اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع
ایران، تهران، خرداد ۱۳۸۸

مطالعه و مدلسازی عددی میدان جریان و توزیع دما در فضاهای تهویه شونده

حسین خراسانی زاده[۱]، قنبرعلی شیخ زاده[۲]، بابک اسراردل[۳]

[۱]استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان khorasan@kashanu.ac.ir
[۲]استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان sheikhz@kashanu.ac.ir
[۳]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان b_asrardel@yahoo.com

چکیده

هوای داخل ساختمان ها و سایر فضاهای بسته تحت تأثیر عوامل و متغیرهای فیزیکی متعددی می باشد که هر کدام بر راحتی و آسایش انسان ها تأثیر دارند. در بسیاری از مناطق گرم و خشک ایران از کولرهای آبی برای خنک نمودن فضاها در تابستان استفاده می شود. در این روش هوای محل مورد نظر بین ۱۰ تا ۲۰ بار در ساعت تعویض می شود. از جمله عواملی که بر روی عملکرد این سیستم تأثیر دارند، اندازه و محل قرارگیری دریچه های ورودی و خروجی هوا و سرعت عبور هوا از آن ها می باشد.

در این تحقیق با استفاده از مدلسازی عددی تأثیر محل قرارگیری دریچه های ورودی و خروجی، اندازه آن ها، سرعت هوای ورودی و همچنین حضور منبع تولید حرارت بر روی جریان هوا و توزیع دما در فضاهایی مانند اتاق و سوله صنعتی که در فصل تابستان تهویه می شوند مورد بررسی قرار گرفته است.

با مطالعه نتایج مشخص شده است که با استفاده از سیستم تهویه جابجایی، که در آن دریچه های ورودی هوا به فضا در قسمت های پایینی دیوار قرار می گیرد، با صرف میزان هوای ورودی کمتری نسبت به سیستم تهویه اختلاطی می توان شرایط آسایش حرارتی در فضای تهویه شونده به خصوص در محل حضور ساکنین را ایجاد نمود. نتایج همچنین نشان داده است که هوای گرمی که معمولاً در ارتفاعات بالای فضا و منطقه زیر سقف قرار می گیرد بدون مخلوط شدن با هوای سرد ورودی از طریق دریچه های خروجی خارج می شود. بنابر این استفاده از این روش باعث صرفه جویی در مصرف انرژی برای تهیه هوای تهویه می شود.

کلمات کلیدی: آسایش حرارتی، جریان هوا، تهویه جابجایی، توزیع دما

مقدمه

نحوه ورود و خروج و جریان هوا در فضاهای بسته ای که در آن ها معادل هوایی که وارد می شود از طریق خروجی ها دور ریز می شود به سه روش انجام می شود[۱]. در روش جریان پیستونی[۱] هوای ورودی از دریچه های واقع در سقف وارد می شود و خروجی ها در کف یا نزدیک آن قرار دارند. در این روش، که از آن بیشتر در فضاهای تمیز که نیاز به نرخ بالای هوا دارند استفاده می شود، جریان هوا تک جهتی و به سمت کف می باشد و لذا توزیع سرعت نسبتاً یکنواخت می باشد. در روش جریان اختلاطی[۲] هوا هم می تواند از سقف یا از کف و نزدیک آن وارد شود ولی خروجی ها همیشه در سقف یا نزدیک آن قرار دارند. در این روش هوای تأمین شده جدید با هوای موجود در فضا مخلوط می شود و لذا از نظر دما و غلظت آلودگی ها شرایط نسبتاً یکنواختی در فضا ایجاد می شود. در روش جریان جابجایی[۳] دمنده های هوا در قسمت های پایین فضا هوای سرد را به داخل می فرستند و خروجی ها در سقف یا نزدیک به آن قرار دارند. در نتیجه هوا پس از تبادل حرارت با محیط و گرم شدن، سبک شده و به کمک جابجایی طبیعی به سمت بالا جریان یافته و از نظر حرارتی و توزیع آلودگی در فضا لایه بندی ایجاد می شود، بگونه ای که در قسمت های نزدیک به کف (محل حضور ساکنین) دما و آلودگی ها کمتر و با افزایش ارتفاع دما و آلودگی ها بیشتر می شوند. با استفاده از این روش آلاینده های محیط توسط لایه های گرم شده هوا به سمت سقف رانده می شوند و از ناحیه تنفسی افراد دور می شوند. از حدود سال ۱۹۷۰ میلادی و خصوصا در دهه اخیر تحقیقات گسترده ای در زمینه بررسی گردش هوا و توزیع دما در فضاهای مختلف از جمله فضاهای مسکونی، اداری، صنعتی و غیره صورت گرفته است. با توجه به گستردگی موضوع، هر تحقیق خاص بر روی یک یا چند جنبه تمرکز نموده است. با توجه به پیشرفت سریع استفاده از محاسبات کامپیوتری، بیشتر مطالعات اخیر به استفاده از مدلسازی عددی انجام شده اند. در سال ۱۹۸۹میلادی، موراکامی تحقیقی عددی و آزمایشگاهی در زمینه جریان هوا و توزیع دما در یک فضای سه بعدی انجام داد[۲]. هدف اصلی او مقایسه نتایج به دست آمده از طریق آزمایشات با جوابهای عددی به دست آمده از مدل اغتشاشی k-ε بود. در این خصوص وی بردارهای سرعت و مقادیر مطلق سرعت را مقایسه و همچنین تأثیر مقادیر k و ε را مورد بررسی قرار داد. از نتایج عمده تحقیق او می توان به مطابقت قابل قبول میدان سرعت در مدلسازی عددی و آزمایش ها اشاره نمود ولی در نتایج ارائه شده از بررسی روش های رسیدن به شرایط آسایش و همچنین تأثیر پارامترهایی از جمله دبی و دمای هوای ورودی صحبتی به میان نیامده است. تحقیق اسپیلتر و همکاران در سال ۱۹۹۱ در زمینه بررسی تجربی جریان هوا و انتقال حرارت در اتاق انجام شد[۳]. او برای این کار از یک اتاق به

[۱] Piston flow
[۲] Mixing
[۳] Displacement flow

Archive of SID
www.SID.ir

ابعاد ۴/۷۵×۲/۷۴×۲/۷۴ متر به همراه ۵۳ عدد پنل حرارتی قابل کنترل، دو ورودی تهویه هوا و یک خروجی استفاده کرد و اطلاعات آزمایشگاهی را برای ۷ حالت مختلف چیدمان بدست آورد. در تمامی ۷ چیدمان یک دریچه خروجی هوا بر روی دیوار شرقی تعبیه شده بود و سیستم تهویه قادر به تعویض هوا بین ۲ تا ۱۰۰ بار در ساعت بود که نرخ حجمی جریان از ۴۴,۵ CFM تا ۲۲۵۰ CFM را موجب می شد. با کنترل دمای دیواره ها، شار حرارتی جابجایی اندازه گیری و ضرایب فیلم برای هر سطح مورد محاسبه قرار گرفت. هدف او از انجام این مطالعه جمع آوری و مقایسه نتایج بدست آمده از آزمایشات بود. در سال ۲۰۰۰ میلادی چو مقاله جالبی در زمینه مطالعات عددی جریان هوا توسط سیستم های تهویه مکانیکی ارائه داد[۴]. در تحقیق او با استفاده از نرم افزار فونیکس[۴] چند نمونه از تهویه فضاهای مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. مدلسازی های او شامل سیستم تهویه در یک پارکینگ، سیستم تهویه مطبوع با استفاده از سقف سرد، سیستم تامین هوای تازه ورودی از زیر کف و مواردی از این قبیل بود. در تحقیق چو از نتایج آزمایشگاهی بدست آمده توسط موراکامی [۲] برای مقایسه با نتایج بدست آمده از مدلسازی ها استفاده شد. از نقاط قوت این تحقیق می توان به تنوع سیستم های تهویه مورد مطالعه اشاره کرد و از نقاط ضعف آن می توان به نتیجه گیری بسیار مختصر از مطالعات اشاره نمود. همچنین هیچ یک از مدل های تهویه مطبوع مورد بحث با یکدیگر مقایسه نشده اند و مزایا و معایب هر یک از این سیستم ها در مقایسه با یکدیگر مورد بحث و تفسیر قرار نگرفته اند. آوبی از جمله کسانی است که تحقیقات متعددی در زمینه کیفیت هوای داخلی انجام داده است. وی در سال ۲۰۰۱ میلادی نتایج تحقیقی را در زمینه کیفیت هوا در ناحیه تنفس یک اتاق که توسط روش تهویه جابجایی انجام می شد، ارائه داد[۵]. ایشان هم بصورت آزمایشگاهی و هم بصورت عددی بررسی انجام داد. آزمایشات تجربی او در یک محفظه در دانشگاه ریدینگ[۵] انجام گرفت. نکته جالب و قابل تأمل در آزمایش های وی، بررسی نمودن تأثیر نوع پوشش و لباس انسان در پخش حرارت در اتاق، البته بطور خلاصه، می باشد. مدل های آزمایشگاهی در حالات مختلفی از قبیل تغییر نرخ جریان هوا، موقعیت فرد و همچنین تغییر دمای هوای ورودی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از سیستم تهویه جابجایی برای اتاقی که در آن فرد در حالت نشسته قرار دارد، از لحاظ کیفیت هوا بین ۳۵ الی ٪ ۵۰ بهتر از میانگین کیفیت هوا در اتاقی است که در آن افراد در حال فعالیت می باشند و میزان این تغییرات به نوع دستگاه تامین کننده هوا بستگی دارد. همچنین کیفیت هوای اتاقی که در آن فرد بصورت ایستاده قرار دارد، ۱۰ الی ۲۰ درصد از کیفیت هوای اتاقی که در آن افراد در حال فعالیت باشند بهتر است. در سال ۲۰۰۶ میلادی، باسکایا و اکن یک اتاق اداری را تحت شرایط مختلف از نظر تهویه مورد بررسی قرار دادند[۶]. در این مطالعه از معادلات دو بعدی برای بررسی خصوصیات جریان هوا استفاده شد و تأثیر وجود افراد، محل قرارگیری ورودی و خروجی، سرعت ورودی و شرایط تابستان و زمستان مورد بررسی قرار گرفت. در سال ۲۰۰۷ نمونه دیگری از مطالعات عددی در زمینه توزیع دما در یک اتاق توسط کونگ و بینگ فنگ انجام شد که در آن از سیستم توزیع هوا از کف بهره گیری شده بود[۷]. نتایج با یک نمونه کامل آزمایشگاهی در ابعاد حقیقی مورد مقایسه قرار گرفت. برای انجام این تحقیق و انجام مقایسه ها از شرایط متنوعی برای هوای ورودی و بار حرارتی استفاده شد. آنها نمودارهای توزیع عددی دما در مقاطع بحرانی اتاق و در کنار دیواره ها را در بارهای حرارتی متفاوت اتاق و نرخ های حجمی هوای متفاوت و سرعت های متفاوت را مورد بحث و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد متغیرهای مورد مطالعه توسط پارامتر مقیاس طولی جت تأمین کننده هوای ورودی قابل کنترل است.

در ایران در فصل تابستان برای خنک نمودن فضا ها به طور گسترده ای از کولرهای آبی استفاده می شود. بنا به توصیه کتب و متون تأسیساتی دریچه های ورودی هوا معمولاً در قسمت های بالای دیوار و نزدیک سقف تعبیه می شوند و خروج هوا معمولاً از پنجره و درها صورت می گیرد و در واقع از روش جریان اختلاطی استفاده می شود.

در این تحقیق تأثیر روش جریان که با محل تعبیه دریچه های ورودی و خروجی و اندازه آن ها ارتباط دارد به صورت عددی بررسی شده و تأثیر روش های مختلف تهویه از نظر تأمین آسایش و شرایط لازم برای آن از نظر نرخ حجمی هوای مورد نیاز و سرعت هوای ورودی برای دو فضای نمونه شامل اتاق و سوله بررسی شده است. همچنین اثر وجود پنجره و منبع تولید گرما و حضور ساکنین نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

معادلات حاکم و روش مدلسازی

بررسی میدان جریان و توزیع دمای هوا در هر فضا نیازمند حل معادلات بقای جرم، بقای ممنتوم و بقای انرژی در سه بعد می باشد. همچنین فرایند حل باید در بر دارنده مساله اغتشاش نیز باشد. معادلات استفاده شده در مدلسازی های این تحقیق شامل معادله بقای جرم، بقای ممنتم، معادله انرژی و معادلات اغتشاش برای حالت دائم می باشند که از ذکر آنها به دلیل اختصار اجتناب می شود.

برای انجام مدلسازی های این تحقیق از دو فضای تهویه شونده با ابعاد مختلف استفاده شده است[۸]. این فضاها عبارتند از:

۱) اتاق

۲) سوله صنعتی

ابعاد اتاق و سوله صنعتی به ترتیب عبارت از ۳×۳×۴ متر و ۱۲×۶×۶/۶۵ متر می باشند. سقف سوله دارای شیب ° ۱۲/۲ است. مجموعاً ۹ مدل برای بررسی جریان هوا وتوزیع دما در این دو فضا مورد استفاده قرار گرفته اند. برای انجام مدلسازی ها از نرم افزارهای

---

[۴] Phonics

[۵] Reading

Archive of SID

www.SID.ir

گمبیت[6] و فلوئنت[7] استفاده شده است. ابتدا هر مدل در نرم افزار گمبیت شبکه بندی شده و سپس در نرم افزار فلوئنت شرایط مرزی لازم به این مدل اضافه شده و برای انجام محاسبات عددی آماده گردیده است. هوا به عنوان گاز غیر قابل تراکم با چگالی $1/225\ kg/m^3$ در نظرگرفته شده است. برای دریچه های ورودی هوا از شرط مرزی سرعت در ورودی و برای دریچه های خروجی از شرط جریان خروجی استفاده شده است. برای حل معادلات ممنتوم، معادله انرژی و k و ε از روش مرتبه اوّل بالا دست استفاده شده است. برای شبکه بندی اتاق از شبکه های مکعبی استفاده شده و به منظور اطمینان از صحت جواب های حاصل شده، استقلال جواب ها از تعداد شبکه ها بررسی و برای هر مورد از مدل سازی ها شبکه مناسب انتخاب شده است.

مبنای انجام محاسبات، شهر تهران در ساعت ۳ بعد از ظهر ۲۳ جولای، برابر با اول مرداد ماه در نظر گرفته شده و دمای طرح خارج ۴۰ ^oC و دمای طرح داخل ۲۴ ^oC در نظر گرفته شده است[۹].

مصالح تشکیل دهنده دیواره های اتاق به شرح زیر می باشند:

۱- گچ و خاک به ضخامت ۱ اینچ

۲- آجر سفال به ضخامت ۸ اینچ

۳- سنگ به ضخامت ۱/۲ اینچ

ضمناً جنس سقف نیز آهن و آجر با یک پوشش ۵ سانتیمتری بتن و ایزوگام منظور شده است. از آنجایی که میزان انتقال حرارت از مجموعه هر دیوار شامل هدایت از میان مصالح آن و فیلم های هوای خارج و داخل با انتقال حرارت از فیلم داخل یا خارج آن برابر است برای پیدا نمودن دمای سطوح داخلی دیوارها از معادله بالانس حرارتی با عنایت به جنس دیواره ها استفاده شده است. به کمک جداول منبع [۹] این دماها محاسبه و به شرح زیر به دست آمده اند:

۲۸ ^oC = دیوار شرقی

۲۹/۷ ^oC = دیوار جنوبی

۲۹/۹ ^oC = دیوار غربی

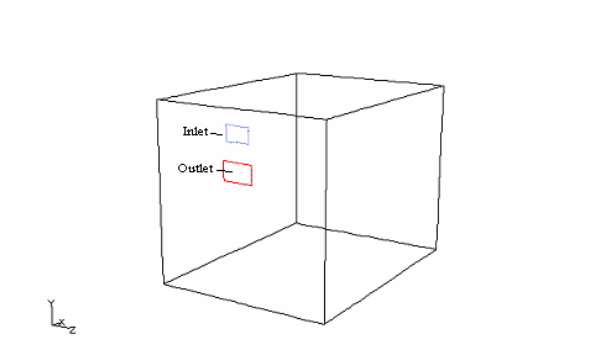
۲۸/۵ ^oC = دیوار شمالی

۳۰/۴۴ ^oC = سقف

همچنین دمای کف ثابت و برابر ۲۳ ^oC در نظر گرفته شده است. دمای هوای ورودی در تمامی حالت ها برابر ۲۰ ^oC در نظر گرفته شده است.

شرح مدل های اتاق

در حالت اول، اتاق دارای یک دریچه ورودی و یک دریچه خروجی هوا می باشد که این دریچه ها هر دو بر روی دیوار جنوبی اتاق قرار دارند و دریچه ورودی هوا دقیقاً در بالای دریچه خروجی هوا قرار گرفته است. در واقع در این حالت از مدلسازی از سیستم جریان اختلاطی استفاده شده و تاثیر نزدیک بودن دریچه های ورودی و خروجی به یکدیگر یکی از موارد بررسی بوده است. در شکل (۱) نمای شماتیک اتاق و محل قرارگیری دریچه ها نشان داده شده است.



شکل ۱: نمای شماتیک اتاق و محل قرارگیری دریچه ها در مدل اتاق حالت اول

بر مبنای اینکه هوای اتاق در هر ساعت ۱۹ بار تعویض شود نرخ لازم برای تهویه اتاق ۴۰۳ CFM در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به جداول موجود در کتب و منابع مربوطه، برای حالت اول سرعت خروج هوا از دریچه ورودی ۴۰۰ فوت بر دقیقه یعنی حدود ۲ متر بر ثانیه و ابعاد دریچه ورودی برابر"۱۶×۱۰" معادل ۴۰cm×۲۵cm در نظر گرفته شده است[۹]. به همین ترتیب برای دریچه خروج هوا با در نظر گرفتن سرعت هوای ۳۰۰ فوت بر دقیقه در خروجی، ابعاد دریچه خروجی برابر "۱۲×۱۸" معادل ۴۵cm×۳۰cm در نظر گرفته شده است.

دومین مدلی که برای بررسی گردش جریان هوا و توزیع دما استفاده شده است از لحاظ هندسه و تعداد و محل قرارگیری دریچه ورودی و خروجی کاملاً با مدل اتاق در حالت اول یکسان می باشد. در این حالت نیز از سیستم جابجایی اختلاطی استفاده شده است ولی سرعت هوای ورودی از ۲ m/s به ۰/۱۸ m/s کاهش یافته است. هدف از این مدلسازی، بررسی تأثیر تغییر نرخ هوای وروی به اتاق بر روی توزیع دما و همچنین گردش هوا می باشد.

در حالت سوم جریان جابجایی مورد بررسی قرار گرفته است. دریچه ورودی هوا بر روی دیوار جنوبی در ۳۰ سانتیمتری نسبت به کف اتاق و دریچه خروجی هوا بر روی سقف و نزدیک به دیوار شمالی قرار گرفته است. از آنجایی که در تهویه جابجایی سرعت هوای ورودی باید بسیار پایین باشد از دریچه ای به ابعاد ۶۰ cm×۵۰ cm استفاده شده است. لذا با توجه به رابطه دبی حجمی سرعت هوای ورودی برابر ۰/۱۸ m/s می باشد.

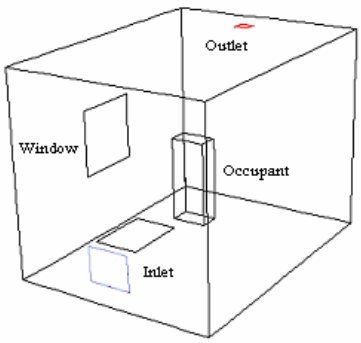
در مدلسازی حالت چهارم نیز از سیستم تهویه جابجایی با شرایطی مشابه حال سوم استفاده شده است. هدف از بررسی حالت چهارم، مطالعه تأثیر وجود پنجره و همچنین یک فرد به عنوان تولید کننده حرارت می باشد. بنابراین در این حالت یک پنجره به ابعاد ۱m×۱m بر روی دیوار غربی و یک فرد در مرکز اتاق قرار داده شده است. برای مدل کردن اثر فردی که در اتاق حضور دارد از یک مکعب تو خالی به ابعاد ۱/۲×۰/۵×۰/۳ متر به عنوان منبع تولید حرارت استفاده شده است. در شکل (۲) شماتیک اتاق، محل قرارگیری دریچه ها، پنجره و فرد مذکور نشان داده شده است.

---

[6] Gambit 2.1

[7] Fluent 6.1

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲: نمای شماتیک اتاق و محل قرارگیری دریچه ها درحالت چهارم

دمای فرد برابر با دمای طبیعی بدن انسان یعنی ۳۷ °C در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به محاسبات و شرایط مرزی اعمال شده شار حرارتی ورودی از پنجره ۷۶ w/m^2 در نظر گرفته شده است.

درحالت پنجم محل دریچه خروجی هوا نسبت به حالت چهارم تغییر یافته و به روی سقف در سمت دیوار جنوبی منتقل شده است ولی سایر شرایط از جمله محل دریچه ورودی ثابت نگه داشته شده است. هدف از بررسی این حالت، مشاهده تاثیر محل دریچه خروجی در نحوه گردش هوا و توزیع دما بوده است.

شرح مدل های سوله

با توجه به اینکه در سوله های صنعتی همیشه یک و یا چند دستگاه در حال فعالیت بوده و باعث تولید حرارت می شوند، در تمامی مدل های مربوط به سوله از دو منبع حرارتی فرضی بصورت دو مکعب به ابعاد واحد بصورت قرینه نسبت به مرکز در سوله قرار داده شده اند. دمای سطوح این منابع تولید حرارت ثابت و برابر ۴۰ °C در نظر گرفته شده است.

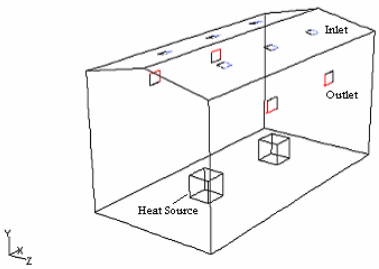
در همه حالت های بررسی شده از مدل های سوله، حضور افراد بعنوان منبع تولید حرارت در سوله در نظر گرفته شده و فرض می شود که در هر لحظه ۲۰ نفر در سوله در حال فعالیت تقریباً سبک بدنی باشند. حرارت تولید شده توسط این ۲۰ نفر محاسبه و بصورت یک شار حرارتی یکنواخت در کف سوله لحاظ شده است. در این صورت از تأثیر حضور افراد بر روی چگونگی گردش هوا صرف نظر شده است ولی اثر حرارتی ناشی از حضور آنها لحاظ شده است.

در مدل های مربوط به سوله سرعت خروج هوا از دریچه های ورودی برابر ۵۰۰ fpm یعنی در حدود ۲/۵۴ m/s و سرعت خروج هوا از دریچه های خروجی برابر ۴۰۰ fpm در نظر گرفته شده است.

دمای سطوح داخلی دیواره های سوله بجز سقف دقیقاً برابر دمای دیواره ها در مدل های اتاق در نظر گرفته شده اند. تشعشع برخوردی به سقف سوله ها در ساعات میانی روز در بسیاری از مناطق ایران حتی از ۱۰۰۰ w/m^2 مربع تجاوز می کند. با عنایت به نازک بودن ضخامت جدار سقف سوله ها و عایق بندی نامناسب درصد قابل ملاحظه ای از این شار تشعشعی به صورت گرما به فضای داخل راه پیدا می کند. یکی از مشکلات مربوط به تهویه سوله ها همین مسأله می باشد. در این تحقیق برای همه مدل های سوله فرض می شود که شار حرارتی ورودی از سقف سوله به داخل فضا برابر ۲۵۰ w/m^2 مربع باشد.

با فرض اینکه کولر آبی هوای سوله را ۲۰ بار در ساعت تعویض نماید نرخ لازم برای تهویه سوله با توجه به حجم آن برابر ۵۳۶۰ CFM منظور گردیده است گردید[۹].

در اولین حالت از مدل های سوله، ۶ عدد دریچه ورودی هوا بر روی دو سطح شیب دار سقف و به فاصله های یکسان از یکدیگر منظور شده اند. همچنین دریچه های خروجی هوا نیز بر روی دیواره های غربی و شرقی سوله و در ارتفاع ۴/۵ متری نسبت به کف سوله منظور شده اند. در واقع در این حالت از مدلسازی سوله از سیستم جابجایی ترکیبی استفاده شده است. ابعاد شش دریچه ورودی برابر ″۱۴×″۲۰ معادل ۳۶ cm×۵۰ cm و ابعاد ۴ دریچه خروجی برابر ″۲۰x″۲۶ معادل ۵۰ cm×۶۶ cm در نظر گرفته شده است[۹]. شکل (۳) نمایی از سوله و محل قرارگیری دریچه های ورودی و خروجی را نشان می دهد.



شکل ۳: نمای شماتیک سوله و محل قرارگیری دریچه ها درحالت اول از مدل های سوله

در حالت دوم محل قرار گیری دریچه های ورودی و خروجی تغییر داده شده است. به این ترتیب که ۳ عدد دریچه ورودی بر روی دیوار غربی و ۳ عدد باقیمانده بر روی دیوار شرقی و در ارتفاع ۲/۵ متری نسبت به کف قرار گرفته اند. همچنین دریچه های خروجی بر روی سقف تعبیه شده اند.

در حالت سوم تهویه جابجایی مورد مطالعه قرار گرفته است و نرخ لازم برای تهویه سوله برابر ۱۵۲۵ CFM محاسبه گردیده است. در این حالت ۶ عدد دریچه ورودی بر روی دیوار های غربی و شرقی اتاق و به فاصله حدود ۳۰ سانتیمتری از کف به ابعاد ۲۵ cm×۲۵ cm منظور شده اند. همچنین ۴ عدد دریچه خروجی هوا به ابعاد ۵۰ cm×۶۶ cm بر روی سقف قرار داده شده اند. در این حالت سرعت هوای ورودی به سوله از هر دریچه برابر ۱/۹۲ m/s است که برای سیستم تهویه جابجایی زیاد است. با این وجود از همین تعداد دریچه با اندازه گفته شده استفاده شده است تا تأثیر سرعت زیاد هوای ورودی بر روی توزیع دما و جریان هوا بررسی شود.

در حالت چهارم از مدل های سوله با ثابت نگه داشتن نرخ هوای مورد نیاز مشابه حالت سوم از دریچه های ورودی با ابعاد

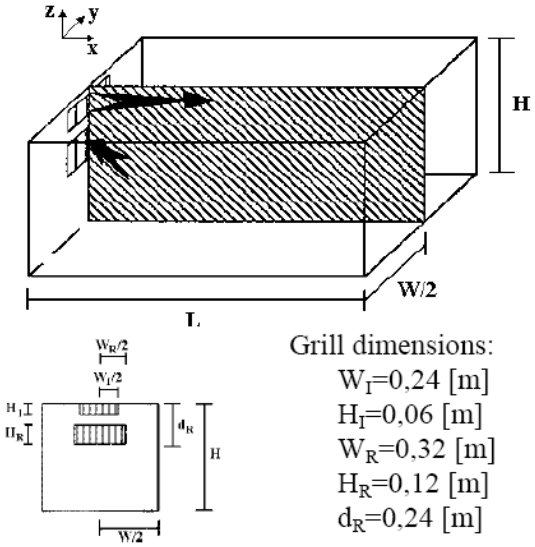
Archive of SID

www.SID.ir

۵۵ cm×۵۵ cm استفاده شده است. بنابر این سرعت هوای ورودی برابر ۰/۴ m/s بوده ولی همه شرایط دیگر نسبت به حالت سوم تغییری نداشته است.

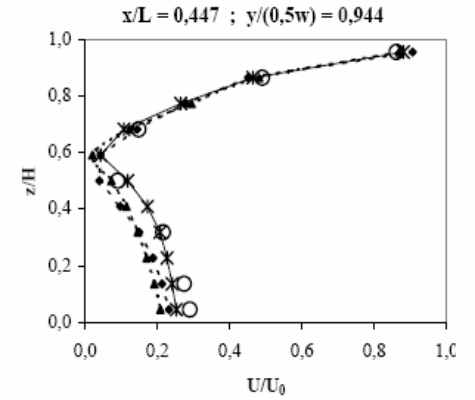
بررسی صحت اعتبار نتایج

به منظور مقایسه و بررسی صحت نتایج از نتایج تحقیق گاسپار و پیتاراما [۱۰] استفاده شده است. آن ها از نتایج تجربی یک مدل آزمایشی که در آن جریان هوا و توزیع دما مورد بررسی قرار گرفته بود برای مقایسه با نتایج بدست آمده از شبیه سازی نتایج مدلسازی سه نرم افزار شبیه سازی کلایما[۸]، فلوئنت و فونیکس استفاده نموده اند. مدل مورد نظر شامل یک اتاق به ابعاد ۱/۵۲X۰/۷۲X۰/۶۶ متر است که یک دریچه ورودی و یک دریچه خروجی هوا دارد. هندسه اتاق و همچنین ابعاد و محل قرارگیر ی دریچه های ورودی و خروجی در شکل (۴) نشان داده شده است و به دلیل اختصار در این مقاله از ذکر سایر جزئیاتی که به تفصیل در منبع اصلی شرح داده شده است اجتناب می شود.

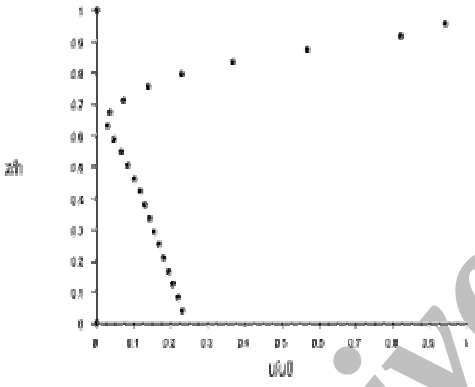


شکل ۴: مدل مطالعه شده در تحقیق گاسپار و پیتاراما [۱۰]

ابتدا مدلی مانند شرایط ذکر شده در منبع [۱۰] در نرم افزار گمبیت تولید شد و برای شبکه بندی از شبکه ساختار یافته[۹] مکعبی استفاده شد. همچنین برای نشان دادن مستقل بودن جواب ها از نوع شبکه بندی، از ۳ نوع شبکه خشن، متوسط و ریز استفاده شد و با مطالعه نتایج شبکه مناسب شامل ۲۵۹۲۰ شبکه انتخاب گردید. برای نمایش نتایج از چند پارامتر بدون بعد برای ارتفاع و سرعت و دما استفاده شده است. در شکل (۵) نتایج بدست آمده در تحقیق گاسپار و پیتاراما همچنین نتایج تحقیق حاضر برای توزیع سرعت تابعی از ارتفاع روی یک خط مشخص نشان داده شده است. لازم به ذکر است هر یک از علائم X، ♦، ▲ بترتیب بیانگر نتایج بدست آمده توسط نرم افزارهای کلایما، فونیکس و فلوئنت می باشند و علامت O نمایشگر نتایج تجربی و آزمایشگاهی است. مقایسه بیانگر تطابق قابل قبول نتایج می باشد.



شکل ۵-الف: نتایج ارائه شده توسط گاسپار و پیتاراما [۱۴]



شکل ۵-ب: نتایج مدلسازی در تحقیق حاضر

در این مقاله، با عنایت به محدودیت تعداد صفحات، فقط نتایج مربوط به توزیع دما در مدل های مربوط به اتاق و سوله آن هم به صورت منتخب ارائه می شود. نتایج کامل بررسی ها در منبع [۸] آمده است.

نتایج مدلسازی های اتاق

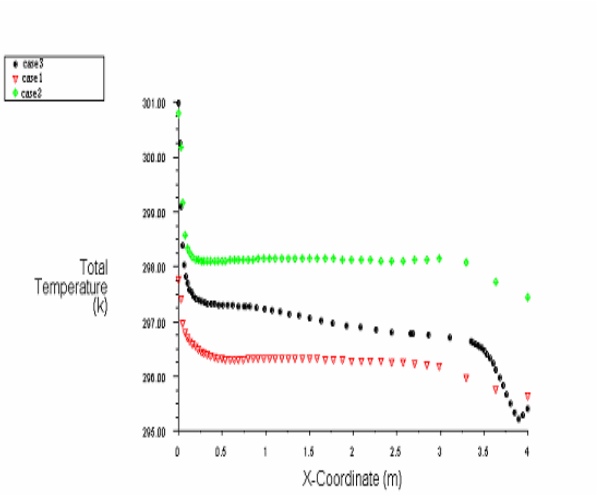
نمودارهای شکل های (۶) و (۷) و (۸) نحوه توزیع دما را در ارتفاع ۱/۵ متری از کف به ترتیب در مقاطع عرضی ۱/۵ و ۰/۵ و ۲/۵ متری نسبت به دیوار غربی برای سه حالت بررسی شده ۱ و ۲ و ۳ را نشان می دهند.

از نمودارهای شکل (۶) مشاهده می شود که در مرکز اتاق، توزیع دما در حالت اول بصورت یکنواخت بوده و دما در اکثر نقاط در حدود ۲۹۶/۲ K یعنی معادل ۲۳/۲ °C می باشد. همین توزیع دما برای حالت دوم از مدل های اتاق قابل مشاهده است با این تفاوت که به علت کاهش سرعت از ۲ m/s به ۰/۱۸ m/s مقدار دما در حدود ۲ درجه افزایش پیدا کرده و به حدود ۲۹۸ K یعنی معادل ۲۵ °C رسیده است.

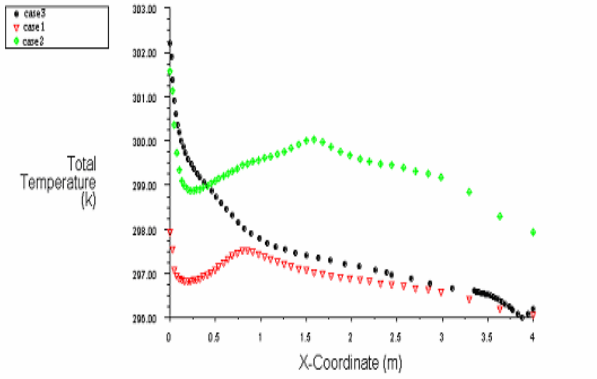
[۸] CLIMA 3D
[۹] Structured

Archive of SID

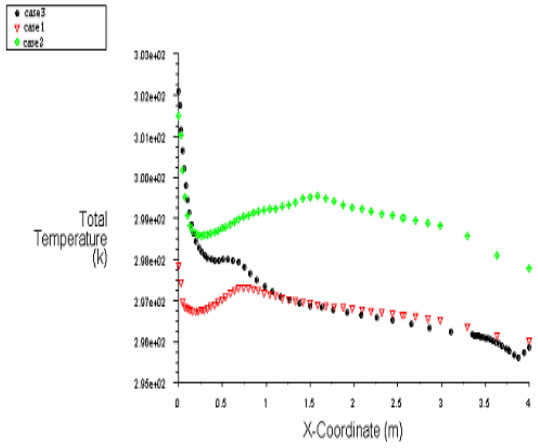
www.SID.ir



شکل ۶: نحوه توزیع دما در ارتفاع ۱/۵ متری از کف و در مقطع عرضی ۱/۵ متردر حالات اول و دوم و سوم از مدل های اتاق



شکل ۷: نحوه توزیع دما در ارتفاع ۱/۵ متری از کف و در مقطع عرضی ۰/۵ متردر حالات اول و دوم و سوم از مدل های اتاق



شکل ۸: نحوه توزیع دما در ارتفاع ۱/۵ متری از کف و در مقطع عرضی ۲/۵ متردر حالات اول و دوم و سوم از مدل های اتاق

با بررسی نمودار توزیع دما مربوط به حالت سوم مشاهده می شود که تا فاصله ۳/۵ متر از طول اتاق دما در حدود ۲۹۷ K معادل ۲۴ °C می باشد. لذا مشخص است که در حالت سوم که از جریان جابجایی با دبی بسیار کمتری استفاده شده است شرایط آسایش بخوبی تأمین شده است.

با مطالعه نمودارهای شکل های (۷) و (۸) مشاهده می شود که در فواصل ۰/۵ و ۲/۵ متری از دیوار غربی، توزیع دما در حالت اول و حالت سوم در فاصله ۱ الی ۴ متری تقریباً بر هم منطبق بوده و دما حدود ۲۹۷ K می باشد. اما در بازه یک متر اول طول اتاق نمودار مربوط به حالت سوم دمای بالاتری را نسبت به نمودار حالت اول نشان می دهد. این پدیده قابل توجیه بوده و به این علت می باشد که در حالت سوم از مدل های اتاق سرعت هوا کم بوده و هوای موجود در اتاق فرصت بیشتری برای تبادل حرارت با دیواره های اتاق دارد. به همین دلیل است که مقدار دما در نزدیک دیوار جنوبی نسبت به حالت اول بالاتر می باشد. با بررسی توزیع دما در نمودار مربوط به حالت دوم، مشاهده می شود که مقدار دما بالارفته و بین ۲۹۹ K تا ۳۰۰ K متغیر است و در این حالت مقدار هوای تازه ورودی توانایی تهویه بهینه فضا را نداشته است.

بطور کلی از مقایسه ۳ حالت اولیه مدل های مربوط به اتاق می توان به این نتیجه رسید که اگر چه نمودار توزیع دما در حالت اول و سوم بیانگر این مطلب است که هر دو حالت توانسته اند شرایط آسایش حرارتی را در محیط ایجاد کنند، اما مقدار جریان هوای ورودی به اتاق در این حالات بسیار متفاوت است. در حالت اول برای تهویه از ۴۰۳ CFM هوا استفاده شده است در صورتی که در حالت سوم این مقدار به حدود ۱۱۴ CFM کاهش یافته است. پس با استفاده از تهویه جابجایی در اتاق نمونه مورد بحث علیرغم کاهش ۷۱/۸ درصدی نرخ هوا نسبت به تهویه معمولی، همان شرایط آسایش حرارتی فرهم شده است. بدین منظور صرفاً محل دریچه ورودی هوا تغییر یافته و علیرغم کاهش سرعت هوای ورودی نتیجه دلخواه عاید شده است.

در چهارمین حالت از مدل های مربوط به اتاق از سیستم تهویه جابجایی بکار رفته در حالت سوم بهره گرفته شده است با این تفاوت که در این حالت یک پنجره در دیوار غربی و یک فرد به عنوان منبع تولید حرارت در نظر گرفته شده است. در واقع حالت چهارم، برای بررسی تأثیر وجود پنجره و منبع حرارتی در گردش هوا و توزیع دما در یک فضای تهویه شونده در نظر گرفته شده است. همچنین تنها تغییر حالت پنجم از مدل های اتاق نسبت به حالت چهارم تغییر محل دریچه خروجی هوا و قرار دادن آن روی سقف در سمت دیوار جنوبی است. با مطالعه نمودارهای توزیع دما مشاهده گردید که بطور کلی مقادیر دما در حالت پنجم نسبت به حالت چهارم بر روی مقاطع و خطوط مشابه پایین تر بوده و به شرایط آسایش حرارتی نزدیک تر می باشد. البته لازم بذکر است که در ارتفاع نیم متری نسبت به کف اتاق اختلاف دمای چندانی بین حالت چهارم و پنجم مشاهده نشد و

Archive of SID

www.SID.ir

اختلاف دما بیشتر مربوط به نقاطی است که در ارتفاع ۱/۵ متر و بالاتر نسبت به کف قرار دارند.

به منظور بررسی کیفیت کلی سیستم تهویه در ایجاد شرایط آسایش حرارتی، دمای هوا در هنگام خروج از دریچه های خروجی مورد مطالعه قرار گرفت. جدول (۱) دمای هوای خروجی از اتاق را برای هر پنج حالت نمایش می دهد.

جدول ۱: دمای هوای خروجی و مقدار هوای مورد نیاز در مدل های اتاق

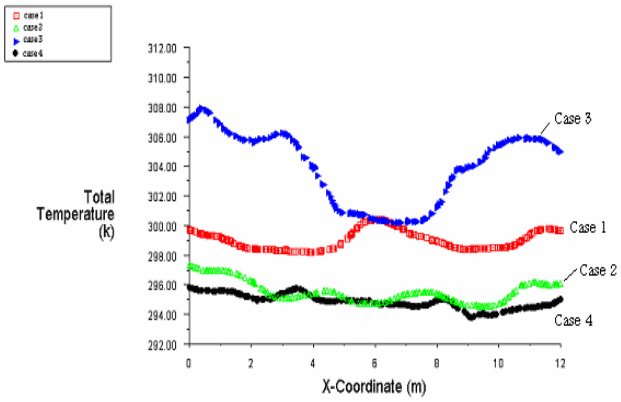
دمای هوای خروجی (°C)	نوع جریان	محل دریچه ورودی	نرخ هوای مورد نیاز (CFM)	مدل اتاق
۲۳,۷	ترکیبی	نزدیک سقف	۴۰۳	حالت اول
۲۶,۵	ترکیبی	نزدیک سقف	۳۸,۵	حالت دوم
۲۳,۵	جابجایی	نزدیک کف	۱۱۴,۵	حالت سوم
۲۴,۴	جابجایی	نزدیک کف	۱۱۴,۵	حالت چهارم
۲۴,۱	جابجایی	نزدیک کف	۱۱۴,۵	حالت پنجم

با دقت در مقادیر مربوط به نرخ هوای مورد نیاز در جدول (۱) مشاهده می شود میزان هوای مورد نیاز برای تهویه اتاق در حالت اول و سوم بترتیب برابر ۴۰۳ و ۱۱۴,۵ CFM می باشد. اما با مشاهده دمای هوای خروجی در این دو حالت مشاهده می شود که با اینکه میزان هوای تأمین شده در حالت اول نسبت به حالت سوم بیشتر است، دمای هوای خروجی در هر دو حالت تقریباً یکسان است. این بدان معناست که در حالت سوم و بر خلاف حالت اول به جای اینکه هوای گرم واقع در ارتفاعات بالا با هوای ورودی مخلوط و در کل فضای اتاق پخش شود به دلیل جریان هوای جابجایی که از پایین به سمت بالا برقرار شده است از دریچه خروجی خارج می شود. نمودارها و شکل های مربوط به میدان جریان نیز موید این واقعیت هستند[۸] و در مجموع نتایج بیانگر اینست که جریان جابجایی نسبت به جریان اختلاطی توانایی بیشتری برای تهویه فضا دارد.

نتایج مدلسازی های سوله

به منظور بررسی کلی توزیع دما در مدل های مختلف مربوط به سوله، توزیع دما بر روی خطی به مختصات Z = ۳ در ارتفاع ۱/۷ متر از کف سوله در امتداد طول سوله برای هر چهارحالت از مدل های مربوط به سوله بر روی نمودارهای شکل(۹) نمایش داده شده است.

همانطور که از نمودار های شکل (۹) مشاهده می شود متوسط دما در حالت اول در حدود ۲۷ °C می باشد و در حالت دوم این مقدار به حدود ۲۳°C کاهش یافته است. لازم به ذکر است که دبی هوای ورودی در حالت اول و دوم برابر بوده و برابر ۵۳۶۰ CFM می باشد. لذا علیرغم دبی یکسان صرفاً با تغییر محل دریچه های ورودی اختلاف دمای قابل توجه حدود ۴ °C در مرکز سوله و در ارتفاع ۱/۷ متری ایجاد شده است.



شکل ۹: توزیع دما بر روی خطی به مختصات Z= ۳ و ارتفا ع ۱/۷ متر در امتداد طول سوله برای هر چهار حالت از مدل های مربوط به سوله

نمودار مربوط به حالت سوم نمونه یک تهویه نامطلوب را در فضا نمایش می دهد. در این نمودار مقادیر دما تا ۳۵ °C نیز بالا رفته است. یادآوری می شود دبی هوای ورودی در حالت سوم برابر CFM ۱۵۲۵ در نظر گرفته شده بود. همین مقدار دبی نیز برای حالت چهارم استفاده شد با این تفاوت که ابعاد دریچه های ورودی افزایش یافته و سرعت ورود هوا نسبت به حالت سوم کاهش یافته بود. با دقت در نمودار حالت چهارم مشاهده می شود که دما تا اندازه بسیار زیادی کاهش یافته و تقریباً بر نمودار توزیع دمای مربوط به حالت دوم منطبق شده است. امکان انجام جابجایی بهتر و بالارفتن تدریجی لایه های هوا همراه با جذب گرما از دلایل وقوع چنین وضعیتی می باشد.

نکته قابل توجه در بررسی نمودارها این است که با وجود اینکه حالت دوم و حالت چهارم هر دو در رسیدن به شرایط آسایش حرارتی موفق بوده اند اما حالت چهارم با استفاده از فقط ۲۸٪ دبی مورد نیاز حالت دوم، شرایط آسایش حرارتی را در فضای تهویه شونده فراهم کرده است. لذا با صرف هزینه کمتری در تأمین حجم هوا و با صرفه جویی در مصرف انرژی تهویه جابجایی می تواند شرایط آسایش حرارتی را در فضای تهویه شونده فراهم نماید.

جدول(۲) دمای متوسط هوا در دریچه های خروجی در مدل های مربوط به سوله را نشان می دهد. با دقت در اعداد جدول مشاهده می شود که با تغییر محل دریچه های خروجی از ارتفاع ۴,۵ متر نسبت به کف سوله در حالت اول به ارتفاع ۲,۵ متری در حالت دوم، دمای هوای خروجی به میزان ۱ °C افزایش یافته است دلیل این امر وجود فاصله زیاد بین دریچه های ورودی و خروجی و اختلاط کمتر هوای گرم طبقات بالا با هوای ورودی و خروج توده هوای گرم انباشته شده در زیر سقف می باشد. همچنین مشاهده می شود در حالت هایی که از سیستم جریان جابجایی بمنظور تهویه سوله استفاده شده و دریچه های خروجی بر روی سقف واقع شده اند، دمای هوای خروجی از دریچه ها بالاتر می باشد. از آنجایی که دریچه های خروجی در تمامی مدل های سوله در ارتفاعی نسبتاً بالا

Archive of SID

www.SID.ir

نسبت به کف قرار گرفته اند مطالعه دمای هوای خروجی از دریچه ها معیار مناسبی برای بررسی چگونگی گردش هـوا در فـضاهای تهویـه شونده می باشد. بیش از $^{\circ}C$ ۱۰ دمای بـالاتر هـوای خروجـی بـرای حالت های سوم وچهارم در مقایسه با حالـت هـای اول و دوم بیـانگر این واقعیت است که در روش تهویه جابجایی بـه جـای اینکـه هـوای گرم واقع در ارتفاعات بالای سوله با هوای طبقات پایین مخلوط شـود به دلیل جریان هوا از پایین به بالا از خروجـی هـا خـارج مـی شـود. اصولاً جریان جابجایی که از پایین به سمت بالا برقرار می شود عامـل اصلی فراهم شدن شرایط آسایش علیرغم کـاهش نـرخ هـوای ورودی سرد به فضا می باشد.

جدول۲: دمای هوای خروجی و مقدار هوای مورد نیاز در مدل های سوله

دمای هوای خروجی ($^{\circ}C$)	نوع جریان	محل دریچه های ورودی	نرخ هوای مورد نیاز (CFM)	مدل سوله
۲۶،۴	ترکیبی	روی سقف	۵۳۶۰	حالت اول
۲۷،۴	ترکیبی	نزدیک سقف	۵۳۶۰	حالت دوم
۳۹،۵	جابجایی	نزدیک کف	۱۵۲۵	حالت سوم
۳۷،۲	جابجایی	نزدیک کف	۱۵۲۵	حالت چهارم

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

برای بررسی جریان هوا و توزیع دما از دو فضای تهویه شـونده شـامل اتاق و سوله استفاده شـد. هـدف از انتخـاب ایـن دو فـضای متفـاوت مشاهده تأثیر تغییر ابعاد و کاربری فضا در امر تهویه بود.

پنج مدل برای مطالعه گردش هوا و توزیع دما در یک اتـاق بـه ابعـاد ۳×۳×۴ متر و چهار مدل برای سوله ای به ابعـاد ۶/۶۵×۶×۱۲ متـر مورد مطالعه قرار گرفت. در مدلسازی ها بـا تغییـر روش تهویـه و بـا جابجـا نمـودن محـل قرارگیـری دریچـه هـای ورودی و خروجـی، و همچنین تغییر ابعاد دریچه ها، چگونگی توزیع دما و شرایط آسا یش حرارتی مورد مطالعه قرار گرفت. نتـایج متعـددی از مدلـسازی هـای مربوط به اتاق بدست آمد که به بخشی از آن ها در این قسمت اشاره می شود.

در روش تهویه اختلاطی ایجاد شرایط آسایش نیازمند سـرعت هـوای ورودی بالا و همچنین نرخ حجمی هوای بیشتری می باشد چـون در این روش با استفاده از مخلـوط نمـودن اجبـاری هـوا در فـضا سـعی می شود در تمام نقاط فضا دمای میانگین پائین تـری حاصـل شـود. نتایج نشان داد که برای اتاق نمونه با استفاده از روش تهویه اختلاطی کـه در آن دریچـه ورودی نزدیـک یـا روی سـقف باشـد بـه حـدود CFM ۴۰۰ هوای تازه برای رسیدن به شرایط آسایش حرارتـی نیـاز است، درصورتیکه در روش تهویـه جابجـایی کـه در آن دریچـه هـای ورودی نزدیک کف قرار می گیرند با اسـتفاده از حـدود CFM ۱۱۴ هوای تازه شرایط آسایش محقق می شود. همچنین برای سوله نمونه استفاده از روش جابجایی و جانمایی دریچه هـای ورودی نزدیـک بـه کف نیاز به هـوای ورودی را از CFM ۵۳۶۰ در روش اختلاطـی بـه CFM ۱۵۲۵ کاهش داد. لذا مزیت استفاده از این روش، اسـتفاده از حجم بسیار کم هوای تازه برای تهویه فضای مورد نظر در مقایـسه بـا روش اختلاطی می باشد که علاوه بر سایر مزایا باعث صرفه جویی در مصرف انرژی نیز می شود. نتایج مدلسازی ها نـشان داد کـه در روش جابجایی هوای سردی که از پایین وارد فضا می شـود پـس از تبـادل حرارت با محیط و گرم شدن، سبک شده و به آرامـی بـه سـمت بـالا جریان می یابد، بگونه ای که در محل حضور ساکنین دما کمتـر و بـا افزایش ارتفاع دما بیشتر می شود. ضمناً به همین دلیل هوای گرمـی که معمولاً در زیر سقف جمع می شود بدون اختلاط با هوای طبقـات پایین تر از طریق دریچه های خروجی به بیرون فرستاده می شود.

در مدل هایی از اتاق که در آنها پنجره در دیـوار تعبیـه شـده اسـت، تأثیر آن در توزیع دمای اتاق قابل ملاحظه است، بطوریکه دمای اتـاق در محل های نزدیک به پنجره نسبت به دمای نقاط نزدیک بـه سـایر دیواره های اتاق بالاتر است.

حضور فرد در فضا و یا سایر منابع تولیـد حـرارت، نـه تنهـا در بـالاتر رفتن موضعی دما تأثیر گذار است، بلکه بر روی جریان و گـردش هـوا نیز تأثیر دارد، بطوریکه در برخی نواحی حضور بدن فرد یـا هـر گونـه دستگاه بعنوان یک مانع فیزیکی عمل کـرده و جهـت جریـان هـوا را تغییر داده و باعث تغییر در توزیع دما می شود.

مراجع

[1]- Chellin, M., "Visualization of air flow , temperature and concenteration indoors", PHD thesis, Dept. of Technology and Built Environment, Uni. Of Gavle, Sweden, 2006.

[2]- Murakami, SH., "Numerical And Experimental Study on Room Airflow-3D Predictions using the k-ε Turbulence model", Building & Environment, Vol. 24, N0. 1, pp 85-97, 1989.

[3]- Spitler, J.D., Pederson C.O., Fisher D.E., Menne P.F., and Cantillo J. "An Experimental Facility for Investigation of Interior Convective Heat Transfer", ASHRAE Transactions, Vol. 97, Pt. 1, 1991.

[4]- Chow**,** W., "Numerical studies of airflows induced by mechanical ventilation and air conditioning (MVAC) systems", Applied Energy, Vol. 68, pp 135-159, 2001.

[5]- Awbi, H.B., "A study of the air quality in the breathing zone in a room with displacement ventilation", Building and Environment, Vol. 36, pp 809-820, 2001.

[6]- Baskaya, S., Eken E., "Numerical investigation of air flow inside an office room under various ventilation conditions", Journal of Engineering Sciences,Vol. 12, pp 87-95, 2006.

[7]- Kong Q. and Bingfeng Y., "Numerical study on temperature stratification in a room with underfloor air distribution system", Energy and Building.,Vol. 40, pp 495-502, 2008.

[۸]- اسراردل، ب.، مطالعه و مدلسازی سه بعدی جریان هوا و توزیع دما در فضاهای تهویه شونده در تابستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دانشگاه کاشان، ۱۳۸۷.

[۹]- سید مجتبی طباطبایی، محاسبات تاسیسات ساختمان، انتشارات روزبهان، چاپ هشتم،۱۳۸۱.

[10]- Gaspar P. and Pitarama P., "Performance evaluation of CFD codes in building energy and environment analysis", Building Simulation 2003, 8th international IBPSA conference, Holland, Agust 2003.

Archive of SID

www.SID.ir