

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

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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۵/۲۸

### چکیده

مباحث مربوط به معماری پایدار از مهمترین جریان‌های معماری معاصر به حساب می‌آیند. 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 تهویه و چگونگی جریان هوا می‌باشد. یکی از روش‌های تهویه غیرفعال، استفاده از دودکش خورشیدی است که با کمک انرژی تجدیدپذیر خورشید و با به کارگیری پدیده اثر دودکشی در یک کانال هوا، تهویه مورد نیاز فضاهای مجاور خود را فراهم می‌کند. لذا تحقیق حاضر با هدف ارائه راه‌کاری ساده و اجرایی، به صورت مداخله در وضع موجود معماری 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 تأثیر گذار و متغیر وابسته مشخص گردید و به دلیل عدم دسترسی به نمونه‌های مختلف اجرا شده، شبیه سازی کامپیوتری 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٪ خطا مورد پذیرش واقع شد. این موضوع حاکی از دقت مناسب روش استفاده شده و شبکه بندی بود. سپس اقدام به تجزیه و تحلیل داده ها و متعاقباً مداخله در معماری از طریق شبیه سازی شد. در این پژوهش با انتخاب ۶ گونه‌ی مختلف اتاق به لحاظ ابعاد، تهویه طبیعی و تحلیل رفتار جریان هوا با در نظر گرفتن عملکرد همزمان دودکش خورشیدی و پنجره، و در دو ارتفاع 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 ۲۰۱۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد که سرعت تهویه ارتباط مستقیمی با عمق اتاق دارد. بهینه ترین ابعاد اتاق در راستای تهویه اتاق ۳×۴ و ۳×۵ می باشد. همچنین در ارتفاع ایستاده حداقل سرعت تهویه در قسمت انتهایی فضاها دیده می‌شود و در ارتفاع نشسته به جز قسمت ابتدایی و انتهایی اتاق کمترین میزان سرعت در محدوده یک سوم انتهایی اتاق می‌باشد.

### واژگان کلیدی

تهویه، جریان هوا، عمق موثر، دینامیک سیالات محاسباتی، دودکش خورشیدی

\* دکتری معماری، عضو هیئت علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

eskandari@yu.ac.ir (نویسنده مسئول)

\*\* دکتری معماری، عضو هیئت علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

aliakbarheidari.iust@gmail.com

\*\*\* دکتری معماری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

malihe\_taghipour@yahoo.com

\*\*\*\* پژوهشگر دکتری معماری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

neda\_ghahraman\_izadi@yahoo.com

\*\*\*\*\* کارشناس ارشد معماری، گروه معماری، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

elham.mansourian1229@gmail.com

## 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 سرمایه‌ش، 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 تهویه مکانیکی از نظر انرژی مورد نیاز و منافع اقتصادی و زیست محیطی‌اش، توجه فزاینده‌ای به خود جلب کرده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تهویه طبیعی، به عنوان وسیله‌ای برای صرفه جویی 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 تهویه طبیعی خورشیدی می‌توان به دودکش‌های خورشیدی اشاره کرد که کارایی 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 تهویه طبیعی در مباحث چهاردهم و نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران منعکس شده است. برای مثال، بند ۱۴ - ۴ - ۳ - ۱ مقررات ملی ساختمان بیان می‌دارد: در هر قسمت از فضاهای ساختمان که در اشغال و تصرف انسان باشد و تعویض هوای مورد نیاز با تهویه طبیعی ممکن باشد، تعویض هوا (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 گسترده را در بر می‌گیرد (فرزام 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 تهویه 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 جذبنده و زاویه‌ی دودکش بر عملکرد تهویه بیشترین تأثیر را دارند. این پژوهش درصدد است تا بر خلاف 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 بپردازد. این پژوهش با انگیزه‌ی توجه به ابعاد فضا، یافتن قابلیت‌های نهفته در فضای 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 اتاق به عنوان متغیرهای مستقل مطرح گردیده و به اندازه‌گیری داده‌های مربوط به 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 بناها 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 می‌روند.

## 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 تهویه طبیعی، به صورت نظری، عددی و مشاهداتی تحقیق کرده‌اند. روش‌های تحقیق شامل اندازه‌گیری آزمایشگاهی کمیتهایی مثل دما و الگوهای جابه‌جایی 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 بنسال 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 معمولی، تأثیر انرژی خورشید را بر افزایش تهویه تأیید 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 H/10

است که ارتفاع دودکش است (Buchair, 1994). چاروت و همکارانش نشان دادند که با افزودن جرم حرارتی، سرعت هوا و در نتیجه قدرت تهویه، در ساعات شب افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از دودکش خورشیدی در طول روز باعث ۲۵٪ افزایش سرعت هوا می‌شود (Emmerich et al, 2001). فونیا سومپن 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 دودکش‌های خورشیدی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دودکش‌های خورشیدی به طور موثری در تولید جریان هوا موثرند. عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان‌های اداری با تهویه مطبوع نیز توسط آزمایش مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که مصرف روزانه الکتریسته دستگاه‌های تهویه با استفاده از دودکش خورشیدی کاهش می‌یابد (Khedari et al, 2000). سوداپورن و بوندیت به صورت آزمایشی تأثیر دودکش خورشیدی را بر افزایش تهویه هوای داخل، در حالتی که فضای اصلی به بام مرطوب 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، می‌تواند دمای داخل را ۱ تا ۳/۵ 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 تهویه طبیعی در حدود ۵۰٪ بود (Miyazaki et al, 2006). لانگ شی و همکاران به تعیین عوامل مؤثر بر عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان‌ها پرداخته‌اند (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 داده‌اند (Al-Kayyema 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 تهویه طبیعی را مورد پژوهش قرار داده‌اند. تابش خورشیدی حادثه، سرعت باد، دمای محیط و ابعاد ارتفاع، شکاف و عرض دودکش خورشیدی مورد توجه قرار گرفته‌اند (M.A. Hosien S.M. Selim, 2016). محمد جواد مهدوی نژاد و همکاران ترکیبی از بادگیر و دودکش برای ساختمان‌های معماری با هدف بهینه سازی انرژی مورد کاوش قرار داده‌اند (Mahdavinejad and Khazforoosh, 2014). در پژوهش‌های فارسی پیله‌چی‌ها و زرین مهر به بررسی دودکش خورشیدی و عملکرد آن در تهویه ساختمان پرداخته‌اند (پیله‌چی‌ها، زرین مهر، ۱۳۹۵). فخاری و حیدری تأثیر به کارگیری دودکش خورشیدی بر تهویه فضاهای متصل به آن در اقلیم گرم و خشک را مورد کاوش قرار داده‌اند (فخاری، حیدری، ۱۳۹۲) و در موردی مشابه نیز عوامل مؤثر بر کارایی دودکش را مورد بررسی قرار داده‌اند (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 Enviroment, | افزایش تهویه 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 تهویه |
| 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 ساختمان‌های اداری با تهویه 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                              |

پژوهش‌های لاتین

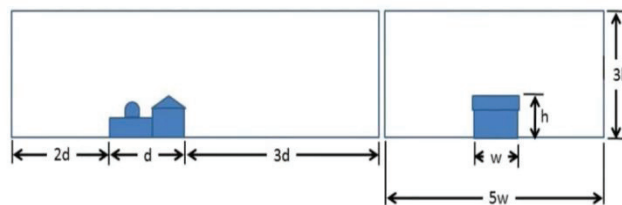
| نام نویسنده                  | سال  | عنوان  | هدف  |
|------------------------------|------|--|--|
| Punyasompun et al            | ۲۰۰۹ | Investigation on the application of solar chimney for multi-story building, Renewable Energy   | بررسی عملکرد دودکش خورشیدی در ساختمان‌های چند طبقه   |
| Sudaporn & Bundit            | ۲۰۰۹ | Utilization of cool ceiling with roof Solar chimney in thhailand: The experimental and numerical analysis, Renewable Energy                | تاثیر 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 هوا 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 بهینه سازی 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 کانال متصل 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-Kayiema 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 هوا 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 |
| پيله چي ها، 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 | بهینه سازی دودکش خورشیدی و بررسی اثر آن بر تهویه ساختمان   | تاثیر به کارگیری دودکش خورشیدی بر تهویه فضاهای متصل به آن در اقلیم گرم و خشک                 |
| فخار و دیگران                | ۱۳۹۲ | عوامل مؤثر بر تهویه غیرفعال دودکش خورشیدی  | بررسی عوامل مؤثر بر کارایی دودکش   |
| شمسایی و همکاران             | ۱۳۹۰ | مدل سازی عددی جریان هوا در دودکش خورشیدی   | ترکیب دودکش خورشیدی و بادگیر   |

پژوهش های فارسی

## روش تحقیق

به منظور پاسخگویی به سؤالات تحقیق، در هر مرحله از روند پیشبرد مطالعات، روش ها 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 هوا 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 هوا و پاسخ دمای برای مدل آزمایشگاهی استفاده می‌شوند، این نرم‌افزار یکی از برنامه‌های رایانه‌ای است که به علت قدرت، دقت 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 شده‌است. مهم‌ترین پرسشی که ممکن است درباره به کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی در طراحی

ساختمان به ذهن خطور نماید، اعتبارسنجی و دقت این نرم‌افزارها در محاسبات در مقایسه با میزان واقعی آن است. بدین منظور روند اعتبارسنجی مدل در نرم افزار Autodesk CFD با استفاده از داده برداری تجربی استفاده شده است. از این رو برای انجام اعتبار سنجی 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 Autodesk CFD شبیه سازی گردید و نتایج شبیه سازی مورد مقایسه قرار گرفته است. برای برداشت آزمایشگاهی در شهر اسکندریه مصر اتاقکی یک طبقه به طول ۳ متر، عرض ۳ متر و ارتفاع ۳ متر در نظر گرفته شده است. روی سقف اتاقک دودکش خورشیدی ای با ارتفاع ۱.۸۵ متر، عرض ۱ متر، با فاصله‌ی هوایی ۰/۲۸ متر و زاویه ی ۷۵ درجه قرار گرفته است. شدت تابش بر دودکش خورشیدی مفروض  $۸۸۶\text{W}/\text{m}^2$  می باشد. برای اعتبار سنجی مشخصات همین اتاقک در نرم افزار شبیه سازی گردید و بعد از صحت اعتبار سنجی متغیرهای این پژوهش در قالب اندازه‌های مختلف در عرض اتاق مورد بررسی قرار گرفته است. بدین صورت که اتاقکی یک طبقه به طول ۳ متر، عرض ۳ متر و ارتفاع ۳ متر در نرم افزار شبیه سازی شده است که عرض اتاق به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده و ۶ الگوی متفاوت عرض با طول‌هایی 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 اتاقک دودکش خورشیدی‌ای مطابق با اطلاعات مقاله مذکور با ارتفاع ۱/۸۵ متر، عرض ۱ متر، با فاصله ی هوایی ۰/۲۸ متر و زاویه‌ی ۷۵ درجه قرار گرفته است. شدت تابش بر دودکش خورشیدی مفروض  $۸۸۶\text{W}/\text{m}^2$  می باشد. این اتاقک درون یک تونل باد در نظر گرفته شده است که ابعاد آن در تصویر شماره ۱ قابل مشاهده می باشد.

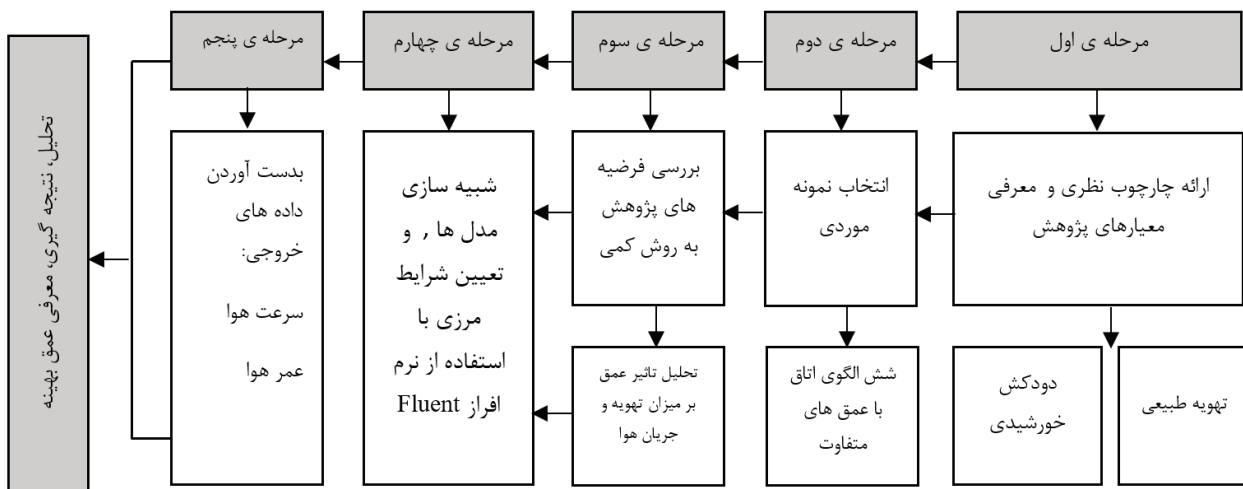


تصویر ۱- ابعاد تونل باد

راه ورودی هوا از طریق پنجره‌ای هم عرض دودکش، یعنی به ابعاد ۱ متر در ۱ متر تامین شده است. در فرآیند ورودی داده‌های اولیه و شرایط مرزی استفاده شده برای شبیه‌سازی، 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 شماره ۲ مواردی که در شبیه‌سازی 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     | مصالح دودکش                                 | اندازه و مساحت دودکش                | تعداد طبقات    | طول اتاق                 | ارتفاع اتاق                          |                    |   |       |       |
|---|-------------------------------------|----------------|---|-------------------------------------|----------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------|---|-------|-------|
| - سرعت ورود باد در تونل باد: ۱ متر بر ثانیه | - فشار در قسمت خروجی تونل: ۰ پاسکال | - دما: ۱۸ درجه | - سرعت ورود باد در تونل باد: ۱ متر بر ثانیه | - فشار در قسمت خروجی تونل: ۰ پاسکال | - دما: ۱۸ درجه | ۴ میلی متر شیشه          | ۲۸۰ میلی متر فاصله هوای              | عرض ۱ متر          | ۱ | ۳ متر | ۳ متر |
| - طول ۱ متر                                 | - فشار در قسمت خروجی تونل: ۰ پاسکال | - دما: ۱۸ درجه | - فشار در قسمت خروجی تونل: ۰ پاسکال         | - دما: ۱۸ درجه                      | - دما: ۱۸ درجه | ۱ میلی متر سطح جاذب نیکل | ۱ میلی متر پلی استایرن به عنوان عایق | طول ۱.۸۵ متر       | ۱ | ۳ متر | ۳ متر |
| - عرض ۱ متر                                 | - فشار در قسمت خروجی تونل: ۰ پاسکال | - دما: ۱۸ درجه | - فشار در قسمت خروجی تونل: ۰ پاسکال         | - دما: ۱۸ درجه                      | - دما: ۱۸ درجه | فاصله هوا ۰.۲۸ متر       | زاویه ۷۵ درجه                        | فاصله هوا ۰.۲۸ متر | ۱ | ۳ متر | ۳ متر |



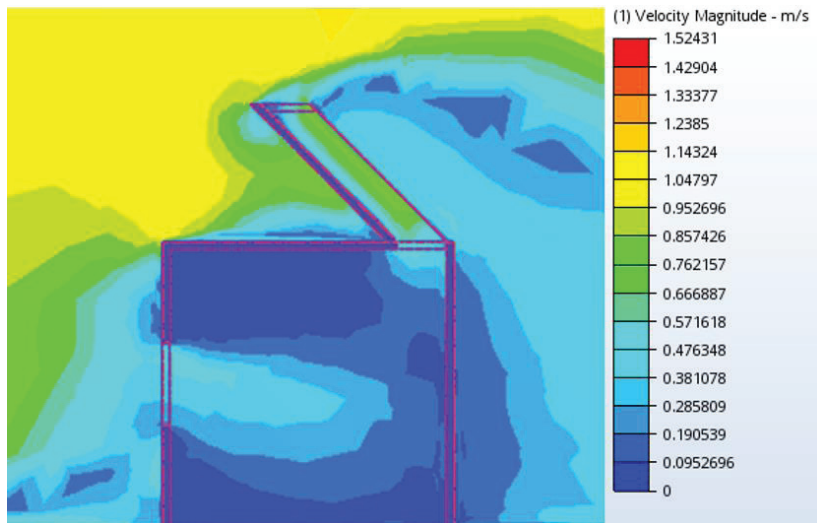
تصویر ۲- فرایند انجام پژوهش

### اعتبار سنجی نرم افزار

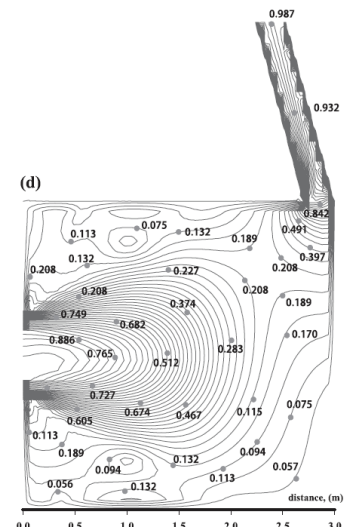
اعتبار سنجی مدل سازی شبکه جریان هوا نرم Autodesk CFD با استفاده از اطلاعات اندازه گیری شده توسط مقاله ای با عنوان "بهینه سازی دودکش خورشیدی برای افزایش آسایش حرارتی در مصر" که توسط احمد عبدین و همکاران در سال ۲۰۱۹ در مجله solar energy چاپ رسیده است، انجام گرفته است. (Abdeen et al, 2019) که نتایج با ۴٪ خطا مورد پذیرش قرار گرفت. این آزمایشات در یک اتاق چوبی مکعبی با مساحت  $9 \text{ M}^2$  و حجم داخلی ۲۷ متر مکعب در شهر اسکندریه مصر به ترتیب با طول و طول جغرافیایی  $31/2^\circ \text{N}$  و  $29/91^\circ \text{E}$  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 ۰.۶ متر در قسمت شمالی با نسبت پنجره به دیواره ۱۶٪ طراحی شده است. این دودکش متشکل از یک جاذب دیواری به طول ۱.۴ متر به طول و ۰.۶ متر عرض و از یک ورق استیل چدنی ۱ میلی متر و رنگ مشکی مات است. ضلع جنوبی دودکش با شیشه شناور استاندارد ۴ میلی متر با فاصله کانال هوایی ۰/۲۵ میلی متر و بدون روکش نشراتی پوشانده شده است که باعث می شود شیشه مات به تابش مادون قرمز تبدیل شود. در این مطالعه با استفاده از عایق پشم شیشه به ضخامت ۰/۰۵ متر در اطراف جاذب، از بین رفتن گرما از پشت و کناره ها برطرف می شود. دودکش خورشیدی پیشنهادی قادر به تحریک حرکت هوا تا ۰/۲۸، ۰/۴۷ و ۰/۵۲ متر بر ثانیه در میانگین مقادیر تابش خورشیدی به ترتیب ۲۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و  $850 \text{ W/m}^2$  است. برای اعتبارسنجی نرم افزار و تعیین صحت داده ها عینا اتاکی با مشخصات فوق در نرم افزار Autodesk CFD شبیه سازی گردید تا با مقایسه داده های خروجی بتوان اطمینان از دقت نتایج شبیه سازی حاصل کرد. تصویر شماره ۲ به نمایش سرعت تهویه در مقاله مورد نظر می پردازد و تصویر شماره ۳ نتیجه شبیه سازی همان مدل با همان اطلاعات در نرم افزار Autodesk CFD در شدت تابش خورشیدی  $850 \text{ W/m}^2$  را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد، 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 می دهد که دقت مدل سازی CFD در نرم افزار Autodesk CFD بسیار بالا و قابل اعتبار است. لذا می توان گفت با در نظر گرفتن این که یکی از روش های متداول اندازه گیری روایی و پایایی روش تحقیق در پژوهش های کمی در حوزه انرژی، مقایسه بین روش و نتایج پژوهش مدنظر با پژوهش های چاپ شده مورد تایید مراجع علمی می باشد، در پژوهش حاضر از نرم افزار Autodesk CFD و روش مقایسه ای استفاده گردیده و خروجی ها با مقاله عبدین و همکاران نتایج مشابه را بروز داده است. که این امر نشان دهنده میزان روایی و پایایی مطلوب و صحت داده های خروجی نرم افزار با ضریب خطای قابل قبول می باشد.

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

| نتایج مقاله منتخب | ورودی اتاق | وسط اتاق | انتهای اتاق |
|-------------------|------------|----------|-------------|
| ۰/۷               | ۰/۵        | ۰/۵      | ۰/۰۵        |
| ۰/۵               | 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 غیر فعال خورشیدی به سیستم‌هایی 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 هوای گرم داخل کانال به طرف بالا حرکت کرده و از آن خارج می‌شود و به جای آن هوای خنک‌تر در یک سیستم بسته جایگزین آن می‌گردد. معمولاً به منظور افزایش میزان جذب گرما و نرخ تهویه، دیوار جنوبی دودکش خورشیدی را شیشه‌ای 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 (شمسایی و همکاران، ۱۳۹۰).

### انواع دودکش خورشیدی و عملکرد آن

دودکش‌های خورشیدی به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

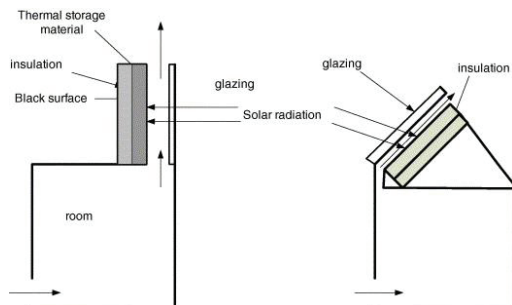
- دودکش‌های خورشیدی که برای تولید برق به کار می‌روند.
- دودکش‌های خورشیدی که به منظور تهویه به کار می‌روند.

نوع اول معمولاً در مقیاس بزرگ صنعتی ساخته می‌شود. درحالی که نوع دوم در ساختمان‌ها کاربرد دارد. نوع اول، درواقع از سه عنصر اصلی جمع‌کننده هوا، برج یا همان دودکش و توربین بادی تشکیل شده است. هوای گرم مورد نیاز برای دودکش خورشیدی توسط پدیده گلخانه‌های در یک محوطه‌ای که با پلاستیک یا شیشه 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. هوای 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).

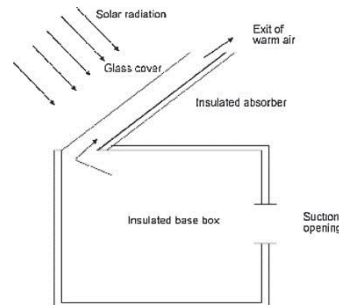
دودکش خورشیدی نوع دوم، شبیه به دودکش‌های متداول هستند با این تفاوت که دیوار جنوبی در آن‌ها شیشه‌ای است. دودکش خورشیدی در واقع یک کانال هواست که در آن مکانیسم محرک جریان هوا، شناوری حرارتی است و شامل شیشه، حفره و دیوار حجیم برای جذب انرژی

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 هوای داخل دودکش توسط همرفت و تشعشع از جاذب گرم می‌شود. کاهش چگالی هوا باعث بالا رفتن آن می‌شود که در نتیجه هوای زیر خود را جایگزین آن می‌کند. میزان هوای 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 هوای گرم شده‌ی داخل دودکش را به وسیله‌ی فن به داخل ساختمان فرستاد. در طراحی یک دودکش عوامل مؤثر شامل ارتفاع، پهنا، عمق حفره، نوع شیشه، نوع جاذب، عایق و ماده‌ی ذخیره‌ی حرارتی (مثل آجر، بتن، سنگ و هر ماده با ظرفیت حرارتی بالا) (خمسه، ۱۳۸۹).



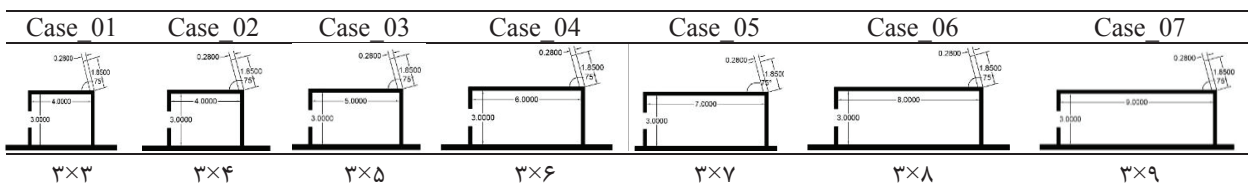
تصویر ۴- عملکرد کلی دودکش خورشیدی (D.J. Harris, 2007)



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  $3 \times 3$ ،  $3 \times 4$ ،  $3 \times 5$ ،  $3 \times 6$ ،  $3 \times 7$ ،  $3 \times 8$  و  $3 \times 9$  هستند که به یک دودکش خورشیدی به ارتفاع  $1/85$  متر متصل هستند. یک ورودی هوا برای هر اتاق به ابعاد  $1 \times 1$  متر مربع 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  $886 \text{ W/m}^2$  است. از آن جا که عمق دودکش خورشیدی یکی از عوامل مؤثر بر نرخ جریان حجمی هوا و دمای هوای خروجی از دودکش است، مدل‌های فرضی برای رسیدن به نتایج، در  $7$  حالت شبیه‌سازی شدند. در همه‌ی مدل‌های شبیه‌سازی شده، همه‌ی 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

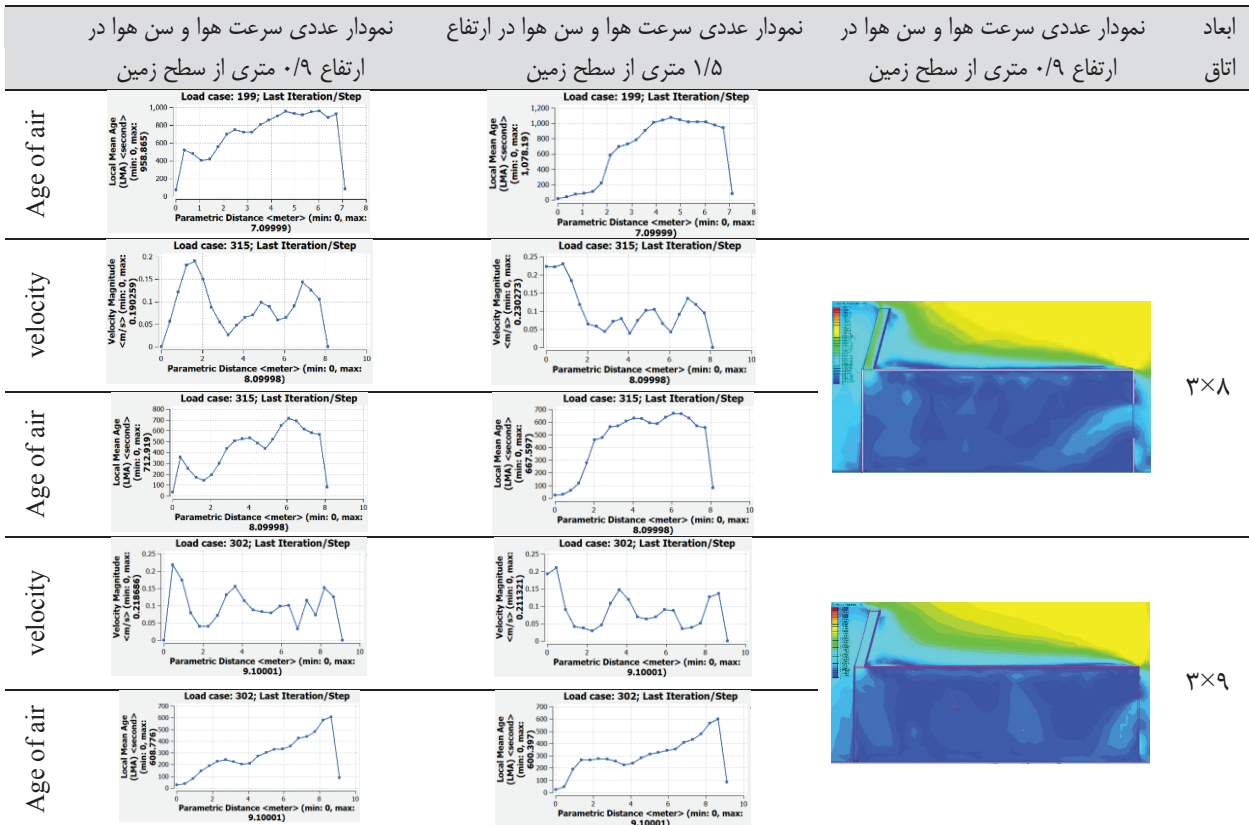
| مقدار | تنظیمات                     |
|-------|-----------------------------|
| ۰     | فشار ورودی و خروجی (پاسکال) |
| ۳۷    | دمای ورودی هوا (سانتی‌گراد) |
| ۱     | سرعت هوا (متر بر ثانیه)     |

## 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.

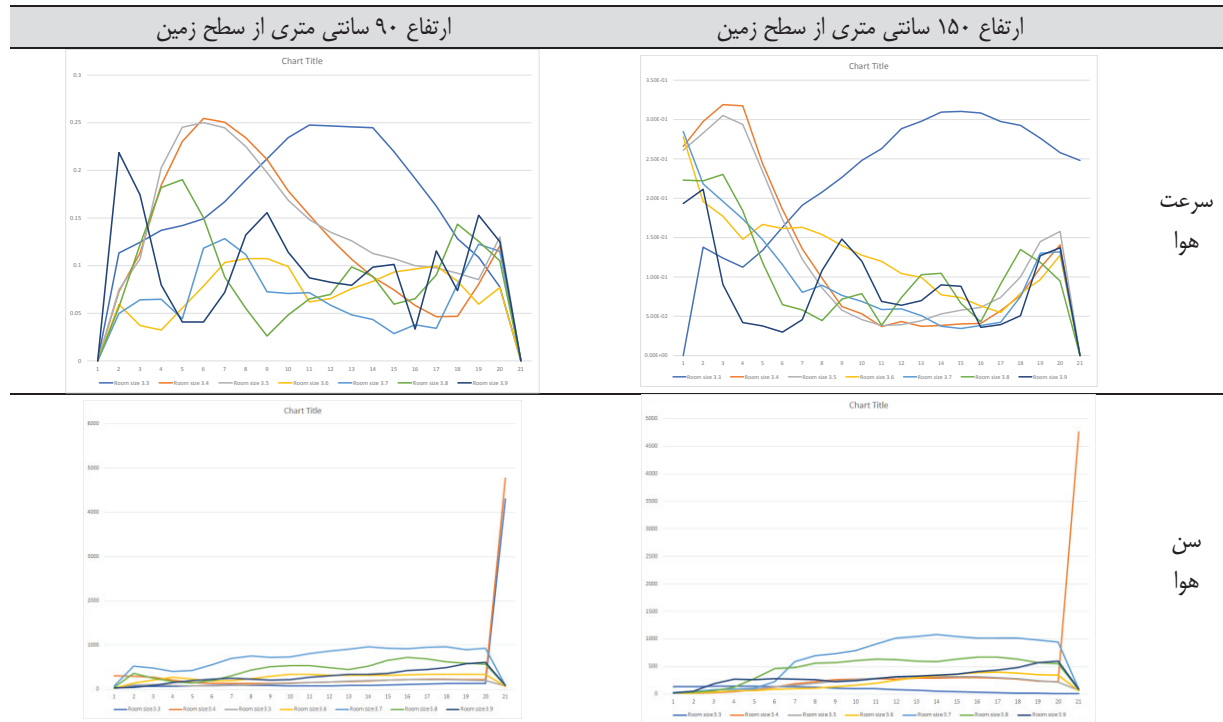
جدول ۵- آنالیز داده‌های خروجی بر حسب سرعت هوا و عمر هوا

| ابعاد اتاق | نمودار عددی سرعت هوا و سن هوا در ارتفاع ۰/۹ متری از سطح زمین | نمودار عددی سرعت هوا و سن هوا در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین | نمودار عددی سرعت هوا و سن هوا در ارتفاع ۰/۹ متری از سطح زمین |
|------------|--|--|--|
| ۳×۳        | <p>velocity</p> <p>Age of air</p>                            | <p>velocity</p> <p>Age of air</p>                            |  |
| ۳×۴        | <p>velocity</p> <p>Age of air</p>                            | <p>velocity</p> <p>Age of air</p>                            |  |
| ۳×۵        | <p>velocity</p> <p>Age of air</p>                            | <p>velocity</p> <p>Age of air</p>                            |  |
| ۳×۶        | <p>velocity</p> <p>Age of air</p>                            | <p>velocity</p> <p>Age of air</p>                            |  |
| ۳×۷        | <p>velocity</p>  | <p>velocity</p>  |  |



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 ارتفاع های مختلف



### حداکثر سرعت تهویه 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 تهویه 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 مجدداً افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۷- حداکثر سرعت تهویه هوا نسبت به عمق

| ابعاد اتاق | ارتفاع (m) | حداکثر سرعت تهویه (m/s) | عمق بروز سرعت حداکثر (m) |
|------------|------------|-------------------------|--------------------------|
| ۳×۳        | ۱/۵        | ۰/۳۲                    | ۰/۵                      |
|            | ۰/۹        | ۰/۲۵                    | ۱                        |
| ۴×۳        | ۱/۵        | ۰/۳۲                    | ۰/۵                      |
|            | ۰/۹        | ۰/۲۶                    | ۱/۲                      |
| ۵×۳        | ۱/۵        | ۰/۳۱                    | ۰/۵                      |
|            | ۰/۹        | ۰/۲۵                    | ۱/۳                      |
| ۶×۳        | ۱/۵        | ۰/۲۸                    | ۰                        |
|            | ۰/۹        | ۰/۱۱                    | ۲/۵                      |
| ۷×۳        | ۱/۵        | ۰/۲۸                    | ۰                        |
|            | ۰/۹        | ۰/۱۳                    | ۲/۱                      |
| ۸×۳        | ۱/۵        | ۰/۲۴                    | ۱                        |
|            | ۰/۹        | ۰/۱۸                    | ۰/۸                      |
| ۹×۳        | ۱/۵        | ۰/۲۲                    | ۰/۵                      |
|            | ۰/۹        | ۰/۲۲                    | ۰/۵                      |

### حداقل سرعت تهویه 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 استثنا 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 استثنا می‌باشد.

جدول ۸- حداقل سرعت تهویه هوا نسبت به عمق

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

## مقایسه حداکثر 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 اتاق ۷×۳ در مابقی 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 حداکثر سرعت هوا و سرعت خروج هوا در اتاق

| ابعاد اتاق | ارتفاع (m) | حداکثر سرعت تهویه (m/s) | عمق بروز سرعت حداکثر (m) |
|------------|------------|-------------------------|--------------------------|
| ۴×۳        | ۱/۵        | ۰/۳۲                    | ۰/۱۵                     |
| ۴×۳        | ۰/۹        | ۰/۲۵                    | ۰/۱۳                     |
| ۵×۳        | ۱/۵        | ۰/۳۱                    | ۰/۱۵                     |
| ۵×۳        | ۰/۹        | ۰/۲۵                    | ۰/۱۴                     |
| ۶×۳        | ۱/۵        | ۰/۲۸                    | ۰/۱۴                     |
| ۶×۳        | ۰/۹        | ۰/۱۱                    | ۰/۰۷                     |
| ۷×۳        | ۱/۵        | ۰/۲۸                    | ۰/۱۴                     |
| ۷×۳        | ۰/۹        | ۰/۱۳                    | ۰/۱۲                     |
| ۸×۳        | ۱/۵        | ۰/۲۴                    | ۰/۱۱                     |
| ۸×۳        | ۰/۹        | ۰/۱۹                    | ۰/۱۴                     |
| ۹×۳        | ۱/۵        | ۰/۲۲                    | ۰/۰۵                     |
| ۹×۳        | ۰/۹        | ۰/۲۳                    | ۰/۱۵                     |

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

با توجه به جدول شماره ۱۰ میزان حداکثر سرعت باد در ارتفاع یک و نیم متر ( ارتفاع ایستاده ) بیشتر از ارتفاع ۹۰ سانتی متری ( ارتفاع نشسته ) می‌باشد.

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

| ابعاد اتاق | حداکثر سرعت تهویه (m/s) | عمق بروز سرعت حداکثر (m) |
|------------|-------------------------|--------------------------|
| ۴×۳        | ۰/۳۲                    | ۰/۲۵                     |
| ۵×۳        | ۰/۳۱                    | ۰/۲۵                     |
| ۶×۳        | ۰/۲۷                    | ۰/۱۱                     |
| ۷×۳        | ۰/۲۸                    | ۰/۱۳                     |
| ۸×۳        | ۰/۲۳                    | ۰/۱۸                     |
| ۹×۳        | 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 ی بعد بیشترین افت در مرکز اتاق ها می باشد. 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 توسعه یافته و در حال توسعه در مصرف انرژی می باشد. 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 اتاق‌هایی با عمق ۴ و ۵ متر صورت گرفته که می‌توان گفت بهینه‌ترین 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 فضاها 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 انتهایی اتاق می‌باشد. همچنین حداکثر سرعت تهویه در ارتفاع ۱/۵ متر همواره بیشتر از ارتفاع ۹۰ سانتیمتر می‌باشد. از این رو نتایج مطلوب از جهت سرعت چرخش هوای داخلی 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 نقشه 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., & Zeghmami, 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

\* Corresponding Author's E-mail: Eskandari@yu.ac.ir