

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

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

حسین خراسانی زاده^۱، قنبرعلی شیخ زاده^۲، بابک اسراردل^۳

^۱استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان khorasan@kashanu.ac.ir

^۲استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان sheikhz@kashanu.ac.ir

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان b_asrardel@yahoo.com

چکیده

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

در این تحقیق با استفاده از مدل‌سازی عددی تأثیر محل قرارگیری دریچه‌های ورودی و خروجی، اندازه آن‌ها، 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 می‌شوند مورد بررسی قرار گرفته است.

با مطالعه نتایج مشخص شده است که با استفاده از سیستم تهویه جابجایی، که در آن دریچه‌های ورودی هوا به فضا در قسمت‌های پایینی دیوار قرار می‌گیرد، با صرف میزان هوای ورودی کمتری نسبت به سیستم تهویه اختلاطی می‌توان 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 می‌گیرد بدون مخلوط شدن با هوای سرد ورودی از طریق دریچه‌های خروجی خارج می‌شود. بنابر این استفاده از این روش باعث صرفه جویی در مصرف انرژی برای تهیه هوای تهویه می‌شود.

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

دما

مقدمه

نحوه ورود و خروج و جریان هوا در فضاهای بسته ای که در آن‌ها معادل هوایی که وارد می‌شود از طریق خروجی‌ها دور ریز می‌شود به سه روش انجام می‌شود [۱]. در روش جریان پیستونی^۱ هوای ورودی از دریچه‌های واقع در سقف وارد می‌شود و خروجی‌ها 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 می‌شود، جریان

هوا تک جهتی و به سمت کف می‌باشد و لذا توزیع سرعت نسبتاً یکنواخت می‌باشد. در روش جریان اختلاطی^۲ هوا هم می‌تواند از سقف یا از کف و نزدیک آن وارد شود ولی خروجی‌ها همیشه در سقف یا نزدیک آن قرار دارند. در این روش هوای تأمین شده جدید با هوای موجود در فضا مخلوط می‌شود و لذا از نظر دما و غلظت آلودگی‌ها شرایط نسبتاً یکنواختی در فضا ایجاد می‌شود. در روش جریان جابجایی^۳ دمنده‌های هوا در قسمت‌های پایین فضا هوای سرد را به داخل می‌فرستند و خروجی‌ها 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 می‌شود، بگونه‌ای که در قسمت‌های نزدیک به کف (محل حضور ساکنین) دما و آلودگی‌ها کمتر و با افزایش ارتفاع دما و آلودگی‌ها بیشتر می‌شوند. با استفاده از این روش آلاینده‌های محیط توسط لایه‌های گرم شده هوا به سمت سقف رانده می‌شوند و از ناحیه تنفسی افراد دور می‌شوند. از حدود سال ۱۹۷۰ میلادی و خصوصاً در دهه اخیر تحقیقات گسترده‌ای 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 شده‌اند. در سال ۱۹۸۹ میلادی، موراگامی 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 می‌توان به مطابقت قابل قبول میدان سرعت در مدل‌سازی عددی و آزمایش‌ها اشاره نمود ولی در نتایج ارائه شده از بررسی روش‌های 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

ابعاد $۲/۷۴ \times ۲/۷۴ \times ۴/۷۵$ 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 موراگامی [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 ریونگ^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

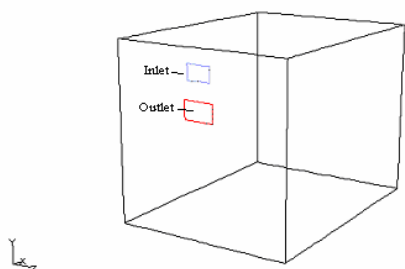
بررسی میدان جریان و توزیع دمای هوا در هر فضا نیازمند حل معادلات بقای جرم، بقای ممنتوم و بقای انرژی در سه بعد می باشد. همچنین فرایند حل باید در بر دارنده مساله اغتشاش نیز باشد. معادلات استفاده شده در مدلسازی های این تحقیق شامل معادله بقای جرم، بقای ممنتوم، معادله انرژی و معادلات اغتشاش برای حالت دائم 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 $۴ \times ۳ \times ۳$ متر و $۱۲ \times ۶ \times ۶/۶۵$ متر می باشند. سقف سوله دارای شیب $۱۲/۲^\circ$ است. مجموعاً ۹ مدل برای بررسی جریان هوا و توزیع دما در این دو فضا مورد استفاده قرار گرفته اند. برای انجام مدلسازی ها از نرم افزارهای

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 ۱۰"×۱۶" 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 ۱۸"×۱۲" 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 مدل سازی، بررسی تأثیر تغییر نرخ هوای ورودی 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 مدل سازی 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.

گمبیت^۷ و فلونت^۷ استفاده شده است. ابتدا هر مدل در نرم افزار گمبیت شبکه بندی شده و سپس در نرم افزار فلونت 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 $1/225 \text{ kg/m}^3$ در نظر گرفته 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 اول 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 40°C و دمای طرح داخل 24°C 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:

- 28°C = دیوار شرقی
- $29/7^\circ\text{C}$ = دیوار جنوبی
- $29/9^\circ\text{C}$ = دیوار غربی
- $28/5^\circ\text{C}$ = دیوار شمالی
- $30/44^\circ\text{C}$ = سقف

همچنین دمای کف ثابت و برابر 23°C در نظر گرفته شده است. دمای هوای ورودی در تمامی حالت ها برابر 20°C در نظر گرفته شده است.

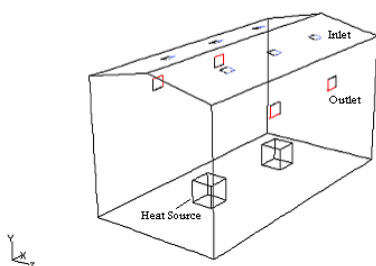
شرح مدل های اتاق

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 مدل سازی از سیستم جریان اختلاطی استفاده شده و تأثیر نزدیک بودن دریچه های ورودی و خروجی به یکدیگر یکی از موارد بررسی بوده است. در شکل (۱)

می باشد. در این تحقیق برای همه مدل های سوله فرض می شود که شار حرارتی ورودی از سقف سوله به داخل فضا برابر 250 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 5360 CFM منظور گردیده است [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 $4/5$ 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 20×14 متر معادل $36 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ و ابعاد ۴ دریچه خروجی برابر 26×20 متر معادل $50 \text{ cm} \times 66 \text{ cm}$ در نظر گرفته شده است [۹]. شکل (۳) نمایی از سوله و محل قرارگیری دریچه های ورودی و خروجی را نشان می دهد.

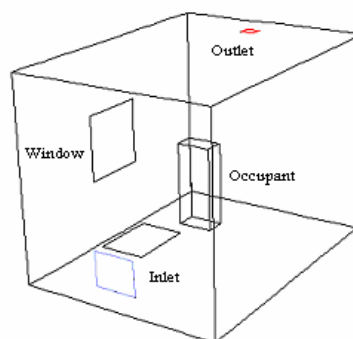


شکل ۳: نمای شماتیک سوله و محل قرارگیری دریچه ها در حالت اول از مدل های سوله

در حالت دوم محل قرارگیری 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 $2/5$ 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 1525 CFM محاسبه گردیده است. در این حالت ۶ عدد دریچه ورودی بر روی دیوار های غربی و شرقی اتاق و به فاصله حدود 30 سانتیمتری از کف به ابعاد $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ منظور شده اند. همچنین ۴ عدد دریچه خروجی هوا به ابعاد $50 \text{ cm} \times 66 \text{ cm}$ بر روی سقف قرار داده شده اند. در این حالت سرعت هوای ورودی به سوله از هر دریچه برابر $1/92 \text{ m/s}$ 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



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

دمای فرد برابر با دمای طبیعی بدن انسان یعنی 37°C در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به محاسبات و شرایط مرزی اعمال شده شار حرارتی ورودی از پنجره 76 w/m^2 در نظر گرفته شده است.

در حالت 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 تأثیر محل دریچه خروجی در نحوه گردش هوا و توزیع دما بوده است.

شرح مدل های سوله

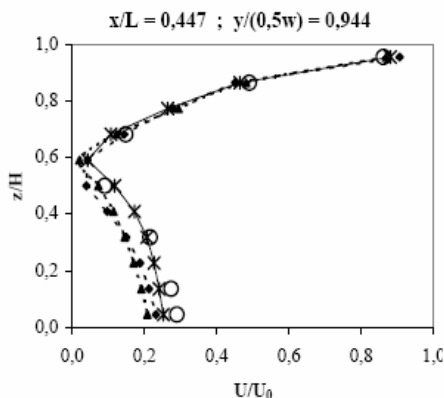
با توجه به اینکه در سوله های صنعتی همیشه یک و یا چند دستگاه در حال فعالیت بوده و باعث تولید حرارت می شوند، در تمامی مدل های مربوط به سوله از دو منبع حرارتی فرضی بصورت دو مکعب به ابعاد واحد بصورت قرینه نسبت به مرکز در سوله قرار داده شده اند. دمای سطوح این منابع تولید حرارت ثابت و برابر 40°C در نظر گرفته 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.

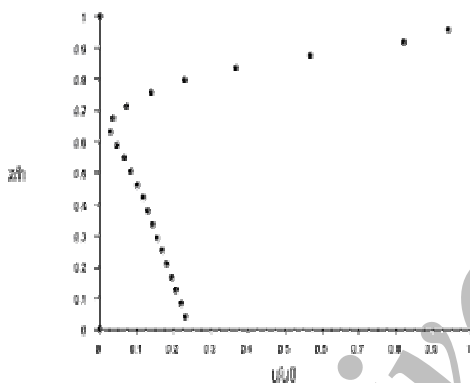
در مدل های مربوط به سوله سرعت خروج هوا از دریچه های ورودی برابر 500 fpm یعنی در حدود $2/54 \text{ m/s}$ و سرعت خروج هوا از دریچه های خروجی برابر 400 fpm در نظر گرفته شده است.

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 1000 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

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 مدل سازی 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 مدل سازی های اتاق

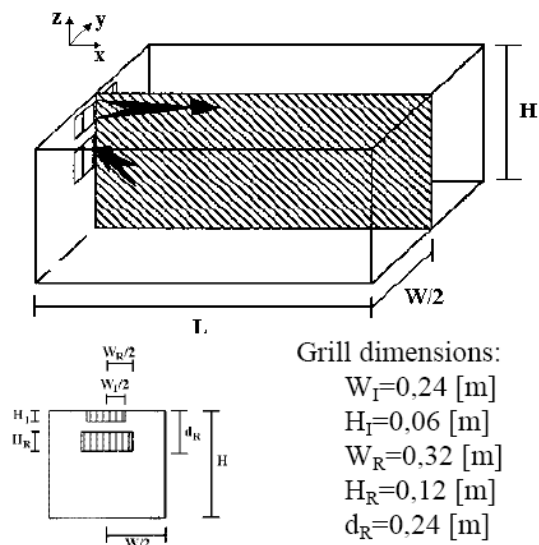
نمودارهای شکل های (۶) و (۷) و (۸) نحوه توزیع دما را در ارتفاع ۱/۵ متری از کف به ترتیب در مقاطع عرضی ۱/۵ و ۰/۵ و ۲/۵ متری نسبت به دیوار غربی برای سه حالت بررسی شده ۱ و ۲ و ۳ را نشان می دهند.

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.

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 مدل سازی سه نرم افزار شبیه سازی کلایما^۱، فلوئنت و فونیکس استفاده نموده اند. مدل مورد نظر شامل یک اتاق به ابعاد ۱/۵۲×۰/۷۲×۰/۶۶ متر است که یک دریچه ورودی و یک دریچه خروجی هوا دارد. هندسه اتاق و همچنین ابعاد و محل قرارگیری 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]

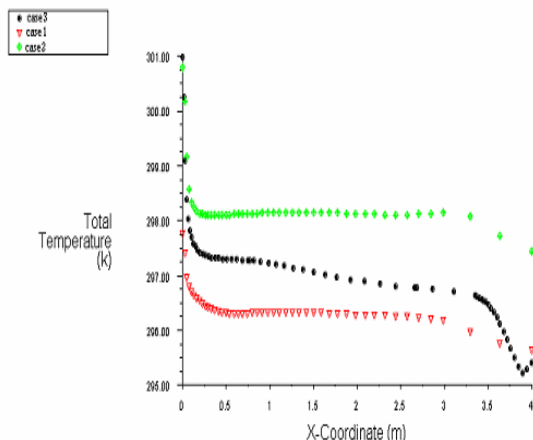
ابتدا مدلی مانند شرایط ذکر شده در منبع [۱۰] در نرم افزار گمبیت تولید شد و برای شبکه بندی از شبکه ساختار یافته^۱ مکعبی استفاده شد. همچنین برای نشان دادن مستقل بودن جواب ها از نوع شبکه بندی، از ۳ نوع شبکه خشن، متوسط و ریز استفاده شد و با مطالعه نتایج شبکه مناسب شامل ۲۵۹۲۰ شبکه انتخاب گردید. برای نمایش 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 علامت x، ♦، ▲ بترتیب بیانگر نتایج بدست آمده توسط

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.

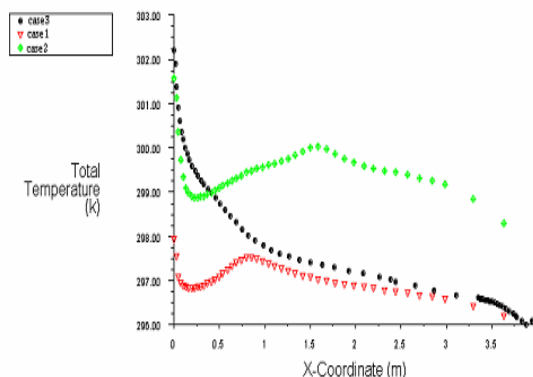
با مطالعه نمودارهای شکل های (۷) و (۸) مشاهده می شود که در فواصل ۰/۵ و ۲/۵ متری از دیوار غربی، توزیع دما در حالت اول و حالت سوم در فاصله ۱ الی ۴ متری تقریباً بر هم منطبق بوده و دما حدود ۲۹۷ K می باشد. اما در بازه یک متر اول طول اتاق نمودار مربوط به حالت سوم دمای بالاتری را نسبت به نمودار حالت اول نشان 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 بالاترفته 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 مقدار 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 فراهم شده است. بدین منظور صرفاً محل دریچه ورودی هوا تغییر یافته و علیرغم کاهش سرعت هوای ورودی نتیجه دلخواه عاید شده است.

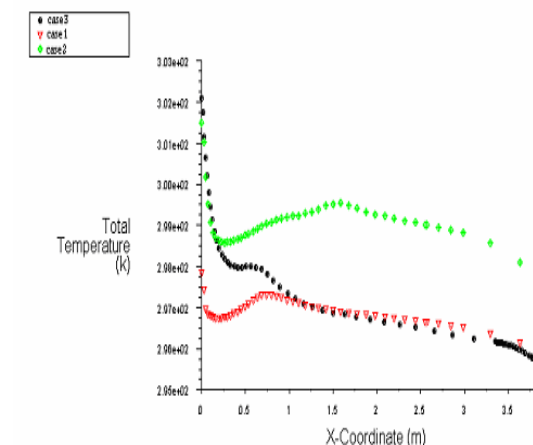
در چهارمین حالت از مدل های مربوط به اتاق از سیستم تهویه جابجایی بکار رفته در حالت سوم بهره گرفته شده است با این تفاوت که در این حالت یک پنجره در دیوار غربی و یک فرد به عنوان منبع تولید حرارت در نظر گرفته شده است. در واقع حالت چهارم، برای بررسی تأثیر وجود پنجره و منبع حرارتی در گردش هوا و توزیع دما در 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



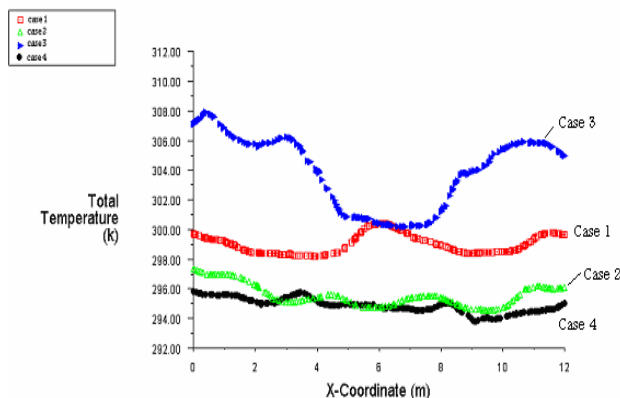
شکل ۶: نحوه توزیع دما در ارتفاع ۱/۵ متری از کف و در مقطع عرضی ۱/۵ متر در حالات اول و دوم و سوم از مدل های اتاق



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



شکل ۹: توزیع دما بر روی خطی به مختصات $Z=3$ و ارتفاع $1/7$ 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 35°C نیز بالا رفته است. یادآوری می شود دبی هوای ورودی در حالت سوم برابر CFM 1525 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 مطبوع 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 28% 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 4.5 متر نسبت به کف سوله در حالت اول به ارتفاع 2.5 متری در حالت دوم، دمای هوای خروجی به میزان 1°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

اختلاف دما بیشتر مربوط به نقاطی است که در ارتفاع $1/5$ 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

مدل اتاق	نرخ هوای مورد نیاز (CFM)	محل دریچه ورودی	نوع جریان	دمای هوای خروجی ($^{\circ}\text{C}$)
حالت اول	۴۰۳	نزدیک سقف	ترکیبی	۲۳.۷
حالت دوم	۳۸.۵	نزدیک سقف	ترکیبی	۲۶.۵
حالت سوم	۱۱۴.۵	نزدیک کف	جابجایی	۲۳.۵
حالت چهارم	۱۱۴.۵	نزدیک کف	جابجایی	۲۴.۴
حالت پنجم	۱۱۴.۵	نزدیک کف	جابجایی	۲۴.۱

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 403 و 114.5 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 مدل سازی های سوله

به منظور بررسی کلی توزیع دما در مدل های مختلف مربوط به سوله، توزیع دما بر روی خطی به مختصات $Z=3$ در ارتفاع $1/7$ متر از کف سوله در امتداد طول سوله برای هر چهار حالت 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 27°C می باشد و در حالت دوم این مقدار به حدود 23°C کاهش یافته است. لازم به ذکر است که دبی هوای ورودی در حالت اول و دوم برابر بوده و برابر 5360 CFM می باشد. لذا علیرغم دبی یکسان صرفاً با تغییر محل دریچه های ورودی اختلاف دمای قابل توجه حدود 4°C در مرکز سوله و در ارتفاع $1/7$ متری ایجاد شده است.

نسبت به کف قرار گرفته اند مطالعه دمای هوای خروجی از دریچه ها معیار مناسبی برای بررسی چگونگی گردش هوا در فضاهای تهویه شونده می باشد. بیش از 10°C دمای بالاتر هوای خروجی برای حالت های سوم و چهارم در مقایسه با حالت های اول و دوم بیانگر این واقعیت است که در روش تهویه جابجایی به جای اینکه هوای گرم واقع در ارتفاعات بالای سوله با هوای طبقات پایین مخلوط شود به دلیل جریان هوا از پایین به بالا از خروجی ها خارج می شود. اصولاً جریان جابجایی که از پایین به سمت بالا برقرار می شود عامل اصلی فراهم شدن شرایط آسایش علیرغم کاهش نرخ هوای ورودی سرد به فضا می باشد.

جدول ۲: دمای هوای خروجی و مقدار هوای مورد نیاز در مدل های سوله

دمای هوای خروجی ($^{\circ}\text{C}$)	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

حجم بسیار کم هوای تازه برای تهویه فضای مورد نظر در مقایسه با روش اختلاطی می باشد که علاوه بر سایر مزایا باعث صرفه جویی در مصرف انرژی نیز می شود. نتایج مدلسازی ها نشان داد که در روش جابجایی هوای سردی که از پایین وارد فضا می شود پس از تبادل حرارت با محیط و گرم شدن، سبک شده و به آرامی به سمت بالا جریان می یابد، بگونه ای که در محل حضور ساکنین دما کمتر و با افزایش ارتفاع دما بیشتر می شود. ضمناً به همین دلیل هوای گرمی که معمولاً در زیر سقف جمع می شود بدون اختلاط با هوای طبقات پایین تر از طریق دریچه های خروجی به بیرون فرستاده می شود.

در مدل هایی از اتاق که در آنها پنجره در دیوار تعبیه شده است، تأثیر آن در توزیع دمای اتاق قابل ملاحظه است، بطوریکه دمای اتاق در محل های نزدیک به پنجره نسبت به دمای نقاط نزدیک به سایر دیواره های اتاق بالاتر است.

حضور فرد در فضا و یا سایر منابع تولید حرارت، نه تنها در بالاتر رفتن موضعی دما تأثیر گذار است، بلکه بر روی جریان و گردش هوا نیز تأثیر دارد، بطوریکه در برخی نواحی حضور بدن فرد یا هر گونه دستگاه بعنوان یک مانع فیزیکی عمل کرده و جهت جریان هوا را تغییر داده و باعث تغییر در توزیع دما می شود.

مراجع

- [1]- Chellin, M., "Visualization of air flow, temperature and concentration 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, NO. 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]- اسرار دل، ب.، مطالعه و مدلسازی سه بعدی جریان هوا و توزیع دما در فضاهای تهویه شونده در تابستان، پایان نامه 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, August 2003.

نتیجه گیری و جمع بندی

برای بررسی جریان هوا و توزیع دما از دو فضای تهویه شونده شامل اتاق و سوله استفاده شد. هدف از انتخاب این دو فضای متفاوت مشاهده تأثیر تغییر ابعاد و کاربری فضا در امر تهویه بود.

پنج مدل برای مطالعه گردش هوا و توزیع دما در یک اتاق به ابعاد $4 \times 3 \times 3$ متر و چهار مدل برای سوله ای به ابعاد $12 \times 6 \times 65$ متر مورد مطالعه قرار گرفت. در مدلسازی ها با تغییر روش تهویه و با جابجا نمودن محل قرارگیری دریچه های ورودی و خروجی، و همچنین تغییر ابعاد دریچه ها، چگونگی توزیع دما و شرایط آسایش حرارتی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج متعددی از مدلسازی های 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 سرعت هوای ورودی بالا و همچنین نرخ حجمی هوای بیشتری می باشد چون در این روش با استفاده از مخلوط نمودن اجباری هوا در فضا سعی می شود در تمام نقاط فضا دمای میانگین پائین تری حاصل شود. نتایج نشان داد که برای اتاق نمونه با استفاده از روش تهویه اختلاطی که در آن دریچه ورودی نزدیک یا روی سقف باشد به حدود 400 CFM هوای تازه برای رسیدن به شرایط آسایش حرارتی نیاز است، در صورتیکه در روش تهویه جابجایی که در آن دریچه های ورودی نزدیک کف قرار می گیرند با استفاده از حدود 114 CFM هوای تازه شرایط آسایش محقق می شود. همچنین برای سوله نمونه استفاده از روش جابجایی و جانمایی دریچه های ورودی نزدیک به کف نیاز به هوای ورودی را از 5360 CFM در روش اختلاطی به 1525 CFM کاهش داد. لذا مزیت استفاده از این روش، استفاده از

SID



سرویس های
ویژه



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



عضویت در
خبرنامه



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی