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[۱]

لیلا میرسعیدی[۲]*

lmirsaeedy@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۴ **تاریخ پذیرش:** ۹۶/۰۷/۰۵

چکیده

زمینه وهدف: 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 بیش‌تری 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، استادیارگروه معماری، واحد گنبدکاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبدکاووس، ایران* (مسوول مکاتبات).

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.6, August, 2020

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 [1]

Leila Mirsaeedie *[2]

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 Kavoos, 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 Kavoos, Residential Building, Thrombus Wall System, Temperate Climate Zone, Design Builder Software, Thermal Comfort.

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

2 - Ph.D in Architecture, Assistant Professor, Department of Architecture, Gonbad Kavoos Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoos, 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 می رود. این طراحی شامل راهکارهایی جهت فراهم آوردن راحتی ساکنین، تامین روشنایی و بهبود کیفیت هوا می‌باشد(۱). معماری ایستا اصطلاحی برای توصیف طراحی ساختمان‌هایی ست 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 هستندکه 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 ارایه 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 می-شود 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 ارایه 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

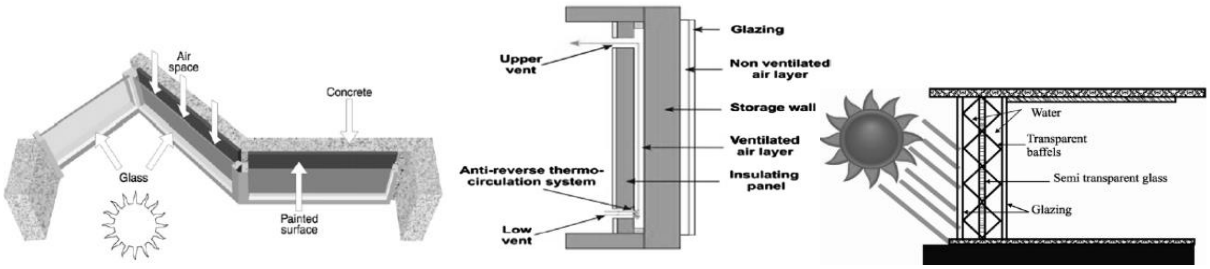
در بحث سرمایش و گرمایش ساختمان، محدودیت‌هایی دارد که در بعضی شرایط قادر به تامین آسایش حرارتی در محیط داخلی نمی‌باشد. همچنین در شرایط آب و هوایی با فصول گرم و سرد ترکیبی از سامانه‌های گرمایش و سرمایش می‌تواند مفید باشد ضمن آن‌که ترکیبی از سامانه‌های فعال و غیرفعال سبب

افزایش کارایی این سامانه ها می‌شود (۵). Taleb عملکرد حرارتی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی در امارات متحده را بررسی کرده است. در این ساختمان مدل-سازی شده، هشت استراتژی مورد استفاده شامل استفاده از سایبان، شیشه‌های دو جداره، بادگیر و تهویه عبوری، عایق بندی، بام سبز، سرمایش تبخیری، خنک کننده‌های تابشی غیرمستقیم و رنگ روشن و بازتابنده بالا در جداره‌ها بوده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد کاهش مصرف انرژی و بهره وری بیش‌تر از تهویه طبیعی و به حداقل رساندن افزایش حرارت در ساختمان با استفاده از سایبان و شیشه‌های دو جداره فراهم می‌شود. همچنین استفاده از بام سبز به عنوان یک عایق می تواند مفید باشد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مصرف انرژی سالانه یک ساختمان مسکونی در دبی با استفاده از استراتژی های غیرفعال می‌تواند 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 ساختمان‌های مسکونی در آب و هوای معتدل مدیترانه‌ای بررسی می‌کنند. شبیه سازی‌های انجام شده در ارتباط با تاثیر جرم حرارتی ساختمان، پیش آمدگی لبه بام و تهویه شبانه می باشد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد جرم حرارتی در افزایش انرژی سرمایشی تاثیر دارد. در نهایت به این نتیجه می‌رسند که با استفاده از ادغام تکنیک‌های سرمایش غیرفعال، مانند تهویه طبیعی و سایبان‌های افقی و عایق بندی استفاده از جرم حرارتی و تهویه شبانه، می‌توان آسایش حرارتی را برای ساکنین فراهم کرد که سبب کاهش مصرف انرژی در این ساختمان‌ها می‌شود(۷).

پیشینه تحقیقات درباره سامانه دیوار ترومب

از پیشرفت‌های قابل توجه در سامانه‌های غیر فعال خورشیدی دیوار ترومب بوده است که توسط طراح فرانسوی فلیکس ترومب ارایه 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 می‌باشد. این دیوار در نیمکره شمالی، معمولا به سمت جنوب و دارای سایبان افقی برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد در تابستان می‌باشد که با این وجود، اجازه ورود نور با زوایای پایین‌تر در زمستان را به ساختمان می‌دهد. 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 می‌شود 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 می‌تواند تا چند ساعت پس از غروب نیز حرارت را انتقال دهد. طراحان می‌توانند با ترکیب دیوار ترومب با پنجره، پیش آمدگی بام و یا عناصر دیگر طراحی، به تعادل حرارتی دست پیدا کنند. اتاق‌های گرم شده با این سامانه، اغلب شرایط راحتی و آسایش بیش‌تری نسبت به سایر سامانه ها ارایه می‌دهند(۸). دیوار ترومب می‌تواند به صورت‌های مختلف از جمله: دیوار ترومب کلاسیک، زیگزاگی، دیوار ترومب آبی، دیوار ترومب با مواد تغییرفاز، 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 می‌کند. ضخامت دیوار جهت تعیین دوره انتقال حرارت ذخیره شده از خارج به داخل به کار می‌رود که در مناطق آب و هوایی متفاوت است و باید به صورت جداگانه برای هر حالت محاسبه شود برای جذب بهتر انرژی خورشیدی رنگ‌های تیره برای دیوار توصیه می‌شود. با عایق بندی کامل دیوار، بهره‌وری از سامانه تا ۵۶٪ افزایش پیدا می‌کند(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)

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. Jaber وAjib 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، ۳۷درصد 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 می پردازند. در این پژوهش بیان می-شود که استفاده از سایبان در لایه ی هوایی دیوار، راهی موثر جهت بهبود عملکرد دیوار می‌باشد. با استفاده از سایبان می-توان از دست حرارت از طریق این لایه را تا ۲۰درصد و استفاده از عایق نیز می توان۲۰ 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

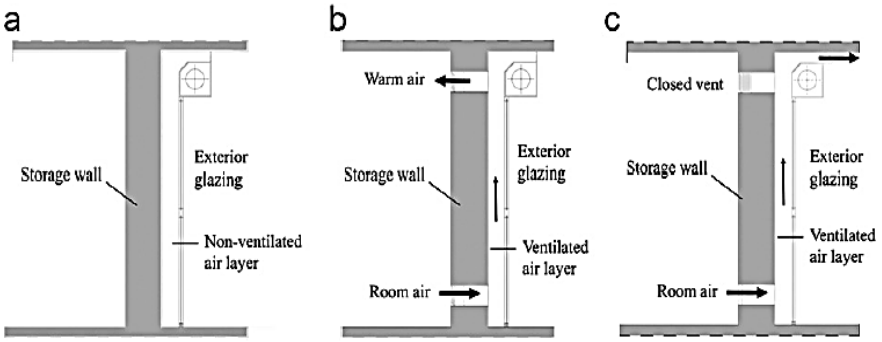
انرژی ذخیره شده در دیوار به فضای داخل اتاق در نبود تابش خورشید انتقال می‌یابد پرداختند. در این پژوهش فضای داخلی اتاق در حداقل دما که در زمستان است ($T=10^{\circ}c$) قرار دارد و سامانه با شروع تابش خورشید و دریافت انرژی حرارتی خورشید توسط دیوار شروع به کار می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با شروع 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 ۱۰درجه 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

ترومب به دست آمده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که زمان مطلوب برای باز کردن دریچه 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 می-آورد(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 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 دریچه‌های 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). شکل۲، نحوه عملکرد دیوار ترومب را به سه صورت بدون تهویه، نحوه عملکرد آن در زمستان و تابستان نمایش می‌دهد(۹).



شکل۲- نحوه عملکرد دیوار ترومب به سه صورت بدون تهویه، نحوه عملکرد آن در زمستان و تابستان (۹)

Figure2- Performance of trombe wall: a, without ventilation in winter and c in summer (9)

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، 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

افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. مطالعه انجام شده بر روی یک واحد مسکونی طراحی شده در شهر گنبدکاووس 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 شبیه سازی 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 جمع بندی گردید. در انتخاب جزییات دیوار ترومب پیشنهادی نیز از نتایج پژوهش‌های پیشین در این خصوص بهره گرفته شده است.

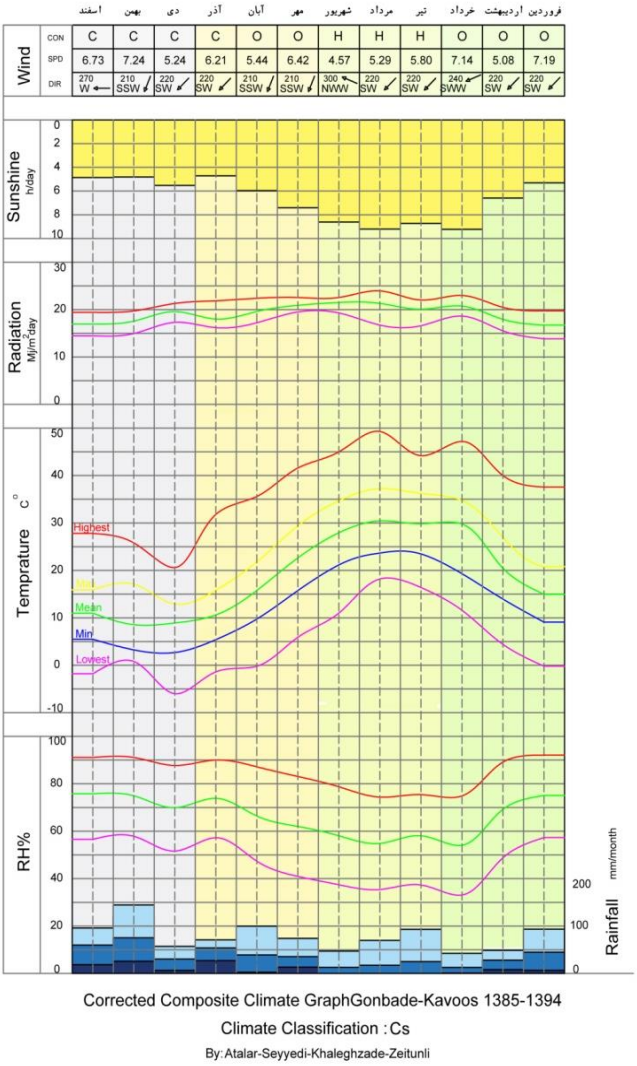
مطالعه موردی

در بررسی اقلیمی، از آمار هواشناسی ۴۰ ساله ی شهرگنبدکاووس 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 گنبدکاووس می باشد. گنبدکاووس 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). (نمودار۱) با توجه به مطالعات‌اقلیمی شهر گنبدکاووس می‌توان این گونه نتیجه گرفت که اقلیم این شهر، گرم و نیمه مرطوب در تابستان و 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، بهره گیری 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، جهت گیری آن‌ها، طراحی فضاهای داخلی و .... می‌باشد که در نهایت طرح کلی مجتمع مسکونی را شکل داده اند.

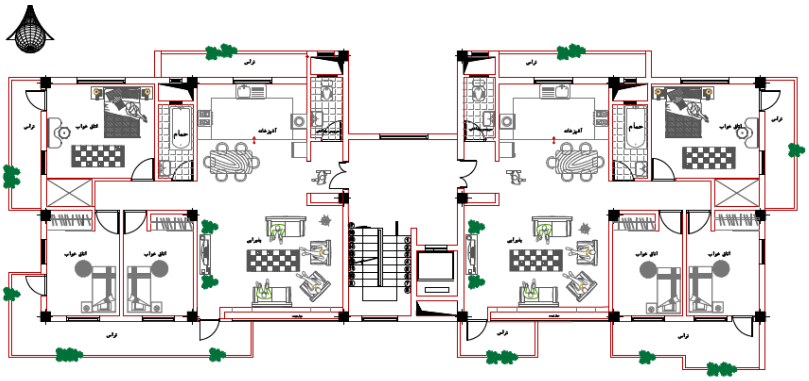
همان طور که در شکل۳ دیده می‌شود، مجتمع مسکونی طراحی شده به دلیل دریافت تابش مناسب و استفاده از تهویه طبیعی دارای جهت گیری به سمت جنوب می‌باشد. جهت بهبود شرایط آسایش ساکنین در فصول سرد سال، راهکارهایی از جمله جهت گیری، تراکم، طراحی مناسب سایت، طراحی بهینه جداره‌ها و طراحی فضاهای داخلی جهت کاهش اتلاف حرارت رعایت شده است. هم چنین 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 بهینه سازی پوسته ساختمان، مشخصات جداره‌ها بر طبق مبحث ۱۹، انتخاب شده است.



نمودار۱- نمودار اطلاعات آب و هوایی ترکیبی گنبدکاووس (۲۰)

Diagrame1- Corrected composite climate graph for gonbad kavoos (20)

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 سایبان های قایم در سمت غرب پنجره استفاده شده که علاوه بر آن، این پنجره‌ها دارای درپوش محافظ نسبت به 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 کوچک‌تر و در حداکثر فاصله نسبت به بازشوی ورودی قرار گرفته است.



شکل ۳- پلان بلوک طراحی شده شامل دو واحد مسکونی

Figure3- Plan of designed block consists of two residential units

مدل‌سازی و تحلیل نتایج

شهر گنبد کاووس، دارای نیاز گرمایشی بالا می‌باشد، جهت بهبود شرایط آسایش ساکنین در فصول سرد سال، علاوه بر سامانه جذب مستقیم، از سامانه‌های 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 بلوک‌ها 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 می‌شود.

الف- نتایج شبیه سازی برای گرمایش

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

جدول۱-ابعاد طراحی دیوار ترومب (۱۳)

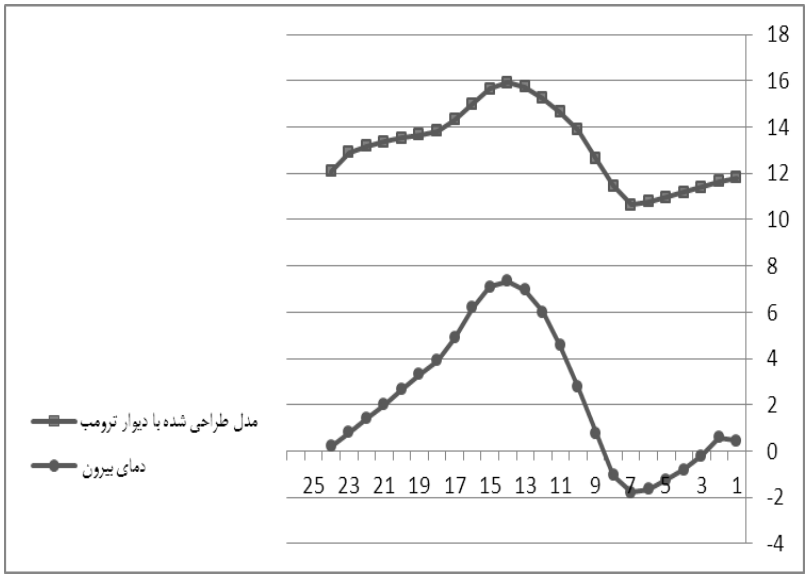
Table1- Design directions of trombe wall (13)

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

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 نمودار۲ 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 تقریبا دما به حالت تعادل می‌رسد. براساس نتایج بدست آمده با استفاده از دیوار ترومب شرایط دمایی داخل ساختمان، در سردترین روز بین۱۰ 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.

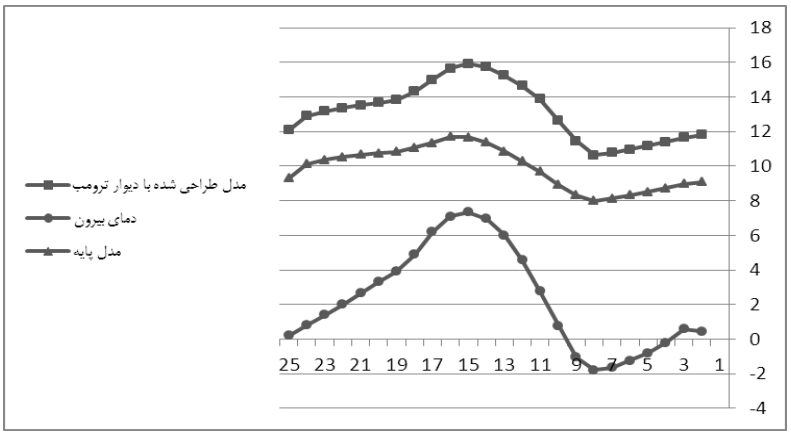
در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد برای رسیدن به شرایط آسایش در داخل ساختمان، وسایل گرمایشی به جای آن‌که در ساعات پایانی شب دما را از ۱- به دمای آسایش ۲۴ درجه برسانند، با ۱۲ درجه افزایش دما در مدل طراحی شده، میزان مصرف انرژی‌های فسیلی جهت تامین گرمایش در هر روز به نصف کاهش پیدا کرده است.



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

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان کرد که در ساعات اولیه صبح و ساعات پایانی شب، دیوار ترومب اختلاف دمایی در حدود ۴درجه نسبت به مدل پایه ایجاد می‌کند و دما را تقریبا به صورت متعادل نگه داشته است. در خلال ساعات ۱۰ صبح تا ۴-۵ بعد ازظهر 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.

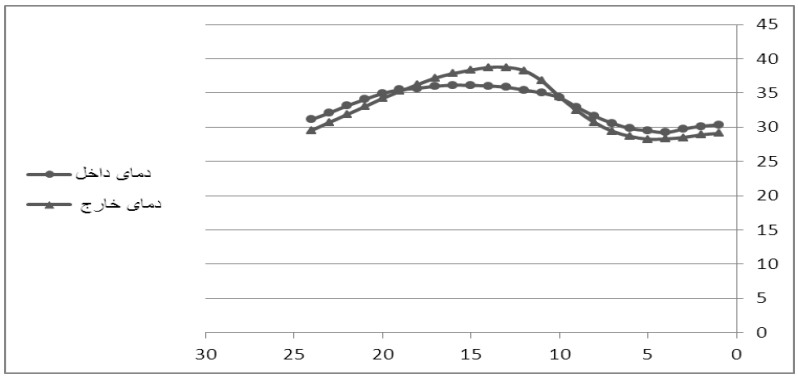


نمودار ۳- تفاوت درجه حرارت بیرون ساختمان و داخل در مدل پایه و مدل طراحی شده با دیوار ترومب در گرمایش

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

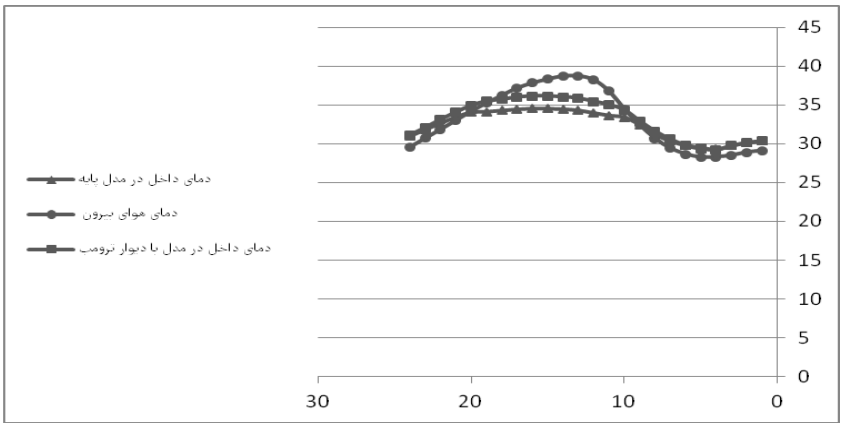
ب- نتایج شبیه سازی برای سرمایش

پس از آن دوسامانه بیان شده در فصول گرم سال مورد بررسی قرار گرفتند تا مناسب ترین 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 می سازد. نتایج شبیه سازی دو سامانه به صورت زیر می‌باشد. در دیوار ترومب دریچه‌های پایینی دیوار و دریچه‌های بالایی جداره‌ی شیشه ای باز شدند تا باعث برقراری جریان هوا و استفاده از پدیده دودکشی در دیوار شوند. نمودار ۴و۵ 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 گرم ترین روز سال (۱۹آگوست، با دمایی در حدود ۳۸درجه سانتی‌گراد)، ایجاد می کند که با توجه به بالا بودن دما و رطوبت و پایین بودن سرعت باد، اختلاف نسبتا اندکی نسبت به دمای بیرون ایجاد می‌کند.



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 می‌دهد.

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

از آن‌جایی که مهم‌ترین نیاز حرارتی در شهر گنبد، برقراری شرایط آسایشی در فصول سرد می‌باشد و با توجه به عملکرد بالای دیوار ترومب این سامانه دارای عملکرد مناسبی در فصل های سرد می‌باشد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد با استفاده از دیوار ترومب، می‌توان دمای داخل ساختمان را افزایش داد ضمن آن‌که جهت بهبود عملکرد سامانه و برای دریافت بیش‌تر تابش پیشنهاد می‌شود از صفحات بازتابنده که به صورت مورب نسبت به جداره ی شیشه ای دیوار قرار می‌گیرند و قابل جابه جایی می‌باشند استفاده کرد. این صفحات با افزایش جذب تابش و بازتاباندن آن به سطح دیوار، سبب افزایش حرارت در دیوار می‌شوند که می‌توانند در دمای اتاق تاثیر گذار باشند.

با این وجود با بررسی نمودارهای سرمایش و مقایسه نتایج مدل با سامانه دیوار ترومب و مدل پایه مشخص می‌شود، این سامانه در سرمایش کارایی چندانی نداشته و بهبود شرایط آسایش حرارتی داخلی بسیار ناچیز و حتی از مدل پایه (در صورت باز بودن پنجره‌ها و تهویه طبیعی) نیز کم‌تر است. همچنین در مدل دارای دیوار ترومب به دلیل نیازهای سرمایشی، مجموع مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد و این نکته ضرورت استفاده از سایبان‌های متحرک و مناسب را برای سایه اندازی بر دیوار ترومب در روزهای گرم سال مشخص می‌کند. هر چند به نظر می‌رسد به هر ترتیب استفاده از تجهیزات سرمایشی در شهر مورد مطالعه در مواقعی ضروری است، اما در پژوهش‌های بعدی

می‌توان عملکرد دیوار ترومب را در حالت سرمایش 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 بهینه سازی آن در شرایط گرمایش و سرمایش 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)
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

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 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)