

بررسی ترکیب فضای باز و بسته شهری بر کارایی دودکش خورشیدی، مورد مطالعاتی: ساختمان اداری در اقلیم گرم و خشک شیراز*

محمد مهدی مولایی^۱ - پیمان پیله‌چی‌ها^{۲*} - زهرا زرین‌مهر^۳ - جلیل شاعری^۴

۱. استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲. استادیار گروه معماری، موسسه آموزش عالی کوثر، قزوین، ایران (نویسنده مسئول).
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، موسسه آموزش عالی کوثر، قزوین، ایران.
۴. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۵ تاریخ اصلاحات: ۹۸/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۹/۲۰ تاریخ انتشار: ۹۹/۰۶/۳۱

چکیده

با توجه به رشد جمعیت جهان و بالا رفتن مصرف انرژی استفاده از راهکارهای منفعل امری بسیار مهم در توسعه کشورها است. بخش بزرگی از مصرف انرژی مربوط به صنعت ساختمان و در ساختمان‌های اداری است که با استفاده از راهکارهای منفعل چون دودکش خورشیدی می‌توان میزان مصرف انرژی را به‌طور چشمگیری کاهش داد. دودکش‌های خورشیدی تا حد زیادی به کاهش مصرف انرژی کمک کرده و از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی می‌توانند در تهویه ساختمان و گرمایش و سرمایش مورد استفاده قرار گیرند. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر دودکش خورشیدی بر تهویه و دمای داخلی در ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و خشک شیراز است که ساختمان دارای فرم‌های مختلف شهری است. در این پژوهش اتاقی با دودکش خورشیدی به‌عنوان نمونه موردی در نظر گرفته شد که در پنج حالت مختلف فرم شهری است. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای انسیس فلوئنت^۱ و کامسول^۲ انجام شد. با اندازه‌گیری مقادیر دمای میانگین محیط، سرعت هوای ورودی دودکش و میزان فشار هوای خارج شده و مقایسه آن‌ها در چهار فصل سال، نتایج حاکی از آن است که بهینه‌ترین عملکرد از نظر ایجاد تهویه مربوط به فصل تابستان است. همچنین در فصل‌های سرد باید دریچه دودکش را بست تا گرمایی که از طریق دودکش از خورشید جذب می‌شود باعث گرم شدن محیط شود. مقادیر دما، سرعت و فشار در مدل‌ها دارای اختلاف‌های بسیار کمی هستند اما یافته‌ها نشان می‌دهند که هرچه هوای ورودی و میزان فشار خروجی هوا بیشتر شود، نرخ تهویه و دفعات تعویض هوا هم بیشتر می‌شود. با اختلاف کم در فصل تابستان فرم حیاط مرکزی، بهینه‌ترین فرم شهری است که با اتصال به دودکش خورشیدی بیشترین افزایش نرخ تهویه و کاهش مصرف انرژی را دارد. بعد از این مدل، فرم شهری با حیاط سایه‌دار در ضلع شمالی و پس از آن فرم دو حیاطه بهترین عملکرد را دارند.

واژگان کلیدی: دودکش خورشیدی، تهویه مطبوع، ترکیب فضای پر و خالی.

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «تأثیر فرم شهری بر عملکرد دودکش خورشیدی، نمونه موردی: ساختمان اداری در شهر شیراز» نویسنده سوم است که با راهنمایی نویسنده اول و مشاوره نویسنده دوم در موسسه آموزش عالی کوثر انجام شده است.

** E_mail: p.pilechiha@modares.ac.ir

۱. مقدمه

در حال حاضر مسئله انرژی در تمام جهان از اهمیت بسیاری برخوردار است. ساختمان‌ها ۴۵ درصد انرژی مصرفی دنیا را مصرف می‌نمایند و همچنین ۳۰ درصد گازهای گلخانه‌ای آمریکا را تولید می‌نمایند (Zhai & Previtali, 2010). دلایل روزافزون مصرف انرژی ساختمان‌ها شامل تغییر اقلیم، افزایش نیاز برق خانگی، افزایش ساختمان‌ها، رشد استفاده از وسایل برقی خانگی، تغییرات در صنعت، مصرف زیاد ساختمان‌های موجود و فقدان نظارت دولتی است (Yao & Zhu, 2011). ساختمان‌های بخش مسکونی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی است، مصرف انرژی وابستگی شدیدی با اقلیم منطقه دارد (Zhang, 2004). اقلیم گرم و خشک با دو مشخصه مهم گرمای زیاد و خشکی هوا تعریف می‌شود (Kasmaei, 2003). با توجه به اهمیت سوخت‌های فسیلی و خطر اتمام این منابع باید به دنبال راه‌حلی برای صرفه‌جویی هرچه بیشتر منابع طبیعی بود.

در اقلیم گرم و خشک ایران برای تهویه و به جریان انداختن هوا از روش‌های غیرفعال استفاده می‌شده است (Saheb-zadeh, Dalvand, Sadeghfar, & Heidari, 2018).

سیستم‌های غیرفعال خورشیدی به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که انرژی خورشیدی را بدون استفاده از انرژی ثانویه جمع‌آوری و ذخیره می‌کنند تا در زمان مناسب مورد استفاده قرار گیرد. با این شیوه، اجزای مختلف ساختمان به‌طور هم‌زمان انتظارات مطرح در زمینه معماری، تأمین ایستایی و ایمنی و بهینه‌سازی مصرف انرژی را در یک ساختمان یا بافت شهری برآورده می‌کند (Ghola-mi, Mofidi Shemirani, & Fayaz, 2018). زمانی که گردآوری انرژی و کاهش هزینه‌های تجهیزات و اجرا، جزء اولویت‌های اصلی طراحی محسوب شوند، این سیستم‌ها در بین دیگر سیستم‌های خورشیدی کارآمدترین خواهند بود (Gilani & Kari, 2011). با مطالعات و بررسی‌های بیشتر بر روی راه‌کارهای گذشتگان می‌توان به درک بهتری از آن‌ها نائل شد (Nasab, Pilechiha, & Hajian, 2019) و با استفاده از فناوری‌های روز به کامل‌تر شدن آن‌ها کمک کرد. در میان این روش‌های غیرفعال، می‌توان به نمای دوپوسته (Pilechiha, Mahdavinejad, Mirhosseini, & Ahmadi, 2019) و دودکش‌های خورشیدی اشاره کرد.

دودکش خورشیدی معمولاً از شیشه، حفره و سطح جاذب تشکیل شده است و یک سیستم غیرفعال خورشیدی برای تأمین تهویه با استفاده از اثر دودکشی است. این سیستم شبیه به دودکش‌های متداول است با این تفاوت که دیوار رو به جنوب آن شیشه‌ای است و درواقع از شیشه، حفره و دیواره حجیم برای جذب انرژی خورشیدی تشکیل شده است. پرتوهای خورشیدی از شیشه عبور می‌کنند، جذب سطح دیواره جاذب شده و هوای داخل دودکش را گرم می‌کنند. هوا با گرم شدن و کاهش تراکم طبق

اثر دودکشی بالا رفته و یک نیروی رانشی ایجاد می‌کند و باعث می‌شود هوای زیرین از داخل اتاق جایگزین آن شود. بدین ترتیب تهویه طبیعی افزایش می‌یابد و باعث خروج آلودگی هوا از فضای داخل می‌شود (Miyazaki, Akisa-wa, & Kashiwagi, 2006).

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تهویه دودکشی، اختلاف دمای داخل و خارج است. در تابستان اختلاف دمای داخل و خارج زیاد نیست، در نتیجه بهره‌مندی از اثر شناوری در دودکش معمولی که از قوانین تهویه دودکشی استفاده می‌کنند کافی نخواهد بود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند ترکیب تابش و همرفت در دودکش خورشیدی منجر به حرکت قابل توجه هوا و افزایش تهویه می‌شود (Khanal & Lei, 2011). در ساعات روز دیوار جاذب به‌عنوان ذخیره حرارت عمل کرده و باعث می‌شود عملکرد دودکش خورشیدی در ساعات طولانی پس از غروب هم ادامه داشته باشد و یا حتی صرفاً برای تهویه شبانه استفاده شود که این امر در اقلیم گرم و خشک کاربرد زیادی دارد (Pantavou, Theo-haratos, Mavrakis, & Santamouris, 2011). دودکش خورشیدی سازوکاری شبیه دیوار ترومب داشته و از قانون ساده فیزیک تبعیت می‌کند. بدین ترتیب که نور خورشید یا همان شار انتقال حرارت تابشی خورشید، پس از عبور از شیشه یا دیواره شفاف به صفحه جاذب برخورد کرده و موجب گرم شدن صفحه و هوای اطراف آن و بالا رفتن این هوا در اثر چگالی‌اش می‌شود (Lee & Strand, 2009).

۲. پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر، درک روند مصرف و تبیین روش‌هایی جهت بهینه‌سازی، مورد توجه پژوهشگران و مدیران انرژی در بخش مسکونی قرار گرفته است. در این زمینه، سوان و آگورسال به مرور ادبیات تکنیک‌های متفاوت استفاده‌شده در مدل‌سازی انرژی مصرفی بخش مسکونی پرداخته‌اند (Swan & Ugursal, 2009). دونگ و همکارانش از یک الگوریتم شبکه عصبی، برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان در مناطق گرمسیر استفاده کردند (Dong, Cao, & Lee, 2005). هیرست و همکارانش، داده‌های پیمایش مصرف موقت انرژی در سطح ملی در مورد مصرف انرژی خانگی اعم از کل انرژی مصرفی، مصرف برق و استفاده از سوخت‌های اصلی گرمایش فضا را بررسی کردند (Hirst, Goeltz, & Carney, 1982). جابر و عجیب، ارزیابی بهترین جهت‌گیری ساختمان، اندازه پنجره و ضخامت عایق‌کاری حرارتی برای یک ساختمان مسکونی در منطقه مدیترانه را انجام داده و مطرح کرده‌اند که در حدود ۲۹- درصد از مصرف انرژی سالانه را می‌توان با انتخاب بهترین جهت، اندازه بهینه پنجره‌ها، سایبان و ضخامت مطلوب عایق صرفه‌جویی نمود (Jaber & Ajib, 2011). آتشین جبین و یزدانی، تأثیر فرم بر میزان مصرف انرژی ساختمان با تحلیل احجام در اقلیم جزیره کیش را بررسی

کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که فرم در کاهش مصرف نقش به‌سزایی دارد (Atashinjabin & Yazdani, 2016). زهرا برزگر و حیدری با بررسی تأثیر تابش خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی در شهر شیراز به این نتیجه رسیده‌اند که بهترین بدنه‌های ساختمان در راستای جذب انرژی خورشید اقلیمی بدنه‌های عمودی است و در صورتی که جهت‌گیری ساختمان مناسب باشد، با جذب این نوع تابش می‌توان خانه‌هایی کم‌مصرف در تمامی بخش‌ها مانند گرمایش، سرمایش، روشنایی طراحی نمود (Barzegar & Heidari, 2013). اولین مطالعات در حوزه دودکش‌های خورشیدی در سال ۱۹۹۳ میلادی توسط بنسال و همکارانش انجام شد. ایشان افزایش تهویه را در صورت استفاده از دودکش خورشیدی و طراحی صحیح سیستم دائمی از طریق مدل ریاضی اثبات کردند (Bansal, Mathur, & Bhandari, 1994). خداری و همکارانش همچنین انواع مختلف دودکش‌های خورشیدی را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که دودکش‌ها در توالی تهویه و جریان هوا مؤثرند (Khedari, Boon- & Hirunlabh, 2000). ساندافورن و بوندیت به صورت آزمایشی تأثیر دودکش خورشید را بر افزایش تهویه هوای داخل در صورت وجود یا عدم وجود بام مرطوب 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 (Chungloo & Lim- & meeochokchai, 2009). آفونسو و الیویرا با مقایسه بین دو دودکش خورشیدی و دودکش معمولی تأثیر انرژی خورشید را بر افزایش تهویه تایید کرده‌اند (Afonso & Oliveira, 2000). چاروت و همکارانش به این نتیجه رسیده‌اند که با افزودن جرم حرارتی، سرعت هوا در ساعات شب افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از دودکش خورشیدی در طول روز، ۲۵ درصد افزایش سرعت هوا را به همراه دارد (Charvat, Jicah, & Stetina, 2004). راکش و چنگ وانگ با بررسی عددی جریان هوا در دودکش خورشیدی نشان داده‌اند 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 (Khanal & Lei, 2012). میازاکی و همکارانش به بررسی عملکرد یک دودکش خورشیدی در یک ساختمان اداری در اقلیم ژاپن به این نتیجه دست‌یافته‌اند که با استفاده از تهویه طبیعی ناشی از دودکش خورشیدی، انرژی روزانه موردنیاز در ماه‌هایی از سال در حدود ۹۰ درصد کاهش یافته است (Miyazak, 2006). چانتاوانگ عملکرد یک دودکش خورشیدی شیشه‌ای را در شرایط آب‌وهوایی گرمسیر تایلند مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است و نتیجه گرفته انتقال گرما از دیواره‌های شیشه‌ای به داخل خانه را با افزایش گردش هوا می‌توان کاهش داد (Chantawong, Hirunlabh, Zeghmati, Khedari, Teekasap, & Win,

2006). فونیاسومین و همکارانش عملکرد دودکش خورشیدی را در یک ساختمان چند طبقه در بانکوک به صورت آزمایشی و عددی بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که در صورتی که دودکش خورشیدی به تمام طبقات متصل باشد عملکرد بهتری دارد (Punyasom- & Hirunlabh, Khedari, & Zeghmati, 2009). چن و همکارانش مطالعاتی در مورد فاصله هوایی و همچنین زاویه تمایل دودکش انجام داده و به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین نرخ جریان در زاویه ۴۵ درجه برای فاصله هوایی ۲۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱.۵ متر به دست می‌آید (Chen, Bandopadhyay, Halldorsson, Byrjalsen, & Heiselberg, & Li, 2003). مشفق و سند برگ ویژگی‌های انتقال جریان و حرارت ناشی از انتقال جابجایی بویانسی را در پشت صفحه‌های خورشیدی فوتوولتائیک بررسی کردند (Moshfegh & Sandberg, 1998). رامن و همکارانش یک خانه خورشیدی غیرفعال برای گرمایش و سرمایش و تهویه در آب‌وهوای مرکب را آزمایش کرده‌اند. ظرفیت تغذیه هوای دودکش‌های خورشیدی در این پژوهش به وسیله محاسبات، پیش‌بینی شده و به وسیله اندازه‌گیری آزمایشگاهی تأیید شده است (Bassiouny & Korah, 2009). ثقفی و حیدری چهار اقلیم را با یکدیگر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند دودکش خورشیدی در اقلیم گرم و خشک بیشترین عملکرد را دارد (Saghafi & Fakhari, 2012). با مقایسه نمونه‌های مطرح‌شده در بالا در روش‌های پژوهش می‌توان با سه روش مشاهداتی، شبیه‌سازی و محاسباتی به انجام پژوهش پرداخت؛ اما به دلیل وجود محدودیت‌هایی نظیر عدم امکان اندازه‌گیری حرارت نمونه واقعی دودکش خورشیدی و بازدید میدانی، در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی کامپیوتری (انسیس فلونت و کامسول) و محاسبات عددی، کمیت‌هایی مانند دما و الگوهای جابجایی هوا شبیه‌سازی رایانه‌ای دینامیک سیالات محاسباتی و تحلیل شده است.

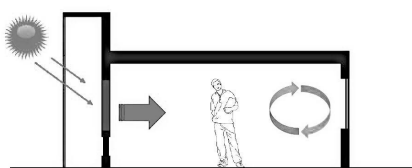
۲-۱- دودکش خورشیدی

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 می‌شود. 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 (Shamsai, Mahmoudi, Sarlak, & Vosoughifar, 2011). دودکش‌های خورشیدی به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: تولیدکننده برق

هواست که در آن مکانیسم محرک جریان هوا، شناوری حرارتی است و شامل شیشه، حفره و دیوار حجیم برای جذب انرژی خورشیدی است (Miyazaki, Akisawa, & Kashiwagi, 2006).

ثقفی و فخاری دودکش خورشیدی را در چهار اقلیم ایران با یکدیگر مقایسه کرده و در بهترین اقلیم، چند شهر را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند در اقلیم گرم و خشک بالاترین بازدهی رخ می‌دهد. عملکرد دودکش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف متفاوت است؛ بررسی‌های انجام‌شده بر روی سه شهر اصفهان، تبریز و بندرعباس با سه اقلیم مختلف نشان می‌دهد اصفهان در طول شبانه‌روز بیشترین نرخ جریان حجمی هوا اتفاق می‌افتد؛ و کم‌ترین در شهر بندرعباس. بر همین اساس نرخ جریان حجمی، دمای هوای خروجی دودکش خورشیدی و نرخ تهویه و دمای هوا خروجی در اقلیم‌های مختلف متفاوت است. پس از سه شهر در اقلیم گرم و خشک با یکدیگر مقایسه شده‌اند و بین شهرهای اصفهان، یزد و شیراز، شهر شیراز بیشترین عملکرد را دارد (Saghafi & Fakhari, 2012). 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 عواملی مانند: ارتفاع، پهنای عمق حفره، نوع شیشه، نوع جاذب، عایق و ماده‌ی ذخیره‌ی حرارتی (مثل آجر، بتن، سنگ و هر ماده با ظرفیت حرارتی بالا) در عملکرد دودکش مؤثر هستند (Khamse, 2010).

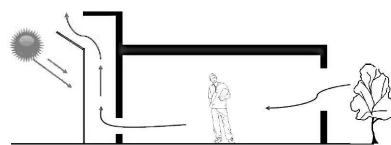
شکل ۲: عملکرد دودکش خورشیدی با دریچه باز در تابستان



این پژوهش پنج ساختمان اداری فرضی که دارای حیاط هستند و از مدل‌های رایج استفاده‌شده در ایران هستند مدل‌سازی شده‌اند. از آنجا که برای بالا رفتن عملکرد دودکش خورشیدی نیاز به تابش آفتاب وجود دارد، بنابراین ساختمان‌هایی با کاربری اداری و یا مدارس که ساعت کار مفید آن‌ها از صبح تا اواخر ظهر هستند بهترین گزینه برای به‌کارگیری دودکش خورشیدی هستند. همان‌طور که پیش‌تر هم گفته شد، دودکش خورشیدی در شهر شیراز بیشترین کارایی را در ایران دارد؛ بنابراین یک فضای اداری در اقلیم شهر شیراز مدل‌سازی شده است. ابعاد اتاق‌ها در مدل‌های شبیه‌سازی شده، ۶×۸ متر و با ارتفاع ۲.۷ متر است که به یک دودکش خورشیدی

و تهویه‌کننده. نوع اول معمولاً در مقیاس بزرگ صنعتی ساخته می‌شود. درحالی‌که 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 موردنیاز 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 به‌صورت عمودی با کم‌ترین اصطکاک انجام پذیرد. 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 تعبیه‌شده 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 (Ghiabaklou, 2013). همان‌گونه که ذکر شد دودکش خورشیدی دارای نوع‌های مختلفی است که امروزه با راهکارهای منفعل دیگر ترکیب نموده و در اقلیم‌های مختلف در فصول سرد و گرم و برای کاربری‌های متفاوت استفاده می‌شود. بایستی توجه نمود دودکش خورشیدی نوع دوم، شبیه به دودکش‌های متداول هستند با این تفاوت که دیوار جنوبی در آن‌ها شیشه‌ای است. دودکش خورشیدی درواقع یک کانال

شکل ۱: عملکرد دودکش خورشیدی با دریچه بسته در زمستان



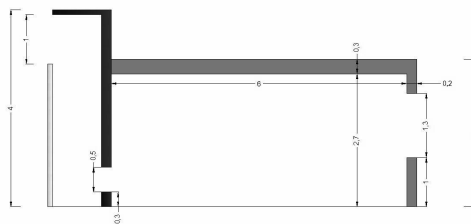
۳. روش تحقیق

با توجه به رشد جمعیت جهان و بالا رفتن مصرف انرژی استفاده از راهکارهای منفعل امری بسیار مهم در توسعه کشورها است. بخش بزرگی از مصرف انرژی مربوط به صنعت ساختمان و در ساختمان‌های اداری است که با استفاده از راهکارهای منفعل چون دودکش خورشیدی می‌توان میزان مصرف انرژی را به‌طور چشمگیری کاهش داد. با توجه به این‌که هدف از این پژوهش بررسی تأثیر دودکش خورشیدی بر تهویه و دمای داخلی در ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و خشک شیراز است که ساختمان دارای فرم‌های مختلف شهری است. در

آرگون و یک لایه شیشه بی‌رنگ)، دیوار پوسته خارجی به ترتیب از خارج به داخل از ۱۰ سانتی‌متر بتن همراه با ۵ سانتی‌متر عایق تشکیل شده است و دیوار حفاصل بین اتاق و دودکش که به‌عنوان جاذب عمل می‌کند از داخل به خارج به ترتیب، از ۵ سانتی‌متر عایق و ۱۰ سانتی‌متر بتن تشکیل شده است. تطابق مدل پژوهش با مدل پژوهش ثقفی و فخاری (Saghafi & Fakhari, 2012) برای صحت سنجی نتایج در مراحل اولیه اختیار شده است.

متصل هستند. یک ورودی هوا برای هر اتاق به ابعاد 1.3×2 متر در نظر گرفته شده است. ورودی هوا به دودکش از طریق یک دریچه به ارتفاع ۰.۵ متر، به عرض ۱.۵ متر و به فاصله ۰.۳ متر از کف در هر طبقه است. عمق دودکش ۱ متر و ارتفاع آن ۱ متر بالاتر از سقف اتاق یعنی ۴ متر است. مصالح به‌کاررفته در مدل پژوهش در کف بتنی است و بام از بتن و یک لایه عایق تشکیل شده است. دودکش از شیشه دوجداره (لایه شیشه بی‌رنگ، ۱۳ میلی‌متر گاز

شکل ۳: هندسه مدل و ابعاد و اندازه‌های آن

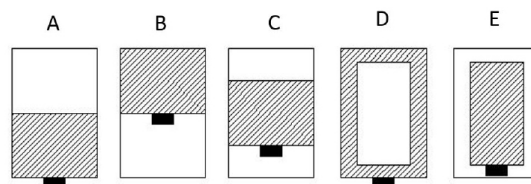


بعد از ظهر در هر ساعت انجام شده است. اقلیم گرم و خشک در شهر شیراز با توجه به بررسی‌های انجام شده، بیشترین میزان نرخ تهویه را دارد (Saghafi & Fakhari, 2012). از آنجاکه فرم ساختمان بر میزان مصرف انرژی ساختمان تأثیر دارد، برای رسیدن به بهترین فرم، پنج حالت مختلف به همراه حیاط سایه‌دار در نظر گرفته شده است (شکل ۴). برای کیفیت بخشیدن به هوای ورودی می‌توان هوای آن را از حیاط‌های سایه‌داری که دارای فضای سبز است، تأمین نمود تا هوای ورودی خنک‌تر و مرطوب‌تر شود.

۳-۱- شبیه‌سازی مدل‌ها

شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار آنسیس فلونت و کامسول استفاده شده است. فلونت یک نرم‌افزار مهندسی به کمک رایانه در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده است. محاسبات لازم برای هر فرم در هر ساعت با نرم‌افزار کامسول محاسبه شده است. شبیه‌سازی در اول روزهای اعتدالین و انقلابین در ساعات اداری از ۸ صبح تا ۱۶

شکل ۴: حالات مختلف قرارگیری دودکش خورشیدی در پنج حالت فضای باز و بسته شهری

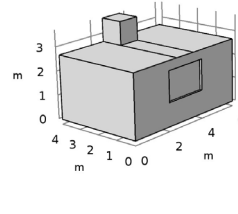


گرفته شد. در مش‌بندی مدل‌ها، نقاطی که از اهمیت بالاتری برخوردار هستند مش‌بندی مترکم‌تری دارند تا دقت کار بالا برود (شکل ۷)، شرایط مرزی نیز بر اساس عرض جغرافیایی محاسبه شده‌اند (شکل ۸). در نهایت کانتور دمای میانگین داخل اتاق (شکل ۹)، کانتور دما در نقاط ورودی و خروجی هوا (شکل ۱۰)، کانتور میزان سرعت هوای ورودی به داخل اتاق (شکل ۱۱) و همچنین میزان فشار هوای خارج شده از دودکش خورشیدی (شکل ۱۲) استخراج شده است. تصاویر ارائه شده در این قسمت به‌عنوان نمونه صرفاً برای فصل تابستان است.

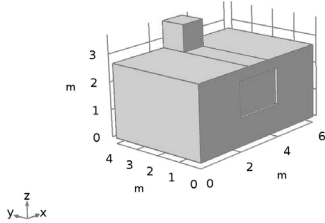
ترکیب تمامی فضاهای پر و خالی مساحت یکسان دارد. مدل A یک اتاقک پشت به جنوب است که در ضلع شمال دارای حیاط است. مدل B همانند مدل A است ولی حیاط در ضلع جنوب قرار گرفته است؛ مدل C اتاقک پشت به جنوب در میان زمین است و دو حیاط در شمال و جنوب دارد؛ مدل D به‌صورت حیاط مرکزی و در مدل E حیاط دورتادور بنا قرار گرفته است.

مدل‌سازی هر مدل در نرم‌افزار آنسیس فلونت انجام گرفته است (شکل ۵) و متریاها و سایر مشخصات لازم روی مدل هندسی مورد نظر اعمال شده‌اند (شکل ۶) و دیوارهای حیاط به ارتفاع اتاق برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار در نظر

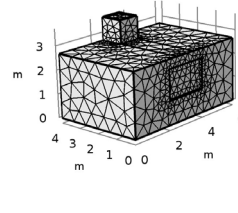
شکل ۵: هندسه فرم به صورت ژئومتریک



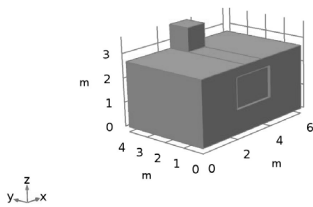
شکل ۶: نقاطی که به هوا و متریال در این نواحی اعمال شده است



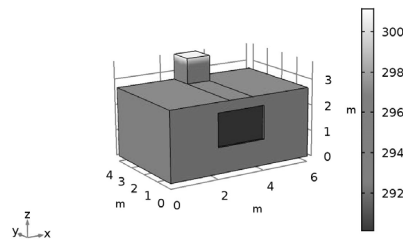
شکل ۷: شبکه بندی سیستم به صورت مش بندی



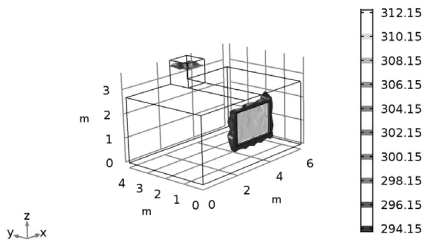
شکل ۸: شرایط مرزی بر اساس عرض جغرافیایی



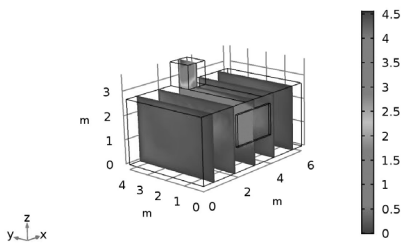
شکل ۹: کانتور دمای میانگین کل اتاق بر حسب سانتی گراد



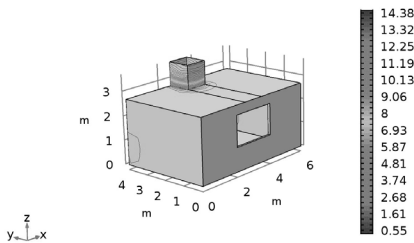
شکل ۱۰: کانتور دما در ورودی و خروجی هوا بر حسب سانتی گراد



شکل ۱۱: کانتور سرعت هوای ورودی به داخل اتاق بر حسب متر بر ثانیه



شکل ۱۲: کانتور فشار هوای خروجی از دودکش بر حسب پاسکال

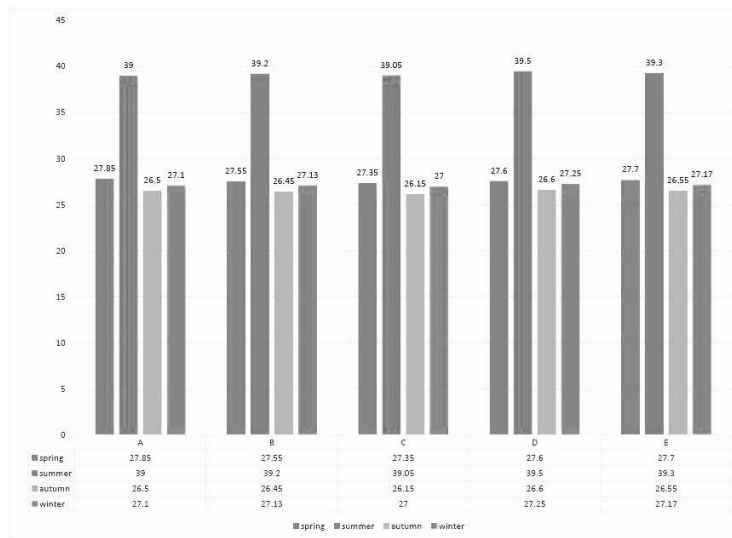


۴. تحلیل رفتار مدل ها

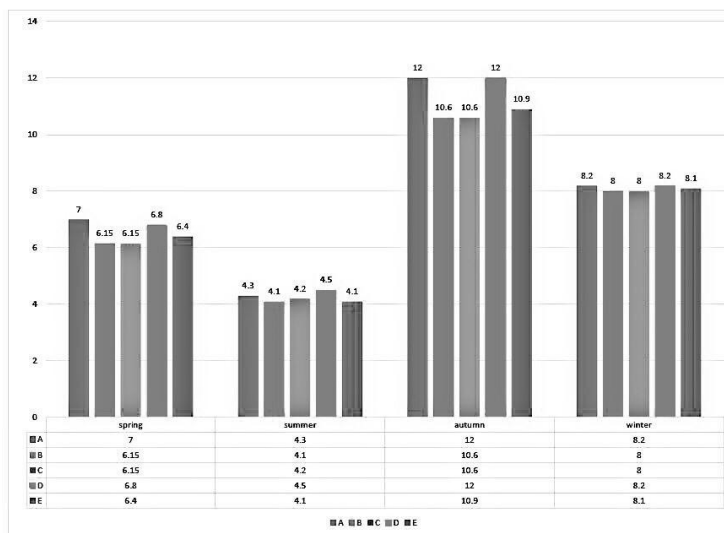
مقایسه بین نرخ جریان تهویه در مدل های مختلف نشان می دهد که در شرایط یکسان، حالات مختلف ترکیب

فضای باز و بسته شهری، عملکرد دودکش خورشیدی را تحت تأثیر قرار می دهد. در ادامه داده های مربوط به میزان دما، سرعت، فشار در چهار فصل با یکدیگر مقایسه شده اند.

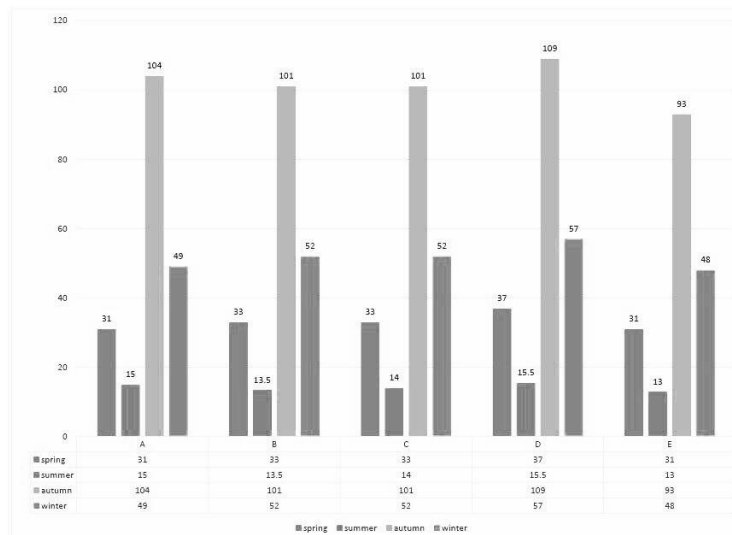
شکل ۱۳: میزان میانگین دمای در چهار فصل (سانتی‌گراد)



شکل ۱۴: میزان سرعت هوای ورودی در چهار فصل (متر بر ثانیه)



شکل ۱۵: میزان فشار هوای خارج شده در چهار فصل (پاسکال)

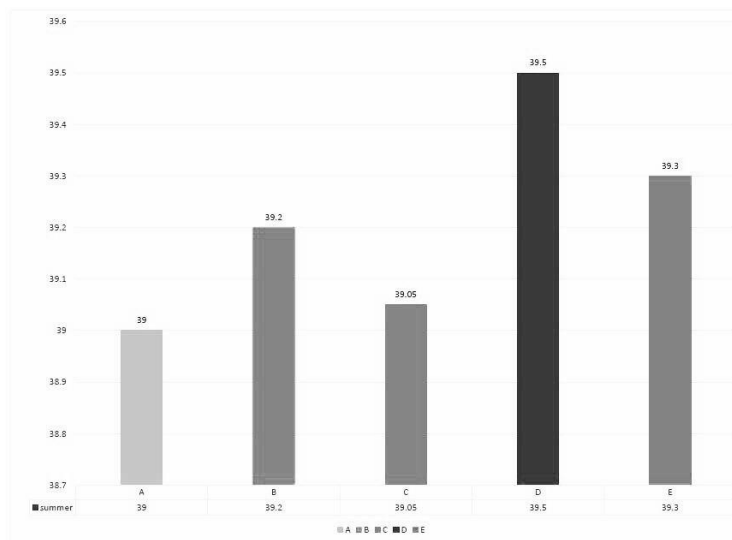


جذب می‌شود، داخل محیط باقی بماند و محیط را گرم کند. با توجه به عملکرد درست دودکش خورشیدی در تابستان و هوای گرم، با به جریان انداختن هوا و خنک شدن محیط تا حد زیادی می‌توان در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی کرد.

در ادامه به بررسی بیشتر عملکرد دودکش خورشیدی در فصل تابستان پرداخته می‌شود. در شکل ۱۶ پنج حالت مختلف از نظر میانگین دمای داخل محیط در روز اول تیرماه مقایسه شده‌اند. نتیجه نشان می‌دهد که مدل D در این فصل بیشترین دما و A، B، C و E به ترتیب کم‌ترین میزان دما را در فصل تابستان داشته‌اند.

مقایسه اطلاعات در نمودارها نشان می‌دهد دودکش خورشیدی به‌عنوان سیستمی برای تهویه و خنک کردن محیط داخل فقط در فصل تابستان عملکرد قابل قبولی دارد و در فصول دیگر کارایی مناسبی ندارد. در فصول سردتر به دلیل جریان هوای زیادی که در محیط ایجاد می‌شود آسایش برای افراد در حال فعالیت در اتاق از بین می‌رود و محیط را بسیار سرد می‌شود (شکل ۱۴ و ۱۵)؛ بنابراین از دودکش خورشیدی در فصل تابستان استفاده می‌شود و در فصول دیگر همان‌طور که در بخش ادبیات موضوع هم به آن اشاره شد، دریچه دودکش بسته می‌شود تا گرمایی که از طریق خورشید به بدنه دودکش

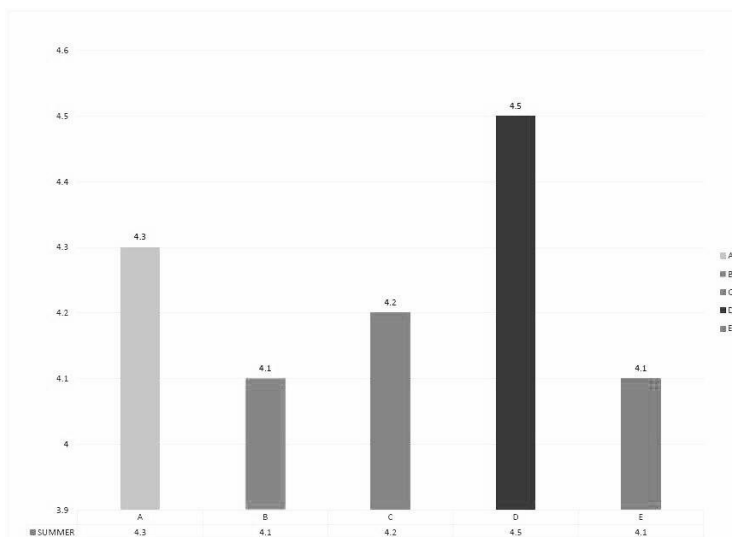
شکل ۱۶: میزان میانگین دما در فصل تابستان (سانتی‌گراد)



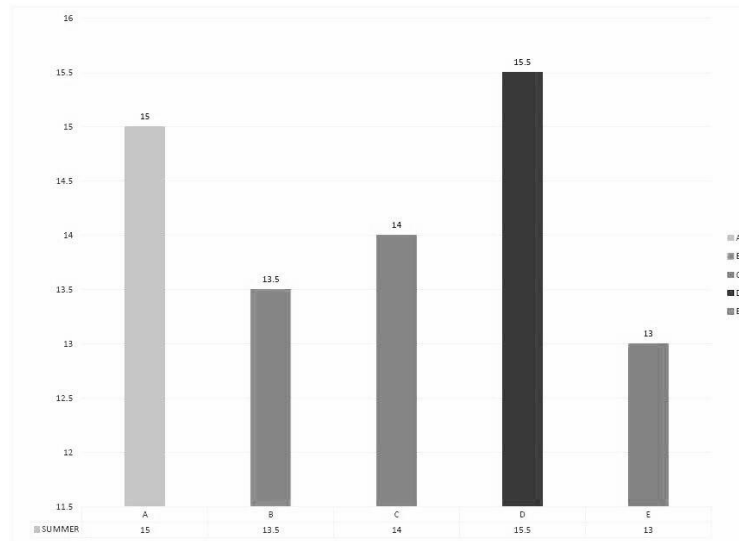
سرعت یکسان بوده‌اند (شکل ۱۷). مقایسه میزان فشار هوای خروجی از دودکش در روز اول تیرماه (شکل ۱۸) نشان می‌دهد مدل D بیشترین مدل‌های A، B، C و E به ترتیب کم‌ترین میزان فشار را در این روز داشته‌اند.

به همین ترتیب میزان سرعت هوای ورودی به داخل محیط بین ۵ مدل در شکل ۱۷ مقایسه شده است و در بین آن‌ها مدل B بیشترین میزان سرعت و مدل‌های A، B، C و E به ترتیب کم‌ترین میزان سرعت در روز اول تیرماه را داشته‌اند، به‌علاوه مدل‌های B و E دارای مقادیر

شکل ۱۷: میزان سرعت هوای ورودی در فصل تابستان (متر بر ثانیه)



شکل ۱۸: میزان فشار هوای خروجی در فصل تابستان (پاسکال)



است، شکل حیاط مرکزی با اختلاف ۰.۵ پاسکال بیشتر از شکل A و ۲.۲ پاسکال بیشتر از شکل E که کمترین فشار هوای خروجی را دارد، بیشترین فشار هوای خروجی را دارد.

در مقایسه مدل‌ها در تابستان، به ترتیب مدل حیاط مرکزی (شکل D) بهترین عملکرد را داشته و سپس مدل A با حیاط سایه‌دار شمالی، مدل C با داشتن ۲ حیاط شمالی و جنوبی، مدل B با حیاط جنوبی (که به دلیل رو به آفتاب بودن هیچ‌گونه سایه‌اندازی ندارد) و در آخر مدل E به دلیل کشیدگی زیاد شمالی جنوبی بودن شکل کمترین عملکرد را داشته‌اند. هرچه حجم هوای وارد شده به داخل اتاق بیشتر باشد، مکش ایجاد شده بیشتر شده و هوا با فشار بیشتری از دودکش خارج خواهد شد و منجر به تهویه بهتر و تعویض هوا بیشتری می‌شود. در نتیجه نرخ تهویه افزایش یافته و آسایش بیشتری فراهم می‌شود؛ بنابراین در اقلیم گرم و خشک شیراز و در فصل تابستان مدل حیاط مرکزی (شکل D) که مدل سنتی معماری ایرانی در این مناطق بوده است، بیشترین کارایی را از نظر تهویه در ترکیب با دودکش خورشیدی دارد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند در صرفه‌جویی انرژی با استفاده از روش‌های غیرفعال، مانند دودکش خورشیدی، می‌توان به تهویه ساختمان، گرمایش و سرمایش آن تا حد زیادی کمک کرد. دودکش خورشیدی در اقلیم گرم و خشک نسبت به سایر اقلیم‌ها (به‌خصوص در فصل تابستان) عملکرد بهتری دارد. در این پژوهش با توجه به عملکرد بهتر دودکش در شهر شیراز، تهویه، میزان میانگین دمای داخل اتاق‌ها، میزان سرعت هوای ورودی اتاق‌ها و میزان فشار هوای خروجی از اتاق در فصل تابستان در پنج مدل ترکیبی از فضای پر و خالی مقایسه شده‌اند.

اختلاف دمای میانگین اتاق مورد مطالعه بین مدل‌ها در فصل تابستان بسیار کم است، مدل حیاط مرکزی (D) با مدل جنوبی ساز (A) که کمترین میزان دما را دارد تنها ۰.۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف دما دارد، همچنین سرعت هوای ورودی در این مدل با مدل شمالی ساز (B) که کمترین میزان سرعت را دارد تنها ۰.۴ متر بر ثانیه اختلاف دارد؛ اما اختلاف‌ها در میزان فشار هوای خروجی قابل توجه

پی‌نوشت

1. Ansys Fluent
2. Comsol

REFERENCES

- Atashinjabin, A., & Yazdani, H. (2016). Form Effect on Building Energy Consumption by Inventory Analysis by Design Builder in Kish Island. *Civil Engineering, Architecture, Urban Planning, and Geography Science in Ancient and Contemporary Iran*. Tehran. https://www.civilica.com/Paper-SCEAUG01-SCEAUG01_115.html
- Afonso, C., & Oliveira, A. (2000). Solar Chimneys: Simulation and Experiment. *Energy and Buildings*, 32(1), 71-79. [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(00\)94585-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(00)94585-5)
- 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. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0360-1323(94)90008-6)
- Barzegar, Z., & Heidari, S. (2013). Investigation of the Effects of Building Envelopes Received Solar Radiation on Residential Energy Consumption: A Case of SW and SE Orientation in Shiraz. <https://dx.doi.org/10.22059/jfaup.2013.36356>
- Bassiouny, R., & Korah, N.S. (2009). Effect of Solar Chimney Inclination Angle on Space Flow Pattern and Ventilation Rate. *Energy and Buildings*, 41(2), 190-196. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.08.009>
- Charvat, P., Jicah, M., & Stetina, J. (2004). Solar Chimneys for Ventilation and Passive Cooling. In World Renewable Energy Congress, Denver, USA. https://www.researchgate.net/profile/Pavel_Charvat/publication/264882993_SOLAR_CHIMNEYS_FOR_VENTILATION_AND_PASSIVE_COOLING/links/53fdd93c0cf22f21c2f85410.pdf
- Chantawong, P., Hirunlabh, J., Zeghamati, B., Khedari, J., Teekasap, S., & Win, M. M. (2006). Investigation on Thermal Performance of Glazed Solar Chimney Walls. *Solar Energy*, 80(3), 288-297. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X05000940>
- Chen, Z.D., Bandopadhyay, P., Halldorsson, J., Byrjalsen, C., Heiselberg, P., & Li, Y. (2003). An Experimental Investigation of a Solar Chimney Model with Uniform Wall Heat Flux. *Building and Environment*, 38(7), 893-906. [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(03\)00057-x](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(03)00057-x)
- Chungloo, S., & Limmeechokchai, B. (2009). Utilization of Cool Ceiling with Roof Solar Chimney in Thailand: The Experimental and Numerical Analysis. *Renewable Energy*, 34(3), 623-633. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.026>
- Dong, B., Cao, C., & Lee, S. E. (2005). Applying Support Vector Machines to Predict Building Energy Consumption in Tropical Region. *Energy and Buildings*, 37(5), 545-553. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804002981>
- Ghiabaklou, Z. (2013). *Fundamentals of Building Physics 2 Environmental Control*, ACECR Publication, Amir-kabir University of Technology Branch, Tehran.
- Gilani, S., & Mohammad Kari, B. (2011). Investigation of Greenhouse's Thermal Performance in Residential Buildings of Cold Climate Case Study: City of Ardebil. *Modares Mechanical Engineering*, 11(2), 147-157. http://journals.modares.ac.ir/files/mme/user_files_749497/nejadamin-A-15-13618-6-7c5793f.pdf
- Gholami, M., Mofidi Shemirani, M., & Fayaz, R. (2018). A Modelling Methodology for a Solar Energy-efficient Neighbourhood. *Smart and Sustainable Built Environment*, 7(1), 117-132. <https://doi.org/10.1108/SAS-BE-10-2017-0044>
- Hirst, E., Goeltz, R., & Carney, J. (1982). Residential Energy Use: Analysis of Disaggregate Data. *Energy Economics*, 4(2), 74-82. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014098838290024X>
- Jaber, S., & Ajib, S. (2011). Optimum, Technical and Energy Efficiency Design of Residential Building in Mediterranean Region. *Energy and Buildings*, 43(8), 1829-1834. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811001022>
- Kasmaei, M. (2003). *Climate and Architecture*. Soil Publication, Esfahan., Iran.
- Khamse, V. (2010). Solar Chimney and Building Ventilation, *HVAC Magazine*, 7. <https://www.magiran.com/p821538>
- Khanal, R., & Lei, C. (2011). Solar Chimney-A Passive Strategy for Natural Ventilation. *Energy and Buildings*, 43(8), 1811-1819. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.035>
- Khanal, R., & Lei, C. (2012). Flow Reversal Effects on Buoyancy Induced Air Flow in a Solar Chimney. *Solar Energy*, 86(9), 2783-2794. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.015>
- 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. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(99\)00042-0](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(99)00042-0)
- Lee, K.H., & Strand, R.K. (2009). Enhancement of Natural Ventilation in Buildings Using a Thermal Chimney. *Energy and Buildings*, 41(6), 615-621. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.12.006>
- Miyazaki, T., Akisawa, A., & Kashiwagi, T. (2006). The Effects of Solar Chimneys on Thermal Load Mitigation of Office Buildings Under the Japanese Climate. *Renewable Energy*, 31(7), 987-1010. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.05.003>

- Moshfegh, B., & Sandberg, M. (1998). Flow and Heat Transfer in the Air Gap Behind Photovoltaic Panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2(3), 287-301. [https://doi.org/10.1016/s1364-0321\(98\)00005-7](https://doi.org/10.1016/s1364-0321(98)00005-7)
- Nasab, A.M., Pilechiha, P., & Hajian, M. (2019). A Justified Plan Graphical Mathematical Analysis of Traditional Houses in Moderate and Humid Climate of Iran. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 10(9). <https://doi.org/2010.14456/ITJEMAST.2019.113>
- Pantavou, K., Theoharatos, G., Mavrakakis, A., & Santamouris, M. (2011). Evaluating Thermal Comfort Conditions and Health Responses during an Extremely Hot Summer in Athens. *Building and Environment*, 46(2), 339-344. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.026>
- Pilechiha, P., Mahdavejrad, M., Mirhosseini, S.N., & Ahmadi, J. (2019). Depth Optimisation of Double Skin Façade, Considering Thermal Properties: Case Study of Karaj, Iran. *African Journal of Engineering Research*, 7(3), 57-63. <http://www.netjournals.org/pdf/AJER/2019/3/19-028.pdf>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.032>
- Saghafi, M., & Fakhari, M. (2012). The Effect of Solar Chimney on Building Ventilation in Different Climates of Iran. *Naqshejahan-Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 2(2), 43-54. <http://journals.modares.ac.ir/article-۲-۱۱۵۶۲-fa.html>
- Sahebzadeh, S., Dalvand, Z., Sadeghfard, M., & Heidari, A. (2018). Vernacular Architecture of Iran's Hot Regions; Elements and Strategies for a Comfortable Living Environment. *Smart and Sustainable Built Environment*. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2017-0065>
- Shamsai, A., Mahmoudi, B., Sarlak, M., & Vosoughifar, H. R. (2011). Numerical Modeling of Air Flow in Solar Chimney. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 45(4), 437-442. https://journals.ut.ac.ir/article_23743_0c7afe77a0b8819cc7c4ed8027b296cb.pdf
- Swan, L.G., & Ugursal, V.I. (2009). Modeling of End-Use Energy Consumption in the Residential Sector: A Review of Modeling Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1819-1835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>
- Yao, J., & Zhu, N. (2011). Enhanced Supervision Strategies for Effective Reduction of Building Energy Consumption—A Case Study of Ningbo. *Energy and Buildings*, 43(9), 2197-2202. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.027>
- Zhai, Z.J., & Previtali, J.M. (2010). Ancient Vernacular Architecture: Characteristics Categorization and Energy Performance Evaluation. *Energy and Buildings*, 42(3), 357-365. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.002>
- Zhang, Q. (2004). Residential Energy Consumption in China and Its Comparison with Japan, Canada, and USA. *Energy and Buildings*, 36(12), 1217-1225. [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(05\)81372-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(05)81372-4)

نحوه ارجاع به این مقاله

مولایی، محمدمهدی؛ پیله‌چی‌ها، پیمان؛ زرین‌مهر، زهرا و شاعری، جلیل. (۱۳۹۹). بررسی ترکیب فضای باز و بسته شهری بر کارایی دودکش خورشیدی، مورد مطالعاتی: ساختمان اداری در اقلیم گرم و خشک شیراز. نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۳(۳۱)، ۱۵۷-۱۶۷.

DOI: 10.22034/AAUD.2019.114938.1411

URL: http://www.armanshahjournal.com/article_113266.html



