ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2020.101584.1325

ارتقاء کیفیت جریان هوای داخل تحت تأثیر دیوارهای جداکننده داخلی در فضاهای اداری مجهز به سیستم‌های تهویه مطبوع با روش CFD

امین رؤسائی[1*] - امید رهایی[2]

۱. گروه معماری، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان، ایران (نویسنده مسئول).
۲. استادیار گروه معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۲۷ تاریخ اصلاحات: ۹۷/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۸/۰۷ تاریخ انتشار: ۹۹/۰۳/۳۱

چکیده

جریان هوای داخل در فضای بسته معماری، علاوه بر این‌که به موقعیت و شرایط دمنده‌ها و مکنده‌های سیستم‌های تهویه وابسته است، تابع دیوارهای جداکننده داخلی و موقعیت قرارگیری آن‌ها در فضا نیز می‌باشد. جریان هوای همگن و یکنواخت در تراز کارکنان از ملزومات آسایش حرارتی بوده که به‌طور عمده به‌دلیل استقرار نامناسب دیوارهای جداکننده و نیز موقعیت دمنده‌ها و مکنده‌ها این جریان برقرار نمی‌شود و بعضاً در بخش‌هایی، جریان هوای مطبوع وجود ندارد. روش انجام این پژوهش، یک روش ترکیبی بوده که راهبردهای تحقیق تجربی، شبیه‌سازی و پژوهش موردی را درگیر می‌نماید: این مقاله روش دینامیک سیال محاسباتی (CFD) را جهت پیش‌بینی سرعت و جهت حرکت جریان هوای داخل در فضای بسته اداری و نیز ارتقای همگنی جریان هوای داخل در تراز کارکنان واحد اداری به‌کار می‌گیرد. مقایسه بین اندازه‌گیری‌های تجربی و نیز شبیه‌سازی‌های عددی، علاوه بر افزایش دقت محاسبات، خطاهای آزمایشگاهی را مشخص نموده و تأییدی بر روایی روش تحقیق نیز می‌باشد. کلیه مشاهدات و آزمون‌ها در یک نمونه موردی تصادفی در اهواز (اقلیم گرم و نیمه مرطوب که نیاز به خنک‌کنندگی فراوان با کمک سیستم‌های تهویه مطبوع اختلاطی دارد) انجام می‌گیرد. شبیه‌سازی‌های عددی این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای Gambit و Fluent انجام گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد علاوه بر محل قرارگیری دریچه‌های پخش‌کننده جریان هوا، موقعیت دیوارهای جداکننده داخلی از نظر ارتفاع بر جریان هوای داخل تأثیرگذار است و طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند شکل جریان هوای داخل را همگن و قابل پیش‌بینی نماید.

واژگان کلیدی: فضای اداری، سیستم‌های تهویه مطبوع، دیوارهای جداکننده داخلی، جریان هوای همگن، روش CFD .

* E_mail: aminroasaei@gmail.com

۱. مقدمه

اطمینان حاصل کردن از آسایش و سلامتی کارکنان یکی از اهداف اصلی در عملکرد ساختمان‌های اداری است (Wu & sun, 2012, p. 88). علاوه بر این مناسب بودن محیط داخل ساختمان از لحاظ حرارتی، نه تنها آسایش را برای ساکنان فراهم می‌آورد، بلکه باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بالا رفتن میزان بهره‌وری و نیز بهبود روحیه کارکنان خواهد شد (Nicol & Humphreys, 2002, p. 563). با توجه به این‌که دوران پساصنعتی باعث افزایش تعداد ادارات و کارمندان پشت میزنشین شده است، لذا کیفیت محیط داخلی ادارات از لحاظ آسایش حرارتی[۱] و تأمین هوای مطبوع، یکی از دغدغه‌های اساسی طراحان بوده است (Van Hoof, Mazej, & Hensen, 2010, p. 765). طراحی و ترتیب پارتیشن‌ها در ساختمان اداری با پلان باز امروزی نقش مهمی در تعیین عوامل محیطی ایفا می‌کنند که شامل: شرایط جریان هوا[۲]، دما[۳] و فضاهای خصوصی و عملکرد محل کار می‌شود. فضاهای کاری معمولاً با پارتیشن‌هایی جداسازی می‌شوند که ممکن است تحت شرایط خاص، جریان هوا را بین پخش‌کننده‌های ذخیره سقفی و بازگشت هوا به‌گونه‌ای منحرف کند که فضاهای کاری به‌خودی خود به‌خوبی تهویه نشوند (Bauman, Faulkner, Arens, Fisk, Johnston, Mc-Neel, Pih, & Zhang, 1992, p. 756). به‌طور کلی، ایجاد همزمان محیط بسته مطلوب و مصرف انرژی کارآ کار چندان ساده‌ای نیست. بدین ترتیب، مطالعه اثرات تعاملی اجزای معماری داخلی در فضای تهویه مطبوع[۴] بر روی آسایش حرارتی و همچنین بررسی میزان مصرف انرژی در زمان نصب یا حذف از فضای تهویه مطبوع به لحاظ کیفی حایز اهمیت است (Aryal & Leephakpreeda, 2015, p. 183). از آنجایی که جریان هوا عاملی است که در ارتباط مستقیم با عناصر معماری و طراحی بنا می‌باشد، کنترل این عامل می‌تواند راهکاری برای نزدیک شدن به شرایط آسایش حرارتی و کاهش نرخ نارضایتی حرارتی باشد (Fayaz & Atrvash, 2016, p. 19). بدین ترتیب موضوع آسایش حرارتی ساکنان و نیز برقراری جریان هوای مطلوب و همگن در تراز کارکنان موضوعی بسیار پر اهمیت می‌باشد. لذا در این پژوهش وضعیت جریان هوا در فضای داخل یک ساختمان اداری موردی در اقلیم اهواز که نیاز به تهویه مطبوع دائمی (از نوع سیستم تهویه مطبوع اختلاطی(MVS)[۵] دارد و عمدتاً جریان همگنی[۶] نمی‌دهد، مورد مطالعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است که بر اساس مشاهدات، آسایش حرارتی ساکنان در موقعیت‌های استقرار کارکنان تأمین نشده است.

۲. سؤالات تحقیق

۱. دیوارهای جداکننده داخلی تا چه اندازه بر کیفیت جریان هوا و کارایی سیستم‌های تهویه مطبوع و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری مؤثر است؟
۲. چه رابطه‌ای میان دیوارهای جداکننده داخلی و یکنواختی جریان هوا در فضاهای داخلی اداری وجود دارد که موجب ارتقاء کیفیت تهویه و آسایش کارکنان می‌شود.
۳. آیا در طراحی معماری ارتفاع و موقعیت قرارگیری دیوارهای داخلی (پارتیشن‌ها) بر بهبود کیفیت جریان هوا تأثیرگذار است؟

۳. پیشینه تحقیق

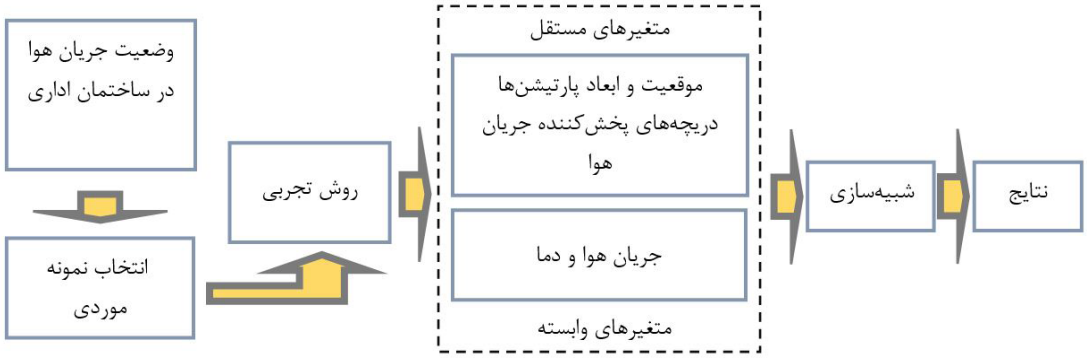
تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد، مشکلات کیفیت جریان هوا و کنترل درجه حرارت محیط داخلی ساختمان‌های اداری در دهه‌های اخیر به واسطه مشکلات طراحی معماری تشدید شده و موج صرفه جویی در مصرف انرژی را به ما عرضه داشته است (Farzamshad, 2009, p. 35). از معمول‌ترین علت‌های شناخته شده و تأثیرگذار بر کیفیت وضعیت هوای داخل که مستقیماً با طراحی و عملکرد ساختمان در ارتباط است، آلاینده‌های هوا و تهویه نامناسب می‌باشد (Shaw, 1997, p. 1206). هی و کائو دریافتند که تهویه اختلاطی می‌تواند به‌طور چشمگیری از موقعیت دیواره‌های داخلی تأثیر پذیرد. اگرچه که در مقایسه با دیواره‌های کامل و یک تکه سنتی، استفاده از دیواره‌های کوتاه داخلی از کف تا سقف کاذب توزیع جریان هوا و متعاقب آن آسایش و تسهیل دمایی را بهبود می‌دهد (Cao & He, 1994, p. 35). یان و همکاران در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که دیوارکشی داخلی به‌طور قابل توجهی بر عملکرد یک سیستم تهویه تأمین هوای زیر کف اتاق تأثیر می‌گذارد (Yuan, Chen, & Glicksman, 1998, p. 78). بائومن و همکاران به منظور مطالعه اثرات متفاوت دیواره‌های اداره بر حرکت هوا و تسهیل دمایی در فضاهای اداری مجزا انجام گرفت. بررسی براساس حالت متدوال PMV بود. آنان دریافتند که ارتفاع دیواره‌های داخلی تأثیر قابل توجهی بر تسهیل دمایی دارد. این موضوع برای دیواره‌های با شکاف‌های در قسمت انتهایی آن نیز صدق می‌کند (Bauman, Faulkner, Arens, Fisk, Johnston, McNeel, Pih, & Zhang, 1992, p. 756). تسایی و چو ارتفاع بهینه دیواره‌ها جهت تولید شرایط تهویه‌ای جدا برای فضاهای کاری مجزا را مورد مطالعه قرار دادند (Chow &Tsui, 1995, p. 35). لی و آئوبی نظر اجمالی نیز بر دیواره‌گذاری فضاهای اداری برای سیستم PMV[۷] داشتند و کیفیت هوای داخلی به وسیله تغییر متعدد شاخص‌های دیواره شامل موقعیت و هندسه مربوط به منبع آلاینده مورد ارزیابی قرار دادند (Lee & Awbi, 2004, p. 41). لین و همکارانش نشان دادند که مدل آشفتگی RNG k-ε را می‌توان برای پیش‌بینی میدان جریان تهویه لایه‌ای به کار برد. آخرین تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که تهویه لایه‌ای پتانسیل آن را دارد که بتواند در دماهای بالاتر محیط بسته مورد استفاده قرار بگیرد و هدف آن‌ها

ذخیره انرژی است که توسط سیستم‌های تهویه به هدر می‌رود (Lin, Chow, Fong, Tsang, & Wang, 2006, pp. 288-305). تیان و همکارانش کیفیت هوای محیط بسته و آسایش حرارتی یک دفتر را با تهویه لایه‌ای با کمک روش عددی مورد بررسی قرار داد. این تحقیق نشان داد که در صورت طراحی منطقی، تهویه لایه‌ای قادر است تا کیفیت مناسبی از هوا را در محیط بسته به جریان بیاندازد و آسایش حرارتی مناسبی را با سنجش PMV و PPD[۸] به‌دست آورد (Tian, Lin, Liu, Yao, & Wang, 2011, pp. 501-510). سکار[۸] در مورد احتمال کار در دماهای نزدیک به ۲۶ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد تحقیقاتی انجام داد. او نشان داد که در نتیجه کاهش خنک‌کنندگی‌های فضا به علت دمای بالاتر محیط می‌توان انرژی ذخیره کرد (Sekhar, 1995, pp. 63-70). ویدا کوت و یوکوم طبق تحقیقاتی که پیرامون رابطه بین کیفیت هوای درون و برون ساختمان انجام دادند مشخص شد که کیفیت هوای درون ساختمان عملکردی ترکیبی از تجمع آلاینده‌ها در هوای بیرون از ساختمان، نفوذپذیری ساختمان، شرایط اقلیمی، طراحی سیستم تهویه مطبوع و آلاینده‌سازهای داخل ساختمان است (Wade III, Cote, & Yocom, 1975, pp. 933-939). شدوکیت، بلیدزوس اشاره کردند مواد و فن‌آوری‌های جدید که امروزه در ساختمان‌ها قابل دسترس هستند، به‌طور عمده بر آلودگی محیطی داخل ساختمان اثر می‌گذارد. به‌طور مثال، کیفیت سطوح روکار (دیوارها، کف و سقف‌ها) نقش مهمی در کیفیت هوای داخل ساختمان دارد (Seduikyte & Bliudzius, 2005, pp. 137-144). در دهه اخیر تحقیقات مشابه بسیاری صورت پذیرفت که همگی با روش CFD و با کمک نرم افزار Fluent مورد محاسبات عددی قرار گرفتند (Lau & Chen, 2006, pp. 1212-1219; Jiang &Chen, 2001, pp. 1155-1178; Calay, Borresen, & Hold, 2000, pp. 281-289; Khan, Su, & Riffat, 2008, pp. 1586-1604).

۴. روش تحقیق

پژوهش حاضر وضعیت جریان هوا در یک ساختمان اداری را مورد بررسی قرار داده است و هدف آن شناسایی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد نامطلوب سیستم‌های تهویه جهت خنک کردن فضاهای داخل ساختمان اداری است. از آنجا که «بسیاری از پژوهش‌های معماری بین رشته‌ای بوده و نیازمند روش‌های خاص ترکیبی» هستند (Grote, 2013, p. 370)، لذا روش تحقیق این پژوهش به‌صورت ترکیبی است. ابتدا یک ساختمان اداری به‌عنوان مورد مطالعاتی (ساختمان اداری پروژه یادآوران) جهت مطالعه انتخاب شد و با استفاده از راهبرد تجربی متغیرهای مستقل مؤثر شناسایی و متغیرهای وابسته با استفاده از دستگاه‌های دیجیتال (دماسنج و بادسنج) اندازه‌گیری شدند، (موقعیت و ابعاد پارتیشن‌ها و دریچه‌های ورودی و خروجی جریان هوا) به‌عنوان متغیرهای مستقل و (دما و جریان هوا) به‌عنوان متغیرهای وابسته مورد بررسی قرار گرفتند. سپس جهت تحلیل داده‌ها از راهبرد شبیه‌سازی استفاده شد. شبیه‌سازی پژوهش با روش CFD[۹] و توسط برنامه‌های Gambit[۱۰] و Fluent[۱۱] (ویرایش ۶.۳) انجام شد. ابتدا حجم معماری ساختمان توسط برنامه Gambit شبکه‌بندی و توسط برنامه Fluent شبیه‌سازی شد و نتایج پژوهش ارائه شدند.

شکل ۱: دیاگرام مراحل روش تحقیق

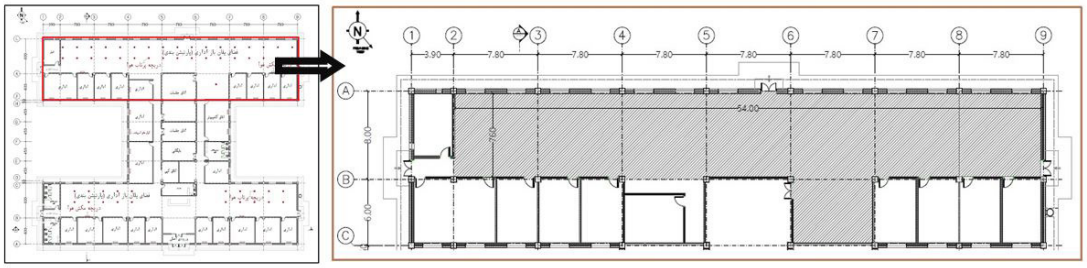


۵. معرفی مورد مطالعاتی

جامعه آماری مورد مطالعه این پژوهش ساختمان‌های اداری که فضاهای داخلی آن‌ها با استفاده از دیوارهای سبک پارتیشن طراحی و اجرا شده است و نیاز مبرم به تهویه مطبوع دائمی در اکثر مواقع سال دارد. چنین ساختمان‌هایی در اقلیم‌های گرم و مرطوب و نیمه مرطوب مورد استفاده‌اند. انتخاب یک نمونه موردی در این پژوهش جهت بررسی مورد نیاز است. به همین منظور ساختمان اداری پروژه یادآوران در اهواز که طراحی سالن اداری آن با استفاده از دیوارهای پارتیشن طراحی و اجرا شده مطابق پلان (شکل ۲) که با هاشور نشان داده شده جهت بررسی و انجام مشاهدات میدانی انتخاب شد. این فضا با ابعاد ۵۴×۷.۶۰ متر و ارتفاع ۵ متر می‌باشد و فضاهای

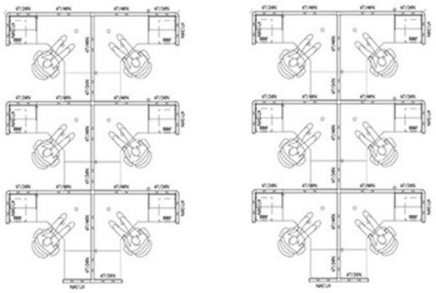
تقسیم‌بندی شده با دیوارهای سبک پارتیشن به ابعاد ۲×۲ متر و ارتفاع ۲ متر فضای مستقلی را برای فعالیت هر یک از کارکنان به وجود آورده است (شکل‌های ۳ و ۴). به منظور تأمین جریان هوای با کیفیت مطلوب در فضای داخلی از ۳۵ عدد دریچه کانال ورودی هوا، به‌صورت تکی با ابعاد ۳۰×۳۰ سانتیمتر که بر روی سقف‌های کاذب نصب شده‌اند هوای مطلوب و خنک به فضای سالن انتقال داده می‌شود.

شکل ۲: پلان بخش شمالی ساختمان اداری یادآوران که محدوده فضای پارتیشن‌بندی با هاشور مشخص شده است.



شکل ۳: فضای داخلی ساختمان اداری که با دیوارهای پارتیشن قابل تفکیک است.

شکل ۴: پلان پارتیشن‌بندی فضای داخلی اداری

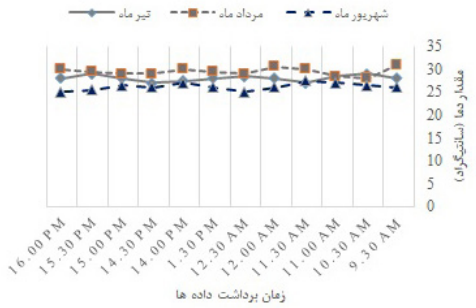


۶. روش و ابزار گردآوری داده‌ها

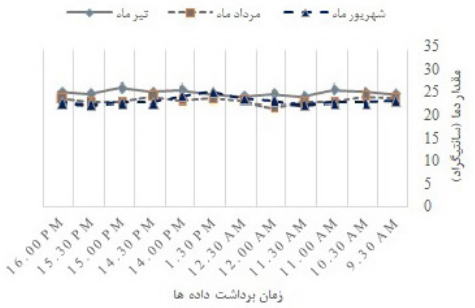
به منظور برداشت اطلاعات دقیق در این پژوهش از دستگاه دیجیتالی EXTECH برای ثبت داده‌های دمای محیط داخلی و دستگاه Victor مدل 816B با پراب پروانه‌ای جهت سنجش میزان سرعت باد خارج شده از دریچه‌های تهویه استفاده شد (شکل ۵). برداشت داده‌ها در گرم‌ترین روزهای تابستان ۱۳۹۳ در یک دوره ۳ ماه (تیر، مرداد و شهریور) از ساعت ۹:۳۰ صبح تا ۴ بعدازظهر با فاصله زمانی متغیر انجام گرفته است. لازم به ذکر است داده‌های گردآوری شده در فضای داخلی نمونه‌موردی به ترتیب در ترازهای ۱+ متر، ۲.۵+ متر و ۳.۵+ متر محدوده‌ای که فعالیت کارکنان را پوشش می‌دهد انجام گرفته است؛ سپس نمودار داده‌های گردآوری شده توسط نرم افزار اکسل ترسیم شد که نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی در شکل‌های (۶-۹) قابل مشاهده است.

شکل ۵: راست، دماسنج EXTECH، چپ، بادسنج Victor مدل 816B

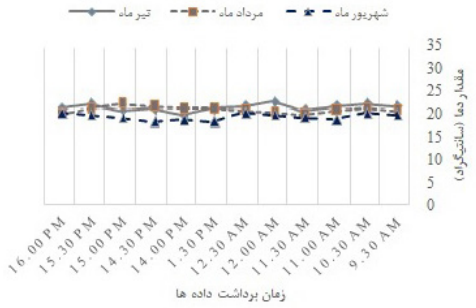
شکل ۶: نمودار برداشت‌های تجربی دما در تراز ارتفاعی ۱ متری فضای داخلی ساختمان اداری



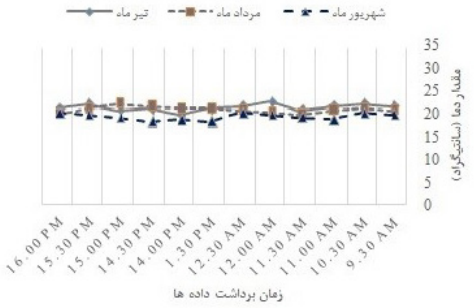
شکل ۷: نمودار برداشت‌های تجربی دما در تراز ارتفاعی ۲.۵ متری فضای داخلی ساختمان اداری



شکل ۸: نمودار برداشت‌های تجربی دما در تراز ارتفاعی ۳.۵ متری فضای داخلی ساختمان اداری



شکل ۹: نمودار برداشت‌های جریان هوا در تراز ارتفاعی ۱، ۲.۵، ۳.۵ متری فضای داخلی ساختمان اداری



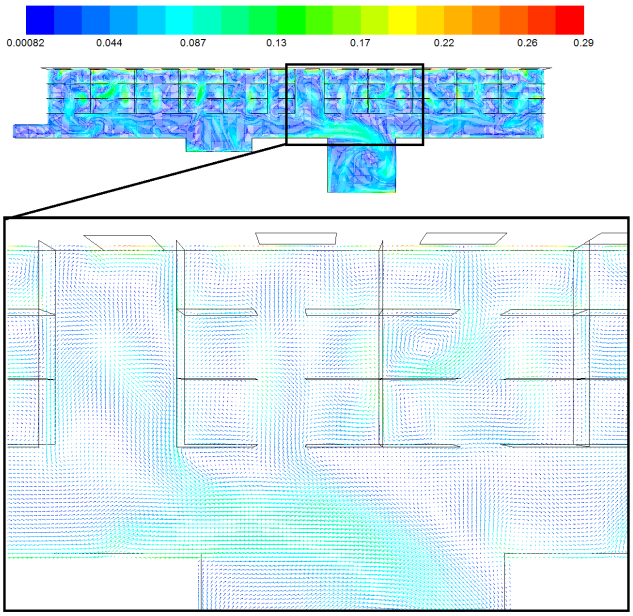
۷. تحلیل جریان هوا در ساختمان اداری با روش CFD

شبیه‌سازی‌های پژوهش حاضر، بر اساس روش تجربی و با استفاده از روش CFD و به کمک نرم‌افزارهای Gambit و Fluent انجام گرفته است. بر این اساس در مرحله اول حجم و پلان ساختمان با استفاده از نرم‌افزار Gambit شبکه‌بندی شد. از آنجا که پلان محدوده مورد مطالعه (فضای طراحی شده با پارتیشن) دارای ابعاد ابعاد ۵۴ × ۷.۶۰ متر است، کل محیط سالن به سلول‌های مربع مکعبی با ابعاد ۱۰ سانتیمتر تقسیم شده که تعداد کل سلول‌های شبکه ۱.۹۶۶.۲۳۰ عدد می‌باشد. علاوه بر این موقعیت دریچه‌های ورود و خروج جریان هوا و ارتفاع پارتیشن‌ها بر روی شبکه‌های سه بعدی پیاده شدند. سپس مدل شبکه‌بندی شده جهت شبیه‌سازی‌های مربوط به جریان هوا با استفاده از نرم‌افزار Fluent و توسط داده‌های به‌دست آمده از آزمون‌های تجربی انجام شد. شبیه‌سازی‌های انجام گرفته توسط Fluent به‌صورت کانتورهای سرعت جریان هوا در شکل‌های (۱۰، ۱۱، ۱۲) در ترازهای ارتفاعی ۱+، ۲.۵+ و ۳.۵+ متری از سطح زمین ارائه شده است.

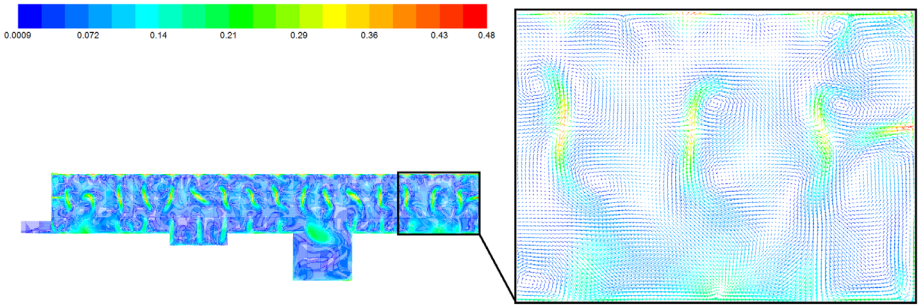
شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ مسیر حرکت جریان هوا را در پلان نشان می‌دهد. سرعت جریان در این شرایط تمرکز بیشتری بر فضاهای بالا و میانی پارتیشن‌ها در ترازهای ۲.۵+ و ۳.۵+ متری دارد. اما در تراز پایین ۱+ متر تقریباً جریان هوا برقرار نیست و این علت نشان دهنده کاهش جریان هوا در تراز ۱+ متر و افزایش دما در محدوده‌ای است، که برخی از افراد به‌صورت نشسته در قسمت داخلی پارتیشن‌ها فعالیت دارند و احساس گرما می‌کنند و از شرایط آسایشی مطلوبی برخوردار نمی‌باشند. همان‌طور که در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود، پس از نصب پارتیشن، هوای مطبوع در بخش مورد مطالعه گرمای بیشتری را به افراد در محیط داخلی انتقال داده به گونه‌ای که کمترین میزان سرعت جریان هوا در محدود ارتفاعی ۱+ و بیشترین در ارتفاع ۳.۵+ متری است و هرچه به سطح زمین نزدیک می‌شویم از سرعت جریان هوا کاسته شده و تراز ۱+ دارای کم‌ترین نرخ جابجایی هوا می‌باشد. بنابراین، با توجه به کاهش میزان جریان هوا، گرما در سطح تراز ناظر انباشته شده و سپس به وسیله همرفت[۱۲] به ناحیه‌های اشغال شده دیگر انتقال می‌یابد. این در حالی است، که دمای هوای در محل فعالیت کارکنان در میان فضای پارتیشن بالا می‌رود و بر عکس، دمای هوا در محلی که کارکنان فعالیتی ندارند به‌خصوص در ترازهای ارتفاعی ۲.۵+ متری کاهش می‌یابد. این شرایط به‌دلیل وجود فضاهای باز میان پارتیشن‌ها می‌باشد و موقعیت قرارگیری دریچه‌های تهویه از نظر ارتفاع نسبت به موقعیت کارکنانی که در حالت نشسته فعالیت کاری دارند، تأثیر زیادی بر شرایط کیفیت جریان هوا و آسایش حرارتی آن‌ها داشته است. بخش عمده‌ای از جریان هوا در فضاهای باز حد فاصل ارتفاع سقف و پارتیشن‌ها از بین می‌رود. لازم به

ذکر است دیواره‌های پارتیشن در فضاهای داخلی از کف زمین دارای ارتفاع ۱.۵ متری می‌باشند و فضای باز بین دیوارهای پارتیشن و سقف در حدود ۲ متر است.

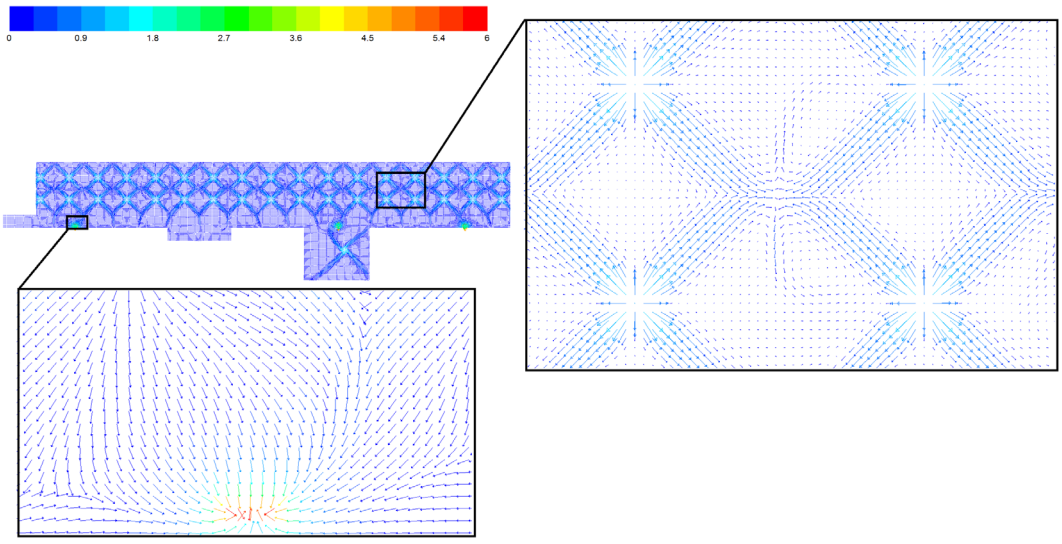
شکل ۱۰: کانتور سرعت جریان هوا در تراز ۱+ متری از سطح زمین



شکل ۱۱: کانتور سرعت جریان هوا در تراز ۲.۵+ متری از سطح زمین

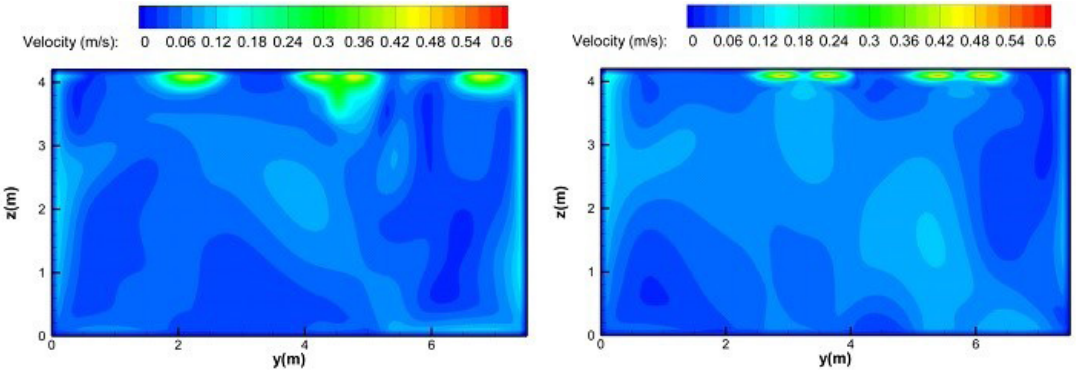


شکل ۱۲: کانتور سرعت جریان هوا در تراز ۳.۵+ متری از سطح زمین

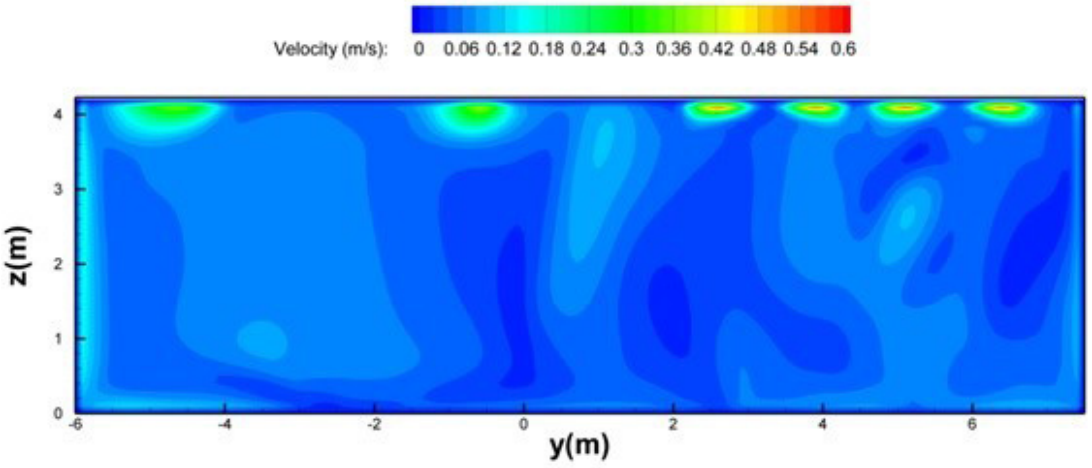


بر اساس داده‌های گردآوری شده و شبیه‌سازی‌های صورت گرفته مشخص شد شرایط کیفیت جریان هوا در ساختمان اداری در حالت بحرانی قرار دارد مقایسه کانتورهای شکل‌های ۱۳و ۱۴ نشان می‌دهند، با توجه به روشن بودن دستگاه‌های تهویه مطبوع و وجود جریان هوا در فضای داخلی، همچنان آشفتگی‌های مربوط به جریان هوا مشاهده می‌شود و فقط بخش‌های محدودی از فضای داخلی جریان هوا برقرار است و در بسیاری از نقاط میانی پارتیشن‌ها تراز ناظر (ارتفاع ۲ متری) و ترازهایی که کارکنان در حالت نشسته (ارتفاع ۱+ متر) فعالیت دارند یا هیچ گونه جریان هوایی در آن‌ها برقرار نمی‌شود و یا فقط جریان ضعیف هوا در بخش‌های کنار جداره دیوارها و نقاط میانی مشاهده می‌شود و کارکنان احساس خنکی نمی‌کنند که این موجب بروز مشکلاتی از نظر شرایط آسایشی در فضای داخلی و انتقال آن به بخش‌های دیگر می‌شود. این در حالی است که خروجی‌های سقفی نیز تقریباً نقشی در تخلیه هوای آلوده ندارند. این شرایط نشان می‌دهد با توجه به ارتفاع دیواره‌های پارتیشن‌ها (۱.۵ متر) و ایجاد فضای باز ۲ متری بالای آن تا زیر سقف‌های کاذب باعث شده جریان هوا از فضای باز به بخش‌های دیگر منتقل شود. این شرایط موجب شده جریان هوای مطبوع در تراز محل فعالیت کارکنان کاهش یابد و کارکنان مقدار گرمای بیشتری را احساس کنند و آسایش حرارتی آن‌ها کاهش پیدا کند. علاوه بر این صرف زمان بیشتر کارکرد دستگاه‌های تهویه مطبوع جهت خنک کردن فضاها در ترازهای پایین موجب افزایش بیشتر انرژی شده است.

شکل ۱۳: کانتور جریان هوا در مقطع عرضی ساختمان اداری



شکل ۱۴: کانتور جریان هوا در مقطع طولی ساختمان اداری



۸. بحث

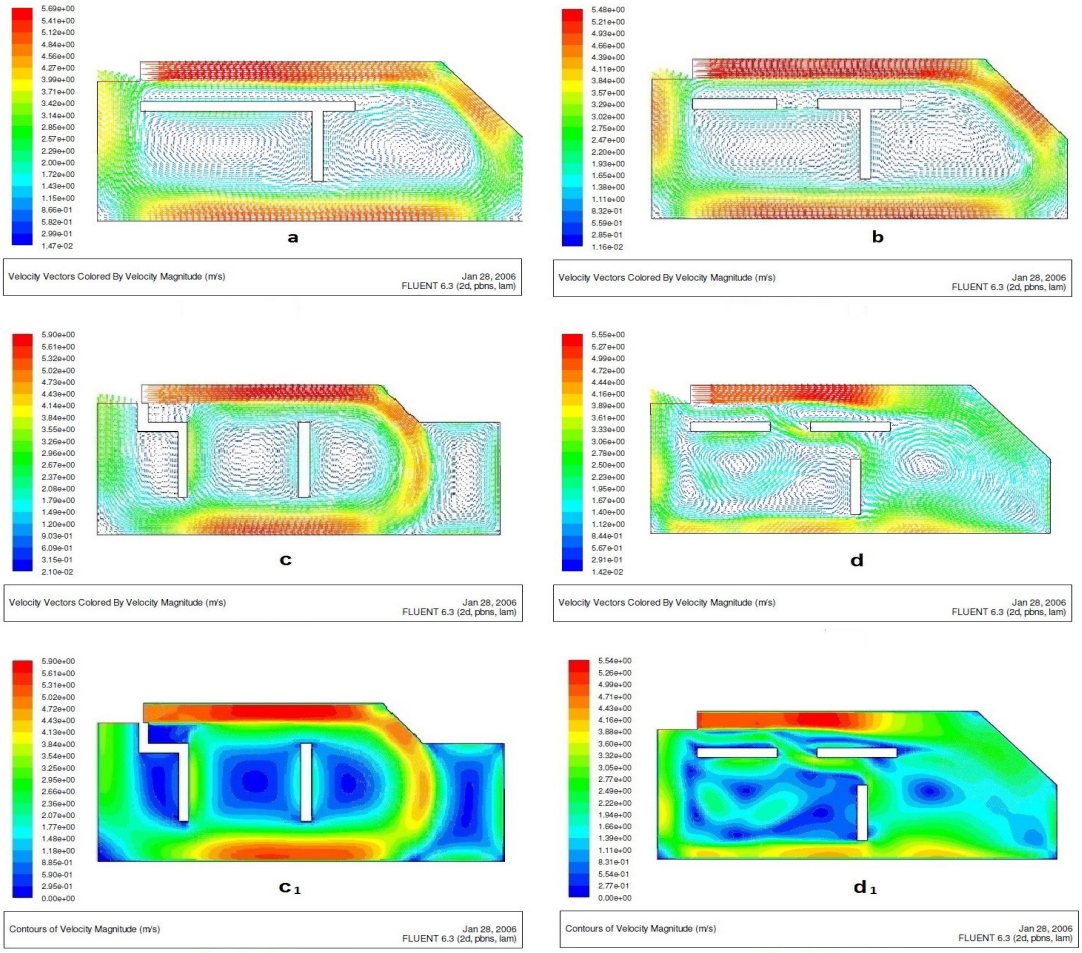
تحقیقات نشان داده است کیفیت هوای داخل اثر مستقیمی بر سلامت، میزان بهره‌وری و روحیه کارکنان دارد و جهت کنترل گرادیان دما و ارتقاء کیفیت تهویه مطبوع در فضاهای اداری، لازم است تا جریانات هوای داخل تحت کنترل باشند. با توجه به این‌که در محیط‌های اداری امروزی استفاده از دیوارهای جداکننده (پارتیشن‌ها) اغلب جهت تقسیم فضای دفاتر استفاده می‌شود، تأثیر این دیوارها بر جریان هوا و سیستم تهویه اغلب مورد توجه است و تحقیقات نشان می‌دهد که کیفیت جریان هوا می‌تواند به‌طور چشمگیری از موقعیت دیوارهای داخلی تأثیر پذیرد. در این پژوهش، ابتدا جهت تسهیل تحلیل‌ها و تبیین دقیق‌تر نتایج، در مرحله اول ابتدا آزمایشات تجربی برای بررسی اثرات پیکربندی پارتیشن اداری و پارامترهای محیطی بر شرایط دمایی و تهویه در میان فضای داخلی

انجام گرفتند که شامل محل قرار گیری دریچه‌های پخش کننده جریان هوا، موقعیت دیوارهای جداکننده داخلی (ارتفاع پارتیشن) و شیوه طراحی داخلی فضا و اندازه‌گیری اختلاف دما در نقاط ارتفاعی محل فعالیت کارکنان است. تلاش حاضر بر اساس روش تجربی و شبیه‌سازی CFD انجام گرفته است تا اساس شرایط جریان هوای تحت مطالعه را مورد بررسی و تحلیل قرار دهد.

شکل‌های ۱۶ و ۱۵ الگوهای شبیه سازی جریان هوا برای موقعیت های قرارگیری پارتیشن‌ها در فضای داخلی اداری را به صورت دو بعدی در پلان نشان می‌دهد و هدف مقایسه و تحلیل رفتار جریان هوا و دست‌یابی به حالات بهینه الگوی معماری و موقعیت پارتیشن‌ها است که با استفاده از مداخله در معماری و به صورت شبیه‌سازی در فضای داخلی ساختمان اداری انجام شده است.

شبیه‌سازی‌های شکل ۱۵ چهار الگوی متغیر از طراحی دیوارهای پارتیشن را نشان می‌دهد که با فاصله از دیوارهای اصلی قرار گرفته‌اند. همانطور که در کانتورهای a, b, c, d مشاهده می‌شود هنگامی که جریان هوا از دریچه‌های پخش‌کننده خارج می‌شود، جریان غالب داخلی اتاق بیشتر تمرکز بر کناره جداره دیوارهای اصلی و قسمت‌های بالایی اتاق دارد و در قسمت میانی فضای داخل پارتیشن‌ها تقریباً جریان هوا با سرعت بین ۰.۱ متر در ثانیه تا ۰.۲ متر در ثانیه برقرار می‌شود و بخش بیشتر جریان هوا فقط در بخش کناری دیوارهای اتاق گردش دارد که این شرایط یک اختلاف شاخص از سرعت جریان هوا بین فضای میانی پارتیشن‌ها (ناحیه فعالیت کارکنان) و محیط اطراف آن به‌وجود آورده است (شکل ۱۵). در واقع جریان هوای ورودی از دریچه‌های توزیع هوا در فضای داخلی پس از برخورد با دیوارها به صورت جریان برگشتی بدون این‌که در فضای داخلی پارتیشن‌ها جریان داشته باشد، از دریچه‌های مکنده خارج می‌شود. این شرایط به دلیل موقعیت قرارگیری پارتیشن‌ها و فاصله ایجاد شده بین آن‌ها و دیوار اصلی ساختمان است که باعث افزایش دامنه جریان هوا در کنار دیوار اصلی ساختمان اداری و کاهش محسوس سرعت و فشار حرکت باد در فضای میانی پارتیشن‌ها (محل نشستن کارکنان) شده است. در این حالت حوزه عملکردی جریان باد و فشار استاتیک این سطح (محل فعالیت کارکنان) از نظر میزان مطلوبیت کاهش یافته که کانتورهای فشار استاتیکی b_1 و c_1 این شرایط را نشان می‌دهند.

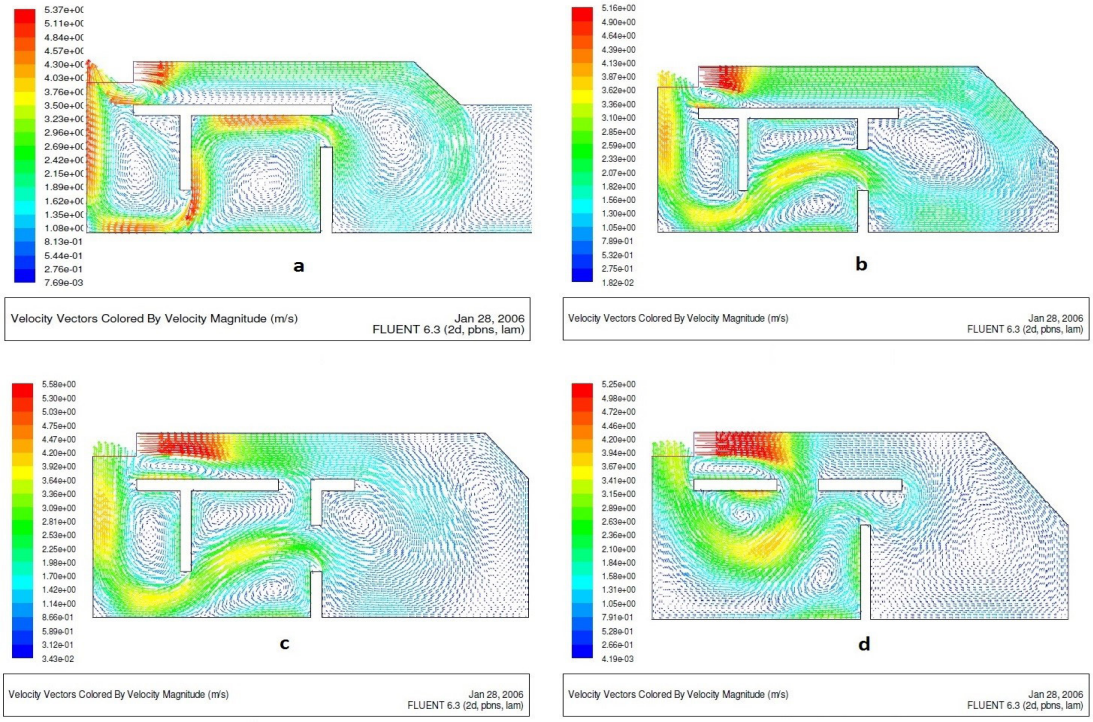
شکل ۱۵: شرایط جریان هوا با توجه به موقعیت قرارگیری دیوارهای پارتیشن در وسط فضای اداری، کانتورهای (a, b, c, d): بردارهای جهت جریان هوا و کانتورهای (c_1, d_1): فشار استاتیکی



بنابراین تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته شرایط جریان هوای داخل ساختمان اداری برای الگوهای a, b, c, d در موقعیت‌های دو بعدی شکل ۱۵ نشان می‌دهد، الگوی پارتیشن‌های مورد بررسی از نظر طرح معماری و موقعیت قرار گیری مورد تأیید نمی‌باشند، چرا که تهویه مطبوع در فضای داخلی پارتیشن‌ها از کیفیت بالایی برخوردار نیست، و سرعت جریان بسیار کند است و شرایط تهویه مطبوع داخلی به خصوص در سطح پایین (موقعیت فعالیت کارکنان) نامطلوب است که این شرایط علاوه بر افزایش گرادیان دما، موجب عدم رضایت کارکنان از شرایط آسایش حرارتی محیط داخلی خواهد شد.

در گام بعدی با حفظ موقعیت ورودی و خروجی جریان هوا به منظور دستیابی به یافته‌های تکمیل‌تر و راهکارهای مناسب اجرایی جهت بهبود جریان هوا در فضای داخلی اداری به مداخله در طرح و جانمایی دیوارهای پارتیشن‌ها پرداختیم. در این مرحله حالتی را فرض کردیم که با اتصال پارتیشن‌ها به دیوار اصلی و حذف فاصله ایجاد شده بین دیوار پارتیشن و دیوار اصلی نسبت به الگوهای قبلی بتوان تغییر چشم‌گیری را در برقراری جریان هوا میان پارتیشن‌ها (محل فعالیت کارکنان) مشاهده کرد که شکل ۱۶ به صورت دو بعدی این تغییرات را در هندسه پلان نشان می‌دهد. همانطور که مدل‌های شکل ۱۶ نشان داده شده است برخلاف الگوهای مورد بررسی در شکل ۱۵ در این حالت پس از مداخلات صورت گرفته جریان هوا در فضای پارتیشن‌ها (محدوده فعالیت ناظر) برقرار است.

شکل ۱۶: شرایط جریان هوا با توجه به اتصال پارتیشن‌ها به دیوار اصلی ساختمان اداری، کانتورهای (a, b, c, d): بردارهای جهت جریان هوا



همانطور که در کانتورهای a, b مشاهده می‌شود، نزدیک دریچه‌های ورودی جریان هوا دیوارها به صورت یکپارچه قرار داده شده است و ورودی و خروجی جریان هوا به صورت موازی روبروی هم (پارتیشن متصل به دیوار اصلی) در وسط و گوشه‌های دیوارها در مقابل یکدیگر قرار دارند (الگوی a, b). با توجه به پیش فرض‌های قبلی که ذکر شد (اتصال دیوارهای پارتیشن به دیوار اصلی) جریان هوای خارج شده از دریچه‌های پخش‌کننده به شکل گردشی (مجاور دیوارها) عبور کرده و پس از برخورد به دیوارهای پارتیشن تغییر جهت داده و بین دو ورودی جریان می‌یابد و در قسمت‌های داخلی پارتیشن‌ها (محدوده فعالیت کارکنان) جریان داخلی هوا به آرامی جریان دارد. همچنین کانتورهای شبیه‌سازی نشان می‌دهد با توجه به موقعیت قرار گرفتن بازشوها در الگوی a شدت جریان هوا بیشتر در کنار جداره داخلی دیوار پارتیشن برقرار است و در فضای میانی جریان کمتری برقرار می‌باشد. اما در الگوی b با توجه به قرار گرفتن بازشو در (مرکز دیوار) جریان اصلی در مرکز فضای پارتیشن به خوبی جریان دارد. با این حال همچنان بخش‌های بیرونی محیط پارتیشن‌ها که کارکنان فعالیتی ندارند جریان هوای بیشتری جریان دارد (الگوی a, b).

کانتورهای بردار جریان هوا c ,d وضعیتی را نشان می‌دهد که نزدیک دریچه‌های پخش‌کننده جریان هوا بر روی دیوار پارتیشن‌ها یک بازشو یکی در وسط دیوار، درست

در مرکز و گوشه قرار داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مطابق شبیه‌سازی، شرایط جریان هوا در این مدل‌ها به‌خصوص در الگوی d در مقایسه با الگوهای نشان داده شده از شرایط بهتری برخوردار است و این نشان می‌دهد که سیستم‌های تهویه مطبوع در این حالت از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشند. همچنین این شرایط باعث شد تا تهویه‌ای که دارای بار برودتی قابل توجهی است به‌صورت یکنواخت و مطلوب در ارتفاع ناظر جریان پیدا کند و کارکنان احساس خنکی و آسایش بیشتری داشته باشند. علاوه بر این تغییرات ایجاد شده در این حالت موجب شد جریان هوا به‌طور دائمی در فضای داخلی پارتیشن‌ها برقرار باشد، و جریان هوایی که در فضای داخلی اطراف پارتیشن‌ها (نزدیک دیوارها) جریان داشت کنترل شود که این شرایط علاوه بر این‌که مشکل گرادیان عمودی سرعت جریان هوا و دما را حل می کند کاهش مصرف انرژی را به دنبال خواهد داشت.

بنابراین نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌ها نشان داد، تهویه به‌طور چشمگیری از موقعیت دیواره‌های داخلی تأثیر می‌پذیرد. بررسی‌ها نشان داد، با ایجاد تغییرات در ارتفاع دیوارهای جدا کننده از ۱.۵ متر به ۲.۵ تا ۳ متر و مداخله در طراحی معماری آن‌ها از نظر موقعیت قرارگیری در فضای داخل می‌توان شرایط گردش جریان هوا و کیفیت تهویه را به روش مؤثری بدون ایجاد اختلاف دمای محسوس در محدود فعالیت کارکنان در فضای داخلی به میزان قابل توجهی بهبود بخشید. از طرفی ارائه این راهکارها علاوه بر این‌که درصد بسیار زیادی از جریان هوای داخلی که در بخش‌های غیرضروری تحت تأثیر تهویه مطبوع قرار گرفته‌اند و منجر به افزایش مصرف انرژی شده‌اند را کاهش می‌دهد، الگوهای مورد مطالعه‌ای که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند نشان می‌دهد که فقط لازم است تهویه در بخش‌های ضروری (محل فعالیت کارکنان) تأمین شود و نیازی نیست به منظور کاهش مقدار اندکی از بار حرارتی تولید شده در فضای داخلی کارکرد دستگاهای تهویه مطبوع جهت تأمین سرمایش بیشتر افزایش یابند.

۹. نتیجه‌گیری

توجه به شرایط آسایش حرارتی کارکنان در محیط‌های داخلی اداری همواره حائز اهمیت است و یکی از عوامل مؤثر در ایجاد محیط‌های با شرایط آسایش حرارتی مطلوب عملکرد تهویه مطبوع است. در این میان پارامترهای متعددی وجود دارد که الگوی جریان هوا در فضاهای داخلی تحت تأثیر قرار می‌دهند، که دیوارهای جداکننده داخلی(پارتیشن‌ها) یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در این زمینه است؛ این در حالی است که مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که جهت ارتقاء کیفیت تهویه در فضاهای اداری، لازم است تا جریانات هوای داخل تحت کنترل و به صورت مطلوب انجام شود.

پژوهش حاضر بررسی تأثیر دیوارهای جداکننده داخلی (پارتیشن‌ها) به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت جریان هوا در فضاهای داخل اداری بروی یک نمونه موردی در اقلیم گرم و مرطوب و نیمه‌مرطوب را مورد مطالعه قرار داد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد، علاوه بر محل قرارگیری دریچه‌های پخش‌کننده جریان هوا، موقعیت قرارگیری دیوارهای داخلی و ارتفاع آن‌ها در فضای داخل بر جریان هوای داخل تأثیرگذار است که طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند شکل جریان هوای داخل را همگن و قابل پیش‌بینی نماید. مطالعات صورت گرفته نشان داد که در ساختمان‌های اداری طراحی و ترتیب قرارگیری دیوارهای پارتیشن‌ها می‌تواند نقش‌های مهمی در تعیین طبیعت بسیاری از عوامل محیطی شامل شرایط جریان هوا و دما ایفا کند. همچنین تغییر در ارتفاع پارتیشن‌ها می‌توانند تحت شرایط خاص جریان هوا را بین پخش‌کننده‌های سقفی و بازگشت هوا را به‌گونه‌ای منحرف سازند که محدوده فضاهای کاری بخوبی تهویه نشوند. نتیجه بررسی‌ها حاکی از آن است که ایجاد تغییرات در طراحی معماری موقعیت دیوارهای جداکننده و ارتفاع آن‌ها از ۱.۵ متر به ۲.۵ تا ۳ متر موجب می‌شود با توجه به موقعیت قرار گرفتن ناظر و نوع فعالیت آن در فضاهای داخلی بر افزایش تدریجی میزان تهویه هوا در نزدیک ارتفاع ۱ متری ناظر به صورت نشسته تأثیرگذار باشد و کمک می‌کند توزیع جریان هوا و گرادیان دما در تمامی نقاط ارتفاعی از بالا به پایین به صورت یکسان انجام شود. علاوه بر این بخش زیادی از جریان هوایی که از فضای باز بالای پارتیشن‌ها در تراز ارتفاع ۲ متری به بخش‌های غیرضروری انتقال پیدا می‌کرد کنترل شود و از هدر رفت آن جلوگیری به‌عمل آید. بدین ترتیب مقایسه الگوهای مورد شبیه‌سازی و تحلیل‌ها نشان می‌دهند یکی از راهکارها برای ارتقاء کیفیت تهویه در فضای داخلی، این است، که با مداخله در طراحی معماری (دیوارهای جداکننده داخلی) ساختمان اداری که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است می‌توان جریان هوای مطبوع را برای کارکنان در محیط داخل تأمین کرد. این راهکار علاوه بر این‌که سبب انعطاف‌پذیری فضاهای داخل اداری می‌شود، یک اقدام مهم جهت بهینه‌سازی انرژی مصرفی در سیستم‌های تهویه مطبوع و حفظ شرایط آسایش حرارتی کارکنان است.

پی‌نوشت

1. Thermal Comfort
2. Air Flow
3. Temperature
4. Air Conditioning
5. Mixed Ventilation System
6. Homogeneity Flow
7. Predicted Mean Vote
8. Predicted Percentage of Dissatisfied
9. Computational Fluid Dynamics

۱۰. Gambit یک پیش پردازشگر برای مدل‌سازی هندسه و ایجاد شبکه است. روش کار در این برنامه به این صورت است که ابتدا نقاط اصلی و گوشه‌های حجمی که نیازمند تحلیل است، به برنامه داده می‌شود، سپس گوشه‌ها به یکدیگر وصل شده و پس از ایجاد سطوح (هندسه ۲ بعدی)، از ترکیب آن‌ها حجم مورد نظر (هندسه ۳ بعدی) ساخته می‌شود.

۱۱. Fluent یک نرم‌افزار کامپیوتری دینامیک سیالات محاسباتی چند منظوره برای شبیه‌سازی عددی جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش شیمیایی می‌باشد. با توجه به محیط مناسب نرم‌افزار جهت تعریف مساله و شرایط‌های پیچیده، تعریف شرایط مرزی گوناگون و حل مسایل پیچیده شامل تأثیر پدیده‌های مختلف به کمک این نرم‌افزار قابل حل می‌باشد. این نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی با زبان برنامه نویسی C نوشته شده است.

12. Convection

REFERENCES

- Aryal, P., & Leephakpreeda, T. (2015). CFD Analysis on Thermal Comfort and Energy Con-sumption Effected by Partitions in Air-Conditioned Building. *International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies*, 79, 183-188. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215021918
- Bauman, F.S., Faulkner, D., Arens, E.A., Fisk, W.J., Johnston, L.P., McNeel, P.J., Pih, D., & Zhang, H. (1992). Air Movement, Ventilation, and Comfort in a Partitioned Office Space. *Journal ASHRAE Transactions*, 98(1), 756-780. https://escholarship.org/content/qt745891v4/qt745891v4.pdf
- Calay, R.K., Borresen, B.A., & Hold, A.E. (2000). Selective Ventilation in Large Enclosures. *Energy and Buildings*, 32 (2000), 281-289, 2000 Elsevier Science S.A. https://www.academia.edu/4156816/Selective_ventilation_in_large_enclosures
- Cao, Q., & He, X.G. (1994). Cross Ventilation and Room Partitions: Wind Tunnel Experi-ments on Indoor Airflow Distribution. *ASHRAE Transactions*, 100(2), 208-19. https://www.techstreet.com/standards/3803-cross-ventilation-and-room-partitions-wind-tunnel-experiments-on-indoor-airflow-distribution?product_id=1716434
- Chow, W.K., & Tsui, K.F. (1995). Airflow Studies in a Forced Ventilated Chamber with Low Partitions. *ASHRAE Transactions*, 101(2), 125-35. https://www.researchgate.net/publication/317090065_AIRFLOW_STUDIES_IN_A_FORCED_VENTILATED_CHAMBER_WITH_LOW_PARTITIONS
- Farzamshad, M. (2009). Fundamentals of Planning and Office Design. Tehran: Jahan Jame Jam.
- Fayaz, R., & Atrvash, A. (2016). The Effect of Sash on the Air Flow in the Interior Case Study: Zinat Al-Molk Shiraz House. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism*, 6(9), 19-26. http://www.isau.ir/article_61996.html
- Grote, L.V.D. (2013). Research Methods in Architecture. (A.R. Eynifar,Trans.). Tehran Uni-versity Press, Tehran, Iran.
- Jiang, Y., & Chen, Q. (2001). Study of Natural Ventilation in Buildings by Large Eddy Sim-ulation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89 (2001), 1155–1178, 2001 Elsevier Science Ltd. https://engineering.purdue.edu/~yanchen/paper/2001-9.pdf
- Khan, N., Su, Y., & Riffat, S.B. (2008). A Review on Wind Driven Ventilation Techniques. *Energy and Buildings*, 40(8), 1586-1604, 2008 Elsevier B.V. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778808000443
- Lau, J., & Chen, Q. (2006). Energy Analysis for Workshops with Floor–Supply Displacement Ventilation under the U.S. Climates. *Energy AND Buildings*, 38(2006), 1212–1219, 2006 Elsevier B.V. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778806000430
- Lee, H., & Awbi, H.B. (2004). Effect of Internal Partitioning on Indoor Air Quality of Rooms with Mixing Ventilation Basic Study. *Building and Environment*, 39(2), 127–41. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132303001744
- Lin, Z., Chow, T.T., Fong, K.F., Tsang, C.F., & Wang, Q. (2004). Comparison of Perfor-mances of Displacement and Mixing Ventilations, Part II: Indoor Air Quality. *International Journal of Refrigeration*, 28(2005), 288–305, 2004 Elsevier Ltd and IIR. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140700704000696
- Nicol, F., & Humphreys, M. (2002). Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standard for Building. *Energy and Building*, 34(6), 563- 572. https://www.researchgate.net/publication/222402882_Adaptive_Thermal_Comfort_and_Sustainable_Thermal_Standards_for_Buildings
- Seduikyte, L., & Bliudzius, R. (2005). Pollutants Emission from Building Materials Andtheir Influence on Indoor Air Quality and People Performance in Offices.*Civil Engineering and Management*, 11(2), 137-144. https://www.researchgate.net/publication/331227120_Pollutants_emission_from_building_materials_and_their_influence_on_indoor_air_quality_and_people_performance_in_offices
- Sekhar, S.C. (1995). Higher Space Temperatures and Better Thermal Comfort- A Tropical Analysis. *Energy and Building*, 23(1), 63-70. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037877889500932N
- Shaw, C.Y. (1997). Maintaining Acceptable Air Quality in Office Buildings through Ventila-tion. *National Research Council of Canada Januray*, 3, 1206-1220. https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/accepted/?id=5ce65c15-0fe8-438f-9ea3-40300ab4325e
- Tian, L., Lin, Z., Liu, J., Yao, T., & Wang, Q. (2011). The Impact of Temperature on Mean Local Air Age and Thermal Comfort in a Stratum Ventilated Office. *Building and Environment,* 46(2), 501-51. https://www.researchgate.net/publication/222194108
- Van Hoof, J., Mazej, M., & Hensen, J. (2010). Thermal Comfort: Research and Practice. *Frontiers in Bioscience. Journal and Virtual Library*, 15(2) 765- 788. https://www.researchgate.net/publication/258291389_Thermal_comfort_Research_and_practice
- Wade III, W.A., Cote, W.A., & Yocom, J.E. (1975). A Study of Indoor Air Quality. *The Air Pollution Control Association*, 25(9), 933-939. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00022470.1975.10468114

- Wu, S., & Sun J.Q. (2012). Two-Stage Regression Model of Thermal Comfort in Office Buildings. *Building and Environment*, 57, 88-96. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132312001333
- Yuan, X., Chen, Q., & Glicksman, L.R. (1998). A Critical Review on Displacement Venti-laion. *Journal ASHRAE Transactions*, 104(1A), 78-90. https://www.researchgate.net/publication/285237271_A_critical_review_of_displacement_ventilation

نحوه ارجاع به این مقاله

رؤسائی، امین و رهایی، امید. (۱۳۹۹). ارتقاء کیفیت جریان هوای داخل تحت تأثیر دیوارهای جداکننده داخلی در فضاهای اداری مجهز به سیستم‌های تهویه مطبوع با روش CFD. نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۳(۳۰)، ۶۹-۸۱.

DOI: 10.22034/AAUD.2020.101584.1325

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_108577.html