

بهینه‌یابی فرم گلخانه خورشیدی در یک ساختمان مسکونی کارآمد انرژی در شهر تبریز

احمدرضا کشتکار قلاتی^۱، الهه عبدالی^۲

چکیده

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱ / ۰۲ / ۱۴

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲ / ۰۵ / ۰۳

کلمات کلیدی:
کاهش مصرف انرژی
گلخانه خورشیدی
ساختمان مسکونی
اقلیم سرد و خشک تبریز

هدف این مقاله، بهینه‌یابی فرم گلخانه خورشیدی در یک ساختمان مسکونی کارآمد انرژی در شهر تبریز است. برای این منظور از روش تحقیق توصیفی تحلیلی و همچنین نیمه تجربی (شبیه‌سازی) استفاده گردیده است. بدین ترتیب که ابتدا اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای جمع‌آوری و دسته‌بندی شده و سپس در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و با استفاده از موتور شبیه‌ساز انرژی‌پلاس تحلیل گردیده و مصرف انرژی در حالت‌های مختلف: شرایط استفاده از گلخانه خورشیدی، استفاده از عایقکاری و پنجره دوجداره، بهره‌گیری از گلخانه خورشیدی همراه با عایقکاری (در دو حالت تهویه طبیعی و مصنوعی) بررسی و حالت‌های مختلف گلخانه از نظر مصالح، فرم و ابعاد با هم مقایسه شده و شرایط بهینه سامانه استخراج گردیده است. نتیجه آن که با مقایسه حالات مختلف می‌توان گفت حالت بهینه بهره‌گیری از گلخانه خورشیدی برای یک ساختمان کارآمد انرژی در اقلیم سرد و خشک تبریز، گلخانه‌ای با فرم مستطیل با ضلع بیشینه ۳۰ متر رو جنوب و با عایق پشم سنگ است که در آن از پنجره دوجداره با شیشه به ضخامت ۴ و ۶ میلیمتر و گاز آرگون استفاده شده است.

۱. استادیار معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه خوارزمی، تهران
A.keshtkar@khu.ac.ir

۲. دانشآموخته کارشناسی ارشد معماری و انرژی، مؤسسه آموزش عالی رسام، کرج، ایران

۱. مقدمه

بحран انرژی و سوخت‌های فسیلی از مسائل مهمی است که با عدم توجه به محیط بومی و اقلیمی ضمن مصرف زیاد منابع انرژی و سوخت‌های فسیلی سبب آلودگی محیط زیست شده است (Solaymani, 2021). افزایش بحران آلاینده‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی، موجب افزایش توجه به فاکتورهای زیستمحیطی و استفاده از انرژی تجدیدپذیر شده است (عباسپور، ۱۳۷۲). منابع انرژی تجدیدپذیر محدودیت نداشته و به اتمام نمی‌رسند و اگر به طور صحیح به کار گرفته شوند، منابع انرژی پایدار و بی‌ضرر خواهد بود (ورشوساز و همکاران، ۱۳۹۴)، در مقابل منابع سوخت‌های فسیلی محدود بوده و با استخراج و مصرف به پایان می‌رسند (Hund et al., 2020). در میان انواع مختلف ساختمان کاربری مسکونی، بیشترین سهم مصرف انرژی را دارد به طوری که ۱۵ تا ۲۰ درصد از کل انرژی مصرف شده صرف گرمایش، سرمایش و تهویه می‌شود (نصراللهی، ۱۳۸۹). امروزه یکی از گرینه‌ها برای استفاده بهینه از انرژی‌های تجدیدپذیر فناوری جذب پرتوهای خورشیدی و تبدیل این انرژی تابشی به انرژی الکتریکی می‌باشد (Nfaoui and El-Hami, 2018). استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی علاوه بر کاهش هزینه‌ها، کیفیت زندگی را نیز ارتقاء داده (پاکان‌زاد، صیقلانی، ۱۳۹۵) و موجب کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و تولید دی‌اکسید کربن می‌شود (Chel and Kaushik, 2018). از آنجا که بخش عمده مصرف انرژی در بخش ساختمان است شناخت کاربردی سامانه‌های بهینه‌سازی در ساختمان‌ها، یک ضرورت است. یکی از گونه‌های انرژی که به راحتی در ساختمان قابل استفاده است، انرژی خورشید می‌باشد (قیابکلو، ۱۳۹۱). انرژی خورشید یکی از انرژی‌های طبیعی و تجدیدپذیر و در دسترس بوده و به سبب مزایای ویژه‌ای که دارد نقش به سزایی در طراحی ساختمان‌های پایدار با حداقل مصرف انرژی به خصوص در اقلیم سرد ایفا می‌کند (نسیم سبحان، ۱۳۹۴). از آنجا که دامنه دمای مجاز در یک فضای خورشیدی از حدود ۳۲ درجه سانتیگراد در یک روز آفتابی تا یک حداقل ۱۰ درجه سانتیگراد در طول شب زمستان می‌باشد این سامانه می‌تواند به عنوان یک فضای نشیمن الحاقی مورد توجه قرار گیرد (لکن، ۱۳۸۵). گلخانه خورشیدی در فصل زمستان منطقه حائل بین خانه و فضای خارجی بوده که اجازه ورود تابش خورشید را می‌دهد (مصلحی، ۱۳۹۲) و گاهی قسمتی از یک ساختمان بزرگتر و در پاره‌ای موارد الحاقی بوده و می‌تواند ترکیبی از سامانه‌های دریافت مستقیم و غیرمستقیم باشد. در این حالت گلخانه در طرف جنوبی ساختمان با دیوار سنگین مستقل ساخته شده و از آنجا که مستقیماً به‌واسطه نور خورشید گرم می‌شود، عملکرد آن به عنوان سامانه دریافت مستقیم به شمار می‌آید، اما فضای مجاور گلخانه گرمای آن را از دیوار و به صورت غیرمستقیم دریافت می‌کند (مازريا، ۱۳۸۵). این سامانه از متنوع‌ترین و فراگیرترین سامانه‌های ایستا می‌باشد که گرمای خورشید را به فضای کار و زندگی منتقل می‌نماید (صدقی و مفیدی شمیرانی، ۱۳۸۵). گلخانه خورشیدی با پنج ویترن کلی از گلخانه‌های عادی مرسوم متمایز می‌گردد؛ جهت گلخانه و شیب پوشش‌های شفاف آن برای دریافت حداکثر گرمای خورشیدی در زمستان؛ استفاده از مواد ذیخیره و حفظ کننده گرمای خورشید؛ عایق‌بندی قوی در بخش‌هایی که تابش مستقیم خورشید ناچیز بوده و یا وجود ندارد؛ نصب پوشش‌های شفاف به منظور به حداقل رساندن پرت حرارتی؛ تکیه بر تهویه طبیعی برای خنک کردن گلخانه در تابستان (فخارزاده و نبیرف، ۱۳۸۴). این پژوهش در پیدا کردن راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و استفاده بهینه از سامانه غیرفعال خورشیدی در فضاهای مسکونی و در شرایط اقلیمی شهر تبریز است. برای این منظور از روش تحقیق توصیفی تحلیلی و همچنین نیمه تجربی (شبیه‌سازی) استفاده گردیده است. بدین ترتیب که ابتدا اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای جمع‌آوری و دسته‌بندی شده و سپس با استفاده از این اطلاعات داده‌ها در نرمافزار دیزاین بیlder و با استفاده از موتور شبیه‌ساز انرژی‌پلاس تحلیل گردیده و مصرف انرژی در حالت‌های مختلف وضع موجود، شرایط استفاده از گلخانه خورشیدی، استفاده از عایقکاری و پنجره دوجداره، بهره‌گیری از گلخانه خورشیدی همراه با عایقکاری (در دو حالت تهویه داخلی از طریق دریچه و پنجره) و در آخر حالت‌های مختلف گلخانه از نظر مصالح، فرم و ابعاد با هم مقایسه شده و شرایط بهینه سامانه استخراج گردیده است.

۲. پیشینه پژوهش

پژوهش‌های زیادی در ابعاد مختلف موضوع صورت گرفته است که می‌توان آن‌ها را در چند بخش کلی شامل: ۱- نسبت مناسب جدار شفاف به دیوار و کف؛ ۲- نور روز و عمق نفوذ نور؛ ۳- ملاحظات پنجره (بررسی خصوصیات پنجره شامل نوع شیشه، قاب و الحالات) تقسیم‌بندی نمود. برخی از نمونه پژوهش‌ها مهم و کاربردی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. پیشینه تحقیق

هدف	عنوان	مؤلف
تحلیل کاربرد گلخانه جهت صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی	مقایسه دو فرم مدولار گلخانه از دید حرارت و نور	(فیاض و متصرس کوهساری، ۱۳۹۲)
بررسی عملکرد گرمایشی گلخانه‌های خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد (نمونه موردی: اردبیل)	بررسی عملکرد گرمایشی سامانه گلخانه خورشیدی در اقلیم سرد و یافتن جهت گیری بهینه ساختمان	(گیلانی و محمدکاری، ۱۳۹۰)
تحلیل الگوی دهیز، دیوار ترومپ و گلخانه خورشیدی در بهره‌وری انرژی	تحلیل روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی	(مدیر روستا، ۱۳۹۳)
بررسی مدل بهینه گلخانه خورشیدی در کرمانشاه اقلیم معتدل و کوهستانی کشور (نمونه موردی: شهر کرمانشاه)	ازیابی مدل بهینه گلخانه خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی	(حیدری و همکاران، ۱۳۹۵)
چارچوب بهینه گلخانه خورشیدی مبتنی بر عملکرد انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد (مطالعه موردی: سنندج)	جهت و طول مناسب گلخانه در فصول سرد	(عبدالحقی و همکاران، ۱۳۹۹)
جهت‌بندی فن‌آوری‌های انرژی در ساختمان مطالعه شیوه‌های دریافت و بازیافت انرژی در چرخه یک ساختمان	فن‌آوری‌های صرفه‌جویی انرژی در ساختمان	(Zografakis, 2000)
بررسی عملکرد بازتابنده تقویت کننده در بهبود عملکرد کلکتورهای خورشیدی	چرخه زندگی ساختمان صفر انرژی (دریافت انرژی و پتانسیل بازیافت آن)	(Thormark, 2002)
بازیابی گرمایش هوا در چارچوب مفهوم خانه غیرفعال جهت گرمایش	بهره‌گیری از سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در	(Feist et al, 2014)
عملکرد پایداری انرژی یک گلخانه خورشیدی با پوشش لغزشی	عملکرد پایداری انرژی یک گلخانه خورشیدی با پوشش	(Tong et al, 2018)
مقایسه انواع گلخانه	طراحی کنترل بهینه برای گلخانه خورشیدی	(Van Ooteghem et al, 2003); (Van Ooteghem et al, 2005); (Van Ooteghem, 2007)
اندازه‌گیری دما در یک گلخانه با یک لایه نازک پلاستیکی در روز و یک لحاف حرارتی در شب	مدل سازی عددی تغیرات دما در گلخانه خورشیدی	(Tong et al, 2009)
ازیابی کارآئی گلخانه خورشیدی در شبیه‌سازی ساختمان در طول دوره گرمایش	شبیه‌سازی رفتار یک آپارتمان مجهز به فضای خورشیدی	(Asdrubali et al, 2012)
استفاده از ذخیره انرژی گرمایی زیرزمینی برای ذخیره فصلی و مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره کوتاه مدت	استراتژی‌های مؤثر ذخیره انرژی حرارتی برای گلخانه بسته خورشیدی	(Vadiee and Martin, 2013)
بررسی اثر مواد تغییر فاز دهنده بر محیط گرمایی گلخانه	تنظیم کننده اثرات تغییر فاز در محیط گرمایی گلخانه خورشیدی به سبک چینی	(Li et al, 2014)
بررسی طرح‌های ممکن جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی برای ساختمان‌های موجود با رویکرد صفر	طرح بازسازی ساختمان‌های موجود با رویکرد صفر انرژی	(Aksamija, 2015)
مقایسه پنج نوع گلخانه خورشیدی در آب و هوای سرد و ارزیابی نوع مطلوب با توجه به اندازه، موقعیت و مکان	استفاده از گلخانه خورشیدی در آب و هوای سرد و تشعشع خورشیدی کل در گلخانه	(Çakır et al, 2015)
انرات سبک باز شدن پنجره بر محیط داخلی گلخانه	انرات سبک باز شدن پنجره بر محیط داخلی گلخانه خورشیدی بر اساس شبیه‌سازی CFD	(Sun et al, 2020)

۳. مبانی نظری

استفاده از انرژی‌های نو راهکار مناسبی برای کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی است (Gielen. et al, 2019). یکی از این سامانه‌ها نمونه‌های خورشیدی در ساختمان‌هاست به دو نوع فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی نمود (Shojaee, 2008). راهکارهای غیرفعال شامل استفاده از شکل و انواع مواد تشکیل دهنده اجزای ساختمان است، در حالی که راهکارهای فعال از سامانه‌های مکانیکی استفاده می‌کنند (بهبهانی نیا و صیفی کار، ۱۳۹۱). این سامانه‌ها با وجود وجه تمایز و اشتراکاتی که دارند دارای تفاوت‌های ساختاری نیز هستند (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه سامانه‌های فعال و غیر فعال خورشیدی

غير فعال	فعال
عدم نیاز به سامانه‌های تولید، جمع‌آوری و توزیع مکانیکی	نیاز به تجهیزات (کلکتور خورشیدی، لوله‌کشی و پمپ گردش آب)
هزینه طراحی و اجرای پایین	هزینه سرمایه‌گذاری و نگهداری بالا
طراحی خاص پیش از ساخت	عدم نیاز به زیرساخت
فرم، محل استقرار و ذخیره کننده گرما مانند دیوار، سقف و جدارهای شیشه‌ای	امکان بهره‌گیری در ساختمان‌های موجود
گرمایش و سرمایش (تهویه طبیعی)	تأمین الکتریسته، گرمایش و سرمایش

عوامل مختلفی بر کارآیی و عملکرد سامانه‌های خورشیدی مؤثر هستند که می‌تواند بر میزان و چگونگی دریافت انرژی خورشیدی به طور مستقیم یا غیر مستقیم تأثیرگذار باشد (Novas, N. et al, 2021). جدول ۳ عوامل مؤثر در کارآیی و عملکرد سامانه‌های خورشیدی را نشان داده است.

جدول ۳. عوامل مؤثر در کارآیی و عملکرد سامانه‌های خورشیدی

اجزاء	عوامل
سامانه‌های فعال یا غیر فعال (مستقیم و غیرمستقیم)	روش استفاده از انرژی خورشیدی
عرض و طول جغرافیایی، متوسط ماهیانه دما و... شدت، مدت زمان و سطح انرژی تابش	شرایط اقلیمی منطقه
وضعیت و مشخصات محیط اطراف محل نصب و زوایای سامانه‌ها	موقعیت و جهت استقرار ساختمان و سامانه‌های خورشیدی
نقش کالبد و فرم در میزان و چگونگی دریافت تابش ابعاد و نحوه قرارگیری	هندسه و کالبد ساختمان
قابلیت جذب سطح و میزان ذخیره گرمایی مصالح سامانه غیرفعال خورشیدی برخلاف سامانه‌های فعال از وسائل الکتریکی و مکانیکی استفاده نمی‌کند و به دو دسته جذب مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند (Guo. Et al, 2019). سامانه‌های مجزا (اتاق خورشیدی) نیز می‌توانند جزئی از ساختمان نوساز و یا واحد اضافه شده به اینه قدمی باشند (جدول ۴).	مصالح جداره‌ها

جدول ۴. انواع سامانه‌های غیر فعال خورشیدی

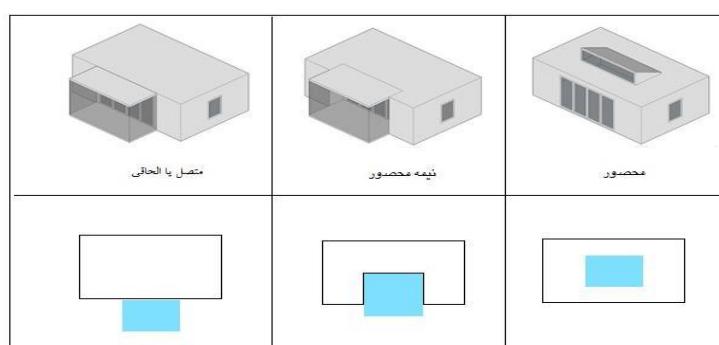
جذب	عملکرد
مستقیم	عبور اشعه خورشید از پنجره‌ها و بازشوها و نورگیرها و پخش در فضاهای داخلی پنجره‌های رو به جنوب (پنجره‌های خورشیدی)، نورگیرهای سقفی و...
غیر مستقیم	ذخیره انرژی خورشید در دیوار سنگین با طرفیت حرارتی بالا (مثلًا دیوار بتی) و پخش در فضاهای داخلی دیوارهای ترومپ مشابه دیوار سنگین با دریچه‌هایی در بالا و پایین و در فالصله کمی از شیشه انتقال گرمای ذخیره شده در دیواره از طریق جابجایی هوا به فضاهای داخلی مواد با چگالی بالا (سنگ، آجر، خشت یا گالن‌های چرب آب) و جداره با رنگ‌آمیزی تیره فالصله بین شیشه و دیوار می‌باشد حداقل در حدود ۸-۱۰ سانتی‌متر برای گردش هوا
مجزا (اتاق خورشیدی)	جزئی از ساختمان نوساز و یا واحد اضافه شده به اینه قدمی توزیع هوای گرم از اتاق خورشیدی به داخل ساختمان از راه دریچه‌های هوارسان سقفی یا کفی و پنجره‌ها

در میان سامانه‌های غیر فعال می‌توان به انواع دیوار ترومپ، دیوار خورشیدی و گلخانه خورشیدی که عملکرد متفاوتی در طول شب و روز دارند (Asdrubali et al, 2012). عملکرد گلخانه بسیار شبیه به دیوار ترومپ است و از طریق تابش و همرفت فضا را گرم می‌کند با این تفاوت که فضای بین جداره شیشه‌ای و جرم حرارتی دیوار یک فضای قابل سکونت است. گلخانه رو به آفتاب که در ارتباط با فضای داخلی ساختمان باشد، علاوه بر کسب انرژی حرارتی خورشید در طول روز، آن را برای شب نیز ذخیره می‌کند (بیت‌اللهی، ۱۳۹۳). جدول ۵ رفتار حرارتی سامانه‌های غیر فعال خورشیدی را در طول شب و روز مقایسه کرده است.

جدول ۵. مقایسه رفتار حرارتی سامانه‌های غیر فعال خورشیدی در طول شب و روز

سامانه	شب	روز
ورود هوای سرد از دریچه پایینی دیوار به محفظه بین دیوار و شیشه بسته شدن دریچه‌ها و قطع جابجایی هوای داخل با فضای بین دیوار انتقال انرژی گرمایی روز به فضای داخلی		
ورود هوای سرد از دریچه پایینی دیوار به دودکش بسته شدن دریچه انتهای دودکش و باز شدن دریچه بالای دیوار ورود هوای گرم داخل دودکش به فضای داخلی		
ورود هوای سرد از دریچه پایین و گرم شدن بر اثر تابش خورشید حرکت هوای گرم شده به سمت بالا و خروج از انتهای دودکش ایجاد تهویه طبیعی و خنک شدن فضاهای اطراف دودکش خورشیدی		
بستن دریچه‌های دیوار جاذب در طول شب ورود هوای سرد از دریچه پایین و گرم شدن بر اثر تابش خورشید ورود هوای گرم شده از دریچه بالای دیوار به فضای داخلی		

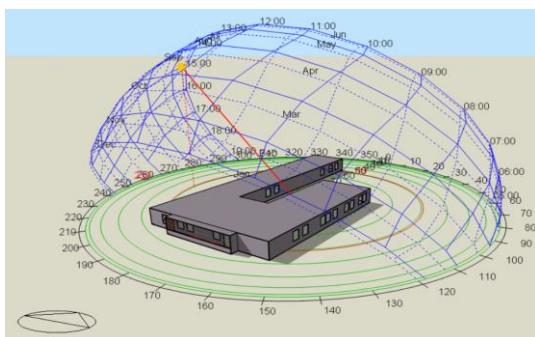
انتقال گرما از گلخانه خورشیدی به فضاهای مجاور توسط یک دیوار مشترک یا بازشوهای موجود با جریان همرفت صورت می‌گیرد. به طور کلی سه شیوه متفاوت برای ارتباط کالبدی گلخانه خورشیدی با ساختمان وجود دارد که بر مبنای میزان محصوریت، به انواع مختلف متصل یا الحاقی، نیمه محصور و محصور دسته بندی می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱. سه شیوه ارتباط کالبدی گلخانه خورشیدی با ساختمان (لکن، ۱۳۸۵)

۴. نتایج اجرای مدل

ساختمان مورد مطالعه یک ساختمان مسکونی در تبریز است که بخشی از طبقه همکف آن مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل ۲ مدل شماتیک ساختمان مورد مطالعه را نشان داده است.



شکل ۲. مدل شماتیک ساختمان مورد مطالعه

همچنین جدول ۶ مشخصات مصالح ساختمان مورد مطالعه را نشان داده است.

جدول ۶ مشخصات مصالح ساختمان مورد مطالعه

پنجره	دیوار مشترک	دیوار خارجی بالکن	کف
شیشه دوجداره (ضخامت ۲ و ۴ میلیمتر)	نمای سنگ (۲ سانتیمتر) ملات ماسه و سیمان (۳ سانتیمتر) آجر سفال (۱۵ سانتیمتر) ملات ماسه و سیمان (۳ سانتیمتر) اندود گچ و خاک (۲ سانتیمتر) اندود گچ سفید (۱ سانتیمتر)	آجر سفال (۱۵ سانتیمتر) ملات ماسه و سیمان (۲ سانتیمتر) نمای سنگ (۲ سانتیمتر) ملات ماسه و سیمان (۳ سانتیمتر) پوشش نهایی سرامیک (۲ سانتیمتر)	سقف با ضخامت (۳۰ سانتیمتر) تیرچه و فوم (۲۵ سانتیمتر) + بتون (۵ سانتیمتر) فوم بتون (۱۰ سانتیمتر) ایزوجام (۱ سانتیمتر) ملات ماسه و سیمان (۳ سانتیمتر) پوشش نهایی سرامیک (۲ سانتیمتر)

در شبیه‌سازی در حالت پایه و معمول ساختمان با بررسی نتایج مشخص شد، که برای گرمایش فضا ۱۱۶/۶۰۶ و در مجموع برای سرمایش و گرمایش فضا ۱۲۶/۴۵۳ کیلو وات بر ساعت انرژی مصرف خواهد شد.

جدول ۷. مجموع انرژی سامانه گرمایش و سرمایش به صورت ماهیانه

Date/Time	مجموع انرژی سامانه گرمایش و گرمایش (kWh)	انرژی سامانه گرمایش (kWh)	انرژی سامانه سرمایش (kWh)
January	۲۶۸۰.۸	۰	۲۶۸۰.۸
February	۲۰۹۰.۴	۰	۲۰۹۰.۴
March	۱۳۷۵.۰	۰	۱۳۷۵.۰
April	۷۶۴۶	۰	۷۶۴۶
May	۲۰۸۹	۳۸۶	۱۷۰۲
June	۲۰۴۲	۱۸۴۳	۱۹۹
July	۳۱۰۵	۳۱۰۵	۰
August	۳۰۴۶	۳۰۴۶	۰
September	۱۵۱۱	۱۵۱۱	۰
October	۳۰۳۱	۱۹۵	۲۸۳۷
November	۱۱۶۹۱	۰	۱۱۶۹۱
December	۲۲۴۱۶	۰	۲۲۴۱۶
سالانه	۱۱۸۰۳۷	۱۰۰۸۶	۱۰۷۹۵۲

شبیه‌سازی با در نظر گرفتن گلخانه خورشیدی: استفاده از گلخانه با نمای شیشه‌ای ۵۰٪ بازشو در بالکن جنوبی ساختمان باعث شد در زمستان هوای گرم از طریق دریچه‌های دیوار مشترک وارد ساختمان شده و موجب گرمایش فضای شود. همچنین در فصول گرم دریچه‌ها باز بوده و موجب خنک‌سازی فضای گردد (جدول ۷).

در حالت گلخانه خورشیدی انرژی سامانه گرمایش ۷/۴ درصد کاهش و در مجموع مصرف انرژی سرمایش و گرمایش ۶/۷ درصد کاهش یافته است.

شبیه‌سازی با در نظر گرفتن گلخانه خورشیدی و مصالح عایق‌بندی شده: در این حالت از عایق پشم سنگ (در کف، دیوار مشترک و دیوار خارجی بالکن) و همچنین از پنجره دوجداره در نرم‌افزار شبیه‌سازی استفاده گردید (جدول ۸).

جدول ۸. مشخصات مصالح در حالت عایق‌بندی شده

پنجره	دیوار مشترک	دیوار خارجی بالکن	کف
نمای سنگ ۲ سانتیمتر	آجر سفال ۱۵ سانتیمتر	آجر سفال ۱۵ سانتیمتر	سقف با ضخامت ۳۰ سانتیمتر
دوچداره با شیشه به	آجر سفال ۱۵ سانتیمتر	آجر حراتی (پشم سنگ) ۱۰ سانتیمتر	عایق حرارتی (پشم سنگ) ۱۰ سانتیمتر
ضاخته ۴ و ۶ میلیمتر	ضاخته ۵ سانتیمتر	ضاخته ۱۰ سانتیمتر	فوام بتون
گاز آرگون	اندود گچ و خاک ۲ سانتیمتر	نمای سنگ ۲ سانتیمتر	ایزوگام ۱ سانتیمتر
	اندود گچ سفید ۱ سانتیمتر		پوشش نهایی (سرامیک تیره رنگ) ۲ سانتیمتر
مأخذ: نگارندگان			

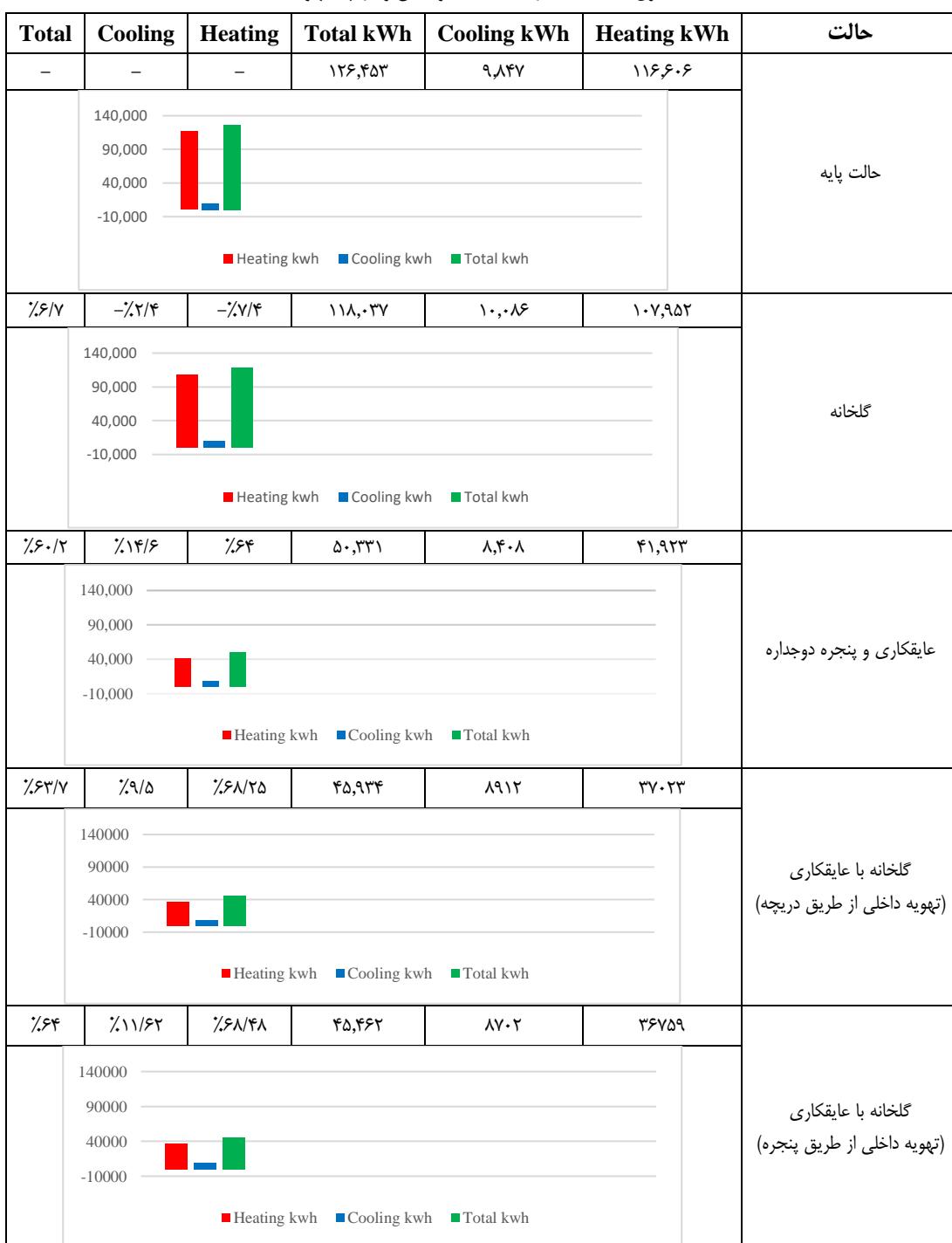
نتایج شبیه‌سازی نشان داد که انرژی مصرفی سامانه گرمایش از ۷/۴ به ۶۴/۵۶ درصد نسبت به حالت قبل) کاهش یافته و در مجموع ۶۰/۲ درصد انرژی کمتری مصرف شده است.

جدول ۹. نتایج انتقال حرارت از دیوار خارجی، سقف عایق‌بندی شده و شیشه دوجداره در ماههای مختلف سال



شبیه سازی ساختمان با گلخانه خورشیدی و مصالح عایق بندی شده با دریچه تهویه و بدون دریچه تهویه: در این حالت از ۱۰ سانتی متر عایق پشم سنگ برای سقف و دیوار و ۵ سانتی متر برای دیوار خارجی بالکن، و از دریچه به ابعاد ۳۰ در ۵۰ سانتی متر برای تهویه استفاده گردید. نتایج انتقال حرارت از دیوار خارجی، سقف و شیشه دوجداره در ماههای مختلف سال مطابق جدول ۹ می باشد. مطابق نتایج، با عایقکاری و تعویض پنجره اتلاف حرارت از دیوار ۷۸ درصد، از سقف ۳۱ درصد و از شیشه ۳۸ درصد کاهش یافته است.

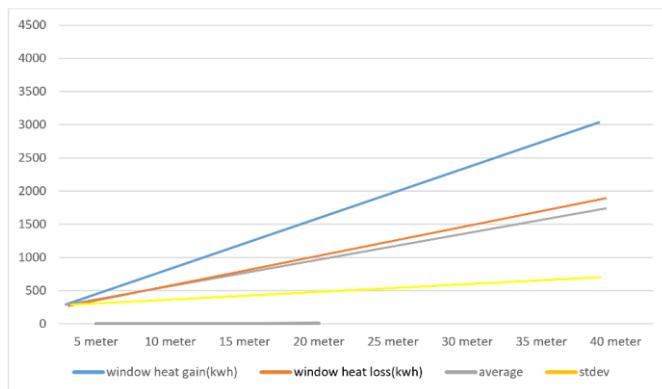
جدول ۱۰. شبیه سازی با گلخانه و عایق و دریچه تهویه



با مقایسه شبیه سازی گلخانه در دو حالت با دریچه و بدون دریچه و فقط استفاده از پنجره های موجود در گلخانه جهت تهویه و گردش هوا تأثیر و تفاوت زیادی مشاهده نشد، پس هم می توان از دریچه و هم از پنجره ها به تنها بی و یا ترکیب با یکدیگر در طراحی گلخانه استفاده

کرد. همچنین نتایج نشان داد که با عایقکاری و تعویض پنجره، انرژی سامانه سرمایش ۱۴/۶، انرژی سامانه گرمایش ۶۴ و مجموع انرژی سامانه سرمایش و گرمایش ۶۰/۲ درصد کاهش یافته است.

شبیه‌سازی گلخانه با ابعاد و فرم متفاوت: در شبیه‌سازی حالات فرم گلخانه، ابعاد مختلف طول از ۵ متر تا ۴۰ متر مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳. تأثیر افزایش طول گلخانه در دریافت و اتلاف انرژی

با توجه به شکل ۳ هرچه طول گلخانه افزایش یابد، سطح رو به جنوب بیشتری خواهیم داشت و در نتیجه میزان انرژی دریافتی توسط گلخانه نیز افزایش می‌یابد. اما افزایش سطح شبیه‌سازی باعث افزایش اتلاف انرژی در طول شب نیز می‌شود، برای درک بهتر تأثیر افزایش طول گلخانه در عملکرد آن، میزان انحراف معیار استاندارد برای طول‌های مختلف گلخانه محاسبه گردید. همان‌گونه که در نمودار مشخص است، نمودار انحراف معیار تا طول ۲۰ متر منطبق بر نمودار میانگین دریافت و اتلاف انرژی می‌باشد که این امر بیانگر این است که مقدار افزایش طول تا ۲۰ متر تأثیر منفی در کارکرد گلخانه نخواهد داشت. اما با افزایش طول گلخانه به میزان بیش از ۲۰ متر، نمودار انحراف معیار به زیر خط میانگین میل می‌کند؛ هرچند این میزان تا طول ۲۵ متر ناچیز است اما از طول ۳۰ متر به بعد محسوس می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش طول بیش از ۳۰ متر، با توجه به افزایش میزان اتلاف انرژی چندان مفید نیست.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج نشان داد که در شرایط اقلیمی شهر تبریز، استفاده از گرمایش گلخانه‌های خورشیدی برای دستیابی به شرایط آسایش در ماه‌های سرد سال توجیه‌پذیر است و تأثیر برخی متغیرهای معماری در تلفیق با سامانه گلخانه خورشیدی، موجب تقویت کارآیی گردیده و تأثیر مستقیم در کاهش مصرف اتلاف انرژی سالیانه دارند. همچنین با مقایسه حالات مختلف می‌توان گفت حالت بهینه بهره‌گیری از گلخانه خورشیدی برای یک ساختمان کارآمد انرژی در اقلیم سرد و خشک تبریز، گلخانه‌ای با فرم مستطیل با خلع بیشینه ۳۰ متر رو جنوب و با عایق پشم سنگ است که در آن از پنجره دوجداره با شبیه‌سازی به ضخامت ۶ و ۶ میلیمتر و گاز آرگون استفاده شده است. خلاصه نتایج شبیه‌سازی در جدول ۱۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱۱. خلاصه نتایج شبیه‌سازی

حال	گلخانه عایقکاری و تهویه طبیعی	گلخانه عایقکاری و تهویه مکانیکی	گلخانه عادی	عایقکاری و پنجره دوجداره	پایه
Heating kWh	۳۶۷۵۹	۳۷۰۲۳	۱۰۷,۹۵۲	۴۱,۹۲۳	۱۱۶,۶۰,۶
Cooling kWh	۸۷۰۲	۸۹۱۲	۱۰,۰۸۶	۸,۴۰۸	۹,۸۴۷
Total kWh	۴۵,۴۶۲	۴۵,۹۳۴	۱۱۸,۰۳۷	۵۰,۳۳۱	۱۲۶,۴۵۳
% Heating	٪۶۸/۴۸	٪۶۸/۲۵	٪۷/۴	٪۶۴	-
% Cooling	٪۱۱/۶۲	٪۹/۵	-٪۲/۴	٪۱۴/۶	-
% Total	٪۶۴	٪۶۳/۷	٪۶/۷	٪۶۰/۲	-

منابع

- [۱] بیت‌اللهی، فرزاد. عابدی، افسین (۱۳۹۳). «کاربرد انرژی خورشیدی در ساختمانها»، سازمان نظام مهندسی ساختمان استان اصفهان، نشریه فنی تخصصی دانش نما، ویژه نامه ساختمان پایدار، سال بیست و دوم، دوره سوم اسفند ماه.
- [۲] پاکان‌زاد، سیده آرزو. باقری صیقلانی، بیتا (۱۳۹۴). "نقش جداره جنوبی ساختمان در بهره‌وری مصرف انرژی با استفاده از سامانه‌های ایستا (غیر فعال خورشیدی)"، کنفرانس بین‌المللی انسان، معماری، عمران و شهر، تبریز.
- [۳] حیدری، شاهین. مهدی مقدسی، محمد. شاهچراغی، آزاده. داشجو، خسرو (۱۳۹۵). "ازیابی مدل بهینه گلخانه خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و کوهستانی کشور (نمونه موردی: شهر کرمانشاه)"، نشریه مدیریت شهری، ۴۵: ۵۰۴-۴۸۹.
- [۴] صدوqi، آرزو و مفیدی شمیرانی، مجید (۱۳۸۵). "گلخانه نوین خورشیدی". پنجمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران.
- [۵] عباسپور، مجید (۱۳۸۹) "مهندسی محیط زیست". جلد دوم. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
- [۶] عبدالحالقی، پریسا. صابریزاد، ژاله. فیاض، ریما (۱۳۹۹). "چارچوب بهینه گلخانه خورشیدی مبتنی بر عملکرد انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد ایران (مطالعه موردی: شهر سنندج)". نشریه مطالعات محیطی هفت حصار، ۳۶: ۱۸-۵.
- [۷] فیاض، ریما. متصر کوهساری، آیدا (۱۳۹۲). "تحلیل کاربرد گلخانه جهت صرفه جویی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی"، سومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.
- [۸] فخارزاده، سیداحمد و نبی‌فر، محمدرضا (۱۳۸۴). "گلخانه‌های خورشیدی راهکاری مناسب برای بهینه‌سازی مصرف سوخت در زمینه کشاورزی"، چهارمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. تهران.
- [۹] قیباکلو، زهرا (۱۳۹۱). "مبانی فیزیک ساختمان تنظیم شرایط محیطی". انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.
- [۱۰] گیلانی، سارا. محمد کاری، بهروز (۱۳۹۰). "بررسی عملکرد گرمایشی گلخانه‌های خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد؛ نمونه موردی: شهر اردبیل"، نشریه مهندسی مکانیک مدرس، ۲: ۱۵۷-۱۴۷.
- [۱۱] لکتر، نربرت (۱۳۸۵). "گرمایش، سرمایش، روشنایی: رویکردهای طراحی برای معماران". ترجمه محمدعلی کی‌نژاد و رحمان آذری. انتشارات دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- [۱۲] مدیرروستا، سما (۱۳۹۳). "تحلیل الگوی آترویوم، دیوار ترومپ و گلخانه خورشیدی در بهینه‌سازی مصرف انرژی". چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.
- [۱۳] مصلحی، حامد. نیازمند، حمید. سعادتی، مهران. و نوروزی جاگرم، الهه (۱۳۹۲). "تأثیر به کارگیری ترکیب مواد تعییر فاز دهنده در پوسته خارجی ساختمان بر کاهش مصرف انرژی سالانه با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی‌پلاس". سومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.
- [۱۴] نسیم سبحان، لیلا. خان‌محمدی، محمدعلی (۱۳۹۴). "اولویتهای بکارگیری سیستم‌های فعال و غیرفعال خورشیدی در ساختمان‌های اقلیم سرد". دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی.
- [۱۵] نصراللهی، فرشاد (۱۳۸۹). "بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان و مسکن، کنفرانس و نمایشگاه بهینه‌سازی انرژی، تهران.
- [۱۶] ورشوساز، کتابون. بهماش، روشنایی. کیانپور، کوثر (۱۳۹۴). "مدیریت انرژی و بهره‌وری ملی در کشور ایران. اولین همایش ملی توسعه پایدار در راهسازی با رویکرد حفظ محیط زیست، شیراز.

- [17] Aksamija, A. (2015). "Regenerative design of existing buildings for net-zero energy use", Procedia Eng. 118: 72–80.
- [18] Asdrubali, Francesco. Cotana, Franco. Messineo, Antonio (2012). "On the Evaluation of Solar Greenhouse Efficiency in Building Simulation during the Heating Period". Journal of Energy, volume 5, page 1864-1880.
- [19] Çakır, Uğur. Şahin, Erol (2015). "Using solar greenhouses in cold climates and evaluating optimum type according to sizing, position and location: A case study". Computers and Electronics in Agriculture. 117: 245-257.
- [20] Chel, Arvind. Kaushik, Geetanjali (2018), "Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building". Alexandria Engineering Journal, 57, 2: 655-669.

- [21] Feist, W. Schnieders, J. Dorer, V. Haas, A. (2005). "Re-inventing air heating: convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept". *Energy Build.* 37 (11): 1186–1203.
- [22] Guo, X. Et al (2019). "Comparison of Direct and Indirect Active Thermal Energy Storage Strategies for Large-Scale Solar Heating Systems". *Energies.* 12 (1948): 1-18.
- [23] Hund K., La Porta D., Fabregas T.P., Laing T., Drexhage J (2020). "Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition". The World Bank Group; Washington, D.C.
- [24] Li, Liguo. Wang, Yuxin. Ren, Wei. Liu, Shuang (2014). "Thermal environment regulating effects of phase change material in Chinese style solar greenhouse". The 6 th International Conference on Applied Energy – ICAE2014.
- [25] Nfaoui, Mohamed. El-Hami, Khalil (2018). "Extracting the maximum energy from solar panels". *Energy Reports* 4: 536–545.
- [26] Novas, N. et all (2021). "Advances in Solar Energy towards Efficient and Sustainable Energy". *Sustainability.* (13 6295): 1-31.
- [27] Shojaee, S. A. R (2008) "Use of active and passive solar systems in residential buildings". WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 113: 273-282.
- [28] Solaymani, S (2021). "A Review on Energy and Renewable Energy Policies in Iran". *Sustainability.* 13, 7328: 1-23.
- [29] Sun, Y., Et al. (2020). "Effects of window opening style on inside environment of solar greenhouse based on CFD simulation". *International Journal of Agricultural and Biological Engineering.* 13, 6: 53-59.
- [30] Thormark, Catarina (2002). "A low energy building in a life cycle: its embodied energy, energy need for operation and recycling potential". *Build. Environ.* 37 (4): 429–435.
- [31] Tong, X., et al. (2018). "Energy sustainability performance of a sliding cover solar greenhouse: Solar energy capture aspects", *Journal Biosystems engineering*, volume176, page 88-102.
- [32] Tong, G. Christopher, D.M. Li, B (2009). "Numerical modelling of temperature variations in a Chinese solar greenhouse, *Journal of computers and electronics in agriculture*". *Journal of computers and electronics in agriculture.* 68: 129-139.
- [33] Tripanagnostopoulos, Y. Soulouitis, M (2005). "Booster reflector contribution to performance improvement of solar collectors". in: Proceedings in CD, International Conference WREC 2005, Aberdeen, UK, 22–27 May, 63–68.
- [34] Van Ooteghem, R.J.C., Stigter, J.D., van Willigenburg, L.G., and van Straten, G. (2003). Optimal control of a solar greenhouse. In *Proceedings of the European Control Conference*. University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.
- [35] Van Ooteghem, R.J.C., van Willigenburg, L.G., and van Straten, G. (2005). Receding horizon optimal control of a solar greenhouse. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 691, 797–806.
- [36] Van Ooteghem, R.J.C. (2007). Optimal control design for a solar greenhouse. Ph.D. thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 304 p.
- [37] Zografakis, N. (2000). "Technologies for rational use and savings of energy in buildings", *Energy.* 62: 112–114 (in Greek).