

# بررسی نقش مکان‌گزینی شومینه‌های خورشیدی در تأمین آسایش در یک ساختمان اداری در اقلیم گرم و خشک، مورد مطالعاتی: شهر کرمان\*

پوپک پورسیستانی<sup>۱</sup> - حسین مدی<sup>۲\*</sup> - مصطفی مافی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد بین‌المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران.
۲. دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران (نویسنده مسئول).
۳. دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۷ تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۱/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۱۹

## چکیده

بخش وسیعی از کشور ایران در اقلیم گرم‌وخشک قرار دارد و به‌واسطه آن، از میزان جذب خورشید فراوانی برخوردار است. سیستم‌های تأمین‌کننده آسایش دمای داخلی، سهم عمده‌ای از مصرف انرژی را در بخش‌های مختلف ساختمان دارند و با اعمال روش‌های طراحی غیرفعال همچون دودکش‌های خورشیدی می‌توان به حفظ شرایط حرارتی آسایش در ساختمان‌ها و کاهش مصرف انرژی کمک کند. در این مقاله یک ارزیابی عملکرد حرارتی از نحوه توزیع دمایی توسط برنامه شبیه‌سازی دیزاین‌بیلدر در یک ساختمان دولتی در شهر کرمان انجام گرفت و با انجام فرآیند تهویه با و بدون ادغام یک دودکش خورشیدی در جبهه جنوبی برای شرایط تابستان و زمستان ارائه شده است. در ادامه با اعمال متغیرهای فرمی دودکش به بررسی تغییرات دمایی و آسایش حرارتی در زوایای مختلف پرداخته شد تا میزان بهبود اثربخشی دودکش‌های خورشیدی در زوایای ۴۰ الی ۹۰ درجه در گام‌های ۱۰ درجه‌ای نسبت به خط افق به روش حل پارامترهای میانگین سرعت هوا و نرخ جریان حجمی تعیین گردد و در نهایت با استفاده از روش دینامیک سیالات (CFD) نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر به بررسی توزیع دمایی و نحوه جریان هوا پرداخته شد که نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که در بهترین حالت ادغام دودکش‌های خورشیدی با زاویه ۴۰ درصد می‌تواند میزان مصرف انرژی کل را حدود ۱۶ درصد بهینه نماید و شاخص آسایش حرارتی را از میانگین مقدار آن را در ماه جولای (تیرماه) از ۲.۹۷ واحد به ۲.۲۵ واحد و در ماه ژانویه (دی‌ماه) از مقدار ۲.۹۳- به مقدار ۲.۲۴- رسیده است و مقادیر آن به بازه استاندارد اشری ۵۵ و ایزو ۷۷۳۰ نزدیک‌تر شده است. با این حال، دودکش خورشیدی مستقل قادر به برآورده کردن راحتی حرارتی به میزان قابل توجهی در هوای گرم شدید نیست.

**واژگان کلیدی:** آسایش حرارتی، بهینه‌سازی انرژی، دودکش خورشیدی، دیزاین‌بیلدر، اقلیم گرم‌وخشک، کرمان.

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «روش بهبود عملکرد دودکش خورشیدی در به‌کارگیری طراحی یکپارچه در ساختمان‌های اداری در منطقه گرم و خشک کرمان» است که با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در حال انجام است.

\*\* E-mail: medi@arc.ikiu.ac.ir

## ۱. مقدمه

نشان داد که عرض دودکش بیش از ارتفاع آن بر میزان تهویه مؤثر است و برادران ماتور (Mathur, Jyotirmay, and Mathur 2006) نیز زاویه شیب جذب بهینه از ۴۰ تا ۶۰ درجه اعلام کردند و این زاویه بر اساس عرض جغرافیایی مکان متغیر است. در حالی که حمدی و فیکری (Hamdy, Inass, and Fikry 1998) دریافتند که زاویه شیب بهینه برای ارائه بهترین عملکرد تهویه برای مدل آزمایشی آن‌ها ۶۰ درجه است. زاویه شیب بهینه باعث افزایش جزئی در میزان جریان هوا دودکش برای مصارف زمستانی می‌شود؛ با این حال، میزان تهویه مناسب برای ماه‌های تابستان قابل توجه است. جلیل عمران (Imran et al. 2015) یک دودکش خورشیدی را در پشت‌بام یک اتاق در عراق نصب کرد و برای به‌دست آوردن حداکثر سرعت جریان هوا، زاویه شیب مطلوب ۶۰ درجه را پیشنهاد داد. در تحقیقات گه‌ادمک‌کاو و همکارانش در ابتدای سال ۲۰۲۰، تحقیقی در خصوص دودکش خورشیدی برای تهویه طبیعی پیشرفته مبتنی بر شبیه‌سازی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در شهر اسکندریه مصر را انجام داد و نتایج آن حاکی از آن بود که عملکرد حرارتی دمای هوای عملیاتی، ۰.۸۱ درجه سانتی‌گراد کاهش و سرعت هوا پس از اعمال دودکش خورشیدی در زاویه ۹۰ درجه قائم در گرم‌ترین ساعت به میزان ۵۰ درصد بهبود یافته است (Mekkawi, Gehad, and Elgendy 2015).

جینگ‌کونگ به‌همراه جیان‌لی نیو و چنگ‌وانگ‌لی که در سال ۲۰۲۰، برای اطلاع از زاویه شیب مطلوب یک دودکش خورشیدی در سه شهر استرالیا تحقیقاتی با روش مبتنی بر شبیه‌سازی انجام گرفت که نتایج تحقیقات بیانگر این بود که در مناطقی که میزان تابش خورشید زیاد باشد و اقلیم گرم و خشک انتخاب گردد، آن‌گاه زاویه مطلوب، شیب ۴۵ درجه را خواهد داشت (Kong et al. 2020).

مهدوی‌نژاد و فخاری در سال ۲۰۱۳ تحقیقی در خصوص زاویه دودکش خورشیدی را در چهار شهر بندرعباس، اصفهان، رشت و تبریز مورد بررسی قرار دادند و در نتایج این تحقیق مشخص شد که زاویه شیب دودکش خورشیدی بر راندمان سرعت تهویه تأثیر می‌گذارد و زاویه مطلوب تمایل ۴۵ درجه است به‌طوری که در این زاویه حداکثر تهویه به‌دست آمده است (Mahdavejrad et al. 2013).

نجمه زنگنه و زهرا برزگر نیز در مقاله‌ای به تأمین آسایش حرارتی در ساختمان اشاره کرده‌اند و میزان آسایش حرارتی فضای زمستان‌نشین و حیاط مرکزی خانه سنتی تولایی شیراز را بر مبنای نرخ آسایش حرارتی به روش PMV بررسی کردند و میزان آسایش حرارتی و درصد افراد ناراضی ارزیابی شد. نتایج بیانگر آن بود که آسایش حرارتی زمستان‌نشین خانه تولایی از درجه آسایش برخوردار بوده و بیش از ۸۵ درصد کاربران از فضای زمستان‌نشین احساس رضایت داشتند (Zanganeh,

استفاده از انرژی در ساختمان‌ها سهم بزرگی از تقاضای انرژی جهانی و منطقه‌ای را در بر می‌گیرد. بخش گرمایش و سرمایش در مجموع تقاضای انرژی ساختمان تنوع زیادی دارد و میان ۱۸ تا ۷۳ درصد در تمامی جهان متفاوت است (Urge-Vorsatz et al. 2015). سیستم‌های انتخابی گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها بر اقتضای انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن تأثیر دارند. انرژی خورشیدی بااهمیت‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر موجود در محل است (Abd Elbar and Hassan 2019). برای بررسی به این مطلب، اقدامات بسیاری صورت گرفته است. برای نمونه، بهره‌گیری از تکنیک‌های حراست از انرژی در ساخت‌وساز با منابع تجدیدپذیر همانند انرژی خورشیدی است (Garcia et al. 2002). دودکش خورشیدی<sup>۱</sup> را می‌توان یکی از راهکارهایی قلمداد کرد که با امکان دسترسی به منبع انرژی طبیعی خورشید، در بهبود وضعیت آسایش محیطی می‌توان قدم برداشت. دودکش خورشیدی یکی از استراتژی‌های قدیمی برای تهویه غیرفعال به حساب می‌آید و توسط ایرانیان در خاورمیانه و همچنین توسط رومی‌ها در اروپا مورد استفاده قرار گرفته است (Lal et al. 2013) و با مهیا نمودن جذب انرژی تابشی نور خورشید در دودکش امکان اثرگذاری اثر تهویه را افزایش داد (Khanal, Rakesh, and Lei 2011).

دودکش خورشیدی از یک جمع‌کننده خورشیدی، یک پوشش شفاف و دیافراگم ورودی و خروجی تشکیل شده است. با بهره‌گیری از انرژی حرارتی خورشیدی، امکان دارد که دمای بین هوا در داخل و خارج از کانال دودکش خورشیدی اختلاف دمایی ایجاد نماید و یک جریان تهویه با اثر شناوری خلق شود و هر چه روز گرم‌تر باشد، میزان هوای جمع‌شده در کانال دودکش خورشیدی داغ‌تر و حرکت هوا سریع‌تر انجام می‌گیرد. این یک طراحی جدید برای به حداکثر رساندن اثر تهویه با القای افزایش دما در محفظه دودکش با هدف بهره‌وری از تابش خورشیدی است (Afonso, Clito, and Oliveira 2000).

## ۲. پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر علاقه زیادی به معرفی استراتژی‌های نوآورانه با بهره‌گیری از سیستم‌های یکپارچه دودکش خورشیدی وجود دارد. بر این اساس، هدف از این مقاله، کمک به پیشرفت‌های اخیر در کاربرد دودکش خورشیدی برای تهویه ساختمان و افزایش راندمان کارایی انرژی در ساختمان موردی است. مطالعات مختلف نظری، تجربی و عددی در مورد ادغام بین سیستم‌های صرفه‌جویی انرژی فعال و غیرفعال در ساختمان به منظور تقویت تهویه ساختمان انجام شده است. ادغام عناصر طراحی خورشیدی منفعل و فعال برای تحقق راندمان انرژی موردنیاز در داخل ساختمان‌ها بسیار مهم است (Cole, RaymondJ, and Fedoruk 2015). نتایج تجربی آفونسو

با هم مقایسه شدند. نتایج آن نشان داد که نرخ جریان گرمی هوای خروجی و نرخ جریان حجمی، در طبقات مختلف متفاوت می‌باشد. هر دو مقدار در طبقات بالاتر بیش تر هستند. در طبقات بالا به دلیل نزدیک‌تر بودن به خروجی، افت فشار کم‌تر بوده و پدیده اثر دودکشی که ناشی از اختلاف دانسیته است، در طبقات بالا افزایش می‌یابد (Fakhari, Maryam, and Heydari 2012).

### ۳. روش تحلیل

در این مقطع زمانی با توجه به پیشرفت صنایع ساختمانی توجه به بهینه‌سازی مصرف انرژی، یکی از دغدغه‌های مهم در طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های تهویه مطبوع، مطلوب بودن توزیع جریان و حرارت و برودت در بخش‌های مختلف ساختمان است. تجزیه عملکرد حرارتی ساختمان‌ها در وضعیت ناپایدار مستلزم انجام محاسبات مختلف و پیچیده است که این کار توسط نرم‌افزارهای شبیه‌سازی حرارتی و مصرف انرژی امکان‌پذیر است. یکی از برنامه‌های کامپیوتری شبیه‌سازی و آنالیز انرژی، نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر<sup>۲</sup> است. که با توجه به امکانات و مزیت‌های نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و موتور شبیه‌سازی نرم‌افزار انرژی پلاس و با استفاده از تکنیک‌های ویژه دینامیک سیالات محاسباتی<sup>۳</sup> (CFD) امکان مدل‌سازی جریان هوا را در داخل ساختمان به همراه تجزیه و تحلیل پیش‌بینی جریان هوا و انتقال گرما به نمایش گذاشت.

در تحقیق حاضر، یک بازبینی برای شناسایی مطلوب‌ترین مکان برای استقرار دودکش خورشیدی و همچنین بررسی زاویه جداره نورگذر آن نسبت به خط افق از ۴۰ درجه تا زاویه ۹۰ درجه در گام‌های ۱۰ درجه‌ای را مدنظر دارد که چارت آن در شکل ۱ بیان شده است و عملکرد دودکش خورشیدی را به واسطه تحلیل مقایسه‌ای مصرف انرژی و شاخص فنر<sup>۴</sup> تشریح خواهد نمود که این شاخص بر اساس استاندارد اشری ۵۵ و ایزو ۷۷۳۰، برای تعیین میانگین آرای حرارتی افراد<sup>۵</sup> (PMV) بر پایه یک مقیاس هفت نقطه‌ای با مبنای تعادل حرارتی بدن برقرار است که طبق جدول ۱، در بین بازه ۳- تا ۳ تعریف می‌شود و هر رده، بیان‌کننده متوسط احساس یکسان چندین نفر از یک شرایط محیطی می‌باشد که در جهت احساس راحتی کارکنان و مراجعین، نیاز است که در رده بین ۰.۵- و ۰.۵+ باشد. این شاخص جزو بااهمیت‌ترین شاخص‌های فیزیولوژی دما به حساب می‌آید (Bahadrinejad, Mehdi, and Yagoubi 2016).

(Najmeh, and Barzgar 2018).

پژوهش دیگری در رابطه فاکتور آسایش حرارتی و تعیین محدوده آسایش حرارتی ساکنین ساختمان‌های اداری کرمانشاه توسط خانم مریم انصاری‌منش و نازنین نصرالهی به انجام رسید و طی آن، چگونگی محیط داخلی را در ساختمان‌های اداری ایران را در درجه متوسط تخمین زدند و محدوده مناسب حرارتی در فضاهای اداری شهر کرمانشاه در بازه ۲۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. (Ansarimanesh, Maryam, and Nasrollahi 2018).

در تحقیقات دیگری که توسط جان واناند و رزاقی در جهت بررسی پارامترهای هندسی مؤثر بر افزایش سرعت جریان هوا درون دودکش خورشیدی انجام گرفته و پژوهش خود را با مدل‌سازی عددی یک نمونه دودکش خورشیدی ساخته‌شده در دانشگاه تهران و بر مبنای روش حجم محدود و مدل آشفتگی کا-پسیلون در نرم‌افزار انسیس فلونت اجرا کرده است. نتایج آن پژوهش نشان داد که افزایش ارتفاع دودکش، ارتفاع جمع‌کننده، شعاع جمع‌کننده و کاهش شعاع دودکش باعث می‌شود سرعت جریان هوا داخل برج در حدود ۷۶ درصد افزایش یابد (Jan Vanand, Isa, and Razaghi 2018).

در تحقیق مولایی و همکاران به عملکرد دودکش خورشیدی و داده‌های مربوط به میزان دما، سرعت، فشار در فصول مختلف سال با یکدیگر پرداخته و اقرار دارد که دودکش خورشیدی به عنوان سیستمی برای تهویه و خنک کردن محیط داخل فقط در فصل تابستان عملکرد قابل قبولی دارد. در فصول سردتر به دلیل جریان هوای زیادی که در محیط ایجاد می‌شود و آسایش برای افراد در حال فعالیت در اتاق از بین می‌رود و محیط را بسیار سرد می‌شود. با توجه به عملکرد درست دودکش خورشیدی در تابستان، با به جریان انداختن هوا تا حد زیادی می‌توان در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی کرد (Moulai et al. 2019).

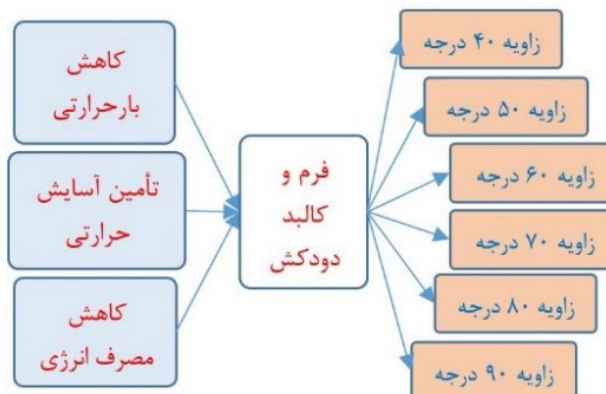
فخاری و حیدری در تحقیق خود به تأثیر به‌کارگیری دودکش خورشیدی بر تهویه فضاهای متصل به آن در اقلیم گرم و خشک شهر اصفهان پرداخته تا مساحت فضاهایی که دودکش خورشیدی با ابعاد بهینه، در هر طبقه قادر به تأمین تعویض هوای مورد نیاز آن است، به‌دست آید. در آن پژوهش، شبیه‌سازی مدل‌های مختلف دودکش خورشیدی متصل به یک ساختمان اداری هفت طبقه با کمک نرم‌افزار انرژی پلاس انجام گرفته و در طی آن، مدل‌های مختلف با ابعاد متفاوت دودکش خورشیدی

جدول ۱: محدوده آسایش حرارتی فنر و استاندارد اشری

احساس	شاخص FANGER	شاخص ASHRAE
سرد	-۳	۱
خنک	-۲	۲

احساس	شاخص FANGER	شاخص ASHRAE
کمی خنک	-۱	۳
خنثی	۰	۴
کمی گرم	۱	۵
گرم	۲	۶
خیلی گرم	۳	۷

شکل ۱: گراف حاصل از ارتباط متغیرهای مورد سنجش



زیبایی‌شناسی و انسجام دادن هرچه بیش‌تر دودکش‌ها به کلیت بنا، ساختمان اسناد و املاک استان کرمان در آن شهر برگزیده شد.

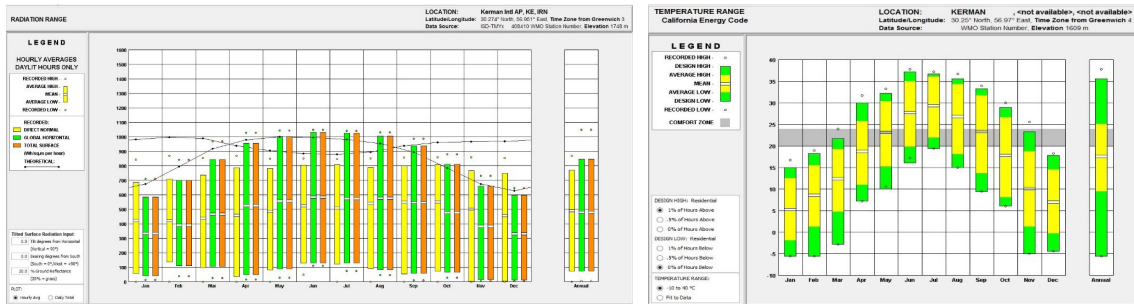
### ۳-۲- مشخصات اقلیمی سایت مورد مطالعه

در فرآیند شبیه‌سازی انرژی در ساختمان، چندین پارامتر اقلیمی (میزان تابش خورشیدی، دمای هوا، سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی، فشار هوا، ارتفاع از سطح دریا و غیره) ضرورت دارد (Rahman et al. 2014). در پژوهش حاضر از فایل اقلیمی شهر کرمان (با مختصات طول جغرافیایی برابر با ۳۰.۲۹ شمالی ۵۷.۰۶ شرقی) بهره گرفته شده و اطلاعات آب‌وهوایی آن در قالب فایل اقلیمی به نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر داده خواهد شد. استان کرمان با مساحت ۱۸۵۶۷۵ کیلومترمربع در بخش جنوب‌شرقی کشور ایران قرار دارد (شکل ۴) و جزء اقلیم گرم و خشک بیابانی محسوب می‌شود. بیش‌تر نقاط این استان دارای خشکی شدید می‌باشد و تغییرات درجه حرارت هوا شدید است و دمای هوا بین فصول سرد و گرم و همچنین در شب و روز دارای اختلاف شدیدی است.

### ۳-۱- ضرورت انتخاب شهر کرمان و ساختمان مورد مطالعه آن

پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که دودکش خورشیدی مناطق اقلیم گرم و خشک نسبت به سایر اقلیم‌های دیگر (به‌خصوص در فصل تابستان) عملکرد بهتری داشته و نظر به این‌که نمونه موردی دودکش خورشیدی در ساختمان‌های اداری کشور ایران موجود نمی‌باشد و تنها نمونه‌هایی در اقلیم گرم و خشک در کشورهای دیگر ساخته شده است و از طرفی دیگر، اقلیم گرم و خشک با ایجاد مدل‌های تحلیلی بر اساس الگوریتم‌های فیزیکی مبتنی بر محاسبه حرارت تابشی جذب‌شده و رفتار حرارتی آن، نحوه کنترل حرارت و هوای گرم و تغییرات دمای شهری، شرایط مناسب جهت تأمین هوای خنک به داخل و افزایش شرایط آسایش را دارد. بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی و پتانسیل‌های زیاد اقلیمی شهر کرمان و قرارگیری آن در اقلیم گرم و خشک، این شهر به عنوان محل مورد مطالعه انتخاب گردیده است تا ویژگی‌های اقلیمی آن و تأثیر آن بر عملکرد دودکش بررسی گردد. حال در ادامه، بر اساس موقعیت مکانی، امکان اجرا در محوطه خارجی بنا، فرم هندسی ساختمان و نگاهی به

شکل ۲: از راست - دمای هوا و تابش دمای هوای شهر کرمان در ماه‌های مختلف

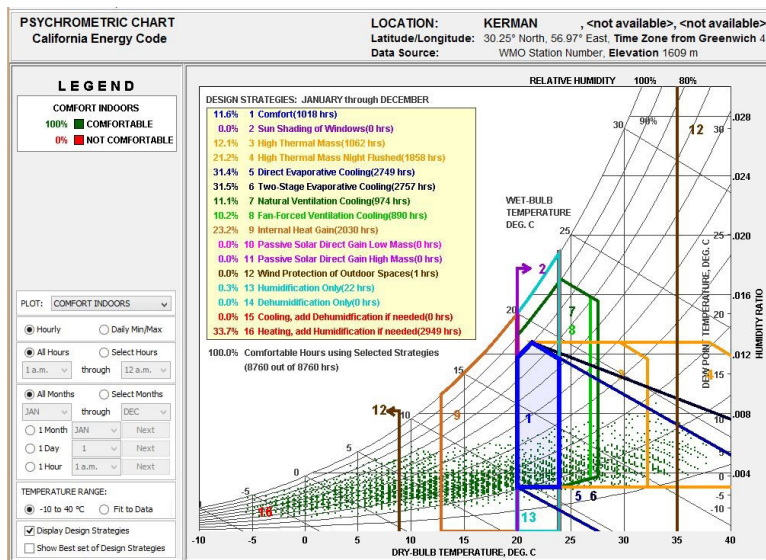


Climate Consultant 6.0

شهر ۱۷.۸ درجه سلسیوس، میانگین حداقل دما، ۱۰.۹ و میانگین حداکثر دما ۱.۲۵ درجه سلسیوس بوده است. با توجه به آمار تحلیل اقلیمی مطابق شکل ۲، میانگین اختلاف دمای بین میانگین حداکثر و حداقل دما ۲۴.۸ درجه سلسیوس است (Poursistani et al. 2021).

به‌طور کلی فصل تابستان در کرمان از نیمه آبان تا نیمه فروردین و دارای آب و هوای گرم می‌باشد. ماه‌های تیر تا آبان دارای آب و هوای خشک و از ماه دی تا اردیبهشت هوای خنک‌تری دارد و بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از ایستگاه سینوپتیک کرمان، میانگین دمای سالانه این

شکل ۳: نمودار سایکرومتریک و محدوده حرارتی شهر کرمان



Climate Consultant 6.0

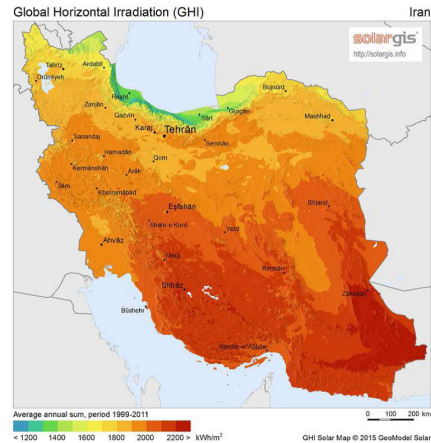
پتانسیل تابش خورشید، شهر کرمان با تعداد ۲۳۴.۱ روز آفتابی، در منطقه‌ای با متوسط تابش ۵.۲-۴.۵ کیلووات ساعت بر مترمربع است (Moradi 2013). میزان متوسط ساعات آفتابی در ایران، سالانه ۲۹۰۰ ساعت می‌باشد. بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از ایستگاه سینوپتیک کرمان در طی یک دوره ۴۷ ساله، میانگین ساعات آفتابی سالانه، ۳۲۰۰ ساعت بوده که رقمی قابل توجه و حتی بیش از متوسط سالانه‌ی تابش در ایران است (Organization of Kerman Province 2015).

نمودار سایکرومتریک، پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار را بر روی موقعیت موردی نمایش می‌دهد که حاصل تحلیل نرم‌افزار اقلیمی و اطلاعات آب و هوایی منطقه است و طبق این نمودار ۱۱.۶ درصد در آسایش حرارتی قرار دارد و در اطلاعات دمایی ساختمان موردی این شهر مقادیر ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. تابش آفتاب: میزان تابش خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر است. کشور ایران با وجود ۳۰۰ روز آفتابی و متوسط تابش ۵.۵-۴.۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است (شکل ۳). با توجه به نقشه‌ی

شکل ۴: از راست - نقشه تابش خورشیدی متوسط سالانه ایران؛ موقعیت شهر کرمان نسبت به مقیاس کشوری



(www.Yjc.ir)



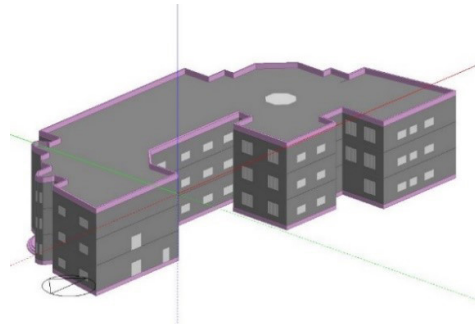
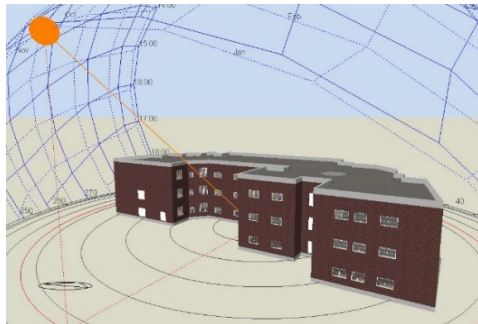
(www.SolarGIS.info 2016)

مذکور در جبهه جنوبی واقع شده و همچنین در تمامی جبهه‌های نما و سقف آن پنجره جهت نورگیری و تهویه بهتر فضا جانمایی شده است. در شکل ۵ مدل‌سازی ساختمان موردی را در نرم‌افزار دیزاین بیلدر نمایش می‌دهد.

#### ۴. هندسه ساختمان شبیه‌سازی شده

مدل شبیه‌سازی شده، ساختمان سه طبقه اسناد و املاک استان کرمان با کاربری اداری است که در انتهای بلوار فردوسی - ضلع شمالی پارک نشاط واقع شده است و متراژ مفید طبقات برابر با ۳۵۴۸ مترمربع و ارتفاع مفید طبقات برابر با ۳.۲ متر طول می‌باشد. ورودی اصلی ساختمان

شکل ۵: ساختمان شبیه‌سازی شده ساختمان اداری اسناد و املاک شهر کرمان در دیزاین بیلدر

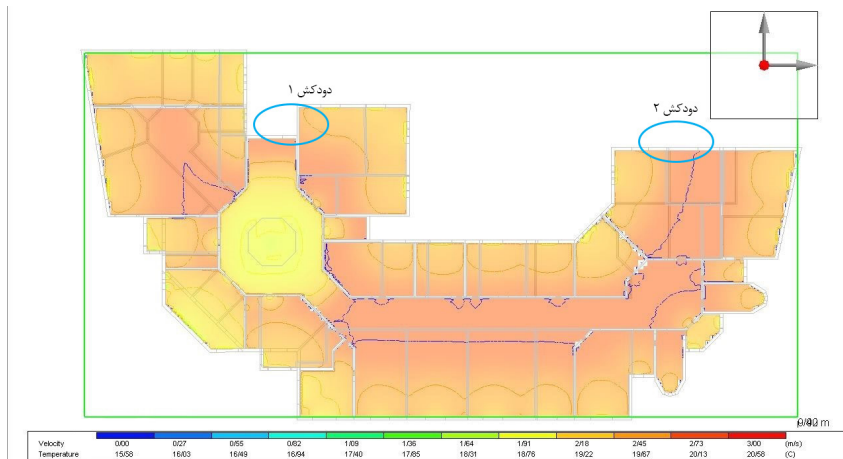


(ژانویه) برابر با ۱۳.۳۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۶ و ۷). نکته قابل توجه این است که دمای اتاق‌های اداری بیش از حد بالا می‌باشد و برای رسیدن به حد مطلوب شرایط آسایش، نیاز به اتخاذ استراتژی‌های مناسب، امکان بهره‌گیری از هوای بیرون برای تعدیل شرایط حرارتی فضاهای اداری می‌باشد تا میزان مصرف انرژی ساختمان موردی را کاهش دهد. میزان مصرف انرژی در وضعیت کنونی، مقدار ۲۳۳۷۰۹.۱۳ کیلووات ساعت و به عبارتی دیگر مقدار ۶۶.۲۲ کیلووات‌ساعت از نرم‌افزار استخراج شد.

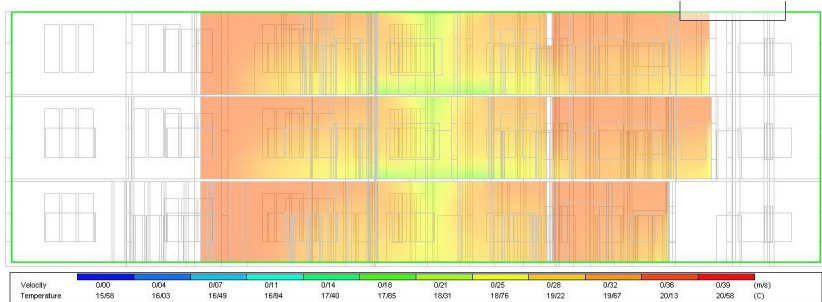
#### ۴-۱- تجزیه و تحلیل ساختمان پایه با رویکرد بهینه‌سازی انرژی و آسایش حرارتی

با توجه به توزیع دمایی در ساعت‌های مختلف روز و افزایش شدت تابش، نرخ جریان حجمی هوا افزایش پیدا می‌کند و در میانه روز با توجه به جهت خورشید به بیش‌ترین میزان خود می‌رسد. پس از آن با کاهش شدت تابش، نرخ جریان حجمی هوا نیز کاهش می‌یابد. میانگین دمای هوای داخلی محیط ساختمان موردی در گرم‌ترین ماه سال (جولای) برابر با ۳۴.۸۹ درجه سانتی‌گراد و در سردترین ماه سال

شکل ۶: توزیع دمایی طبقه سوم ساختمان با روش دینامیک سیالات (CFD)



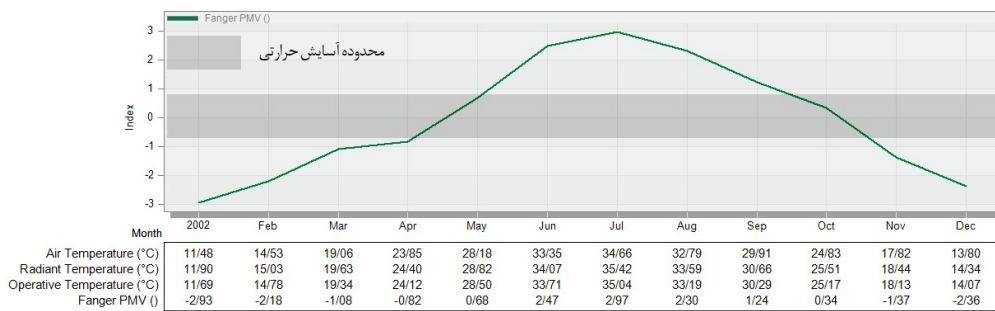
شکل ۷: توزیع دمایی طبقات در راستای دودکش شماره ۱ با روش دینامیک سیالات (CFD)



آن ژانویه (دی ماه) و گرم‌ترین حالت آن در ماه جولای (تیرماه) می‌باشد که نتایج منتج از ساختمان اداری پایه با معیارهای آسایشی فاصله زیادی است و دلیل آن عدم وجود تبادل حرارتی با هوای مطلوب و تهویه مناسب در بخش‌های مختلفی از ساختمان است.

با توجه به نمودار شکل ۸، میزان آسایش‌حرارتی و میزان دمای داخلی و دمای تابشی فضا و همچنین میزان مورد نیاز انرژی ساختمان پایه را به نمایش گذاشتیم و طبق آن، محدوده شاخص رضایت آسایش حرارتی به‌دست آمده آن بین  $-2.93$  تا  $+2.97$  است که از سردترین

شکل ۸: میانگین شاخص آسایش حرارتی در ماه‌های مختلف سال در ساختمان اداری نمونه

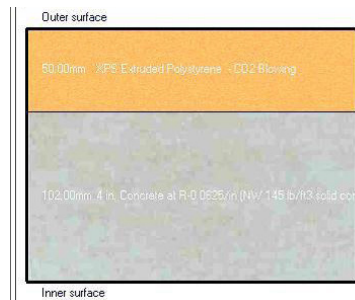


تا فضاهایی که دمای هوای بالاتری نسبت به حد آسایش دارند را شناسایی نمود. در ادامه جهت تعدیل هوای نامطلوب، ساختمان را با دو دودکش خورشیدی رو به جنوب با ساختمان ترکیب شده است که شکل ۹، شمایل آن نمایش داده شده است.

در این تحقیق، یک بازنگری برای یافتن بهترین مکان برای استقرار دودکش خورشیدی در جوار فضاهایی که به تهویه و توزیع دمایی بیش‌تری نیاز دارند، شده است و با این هدف، با انجام فرآیند مدل‌سازی انجام‌شده، نحوه توزیع دمای هوای در حالت اولیه ساختمان انجام گرفت

ایجاد شد. مصالح به کاررفته در پوسته خارجی دیوار دودکش خورشیدی شامل ۱۰ سانتی متر بتن همراه با ۵ سانتی متر عایق پلی استایرن است (شکل ۱۰). ضریب انتقال حرارت پنجره‌ی به کاررفته در دودکش  $(W/m^2.K)$  ۱.۹۶ است که از قاب یوپی‌وی‌سی و شیشه دوجداره شفاف به ضخامت ۶ میلی‌متر با فضای میانی هوا به ضخامت ۱۳ میلی‌متر تشکیل شده است.

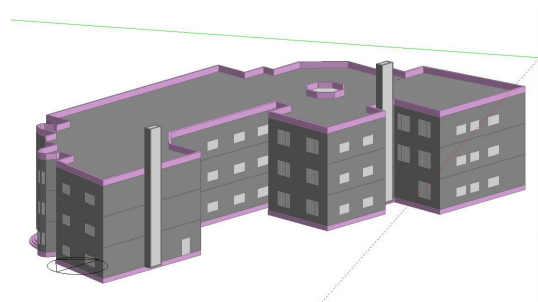
شکل ۱۰: مشخصات اجرایی دیوار دودکش خورشیدی



از آن است که میزان میانگین دمای هوای داخلی گرم‌ترین ماه سال (جولای) با فرض تأسیسات مکانیکی خاموش از ۳۴.۲۹ درجه سانتی‌گراد به ۳۲.۰۶ درجه سانتی‌گراد رسیده است و مقدار ۲.۲۳ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا کرده است. در ماه‌های سرد سال با بستن دریچه هوا و جلوگیری از خروج هوای گرم از هدررفت حرارت هوای گرم در بالای دودکش امتناع می‌شود و در ماه ژانویه که دمای ساختمان ۱۳.۳۰ درجه به مقدار ۱۶.۴۲ درجه سانتی‌گراد ارتقاء پیدا کرده است.

محل قرارگیری دودکش‌ها با توجه به موقعیت‌های متفاوت جغرافیایی و جبهه قرارگیری آن دارای ویژگی‌های خاص آب و هوایی و تغییر زاویه تابش خورشید می‌باشند. با توجه به پیرامون موضوع، نسبت به اعمال دودکش‌های خورشیدی به ابعاد ۱ متر طول، ۰.۸ عرض و ۸.۱۲ متر ارتفاع در جبهه جنوبی ساختمان اقدام شد و دریچه‌هایی را جهت ارتباط دمایی بخش فوقانی هر طبقه با دودکش

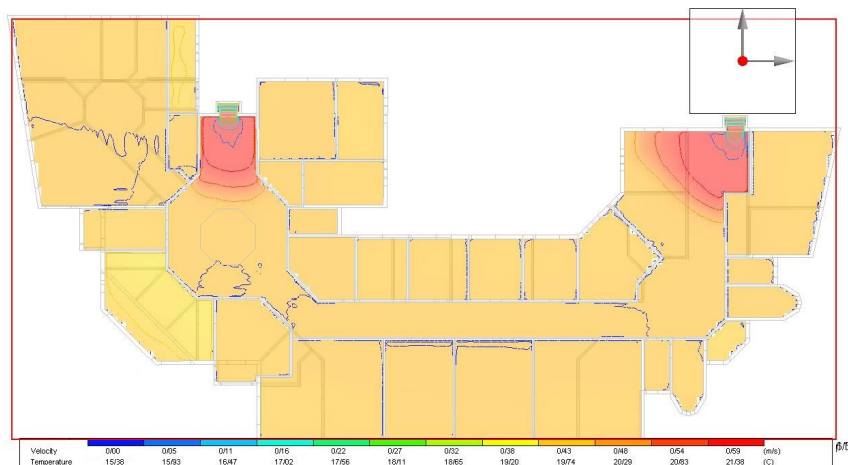
شکل ۹: استقرار دو دودکش در محل‌های انتخابی



#### ۴-۲- تجزیه و تحلیل ساختمان با اعمال دودکش خورشیدی

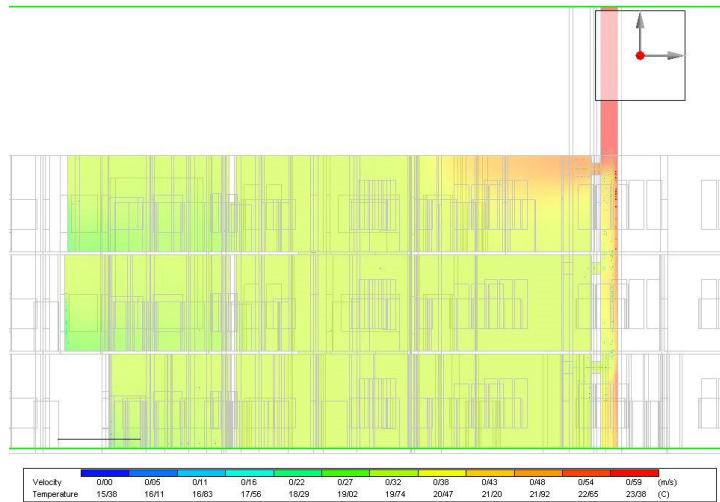
در طی جانمایی دو دودکش خورشیدی و انجام تحلیل‌های لازم دینامیکی، نتایج قابل قبولی ارائه گردید که میزان گرمای بالای فضاها به دلیل مکش دودکش‌های خورشیدی کاهش پیدا کرده و هوای خنک‌تر جایگزین شده است و به‌رغم آن کاهش مصرف انرژی را در پی داشته است. با توجه به نتایج حاصله از شکل ۱۱ و ۱۲ به‌دست آمده از نرم افزار شبیه‌سازی دیزاین بیلدر حاکی

شکل ۱۱: توزیع دمایی طبقات ساختمان با اعمال دودکش خورشیدی با روش دینامیک سیالات (CFD)



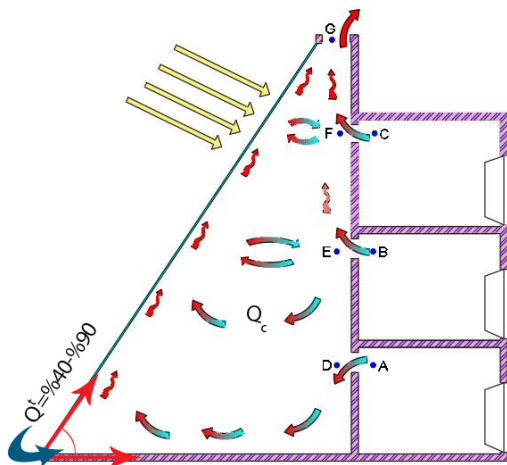


شکل ۱۲: عملکرد حرارتی و توزیع دمایی و نحوه جریان هوای دودکش در ساختمان موردی کرمان



خود می‌گیرد که برای تعیین میزان جریان هوا و سرعت آن در نمونه موردی، تحلیل نرم‌افزاری را در نقاط خاص تعیین‌شده در ورودی‌های منتهی به دریچه‌های انتقال هوا از داخل و خارج از آن انجام گرفت که هفت نقطه انتخابی از داخل ساختمان (نقاط A, B, C) و خروجی آن از محفظه به بیرون (نقاط انتخابی D, E, F, G) مطابق شکل ۱۳، انتخاب شد. با وجود تفاوت در دمای بیرون دودکش‌ها به دلیل اختلاف ارتفاع محل و ریزاقلیم مختص به ساختمان‌ها نیاز به تعیین مقادیر دمای آن فضا می‌باشد. از معادلات حاکم بر دودکش‌ها می‌توان به رابطه‌های ۱ الی ۴ اشاره کرد که حفاظت از جرم، شتاب و انرژی، سه اصل اساسی برای جریان حرارتی از طریق دودکش خورشیدی است.

شکل ۱۳: نمایش نحوه و مسیر جریان حرکت هوا و تبادل گرمایی و تعیین نقاط مورد تحلیل در ساختمان موردی کرمان



مقادیر مربوط به میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای تأمین آسایش حرارتی ساختمان در پی اعمال دودکش‌های خورشیدی برابر با مقدار ۲۰۸۴۱۴.۶۱ کیلووات‌ساعت و یا ۵۸.۷۴ کیلووات‌ساعت بر مترمربع می‌باشد که حدود ۱۱ درصد بهینه‌سازی در بخش انرژی صورت گرفته است. همان‌گونه که قبلاً بیان شد؛ با به جریان انداختن هوا به معیار آسایش حرارتی نزدیک‌تر خواهیم شد آن‌گاه می‌توان تأثیر دودکش را بر میزان آسایش حرارتی ملاحظه نمود که در ماه جولای از رده ۲.۹۷ به ۲.۴۹ واحد رسیده که نشان‌دهنده بهبود در روند آسایش حرارتی و کاهش درصد ناراضی‌تی کاربران شده است. در ماه ژانویه نیز با بستن دریچه انتهایی دودکش و انتقال هوای گرم تولیدشده به داخل ساختمان موردی از مقدار (-۲.۹۳) واحد در ساختمان پایه به مقدار (-۲.۴۷) واحد در ساختمان با اعمال دودکش خورشیدی رسیده است.

#### ۳-۴ تجزیه و تحلیل متغیر فرمی روی دودکش ساختمان موردی شهر کرمان

نسبت زاویه شیب جداره نورگذر دودکش خورشیدی به سطح افقی آن، یکی از عوامل موثر بر نرخ جریان حجمی هوا است. مدل‌های فرضی برای رسیدن به عمق بهینه، در شش حالت مختلف شبیه‌سازی شده است. در مدل‌های شبیه‌سازی‌شده، همه مشخصات به جز شیب جداره نورگذر دودکش خورشیدی یکسان (همانند مدل اولیه) در نظر گرفته شده است.

حجم هوای درون محفظه دودکش با جذب حرارت تابش خورشیدی و بار داخلی ساختمان به حرکت درمی‌آید و لایه‌بندی هوا بسته به ابعاد و فرم دودکش و مشخصات پوسته‌های جداره نورگذر، اشکال متفاوت و پیچیده‌ای به

نرمال (Khanal and Lei 2011)، تغییر هوا در ساعت (ACH) و سرعت انتقال حرارت همرفتی ( $Q_{conv}$ ) به عنوان شاخص‌های عملکرد در تحقیق حاضر پذیرفته شده است. با به‌کارگیری فرمول رابطه ۴ مشاهده می‌شود که در برخی طبقات، تعداد دفعات تعویض هوا با استفاده از دودکش خورشیدی بیش از مقدار مورد نیاز خواهد شد. طبق استاندارد تهویه اشری (۶۲.۱)، تعداد دفعات تعویض هوای مورد نیاز در ساختمان‌های اداری بین ۶ تا ۸ بار در ساعت است (ASHRAE Standard 62.1). همچنین لازم به ذکر است که با افزایش ارتفاع خورشید و یا کاهش سطح کف‌تحتانی محفظه دودکش خورشیدی، دمای طبقات مطابق جدول ۲، افزایش می‌یابد.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v^{\rightarrow}) + \nabla \cdot (\rho v^{\rightarrow} v^{\rightarrow}) = -\nabla P + \nabla \cdot (t^{\leftarrow}) + pg^{\rightarrow} \quad (1)$$


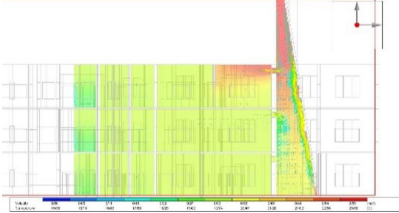
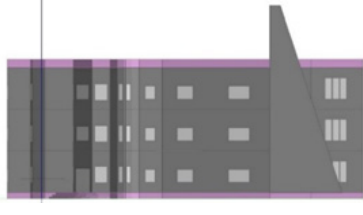
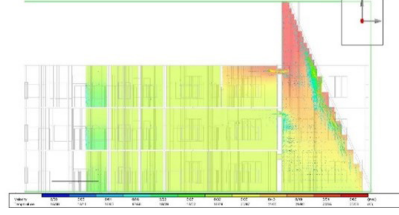
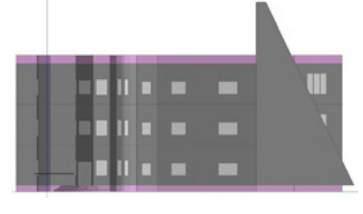
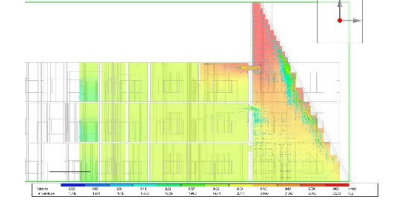
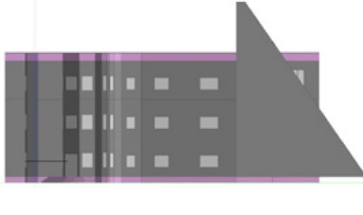
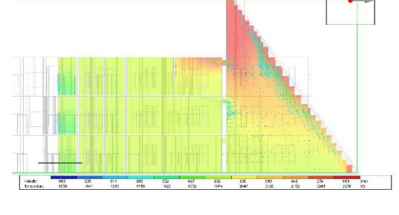
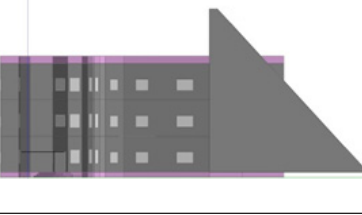
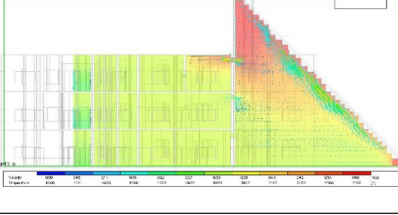
$$Q_{conv} = hAh\Delta T, \quad (2)$$

$$M = \frac{m}{\rho\alpha} \quad (3)$$

$$ACH = \frac{q \times 3600}{V_{vol}} \quad (4)$$

در رابطه‌های فوق که در آن Q سرعت جریان حجمی و  $V_{vol}$  بیان‌کننده حجم اتاق است که دودکش خورشیدی به آن متصل می‌شود. که ACH به اندازه اتاق نسبت به منطقه دودکش بستگی دارد. M میزان جریان جرم

جدول ۲: نمایش نحوه و مسیر جریان حرکت هوا و تبادل گرمایی در ساختمان موردی کرمان

ردیف	چرخش	نمای شماتیک	نحوه جریان هوا
۱	۸۰ درصد		
۲	۷۰ درصد		
۳	۶۰ درصد		
۴	۵۰ درصد		
۵	۴۰ درصد		

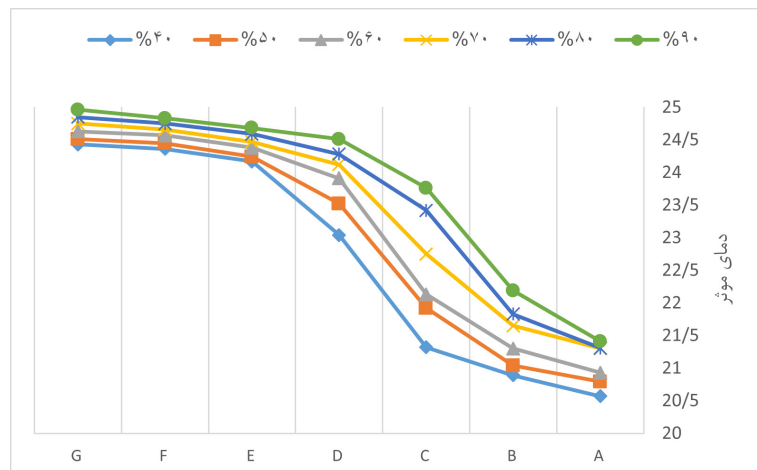
داخلی را برای تعادل توزیع حرارتی و ایجاد جریان‌های همرفتی نشان می‌دهد. بدین ترتیب، در هر طبقه تغییرات دمایی دارای کمینه و بیشینه‌ای است که در بازه‌های زمانی مختلف، به سبب ظرفیت و تأخیر حرارتی و اختلاف دما با محیط ایجاد شده‌اند. شاخص مناسبی برای نمایش روند تغییر دما و ایجاد لایه‌بندی حرارتی در دودکش خورشیدی طبق رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$(T_{\max} - T_{\min})/n \quad (5) \text{ شاخص تغییر دما}$$

در رابطه فوق  $T_{\max}$  دمای بیشینه،  $T_{\min}$  دمای کمینه و  $n$  تعداد ثبت‌ها در بازه زمانی بین دمای بیشینه و کمینه در طبقه مورد نظر است و طبق نمودار شکل ۱۴، می‌توان شاخص میزان تغییر دما را در نقاط تعیین‌شده در شرایط مختلف کالبدی ۹۰ درصد، ۸۰، ۷۰، ۶۰، ۵۰ و ۴۰ درصد دودکش ترسیم و مقایسه شده‌اند.

از خروجی‌های به دست آمده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مشخص گردید که در طبقات فوقانی طبقات ساختمان از جذب و حرارت مستقیم و غیرمستقیم خورشید به خوبی برخوردار بوده و انرژی گرمایشی ایستای مناسبی برای گرمایش ساختمان در فصول سرد ایجاد می‌شود و با تدابیر بستن دریچه‌ها در زمستان، طبقات ابتدایی به راحتی و بدون وجود تأسیسات در محدوده آسایش قرار می‌گیرد. بنابراین دودکش‌ها نه تنها قابلیت برای افزایش جذب مستقیم و غیرمستقیم انرژی تابشی دارد بلکه امکان تهویه و تخلیه حرارتی بیش‌تر نیز بهره می‌برد. ماندگاری دما بار سرمایش را برای روز بعد کاهش می‌دهد. تمامی طبقات در ماه‌های گرم سال که سامانه سرمایش روشن است، دچار اغتشاش دمائی خواهند شد و به واسطه کوران هوا بین بازشوی طبقات ساختمان، شاهد کاهش دمای محیطی خواهد بود. لایه‌بندی پایدار حرارتی، قابلیت دودکش

شکل ۱۴: شاخص میزان تغییر دما را در نقاط تعیین‌شده ساختمان در شرایط مختلف کالبدی ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰، ۵۰ و ۴۰ درصد



دارای دمای ۲۱/۴۱، ۲۲/۱۹ و ۲۳/۷۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و در نقاط G، F، E، D به ترتیب دارای دماهای ۲۴/۵۱، ۲۴/۶۸، ۲۴/۸۳ و ۲۴/۹۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

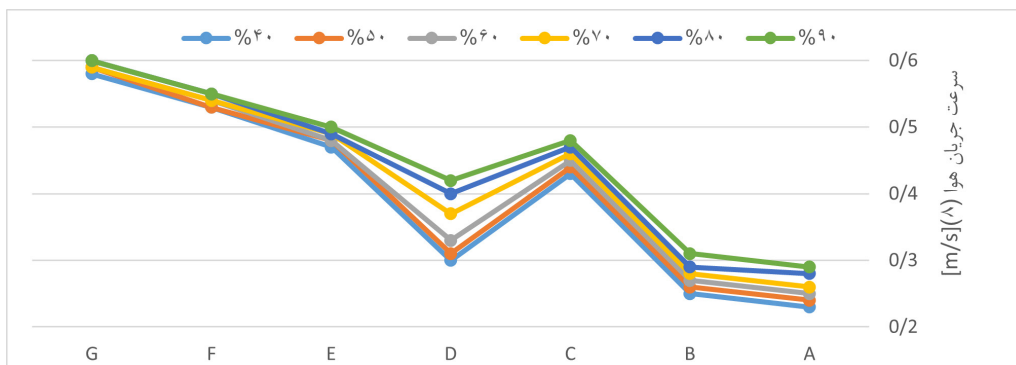
با توجه به بررسی‌های به عمل آمده از نمودار شکل ۱۴ می‌توان این‌گونه برداشت کرد که از نظر عملکرد ایستا، بخش داخلی ساختمان با افزایش سطح کف تحتانی و افزایش حجم محفظه تغییراتی را در جهت کاهش دما خواهد داشت. در دودکش‌های با حجم محفظه کم‌تر دچار نوسانات دمایی بیش‌تری نسبت به دودکش با محفظه بزرگ‌تر دارد و هرچند ابعاد محفظه افزایش یابد؛ نوسانات دمایی بیش‌تر می‌گردد و به واسطه جذب مستقیم و غیرمستقیم تابش خورشید و ارتباط بهتر آن با محیط پیرامون، در تبادل حرارتی تأثیرگذار می‌باشد و این تخلیه حرارتی با خروج از دریچه فوقانی دودکش خاتمه می‌یابد. از طرفی دیگر، طبق نمودار شکل ۱۵، تأثیر افزایش عمق

بدیهی است که نقطه‌ی عطف تغییرات دمایی در محدوده نزدیک جداره نورگذر دودکش مشاهده می‌گردد که با هدایت به سمت دریچه فوقانی دودکش چرخه حرکتی دما برقرار می‌گردد. بر این اساس، طبق نتایج برآمده از نمودار ۴ می‌توان نتیجه گرفت که دودکش مورد مطالعه از لحاظ شاخص تغییر حرارتی در دودکش با زاویه مایل ۴۰ درجه ای نسبت به زاویه افق دارای تغییرات دمایی محسوس ۳/۸۶ درجه‌ای است و به گونه‌ای که در نقطه D و در ارتفاع ۳ متری از سطح دودکش قرار دارد دمای ۲۳/۰۴ درجه سانتی‌گراد و در نقطه E در ارتفاع ۶ متری دمایی ۲۴/۱۷ درجه سانتی‌گراد و در نقطه F دمای ۲۴/۳۶ درجه را در فاصله ۹ متری دودکش و در نهایت در نقطه G و در ارتفاع ۱۲/۴ متری شاهد دمایی با ۲۴/۴۳ درجه سانتی‌گراد هستیم اما در دودکش خورشیدی قائم این اختلاف دمایی به ۳/۵۵ درجه می‌رسد و در نقاط A و B و C که نقاط انتخابی در داخل ساختمان هستند به ترتیب

۰.۲۹ متربرثانیه، نقطه B با سرعت ۰.۳۱ متربرثانیه و نقطه C با سرعت ۰.۴۸ متربرثانیه و در نقطه D این سرعت به ۰.۴۲ و در نقطه E به مقدار ۰.۵ متربرثانیه می‌رسد. نقاط F و G نیز با سرعت‌های ۰.۵۵ و ۰.۶ متربرثانیه از محفظه خارج می‌شوند. بنابراین عمق بهینه دودکش خورشیدی در ساختمان سه طبقه اداری در عمق ۴۰ درصد است. از این رو عملکرد دودکش خورشیدی در طبقات مختلف با هم مقایسه شده است. شکل ۱۵ نشان‌دهنده سرعت جریان حجمی هوا در طبقات مختلف است که با توجه به آن در طبقات پایین‌تر نرخ جریان هوا کم‌تر است. در طبقات پایین‌تر به دلیل این‌که هوا مسیر طولانی‌تری را طی می‌کند تا به خروجی هوا در بالاترین قسمت دودکش خورشیدی برسد، افت فشار در اثر اصطکاک بین هوا و جداره دودکش خورشیدی، بیش‌تر است (بنابراین سرعت و نرخ جریان در طبقات بالا بیش‌تر است). علاوه بر آن پدیده اثر دودکشی که ناشی از اختلاف دانسیته است، در طبقات بالا بیش‌تر است.

دودکش بر نرخ جریان حجمی هوا در طبقات بالاتر مشهود است. همان‌طور که از نمودارها مشخص است، عملکرد دودکش خورشیدی تابعی از عمق آن است. در تمامی طبقات بیش‌ترین نرخ جریان حجمی هوا در ساعات اداری مربوط به دودکشی است که فاصله تحتانی محفظه دودکش و زاویه پوسته جداره نورگذر نسبت بهتری به زاویه تابش خورشید داشته باشد و با توجه به مدل‌های ارائه‌شده پژوهش دودکش با شیب ۴۰ درصد بیش‌ترین حجم جریان هوا را دارد و بیش‌ترین مقدار آن در ساعاتی اتفاق می‌افتد که شدت تابش خورشیدی حداکثر است. سرعت هوای خروجی از دودکش نیز در ساعات اداری، در مدل ۴۰ درصد با عمق ۱۶.۴۷ متر بیش‌ترین میزان تغییرات سرعت هوا را دارد و ۰.۳ متربرثانیه در نقطه D را استخراج شده و در نقطه E به ۰.۴۷ متربرثانیه، در نقطه F به ۰.۵۳ متربرثانیه در نقطه اوج دودکش (نقطه G) به سرعت ۰.۵۸ متربرثانیه می‌رسد و کم‌ترین میزان مربوط به دودکش قائم با عمق کم‌تر است تا در نقطه A با سرعت

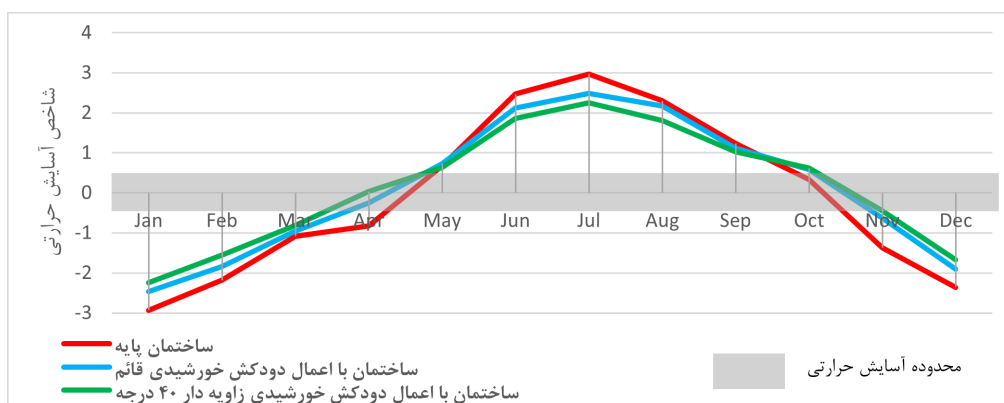
شکل ۱۵: شاخص میزان تغییر سرعت هوا در نقاط تعیین‌شده ساختمان موردی در زوایای مختلف ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۴۰ درصد



(تیرماه) از ۲.۹۷ واحد به ۲.۲۵ واحد رساند. این درحالی است که میانگین مقدار شاخص آسایش حرارتی در ماه ژانویه (دی ماه) از مقدار ۲.۹۳- به مقدار ۲.۲۴- رسیده است.

نتایج شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته در این مقاله نشان داد که به‌واسطه استفاده از این سیستم می‌توان به میزان کم‌تری از معیارهای شاخص PMV دست پیدا کرد و طبق نمودار شکل ۱۶، میانگین مقدار آن را در ماه جولای

شکل ۱۶: نمودار آسایش حرارتی در ماه‌های مختلف سال در حالت‌های مختلف



می‌نماید و مطابق با جدول ۳، مصارف انرژی در هر حالت متغیر مشخص گردید و با وجود آن در بهینه‌ترین حالت، میزان مصرف انرژی ساختمان پایه را از ۲۳۳۷۰۹.۱۳ کیلووات‌ساعت به مقدار ۱۹۶۰۵۸.۵۹ کیلووات‌ساعت در حالت اعمال دودکش با زاویه ۴۰ درصد کاهش داد و میزان درصد کاهش انرژی در بهینه‌ترین حالت ۱۶.۱۱ درصد می‌باشد.

حال با توجه به تأمین بخشی از میزان استاندارد تهویه‌ی ساختمان می‌توان از دودکش خورشیدی ۴۰ درصد بهره گرفت. میانگین دمای عملیاتی ماه جولای (تیرماه) را از ۳۴.۸۹ درجه سانتی‌گراد به ۳۰.۴۱ درجه و همچنین میانگین دمای هوا در ماه ژانویه (دی‌ماه) را از ۱۳.۳۰ درجه به ۱۷.۱۳ درجه ارتقا داده است که بدین ترتیب شرایط هوایی را در ماه‌های گرم و سرد سال تأمین

جدول ۳: میزان انرژی مصرفی در ساختمان اسناد و املاک با اعمال دودکش در زاویه‌های مختلف

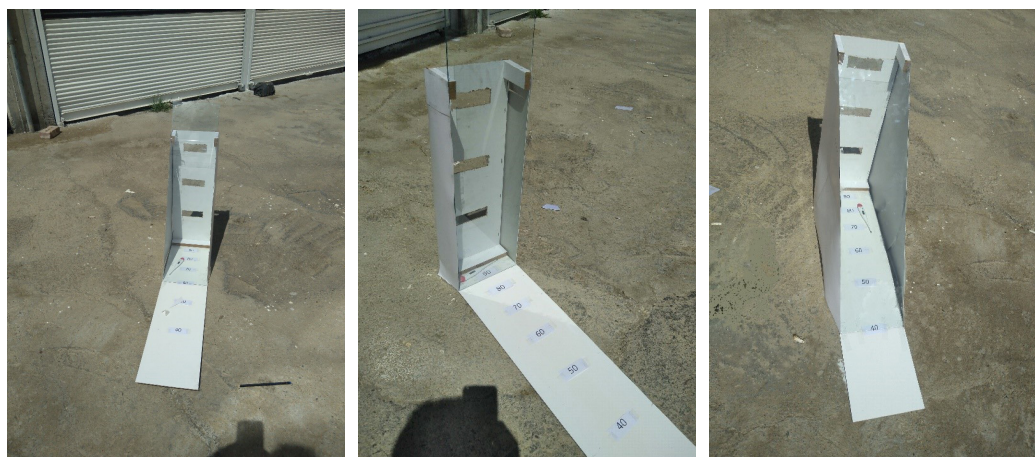
مشخصات پوسته	میزان مصرف انرژی				درصد بهینه نسبت به ساختمان پایه
	کل (kwh/m <sup>2</sup> )	کل (kwh)	گرمایش (kwh)	سرمایش (kwh)	
ساختمان پایه (بدون دودکش)	۶۶.۲۲	۲۳۳۷۰۹.۱۳	۹۷۹۵۳.۴۱	۱۳۵۷۵۵.۷۲	-----
دودکش معمول (۹۰ درجه)	۵۸.۷۴	۲۰۸۴۱۴.۶۱	۸۸۱۵۷.۷۱	۱۲۰۲۵۷.۱۴	۱۰.۸۲
دودکش معمول (۸۰ درجه)	۵۸.۳۲	۲۰۵۸۲۷.۶۳	۸۷۸۸۸.۴۰	۱۱۷۹۳۹.۲۳	۱۱.۹۳
دودکش معمول (۷۰ درجه)	۵۷.۵۶	۲۰۳۱۳۹.۹۸	۸۵۵۲۱.۹۳	۱۱۷۶۱۸.۰۵	۱۳.۰۸
دودکش معمول (۶۰ درجه)	۵۶.۸۳	۲۰۰۵۶۹.۱۸	۸۳۲۳۶.۲۱	۱۱۷۳۳۲.۹۷	۱۴.۱۸
دودکش معمول (۵۰ درجه)	۵۶.۰۹	۱۹۷۹۵۱.۶۳	۸۰۹۶۲.۲۲	۱۱۶۹۸۹.۴۱	۱۵.۳۰
دودکش معمول (۴۰ درجه)	۵۵.۵۵	۱۹۶۰۵۸.۵۹	۷۹۴۰۳.۷۳	۱۱۶۶۵۴.۸۶	۱۶.۱۱

را در قالب با مقیاس کوچک‌تر اجرا نمود و با قرار دادن آن در فضای واقعی به نرخ واقعی جریان حجمی هوا و سرعت تهویه در داخل محفظه دودکش خورشیدی دست یافت. شکل ۱۷، نمونه ساخته‌شده دودکش خورشیدی در زاویه‌های مختلف را نمایش می‌دهد که طبق داده به‌دست آمده از دستگاه ثبت داده دمایی، دودکش خورشیدی با زاویه ۴۰ درصد نسبت به مدل‌های دیگر از نرخ گرمایی بیش‌تری برخوردار است که به طبع آن میزان تهویه آن افزوده می‌شود.

## ۵. اعتبارسنجی پژوهش

بنا بر انتخاب موضوع انتخابی پژوهش که مدل‌های طراحی شومینه‌های خورشیدی را در زاویه‌های مختلف مورد بررسی قرار داده و نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزاری این تحقیق با توجه به جدید بودن موضوع تحقیق، بایستی اعتبارسنجی آن صورت گیرد که به دلیل این‌که نمونه شیب‌دار دودکش خورشیدی در کشور ایران موجود نمی‌باشد و همین امر باعث شد که راهکارهای طراحی حاصل از تحقیقات انجام‌شده و نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها

شکل ۱۷: نمونه ساخته‌شده دودکش خورشیدی شیب‌دار در مقیاس کوچک‌تر در زاویه‌های مختلف



## ۶. نتیجه گیری

انگیزه‌های مختلفی وجود دارد که ما را به سمت توسعه ساختمان‌های سبز سوق می‌دهد. تهویه طبیعی حاصل از دودکش خورشیدی به عنوان یک استراتژی نوآورانه در کاهش تقاضای انرژی در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند در مناطقی با تابش خورشیدی مناسب استفاده کرد و سرمایه‌گذاری یا گرمایش طبیعی را ایجاد کند. در این پژوهش با توجه به عملکرد بهتر دودکش در شهر کرمان، تهویه، میزان میانگین دمای داخل اتاق‌ها، میزان سرعت هوای ورودی اتاق‌ها و میزان فشار هوای خروجی از اتاق در مدل‌های فرمی مقایسه شده‌اند.

در ارزیابی‌های صورت گرفته، دودکش‌های مورد پژوهش را از حیث فرمی و کالبدی تغییر داده و مشخص گردید که با زاویه‌دار نمودن جداره نورگذر دودکش خورشیدی نسبت به زاویه خورشید، باعث افزایش حجم هوا در محفظه خواهد شد و این امر سبب افزایش حجم هوای تبادل شده می‌گردد به گونه‌ای که با افزایش حجم محفظه در شومیه با شیب ۴۰ درصد، به واسطه جذب مستقیم و غیرمستقیم تابش خورشید و ارتباط بهتر آن با محیط پیرامون، تغییراتی را در جهت کاهش دما داشته و محفظه آن دچار نوسانات دمایی بیشتری می‌شود و در تبادل حرارتی تأثیرگذار می‌باشد و تخلیه حرارتی بیشتری با خروج از دریچه فوقانی شومیه انجام می‌گردد و از طرفی دیگر، شاخص آسایش حرارتی قابل قبول‌تر و میزان مصرف انرژی بهینه‌تری نیز در پی دارد. در ادامه خاطر نشان می‌شود که دمای محیط در طبقات به واسطه‌ی ورود تشعشعات ساطع شده از خورشید به داخل دودکش، باعث تغییر در نرخ جریان حجمی هوا و سرعت جریان آن در هر طبقه شده که این افزایش در دمای محیط

طبقات بالاتر بیش‌تر مشهود می‌گردد و در تمامی طبقات بیش‌ترین نرخ جریان حجمی هوا در ساعات اداری مربوط به دودکشی ۴۰ درصدی است که فاصله تحتانی محفظه دودکش، نسبت بهتری نسبت به زاویه تابش خورشید دارد و بیش‌ترین نرخ حجمی و میانگین سرعت جریان هوا را نسبت به سایر نمونه‌ها دارد و گرمای قابل توجه محیط و همچنین مشخصات تابشی نور خورشید به تناسب قرارگیری ساختمان موردی در اقلیم گرم و خشک شهر کرمان، به عملکرد نقش شومیه خورشیدی در افزایش سرعت تبدلات دمایی داخل محفظه می‌افزاید.

البته که افزایش محفظه دودکش (نمونه ۴۰ درصد) در طبقات نیز نقش بهتری را نسبت به سایر نمونه‌ها ایفا نموده و سرعت جریان حجمی هوا در راستای افقی آن طبقه به واسطه حجم بیش‌تر محفظه هوای دودکش باعث می‌شود که هرچه طبقات در ساختمان بالاتر رود؛ آن‌گاه در طبقات پایین‌تر آن سبب افزایش نرخ جریان حجمی هوا شده و به واسطه آن سرعت تبدلات در طبقات بالاتر نیز افزوده می‌شود. لازم به ذکر است که در طبقات پایین‌تر به دلیل این‌که هوا مسیر طولانی‌تری را طی می‌کند تا به خروجی هوا در بالاترین قسمت دودکش خورشیدی برسد، افت فشار در اثر اصطکاک بین هوا و جداره دودکش خورشیدی، بیش‌تر است ولی به دلیل افزایش دمای محبوس شده داخل دودکش و پدیده اثر دودکشی که ناشی از اختلاف دانسیته است، بیش‌تر از میزان افت فشار وارده است و همین امر باعث عملکرد بهتر و کارایی بیش‌تر دودکش خورشیدی شیب‌دار نسبت به دودکش قائم و فاقد شیب در قسمت جداره نورگذر است.


## پی‌نوشت

1. Solar Chimney (SC)
2. Design Builder
3. Computational Fluid Dynamics (CFD)
4. Fanger
5. Predicted Mean Vote (PMV)

## فهرست منابع

- Abd Elbar, Ayman Refat, and Hamdy Hassan. 2019. Experimental investigation on the impact of thermal energy storage on the solar still performance coupled with PV module via new integration. *Sol. Energy*: 584-593. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.042> [in Persian]
- Afonso, Clito, and Oliveira Armando. 2000. Solar chimneys: simulation and experiment. *Energy Build* 32: 71-9. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00038-9)
- Ansarimanesh, Maryam and Nazanin Nasrollahi. 2018. Proper Range of Carbon Dioxide to Optimize Indoor Environmental Quality in Office Buildings of Kermanshah. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 8(1): 9-15. <http://magiran.com/p1816300> [in Persian]
- ANSI/ASHRAE Standard 62.1. 2010 Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329. [https://up-greengrade.ir/admin\\_panel/assets/images/books/25223276727.pdf](https://up-greengrade.ir/admin_panel/assets/images/books/25223276727.pdf)
- Bahadrinejad, Mehdi, and Mahmoud Yagoubi. 2016. "Natural ventilation and cooling in traditional Iranian buildings". Tehran University Publishing Center, first edition. <http://www.lib.ir/book/60184757/> [in Persian]
- Cole, Raymond J., and Laura Fedoruk. 2015. Shifting from net-zero to net-positive energy buildings. *Build. Res. Inf.* 43: 111-120. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.950452>
- Fakhari, Maryam, and Shahin Heydari. 2012. Optimizing the solar chimney and investigating its effect on building ventilation. *Architecture and urban planning (fine arts)* 18(2): 83-88. <https://sid.ir/paper/154382/fa> [in Persian]
- Garcia-Hansen, Veronica, Esteves Alfredo, and Pattini Andrea Elvira. 2002. Passive solar systems for heating, daylighting and ventilation for rooms without an equator-facing facade. *Renew Energy* 26: 91-111. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00089-1](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00089-1)
- Mekkawi, Gehad, and Rana Elgendy. 2016. Solar Chimney for Enhanced Natural Ventilation Based on CFD-Simulation for a Housing Prototype in Alexandria, Egypt. In *the 63rd International Conference on Civil and Architectural Engineering (ICCAE)*, At Berlin, Germany, July. [https://www.worldresearchlibrary.org/up\\_proc/pdf/363-146959948407-12.pdf](https://www.worldresearchlibrary.org/up_proc/pdf/363-146959948407-12.pdf)
- Hamdy, Inass, and, Fikry Mohamed Anwar. 1998. Passive solar ventilation. *Renew Energy* 14: 3816. <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v14y1998i1p381-386.html>
- Imran, Ahmed Abduinabi, Jalil Jalal M., and Ahmed Sabah T. 2015. Induced flow for ventilation and cooling by a solar chimney. *Renew Energy* 78: 236-44. <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v78y2015i1p236-244.html>
- Jan Vanand, Isa, and, Reza Razaghi. 2018. Numerical investigation of parameters affecting air speed in solar chimney. *Energy Management Engineering (Energy Management)* 9(4):74-81. <https://sid.ir/paper/376786/fa> [in Persian]
- Jing Kong, Jianlei Niu, and Chengwang Lei. 2020. A CFD based approach for determining the optimum inclination angle of a roof-top solar chimney for building ventilation. *Solar Energy* 198: 555-569. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.017>
- Khanal, Rakesh, and Lei Chengwang. 2011. Solar chimney, a passive strategy for natural ventilation. *Energy, Build* 43:1811-1809. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.035>
- Lal Shiv, Kaushik S., and Bhargav P. 2013. Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning. *Int J Dev Sustain* 2: 277-97. <https://isdnsnet.com/ijds-v2n1-20.pdf>
- Mahdavejad, Mohammadjavad, Maryam Fakhari, and Fateme Alipoor. 2013. The Study on Optimum Tilt Angle in Solar Chimney as a Mechanical Eco Concept. *Frontiers of Engineering Mechanics Research* 2: 71-80. <https://www.researchgate.net/publication/256198688>
- Management and Planning Organization of Kerman Province. 2015. Kerman Province Planning Studies. [in Persian]
- Mathur, Jyotirmay, and Sanjay Mathur. 2006. Experimental investigation on four different types of solar chimneys. *Adv Energy Res* 12:151-156. <http://www.sciepub.com/reference/37569>
- Mojarrad, Firouz, and Kamran Moradi. 2013. An attitude on the inconsistencies and trends of sunny hours in Iran. *Geography and Development* 12(series 34): 153-165. <https://sid.ir/paper/77093/fa> [in Persian]
- Moulai, Mohammad Mahdi. 2019. Pilleh Chiha Peyman, Zarin Mehr Zahra, Shaari Jalil. Investigating the combination of open and closed urban space on the efficiency of solar chimney, case study: office building in the hot and dry climate of Shiraz. *Utopia architecture and urban planning* 13(31): 157-167. <https://sid.ir/paper/378695/fa> [in Persian]
- Poursishtani, Poopak, Hosein Medi, and Mostafa Mafi. 2021. Evaluation of thermal performance of a solar chimney with two independent modes and air injection from the floor - Case study: Office building in Kerman. *Geography (Regional Planning)* 11(44): 702-721. [magiran.com/p2346444](http://magiran.com/p2346444) [in Persian]
- Rahman, MdMizanur, Chu Chi-Ming, Kumaresen Sivakumar, Yan Farm, Kim Phang, Mashud M., Shahidur, Rah-

- man. 2014. Evaluation of the modified chimney performance to replace mechanical ventilation system for live-stock housing. *Procedia Eng* 90: 245-8. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.11.844>
- Urge-Vorsatz, Diana, Luisa F. Cabeza, Susana Serrano, Camila Barreneche, and Ksenia Petrichenko. 2015. Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renew Sustain Energy Rev* 41: 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039>
  - Zanganeh, Najmeh, and Zahra Barzgar. 2017. The Comparison of Internal and External Thermal Comfort of winter stayed and Central Yard in Traditional House by PMV and PPD Methods (Case Study: Tavallae House in Shiraz). *Haft Hesar J Environ Stud* 6(24): 55-68. <http://hafthesar.iauh.ac.ir/article-۱-۵۷۰-fa.html> [in Persian]
  - <https://www.Solargis.info>
  - <https://www.yjc.ir/fa/news/5608745>
  - <https://climate-consultant.informer.com/6.0/>
  - <http://kerman-met.ir/>

<p style="text-align: center;"><b>نحوه ارجاع به این مقاله</b></p> <p>پورسیستانی، پوپک، حسین مدی، و مصطفی مافی. ۱۴۰۲. بررسی نقش مکان‌گزینی شومینه‌های خورشیدی در تأمین آسایش در یک ساختمان اداری در اقلیم گرم و خشک، مورد مطالعاتی: شهر کرمان. <i>نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر</i> ۱۶(۴۳): ۱-۱۶.</p> <p>DOI: 10.22034/AAUD.2023.238639.2380          URL: <a href="https://www.armanshahrjournal.com/article_174386.html">https://www.armanshahrjournal.com/article_174386.html</a></p>	
<p><b>COPYRIGHTS</b></p> <p>Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture &amp; Urban Development Journal. This is an open- access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.</p> <p><a href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a></p>	