

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره شش، شهریور ماه ۹۹

## بررسی میزان تاثیر سامانه دیوار ترومب بر آسایش حرارتی در اقلیم معتدل و مرطوب

(مطالعه موردی ساختمان مسکونی در گنبد کاووس)

نگین میررشید<sup>۱</sup>

لیلا میرسعیدی<sup>۲\*</sup>

[lmirsaeedy@yahoo.com](mailto:lmirsaeedy@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۴

### چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به بالا بودن مصرف انرژی در بخش ساختمان در ایران، استفاده از راهکارهایی چون کاربرد سامانه‌های ایستا در راستای کاهش مصرف انرژی فسیلی مناسب به نظر می‌رسد. استفاده از سامانه‌های ایستا، به بهبود شرایط آسایش داخلی فضا کمک می‌کند و موجب کاهش مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی در ساختمان می‌گردد.

**روش بررسی:** در این پژوهش تاثیر استفاده از سامانه دیوار ترومب بر دمای هوا در داخل ساختمان در دو حالت گرمایش و سرمایش بررسی شده است. برای این کار از شبیه سازی حرارتی ساختمان با نرم افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است.

**یافته‌ها:** پس از انتخاب یک ساختمان مسکونی در گنبدکاووس به عنوان نمونه فرضی که اصول طراحی اقلیمی در آن به کار رفته است، شبیه سازی در دو حالت مدل پایه و مدل پیشنهادی دارای دیوار ترومب انجام شد و نتایج به دست آمده مقایسه شد.

**بحث و نتیجه گیری:** نتایج این شبیه سازی نشان می‌دهد که سامانه دیوار ترومب می‌تواند در گرمایش در اقلیم مورد نظر مفید باشد ولی در بهبود شرایط سرمایشی ساختمان نقش کمتری دارد که با توجه به مسایل اقتصادی و فنی باید درباره نقش این سامانه در کاهش مصرف انرژی مطالعه بیشتر انجام گیرد.

**واژه های کلیدی:** گنبد کاووس، ساختمان مسکونی، سامانه دیوار ترومب، اقلیم معتدل و مرطوب، نرم افزار دیزاین بیلدر، آسایش حرارتی.

۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، واحد گنبدکاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبدکاووس، ایران.  
۲ - دکترای معماری، استادیار گروه معماری، واحد گنبدکاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبدکاووس، ایران \* (مسئول مکاتبات).

# The Effect of Thrombus Wall System on Thermal Comfort in Temperate and Humid Climates

(Case study of a residential building in Gonbad Kavous)

Negin Mirrashid <sup>1</sup>

Leila Mirsaeedie <sup>\*2</sup>

[lmirsaeedy@yahoo.com](mailto:lmirsaeedy@yahoo.com)

Accepted: 2017.09.27

Received: 2017.03.04

## Abstract

**Background and objectives:** Due to high energy consumption in the building sector in Iran, using strategies such as passive systems in order to reduce the consumption of fossil fuels seems appropriate. Use of passive systems helps to improve thermal comfort and reduce energy consumption for heating and cooling in buildings.

**Method:** In this study the effect of Thrombus wall system on the indoor air temperature and thermal comfort, in both heating and cooling has been investigated in a residential building in Temperate Climate Zone. To do this design Builder software is used for building simulation.

**Findings:** After selecting a building as a hypothetical example located in Gonbad Kavous, which climatic design principles used in it, simulation in two models, basic model and model with Thrombus wall, was done, and simulation findings were compared.

**Results:** The results of this simulation show that the thrombus wall system can be useful in heating in the desired climate, but it has a lesser role in improving the cooling conditions of the building and more study on energy consumption should be done.

**Key words:** Gonbad Kavous, Residential Building, Thrombus Wall System, Temperate Climate Zone, Design Builder Software, Thermal Comfort.

---

1 - M.A, Architecture, Department of Architecture, Gonbad Kavous Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavous

2 - Ph.D in Architecture, Assistant Professor, Department of Architecture, Gonbad Kavous Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavous, Iran

## مقدمه

رشد فزاینده جمعیت، افزایش مصرف انرژی، کاهش ذخایر و آلودگی زیست محیطی در اوایل قرن ۲۱ گواهی از وجود ناپایداری داشته که منجر به تغییرات آب و هوایی و تغییر رویکرد انسان نسبت به محیط شده است. در معماری هم‌ساز با اقلیم می‌توان با استفاده از راهکارهای طراحی جهت حذف یا کاهش زمان استفاده از انرژی‌های فسیلی حرکت کرد. از آن-جایی که مصرف انرژی در ایران در حال حاضر، نسبت به متوسط جهانی بالا می‌باشد و همین مساله سبب افزایش تولید آلودگی می‌شود، باید جهت کنترل مصرف انرژی و بهینه سازی مصرف آن، اقدامات ضروری صورت گیرد. این مساله در بخش ساختمان به علت مصرف بالای انرژی بسیار اهمیت دارد. برای این موضوع اقداماتی چون شناخت شرایط اقلیمی منطقه، طراحی براساس اصول معماری هم‌ساز با اقلیم و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر جهت گرمایش و سرمایش ساختمان ها می‌تواند صورت گیرد.

طراحی ایستا برای فراهم آوردن شرایط آسایش با استفاده از منابع طبیعی در دسترس بکار می‌رود. این طراحی شامل راهکارهایی جهت فراهم آوردن راحتی ساکنین، تامین روشنایی و بهبود کیفیت هوا می‌باشد (۱). معماری ایستا اصطلاحی برای توصیف طراحی ساختمان‌هایی است که پاسخ‌گوی شرایط اقلیمی باشند به گونه ای که شرایط آسایش فضای داخلی را به طور طبیعی تا زمانی که امکان پذیر است، ایجاد کنند (۲). پوشش ساختمان باید اجازه ی جمع آوری حداکثر انرژی خورشیدی، حداکثر ذخیره سازی و حداقل اتلاف حرارتی را بدهد. در معماری ایستا، نسبت ابعاد دیوارها، جهت گیری ساختمان، جزئیات پنجره (اندازه و محل) و سایبان مناسب برای کنترل میزان پذیرش تابش خورشیدی، مهم‌ترین پارامترهای طراحی تغییر دهنده نقش خورشید برای مجموعه بار سرمایش و گرمایش در

داخل ساختمان هستند (۳). از مزایای سامانه‌های غیر فعال می‌توان صرفه جویی در مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری و آسایش ساکنین را نام برد. در هر سامانه

گرمایش خورشیدی غیرفعال دو عنصر اساسی وجود دارد: شیشه یا پلاستیک شفاف رو به جنوب برای گردآوری خورشیدی و توده‌ای حرارتی به منظور دریافت، ذخیره و توزیع گرما (۴) راهکارهایی مانند دیوار ترومب، فضای خورشیدی، دودکش خورشیدی و... انواعی از سامانه‌های ایستا هستند که با توجه به میزان تابش و باد می‌توانند در بسیاری از موارد بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز جهت گرمایش و سرمایش ساختمان را تأمین نمایند.

با توجه به اهمیت طراحی ایستا و عوامل زیادی که در عملکرد آن نقش دارند، پژوهش‌های بسیاری انجام شده است که در اکثر موارد

به بررسی عملکرد یک یا چند راهکار تحت شرایط مختلف پرداخته شده است. Rodriguez و همکارانش، پژوهشی در رابطه با استراتژی طراحی غیرفعال ارائه دادند. در این پژوهش تعدادی خانه شبیه سازی شده اند و پارامترهایی مانند نمای ساختمان، خنک‌کننده‌های تبخیری، تهویه شبانه و سرمایش تشعشعی مورد بررسی قرار گرفتند. در این پژوهش بیان می‌شود که استفاده از استراتژی‌های طراحی غیرفعال یکی از اقدامات کلیدی برای رسیدن به یک ساختمان با مصرف انرژی پایین می‌باشد و طراحی جداره، جهت گیری، هندسه ساختمان، راه حل‌های ترکیبی و راهکارهای غیرفعال دیگر در عملکرد آن تاثیرگذارند (۱). Chan و همکارانش مقاله ای مروری در رابطه با راهکارهای سرمایش و گرمایش غیرفعال ارائه دادند. در این مقاله ضمن بررسی این راهکارها به معرفی مزایا و محدودیت‌هایی که این سامانه می‌تواند داشته باشد پرداخته شده است. در نتیجه گیری این مقاله آمده است که با وجود توسعه یافتن راهکارهای غیرفعال

در بحث سرمایش و گرمایش ساختمان، محدودیت‌هایی دارد که در بعضی شرایط قادر به تامین آسایش حرارتی در محیط داخلی نمی‌باشد. همچنین در شرایط آب و هوایی با فصول گرم و سرد ترکیبی از سامانه‌های گرمایش و سرمایش می‌تواند مفید باشد ضمن آن‌که ترکیبی از سامانه‌های فعال و غیرفعال سبب

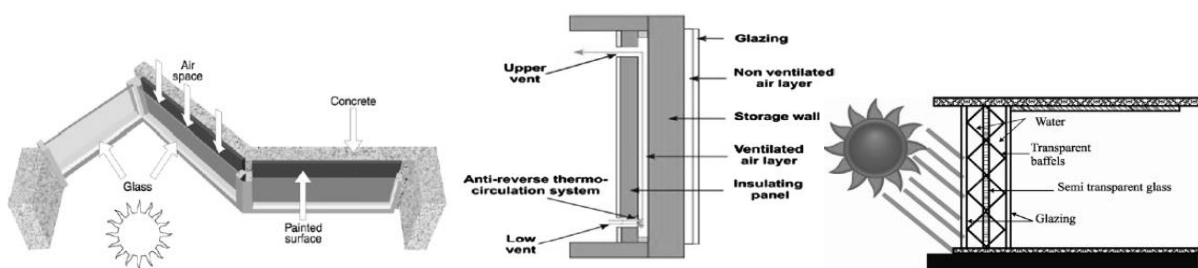
افزایش کارایی این سامانه ها می شود (۵). Taleb عملکرد حرارتی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی در امارات متحده را بررسی کرده است. در این ساختمان مدل-سازی شده، هشت استراتژی مورد استفاده شامل استفاده از سایبان، شیشه های دو جداره، بادگیر و تهویه عبوری، عایق بندی، بام سبز، سرمایش تبخیری، خنک کننده های تابشی غیرمستقیم و رنگ روشن و بازتابنده بالا در جداره ها بوده است. نتایج تحقیق نشان می دهد کاهش مصرف انرژی و بهره وری بیش تر از تهویه طبیعی و به حداقل رساندن افزایش حرارت در ساختمان با استفاده از سایبان و شیشه های دو جداره فراهم می شود. همچنین استفاده از بام سبز به عنوان یک عایق می تواند مفید باشد. نتایج پژوهش نشان می دهد که مصرف انرژی سالانه یک ساختمان مسکونی در دبی با استفاده از استراتژی های غیرفعال می تواند تا ۲۳/۶ درصد کاهش پیدا کند (۶). در پژوهشی دیگر Imessad و همکارانش راهکارهای طراحی غیرفعال را در بحث نیازهای حرارتی جهت تامین سرمایش در ساختمان های مسکونی در آب و هوای معتدل مدیترانه ای بررسی می کنند. شبیه سازی های انجام شده در ارتباط با تاثیر جرم حرارتی ساختمان، پیش آمدگی لبه بام و تهویه شبانه می باشد. نتایج تحقیق نشان می دهد جرم حرارتی در افزایش انرژی سرمایشی تاثیر دارد. در نهایت به این نتیجه می رسند که با استفاده از ادغام تکنیک های سرمایش غیرفعال، مانند تهویه طبیعی و سایبان های افقی و عایق بندی استفاده از جرم حرارتی و تهویه شبانه، می توان آسایش حرارتی را برای ساکنین فراهم کرد که سبب کاهش مصرف انرژی در این ساختمان ها می شود (۷).

#### پیشینه تحقیقات درباره سامانه دیوار ترومب

از پیشرفت های قابل توجه در سامانه های غیر فعال خورشیدی دیوار ترومب بوده است که توسط طراح فرانسوی فلیکس ترومب ارائه شد. دیوار ترومب یک راهکار هوشمندانه جهت

جمع آوری و ذخیره سازی گرمای خورشیدی در طی روز و انتشار گرما در طول شب، به داخل ساختمان می باشد. این دیوار در نیمکره شمالی، معمولاً به سمت جنوب و دارای سایبان افقی برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد در تابستان می باشد که با این وجود، اجازه ورود نور با زوایای پایین تر در زمستان را به ساختمان می دهد. حرارت جمع آوری شدن بستگی به ضخامت دیوار دارد. یک جداره شیشه ای نیز در سطح خارجی ساختمان وجود دارد. وجود لایه ی هوا بین جداره شیشه ای و دیوار حرارتی، باعث می شود که لایه هوا به عنوان عایق عمل کند و از ساطع کردن تابش خورشیدی با طول موج بلند جلوگیری کند. در دیوار ترومب ۲۰ سانتی متری برای حدود ۸ تا ۱۰ ساعت ذخیره گرما وجود دارد و حتی می تواند تا چند ساعت پس از غروب نیز حرارت را انتقال دهد. طراحان می توانند با ترکیب دیوار ترومب با پنجره، پیش آمدگی بام و یا عناصر دیگر طراحی، به تعادل حرارتی دست پیدا کنند. اتاق های گرم شده با این سامانه، اغلب شرایط راحتی و آسایش بیش تری نسبت به سایر سامانه ها ارائه می دهند (۸). دیوار ترومب می تواند به صورت های مختلف از جمله: دیوار ترومب کلاسیک، زیگزاگی، دیوار ترومب آبی، دیوار ترومب با مواد تغییر فاز، دیوار ترانس و... اشاره کرد که بسته به شرایط مورد نظر استفاده شود (شکل ۱).

اندازه، ضخامت، رنگ، مواد دیوار، مواد پوشش و مشخصات جداره به میزان بهره وری از دیوار ترومب کمک می کند. ضخامت دیوار جهت تعیین دوره انتقال حرارت ذخیره شده از خارج به داخل به کار می رود که در مناطق آب و هوایی متفاوت است و باید به صورت جداگانه برای هر حالت محاسبه شود برای جذب بهتر انرژی خورشیدی رنگ های تیره برای دیوار توصیه می شود. با عایق بندی کامل دیوار، بهره وری از سامانه تا ۵۶٪، افزایش پیدا می کند (۹). عامل مهم دیگر در اندازه ی این دیوارها، موانع در مقابل نور خورشید است.



شکل ۱- به ترتیب از بالا سمت راست: دیوار ترومب زیگزاگی، آبی، دیوار کامپوزیتی. (۸)

Figure1- From right to left: zigzag and water trombe wall and composite wall (8)

اتاق در حداقل دما که در زمستان است ( $T=10^{\circ}\text{C}$ ) قرار دارد و سامانه با شروع تابش خورشید و دریافت انرژی حرارتی خورشید توسط دیوار شروع به کار می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با شروع به کار سامانه، دمای اتاق و فضاهای اطراف آن از بقیه نقاط اتاق، بیش‌تر شده و با گذشت زمان، دمای دیوار و پس از آن دمای اتاق افزایش می‌یابد. در زمانی که دمای کانال و اتاق به حالت تعادل می‌رسد، حرارت به صورت انرژی ذخیره می‌شود. در این پژوهش همچنین بیان می‌شود که جنس آجری دیوار باعث گرم نگه داشتن دیوار تا هفت ساعت می‌شود و دمای اتاق، دارای اختلاف ۱۹ درجه ای نسبت به دمای ۱۰ درجه ای بیرون می‌باشد (۱۳).

همچنین Briga-Sá در مقاله ی خود بیان می‌کنند که تحقیقات بیش‌تری روی ارزیابی تاثیر دیوار ترومب بر عملکرد حرارتی ساختمان مورد نیاز می‌باشد. این پژوهش نشان می‌دهد که وجود سیستم تهویه در دیوار، می‌تواند عملکرد حرارتی آن را بهبود بخشد همچنین کاهش ۱۶/۳۶ درصدی نیاز گرمایشی ساختمان از دیگر نتایج این پژوهش در یک ساختمان مسکونی می‌باشد (۱۴). Yanfeng Liu و همکارانش به تجزیه و تحلیل پارامترهای عملکردی دیوار ترومب پرداختند. پارامترهای در نظر گرفته عبارتند از: سرعت دریچه هوا، درجه حرارت دریچه هوا، توزیع دمای لایه هوا و درجه حرارت هوا در محیط داخلی. توزیع دما و سرعت لایه هوا که توسط محاسبات عددی با داده های تجربی از جمله مشخصه‌های ذخیره سازی و رها سازی گرما و عوامل تاثیرگذار در دیوار

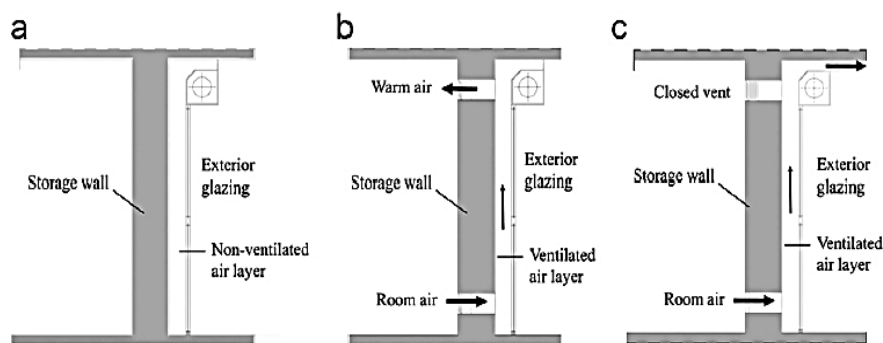
در این سامانه می‌توان از بازتاب کننده استفاده کرد و مقدار نور بیش‌تری را ذخیره کرد. ضخامت مناسب براساس مصالح بکار رفته و مقدار تغییرات درجه حرارت برای انواعی از مصالح نیز در پژوهش‌های مختلف ارایه شده است (۱۰). پژوهش‌های بسیاری نیز در رابطه با دیوار ترومب و بهبود عملکرد آن انجام شده است. Ajib و Jaber به بررسی عملکرد حرارتی، محیطی و اقتصادی دیوار ترومب در مناطق مدیترانه براساس معیار هزینه چرخه زندگی می‌پردازند و به این نتیجه می‌رسند که نسبت بهینه سطح دیوار از لحاظ معیار اقتصادی، ۳۷ درصد می‌باشد که هزینه چرخه زندگی را ۲/۴ درصد کاهش می‌دهد و همچنین در سال ۴۴۵ کیلوگرم مقدار گاز دی اکسیدکربن تولیدی کم‌تر خواهد شد (۱۱). Chel و همکارانش نیز به بررسی اثر سایبان بر عملکرد

لایه هوایی دیوار ترومب می‌پردازند. در این پژوهش بیان می‌شود که استفاده از سایبان در لایه ی هوایی دیوار، راهی موثر جهت بهبود عملکرد دیوار می‌باشد. با استفاده از سایبان می‌توان از دست حرارت از طریق این لایه را تا ۲۰ درصد و استفاده از عایق نیز می‌توان ۲۰ تا ۴۰ درصد را کاهش داد همچنین از انتقال حرارت تابشی جلوگیری کرد (۱۲). ربانی و همکاران به بررسی عددی عملکرد یک دیوار ترومب در راستای بهینه سازی مصرف انرژی و ارایه اندازه بهینه سامانه برای ذخیره بیش‌تر انرژی و محاسبه میزان ساعاتی که انرژی ذخیره شده در دیوار به فضای داخل اتاق در نبود تابش خورشید انتقال می‌یابد پرداختند. در این پژوهش فضای داخلی

دمپرها کنترل شود. هنگامی که دیوار ترومب برای فرایند خنک سازی در تابستان، مورد استفاده قرار می‌گیرد، نرخ تهویه ی القایی توسط اثر رانشی و برحسب نور خورشید، ارتفاع و ضخامت دیوار و دمای دیوار افزایش می‌یابد. با توجه به ابعاد دریاچه‌های داخلی و خارجی، پهنای کانال تغییر پیدا می‌کنند. همچنین نرخ تهویه با فاصله بین دیوار و شیشه زیاد می‌شود. استفاده از شیشه‌های دوجداره برای دیوار ترومب نه تنها هدر رفت گرما را در فصل زمستان کاهش می‌دهد، بلکه سرمایش غیرفعال را در فصل تابستان افزایش می‌دهد. به منظور افزایش نرخ تهویه برای فرایند خنک سازی در فصل تابستان، سطح داخلی دیوار باید، عایق بندی شود. این روش، همچنین از افزایش نامطلوب دمای هوای اتاق، به دلیل انتقال گرما از دیوار، جلوگیری به عمل می‌آورد (۱۶). شکل ۲، نحوه عملکرد دیوار ترومب را به سه صورت بدون تهویه، نحوه عملکرد آن در زمستان و تابستان نمایش می‌دهد (۹).

ترومب به دست آمده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که زمان مطلوب برای باز کردن دریاچه هوای دیوار ترومب دو تا سه ساعت بعد از طلوع آفتاب و زمان بسته شدن یک ساعت قبل از غروب آفتاب است. ظرفیت ذخیره سازی حرارتی دیوار ترومب به ترتیب در ساعت چهار صبح و هفت تا هشت بعد از ظهر به حداکثر و حداقل مقدار خود می‌رسد. نتایج این پژوهش مرجعی را برای بهینه سازی طراحی و مدیریت عملیاتی یک خانه خورشیدی غیرفعال با دیوار ترومب فراهم می‌آورد (۱۵).

دیوار ترومب برای سرمایش نیز قابل استفاده است. در مناطق گرم در طی شب، جریان هوای القایی توسط دیوار گرم ترومب، هوای خنک را به داخل فضای ساختمان، هدایت و هوای گرم را از داخل ساختمان به بیرون، هدایت می‌کند. هم در فرایند گرمایش و هم در فرایند سرمایش، گرمای ورودی به داخل اتاق یا نرخ تهویه می‌تواند از طریق تنظیم جریان هوا با استفاده از



شکل ۲- نحوه عملکرد دیوار ترومب به سه صورت بدون تهویه، نحوه عملکرد آن در زمستان و تابستان (۹)

Figure 2- Performance of trombe wall: a, without ventilation in winter and c in summer (9)

بررسی کردند. همچنین سرعت جریان هوا و دمای اتاق و دیوار را اندازه گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که (MTW) در کاهش بار حرارتی اتاق موثر است (۱۸).

#### روش تحقیق

در این پژوهش تاثیر استفاده از سامانه دیوار ترومب بر دمای هوا در داخل ساختمان در دو حالت گرمایش و سرمایش بررسی شده است. برای این کار از شبیه سازی ساختمان با نرم

در یک پژوهش عددی بر روی دیوار ترومب در سال ۱۹۹۸، گان دریافت که افزایش یک چهارمی ارتفاع دیوار، برابر با افزایش سه چهارمی، گرما است همچنین در تحقیق Strand و Ho Lee هنگامی که ارتفاع دیوار از ۳/۵ به ۹/۵ متر، افزایش یافت، نرخ جریان هوا در سه موقعیت فرضی یک ساختمان، تا ۷۳ درصد، افزایش پیدا کرد (۱۷). خداری و همکارانش دیوار ترومب اصلاح شده (MTW) را که شامل یک دیوار بنایی و یک شکاف هوا و یک تخته گچی به عنوان لایه داخلی است،

سرد در زمستان می‌باشد.

در طراحی مجتمع مسکونی در شهر گنبد کاووس اهدافی چون کاهش میزان مصرف انرژی، بهبود شرایط گرمایش ساختمان و آسایش داخلی، بهره‌گیری از باد مطلوب منطقه در جهت تهویه ساختمان در فصول گرم تعریف شده است که براساس آن، اصول طراحی با توجه به شرایط منطقه تعیین و در طراحی به کار برده شده است. این اصول شامل راهکارهای طراحی اقلیمی از جمله نحوه چیدمان بلوک‌ها، جهت‌گیری آن‌ها، طراحی فضاهای داخلی و ... می‌باشد که در نهایت طرح کلی مجتمع مسکونی را شکل داده‌اند.

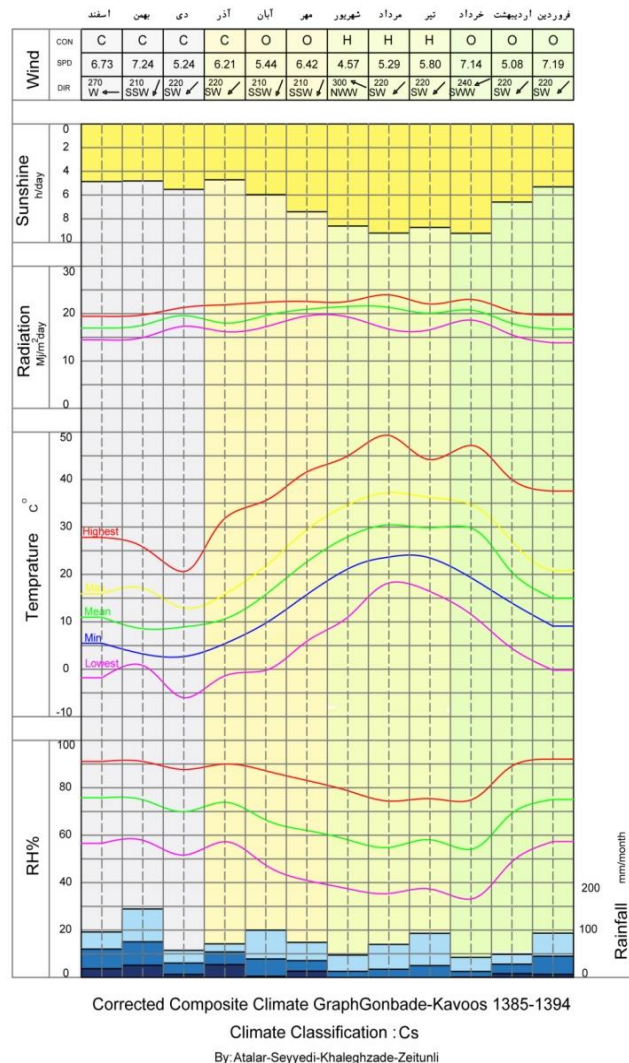
همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، مجتمع مسکونی طراحی شده به دلیل دریافت تابش مناسب و استفاده از تهویه طبیعی دارای جهت‌گیری به سمت جنوب می‌باشد. جهت بهبود شرایط آسایش ساکنین در فصول سرد سال، راهکارهایی از جمله جهت‌گیری، تراکم، طراحی مناسب سایت، طراحی بهینه جداره‌ها و طراحی فضاهای داخلی جهت کاهش اتلاف حرارت رعایت شده است. هم‌چنین جهت بهبود شرایط آسایشی در فصول گرم سال، راهکارهایی جهت کاهش جذب حرارت، اتلاف حرارت و کنترل حرارت ورودی مورد استفاده قرار گرفته است. در طراحی بلوک‌ها کشیدگی شرقی-غربی استفاده شده است. سقف بلوک‌ها به صورت مسطح در نظر گرفته شده است، تا بتوان از سرمایش تشعشعی استفاده شود. هم‌چنین در زیر بلوک‌ها، پیلوت در نظر گرفته شده که باعث گردش هوا در زیر و اطراف هر بلوک می‌شود. در طراحی جداره‌ها، از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا (آجر) در دیوار و کف جهت سرمایش و گرمایش استفاده شده است. جهت بهینه‌سازی پوسته ساختمان، مشخصات جداره‌ها بر طبق مبحث ۱۹، انتخاب شده است.

افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. مطالعه انجام شده بر روی یک واحد مسکونی طراحی شده در شهر گنبد کاووس انجام شده است. در طرح معماری مجتمع مسکونی و واحد مسکونی مورد نظر اصول طراحی هم‌ساز با اقلیم در این منطقه به کار رفته است. اصول طراحی اقلیمی به کار رفته در این بنا براساس پژوهش‌های پیشین و نتایج آن‌ها تهیه و تدوین شده است. در ادامه با افزودن سامانه دیوار ترومب به ساختمان رفتار حرارتی و نتایج آن (به ویژه آسایش حرارتی در فضای داخلی) از طریق شبیه‌سازی با نرم افزار دیزاین بیلدر (Design Builder) مطالعه شده و با شرایط طرح پایه (طرح بدون افزودن سامانه دیوار ترومب) مقایسه شده است. در مرحله بعد نتایج مدل-سازی بررسی و تحلیل گردید و با تاکید بر تاثیر میزان آسایش حرارتی در فضاهای داخلی نتایج جمع‌بندی گردید. در انتخاب جزئیات دیوار ترومب پیشنهادی نیز از نتایج پژوهش‌های پیشین در این خصوص بهره‌گرفته شده است.

#### مطالعه موردی

در بررسی اقلیمی، از آمار هواشناسی ۴۰ ساله ی شهر گنبد کاووس استفاده شده است. با بررسی نمودار روز درجات سرمایش و گرمایش، می‌توان مشاهده کرد روز درجات گرمایشی حدود ۱۲۶۰ روز درجه و روز درجات سرمایشی ۹۶۰ روز درجه است که نشان دهنده یک و نیم برابری نیاز به گرمایش نسبت به سرمایش در شهر گنبد کاووس می‌باشد. گنبد کاووس از نظر رطوبت نیز در گروه شهرهای نیمه مرطوب ایران قرار دارد و احتمال بروز شرجی از خرداد تا شهریور در آن وجود دارد (۱۹). (نمودار ۱) با توجه به مطالعات اقلیمی شهر گنبد کاووس می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که اقلیم این شهر، گرم و نیمه مرطوب در تابستان و





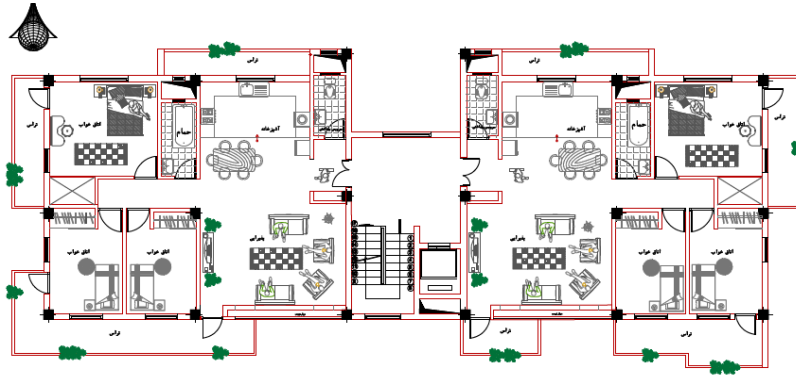
نمودار ۱- نمودار اطلاعات آب و هوایی ترکیبی گنبدکاووس (۲۰)

Diagrams 1- Corrected composite climate graph for gonbad kavoos (20)

بادهای سرد زمستانی می باشند. سایبان‌های شرقی و غربی مشبک بوده و از پنجره فاصله دارند همچنین از تیغه‌های افقی در دو جداره شرق و غرب استفاده شده است. جهت تهویه طبیعی در بلوک‌ها ابتدا از تهویه عبوری و در درجه دوم از تهویه با استفاده از دو بازشو در دو جداره مختلف استفاده شده است. بازشوی خروجی کوچک تر و در حداکثر فاصله نسبت به بازشوی ورودی قرار گرفته است.

برای رسیدن به حداقل تبادل حرارت، از پنجره‌های دو جداره با ۱۵ میلی‌متر فضای خالی بین دو جداره که با گاز آرگون پر شده است و قاب پی وی سی استفاده شده است. همچنین جهت توزیع مناسب جریان هوا و بهره مندی از تابش مفید، در جداره‌های جنوبی، از سایبان افقی استفاده شده است. این سایبان به صورت مشبک بوده و از پنجره فاصله دارد. در جبهه شمالی از سایبان‌های قائم در سمت غرب پنجره استفاده شده که علاوه بر آن، این پنجره‌ها دارای درپوش محافظ نسبت به





شکل ۳- پلان بلوک طراحی شده شامل دو واحد مسکونی

Figure3- Plan of designed block consists of two residential units

#### مدل سازی و تحلیل نتایج

شهر گنبد کاووس، دارای نیاز گرمایشی بالا می باشد، جهت بهبود شرایط آسایش ساکنین در فصول سرد سال، علاوه بر سامانه جذب مستقیم، از سامانه های جذب غیرمستقیم (استفاده از دیوار ترومب) به این منظور استفاده شده است تا با بررسی شرایط دمایی فضاها با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر مناسب ترین راهکار در بلوک ها مورد استفاده قرار گیرد. جهت تحلیل شرایط آسایش ساکنین، مدل پایه شبیه سازی شده و سپس با دیوار ترومب مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی به دو دسته گرمایشی و سرمایشی تقسیم شده که در ادامه به آن پرداخته می شود.

#### الف- نتایج شبیه سازی برای گرمایش

نتایج شبیه سازی برای سردترین روز سال (15 Jan) در نمودار ۱ قابل مشاهده می باشد. همان گونه که مشاهده می شود، با رعایت کردن اصول اولیه طراحی اقلیمی، مانند جهت گیری مناسب، حداکثر بهره از آفتاب در زمستان و یا عایق بندی مناسب می توان در سردترین روز سال به اختلاف دمایی بین ۳ تا ۹ درجه رسید که سبب کاهش بار استفاده از تجهیزات مکانیکی می باشد. پس از آن، ساختمان بار دیگر با دیوار ترومب، شبیه سازی شده است. سامانه می تواند در حدود ۸ تا ۱۰ ساعت انرژی را در خود ذخیره کند که در شرایط آب و هوایی سرد بسیار مناسب می باشد. ابعاد انتخابی سامانه در جدول ۱ نشان داده شده اند.

جدول ۱- ابعاد طراحی دیوار ترومب (۱۳)

Table1- Design directions of trombe wall (13)

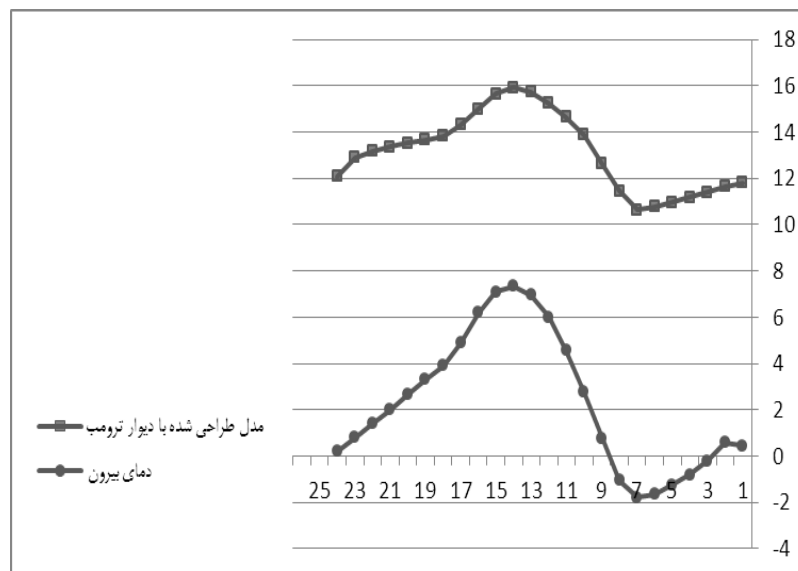
ابعاد(متر)	محل مورد نظر
۳/۳	ارتفاع دیوار
۰/۳	پهنای کانال
۰/۳	ارتفاع دریچه ها
۰/۲	ضخامت دیوار

سردترین روز بین ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است که می‌توان گفت اختلاف دمایی در حدود ۸ تا ۱۲ درجه نسبت به هوای سرد بیرون، وجود دارد.

در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد برای رسیدن به شرایط آسایش در داخل ساختمان، وسایل گرمایشی به جای آن‌که در ساعات پایانی شب دما را از ۱- به دمای آسایش ۲۴ درجه برسانند، با ۱۲ درجه افزایش دما در مدل طراحی شده، میزان مصرف انرژی‌های فسیلی جهت تامین گرمایش در هر روز به نصف کاهش پیدا کرده است.

در سمت داخلی دیوار ۵ سانتی متر عایق حرارتی قرار داده شده است. همچنین میزان حضور افراد و میزان انرژی که وسایل الکتریکی در داخل ساختمان ایجاد می‌کنند به صورت پیش فرض، توسط نرم افزار محاسبه و مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی مدل طراحی شده با دیوار ترومب در نمودار ۲ مشاهده می‌شود.

در ابتدا دمای دیوار ترومب افزایش پیدا می‌کند و پس از آن دمای اتاق به حداکثر میزان خود می‌رسد و در اواخر روز تقریباً دما به حالت تعادل می‌رسد. براساس نتایج بدست آمده با استفاده از دیوار ترومب شرایط دمایی داخل ساختمان، در

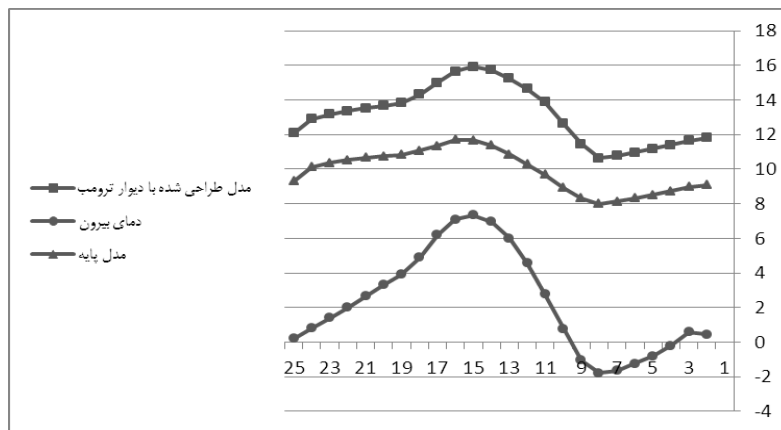


نمودار ۲- تفاوت درجه حرارت بیرون ساختمان و داخل در مدل طراحی شده با دیوار ترومب در گرمایش

### Diagrame2- Temperature difference between inside and outside for designed model with Trombe wall in heating

۴-۵ بعد از ظهر با توجه به جذب تابش خورشید، این اختلاف دما به حدود ۶ درجه می‌رسد. نمودار ۳ تفاوت دمایی دو مدل پایه و مدل با دیوار ترومب را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان کرد که در ساعات اولیه صبح و ساعات پایانی شب، دیوار ترومب اختلاف دمایی در حدود ۴ درجه نسبت به مدل پایه ایجاد می‌کند و دما را تقریباً به صورت متعادل نگه داشته است. در خلال ساعات ۱۰ صبح تا



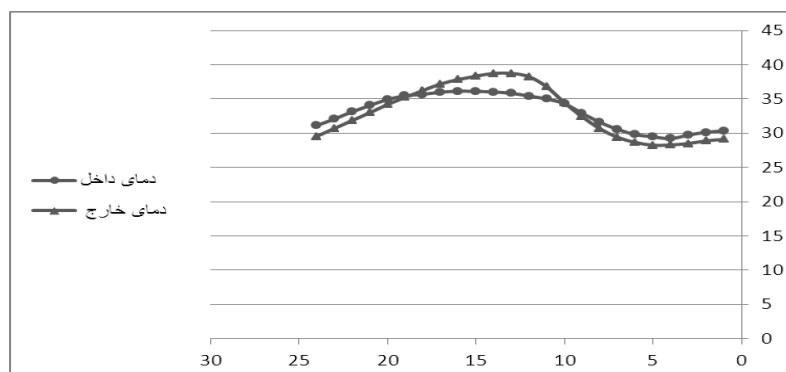
نمودار ۳- تفاوت درجه حرارت بیرون ساختمان و داخل در مدل پایه و مدل طراحی شده با دیوار ترومب در گرمایش

Diagrame3- Temperature difference between inside and outside for base model and designed model in heating

جداره‌ی شیشه‌ای باز شدند تا باعث برقراری جریان هوا و استفاده از پدیده دودکشی در دیوار شوند. نمودار ۴ و ۵ تفاوت درجه حرارت بیرون و داخل در مدل طراحی شده با دیوار ترومب را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود سامانه دیوار ترومب اختلاف دمایی در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد در اواسط روز نسبت به شرایط بیرون، در گرم‌ترین روز سال (۱۹ آگوست، با دمایی در حدود ۳۸ درجه سانتی‌گراد)، ایجاد می‌کند که با توجه به بالا بودن دما و رطوبت و پایین بودن سرعت باد، اختلاف نسبتاً اندکی نسبت به دمای بیرون ایجاد می‌کند.

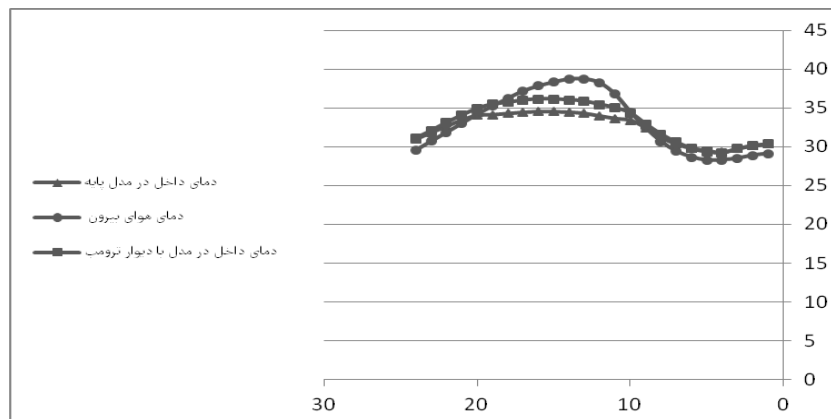
#### ب- نتایج شبیه‌سازی برای سرمایش

پس از آن دوسامانه بیان شده در فصول گرم سال مورد بررسی قرار گرفتند تا مناسب‌ترین سامانه که در ابتدا پاسخ‌گوی نیاز اساسی گرمایشی منطقه باشد و بتواند تا حدودی در فصول گرم از میزان مصرف انرژی وسایل مکانیکی بکاهد، انتخاب شود. ضمن این‌که با توجه به نمودار آسایشی شهر گنبد، علاوه بر باز بودن تمامی پنجره‌ها و رعایت اصول طراحی اقلیمی، باز هم جواب‌گو نبوده و استفاده از تجهیزات سرمایشی را ضروری می‌سازد. نتایج شبیه‌سازی دو سامانه به صورت زیر می‌باشد. در دیوار ترومب دریچه‌های پایینی دیوار و دریچه‌های بالایی



نمودار ۴- تفاوت درجه حرارت بیرون ساختمان و داخل در مدل طراحی شده با دیوار ترومب در سرمایش

Diagrame4- Temperature difference between inside and outside for designed model with trombe wall in cooling



نمودار ۵- تفاوت درجه حرارت بیرون ساختمان و داخل در مدل طراحی شده با دیوار ترومب در سرمایش

**Diagrame5- Temperature difference between inside and outside for base model and designed model in cooling**

#### جمع بندی و نتیجه گیری

جدول ۲ اختلاف درجه حرارت مدل های طراحی شده نسبت به دمای بیرون را نشان می دهد.

جدول ۲- اختلاف درجه حرارت مدل پایه و مدل طراحی شده نسبت به بیرون

**Table2- The temperature difference between the base model and the designed model with outside**

اختلاف درجه نسبت به دمای بیرون در ۱۹ آگوست	اختلاف درجه نسبت به دمای بیرون در ۱۵ ژانویه	
۱ تا ۳	۸-۱۲	مدل با دیوار ترومب
۰ تا ۴	۳-۹	مدل پایه

با این وجود با بررسی نمودارهای سرمایش و مقایسه نتایج مدل با سامانه دیوار ترومب و مدل پایه مشخص می شود، این سامانه در سرمایش کارایی چندانی نداشته و بهبود شرایط آسایش حرارتی داخلی بسیار ناچیز و حتی از مدل پایه (در صورت باز بودن پنجره ها و تهویه طبیعی) نیز کم تر است. همچنین در مدل دارای دیوار ترومب به دلیل نیازهای سرمایشی، مجموع مصرف انرژی نیز افزایش می یابد و این نکته ضرورت استفاده از سایبان های متحرک و مناسب را برای سایه اندازی بر دیوار ترومب در روزهای گرم سال مشخص می کند. هر چند به نظر می رسد به هر ترتیب استفاده از تجهیزات سرمایشی در شهر مورد مطالعه در مواقعی ضروری است، اما در پژوهش های بعدی

از آن جایی که مهم ترین نیاز حرارتی در شهر گنبد، برقراری شرایط آسایشی در فصول سرد می باشد و با توجه به عملکرد بالای دیوار ترومب این سامانه دارای عملکرد مناسبی در فصل های سرد می باشد. نتایج تحقیق نشان می دهد با استفاده از دیوار ترومب، می توان دمای داخل ساختمان را افزایش داد ضمن آن که جهت بهبود عملکرد سامانه و برای دریافت بیش تر تابش پیشنهاد می شود از صفحات بازتابنده که به صورت مورب نسبت به جداره ی شیشه ای دیوار قرار می گیرند و قابل جابه جایی می باشند استفاده کرد. این صفحات با افزایش جذب تابش و بازتابدن آن به سطح دیوار، سبب افزایش حرارت در دیوار می شوند که می توانند در دمای اتاق تاثیر گذار باشند.

5. Chan, H.Y., Saffa B. R., Jie Z., 2010. Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, Issue. 2 ,pp.781-789.
6. Taleb, H. M., 2014. Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in UAE buildings. *Frontiers of Architectural Research*.
7. Imessad, K., Derradji, L., Ait Messaoudene, N., Mokhtari, F., Chenak, A., Kharchi, R., 2014. Impact of passive cooling techniques on energy demand for residential buildings in a Mediterranean climate. *Renewable Energy* , vol. 71,pp. 589-597.
8. Torcellini, P., Pless, S., 2004. Trombe walls in low-energy buildings: practical experiences. In Preprint,Conference Report NREL/CP-550-36277. Presented at the World Renewable Energy Congress VIII, Denver, CO. www.nrel.Gov/docs/fy04osti/36277.
9. Saadatian, O., Sopian, K., Lim, C. H., Asim, N., Sulaiman, M. Y., 2012. Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, Issue. 8, pp. 6340-6351.
10. Raoufi Rad, M., 2007. *Designing Solar Systems in Building in Iran*, First Edition, Tehran: Fadak Isatiz. (In Persian)
11. Jaber, S., Ajib, S., 2011. Optimum design of Trombe wall system in

می توان عملکرد دیوار ترومب را در حالت سرمایه‌ش و با سایه اندازی مناسب مطالعه کرد و به راهکارهایی جهت اصلاح این سامانه و طراحی سایبان‌های بهینه برای آن دست یافت. همچنین مسایلی مانند دفع رطوبت، نوع و تعداد جداره‌های شیشه خارجی، مصالح دیوار-حرارتی، ابعاد و فاصله دیوار و شیشه و ابعاد دریچه‌ها می‌توانند در اقلیم معتدل و مرطوب مورد مطالعه قرار گرفته و به این ترتیب در خصوص کارایی دیوار ترومب و بهینه‌سازی آن در شرایط گرمایش و سرمایه‌ش در این اقلیم به راهکارهایی دست یافت.

#### منابع

1. Rodriguez-Ubinas ,E., Rodriguez, S., Voss,K., Todorovic, M.S., 2014. Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. *Energy and Buildings*, Vol. 83, pp.10-22.
2. Nawawi, A.H., Zaki, W. R. M., Sh.Ahmad, S., 2012. Environmental Prospective of Passive Architecture Design Strategies in Terrace Houses. *ASEAN Conference on Environment-Behaviour Studies (AcE-Bs)*, Riverside Majestic Hotel, Kuching, Sarawak, Malaysia, vol. 42, pp. 300-310.
3. Gupta.R.,Ralegaonkar,R., 2010. Review of intelligent building construction: A passive solar architecture approach. " *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, Issue. 8, pp. 2238-2242.
4. Mazria, E., 2001. *The Passive Solar Energy Book*, Aghazadeh, Bijan (Translator), First Edition, Tehran: Literature Courses.( In Persian)

- buildings, vol. 27, Issue. 1, pp. 37-43.
17. Gontikaki, M., Trcka, M., Hensen, J.L.M., Hoes, P., 2010. Optimization of a solar chimney design to enhance natural ventilation in a multi-storey office building ". ICEBO - 10th International Conference for Enhanced Building Operations, Kuwait.
  18. Fakhari, M., 2011. The Effect of Using Tromb Wall to Reduce the Heat Damage of the Building in the Cold Climate, The Second Sustainable Architecture Conference, Technical School of Sama, Hamadan. (In Persian)
  19. Tahbaz, M., Jalilian, Sh., 2007. Principles of Housing Design Compatible With Climate In Gorgan and Gonbad Cities, Golestan Islamic Revolution Housing Foundation, Tehran. (In Persian)
  20. Atalar, S., et al. 2015, Project on Architecture compatible with the climate, Master's Degree in Architecture, Islamic Azad University, Gonbad-e-Kavos Branch. (In Persian)
  - mediterranean region. Solar Energy, vol.85, Issue. 9, pp. 1891-1898.
  12. Chel, A., Nayak, J. K., Kaushik, G., 2008. Energy conservation in honey storage building using Trombe wall. Energy and Buildings, vol. 40, Issue. 9, pp. 1643-1650.
  13. Rabbani, Mehran et al., "Numerical study of the performance of a trulm wall in order to optimize energy use", Iranian Journal of Energy, vol. 14, Issue. 3, pp. 101-118.
  14. Briga-Sá, A., Martins, A., Boaventura-Cunha, J., Lanzinha, J. C., Paiva, A., 2014. Energy performance of Trombe walls: Adaptation of ISO 13790: 2008 (E) to the Portuguese reality." Energy and Buildings vol. 74, pp. 111-119.
  15. Liu, Y., Wang, D., Ma, ch., Liu, J., 2013. A numerical and experimental analysis of the air vent management and heat storage characteristics of a trombe wall. Solar Energy. Vol. 91, pp. 1-10.
  16. Gan, G., 1998. A parametric study of trombe walls for passive cooling of buildings. Energy and