

# بررسی و تحلیل پارامتریک عملکرد گرمایشی گلخانه خورشیدی در اقلیم سرد (مطالعه موردی: شهر سنندج)\*

مهندس پریسا عبدخالقی\*\*، دکتر ژاله صابرنژاد\*\*\*، دکتر ریما فیاض\*\*\*\*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۲/۲۹

## چکیده

در این مقاله اثرات پارامترهای مختلف گلخانه خورشیدی بر میزان دریافت انرژی و کاهش هدر رفت انرژی ارائه شده است. لذا این دو متغیر وابسته تحت تأثیر پنج متغیر مستقل در ۱۵۳ حالت مختلف و بهینه‌ترین حالت با استفاده از الگوریتم ژنتیک در ۱۶۷۵۸ حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفت. انرژی مورد نظر با استفاده از مدل‌سازی پارامتریک در نرم‌افزار گرس‌هاپر، مشاهده مدل سه‌بعدی در نرم‌افزار راینو، شبیه‌سازی انرژی با انرژی‌پلاس و اعتبارسنجی با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر انجام گرفت که نتایج حاصل با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مورد مقایسه قرار گرفت. طبق بررسی‌ها متغیرها در حالت‌های زیر بیشترین میزان دریافت انرژی را داشتند: جهت‌گیری جنوب با ۲۰ درجه چرخش به سمت غرب یا شرق، درصد جدار نورگذر به جدار کدر ۵۰٪، طول ۵ متر و عمق مطلوب ۱ متر. عایق حرارتی از جنس پلی‌یورتان با ضخامت ۱۰ سانتیمتر کمترین کارایی را از لحاظ کاهش اتلاف انرژی داشت.

## واژه‌های کلیدی

گلخانه خورشیدی، عملکرد گرمایشی، ساختمان، اقلیم سرد، شهر سنندج.

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری پریسا عبدخالقی با عنوان «تدوین چارچوب طراحی گلخانه خورشیدی ساختمان‌های مسکونی در شهر سنندج» به راهنمایی دکتر ژاله صابرنژاد و مشاوره دکتر ریما فیاض در دانشگاه آزاد واحد بین‌الملل کیش است.  
\*\* دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد بین‌الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران.

Email: p.abdekhaleghi@yahoo.com

\*\*\* استادیار معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، تهران، شهر تهران (مسئول مکاتبات).

Email: j\_sabernejad@azad.ac.ir ORCID 0000-0002-8119-0760

Email: fayaz@art.ac.ir

\*\*\*\* دانشیار معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران.

## مقدمه

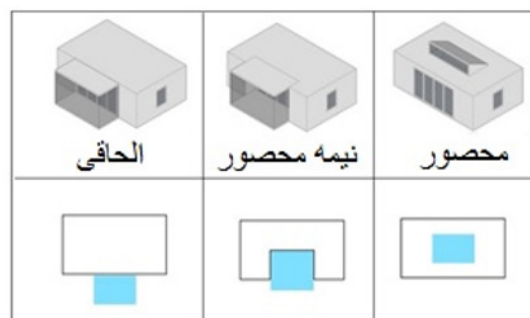
در حداقل ۶ ماه از سال در اقلیم شهر سنجند لزوم استفاده از انرژی خورشیدی ضروری می‌نماید. لذا در این پژوهش گلخانه خورشیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد، که از جمله راه‌حل‌های ساختمانی هستند که به‌وسیله استفاده از تابش خورشید، انرژی خورشیدی را برای استفاده در فضاهای جانبی جذب کرده و شرایط مطلوبی را از لحاظ آسایش حرارتی برای ساکنین فراهم می‌کنند.

گلخانه خورشیدی یک فضای شیشه‌ای است که در دیواره جنوبی ساختمان با کشیدگی شرقی-غربی قرار می‌گیرد (رحیم‌پور و رحیمی، ۱۳۹۲). این سامانه، می‌تواند قسمتی از نیازهای حرارتی فضاهای مجاور خود را تأمین کند، بدین‌صورت که انرژی خورشیدی را دریافت کرده (مازریا، ۱۳۸۵، ۱۸) و توسط یک دیوار مشترک، انتقال گرما از گلخانه خورشیدی به فضاهای مجاور، از طریق هدایت یا توسط بازشوهای موجود در دیوار مشترک با جریان همرفت، صورت می‌گیرد (Moore, 1993, 137-138). با ایجاد گلخانه‌ها بازدهی حرارتی ۶۰٪ الی ۷۰٪ در زمستان است و مقدار حرارت منتقل شده به اتاق‌ها ۵۰٪ الی ۴۰٪ انرژی تابشی است که با اضافه کردن سیستم انبساط کننده این مقدار بیشتر می‌شود (رحیم‌پور و رحیمی، ۱۳۹۲). به‌طور کلی گلخانه خورشیدی سه عملکرد اصلی دارد: الف- منبع کمکی حرارت تلقی می‌شود. ب- فضایی را برای رشد گیاهان فراهم می‌کند. ج- فضای دلپذیری برای نشیمن ایجاد می‌کند.

به‌طور کلی سه شیوه متفاوت برای ارتباط کالبدی گلخانه خورشیدی با ساختمان وجود دارد (شکل ۱) که بر مبنای میزان محصوریت، به انواع مختلف متصل یا الحاقی، نیمه محصور و محصور، دسته‌بندی می‌شوند (لکنر، ۱۳۸۵، ۱۶۲). گلخانه‌ها یا به‌صورت اتاقک‌های شیشه‌ای به جبهه‌های جنوبی بنا متصل می‌شوند که به آن گلخانه متصل یا الحاقی گفته می‌شود. شکل ۱ سمت راست، یا بخشی از آن بیرون و بخش دیگر به داخل بنا نفوذ نموده که به آن گلخانه نیمه

از سال ۱۹۹۰ میزان انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی در طراحی ساختمان و ساخت‌وسازها ۴۵ درصد افزایش یافته است (International Energy Agency, 2017). توجه به اینکه سه‌چهارم تقاضای انرژی در طراحی ساختمان و ساخت‌وساز از همین بخش منشأ می‌گیرد، اتحادیه اروپا استراتژی‌ها و برنامه‌های عملی با اقدامات اقتصادی را برای ساختمان‌های مسکونی ترویج می‌کند. دستورالعمل‌ها و استراتژی‌های اتحادیه اروپا هدف بلندپروازانه‌ای برای کاهش انتشار CO2 به میزان ۹۰٪ از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۵۰ تعیین کرده‌اند (Berardi, 2017). استفاده از سامانه‌های غیرفعال خورشیدی می‌تواند با استفاده از راه‌حل‌های خاص معماری و برنامه‌ریزی شهری تا حدود ۵۰٪ صرفه‌جویی در گرمایش ساختمان را تأمین کند (International Energy Agency, 2017).

باید توجه داشت که در مناطق سرد، به‌منظور ایجاد سطوح تخت در سقف ابنیه سنتی، از سطوح گنبدی شکل و گرد (به دلیل کاهش سطح جذب‌کننده انرژی تابشی خورشید) کمتر استفاده شده و عمق ایوان‌های ضلع جنوبی برای بهره‌گیری از تابش خورشیدی در فصول سرد سال، نسبت به مناطق گرم و خشک کمتر است همچنین به‌منظور حفظ حرارت معمولاً ارتفاع تالار زیر گنبد در مقایسه با مناطق گرم و خشک نیز کمتر بوده و مشخص گردیده که اگر طاق یا گنبد دوطبقه باشد تأثیر تغییرات درجه حرارت خارج بر روی پوسته زیرین نیز کمتر بوده و در نتیجه هوای تالار زیر گنبد متعادل‌تر خواهد بود (احمدی ندوشن و بهادری نژاد، ۱۳۸۵). هرچند پژوهش‌های متعددی در این حوزه در ایران انجام شده اما بخش عمده‌ای از مطالعات صورت گرفته در سامانه گلخانه درزمینه استفاده‌های کشاورزی گلخانه بوده و درزمینه تأثیرات گرمایشی آن در ساختمان مطالعه کمتری صورت گرفته است. با توجه به موارد ذکر شده و نیاز به گرمایش فضای داخلی



شکل ۱. پرسپکتیو (مأخذ: لکنر، ۱۳۸۵، ۱۷۴)  
Figure 1. Perspective (Source: Lechner, 2001, 174)

محصور گفته شده، شکل ۱ پلان و پرسپکتیو وسط و با اینکه کاملاً در درون بنا محصور شده‌اند و تنها از سقف نور می‌گیرند که در این صورت به آن‌ها گلخانه محصور گفته می‌شود، شکل ۱ سمت راست و مانند آتریوم عمل می‌کند؛ که در این پژوهش گلخانه بررسی شده از نوع متصل یا الحاقی است.

## پیشینه پژوهش

گلخانه خورشیدی در پژوهش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد:

در پژوهشی که در سال ۲۰۱۷ توسط سیمولتی و برادو انجام گرفت، این نتیجه حاصل شد که استفاده از فضاهای خورشیدی در ساختمان‌های غیر انعطاف‌پذیر می‌تواند بدون توجه به نوع پنجره‌های مورد نظر برای گلخانه، مصرف انرژی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد همچنین استفاده از فضاهای خورشیدی در ساختمان‌های با عایق حرارتی بسیار زیاد می‌تواند یک راهبرد برای کاهش تقاضای انرژی برای گرمایش بیشتر باشد، یک تحلیل دقیق باید انجام شود تا امکان‌سنجی اقتصادی این فن‌آوری‌ها را تضمین کند (Chiesa et al, 2017). گیلانی و محمد کاری (۱۳۹۰) در پژوهش خویش عملکرد گرمایشی گلخانه‌های خورشیدی متصل به ساختمان‌های مسکونی در اقلیم سرد کشور (شهر اردبیل) را بررسی نموده‌اند، بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش که با کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی و ممیزی انرژی انجام شده است جهت‌گیری مناسب گلخانه برای این اقلیم بررسی شده و مشخص گردیده که برای دریافت بیشترین انرژی خورشیدی در فصول سرد سال جهت‌گیری جنوب غربی و غرب و برای کمترین بار گرمایشی در دوره گرم سال جهت‌گیری جنوب غرب مناسب‌ترین جهت برای اتصال گلخانه‌های خورشیدی به ساختمان می‌باشند. آلنییت و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) تحلیل حساسیت در مورد گلخانه‌های خورشیدی مورد استفاده در ساختمان مسکونی موجود در شش شهر مختلف پرتغال را با پنج پارامتر اصلی شامل تهویه طبیعی، سایبان‌ها، تعداد لایه‌های سطح شیشه‌ای، جهت و نسبت دیوار انجام دادند: در این مطالعه، مشخص شد که داشتن گلخانه خورشیدی می‌تواند برای دوره زمستان سودمند باشد. در طراحی گلخانه خورشیدی اقدامات غیرفعال با عملکرد بالا برای کاهش مشکلات گرمایش بیش‌از حد، بسیار مهم و ضروری است که مورد استفاده قرار گیرد. جورجنسون و هندرسون<sup>۲</sup> (۲۰۰۰) طرح‌های مختلف بالکن‌های شیشه‌ای را در سه ساختمان مختلف در اروپا مورد بررسی قرار دادند تا تعیین کنند که آیا گلخانه خورشیدی می‌تواند صرفه‌جویی در انرژی را موجب گردد یا در واقع

تقاضای انرژی فضای مجاور را افزایش دهد. در نتیجه، نویسندگان، دو راه‌حل اصلی در زمینه بار حرارتی در ساختمان‌ها پیشنهاد کردند: - برای گلخانه‌های خورشیدی محصور شده، شیشه بانرژی کارآمد و عایق بین گلخانه خورشیدی و فضای مجاور، جهت افزایش کارایی گلخانه خورشیدی از نظر عملکرد گرمایشی توصیه می‌شود. به این ترتیب، گرم شدن فضای گلخانه خورشیدی می‌تواند با گرم کردن فضا به دلیل سطح بالای عایق صرفه‌جویی در انرژی را فراهم کند. طراحی با پنجره‌های بسیار «باز» توصیه می‌شود، زیرا این طراحی در برابر استفاده غیرمستقیم جهت گرمایش گلخانه خورشیدی مفید است. با توجه به طراحی بسیار باز، رسیدن به سطح مناسبی از آسایش حرارتی دشوار است. این نوع از فضاهای خورشیدی نیز می‌تواند از راه‌حل عایق کاری بهره‌مند شود، اما به دلیل قسمت‌های شیشه‌ای وسیع، هزینه زیادی خواهد داشت (Jorgensen & Henderson, 2000, 19-22). آلیپانی<sup>۳</sup> در تحقیق خود در سال ۲۰۱۷ افزایش دمای خورشیدی در طول روزهای برفی را ثبت کرده و می‌توان نتیجه گرفت که مواد اطراف ممکن است بر بسیاری از محدودیت‌های کاربردی سیستم خورشیدی غیرفعال غلبه کند (Ulpiani et al, 2017, 213). در یک مطالعه الذوبی و ملکوی<sup>۴</sup> (۲۰۱۵)، عملکرد حرارتی فن‌آوری خورشید را برای آب‌وهوای مدیترانه معمولی در امان، اردن با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم، ارزیابی کردند. شبیه‌سازی حرارتی با استفاده از دروب-ال تی اچ<sup>۵</sup>، یک ابزار شبیه‌سازی حرارتی پویا انجام گرفت. شبیه‌سازی‌ها با تجزیه و تحلیل اثر خورشید در یک ساختمان معمولی در اردن با تغییر تعداد سطوح شیشه‌ای فضای خورشیدی و جهت‌گیری انجام شد. همچنین اقدامات غیرفعال برای کنترل غلبه بر مسائل گرمایش بیش‌از حد تابستان و زیان‌های شدید حرارتی در شب زمستان انجام و شبیه‌سازی شد. با شبیه‌سازی برای سه جهت مختلف (جنوب، شمال و شرق) دریافتند که حداقل بار حرارتی زمانی بود که گلخانه خورشیدی رو به سمت جنوب و بالاترین بار حرارتی زمانی که به سمت شمال قرار گرفته بود. در حالی که در مورد بار سرمایش، نتایج نشان داد که جهت‌گیری به سمت شمال دارای حداقل مقدار در تمام تنظیمات گلخانه خورشیدی است. برای گرمایش و سرمایش سالانه در تمام تنظیمات، بهترین جهت برای گلخانه خورشیدی به سمت جنوب بود و بدترین جهت شمال بود. در این مطالعه مشخص گردید که افزایش سطح شیشه، بار حرارت سالانه را کاهش داد. با این حال، این امر منجر به افزایش بار خنک‌کنندگی سالانه به دلیل مشکل گرمایش بیش‌از حد در تابستان گردید. در طول زمستان افزایش سطح شیشه باعث افزایش انتقال حرارت به هوای سرد در طول شب شد، بنابراین،

استفاده از پنجره‌های دوجداره برای کاهش نیاز انرژی سالانه مفید بود. با افزایش عمق فضا و کف، افزایش مقدار بار حرارتی در زمستان کاهش می‌یابد. با این وجود، بار خنک‌کننده در تابستان افزایش یافت و این به خاطر مقدار بالای دریافت انرژی خورشیدی است که در طول تابستان جذب می‌شود. داشتن یک فضای خورشیدی که به یک ساختمان متصل است، می‌تواند در طول ماه‌های تابستان باعث بروز مشکلات جدی گرما شود. نویسندگان از تهویه شبانه و ابزارهای سایه در طول روز در فضای خورشیدی (برای جلوگیری از گرمایش بیش‌ازحد در طول دوره تابستان) استفاده نمودند. یکی دیگر از اقدامات غیرفعال، کاهش تلفات حرارتی در شب زمستان بود که از دستگاه تهویه داخلی را در طول شب استفاده کردند که باعث افزایش مقاومت حرارتی خورشید شد و میزان انتقال حرارت را به هوا در هوای سردتر کاهش داد. سایبان داخلی نیز می‌تواند تبادل تابش بین فضای خورشیدی و هوای خارج را متوقف کند (Alzoubi & Malkawi, 2015). **طالقانی و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۲)** محققین دانشگاه تکنولوژی دلفت هلند در یک پژوهش دانشگاهی اثرات سه فضای متفاوت شامل حیاط مرکزی، آتریوم و گلخانه خورشیدی را در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی در پنج اقلیم متفاوت اروپایی و آسیایی بررسی نمودند. بر اساس نتایج این پژوهش که با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و ممیزی انرژی انجام شده نشان می‌دهد که به‌طور مثال در هلند وجود حیاط مرکزی و یا گلخانه خورشیدی در مرکز ساختمان باعث افزایش مصرف انرژی ساختمان شده و همچنین باعث بیش گرمایش ساختمان در فصول گرم نیز خواهد گردید. **می‌هالاکاکو و فرانته<sup>۷</sup> (۲۰۰۲)** با بررسی تأثیر عواملی همچون جهت‌گیری، مصالح شیشه، شرایط مرزی کف گلخانه و سیستم لوله‌های زیرزمینی بر عملکرد حرارتی آن در ساختمان در چهار شهر اروپایی با استفاده از برنامه شبیه‌سازی ترانسپس پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که گلخانه خورشیدی متصل به ساختمان به میزان قابل توجهی دمای فضای داخلی را در فصول سرد سال افزایش می‌دهد اما در فصول گرم سال موجب افزایش کنترل نشده و بیش‌ازحد فضای داخلی می‌گردد البته این پدیده زمانی رخ می‌دهد که هیچ‌گونه تمهیدی برای خروج هوای گرم گلخانه در فصول گرم سال در نظر گرفته نشده باشد. می‌هالاکاکو در ادامه تأثیر سه روش سرمایش غیرفعال شامل سایبان‌ها، لوله‌های زیرزمینی و تهویه شبانه را برای جلوگیری از بیش‌ازحد گرم شدن فضای گلخانه در فصول گرم با استفاده از برنامه ترانسپس شبیه‌سازی نمود. نتایج پژوهش او نشان می‌دهد که ترکیب هر سه روش در بهبود عملکرد حرارتی گلخانه متصل به ساختمان مؤثر است

و آن را بهبود می‌بخشد یکی از نمونه‌های موفق اجرای گلخانه خورشیدی در ساختمان بلوک کی ورکرز<sup>۸</sup>، یک پروژه مسکونی زدفکتوری در انگلستان است که گلخانه خورشیدی را به‌عنوان یک گردآورنده خورشیدی غیرفعال اجرا کرده است. در این پروژه، گلخانه خورشیدی با عرض زیاد رو به جنوب با پنجره‌های با عملکرد بالا ترکیب شده‌اند که به‌عنوان گردآورنده خورشیدی غیرفعال در ساختمان عمل می‌کنند. طبق گفته **زدفکتوری<sup>۹</sup> (۲۰۱۵)**، گلخانه خورشیدی قرار گرفته به سمت جنوب تا ۳۰ درصد نیاز به حرارت را فراهم می‌کند ذخیره گرمای فضا به‌وسیله گلخانه خورشیدی فراهم می‌گردد حرارت ایجاد شده نیز به دلیل عایق زیاد مصالح ساختمانی با جرم حرارتی بالا و پنجره‌های با عملکرد حرارتی بالا است. یکی دیگر از مزایای استفاده از گلخانه خورشیدی در جبهه جنوب، اجازه ورود نور روز به فضاهای زندگی بود. در تمام موارد مشاهده می‌گردد که جهت جلوگیری از افزایش بیش‌ازحد دما در تابستان‌ها باید تمهیداتی در نظر گرفت که با توجه به نتایج پژوهش‌ها از راه‌حل‌های مفید می‌توان استفاده از تهویه شبانه، ابزارهای ایجاد سایه در طول روز در فضای خورشیدی، سایبان داخلی، ابزار تهویه داخلی در طول شب، تمهیداتی برای خروج هوای گرم گلخانه در فصول گرم سال با استفاده از سه روش سرمایش غیرفعال شامل سایبان‌ها، لوله‌های زیرزمینی و تهویه شبانه استفاده نموده و عملکرد حرارتی گلخانه متصل به ساختمان را بهبود بخشید که با توجه به شرایط ساختمان و اقلیم موردنظر استفاده از هر کدام از این تمهیدات نیز باید موردبررسی قرار گیرد تا موجب اتلاف انرژی در ساختمان در فصول سرد و گرم نگردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شرایط تحقیقات پژوهش‌های صورت گرفته در اقلیم‌های مختلف متفاوت بوده و با توجه به اقلیم و عرض جغرافیایی منطقه موردنظر گلخانه خورشیدی دارای ویژگی‌های مختلفی است. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش‌ها به نظر می‌رسد عامل جهت‌گیری از عوامل مؤثر در عملکرد حرارتی گلخانه خورشیدی می‌باشند. پس در این پژوهش این عامل و در کنار آن سایر عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گرمایشی فضای خورشیدی شهر سنندج (اقلیم سرد) موردبررسی قرار گرفت. همچنین از نتایج این پژوهش‌ها می‌توان دریافت که طراحی گلخانه خورشیدی به‌عنوان یک سامانه غیرفعال اجازه می‌دهد تا حداکثر نفوذ نور خورشید از طریق سطوح شفاف در طول روز و ذخیره آن در ساختار ساختمان یا جرم حرارتی انجام شود. لذا با توجه به تعداد روزهای آفتابی در شهر سنندج و مصرف بالای انرژی در بخش مسکونی بهره‌گیری از گلخانه به‌عنوان سامانه غیرفعال خورشیدی در اقلیم این شهر توجیه‌پذیر و

قابل اجرا است.

خورشیدی) برای پارامترهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار گرس‌هاپر نسخه ۶ انجام شد. گرس‌هاپر یک ابزار منبع باز است که در صورت اتصال به پلاگین‌های مختلف می‌تواند برای انواع مختلف مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی استفاده شود؛ بنابراین ابتدا الگوریتم‌های موردنیاز در نرم‌افزار گرس‌هاپر کدنویسی شد، سپس مدل‌های کدنویسی شده در نرم‌افزار راینو نسخه ۶ شبیه‌سازی گردید. جهت وارد کردن فایل آب و هوایی از محیط برنامه‌نویسی لیدی باگ استفاده و پس از آن با استفاده از پلاگین هانی بی، محیط برنامه‌نویسی بصری گرس‌هاپر را به موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس نسخه ۸ و اپن استودیو نسخه ۲ متصل شد؛ بنابراین تجزیه و تحلیل انرژی در آن با نرم‌افزار انرژی پلاس انجام گردید و در پایان با استفاده از الگوریتم ژنتیک (گالاکاپوس<sup>۱۱</sup> و اکتاپوس<sup>۱۲</sup>) مورد استفاده نرم‌افزار گرس‌هاپر بهینه‌سازی انجام شد که در **جدول ۱** به ترتیب معرفی شده است.

### ۱ اقلیم و داده‌های آب و هوایی

از لحاظ جغرافیایی شهر سنندج در غرب کشور ایران و در ۳۵.۲۴ درجه عرض شمالی و ۴۷.۰۰ درجه طول شرقی قرار گرفته است. بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی کسمایی در گروه اقلیمی ۲ و زیرگروه اقلیمی ۷ قرار دارد. بر اساس تقسیم‌بندی فوق دمای هوا در زمستان‌ها سرد و در تابستان‌ها نیمه گرم و خشک است. با توجه به فاکتورهای اقلیمی به‌طور متوسط در محدوده فوق ۶ ماه از سال نیاز به گرمایش فضای داخلی ساختمان وجود دارد (**شکل ۲**). در بررسی نمودار سایکومتریک (زیست‌اقلیمی) شهر سنندج با استفاده از داده‌های واقعی ده‌ساله ایستگاه هواشناسی سنندج (۲۰۱۷-۲۰۰۷) نمودار شرایط آسایش درونی در نرم‌افزار گرس‌هاپر طبق **شکل ۳** است.

سند اقلیمی مورد استفاده با استفاده از نرم‌افزاری به نام تی ام وای کریتور<sup>۱۳</sup> که توسط دکتر ابراهیم پور تهیه شده و با در اختیار داشتن آمار ساعتی داده‌های آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک شهر سنندج، ایجاد گردید. اعتبارسنجی این نرم‌افزار در کتاب تهیه فایل‌های اطلاعات اقلیمی TMY2 برای شهرهای مهم ایران (ابراهیم پور و کسمایی، ۱۳۹۲) و مقاله اصلاح روشی جهت تولید داده‌های اقلیمی تی ام وای برای شهر تهران (ابراهیم پور و معرفت، ۱۳۹۰) انجام شده، همچنین برای ۵ شهر مهم ایران توسط این نرم‌افزار داده‌های اقلیمی تی ام وای تهیه شده و در سایت انرژی پلاس تحت عنوان آی تی ام وای به ثبت رسیده است بنابراین محاسبات انجام شده بر اساس فایل اقلیمی موجود دارای اعتبار است.

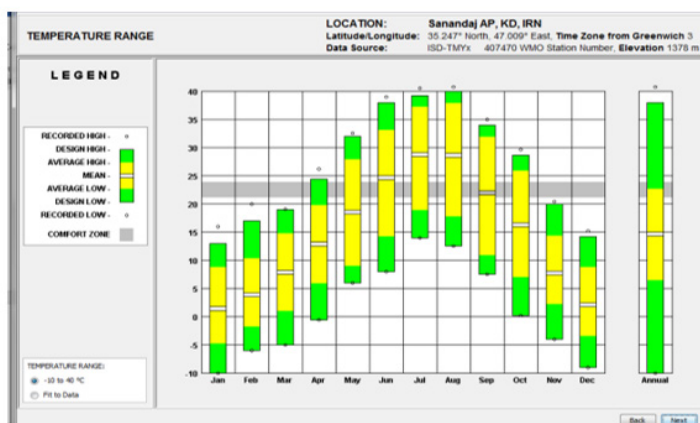
**نرم‌افزار گرس‌هاپر<sup>۱۴</sup>**: با توجه به اینکه نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی در این پژوهش نرم‌افزار گرس‌هاپر است که از موتور محاسباتی انرژی پلاس استفاده می‌نماید لذا در این قسمت به برخی از پژوهش‌هایی که اعتبارسنجی این نرم‌افزار را مورد بررسی قرار داده‌اند، پرداخته شده است. پژوهش‌هایی که در حوزه اعتبارسنجی و دقت نرم‌افزارهای محاسبه مصرف انرژی انجام شده نشان‌دهنده آن است که این نرم‌افزارها با دقتی قابل قبول مصرف انرژی ساختمان را محاسبه می‌نماید (Yu et al., 2008, 1538). پژوهش‌هایی پیرامون به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی در ساختمان‌ها انجام گرفته که اعتبارسنجی و دقت این نرم‌افزارها را در محاسبات مصرف انرژی در مقایسه با میزان واقعی مورد بررسی قرار داده است. دو پژوهش در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ انجام گردید که در پژوهش نخست که توسط اسکین و ترکمن در رابطه با مقایسه میزان بارهای حرارتی و سرمایشی توسط نرم‌افزار انرژی پلاس و میزان واقعی آن در یک بازه ۲۴ ساعته صورت پذیرفته، نشان می‌دهد که میزان این اختلاف بسیار ناچیز بوده و به ترتیب برای بارهای حرارتی ۳ و برای بارهای سرمایشی ۵ درجه است (Eskin & Turkmen, 2008, 771). در پژوهش بعدی که در ۲۰۰۸ توسط نتو و فیورلی در برزیل انجام شده است، نشان می‌دهد که نرم‌افزار انرژی پلاس با دقتی در حدود  $\pm 13^\circ$  مقادیر انرژی مصرفی ساختمان را شبیه‌سازی می‌نماید که مقدار قابل قبولی است (Neto & Fiorelli, 2008, 2172). پژوهش‌هایی که در حوزه اعتبارسنجی و دقت نرم‌افزارهای محاسبه مصرف انرژی انجام شده نشان‌دهنده آن است که این نرم‌افزارها با دقتی قابل قبول مصرف انرژی ساختمان را محاسبه می‌نماید (Yu et al., 2008, 1538). در پژوهش‌های متعددی با استفاده از نرم‌افزار گرس‌هاپر تأثیر پارامترهای مختلف معماری و ساختمانی بر مصرف انرژی (Attia et al., 2013)، آسایش (Carlucci et al., 2015) مطالعه شده است. همچنین پارامترهای فرم (Raji et al., 2017)، جهت‌گیری، درصد پنجره، مشخصات شیشه، عایق حرارتی، جرم حرارتی و تعداد طبقات (Godoy-Shimizu et al., 2018) از طریق شبیه‌سازی پارامتریک بررسی شده است. در این مقاله پس از بررسی نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار گرس‌هاپر جهت بررسی اعتبار نتایج از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نیز استفاده گردید؛ و در نهایت با توجه به مقایسه نتایج مربوط نتیجه‌گیری نهایی انجام گردید.

### ۱ روش پژوهش

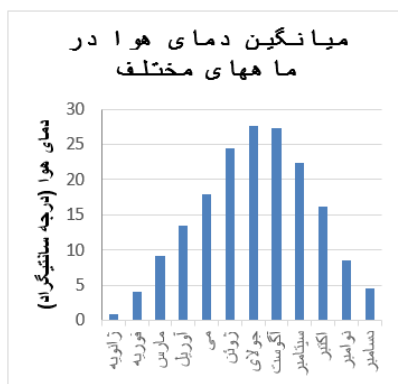
بررسی عملکرد انرژی در سامانه غیرفعال خورشیدی (گلخانه

جدول ۱. چهارچوب بهینه‌سازی در گرس‌هاپر  
Table 1. Optimization framework in Grasshopper

مراحل	عنوان	شرح
۱	مدل‌سازی پارامتریک	راینو: ساده‌سازی مدل واقعی و شبه‌سازی به‌صورت سه‌بعدی در نرم‌افزار راینو مدل سه‌بعدی گرس‌هاپر: الگوریتم نویسی و کدنویسی متغیرهای موردبررسی و ارتباط با مدل سه‌بعدی
۲	شبیه‌سازی انرژی	لیدی باگ: واردکردن فایل آب و هوایی و تحلیل اقلیم شهر سنندج هانی بی: تحلیل انرژی با استفاده از انرژی پلاس
۳	بهینه‌سازی	اکتاپوس: یافتن بهینه‌ترین با استفاده از سیستم شبکه‌های عصبی حالت موجود در ارتباط با هریک از متغیرهای وابسته (کمترین میزان پرت انرژی یا بیشترین میزان انرژی دریافتی) <b>گالا پاگوس</b> : یافتن بهینه‌ترین حالت موجود با در نظر گرفتن دو متغیر وابسته (کمترین میزان پرت انرژی و بیشترین میزان انرژی دریافتی)
۴	اعتبارسنجی	تحلیل انرژی با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و مقایسه نتایج حاصل از آن با نتایج مرحله قبل بررسی میزان تفاوت نتایج دو نرم‌افزار استفاده‌شده



شکل ۲. میانگین دما در ماه‌های مختلف  
Figure 2. Average temperature in different months

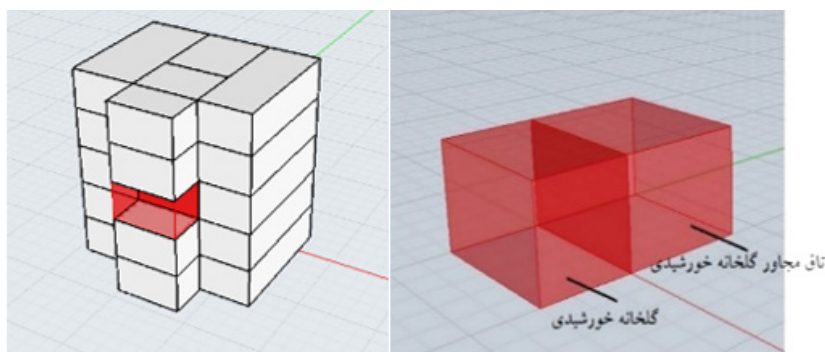


شکل ۳. میانگین دما در ماه‌های مختلف  
Figure 3. Average temperature in different months

### توضیحات مدل‌های مورد بررسی گلخانه خورشیدی

با توجه به اینکه نمونه مورد بررسی از نظر شیوه ساخت و مصالح مورد استفاده باید در گونه‌های متداول ساختمانی معماری معاصر شهر سنجیده شده باشد، لذا گزینه نهایی اتاقکی با کاربری مسکونی و ابعاد ۴\*۵ متر و ارتفاع کف تا کف ۳ متر به مساحت مفید داخلی ۲۰ مترمربع است که گلخانه‌ای با ابعاد مورد بررسی و ارتفاع ۳ متر در جبهه جنوبی آن قرار گرفته است که دیوارهای کناری آن کدر بوده و فقط دیوار جبهه جنوبی دارای جدار نورگذر است. اتاق شبیه‌سازی شده اتاقی در یک واحد مسکونی ۱۰ m \* ۱۰ m است که در اطراف و

کف و سقف با قسمت‌های داخلی دیگر در ارتباط بوده و لذا فقط در جبهه جنوبی با گلخانه خورشیدی و گلخانه با فضای خارجی در ارتباط است. ارتباط بصری گلخانه و اتاق مجاور آن با پنجره‌ای به ابعاد ۱.۵\*۲ متر برقرار شده است که در شکل ۴ می‌توان مشاهده نمود. همچنین مشخصات و ویژگی‌های مدل شبیه‌سازی شده در جدول ۲ و پارامترهای مورد بررسی نیز در جدول ۳ نشان داده شده است. **تحلیل‌ها:** در ادامه تأثیر هر یک از پارامترهای عنوان شده بر عملکرد حرارتی گلخانه خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته که در نهایت بتوان به یک الگوی مناسب جهت چارچوب طراحی گلخانه خورشیدی دست یافت.



شکل ۴. مدل شبیه‌سازی شده گلخانه خورشیدی مورد بررسی  
Figure 3. Simulated model of Sunspace

جدول ۲. مشخصات مدل شبیه‌سازی شده  
Table 2. The simulated model features

کف	سقف	دیوار مشترک	دیوار خارجی	لایه‌ها به ترتیب خارجی ترین
۱۰ سانتیمتر بتن مگر	۲ سانتیمتر پوشش نهایی بام	۱۰ سانتیمتر نمای آجری	۳ سانتیمتر نمای آجری	لایه ۱
۵ سانتیمتر عایق حرارتی	۱ سانتیمتر عایق رطوبتی	۱ سانتیمتر ملات ماسه سیمان	۲ سانتیمتر ملات ماسه سیمان	لایه ۲
بخار بند (محافظ شیره بتن)	۵ سانتیمتر عایق حرارتی	۱۰ سانتیمتر بلوک سفالی	۱۰ سانتیمتر بلوک سفالی	لایه ۳
۵ سانتیمتر بتن کف	۱۵ سانتیمتر سقف تیرچه بلوک	۲ سانتیمتر گچ و خاک	عایق حرارتی (ضخامت و جنس عایق در ۸ حالت مختلف و ۱ حالت بدون عایق حرارتی به عنوان پارامتر مورد بررسی قرار گرفته)	لایه ۴
۳ سانتیمتر سرامیک کف	۲ سانتیمتر گچ و خاک	-	۲ سانتیمتر گچ و خاک	لایه ۵ (لایه داخلی)
۰/۵۰۹	۰/۴۲۳	۲/۱۹	متغیر بر اساس پارامترهای مورد بررسی	ضریب انتقال حرارت W/m <sup>2</sup> K

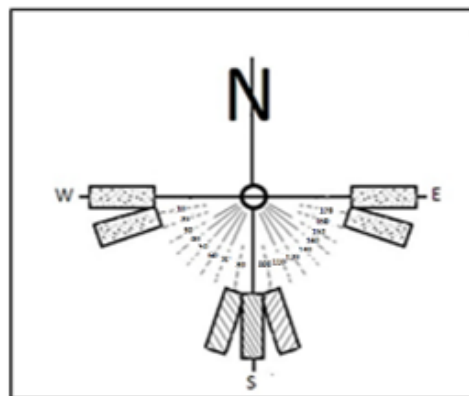
جدول ۳. پارامترهای گلخانه خورشیدی در مرحله بهینه‌سازی  
Table 3. Sunspace parameters in optimization stage

تعداد متغیر	ویژگی‌ها	پارامترها
۳		درصد بخش نورگذر به دیوار
۵	۱ الی ۵ در بازه‌های ۱ متری	طول گلخانه
۶	۰/۵ الی ۳ در بازه‌های ۰/۵ متری	عرض گلخانه
۱۹	از جنوب به غرب و شرق در بازه‌های ۱۰ درجه پلی یورتان، پلی استایرن، پشم سنگ، پشم شیشه	جهت‌گیری
۹	در دو ضخامت ۵ و ۱۰ سانتی متر	عایق حرارتی

### جهت‌گیری

هدف طراحی فضای خورشیدی افزایش عملکرد گرمایشی در فصل سرد است، بنابراین جبهه جنوبی و بازه ۱۰ درجه به سمت غرب یا شرق جهت دستیابی به این هدف مناسب است. در مدل‌های دیگری که مورد بررسی قرار گرفت میزان جذب انرژی خورشیدی دریافتی در ماه‌های مختلف بسته به پارامترهای دیگری از جمله هندسه گلخانه خورشیدی، ضخامت و نوع عایق حرارتی و نسبت سطح شیشه‌ای به دیوار مورد بررسی قرار گرفتند. طول، عرض و نسبت سطح نورگذر به کدر جدار خارجی در گلخانه خورشیدی یکی از پارامترهای تأثیرگذار در عملکرد گرمایشی گلخانه خورشیدی هندسه آن است؛ بنابراین در نظر گرفتن ابعاد مناسب جهت فضای خورشیدی حائز اهمیت است. در شبیه‌سازی انجام شده سه پارامتر طول، عرض و درصد سطح نورگذر هم‌زمان توسط الگوریتم ژنتیک گالاکاپوس مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به دست آمده با در نظر گرفتن هر سه پارامتر در شکل ۷ و هر پارامتر به‌طور جداگانه در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور مثال در حالتی که

در نیمکره شمالی در طول زمستان خورشید از جنوب شرقی طلوع و بعد از عبور از قسمت جنوبی در جنوب غربی غروب می‌کند. پس با توجه به این مسئله و نمودار تابش خورشید، جهت‌گیری‌های مختلف گلخانه خورشیدی در جبهه جنوبی که یکی از بهترین نقاط برای قرارگیری گلخانه خورشیدی جهت دریافت انرژی خورشید است، مورد بررسی قرار گرفت. برای دستیابی به بیشترین بازده از لحاظ عملکرد گرمایشی گلخانه و به دست آوردن زاویه بهینه جهت‌گیری، شبیه‌سازی در بازه‌های ۱۰ درجه از جنوب به سمت غرب و شرق انجام گرفت (شکل ۵). روی دستیابی به هدف مورد نظر جهتی که بیشترین میزان دریافت انرژی خورشیدی را در فصل سرما و کمترین را در فصل گرم دارا است، مناسب است. لذا طبق شکل ۶ و جدول ۴ به دست آمده، می‌توان مشاهده نمود که در فصل گرم زوایای نزدیک به غرب و شرق بیشترین میزان انرژی خورشیدی دریافتی را دارا هستند اما در فصل سرد این امر در زوایای نزدیک به جنوب اتفاق می‌افتد. که با توجه به

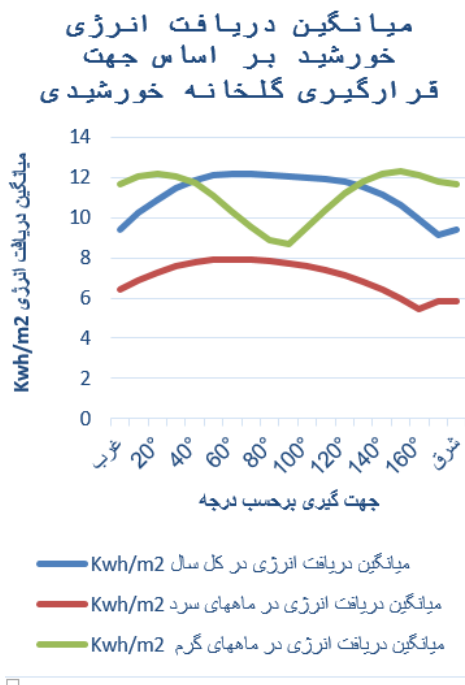


شکل ۵. چرخش مدل‌های شبیه‌سازی شده در جبهه جنوبی از غرب به شرق  
Figure 5. Rotation of simulated models on the southern from west to east

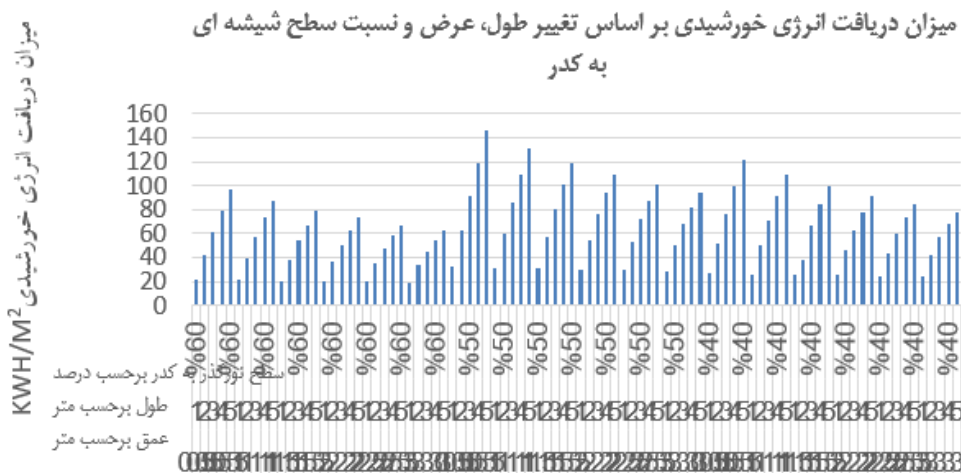


جدول ۴. میانگین دریافت انرژی خورشیدی در ماههای سرد و گرم سال  
Table 4. Average solar energy intake in hot and cold months of the year

جهت گیری	میانگین دریافت انرژی در کل سال Kwh/m <sup>2</sup>		میانگین دریافت انرژی در ماههای سرد Kwh/m <sup>2</sup>		میانگین دریافت انرژی در ماههای گرم Kwh/m <sup>2</sup>		
	جهت گیری	میانگین دریافت انرژی در کل سال Kwh/m <sup>2</sup>	جهت گیری	میانگین دریافت انرژی در ماههای سرد Kwh/m <sup>2</sup>	جهت گیری	میانگین دریافت انرژی در ماههای گرم Kwh/m <sup>2</sup>	
غ. ب.	41/9	6/39	11/62	جنوب	12/04	7/69	8/67
°10	10/22	6/87	12/01	°100	11/98	7/57	9/53
°20	10/90	7/28	12/16	°110	11/92	7/39	10/36
°30	11/46	7/59	12/07	°120	11/79	7/14	11/17
°40	11/85	7/81	11/70	°130	11/53	6/82	11/80
°50	12/10	7/91	11/10	°140	11/14	6/42	12/18
°60	12/18	7/94	10/30	°150	10/59	5/96	12/28
°70	12/16	7/89	9/50	°160	9/92	5/45	12/13
°80	12/10	7/84	8/89	°170	9/16	5/84	11/76
جنوب	12/04	7/69	8/67	شرق	9/41	5/84	11/62



شکل ۶. میانگین دریافت انرژی خورشیدی در ماههای سرد و گرم سال  
Figure 6. Average solar energy intake in hot and cold months of the year



شکل ۷. میزان دریافت انرژی خورشیدی بر اساس تغییر طول، عرض و نسبت سطح نورگذر به کدر در گلخانه خورشیدی  
Figure 7. The amount of solar energy received based on the changes in length, width and ratio of transmittance in Sunspace

کمترین میزان دریافت انرژی را خواهد داشت. با توجه به شکل حاصل از نتایج به دست آمده با اختلاف اندکی نسبت به سایر مقادیر (شامل: ۰/۵-۱-۱/۵-۲) عمق ۰/۵ و ۱ متر بیشترین بازده جذب انرژی خورشیدی را داراست.

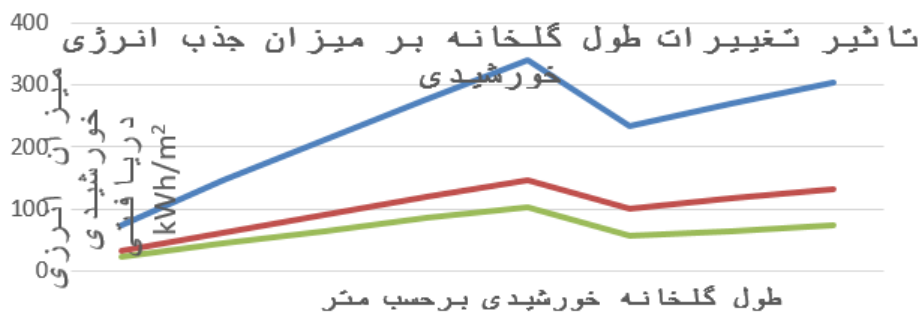
### نسبت سطح نورگذر به کدر در جدار خارجی گلخانه خورشیدی

در خصوص نسبت سطح نورگذر به کدر با توجه به اینکه تنها جدار جنوبی دارای سطح نورگذر بوده و دیوارهای طرفین کدر می‌باشند، میزان جذب انرژی خورشیدی در سه حالت مختلف نسبت سطح نورگذر به کدر برابر با: ۴۰٪ - ۵۰٪ و ۶۰٪ مورد بررسی قرار گرفت. طبق داده‌های به دست آمده که در جدول ۶ نشان داده شده با داشتن ۵۰٪ سطح نورگذر نسبت به دیوار می‌توان حداکثر دریافت انرژی را داشت و افزایش این نسبت همانند درصد پایین‌تر عمل نموده و تأثیری در جذب بیشتر انرژی خورشیدی نمی‌تواند داشته باشد. با توجه به اینکه غیر از جدار نورگذر دیوارهای اطراف نیز جدار خارجی گلخانه خورشیدی را تشکیل می‌دهند، بنابراین جلوگیری از

طول گلخانه خورشیدی برابر با ۱ متر بود، عمق‌های مختلف از ۰/۵-۳ متر و در بازه‌های ۰/۵ متری و درصد جدار نورگذر در سه حالت ۴۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ یعنی مجموعاً ۱۸ حالت مختلف برای طول ۱ متر از لحاظ میزان جذب انرژی خورشیدی بررسی گردید. جهت سایر طول‌ها و عمق‌ها و نسبت‌های سطح نورگذر به کدر مجموعاً ۱۲۶ حالت مختلف تمام متغیرهای گفته شده مورد بررسی قرار گرفت.

در شکل ۸ و جدول ۵ می‌توان مشاهده نمود که با افزایش طول گلخانه سطح رو به جنوب افزایش یافته، لذا میزان انرژی دریافتی نیز افزایش می‌یابد، اما این افزایش تا طول ۵ متر ادامه دارد و پس از روند نزولی پیدا می‌نماید به نحوی که در طول ۶ متر میزان دریافت انرژی کاهش یافته و پس از آن به تدریج افزایش می‌یابد؛ بنابراین گلخانه خورشیدی در حالی که دارای طول (برابر با ۵ متر) باشد از نظر دریافت انرژی خورشیدی دارای بیشترین بازده است.

در شکل ۹ می‌توان روند تأثیر افزایش عمق گلخانه خورشیدی در میزان دریافت انرژی خورشیدی را مشاهده نمود. در بررسی شکل این گونه دریافت می‌گردد که افزایش عمق گلخانه بیش از ۲/۵ متر اثر عکس در دریافت انرژی خورشیدی داشته، به طوری که عمق ۳ متر



شکل ۸: میانگین انرژی دریافتی خورشیدی در ماه‌های سرد بر اساس تغییر طول گلخانه خورشیدی  
Figure 8. Average solar energy received in cold months based on the change in the length of the Sunspace

جدول ۵. میانگین انرژی دریافتی خورشیدی در ماه‌های سرد بر اساس تغییر طول گلخانه خورشیدی  
Table 5. Average solar energy received in cold months based on the change in the length of the Sunspace

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
میزان انرژی خورشیدی دریافتی در کل سال (kWh/m <sup>2</sup> )	74/45	145/27	212/7	277/12	338/53	233/04	268/4	302/84
میزان انرژی خورشیدی دریافتی در ماه‌های سرد (kWh/m <sup>2</sup> )	32/02	62/48	91/5	119/21	145/69	101/1	116/44	131/39
میزان انرژی خورشیدی دریافتی در ماه‌های گرم (kWh/m <sup>2</sup> )	22/78	44/44	65/05	84/75	103/49	55/87	64/34	72/58



شکل ۹. میزان دریافت انرژی خورشیدی بر اساس تغییر عمق گلخانه فورشیدی  
Figure 9. The amount of solar energy received based on the changes in the depth of the Sunspace

جدول ۶. میزان دریافت انرژی خورشیدی بر اساس نسبت سطح نورگذر به کدر در جبهه خارجی گلخانه فورشیدی  
Table 6. The amount of solar energy received based on the ratio of transmittance in the outer front of the Sunspace

درصد جدار نورگذر	میانگین دریافت انرژی در سال	میانگین دریافت انرژی در ماههای سرد	میانگین دریافت انرژی در ماههای گرم
۴۰	۲۳/۵۲	۱۵/۱۸	۲۱/۵۷
۵۰	۲۸/۲۱	۱۸/۲۱	۲۵/۸۷
۶۰	۱۸/۸۲	۱۲/۱۴	۱۷/۲۷

را برای افراد و همچنین دمای بالاتری را برای گیاهان فراهم کند. به همین منظور چهار نوع عایق حرارتی متداول با دو ضخامت مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

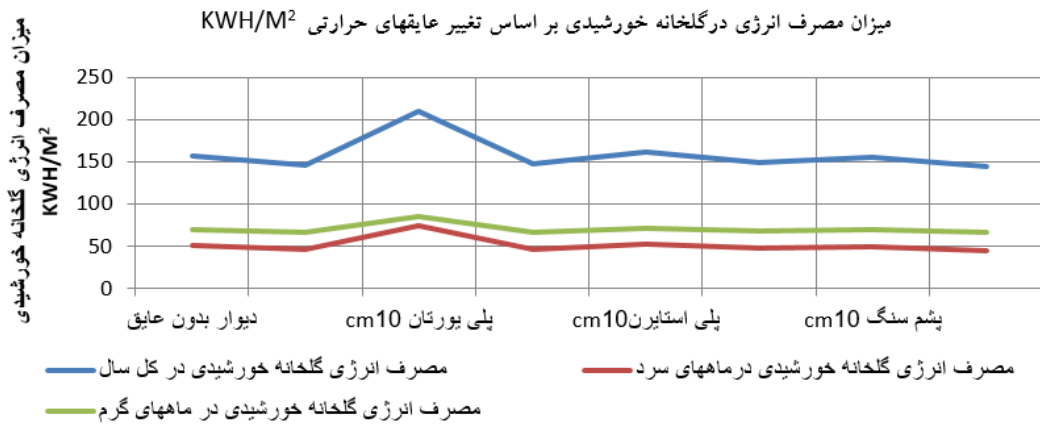
همان طور که از شکل ۱۰ مشاهده می شود در حالتی که از عایق پلی استایرن با ضخامت ۵ سانتی متر استفاده شود، بیشترین میزان هدر رفت انرژی را نسبت به سایر عایقها داریم و در این حالت جلوگیری از هر رفت انرژی انجام نمی گردد. در حالت کلی می توان مشاهده کرد که ضخامت عایقها در اتلاف انرژی مؤثر است و با اختلاف کمی با سایر عایقها پشم شیشه با ضخامت ۱۰ cm می تواند در صرفه جویی در مصرف انرژی تأثیر گذار باشد.

با بررسی ۱۶۷۵۸ حالت مختلف از متغیرهای بررسی شده توسط روش الگوریتم ژنتیک شکل ۱۱ (در فرمان اکتاپوس نرم افزار گرس هاپر) حالت بهینه زمانی است که گلخانه فورشیدی به جهت جنوب بوده

اتلاف حرارت از این جدارها ضروری می نماید. لذا تأثیر عایقهای حرارتی مختلف در دیوارهای کناری گلخانه فورشیدی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

### عایق بندی حرارتی دیوارهای کناری گلخانه فورشیدی الماقی

دیوارها با وجود اینکه سبب ذخیره انرژی در طول روز می گردند در صورتی که به نحو مناسب از لحاظ حرارتی عایق بندی نشوند می توانند مقداری از انرژی را در طول شب با توجه به کاهش دما به بیرون انتقال دهند؛ بنابراین نوع و ضخامت عایق حرارتی مورد استفاده در دیوارها می تواند در کاهش اتلاف حرارت از طریق دیوارها مؤثر باشد. در صورتی که با استفاده از عایق بتوان از کاهش دمای هوا در طول شب جلوگیری کرد فضای گلخانه در این شرایط نیز می تواند شرایط آسایش



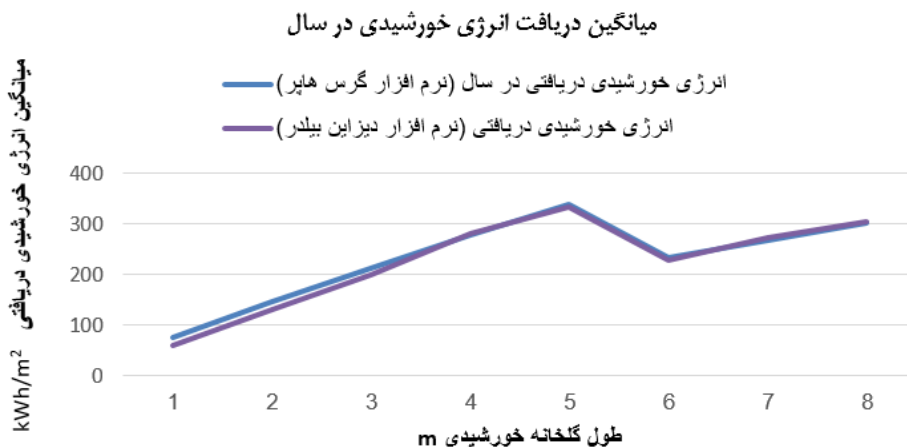
شکل ۱۰. تأثیر انواع مختلف عایق حرارتی بر روی میزان دریافت انرژی و اتلاف انرژی  
Figure 10. The effect of different types of thermal insulation on energy intake and energy loss



شکل ۱۱. الگوریتم ژنتیک، نرم افزار گرس هاپر  
Figure 11. Genetic Algorithm, Grasshopper Software

برای بررسی اعتبار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی روش‌های مختلفی در تحقیقات معرفی شده است. به‌طور کلی، این روش‌ها به سه دسته کلی روش‌های تحلیلی، مقایسه‌ای و تجربی تقسیم می‌شوند. در میان تحقیقات اعتبارسنجی نرم‌افزارهای انرژی ساختمان، روش‌های تجربی، (مقایسه نتایج شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌های میدانی) و مقایسه‌ای، (مقایسه نتایج نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی انرژی با یکدیگر) رایج‌ترین نوع اعتبارسنجی‌اند. در این پژوهش جهت اعتبارسنجی نرم‌افزار مورد استفاده از روش مقایسه‌ای استفاده گردید، که نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار گرس‌هاپر با نتایج نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مقایسه شد. نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر یکی از به‌روزترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی است که به دلیل دقت و توانایی‌های بالای مدل‌سازی، پوشش کلیه نیازهای شبیه‌سازی انرژی (شامل محاسبه مصرف انرژی، محاسبه بار حرارتی و برودتی، شبیه‌سازی نور روز و غیره) و درعین‌حال گرافیکی بودن و سهولت کار به یکی از اصلی‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی تبدیل گردیده است. به‌منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار مورد استفاده نتایج حاصل از میزان دریافت انرژی خورشیدی در جهت جنوب با تغییر طول گلخانه خورشیدی در مدل شبیه‌سازی با دو نرم‌افزار با یکدیگر مقایسه شده و درصد اختلاف بین نتایج محاسبه و ارائه شده است.

و دارای طول ۵ متر و عرض ۰٫۵ متر با درصد جدار نورگذر ۵۰٪ باشد که بیشترین میزان دریافت انرژی خورشیدی را در دوره سرد سال دارد. اعتبارسنجی نتایج: مهم‌ترین پرسشی که پیرامون به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی در ساختمان ممکن است به ذهن خطور نماید، «اعتبارسنجی» و دقت این نرم‌افزارها در محاسبات مصرف انرژی در مقایسه با میزان واقعی آن است. پژوهش‌هایی که در این حوزه انجام شده، نشان‌دهنده آن است که این نرم‌افزارها با دقتی قابل قبول مصرف انرژی ساختمان را محاسبه می‌نماید (Yu et al., 2008, 1537). عوامل متعدد تأثیرگذار بر عملکرد انرژی در ساختمان، پیش‌بینی دقیق میزان مصرف انرژی در شرایط واقعی را بسیار مشکل کرده است. از این رو لازم است با تطبیق خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های اندازه‌گیری شده در شرایط واقعی، اعتبار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بررسی شود. جامعه متخصصان شبیه‌سازی پیش‌از این اعتبارسنجی را هنری وابسته به تجربه کاربر نرم‌افزار و دانش مهندسی می‌دانستند و به‌طور گسترده به سعی و خطا برای رسیدن به هدف تکیه می‌کردند، اما در سال‌های اخیر، محققان روش‌هایی علمی برای اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی ارائه کرده‌اند (Coakley et al, 2012).



شکل ۱۲. مقایسه میانگین انرژی خورشیدی دریافتی در دو نرم‌افزار گرس‌هاپر و دیزاین‌بیلدر  
Figure 12. Comparison of average solar energy received by Grasshopper and Design builder software

جدول ۷. مقایسه میانگین انرژی خورشیدی دریافتی در دو نرم افزار گرس هاپر و دیزاین بیلدر  
Table 7. Comparison of average solar energy received by Grasshopper and Design builder software

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
انرژی خورشیدی دریافتی در سال (نرم افزار گرس هاپر)	۴۵/۷۴	۲۷/۱۴۵	۷/۲۱۲	۱۲/۲۷۷	۵۳/۳۳۸	۰۴/۲۳۳	۴/۲۶۸	۸۴/۳۰۲
انرژی خورشیدی دریافتی در سال (نرم افزار دیزاین بیلدر)	۶۰	۸۲/۱۳۰	۲۵/۱۹۸	۲۶/۲۸۰	۹/۳۳۲	۱/۲۲۹	۳/۲۲۷	۶/۳۰۴

۵ متر تواند در افزایش عملکرد گرمایشی گلخانه تأثیر گذار باشد اما در طول های بیشتر نتیجه معکوس دارد که ۵۰٪ جدار نور گذر در این جبهه در دستیابی به هدف طراحی بهتر عمل می کند. بعلاوه برخلاف طول، با افزایش عمق نمی توان بازده بالاتری از نظر دریافت انرژی خورشیدی داشت و مناسب ترین حالت در عمق ۱ متر است. عایق های با ضخامت ۱۰ سانتی متر در کاهش اتلاف انرژی مؤثرتر بوده و نوع عایق تأثیر چندانی در این دستاورد نداشت؛ بنابراین نتایج حاصل از شبیه سازی با استفاده از نرم افزار گرس هاپر بیانگر آن است که تأثیر برخی متغیرهای معماری در تلفیق با سامانه گلخانه خورشیدی، موجب تقویت کارایی گلخانه و تأثیر مستقیم و مثبت در کاهش مصرف اتلاف انرژی سالیانه می گردد. از آثار مثبت گلخانه خورشیدی به عنوان مهم ترین و تأثیر گذارترین متغیرهای معماری در راستای تحقق اهداف پژوهش همانا استفاده از روش های غیرفعال در ساختمان های مسکونی در اقلیم سرد و کوهستانی کشور (شهر سنندج) می باشند.

### پی نوشتها

1. Aeleneiet al
2. Jørgensen & Henderson
3. Ulpiani
4. Alzoubi & Malkawi
5. Derob-LTH
6. Taleghani et al.,
7. Mihalakakou & Ferrante
8. Key Worker
9. ZEDFactory
10. Grasshopper
11. Galapagos

طبق نتایج به دست آمده آن طور که در شکل زیر مشخص است نتایج حاصل از دو نرم افزار تفاوت چندانی نداشته و روند افزایش و کاهش انرژی با تغییر طول به یک صورت است که در شکل ۱۲ و جدول ۷ می توان مشاهده کرد. اختلاف به دست آمده معادل ۱،۳٪ است که طبق اصول اعتبارسنجی عدد قابل قبولی است.

### نتیجه گیری

در این مقاله شبیه سازی مدل بهینه گلخانه خورشیدی در شهر سنندج با استفاده از جهت گیری، ابعاد، درصد سطح شیشه ای و عایق حرارتی به کار برده شده که از مقایسه بین چندین حالت مختلف به دست آمده منجر به نتایج ذیل شده است:

مناسب ترین جهت گیری در فصول سرد سال (از ماه ژانویه تا می و اکتبر تا دسامبر) به منظور دریافت بیشترین انرژی تابش خورشیدی و بهترین طول گلخانه (کشیدگی رو به جنوب) ۱۰-۲۰ درجه به سمت غرب و شرق مناسب ترین حالت را نشان می دهد.

به نظر می رسد بهترین الگوی شکل گیری ساختار فضایی و عملکردی معماری گلخانه خورشیدی با توجه به نمودارهای به دست آمده با توجه به بالاترین میزان دریافت انرژی خورشیدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و اکتاپوس در نرم افزار گرس هاپر در جهت جنوب بوده با طول ۵ متر و عرض ۰،۵ متر با درصد جدار نور گذر ۵۰٪ باشد اما در بررسی هریک از متغیرها به طور جداگانه بیشترین میزان دریافت انرژی خورشیدی در گلخانه خورشیدی به شرح ذیل است:

گلخانه خورشیدی با جهت گیری در جبهه جنوبی تا ۲۰ درجه به سمت غرب و شرق بیشترین کارایی را از لحاظ جذب انرژی خورشیدی دارد که این امر با افزایش طول گلخانه به جهت افزایش جبهه مناسب تأثیر گذارتر می گردد لذا با توجه به بررسی های انجام شده از میان طول های مورد بررسی (از ۱ تا ۵ متر در بازه های یک متری) طول

11. Carlucci, S., Cattarin, G., Causone, F., & Pagliano, L. (2015). Multi-objective optimization of a nearly zero-energy building based on thermal and visual discomfort minimization using a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II). *Energy and Buildings*, 104, 378-394.

12. Coakley, D., Raftery, P., & Molloy, P. (2012). Calibration of whole building energy simulation models: detailed case study of a naturally ventilated building using hourly measured data. *Building Simulation and Optimization*, 57-64.

13. Eskin, N., & Türkmen, H. (2008). Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey. *Energy and buildings*, 40(5), 763-773.

14. Chiesa, G., Simonetti, M., & Ballada, G. (2017). Potential of attached sunspaces in winter season comparing different technological choices in Central and Southern Europe. *Energy and Buildings*, 138, 377-395.

15. Godoy-Shimizu, D., Steadman, P., Hamilton, I., Donn, M., Evans, S., Moreno, G., & Shayesteh, H. (2018). Energy use and height in office buildings. *Building Research & Information*, 46(8), 845-863.

16. International Energy Agency, Energy Access Outlook 2017, Retrieved October 2016, from: <https://www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017>

17. Jørgensen, O. B., & Hendriksen, O. J. (2000). Glazed balconies and sun spaces—energy savers or energy wasters. *In Proceedings of the Third ISES Europe Solar Congress (Eurosun2000)*, Copenhagen, Denmark, 19-22.

18. Moore, F. (1993). *Environmental control systems: Heating, cooling, lighting, architecture and urban planning series*. New York: McGraw-Hill.

19. Neto, A. H., & Fiorelli, F. A. S. (2008). Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. *Energy and buildings*, 40(12), 2169-2176.

20. Raji, B., Tenpierik, M. J., & Van den Dobbelen, A. (2017). Early-stage design considerations for the energy-efficiency of high-rise office buildings. *Sustainability*, 9(4),

12. Octapost  
13. TmyCreator

## فهرست مراجع

۱. ابراهیم پور، عبدالسلام؛ و معرفت، مهدی. (۱۳۹۰). اصلاح روشی جهت تولید داده های اقلیمی TMY برای شهر تهران، مهندسی مکانیک مدرس، ۱۱ (۲)، ۷۷-۹۱.

۲. ابراهیم پور، عبدالسلام؛ و کسمایی، مرتضی. (۱۳۹۲). تهیه فایل های اقلیمی TMY برای شهرهای مهم ایران، انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

۳. احمدی ندوشن، افشین و بهادری نژاد، مهدی، (۱۳۸۵)، کاهش انرژی برودت و حرارتی مجتمع های مسکونی با استفاده از بادبزن های سقفی، چهاردهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، اصفهان.

۴. رحیم پور، آیدا؛ و رحیمی، مجتبی. (۱۳۹۲). اهمیت و لزوم استفاده از انرژی های نو در ساختمان های مسکونی استان کرمان و طراحی. *ساختمان سبز، اولین همایش ملی انرژی های نو و پاک، همدان*.

۵. لکنر، نربرت. (۱۳۸۵). گرمایش، سرمایش، روشنایی رویکردهای طراحی برای معماران، (محمدعلی کی نژاد و رحمان آذری، مترجمان)، تبریز: انتشارات دانشگاه هنر اسلامی تبریز. (نشر اثر اصلی: ۲۰۰۱)

۶. مازریا، ادورد. (۱۳۸۵). معماری خورشیدی غیرفعال. (بیژن آقازاده، مترجم). تهران: نشر پیک ادبیات.

۷. گیلانی، سارا؛ و محمدکاری، بهروز. (۱۳۹۰). بررسی عملکرد گرمایشی گلخانه های خورشیدی در ساختمان های مسکونی اقلیم سرد نمونه موردی: شهر اردبیل. مهندسی مکانیک مدرس، ۱۱ (۲)، ۱۴۷-۱۵۷.

8. Alzoubi, H. H., & Malkawi, A. T. (2015). The optimal utilization of solar energy in residential buildings in light of the Jordanian building regulations. *Sustainable Cities and Society*, 14, 441-448.

9. Attia, S., Hamdy, M., O'Brien, W., & Carlucci, S. (2013). Computational optimisation for zero energy buildings design interviews results with twenty eight international expert. *In Proceedings of the 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*.

10. Berardi, U. (2017). A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 230-241.

1-28.

21. Taleghani, M., Tenpierik, M. J., & Van den Dobbelen, A. A. J. F. (2012). The effect of different transitional spaces on thermal comfort and energy consumption of residential buildings. In *7th Windsor Conference 2012: The changing context of comfort in an unpredictable world*, Windsor, UK, 12-15 April 2012.

22. Ulpiani, G., Giuliani, D., Romagnoli, A., & di Perna, C. (2017). Experimental monitoring of a sunspace applied to a

NZEB mock-up: Assessing and comparing the energy benefits of different configurations. *Energy and Buildings*, 152, 194-215.

23. Yu, J., Yang, C., & Tian, L. (2008). Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China. *Energy and Buildings*, 40(8), 1536-1546.

24. ZEDFactory (2016), Retrieved April 2022, from <https://www.zedfactory.com/zero-bills-home>

#### COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.





# Energy Parametric Analysis of Sunspace Heating Performance of Building in Cold Climate (Case Study: Sanandaj)

*Parisa Abdolkhaleghi, Ph.D. Candidate in Architecture, Department of Architecture, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish Island, Iran.*

*Jaleh Sabernejad\*, Assistant Professor of Architecture, Faculty of Architecture, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

*Rima Fayaz, Associate Professor of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Arts, Tehran, Iran.*

## Abstract

Increasing energy consumption in buildings has resulted in environmental issues and has led many researchers to explore ways to reduce fossil fuel consumption. One of the most cost-effective and logical ways to use energy resources in residential buildings is to use passive solar systems such as sunspaces. Sunspaces are passive systems that can easily be integrated into the structure of a building, whether it is under construction or already completed. The primary role of passive sunspace systems is to collect solar energy, accumulate it inside, and transfer it to other living areas. In addition, sunspaces also serve as buffer zones, protecting the indoor space from excessive heat loss. The design of a building with a sunspace can be improved if optimization algorithms accompany the method of energy performance simulation. Building optimization can include a variety of goals, such as energy, environmental, economic, etc. The use of passive systems in residential buildings can provide a substantial portion of passive solar heating, but the degree of efficiency of sunlight depends on numerous parameters, such as climatic parameters. This paper presents the effects of sunspaces on energy gain and reducing energy consumption. The best-known static methods, such as those used in the EN ISO 13790 standard, do not yield sufficiently accurate results. Dynamic simulation methods that can determine the energy needs of buildings more precisely require computer support and more time for the simulation to be performed. The energy performance of the sunspace was calculated using parametric modeling in Grasshopper software and Rhino software, and energy simulation was carried out using Energy plus. Simulations were performed according to the climate of Sanandaj, which is located in a cold climate area. Meteorological data considered in the model represent a meteorological year. The proposed performance optimization method utilizes various tools and technologies, including parametric design, building simulation modeling, and Genetic Algorithms. To achieve simulation goals, different models of sunspace with different dimensions and orientations in Sanandaj have been studied. Modifications of the models included different proportions of sunspace dimensions, orientations, and the use of different thermal insulations. The orientation towards the south receives the highest energy, and with a 20 degrees rotation to the west or east, the highest amount of energy can be gained. Examination of sunspace models with three percentages of window-to-wall ratio: 40%, 50%, and 60% showed that the 50% percent WWR is more desirable than other models. The highest increase in energy absorption to help reduce the heating load during the cold season occurs when the sunspace has the most extended length, i.e., 5 meters, because in this case, the southward is increased, and the desired depth is 1 meter, while by reducing or increasing this amount, solar energy gain is reduced. Also, to improve the performance of the sunspace, the use of conventional thermal insulation has been investigated. Polyurethane with a thickness of 10 cm has the lowest efficiency in reducing energy consumption in the sunspace, while other insulating materials with similar thicknesses are effective.

**Keywords:** Sunspace, Residential Building, Energy Performance, Cold Climate, Sanandaj City.

\* Corresponding Author Email: [j\\_sabernejad@azad.ac.ir](mailto:j_sabernejad@azad.ac.ir)