نشریه علمی معماری اقلیم گرم و خشک
سال هشتم، شماره یازدهم، بهار و تابستان ۱۳۹۹

مقالهٔ پژوهشی

بهینه‌سازی فضاهای نیمه باز خانه‌های آپارتمانی جهت تبدیل به گلخانه خورشیدی با استفاده از الگوریتم ذوب فلزات

وحید بختیاری[1*]، ریما فیاض[2]

۱- دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

۲- دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۰٤/۲۱)

چکیده

بهبود آسایش حرارتی، از جمله مسائل مهمی است که در ساختمان‌های امروزی مورد تأکید است. با توجه به روند رو به رشد مصرف انرژی، تلاش برای صرفه‌جویی در ساختمان‌های کشور یک ضرورت انکارناپذیر است. از طرفی استفاده بهینه از انرژی رایگان خورشیدی، محیطی مطلوب را برای ساکنین ساختمان فراهم می‌آورد و از سوی دیگر، سبب کاهش میزان انرژی مصرفی ساختمان در فصول سرد سال خواهد شد. از آنجا که روند کلی ساخت و سازهای مسکونی در کشور به‌سمت توسعه واحدهای آپارتمانی سوق پیدا کرده‌است؛ استفاده از راهکارهای اقلیمی که بتواند در چنین بناهایی به عنوان واقعیت موجود شهرسازی کشور مورد استفاده قرار گیرد، نیاز مهمی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است. استفاده از فضاهای نیمه باز همچون بالکن، مهتابی و ایوان تحت عنوان «فضای نیمه باز» در واحدهای آپارتمانی مورد تأکید مقررات ملی ساختمان ایران است و در اکثر ساختمان‌های امروزی وجود دارد. درصورت طراحی هوشمندانه، این دسته از فضاها قابلیت تبدیل به یک گلخانه خورشیدی به عنوان یک سامانه ایستا برای جذب و بهره‌برداری از انرژی خورشیدی را فراهم می‌کنند. هدف از این پژوهش، استفاده از هوش مصنوعی و بهینه‌سازی الگوریتمی به منظور یافتن ابعاد، فرم مشخصات فنی بهینه فضاهای نیمه باز آپارتمانی در اقلیم گرم و خشک، در جهت تبدیل آن‌ها به یک گلخانه خورشیدی برای استفاده در مواقع سرد سال است. روش تحقیق در این پژوهش شبیه‌سازی و استدلال منطقی است. ازاین‌رو با به خدمت گرفتن روش شبیه‌سازی فضایی مسکونی در شهر شیراز، پارامترهای فضای نیمه‌باز ساختمان (ابعاد فضای نیمه‌باز، ابعاد پنجره متصل به فضای داخل، نوع فضای نیمه باز، جنس شیشه و تهویه) به منظور ایجاد قابلیت تبدیل به گلخانه خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت و شرایط بهینه هریک از این پارامترها برای شهر شیراز تعیین شد. نتایج حاکی از آن است که چنین فضایی در حالت بهینه می‌تواند تا ۵۴ درصد از مصرف انرژی گرمایشی ساختمان را کاهش دهد. در این میان بهترین پاسخ را فضای نیمه باز مهتابی با استفاده از پوشش شیشه دوجداره، از خود نشان داد.

کلید واژها: بهینه‌سازی چند هدفه، معماری پایدار، الگوریتم ذوب فلزات، صرفه جویی در مصرف انرژی، گلخانه خورشیدی، فضای نیمه باز

* - نویسنده مسئول: Email: Vahid.bakhtyari@gmail.com

۱- مقدمه

تأمین آسایش حرارتی همواره یکی از دغدغه‌های طراحان ساختمان بوده و در سال‌های اخیر با بحرانی شدن موضوع مصرف انرژی در دنیا، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌است. در این راستا طراحی بر مبنای عملکرد با هدف کنترل ورود تابش خورشید به درون ساختمان و انتقال حرارت به بیرون، بهترین کارایی را در استفاده از انرژی خورشیدی به همراه دارد (Talaei, Mahdavinejad, Zarkesh, & Motevali Haghighi, 2017). این امر سبب شده‌است تا راهکارهای متعددی به منظور کاهش مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های نو در صنعت ساختمان عرضه شود. استفاده از سامانه‌های غیرفعال خورشیدی از جمله گلخانه خورشیدی از جمله راهکارهای موثری است که می‌تواند امکان استفاده از انرژی خورشیدی را به صورت پایدار فراهم کند. از سویی محدودیت‌های عمدتاً اقتصادی سبب شده که بیشتر ساخت و سازهای مسکونی در شهرهای بزرگ کشور به سمت تولید واحدهای آپارتمانی پیش رود و این روند در حال گسترش است. این موضوع موجب شده تا بسیاری از گزینه‌هایی که به عنوان راهکارهای کاهش مصرف انرژی یا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان شناخته شده‌اند قابلیت اجرای خود را از دست بدهند. فارغ از درستی یا نادرستی آپارتمان‌سازی، با پذیرش آن به عنوان یک واقعیت، لازم است از تمام امکانات موجود به منظور بهبود شرایط این دسته از ساختمان‌ها استفاده نمود. از جمله این امکانات استفاده از فضای نیمه‌باز به عنوان یک گلخانه خورشیدی است. این موضوع درمبحث چهارم مقررات ملی ساختمان ایران نیز مجاز شمرده شده و تحت عنوان محفظه آفتابگیر از آن یاد شده‌است (دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲).

هدف از این پژوهش، کاربرد بهینه‌سازی پارامتری با استفاده از الگوریتم ذوب فلزات برای تخمین ابعاد و اندازه، فرم و مشخصات عملکردی فضاهای نیمه باز ساختمان‌های مسکونی آپارتمانی است تا امکان استفاده از آن‌ها به عنوان گلخانه خورشیدی، جهت کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی فضای داخلی فراهم شود. به منظور رسیدن به هدف، این پژوهش شامل سه مرحله عمده است: گام اول تجزیه و تحلیل پیشینه موضوع، گام دوم استخراج پارامترها و گام سوم شبیه‌سازی و بهینه‌سازی پارامترها.

۲- پرسش‌های پژوهش

این پژوهش به این پرسش پاسخ می‌دهد که:

۱- پارامترهای موثر در طراحی گلخانه خورشیدی به منظور استفاده از تابش خورشید برای یک آپارتمان مسکونی کدامند؟

۲- باتوجه به موقعیت جغرافیایی در شرایط اقلیمی شیراز به چه ترتیب می‌توان از فضاهای نیمه باز ساختمان‌های آپارتمانی به عنوان یک گلخانه خورشیدی استفاده نمود و ابعاد و نوع بهینه این فضا به چه صورت است؟

۳- همبستگی بین پارامترهای موثر در طراحی فضای نیمه باز به عنوان گلخانه خورشیدی چگونه است؟

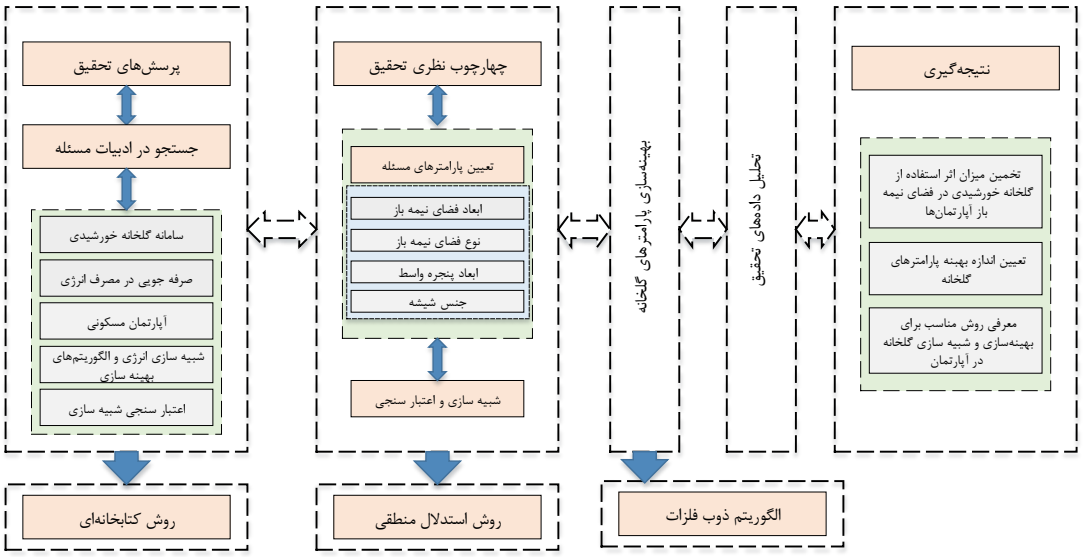
۲-۱- ضرورت مسئله

هرچند در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان ایران موضوع تبدیل فضای نیمه‌باز به محفظه آفتابگیر، مجاز شمرده شده‌است اما بررسی جامع و همه جانبه این پارامترها و محدودیت‌ها برای استفاده از چنین امکانی، مسئله‌ای است که تاکنون به آن پرداخته نشده‌است. شایان ذکر است که بررسی این موارد باید متناسب با اقلیم و موقعیت جغرافیایی خاص هر منطقه انجام پذیرد و این موضوع برای آپاتمان‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک ایران مسئله بدیعی است که دست‌مایه این تحقیق قرار گرفته‌است.

۲-۲- روش تحقیق

مرور ادبیات موضوع نشان می‌دهد که گلخانه‌های خورشیدی از گستره زیادی برخوردار هستند لذا لازم است طراحی آن بر اساس گونه‌شناسی انواع و مشخصات فنی آن صورت پذیرد. به‌عبارتی در این تحقیق گونه‌شناسی گلخانه‌های خورشیدی و مشخصات فنی آن‌ها برای تحلیل و طبقه‌بندی مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر آن‌ها بررسی شده‌است. متغیرهای مستقل این مطالعه عبارتند از: ابعاد فضای نیمه باز، مساحت پنجره واسط، نوع فضای نیمه باز، جنس شیشه پوشش دهنده گلخانه و تهویه.

در این تحقیق از روش استدال منطقی به منظور تحلیل داده‌ها استفاده شده‌است. در روش استدلال منطقی سعی می‌شود یک مسئله کاملاً تعریف شده به گونه‌ای سازمان‌یافته تدوین شود که توان توضیح و تشریح تمام نمونه‌های آن مسئله را داشته باشد (مهدوی‌نژاد، طاهباز، و دولت‌آبادی، ۱۳۹۵). در کنار این موضوع از نرم‌افزارهای پارامتری و شبیه‌سازی به منظور تحلیل میزان مصرف انرژی، استفاده شده‌است. برای حل مسئله بهینه‌سازی نیز نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی‌پلاس به نرم‌افزار تحلیلی متلب متصل شد تا با استفاده از الگوریتم ذوب فلزات عملیات بهینه‌سازی انجام پذیرد. برای دستیابی به هدف تحقیق، فرآیند پردازش اطلاعات به چند مرحله تقسیم شده است که در تصویر ۱ نمایش داده شده است. در گام نخست با استفاده از روش کتابخانه‌ای داده‌های مورد نیاز جهت ارزیابی آسایش حرارتی محیط داخلی ساختمان مسکونی، نوع و نقش سیستم‌ها در کاهش مصرف انرژی و روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی استخراج شدند. در گام دوم از روش استدلال منطقی به منظور تدوین چارچوب نظری پژوهش استفاده شد و در نتیجه با توجه به کاربری و ابعاد فضای داخلی، میزان گرمای مورد نیاز در فصول سرد سال به‌دست آمد. در این پژوهش، اقلیم مورد نظر، شهر شیراز درنظر گرفته شده و همچنین مولفه‌های تأثیرگذار بر بازدهی گلخانه خورشیدی با توجه به محدودیت‌های فضاهای نیمه باز آپارتمانی تعیین شده‌است. در این روش، نتیجه هر مرحله به صورت داده اولیه مرحله بعدی در نظر گرفته می‌شود و سبب پیوستگی و انسجام مطالب در سراسر تحقیق می‌شود.



تصویر ۱- ساختار و روش تحقیق (ماخذ: نگارندگان)

با توجه به اینکه نمونه مورد استفاده در این تحقیق در شرایط واقعی منطبق با استاندارد اشری شبیه‌سازی شده‌است، این نتایج قابل تعمیم به سایر ساختمان‌های آپارتمانی مشابه است. بر طبق آنچه در استاندارد اشری آمده، ابزارهای مورد استفاده در این تحقیق از روایی و اعتبار[1] لازم جهت پاسخ به سوالات آن برخوردار است (Judkoff & Neymark, 2004). نتایج این پژوهش در آزمون مجدد[2] تأیید شد و با در نظر گرفتن تأیید نتایج در مرحله باز آزمایی[3]، پایایی[4] پژوهش قابل اثبات است و از این رو می‌تواند در موارد مشابه مورد استناد قرار گیرد.

۳- پیشینه تحقیق

در رابطه با گلخانه‌های خورشیدی تاکنون مطالعات زیادی انجام گرفته‌است که به پاره‌ای از آن‌ها اشاره می‌شود:

لوپز و همکارانش میزان انرژی دریافتی از گلخانه خورشیدی را در یک پروژه واقعی در آب و هوای مدیترانه‌ای اندازه‌گیری و تأثیر آن را بر مصرف انرژی تأسیسات مکانیکی ساختمان بررسی کردند (Suárez López, Castro, Manso, & Marigorta, 2020). در تحقیق دیگری آلسینا و همکاران میزان اثر تبدیل بالکن یک ساختمان را به گلخانه خورشیدی مورد بررسی قرار دارند و دریافتند این موضوع کمک شایانی به کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌کند. آن‌ها تأثیر جنس شیشه و تهویه گلخانه را نیز در تحقیق خود بررسی کردند (Allesina, Ferrari, Muscio, & Pedrazzi, 2019). شیلی و همکاران او در پژوهش خود امکان ترکیب استفاده از گلخانه خورشیدی و سامانه گرمایش از کف را مورد بررسی قرار دادند و همچنین نشان دادند که در کنار ترکیب این دو، استفاده از مواد تغییر حالت دهنده به عنوان ذخیره کننده حرارتی، موجب افزایش بازدهی مجموعه

خواهد شد (Lu, Tong, & Pang, 2018). اسامه اسعد و همکارانش در مقاله خود میزان بازدهی کلی گلخانه خورشیدی الحاقی به ساختمان را با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس و همچنین برداشت میدانی اندازه‌گیری کردند آن‌ها نشان دادند که جریان هوای عبوری از بستر سنگی گلخانه به همراه ضریب U مصالح تشکیل دهنده جدار گلخانه بیشترین اثر را بر دمای داخلی آن دارد (Aaa',, Ugrr aal, & Ben-Abdallah, 2019). آلپیانی و همکارانش در یک محیط کنترل شده آزمایشگاهی تأثیر بازیافت حرارت به وسیله تأسیسات مکانیکی را در یک گلخانه خورشیدی الحاقی به یک فضای عایق بندی شده مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند جنس مصالح اطراف گلخانه تآثیر بسیار چشمگیری بر دمای داخلی آن دارد (Ulpiani, Summa, & di Perna, 2019). وانگ و همکارانش تاثیر استفاده از گلخانه سقفی را در خانه‌های روستایی شمال چین بررسی کردند؛ آن‌ها به نتیجه رسیدند که بهترین زاویه سقف در این حالت ۲۸ درجه است. همچنین استفاده از چنین گلخانه‌ای تأثیر به‌سزایی بر افزایش عمق نفوذ نور در ساختمان دارد (Wang, Yuan, Li, & Li, 2019). مهالاکاکو و فیسوره مدلی را برای شیوه جذب انرژی تابشی در گلخانه ارائه کردند. با کمک این مدل می‌توان دمای هوای داخل گلخانه را حساب کرد (Mihalakakou & Ferrante, 2000). مرونی و همکاران از یک نمونه واقعی برای بررسی عملکرد گلخانه خورشیدی استفاده کردند. آن‌ها تأثیر استفاده از پنجره جنوبی و قرارگیری گلخانه الحاقی در ضلع جنوبی ساختمان را با یکدیگر مقایسه کردند. در این مقایسه وجود گلخانه خورشیدی نتیجه بهتری را نشان داد (Meroni, Scamoni, Tirloni, Pollastro, & Lacci, 1991).

در ایران نیز پژوهش‌های متعددی در رابطه با گلخانه‌های خورشیدی انجام شده‌است. به عنوان نمونه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود:

گیلانی و محمد کاری در پژوهش خود عملکرد گلخانه خورشیدی را در ساختمان‌های مسکونی شهر اردبیل بررسی نموده‌اند. این پژوهش با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و مطالعه میدانی انجام پذیرفته و مشخص شده که برای دریافت بیشترین انرژی خورشیدی، بهترین جهت‌گیری در فصول سرد سال جهت جنوب غربی و غربی است. همچنین برای دوری از برافروختگی در مواقع گرم سال بهترین جهت، جنوب غربی است (گیلانی و کاری، ۱۳۹۰).

مقدسی و همکاران در مقاله‌ای به ارزیابی مدل بهینه گلخانه خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم معتدل و سرد کشور (کرمانشاه) پرداختند. آن‌ها دریافتند که برای استفاده از گلخانه در ماه‌های سرد سال بهترین جهت‌گیری، زاویه ۱۰ درجه از سمت جنوب به سمت غرب است و همچنین بهترین زاویه شیب، ۵۰ درجه نسبت به سطح افق گلخانه و عمق بهینه آن ۶ متر است (مقدسی و همکاران, ۱۳۹۶).

٤- روش‌های محاسباتی مربوط به ذخیره سازی حرارت

در مجموع سه شیوه برای ذخیره‌سازی انرژی گرمایی وجود دارد: ذخیره انرژی با گرمای

محسوس؛ ذخیره انرژی گرمایی نهان، و ذخیره‌ی انرژی به شیوه ترموشیمیایی.

۴-۱- گرمای محسوس

در این روش، ذخیره انرژی با افزایش دمای یک جسم صورت می‌گیرد. انرژی ذخیره شده در این حالت، به ظرفیت گرمایی ذخیره کننده انرژی، تغییر دمای ایجاد شده و جرم ماده ذخیره کننده وابسته است.

گرمای ذخیره شده از این روش طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود:

معادله ۱

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mC_p dT = mC_{ap}(T_f - T_i)$$

که در آن:

Q: حرارت ذخیره شده (J)

T_f: دمای ثانویه (°C)

T_i: دمای اولیه (°C)

m: جرم ماده (m)

C_p: گرمای ویژه (J/Kg °C)

C_{ap}: گرمای ویژه متوسط (J/Kg °C)

۴-۲- گرمای نهان

در حالت ذخیره سازی به وسیله گرمای نهان، از انرژی جذب شده در خلال تغییر فاز ماده استفاده می‌شود. معادله حرارت ذخیره شده در این شرایط از معادله ۲ معادله ۳ محاسبه می‌شود:

معادله ۲

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} mC_p dT + ma_m \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} mC_p dT$$

معادله ۳

$$Q = m\left[C_{ap}(T_m - T_i) + a_m \Delta h_m + C_{ip}(T_f - T_m)\right]$$

که در آن:

T_m: دمای ذوب (°C)

a_m: کسری از جرم ماده که ذوب شده

Δh_m: گرمای ذوب در واحد جرم (J/Kg)

C_{ap}: گرمای ویژه متوسط در فاز جامد (J/Kg °C)

C_{ip}: گرمای ویژه متوسط در فاز مایع (J/Kg °C)

۴-۳- گرمای ترمو شیمیایی

انرژی ترموشیمیایی حرارت منتقل شده در زمان انجام واکنش‌های گرماگیر و گرمازا است. میزان ذخیره انرژی به مقدار ماده ذخیره کننده، گرمای واکنش و میزان تبدیل وابسته است. حرارت ذخیره شده در این روش از معادله ۴ محاسبه می‌شود:

$$Q = a_r m \Delta h_r$$

که در آن:

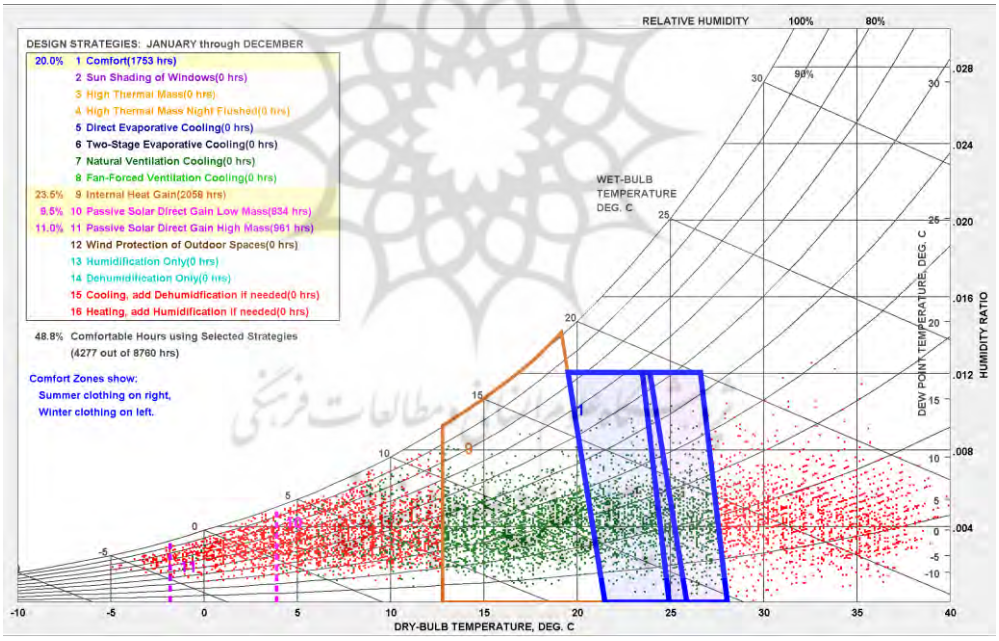
a_r: کسری از جرم ماده که در واکنش شرکت کرده است

Δh_r: گرمای واکنش گرماگیر (J/Kg)

۵- شرایط اقلیمی شیراز

شهر شیراز در جنوب ایران در عرض ۲۹/۳۲ شمالی و طول ۵۲/۳۶ شرقی قرار گرفته‌است. ارتفاع ایستگاه هواشناسی فرودگاه شیراز از سطح دریا ۱۴۸۱ متر بوده و بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی کسمایی در گروه اقلیمی ۵ و زیرگروه ۴ قرار گرفته‌است از

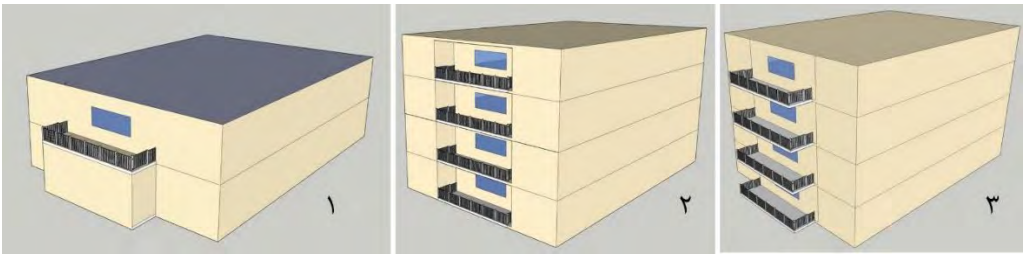
این رو دارای زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان های گرم و خشک است (کسمایی، ۱۳۷۱). براین اساس با توجه به تحلیل داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شیراز در حدود ۶ ماه از سال نیاز به گرمایش فضای داخلی ساختمان وجود دارد. همچنین با توجه به تحلیل نمودار زیست اقلیمی شهر شیراز (با توجه به داده‌های آب و هوایی ساعتی در بازه زمانی سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸) با وجود آنکه اقلیم شیراز در دسته بندی اقلیمی کسمایی به عنوان منطقه‌ای گرم و خشک معرفی می‌شود، دما در بخش عمده سال زیر دامنه آسایش حرارتی قرار دارد (تصویر ۲). از این رو ساختمان‌های واقع در این شهر نیاز گرمایشی قابل ملاحظه‌ای دارند. بخشی از نمودار زیست اقلیمی تصویر ۲ که با عدد ۱۰ و ۱۱ نمایش داده شده‌است بازه‌ای را از سال نشان می‌دهد که در آن می‌توان با استفاده از سامانه‌های خورشیدی غیرفعال همچون گلخانه خورشیدی، آسایش حرارتی را تأمین نمود. با توجه به اطلاعات نمودار مذکور، آسایش حرارتی در حدود ۲۰ درصد اوقات سال با استفاده از سامانه‌های غیرفعال خورشیدی قابل حصول است. این میزان تقریباً برابر با ۵۰ درصد کل مصرف انرژی گرمایشی ساختمان است.



تصویر ۲- نمودار زیست اقلیمی شهر شیراز (ماخذ: نگارندگان)

٦- فضای نیمه باز ساختمان به عنوان گلخانه خورشیدی

فضاهای نیمه باز در آپارتمان‌ها مطابق تعریف مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان ایران شامل بالکن، مهتابی و ایوان هستند و به عنوان یک فضای ضروری برای تأمین نیازهای یک واحد مسکونی برای دسترسی به محیط بیرون تلقی می‌شوند. اشکال شماتیک این فضاها در تصویر ۳ دیده می‌شود.



تصویر ۳- شماتیک سه نوع فضای نیمه باز مرسوم. ۱- مهتابی یا تراس، ۲- ایوان، ۳- باکن (ماخذ: نگارندگان)

از دیدگاه مصرف انرژی، کنترل انتقال حرارت از فضاهای نیمه‌باز می‌تواند کار دشوار و پر هزینه‌ای باشد. علت این امر وجود پل حرارتی ایجاد شده در محل دال کف آن‌ها است که معمولاً از میان عایق حرارتی جدار ساختمان عبور می‌کند. حذف این پل حرارتی عملیات پیچیده‌ای را طلب می‌کند که حتی در کشورهای اروپایی باتوجه به واقعی بودن قیمت انرژی در آن‌ها مقرون به صرفه نیست (Evola, Margani, & Marletta, 2011). اما در کنار این نقطه ضعف وجود چنین فضای نیمه بازی مخصوصاً اگر در جهت مناسبی از ساختمان قرار گرفته باشد (جهت جنوبی) این امکان را فراهم می‌آورد تا با پوشش این فضا به وسیله یک جدار شیشه‌ای قابل تهویه از آن به عنوان یک گلخانه خورشیدی استفاده نمود. این موضوع نه تنها مشکل پل حرارتی را در مواقع سرد سال حل می‌کند بلکه موجب جذب انرژی خورشید و کاهش نیاز به مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر برای گرمایش ساختمان‌های امروزی می‌شود (Sansaniwal, Sharma, & Mathur, 2018).

۷- پارامترهای موثر بر جذب انرژی به وسیله گلخانه خورشیدی

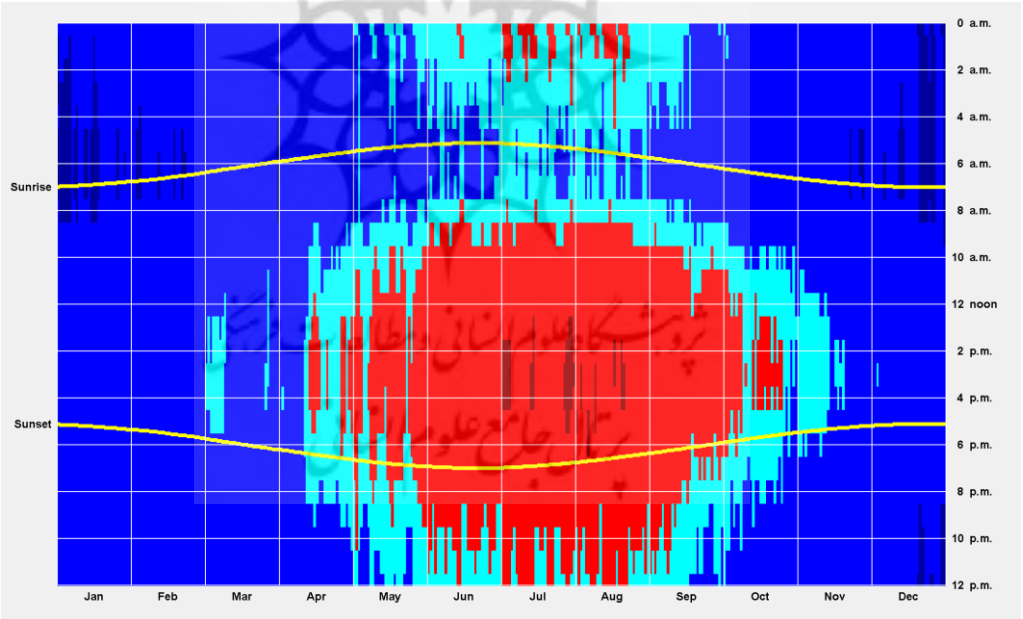
با نگاهی به پژوهش‌های پیشین روشن می شود که استفاده از سامانه گلخانه خورشیدی به عنوان یکی از راهکارهای غیرفعال مشهور امکان استفاده از گرمای تابشی خورشید را در فصول سرد سال فراهم می‌آورد. پارامترهای موثر در طراحی گلخانه خورشیدی، ابعاد، جهت‌گیری، جنس شیشه، ابعاد پنجره مابین گلخانه و فضای مجاور، سایه‌انداز، تهویه و جرم حرارتی است. از سوی دیگر استفاده از این سامانه در فضای نیمه‌باز واحدهای آپارتمانی واجد محدودیت‌هایی است از جمله: نوع فضای نیمه باز (بالکن، مهتابی و ایوان)، محدودیت در جرم حرارتی کف و وجود جدارهای سایه‌انداز در اطراف فضای نیمه باز. با توجه به اینکه در تحقیقات پیشین نشان داده شده‌است که جهت جنوبی بهترین بازده را برای گلخانه خورشیدی در نیم‌کره شمالی زمین و اقلیم مدیترانه‌ای ایجاد می‌کند (Deshpande, 2019) ، در تحقیق حاضر با توجه به روشن بودن پاسخ بهینه در این متغیر، از مطالعه مجددِ جهت‌گیری گلخانه صرف نظر و محاسبات برمبنای گلخانه رو به جنوب انجام شده‌است. بنابراین متغیرها و بازه تغییر هریک مطابق جدول ۱ درنظر گرفته شده‌است.

جدول ۱- متغیرهایی که در این پژوهش بهینه‌سازی شده‌اند

متغیر	حداقل	حداکثر	گام تغییر
طول گلخانه	۰(m)	۷(m)	۰/۰۵(m)
عمق گلخانه	۰(m)	۷(m)	۰/۰۵(m)
مساحت پنجره واسط	۰(m^2)	۲۱(m^2)	۰/۱(m^2)
تهویه	۰ (m^3/s)	۱ (m^3/s)	۰/۰۰۱ (m^3/s)

۸- شبیه‌سازی

با توجه به نمودار همدمایی مبتنی بر اطلاعات آب و هوایی ساعتی شیراز، مواقع سرد در بازه زمانی اواخر اکتبر تا اواسط آوریل (مهرتا فروردین) است (تصویر ۴). بنابراین کلیه شبیه‌سازی‌ها در این بازه انجام شده‌است. معیار آسایش حرارتی در این تحقیق، مدل معرفی شده در استاندارد اشری ۵۵ بوده و بنابراین چنین درنظر گرفته شده‌است که افراد در اوقات سرد سال لباس زمستانه و با ضریب Clo معادل ۱ پوشیده‌اند و فعالیت عمده آن‌ها در حد نشستن و مطالعه کردن است (Met برابر ۱/۱). در این شرایط حد پایین دمای آسایش ۲۰/۳ و حد بالای آن ۲۴/۳ لحاظ شده‌است (ASHRAE, 2010).

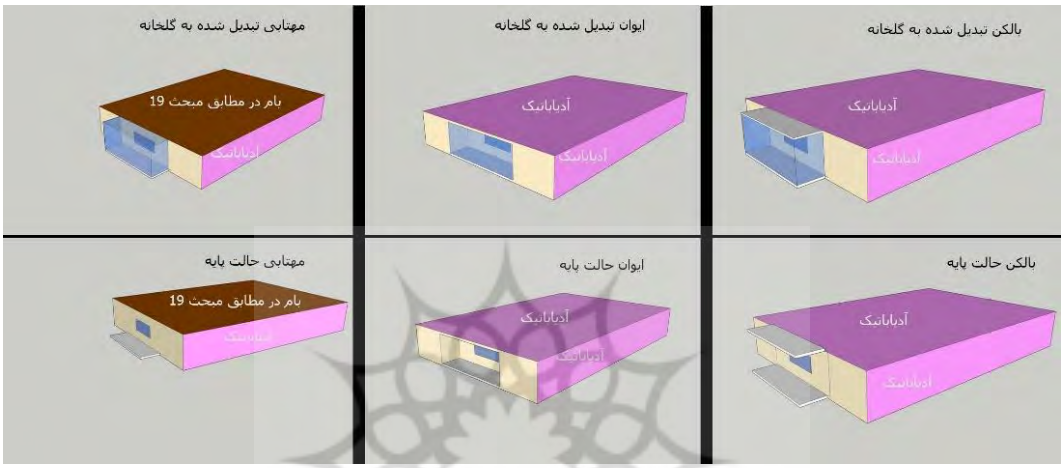


تصویر ۴- نمودار همدمایی شهر شیراز (ماخذ: نگارندگان)

۷-۱- مشخصات فضای شبیه‌سازی شده

مدل‌سازی برای انجام شبیه‌سازی انرژی در نرم‌افزار اسکچ‌آپ نسخه ۲۰۱۷ انجام گرفت؛ سپس با استفاده از افزونه این استودیو نسخه ۲/۹ به منظور انجام شبیه‌سازی وارد نرم‌افزار انرژی‌پلاس، نسخه ۹/۲ شد. در این نرم‌افزار فضایی مسکونی (مدل پایه) با ابعاد ۱۰ × ۸ متر و ارتفاع ۲۷۰ سانتیمتر و پنجره‌ای با ابعاد قابل تغییر بر روی دیوار جنوبی

ساختمان در نظر گرفته‌شد. به منظور بررسی دقیق‌تر مسئله تحقیق، به ازای هریک از فضاهای نیمه‌باز یک مدل پایه مجزا درنظر گرفته شد. برای محاسبه بالکن و ایوان سقف و کف و دیوار شرق و غرب این فضا به صورت آدیاباتیک فرض شده‌است تا مشابه یک واحد آپارتمانی عمومی در طبقات میانی ساختمان باشد. در حالت محاسبه فضای نیمه باز، مهتابی فرض شده‌است؛ آپارتمان در طبقه فوقانی است و سقف غیر آدیاباتیک و دارای عایق حرارتی مطابق با مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان است (تصویر ۵).



تصویر ۵- تصاویر حالات پایه و تبدیل فضای نیمه باز به گلخانه خورشیدی (ماخذ: نگارندگان)

همچنین با توجه به اینکه در این تحقیق اطلاعات تفکیکی مصرف انرژی فضاهای داخلی ساختمان بررسی نمی‌شود کل آپارتمان به عنوان یک زون حرارتی در نظر گرفته‌شده و تأثیر مصرف انرژی بر کل مصرف انرژی ساختمان مورد مطالعه قرار می‌گیرد. ضلع شمالی ساختمان دارای پنجره‌ای دوجداره و به اندازه ۳۰ درصد مساحت دیوار شمالی است. دیگر پارامترهای ثابت فضای مورد مطالعه بر اساس جدول ۲ درنظر گرفته شده‌اند.

جنس جدار شیشه‌ای گلخانه در دو حالت تک جداره و دوجداره مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه تنها در مواقع سرد سال از گلخانه استفاده می‌شود و در ماه‌های گرم لازم است جدار شیشه‌ای گلخانه باز شود (وجود گلخانه در فصول گرم سال موجب برافروختگی و افزایش مصرف انرژی سرمایشی خواهد شد)؛ بنابراین در فصول گرم سال ۸۰ درصد جدار خارجی گلخانه باز می‌شود. پنجره واسط میان گلخانه و فضای داخلی درتمام حالات از نوع دوجداره درنظر گرفته‌شده و همچنین انتقال حرارت از گلخانه به وسیله تهویه مکانیکی انجام و مقدار بهینه آن محاسبه شده است. در تصویر ۶ مشخصات گزینه‌های مختلفی که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند آمده است

جدول ۲- پارامترهای ثابت مسئله

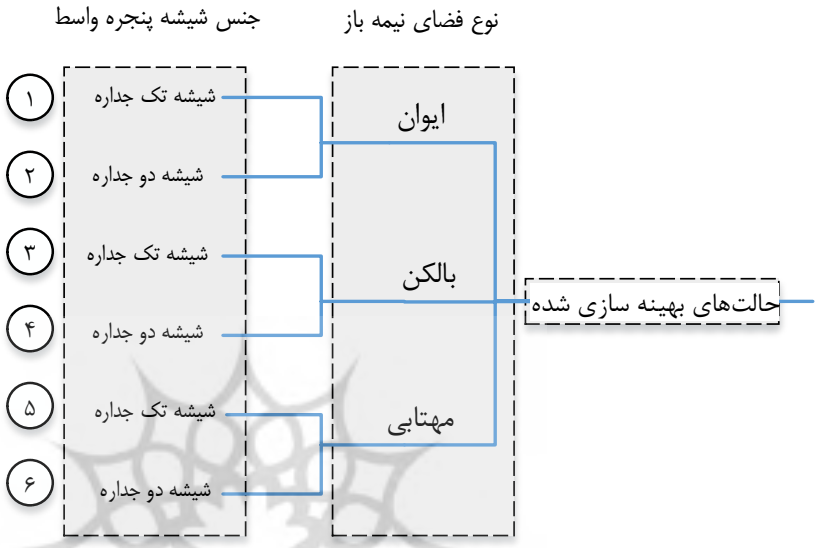
ارتفاع گلخانه	۲/۷ (m)	مقدار مصرف انرژی تجهیزات داخلی ساختمان	۰/۷ (W/m^2)
ضخامت دال کف گلخانه	۰/ ۳ (m)	نرخ نشت و نفوذ هوا	۰/۰۱۸(m^3/s)
ضریب انتقال تابش از شیشه	۰/ ۹	میزان مصرف انرژی تجهیزات روشنایی	۰/ ۱ (W/m^2)
ضریب جذب تابش سطوح کدر	۰/۵	ضریب انتقال حرارت جدار ساختمان	۰/۴$(W/m^2\,°C)$
ضریب انتقال حرارت شیشه تک جداره	۶$(W/m^2\,°C)$	تعداد ساکنین ساختمان	۴
ضریب انتقال حرارت شیشه دو جداره	۱/۵$(W/m^2\,°C)$	ضریب انتقال حرارت بام ساختمان در حالت محاسبه مهتابی	۰/۳۶$(W/m^2\,°C)$
ضریب گرمای خورشیدی (SHGC) شیشه تک جداره	۰/۸۶	ضریب گرمای خورشیدی (SHGC) شیشه دو جداره	۰/۷۳

جنس جدار شیشه‌ای گلخانه در دو حالت تک جداره و دوجداره مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه تنها در مواقع سرد سال از گلخانه استفاده می‌شود و در ماه‌های گرم لازم است جدار شیشه‌ای گلخانه باز شود (وجود گلخانه در فصول گرم سال موجب برافروختگی و افزایش مصرف انرژی سرمایشی خواهد شد)؛ بنابراین در فصول گرم سال ۸۰ درصد جدار خارجی گلخانه باز می‌شود. پنجره واسط میان گلخانه و فضای داخلی درتمام حالات از نوع دوجداره درنظر گرفته‌شده و همچنین انتقال حرارت از گلخانه به وسیله تهویه مکانیکی انجام و مقدار بهینه آن محاسبه شده است. در تصویر ۶ مشخصات گزینه‌های مختلفی که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند آمده است.

۷-۲- بهینه‌سازی به وسیله الگوریتم ذوب فلزات

الگوریتم ذوب فلزات این قابلیت را دارد که شبیه‌سازی‌ها را در یک فضای مطالعاتی چندبعدی و با هدف تعیین ارتباط مابین پارامترها کنترل نماید. الگوریتم ذوب فلزات در واقع فرایند فیزیکی سرد شدن فلزات با دمای بالا را شبیه‌سازی می‌کند. این الگوریتم با نام‌های الگوریتم تبرید، الگوریتم تدریجی سرد شدن فلزات، الگوریتم بازپخت فلزات، شبیه‌سازی گداخت و شبیه‌سازی حرارت شناخته می‌شود. در زمان سرد شدن فلزات که در دمای بالایی قرار دارند، اتم‌های آن‌ها می‌توانند به ساختارهای بلوری متفاوتی که دارای سطوح انرژی مختلفی هستند برسند. این ساختار بلوری به نرخ سرد شدن فلزات بستگی دارد روند الگوریتم به این ترتیب است که در یک دمای معین، الگوریتم

جایگاه یک اتم را به صورت اتفاقی تغییر می‌دهد و میزان تغییر در انرژی سیستم را محاسبه می‌کند؛ اگر مقدار انرژی جدید سیستم از شرایط اولیه کمتر بود ساختار جدید تأیید و پذیرفته می‌شود اما اگر مقدار انرژی بیشتر باشد، بر اساس یک تصمیم احتمالی ممکن است این ساختار رد یا تأیید شود (Huang & Niu, 2016).

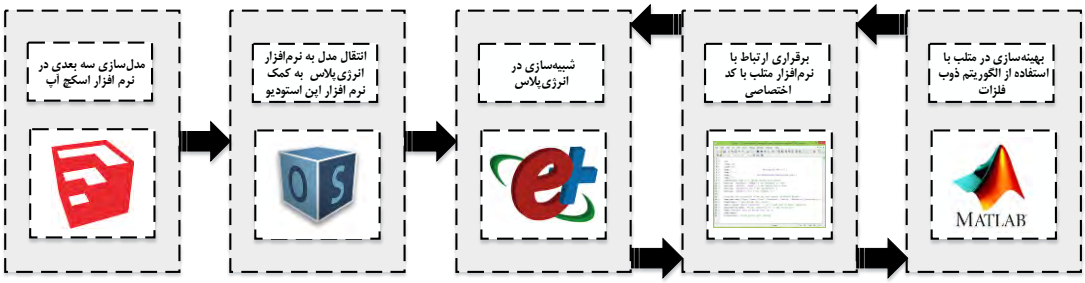


تصویر ۶- حالات مختلفی که متغیرهای آن‌ها در این پژوهش بهینه‌سازی شده‌اند (ماخذ: نگارندگان).

در پژوهشی به وسیله ورتمان و همکارانش نشان داده شده این الگوریتم یکی از بهترین انتخاب‌ها برای حل مسائل بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان است. این الگوریتم از نظر کیفیت پاسخ‌های به‌دست آمده و همچنین سرعت همگرایی، نتایج بهتری را نسبت به الگوریتم ژنتیک از خود نشان داده‌است (Wortmann et al., 2017). برتری الگوریتم ذوب فلزات در تحقیق دیگری توسط وایبل و همکارانش به اثبات رسیده است (Waibel, Wortmann, Evins, & Carmeliet, 2019)، از این رو می‌تواند انتخاب مناسب‌تری برای مطالعات پارامتری و بهینه‌سازی در رابطه با شبیه‌سازی انرژی در ساختمان باشد.

در این تحقیق برای انجام شبیه‌سازی از الگوریتم ذوب فلزات موجود در جعبه ابزار نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۸ استفاده شد. برای برقراری ارتباط میان نرم‌افزار انرژی‌پلاس به عنوان موتور شبیه‌سازی با نرم‌افزار متلب به عنوان کنترل‌کننده عملیات بهینه‌سازی، اقدام به نوشتن یک کد اختصاصی در نرم‌افزار متلب شد تا الگوریتم ذوب فلزات در جعبه‌ابزار متلب بتواند پارامترهای مورد نیاز در نرم‌افزار انرژی‌پلاس را به صورت خودکار کنترل و خروجی‌های آن را دریافت نماید. کد نوشته شده برای این منظور در پیوست۱ مقاله آمده‌است.

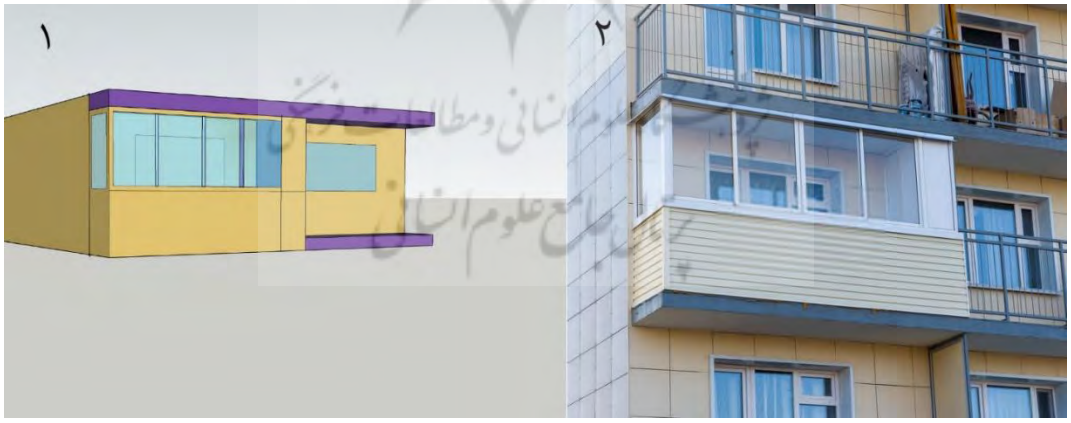
سازوکار ارتباط میان نرم‌افزارها در تصویر ۷ نشان داده شده‌است.



تصویر ۷- سازوکار استفاده از ابزارهای مختلف جهت بهینه‌سازی و شبیه‌سازی (ماخذ: نگارندگان)

۷-۳- اعتبار سنجی مدل

به منظور اعتبار سنجی شبیه‌سازی بر اساس روش "انطباق با یک مدل دیگر" یا (Sargent, COM 2013) ابتدا یک واحد آپارتمانی با ابعاد مشخص و نزدیک به مدل پایه مورد استفاده در این پژوهش شبیه‌سازی شد (تصویر ۸). این واحد آپارتمانی در ضلع جنوبی خود دارای یک بالکن به طول ۴/۴ متر و عمق ۰/۹ متر است. این بالکن با استفاده از شیشه تک جداره و قاب آلومینیومی پوشش داده شد. در قسمت شرقی بالکن بخشی از فضا به طول ۰/۶ متر و عمق ۰/۹ متر به عنوان کمد از این بالکن کسر شده و به‌عنوان گلخانه خورشیدی لحاظ نشد. همچنین به اراتفاع ۱/۲ متر از کف بالکن به عنوان جان‌پناه ساندویچ پنل (دولایه ورق فایبرگلاس و یک لایه عایق پلی یورتان در میان این دو، در مجموع به ضخامت ۱۰ سانتی متر و ضریب انتقال حرارت ۰/۱۸ $kcal/m^2h°C$) قرار گرفت. پنجره میان بالکن و آپارتمان از جنس شیشه دوجداره با قاب یوپی وی سی و به ارتفاع ۱/۴ متر و طول ۲ متر است (تصویر ۸ سمت راست).



تصویر ۸- ۱- مدل شبیه سازی شده. ۲- تصویر گلخانه واقعی (ماخذ: نگارندگان)

به مدت ۱۰۰ ساعت (از ۱۷ تا ۲۵ مهر ۱۳۹۸) تغییرات دمای بالکن اندازه‌گیری و ثبت شد. همین مدل نیز در نرم‌افزار اپن استودیو و با استفاده از نرم‌افزار اسکچ‌آپ مدل‌سازی و در نرم‌افزار انرژی‌پلاس شبیه‌سازی گردید. دمای داخلی مدل

شبیه‌سازی شده و مدل واقعی در تصویر ۹ مقایسه شده‌است.

در راهنمای ۱۴ اشری به منظور اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده دو معیار با عناوین NMBE و CV(RMSE) معرفی شده است (ASHRAE, 2014). معادله ۴معادله ۵ نحوه محاسبه این دو کمیت را نشان می‌دهند:

معادله ۴

$$NMBE = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n}(m_i - s_i)}{n-p} \times 100\ (\%)$$

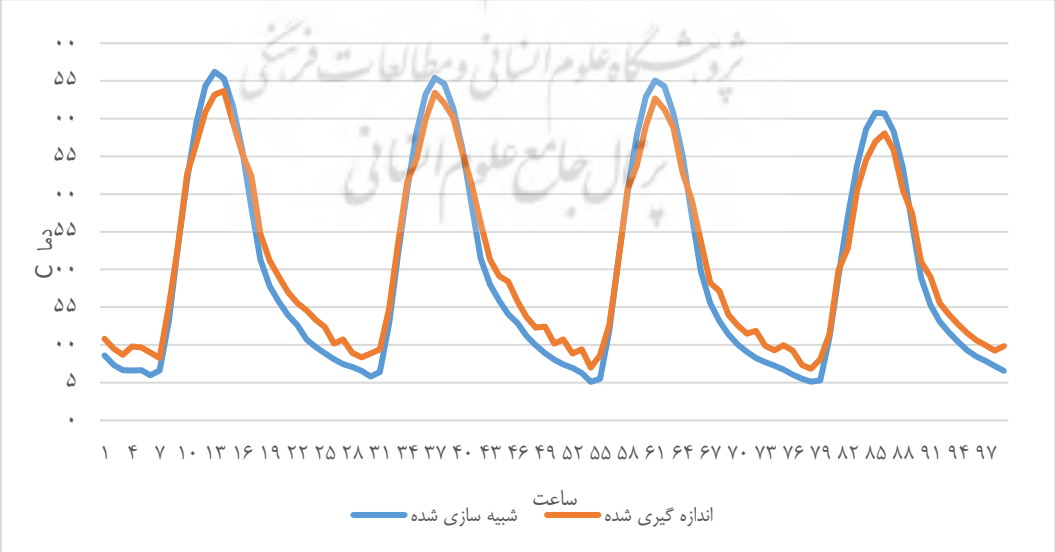
معادله ۵

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{m}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(m_i - s_i)^2}{n-p}} \times 100\ (\%)$$

که در آن‌ها m مقدار اندازه‌گیری شده، s مقدار شبیه‌سازی شده، n تعداد اطلاعات انداره‌گیری شده و مقدار p با توجه به پیشنهاد راهنمای اشری عدد یک درنظر گرفته شده‌است.

عدد بدست آمده از معیار NMBE برابر با ۵/۸ و مقدار یافت شده برای معیار CV(RMSE) برابر با ۱۳/۳۴ است. با توجه به اینکه بر اساس راهنمای ۱۴ اشری حداکثر مقدار NMBE و CV(RMSE) در داده‌های ساعتی به ترتیب برابر با ±۱۰ و ۳۰ است، اعتبار نتایج شبیه‌سازی در این پژوهش تأیید می‌شود.

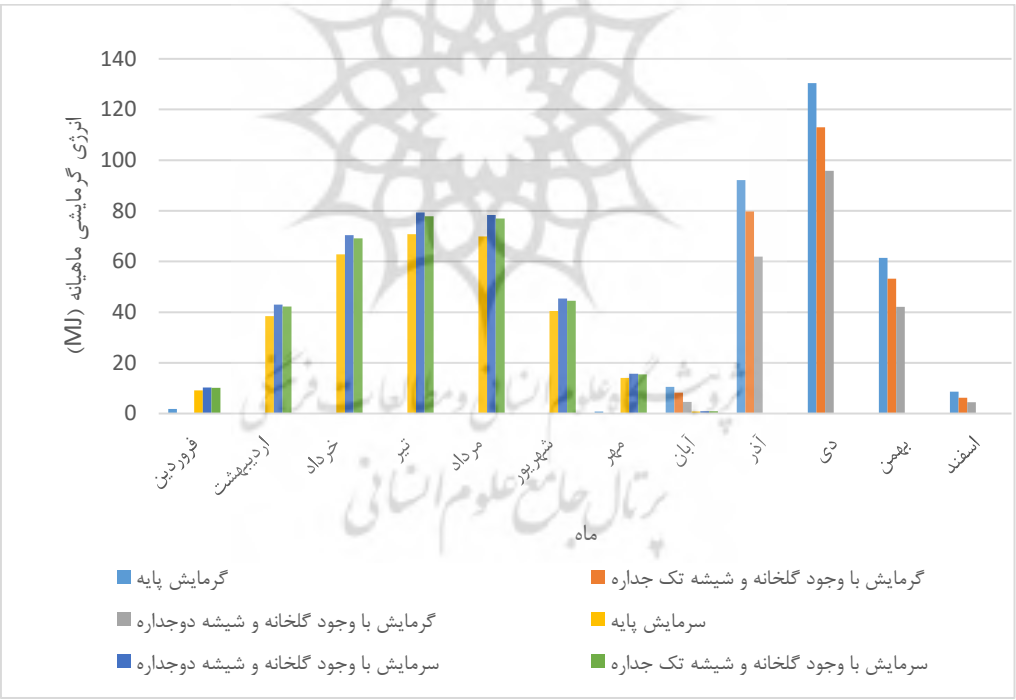
در گام بعد، مدل شبیه‌سازی شده مطابق با مشخصات بخش ۷-۱ تنظیم شد. با توجه به اینکه این تغییر نباید دقت پاسخ نهایی را دچار خدشه نماید، کلیه ساده‌سازی‌ها و تغییرات بر مبانی روش SEM انجام شد تا کمترین تأثیر را بر کیفیت نتایج شبیه‌سازی داشته‌باشد (Baker et al., 2018).



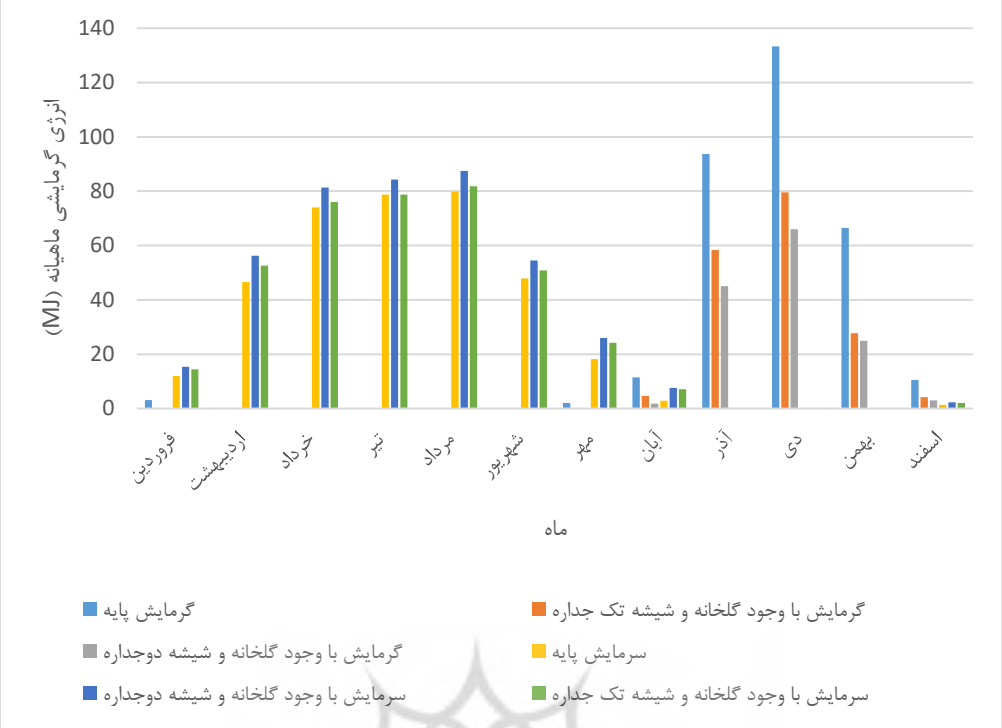
تصویر ۹- نمودار مقایسه دمای گلخانه در حالت واقعی و شبیه‌سازی شده (ماخذ: نگارندگان)

۸- یافته‌های پژوهش

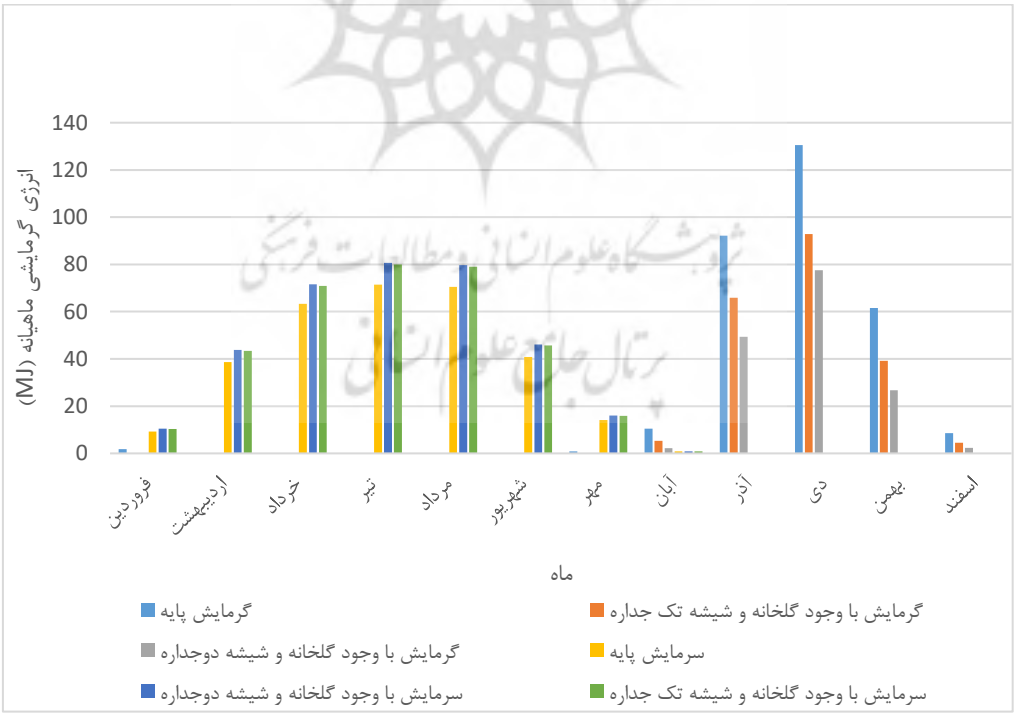
هدف این پژوهش بهینه‌سازی پارامترهای سامانه گلخانه خورشیدی در فضای نیمه‌باز در خانه‌های آپارتمانی با استفاده از الگوریتم ذوب فلزات بوده‌است. برای نیل به این هدف پارامترهای مجزایی تحت الگوریتم ذوب فلزات به طور همزمان تغییر کرده و نتایج این تغییرات با هدف کاهش مصرف انرژی ساختمان بهینه شدند. با توجه به اینکه مدت زمان بهینه‌سازی نامحدود است و می‌تواند تا بینهایت ادامه پیدا کند، پایان بهینه سازی پس از تحقق این دو شرط تنظیم شد: ۱- تغییرات میان ۲۰ شبیه‌سازی پی در پی کمتر از ۰/۰۱ ژول باشد. ۲- حداقل تعداد شبیه‌سازی ۵۰۰ مرتبه باشد. برای اطمینان از پاسخ بدست آمده برای هر حالت عملیات بهینه‌سازی ۲ بار تکرار شد. در تصویر ۱۰ نمودار مصرف انرژی ماهیانه مربوط به تبدیل ایوان به گلخانه خورشیدی نشان داده شده‌است. در این نمودار مصرف انرژی مدل پایه با حالتی که ایوان به گلخانه تبدیل شده، دیده می‌شود. تبدیل گلخانه در دو حالت با شیشه تک جداره و دوجداره با یکدیگر مقایسه شده‌است. در تصاویرتصویر ۱۱ وتصویر ۱۲، این مقایسه برای فضاهای نیمه باز مهتابی و بالکن نمایش داده شده‌است.



تصویر ۱۰- مقایسه میزان میزان مصرف انرژی ماهیانه در مدل پایه ایوان و تبدیل آن به گلخانه در دو حالت استفاده از شیشه تک جداره و دوجداره (ماخذ: نگارندگان)

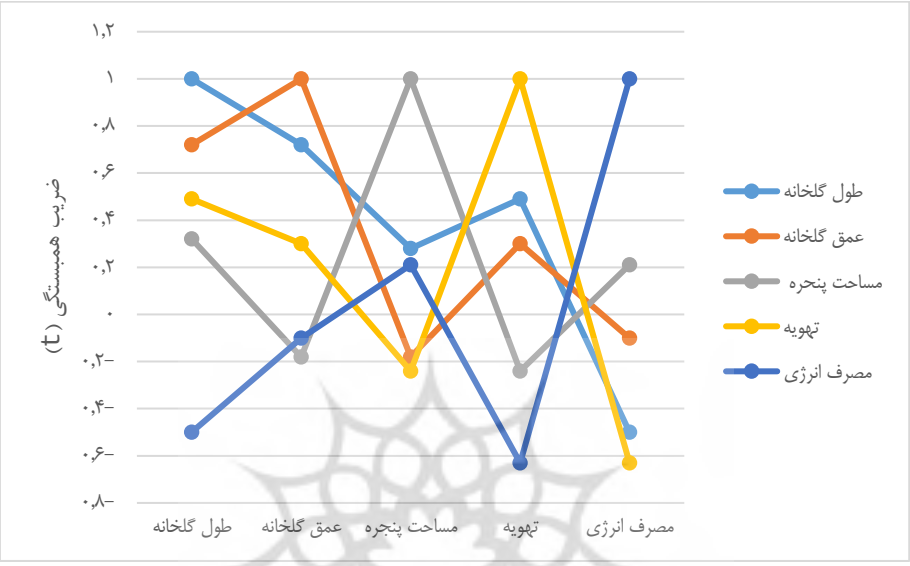


تصویر ۱۱- مقایسه میزان میزان مصرف انرژی ماهیانه در مدل پایه مهتابی و تبدیل آن به گلخانه در دو حالت استفاده از شیشه تک جداره و دوجداره (ماخذ: نگارندگان)



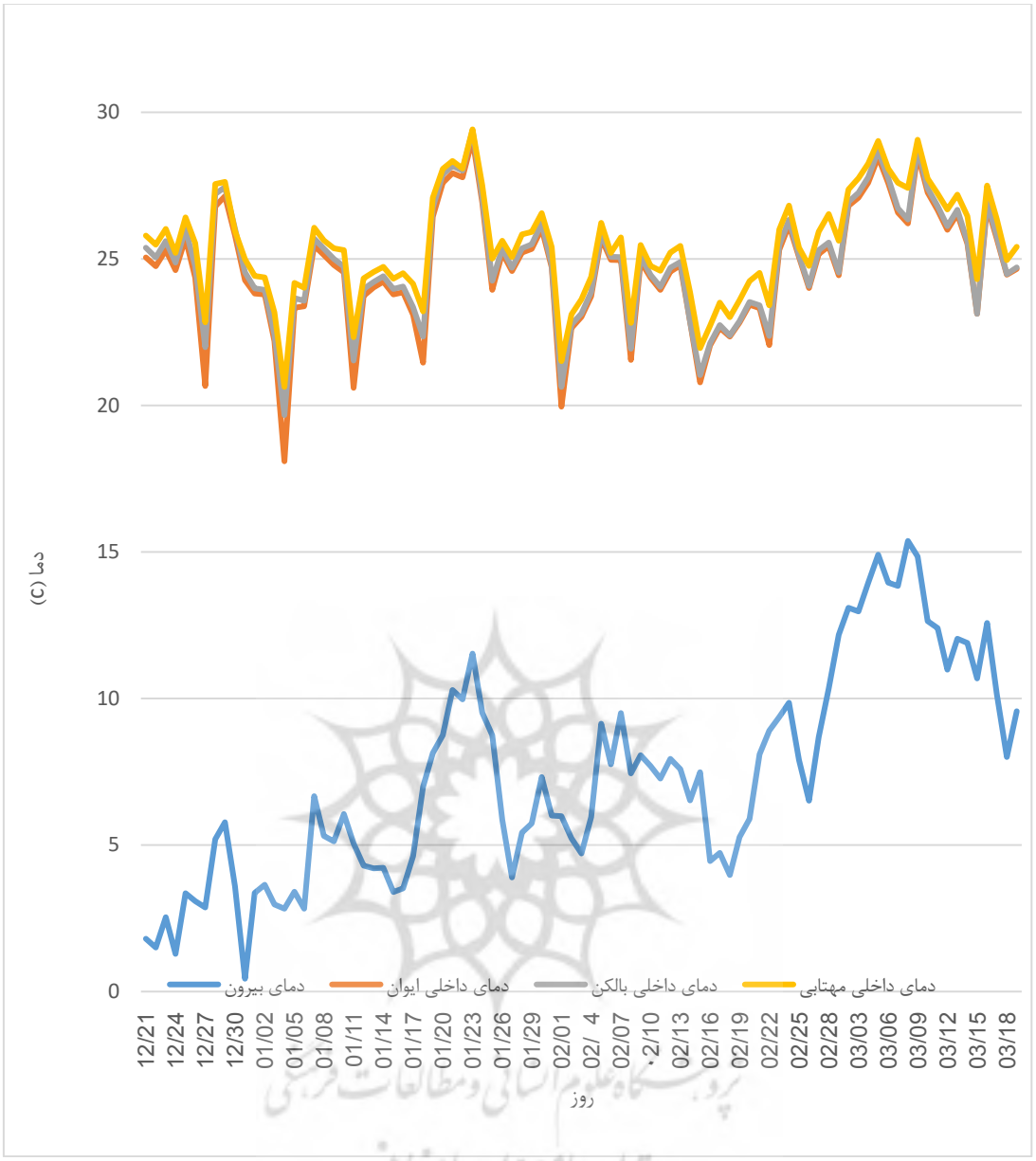
تصویر ۱۲- مقایسه میزان میزان مصرف انرژی ماهیانه در مدل پایه بالکن و تبدیل آن به گلخانه در دو حالت استفاده از شیشه تک جداره و دوجداره (ماخذ: نگارندگان)

در تصویر ۱۳ نمودار همبستگی پارامترهای بهینه‌سازی شده، شرایطی را نشان می‌دهند که گلخانه خورشیدی با شیشه تک جداره پوشش داده شده‌است. این نمودار مربوط به تبدیل بالکن به گلخانه بوده و نمودار سایر نمونه‌های مطالعه شده در پیوست۲ مقاله آمده است. همبستگی بدست آمده در این تحقیق با استفاده از آزمون کندل تاو ایجاد شده‌است.

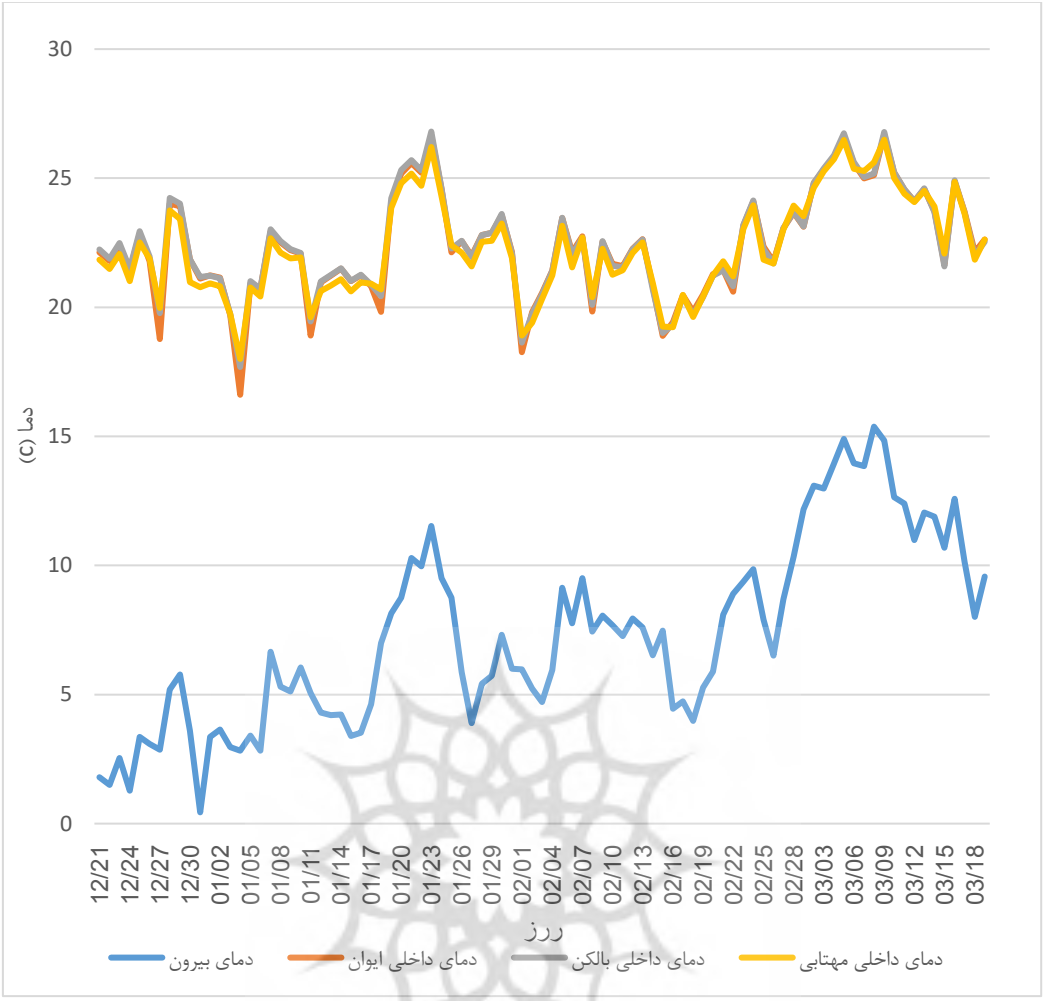


تصویر ۱۳- نمودار همبستگی پارامترهای تبدیل بالکن به گلخانه (ماخذ: نگارندگان)

در تصاویر ۱۵ و ۱۶ نمودار همبستگی دمایی داخل گلخانه ها و محیط بیرون نمایش داده شده و اختلاف دمای داخلی و خارجی در دو حالت استفاده از شیشه دوجداره و تک جداره نمایش داده شده‌است. همانطور که در تصاویر دیده می شود، وجود شیشه دوجداره موجب کاهش اتلاف حرارت گلخانه شده و دمای داخلی آن‌ها افزایش یافته است. بدیهی است که با توجه به اینکه فرض شده است پوشش شیشه‌ای گلخانه‌ها در روزهای گرم سال تا ۸۰ درصد برچیده می‌شود، دمای داخلی گلخانه‌ها در آن مواقع با اختلاف کمی نزدیک به دمای بیرون خواهد بود.



تصویر ۱۴- نمودار همبستگی دمایی فضای داخلی گلخانه‌ها و محیط بیرون در زمستان و با پوشش شیشه تک جداره (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۵- نمودار همبستگی دمایی فضای داخلی گلخانه‌ها و محیط بیرون در زمستان و با پوشش شیشه دو جداره (ماخذ: نگارندگان)

بحث در نتایج و یافته‌ها

همانگونه که درنمودارهای مصرف انرژی گرمایشی ملاحظه می‌شود، بیشترین صرفه‌جویی در شرایطی است که پوشش این فضا با استفاده از شیشه دوجداره انجام شده باشد. در این شرایط میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایشی ساختمان عبارتند از: ۵۴ درصد برای مهتابی، ۴۸ درصد برای بالکن و ۳۱ درصد برای ایوان. با توجه به گشودگی ۸۰ درصدی جدار خارجی گلخانه در مواقع گرم سال، تأثیر آن بر افزایش مصرف انرژی سرمایشی کمتر از ۱۰ درصد بوده و چندان چشمگیر نیست. مشخصات بهینه به‌دست آمده برای این شش حالت در جدول ۳ نشان داده شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود با توجه به اینکه در این پژوهش بهینه سازی با هدف کاهش مصرف انرژی گرمایشی انجام شده‌است، طول بهینه گلخانه خورشیدی در حداکثر میزان خود بدست آمده است؛ به عبارتی از نظر اتلاف حرارت ساختمان، بهتر است کل نمای آن به فضای گلخانه افزوده شود. چراکه این پوشش

علاوه بر جذب حرارت خورشیدی، لایه دیگری بر جدار اصلی ساختمان اضافه می‌کند و از اتلاف انرژی گرمایی ساختمان جلوگیری می‌نماید. بدیهی است که در صورت ورود متغیرهای دیگر همچون هزینه‌تمام شده، زیربنای مفید و وضعیت حرارتی تابستانی، پاسخ به‌دست آمده متفاوت خواهد بود.

جدول ۳- وضعیت متغیرها در حالت بهینه

نوع فضای نیمه باز و جنس شیشه پوشش دهنده	طول بهینه گلخانه (m)	عمق بهینه گلخانه (m)	مساحت بهینه پنجره m^2()	نرخ بهینه تهویه میانگین (m^3/s)
مهتابی با پوشش شیشه تک جداره	۷	۱/۸۵	۴/۸	۰/۱۶۸
ایوان با پوشش شیشه تک جداره	۷	۱/۱۵	۴/۱	۰/۱۱۳
بالکن با پوشش شیشه تک جداره	۷	۱/۵۰	۴/۴	۰/۰۸۹
مهتابی با پوشش شیشه دو جداره	۷	۲/۲۵	۵/۲	۰/۲۳
ایوان با پوشش شیشه دو جداره	۷	۱/۶۰	۴/۷	۰/۱۷۵
بالکن با پوشش شیشه دوجداره	۷	۱/۹۵	۴/۹	۰/۱۴۳

همچنین در زمینه رابطه میان متغیرها، نتایج یافته‌ها در مورد فضای نیمه باز بالکن نشان می‌دهد که بیشترین میزان همبستگی مربوط به دو متغیر مستقل طول و عمق گلخانه است که با ضریب اطمینان ۰/۹۹ و ضریب همبستگی مستقیم ۰/۷۲ است. بین دو متغیر مستقل تهویه و مساحت پنجره با ضریب اطمینان ۰/۹۹ ضریب همبستگی غیرمستقیم ۰/۲۴ ثبت شده‌است. بین دو متغیر مستقل طول گلخانه و تهویه با ضریب اطمینان ۰/۹۹ همبستگی مستقیم ۰/۴۹ به چشم می‌خورد. دو متغیر مستقل عمق گلخانه و تهویه با ضریب اطمینان ۰/۹۹ همبستگی ۰/۳ دارند.

در رابطه با میزان همبستگی متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، تصویر ۱۳ نشان می‌دهد که میان متغیر میزان مصرف انرژی گرمایشی آپارتمان (متغیر وابسته) با طول گلخانه ضریب همبستگی غیر مستقیم ۰/۵، با متغیر عمق گلخانه همبستگی غیر مستقیم ۰/۱، با متغیر مساحت پنجره همبستگی مستقیم ۰/۲۱ و با متغیر تهویه همبستگی غیر مستقیم ۰/۶۳ وجود دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده، در اقلیم گرم و خشک به دلیل وجود زمستان‌های سرد بخش زیادی

از انرژی مصرفی ساختمان مربوط به تأمین گرمایش است. از این رو استفاده از سامانه‌های خورشیدی همچون گلخانه خورشیدی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی در این اقلیم کمک شایانی نماید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تبدیل فضای نیمه باز جنوبی در ساختمان‌های آپارتمانی امروزی به گلخانه خورشیدی می‌تواند بخش قابل توجهی از مصرف انرژی گرمایشی ساختمان را در شهر شیراز، کاهش دهد. دستاوردهای این پژوهش نشان می‌دهد که تبدیل فضای نیمه‌باز به گلخانه خورشیدی در صورتی که از شیشه دوجداره به عنوان پوشش استفاده شود، می‌تواند کاهشی بین ۳۱ تا ۵۴ درصد (بسته به نوع فضای نیمه باز) در مصرف انرژی سرمایشی ساختمان مورد مطالعه ایجاد نماید. همچنین در این پژوهش رابطه همبستگی میان چهار متغیر: طول گلخانه، عمق گلخانه، مساحت پنجره و تهویه، در کاهش مصرف انرژی گرمایشی ساختمان به‌دست آمده است. با توجه به روابط همبستگی به‌دست آمده، متغیر طول گلخانه و تهویه بیشترین اثر را در مصرف انرژی گرمایشی ساختمان دارد. از آنجا که افزایش طول گلخانه موجب افزایش دریافت انرژی خورشیدی می‌شود، با گسترش طول گلخانه (در تناسب با سایر متغیرهای وابسته همچون عمق و مساحت پنجره) می‌توان به صرفه‌جویی بیشتری در مصرف انرژی ساختمان رسید. این موضوع در طراحی آپارتمان‌های مسکونی به معنی افزایش هرچه بیشتر عرض بالکن و سایر فضاهای نیمه باز است. همچنین میزان تهویه (انتقال هوای گرم گلخانه به داخل ساختمان) اثر چشمگیری بر مصرف انرژی گرمایشی دارد. هرچند مقدار تهویه، دارای حد بهینه‌ای است که وابستگی بیشتری به سایر متغیرها دارد؛ به گونه‌ای که افزایش بیش از حد تهویه می‌تواند مصرف انرژی گرمایشی را افزایش دهد. از این رو لازم است بسته به شرایط ساختمان مقدار آن بهینه شود.

پی نوشت

1- Validity
2- Validation
3- test-retest
4- Reliability

منابع

- دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۲). *مقررات ملی ساختمان ایران مبحث چهارم الزامات عمومی ساختمان* (ویراست دوم). تهران: توسعه ایران.
- گیلانی, ارا و محمد کاری, هروز .(۱۳۹۰). *بررسی عملکرد گرمایشی گلخانه های خورشیدی در ساختمان های مسکونی اقلیم سرد نمونه موردی: شهر اردبیل*. مهندسی مکانیک مدرس (فنی و مهندسی مدرس).
- کسمایی, رتضی. (۱۳۷۱). *پهنه بندی اقلیمی ایران، مسکن و محیط های مسکونی*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.ـمقدسی حمدمهدی؛ حیدری, شاهین؛ شاهچراغی, آزاده و دانشجو, خسرو. (۱۳۹۶). ارزیابی مدل بهینه گلخانه خورشیدی در ساختمان های مسکونی اقلیم معتدل و سرد کشور (نمونه موردی: شهر کرمانشاه). *مدیریت شهری*, ۴۵, ۴۸۹–۵۰۶.ـمهدوی‌نژاد, محمدجواد؛, طاهباز, منصوره و دولت‌آبادی, مهناز. (۲۰۱۶). بهینه‌سازی تناسبات و نحوه استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی. *نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*, ۲۱ (۲), ۸۱–۹۲

- Allesina, G., Ferrari, C., Muscio, A., & Pedrazzi, S. (2019). Easy to implement ventilated sunspace for energy retrofit of condominium buildings with balconies. *Renewable Energy*, *141*, 541–548. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.037
- Asadd ,,, gg uaaal, V. I., & Ben-Abdallah, N. (2019, December 1). Investigation of the energetic performance of an attached solar greenhouse through monitoring and simulation. *Energy for Sustainable Development*, Vol. 53, pp. 15–29. https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.09.001
- ASHRAE. (2010). *Standard 55-2010: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Athlanta: Ashrae.
- ASHRAE. (2014). Guideline 14-2014. In *Measurement of energy, demand, and water savings*.
- Baker, C., Goel, S., Wang, N., Rosenberg, M., Wolf, D., & Henderson, and P. (2018). A SIMPLIFIED ENERGY MODELING APPROACH FOR BUILDINGS. *Building Performance Analysis Conference and SimBuild*. Chicago, IL.
- Deshpande, J. (2019). Improving Building Technologies With a Sustainable Strategy. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11310-4
- ـEvola, G., Margani, G., & Marletta, L. (2011). Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, *43*(9), 2385–2393. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.028
- Huang, Y., & Niu, J. L. (2016). Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials. *Energy and Buildings*, *117*, 387–398. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.025
- Judkoff, R. D., & Neymark, J. (2004). Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc*.
- Lu, S., Tong, H., & Pang, B. (2018). Study on the coupling heating system of floor radiation and sunspace based on energy storage technology. *Energy and Buildings*, *159*, 441–453. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.027
- Meroni, I., Scamoni, F., Tirloni, P., Pollastro, C., & Lacci, R. (1991). Experimental analysis of the energy performance of a passive attached sunspace. *Solar Energy*, *47*(5), 329–332. https://doi.org/10.1016/0038-092X(91)90025-R
- Mihalakakou, G., & Ferrante, A. (2000). Energy conservation and potential of a sunspace: Sensitivity analysis. *Energy Conversion and Management*, *41*(12), 1247–1264. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00178-8
- Sansaniwal, S. K., Sharma, V., & Mathur, J. (2018, February 1). Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, pp. 1576–1601. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.003
- Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, *7*(1), 12–24. https://doi.org/10.1057/jos.2012.20
- Suárez López, M. J., Castro, S. S., Manso, A. N., & Marigorta, E. B. (2020). Heat collection in an attached sunspace. *Renewable Energy*, *145*, 2144–2150. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.137
- Talaei, M., Mahdavinejad, M., Zarkesh, A., & Motevali Haghighi, H. (2017). A Review on Interaction of Innovative Building Envelope Technologies and Solar Energy Gain. *Energy Procedia*, *141*, 24128. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.006
- Ulpiani, G., Summa, S., & di Perna, C. (2019). Sunspace coupling with hyper-insulated buildings: Investigation of the benefits of heat recovery via controlled mechanical ventilation. *Solar Energy*, *181*, 17–26. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.084
- ـWaibel, C., Wortmann, T., Evins, R., & Carmeliet, J. (2019). Building energy optimization: An extensive benchmark of global search algorithms. *Energy and Buildings*, *187*, 218–240. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.048
- Wang, W., Yuan, M., Li, Y. Z., & Li, C. (2019). Numerical investigation on the impact of an on-top sunspace passive heating approach for typical rural buildings in northern China. *Solar Energy*, *186*, 300–310. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.05.013
- Wortmann, T., Waibel, C., Nannicini, G., Evins, R., Schroepfer, T., & Carmeliet, J. (2017). Are genetic algorithms really the best choice for building energy optimization? *Simulation Series*, *49*(11), 41–48. https://doi.org/10.22360/simaud.2017.simaud.006

پیوست ۱

کد نوشته شده در نرم‌افزار متلب جهت اتصال آن به نرم‌افزار انرژی‌پلاس:

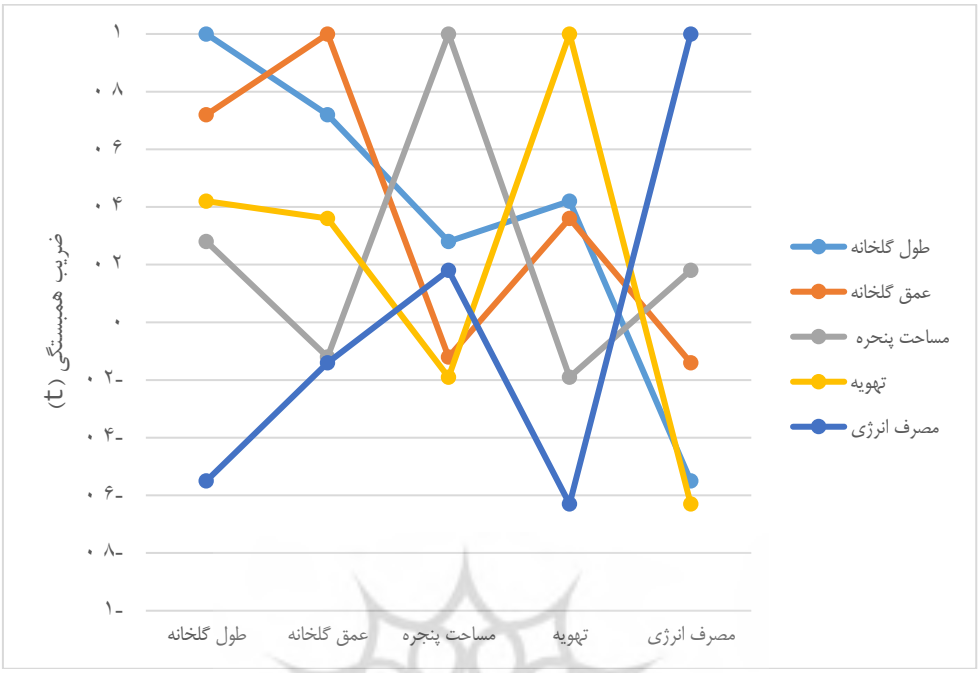
```
clear;
clc;
close all;
%Generating random number between 0 to 1
a=0;
b=1;
r = a + (b-a).*rand(100,1);
rand=r(1,1);
fidInFile = fopen('test2.idf','r');          %# Open input file for reading
fidOutFile = fopen('test3.idf','w');     %# Open output file for writing
nextLine = fgets(fidInFile);               %# Get the first line of input
while nextLine >= 0                        %# Loop until getting -1 (end of file)
   if (strfind(nextLine,'Material,')) ~= 0
      fprintf(fidOutFile,'%s',nextLine);
      nextLine = fgets(fidInFile);              %# Get the first line of input
      if strfind(nextLine,'Wall Insulation [40],') ~=0
         fprintf(fidOutFile,'%s',nextLine);       %# Write the line to the output file
         nextLine = fgets(fidInFile);             %# Get the next line of input
         fprintf(fidOutFile,'%s',nextLine);       %# Write the line to the output file
         fgets(fidInFile);             %# Get the next line of input
                  aaa =sprintf('    %f,      !- Thickness {m}\r\n', rand) ;
         fprintf(fidOutFile,'%s',aaa);       %# Write the line to the output file
         nextLine = fgets(fidInFile);             %# Get the next line of input
      else
         fprintf(fidOutFile,'%s',nextLine);       %# Write the line to the output file
         nextLine = fgets(fidInFile);             %# Get the next line of input
      end
   else
      fprintf(fidOutFile,'%s',nextLine);       %# Write the line to the output file
      nextLine = fgets(fidInFile);             %# Get the next line of input
   end
end
fclose(fidInFile);                         %# Close the input file
fclose(fidOutFile);
 %delete sample.txt file(original text file)
delete('test2.idf');
%rename newsample.txt to sample.txt
file = dir('test3.idf');
[~, f,ext] = fileparts(file.name);
rename = strcat('test2',ext) ;
movefile(file.name, rename);
% Add Eplus path
system('C:\EnergyPlusV9-2-0\energyplus.exe -w IRN_Shiraz_Airport.Intl.AP.407540_ITMY.epw
Model.idf');
%copy and rename .eso file
copyfile eplusout.eso eplusout2.eso;
%change extension (eso to csv)
files=dir('eplusout2.eso');
for i=1:length(files)
   filename=files(i).name;
   [pathstr, name, ext] = fileparts(filename);
   movefile(filename, fullfile(pathstr, [name '.csv']))
end
%rename eplusout2.csv to eplusout.csv
file = dir('eplusout2.csv');
```

```
[~, f,ext] = fileparts(file.name);
rename = strcat('eplusout',ext) ;
movefile(file.name, rename);
Dataset = datenum(xlsread('eplusout.csv'));%open file in matlab
selectedData=Dataset(:,(1:2));%select first 2 columns
 %select rows with 155 and sum them
 new=[];
 s = size(selectedData,1);
 n=1;
 for m=11:s
   if selectedData(m,1)==155
      new(n,:)=selectedData(m,:);
      n=n+1;
   end
 end
sum=sum(new(:,2));
  clearvars -except rand sum; %clear workspace except rand and sum
clc; %clear Command Window
 %Print the results in Command Window
fprintf('The value of Rand is: %f',rand);
fprintf('\n');
fprintf('The value of Sum is: %f',sum);
fprintf('\n');
 %delete energyplus files
delete('eplusout.audit');
delete('eplusout.bnd');
delete('eplusout.csv');
delete('eplusout.eio');
delete('eplusout.end');
delete('eplusout.err');
delete('eplusout.eso');
delete('eplusout.mdd');
delete('eplusout.mtd');
delete('eplusout.mtr');
delete('eplusout.rdd');
delete('eplusout.shd');
delete('eplusout.sql');
delete('eplustbl.htm');
delete('sqlite.err');
```

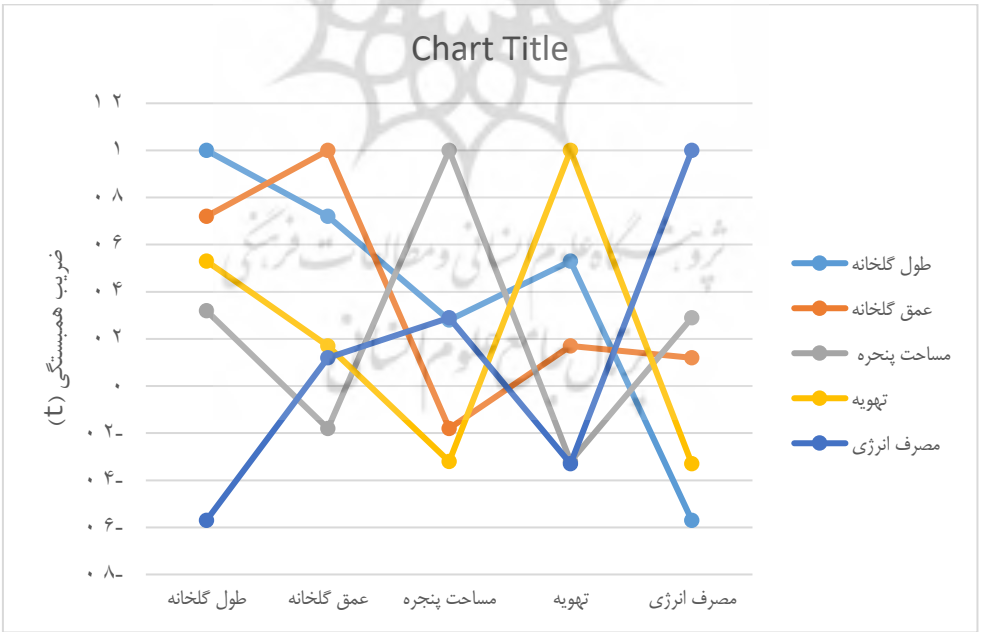
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پیوست ۲

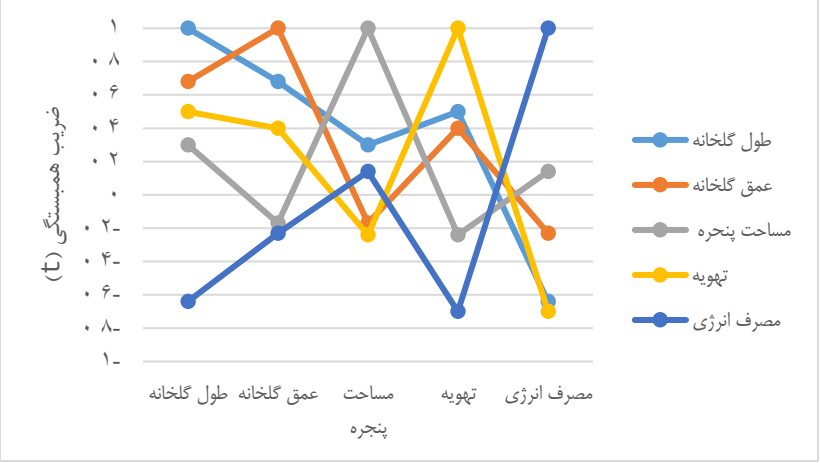
سایر نمودارهای همبستگی میان متغیرها



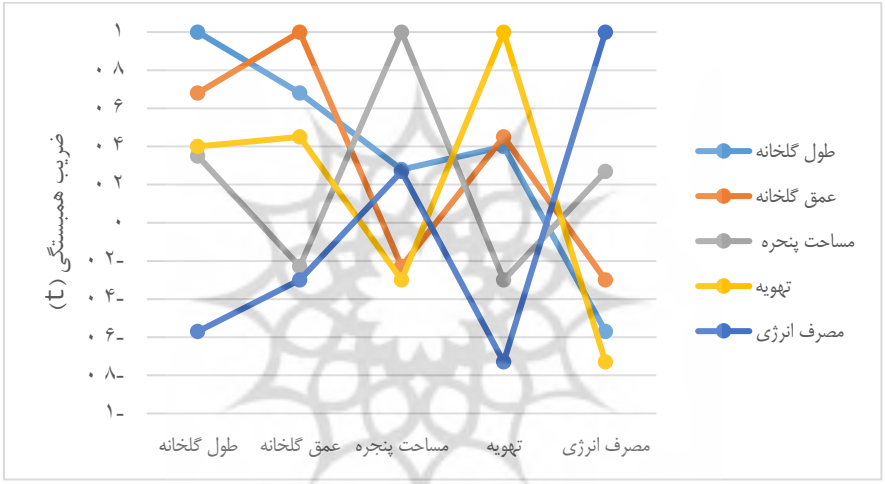
تصویر ۱۶- نمودار همبستگی پارامترهای تبدیل مهتابی به گلخانه با پوشش شیشه تک جداره (ماخذ: نگارندگان)



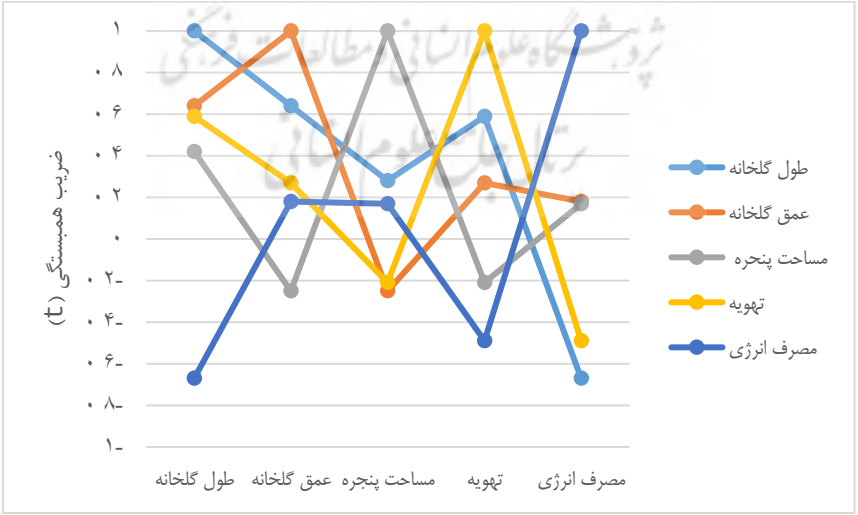
تصویر ۱۷- نمودار همبستگی پارامترهای تبدیل ایوان به گلخانه با پوشش شیشه تک جداره (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۸- نمودار همبستگی پارامترهای تبدیل مهتابی به گلخانه با پوشش شیشه دو جداره (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۹- نمودار همبستگی پارامترهای تبدیل بالکن به گلخانه با پوشش شیشه دو جداره (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۲۰- نمودار همبستگی پارامترهای تبدیل ایوان به گلخانه با پوشش شیشه دو جداره (ماخذ: نگا

Original Research Article

Optimization of Semi-Open Spaces of Apartment Houses to Become a Sunspace Using Simulated Annealing Algorithm

Vahid Bakhtyari[1*], Rima Fayaz[2]

1- PhD Student, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Art, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Art, Tehran, Iran

Abstract

Improving thermal comfort in buildings is one of the important issues that is emphasized in today's buildings. Given the growth in energy consumption, saving resources in buildings is an indispensable necessity. Optimal use of free solar energy on the one hand provides a favourable environment for the occupants of the building and on the other hand reduces the building energy consumption in cold months of the year. Since the overall trend of residential construction in Iran has led to the development of apartment units, Applying climate solutions that can be used in such buildings is an important need that is getting less attention these days. The use of semi-open spaces such as balconies, terraces and porchs in apartment units is emphasized by the National Building Regulations of Iran and is widely used in contemporary buildings. When cleverly designed, these spaces can be converted to a sunspace to be used as a passive system for the absorption and utilization of solar energy. The purpose of this study is to use artificial intelligence and algorithmic optimization to find the optimal dimensions, from and properties of semi-open spaces in warm and dry climates in Iran, to transform them into a sunspace to be used in cold months of the year. The research method in this study is simulation and logical reasoning. To reach this goal, a residential space in Shiraz was simulated, and then the parameters of the semi-open space (dimensions, indoor window area, semi-open space type, glass type and ventilation) were investigated in order to convert it into a sunspace. Then the optimal conditions of each of these parameters for the city of Shiraz were determined. The results show that such an space can optimally reduce up to 54% of the building's heating energy consumption and the best results came from terraces using double glazing cover.

Keywords: Multi-objective Optimization, Sustainable Architecture, simulated annealing algorithm, Energy Saving, sunspace, Semi-open Space

*Email: Vahid.bakhtyari@gmail.com