سقف قرار می‌گیرند و معمولا به‌صورت تناوبی عمل می‌کنند، از ورود هوای خروجی از طبقه پایین‌تر به ورودی طبقه بالاتر جلوگیری می‌کند (Oesterle, 2001). بین دریچه‌های 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. برش نمای دوپوسته راهرویی، سیرکولاسیون مجزایی را برای هر طبقه نشان می‌دهد (شکل 4).

در شکل (5) یک نمونه ساختمان با نمای دو پوسته راهرویی نمایش داده شده است. به علت اینکه سیستم نمای راهرویی در هر طبقه به صورت 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 فضای داخلی ساختمان را داشت. در این پژوهش به‌منظور عملکرد تهویه طبیعی فضای مابین دوپوسته و داخل ساختمان در سیستم نمای راهرویی بررسی شده است.

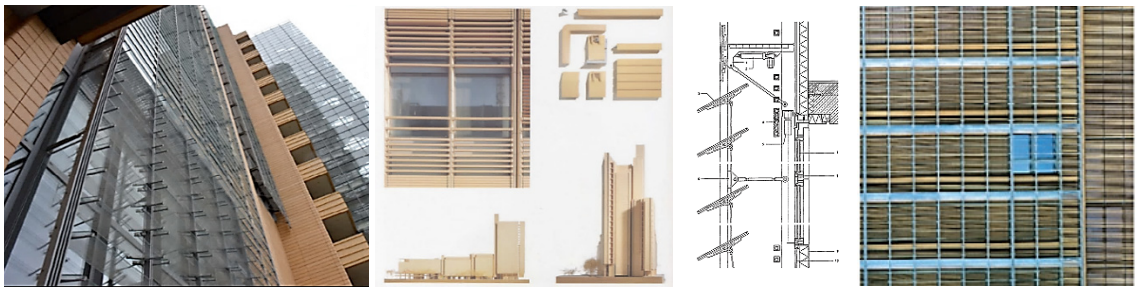
4-1- فرضیات پژوهش

جهت انجام این تحقیق شبیه سازی در جهت بررسی فرضیات زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

- اندازه و موقعیت بازشوها بر روی پوسته اول (نمای ساختمان) و پوسته دوم (نمای دوم) در سرعت و توزیع جریان تأثیرگذار است.



شکل4- نمای راهرویی: a) پلان، b) برش، c) نما، (Oesterle, 2001)
Fig4- Corridor Double Skin Façade, a. plan, b. section, c. evaluation. (Oesterle, 2001)



شکل 5- شعبه مرکزی دبیس، آلمان،(Wigginton, 2002)
Fig5- Debis headquarters(Potsdamer Platz 1, Berlin centre building), Germany, (Wigginton, 2002)

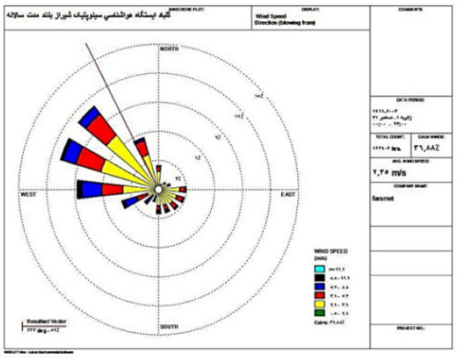
- تعیین اندازه مناسب تقسیمات در نمای راهرویی و تعیین ابعاد بهینه فضای داخل ساختمان (فضای قابل اشغال)؛ سبب دستیابی به عملکرد بهینه گردش جریان هوا در فضای میانی دوپوسته و داخل ساختمان می‌گردد.

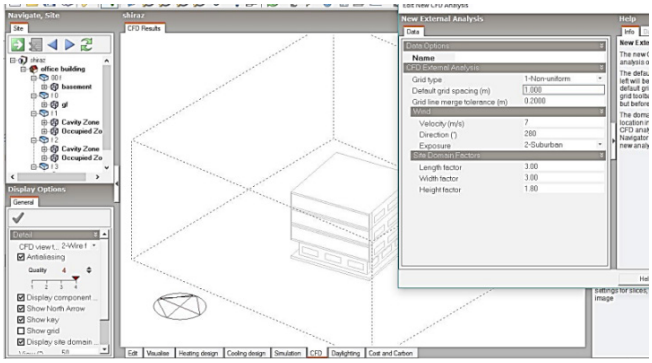
5-1- شبیه سازی

جهت بررسی سرعت، دما و الگوی توزیع جریان هوای ورودی و متعاقبا خروجی در نمای دوپوسته و همچنین فضای داخلی در ساختمانی با کاربری اداری در شهر شیراز، نمای دوپوسته راهرویی، مدل و شبیه‌سازی گردید تا میزان سازگاری و تطبیق‌پذیری آن در این اقلیم (گرم‌وخشک) بررسی گردد. به همین منظور لازم بود جهت و سرعت باد غالب منطقه بررسی شود و ساختمان به نحوی در سایت قرار گیرد که بتوان از باد مطلوب و تابش مناسب خورشید بهترین بهره را برد. با توجه به نمودار گلباد شیراز جهت باد غالب از سمت شمال غربی در نظر گرفته شد که در نرم‌افزار با زاویه 280 (نسبت به جهت شمال) مشخص شده است و سرعت جریان نیز 7 متر بر ثانیه به عنوان سرعت اولیه درنظر گرفته شده است (شکل6). ساختمان مدل با کاربری اداری و با پلان مربعی شکل به ابعاد 20*20 مترمربع در 3 طبقه با نمای دوپوسته و یک طبقه پیلوت بدون نمای دوپوسته است. ارتفاع هر طبقه 4/08 متر و همکف به اندازه 0/58 متر بالاتر از سطح زمین قرار گرفت؛ در کل ارتفاع ساختمان از سطح زمین 16/90 متر است. سیستم نمای انتخابی در جبهه غربی ساختمان به طول 20 متر، عمق 1/20 (عمق فضای میانی بین دو پوسته داخلی و خارجی ساختمان) و ارتفاع 12/24 طراحی شد. جدول (1) اطلاعات ورودی نرم‌افزار را معرفی می‌کنند. فاصله فضای میانی با توجه به مطالعات صورت گرفته در نمونه‌های موردی به دلیل ایجاد مسیر دسترسی تعمیر و نگهداری از 90 تا 140 سانتی متر در نظر گرفته شده است. با توجه به شبیه‌سازی‌های اولیه فاصله 120 سانتی متر به عنوان مناسب‌ترین گزینه از نظر عملکرد و تهویه در نظر گرفته شده است.

شبیه‌سازی‌ها در دو مرحله انجام شد. هدف از شبیه‌سازی در مرحله اول تعیین شرایط بهینه تهویه برای فضای مابین نمای دوپوسته است؛ در این مرحله بازشوها تنها بر روی سطح نمای دوم شبیه‌سازی شدند.

در مرحله دوم شبیه‌سازی پارامترها در فضای داخلی





شکل 6- نمودار گلباد شیراز (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شیراز) و همچنین داده‌های وارد شده در نرم‌افزار
Fig6- wind rose of Shiraz (Shiraz synoptic weather station) and input data to the Design Builder Software

جدول1- داده‌های ورودی به نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر: برنامه‌دهی ساعات و سطح اشغال، فعالیت و پوشش
Table1- input data to the Design Builder Software: schedule timing model, occupancy level, clothes and metabolic rate

ساعات اشغال ساختمان	شنبه تا 4 شنبه، 5 شنبه 7:15-13:15 و جمعه تعطیل7:15-14:15
روزهای تعطیل در کل سال به غیر از جمعه‌ها (با احتساب تعطیلات نوروز)	روز 28
سطح اشغال بر اساس افراد	نفر بر متر مربع 0/11
سطح فعالیت	0/90 met
سطح پوشش	برای شرایط زمستان: ۱ clo ، برای شرایط تابستان:0/5 clo
ابعاد نمای دوپوسته	عمق 1/20 متر، 13/24 متر (ارتفاع 4/08 برای هر طبقه (3 طبقه) به علاوه یک متر ارتفاع فضای میانی بالاتر از سطح بام)
نمای داخلی	شیشه داخلی 6 میلی‌متری شفاف دوجداره با پوشش کم گسیل؛ شیشه خارجی 6 میلی‌متری شفاف؛ گاز میان دو شیشه: هوا به ضخامت 6 میلی‌متر؛ قاب آلومینیومی با پل حرارتی
نمای خارجی	شیشه 6 میلی‌متری یک جداره شفاف
سایبان داخلی: پرده کرکره	سایبان خارجی: ندارد

ساختمان نیز مورد بررسی قرار گرفتند؛ بنابراین لازم بود بازشوهایی بر سطح جداره مشترک بین فضای داخلی ساختمان و فضای میانی نمای دوپوسته ایجاد شود. در این مرحله تعیین شرایط تهویه بهینه فضای داخل ساختمان به‌همراه فضای مابین نمای دوپوسته مورد توجه قرار گرفت.

2- روش تحقیق

در این تحقیق جهت بررسی رفتار حرارتی نماهای دوپوسته، از روش شبیه‌سازی استفاده شده است. نخستین گام در روند این تحقیق جمع‌آوری اطلاعات مورد مطالعه است. اطلاعات آب‌وهوایی شهر شیراز به صورت فایلی با فرمت EPW 4 حاوی سوابق آب‌وهوایی شهر شیراز به عنوان بانک اطلاعات آب و هوایی در قالب موتور انرژی‌پلاس بر روی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرارگرفت. اطلاعات مربوط به ساختار ساختمان به منظور در نظر گرفتن معیارهای هندسی و سطوح ساختمان (شامل دیوارهای خارجی، دیوارهای داخلی، پارتیشن‌ها، طبقات، سقف‌ها، بام، درب‌ها و پنجره‌ها) و همچنین اطلاعات سایت و جهت‌گیری ساختمان، ساختار نمای ساختمان، مشخصات مصالح، جداول زمانی بهره‌برداری از ساختمان و... بر مبنای استانداردهای متداول طراحی، گردآوری گردید و در خصوص مشخصات فیزیکی مصالح نیز اطلاعات بر اساس استانداردها و مشخصات ارائه شده در نرم‌افزار تنظیم شده است. نرم‌افزار شبیه‌سازی به کار گرفته شده در این تحقیق، نرم‌افزار DesignBuilder نسخه 4/5 است.

2-1- شبیه‌سازی مرحله اول

در هر طبقه به‌صورت مجزا یک فضای راهرو مانند مابین دوپوسته نما ایجاد شد و بازشوها نیز بر روی سطح نما

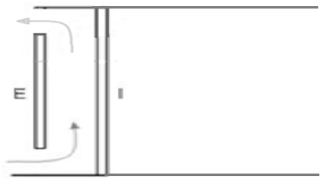
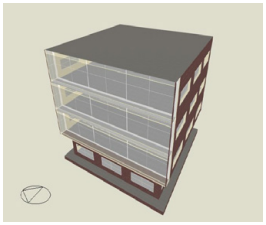
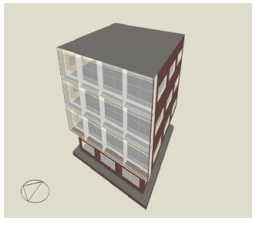
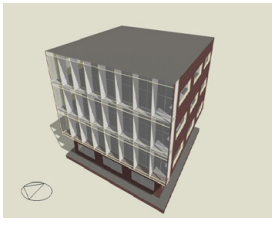
قرار گرفتند. در این مرحله از مدل و شبیه‌سازی فقط فضای مابین دوپوسته نمای راهرویی بررسی می‌شود. فضای مابین دوپوسته مانند راهروی جریان هوا عمل می‌کند. بازشوی ورود هوا در پایین‌ترین قسمت سطح نمای دوم و نزدیک به کف و بازشوی خروج هوا در بالاترین قسمت سطح نمای دوم و نزدیک به سقف ایجاد می‌شوند؛ هر دو به عرض 0/5 متر و طول 0/2 متر ایجاد شد.

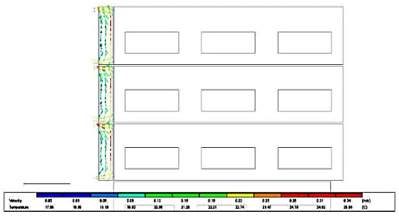
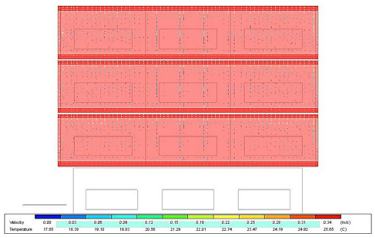
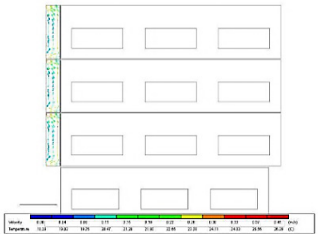
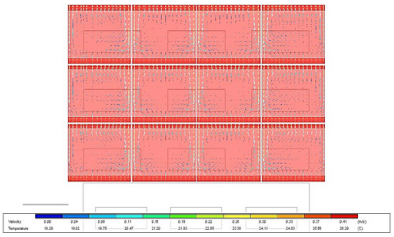
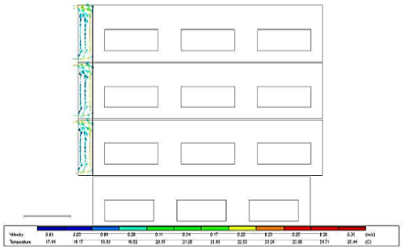
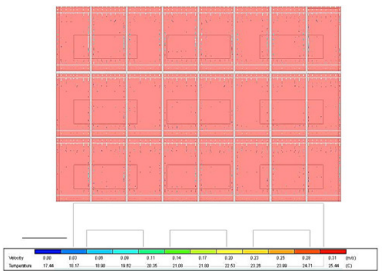
طی مراحل مدل و شبیه‌سازی نمونه انتخابی (نمای دوپوسته راهرویی)، به منظور ارزیابی عملکرد آن، پارامترهای سرعت، دما و توزیع جریان در فضای میانی، آن را به بخش‌های کوچکتر تقسیم نموده و علاوه بر نمونه تقسیم نشده فضای میانی، در حالت‌های تقسیم شده نیز بررسی شد. فضای میانی نمای دوپوسته راهرویی بدون تقسیم به طول 20 متر، یکبار به 4 قسمت با عمق 1/20 متر و طول 5 متر و یکبار نیز به 8 قسمت با عمق 1/20 متر و طول 2/5 متر تقسیم شد. در هردو حالت بازشوها مثل حالت بدون تقسیم در پایین‌ترین قسمت سطح نما برای ورود هوا و بالاترین قسمت سطح نما برای خروج هوا و به مساحت 5*0/5 مترمربع برای حالت اول و 2/5*0/5 مترمربع برای حالت دوم ایجاد شدند.

جدول (2) اطلاعات مدل‌سازی و شبیه‌سازی نمای دوپوسته راهرویی تقسیم شده و بدون تقسیم، با بازشوهای قرار گرفته بر روی سطح نمای دوم را ارائه می‌دهد. شبیه‌سازی‌ها سرعت، دما و الگوی توزیع و گردش جریان هوا و همچنین مقادیر آنها در فضای میانی را نشان می‌دهند که گویای عملکرد نمای دوپوسته انتخابی است.

طبق شبیه‌سازی‌هایی انجام شده (جدول2)، مشاهده شد که الگوی جریان در فضای مابین دوپوسته بسیار منظم و مناسب است اما تغییر زیادی در سرعت جریان به‌علت عدم فضای کافی برای حرکت صعودی به‌وجود نمی‌آید. با تقسیم کردن فضای میانی نمای دوپوسته راهرویی نیز مشخص شد که سرعت جریان هوا در فضای میانی که به طول 5 متر تقسیم شده بیشتر (M/S 0/41) و در طول 2/5 متر کمتر (M/S 0/31) از حالت بدون تقسیم (M/S 0/34) شده است. الگوی توزیع جریان در فضای میانی در تمام حالت‌ها تقریبا مشابه است.

جدول 2- اطلاعات نمای دوپوسته در مرحله اول (مدل‌سازی و شبیه‌سازی)
Table2- Double Skin Façade information in first stage (Modeling and Simulation). (author)

مدل نمای دوپوسته راهرویی برای تعیین شرایط بهینه تهویه در فضای مابین نمای دوپوسته			
			
	فضای میانی بین دوپوسته تقسیم نشده، ارتفاع هر طبقه 4/08 متر	فضای میانی بین دوپوسته تقسیم شده، ارتفاع هر طبقه 4/08 متر	
			
ابعاد فضای میانی	20*1/20	5*1/20	2/5*1/20
ابعادبازشو ورود هوا	20*0/5	5*0/5	2/5*0/5
ابعادبازشوخروج هوا	20*0/5	5*0/5	2/5*0/5

بررسی سرعت، دما و الگوی توزیع جریان هوای ورودی و خروجی در نمای دوپوسته راهرویی با بازشو بر روی سطح پوسته دوم				
	الگوی توزیع و سرعت و دمای جریان هوا در برش ساختمان	الگوی توزیع، سرعت، دمای جریان هوا و تقسیمات فضای میانی در حالت نمای ساختمان	سرعت بیشینه (M/S)	دمای بیشینه (°C)
فضای میانی تقسیم نشده (20 متر)			0/34	26/66
فضای میانی تقسیم شده (5 متر)			0/41	29/26
فضای میانی تقسیم شده (2/5 متر)			0/31	25/44

2-2- شبیه‌سازی مرحله دوم

در این مرحله علاوه بر بازشوهای فضای مابین دوپوسته بازشوهایی در جداره مشترک بین فضای داخلی ساختمان و فضای میانی نیز ایجاد شد؛ دو بازشو یکی در بالای جداره برای خروج هوا از داخل ساختمان به داخل فضای مابین دوپوسته و یکی در پایین جداره برای هوای از که فضای مابین دوپوسته وارد فضای داخلی ساختمان می‌شود. مکان و ابعاد فضای میانی و اندازه بازشوها در نمای دوپوسته راهرویی طبق جدول(3)است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد:

در حالت اول: سرعت جریان هوای ورودی از بازشو به فضای میانی بدون تقسیم در حدود 0/26 m/s است و هنگام ورود به ساختمان به حدود 0/40 m/s رسیده؛ سرعت جریان هوا در تمام بازشوهای ورودی در طبقات مختلف تقریبا به یک میزان وارد و از بازشوهای خروج هم با بیشینه سرعت (0/58 m/s) خارج می‌شود. جریان هوا با سرعت 0/37 m/s و دمای 25/32 C° از فضای میانی وارد فضای داخلی می‌شود و رفته‌رفته که جریان به سمت مقابل می‌رود از سرعت و دمای هوا کاسته می‌شود.

حالت دوم: درگزینه فضای میانی تقسیم شده با طول 5 متر، سرعت جریان هوا در تمام پارتیشن‌های فضای میانی یکسان و در حدود 0/37 m/s و با دمای 25/60 C° است و جریان هوا هنگام ورود به ساختمان به سرعت و دمای بیشینه (به ترتیب0/60 m/s و 28/95 C°) افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که در فضای میانی سه طبقه توزیع جریان هوا کاملا مشابه است. جریان هوا در داخل ساختمان تا میانه فضا با سرعت و دمای مناسب نفوذ یافته و هرچه به سمت مقابل (شرق) پیش می‌رود از سرعت و دما کاسته می‌شود.

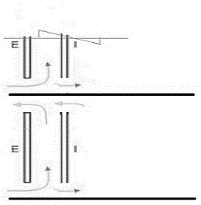
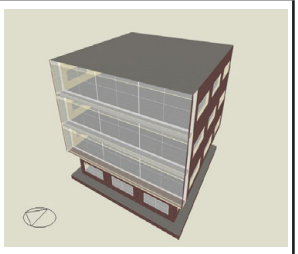
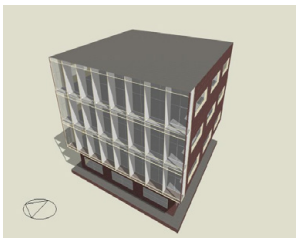
حالت سوم: در گزینه فضای میانی تقسیم شده با طول 2/5 متر، نیز جریان هوای ورودی در فضای میانی با سرعت و دمای متوسط در حدود 0/38 m/s و 26/64 C° است و با دو حالت قبلی تفاوت چندانی ندارد.

سرعت جریان هوای خروجی (بیشینه)0/58 m/s و دمای بیشینه 28/51 C° است. توزیع جریان هوا در سه طبقه

فضای داخلی نمونه بهینه کوچکتر و تقسیم شد.

جدول 3-اطلاعات نمای دوپوسته در مرحله دوم (مدل‌سازی و شبیه‌سازی)

Table3- Double Skin Façade information in second stage (Modeling and Simulation)

مدل نمای دوپوسته راهرویی برای تعیین شرایط تهویه بهینه فضای داخل ساختمان به‌همراه فضای مابین نمای دوپوسته			
			
	فضای میانی بین دوپوسته تقسیم نشده، ارتفاع هر طبقه 4/08 متر	فضای میانی بین دوپوسته تقسیم شده، ارتفاع هر طبقه 4/08 متر	
			
ابعاد فضای میانی	20*1/20	5*1/20	2/5*1/20
ابعاد بازشو ورود هوا در فضای میانی	20*0/5	5*0/5	2/5*0/5
ابعاد بازشو خروج هوا در فضای میانی	20*0/5	5*0/5	2/5*0/5
ابعاد بازشو ورود هوا در فضای داخلی	20*0/5	5*0/5	2/5*0/5
ابعاد بازشو خروج هوا در فضای داخلی	20*0/5	5*0/5	2/5*0/5

به یک شکل و میزان مشاهده می‌شود.

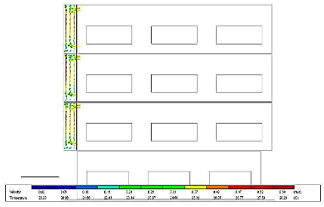
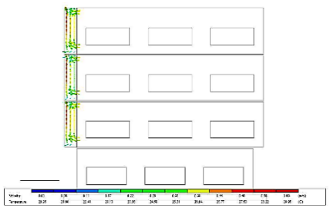
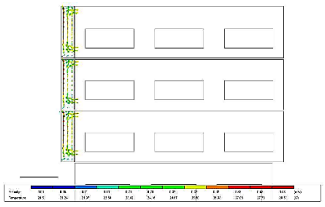
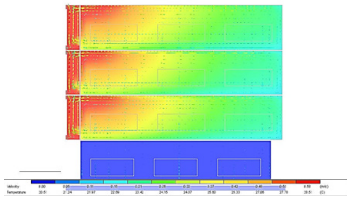
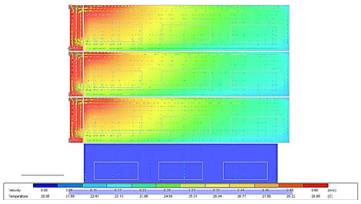
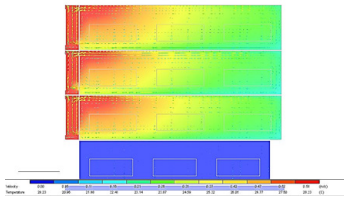
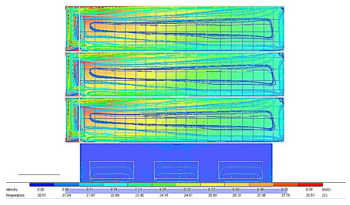
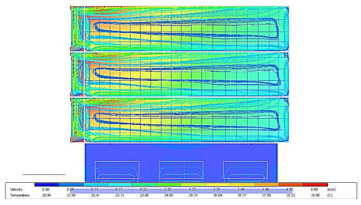
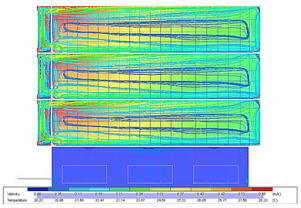
در این مرحله، الگوی توزیع جریان در کنار سرعت و دمای مناسب در فضای داخلی ساختمان مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن سرعت و دمای جریان هوای ورودی و خروجی به داخل فضای ساختمان و نحوه توزیع آن در فضای داخلی، مشخص شد نمای دوپوسته راهرویی گزینه مناسبی جهت تهویه طبیعی ساختمان است و در صورت تقسیم فضای میانی به طول‌های کوچکتر (5 متر) سرعت جریان بهبود می‌یابد. از آنجایی که توزیع بهینه جریان در فضای داخلی مد نظر است، به نظر رسید که با تقسیم بندی فضای داخلی نیز،ممکن است که نتیجه حاصله بهبود یابد به همین خاطر علاوه بر فضای میانی،

3- نتایج و بحث

گزینه‌ای که در بررسی نتایج مرحله قبل مناسب تشخیص داده شد (فضای میانی تقسیم شده به طول 5 متر)، برای تقسیم‌بندی فضای اشغال (فضای داخل ساختمان) انتخاب شد تا تأثیر کوچکتر شدن فضای داخلی، در نحوه توزیع جریان و همچنین در میزان افزایش یا کاهش سرعت و دمای هوای ورودی به داخل ساختمان مورد بررسی قرار گیرد. فضای داخلی، نمای دوپوسته راهرویی با فضای میانی تقسیم شده 5*1/20 متر مربع در ارتفاع 4/08 و فضای داخلی با ابعاد 5*20 متر مربع در ارتفاع 4/08 تقسیم شد.

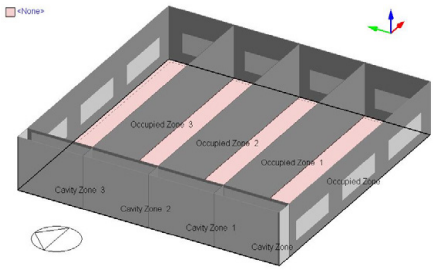
همان‌طور که در (جدول4) مشاهده می‌شود جریان هوا

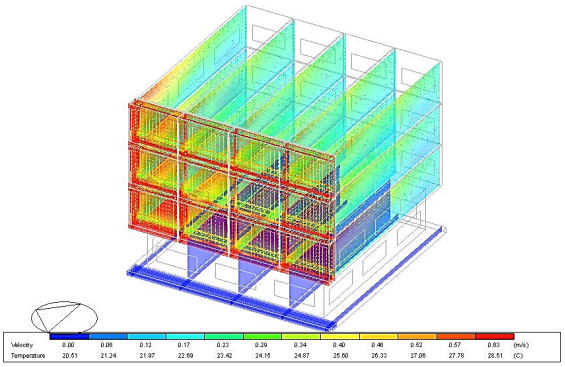
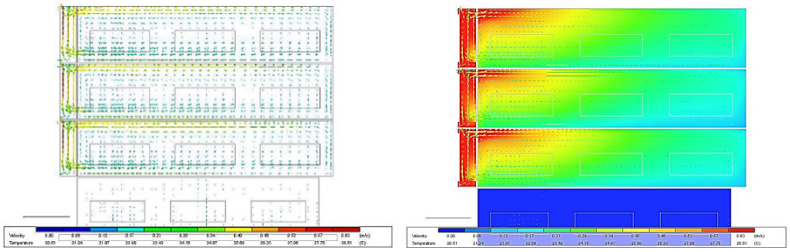
به‌طور مناسب در فضای مابین دوپوسته جریان می‌یابد و از بازشوهای جداره مشترک فضای مابین دوپوسته و فضای داخلی وارد ساختمان می‌شود، آنچنان که مشاهده می‌شود جریان هوای ورودی تا انتهای فضا جریان یافته و سپس به سمت سقف متمایل شده و از بازشوی خروجی جداره مشترک وارد فضای مابین دوپوسته می‌شود. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد سرعت (0/63 m/s) و دمای(28/51 C°) جریان هوا نیز افزایش یافته است.

بررسی سرعت، دما و الگوی توزیع جریان هوای ورودی و خروجی						
	فضای میانی بین دوپوسته تقسیم نشده		فضای میانی بین دوپوسته تقسیم شده			
	متر20		متر 5		متر2/5	
	سرعت بیشینه (M/S)	دمای بیشینه (°C)	سرعت بیشینه (M/S)	دمای بیشینه (°C)	سرعت بیشینه (M/S)	دمای بیشینه (°C)
	0/58	28/23	0/60	28/95	0/58	25/51
جریان هوا در فضای میانی						
جریان هوا در فضای میانی و فضای داخلی						
الگوی توزیع جریان						

جدول4- بررسی سرعت، دما و الگوی توزیع جریان در فضای داخلی و فضای میانی نمای دوپوسته راهرویی تقسیم شده

Table 4. Evaluation of velocity, temperature and pattern of flow distribution in the interior and cavity of a divided Corridor Double Skin Facade

مدل نمای دوپوسته راهرویی با فضای میانی و فضای داخلی تقسیم شده	
مدل نمای دوپوسته راهرویی با فضای میانی و فضای داخلی تقسیم‌شده (هر دو با طول 5 متر) عمق فضای میانی: 1/20 متر عمق فضای داخلی: 20 متر	

	الگوی توزیع جریان در فضای مابین دوپوسته و فضای داخلی ساختمان
	الگوی توزیع جریان در فضای مابین دوپوسته و فضای داخل ساختمان با نمایش میزان دما و سرعت

جدول 5- سرعت و دمای بیشینه در سه اندازه متفارت نمای دو پوسته راهرویی

Table5- Maximum speed and temperature of three different size of Corridor Double Skin Facade

عمق فضای میان دوپوسته	اندازه بازشو ورودی	اندازه بازشوی خروجی	سرعت بیشینه (M/S)	دمای بیشینه (C°)
متر20	20*0/5	20*0/5	0/58	28/22
متر5	5*0/5	5*2/5	0/70	25/10
متر5/2	2/5*0/5	2/5*0/5	0/58	28/51

جدول 6- سرعت و دمای بیشینه در سه اندازه متفاوت نمای دو پوسته چندطبقه (keshavarz and taban, 2018)

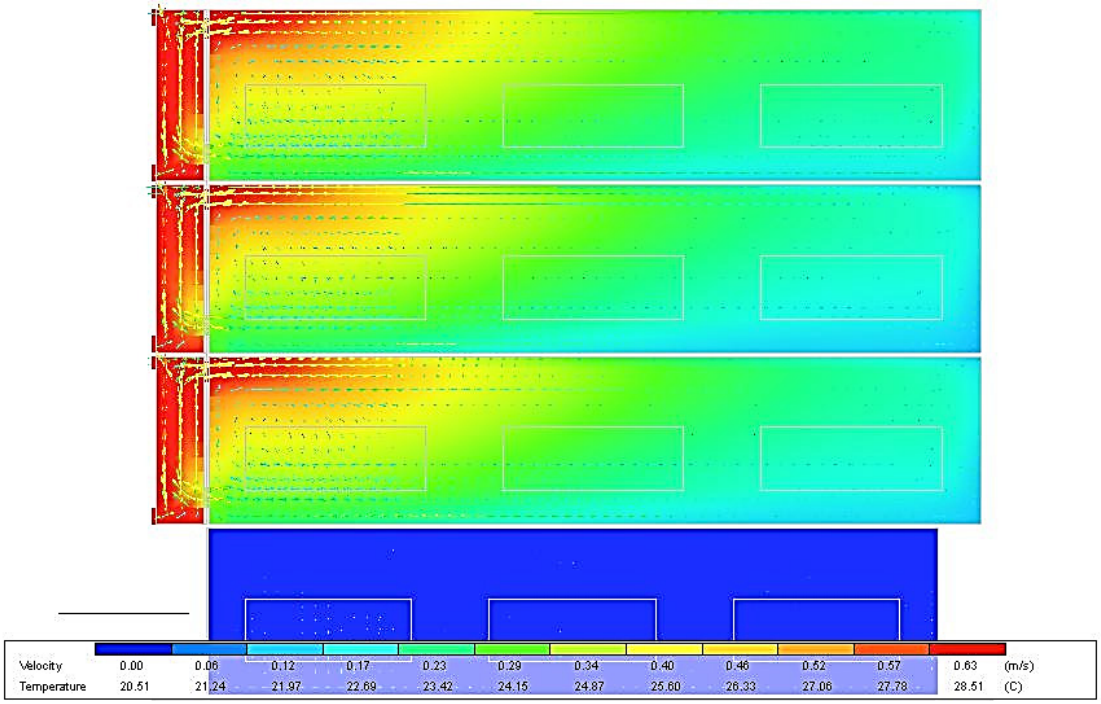
Table 6- Maximum speed and temperature of three different size of Multi Story Double Skin Facade

عمق فضای میان دوپوسته	اندازه بازشو ورودی	اندازه بازشوی خروجی	سرعت بیشینه (M/S)	دمای بیشینه (C°)
متر20	20*0/5	20*0/5	0/67	42/14
متر5	5*0/5	5*0/5	1	31/07
متر2/5	2/5*0/5	2/5*0/5	0/93	31/17

جدول 7- سرعت و دمای اولیه و بیشینه در نقاط ورود و خروج فضای میانی دوپوسته و فضای داخلی

Table 7- Maximum and initial speed and temperature at input and output points of cavity and indoor zone

عمق فضای میان دوپوسته و فضای داخلی تقسیم شده	سرعت و دمای اولیه هنگام ورود به فضای میان دوپوسته		سرعت و دما هنگام ورود به فضای داخلی		سرعت و دما در دورترین نقطه فضای داخلی از بازشوها		سرعت و دما هنگام خروج از فضای داخلی		بیشینه کل سرعت و دما	
	سرعت (M/S)	دمای (°C)	سرعت (M/S)	دمای (°C)	سرعت (M/S)	دمای (°C)	سرعت (M/S)	دمای (°C)	سرعت (M/S)	دمای (°C)
متر5	60/0	24/21	40/0	60/25	23/0	42/23	29/0	15/24	63/0	51/28



شکل 7- سرعت و دمای جریان‌های اولیه و بیشینه، در بازشوهای ورودی و خروج فضای میانی دوپوسته و فضای داخلی
Fig7 - Maximum and initial speed and temperature at input and output openings of cavity and indoor zone

4- نتیجه‌گیری

بعد از بررسی گزینه‌های مختلف نماهای دوپوسته راهرویی و با نظر گرفتن معیارها و فاکتورهایی چون سرعت، دما و الگوی توزیع جریان هوا در فضای مابین دوپوسته و فضای داخلی ساختمان مشخص شد که جریان هوای افقی جاری به‌صورت مستقل در هر طبقه موجب می‌شود انتقال جریان‌های ورودی و خروجی راحت‌تر و مناسب‌تر صورت گیرد.

برای سنجش روایی یافته‌های تحقیق، نتایج شبیه سازی در نمای دوپوسته راهرویی با نتایج شبیه سازی در نمای دوپوسته چندطبقه مورد ارزیابی قرار گرفت (جداول 5 و 6). سپس نتایج سرعت و دما برای نمای دوپوسته چندطبقه با بازشوهایی بر روی نمای دوم (بازشوی ورود هوا در پایین‌ترین بخش هر طبقه و بازشوی خروج هوا در بالاترین بخش هر نما) مورد بررسی قرارگرفت. مقایسه نتایج شبیه سازی در نمای دوپوسته راهرویی و چند طبقه نشان داد که در فضای میانی با عمق 5 متر سرعت جریان هوا افزایش یافته و کاهش یافته است (جدول 7). با توجه به نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که با کم کردن طول راهرو به میزان مشخص می‌توان بر سرعت و توزیع جریان تأثیر مثبت گذاشت. کم کردن طول راهرو بیش از حد تعیین شده نه تنها تأثیری بر پارامترهای مؤثر بر تهویه ندارد، بلکه سبب کم شدن سرعت و عدم توزیع مناسب جریان می‌گردد.

بررسی توزیع جریان در فضای داخلی نشان داد که جریان هوا از بازشویی در بالاترین نقطه هر طبقه نزدیک به سقف وارد فضای داخلی ساختمان شده و از بازشوی، در پایین‌ترین نقطه نمای اول نزدیک به کف خارج می‌شود که در این حالت مقدار آشفتگی جریان در نزدیکی بازشوها دیده می‌شود. با توجه به تغییر در اندازه فضای میانی تغییر در اندازه بازشو سبب بهبود سرعت جریان در فضای میانی گردیده است. جهت دست‌یابی به توزیع مناسب جریان هوا در فضای داخلی، عمق مناسب فضای میانی دوپوسته یک چهارم عرض کل نمای دوپوسته، به میزان 5 متر به‌دست 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 (شکل7).

پی‌نوشت‌ها

1Cavity

2 High Performance Commercial Building Facades

3 Box window type

4 Shaft box type

5 Corridor façade

6 Multi story Double Skin Façade

7 Energy Plus Weather Data

منابع

Azarbayjani, M.,)2011). Comparative Performance Evaluation of a Multistory Double Skin Façade Building in Humid Continental Climate., The Visibility of Research Sustainability: Visualization Sustainability and Performance, ARCC 2013.

Azarbayjani, M.,)2011. (Climate Based Consideration Of Double Skin Façade (DSF) System Comparative Analysis Of Energy Performance Of A DSF Building In A Mediterranean Climate., Visualization Sustainability and Performance, ARCC

Bagheri Daemie, A,. Khalatbari limaki, A, Safari, H. (2016). Opening performance simulation in natural ventilation in using designbuilder (case study: a residential home in rasht). 3rd International Conference On Power and Energy System Engineering, CPESE 2016, 8-12 SSeptember 2016, Kitakyusha, Japan

Chung, L.P, Ahmad, M.H., Ossen, D, R., Hamid,M,.(2014). EFFECTIVE SOLAR CHIMNEY CROSS SECTION VENTILATION PERFORMANCE IN MALAYSIA TERRACED HOUSE. International Conference Green Architecture for Sustanable Living and Environment (GASLE), 29 November 2014

- De la Torrea, S., Yousifb, C, (2014). Evaluation of chimney stack effect in a new brewery usin DesignBuilder-EnergyPlus software.

Hamza, N. (2008). “Double versus single skin facades in hot ardi areas”. ċ˚. 40. Pp 240-248.

Keshavarz, Z., Taban, M., (2018). 4th international conference on advanced research in engineering sciences, munich, germany.

Oesterle, E., Leib, R.D., Lutz, G., Heusler, B. (2001). Double skin facades: integrated planning: building physics, construction, aerophysics, air-conditioning, economic viability, Prestel, Munich.

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

Prajongsan, p., Sharples, S, (2011). Enhancing natural ventilation, thermal comfort and energy savings in high-rise residential buildings in Bangkok through the use of ventilation shafts

Qanbaran, A., Hosseinpoor, A. (1392). Assessment of Thermal Behavior of Double Skin Façade in the Climate of Tehran. The journal of Sustainable Architecture and Urban Design, Volume 1)2(, Autumn and Winter 2013, Page 43-53.

Rahae, O., (1393). consideration of indoor airflow process and the analitical models in small industrial buildings with CFD method., The journal of Sustainable Architecture and Urban Design, Volume 2(2), Autumn and Winter 2014, pp. 55-64.

Saelens, D. (2002). Energy Performance

Assessments of Single Storey Multiple-Skin Facades. PhD thesis, Laboratory for Building Physics, Department of Civil Engineering, Catholic University of Leuven, Belgium. Web address: http://envelopes.cdi.harvard.edu/envelopes/content/resources/pdf/case_studies/PhD_Dirk_Saelens.pdf

Schiefer ,C,. Hearth, R, Hengsberger, H, Machete. Stretcher. W. Santamouris, M. Farou, I, Erhorn, H, Erhorn-Kluttig, H, de Matos, M, Darter, Blomsterberg,A,.(2008). "Best Practice for Double Skin Facades". EIE/04/135/S07.38652, Publishable Report :Reporting Period: 1.1.2005 – 31.12.2007, http://www.bestfacade.com

Wigginton, M. (2002). Intelligent skins, Butterworth-Heinemann, Oxford.