

تأثیر عمق فضا در بهبود تهويه طبیعی با تمرکز بر عملکرد دودکش خورشیدی

حمید اسکندری*، علی اکبر حیدری**، مليحه تقی پور***، ندا قهرمان ایزدی****، الهام منصوریان*****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۵/۲۸

چکیده

مباحث مریوط به معماری پایدار از مهمترین جریان‌های معماري معاصر به حساب می‌آيند. بخش قابل توجهی از مصرف انرژی کشور در ساختمان‌های مسکونی برای فراهم آوردن آسایش حرارتی مصرف می‌شود. از جمله مواردی که در تامین آسایش ساکنان نقش بسزایی ایفا می‌کند بحث تهويه و چگونگی جريان هوا می‌باشد. يکی از روش‌های تهويه غيرفعال، استفاده از دودکش خورشیدی است که با کمک انرژی تجدیدپذیر خورشید و با به کارگیری پدیده اثر دودکشی در یک کانال هوا، تهويه موردنیاز فضاهای مجاور خود را فراهم می‌کند. لذا تحقیق حاضر با هدف ارائه راهکاری ساده و اجرایی، به صورت مداخله در وضع موجود معماري انجام گرفته است. روش انجام این تحقیق با توجه به ماهیت میان رشته‌ای آن، یک روش ترکیبی است. ابتدا از مطالعات کتابخانه‌ای برای مبانی پژوهش یاری گرفته شده است. با استفاده از یک راهبرد تجربی، متغیرهای مستقل تائیر گذار و متغیر وابسته مشخص گردید و به دلیل عدم دسترسی به نمونه‌های مختلف اجرا شده، شبیه سازی کامپیوترا به عنوان روش جایگزین برای مطالعات میدانی انتخاب شده است. شبیه سازی در این پژوهش با روش دینامیک سیال محاسباتی صورت پذیرفت. برای این امر ابتدا روایی و پایایی شبیه سازی‌ها از طریق تطبیق با شواهد تجربی و آزمایشگاهی در مقاله‌ای مشابه به اثبات رسید که نتایج این بخش با ۴٪ خطای مورد پذیرش واقع شد. این موضوع حاکی از دقت مناسب روش استفاده شده و شبکه بندی بود. سپس اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها و متعاقباً مداخله در معماري از طریق شبیه سازی شد. در این پژوهش با انتخاب ۶ گونه‌ی مختلف اتاق به لحاظ ابعاد، تهويه طبیعی و تحلیل رفتار جريان هوا با در نظر گرفتن عملکرد همزمان دودکش همزن موردنی ۲۰۱۸ مورد مختلف (۰/۹ متر برای فرد نشسته و ۱/۵ متر برای فرد ایستاده) از طریق شبیه سازی و با استفاده از نرم افزار اتودسک سی اف دی در دو ارتفاع تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد که سرعت تهويه ارتباط مستقیمی با عمق اتاق دارد. بهینه ترین ابعاد اتاق در راستای تهويه اتاق ۳×۴ و ۳×۵ می‌باشد. همچنین در ارتفاع ایستاده حداقل سرعت تهويه در قسمت انتهایی فضاهای دیده می‌شود و در ارتفاع نشسته به جز قسمت ابتدایی و انتهایی اتاق کمترین میزان سرعت در محدوده یک سوم انتهای اتاق می‌باشد.

وازگان کلیدی

تهويه، جريان هوا، عمق موثر، دینامیک سیالات محاسباتی، دودکش خورشیدی

- * دکتری معماری، عضو هیئت علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران (نویسنده مسئول)
- ** دکتری معماری، عضو هیئت علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
- *** دکتری معماری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
- **** پژوهشگر دکتری معماری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
- ***** کارشناس ارشد معماری، گروه معماری، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

مقدمه

در حدود یک سوم از کل مصرف انرژی در کشورهای توسعه یافته در بخش مسکن و ساختمان خلاصه می‌شود، این در حالیست که تأمین سرمایش، گرمایش و تهویه هوای داخل فضاهای مسکونی و اداری بخش قابل توجهی از این مقدار انرژی را به خود اختصاص داده است (مدیریت انرژی، ۱۹۹۷). تهویه طبیعی، استراتژی مهمی در طراحی پایدار ساختمان است که قرن‌ها مورد استفاده بشر بوده و به علت مزایای بالقوه‌اش بر سیستم‌های تهویه‌ی مکانیکی از نظر انرژی مورد نیاز و منافع اقتصادی و زیست محیطی‌اش، توجه فزاینده‌ای به خود جلب کرده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تهویه‌ی طبیعی، به عنوان وسیله‌ای برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و فراهم آوردن هوای با کیفیت و آسایش کافی برای ساکنان داخل ساختمان‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در میان سیستم‌های تهویه‌ی طبیعی خورشیدی می‌توان به دودکش‌های خورشیدی اشاره کرد که کارآی آن در مناطق گرم و مرطوب برای انجام عمل تهویه هوای داخل ساختمان‌ها و نیز کاهش دما و رطوبت هوا در ایجاد شرایطی مطبوع بیشتر می‌باشد (Khosravi et al, 2019). اهمیت استفاده از سیستم‌های تهویه‌ی طبیعی در مباحث چهاردهم و نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران منعکس شده است. برای مثال، بند ۱۴-۳-۴ مقررات ملی ساختمان بیان می‌دارد: در هر قسمت از فضاهای ساختمان که در اشغال و تصرف انسان باشد و تعویض هوای مورد نیاز با تهویه‌ی طبیعی ممکن باشد، تعویض هوای (تهویه) طبیعی باید پیش‌بینی شود و تعویض هوای مکانیکی لازم نیست. سامانه‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌ها به عنوان راهکار و سرآغازی برای بهبود شاخصه‌های رفاهی و کنترل گرما در فضاهای داخلی به شمار می‌رود و مفهومی گسترده‌را در بر می‌گیرد (فرزانم شاد، ۱۳۸۸). هدف از استفاده سامانه‌های تهویه مطبوع ارائه سطح قابل قبولی از آسایش برای افراد ساکن و تابع فرآیند، جهت حفظ کیفیت مناسب هوای داخل ساختمان و به حداقل رساندن هزینه‌های سامانه و انرژی مورد نیاز است. تقریباً همه‌ی مطالعات دودکش خورشیدی با هدف یافتن راهکارهای طراحی بهینه برای بهبود تهویه‌ی طبیعی و با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف طراحی انجام می‌شود. در میان بسیاری از پارامترهای گزارش شده در مقالات مشخص شد که نسبت منظری دودکش (ارتفاع دودکش به عرض شکاف هوا)، ارتفاع تهویه (ارتفاع میان دهانه‌های ورودی و خروجی)، مساحت دهانه‌ها، مشخصات گرمایی ماده‌ی جذبende و زاویه‌ی دودکش بر عملکرد تهویه بیشترین تأثیر را دارند. این پژوهش درصد است تا برخلاف سایر تحقیقات انجام شده با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای مربوط به دودکش خورشیدی به بررسی عمق موثر فضا و تأثیر آن بر بهبود تهویه پپردازد. این پژوهش با انگیزه‌ی توجه به ابعاد فضا، یافتن قابلیت‌های نهفته در فضایی معماری در افزایش اثرات تهویه و از سوی دیگر توجه به جایگاه مهم ابعاد در شکل‌گیری بخش اعظمی از کیفیت محیطی و آسایش حرارتی در زندگی افراد شکل گرفته است. برای انجام تحقیق از یک مدل پایه به عنوان نمونه مورد مطالعه استفاده شده و با استفاده تحلیل نرم‌افزاری عمق افقی به عنوان متغیرهای مستقل مطرح گردیده و به اندازه‌گیری داده‌های مربوط به سرعت جریان هوا به عنوان متغیر وابسته پرداخته است. در نهایت اطلاعات گردآوری شده مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصل از آن ارائه شده است. در این نوشتار چهارچوب کلی پژوهش در راستای رسیدن به اهداف زیر سازمان یافته است: هدف اصلی پژوهش بررسی رابطه‌ی بین عمق فضا و تأثیر متقابل آن بر تهویه و جریان هوا می‌باشد. بر این اساس مواردی چون توجه به عمق فضا در بنایها و لزوم بررسی آن در آسایش حرارتی؛ توجه و شناخت قواعد مستتر در معماری برای افزایش جریان هوا و یافتن زمینه‌ها و شرایط افزایش دهنده آسایش محیطی با توجه به طراحی از جمله موارد قابل توجه در این پژوهش به شمار می‌رond.

پیشینه‌ی تحقیق

کاربردهای دودکش خورشیدی، محققان زیادی را به خود جلب کرده تا پارامترهایی را که تأثیر قابل توجهی بر عملکرد آن دارند، کشف کنند. محققان بسیاری در مورد کاربرد دودکش‌های خورشیدی به اشکال گوناگون در بهبود تهویه‌ی طبیعی، به صورت نظری، عددی و مشاهداتی تحقیق کرده‌اند. روش‌های تحقیق شامل اندازه‌گیری آزمایشگاهی کمیت‌هایی مثل دما و الگوهای جایه‌جایی هوا با استفاده از تکنیک‌های متفاوت و شبیه‌سازی رایانه‌ای با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و مطالعات تجربی است. اولین مطالعه بر روی دودکش‌های خورشیدی در سال ۱۹۹۳ توسط بنسل و همکارانش انجام شد. آن‌ها به کمک یک مدل ریاضی، افزایش تهویه را در صورت استفاده از دودکش خورشیدی و طراحی صحیح سیستم اثبات کردند (Bnsal et al, 1994). آفونسو و الیویرا، با مقایسه بین دودکش خورشیدی و دودکش عمومی، تأثیر انرژی خورشید را بر افزایش تهویه تایید کردند و نشان دادند که دودکش خورشیدی به طور موثری تهویه را بهبود می‌بخشد. همچنین ثابت کردند که افزایش جرم حرارتی، تهویه را در طول روز کاهش می‌دهد اما باعث افزایش تهویه در طول شب می‌شود (Afonso & Oliveira, 2000). بوچیر، عرض بهینه حفره هوا را در یک دودکش خورشیدی بررسی کرد و نشان داد که در الجزایر عرض بهینه ۱۰/۱۰

است که H ارتفاع دودکش است (Buchair, 1994). چاروت و همکارانش نشان دادند که با افزودن جرم حرارتی، سرعت هوا و در نتیجه قدرت تهويه، در ساعت شب افزایش می یابد. همچنین استفاده از دودکش خورشیدی در طول روز باعث ۲۵٪ افزایش سرعت هوا می شود (Emmerich et al, 2001). فونیاسومپن و همکارانش، عملکرد دودکش خورشیدی را در یک ساختمان چند طبقه در شهر بانکوک به صورت آزمایشی و عددی بررسی کردند. آنها دو مدل کوچک از یک ساختمان سه طبقه را ارائه دادند و دودکش خورشیدی را در حالتی که برای هر طبقه به صورت مجزا عمل کند با حالتی که بین هر سه طبقه به صورت مشترک باشد مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در صورتی که دودکش خورشیدی به تمام طبقات متصل باشد و برای همه طبقات یک دودکش سراسری در نظر گرفته شود، عملکرد بهتری دارد (Punyasompun et al, 2009). خداری و همکارانش نیز انواع مختلف دودکش های خورشیدی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دودکش های خورشیدی به طور موثری در تولید جریان هوا موثرند. عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان های اداری با تهويه مطبوع نیز توسط آزمایش مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که مصرف روزانه الکتریسته دستگاه های تهويه با استفاده از دودکش خورشیدی کاهش می یابد (Khedari et al, 2000). سوداپورن و بوندیت به صورت آزمایشی تأثیر دودکش خورشیدی را بر افزایش تهويه هوا داخل، در حالتی که فضای اصلی به بام مرتبط متصل باشد و در حالتی که به بام متصل نباشد، بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دودکش خارجی بسته به دمای محیط و میزان تابش خورشیدی، می تواند دمای داخل را $1\text{ تا }3/5$ درجه کاهش دهد (Sudaporn & Bundit, 2009). راکش و چنگ وانگ با بررسی عددی جریان هوا در دودکش خورشیدی نشان دادند که نرخ کلی جریان جرمی هوا در یک دودکش خورشیدی با دیوار عمودی، به شدت تحت تأثیر جریان معکوس و دمای هوا در خروجی کانال است (Rakesh & Chengwang, 2012). میازاکی و همکارانش به بررسی عملکرد یک دودکش خورشیدی در یک ساختمان اداری تحت اقلیم توکیو ژاپن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به تهويه طبیعی در حدود ۵۰٪ بود (Miyazaki et al, 2006). لانگ شی و همکاران به تعیین عوامل مؤثر بر عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان ها پرداخته اند (Long Shi et al, 2018). حسین ال کایما و همکاران تجزیه و تحلیل تجربی و عددی از تأثیر تنظیمات ورودی بر عملکرد یک دودکش خورشیدی بالای سقف را مد نظر قرار داده اند (Al-Kayiema et al, 2018). محمد عبدالعزیز حسین و همکاران تأثیر پارامترهای هندسی و عملیاتی و مواد پوشش جایگزین بیرونی بر عملکرد دودکش خورشیدی مورد استفاده برای تهويه طبیعی را مورد پژوهش قرار داده اند . تابش خورشیدی حادثه ، سرعت باد ، دمای محیط و ابعاد ارتفاع ، شکاف و عرض دودکش خورشیدی مورد توجه قرار گرفته است (M.A. Hosien S.M. Selim, 2016). محمد جواد مهدوی نژاد و همکاران ترکیبی از بادگیر و دودکش برای ساختمان های معماری با هدف بهینه سازی انرژی مورد کاوش قرار داده اند (Mahdavinejad and Khazforoosh, 2014). در پژوهش های فارسی پیله چی ها و زرین مهر به بررسی دودکش خورشیدی و عملکرد آن در تهويه ساختمان پرداخته اند (پیله چی ها، زرین مهر، ۱۳۹۵). فخاری و حیدری تأثیر به کارگیری دودکش خورشیدی بر تهويه فضاهای متصل به آن در اقلیم گرم و خشک را مورد کاوش قرار داده اند (فخاری، حیدری، ۱۳۹۲) و در موردی مشابه نیز عوامل موثر بر کارایی دودکش را مورد بررسی قرار داده اند (فخاری، حیدری، ۱۳۹۲).

جدول ۱- پیشینه تحقیق

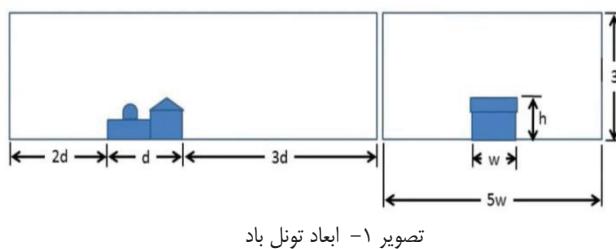
نام نویسنده	سال	عنوان	هدف
Bnsal et al	۱۹۹۴	A study of solar chimney assisted wind tower system for natural ventilation in building, Building and Environment,	افزایش تهويه را در صورت استفاده از دودکش خورشیدی و طراحی صحیح سیستم
Buchair	۱۹۹۴	Solar chimney for promoting cooling ventilation in southern Algeria	بررسی عرض بهینه حفره هوا را در یک دودکش خورشیدی
Afonso and Oliveira	۲۰۰۰	Solar chimney: simulation and experiment, Energy and Building	مقایسه بین دودکش خورشیدی و دودکش معمولی، تأثیر انرژی خورشید را بر افزایش تهويه
Khedari et al	۲۰۰۰	ventilation impact of a solar chimney on indoor temperature fluctuation and air change in a school building,	بررسی عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان های اداری با تهويه مطبوع
Charvat et al	۲۰۰۴	Solar chimney for ventilation and passive cooling	افزایش سرعت هوا با استفاده از دودکش خورشیدی
Miyazaki et al	۲۰۰۶	The effects of solar chimney on thermal load mitigation of office building under the Japanese climate	بررسی عملکرد یک دودکش خورشیدی در یک ساختمان اداری

نام نویسنده	سال	عنوان	هدف
Punyasompun et al	۲۰۰۹	Investigation on the application of solar chimney for multi-story building, Renewable Energy	بررسی عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان‌های چند طبقه
Sudaporn & Bundit	۲۰۰۹	Utilization of cool ceiling with roof Solar chimney in Thailand: The experimental and numerical analysis, Renewable Energy	تأثیر دودکش خورشیدی را بر افزایش تهویه هوای داخل
Rakesh et al	۲۰۱۲	Flow reversal effects on buoyancy induced air flow in a solar chimney.	بررسی عددی جریان هوای در دودکش خورشیدی با دیوار عمودی
Mahdavinejad and Khazforoosh	۲۰۱۴	Combination of Wind Catcher and Chimney for More Energy Efficient Architectural Buildings,	ترکیب بادگیر و دودکش برای ساختمان‌های معماری با هدف بهینه‌سازی انرژی
Koronaki	۲۰۱۵	The impact of configuration and orientation of solar thermosyphonic system on night ventilation and fan energy saving, Energy and Building	بررسی سه دودکش خورشیدی متداول با کاتال متصصل به دیوار جاذب
Shi et al	۲۰۱۸	Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings	تعیین عوامل مؤثر بر عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان‌ها
Al-Kayiem et al	۲۰۱۸	Experimental and numerical analysis of the influence of inlet configuration on the performance of a roof top solar chimney	تجزیه و تحلیل تجربی و عددی از تأثیر تنظیمات ورودی بر عملکرد یک دودکش خورشیدی
Shi	۲۰۱۸	Interaction effect of room opening and air inlet on solar chimney performance	اثر متقابل باز شدن اتاق و ورودی هوای بر عملکرد دودکش خورشیدی
Khosravi	۲۰۱۹	Improved application of a solar chimney concept in a two-story building: An enhanced geometry through a numerical approach	استفاده بهتر از مفهوم دودکش خورشیدی در یک ساختمان دو طبقه: هندسه پیشرفته از طریق یک روش عددی
پیله چی‌ها، زرین مهر	۱۳۹۵	عملکرد دودکش خورشیدی و تأثیر آن در تهویه مطبوع ساختمان‌های معاصر	بررسی دودکش خورشیدی و عملکرد آن در تهویه ساختمان
فخاری و حیدری	۱۳۹۲	بهینه‌سازی دودکش خورشیدی و بررسی اثر آن بر تهویه ساختمان	تأثیر به کارگیری دودکش خورشیدی بر تهویه فضاهای متصصل به آن در اقلیم گرم و خشک
فخار و دیگران	۱۳۹۲	عوامل موثر بر تهویه غیرفعال دودکش خورشیدی	بررسی عوامل موثر بر کارایی دودکش
شماسایی و همکاران	۱۳۹۰	مدل سازی عددی جریان هوای در دودکش خورشیدی	ترکیب دودکش خورشیدی و بادگیر

روش تحقیق

به منظور پاسخگویی به سوالات تحقیق، در هر مرحله از روند پیشبرد مطالعات، روش‌ها و ابزارهای مختلف تحقیق، همچون مطالعات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی رایانه‌ای مصرف انرژی با نرم افزار Autodesk CFD به کار گرفته شد. روش تحقیق به کار رفته در این مقاله شامل دو بخش کیفی و کمی است. در این پژوهش، با فرض بر این موضوع که عمق فضا بر میزان تهویه تأثیرگذار می‌باشد، عمق به عنوان متغیر مستقل و میزان جریان هوای به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. در این پژوهش در مرحله اول، جمع آوری اطلاعات از طریق مراجعه به منابع مکتوب و کتابخانه‌ای، و در مرحله دوم از آنجا که شبیه‌سازی رایانه‌ای، محیطی مجازی به منظور بررسی رفتار حرارتی اجزای ساختمان فراهم می‌آورد، تحلیل اطلاعات از طریق نرم‌افزار Autodesk CFD است. داده‌های آب و هوایی وارد شده به نرم‌افزار بر اساس داده‌های آب و هوایی برگرفته از سایت رسمی cableizer.com می‌باشد. نرم‌افزارهای دینامیک سیال محاسباتی برای پیش‌بینی جریان و حرکت هوای پاسخ دمای برای مدل آزمایشگاهی استفاده می‌شوند، این نرم‌افزار یکی از برنامه‌های رایانه‌ای است که به علت قدرت، دقیقت و سادگی استفاده از آن، برای شبیه‌سازی مهندسی جریان سیال استفاده می‌شود. در این پژوهش، از نسخه ۲۰۱۸ این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی مدلی با خصوصیات زیر استفاده شده است. مهم‌ترین پرسشی که ممکن است درباره به کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی در طراحی

ساختمان به ذهن خطور نماید، اعتبارسنجی و دقت این نرم افزارها در محاسبات در مقایسه با میزان واقعی آن است. بدین منظور روند اعتبارسنجی مدل در نرم افزار CFD Autodesk با استفاده از داده برداری تجربی استفاده شده است. از این رو برای انجام اعتبارسنجی از مقاله‌ای کمک گرفته شده است که عملکرد دودکش خورشیدی را در قالب کار آزمایشگاهی و به صورت واقعی در شهر اسکندریه مصر مورد بررسی قرار داده و نتایج سرعت هوا را اعلام کرده است. و مدل استفاده شده در مقاله مذکور در نرم افزار CFD Autodesk شبیه سازی گردید و نتایج شبیه سازی مورد مقایسه قرار گرفته است. برای برداشت آزمایشگاهی در شهر اسکندریه مصر اتفاقی یک طبقه به طول ۳ متر، عرض ۰/۲۸ متر و ارتفاع ۳ متر در نظر گرفته شده است. روی سقف اتفاق دودکش خورشیدی ای با ارتفاع ۱۸۵ متر، عرض ۱ متر، با فاصله‌ی هوایی ۰/۲۸ متر و زاویه‌ی ۷۵ درجه قرار گرفته است. شدت تابش بر دودکش خورشیدی مفروض 886 W/m^2 می‌باشد. برای اعتبارسنجی مشخصات همین اتفاق در نرم افزار شبیه سازی گردید و بعد از صحبت اعتبارسنجی متغیرهای این پژوهش در قالب اندازه‌های مختلف در عرض اتفاق مورد بررسی قرار گرفته است. بدین صورت که اتفاقی یک طبقه به طول ۳ متر، عرض ۳ متر و ارتفاع ۳ متر در نرم افزار شبیه سازی شده است که عرض اتفاق به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده و ۶ الگوی متفاوت عرض با طول هایی با ابعاد ۴، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ متر نیز مورد بررسی قرار گرفته اند تا اثر آن‌ها بر جریان هوا به عنوان متغیر وابسته ارزیابی گردد. روی سقف هر اتفاق دودکش خورشیدی ای مطابق با اطلاعات مقاله مذکور با ارتفاع ۱/۸۵ متر، عرض ۱ متر، با فاصله‌ی هوایی ۰/۲۸ متر و زاویه‌ی ۷۵ درجه قرار گرفته است. شدت تابش بر دودکش خورشیدی مفروض 886 W/m^2 می‌باشد. این اتفاق درون یک توپل باد در نظر گرفته شده است که ابعاد آن در تصویر شماره ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

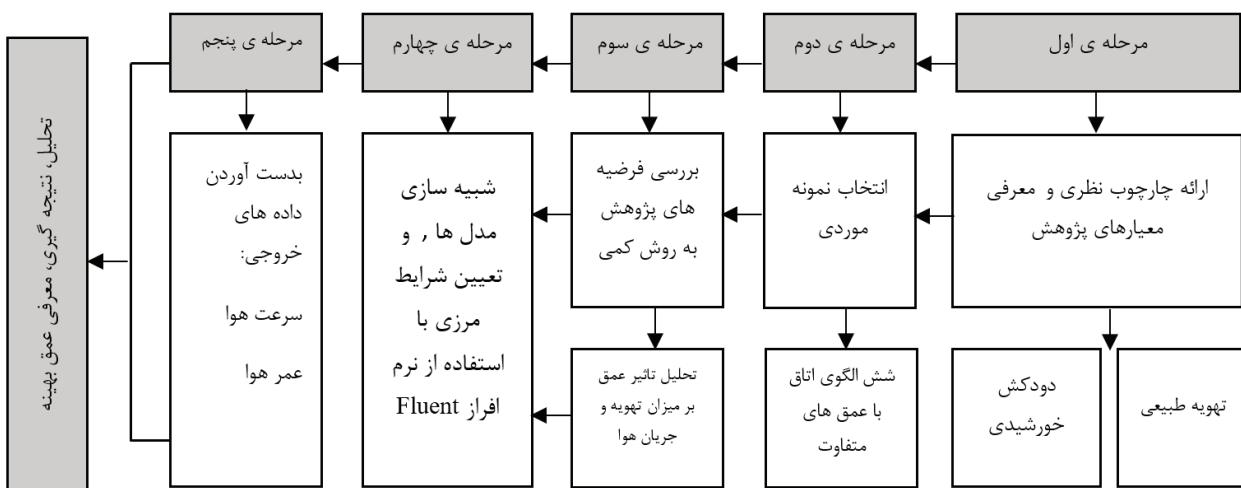


تصویر ۱ - ابعاد توپل باد

راه ورودی هوا از طریق پنجره‌ای هم عرض دودکش، یعنی به ابعاد ۱ متر در ۱ متر تأمین شده است. در فرآیند ورودی داده‌های اولیه و شرایط مرزی استفاده شده برای شبیه سازی، فرضیاتی در نظر گرفته شده است که حتی الامکان به شرایط واقعی نزدیک باشد. در این مسئله، شرایط خارجی سرعت باد و دما می‌باشند. سیال جریان با توجه به سرعت ورودی ۱ متر بر ثانیه غیرقابل تراکم است و دمای هوا ۳۷ درجه تنظیم شده است. و خروجی‌های سرعت و عمر هوا در دو ارتفاع مختلف (۰/۹۰ متر برای فرد نشسته و ۱/۵ متر برای فرد ایستاده) در نظر گرفته شده است. در نهایت نتایج هم به صورت عددی و هم گرافیکی (کانتور) قابل ارائه هستند. در جدول شماره‌ی ۲ مواردی که در شبیه سازی یکسان در نظر گرفته شده‌اند نشان داده شده است.

جدول ۲ - تنظیمات مورد استفاده در شبیه سازی

مساحت و اندازه پنجره ورودی هوا	شرایط مرزی	شرایط مرزی دودکش	اندازه و مساحت دودکش	تعداد طبقات	طول اتفاق	ارتفاع اتفاق
- سرعت ورود باد در تونل باد: ۱ متر بر ثانیه	- سرعت ورود باد در تونل باد: ۱ متر بر ثانیه	- سرعت ورود باد در تونل باد: ۱ متر بر ثانیه	۴ میلی متر شبیه ۲۸۰ میلی متر بر ثانیه	۱ میلی متر سطح جاذب ۱ میلی متر فاصله هوا	۱ متر	۳ متر



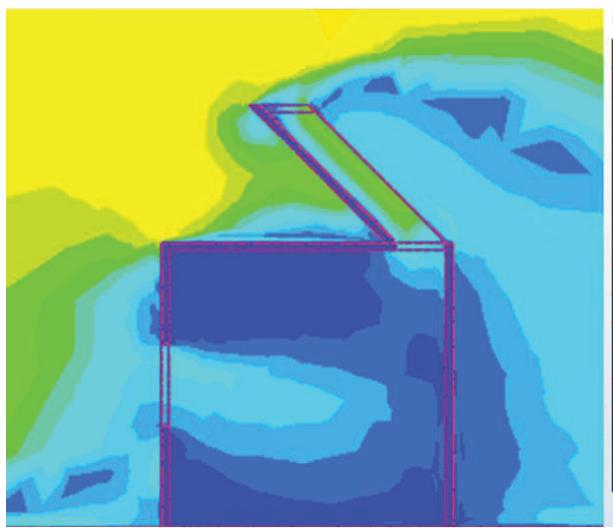
تصویر ۲- فرایند انجام پژوهش

اعتبار سنجی نرم افزار

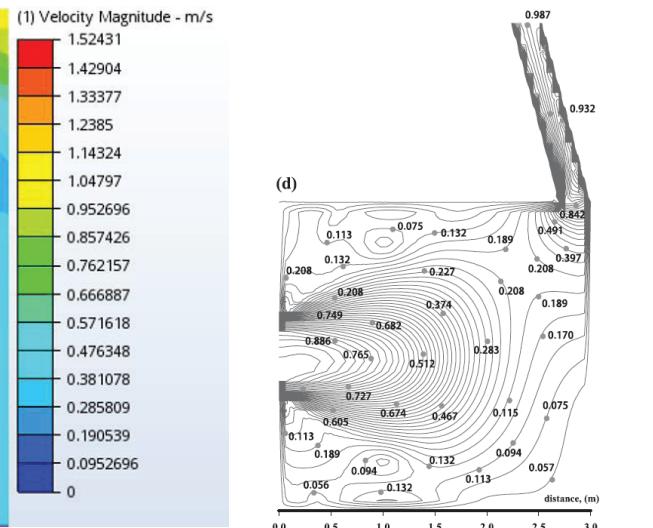
اعتبار سنجی مدل سازی شبکه جریان هوا نرم Autodesk CFD با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط مقاله‌ای با عنوان "پیهنه سازی دودکش خورشیدی برای افزایش آسایش حرارتی در مصر" (Abdeen et al, 2019) که توسط احمد عبدين و همکاران در سال ۲۰۱۹ در مجله solar energy چاپ رسیده است، انجام گرفته است. نتایج با ۴٪ خطای مورد پذیرش قرار گرفت. این آزمایشات در یک اتاق چوبی مکعبی با مساحت 9 m^2 و حجم داخلی ۲۷ متر مکعب در شهر اسکندریه مصر به ترتیب با طول و طول جغرافیایی $31^{\circ}29/91\text{ E}$ ساخته شده است. دودکش خورشیدی در پشت بام این اتاق نصب شده و به سمت جنوب قرار دارد. جهت جذب هوای تازه از یک پنجره ۶۰ در ۶۰ متر در قسمت شمالی با نسبت پنجره به دیواره ۱۶٪ طراحی شده است. این دودکش مشکل از یک جاذب دیواری به طول ۱۴ متر به طول و ۶۰ متر عرض و از یک ورق استیل چدنی ۱ میلی متر و رنگ مشکی مات است. ضلع جنوبی دودکش با شبیه شناور استاندارد ۴ میلی متر با فاصله کanal هوایی $25/0\text{ m}$ و بدون روکش نشراتی پوشانده شده است که باعث می شود شبیه مات به تابش مادون قرمز تبدیل شود. در این مطالعه با استفاده از عایق پشم شبیه به ضخامت $5/0\text{ m}$ در اطراف جاذب، از بین رفتن گرما از پشت و کناره‌ها برطرف می‌شود. دودکش خورشیدی پیشنهادی قادر به تحریک حرکت هوا تا $0/28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ و $0/47\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ و $0/52\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ بر ثانیه در میانگین مقادیر تابش خورشیدی به ترتیب $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ، $500\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ و $700\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ است. برای اعتبارسنجی نرم افزار و تعیین صحت دادها عیناً اتاقکی با مشخصات فوق در نرم افزار Autodesk CFD شبیه‌سازی گردید تا با مقایسه داده های خروجی بتوان اطمینان از دقت نتایج شبیه‌سازی حاصل کرد. تصویر شماره ۲ به نمایش سرعت تهویه در مقاله مورد نظر می‌پردازد و تصویر شماره ۳ نتیجه شبیه سازی همان مدل با همان اطلاعات در نرم افزار Autodesk CFD در شدت تابش خورشیدی $850\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، با توجه به جدول شماره ۳ در مدل مقایسه شده بین کار آزمایشگاهی و این نرم افزار، سرعت جریان هوا و دمای هوا تقریباً مشابه بوده و تفاوت بسیار اندکی داشته است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که دقت مدل سازی CFD در نرم افزار Autodesk CFD بسیار بالا و قابل اعتبار است. لذا می‌توان گفت با در نظر گرفتن این که یکی از روش‌های متداول اندازه‌گیری روایی و پایایی روش تحقیق در پژوهش‌های کمی در حوزه انرژی، مقایسه بین روش و نتایج پژوهش مدنظر با پژوهش‌های چاپ شده مورد تایید مراجع علمی می‌باشد، در پژوهش حاضر از نرم افزار Autodesk CFD و روش مقایسه‌ای استفاده گردیده و خروجی‌ها با مقاله عبدين و همکاران نتایج مشابه را بروز داده است. که این امر نشان دهنده میزان روایی و پایایی مطلوب و صحت داده‌های خروجی نرم‌افزار با ضریب خطای قابل قبول می‌باشد.

جدول ۳- متوسط سرعت هوا در مقاله منتخب و شبیه سازی مدل برای مقاله حاضر

نتایج مقایله منتخب	شبیه سازی مدل در پژوهش حاضر	ورودی اتاق	وسط اتاق	انتهای اتاق
۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۰۵
۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰



تصویر ۴- اتاقک شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار Autodesk CFD



تصویر ۳- اتاقک مورد آزمایش در مقاله

(Abdeen et al, 2019)

مبانی نظری پژوهش

دودکش خورشیدی

سیستم‌های غیرفعال خورشیدی به سیستم‌های اطلاق می‌شود که انرژی خورشید را بدون استفاده از انرژی ثانویه جمع‌آوری و ذخیره کنند تا در زمان مناسب مورد استفاده قرار گیرد. دودکش خورشیدی یک سیستم غیرفعال خورشیدی برای تامین تهویه با استفاده از اثر دودکشی است. در سیستم دودکش خورشیدی جریان هوا به واسطه نیروی شناوری ایجاد می‌شود؛ یعنی هوا گرم داخل کanal به طرف بالا حرکت کرده و از آن خارج می‌شود و به جای آن هوا خنک‌تر در یک سیستم بسته جایگزین آن می‌گردد. معمولاً به منظور افزایش میزان جذب گرما و نرخ تهویه، دیوار جنوبی دودکش خورشیدی را شبشهای و بخش داخلی سایر دیوارها را تیره و بخش خارجی آن‌ها را عایق می‌کنند. عوامل متعددی باید در طراحی دودکش خورشیدی مورد توجه قرار گیرد. از آن جمله می‌توان به شرایط جوی، محل قرارگیری، جهت و اندازه ساختمان اشاره کرد (شماسایی و همکاران، ۱۳۹۰).

انواع دودکش خورشیدی و عملکرد آن

دودکش‌های خورشیدی به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

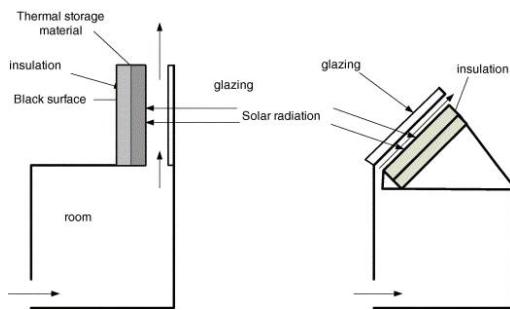
- دودکش‌های خورشیدی که برای تولید برق به کار می‌روند.
- دودکش‌های خورشیدی که به منظور تهویه به کار می‌روند.

نوع اول معمولاً در مقیاس بزرگ صنعتی ساخته می‌شود. در حالی که نوع دوم در ساختمان‌ها کاربرد دارد. نوع اول، در واقع از سه عنصر اصلی جمع‌کننده هوا، برج یا همان دودکش و توربین بادی تشکیل شده است. هوا گرم مورد نیاز برای دودکش خورشیدی توسط پدیده گلخانه‌های در یک محوطه‌ای که با پلاستیک یا شبشه پوشانده شده و چند متری از زمین فاصله دارد، ایجاد می‌شود. با نزدیک شدن به پایه برج ارتفاع ناحیه پوشانده شده نیز افزایش می‌یابد تا تغییر مسیر حرکت جریان هوا به صورت عمودی با کمترین اصطکاک انجام گیرد. در وسط این سقف شفاف یک دودکش یا برج عمودی قرار دارد. هوا گرم چون سبک است به سمت بالای برج حرکت می‌کند (ایجاد مکش در پایین برج). تشعشع خورشیدی در این برج باعث ایجاد مکش به سمت بالا می‌شود که انرژی حاصل از این مکش توسط چند مرحله توربین تعبیه شده در برج به انرژی مکانیکی تبدیل شده سپس به برق تبدیل می‌شود. توان تولید برق یک دودکش خورشیدی متناسب با حجم حاصل از ارتفاع برج و سطح کلکتور است یعنی می‌توان با یک برج بلند و سطح کم و یا یک برج کوتاه با سطح وسیع به یک میزان برق تولید کرد (قیابکلو، ۱۳۸۹).

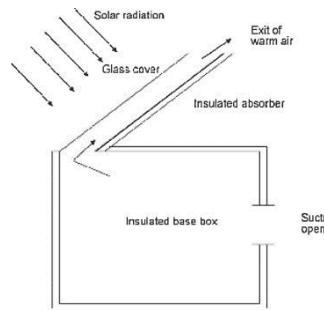
دودکش خورشیدی نوع دوم، شبیه به دودکش‌های متداول هستند با این تفاوت که دیوار جنوبی در آن‌ها شبشهای است. دودکش خورشیدی در واقع یک کanal هواست که در آن مکانیسم محرک جریان هوا، شناوری حرارتی است و شامل شبشه، حفره و دیوار حجیم برای جذب انرژی

خورشیدی است. تصویر ۴ عملکرد دودکش خورشیدی را به صورت شماتیک ، نشان می‌دهد (Miyazaki et al, 2006). دودکش خورشیدی شمال یک جاذب انرژی خورشیدی با سروته باز است که وقتی تشعشع خورشید به آن می‌خورد ، جریان هوا ایجاد می‌گردد. تصویر ۵ دو نوع دودکش خورشیدی عمودی و مایل را نشان می‌دهد. تشعشع خورشید از شیشه عبور می‌کند و در سطح دیواره جذب می‌شود سپس هوا داخل دودکش توسط همرفت و تشعشع از جاذب گرم می‌شود . کاهش چگالی هوا باعث بالا رفتن آن می‌شود که درنتیجه هوا زیر خود را جایگزین آن می‌کند. میزان هوا مکش شده بستگی به نیروی شناوری ایجاد شده، مقاومت به جریان یافتن سیال در دودکش، مقاومت به ورودی هوا به داخل اتاق دارد.

دودکش خورشیدی معمولاً برای ایجاد تهویه برای سرمایش استفاده می‌شود و برای گرمایش می‌توان منفذ دودکش را بست و هوا گرم شده را به وسیله فن به داخل ساختمان فرستاد. در طراحی یک دودکش عوامل مؤثر شامل ارتفاع، پهنای، عمق حفره، نوع شیشه، نوع جاذب، عایق و ماده ذخیره حرارتی (مثل آجر، بتن، سنگ و هر ماده با ظرفیت حرارتی بالا) (خمسه، ۱۳۸۹).



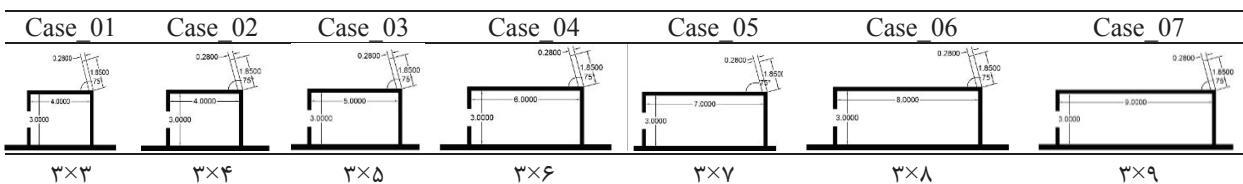
تصویر ۶- عملکرد کلی دودکش خورشیدی (D.J. Harris, 2007)



تصویر ۵- دودکش خورشیدی در تهویه فضای داخل (Gan, 2006)

نمونه‌های موردی تحقیق

در این پژوهش یک اتاق فرضی، یک طبقه مدل سازی شده است. تصویر شماره ۶ این فضا را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. مدل‌های شبیه‌سازی شده، اتاق‌هایی با ابعاد 3×3 ، 3×4 ، 3×5 ، 3×6 ، 3×7 و 3×8 هستند که به یک دودکش خورشیدی به ارتفاع $1/85$ متر متصل هستند. یک ورودی هوا برای هر اتاق به ابعاد 1×1 مترمربع در جبهه شمالی در نظر گرفته شده است.



تصویر ۷- نمونه‌های موردی تحقیق

شرایط اولیه و مرزی

شرط اولیه برای تمامی مدل‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی برای متوسط دمای 37 درجه سانتی‌گراد و سرعت باد 1 متر بر ثانیه و شدت تابش خورشید W/m^2 886 است. از آن جا که عمق دودکش خورشیدی یکی از عوامل موثر بر نرخ جریان حجمی هوا و دمای هوا خروجی از دودکش است، مدل‌های فرضی برای رسیدن به نتایج، در ۷ حالت شبیه‌سازی شدند. در همه مدل‌های شبیه‌سازی شده، همه ابعاد به جز عمق اتاق یکسان در نظر گرفته شده است. جدول شماره ۴ شرایط مرزی حاکم بر شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

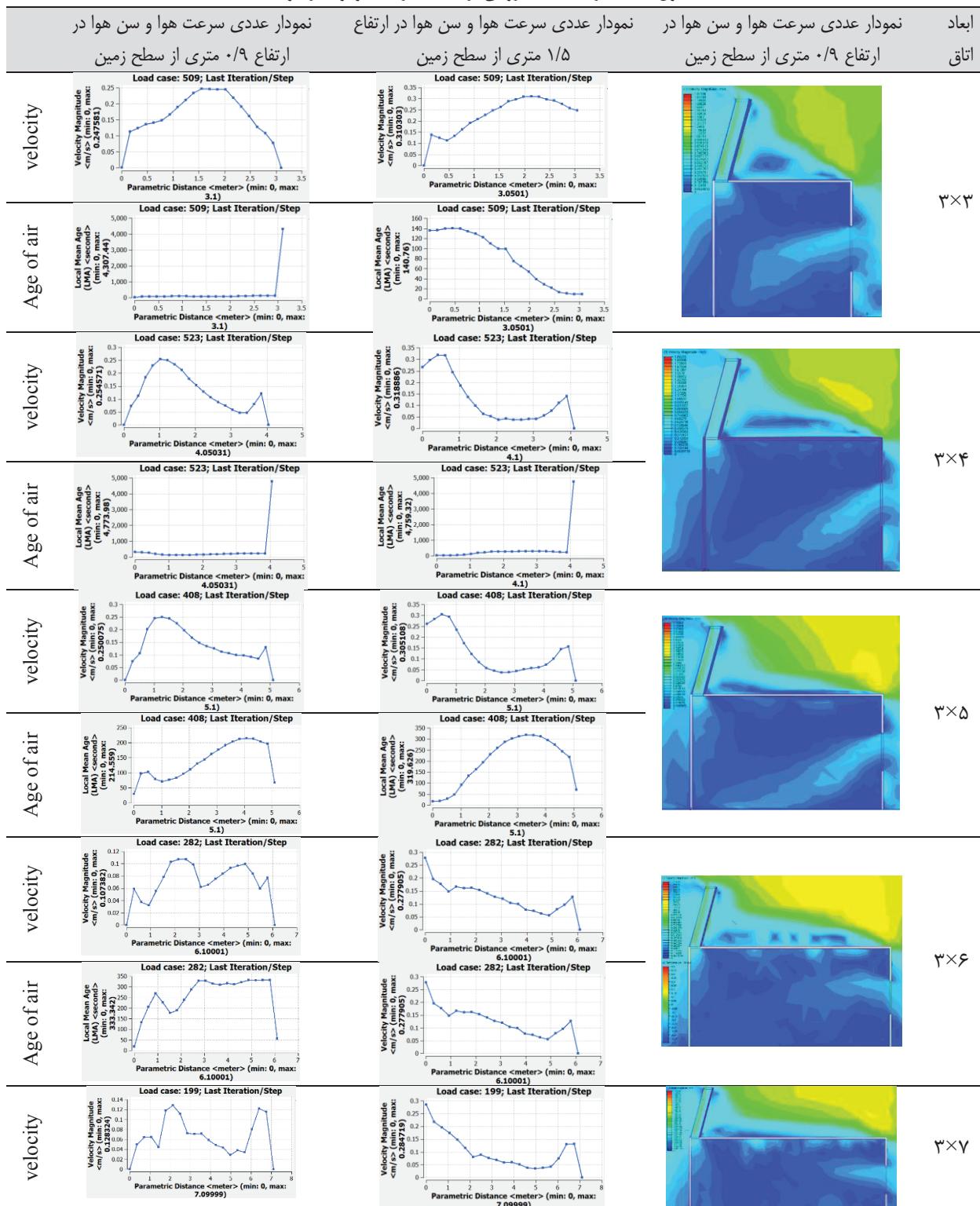
جدول ۴- شرایط مرزی مورد استفاده در مدل‌سازی

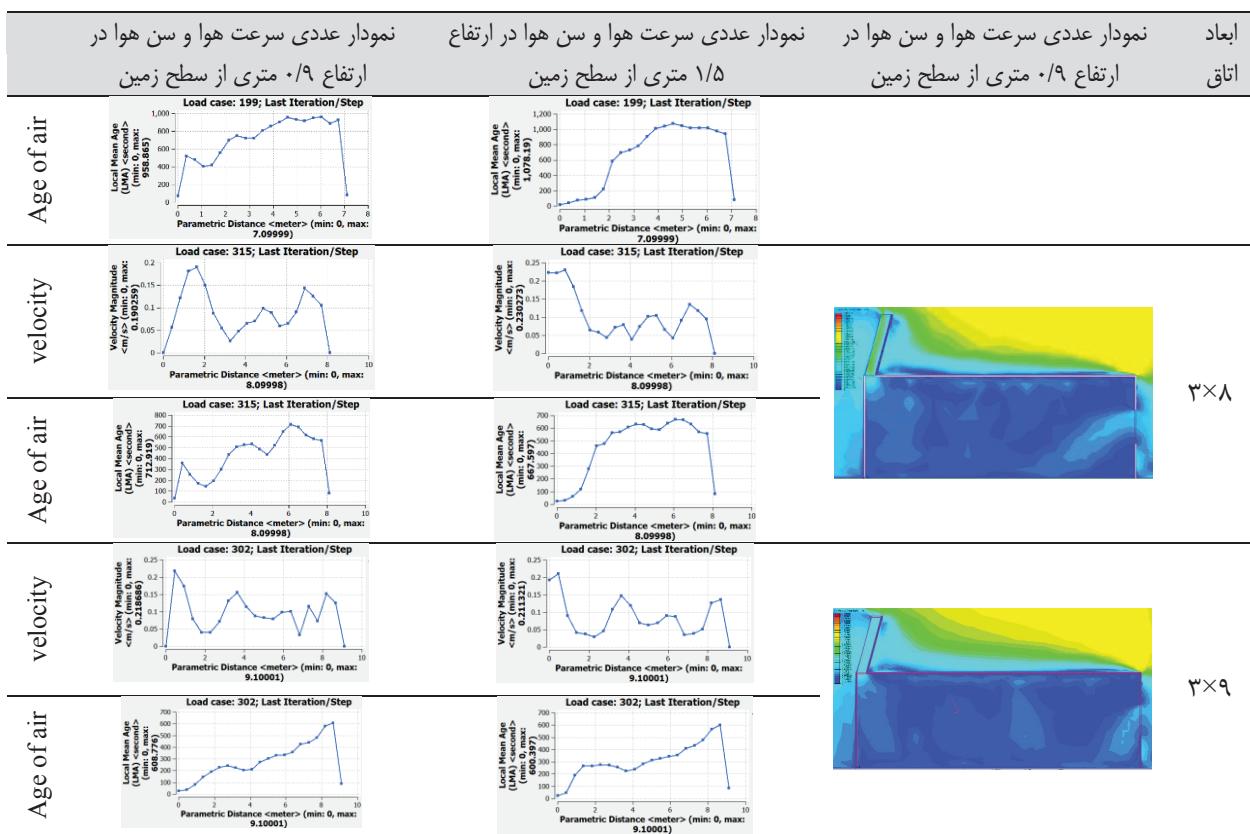
تغییرات	مقدار
فشار ورودی و خروجی (پاسکال)	.
دما ورودی هوا (سانتی‌گراد)	37
سرعت هوا (متر بر ثانیه)	1

تجزیه و تحلیل داده‌ها و بحث

پس از اجرای مدل سازی، خروجی توسط نرم افزار Autodesk CFD برای مقطع زمانی مورد نظر محاسبه و سپس برای نمایش گرافیکی قابل استخراج گردیده‌اند. که خروجی حاصل از این موارد در جدول شماره ۵ قابل مشاهده است.

جدول - ۵ - آنالیز داده‌های خروجی بر حسب سرعت هوا و عمر هوای





جدول ۶ مقادیر عددی سرعت هوا و سن هوا را در دو ارتفاع ۱/۵ و ۰/۹ متری از سطح زمین در نمونه‌های موردی نشان دهد.

جدول ۶- مقایسه داده‌های خروجی بر حسب سرعت هوا و عمر هوا در ارتفاع‌های مختلف

ارتفاع ۹۰ سانتی متری از سطح زمین ارتفاع ۱۵۰ سانتی متری از سطح زمین



حداکثر سرعت تهويه نسبت به عمق اتاق

با توجه به جدول شماره ۷ که مستخرج از خروجی‌های فوق می‌باشد می‌توان گفت در ارتفاع ایستاده هر چقدر که عمق اتاق بیشتر شود، حداکثر سرعت تهويه کمتر می‌شود. در ارتفاع ۹۰ سانتی‌متری از سطح زمین، (نشسته) از عمق ۴ متر تا ۶ متر سرعت کاهش پیدا می‌کند و از عمق ۶ متر به بعد سرعت مجدد افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۷ - حداکثر سرعت تهويه هوا نسبت به عمق

اع Vad اتاق	ارتفاع(m)	حداکثر سرعت تهويه(m/s)	عمق بروز سرعت حداکثر(m)
۳×۳	۱/۵	۰/۳۴	۰/۵
۳×۳	۰/۹	۰/۲۵	۱
۴×۳	۱/۵	۰/۳۲	۰/۵
۴×۳	۰/۹	۰/۲۶	۱/۲
۵×۳	۱/۵	۰/۳۱	۰/۵
۵×۳	۰/۹	۰/۲۵	۱/۳
۶×۳	۱/۵	۰/۲۸	*
۶×۳	۰/۹	۰/۱۱	۲/۵
۷×۳	۱/۵	۰/۲۸	*
۷×۳	۰/۹	۰/۱۳	۲/۱
۸×۳	۱/۵	۰/۲۴	۱
۸×۳	۰/۹	۰/۱۸	۰/۸
۹×۳	۱/۵	۰/۲۲	۰/۵
۹×۳	۰/۹	۰/۲۲	۰/۵

حداقل سرعت تهويه نسبت به عمق اتاق

با توجه به جدول شماره ۸ در ارتفاع ۱.۵ (فرد ایستاده) بعد از قسمت انتهایی اتاق (به دلیل وجود دیوار) معمولاً کمترین میزان سرعت هوا در مرکز اتاق صورت گرفته است. در این بین اتاق ۶×۳ استثنای می‌باشد.

در ارتفاع ۰.۹ به غیر از قسمت ابتدایی و انتهایی اتاق (به علت وجود دیوار) معمولاً کمترین میزان سرعت هوا در یک سوم انتهایی اتاق صورت گرفته است. در این بین اتاق ۳.۶ استثنای می‌باشد.

جدول ۸ - حداقل سرعت تهويه هوا نسبت به عمق

اع Vad اتاق	ارتفاع(m)	حداقل سرعت تهويه(m/s)	عمق بروز سرعت حداقل(m)
۳×۳	۱/۵	۰/۰۵	۲/۱
۳×۳	۰/۹	۰/۰۵	۲/۵
۴×۳	۱/۵	۰/۰۵	۲
۴×۳	۰/۹	۰/۰۵	۳/۲
۵×۳	۱/۵	۰/۰۵	۲/۵
۵×۳	۰/۹	۰/۰۹	۴/۶
۶×۳	۱/۵	۰/۱۲	۳
۶×۳	۰/۹	۰/۰۳	۱
۷×۳	۱/۵	۰/۰۷	۳/۵
۷×۳	۰/۹	۰/۰۳	۵
۸×۳	۱/۵	۰/۰۵	۴
۸×۳	۰/۹	۰/۰۳	۳/۲
۹×۳	۱/۵	۰/۰۶	۴/۵
۹×۳	۰/۹	۰/۰۴	۶/۹

مقایسه حداقل سرعت هوا و سرعت خروج هوا در اتاق

با توجه به جدول شماره ۹ در ارتفاع ۱/۵ متر (ارتفاع ایستاده) سرعت خروج هوا از اتاق و در هنگام ورود به دودکش به میزان تقریبی و نصف سرعت ورود هوا به داخل اتاق می‌باشد. در ارتفاع ۰/۹ (ارتفاع نشسته) به غیر از اتاق‌ها سرعت خروج هوا از اتاق و در هنگام ورود به دودکش به میزان تقریبی و نصف سرعت ورود هوا به داخل اتاق می‌باشد.

جدول ۹- مقایسه حداقل سرعت هوا و سرعت خروج هوا در اتاق

ابعاد اتاق	ارتفاع(m)	حداقل سرعت تهویه(m/s)	عمق بروز سرعت حداقل(m)
4×3	۱/۵	۰/۳۲	۰/۱۵
	۰/۹	۰/۲۵	۰/۱۳
5×3	۱/۵	۰/۳۱	۰/۱۵
	۰/۹	۰/۲۵	۰/۱۴
6×3	۱/۵	۰/۲۸	۰/۱۴
	۰/۹	۰/۱۱	۰/۰۷
7×3	۱/۵	۰/۲۸	۰/۱۴
	۰/۹	۰/۱۳	۰/۱۲
8×3	۱/۵	۰/۲۴	۰/۱۱
	۰/۹	۰/۱۹	۰/۱۴
9×3	۱/۵	۰/۲۲	۰/۰۵
	۰/۹	۰/۲۳	۰/۱۵

مقایسه حداقل سرعت تهویه در ارتفاع ۱/۵ متر (ایستاده) با ارتفاع ۰/۹ متر (نشسته)

با توجه به جدول شماره ۱۰ میزان حداقل سرعت باد در ارتفاع یک و نیم متر (ارتفاع ایستاده) بیشتر از ارتفاع ۰/۹ سانتی متری (ارتفاع نشسته) می‌باشد.

جدول ۱۰- مقایسه حداقل سرعت هوا در ارتفاع نشسته و ایستاده

ابعاد اتاق	حداقل سرعت تهویه(m/s)	عمق بروز سرعت حداقل(m)
4×3	۰/۳۲	۰/۲۵
5×۳	۰/۳۱	۰/۲۵
6×۳	۰/۲۷	۰/۱۱
7×۳	۰/۲۸	۰/۱۳
8×۳	۰/۲۳	۰/۱۸
9×۳	۰/۲۲	۰/۲۲

با بررسی نمودارهای سرعت هوا و با در نظر گرفتن ۶ مدل با عمق متفاوت این نتیجه حاصل می‌شود که عمق اتاق در میزان تهویه موثر است، به طوری که در ارتفاع ایستاده (۱/۵ متر) با افزایش عمق اتاق، سرعت تهویه کاهش می‌یابد. در صورتی که در ارتفاع ۰/۹ متر در عمق ۴ تا ۶ متر سرعت کاهش پیدا می‌کند و از عمق ۶ متر مجدداً افزایش پیدا می‌کند. در ارتفاع ۱/۵ متر حداقل سرعت تهویه در مرحله اول در قسمت انتهایی فضا و در مرحله ای بعد بیشترین افت در مرکز اتاق‌ها می‌باشد. در ارتفاع ۰/۹ متر به بیشترین افت سرعت هوا در قسمت‌های ابتدایی و انتهایی اتاق و سپس در یک سوم انتهای اتاق می‌باشد.

نتیجه گیری

صنعت ساختمان یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه در مصرف انرژی می‌باشد. درصد قابل توجهی از مصرف انرژی در این بخش صرف سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع می‌شود. لذا بررسی سیستم‌های تهویه طبیعی به منظور بالا

بردن بازدهی و عملکرد آنها از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. در کار پژوهشی حاضر، فضای اتاقی که دارای یک دودکش خورشیدی است با بهره‌گیری از دینامیک سیالات محاسباتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و ابعاد بهینه برای عمق فضا تعیین شده است. در این مقاله با هدف بررسی تأثیر دودکش خورشیدی در جریان هوای داخلی و تهویه طبیعی به مطالعه فضاهایی با عمق‌های متفاوت پرداخته شده است. با بررسی نمودارهای نرخ جریان هوا و با در نظر گرفتن ۶ مدل با عمق متفاوت این نتیجه حاصل می‌شود که اختلاف فشار ایجاد شده بین هوای گرم دودکش خورشیدی و هوای محیط، جریان تهویه طبیعی را باعث می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد سرعت تهویه ارتباط مستقیمی با عمق اتاق دارد. هر چقدر که عمق اتاق بیشتر شود سرعت تهویه کمتر خواهد شد. در ارتفاع ۰/۹ متر و ۱/۵ متر بیشترین میزان سرعت تهویه هوا در عمق اتاق هایی با عمق ۴ و ۵ متر صورت گرفته که می‌توان گفت بهینه ترین ابعاد اتاق به جهت تهویه در اتاق‌های ۳/۴ و ۳/۵ قابل مشاهده است. با توجه به بررسی دو ارتفاع مشخص (ایستاده و نشسته) می‌توان گفت که در ارتفاع ۱/۵ متر (ایستاده) حداقل سرعت تهویه در قسمت انتهایی فضاهای دیده می‌شود چرا که از گردش هوا در گوشه‌های کناری کاسته شده است و در مرحله بعد بیشترین کاهش میزان سرعت هوا در مرکز اتاق‌ها می‌باشد. و در مورد فضاهایی با ارتفاع ۰/۹ (نشسته) متر به غیر از قسمت‌های ابتدایی و انتهایی اتاق کمترین میزان سرعت در یک سوم انتهای اتاق می‌باشد. همچنین حداقل سرعت تهویه در ارتفاع ۱/۵ متر همواره بیشتر از ارتفاع ۹۰ سانتیمتر می‌باشد. از این رو نتایج مطلوب از جهت سرعت چرخش هوا در فضاهایی با عمق کمتر به دست آمده است. در ادامه این مطالعه نیز می‌توان پیشنهادهای زیر را برای تحقیقات آتی مطرح کرد:

- ادامه مطالعات در حالت شبیه‌سازی سه بعدی، با تحلیل اثر ابعاد ورودی هوا، ابعاد دودکش.
- بررسی تأثیر جریان‌های ایجاد شده در اثر باد بر عملکرد حرارتی.
- بررسی تهویه شبانه و تفاوت‌های آن با جریان‌های حاکم در طول روز.
- تأثیر جنس سطح جاذب بر مکش و ایجاد تهویه.
- بررسی عملکرد همزمان دودکش خورشیدی و بادگیر.

منابع

- پیله‌چی‌ها، پ؛ زرین مهر، ز، (۱۳۹۵)، عملکرد دودکش خورشیدی و تأثیر آن در تهویه مطبوع ساختمانهای معاصر، اولین کنفرانس ملی آینده مهندسی و تکنولوژی، تهران، ۷ اسفند، دانشگاه علم و فرهنگ
- فخاری، م؛ حیدری، ش، (۱۳۹۲)، بهینه سازی دودکش خورشیدی و بررسی اثر آن بر تهویه ساختمان، معماری و شهرسازی، دوره ۱۸، شماره ۲، ۸۳-۸۸.
- فخاری، م؛ حیدری، ش؛ فیاض، ر، (۱۳۹۲) عوامل موثر بر تهویه غیر فعال دودکش خورشیدی، نامه معماری و شهرسازی، شماره ۱۲، ۱۳۵-۱۵۱.
- خمسه، و، (۱۳۸۹)، دودکش خورشیدی و تهویه ساختمان، ماهنامه تهویه و تاسیسات، ش ۵.
- شمسایی، ا؛ محمودی، ب؛ سرلک، م؛ وثوقی فر، ح، (۱۳۹۰)، مدل ساز عددی جریان هوا در دودکش خورشیدی. نشریه مهندسی عمران و نقسه برداری، دوره ۴۵، شماره ۴، ۴۳۷-۴۴۲.
- قیابکلو، ز، (۱۳۸۹)، مبانی فیزیک ساختمان، تنظیم شرایط محیطی(۲)، تهران: جهاد دانشگاهی امیرکبیر.

- Abdeen, A., Serageldin, A. A., Ibrahim, M. G., El-Zafarany, A., Ookawara, S., & Murata, R. (2019). Solar chimney optimization for enhancing thermal comfort in Egypt: An experimental and numerical study. *Solar Energy*, 180, 524-536.
- Al-Kayiem, H. H., Sreejaya, K. V., & Chikere, A. O. (2018). Experimental and numerical analysis of the influence of inlet configuration on the performance of a roof top solar chimney. *Energy and Buildings*, 159, 89-98.
- Afonso, C., & Oliveira, A. (2000). Solar chimneys: simulation and experiment. *Energy and buildings*, 32(1), 71-79.
- Bansal, N. K., Mathur, R., & Bhandari, M. S. (1994). A study of solar chimney assisted wind tower system for natural ventilation in buildings. *Building and environment*, 29(4), 495-500.

- Bouchair, A. (1994). Solar chimney for promoting cooling ventilation in southern Algeria. *Building Services Engineering Research and Technology*, 15(2), 81-93.
- Charvat, P., Jicah, M., & Stetina, J. (2004). Solar chimneys for ventilation and passive cooling. In *World Renewable Energy Congress, Denver, USA*.
- Emmerich, S. J., Dols, W. S., & Axley, J. W. (2001). *Natural ventilation review and plan for design and analysis tools* (pp. 1-56). Gaithersburg, MD, USA: US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology.
- Gan, G. (2006). Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation. *Energy and buildings*, 38(5), 410-420.
- Harris, D. J., & Helwig, N. (2007). Solar chimney and building ventilation. *Applied Energy*, 84(2), 135-146.
- Hosien, M. A., & Selim, S. M. (2017). Effects of the geometrical and operational parameters and alternative outer cover materials on the performance of solar chimney used for natural ventilation. *Energy and Buildings*, 138, 355-367.
- Khanal, R., & Lei, C. (2012). Flow reversal effects on buoyancy induced air flow in a solar chimney. *Solar Energy*, 86(9), 2783-2794.
- Khedari, J., Boonsri, B., & Hirunlabh, J. (2000). Ventilation impact of a solar chimney on indoor temperature fluctuation and air change in a school building. *Energy and buildings*, 32(1), 89-93.
- Khosravi, M., Fazelpour, F., & Rosen, M. A. (2019). Improved application of a solar chimney concept in a two-story building: An enhanced geometry through a numerical approach. *Renewable Energy*, 143, 569-585.
- Koronaki, I. P. (2013). The impact of configuration and orientation of solar thermosyphonic systems on night ventilation and fan energy savings. *Energy and Buildings*, 57, 119-131.
- Mahdavinejad, M. J., & Khazforoosh, S. (2014). Combination of wind catcher and chimney for more energy efficient architectural buildings. *Sustain Energy*, 2(1), 35-8.
- Miyazaki, T., Akisawa, A., & Kashiwagi, T. J. R. E. (2006). The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate. *Renewable Energy*, 31(7), 987-1010.
- Punyasompun, S., Hirunlabh, J., Khedari, J., & Zeghamati, B. (2009). Investigation on the application of solar chimney for multi-storey buildings. *Renewable Energy*, 34(12), 2545-2561.
- Shi, L., Zhang, G., Yang, W., Huang, D., Cheng, X., & Setunge, S. (2018). Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88, 223-238.
- Shi, L., Cheng, X., Zhang, L., Li, Z., Zhang, G., Huang, D., & Tu, J. (2019). Interaction effect of room opening and air inlet on solar chimney performance. *Applied Thermal Engineering*, 159, 113877.

The effect of space depth on improving natural ventilation with a focus on solar chimney performance

Hamid Eskandari*, Assistant Professor of Architecture, Department of technical and engineering, Yasouj university, Yasouj, Iran

Ali Akbar Heidari, Assistant Professor of Architecture, Department of technical and engineering, Yasouj university, Yasouj, Iran

Malihe Taghipour, Assistant Professor of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad university, Iran

Neda Ghahreman Isadi, PhD in Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad university, Iran

Elham Mansourian, MS in Architecture, Yasuj Branch, Islamic Azad university, Yasuj, Iran

Received: 2022/4/12

Accepted: 2022/8/19

Abstract

Introduction: About a third of the total energy consumption in developed countries is summarized in the housing and building sector, while the provision of cooling, heating, and air ventilation. In this regard, air ventilation is a significant issue and a large part of the energy consumption in the building is dedicated to this issue. Various methods for natural ventilation have been exempted from sustainable architecture, one of which is solar chimneys. A solar chimney is a type of passive solar heating and cooling system that can be used to regulate the temperature of a building as well as provide ventilation. Like a Trombe wall or solar wall, solar chimneys are a way to achieve energy-efficient building design. Essentially, solar chimneys are hollow containers that connect the inside part of the building to the outside part of the building. Various research have been conducted in connection with the analysis of solar chimney performance; meanwhile, there has been no independent research regarding the effective depth of the solar chimney in creating ventilation in a closed space.

Methodology: Accordingly, in this research, the issue of the effective depth of the space in improving the ventilation performance of a room equipped with a solar chimney is investigated. The research method used in this article includes two qualitative and quantitative parts. In this research, assuming that the depth of the space affects the amount of ventilation, the depth is considered as an independent variable, and the amount of airflow is a dependent variable. For this purpose, 7 rooms with fixed width and variable lengths were selected as case studies. The length of the rooms fluctuated from 3 meters to 9 meters, and the width of the room was considered a fixed value of 3 meters in all cases. A solar chimney with a height of 1.85 m, a width of 1 m, an air gap of 0.28 m, and an angle of 75 degrees is placed on the roof of the chamber in all the case studies. After the samples were selected, they were simulated in the Autodesk CFD soft wear. To measure the accuracy of the calculations, the validation of the software was done, and the result of this part was a 4% error between the numerical results and experimental research.

Results and Discussion: The results of this research showed that the ventilation speed has a direct relationship with the depth of the room. The most optimal dimensions of the room in terms of room ventilation are 4x3 and 5x3. Also, in the standing height, the minimum ventilation speed is seen in the end part of the spaces, and in the sitting height, except for the beginning and end of the room, the lowest speed is at one-third of the end of the room.

Keywords: Ventilation, air flow, effective depth, computational fluid dynamics, solar chimney