

## بررسی عملکرد گرمایشی گلخانه‌های خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد نمونه موردی: شهر اردبیل

سارا گیلانی<sup>۱</sup>، بهروز محمد کاری<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران

۲- استادیار فیزیک ساختمان، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران

\* تهران، صندوق پستی ۱۶۹۶ - ۱۳۱۴۵. kari.behrouz@gmail.com

**چکیده** - بهره‌گیری از انرژی خورشیدی می‌تواند با استفاده از انواع سیستم‌های غیرفعال و فعال صورت بگیرد. یکی از سیستم‌های غیرفعال خورشیدی، سیستم گلخانه خورشیدی است که دارای عملکردهای مختلفی می‌باشد. در این پژوهش، عملکرد گرمایشی سیستم گلخانه خورشیدی در اقلیم سرد، به کمک نرم‌افزارهای رایانه‌ای، شبیه‌سازی، بررسی و تحلیل شده‌است.

با توجه به نتایج این پژوهش، سیستم گلخانه نسبت به سیستم دریافت مستقیم، بار گرمایشی ساختمان را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد، هر چند که باعث می‌شود تابش مستقیم کمتری دریافت گردد. جهت‌گیری بهینه ساختمان در اقلیم سرد، برای دریافت بیشترین تابش خورشیدی، به سمت جنوب غربی و غرب و برای کمترین بار گرمایشی در دوره گرمایش سال، به سمت جنوب غربی می‌باشد. بیشترین اتلاف گرما و کمترین دریافت تابش خورشیدی، از جدار شمالی ساختمان صورت می‌گیرد. در نتیجه، در اقلیم بررسی شده، مناسب‌ترین حالت برای کاربرد این سیستم در جهت جنوب غربی، و نامناسب‌ترین حالت در جهت شمال است.

**کلید واژگان:** بهینه‌سازی انرژی، ساختمان، سیستم خورشیدی، غیرفعال، گلخانه.

## Investigation of Greenhouse's Thermal Performance in Residential Buildings of Cold Climate Case Study: City of Ardebil

S. Gilani<sup>1</sup>, B. Mohammad Kari<sup>2\*</sup>

1- Ph. D. Student in Architecture, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, Univ of Tehran, Tehran.

2- Assis. Prof. in Building Physics, Building and Housing Research Center, Tehran.

\* P.O.B. 13145 - 1696, Tehran, Iran. kari.behrouz@gmail.com

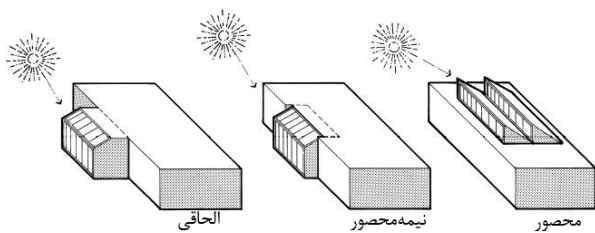
**Abstract-** Solar energy can be utilized through different types of passive and active solar systems. One of the passive systems is the Greenhouse that provides different functions. In this research, heating performance of Greenhouse in cold climate is simulated, investigated, and analyzed by means of computer software.

The results of this research showed that Greenhouse, in comparison with Direct Gain glazing system, decreases building heating load, despite the diminution of the direct radiation gains. In Ardebil, the optimal building orientation, in order to get the maximum solar gain and the minimum load in the heating period, is obtained in south west and west direction of the facade. The maximum heat loss and minimum solar gain occur through the north side of the building, which is considered as the most inappropriate facade direction for the Greenhouse system.

**Keywords:** Energy Efficiency, Building, Solar Systems, Passive, Greenhouse.

## ۱- مقدمه

سیستم گلخانه‌ی خورشیدی، یک کلکتور خورشیدی است که می‌تواند قسمتی از نیازهای حرارتی فضاهای مجاور خود را تأمین کند و به دیگر عملکردهای ساختمانی نیز پاسخگو باشد. سه شیوه‌ی متفاوت برای ارتباط کالبدی گلخانه‌ی خورشیدی با ساختمان وجود دارد. گلخانه‌های خورشیدی، بر مبنای میزان محصوریت، به انواع متصل<sup>۵</sup>، نیمه‌محصور<sup>۶</sup> و محصور<sup>۷</sup> دسته‌بندی می‌شوند [۵] (شکل ۱).



شکل ۱ سه شیوه‌ی متفاوت برای ارتباط کالبدی گلخانه‌ی خورشیدی و ساختمان اصلی [۶]

در رابطه با عملکرد حرارتی گلخانه‌ها، پژوهش‌های متعددی انجام شده است.

موتارد و فیسوره<sup>۸</sup> برای نحوه‌ی توزیع و انعکاس امواج تابشی با طول موج بلند در داخل گلخانه‌ی متصل (با فرض دمای یکنواخت هوا در گلخانه) مدلی ارائه نمودند. آنها نتایج شبیه‌سازی مدل خود را با استفاده از نتایج حاصل از اندازه‌گیری یک نمونه‌ی واقعی صحنه‌گذاری نمودند. با استفاده از مدل آنها می‌توان دمای هوا، دمای سطوح گلخانه و شار گرما به فضاهای مجاور گلخانه را به دست آورد [۷].

اولیوتی، دسیمونه و روفولو<sup>۹</sup> در پژوهش خود، مدل ساده‌ای را، برای ارزیابی میزان جذب انرژی خورشیدی در گلخانه، با استفاده از برنامه‌ی شبیه‌سازی در بِلت<sup>۱۰</sup> ارائه کردند. مهم‌ترین متغیرهای بررسی شده شامل عرض جغرافیایی، جهت‌گیری،

برای به‌کارگیری انواع سیستم‌های خورشیدی، سیستم‌های غیرفعال و فعال متعددی وجود دارد. هر یک از سیستم‌های خورشیدی، دارای قابلیت‌هایی هستند، و در صورت طراحی و کاربرد اصولی آنها در فضاها و عناصر معماری، امکان کاهش بار حرارتی را فراهم می‌سازند. بدیهی است برای استفاده‌ی بهینه از این سیستم‌ها در معماری، باید بررسی و مطالعه لازم برای تعیین بهترین گزینه صورت گیرد.

سیستم‌های غیرفعال خورشیدی به سیستم‌هایی اطلاق می‌گردد که انرژی خورشیدی را، بدون استفاده از تجهیزات انرژی‌بر، نظیر پنکه، پمپ یا کنترل‌کننده، جمع‌آوری و ذخیره می‌کنند، تا در زمان مناسب مورد استفاده قرار گیرد. با این شیوه، اجزای مختلف یک ساختمان، به‌طور همزمان انتظارات مطرح در زمینه معماری، تأمین ایستایی و ایمنی، و بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان را برآورده می‌سازند. زمانی که گردآوری انرژی و کاهش هزینه‌های تجهیزات و اجرا جزو اولویت‌های اصلی طراحی محسوب می‌شوند، این سیستم‌ها در میان دیگر سیستم‌های خورشیدی کارآمدترین سیستم‌ها خواهند بود [۱]. این سیستم‌ها را می‌توان در انواع «دریافت مستقیم»<sup>۱</sup>، «دریافت غیرمستقیم»<sup>۲</sup> و «دریافت مجزا»<sup>۳</sup> طبقه‌بندی کرد [۲].

یکی از انواع سیستم‌های دریافت مجزا، سیستم گلخانه‌ی خورشیدی<sup>۴</sup> است. سیستم گلخانه‌ی خورشیدی، انرژی خورشیدی را به‌طور مستقیم دریافت می‌کند و آن را در دیوارهای خود، به‌منظور انتقال به فضاهای مجاور جذب و ذخیره می‌نماید. این سیستم را می‌توان نوع بسط داده شده‌ی دیوار حرارتی دانست، چرا که جدار شیشه‌ای در این سیستم نسبت به سیستم دیوار حرارتی با فاصله‌ی بیشتری قرار می‌گیرد [۳]. انتقال گرما از گلخانه‌ی خورشیدی به فضاهای مجاور آن می‌تواند توسط یک دیوار مشترک، از طریق هدایت یا توسط بازشوهای موجود در دیوار مشترک، با جریان همرفت صورت گیرد [۴]. در واقع،

5. Attached  
6. Semi-Enclosed  
7. Enclosed  
8. Mottard and Fissore  
9. Oliveti, De Simone, and Ruffolo  
10. DEROB-LTH

1. Direct Gain  
2. Indirect Gain  
3. Isolated Gain  
4. Greenhouse (Sunspace)

نشان داد رفتار نمونه دارای گلخانه، کم و بیش مانند نمونه مرجع بود. این پدیده، به دلیل مه‌آلود بودن هوا، در کل دوره اندازه‌گیری رخ داده بود [۱۱].

در ایران نیز، بهره‌گیری از سیستم غیرفعال خورشیدی گلخانه، با توجه به میزان تابش خورشید، به سهولت و با صرف هزینه اندکی امکان‌پذیر است. برای این منظور، در نظر گرفتن فضایی به‌عنوان گلخانه در طرح ساختمان و انجام پیش‌بینی‌های لازم برای برخورداری از گلخانه خورشیدی با بازدهی مطلوب، ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله، عملکرد گرمایشی سیستم گلخانه خورشیدی، در جهت‌گیری‌های مختلف، در اقلیم سرد، به کمک نرم‌افزارهای رایانه‌ای شبیه‌سازی، بررسی و تحلیل می‌شود. این پژوهش در مورد شهر اردبیل، که جزو مناطق با نیاز گرمایشی زیاد و نیاز سرمایشی صفر می‌باشد، انجام شده است.

## ۲- روش پژوهش

در این پژوهش، برای بررسی عملکرد گرمایشی سیستم غیرفعال گلخانه خورشیدی از نرم‌افزار انرژی پلاس<sup>۴</sup> استفاده شد. در واقع، پس از آماده‌سازی مدل‌های سه‌بعدی در محیط نرم‌افزار اکوتکت<sup>۵</sup>، محاسبات انرژی در محیط نرم‌افزار انرژی پلاس صورت گرفت.

## ۳- فرضیات

در فرایند ورود داده‌های اولیه مورد نیاز برای شبیه‌سازی، سعی گردید فرضیاتی در نظر گرفته شود که تا حد امکان به شرایط واقعی بهره‌برداری متداول در کشور نزدیک باشد. این فرضیات، شامل طرح معماری، برنامه استفاده از فضاها، مصالح، زون‌بندی فضاها، سیستم روشنایی، سیستم تهویه و سیستم گرمایش بودند، که در ادامه به شرح و توضیح آنها پرداخته می‌شود.

◀ طرح معماری: یک واحد آپارتمانی به ابعاد  $10m \times 10m$  و به ارتفاع  $2/8m$  در نظر گرفته شد. یک جدار این واحد

هندسه و ویژگی‌های بصری سطوح مات و شیشه‌ای بود. نتایج پژوهش آنها نشان داد که با استفاده از مدل پیشنهادی آنها می‌توان میزان انرژی خورشیدی جذب شده در گلخانه را با دقت کافی تخمین زد [۸].

می‌هالاکاکو و فرانته<sup>۱</sup> به بررسی تأثیر عواملی مانند جهت‌گیری، مصالح شیشه، شرایط مرزی کف گلخانه و سیستم لوله‌های زیرزمینی بر عملکرد حرارتی آن در ساختمان در چهار شهر اروپایی، با استفاده از برنامه شبیه‌سازی ترنسیس<sup>۲</sup> پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد گلخانه متصل به ساختمان به میزان قابل توجهی دمای فضای داخلی را، در اوقات سرد سال، افزایش می‌دهد. اما، از سوی دیگر، در اغلب مواقع، موجب بیش از حد گرم شدن فضای داخل در اوقات گرم سال می‌شود [۹]. البته این پدیده زمانی رخ می‌دهد که عملکرد گلخانه در اوقات گرم و سرد سال یکسان باشد، و هیچ گونه تمهیداتی برای خروج هوای گرم، در اوقات گرم سال، در نظر گرفته نشده باشد.

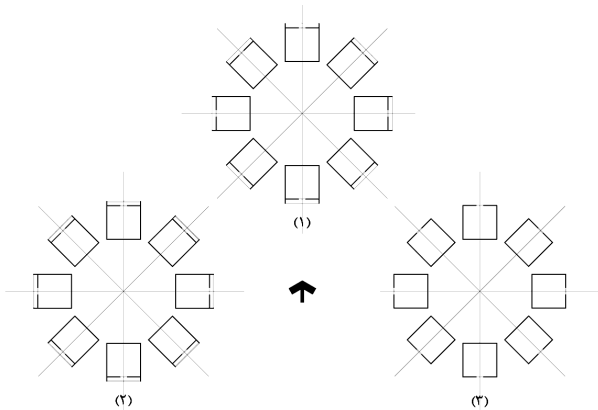
می‌هالاکاکو، در ادامه این پژوهش، تأثیر سه روش سرمایش غیرفعال، شامل سایه‌بان‌ها، لوله‌های زیرزمینی و تهویه شبانه را، برای جلوگیری از بیش از حد گرم شدن گلخانه در تابستان، با استفاده از برنامه شبیه‌سازی ترنسیس بررسی نمود. نتایج مطالعه او نشان داد که با استفاده از هر سه روش، می‌توان رفتار حرارتی ساختمان متصل به گلخانه را بهبود بخشید، اما مؤثرترین روش برای سرمایش و جلوگیری از بیش از حد گرم شدن ساختمان در اوقات گرم سال، ترکیب هر سه اقدام است [۱۰].

اسپوستی<sup>۳</sup> و همکاران نیز برای بررسی عملکرد حرارتی گلخانه متصل، یک نمونه واقعی ساختند. آنها در جدار جنوبی یکی از نمونه‌های مورد آزمایش، پنجره‌ای با شیشه دوجداره و در جدار جنوبی یکی دیگر از نمونه‌ها، گلخانه‌ای با پنجره‌ای مشابه نمونه قبلی طراحی نمودند و عملکرد این نمونه‌ها را با عملکرد نمونه مرجع که جدار جنوبی آن دارای عایق حرارتی بود، مقایسه کردند. مقایسه مصرف انرژی سه نمونه ساخته شده

1. Mihalakakou and Ferrante  
2. TRNSYS  
3. Esposti

4. EnergyPlus  
5. Ecotect

گرمایشی این مدل‌ها، در هشت جهت - جنوب، جنوب شرقی، شرق، شمال شرقی، شمال، شمال غربی، غرب، جنوب غربی - شبیه‌سازی شد (شکل ۳).



شکل ۳ چرخش مدل‌های شبیه‌سازی شده نسبت به جهت شمال

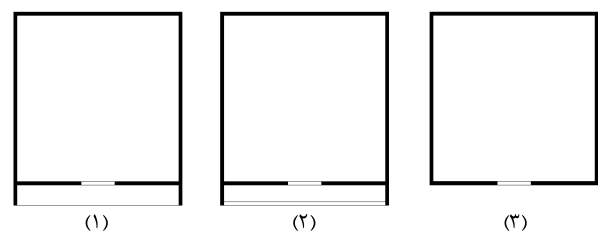
◀ برنامه استفاده از فضاها: تعداد اعضای خانواده، ۵ نفر در نظر گرفته شد. در روزهای غیر تعطیل هفته در طول سال، از ساعت ۱۶ بعدازظهر تا ساعت ۸ صبح روز بعد، تمام اعضای خانواده در خانه حضور دارند. اما از ساعت ۸ صبح تا ۱۶ بعدازظهر، فقط یکی از اعضای خانواده در خانه حضور دارد. در روزهای تعطیل هفته در طول سال، در کل شبانه‌روز تمام اعضای خانواده در خانه حضور دارند. لازم به ذکر است محاسبه میزان تولید حرارت از افراد، با فرض حالت ایستاده و آرامش انجام شده است.

◀ مصالح: دیوارهای خارجی، دیوارهای دوجداره بلوک سفالی با ۵۰mm عایق پلی‌استایرن در لایه میانی، ۱۰mm نمای سیمانی در نمای رو به خارج و ۱۵mm اندود گچ در داخل می‌باشند. دیوار داخلی، بلوک سفالی با اندود گچ می‌باشد. کف و سقف از بتن مسلح هستند (جدول ۱). برای رویه داخلی و خارجی دیوار، رنگ مات روشن، با گسیلندگی برابر ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است. پنجره فضای داخل، با دو لایه شیشه ۶mm و ۴mm، و یک لایه هوای ۱۲mm بین دو لایه شیشه است، اما پنجره‌های گلخانه خورشیدی، در مدل‌هایی که دارای این فضا هستند، با یک لایه شیشه ۶mm در نظر گرفته شده است.

آپارتمانی رو به خارج می‌باشد، که دارای پنجره‌ای به عرض ۲m و ارتفاع ۱/۵m است. سه جدار دیگر این واحد آپارتمانی در مجاورت واحدهای دیگر می‌باشد. همچنین، در طبقات بالا و پایین این واحد، واحدهای دیگر قرار گرفته‌اند که شرایط یکسانی دارند. به این ترتیب، تبادل حرارت تنها از جدار در تماس با فضای خارج صورت می‌گیرد.

جدار رو به خارج واحد آپارتمانی شبیه‌سازی شده، در سه حالت مختلف در نظر گرفته شد (شکل ۲). در حالت اول، تراسی به عرض ۱/۲m و به طول ۱۰m در جدار خارجی طراحی شد. لازم به ذکر است، دیوارهای عرضی این تراس، به صورت دیوارهای غیر نورگذر در نظر گرفته شده است. حالت دوم، به مانند حالت اول است، با این تفاوت که جدار خارجی تراس، به طور کامل شیشه‌ای در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، یک «گلخانه خورشیدی» در این جدار طراحی شده است. در مورد حالت سوم، هیچ گونه تراسی در جدار رو به خارج واحد در نظر گرفته نشده است.

حالت دیگری نیز مشابه حالت دوم در نظر گرفته شد که در آن، جدارهای جانبی نیز شیشه‌ای هستند. تمامی محاسبات در خصوص این حالت نیز انجام شد. نتایج به دست آمده برای این حالت اختلاف بسیار کمی با حالت دو دارد. از این رو، می‌توان نتایج به دست آمده برای حالت دو را به این حالت نیز تعمیم داد.



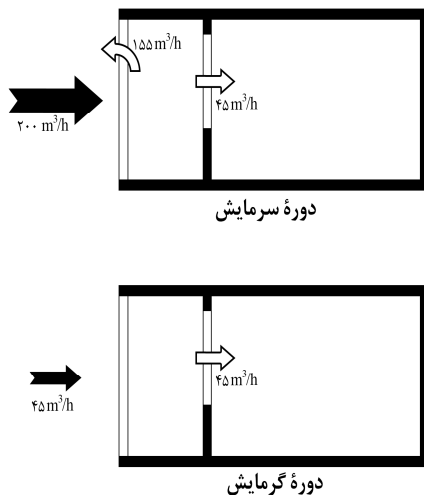
شکل ۲ مدل‌های شبیه‌سازی شده

برای تحلیل عملکرد گرمایشی هر یک از سه مدل در نظر گرفته شده، بیان انرژی فضای شبیه‌سازی شده در جهت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به عبارت دیگر، عملکرد

جدول ۱ مشخصات مصالح به کاررفته

مصالح	ضخامت [m]	ضریب هدایت حرارت (λ) [W/m.K]	وزن مخصوص خشک [kg/m <sup>3</sup> ]	ظرفیت گرمایی ویژه [J/kg.K]
بلوک سفالی	۰/۱۰	۰/۵۳	۱۸۵۰	۰/۸۴
اندود سیمان	۰/۰۱	۱/۰۰	۱۸۰۰	۱۰۰۰
اندود گچ	۰/۰۱۵	۰/۵۷	۱۳۰۰	۱۰۰۰
عایق پلی استایرن	۰/۰۵	۰/۰۴	۲۶/۵	۱۴۵۰
بتن مسلح	۰/۱۵	۲/۳	۲۳۰۰	۱۰۰۰

وارد می شود، که از این مقدار،  $45 \text{ m}^3/\text{h}$  آن برای تهویه فضای داخل استفاده می شود و  $155 \text{ m}^3/\text{h}$  آن برای تهویه گلخانه خورشیدی و تخلیه حرارت اضافی استفاده می شود و به اصطلاح مسیر میان بر<sup>۱</sup> را به فضای خارج طی می کند (شکل ۴). همچنین، در مورد مدل هایی که شامل گلخانه خورشیدی می باشند، در مواقعی از سال که دمای هوای خارج کمتر از  $21^\circ\text{C}$  است و نیاز به گرمایش فضای داخل مطرح می شود،  $45 \text{ m}^3/\text{h}$  هوای تازه از خارج به گلخانه خورشیدی وارد می شود و این مقدار هوای تازه، هم برای تهویه گلخانه خورشیدی و هم برای تهویه فضای داخل استفاده می گردد (رجوع شود به شکل ۴).



شکل ۴ سیستم تهویه مدل هایی که شامل گلخانه خورشیدی می باشند

زون بندی فضاها: مدل هایی که فقط دارای فضای داخل می باشند، زون کنترل شده محسوب می شوند. اما مدل هایی که علاوه بر زون داخلی، دارای گلخانه خورشیدی نیز هستند، با دو زون در نظر گرفته می شوند: فضای داخل، به عنوان زون کنترل شده و گلخانه خورشیدی، زون کنترل نشده محسوب می شوند.

سیستم روشنایی: در تمامی روزهای سال، بسته به اینکه خورشید در چه ساعتی طلوع می کند و در چه ساعتی غروب می کند، از ساعت غروب خورشید تا ساعت ۲۴ از چراغی به توان  $250 \text{ W}$  استفاده می شود و از ساعت ۲۴ تا طلوع آفتاب نیز از هیچ چراغی استفاده نمی شود.

سیستم تهویه: با توجه به این نکته که در بخش عمده روز، تنها  $20\%$  ساکنان در خانه حضور دارند، میزان تهویه کمتری در نظر گرفته شده است. گفتنی است، این کاهش تهویه، هم در جهت کاهش مصرف انرژی است، هم اثر دریافت انرژی خورشیدی از طریق گلخانه را مشهودتر می سازد.

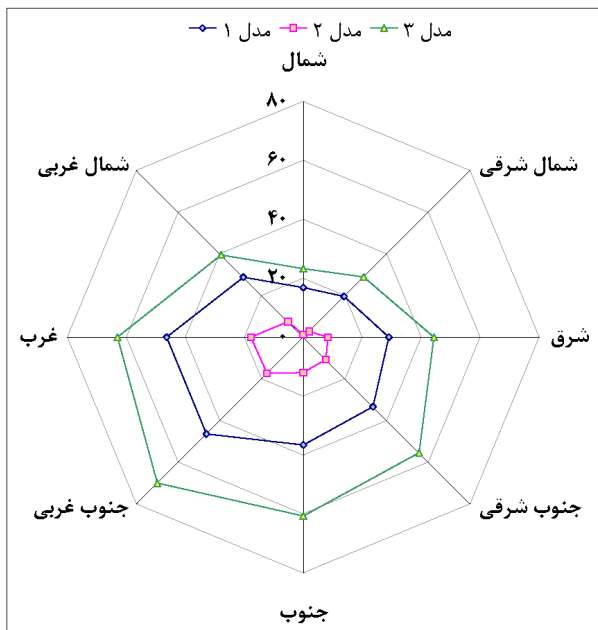
میزان تهویه فضای داخل، که فضای کنترل شده محسوب می شود، در مواقعی از سال که دمای هوای خارج بیشتر از  $25^\circ\text{C}$  می شود و نیاز به سرمایش فضای داخل مطرح می شود،  $45 \text{ m}^3/\text{h}$  می باشد. در مواقعی از سال که دمای هوای خارج به کمتر از  $21^\circ\text{C}$  کاهش می یابد و نیاز به گرمایش فضای داخل مطرح می شود نیز، میزان تهویه برابر با  $45 \text{ m}^3/\text{h}$  می باشد.

اما، در مورد مدل هایی که شامل گلخانه خورشیدی (فضای کنترل نشده) نیز می باشند، در مواقعی از سال که دمای هوای خارج بیشتر از  $25^\circ\text{C}$  می شود و نیاز به سرمایش فضای داخل می شود،  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  هوای تازه از خارج به گلخانه خورشیدی

1. Bypass

جدول ۲ توان سالانه انرژی خورشیدی عبوری (وات بر مترمربع)

جهت جغرافیایی	جنوب	شرق	شمال	شمال شرقی	شمال غربی	غرب	جنوب غربی	مدل
مدل یک	۳۶۶	۳۳۴	۲۹۰	۱۹۵	۱۶۸	۲۸۷	۴۶۴	۴۶۵
مدل دو	۱۲۰	۱۰۸	۸۴	۲۷	۰۹	۷۴	۱۷۸	۱۷۴
مدل سه	۶۰۷	۵۵۵	۴۴۳	۲۸۹	۲۳۲	۳۹۴	۶۳۰	۷۰۰



نمودار ۱ توان متوسط سالانه انرژی خورشیدی عبوری (وات بر مترمربع)

میزان توان سالانه بار گرمایشی مدل‌ها نشان می‌دهد که در تمام مدل‌ها، در حالتی که جدار خارجی مدل به سمت شمال قرار می‌گیرد، توان سالانه بار گرمایشی بیشتر است. به عبارت دیگر، از جدار شمال بیشترین اتلاف گرما اتفاق می‌افتد. اما، کمترین بار گرمایشی، در حالتی است که جدار خارجی مدل به سمت جنوب قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است، در مورد مدل یک، کمترین توان سالانه بار گرمایشی در حالتی مشاهده می‌شود که جدار خارجی مدل به سمت جنوب غربی قرار می‌گیرد.

به علاوه، در هر هشت جهت جغرافیایی، ابتدا مدل شماره یک و سپس مدل شماره سه دارای بیشترین بار گرمایشی سالانه می‌باشند (جدول ۳) (نمودار ۲).

لازم به ذکر است، در مواقعی از سال که دمای میانگین روزانه هوای خارج بین  $21^{\circ}\text{C}$  و  $25^{\circ}\text{C}$  می‌باشد، عملاً تأمین شرایط آسایش به سهولت صورت می‌گیرد و محدودیتی برای تهویه در این شرایط وجود ندارد، زیرا باعث افزایش بار گرمایشی یا سرمایشی نمی‌شود.

سیستم گرمایش: سیستم گرمایش فضای داخل، یک سیستم مستقل است و عملاً بار گرمایشی با سهولت بیشتری تأمین می‌گردد. این سیستم، توسط ترموستات کنترل می‌شود که «دمای تنظیم»<sup>۱</sup> گرمایشی آن،  $21^{\circ}\text{C}$  در نظر گرفته شده است.

#### ۴- تحلیل نتایج

در این پژوهش، پس از شبیه‌سازی پروژه طبق فرضیات در نظر گرفته شده، نتایج سالانه، ماهانه و دوره سرد و گرم سال، ارزیابی و تحلیل شد.

توان متوسط انرژی خورشیدی عبوری و بار گرمایشی مدل‌ها، بر حسب وات بر مترمربع و بر مبنای مساحت کف واحد ساختمان ( $100\text{m}^2$ ) محاسبه شده است.

#### ۴-۱- تحلیل نتایج سالانه

میزان توان سالانه انرژی خورشیدی عبوری مدل‌ها نشان می‌دهد که در تمام مدل‌ها، در حالتی که جدار خارجی مدل به سمت شمال قرار می‌گیرد، توان سالانه انرژی خورشیدی عبوری، به کمترین مقدار می‌رسد. اما، بیشترین توان سالانه انرژی خورشیدی عبوری، در مورد مدل‌های یک و سه، در حالتی است که جدار خارجی مدل به سمت جنوب غربی قرار می‌گیرد و در مورد مدل دو، در حالتی است که جدار خارجی مدل به سمت غرب قرار می‌گیرد.

به علاوه، در هر هشت جهت جغرافیایی، ابتدا مدل شماره سه و سپس مدل شماره یک دارای بیشترین میزان توان انرژی خورشیدی عبوری در کل طول سال می‌باشند (جدول ۲) (نمودار ۱).

1. Setpoint

جدول ۳ توان سالانه بار گرمایشی (وات بر مترمربع)

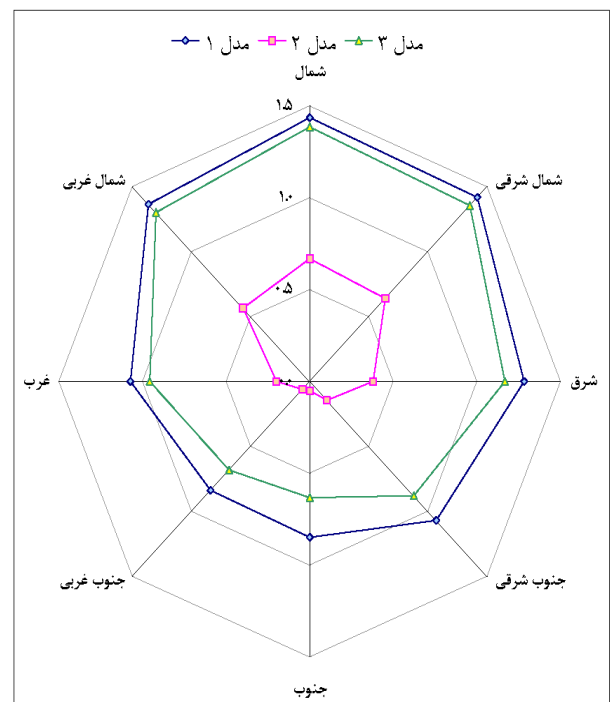
جهت جغرافیایی	جنوب	جنوب شرقی	شرق	شمال شرقی	شمال	شمال غربی	غرب	جنوب غربی	مدل
مدل یک	۰٫۸	۱٫۱	۱٫۳	۱٫۴	۱٫۴	۱٫۴	۱٫۱	۰٫۸	مدل یک
مدل دو	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۴	۰٫۶	۰٫۷	۰٫۶	۰٫۲	۰٫۱	مدل دو
مدل سه	۰٫۶	۰٫۹	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۴	۱٫۳	۱٫۰	۰٫۷	مدل سه

مورد مدل سه، بیشترین توان دریافتی در ماه اکتبر مشاهده می شود. ماه اکتبر نیز جزو دوره گرمایش این منطقه است (نمودار ۳).

کمترین توان متوسط ماهانه انرژی خورشیدی عبوری از سطوح شیشه‌ای، مربوط به حالتی است که جدار رو به خارج مدل‌ها، رو به شمال باشد. این وضعیت در ماه ژانویه، که جزو دوره گرمایش این منطقه است، اتفاق می افتد. از این رو، قرارگیری جدار رو به خارج مدل‌ها به سمت شمال، با توجه به طول دوره گرمایش در این منطقه، مطلوب نمی باشد (رجوع شود به نمودار ۳).

بیشترین توان متوسط ماهانه انرژی خورشیدی عبوری از سطوح شیشه‌ای، متعلق به مدل سه و سپس مدل یک است. در واقع، در مدل‌های یک و سه، که فاقد گلخانه در جدار رو به خارج هستند، فضای داخلی به طور مستقیم تابش خورشید را دریافت می کند. در مدل یک، وجود تراس در جدار رو به خارج و ایجاد سایه بر روی نما باعث می شود این مدل، نسبت به مدل سه، تابش کمتری دریافت کند (رجوع شود به نمودار ۳).

کمترین توان متوسط ماهانه انرژی خورشیدی عبوری از سطوح شیشه‌ای، متعلق به مدل دو است. وجود فضای گلخانه در مدل دو باعث شده است فضای داخل این مدل تابش خورشید را به صورت غیرمستقیم دریافت کند. از این رو، توان متوسط ماهانه انرژی خورشیدی عبوری این مدل نسبت به مدل‌های سه و یک کمتر است (رجوع شود به نمودار ۳).

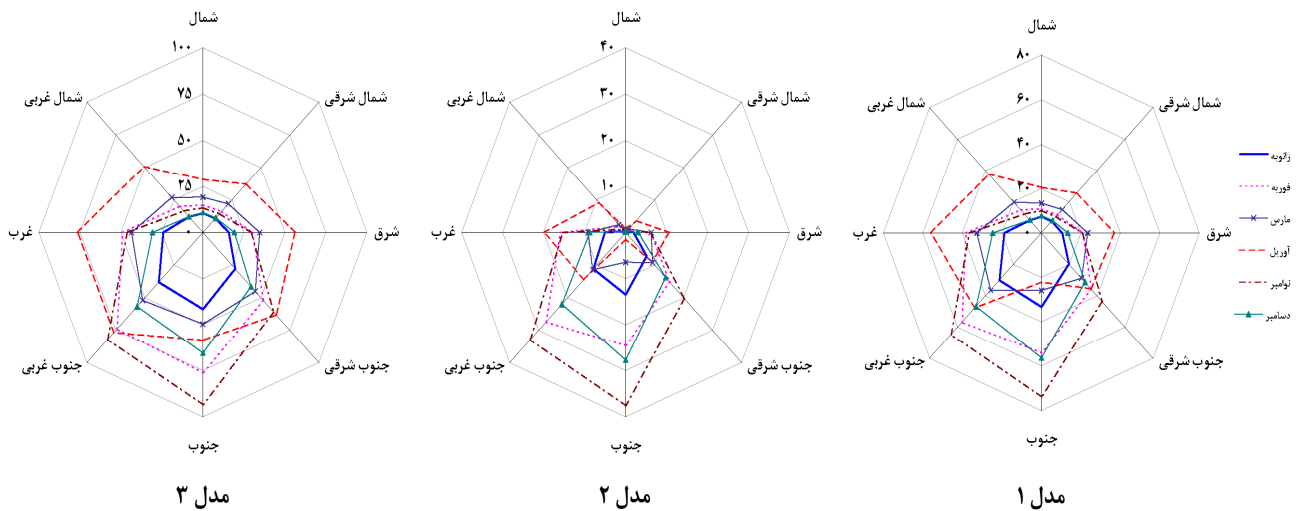


نمودار ۲ توان گرمایشی متوسط سالانه (وات بر مترمربع)

#### ۴-۲- تحلیل نتایج ماهانه

نمودار توان متوسط ماهانه انرژی خورشیدی عبوری از سطوح شیشه‌ای مدل‌ها نشان می دهد در طول یک سال، بیشترین توان در ماه نوامبر، که جزو دوره گرمایش<sup>۱</sup> این منطقه است، و در جهت جنوب اتفاق می افتد (به جز در مورد مدل سه). در

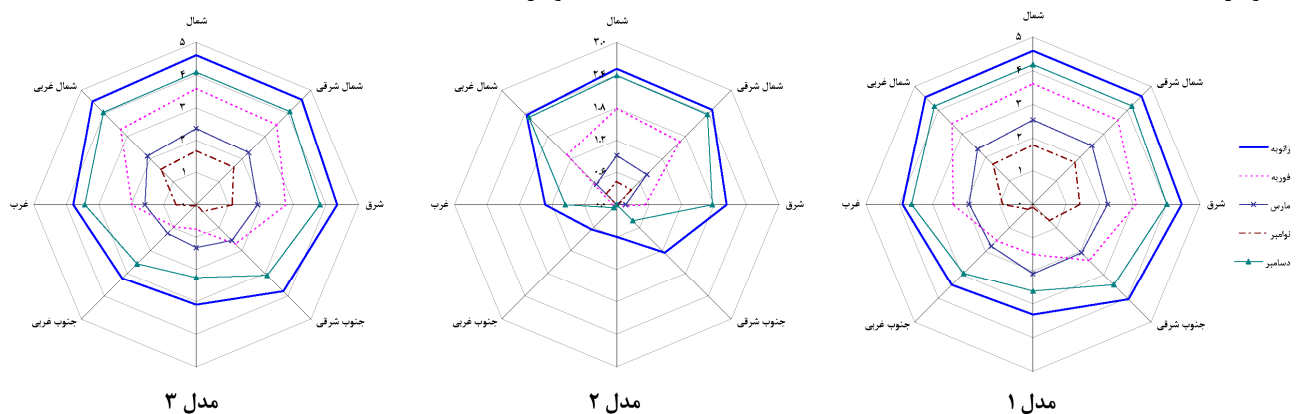
۱. با توجه به در نظر گرفتن حد پایین و بالای منطقه آسایش، به ترتیب  $21^{\circ}\text{C}$  و  $25^{\circ}\text{C}$  و دمای هوای خارج، دوره‌های گرمایش و سرمایش در این منطقه از این قرار است: دوره گرمایش: ۱۱ ژانویه تا ۲۴ ام می و ۲۹ ام اکتبر تا ۳۱ ام دسامبر، دوره سرمایش: ۱۸ ژوئن تا ۱۷ ام سپتامبر.



نمودار ۳ مدل‌های یک، دو و سه - توان متوسط ماهانه انرژی خورشیدی عبوری در طول یک سال (وات بر مترمربع)

نمودار توان متوسط ماهانه بار گرمایشی مدل‌ها نشان می‌دهد در طول یک سال، بیشترین توان در ماه ژانویه، که جزو دوره گرمایش این منطقه است، مشاهده می‌شود و مربوط به حالتی است که جدار رو به خارج مدل‌ها، به سمت شمال قرار می‌گیرد. گفتنی است، در مورد هر سه مدل، در تمام ماه‌های سال، قرارگیری جدار رو به خارج مدل‌ها به سمت شمال، باعث می‌شود ساختمان دارای بیشترین توان متوسط ماهانه بار گرمایشی گردد. به عبارت دیگر، قرارگیری جدار رو به خارج مدل‌ها به سمت شمال، در فصل‌های سرد سال مطلوب نمی‌باشد (نمودار ۴).

بیشترین توان متوسط ماهانه بار گرمایشی، مربوط به مدل یک و سپس مدل سه است (به جز در ماه ژانویه که توان متوسط مدل سه بیشتر از مدل یک گزارش شده است). در واقع، در مدل‌های یک و سه، در جدار رو به خارج مدل‌ها، گلخانه طراحی نشده است. از این رو، در جدار رو به خارج این مدل‌ها، فضای داخل ساختمان به‌طور مستقیم در ارتباط با فضای خارج است و اتلاف گرمای آنها، نسبت به حالتی که فضای داخل ساختمان از طریق یک فضای کنترل‌نشده (واسط) با فضای خارج در ارتباط می‌باشد، بیشتر است (رجوع شود به نمودار ۴).



نمودار ۴ مدل‌های یک، دو و سه - توان متوسط ماهانه بار گرمایشی در طول یک سال (وات بر مترمربع)

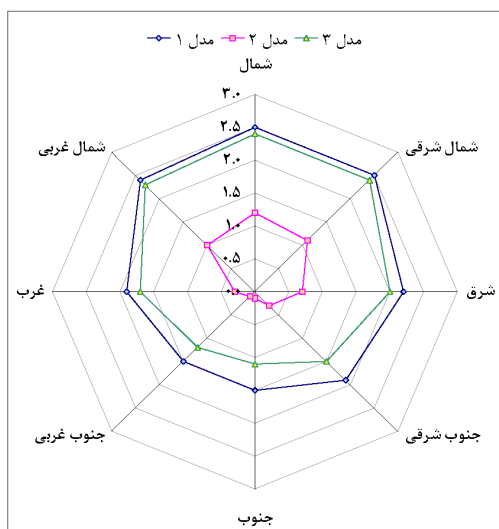


### ۴-۳- تحلیل نتایج مربوط به دوره سرد سال

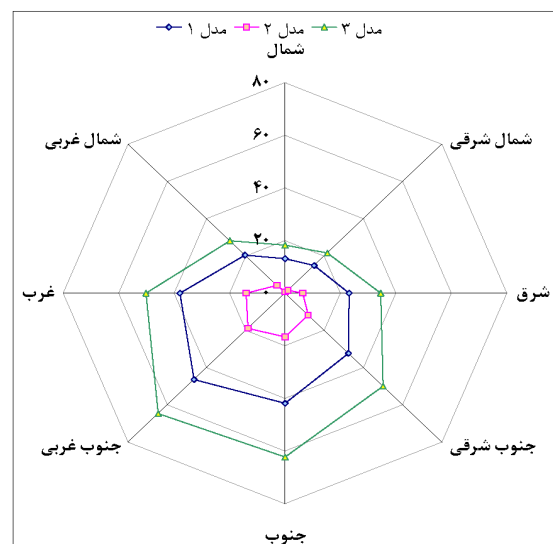
در طول دوره گرمایش، در مورد تمام مدل‌های در نظر گرفته شده، در حالتی که جدار رو به خارج مدل، به سمت جنوب غربی قرار می‌گیرد، بیشترین توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری دریافت می‌شود. پس از جدار رو به جنوب غربی، جدار رو به جنوب دارای بیشترین توان دریافتی است. کمترین توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری نیز در حالتی اتفاق می‌افتد که جدار خارجی مدل‌ها، رو به شمال قرار گرفته باشد. از این رو، قرارگیری جدار رو به خارج مدل‌ها به سمت جنوب غربی یا جنوب در فصل‌های سرد سال، مطلوب است. اما قرارگیری جدار رو به خارج مدل‌ها به سمت شمال، در این فصل‌ها مطلوب نمی‌باشد (نمودار ۵). در این دوره از سال، ابتدا مدل سه و سپس مدل یک دارای بیشترین توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری در طول یک سال می‌باشند. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، گلخانه‌ای در جدار رو به خارج مدل‌های سه و یک طراحی نشده است و این دو مدل، تابش خورشید را به‌طور مستقیم دریافت می‌کنند. اما، در جدار رو به خارج مدل دو، گلخانه طراحی شده است و در نتیجه، دریافت تابش خورشید در آن به‌طور غیرمستقیم می‌باشد. گفتنی است، در جدار رو به خارج مدل یک، تراس در نظر گرفته شده است و در نتیجه نسبت به مدل سه، تابش کمتری دریافت می‌شود (رجوع شود به نمودار ۵).

در طول دوره گرمایش، در مورد تمام مدل‌ها، قرارگیری جدار رو به خارج آنها به سمت شمال، باعث می‌شود توان متوسط روزانه بار گرمایشی، به بیشترین مقدار، نسبت به حالت‌های دیگر برسد. کمترین توان متوسط روزانه بار گرمایشی نیز در حالتی اتفاق می‌افتد که جدار رو به خارج مدل‌ها به سمت جنوب قرار گیرد (به جز در مورد مدل یک که این وضعیت در جهت جنوب غربی مشاهده می‌شود). از این رو، نامطلوب‌ترین عملکرد گلخانه در اوقات سرد سال، در جهت‌گیری به سمت شمال است، و مطلوب‌ترین عملکرد زمانی است که گلخانه به سمت جنوب یا جنوب غربی قرار دارد. همچنین، در این دوره از سال، ابتدا مدل یک و سپس مدل سه دارای بیشترین توان متوسط روزانه بار گرمایشی در طول یک سال می‌باشند (نمودار ۶).

با مقایسه نتایج به دست آمده برای مدل یک با سایر مدل‌ها، مشاهده می‌شود که کمترین میزان کاهش بار حرارتی (گرمایش) در جهت شمالی است (۵۳ درصد). این میزان کاهش در جهت جنوبی، برای مدل دو چشمگیر است و به ۹۴ درصد می‌رسد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که کاربرد سیستم گلخانه در نمای جنوبی می‌تواند بار گرمایشی را تا ۹۴ درصد کاهش دهد.



نمودار ۶ دوره گرمایش - توان متوسط روزانه بار گرمایشی در طول یک سال (وات بر مترمربع)



نمودار ۵ دوره گرمایش - توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری در طول یک سال (وات بر مترمربع)

### ۴-۴- تحلیل نتایج مربوط به دوره گرم سال

همان‌گونه که قبلاً نیز مطرح شد، در منطقه سردسیری نظیر اردبیل، بار سرمایشی تقریباً صفر است و معمولاً هیچ‌گونه تجهیزات سرمایی

## ۵- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با وجود اینکه سیستم گلخانه باعث کاهش تابش به دیوار خارجی متصل به آن می‌شود، ولی از آنجا که به‌عنوان یک فضای واسط میان فضای داخل و خارج، عمل می‌کند، موجب می‌شود اتلاف گرمای ساختمان، و در نتیجه، بار گرمایشی ساختمان کاهش یابد. به همین دلیل، توجه به مطالعه انجام‌شده و نتایج حاصل از آن، در شهر اردبیل، بهره‌گیری از سیستم خورشیدی گلخانه بیشتر از سیستم دریافت مستقیم، توصیه می‌شود.

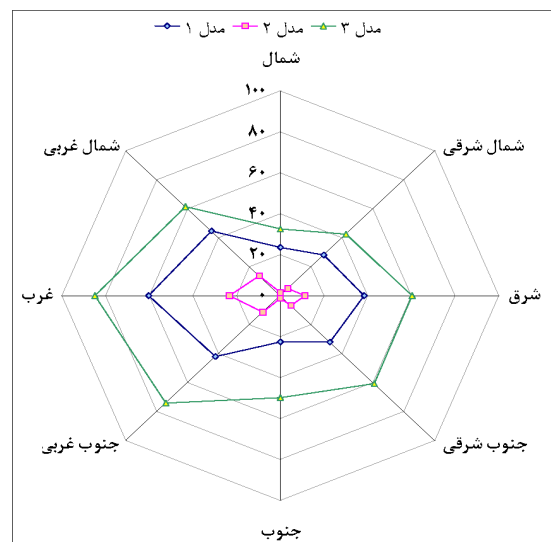
در هر دو نوع سیستم دریافت مستقیم (پنجره) و گلخانه، در طول کل یک سال، بیشترین میزان تابش خورشید، از جدارهای جنوب غربی یا غرب دریافت می‌شود. البته میزان تابش کل سالانه، شامل تابش در اوقات سرد و گرم سال است، و نمی‌تواند برای تصمیم‌گیری در خصوص جهت بهینه گلخانه ملاک عمل قرار گیرد، زیرا بخشی از افزایش میزان تابش در اوقات گرم سال صورت می‌گیرد، که می‌تواند باعث تحت‌الشعاع قرار گرفتن شرایط آسایش حرارتی در این اوقات سال شود.

در هر دو سیستم بررسی شده (دریافت مستقیم و گلخانه)، بیشترین دریافت تابش خورشید در دوره گرمایش و در نتیجه کمترین میزان بار گرمایشی، در جهت‌گیری گلخانه رو به جنوب غربی و جنوب صورت می‌گیرد. کمترین دریافت تابش خورشید در دوره نسبتاً گرم سال، در جهت‌گیری رو به جنوب یا شمال اتفاق می‌افتد. از این رو، به‌طور کلی می‌توان گفت، اگر عملکرد ساختمان در کل سال مورد نظر باشد، در شهر اردبیل، جهت‌گیری ساختمان به سمت جنوب بهترین حالت می‌باشد. اما، اگر عملکرد ساختمان در دوره گرمایش سال، در اولویت بالاتری باشد، جهت‌گیری ساختمان به سمت جنوب غربی، مطلوب‌تر خواهد بود. بدیهی است در این حالت، باید تمهیدات لازم برای جلوگیری از بیش‌گرمایش فضای گلخانه در اوقات گرم سال در نظر گرفته شود. این اقدام را می‌توان با در نظر گرفتن سایبان‌های خارجی متحرک، باز کردن دریچه‌های بزرگ در طول روز و تهویه شبانه عملی کرد.

با مقایسه نتایج به‌دست آمده برای مدل یک با سایر مدل‌ها نیز مشاهده می‌شود اثربخشی این مدل در نمای جنوبی

در ساختمان‌ها در نظر گرفته نمی‌شود، ولی با این حال، در مدت کوتاهی از سال، در برخی ساعات روز، شرایط دمایی بالاتر از دمای آسایش می‌رود، و نیاز به سرمایش کوتاه‌مدت احساس می‌شود. با وجود اهمیت بسیار کم این دوره، مقایسه‌ای نیز در این خصوص صورت گرفت، تا عملکرد کلی سیستم‌ها در این شرایط نیز ارزیابی گردد، و مشخص شود که آیا مدل دو، که عملکرد مناسبی در اوقات سرد سال دارد، در دوره گرم اثر منفی قابل توجهی دارد یا خیر.

در طول دوره سرمایش، در مدل‌های در نظر گرفته شده، زمانی که جدار رو به خارج مدل، به سمت غرب قرار می‌گیرد، بیشترین توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری دریافت می‌شود. کمترین توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری نیز، در مدل یک و دو، در حالتی اتفاق می‌افتد که جدار رو به خارج مدل‌ها، رو به جنوب قرار می‌گیرد، در مدل سه، کمترین توان در حالت گلخانه رو به شمال اتفاق می‌افتد. از این رو، قرارگیری گلخانه به سمت غرب، در دوره گرم سال، عملکرد مطلوبی را به همراه ندارد. از سوی دیگر، قرارگیری جدار رو به خارج مدل‌ها به سمت جنوب یا شمال، در اوقات گرم سال، دارای برتری محسوسی از نظر عملکرد حرارتی است. همچنین، در این دوره از سال، ابتدا مدل سه و سپس مدل یک دارای بیشترین توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری در طول یک سال می‌باشند (نمودار ۷).



نمودار ۷ دوره سرمایش - توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری در طول یک سال (وات بر مترمربع)

- [5] Givoni Baruch; *Climate Considerations in Building and Urban Design*; NY, Van Nostrand Reinhold, 1998, pp 175-176.
- [6] Lechner Norbert; *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects*; Second Edition; New York, John Wiley & Sons, Inc., 2001, p 158.
- [7] Mottard Jean-Michel and Fissore Adelqui; "Thermal Simulation of an Attached Sunspace and its Experimental Validation"; *Solar Energy*; No. 81, 2007, pp 305-315.
- [8] Oliveti G., De Simone M., and Ruffolo S.; "Evaluation of the Absorption Coefficient for Solar Radiation in Sunspaces and Windowed Rooms"; *Solar Energy*; No. 82, 2008, pp 212-219.
- [9] Mihalakakou G. and Ferrante A.; "Energy Conservation and Potential of a Sunspace: Sensitivity Analysis"; *Energy Conversion & Management*; No. 41, 2000, pp 1247-1264.
- [10] Mihalakakou G.; "On the Use of Sunspace for Space Heating/Cooling in Europe"; *Renewable Energy*; No. 26, 2002, pp 415-429.
- [11] Esposti W., Meroni I., Scamoni F., Tirloni P., Pollastro C., and Lacci R.; "Experimental Analysis of the Energy Performance of an Attached Sunspace"; *Energy and Buildings*; No. 14, 1990, pp 221-224.

چشمگیر است و بار گرمایشی به قدری کاهش می‌یابد که عملکرد جدار نورگذر تقریباً مشابه یک جدار غیر نورگذر با عایق حرارتی مناسب می‌شود.

با توجه به این نکته که اثر بخشی گلخانه در جهت شمالی، در تمامی مدل‌های بررسی شده، به حداقل می‌رسد، کاربرد آن در این جهت در اقلیم سرد به هیچ وجه توصیه نمی‌شود.

## ۶- منابع

- [۱] لکنر نربرت؛ گرمایش، سرمایش، روشنایی - رویکردهای طراحی برای معماران؛ ترجمه محمد علی کی‌نژاد و رحمان آذری؛ تبریز، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۸۵، صص ۱۶۲ و ۱۶۶.
- [2] Roaf Sue, Fuentes Manuel, and Thomas Stephanie; *Ecohouse: A Design Guide*; Third Edition; Oxford, UK, Architectural Press, 2007, p 178.
- [۳] مازریا، ادوارد؛ راهنمای کاربرد غیرفعال انرژی خورشیدی در ساختمان؛ ترجمه علی مهدوی؛ [بی‌م]، علی مهدوی، ۱۳۶۵، ص ۵۴.
- [4] Moore Fuller; *Environmental Control Systems: Heating, Cooling, Lighting*; NY, McGraw-Hill Inc., 1993, pp 137-138.