نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۶، شماره۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه ۵۲-۶۲

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

احمدرضا کشتکار قلاتی[۱]، الهه عبدلی [۲]

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱ / ۰۲ / ۱۴

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲ / ۰۵ / ۰۳

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

چکیده

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. بدین‌ترتیب 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 حلت‌های 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 ۴و 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

۱. مقدمه

بحران 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 بی‌ضرری خواهند 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 گزینه‌ها 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 دی اکسید 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 (لکنر، 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 دریافتی مستقیم به شمار می‌آید، اما فضای مجاور گلخانه گرمای آن را از دیوار و به صورت غیرمستقیم دریافت می‌کند (مازریا، ۱۳۸۵). این سامانه از متنوع‌ترین و فراگیرترین سامانه‌های ایستا می‌باشد که گرمای خورشید را به فضای کار و زندگی منتقل می‌نماید (صدوقی و مفیدی شمیرانی، ۱۳۸۵). گلخانه خورشیدی با پنج ویژگی کلی از گلخانه‌های عادی مرسوم متمایز می‌گردند: جهت گلخانه و شیب پوشش‌های شفاف آن برای دریافت حداکثر گرمای خورشیدی در زمستان؛ استفاده از مواد ذخیره 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 نبیفر، 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 بیلدر 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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 الحاقات) تقسیم‌بندی نمود. برخی از نمونه پژوهش‌ها مهم و کاربردی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱. پیشینه تحقیق

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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 حالی‌که راهکارهای فعال از سامانه‌های مکانیکی استفاده می‌کنند (بهبهانی نیا و صیفی‌کار، ۱۳۹۱). این سامانه‌ها با وجود وجه تمایز و اشتراکاتی که دارند دارای تفاوت‌های ساختاری نیز هستند (جدول ۲).

جدول۲. مقایسه سامانه‌های فعال و غیر فعال خورشیدی

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

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

عوامل	اجزاء
روش استفاده از انرژی خورشیدی	سامانه‌های فعال یا غیر فعال (مستقیم و غیرمستقیم)
شرایط اقلیمی منطقه	عرض و طول جغرافیایی، متوسط ماهیانه دما و...
	شدت، مدت زمان و سطح انرژی تابش
موقعیت و جهت استقرار ساختمان و سامانه‌های خورشیدی	وضعیت و مشخصات محیط اطراف
	محل نصب و زوایای سامانه‌ها
هندسه و کالبد ساختمان	نقش کالبد و فرم در میزان و چگونگی دریافت تابش
	ابعاد و نحوه قرارگیری
مصالح جداره‌ها	قابلیت جذب سطح و میزان ذخیره گرمایی مصالح

سامانه غیرفعال خورشیدی برخلاف سامانه‌های فعال از وسایل 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 ابنیه قدیمی باشند (جدول ۴).

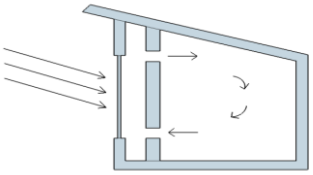
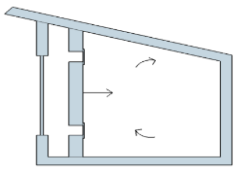
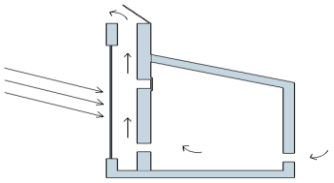
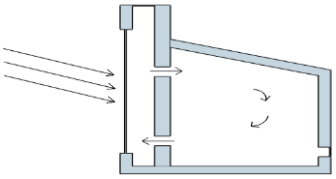
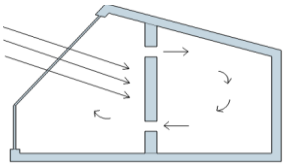
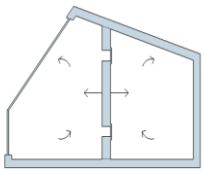
جدول ۴. انواع سامانه‌های غیر فعال خورشیدی

جذب	عملکرد
مستقیم	عبور اشعه خورشید از پنجره‌ها و بازشوها و نورگیرها و پخش در فضاهای داخلی
	پنجره‌های رو به جنوب (پنجره های خورشیدی)، نورگیرهای سقفی و...
	ذخیره انرژی خورشید در دیوار سنگین با ظرفیت حرارتی بالا (مثلاً دیوار بتنی) و پخش در فضاهای داخلی
غیر مستقیم	دیوارهای ترومب مشابه دیوار سنگین با دریچه‌هایی در بالا و پایین و در فاصله 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
	فاصله بین شیشه و دیوار می‌بایست حداقل در حدود۸ تا ۱۰ سانتی‌متر برای گردش هوا
مجزا (اتاق خورشیدی)	جزئی از ساختمان نوساز و یا واحد اضافه شده به ابنیه قدیمی
	توزیع هوای گرم از اتاق خورشیدی به داخل ساختمان از راه دریچه‌های هوارسان سقفی یا کفی و پنجره‌ها

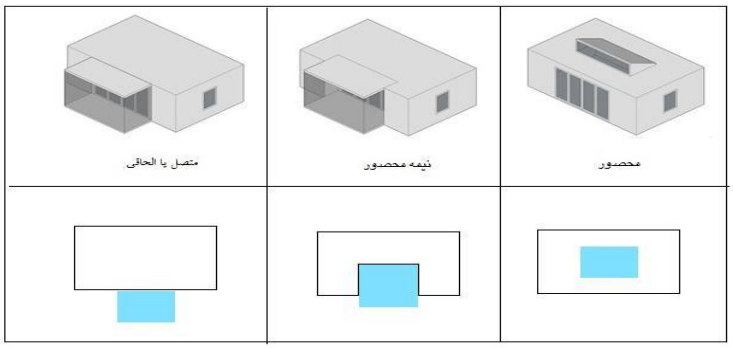
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

در میان سامانه‌های غیر فعال می‌توان به انواع دیوار ترومب، دیوار خورشیدی و گلخانه خورشیدی که عملکرد متفاوتی در طول شب و روز دارند (Asdrubali et al, 2012). عملکرد گلخانه بسیار شبیه به دیوار ترومب 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 (بیت الهی، 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	روز	شب
دیوار ترومب	ورود هوای سرد از دریچه پایینی دیوار به محفظه بین دیوار و شیشه گرمایش بر اثر گرمای خورشید حرکت هوای گرم به بالا و ورود به فضا از دریچه بالای دیوار 	بسته شدن دریچه‌ها و قطع جابجایی هوای داخل با فضای بین دیوار انتقال انرژی گرمایی روز به فضای داخلی 
دیوار خورشیدی	ورود هوای سرد از دریچه پایینی دیوار به دودکش 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 	بسته شدن دریچه انتهای دودکش و باز شدن دریچه بالای دیوار ورود هوای گرم داخل دودکش به فضای داخلی 
گلخانه خورشیدی	ورود هوای سرد از دریچه پایین و گرم شدن بر اثر تابش خورشید ورود هوای گرم شده از دریچه بالای دیوار به فضای داخلی 	بستن دریچه های دیوار جاذب در طول شب 

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).

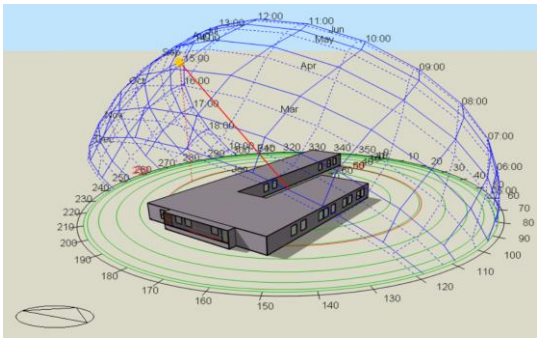


شکل ۱. سه شیوه ارتباط کالبدی گلخانه خورشیدی با ساختمان (لکنر، ۱۳۸۵)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

٤. 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

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

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 سرمایش و گرمایش (kWh)	انرژی سامانه سرمایش (kWh)	انرژی سامانه گرمایش (kWh)
January	۲۶۸۰۸	۰	۲۶۸۰۸
February	۲۰۹۰۴	۰	۲۰۹۰۴
March	۱۳۷۵۰	۰	۱۳۷۵۰
April	۷۶۴۶	۰	۷۶۴۶
May	۱۷۰۲	۳۸۶	۲۰۸۹
June	۱۹۹	۱۸۴۳	۲۰۴۲
July	۰	۳۱۰۵	۳۱۰۵
August	۰	۳۰۴۶	۳۰۴۶
September	۰	۱۵۱۱	۱۵۱۱
October	۲۸۳۷	۱۹۵	۳۰۳۱
November	۱۱۶۹۱	۰	۱۱۶۹۱
December	۲۲۴۱۶	۰	۲۲۴۱۶
سالانه	۱۰۷۹۵۲	۱۰۰۸۶	۱۱۸۰۳۷

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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 فضا شود. همچنین در فصول گرم دریچه‌ها باز بوده و موجب خنک‌سازی فضا 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).

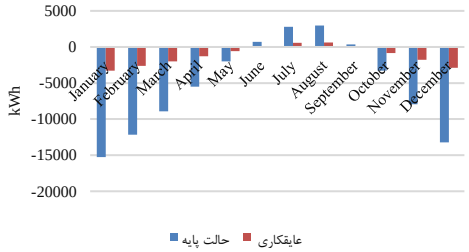
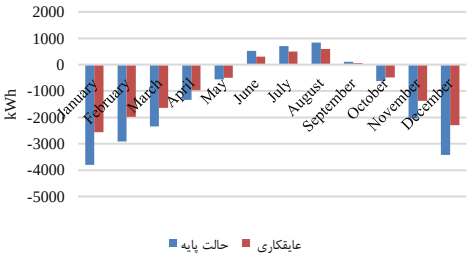
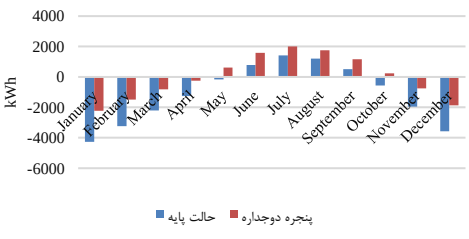
جدول ۸ . مشخصات مصالح در حالت عایق بندی شده

کف	دیوار خارجی بالکن	دیوار مشترک	پنجره
سقف با ضخامت ۳۰ سانتیمتر عایق حرارتی (پشم سنگ) ۱۰ سانتیمتر فوم بتن ۱۰ سانتیمتر ایزوگام ۱ سانتیمتر پوشش نهایی (سرامیک تیره رنگ) ۲ سانتیمتر	آجر سفال ۱۵ سانتیمتر عایق حرارتی (پشم سنگ) ۵ سانتیمتر نمای سنگ ۲ سانتیمتر	نمای سنگ ۲ سانتیمتر آجر سفال ۱۵ سانتیمتر عایق حرارتی (پشم سنگ) ۱۰ سانتیمتر اندود گچ و خاک ۲ سانتیمتر اندود گچ سفید ۱ سانتیمتر	دوجداره با شیشه به ضخامت ۴و ۶ میلیمتر و گاز آرگون

مأخذ: نگارندگان

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که انرژی مصرفی سامانه گرمایش از ۷/۴ به ۶۴ درصد (۵۶/۶ درصد نسبت به حالت قبل) کاهش یافته و در مجموع ۶۰/۲ درصد انرژی کمتری مصرف شده است.

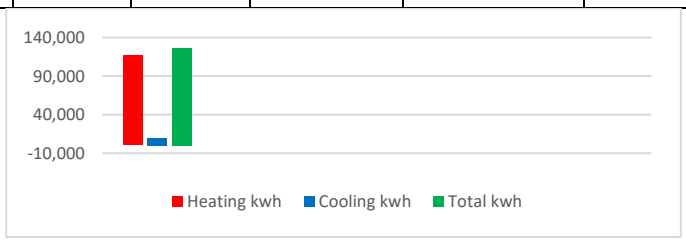
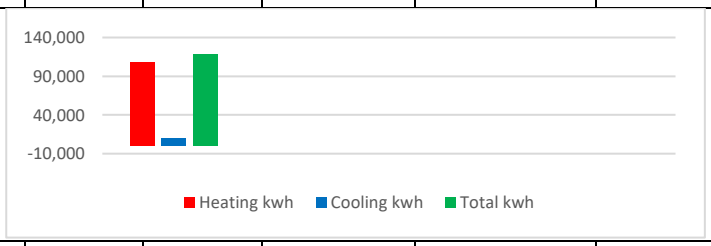
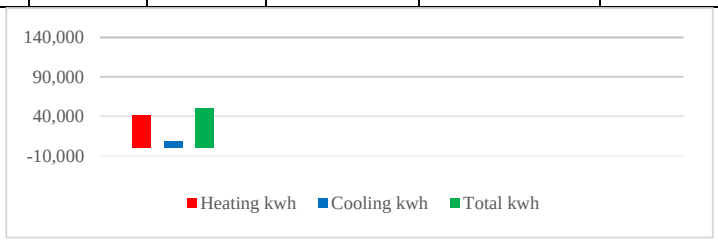
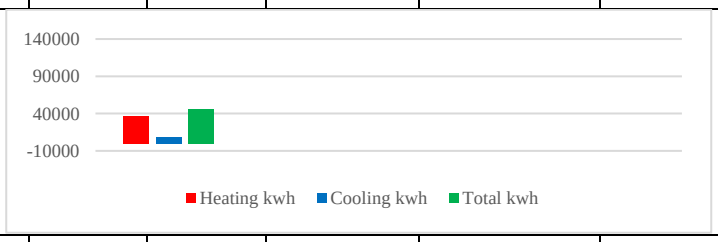
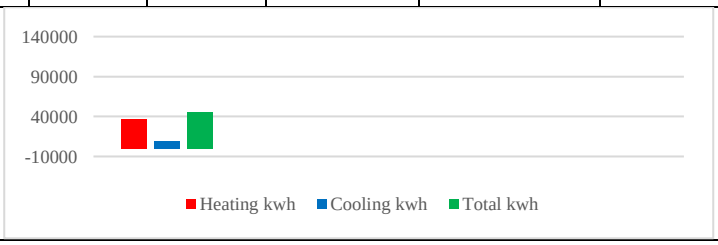
جدول ۹. نتایج انتقال حرارت از دیوار خارجی، سقف عایق‌بندی شده و شیشه دوجداره در ماههای مختلف سال

اجزاء	تغییر ضریب انتقال حرارت	نمودار
انتقال حرارت از دیوار خارجی	۰/۳۴۳ $\frac{W}{m^2.K}$ کاهش	
انتقال حرارت از سقف	۰/۱۶۱ $\frac{W}{m^2.K}$ کاهش	
انتقال حرارت از شیشه با تعویض پنجره به دو جداره	**۲/۵۲۸ $\frac{W}{m^2.K}$** **کاهش**	

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

شبیه سازی ساختمان با گلخانه خورشیدی و مصالح عایق بندی شده با دریچه تهویه و بدون دریچه تهویه: در این حالت از ۱۰ سانتی‌متر عایق پشم سنگ برای سقف و دیوار و ۵ سانتیمتر برای دیوار خارجی بالکن، و از دریچه به ابعاد ۳۰ در ۵۰ سانتی‌متر برای تهویه استفاده گردید. نتایج انتقال حرارت از دیوار خارجی، سقف و شیشه دوجداره در ماههای مختلف سال مطابق جدول ۹ می‌باشد. 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

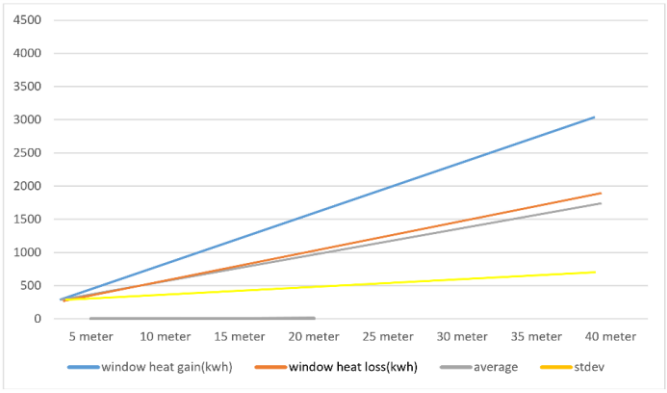
حالت	Heating kWh	Cooling kWh	Total kWh	Heating	Cooling	Total
حالت پایه	۱۱۶,۶۰۶	۹,۸۴۷	۱۲۶,۴۵۳	–	–	–
						
گلخانه	۱۰۷,۹۵۲	۱۰,۰۸۶	۱۱۸,۰۳۷	-٪۷/۴	-٪۲/۴	٪۶/۷
						
عایقکاری و پنجره دوجداره	۴۱,۹۲۳	۸,۴۰۸	۵۰,۳۳۱	٪۶۴	٪۱۴/۶	٪۶۰/۲
						
گلخانه با عایقکاری (تهویه داخلی از طریق دریچه)	۳۷۰۲۳	۸۹۱۲	۴۵,۹۳۴	٪۶۸/۲۵	٪۹/۵	٪۶۳/۷
						
گلخانه با عایقکاری (تهویه داخلی از طریق پنجره)	۳۶۷۵۹	۸۷۰۲	۴۵,۴۶۲	٪۶۸/۴۸	٪۱۱/۶۲	٪۶۴
						

با مقایسه شبیه سازی گلخانه در دو حالت با دریچه و بدون دریچه و فقط استفاده از پنجره‌های موجود در گلخانه جهت تهویه و گردش هوا تأثیر و تفاوت زیادی مشاهده نشد، پس هم می‌توان از دریچه و هم از پنجره‌ها به تنهایی و یا ترکیب با یکدیگر در طراحی گلخانه استفاده

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

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 شیشه 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. همان گونه 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 ضلع بیشینه ۳۰ متر رو جنوب و با عایق پشم سنگ است که در آن از پنجره دوجداره با شیشه به ضخامت ۴و ۶ میلیمتر و گاز آرگون استفاده شده است. خلاصه نتایج شبیه سازی در جدول ۱۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱۱. خلاصه نتایج شبیه‌سازی

حالت	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	۱۱۶,۶۰۶
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	–

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

منابع

[۱] بیت‌اللهی، فرزاد. عابدی، افشین (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. دانشجو، خسرو (۱۳۹۵). "ارزیابی مدل بهینه گلخانه خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و کوهستانی کشور (نمونه موردی: شهر کرمانشاه)". نشریه مدیریت شهری. ۴۵: ۵۰۴-۴۸۹.

[۴] صدوقی، 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] عبدخالقی، پریسا. صابرنژاد، 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. منتصر کوهساری، آیدا (۱۳۹۲). "تحلیل کاربرد گلخانه جهت صرفه جویی مصرف انرژی در ساختمان های 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] قیابکلو، 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] لکنر، 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 آتریوم، دیوار ترومب 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 جاجرم، الهه (۱۳۹۲). "تأثیر به‌کارگیری ترکیب مواد تغییر 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، کتایون. بهباش، روشنا. 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

[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. Souliotis, 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).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]