



بهبود وضعیت تهویه طبیعی در فضاهای راهرویی یک ساختمان اداری موردی در اهواز از طریق مداخله در معماری

امید رهایی^{1*}، شکوفه آبی²، آرش شمس طالقانی³، توران زندی⁴

1- استادیار (دکتر)، گروه معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

2- دانشجوی، کارشناسی ارشد مهندسی معماری، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان، اهواز

3- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری‌های هوایی، پژوهشگاه هوافضا، تهران، ایران

4- دانشجوی، کارشناسی ارشد مهندسی معماری، دانشگاه آزاد علوم تحقیقات خوزستان، اهواز

* تهران، صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵، o.rahaei@sru.ac.ir

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات ساختمان‌های اداری در شهرهای گرم و مرطوبی نظیر اهواز، عدم تهویه مؤثر فضاهای بسته راهرویی است. هدف اصلی این پژوهش بهبود این وضعیت است که از طریق اصلاح الگوی جریان هوای داخل، با مداخله مؤثر در معماری و موقعیت دمنده‌ها و مکنده‌ها امکان‌پذیر می‌باشد. تحقیق حاضر، ماهیت بین‌رشته‌ای دارد و روشی ترکیبی و ابداعی یافته و راهبردهای تحقیق تجربی، شبیه‌سازی و پژوهش موردی را درگیر می‌نماید. بدین ترتیب که ابتدا مطالعات تجربی و آزمون‌های دوره‌ای روی نمونه‌های موردی انتخابی انجام و سپس به کمک روش شبیه‌سازی، مداخلاتی در معماری و متغیرهای تحقیق صورت گرفت. در این پژوهش، از روش دینامیک سیالات محاسباتی به منظور انجام شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌ها استفاده شد و پیش پردازشگر گمبیت و نرم‌افزار فلونت (پس از اعتبارسنجی) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که استفاده از دمنده‌های سقفی و تغییر در ابعاد و شکل راهروها مطابق نتایج این پژوهش و پیش‌بینی مکنده پشت به باد، به نحو مؤثری الگوی جریان هوای داخل را ارتقا داده و با کاهش سن هوای ساکن و برقراری جریان دائمی هوا، تهویه مؤثری را برقرار می‌کند.

کلیدواژه‌گان: تهویه طبیعی، جریان هوای داخل، دینامیک سیالات محاسباتی، راهرو

Improving the natural ventilation situation in the corridor spaces of an office building in Ahvaz through intervention in architecture Omid Rahaei^{1*}, Shekoofeh Abi², Arash Shams Tleghani³, Tooran zandi⁴

1-Assistant Professor, School of Architecture and Urbanism, Shahid Rajaee Teacher Training University (SRTTU), Tehran, Iran

2- Ms. Student, Institute for Higher Education ACECR Khouzestan, Ahvaz, Iran

3- Assistant Professor, Department of Aeronautical Science and Technology, Aerospace Research Institute, Tehran, Iran

4- Ms. Student, Science and Research University of Khouzestan, Ahvaz, Iran * P.O.B. 16785-163, Tehran, Iran, o.rahaei@sru.ac.ir

Received: 3 Dec. 2022 Accepted: 3 May 2023

Abstract

One of the most important problems of office buildings in hot and humid cities like Ahvaz is the lack of effective ventilation of closed corridor spaces. The main goal of this research is to improve the ventilation quality in the corridor spaces of Ahvaz office buildings, through modifying the architectural elements. The current research is a kind of interdisciplinary and has a hybrid and innovative method and involves the strategies of experimental research and simulations. In this way, first an experimental and periodical testes was conducted on the selected cases. Interventions were carried out with the simulation method: CFD method was used for analysis, Gambit preprocessor and Fluent software were used (after proving validity and reliability). The results showed that the use of ceiling fans and the changes in the dimensions and shape of the corridors, according to the results of this research and the prediction of the back-to-the-wind suction, effectively improved the indoor air flow pattern and by reducing the age of stagnant air and establishing a constant air flow, Provides effective ventilation.

Keywords: Natural ventilation, indoor air flow, CFD, corridor

۱- مقدمه

یک از اهداف تهویه طبیعی تأمین آسایش حرارتی از طریق حرکت هوا است. آسایش حرارتی زمانی حاصل می‌شود که حرکت هوایی که از پوست انسان عبور می‌کند، تبخیر عرق را افزایش دهد. این تهویه راحت خصوصاً در شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب مؤثر است. حرکت هوا یا سرعت هوا برای تعیین میزان تبخیر حیاتی است. هرچه میزان تبخیر بیشتر باشد، راحتی گرمایی نیز بهتر خواهد بود [4]. از طرف دیگر، امروزه کیفیت خوب هوا در داخل فضاهای تهویه بدون مطالعات مبتنی بر تکنیک‌های جدید محاسباتی حاصل نمی‌شود. در راستای این رویکرد، دینامیک سیالات محاسباتی^۲ بیشتر برای تجزیه و تحلیل بازده تهویه برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد [5].

با توسعه امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری‌های پیشرفته رایانه‌ای امکان ورود به مسائل مهندسی با در نظر گرفتن جزئیات به منظور بهینه‌سازی میسر شده است. امروزه از دینامیک سیالات محاسباتی در حوزه‌های پیشرفته مهندسی مکانیک سیالات و حرارت استفاده می‌شود. همچنین یکی از کاربردهای شبیه‌سازی‌های سیالاتی - حرارتی به اصول معماری شهرسازی و معماری داخلی از جهات مختلف معطوف می‌شود [4]. بنابراین معماران، با به‌کارگیری تکنولوژی و فناوری شبیه‌سازی محیط بادی توسط دینامیک سیالات محاسباتی، می‌توانند مواردی را که در زیر مطرح می‌شوند انجام دهند: به‌دقت پروژه را انجام داده، به طور مستقیم محیط بادی ساختمان‌های مربوط به یک طرح پیشنهادی را توصیف کنند، با دانشی که در زمینه ساخت علم و فناوری دارند، نتایج شبیه‌سازی و ترکیبات را تحلیل کرده، همچنین نقاط قوت و ضعف مربوط به گزینه‌های مختلف طراحی را نیز تجزیه و تحلیل و تحلیل کرده و در نهایت بر این اساس در صورت لزوم و نیاز در طراحی معماری تجدیدنظر کنند [6].

اطلاعات کافی و آگاهی در مورد هوا و گردش آن در محیط‌های بسته به چند دلیل عمده قابل توجه می‌باشد: آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخلی و مصرف انرژی. در مناطقی که انرژی‌های پایه محدود و کمیاب هستند، لزوم تهویه مطبوع توسط تهویه طبیعی برای از بین بردن بار حرارتی ساختمان به منظور آسایش حرارتی امری مهم است [7].

تجزیه و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی برای سیستم‌های فوتولتایی^۳ در محیط داخلی نشان می‌دهد که دینامیک سیالات محاسباتی ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی کیفیت هوای استنشاق شده، آسایش حرارتی ساکنان و پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها است [8]. همچنین نتایج حاصل از بررسی تهویه طبیعی یک محل کار در یک ساختمان عمومی با استفاده از طراحی پاسیوی مرکزی در ساختمان‌ها باعث تقویت سرعت جریان تغییر هوا و در نتیجه افزایش نتیجه تهویه طبیعی می‌شود [9]. بنابراین با ایجاد یک وید^۴ می‌تواند عملکرد تهویه طبیعی را در مسکن چندطبقه افزایش داد [10]. دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند شبیه‌سازی عملکرد جزئی ساختمان‌های دارای تهویه طبیعی، با هر شکل ساختمان و هر شرایط بافت شهری را فراهم کند [11]. انتخاب طرح ساختمان می‌تواند با اصلاح میکرو اقلیم ساختمان و با افزایش جریان هوا در

مطالعات نشان می‌دهند که کیفیت هوای داخل فضاهای اداری و نیز کنترل دما و رطوبت نسبی در این فضاها بسیار حائز اهمیت بوده و بخش زیادی از مسائل مربوط به آسایش حرارتی ساکنان آن به دلیل مشکلات طراحی و عدم توجه کافی به معماری فضای داخل می‌باشد [1]. در یک معماری خوب، نه تنها فرایند تأمین هوای تازه با انرژی کمتری انجام می‌شود، بلکه با گردش مؤثر جریان هوای داخل، نقاط بیشتری از فضای داخلی تهویه مؤثرتری خواهند داشت. همچنین فعالیت کارکنان، مصالح به‌کاررفته در معماری و نیز ماشین‌آلات اداری، بار گرمایی اضافه‌ای را به هوای داخل اضافه می‌نماید که می‌تواند کیفیت تهویه را پایین بیاورد؛ لذا انجم فنی گرمایش، سرمایش و تهویه هوای آمریکا، دو راهکار عمده را در دستور کار دارد: (۱) فرایند رتبه‌بندی در زمینه تهویه هوای داخل که به وضعیت میزان تهویه مؤثر می‌پردازد، (۲) فرایند کنترل تمامی ذرات معلق و آلاینده‌های هوا برد به منظور تأمین هوای پاک [2]. رعایت دستورالعمل‌ها و توصیه‌هایی که موجب برقراری آسایش حرارتی ساکنین می‌شود و نیز سلامتی آنها را تأمین می‌نماید، طبق استاندارد لازم‌الاجراست؛ لذا کنترل متغیرهایی نظیر دما، الگوی جریان هوای داخل و سرعت آن، رطوبت نسبی و کیفیت هوای داخل در فضاهای اداری، ضرورت دارد. بر این اساس کنترل و طراحی مؤثر عناصر معماری در جهت تأمین اهداف مذکور بسیار توصیه شده است [3].

مشاهدات نشان می‌دهند که در خوزستان، تهویه اکثر ساختمان‌های اداری به کمک دستگاه‌های مکانیکی انجام می‌شود، با این حال به دلایل مختلف از جمله مصرف انرژی و هزینه‌های نصب، فضاهای عمومی کم تردد و خصوصاً راهروها کمتر مورد توجه بوده و برای تهویه آنها تقریباً هیچ اقدامی صورت نمی‌گیرد؛ لذا در اکثر فضاهای راهرویی، هوا راکد و سن هوای^۱ بالا می‌باشد. این راهروها عمدتاً به شکل خطی بوده و درهای بسته متعددی در آنها وجود دارد که عمدتاً این درها به واحدهای اداری دارای تهویه مطبوع باز می‌شوند. اما در فضاهای راهرویی هیچ تهویه‌ای صورت نگرفته و نه تنها به لحاظ آسایش حرارتی مشکلات زیادی دارند، بلکه انباشت هوای داخلی و افزایش رطوبت نسبی و بالابودن سن هوای آن، مشکلات بسیار زیادی پدید می‌آورد. در همین راستا معماران نیز توجهی به آن ننموده و حتی به دلیل اینکه این فضاها در بخش‌های میانی ساختمان اداری قرار دارند، دسترسی به پنجره هم نداشته و متعاقباً امکان تهویه طبیعی نیز در آنها فراهم نیست و یا اگر هم هست، بسیار محدود و غیر مؤثر است. به همین منظور این پژوهش بر آن است تا راهبردی مؤثر جهت طراحی فضاهای راهرویی در ساختمان‌های اداری اهواز پیشنهاد دهد تا با ایجاد تغییرات کالبدی در شکل معماری و نیز موقعیت دمنده‌ها و مکنددها، ضمن اصلاح الگوی جریان هوای داخل و کاهش سن آن، تهویه طبیعی مؤثری در این فضاها برقرار نماید تا آسایش اقلیمی ساکنان بهتر تأمین شود. بر این اساس پرسش اصلی تحقیق این است که چگونه انجام تغییرات کالبدی در عناصر معماری و نیز در موقعیت دمنده‌ها و مکنددها می‌تواند ضمن اصلاح الگوی جریان هوای داخل، به برقراری تهویه مؤثر طبیعی در فضای داخل کمک نماید.

۲- ادبیات موضوع

1. سن هوا: مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک حجم هوای تازه وارد فضا شود.

2. (CFD)

3. (سیستم‌های PV): فناوری تبدیل (انرژی) نور به الکتریسیته از راه استفاده از نیم‌رساناهایی است که ویژگی اثر فوتولتایی دارند.

4. وید: فضای خالی در بخش میانی ساختمان که به صورت عمودی ادامه دارد.

مؤثر جهت طراحی فضاهای راهرویی در ساختمان‌های اداری اهواز پیشنهاد دهد تا با ایجاد تغییرات کالبدی در شکل معماری و نیز موقعیت دمنده‌ها و مکنده‌ها، ضمن اصلاح الگوی جریان هوای داخل و کاهش سن آن، تهویه طبیعی مؤثری در این فضاها برقرار نماید. روش انجام این پژوهش دینامیک سیالات محاسباتی است در تحلیل‌های آن از مدل توربولانسی k-ε استاندارد به همراه توابع مربوطه استفاده و نتایج لازم گردآوری شده است.

۳- روش انجام تحقیق

مطابق ادبیات ذکر شده، تحقیق حاضر ماهیت بین‌رشته‌ای دارد و روش تحقیق آن ترکیبی است؛ در مرحله اول با استفاده از یک راهبرد تجربی، متغیرهای تأثیرگذار موردنظر شناسایی و مدل‌های تحقیق، بررسی شدند. محل ورود و خروج هوا به‌عنوان متغیر مستقل و سرعت جریان هوای داخل به‌عنوان متغیر وابسته مورد مطالعه قرار گرفتند. سرعت جریان هوا (متغیر وابسته) توسط دستگاه‌های دقیق دیجیتال در طول مدت آزمون (ماه‌های اردیبهشت و خرداد که بیشترین نیاز به تهویه احساس می‌شود و امکان استفاده از آن مهیا است) اندازه‌گیری شدند. برای پیدا کردن جهت باد غالب، مطابق شکل 1 از آزمایش دود استفاده شده است؛ عود در فضای تقسیم و در نزدیکی در ورودی روشن شده است. همچنین مشاهدات تجربی نشان می‌دهد که جهت‌گیری بهینه در اهواز ۴۲ درجه شمالی جنوبی می‌باشد. جامعه آماری منتخب در این پژوهش راهروهای خطی در ساختمان‌های اداری اهواز با قابلیت ارتباط با فضای خارج می‌باشد و یک نمونه موردی تصادفی نیز جهت آزمون‌های تجربی انتخاب شده است.



شکل ۱ آزمایش دود انجام شده

مرحله دوم به‌منظور تحلیل داده‌ها و نیز مداخله در معماری، از روش شبیه‌سازی استفاده شد (مطابق ادبیات موضوع و پس از اثبات اعتبارسنجی آن). شبیه‌سازی‌ها با روش دینامیک سیالات محاسباتی انجام شده‌اند. ابتدا صحت شبیه‌سازی عددی به‌وسیله آزمون‌های تجربی اثبات و سپس به تحلیل داده‌ها با روشی تفسیری و مقایسه‌ای پرداخته شد. از نرم‌افزار گمبیت به‌منظور مدل‌سازی‌های هندسی و ایجاد شبکه (مش‌بندی) مورد استفاده قرار گرفت و سپس توسط نرم‌افزار فلونت تحلیل و شبیه‌سازی صورت گرفته است. سپس معادلات انرژی و معادله توربولانس در حالت k-ε فعال شده

آن، شرایط آسایش را بهبود بخشد. در واقع، مشخص شد که سیستم پاسیو می‌تواند برای یک منبع حرارتی در ساختمان مفید باشد [12]. در واقع عملکرد تهویه طبیعی به طور قابل توجهی به طراحی بستگی دارد.

گزینه‌های مختلف دینامیک سیالات محاسباتی، مانند افزایش سرعت اصلی تهویه و استفاده از تهویه اجباری کمکی [13] می‌تواند تقاضای انرژی برای خنک‌کننده و تهویه مکانیکی را کاهش دهند [14]. ادغام تکنیک‌های تهویه طبیعی به‌عنوان راه حلی برای مشکلات ساختمان‌های بلند اداری در مناطق گرمسیری [15] می‌تواند مصرف انرژی ساختمان را کاهش دهد [16]. به‌منظور بررسی راحتی حرارتی ساکنان و مشخصات جریان هوای داخلی، با استراتژی‌های جدید برای تعیین محل دهانه پنجره [17] و انواع آن، دائمی یا غیر دائمی؛ تأثیری که بر پروفیل‌های حرارتی ساختمان می‌گذارد [18] و همچنین تغییر الگوی جریان هوای داخلی با تغییر زاویه شیب سقف [19] در نتیجه ترکیب‌بندی صحیح بازشوها [20] و ایجاد نمای پلکانی در راستای باد موافق و نیز پیش‌بینی مکنده‌های مؤثر در دیوار رو به باد، می‌تواند با کنترل مؤثر ورود، خروج و پخش شدن هوا در فضای داخلی (طبق استاندارد اشری^۱)، تهویه طبیعی را تحت کنترل قرار داده و جریان مطلوبی را در تمام فضای داخل برقرار نماید [21].

در بسیاری از تحقیقات، محققین میزان جریان حجمی و میانگین سنی هوا را به‌عنوان پارامترهای عملکرد تهویه در نظر گرفتند تا عملکرد تهویه طبیعی را ارزیابی کنند [22]. شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی بر روی یک مدل ساختاری جدا شده از تهویه متقابل انجام شد که حاوی دو دهانه در دیواره بادگیر و کم‌فشار و مدل تهویه یک‌طرفه بود که از یک دهانه منفرد تشکیل شده بود. مطالعات پارامتری برای ارزیابی عملکرد تهویه هشت مدل مختلف ساختمان در تهویه متقابل و تهویه یک‌طرفه انجام شده است. چارچوب مدل‌سازی می‌تواند به‌اندازه کافی میزان تهویه در زمان واقعی و دمای هوای داخلی را پیش‌بینی کند [23]؛ سپس اثر تهویه طبیعی در گونه‌های مختلف را شناسایی کند [24].

مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی در حال حاضر بیشترین کاربرد را برای مطالعه کیفیت هوای داخلی و تهویه طبیعی دارند [25]. بنابراین می‌توان گفت شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی اطلاعات جامعی در مورد الگوی جریان داخلی فراهم می‌کند و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار طراحی مورد استفاده قرار گیرد [26] و رفتار باد در هریک از گونه‌ها را به لحاظ تهویه طبیعی مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند [27].

مصرف انرژی و هزینه‌های نصب در فضاهای عمومی کم تردد و خصوصاً راهروها کمتر مورد توجه قرار گرفته و برای تهویه آنها تقریباً هیچ اقدامی صورت نگرفته است، لذا در اکثر فضاهای راهرویی، هوا راکد و سن آن بالاست. در فضاهای راهرویی عمدتاً هیچ تهویه‌ای صورت نگرفته و نه تنها به لحاظ آسایش حرارتی مشکلات زیادی دارند، بلکه انباشت هوای داخلی و افزایش رطوبت نسبی و بالابودن سن هوای آن، مشکلات بسیار زیادی پدید می‌آورد. در تمام پژوهش‌های فوق روش دینامیک سیالات محاسباتی مورد استفاده بوده که روش‌های تهویه طبیعی را توصیه نموده‌اند. ضمن اینکه در چندین تحقیق مشابه، بهبود وضعیت تهویه طبیعی در فضاهای معماری را مرتبط با شیوه طراحی فضا دانسته به همین منظور این پژوهش بر آن است تا راهبردی

1. ashrey

$$v_t = c'_\mu \sqrt{k} \cdot L \quad (8)$$

در رابطه کلموگروف-پرانتل (معادله (8)) یک ثابت تجربی است. برای محاسبه توزیع k از حل معادله انتقال این کمیت استفاده شده است [32].

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \beta \cdot g_i \cdot \frac{v_t}{\sigma_T} \frac{\partial \phi}{\partial x_i} - C_D \frac{k^3}{l} \quad (9)$$

در رابطه فوق σ_k ، σ_T و C_D ضرایب تجربی هستند. β ضریب توسعه حجمی ϕ مقدار عددی شناوری است. باتوجه به مشخص شدن مقدار k از معادله (9) هر ترکیبی به شکل $z = k^m \cdot l^n$ انتخاب شده و برای آن یک معادله‌ی انتقال حل شده است، نرخ استهلاک انرژی جنبشی آشفتگی از معادله زیر تعیین می‌شود.

$$\epsilon \propto \frac{k^3}{l} \quad (10)$$

بنابراین مقیاس طول آشفتگی به صورت زیر است.

$$l = C_D \frac{k^3}{\epsilon} \quad (11)$$

C_D یک ثابت تجربی است؛ و مقدار لزجت گردابه‌ای مطابق معادله (12) می‌باشد.

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (12)$$

در نتیجه شکل نهایی معادلات k-ε به صورت زیر است [33].

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \beta \cdot g_i \cdot \frac{v_t}{\sigma_T} \frac{\partial \phi}{\partial x_i} - \epsilon \quad (13)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \left(v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + C_{3\epsilon} \cdot \beta \cdot g_i \cdot \frac{v_t}{\sigma_T} \frac{\partial \phi}{\partial x_i} - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (14)$$

در رابطه فوق $C_{1\epsilon}$ ، $C_{2\epsilon}$ ، $C_{3\epsilon}$ ، σ_k ، σ_ϵ و σ_T ضرایب تجربی هستند. مقادیر ضرایب تجربی مدل دو معادله‌ای k-ε در مرجع [31] ارائه شده است. معادله استفاده شده برای فشار نهایی:

$$p_{total} = \frac{1}{2} \rho v^2 + p_{static} \quad (15)$$

در اینجا ρ چگالی هوا در دمای 33°C ، v سرعت جریان هوا و p_{static} فشار استاتیکی می‌باشد. تدابیر مورداستفاده بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهدات و برداشت‌های میدانی، اندازه‌گیری‌های کارگاهی و شبیه‌سازی بوده است.

است. انتخاب این معادله توریولانس به‌خاطر فراوانی استفاده از آن در نمونه‌های مشابه و همچنین با بررسی سیرکولاسیون بررسی شده در نمونه مورد آزمایش انتخاب شده است. در حالت کلی معادلات حاکم بر حرکت سیال شامل معادله بقا جرم (معادله پیوستگی) و معادلات بقا مومنوم (معادلات ناویراستوکس) هستند. معادله پیوستگی، اصل بقا جرم را توصیف می‌کند. برای حجم ثابت سیال، بقا جرم بیان می‌دارد که شار جرمی خالص کل در حجم باید با تغییرات چگالی متعادل گردد. معادله بقا جرم [28] معادله (1):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \hat{u})}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \hat{v})}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \hat{w})}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

در رابطه فوق \hat{u} ، \hat{v} و \hat{w} به ترتیب مولفه‌های سرعت در راستای x ، y و z هستند. در صورتی که چگالی سیال (ρ) ثابت فرض شود معادله (1) را می‌توان به شکل تانسوری مطابق معادله (2) در نظر گرفت [29].

$$\sum_{j=1}^3 \frac{\partial(\hat{u}_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

معادلات بقا مومنوم در سیستم مختصات کارتزین وقتی محورهای قائم و با جهت مثبت به سمت بالا قرار داشته باشد به شکل روابط ذیل به دست می‌آید [29].

$$\frac{\partial(\rho \hat{u})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \hat{u}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \hat{v} \hat{u}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \hat{w} \hat{u}) = -\frac{\partial \hat{p}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho \hat{v})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \hat{u} \hat{v}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \hat{v}^2) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \hat{w} \hat{v}) = -\frac{\partial \hat{p}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + f_y \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \hat{w})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \hat{u} \hat{w}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \hat{v} \hat{w}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \hat{w}^2) = -\frac{\partial \hat{p}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + f_z \quad (5)$$

در رابطه فوق، \hat{p} فشار، g شتاب ثقلی، t زمان، f_i نیروهای بدنه‌ای و τ_{ij} تنش‌های حاصل از لزجت سیال هستند که با توجه به شکل المان‌های سیال به صورت زیر بیان می‌شوند [30]:

$$\tau_{ij} = \rho v \left(\frac{\partial \hat{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \hat{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

در این رابطه، v ویسکوزیته سینماتیک سیال است. فرمول (3) تا (5) را باتوجه به فرمول (6) و ثابت فرض کردن چگالی سیال، می‌توان به شکل تانسوری به صورت ذیل بازنویسی کرد [31].

$$\frac{\partial(\hat{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\hat{u}_i \hat{u}_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \hat{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[v \left(\frac{\partial \hat{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \hat{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{f_i}{\rho} \quad (7)$$

از حل سه معادله ذکر شده یک معادله پیوستگی، چهار مجهول سرعت و فشار در تمام نقاط به دست می‌آید. نماد (8) نشان‌دهنده لحظه‌ای بودن متغیرها است.

در اینجا جذر انرژی جنبشی به‌عنوان مقیاس سرعت در نظر گرفته شده است و معادله (8) به دست می‌آید.

تعداد پنجره (عدد)	۱ (پاگرد پله)	۵	۱ (پاگرد پله)
میانگین سرعت جریان هوا ($\frac{m}{s}$)	۱/۵	۲	۱/۵

۵- آزمون‌های تجربی

این آزمون‌ها، حدوداً ۳۰ روز (بیشترین نیاز به تهویه طبیعی در محدوده اردیبهشت تا خرداد) ۲۹ اردیبهشت تا ۲۹ خرداد در نظر گرفته شده است. دمای آزمون‌ها در هر روز، حدود ساعات ۹ الی ۱۱ و ۱۲ الی ۱۴، در یازده نقطه (شکل‌های ۲ تا ۴) در فضای داخل راهروها (مشخصات هر سه طبقه راهروها طبق جدول (۱) می‌باشد) و در ارتفاع ۱/۵۰ متری (تراز موردنیاز شخص در حالت ایستاده) توسط داماسنج الکلی سنجیده و سپس ثبت گردیده است. همچنین به منظور اندازه‌گیری سرعت باد از دستگاه سرعت‌سنج باد هات وایر لوترون مدل AH2004LUTRON- YK، استفاده شده است. این دستگاه برای اندازه‌گیری سرعت هوا (باد)، فلو هوا (CFM، CMM)، دمای هوا، اندازه‌گیری سرعت در محدوده ۰ تا 20m/s اندازه‌گیری دما در محدوده ۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد قابل‌استفاده است. اعداد ارائه شده در شکل 9 شامل میانگین دماهای ثبت شده در هریک از راهروها در بازه زمانی ذکر شده است.

۶- تحلیل داده‌ها به روش دینامیک سیالات محاسباتی

در این پژوهش هدف اصلی بهبود سرعت جریان هوا و در نتیجه کاهش سن هوا به صورت تهویه طبیعی در ارتفاع تردد کاربر است. متغیرهای مستقل این پژوهش ابعاد راهروها، محل ورود و خروج و موقعیت فن‌ها می‌باشد؛ لذا مداخله معماری اجتناب‌ناپذیر است که این امر به کمک شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. در این پژوهش مطابق ادبیات موضوع از یک روش دینامیک سیالات محاسباتی برای شبیه‌سازی جریان هوای داخل استفاده شد. جهت اعتبارسنجی به شبیه‌سازی‌ها و اثبات اعتبارسنجی، وضع موجود مطابق داده‌های تجربی شبیه‌سازی شد. نرم‌افزار گمبیت به منظور مدل‌سازی‌های هندسی و ایجاد شبکه^۱ مورد استفاده قرار گرفت و از نرم‌افزار فلوئنت نیز به منظور تحلیل شبکه استفاده شده است.

در شرایط مرزی برای کولرها، شرط ورودی - سرعت^۲ و خروجی - فشار^۳ تعریف شده و سرعت و دمای داده شده روی دستگاه و سرعت تنظیماتی کارخانه که با استفاده از داده برداری تجربی محلی به تأیید رسیده در نرم‌افزار جاگذاری شده است. دما ۱۹ درجه سانتیگراد و سرعت ۱۱ متر بر ثانیه جهت کولرهای سقفی، درب ورودی بسته؛ ولی به صورت یک خروجی فرض شده است و پنجره‌ها هنگام داده برداری بسته بوده است. برای تعیین رژیم جریان در دمای دما و فشار مورد نظر، از رابطه رینولدز مطابق با فرمول 16 استفاده می‌شود [34].

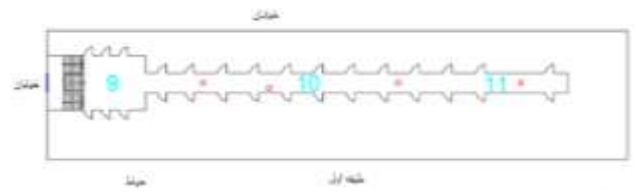
$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (16)$$

که هریک از پارامترها عبارتند از :

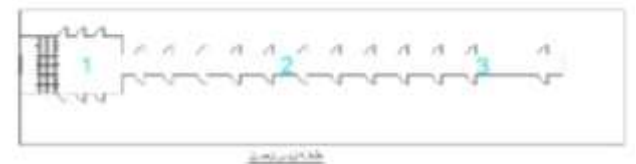
1. Ted-Hybri به روش
2. velocity-inlet
3. pressure-outlet



شکل ۲ پلان داده برداری تجربی راهرو طبقه همکف



شکل ۳ پلان داده برداری تجربی راهرو طبقه اول



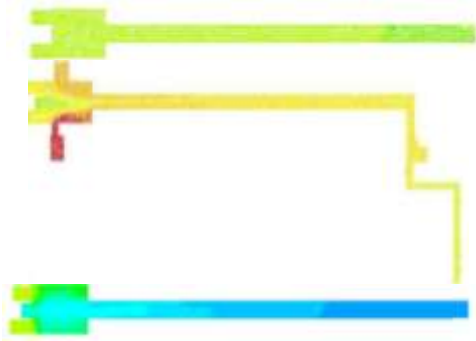
شکل ۴ پلان داده برداری تجربی راهرو طبقه زیرزمین

۴- معرفی نمونه موردی

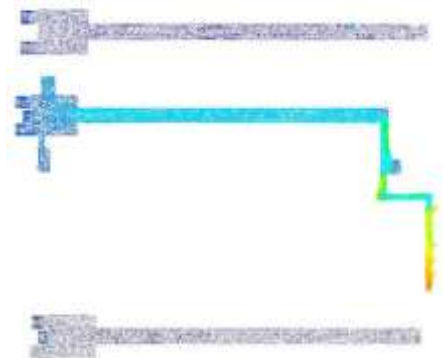
ساختمان مورد مطالعه در این مقاله، راهروهای خطی در ساختمان‌های اداری اهواز می‌باشد که با توجه به امکان بررسی بهتر، ساختمان دارایی (اداره مالیات اهواز) برای انجام آزمون‌های شبیه‌سازی انتخاب شده است. این ساختمان در منطقه امانیه در خیابان فلسطین شهر اهواز قرار دارد و جهت‌گیری آن شرقی غربی است (شکل‌های ۲ تا ۴). این ساختمان شامل سه طبقه (همکف، اول و زیرزمین) می‌باشد. راهرو طبقه اول و زیرزمین فاقد پنجره و فقط در پاگرد پله دارای پنجره بدون باز شو است و جهت نورگیری استفاده می‌شود. مشخصات راهروها طبق جدول ۱ می‌باشد

جدول 1 مشخصات راهروها و میانگین سرعت جریان هوا در راهروها

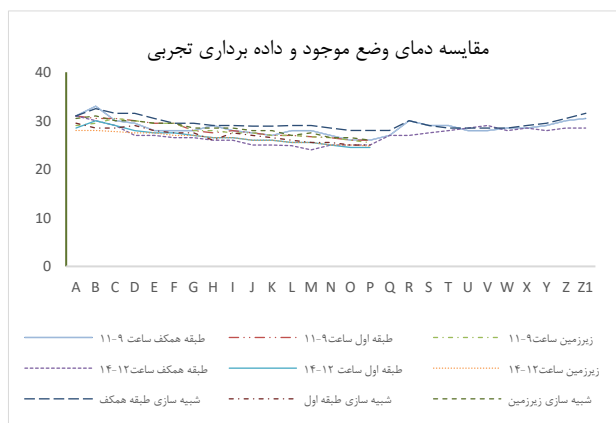
نمونه موردی	ساختمان اداری دارایی (ساختمان مالیات) اهواز		
طبقه	اول	همکف	زیرزمین
طول راهرو (m)	۵۱/۳۰	۱۶-۷/۵-۱۵/۱-۵۱/۳	۵۱/۳۰
عرض راهرو (m)	۲/۴۰	۱/۰۰-۲/۳۰-۲/۴۰	۲/۴۰
ارتفاع راهرو (m)		۲/۳۵	
مساحت کف راهرو (m ²)	۱۲۳/۰۰	۱۶۰/۷۵	۱۲۳/۰۰
فضای تقسیم (m)	6.55 × ۷/۵۵ در کنار مجموعه		



شکل 7 مقایسه دما در راهروهای هر سه طبقه، در ارتفاع ۱/۵ متری از کف بر حسب درجه کلونین (تصویر بالا: طبقه زیرزمین، تصویر وسط: طبقه همکف، تصویر پایین: طبقه اول)



شکل 8 مقایسه سرعت جریان هوا در راهروهای هر سه طبقه، در ارتفاع ۱/۵ متری از کف بر حسب متر بر ثانیه (تصویر بالا: طبقه زیرزمین، تصویر وسط: طبقه همکف، تصویر پایین: طبقه اول)



شکل 9 نمودار مقایسه دمایی وضع موجود و داده برداری تجربی بر حسب درجه سلسیوس

راهنمای کانتورهای سرعت و کانتورهای دما در شکل 6 ارائه شده است. مقایسه دمایی وضع موجود نشان می‌دهد که در اکثر نقاط سرعت جریان هوا و تهویه نامناسب است و دمایی زیادی مشاهده می‌شود که در این حالت تهویه هوا به خوبی صورت نگرفته و سرعت متوسط جریان هوا بسیار کم (زیر ۱/۲۸

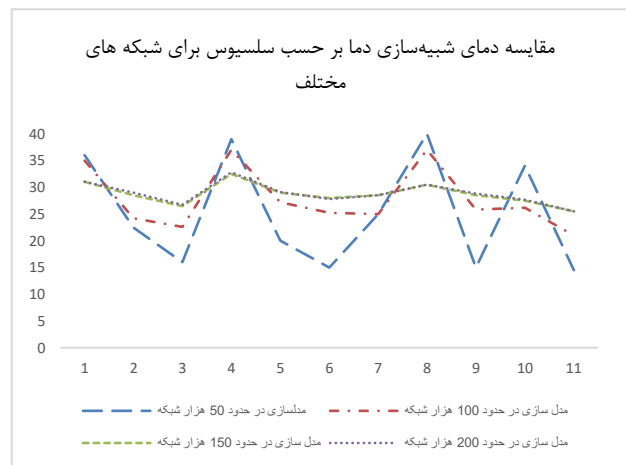
ρ : چگالی هوا برابر با $1/2 \text{ Kg/m}^3$

μ : ویسکوزیته هوا برابر با $1/5 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$

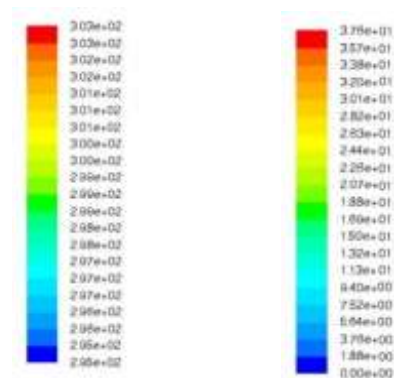
V : سرعت برابر با 11 m/s

L : طول مشخصه برابر با 51.3 m

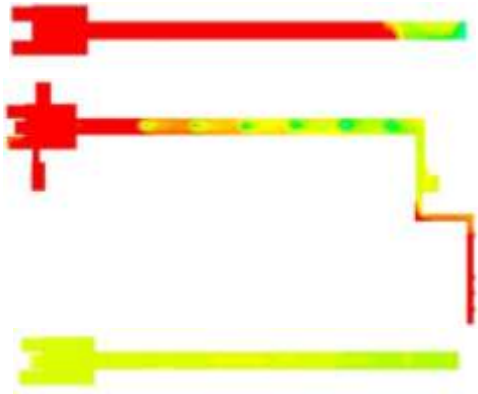
و با جایگذاری پارامترها مقدار عدد رینولدز برابر با $4/5 \times 10^7$ بدست می‌آید که از مقدار بحرانی (3×10^6) [34] بیشتر است و جریان مغشوش در نظر گرفته می‌شود. ابتدا وضع موجود شبیه‌سازی شده است؛ برای این کار ابتدا شبیه‌سازی با استفاده از تعداد مش‌های متفاوت انجام شد. با افزایش تعداد مش‌ها از عدد ۱۵۰ هزار مش به بعد، نتایج همگرا شد که نتایج آن (شکل‌های 7 و 5) با اعداد به‌دست‌آمده از نمودار وضع موجود (شکل 8) قابل‌مقایسه است و اختلاف اندکی وجود دارد که به‌خاطر عامل خطای انسانی در برداشت‌های تجربی و خطاهای محاسباتی است. بدین ترتیب نمونه‌های مختلف راهروها بر اساس فرضیات این پژوهش (نتایج آزمون‌های تجربی) شبیه‌سازی شدند و مداخله در شبیه‌سازی صورت گرفت.



شکل 5 مقایسه دمای شبیه‌سازی دما بر حسب سلسیوس برای شبکه‌های مختلف

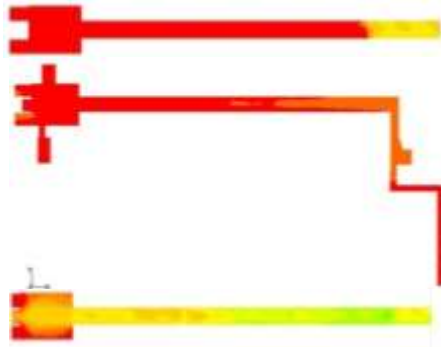


شکل 6 راهنمای کانتورهای سرعت (سمت راست)، راهنمای کانتورهای دما (سمت چپ)

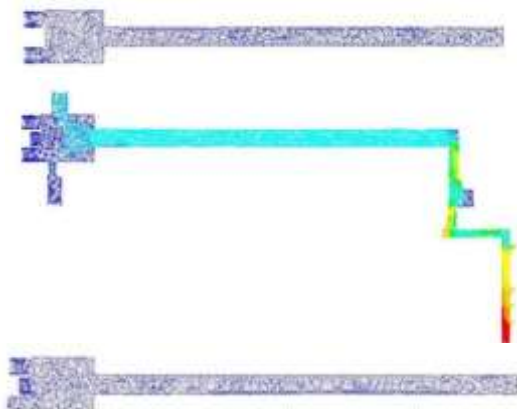


شکل 11 مقایسه دما در راهروهای هر سه طبقه، در ارتفاع ۱/۵ متری از کف بر حسب درجه کلونین (تصویر بالا: طبقه زیرزمین، تصویر وسط: طبقه همکف، تصویر پایین: طبقه اول)

مداخله دوم: در این مداخله به منظور بررسی بهتر کانال ابعاد آن را تغییر داده و ابعاد 50×50 سانتیمتر با دریچه‌هایی به همین ابعاد در وسط راهروها و بافاصله ۴ متر از یکدیگر طراحی شده است. در این حالت دریچه‌های کانال‌ها ورودی در نظر گرفته شده است و پنجره‌ها خروجی در نظر گرفته شده است (خروجی‌ها در جبهه غرب و شرق قرار دارند).



شکل 12 مقایسه دما در راهروهای هر سه طبقه، در ارتفاع ۱/۵ متری از کف بر حسب درجه کلونین (تصویر بالا: طبقه زیرزمین، تصویر وسط: طبقه همکف، تصویر پایین: طبقه اول)



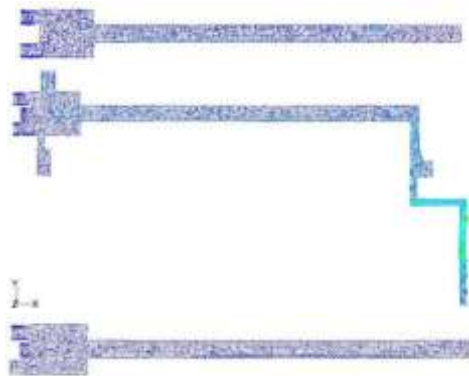
متر بر ثانیه) است. همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود برش دمایی با داده برداری تجربی مطابقت دارد و طبق شکل 8 سرعت جریان هوا و تهویه نامناسب است و دمای زیادی مشاهده می‌شود؛ سرعت جریان هوا متوسط در داده‌های تجربی و شکل 8، 3 متر بر ثانیه در طبقه همکف و در دیگر طبقات ۱/۲ متر بر ثانیه است؛ با توجه به سرعت جریان هوای مطلوب در راهروهای اداری 5 تا 7/5 متر بر ثانیه است، مناسب نیست [35]. بنابراین انجام مداخله جهت اصلاح وضعیت موجود امری ضروری به نظر می‌رسد که در این راستا برای بهبود سیرکولاسیون جریان هوای داخل، مداخله‌هایی در معماری داخلی ساختمان انجام پذیرفت. مداخلات متفاوت برای راهروها تحلیل شد تا در مراحل بعدی با مقایسه داده‌ها بهترین شرایط جهت بهبود آسایش حرارتی کاربران گزینش شود.

۷- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

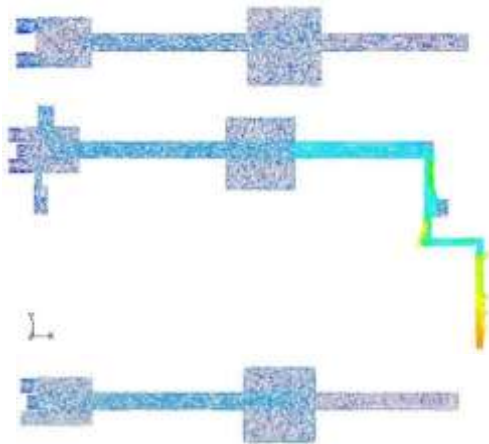
به منظور برقراری تهویه طبیعی مؤثر در فضای داخلی راهروها، مداخلات لازم با توجه به اعتبارسنجی مذکور، در شبیه‌سازی‌ها انجام و اعمال شده است. این مداخلات با توجه به ادبیات موضوع و مشابه پژوهش‌های سایر محققین در راهروها و بر اساس متغیرهای این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

مداخله اول: در این مداخله کانالی با ابعاد 40×40 سانتی‌متر در وسط سقف کلیه طبقات طراحی شده است. ارتباط کانال‌های هوایی با فضای مجموعه با دریچه‌هایی به ابعاد 40×40 سانتی‌متر بافاصله ۳ متر از یکدیگر است. (کانال‌ها حالت ورودی هوا را تأمین می‌کنند) کلیه پنجره‌ها باز هستند تا حالت خروجی هوا را فراهم آورند.

در شکل 10 مشاهده می‌شود که توزیع سرعت جریان هوا در تمامی نقاط نسبتاً یکنواخت و معادل ۲/۸۱ متر بر ثانیه است. این سرعت در بازه شرایط آسایش قرار دارد که با افزایش حجم هوای ورودی یکنواختی سرعت جریان هوا در فضا افزایش یافته و به بازه موردنظر نزدیک‌تر شده است. مطابق شکل 11، دما در طبقه زیرزمین از ۲۴ تا ۳۰ درجه و در طبقه همکف ۲۵/۵ تا ۳۰ درجه و در طبقه اول ۲۶ تا ۲۶/۵ درجه سانتیگراد است.



شکل 10 مقایسه سرعت جریان هوا در راهروهای هر سه طبقه، در ارتفاع ۱/۵ متری از کف بر حسب متر بر ثانیه (تصویر بالا: طبقه زیرزمین، تصویر وسط: طبقه همکف، تصویر پایین: طبقه اول)



شکل 13 مقایسه سرعت جریان هوا در راهروهای هر سه طبقه، در ارتفاع ۱/۵ متری از کف بر حسب متر بر ثانیه (تصویر بالا: طبقه زیرزمین، تصویر وسط: طبقه همکف، تصویر پایین: طبقه اول)

شکل 15 مقایسه سرعت جریان هوا در راهروهای هر سه طبقه، در ارتفاع ۱/۵ متری از کف بر حسب متر بر ثانیه (تصویر بالا: طبقه زیرزمین، تصویر وسط: طبقه همکف، تصویر پایین: طبقه اول)

در شکل‌های 14 و 15 مشاهده می‌شود هوا ۲۵ درجه تا ۳۰ درجه و نفوذ هوایی خارج به شکل مؤثری انجام شده است و متوسط سرعت جریان هوا در اکثر نقاط ۴/۲۶ متر بر ثانیه است (در اکثر نقاط سرعت جریان هوای مناسبی مشاهده می‌شود). مکش هوای بیرون در این آزمون به‌صورت مناسبی انجام شده است. سرعت جریان هوا و حذف گره‌های هوایی نشان از کاهش سن هوا و در نتیجه باعث بهینه شدن سرعت جریان هوا شده است؛ بنابراین تغییر کالبدی ایجاد شده تا حدودی می‌تواند، فرم نامناسب راهرو را اصلاح و در تمامی انواع پلان باعث نفوذ هوای خارج و تهویه مناسب‌تر در ساختمان شود.

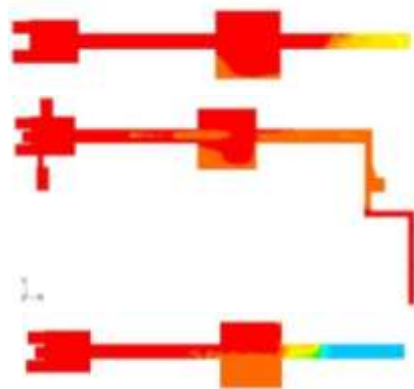


شکل 16 نمودار برش سرعت جریان هوا در سه وضعیت پیشنهادی و وضع موجود

در شکل 16 شمای کلی مداخلات انجام شده، نشان داده شده است که نقاط ۱ تا ۱۱ در شکل‌های ۱ تا ۳ (پلان راهروها) مشخص شده است. با مقایسه مداخلات؛ ابعاد کانال ۵۰×۵۰ سانتیمتر بافاصله ۳ متری دریچه‌ها از یکدیگر می‌تواند باعث نتیجه مطلوب در جهت تأمین گردش هوا و کاهش سن آن شود. همچنین در آزمون سوم و ایجاد تغییر کالبدی نیز مطلوب واقع شده است.

در شکل 12 مشاهده می‌شود که دما در طبقه اول ۲۶ تا ۲۷ درجه سلسیوس، در طبقه همکف بین ۲۹ تا ۳۰ درجه و در طبقه زیرزمین ۲۷ تا ۳۰ درجه را نشان می‌دهد. سرعت جریان هوا مطابق شکل 13 در تمام طبقات افزایش پیدا کرده است که در بعضی نقاط سرعت بیشتر از حد آسایش است؛ ولی در اکثر نقاط سرعت جریان هوا در منطقه آسایش قرار دارد. متوسط سرعت جریان هوا در طبقه زیرزمین و اول ۲/۸۸ و در طبقه همکف ۷/۵۲ متر بر ثانیه است. در این حالت سن هوا در طبقه همکف کاهش پیدا کرده و سرعت جریان هوا مطلوب است؛ ولی در طبقه زیرزمین و اول سرعت جریان هوا از بازه مطلوب خارج شده است در نتیجه این تغییر به نسبت کانال هوای کوچک‌تر نامناسب‌تر به نظر می‌رسد.

مداخله سوم: در این آزمون باتوجه به اینکه طول راهروها در داده برداری تجربی نامناسب فرض شده است؛ مداخله با ایجاد فضای تقسیم در وسط راهروی مجموعه و در نهایت کم کردن طول راهروها انجام شده است. باتوجه به عرض کلی ساختمان ابعاد فضای تقسیم $7/6 \times 7/5$ متر در نظر گرفته شده است. همچنین در این آزمون، دریچه‌های موجود در جبهه شمالی ورودی و خروجی‌های دریچه‌های موجود در شرق و غرب ساختمان می‌باشند.



شکل 14 مقایسه دما در راهروهای هر سه طبقه، در ارتفاع ۱/۵ متری از کف بر حسب درجه کلونین (تصویر بالا: طبقه زیرزمین، تصویر وسط: طبقه همکف، تصویر پایین: طبقه اول)

۸- نتیجه‌گیری

همان‌طور که در نتایج مشاهده شد پس از مداخلات، مکش هوای بیرون به‌صورت مناسبی انجام می‌شود و سرعت جریان هوا و حذف گره‌های هوایی نشان از کاهش سن هوا است (در تمام تصاویر، کلیه واحدهای سرعت جریان هوا برحسب متر بر ثانیه و دما بر حسب کلونین می‌باشد). متوسط سرعت جریان هوا، بهینه شده و از $2/81$ تا $7/52$ متر بر ثانیه متغیر خواهد بود. این جریان هوا باعث تغییر دمای هوا از 24 درجه تا 30 درجه سانتیگراد شده است. در این شرایط بر اساس تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته نکات زیر دست می‌آید:

مطابق مداخله اول استفاده از کانال برای جهت‌دهی به مسیر جریان هوا تأثیر بسیاری در انجام تهویه و کاهش سن هوا دارد. همچنین کم‌کردن فاصله دریاچه‌های خروجی و ورودی کانال مطابق مداخله اول (فاصله ۳ متر) بهتر از مداخله دوم (فاصله ۴ متر) است که در صورت نبود کولرها نیز افزایش سرعت جریان مشاهده می‌شود. مطابق مداخله سوم حداکثر طول راهرو بدون فن $12-14$ متر باتوجه به عرض راهرو می‌باشد. با استفاده از فضای تقسیم جهت ورود و خروج هوا و کاهش طول راهروهای خطی بدست می‌آید. همچنین با بررسی مداخلات انجام شده در این پژوهش جهت بهبود وضعیت تهویه طبیعی در راهروهای خطی ادارات اهواز که خلاصه‌ای از این مداخلات در شکل ۱۶ در یازده نقطه مهم (شکل ۲ تا ۴) مشاهده می‌شود، شامل مداخله در وضعیت بازشوها، ابعاد کانال هوایی و دریاچه‌های آن و تغییر کالبدی ایجاد شده، شرایط بهینه به شرح زیر می‌باشد:

استفاده از فن جهت ورود و خروج هوا و باز گذاشتن دریاچه‌های ورودی باعث گردش بهتر هوا در راهروها و افزایش سرعت جریان هوا در حد مطلوب می‌شود در این راستا ورود هوا از سمت شرق و غرب صورت گیرد و خروجی هوا از سمت جنوب و در صورت دسترسی جنوب و شمال انجام شود. عرض کانال و فاصله دریاچه‌ها تأثیر مستقیمی در حجم ورودی هوا دارد؛ بنابراین استفاده از کانال با ابعاد 50×50 سانتی‌متر با دریاچه‌هایی با فاصله ۳ متر (قرارگیری دریاچه‌ها در وسط راهرو) ضروری است. همچنین حداکثر طول راهرو باتوجه به عرض ۲ متر، بدون ایجاد فضای تقسیم با توجه به مداخلات ۱۴ متر در نظر گرفته شود در غیر این صورت با استفاده از فن‌های مکش هوا یا استفاده از فضای تقسیم ضروری است.

باتوجه به نتایج این پژوهش فضای تقسیم به ابعاد $7/60 \times 7/5$ متر (تقریباً مربع) جهت ورود و خروج هوا و تقسیم راهروهای خطی نیز توانسته است نتایج مطلوبی را ارائه دهد. بر اساس مداخلات انجام شده در این پژوهش، واضح است که کانال هوایی در موقعیتی قرار گرفته که سرعت جریان هوا در تراز $1/50$ متری به بیشترین مقدار خود می‌رسد و اساساً جهت برقراری جریان هوای لازم در فضای راهروها، ورود هوا از سمت غرب و شرق مطلوب بوده و لازم است که با ایجاد بازشوی لازم در این جهات این مهم برقرار شود و این اتفاق زمانی نتیجه‌بخش خواهد بود که هم‌زمان بتوان از سمت جنوب و شمال خروجی هوا را برقرار ساخت؛ لذا پیش‌بینی خروجی مناسب بر اساس حجم هوای ورودی می‌تواند جریان هوای داخل را متعادل و سن هوا را کاهش دهد. میزان هوای ورودی می‌تواند سرعت جریان هوای داخل را تنظیم نماید؛ بنابراین اگر سرعت جریان باد خارج از ساختمان بیش

از حد لازم باشد، می‌توان فن‌ها را خاموش یا با دور کند کار کنند و بالعکس ... بدین ترتیب جریان مناسب در تمام نقاط راهروها برقرار خواهد بود.

راهکارهای ارائه شده که به صورت تغییرات کالبدی (ایجاد فضای تقسیم) و تغییرات مکانیکی (نصب فن مش) و اصلاحات معماری (محل قرارگیری دریاچه‌ها) است را می‌توان برای تمامی راهروهای اداری با الگوی مشابه و آب و هوای مشابه پیاده کرد. باتوجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش پس از رفع نواقص و ارتقا برای سایر اقلیم‌ها و شرایط جغرافیایی و همچنین کاربری‌های مختلف استفاده گردد.

۹- مراجع

- [1] a. Raja, o. Raja, usage of CFD method in architecture, in: 5th international congress of civil, architecture, urban development, Tehran, Iran, 2017. (in Persian)
- [2] D. F. Burton, *Industrial Ventilation Work Book*, Salt Lake City: DJBA Inc, 1997.
- [3] R. J. De Dear, G. S. Brager, Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55, *Energy and buildings*, Vol. 34, No. 6, pp. 549-561, 2002.
- [4] B. Givoni, *Climate Considerations in Building and Urban Design*, John Wiley & Sons, 1998.
- [5] Z. Q. Zhai, I.D. Metzger, Taguchi-Method-Based CFD Study and Optimisation of Personalised Ventilation Systems, *Indoor and Built Environment*, Vol. 21, No. 5, pp. 690-702, 2012.
- [6] Guoa Weihong, b. Xiao Liua, b. Xu Yuan, Study on Natural Ventilation Design Optimization Based on CFD Simulation for Green Buildings, 9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC), the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE) *Procedia Engineering*, No. 121, pp. 573-581, 2015.
- [7] M. A. Hassana, N.M. Guirguisa, M.R. Shaalanb, K.M. El-Shazlyc Desalination, Investigation of effects of window combinations on ventilation characteristics for thermal comfort in buildings, No. 209, pp. 251-260, 2007.
- [8] Liu Jiying, Zhu Shengwei, Kim Moon Keun, Srebric Jelena, A Review of CFD Analysis Methods for Personalized Ventilation (PV) in Indoor Built Environments, 2019.
- [9] Yang An-Shik, Cheng Chiang-Ho, Wu Jen-Hao, Juan Yu-Hsuan, CFD Simulations to Examine Natural Ventilation of a Work Area in a Public Building, World Academy of Science, *Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, Vol.8, No.7, 2014.
- [10] Muhsin Fakhriah, Mohammad Yusoff Wardah Fatimah, Mohamed Mohd Farid, Sapian Abdul Razak, *The Effects of Void on Natural Ventilation Performance in Multi-Storey Housing, Buildings*, Vol. 6, No. 3, pp. 35, 2016.
- [11] Wang Bing, Dogan Timur, Pal Debashree, Reinhart Christoph, SIMULATING NATURALLY VENTILATED BUILDINGS WITH DETAILED CFDBASED WIND PRESSURE DATABASE, *Fifth National Conference of IBPSA-USA*, Madison, Wisconsin, pp.1-3, 2012.
- [12] Driss Slah, Driss Zied, Kammoun Imen Kallel, *Elsevier: Energy and Buildings*, Vol. 119, pp. 28-40, 2016.
- [13] S. Tomo, J. Toraño, J. Velasco, Study of ventilation reversion of airflow in mining roadways and tunnels by CFD and experimental methods, *WIT Transactions on Engineering Sciences*, Vol. 69, pp. 1743-3533, 2010.
- [14] Raji Babak, J. Tenpierik Martin, Bokel Regina, Dobbsteien Andy van den, Natural summer ventilation strategies for energy-saving in high-rise buildings: a case study in the Netherlands, *International Journal of Ventilation*, Vol. 19, No. 1, pp. 25-48, 2020.
- [15] Kim Hyeong-Ill, Study on Integrated Design Workflow for Natural Ventilated Tropical Office Building Using CFD, *Archit Eng Tech*, Vol. 170, No. 5, pp. 4172-4177, 2016.

- [16] Wang Fulin, Chen Zheliang, Chen Chen, Liu Yansheng, Natural Ventilation Design in a Large Factory Building Using Simulation, *14th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Hyderabad, India, No. 14, pp. 7-9, 2015.
- [17] D.Prakash, P.Ravikumar, Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at the adjacent walls, 2019.
- [18] R Widiastuti, M I Hasan, C N Bramiana, P U Pramesti, CFD Simulation on the Natural Ventilation and Building Thermal Performance, *Earth and Environmental Science*, pp. 448, 2020.
- [19] Omid Rahaei, Hamid Reza Azemati, Improving the Quality of Natural Ventilation in Classrooms of Mazandaran Province Based on the Position of the Openings Using CFD Method. *IRANIAN ARCHITECTURE AND URBANISM*, Vol. 11 , No. 19, pp. 57-71, 2020. (in Persian)
- [20] J. I. Peren, T. van Hooff, B. C. C. Leite, B. Blocken, CFD analysis of cross-ventilation of a generic isolated building with asymmetric opening positions: Impact of roof angle and opening location. *Building and Environment*, Vol. 85, No. 2, pp. 263-276, 2020.
- [21] O. Rahaei, S. Abi, A. Shams Taleghani, Uniformization of the Ventilation Process in the Internal Exhibition Halls of the Shush Antiquities Museum With Limited Interventions, *Scientific Journal of Fluid Mechanics and Aerodynamics*, Vol. 11, No. 1, Spring and Summer 2022, pp.41-55. (in Persian)
- [22] J. Park, , G. H. Rhee, Comparison of volume flow rate and volume-averaged local mean age of air for evaluating ventilation performance in natural ventilation, *Mech Sci Technol*, Vol. 31, pp. 5801-5812, 2017.
- [23] wu Wentao, wang Bing, Malkawi Ali, Yoon Nari, Sehovic Zlatan, Yan Bin, A Method toward Real-Time CFD Modeling for Natural Ventilation, *Harvard Center for Green Buildings and Cities*, Harvard University, Cambridge, 2018.
- [24] M. Hazbaei, natural ventilation in Shavadans of Dezoul with CFD modeling, *Bagh-e-nazar*, Vol. 11, No. 30, 2014. (in Persian)
- [25] Q. Chen, Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications, *Build Environ*, Vol. 44, No. 4, pp. 848-858, 2009.
- [26] Deza Baskar, Mirka Ganapathy, subr amanian, He Shan, Ulrike Passe, High Fidelity CFD Modeling of Natural Ventilation in a Solar House, *Mechanical Engineering Conference Presentations, Papers, and Proceedings*, 2015.
- [27] g. Memarian, wind behavior analyses in natural ventilation of vernacular houses of Ghal'e-no with CFD method, *Maskan-va-mohit-roosta*, Vol. 36, No. 157, pp. 21-36, 2017. (in Persian)
- [28] G. Blake, E. Schlichting, U. Zimmermann, Water recharge in a soil with shrinkage cracks, *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 37, No. 5, pp.669-672, 1973.
- [29] Q. Chen, Comparison of different k-ε models for indoor air flow computations, *Numerical Heat Transfer, Part B Fundamentals*, Vol. 28, No. 3, pp.353-369, 1995.
- [30] H. Versteeg, W.Malalasekera, *An introduction to computational fluid dynamics*, Finite Volume Method, Essex, Longman Scientific & Technical, 1995.
- [31] H.Schlichting, E. Truckenbrodt, *Aerodynamics of the Airplane*, McGraw-Hill Companies, 1979.
- [32] W.Rudy, *The universities of Europe*, Fairleigh Dickinson University Press, London, Cranbury, pp.1100-1914, 1984.
- [33] D. C. Wilcox, *Turbulence modeling for CFD*, DCW industries La Canada, CA, 1998.
- [34] Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard, Robet W. Fox, *Introduction to Fluid Mechanics*, Vol. 9, JOHN WILEY & SONS INC, 2015. (in Persian)
- [35] Tablada, Abel, Bert Blocken, Jan Carmeliet, Frank De Troyer, Han Verschure, *The influence of courtyard geometry on air flow and thermal comfort: CFD and thermal comfort simulations*, In Proceedings of 22nd conference on passive and low energy architecture, Vol. 1, pp. 75-80, 2005.