

## ارزیابی عملکرد حرارتی یک دودکش خورشیدی با دو حالت مستقل و تزریق هوا از کف - نمونه موردی: ساختمان اداری در شهر کرمان<sup>۱</sup>

پوپک پورسیستانی

گروه معماری، واحد بین‌المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران

حسین مدی<sup>۲</sup> \*\*

استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

مصطفی مافی

استادیار گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

### چکیده

سهم عمده‌ای از مصرف انرژی با بهره‌گیری از تجهیزات مکانیکی تأمین می‌گردد. روش طراحی غیرفعال می‌تواند به حفظ شرایط حرارتی آسایش در ساختمان‌ها و کاهش مصرف انرژی کمک کند. به‌طورخاص، اجرای دودکش‌های خورشیدی در جهت تهویه هوای داخلی ساختمان باعث کاهش راندمان انرژی می‌شود. در این مقاله یک ارزیابی عملکرد آسایش حرارتی در یک ساختمان دولتی با و بدون ادغام دودکش خورشیدی توسط برنامه شبیه‌سازی دیزاین‌بیلدر مدل‌سازی شده و با استفاده از روش دینامیک سیالات (CFD) به بررسی توزیع دمایی و نحوه جریان هوا پرداخته شد که نتایج نشان داد که ادغام دودکش‌های خورشیدی می‌تواند PMV (میانگین رأی پیش‌بینی شده) را به میزان ۵۵ درصد نسبت به ساختمان پایه کاهش دهد و مقادیر آن به بازه استاندارد اشری 55 و ایزو 7730 نزدیک گردد. در ادامه تحقیق آزمایش‌هایی بر ایجاد حفره تحتانی دودکش انجام گرفته شد که مکش هوای بیرون به داخل دودکش را به‌عهده دارد و نتایج آن به افزایش عملکرد دودکش‌های خورشیدی و نزدیک کردن به معیار آسایش حرارتی فنجر انجامید. بطوریکه معیار آسایش حرارتی PMV از ۴/۶۳ واحد به میزان ۲/۵۶ واحد و میانگین دمای هوای اتاق‌ها در گرم‌ترین ماه سال (جولای) از ۳۶/۲۱ درجه سانتی‌گراد به ۳۳/۶۱ درجه رسید که میانگین دما، مقدار ۲/۶ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا کرده است. به‌طورکلی، سیستم ترکیبی دودکش خورشیدی و با تزریق هوا از کف آن، میزان تهویه بالاتری را در محیط داخلی ایجاد می‌کند و پتانسیل بالاتر آن را به‌عنوان یک سیستم تهویه غیرفعال در اقلیم گرم خودنمایی می‌کند.

**کلمات کلیدی: دودکش خورشیدی، ارزیابی حرارتی، اقلیم گرم و خشک، دیزاین بیلدر.**

<sup>۱</sup> مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان "روش بهبود عملکرد دودکش خورشیدی در بکارگیری طراحی یکپارچه در ساختمان‌های اداری در منطقه گرم و خشک کرمان" تحت راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم انجام شده است.

## مقدمه

احساس رضایت ذهنی فرد نسبت به شرایط محیط در ساختمان را با عنوان آسایش حرارتی بیان می‌کنند و شرایط آسایش حرارتی بر سلامت و روحیه افراد اثر مستقیمی دارد و این مهم در ساختمان‌های اداری به مراتب با بازدهی کاری کارکنان در ارتباط است و با استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع این امکان فراهم می‌شود که هدف اصلی آن، تأمین آسایش حرارتی در محیط‌های بسته است. در حالت کلی فاکتورهای مهم آسایش حرارتی عبارتند از: پوشش بدن، فشار جزئی بخار یا دمای نقطه شبنم، دمای حباب خشک، سرعت نسبی هوا نسبت به بدن انسان و دمای تابشی متوسط سطوح اطراف (P.O. Fanger, 1972) دما و سرعت جریان هوا از مهم‌ترین فاکتورها در میان فاکتورهای فوق، هستند (Ürge-Vorsatz, Cabeza, Serrano, Barreneche, Petrichenko, 2015, p85-98).

با توجه به اینکه انرژی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی است بنابراین میزان مصرف انرژی و همچنین کیفیت محیط داخلی منازل و ادارات، یکی از دغدغه‌های اساسی طراحان بوده و هست. مطالعات نشان می‌دهد شایع‌ترین نوع شکایت در ساختمان‌های اداری در مورد نارضایتی حرارتی (از گرما یا سرما) می‌باشد. سازگاری محیط داخلی ساختمان از نظر حرارتی، علاوه بر تأمین آسایش برای کارکنان و مراجعین، باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سلامت، بالا رفتن بهره‌وری و نیز بهبود روحیه کارکنان خواهد داشت. در واقع اقلیم و شرایط محیطی داخل و خارج، تأثیرات فیزیکی و روانی خاص بر انسان دارند که باید به موقعیت گرمایش و سرمایش در طراحی ساختمان مورد توجه قرار گیرد. (taban, pourjafar, Bemanian and Heidari, 2013, p.79)

اشری<sup>۱</sup>، آسایش حرارتی را شرایط ذهنی می‌داند که رضایت‌مندی شخص را از شرایط محیط خویش بیان می‌کند (ASHRAE 55, 2010) و یکی از راهکارهای پیشنهادی برای تأمین شرایط آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی در سیستم گرمایش، استفاده از توان انرژی خورشیدی در محل است که مهم‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر موجود می‌باشد (Abd Elbar, Hassan, H, 2019, p584-593). برای بررسی به این موضوع، فعالیت‌های گسترده‌ای صورت گرفته است. برای نمونه، طراحی بیوکلیماتیک شامل بهره‌گرفتن از تکنیک‌های محافظت از انرژی در ساختن با منابع تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی است [Hansen, Esteves, Pattini, 2002, p 91-111].

در مقاله حاضر با توجه به قابلیت‌های محیطی و اقلیمی ساختمان‌های اداری مناطق گرم‌و‌خشک، به‌عنوان نمونه ساختمان اداری مدیریت و برنامه‌ریزی شهرکرمان انتخاب شده و روش امکان‌سنجی برای رسیدن به شرایط آسایش-حرارتی و میزان بهینه‌سازی مصرف سوخت از طریق نرم‌افزارهای شبیه‌سازی رایانه‌ای ارائه می‌گردد.

تمامی ساختمان‌ها قبل از اختراع سیستم‌های مکانیکی مدرن، به‌طور طبیعی تهویه می‌شدند و زمانی که بهینه‌سازی انرژی مصرفی درکنار شرایطی مناسب محیطی به دو موضوع مهم و اساسی در طراحی ساختمان تبدیل شد، تمایلات فراوانی به توسعه معماری باستانی میان دانشمندان اتفاق افتاد. دودکش خورشیدی یکی از کهن‌ترین استراتژی‌های تهویه غیرفعال به حساب می‌آید و در طی قرون مختلف به خصوص در خاورمیانه توسط ایرانیان و در اروپا توسط رومی‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (Lal S, Kaushik S, Bhargav P, 2013, p97). ولی با توجه به دسترسی راحت به سیستم‌های تهویه مکانیکی و ترقی شیوه زندگی در قرن بیستم، بهره از نیروی باد یا انرژی خورشیدی

<sup>1</sup> - Ashrae 55

جهت تهویه منسوخ گردید. بدین ترتیب، پژوهش‌ها و تحقیقات دودکش خورشیدی پیش از دهه ۱۹۸۰ نسبتاً محدود شد. در طی چند دهه گذشته، محققان پژوهش‌های زیادی در راستای کاهش مصرف انرژی و تأمین آسایش حرارتی انجام دادند و تلاش در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیاز به تهویه فعال و کارا سبب افزایش علاقه جدید به دودکش‌های خورشیدی شد.

در بیشتر مطالعات دودکش خورشیدی، ایده اصلی توسعه تهویه طبیعی با فرض پارامترهای مختلف طراحی همچون ارتفاع کانال، عرض و جهت‌گیری دودکش مورد بررسی واقع شده بودند. خانل و لی (Khanal R, Lei C, 2011, p 9). تحقیقاتی در سال ۱۹۸۸ توسط بوچایر در رابطه با جهت قرارگیری دودکش‌های خورشیدی را انجام گرفت و در پژوهش خود، جهت‌گیری جنوبی را با توجه به عملکرد بهتر نسبت به سایر جهات برگزید (Bouchair, A, Fitzgerald, D, 1988, p 135-140) و بوچایر در تحقیقی دیگر در سال ۱۹۹۴ با روش تحلیلی و تجربی، رابطه بین ارتفاع و فاصله هوایی دودکش خورشیدی در آب هوای الجزایر تحلیل نمود (Bouchair, A, 1994, p81-93) و در تحقیقات دیگری که توسط خداری و همکاران ایشان در سال ۲۰۰۰ انجام گرفت به بررسی دودکش خورشیدی بر تهویه یک ساختمان اداری مجهز به سیستم تهویه مطبوع پرداخته شد که کاهش مصرف انرژی ساختمان موردی از نتایج آن تحقیق استخراج گردید (Khedari, Boonsri, Hirunlabh, 2000, p89-93). در طی دو پژوهش توسط مادور و همکاران در سال ۲۰۰۶ و بسیونی و کورا در سال ۲۰۰۸ با انجام روش تحلیلی عددی به رابطه بین ابعاد ورودی و خروجی دودکش با نرخ جریان تهویه عبوری از دودکش پرداخته شد و طی تحقیقات آنان کارایی دودکش خورشیدی با افزایش ابعاد ورودی و خروجی محفظه دودکش نسبت مستقیم دارد (Mathur, Bansel, Mathur, Jain, 2006, p927-935). (Bassiouny & Koura, 2008, p 865-873). جیانلیو و یهوا و کوروناکي در دو تحقیقی جداگانه در سال ۲۰۱۳ با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس دودکش‌های مختلفی را مدل سازی نموده و شیب بهینه قرارگیری دودکش خورشیدی نسبت به سقف بنا بررسی کردند و در تحقیقاتشان، عملکرد سه مدل مختلف دودکش معمولی، شیشه‌ای و دودکش با مجرای اضافی در پشت جاذب حرارتی را بررسی کردند (Jianliu Koronaki, 2013, p119) & Weihua, 2013, p467). تحقیقاتی دیگر در زمینه معرفی استراتژی‌های نوآورانه با بهره‌گیری از سیستم‌های یکپارچه دودکش خورشیدی و ادغام بین سیستم‌های صرفه‌جویی انرژی فعال و غیرفعال در ساختمان به منظور تقویت تهویه ساختمان انجام شده است. بر این اساس، ادغام عناصر طراحی خورشیدی منفعل و فعال برای تحقق راندمان انرژی مورد نیاز در داخل ساختمان‌ها و کسب آسایش حرارتی ساکنین آن بسیار مهم است (Cole & Fedoruk, , 2015, p.111) این پتانسیل، اثربخشی اجرای آینده‌نگر سیستم‌های یکپارچه مبتنی بر دودکش-های خورشیدی را نشان می‌دهد.

اکثریت مطالعات انجام گرفته شده براساس آزمایش‌های خالص یا رویکردهای تجربی همراه با مدل‌سازی عددی می‌باشد. مک‌کاوی و الگندی در سال ۲۰۱۶ با مدل سازی یک نمونه ساختمان دو طبقه در شهر اسکندریه مصر با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و استفاده از روش محسباتی دینامیک سیالات (CFD)، رفتار حرارتی یک دودکش خورشیدی را بررسی کردند (Gehad Mekkawi & Rana Elgendy, 2016). آنان در تحقیق خود تأثیر عملکرد

انرژی خورشیدی در تهویه طبیعی را با معیارهای شاخص آسایش حرارتی مقایسه کردند و آنها دریافتند که سرعت تهویه داخلی با اعمال دودکش خورشیدی تا ۵۰ درصد افزایش کارایی خواهد داشت و با عملکرد حرارتی آن، دمای هوای ثانویه به میزان ۰/۸۱ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. نراقی و دوسوردت با استفاده از تحلیل دینامیکی ضریب همبستگی را محاسبه کردند که سرعت جریان هوا را برای یک دودکش خورشیدی از نوع سقف شیب دار با کمک تعدادی از نقاط داده و استفاده از آنالیز روش‌های دینامیکی محاسبه کردند. پارامترهای درگیر این همبستگی فاصله عرضی کانال، جذب دمای دیواره، دمای هوای ورودی، ارتفاع دودکش و شیب دودکش بود و در نظر گرفتن پارامترهای دیگر مانند تأثیر سرعت باد، همبستگی بیشتر را بهبود می‌بخشد. در نتیجه پژوهش، عوامل تأثیرگذار در میزان جریان هوا حاصل گردید (Naraghi & du Sordet, 2011, p 801).

در زمینه آسایش حرارتی با استفاده از شاخص حرارتی PMV با اعمال دودکش خورشیدی تحقیقات کمتری انجام شده است و صرفاً مبانی فرمی و اقتصادی طرح ملاک بوده است و معیارهای آسایش حرارتی را روی پروژه‌های دیگری مقایسه و ارزیابی نموده‌اند به گونه‌ای که در مقاله‌های اخیر انجام شده توسط حسین مدی و همکاران ایشان به عوامل تأثیرگذار بر کیفیت فضاها، باز شهری و افزایش مطلوبیت و پویایی شهرها با معیار آسایش حرارتی پرداخته است که با هدف بررسی تأثیر هندسه متداول بلوک‌های شهری در میزان آسایش حرارتی محیط خارج در دوره گرم و تابستانی شهر همدان، از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استفاده شده است. چهار عامل دمای هوا، دمای متوسط تشعشعی، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد به عنوان مهمترین عوامل موثر بر آسایش حرارتی در فضای باز در فضای مرکزی و مشترک بلوک‌های مورد نظر استخراج گردیده است و در تحقیقات آنان از شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده PMV به عنوان یکی از جامعترین روش‌های تخمین آسایش حرارتی محیط خارج بهره گرفته شده است و نتایج پژوهش حاکی از آن است که آسایش حرارتی بیشتر تحت بازه زمانی است که تابش خورشید وجود دارد و سرعت جریان باد پس از تابش خورشید به عنوان عاملی بسیار مهم در جهت بهبود شرایط حرارتی محیط مطرح است (medi & khoshbakht & Azmodeh, 2020, p39)

در مقاله خانم لیلی السادات هاشمی رفسنجانی و شاهین حیدری به کمک انجام مطالعات میدانی در اقلیم گرم و خشک ایران بوده به عوامل دستیابی به شرایط آسایش حرارتی قابل قبول برای ساکنان ساختمان‌ها اشاره کردند و انسان به عنوان یگانه معیار قابل قبول در جهت تشخیص بازه آسایش حرارتی بیان کردند. نتایج نشان می‌دهد که بین دمای خنثی و میانگین دمای داخلی و خارجی ساختمان همبستگی قابل قبولی برقرار است (Hashemi Rafsanjani & Haydari, 2019).

در مقاله دیگری که توسط نجمه زنگنه و زهرا برزگر انجام گرفته شده است به تأمین آسایش حرارتی در ساختمان که از مهمترین اهداف طراحی اقلیمی است، اشاره کرده‌اند. در آن پژوهش، میزان آسایش حرارتی فضای زمستان- نشین و حیاط مرکزی خانه سنتی تولایی شیراز بررسی شد. بخشی از روش تحقیق این پژوهش بر مبنای میزان آسایش حرارتی به روش PMV بوده است و اطلاعات سرعت باد و دمای تابشی با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس بدست آمد و بر اساس آنها PMV و PPD محاسبه شد. نهایتاً با مقایسه آسایش حرارتی فضاها نتایج نشان داد که آسایش حرارتی زمستان نشین خانه تولایی در فصل سرما نسبت به حیاط مرکزی آن، از درجه راحت تر برخوردار بوده

است و بیش از ۸۵ درصد کاربران از زمستان‌نشین احساس رضایت دارند. (Zanganh & Barzgar, 2019, p.68)

زهراسادات زمردیان، سعید امینیان و منصوره طاهباز مقاله ای در سال ۱۳۹۵ به ارتباط با ارزیابی آسایش حرارتی در یک از دبستان‌های شهر کاشان پرداخته شد و بر تأثیر مستقیم آسایش حرارتی محیط بر بهره‌وری و سلامت دانش‌آموزان کلاس‌های درس تأکید شد و در تحقیق خود با دو روش کمی و کیفی و مقایسه با استانداردهای متداول ارزیابی گردید و با توجه به متفاوت بودن بازه احساس حرارتی دانش‌آموزان با بزرگسالان بر تمهیدات معماری و تأسیساتی برای تأمین شرایط آسایش در کلاس تمرکز کرد (Zomorodian & Aminian & Tahbaz, 2016, p.28). در مقاله دیگری که توسط مریم انصاری‌منش و نازنین نصرالهی در سال ۱۳۹۳ به چاپ رسید به فاکتور آسایش حرارتی با منظور تعیین محدوده آسایش حرارتی ساکنین ساختمان‌های اداری کرمانشاه اشاره داشتند و کیفیت محیط داخلی را در ساختمان‌های اداری ایران را در حد متوسط ارزیابی نمودند و به دلیل نبود استانداردهای لازم به منظور تعیین محدوده‌های آسایش در فضاهای اداری، علاوه بر نارضایتی حرارتی و کاهش میزان بهره‌وری کارکنان، باعث افزایش مصرف انرژی نیز می‌شود. نتایج تحقیق با استفاده از پرسشنامه و انجام مطالعات میدانی و اندازه‌گیری محیطی دما حاکی از آن است که محدوده مناسب حرارتی در فضاهای اداری شهر کرمانشاه بین ۲۰ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است (Ansari manesh & Nasrollahi, 2014, p.17). در تحقیقات دیگری توسط قنبرعلی شیخزاده، سروش صدری‌پور و مهدی ملامهدی به بررسی عددی تأثیر سرعت و مکان قرارگیری فن سقفی بر آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت و در آن تحقیق، عملکرد فن سقفی را در زمستان با سیستم گرمایش مرکزی در فضای اتاق اداری سنجیده شد و برای مدل‌سازی آسایش از مدل  $k-\epsilon$  استفاده شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از فن سقفی، بدون در نظر گرفتن مکان آن در یک ارتفاع مشخص، باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود و وضعیت شاخص‌های میانگین آراء افراد نسبت به شرایط گرمایی محیط (PMV) بهبود می‌یابد (Shikhzade & Sadripour & Mollamahi, 2019, p.309)

هر پژوهش علمی نیازمند یک روش تحقیق متناسب با موضوع خود دارد. با توسعه محاسبات عددی سریع و روش‌های دینامیکی سیال محاسباتی امکان به سرعت در تجزیه و تحلیل دودکش خورشیدی در حال رشد بودند و قبل از ظهور بسته‌های نرم‌افزاری تجاری؛ کدهای جریان چند لایه برای شبیه‌سازی جریان هوا و انتقال و توزیع حرارتی در دودکش خورشیدی تهیه شده‌اند.

در تحقیق حاضر، 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 دودکش خورشیدی را به عنوان استراتژی مسئله گرمایش و سرمایش فضا توسط شاخص PMV تشریح خواهد نمود که این شاخص برای پیش‌بینی میانگین آرای حرارتی افراد براساس یک مقیاس هفت نقطه‌ای بر مبنای تعادل حرارتی بدن استوار است و نشان‌دهنده متوسط احساس یکسان چندین نفر از یک شرایط محیطی است. این شاخص از جمله مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژی دما محسوب می‌شود (Bahadorinezhad, Ya'ghobi, 2006). براساس استاندارد اشری 55 و ایزو 7730، شاخص PMV در اتاق‌های اداری بین دو آسایش طبقه بندی می‌شود، باید بین  $-0/5$  و  $+0/5$  باشد.

جدول ۱. مقیاس حس حرارتی ۷ نقطه ای اشری

خیلی سرد	سرد	کمی سرد	خنثی	کمی گرم	گرم	خیلی گرم
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

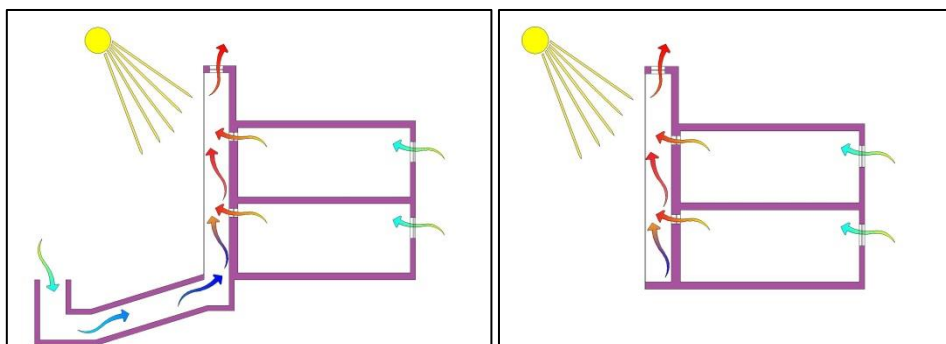
منبع: (ASHRAE Standard 55,2010)

بیان عملکردی دودکش خورشیدی

یک دودکش خورشیدی معمولی شامل یک جمع‌کننده خورشیدی، یک پوشش شفاف و دیافراگم ورودی و خروجی است. با استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی، ممکن است اختلاف دمای کافی بین هوا در داخل و خارج از کانال دودکش خورشیدی ایجاد شود و یک جریان تهویه با اثر شناوری ایجاد شود و هر چه روز گرمتر باشد، میزان هوای جمع شده در کانال دودکش خورشیدی داغ‌تر و حرکت هوا سریع‌تر انجام می‌گیرد.

عمل تابش خورشید در کانال محفظه دودکش خورشیدی می‌تواند اثر ناهمواری هوا را افزایش داده و به نوبه خود باعث بهبود عملکرد تهویه شود. دودکش خورشیدی شامل دو نوع دیواری و پشت‌بام هستند. پیشنهاد شده است که دودکش خورشیدی در پشت بام بهتر کار کند زیرا می‌تواند تابش خورشیدی بیشتری را جمع کند (Mathur & Mathur, 2006, p1163). ولی با توجه به زیبایی بصری دودکش‌های خورشیدی دیواری می‌توان بازدهی خوبی را از دودکش‌های دیواری گرفت و این یک طراحی جدید برای به حداکثر رساندن اثر تهویه با القای افزایش دما در محفظه دودکش با هدف بهره‌وری از تابش خورشیدی است. (Khanal, Lei, 2011, p1811).

حالت دوم دودکش خورشیدی به گونه‌ای است که یک کانال زیرزمینی به زیر دودکش خورشیدی متصل می‌گردد و وظیفه تزریق هوای خنک را بر عهده دارد و این یک روش نوآورانه برای گردش هوا در ساختمان از طریق اجرای کانال هوا است که کانال در چندین متر در زیر زمین دفن خواهند شد و از خاک به عنوان یک منبع دمای طبیعی ثابت استفاده می‌کنند. درجه حرارت خاک در زیر زمین نسبتاً ثابت است و دمای آن آشفته نیست. این درجه حرارت بالاتر از دمای سطح در زمستان و در تابستان پایین‌تر است. این سیستم که توانایی تهویه بهتر از طریق اثر سرمایش یا گرمایش و به‌عنوان یک مبدل حرارتی زمینی ایفای نقش کند و سرعت هوا، اختلاف دما بین هوای محیط و خاک و همچنین طول کانال زمینی و اندازه حجمی کانال و عمق خاک نقش اصلی در کارایی این مبدل حرارتی دارد. از طرفی دیگر افزایش عمق و طول دفن کانال‌ها و همچنین کاهش سرعت جریان هوا باعث افزایش ظرفیت انتقال حرارت می‌شود (Ahmadi, Mohammadi, 2014) (Ahmadi, Mohammadi, ehghani, 2013)



تصویر ۱. (نمونه اول: دودکش خورشیدی مستقل)

تصویر ۲. (نمونه دوم: دودکش خورشیدی با

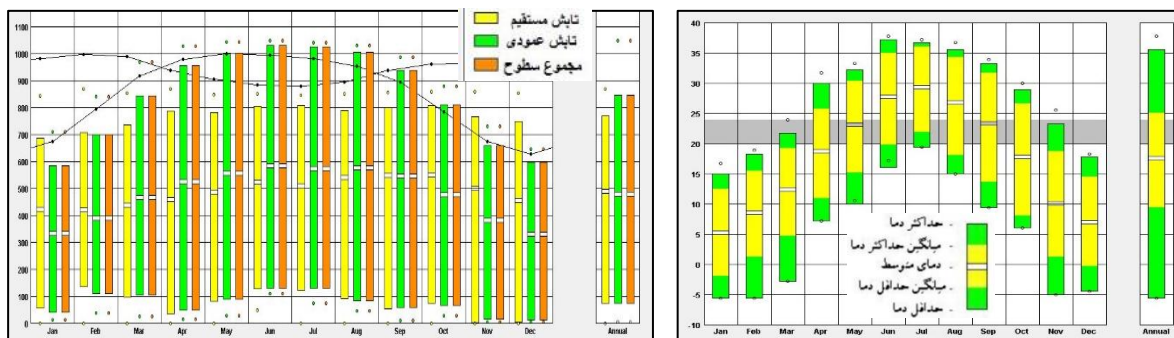
اعمال تزریق هوا)

معرفی نرم افزار شبیه سازی

لازمه تحلیل راندمان حرارتی ساختمان ها در شروط ناپایدار، اجرای محاسبات متفاوت و پیچیده است که این فرآیند توسط نرم افزارهای شبیه سازی حرارتی صورت می گیرد. و نرم افزارها، داده های اقلیمی سالانه و ساعت به ساعت محل استقرار ساختمان (شهر) به صورت ورودی نرم افزار دریافت و کارآیی اجزای گوناگون ساختمان نسبت به شرایط تعیین شده و در یک محدوده زمانی مشخص محاسبه و شبیه سازی می کند. یکی از برنامه های کامپیوتری شبیه سازی و آنالیز انرژی، نرم افزار دیزاین بیلدر<sup>۱</sup> است که با توجه به امکانات و مزیت های نرم افزار دیزاین بیلدر و موتور شبیه سازی نرم افزار انرژی پلاس در جهت مشخص نمودن میزان مصرف انرژی در حالت های مختلف بهره گرفت و همچنین با استفاده از تکنیک های ویژه دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) امکان مدل سازی جریان هوا را در داخل ساختمان به همراه تجزیه و تحلیل پیش بینی جریان هوا و انتقال گرما به نمایش گذاشت. (DesignBuilder, 2016),

مشخصات اقلیمی سایت مورد تحقیق

برای شبیه سازی انرژی در ساختمان، معمولاً چندین پارامتر مختلف اقلیمی (دمای هوا، میزان تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، ارتفاع از سطح دریا، فشار هوا و غیره) مورد نیاز است. در مقاله حاضر از فایل اقلیمی شهر کرمان (با مشخصات طول جغرافیایی برابر با ۳۰،۲۹ شمالی ۵۷،۰۶ شرقی) که توسط نرم افزار متیونرم نوشته شده است. بهره گرفته شده و اطلاعات آب و هوایی ساعتی در قالب فایل مناسب اقلیمی به صورت ورودی به نرم افزار دیزاین بیلدر داده می شود تا در گام های زمانی مورد نظر در حل معادلات وارد شود و تحلیل های مورد نیاز را انجام دهد. استان کرمان با مساحت ۱۸۵۶۷۵ کیلومتر مربع در جبهه جنوب شرقی کشور قرار دارد و پهناورترین استان کشور محسوب می شود. از نقطه نظر تقسیم بندی ها جزء اقلیم خشک بیابانی گرم محسوب گردیده است. به این ترتیب آب و هوای این استان به علت وسعت منطقه، وجود پستی و بلندی ها و شرایط خاص اقلیمی در نواحی مختلف کاملاً متفاوت است.



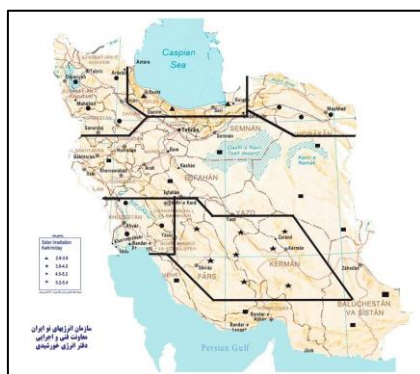
تصویر ۳. دمای هوا و تابش دمای هوای شهر کرمان در ماه های مختلف (نرم افزار Climate Consultant 6.0)

<sup>1</sup> Design Builder

۲۱۰ فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال یازدهم، شماره چهارم، تابستان ۱۴۰۰

**دما:** به طور کلی فصل تابستان در کرمان از نیمه آبان تا نیمه فروردین و دارای آب و هوای گرم می‌باشد. ماه‌های تیر تا آبان دارای آب‌وهوای خشک است و از ماه‌های دی تا اردیبهشت هوای خنک‌تری را شاهد هستیم و بر اساس اطلاعات بدست آمده از ایستگاه سینوپتیک کرمان، میانگین دمای سالانه‌ی این شهر 17.8 درجه سلسیوس، میانگین حداقل دما، ۱۰/۹ و میانگین حداکثر دما 25/1 درجه سلسیوس بوده است. با توجه به این آمار، میانگین اختلاف دمای بین میانگین حداکثر و حداقل دما 24.8 درجه سلسیوس است.

**تابش آفتاب:** میزان تابش خورشیدی در نقای مختلف جهان متغیر است. کشور ایران با وجود 300 روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش 4.5-5.5 کیلووات ساعت بر مترمربع در روز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است. با توجه به نقشه‌ی پتانسیل تابش خورشید در ایران که توسط سازمان انرژی‌های نو تهیه شده (شکل ۶)، کرمان با تعداد ۲۳۴/۱ روز آفتابی، در منطقه‌ای با متوسط تابش 4.5-5.2 کیلووات ساعت بر متر مربع است. (Mojarad, Firouz, Moradi, Kamran, 2014)



تصویر ۴. پتانسیل تابش خورشید در ایران

منبع: (سازمان انرژی نو ایران)

میزان متوسط ساعات آفتابی در ایران، سالانه 2900 ساعت می‌باشد. بر اساس اطلاعات بدست آمده از ایستگاه سینوپتیک کرمان در طی یک دوره‌ی 47 ساله، میانگین ساعات آفتابی سالانه، 3200/1 ساعت بوده که رقمی قابل توجه و حتی بیش از متوسط سالانه‌ی تابش در ایران است (Kerman Province Management and Planning Organization, 2014)

**باد:** در شهر کرمان با توجه به فصول سال، بادهای مختلفی می‌وزد. بادهای شمال دارای باد سردی است که در زمستان می‌وزد و باد شرقی بیشتر در زمستان می‌وزد و گرم و بدون رطوبت است و باد جنوبی دارای باد ملایمی که در تابستان می‌وزد. بیشترین میزان باد مربوط به فصل بهار و تابستان است، جهت حاکم و غالب این بادهای از جنوب غرب به طرف شمال شرق می‌باشد. (Meteorological site of Kerman province, 2020)

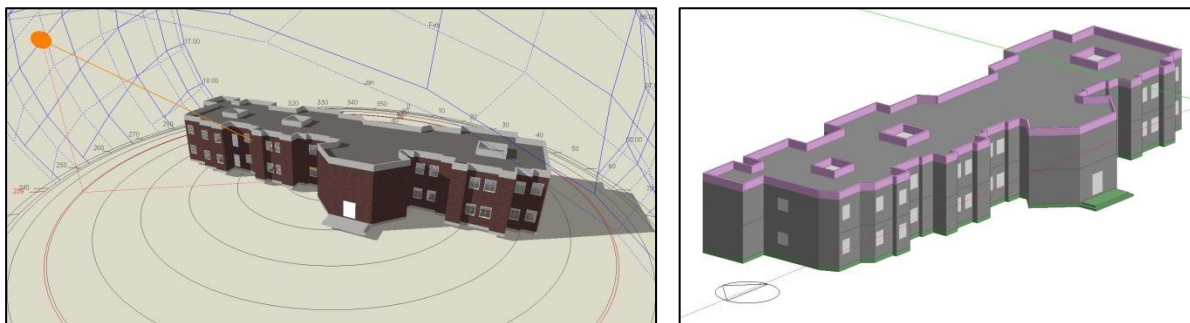
WEATHER DATA SUMMARY		LOCATION: KERMAN , <not available>, <not available> Latitude/Longitude: 30.25° North, 56.97° East, Time Zone from Greenwich 4 Data Source: WMO Station Number, Elevation 1609 m												
MONTHLY MEANS		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Wind Direction (Monthly Mode)		0	320	290	320	0	20	20	0	20	0	0	0	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)		2	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1	1	m/s

تصویر ۵. مشخصات سرعت و جهت باد شهر کرمان در ماه‌های مختلف (نرم افزار 6.0 Climate Consultant)



### هندسۀ ساختمان شبیه سازی شده

در ابتدا مدل یک ساختمان اداری دو طبقه اداری در شهر کرمان در نظر گرفته شده است. با توجه به ابعاد غالب اتاقها در ساختمانهای اداری با پلان باز و نیز مطالعات قبلی انجام گرفته در این زمینه، مدل شبیه سازی شده ساختمان اداری مدیریت و برنامه ریزی استان کرمان واقع در تقاطع بلوار صدوقی با خیابان فارابی انتخاب گردید که متراژ مفید طبقات برابر با ۱۳۴۰ متر مربع و ارتفاع مفید طبقات برابر با ۲/۸ متر طول می باشد. ورودی اصلی ساختمان مذکور در جبهه جنوبی واقع شده و همچنین در تمامی جبهه های نما و سقف آن پنجره جهت نورگیری و تهویه بهتر فضا جانمایی شده است.

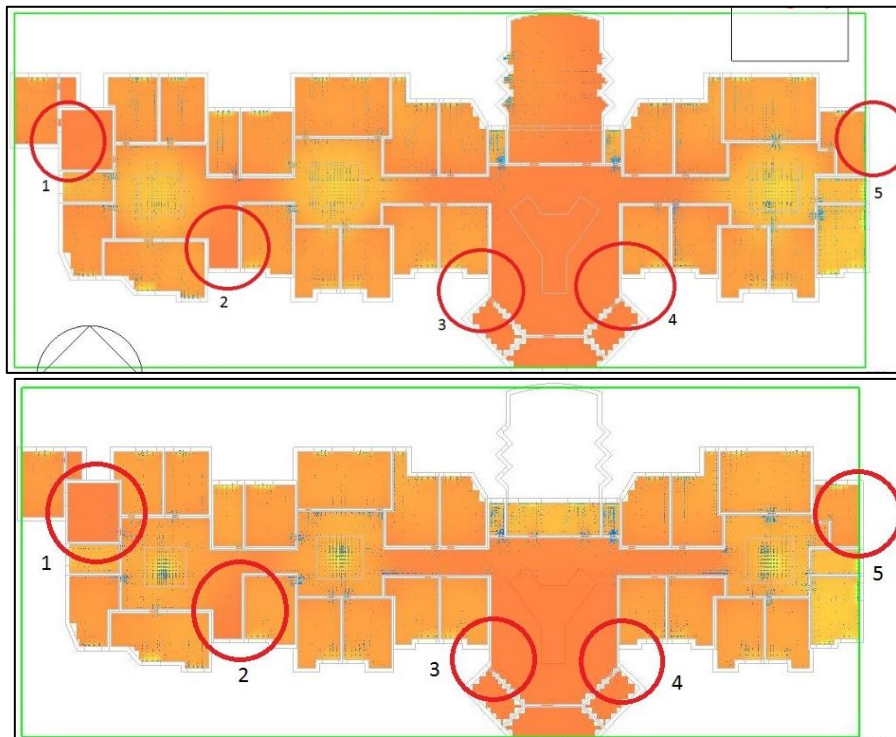


تصاویر ۶ و ۷. ساختمان شبیه سازی شده مدیریت و برنامه ریزی استان کرمان در دیزاین بیلدر

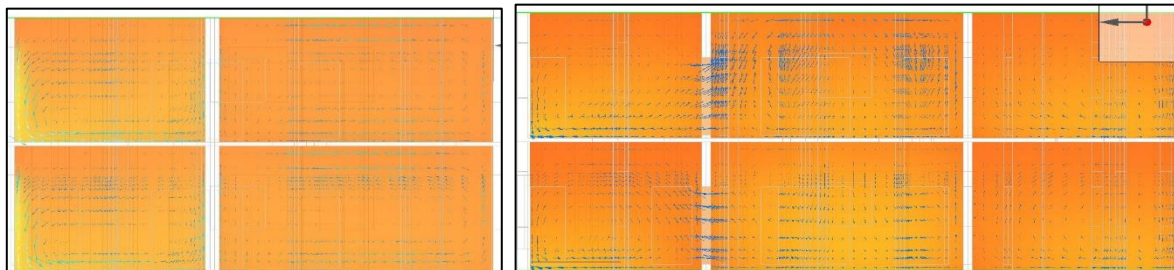
منبع: (یافته های پژوهش، ۱۳۹۹)

### ۴- تجزیه و تحلیل ساختمان پایه با رویکرد بهینه سازی انرژی و آسایش حرارتی

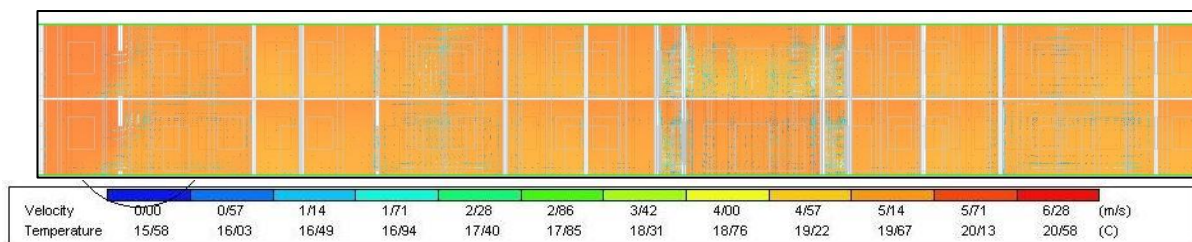
با توجه به توزیع دمایی در ساعات های مختلف روز و افزایش شدت تابش، نرخ جریان حجمی هوا افزایش پیدا می کند و در میانه روز با توجه به جهت خورشید به بیشترین میزان خود می رسد. پس از آن با کاهش شدت تابش، نرخ جریان حجمی هوا نیز کاهش می یابد. میانگین دمای هوای داخلی محیط ساختمان موردی در گرم ترین ماه سال (جولای) برابر با ۳۶/۲۱ درجه و در سردترین ماه سال (ژانویه) برابر با ۱۱/۲۷ درجه سانتی گراد است. نکته قابل توجه این است که دمای اتاق های اداری بیش از حد بالا می باشد و برای رسیدن به حد مطلوب شرایط آسایش برساند نیاز به اتخاذ استراتژی های مناسب، امکان بهره گیری از هوای بیرون برای تعدیل شرایط حرارتی فضاهای اداری می باشد تا میزان مصرف انرژی ساختمان موردی را کاهش دهد. میزان مصرف انرژی در وضعیت کنونی برای پر مصرف ترین ماه سال (آگوست) که مقدار ۳۰۸۷/۰۶ کیلووات ساعت می باشد.



تصاویر ۸ و ۹. توزیع دمایی طبقات همکف و اول ساختمان با روش دینامیک سیالات (CFD)



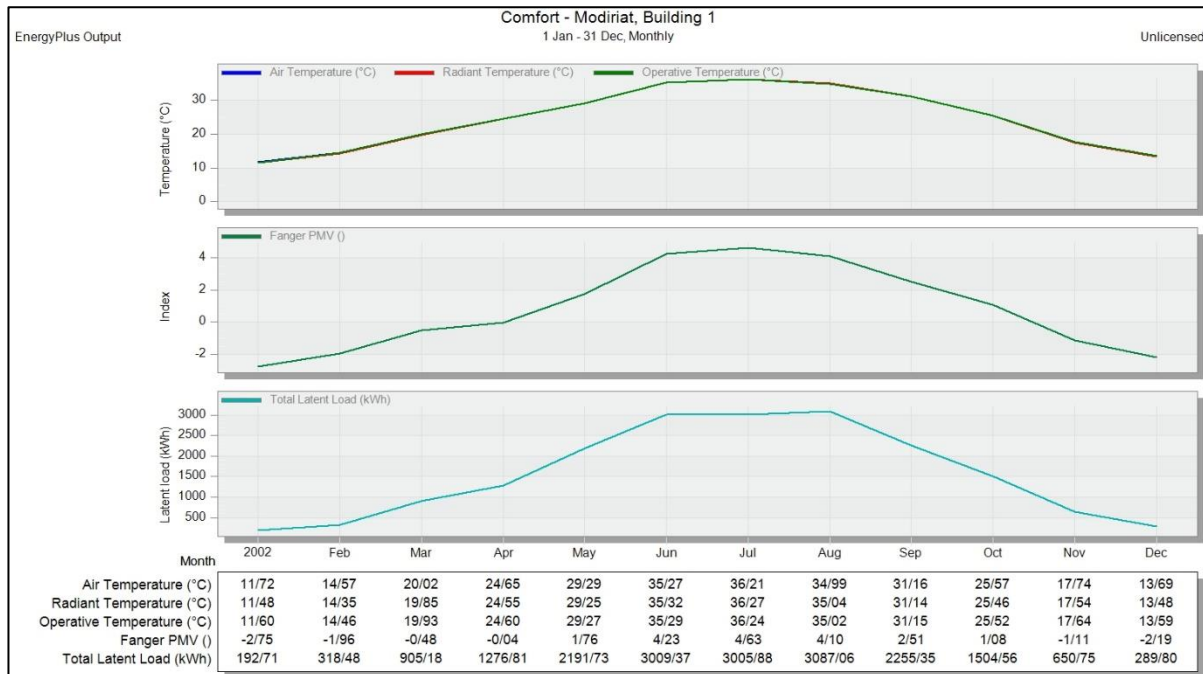
تصویر ۱۰. توزیع دمایی طبقات در راستای دودکش شماره ۳ و ۴  
تصویر ۱۱. توزیع دمایی طبقات در راستای دودکش شماره ۲



تصویر ۱۲. توزیع دمایی طبقات طبقات در راستای دودکش شماره ۱ و ۵ با روش دینامیک سیالات (CFD)

با توجه به نمودار ۱۴، میزان آسایش حرارتی و میزان دمای داخلی و دمای تابشی فضا و همچنین میزان مورد نیاز انرژی ساختمان پایه را به نمایش گذاشتیم که در جهت تأمین دمای راحتی کارکنان که توسط دی‌زاین‌بیلدر بدست آمده است و طبق آن، محدوده شاخص رضایت آسایش حرارتی بدست آمده آن بین  $-2/76$  تا  $+4/62$  است که از سردترین آن ژانویه (دی ماه) و گرم‌ترین حالت آن در ماه جولای (تیرماه) می‌باشد که اعداد منتج از ساختمان اداری

پایه با معیارهای آسایشی فاصله زیادی است و دلیل آن عدم وجود تبادل حرارتی با هوای مطلوب و تهویه هوای مناسب در بخش‌های مختلف فضا است که در این پژوهش مکان‌ها را شناسایی و مورد بررسی قرار گرفته می‌شود.



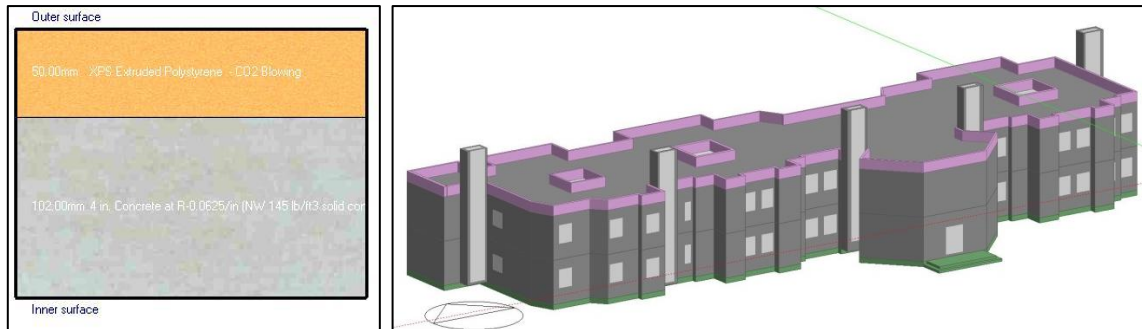
### تصویر ۱۳. میانگین شاخص آسایش حرارتی در ماه‌های مختلف سال در ساختمان اداری نمونه

با انجام فرآیند مدل‌سازی انجام شده توسط برنامه شبیه‌سازی دیزاین‌بیلدر و استفاده از روش دینامیک سیالات، نحوه توزیع دمای هوای در حالت اولیه ساختمان، انجام گرفت تا فضاهایی که دمای هوای بالاتری نسبت به حد آسایش دارند را شناسایی نموده و در ادامه جهت تعدیل هوای نامطلوب آسایشی، ساختمان را با پنج دودکش خورشیدی رو به جنوب تجهیز و با ساختمان ترکیب شده است؛ پس از کنکاش در عملکرد دودکش خورشیدی و ترکیب با این ساختمان، به تحلیل نتایج آن پرداخته شد.

با این هدف، پنج مکان استقرار در جبهه جنوبی ساختمان اداری انتخاب شد (تصاویر ۹ و ۸). محل قرارگیری دودکش‌ها با توجه به موقعیت‌های متفاوت جغرافیایی و جبهه قرارگیری آن دارای ویژگی‌های خاص آب‌وهوایی و تغییر زاویه تابش خورشید می‌باشند. شرایط آب‌وهوایی مورد استفاده برای تحقیق حاضر، در تمامی ماه‌های سال استخراج می‌شود. توان خروجی کلیت دودکش خورشیدی به عنوان تابعی از خواص مختلف حرارتی - فیزیکی مانند فشار محیط، دمای محیط و تابش خورشید متوسط محلی مورد بررسی قرار گرفت. در عین حال اندازه هندسه لازم برای ارزیابی تأثیر فشار محیط بر قدرت خروجی طراحی شده و دمای محیط و تابش خورشیدی برای تمامی دودکش‌ها در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به پیرامون موضوع، نسبت به اعمال دودکش‌های خورشیدی در پنج مکان به ابعاد 2 متر طول، 0/8 عرض و 9/5 متر ارتفاع در جبهه جنوبی ساختمان اقدام شد و دریچه‌هایی را جهت ارتباط دمایی بخش فوقانی هر طبقه با دودکش ایجاد شد. مصالح بکاررفته در کانال دودکش خورشیدی شامل کف بتنی و پوسته خارجی سقف و دیوار از

۷۱۴ فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال یازدهم، شماره چهارم، تابستان ۱۴۰۰  
 بیرون شامل ۱۰ سانتی متر بتن همراه با ۵ سانتی متر عایق پلی‌استایرن است. (تصویر ۱۵) ضریب انتقال حرارت پنجره-  
 ی بکاررفته در دودکش  $(W/m^2.K)$  ۱/۹۶ است که از قاب یوپی‌وی‌سی و شیشه دوجداره شفاف به ضخامت 3  
 میلیمتر با فضای میانی هوا به ضخامت 13 میلی‌متر تشکیل شده است.



تصویر ۱۴. استقرار ۵ دودکش در محل‌های انتخابی  
 تصویر ۱۵. مشخصات اجرایی دیوار دودکش  
 خورشیدی (نگارنده)

#### تجزیه و تحلیل ساختمان با اعمال دودکش خورشیدی (حالت اول)

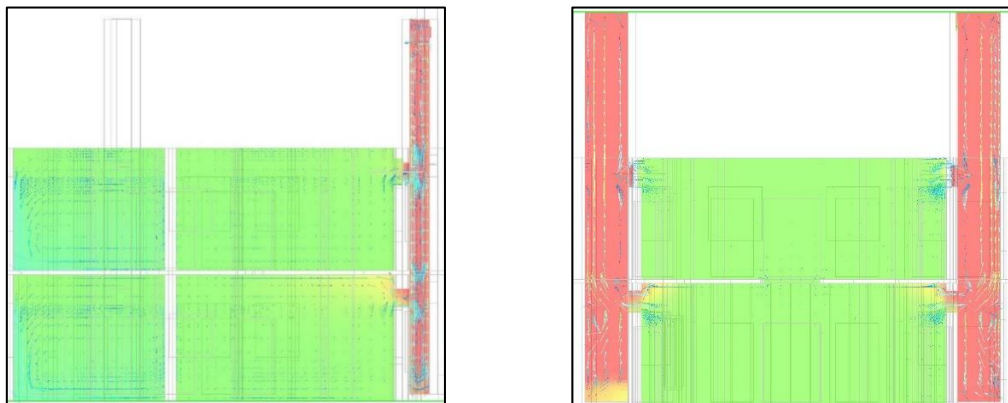
در طی جانمایی پنج دودکش خورشیدی در مکان‌های مشخص و انجام تحلیل‌های لازم دینامیکی، نتایج قابل قبولی ارائه گردید که میزان گرمای بالای فضاها به دلیل مکش دودکش‌های خورشیدی کاهش پیدا کرده و هوای خنک‌تر جایگزین آن شده است و این جابجایی هوا خنک‌سازی طبیعی را به ارمغان می‌آورد و به رغم آن کاهش مصرف انرژی سرمایش را در پی داشته است. با توجه به تفاوت زیاد معیار شاخص‌حرارتی با استانداردهای فینگر و مصرف زیاد آن در ساختمان پایه نسبت به تجزیه و تحلیلی دوباره از ساختمان با اعمال پنج دودکش خورشیدی اقدام شد و مجدداً شبیه‌سازی دمای هوای تمامی فضاها و شرایط آسایش حرارتی آن انجام گرفت که با مقایسه بین خروجی-های ساختمان با اعمال دودکش خورشیدی با ساختمان پایه، شاهد کاهش شاخص حرارتی و نزدیکی آن با میزان استاندارد فینگر هستیم.



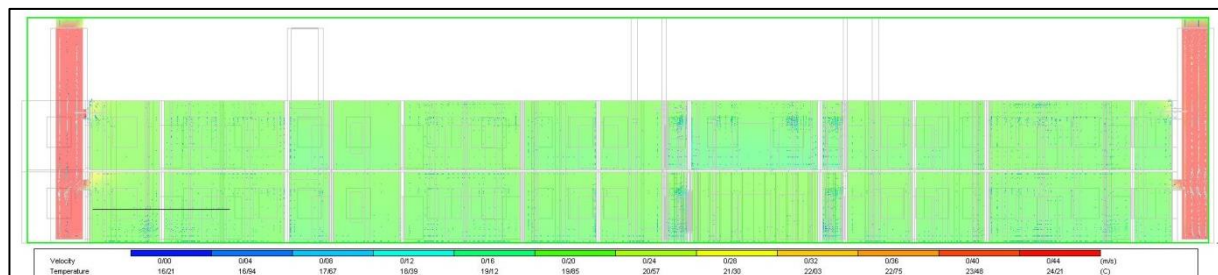


تصاویر ۱۶ و ۱۷. توزیع دمایی طبقات همکف و اول ساختمان با اعمال دودکش خورشیدی با روش دینامیک

سیالات (CFD)

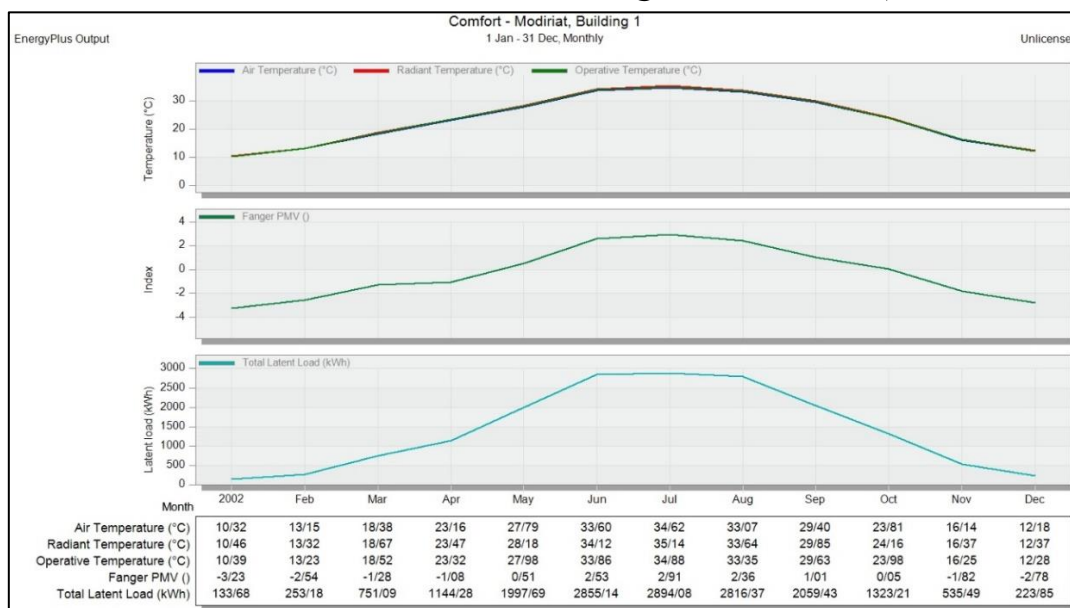


تصویر ۱۸. توزیع دمایی طبقات در راستای دودکش شماره ۳ و ۴  
تصویر ۱۹. توزیع دمایی طبقات در راستای دودکش شماره ۲



تصویر ۲۰. توزیع دمایی طبقات در راستای دودکش شماره ۱ و ۵ با روش دینامیک سیالات (CFD)

با توجه به نتایج حاصله از نمودار بدست آمده از نرم افزار شبیه سازی دیزاین بیلدر حاکی از آن است که میزان میانگین دمای هوای داخلی گرم ترین ماه سال (جولای) با فرض تأسیسات مکانیکی خاموش از ۳۶/۲۱ درجه سانتی گراد به ۳۴/۶۲ درجه سانتی گراد رسیده است و مقدار ۱/۴۱ درجه سانتی گراد کاهش پیدا کرده است. هر چند در تمامی ماه‌های سال نیز کاهش دمای هوا را شاهد هستیم که ضرورت دارد در ماه‌های سرد سال با بستن دریچه هوا از افت حرارت هوای گرم در بالای دودکش امتناع شود.



## تصویر ۲۱. میانگین شاخص آسایش حرارتی در ماه‌های مختلف سال ساختمان اداری نمونه با اعمال دودکش خورشیدی

در پی اعمال دودکش‌های خورشیدی مقادیر مربوط به میزان مصرف انرژی مورد نیاز طبق تصویر ۲۱، در ماه جولای با ۳/۷ درصد کاهش به میزان ۲۸۹۴/۰۸ کیلووات ساعت رسیده است و بهینه‌سازی را در بخش انرژی صورت گرفت. همانگونه که قبلاً بیان شد؛ با به جریان انداختن هوا و خروج هوای گرم از فضای درونی ساختمان در ماه‌های گرم سال به معیار آسایش حرارتی نزدیک‌تر خواهیم شد و با کاهش دمای هوای داخلی میزان شاخص آسایش حرارتی از مقدار ۴/۶۳ واحد به مقدار ۲/۹۱ واحد رسید. هر چند این مقدار با معیار شاخص راحتی فینگر فاصله دارد ولی با توجه به کاهش ۳۷ درصدی نسبت به مقدار ساختمان پایه موردی از درجه قابل قبولی برخوردار بوده است.

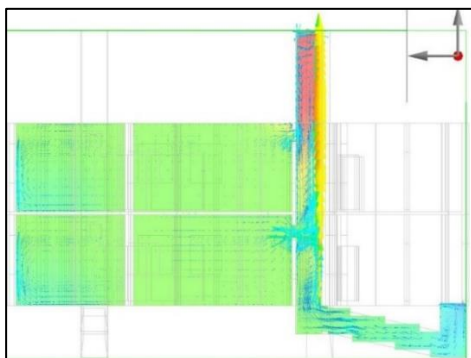
### تجزیه و تحلیل ساختمان با اعمال دودکش خورشیدی و تزریق هوا از کف دودکش (حالت دوم)

این سیستم غیرفعال خورشیدی ترکیبی از دودکش خورشیدی با مبدل حرارتی زمین به هوا می‌باشد که به کمک انرژی خورشیدی، سرمایش و تهویه را در طول روز برقرار می‌کند و این سیستم یک تکنیک تهویه طبیعی می‌باشد که با استفاده از خاصیت دودکشی سبب به وجود آمدن نیروی مکشی می‌شود که هوای بیرون را به داخل کانال زیرزمینی می‌کشاند و هوای گرم ایجاد شده داخل دودکش را با سرعت بیشتر به سمت بالا به حرکت درمی‌آورد و در کنار عملکرد اصلی دودکش خورشیدی، باعث افزایش راندمان هوایی در ناحیه داخلی ساختمان را شاهد خواهیم

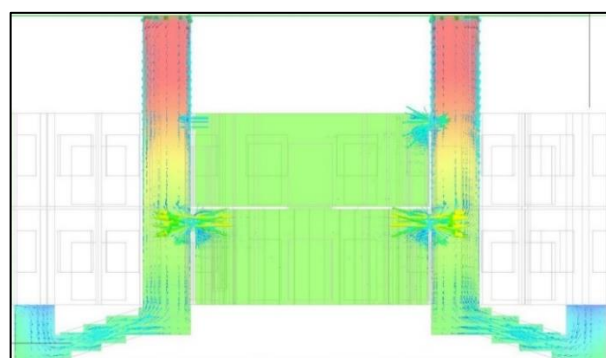
بود. نتایج نشان داد که با بهره‌گیری از سیستم سرمایشی زیرزمینی بدون نیاز به الکتریسیته، می‌توان دودکش خورشیدی را با کارایی بیشتر استفاده نمود و همچنین آسایش حرارتی محیط داخلی را برای ساعات زیادی از روزهای سوزان تابستان فراهم نمود.



تصاویر ۲۲ و ۲۳. توزیع دمایی طبقات همکف و اول ساختمان نمونه با اعمال دودکش خورشیدی و تزریق هوای مطلوب با روش دینامیک سیالات (CFD)

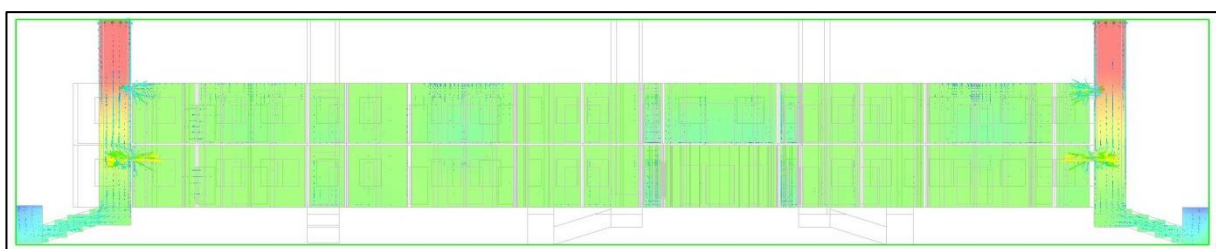


تصویر ۲۵. توزیع دمایی طبقات در



تصویر ۲۴. توزیع دمایی طبقات در راستای دودکش شماره ۳ و ۴

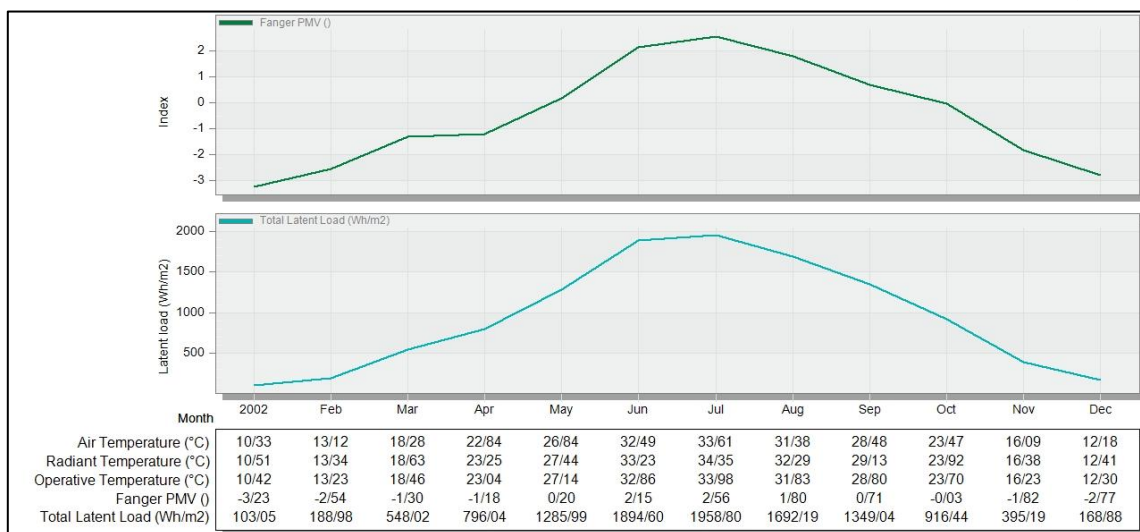
راستای دودکش شماره ۲



۲۱۸ فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال یازدهم، شماره چهارم، تابستان ۱۴۰۰

### تصویر ۲۶- توزیع دمایی طبقات در راستای دودکش شماره ۱ و ۵ با روش دینامیک سیالات (CFD)

با توجه به نمودارها مشخص می‌گردد که میزان جریان حجمی هوا در ساعات اداری، با ورود هوا از کانال زیرزمینی به کف دودکش خورشیدی افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که پس از تابش خورشید، حجم هوای که در دودکش خورشیدی باید گرم شود تا نیروی لازم برای مکش را ایجاد کند، زمان کمتر از حجم هوای موجود در حالت دودکش اولیه است و در نتیجه تهویه زودتر آغاز می‌گردد. اما پس از غروب خورشید این روند تغییر می‌کند و در نیمه‌های شب، میزان جریان حجمی در دودکش خورشیدی کمتر خواهد شد. این پدیده به این دلیل است که همانطور که زمان بیشتری صرف گرم شدن حجم هوای داخل دودکش خورشیدی می‌گردد، به همان میزان نیز زمان بیشتری طول می‌کشد تا هوای گرم شده از دودکش خارج شود و با شروع تابش خورشید در ساعات اولیه صبح، این روند دوباره تکرار می‌گردد. بیشترین میزان جریان حجمی هوا مربوط به میانه روز، در ساعات حدود (۱۱ تا ۱۳)، است که بیشترین شدت تابش اتفاق می‌افتد. با استناد به خروجی‌های روش دینامیک سیالات در ساختمان اداری موردی، به نتایج زیر منتج شد که ساختمان موردی با اعمال دودکش خورشیدی و تزریق هوای خنک به محفظه کانال آن، مقدار ۱۹۵۸/۸۰ کیلووات ساعت در ماه تیر (جولای) انرژی نیاز دارد تا به آسایش حرارتی برساند. البته به رغم بهره‌گیری از این سیستم ترکیبی توانسته شد که مصرف انرژی الکتریکی را به حدود ۳۵٪ نسبت به ساختمان اولیه کاهش دهد.



تصویر ۲۷. میانگین شاخص آسایش حرارتی در ماه‌های مختلف سال ساختمان اداری نمونه با اعمال دودکش

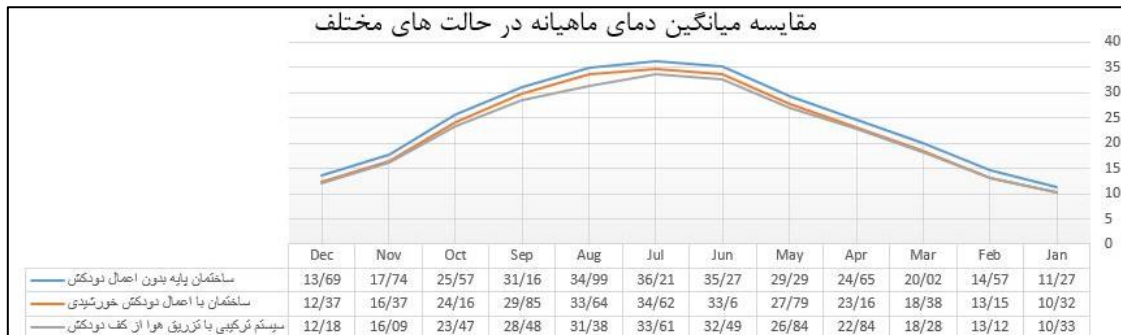
### خورشیدی و تزریق هوای مطلوب

شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در ماه‌های گرم سال نشان می‌دهد که میانگین دمای هوای محیط در ساختمان مجهز به دودکش خورشیدی ترکیبی با تزریق هوا، کاهش پیدا کرده است و به دمای ۳۳/۶۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است این مقدار نسبت به ساختمان با اعمال دودکش خورشیدی مستقل حدود یک درجه و نسبت به ساختمان پایه حدود ۳ درجه کاهش پیدا کرده است.

مقدار شاخص آسایش حرارتی حالت دوم در گرم‌ترین ماه سال به مقدار ۲/۵۶ واحد کاهش پیدا کرده است ولی همانگونه که مشاهده می‌شود میزان درصد آسایش حرارتی در ماه‌های سرد افزایش پیدا می‌کند و این سیستم غیر فعال خورشیدی باعث تداخل عملکردی هم می‌شوند و گرمای حاصل از تشعشعات خورشیدی را به بیرون هدایت

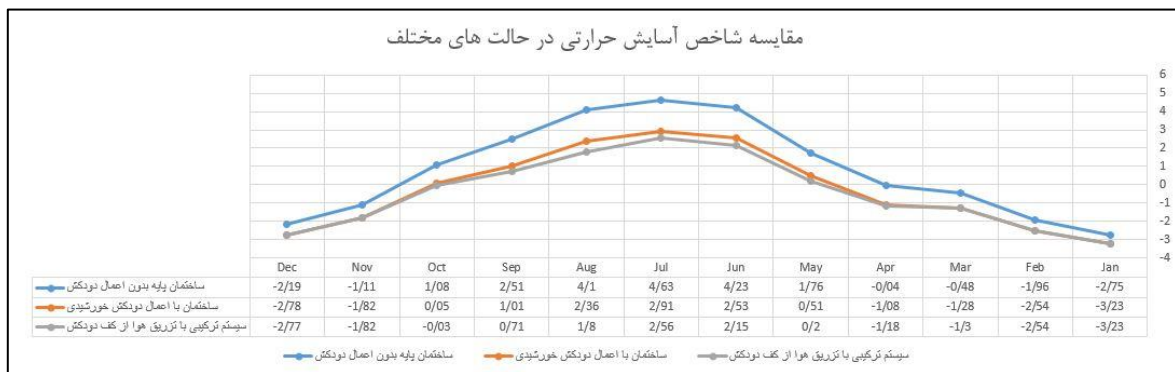


می‌کند در صورتی که برای تأمین گرمایش فضای داخلی از آن ضرورت دارد و راه‌حل این مشکل را می‌توان با بسته نمودن دریچه های ورودی هوا در قسمت کانال‌های زیرزمینی در ماه‌های مذکور به حل این مسئله ختم شود.



**تصویر ۲۸. مقایسه میانگین دمای هوای داخلی در ماه‌های مختلف سال در حالت‌های مختلف**

بسته به محدوده‌ی مقادیر به دست آمده برای PMV، حالت‌های مختلفی برای شرایط آسایش حرارتی کلی ممکن است به وجود آید. اگر این معیارها مدنظر قرار گیرد، ظرفیت سرمایشی و گرمایشی سیستم‌های تهویه نصب شده باید نسبتاً بالا باشد. از سوی دیگر با در نظر گرفتن دیدگاه‌های اقتصادی و زیست محیطی، بازه‌های محدود زمانی که در آنها PMV از محدوده مجاز کمی فراتر رفته است نیز می‌تواند مورد قبول باشد. با اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کامپیوتری می‌توان شرایط آسایش حرارتی را در بازه‌ی بلندتری برای انواع مختلف ساختمان و وسایل تهویه مطبوع مورد استفاده در آن بررسی کرد.



**تصویر ۲۹. مقایسه میانگین شاخص آسایش حرارتی در ماه های مختلف سال در حالت های مختلف**

### نتیجه گیری و دستاورد علمی پژوهشی

انگیزه های مختلفی وجود دارد که ما را به سمت توسعه ساختمان های سبز سوق می‌دهد که این امر به طراحی و الزامات جدید برای توسعه سیستم های تهویه طبیعی نوآورانه منجر شده است. تهویه طبیعی حاصل از دودکش خورشیدی به عنوان یک استراتژی نوآورانه در کاهش تقاضای انرژی در نظر گرفته می‌شود و می‌توان به در مناطقی با تابش خورشیدی مناسب طور گسترده‌ای استفاده کرد و سرمایش یا گرمایش طبیعی را ایجاد کنند. به همین دلیل پتانسیل زیادی که برای صرفه جویی در مصرف انرژی، کاهش هزینه‌ها و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای دارند.

با توجه به شبیه سازی ساختمان اداری ۲ طبقه واقع در شهر کرمان به عنوان نمونه موردی، طی سه مرحله ساختمان پایه و ساختمان با اعمال دودکش مستقل و ساختمان با سیستم ترکیبی دودکش خورشیدی و تزریق هوا از کف

۲۲۰ فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال یازدهم، شماره چهارم، تابستان ۱۴۰۰

دودکش انجام شده است و در طی فرآیند شبیه سازی مراحل فوق، جهت بررسی تاثیر استفاده از دودکش خورشیدی بر مصرف انرژی سالانه‌ی کل ساختمان، نتایج شبیه سازی‌های صورت گرفته در این مقاله نشان داد که در جهت تأمین بخشی از میزان استاندارد تهویه‌ی ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و خشک، از دودکش خورشیدی بهره گرفت و نصب دودکش خورشیدی ترکیبی با بهره گیری از کانال زمینی که تهویه هوا را از فضای باز به زیر کانال دودکش خورشیدی فراهم می کند. می‌تواند میانگین دمای عملیاتی ماهانه را از  $۳۶/۲۱$  درجه سانتیگراد به  $۳۳/۶۱$  درجه سانتیگراد کاهش داده و مصرف انرژی تا  $۳۵$  درصد کاهش دهند و شرایط محیطی راحت را بدون بکارگیری تهویه مطبوع حفظ کنند و به واسطه استفاده از این سیستم ترکیبی می‌توان به میزان کمتری از معیارهای شاخص PMV دست پیدا کرد و مقدار آن را از  $۴/۶۳$  واحد به  $۲/۵۶$  واحد رساند. این درحالی است که با اعمال دودکش خورشیدی مستقل میانگین دمای هوای داخلی به  $۳۴/۶۲$  درجه سانتی گراد رسیده است و مقدار  $۱/۴۱$  درجه سانتی گراد کاهش پیدا کرده است. با این حال، دودکش خورشیدی مستقل قادر به برآورده کردن راحتی به میزان قابل توجهی در هوای گرم شدید نیست و تزریق هوا از فضای باز با عبور از کانال زیرزمینی یکی از مؤثرترین روش‌ها برای پایین نگه داشتن دمای اتاق محسوب می‌شود.

#### - منابع

- Ahmadi, M.H., Mohammadi, A.H., Dehghani, S. (2013). Evaluation of the maximized power of a regenerative endoreversible Stirling cycle using the thermodynamic analysis. *Energy Conversion and Management*, 76: 561-570. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.082>
- ASHRAE 55 (2010), ANSI/Ashrae Standard 55-2010, Ashrae Environmental Conditions For Humman Occupancy, Atlanta, Ga, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.
- Garcia-Hansen V, Esteves A, Pattini A. (2002). Passive solar systems for heating, daylighting and ventilation for rooms without an equator-facing facade. *Renew Energy*;26:91-111.
- Gehad Mekkawi, Rana Elgendy, (2016) Solar Chimney for Enhanced Natural Ventilation Based on CFD-Simulation for a Housing Prototype in Alexandria, Egypt, Conference: The 63rd International Conference on Civil and Architectural Engineering (ICCAE), At Berlin, Germany, July.
- J. Mathur, N. Bansel, S. Mathur, and M. Jain, (2006), "Experimental investigations on solar chimney for room ventilation," *Solar Energy*, vol.80, pp.927-935,
- Khanal R, Lei C. (2011). Solar chimney—a passive strategy for natural ventilation. *Energy Build* 2011;43:1811
- Mathur, J., Mathur, S., ANUPMA, (2006). Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation. *Energy Build*. 38, 1156-1163.
- Naraghi MH, du Sordet RC. (2011) Stack effect correlation for rooftop solar chimneys. In: *Proceedings of the ASME 2011 international mechanical engineering congress and exposition: American Society of Mechanical Engineers*. p. 801-8.
- taban, Mohsen: pourjafar, Mohammadreza; Bemanian, Mohammadreza and Heidari, Shahin, (2013) "Climate Impact on Architecture ornament Analyzing the Shadow of Khavoon in Dezful Historical Context with the Use of image Processing", *Naghshejahan*, 2(3) 79-90.
- Üрге-Vorsatz D, Cabeza LF, Serrano S, Barreneche C, Petrichenko K. (2015) Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renew Sustain Energy Rev*;41:85-98.
- A. Bouchair and D. Fitzgerald, (1988), "The optimum azimuth for a solar chimney in hot climates," *Energy and building*,s, vol. 12, pp.135-140,
- A. Bouchair, (1994), 'Solar chimney for promoting cooling ventilation in southern Algeria,' *Building Services Engineering Research and Technology*, vol.15,pp.81-93.

- Abd Elbar, A.R., Hassan, H., (2019), Experimental investigation on the impact of thermal energy storage on the solar still performance coupled with PV module via new integration. *Sol. Energy* 184, 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.042>
- Ahmadi, M.H., Ahmadi, M.A., Mohammadi, A.H., Feidt, M., Pourkiaei, S.M. (2014). Multi-objective optimization of an irreversible Stirling cryogenic refrigerator cycle. *Energy Conversion and Management*, 82: 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.033>
- Ahmadi, P., Dincer, I., Rosen, M.A. (2013), Thermodynamic, modeling and multi-objective evolutionary-based optimization of a new multigeneration energy system. *Energy Convers Manage*, 76: 282-300. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.049>
- Ansari manesh, Maryam, Nasrollahi, Nazanin, (2014), Determining the range of thermal comfort of residents in order to optimize the quality of indoor environment in office buildings in Kermanshah, *Naghsh Jahan*, Fourth Year, No. 2, December, pages 17-27.
- Bahadorinezhad, Mahdi, Ya'ghobi, Mahmoud, (2006), *Natural ventilation and cooling in traditional Iranian buildings*, University Publishing Center, Tehran,.
- Cole, R.J., Fedoruk, L., (2015), Shifting from net-zero to net-positive energy buildings. *Build. Res. Inf.* 43, 111–120. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.950452>
- DesignBuilder. (2016), *DesignBuilder Software* (online). Glasgow, Scotland: DesignBuilder Software Ltd. [Accessed 14 May 2016]
- Hashemi Rafsanjani, Layli alsadat, Haydari, Shahin, (2019), Assessing Comparative Thermal Comfort in Residential Houses Hot and Dry Climate Case Study: Kerman Province, *Shahr Magazine and Indigenous Architecture*, Fall and Winter, No. 8
- I. Koronaki, (2013), "The impact of configuration and orientation of solar thermosyphonic systems on night ventilation and fan energy savings," *Energy and Buildings*, vol. 57, 119-131.
- J. Khedari, B.Boonsri, and J. Hirunlabh, (2000), "Ventilation impact of a solar chimney on indoor temperature fluctuation and air change in a school building," *Energy and building*, vol.32, pp.89-93,
- Kerman Province Management and Planning Organization, (2016), *Studies of the second stage of planning in Kerman province Review of studies of the first stage*.
- Lal S, Kaushik S, Bhargav P. (2013). Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning. *Int J Dev Sustain*;2:277–97.
- medi, hossein, khoshbakht, yaser, Azmodeh, Maryam, (2020), Investigating the geometry of urban blocks in the amount of thermal comfort of open space in the warm period of the year (Case study: Hamedan city), *Urban design studies and urban research*, spring, third year - No.10 p28 to 39)
- Meteorological site of Kerman province, (2020). <http://kerman-met.ir/>
- Mojarad, Firouz, Moradi, Kamran, (2014), Attitude on the imbalances and trends of sundials in Iran, *Geography and Development*,
- P.O. Fanger, (1972) *Thermal comfort analysis and application environmental engineering*. McGrawhill book-company, Newyork,
- R. Bassiouny and N. S. Koura, (2008), "An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation," *Enegy and building*, vol.40, pp. 865-873,
- Shikhzade, Ghanbarali, Sadripour, Sroush, Mollamahi, Mahdi, (2019), Numerical study of the effect of speed and location of ceiling fan on thermal comfort and reduction of energy consumption in office buildings, *Amir Kabir Mechanical Engineering Journal*, Volume 50, Number 2, Pages 309 to 326
- X. Jianliu and L. Weihua, (2013), "Study on solar chimney used for room natural ventilation in Nanjing," *Energy and Buildings*, vol. 66, pp.467-469,
- Zanganh, Najme, Barzgar, Zahra, (2019), Comparison of the internal and external thermal comfort of winter residence and central courtyard in traditional house by PMV and PPD method (case study: Shiraz Tulai House), *environmental studies of Haft Hesar*, summer - No.24 - P 55 to 68.
- Zomorodian, Zahrasadat, Aminian, Saeid, Tahbaz, Mansoure, (2016), Evaluation of thermal comfort in the classroom in hot and dry climate "Field studies: Girls' primary school in Kashan", *Journal of Fine Arts -Architecture Urban Planning*, V(21), Build;43:1811. P17-28