صفحات ۵ - ۱۸ (مقالهٔ پژوهشی)
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۲۷ ● شماره ۱ ● بهار ۱۴۰۱
DOI: 10.22059/JFAUP.2022.250112.671934 شناسه دیجیتال

تحلیل و مقایسه عملکرد حرارتی نمونه شبیه‌سازی‌شده نرم‌افزاری و نمونه واقعی ساخته‌شده گلخانه خورشیدی در اقلیم سرد و کوهستانی کشور (نمونه موردی: ایران، گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه)

محمدمهدی مقدسی*[۱]، شاهین حیدری[۲]، آزاده شاهچراغی[۳]

[۱]استادیار گروه معماری، مرکز قصرشیرین، دانشگاه آزاد اسلامی، قصرشیرین، ایران.
[۲]استاد گروه فن‌آوری معماری، دانشکده معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۳]دانشیار گروه معماری، دانشکده عمران، هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

چکیده

گلخانه خورشیدی از روش‌های غیرفعال انرژی در ساختمان محسوب می‌گردد. در این پژوهش تعیین مدل بهینه گلخانه در شهر کرمانشاه در ناحیه اقلیمی سرد و کوهستانی کشور مدنظر است لذا با استفاده از نرم‌افزار *انرژی پلاس* و فرض چند متغییر اساسی در عملکرد حرارتی گلخانه، حالت بهینه شامل (جهت‌گیری ده درجه جنوب غربی (۱۹۰ درجه))، زاویه شیب سقف (۵۰ درجه)، ابعاد براساس معادله ($cot(50^0)=b/h$)، جداره نورگذر (شیشه ۶ میلی‌متر با لایه کم گسیل خارجی و شیشه ۴ میلی‌متر ساده با فاصله ۱۳ میلی‌متر و تزریق گاز خنثی) و نصب عایق حرارتی به ضخامت ۵۰ میلی‌متر) با شبیه‌سازی شرایط مختلف تعیین شد. شرایط واقعی از بارگذاری فایل اقلیمی تهیه‌شده از داده‌های ساعتی آب و هوایی ایستگاه هواشناسی فرودگاه کرمانشاه در نرم‌افزار حاصل گردید جهت اعتبارسنجی شبیه‌سازی، نسبت به ساخت نمونه واقعی گلخانه اقدام و عملکرد حرارتی دو نمونه، طی یک آزمایش میدانی ۷۲ساعته مورد قیاس قرار گرفت. نتایج بیانگر است که با وجود اختلاف در دماهای ثبت‌شده، اما روند تغییرات دمایی آن‌ها همگام است و تحلیل آمار توصیفی و نمودار پراکنش خطی داده‌های حاصل بیانگر پراکنش و رابطه خطی نسبتاً قوی پیرامون خط رگرسیونی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی
گلخانه خورشیدی، شبیه‌سازی انرژی، *انرژی پلاس*، سیستم‌های غیر فعال خورشیدی.

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۸۸۳۶۹۸۳۴، نمابر: ۳۷۲۷۳۹۰۷-۰۸۳، E-mail: m3line@yahoo.com .

مقدمه

سیستم‌های خورشیدی غیرفعال عمدتاً براساس ساخت فضاهایی که انرژی خورشیدی را جمع آوری، ذخیره و توزیع می کنند پایه‌ریزی می‌شوند. این عملکرد در درجه اول بخاطر ظرفیت آنها در جمع‌آوری انرژی خورشیدی و در درجه دوم بخاطر ظاهر معماری زیبا و شکیل آنها بوده است. گلخانه‌های خورشیدی در ساختمان، در زمره چنین سیستم‌هایی بوده که علاوه بر کمک به کاهش مصرف انرژی، فضاهای اضافی و الحاقی همراه با جنبه‌های مثبت معماری را نیز در ساختمان ارائه می‌دهند (Mihalakakou, 2002).

در گلخانه‌های خورشیدی روش اساسی که بوسیله آن انرژی می‌تواند برای ایجاد گرمایش جمع‌آوری شود، تحت عنوان پدیده گلخانه‌ای[1] نامیده و به‌کار گرفته می‌شود. اساس این روش بر پایه ویژگی‌ها عملکرد جداره نورگذر گلخانه (شیشه) استوار است. شفافیت شیشه امکان عبور امواجی با طول موج کوتاه را فراهم می‌آورد و بدین ترتیب به امواج تشعشعی خورشید در محدوده خاصی اجازه عبور می‌دهد. اگر چه مقداری از این امواج ضمن برخورد به شیشه منعکس شده و یا به وسیله هدایت و انتقال تلف می‌شوند اما قسمت اعظم امواج پس از عبور از شیشه و ورود به گلخانه به صورت تشعشعی که دارای طول موج بلند است (طول موج بلند پس از برخوردها و انعکاس‌های متوالی در بدنه داخلی گلخانه ایجاد می گردد) منتشر می‌گردند. از آنجا که شیشه در مقابل گذر و خروج طول موج‌های بلند (برخلاف طول موج‌های کوتاه) مانع ایجاد می‌نماید در نتیجه درجه حرارت محیط درونی گلخانه افزایش می‌یابد. این پدیده توسط هرکسی که وارد اتومبیلی که در زیر نور خورشید و با پنجره‌های بسته قرار گرفته است، احساس می‌شود. گلخانه‌های خورشیدی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که علاوه بر جذب انرژی خورشیدی در طول روزهای آفتابی، مقداری از گرما را برای استفاده در شب و یا روزهای ابری در خود ذخیره می‌کنند این گلخانه‌ها می‌توانند به صورت مستقل و یا به صورت الحاقی در ترکیب با ساختمان عمل نمایند. بر این اساس گلخانه‌های خورشیدی علاوه بر ایجاد فضایی برای پرورش گیاهان، با ایجاد گرمای اضافی و انتقال آن به اتاق‌های مجاور، محیط مطلوبی را برای کاربرهای ساختمان در فصول گرم و سرد سال ایجاد می‌نمایند (حیدری، ۱۳۹۳). به‌طورکلی گلخانه‌های خورشیدی به دو دسته تقسیم می گردند: دسته اول گلخانه‌های که از نور خورشید به صورت مستقیم استفاده می کنند که در این نوع گلخانه با استفاده از زاویه قرارگیری مناسب با حداکثر استفاده از نور خورشید بدون نیاز به انرژی اضافه، اقدام به تامین انرژی مورد نیاز می‌گردد و دسته دوم گلخانه‌های خورشیدی که از سلول‌های خورشیدی استفاده می‌نمایند که در این نوع از گلخانه‌ها با استفاده از انرژی تابشی خورشید و آبگرمکن‌های خورشیدی انرژی مورد نیاز جهت افزایش دمای درونی گلخانه به صورت غیرمستقیم تأمین می‌گردد همچنین گلخانه‌های خورشیدی با پنج ویژگی کلی از گلخانه‌های مرسوم متمایز می‌گردند که شامل: جهت گلخانه و شیب پوشش شفاف سقف آن برای دریافت حداکثر گرمای خورشیدی در طول فصل زمستان، استفاده از مواد ذخیره‌کننده برای حفظ‌کردن حرارت درونی، داشتن عایق‌بندی مناسب در قسمت‌هایی که تابش مستقیم خورشید ناچیز بوده و یا وجود ندارد، داشتن روش‌های مناسب نصب پوشش‌های شفاف به منظور به حداقل‌رساندن ورود هوا و اتلاف حرارتی و در نهایت تکیه بر تهویه طبیعی برای خروج حرارت درونی گلخانه درفصل تابستان می باشند. به منظور بهره‌گرفتن هر چه بیشتر از تابش خورشیدی، گونه‌های متداول گلخانه خورشیدی دارای کشیدگی در راستای محور شرقی- غربی می‌باشد لذا دیواره‌های رو به جنوب که دیواره اصلی و دریافت‌کننده میزان اعظم انرژی خورشیدی می‌باشد دارای سطحی شفاف بوده در حالی‌که دیواره شمالی معمولا دارای سطحی است که تماماً از عایق پوشیده‌شده تا بدین‌گونه از هدررفتن گرمای درونی جلوگیری کند. در برخی از گلخانه‌ها به جای عایق‌کردن دیوار شمالی و همچنین کف، از مصالح جاذب حرارت در آنها مانند سنگ و آب برای جذب و توزیع حرارت استفاده می شود اما نصب عایق‌های حرارتی بالاخص بر روی دیواره‌ها به شدت بر کاهش میزان اتلاف حرارت در گلخانه تأثیر می گذارد (مازریا، ۱۹۷۹).

روش پژوهش

روش پژوهش در این تحقیق توصیفی، تحلیلی تجربی و قیاسی[2] است بدین صورت که در بخش‌هایی که مفاهیم مربوط به کارایی اثرات گلخانه‌ای مطرح می‌شود و به پیشینه و یا تحقیقات گذشته اشاره می‌شود، روش کار توصیفی خواهد بود. نرم‌افزار شبیه‌سازی منتخب این تحقیق به دلیل ماهیت عددی و مقایسه‌ای تحقیق، *انرژی‌پلاس* (نسخه ۸.۲) بوده و در بخش‌هایی که تحقیق، مدل بهینه گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه را با استفاده از نرم‌افزار فوق مورد بررسی قرار می‌دهد، روش تحلیلی است. از آنجا که نتایج مطالعات با هم مقایسه می‌شوند لذا روش، قیاسی است. شبیه‌سازی رایانه‌ای مصرف انرژی در ساختمان روشی تحلیلی و مقایسه با برداشت‌های میدانی از طریق ساخت و آزمایش نمونه ساخته‌شده[3] واقعی گلخانه، روشی تجربی می‌باشد. سؤال اصلی تحقیق به این شرح می باشد: مدل بهینه گلخانه خورشیدی در محدوده مورد مطالعه چگونه است و نسبت بین شبیه‌سازی نرم‌افزاری و نمونه ساخته‌شده واقعی گلخانه چیست؟

پیشینه پژوهش

از آنجا که بیش از دوسوم مساحت کشورمان در محدوده اقلیمی گرم و نیمه‌گرم قرار دارد لذا به‌صورت تاریخی در معماری سنتی، راه کارهای تأمین سرمایش بر راه کارهای تأمین گرمایش ارجحیت داشته و براساس همین سابقه تاریخی نیز تحقیقات و مطالعات در زمینه تأمین گرمایش ساختمان‌ها در ایران به‌طورکلی محدود می‌باشد. در معماری معاصر نیز به دلیل وجود ذخایر غنی منابع هیدروکربنی در کشور و به طبع آن استفاده گسترده از منابع سوخت‌های فسیلی به منظور گرمایش ساختمان‌ها عمدتاً برنامه‌ریزی مدون و مطالعه چندانی در حوزه راه‌کارهای غیر فعال تأمین انرژی گرمایشی منجمله گلخانه‌های خورشیدی مشاهده نمی‌گردد اما سارا گیلانی و بهروز محمد کاری (۱۳۹۰) در یک پژوهش، عملکرد گرمایشی گلخانه‌های خورشیدی متصل به ساختمان‌های مسکونی در اقلیم بسیار

سرد کشور (شهر اردبیل) را بررسی نموده‌اند. براساس نتایج حاصل از پژوهش فوق که با کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی *انرژی‌پلاس* انجام شده است جهت‌گیری مناسب گلخانه برای این اقلیم بررسی‌شده 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 غربی مناسب ترین جهت برای اتصال گلخانه‌های خورشیدی به ساختمان می‌باشند. بر خلاف کشورمان در سایر کشورها در خصوص گلخانه‌های خورشیدی تاکنون مطالعات متعددی صورت گرفته که به پاره‌ای از آن‌ها اشاره می‌گردد: موتارد و فیسوره[۴] برای نحوه توزیع و انعکاس امواج تابشی با طول موج بلند در گلخانه خورشیدی متصل (با فرض دمای یکنواخت هوا در گلخانه) مدلی ارایه نمودند با استفاده از مدل آن‌ها می‌توان دمای هوا، دمای سطوح گلخانه و شار گرما به فضاهای مجاور گلخانه را بدست آورد. الیوتی و دسیمونه و روفولو[۵] در پژوهش‌های خود مدل ساده‌ای را برای میزان جذب انرژی خورشیدی در گلخانه با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی درب‌لت[۶] ارایه کردند مهم‌ترین متغییرهای بررسی‌شده شامل عرض جغرافیایی، جهت‌گیری، هندسه و ویژگی‌های بصری سطوح مات و شفاف بود نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که با استفاده از مدل پیشنهادی آنها می‌توان میزان انرژی جذب‌شده در گلخانه را با دقت کافی تخمین زد. میهالاکاکو و فرانته[۷] 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 شبیه سازی ترانسیس[۸] 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 کنترل‌نشده و بیش از حد 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 بیش از حد گرم‌شدن فضای گلخانه در فصول گرم با استفاده از برنامه *ترانسیس* 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 می بخشد. اسپوستی و همکاران[۹] نیز برای بررسی عملکرد حرارتی گلخانه متصل، یک نمونه واقعی ساختند آن‌ها در جداره جنوبی یکی از نمونه‌های مورد آزمایش، پنجره‌ای با شیشه دوجداره و در نمونه دیگر، گلخانه‌ایی با پنجره مشابه طراحی نمودند و عملکرد این نمونه‌ها را با عملکرد نمونه مرجع که جداره جنوبی آن دارای عایق حرارتی بود مقایسه کردند مقایسه مصرف انرژی سه نمونه ساخته شده نشان داد که عملکرد حرارتی نمونه دارای گلخانه، کم‌وبیش مانند نمونه مرجع بود، این پدیده به دلیل مه‌آلودبودن هوا در کل دوره اندازه‌گیری رخ داده بود. طالقانی و تین پریک و اندی وان دن دوبلستن[۱۰] محققین دانشگاه تکنولوژی دلفت هلند در یک پژوهش دانشگاهی اثرات سه فضای متفاوت شامل حیاط مرکزی، آتریوم[۱۱] و گلخانه خورشیدی را در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی در پنج اقلیم متفاوت اروپایی و آسیایی بررسی نمودند. براساس نتایج این پژوهش که با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و ممیزی انرژی انجام‌شده، 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.

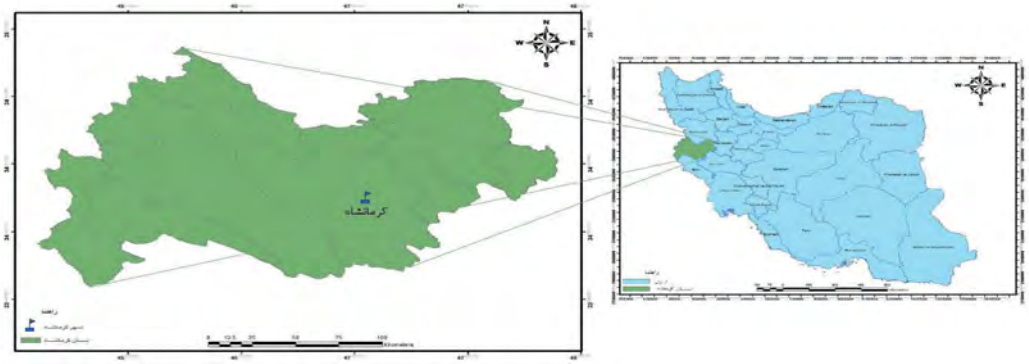
مبانی نظری پژوهش

۱- معرفی محدوده مورد مطالعه (شهر کرمانشاه)

شهر کرمانشاه با ارتفاع میانگین ۱۳۱۸/۶ متر از سطح دریا در ۳۴ درجه ۲۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه طول شرقی در مرکز استان کرمانشاه قرار دارد و به‌عنوان مرکز استان کرمانشاه شناخته می شود. این استان در غرب کشور ایران قرار داشته و از شمال با استان کردستان از شرق با استان همدان و از جنوب و جنوب شرق با استان‌های ایلام و لرستان و از غرب با کشور عراق همسایه است ناحیه آب و هوایی شهر کرمانشاه طبق تقسیمات اقلیمی کسمایی و همکاران در حوزه سرد و کوهستانی دسته‌بندی شده است مشخصات اقلیم سرد و کوهستانی به‌صورت زمستان‌های سرد و تابستان های نسبتاً معتدل و اختلاف بسیار زیاد درجه حرارت بین روز و شب می باشد (کسمایی، ۱۳۸۲). میانگین سالیانه دما در شهر کرمانشاه حدوداً ۱۴ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالیانه این شهر حدوداً ۴۴۱ میلی‌متر می‌باشد. تصویر (۱) موقعیت استان کرمانشاه را در غرب ایران نشان می دهد.

۲- فرضیات پژوهش

به منظور تعیین مدل بهینه گلخانه خورشیدی متصل به ساختمان در شهر کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی *انرژی‌پلاس*[۱۲]، پنج متغیر اساسی که نقش تعیین‌کننده‌ای را در عملکرد حرارتی گلخانه‌های خورشیدی دارا می‌باشند، به صورت مفروضات اساسی مورد بررسی و



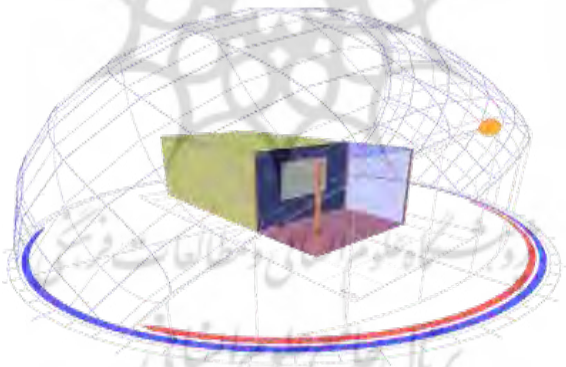
تصویر ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه درایران.

تحلیل قرار گرفته است. این فرضیات به دو گروه کلی ساختار شکلی گلخانه شامل: جهت‌گیری گلخانه، ابعاد گلخانه، زاویه شیب سقف، جداره‌های شفاف (شیشه نورگذر) و عملکرد حرارتی گلخانه شامل: انتقال حرارت و صرفه‌جویی انرژی (عایق‌کاری) تقسیم‌بندی می‌گردند همچنین در فرآیند ورود داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی، سعی گردیده فرضیاتی در نظر گرفته شود که تا حد امکان به شرایط واقعی اقلیمی و مصالح متداول ساختمان‌ها در شهر کرمانشاه نزدیک‌تر باشد. به همین منظور پس از جمع‌آوری داده‌های آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه کرمانشاه در یک دوره ده‌ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۵) نسبت به تهیه فایل اقلیمی شهر کرمانشاه اقدام گردیده است. به منظور تعیین مدل بهینه گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه، ابتدا نمونه‌ایی پایه‌ایی به‌صورت مفروض مد نظر قرار گرفت. این نمونه متشکل از یک اتاقک شیشه‌ای رو به جنوب به ابعاد ۴×۲/۵ متر به‌عنوان گلخانه و یک اتاق به ابعاد ۴×۶ متر و ارتفاع مفید ۲/۸ متر در ضلع شمالی آن می‌باشد. این اتاق با یک دیوار مشترک به گلخانه متصل می‌گردد و یک پنجره به ابعاد ۲×۱/۵ متر ارتباط بصری بین گلخانه و اتاق مجاور آن را تأمین می‌کند. دیوارهای اتاق شبیه‌سازی‌شده با محیط خارج در ارتباط بوده و با یک لایه عایق حرارتی تفلون[۱۳] فشرده به ضخامت پنج سانتی‌متر از خارج عایق شده است. لازم به ذکر است که در فرایند تعیین مدل بهینه سعی گردیده در خصوص هر یک از متغییرهای اساسی فوق الذکر، چندین حالت مفروض مختلف مورد شبیه‌سازی قرار گرفته و شرایط بهینه از نظر عملکرد حرارتی از بین حالت‌های مختلف قیاس و تحلیل گردد. تصویر (۲) نمونه شبیه‌سازی‌شده پایه در نرم‌افزار *انرژی‌پلاس* را نشان می‌دهد همچنین در جدول (۱) مشخصات و جزئیات مصالح به‌کاررفته در اتاقک مجاور مدل پایه گلخانه نمایش داده شده است.

۲-۱. جهت‌گیری

جهت‌گیری مناسب در گلخانه‌های خورشیدی به منظور به حداکثررساندن میزان انرژی عبوری از طریق جداره نورگذر (شفاف) گلخانه. از جمله اساسی‌ترین متغییرهای تأثیرگذار در عملکرد حرارتی گلخانه می‌باشد. در نیمکره شمالی، در طول زمستان، خورشید از جنوب شرقی طلوع کرده و بعد از عبور از قسمت جنوبی در جنوب غربی غروب می‌کند. لذا جهت‌گیری جنوبی یا نزدیک به آن باعث افزایش دریافت تابش خورشیدی و در نتیجه عملکرد مطلوب گلخانه علی‌الخصوص در فصول سرد خواهد گردید (رازجویان، ۱۳۸۸). با این فرض، و به منظور تعیین جهت‌گیری بهینه گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه پس از معیار قراردادن جهت جنوبی، زوایای نزدیک به جنوب در جهت‌های شرقی و غربی مدنظر قرار گرفت. تصویر (۲) بیانگر در نظرگرفتن زوایای نزدیک به جنوب در جهت‌های شرقی و غربی در تعیین مدل بهینه گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه می‌باشد.

بر این اساس برای تعیین جهت‌گیری بهینه، نمونه شبیه‌سازی‌شده در بازه‌های پنج درجه‌ای به سمت غرب و شرق چرخیده است تا زاویه‌ای که بیشترین دریافت انرژی خورشید را دارد تعیین شود. نمودار (۱) نتایج حاصل از این شبیه‌سازی را در طول سال نشان می‌دهد. با اندکی بررسی در این نمودار مشخص است که در طول ماه‌های گرم سال (شش ماه



تصویر ۲- مدل شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار *انرژی‌پلاس*.

جدول ۱- جزئیات به‌کاررفته در اتاقک مجاور گلخانه شبیه‌سازی‌شده.

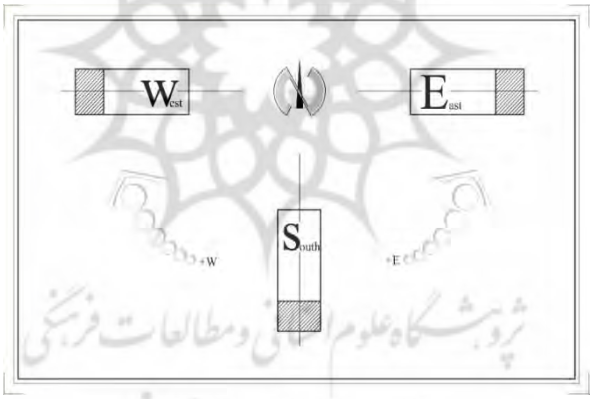
لایه‌ها	کف	سقف	دیوار مشترک	دیوار خارجی
لایه ۱ (خارجی)	بتن به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر	عایق رطوبتی به ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر	نمای آجری به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر	نمای آجری به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر
لایه ۲	عایق حرارتی (تفلون فشرده[۱۳]) به ضخامت ۵ سانتی‌متر	لایه شیب‌بندی با استفاده از پوکه معدنی و ملات ماسه و سیمان به نسبت سه به یک به ضخامت میانگین ۱۵ سانتی‌متر	ملات ماسه سیمان به ضخامت ۳ سانتی‌متر	ملات ماسه سیمان به ضخامت ۳ سانتی‌متر
لایه ۳	بخاربند (پی وی سی)	عایق حرارتی (تفلون فشرده) به ضخامت ۵ سانتی‌متر	آجر سفالی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر	آجر سفالی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر
لایه ۴	بتن کفسازی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر	دال بتنی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر	اندود داخلی (گچ و خاک و گچ) به ضخامت ۳ سانتی‌متر	عایق حرارتی (تفلون فشرده) به ضخامت ۵ سانتی‌متر
لایه ۵ (داخلی)	کفسازی نهایی با موزاییک به ضخامت ۳ سانتی متر	اندود داخلی (گچ و خاک و گچ) به ضخامت ۳ سانتی متر	-	اندود داخلی (گچ و خاک و گچ) به ضخامت ۳ سانتی‌متر
ضریب انتقال حرارتی ($W/m^2.K$)	۰/۵۰۹	۰/۴۱۱	۲/۱۹	۰/۵

اول سال) جهت‌هایی که زاویه بیشتری نسبت به جنوب دارند انرژی بیشتری دریافت می‌کنند، اما این موضوع در ماه‌های سرد سال (شش ماه دوم سال) تقریباً حالت عکس به خود می‌گیرد، به گونه‌ای که زوایای نزدیک‌تر به جنوب انرژی بیشتری دریافت می‌کنند. از آنجا که مطابق اهداف این تحقیق، گلخانه‌های خورشیدی به منظور کاهش بارگرمایشی ساختمان در طول فصول سرد سال مورد نیاز و دارای عملکرد بوده و در فصول گرم سال از این نظر مورد استفاده نخواهند بود لذا تمرکز شبیه‌سازی در این تحقیق به منظور تعیین جهت‌گیری بهینه، بر فصول سرد سال می‌باشد.

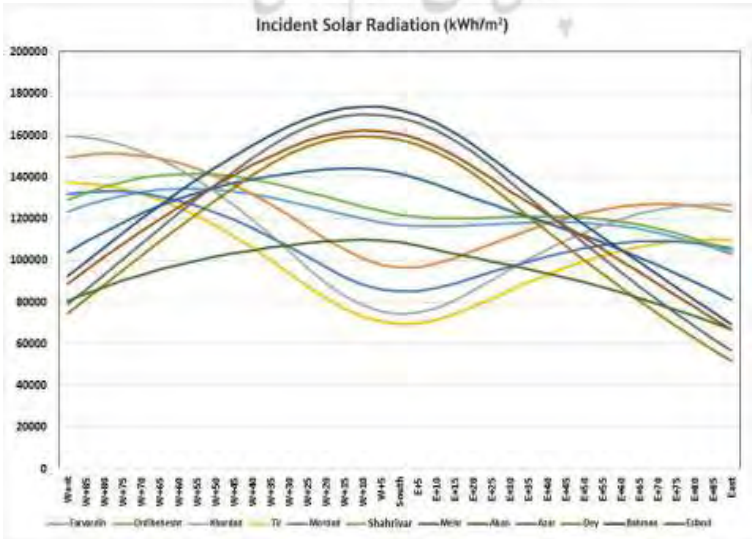
در نمودار (۱) نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل پایه گلخانه به منظور تعیین جهت‌گیری بهینه از منظر دریافت انرژی خورشیدی در طول ماه‌های سال در شهر کرمانشاه ارائه گردیده است. برای به دست آوردن مناسب‌ترین زاویه دریافت انرژی خورشید در طول فصول سرد سال (شش‌ماهه دوم) این بار شبیه‌سازی در بازه زمانی مربوط به شش‌ماهه دوم سال انجام گرفته که نتایج آن در نمودار (۲) قابل مشاهده می‌باشد. در نمودار (۲) میانگین دریافت انرژی خورشید در مدل پایه گلخانه در طول فصول سرد سال در شهر کرمانشاه براساس شبیه سازی صورت گرفته ارائه گردیده است که با توجه با آن می‌توان دریافت که مناسب‌ترین جهت‌گیری به منظور دریافت حداکثر انرژی خورشید در شش ماه دوم سال در شهر کرمانشاه چرخش ۱۰ درجه‌ای گلخانه به سمت غرب میباشد.

۲- ۲. زاویه شیب سقف

دستیابی به حداکثر کارایی در گردآورهای خورشیدی با جهت‌گیری، نصب و طراحی مناسب امکان‌پذیر است. با وجود این، کارایی یک گردآور خورشیدی به موقعیت آن (با توجه به عرض جغرافیایی) و زاویه شیب آن با سطح افق نیز ارتباط تنگاتنگی دارد زیرا هم جهت‌گیری و هم زاویه شیب، مقدار تابش خورشیدی را که به سطح گردآور می‌رسد را تغییر می‌دهند از آنجایی که گلخانه خورشیدی به‌عنوان یک گردآور عمل می‌کند، زاویه شیب سقف آن به منظور رسیدن به حداکثر کارایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای به‌دست‌آوردن زاویه شیبی بهینه‌ای که بیشترین میزان انرژی دریافتی توسط گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه را داشته باشد این بار نسبت به شبیه‌سازی مدل پایه گلخانه در زوایای مختلف نسبت به سطح افق در بازه‌های ۱۰درجه‌ای مطابق تصویر (۳) اقدام گردید که نتایج حاصل از میزان دریافت انرژی خورشیدی در هر یک از زوایای مفروض در نمودار (۳) ارائه گردیده است. با توجه به نتایج موجود در نمودار (۳) می‌توان دریافت که بیشترین بازده در دریافت انرژی خورشید در شش ماه دوم سال مربوط به زاویه شیب ۵۰ درجه نسبت به سطح افق می‌باشد. با در نظرگرفتن این نکته که جهت‌گیری شیشه به وسیله دو زاویه آزیموت[۱۴] و زاویه شیب تعریف می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که مناسب‌ترین جهت‌گیری برای دریافت بیشترین انرژی در طول فصول سرد سال (شش‌ماهه دوم)، زاویه آزیموت ۱۰ درجه به



تصویر ۳- چرخش مدل شبیه‌سازی‌شده گلخانه به منظور رسیدن به جهت‌گیری بهینه.



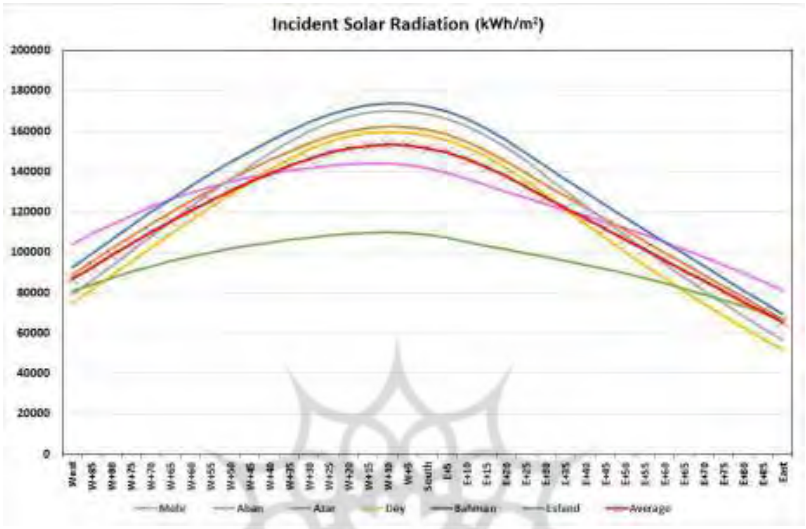
نمودار ۱- میزان دریافت انرژی خورشیدی گلخانه براساس جهت‌گیری در ماه‌های سال. مأخذ: (نرم‌افزار *انرژی پلاس*)

سمت غرب و زاویه شیب ۵۰ درجه نسبت به سطح افق می‌باشد.

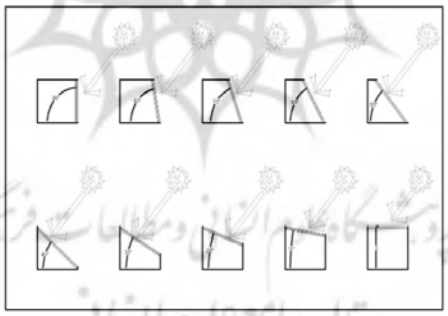
۲- ۳. ابعاد گلخانه

نسبت طول به عرض گلخانه در میزان دریافت انرژی و نیز اتلاف انرژی، نقش مهمی را ایفا می‌کند. بنابراین در طراحی گلخانه‌های خورشیدی اختصاص مقادیر مناسب برای آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگر در تصویر(چهار) به صورت فرضی، (a) طول گلخانه، (b) عرض گلخانه و (h) ارتفاع گلخانه باشند، نمودار (چهار) تأثیر افزایش طول گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه در میزان میانگین دریافت و اتلاف انرژی در فصول سرد سال (شش ماه دوم) را نشان می‌دهد.

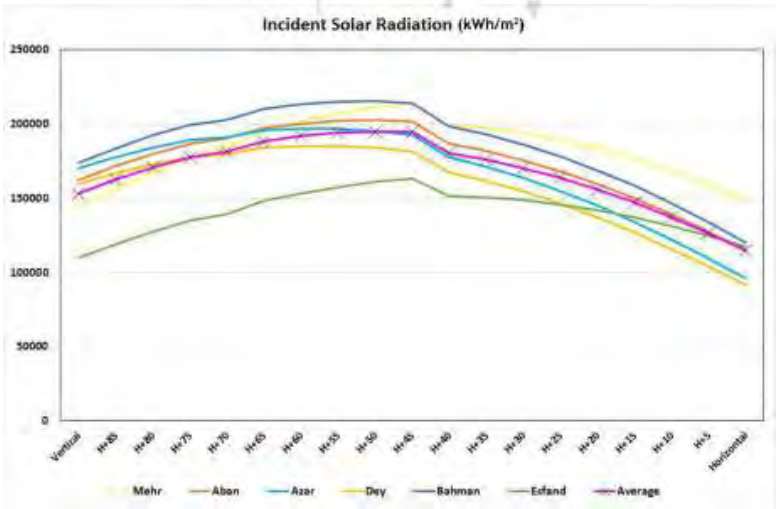
با توجه به نمودار (۴) هرچه طول گلخانه (a) افزایش یابد، سطح رو به جنوب و درنتیجه میزان انرژی دریافتی توسط گلخانه نیز افزایش می‌یابد. اما این افزایش سطح شیشه باعث افزایش اتلاف انرژی در طول شب نیز خواهد بود. برای درک بهتر از تأثیر افزایش طول گلخانه در عملکرد حرارتی آن، میزان انحراف معیار استاندارد را برای هرکدام از حالت های مختلف شبیه‌سازی‌ها محاسبه شده است. همان‌گونه که



نمودار ۲- میزان دریافت انرژی خورشیدی گلخانه براساس جهت‌گیری در شش‌ماهه دوم سال. مأخذ: (نرم‌افزار *انرژی‌پلاس*)



تصویر ۳- زوایای سقف مختلف شبیه‌سازی‌شده نسبت به سطح افق.



نمودار ۳- میزان دریافت انرژی خورشیدی گلخانه براساس زوایای مختلف شیب سقف. مأخذ: (نرم‌افزار *انرژی‌پلاس*)

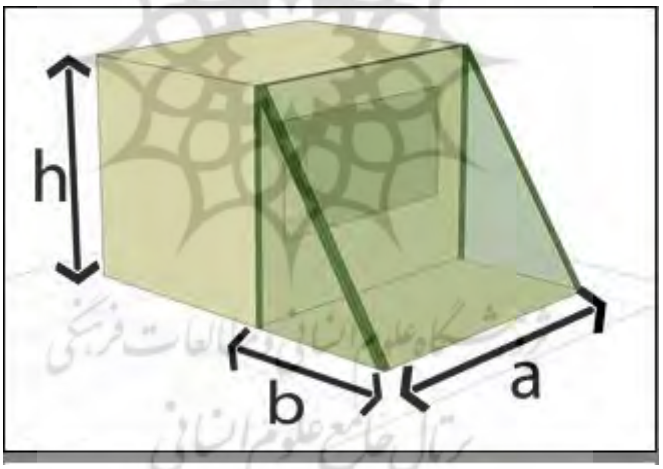
در نمودار (۴) مشخص است، انحراف معیار تا طول چهار متر منطبق بر نمودار میانگین دریافت و اتلاف انرژی می‌باشد که این امر بیانگر این موضوع است که این مقدار افزایش (طول تا چهار متر) تأثیر منفی در کارکرد حرارتی گلخانه نخواهد داشت. اما با افزایش طول گلخانه به میزان بیش از چهار متر نمودار انحراف معیار به زیر خط میانگین میل می‌کند هرچند این میزان تا طول شش متر تقریباً ناچیز است. اما از طول هفت متر به بعد تقریباً محسوس می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش طول گلخانه بیش از حداکثر شش متر، با توجه به افزایش میزان اتلاف انرژی، نمی‌تواند کمکی در دریافت انرژی در گلخانه خورشیدی داشته باشد.

برای بررسی تأثیر افزایش عرض گلخانه (b) در عملکرد حرارتی آن، یک گلخانه به طول چهار متر را در چهار حالت و با عرضه‌ای (b)، (b+۰.۵)، (b+۱) و (b+۱.۵) مطابق تصویر (پنج) شبیه ازی شده است که نتایج آن در نمودار (۵) قابل مشاهده می‌باشد.

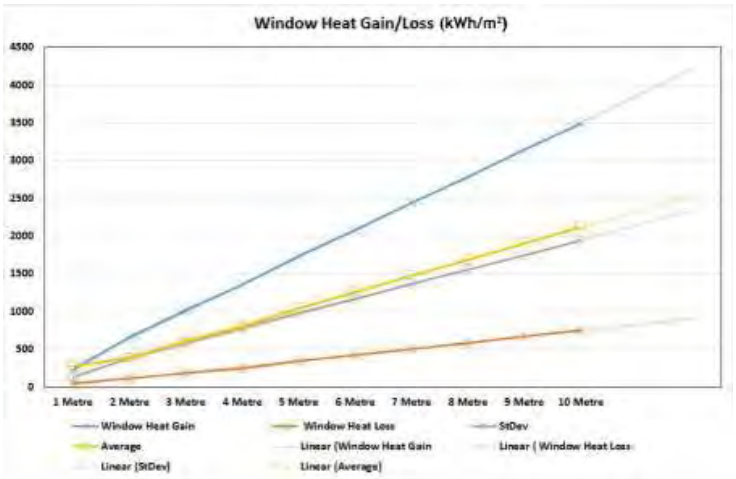
در نمودار (۵) مشاهده می‌شود که با افزایش عرض گلخانه، همانند افزایش طول آن، میزان دریافت و اتلاف انرژی افزایش می‌یابد. هرچند که این افزایش با شیب کم‌تری صورت می‌گیرد. اما نکته قابل توجه در این نمودار این است که همواره خط انحراف معیار در زیر خط میانگین دریافت و اتلاف انرژی قرار دارد و این فاصله بجز در حالت (b) میزان قابل توجهی می‌باشد. این موضوع به این دلیل است که با افزایش عمق، سطح شیشه در ضلع شرقی و غربی گلخانه خورشیدی افزایش می‌یابد، اما سطح شیشه رو به جنوب که بیشترین انرژی را برای گلخانه دریافت می‌کند ثابت باقی می‌ماند. در این صورت عمق مناسب برای گلخانه، حداقل ممکن خواهد بود که با توجه به ارتفاع اتاق مجاور می‌توان آن را به این صورت تعریف کرد: $\cot(\alpha) = b/h$ که در این رابطه α همان زاویه شیب بهینه ۵۰ درجه می‌باشد، و با توجه به مشخص‌بودن ارتفاع اتاق (h) حداقل عرض گلخانه (b) که اندازه بهینه عرض گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه نیز می‌باشد قابل محاسبه است

۲- ۴. جداره نورگذر (شیشه)

بیشترین میزان اتلاف انرژی در گلخانه‌ها از طریق جداره‌های نورگذر (شیشه) اتفاق می‌افتد. معمولا این مقدار بیش از مجموع راه‌های دیگر است. این موضوع به این خاطر است که شیشه‌ها ذاتاً مقاومت کمی در برابر از دست‌دادن انرژی دارند و همچنین این جداره به دلیل نیاز به دریافت مستمر انرژی خورشیدی در فصول سرد سال، بخش زیادی از سطح خارجی گلخانه‌ها را تشکیل می‌دهند. پنجره‌های دارای شیشه‌های شفاف و تک‌جداره به سبب ضریب انتقال حرارت بالا از نقاط ضعف پوسته خارجی گلخانه‌ها در انتقال حرارت به حساب می‌آیند. کاهش ضریب انتقال حرارت شیشه‌ها می‌تواند این جداره‌های شفاف را به اجزایی مطلوب از نظر تبادل حرارت در گلخانه مبدل سازد. به



تصویر ۴- ابعاد فرضی گلخانه.



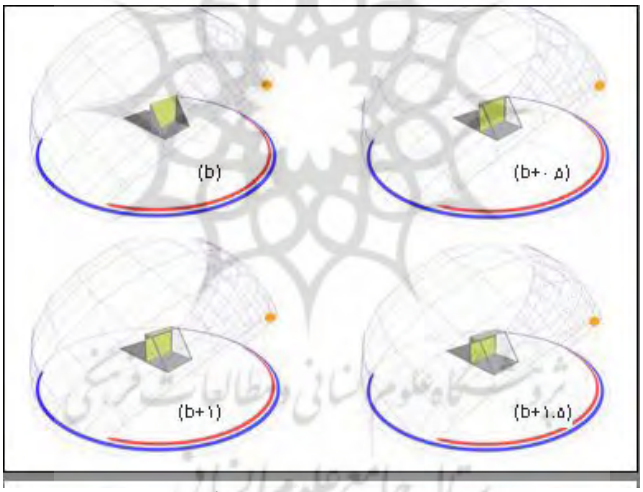
نمودار ۴- نمودار تأثیر افزایش و کاهش طول گلخانه در دریافت واتلاف انرژی خورشیدی. مأخذ: (نرم‌افزار *انرژی‌پلاس*)

منظور بهبود عملکرد جداره‌های شفاف در گلخانه می‌توان از پنجره‌های دو جداره و نیز پنجره‌هایی با شیشه‌های کم گسیل[۵] استفاده کرد، که باعث کاهش ضریب انتقال حرارت در پنجره شده و درنتیجه سبب کاهش اتلاف انرژی در گلخانه می‌شود. برای به‌دست‌آوردن حالت بهینه در خصوص جداره‌های شفاف (شیشه) در گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه حالت‌های زیر شبیه‌سازی شده و نتایج آن در جدول (۲) ارائه گردیده است: پنجره تک‌جداره با شیشه ساده ۶ میلی‌متری (حالت A)، پنجره تک‌جداره با شیشه ۶ میلی‌متر دارای لایه کم‌گسیل از داخل (حالت B)، پنجره تک‌جداره با شیشه ۶ میلی‌متر دارای لایه کم‌گسیل از خارج (حالت C)، پنجره دوجداره با شیشه ساده ۶ و ۴ میلی‌متری (حالت D)، پنجره دوجداره (لایه خارجی، شیشه ۶ میلی‌متر با لایه کم‌گسیل و لایه داخلی، شیشه ۴ میلی‌متر ساده با فاصله دوجداره ۱۳ میلی‌متر و پرشده از گاز خنثی (آرگون)) (حالت E)، پنجره دوجداره (لایه خارجی، شیشه ۶ میلی‌متر ساده و لایه داخلی، شیشه ۴ میلی‌متری با لایه کم‌گسیل با فاصله دوجداره ۱۳ میلی‌متر و پرشده از گاز خنثی (آرگون)) (حالت F).

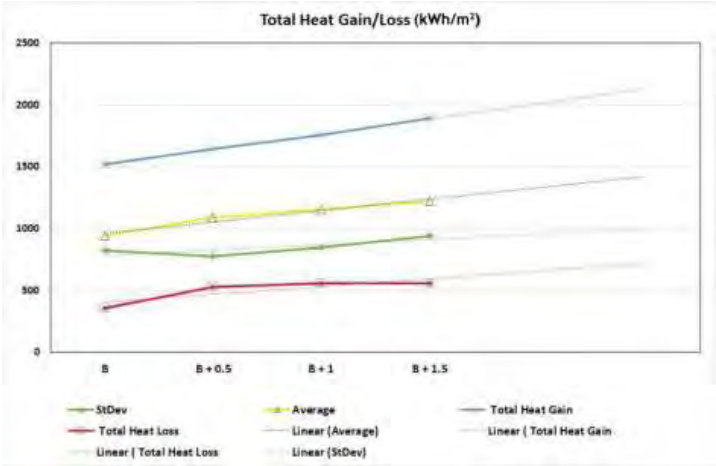
جدول (۲) میانگین روزانه انرژی دریافت‌شده و تلف‌شده از طریق پنجره را در فصول سرد سال (شش‌ماهه دوم) نشان می‌دهد، که بر اساس آن مشاهده می شود بیشترین اتلاف حرارت درحالت (A) اتفاق می‌افتد، علی‌رغم اینکه بیشترین دریافت نیز در همین حالت می‌باشد، اما دمای گلخانه در کم‌ترین حالت خود قرار می‌گیرد. کم‌ترین انرژی تلف شده در حالت (F) اتفاق می‌افتد که بیشترین دمای گلخانه نیز در همین حالت می‌باشد. در حالت‌های(B)و (C) دمای گلخانه تنها کمی بیش از حالت (A) می‌باشد که این موضوع بیانگر این نکته است که استفاده از لایه کم‌گسیل در شیشه‌ها فقط در صورتی می‌تواند نتیجه قابل قبولی را ایجاد کند که از پنجره با شیشه‌های دوجداره استفاده شود. لذا مناسب‌ترین حالت، استفاده از شیشه چندجداره دارای شیشه ۶ میلی‌متر با لایه کم‌گسیل در لایه خارجی و شیشه ۴ میلی‌متر ساده با فاصله دو جداره ۱۳ میلی‌متر و پرشده از گاز خنثی (آرگون) درلایه داخلی می‌باشد. از آنجا که تهیه شیشه‌های بیش از دو داره از نظر اجرایی و اقتصادی چندان متداول نمی‌باشد لذا استفاده از شیشه‌های دو جداره انتخاب مناسب‌تری خواهد بود.

۲- ۵. عایق‌کاری (جلوگیری از اتلاف حرارت شبانه)

سطوح شیشه‌ای با وجود اینکه عامل ورود انرژی خورشید در طول روز می‌باشند، به دلیل ضریب انتقال حرارت زیاد باعث خروج درصد قابل توجه‌ای از این انرژی به خارج به ویژه در طول شب می‌باشند. یک شیوه مؤثر برای کاهش اتلاف حرارت از طریق شیشه‌های گلخانه استفاده از



تصویر ۵- عرض گلخانه براساس ضرایب افزایشی. مأخذ: (نرم‌افزار *کوتکت*)



نمودار ۵- نمودار تأثیر افزایش عرض گلخانه در دریافت و اتلاف انرژی خورشیدی. مأخذ: (نرم‌افزار *انرژی‌پلاس*)

عایق متحرک است که در هنگام شب در محل خود قرار می‌گیرد و در طول روز می‌توان آن را حذف کرد، از آنجایی که این عایق در طول روز روی شیشه قرار ندارد تأثیر چندانی در عملکرد حرارتی گلخانه در طول روز ندارد. عایق متحرک که در هنگام شب نصب می‌شود این امکان را به گلخانه می‌دهد، که گرمای بیشتری را در طول شب به فضای مجاور منتقل کند. بنابراین برای بهبود عملکرد حرارتی گلخانه، باید از اتلاف حرارت آن در طول شب جلوگیری کنیم. برای رسیدن به مکان مناسب برای نصب عایق، شبیه‌سازی در سه حالت عایق از خارج جداره و داخل جداره و بین دوجدار شیشه انجام گرفت. برای این منظور از یک لایه عایق حرارتی پشم شیشه به ضخامت ۵ سانتی‌متر و با ضریب انتقال حرارتی ۰/۰۳۶ ($W/m^2.K$) و چگالی ۱۴۰ (kg/m^3) به منظور عایق‌کاری حرارتی از داخل و خارج (از ساعت ۵ بعدازظهر تا ۷ صبح) و همچنین از برچسب فیلم شفاف (عایق حرارتی) مابین دوجداره شیشه (به صورت دائمی) که سطح شیشه را می‌پوشانند استفاده شده است که جدول (۳) نتایج این شبیه‌سازی را به نمایش می‌گذارد. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود در حالت عایق‌کاری از داخل کم‌ترین اتلاف انرژی و در حالت عایق‌کاری از خارج بیشترین اتلاف انرژی (پس از عدم استفاده از هیچ‌گونه عایق حرارتی) را خواهیم داشت، همچنین استفاده از پوشش فیلم شفاف (عایق حرارتی) مابین دوجداره نیز نسبت به دو روش فوق اتلاف انرژی بیشتری ایجاد خواهد کرد.

۲-۶. ملاحظات معماری گلخانه خورشیدی

همان‌طور که در مطالب فوق بیان گردید. بهینه ترین زاویه شیب سقف گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه در زاویه آزیموت ده درجه جنوب غربی و شیب سقف برای دریافت بیشترین دریافت انرژی خورشیدی، زاویه ۵۰ درجه نسبت به افق می‌باشد. هر چند اغلب، انتخاب زاویه شیب برای گلخانه به یک انتخاب، بین ترکیبی از زاویه شیب بهینه و یک قسمت با زاویه شیب ۹۰ درجه (عمودی) ختم می‌شود. که این انتخاب بیشتر به دلیل عملکرد معماری گلخانه انجام می‌شود تا به دلیل عملکرد حرارتی آن، از مزایای استفاده از شیشه‌کاری عمودی در گلخانه می‌توان به افزایش کاربری فضایی، به واسطه افزایش ارتفاع سقف اشاره کرد. علاوه براین استفاده از پنجره‌های عمودی سازگاری ظاهری گلخانه با دیگر بخش‌های ساختمان را افزایش می‌دهد.

همان‌طور که در تصویر(شش) مشخص است شکل (A) بیشترین طول شیشه با شیب بهینه را دارد، اما به دلیل ارتفاع کوتاه سقف بیشتر قسمت‌های آن قابل استفاده برای ساکنان نمیباشد. شکل (B) به لحاظ عملکرد معماری وضعیت مطلوبی را دارد اما کم‌ترین میزان شیشه با زاویه بهینه را دارد که این موضوع باعث ضعیف شدن عملکرد حرارتی گلخانه می‌باشد. اما شکل (C) به صورت مناسبی هر دو جنبه عملکرد معماری و حرارتی گلخانه را تأمین می‌کند.

۳- اعتبارسنجی شبیه‌سازی نرم‌افزاری با استفاده از نمونه ساخته‌شده گلخانه خورشیدی

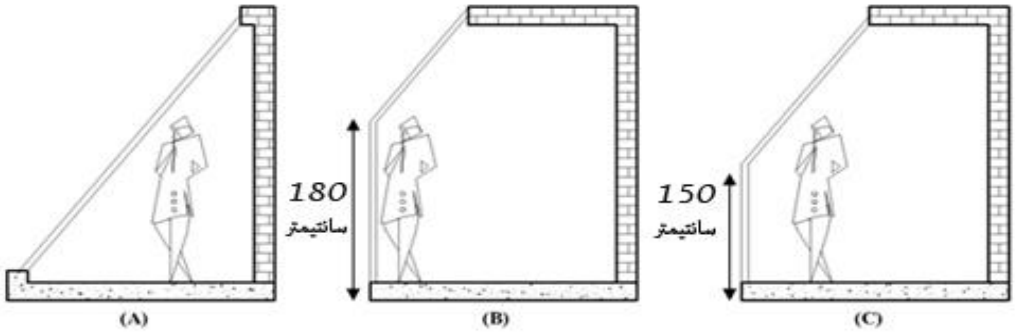
از آنجا که جهت تعیین میزان صحت و اعتبارسنجی[۱۶] مدل بهینه شبیه‌سازی‌شده نرم‌افزاری گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه و اطمینان

جدول ۲- میانگین روزانه دریافت و اتلاف انرژی و دمای گلخانه و اتاق مجاور در حالت‌های مختلف جداره نورگذر گلخانه. مأخذ: (نرم‌افزار *انرژی پلاس*)

حالت	انرژی دریافت‌شده (kWh/m^2)	انرژی اتلاف‌شده (kWh/m^2)	میانگین دمای اتاق مجاور گلخانه (C^o)	میانگین دمای گلخانه (C^o)
A	۱۸۲۸/۶	۸۶۸/۲	۲۹/۷	۲۴/۲
B	۱۴۶۷/۸	۵۷۲/۷	۳۱/۸	۲۴/۵
C	۱۵۳۴/۵	۶۷۱/۲	۳۲	۲۴/۲
D	۱۵۹۶/۳	۶۰۵/۵	۳۴/۹	۲۵/۱
E	۱۳۵۰/۸	۴۷۹/۹	۳۷/۶	۲۵/۵
F	۱۲۹۲	۴۱۵	۳۵/۹	۲۴/۸

جدول ۳- میزان اتلاف انرژی شبانه گلخانه در حالت‌های مختلف عایق‌کاری. مأخذ: (نرم‌افزار *انرژی پلاس*)

حالت	انرژی اتلاف‌شده در طول شب (kWh/m^2)
بدون استفاده از عایق حرارتی	۵۹۹/۴
استفاده از عایق حرارتی از داخل	۲۳۳/۳۱
استفاده از فیلم شفاف (عایق حرارتی) مابین دوجداره	۲۵۴/۱۸
استفاده از عایق حرارتی از خارج	۲۳۷/۲۸



تصویر ۶- ملاحضات معماری گلخانه.

به نتایج آن، نیاز به انجام آزمایش میدانی بر روی نمونه واقعی است لذا برای حصول به این موضوع، نسبت به تهیه مصالح و ساخت نمونه واقعی گلخانه خورشیدی براساس مدل بهینه شبیه‌سازی‌شده بوسیله نرم‌افزار *انرژی‌پلاس* اقدام گردید. به همین منظور و با در نظرگرفتن ملاحضات اجرایی و آزمایشگاهی، نمونه واقعی گلخانه، براساس یک‌سوم حداکثر طول و ارتفاع مدل بهینه گلخانه شبیه‌سازی‌شده ساخته شد و سایر ابعاد و اندازه‌های مربوطه براساس روابط مدل بهینه شبیه‌سازی‌شده و جدول (۴) محاسبه گردید. همچنین در جدول (۵) مشخصات مصالح نمونه ساخته‌شده گلخانه مشخص گردیده است.

۳-۱. سنجش حرارتی نمونه ساخته‌شده گلخانه خورشیدی

به منظور اعتبارسنجی شبیه‌سازی نرم‌افزاری مدل بهینه گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه، بایستی پس از ساخت نمونه واقعی گلخانه، نسبت به سنجش حرارتی درونی آن در شرایط واقعی اقدام نمود به همین منظور و به منظور ثبت داده‌های دمای درونی نمونه ذکرشده در شرایط واقعی، نسبت به قراردادن دستگاه دیتالاگر (دما، رطوبت نسبی و فشار هوا) در درون آن به مدت ۴۸ ساعت اقدام گردید.[۱۷] دستگاه دیتالاگر استفاده شده در این پژوهش از نوع لاترون ساخت کشور تایوان بوده که دارای دقتی با ضریب خطای حدوداً ۰/۸ درجه سانتی گراد می باشد.[۱۸،۱۹] تصویر (هفت) مراحل درزبندی و موقعیت و دستگاه دیتالاگر و وضعیت قرارگیری آن را در درون مدل ساخته‌شده نشان می‌دهد که به منظور کاهش اثر جرم حرارتی به صورت معلق در مرکز نمونه ساخته‌شده قرار داده شده و به منظور خنثی‌نمودن اثر حرارتی تابش مستقیم خورشید بر روی دستگاه دیتالاگر، از یک قطعه عایق حرارتی (تفلون فشرده به ضخامت ۱ سانتی‌متر) در پشت آن استفاده گردیده است همچنین پیش از انجام سنجش مذکور نسبت به تعیین زاویه آزیموت ده درجه جنوب غربی (۱۹۰ درجه) (رازجویان، ۱۳۸۸) و چرخش نمونه ساخته‌شده در امتداد آن برای برخورداری از بهینه‌ترین زاویه تابش خورشیدی (براساس مدل بهینه شبیه‌سازی‌شده) اقدام گردید. شایان ذکر است اثر سایه اندازی پروفیل های فلزی نمونه ساخته‌شده به دلیل ناچیزبودن مورد چشم‌پوشی قرار گرفته است.

از آنجا که داده‌های آب و هوایی (فایل اقلیمی) بارگذاری‌شده در نرم‌افزار *انرژی‌پلاس* به صورت ساعتی می‌باشد.[۱۹] لذا دمای درونی نمونه‌ها نیز به صورت ساعتی مورد سنجش قرار گرفت شایان ذکر است که بیشترین و کم‌ترین دمای بیرونی در بازه زمانی سنجش میدانی صورت گرفته به ترتیب برابر با ۲۶/۴ و ۱۲/۸ درجه سانتی گراد، که از (ایستگاه هواشناسی دانشگاه آزاد کرمانشاه) نزدیک‌ترین محل به انجام آزمایش اخذ گردید. همان‌طور که در ادامه و در جدول (۶) مشخص گردیده است، بیشترین دمای ثبت‌شده درونی نمونه ساخته‌شده گلخانه، ۶۰ درجه سانتی‌گراد[۲۰] و کم‌ترین دمای درونی آن ۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد در بازه زمانی آزمایش میدانی رخ داده است.

۴- مقایسه نتایج حاصل از آزمایش میدانی نمونه ساخته‌شده و نمونه شبیه‌سازی‌شده

جدول ۴- ابعاد و اندازه مدل بهینه شبیه‌سازی‌شده و نمونه ساخته‌شده گلخانه خورشیدی .

نمونه	طول(m)	عرض (m)	ارتفاع (m)	زاویه شیب سقف (Deg)
نمونه شبیه‌سازی‌شده	۶	۲/۳۵	۲/۸	۵۰
نمونه ساخته‌شده	۲	۰/۷۸	۰/۹۳	۵۰

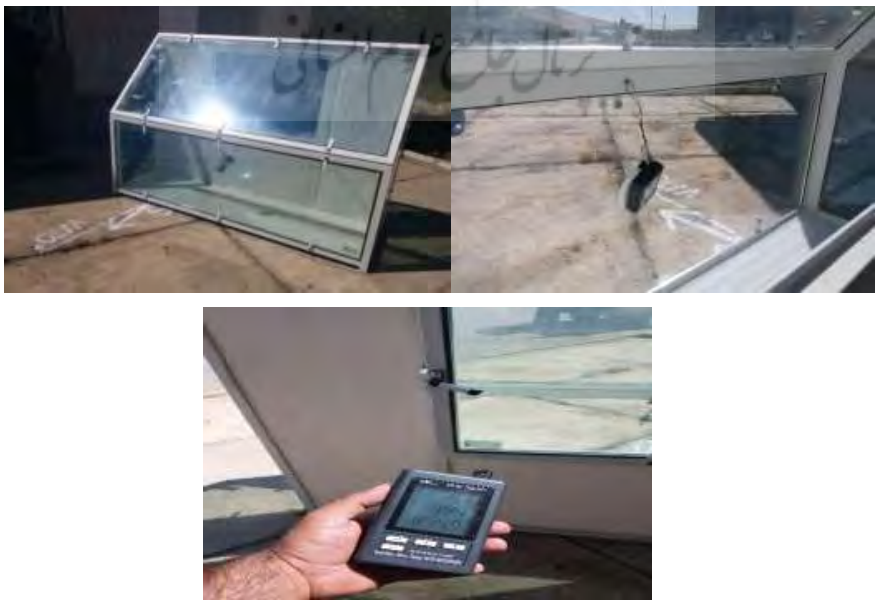
جدول ۵- مشخصات مصالح نمونه ساخته‌شده گلخانه خورشیدی.

نوع مصالح	فریم شیشه	جداره نورگذر	عایق کاری	درزبندی
ضلع جنوبی	پروفیل فولادی ۵ سانتی متر	شیشه دوجداره (جداره خارجی ۶ میلیمتر با لایه کم گسیل خارجی و اسپیسر ۱۰ میلیمتر و جداره داخلی شیشه ۴ میلیمتر فلوت ساده)	چسب آکواریم بی رنگ دو طرفه	چسب آکواریم بی رنگ دو طرفه
ضلع شمالی	پروفیل فولادی ۵ سانتی متر	-	جداره خارجی لایه کارتن پلاست به ضخامت ۱۰ میلیمتر و جداره داخلی فوم فشرده با ضخامت ۱۰ میلیمتر	چسب آکواریم بی رنگ دو طرفه
ضلع شرقی	پروفیل فولادی ۵ سانتی متر	شیشه دوجداره (جداره خارجی ۶ میلیمتر با لایه کم گسیل خارجی و اسپیسر ۱۰ میلیمتر و جداره داخلی شیشه ۴ میلیمتر فلوت ساده)	چسب آکواریم بی رنگ دو طرفه	چسب آکواریم بی رنگ دو طرفه
ضلع غربی	پروفیل فولادی ۵ سانتی متر	شیشه دوجداره (جداره خارجی ۶ میلیمتر با لایه کم گسیل خارجی و اسپیسر ۱۰ میلیمتر و جداره داخلی شیشه ۴ میلیمتر فلوت ساده)	چسب آکواریم بی رنگ دو طرفه	چسب آکواریم بی رنگ دو طرفه
کف	پروفیل فولادی ۵ سانتی متر	-	جداره خارجی لایه کارتن پلاست به ضخامت ۱۰ میلیمتر و جداره داخلی فوم فشرده با ضخامت ۱۰ میلیمتر	چسب آکواریم بی رنگ دو طرفه

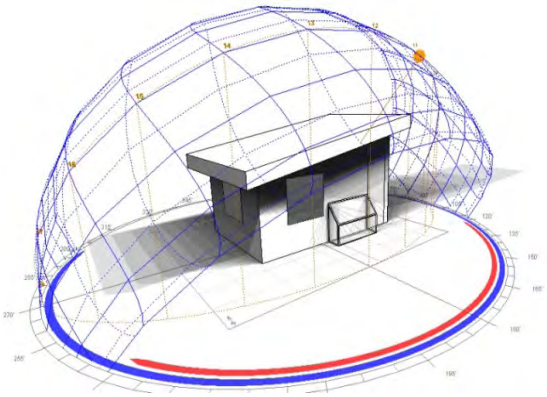
به منظور هرچه نزدیک‌ترشدن نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزاری به آنچه در نمونه واقعی اتفاق می‌افتد و اعتباربخشیدن به شبیه‌سازی‌هایی که دراین تحقیق انجام گرفته است. انجام فرایند اعتبارسنجی نرم‌افزار شبیه‌سازی تحقیق در تحلیل‌های صورت‌گرفته امری لازم و ضروری است. به‌طورکلی میزان اختلاف نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزاری نسبت به آزمایشات میدانی تعیین‌کننده میزان اعتبار شبیه‌سازی انجام‌شده خواهد بود. بر این اساس فرایند اعتبارسنجی شبیه‌سازی در این تحقیق بدین صورت انجام گرفت که در ابتدا نمونه واقعی گلخانه خورشیدی براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل بهینه گلخانه خورشیدی (با مقیاس کوچک‌تر) ساخته شد و به منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار شبیه‌سازی منتخب پژوهش (انرژی‌پلاس)، با استفاده از آن، یک نمونه شبیه‌سازی‌شده با مشخصات دقیق و مطابق نمونه ساخته‌شده در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی گردید. سپس با قراردادن دستگاه دیتالاگر در نمونه ساخته‌شده دمای آن به‌صورت ساعتی برای یک بازه زمانی ۷۲ساعته ثبت و سنجش گردیده و سپس دمای میانگین درونی نمونه شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار *انرژی‌پلاس* نیز برای همان دوره زمانی محاسبه گردیده است. با مقایسه دماهای فوق می‌توان علاوه بر تعیین اعتبار شبیه‌سازی صورت‌گرفته توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی، در مراحل بعدی، شرایط مدل شبیه‌سازی‌شده را هرچه بیشتر به نمونه ساخته‌شده نزدیک کرد.

همان‌طور که قبلاً ذکر گردید در شبیه‌سازی مدل نرم‌افزاری، اطلاعاتی از قبیل ابعاد و اندازه‌های مدل، زاویه شیب، جهت گیری و جنس مصالح به میزان قابل قبولی نزدیک به شرایط واقعی قابل دسترسی بود، اما در نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترهای دیگری نیز دخیل هستند که اندازه‌گیری آنها به سادگی میسر نمی‌باشد، از آن جمله می‌توان به میزان نفوذ هوای خارج به داخل اشاره کرد که می‌تواند تأثیر قابل توجهی در نتایج شبیه‌سازی بگذارد. عامل مهم دیگری که می‌تواند در نتایج شبیه‌سازی‌ها تأثیرگذار باشد اطلاعات آب و هوایی مورد استفاده خواهد بود، چرا که امکان انطباق کامل داده‌های آب و هوایی نرم‌افزار و شرایط واقعی تقریبا وجود نداشته و تنها می‌توان با تهیه فایل آب و هوایی با استفاده از داده‌های محلی به شرایط واقعی نزدیک شد، که همان‌طور که قبلاً ذکر گردید. این موضوع در حاشیه این تحقیق انجام شد. همچنین اختلاف بین ضرایب هدایت حرارتی مصالح تعریف شده در نرم‌افزار که به‌صورت استاندارد و در شرایط آزمایشگاهی تعیین گردیده و ضریب هدایت حرارتی واقعی مصالح در مدل واقعی نیز عامل دیگری است که باعث ایجاد اختلاف بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی نرم‌افزاری و آزمایشات میدانی خواهد گردید. به این موضوع خطاهای انسانی و ابزار دقیق (خطای دستگاه دیتالاگر) را نیز بایستی اضافه نمود. نمودار (۶) مقایسه دمای ساعتی اندازه‌گیری‌شده (۲۴ ساعته اول) ، نمودار (۷) مقایسه همان دماها در (۲۴ ساعت دوم) و نمودار (۸) مربوط به (۲۴ ساعت سوم) آزمایش میدانی (از تاریخ بیست و یکم اردیبهشت‌ماه) نمونه ساخته‌شده گلخانه و نمونه شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد.

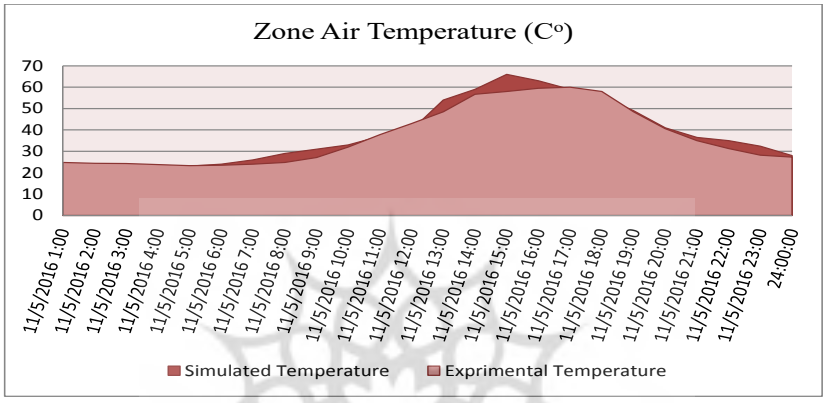
با توجه به نمودارهای فوق می‌توان دریافت که طی ۴۸ ساعت اول سنجش میدانی، روند تغییرات میانگین دمای درونی نمونه شبیه‌سازی‌شده و نمونه ساخته‌شده روندی همگام و نزدیک به یکدیگر دارند. اما در۲۴ ساعت سوم آزمایش میدانی مشاهده گردید. که علی‌رغم همگام‌بودن روند تغییرات میانگین دمای درونی دو مدل اما اختلاف دمایی دو مدل افزایش قابل توجهی می‌یابد. که این امر به دلیل ابرناک‌شدن آسمان و وزش بادهای محلی در۲۴ ساعت سوم و کاهش دریافت تابش خورشیدی و در نتیجه کاهش میانگین دمای درونی مدل ساخته‌شده نسبت به مدل شبیه‌سازی‌شده، قابل توجیه می باشد جهت تعیین مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف معیار و واریانس و همچنین نمودار پراکنش خطی داده‌های دو مدل از روش آمار توصیفی با استفاده از نرم‌افزار *spss* استفاده گردید که نتایج آن در جداول (۶) و (۷) و نمودار (۹) قابل مشاهده است.



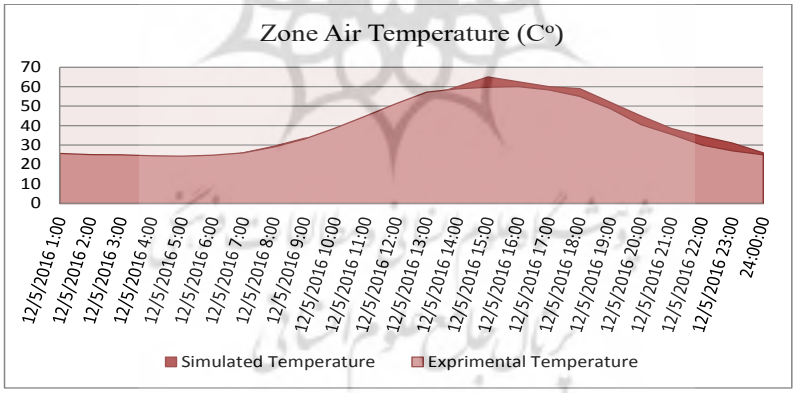
تصویر ۷- درز بندی وموقعیت نصب دستگاه دیتالاگر در درون نمونه ساخته‌شده گلخانه خورشیدی و چرخش برای دریافت حداکثر تابش خورشیدی.



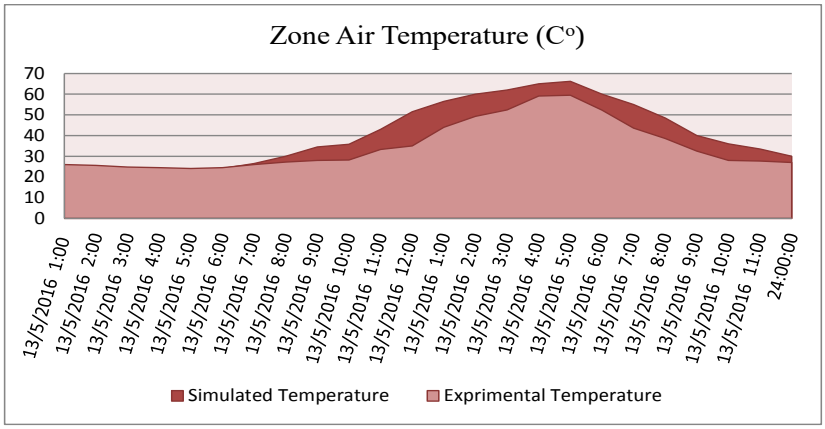
تصویر ۸- مدل شبیه‌سازی‌شده از نمونه واقعی. مأخذ: (نرم‌افزار *اکوتکت*)



نمودار ۶- نمودار مقایسه دمای درونی نمونه شبیه‌سازی‌شده با نمونه ساخته‌شده گلخانه خورشیدی در ۲۴ ساعت اول.



نمودار ۷- نمودار مقایسه دمای درونی نمونه شبیه‌سازی‌شده با نمونه ساخته‌شده گلخانه خورشیدی در ۲۴ ساعت دوم.



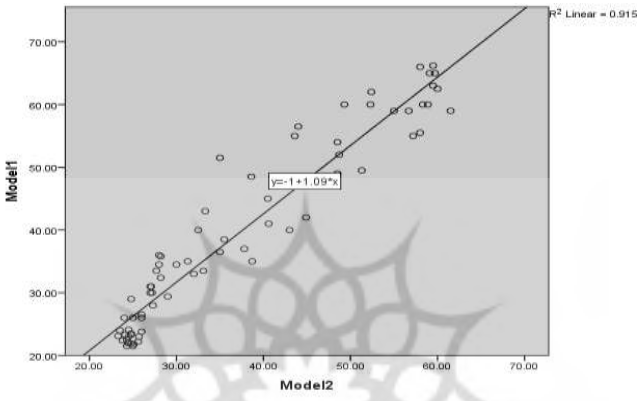
نمودار ۸- نمودار مقایسه دمای درونی نمونه شبیه سازی شده با نمونه ساخته شده گلخانه خورشیدی در ۲۴ ساعت سوم.

جدول ۶- جدول مشخصات آمار توصیفی دو نمونه بااستفاده از نرم‌افزار *spss*.

نمونه	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار	واریانس
نمونه شبیه‌سازی‌شده	۲۱/۵۰	۶۶/۲۰	۳۹/۱۸۳	۱۴/۸۸	۲۲۱/۷۱۲
نمونه ساخته‌شده	۲۳/۳۰	۶۰	۳۶/۸۷	۱۳/۰۶	۱۷۰/۸۰۶

جدول ۷- جدول مقایسه درصد فراوانی بازه‌ای داده‌ها در دو نمونه با استفاده از نرم‌افزار *spss*.

بازه دمایی (C^o)	درصد فراوانی در نمونه شبیه‌سازی‌شده	درصد فراوانی در نمونه ساخته‌شده
۲۰-۳۰	۳۴/۷	۴۷/۲
۳۰-۴۰	۲۳/۶	۱۶/۷
۴۰-۵۰	۱۲/۵	۱۳/۹
۵۰-۶۰	۱۳/۹	۱۹/۴
۶۰-۷۰	۱۵/۳	۲/۸



نمودار ۹- نمودار پراکنش خطی داده‌ها در دو نمونه شبیه‌سازی‌شده و ساخته‌شده. مأخذ: (نرم‌افزار *spss*)

نتیجه

با توجه به نتایج آزمایشات میدانی انجام‌شده، مدل شبیه‌سازی‌شده گلخانه خورشیدی تا حد زیادی شبیه به نمونه ساخته‌شده واقعی عمل می‌نماید، نمودار پراکنش خطی داده‌های دو نمونه بیانگر این امر است که داده‌های نمونه شبیه‌سازی‌شده و نمونه ساخته‌شده پیرامون خط رگرسیونی پراکنش داشته و دارای رابطه‌ای خطی نسبتاً قوی با یکدیگر می‌باشند. به نظر می‌رسد به صفررسانیدن مقدار هوای نفوذی به مدل ساخته‌شده از طریق عایق‌بندی، درزبندی و تهیه و بارگذاری داده‌های آب و هوایی (فایل اقلیمی) تهیه‌شده از داده‌های محلی (ایستگاه سینوپتیک فرودگاه کرمانشاه) می‌تواند تأثیرات اساسی در صحت و اعتبار شبیه‌سازی با نرم‌افزار فوق داشته باشد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که شبیه‌سازی صورت‌گرفته در این تحقیق با نرم‌افزار *انرژی‌پلاس* از صحت و اعتبار کافی برخوردار می‌باشد و بر این اساس مدل شبیه‌سازی‌شده گلخانه خورشیدی در اقلیم شهر کرمانشاه براساس مفروضات ارائه‌شده در شبیه‌سازی شامل (جهت‌گیری بهینه (زاویه آزیموت ده درجه جنوب غربی (۱۹۰ درجه))، زاویه شیب بهینه سقف (۵۰ درجه نسبت به سطح افقی)، ابعاد بهینه براساس معادله (cot (50) =b/h))، جداره نورگذر (استفاده از شیشه دوجداره دارای شیشه ۶ میلی‌متر با لایه کم‌گسیل در لایه خارجی و شیشه ۴ میلی‌متر ساده با فاصله دوجداره ۱۳ میلی‌متر و پرشده از گاز خنثی (آرگون) در لایه داخلی) و نصب عایق حرارتی پرده‌ای به ضخامت ۵۰ میلی‌متر جهت جلوگیری از اتلاف حرارتی شبانه) می‌تواند به‌عنوان مدل بهینه گلخانه خورشیدی در شهر کرمانشاه تعیین گردد. لذا هدف اصلی تحقیق، تأمین گردیده و در دسترس خواهد بود. هر چند که در این پژوهش، انتخاب مدل بهینه گلخانه براساس روش قیاسی بین مفروضات مختلف صورت گرفته است و این امر در تقویت اعتبار شبیه‌سازی صورت‌گرفته نیز تأثیر مثبت خواهد داشت. شایان ذکر است این تحقیق می‌تواند در مراحل بعد راه‌گشای پژوهش‌هایی همچون بررسی تأثیرات استفاده از مدل بهینه گلخانه خورشیدی در کاهش بار گرمایشی فضاهای ساختمانی در شهر کرمانشاه باشد که این موضوع نیازمند تحقیقات جداگانه خواهد بود.

پی‌نوشت‌ها

1. Green house Effect.

۲. استدلال قیاسی (Deductive Reasoning): استدلال کردن یا گواه‌آوردن از بحث‌های قیاسی به‌دست می‌آید. در این‌گونه بحث، تلاش می‌شود تا نشان داده شود که نتیجه به‌طور بایسته و ضروری، از مجموعه‌ای از پیش‌فرض‌ها یا فرضیه‌ها به‌دست می‌آید. بحث قیاسی هنگامی معتبر است که نتیجه به‌طور بایسته و ضروری، از پیش‌فرض و فرضیه به‌دست آید. در استدلال قیاسی مقدمات به‌طور قطعی از نتیجه حمایت می‌کنند.

۳. نمونه واقعی ساخته‌شده (Portotype): یک نمونه اولیه است که برای امتحان‌کردن یک ایده یا یک روند کاری ساخته می‌شود. ساختن و کارکردن با این نمونه باعث می‌شود که برخی از یافته‌ها در یک مقیاس خاص پدیدار شده و برخی پرسش‌ها در قالب تحقیق پاسخ داده شود همچنین برخی ایرادها و

محدودیت‌ها نیز پیدا شده و نمونه‌های اصلی با سعی در اصلاح آنها ساخته شود.

4. Mottard & Fissore.

5. Oliveti De Simone & Ruffolo.

6. DEROB-LTH. 7. Mihalakakou and Ferrante.

8. TRNSYS. 9. Esposti et al.

10. Talleghani. M Tenpierik & A Van Den Dobbelsteen.

11. Atrium. 12. EnergyPlus(V: 8.2).

۱۳. تفلون فشرده (PTFE): یا پلی‌تترا فلور اتیلن از محصولات پلیمری است که دارای خواص ویژه‌ای شامل (مقاومت حرارتی بالا (دمای ذوب ۳۷۵ درجه سانتی‌گراد)، عایق حرارتی، مقاومت در برابر نفوذ هوا، رطوبت و عوامل شیمیایی و ...) می‌باشد.

۱۴. آزیموت (Azimuth Angel): زاویه سمت در دستگاه مختصات کروی

15. Low-e Glass (Low-emissivity Glass).

16. Validation.

۱۷ .این آزمایش در تاریخ 10 May 2016 (۲۱ اردیبهشت‌ماه ۹۶) انجام گرفته است.

18. Datalogger (Lutron, Model:MHB-382SD (Humidity,Baro & Temprature) (Accuracy: $\pm$ 0.8 C^{O})

۱۹. داده‌های آب و هوایی (فایل اقلیمی) بارگذاری‌شده در نرم‌افزار شبیه‌سازی منتخب این پژوهش (انرژی‌پلاس)، پس از جمع‌آوری داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه کرمانشاه در بازه زمانی ده‌ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۵) از روش ساندیا (برگرفته از دپارتمان انرژی آمریکا) با استفاده از نرم‌افزار *اکسل* فرمول‌نویسی و سپس به فرمت EPW جهت بارگذاری در نرم‌افزار *انرژی‌پلاس* تبدیل شده است (جهت مطالعه بیشتر به ردیف ۶ بخش مراجع این مقاله مراجعه شود).

۲۰. با توجه به اینکه حداکثر دمای ممکنه ثبت، به‌وسیله دستگاه دیتالاگر در شرایط سنجش ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد وقوع دماهای بالاتر در مدل ساخته‌شده نیز محتمل می‌باشد.

فهرست منابع

حیدری، شاهین(۱۳۹۳)، *سازگاری حرارتی در معماری*. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

رازجویان، محمود (۱۳۸۸)، *آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم*، ویراست دوم. تهران، دانشگاه شهید بهشتی.

کسمایی، مرتضی(۱۳۸۲)، *اقلیم و معماری*، ویراست هفتم. تهران. نشر خاک.

گیلانی، سارا؛ محمد کاری، بهروز (۱۳۹۰)، بررسی عملکرد گرمایشی گلخانه‌های خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد؛ نمونه موردی: شهر اردبیل، تهران، نشریه علمی-پژوهشی *مکانیک مدرس*، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۱۴۷-۱۵۷.

مازریا، ادوارد (۱۹۷۹)، *معماری خورشیدی غیرفعال*، ترجمه بیژن‌آقازاده، تهران، نشرپیک ادبیات.

مقدسی، محمدمهدی؛ حیدری، شاهین؛ شاهچراغی، آزاده، و دانشجو، خسرو (۱۳۹۷)، تحلیل محدودهٔ نیاز حرارتی (نمودار سایکومتریک) بر مبنای تهیه و اعتبارسنجی فایل اقلیمی مبتنی بر داده‌های آب و هوایی (مطالعهٔ موردی: ایران، شهر کرمانشاه)، نشریه علمی-پژوهشی *اکوهیدرولوژی*، دوره ۵، شماره ۲، صص ۶۵۱-۶۳۹.

Esposti W., Meroni I., Scamoni F., Tirloni P., Pollastro C & Lacci R. (1990. *ExperimentalAnalysis of the Energy Performance of anAttached Sunspace*, Energy and Buildings; No. 14.

Mottard Jean Michel & Fissore Adelqui. (2007). *Thermal Simulation of an Attached Sunspace and its Experimental Validation*; Solar Energy; No. 81, pp 305-315.

Mihalakakou G & Ferrante A. (2000). *Energy Conservation and Potential of a Sunspace:Sensitivity Analysis*, Energy Conversion & Management, No. 41.

Mihalakakou G. (2002). *On the Use of Sunspace for Space Heating/Cooling in Europe*, Renewable Energy, No. 26.

Oliveti G., De Simone M& Ruffolo S. (2008). *Evaluation of the Absorption Coefficient for Solar Radiation in Sunspaces and WindowedRooms,* Solar Energy, No. 82.

Taleghani, Mohammad,Tenpierik, Martin ,(2012). Dobbelsteen Andy van den, The Effect of Different Transitional Spaces on Thermal Comfort and Energy Consumption of Residential Buildings, Faculty of Architecture, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Abstract of Research Article
DOI: 10.22059/JFAUP.2022.250112.671934

Analysis and Comparison of the Thermal Performance of Solar Greenhouse (Simulated Model and Portotypic Model) in The Cold and Mountainous Climate of The Country (Case Study: Iran, Solar Greenhouse in Kermanshah City)

Mohammad Mahdi Moghadasi*[*1], Shahin Heidari [2], Azadeh Shahcheraghi [3]

[1]Assistant Professor, Department of Architecture, Qasre Shirin Center, Islamic Azad University, Qasre Shirin, Iran.
[2] Professor, Department of Architectural Technology, School of Architecture, College of Fine Arts,Tehran University, Tehran, Iran.
[3] Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Civil Engineering, Art and Architecture,
Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(Received: 16 Jan 2018, Accepted: 20 Apri 2022)

One of the ways to conserve energy is to use passive solutions in buildings, Solar greenhouses are one of these solutions. In this research, the optimal model of solar greenhouse in Kermanshah city is determined. The main goal of this research is to validate and verify the software simulation using the construction and field testing of the real model in order to determine the optimal model of the solar greenhouse in Kermanshah city. In this research, the concepts related to the efficiency of greenhouse effects are discussed. The method will be descriptive. The selected simulation software of this research is Energy Plus due to the numerical and comparative nature of the research, and in the parts where the research examines the optimal model of the solar greenhouse in Kermanshah, using the above software. Analytical method. Since the results of the studies are compared, the method is comparative. Computer simulation of energy consumption in the building is an analytical method and comparison with the field observations through the construction and testing of the actual greenhouse model is an experimental method.

In this research, using the Energy Plus software, while assuming some basic variables in the thermal performance of the solar greenhouse, including (orientation, roof tilt angle, dimensions, translucent window and heat loss), the optimal state, by simulating the conditions different and the comparison between them has been determined, in order to be closer to the real conditions, the loading of the climate file prepared from the hourly weather data of Kermanshah Airport meteorological station has been used in the simulation software. Therefore, by assuming several basic variables in the thermal performance of the greenhouse, the optimal mode includes (190 degrees southwest orientation), roof slope angle (50 degrees), dimensions based on the equation (cot (500) = b/h), translucent wall (6 mm glass with low external emissivity layer and 4 mm plain glass with 13 mm gap and neutral gas injection) and installation of thermal insulation with a thickness of 50 mm) were determined by simulating different conditions. In order to validate the simulation, compared to the construction of the actual greenhouse sample, based on the results of the initial simulation, the action and thermal performance of the two simulated and constructed samples were compared during a 72-hour field test, the results show that Ali Although there is a difference in the recorded internal temperatures of the two samples, especially during the third 24 hours (due to the phenomenon of cloudy sky and local winds), the trend of their temperature changes is synchronized and the analysis of descriptive statistics and the linear distribution diagram of the resulting data using From the SPSS software, it shows a relatively strong distribution and linear relationship around the regression line, which generally shows the accuracy and validity of the software simulation.

The most important innovation aspect of this research is the simultaneous use of software simulation methods and its validation through real model construction and field tests. which will provide sufficient confidence in the research results.

Keywords
Solar Greenhouse, Energy Simulation, Energy Plus, Solar Passive Systems.

* Corresponding Author: Tel: (+98-918) 836834, Fax: (+98-83) 37273907, E-mail: m3line@yahoo.com