صفحات ۸۲-۷۳

بهینه کردن کارکرد انرژی دیوارهای بدون بازشو در جبهه‌های آفتابگیر*

زهرا سخندان سرخابی**، دکتر محمد علی خانمحمدی***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۹/۱۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۱۱/۲۶

چکیده

در این مقاله راهکاری نوین برای ارتقاء کیفیت گرمایشی دیوارهای بدون بازشو در جبهه‌های آفتابگیر و مجاور آن ارائه می‌شود. در زمستان چنانچه یکی از جبهه‌های آفتابگیر به دلایلی مانند باد نامطلوب قابلیت ایجاد سطوح شیشه‌خور را نداشته باشد، گرمایش طبیعی بنا مختل خواهد شد، بنابراین نیاز است تا راهکارهایی برای ارتقاء کیفیت گرمایشی دیوارهای بدون بازشوی سه جبهه ارائه شود. در روش پیشنهادی به بررسی سامانه‌های جذب مستقیم، غیرمستقیم و دیوار ترومب پرداخته می‌شود و با استفاده از قابلیت‌های دیوار ترومب آبی و جرم حرارتی دیوار سنگی، سامانه‌ای با قابلیت توسعه، با لوله‌های آب گرم طراحی می‌شود. در نتایج آزمایش‌های عملی، گرمایش مازاد دیوار ترومب در دیوارسنگی برای شب ذخیره شده و بازده گرمایشی مناسب‌تری به دست می‌آید، عیوب گرمایشی دیوار ترومب آبی رفع شده و هدر رفت حرارتی به حداقل رسیده، به نحوی که دیوار سنگی را از فضای حائل باد به منبع گرمایشی مؤثری تبدیل کرده‌است.

واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی کارکرد انرژی، سامانه‌های تابشی گرمایشی، دیوار ترومب آبی، جرم حرارتی، دیوار سنگی

* این مقاله بر گرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد زهرا سخندان در رشته مهندسی معماری پایدار با عنوان«طراحی مجموعه توریستی تفریحی قلعه دره سی با نگاهی به روش‌های بهینه‌سازی عملکرد ساختمان‌ها از نظر انرژی» که به راهنمایی دکتر محمدعلی خانمحمدی انجام یافته‌است.

** دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معماری گرایش معماری پایدار دانشگاه علم و صنعت ایران. (مسئول مکاتبات)
Email: zahra.sokhandan@gmail.com

*** استادیار معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه معماری پایدار.
Email: khanmohammadi@iust.ac.ir

مقدمه

در فرایند توسعه همگام با محیط زیست، ارزیابی آسایش حرارتی به صورت بومی ضروری می‌باشد، زیرا از اتلاف مقدار متنابعی از انرژی جلوگیری می‌شود *(صادقی روش و طباطبائی، ۱۳۸۸، ۳۹)*. زندگی بشر همواره با نیازهایی مانند گرمایش در زمستان و سرمایش و تهویه در تابستان همراه بوده‌است، در طول تاریخ او در جستجوی راه‌هایی بوده‌است که با حداقل هزینه و کار به سرمایش و گرمایش مطلوب برسد و بیشترین بازدهی و کمترین اتلاف را برنامه‌ریزی کند. اولین راه حلی که او را به این هدف رهنمون ساخت، زندگی همسان با طبیعت بود به گونه‌ای که مانع ورود عوامل نامطلوب طبیعت به داخل فضاها شده و عوامل مطلوب را به داخل فضاهای انسانی هدایت می‌ساخت *(مفیدی شمیرانی و برزگر، ۱۳۸۹، ۱۴)*. پس از بحران انرژی سال ۱۹۷۰ بشر به همزیستی مجدد با طبیعت روی آورد، اما به گونه‌ای متفاوت و با همراهی فنّاوری. او ابتدا به مطالعه راهکارهای بومی برای ممانعت از عوامل نامطلوب پرداخت و سپس با استفاده از ابزاری به قدرتمندی فناوری، موانع و محدودیت‌ها را از پیش روی برداشت و تهدید عوامل نامطلوب طبیعی را به فرصتی گران‌قیمت تبدیل کرد. می‌توان گفت یکی از اصلی‌ترین مشکلات در معماری‌های همسان با طبیعت وجود عوامل نامطلوب مانند بادها در اضلاع آفتابگیر بناست که تنها راهکار ایستا برای جلوگیری از آنها، مسدود ساختن این جبهه‌هاست که میزان جذب مستقیم نور و گرمایش خورشیدی را کاهش می‌دهد *(نوروزیان ملکی و همکاران، ۱۳۸۸، ۲۲)*. مسئله اصلی پژوهش این است که آیا می‌توان دیوارهای صلب واقع در جبهه‌های آفتابگیر را به منبعی ایستا برای به دست آوردن گرمایش تبدیل کرد؟

بشر برای ممانعت از بادهای نامطلوب ابتدا دیواره‌هایی حجیم را ساخت که بتوانند او را در برابر بادها مصون دارند، اما بتدریج به فکر استفاده از این دیوارها به عنوان منبع‌های گرمایشی افتاد *(Roaf et al.,2003, 10)*. اولین سامانه[1]ای که او از این دیواره‌ها ایجاد کرد، سامانه‌های جذب غیر مستقیم انرژی بود که انرژی گرمایشی خورشید را در دیوار بنایی ذخیره کرده و آن را در شب هنگام به داخل فضا تابش می‌کرد *(Arnold,1980, 715)*. اما این سامانه در صورت وجود بادهای نامطلوب کارکرد مناسبی نداشت، چون گرمایش ایجاد شده از خورشید توسط بادهای نامطلوب اتلاف می‌شد و اصولا دیواره فقط به عنوان سد در برابر عوامل نامطلوب کار می‌کرد پس ساخت و طراحی سامانه‌ای که بتواند دیوارهای صلب جبهه‌های آفتابگیر را به منابعی گرمایشی ارزشمند تبدیل کنند و همزمان در برابر عوامل نامطلوب جوی مقاومت کنند، لازم به نظر می‌رسد.

در این مقاله با به کار بستن یک دیوار ترومب آبی در مجاورت دیواره صلب سنگی جبهه جنوب غربی و انتقال انرژی گرمایشی آن به دیوار سنگی به واسطه لوله‌هایی با مقطع طراحی شده هم کارکرد دیوار ترومب آبی گسترش می‌یابد و هم دیواره صلب سنگی به مخزن ذخیره حرارتی دیوار ترومب تبدیل می‌شود. برای ارائه چنین سامانه‌ای منطقه ارسباران به عنوان منطقه هدف در نظر گرفته شده‌است که با مطالعه خصوصیات محیطی ارسباران، تحلیل آنها و هماهنگ سازی آن با سامانه‌های ایستای رایج مانند دیوار ترومب آبی و جذب مستقیم انرژی خورشیدی سامانه‌ای ارائه شده‌است که با تغییر خصوصیات مخزن دیوار ترومب آبی و به کاربستن اجزایی مانند ترموستات و توده حرارتی دیوار سنگی گرمایش ایستای مطبوعی را به حالت متعادل در کل اضلاع بنا تقسیم می‌کند و با به کاربستن حداقل منابع حداکثر گرمایش و انرژی را ایجاد کرده و گامی به سوی همسان‌سازی معماری با طبیعت بر می‌دارد. شایان ذکر است که کارکرد سامانه با مدل سازی دیوار جنوب غربی و آزمایش آن در اردیبهشت ماه و در منطقه هدف اثبات شده‌است که نتایج آن در ادامه مقاله ارائه خواهد شد.

ساختار بدنه مقاله عبارتست از:

در بخش یک سامانه جذب مستقیم و غیر مستقیم و در بخش دوم دیوار ترومب به بحث گذاشته می‌شود، بخش سوم توضیحات کلی طراحی سامانه گرمایشی را ارائه کرده و در بخش چهارم به طراحی دیواره ترومب آبی با قابلیت توسعه به واسطه گرمایش دیواری پرداخته می‌شود. در بخش پنجم مدل‌سازی عملکرد انرژی دیواره جنوب غربی به تفصیل توضیح داده شده و کارکرد سامانه در یک واحد اقامتی در بخش ششم به تصویر کشیده می‌شود و در نهایت نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

روش تحقیق

پژوهش حاضر، نوشته‌ای از نوع تجربی است که با مطالعه سامانه‌های ایستای رایج به تجزیه و تحلیل کارکرد آنها پرداخته و سپس با استفاده از ایده‌های اصلی کارکردشان، مجددا به نحوی طراحی می‌شوند که هر کدام بتوانند به عنوان جزئی از یک سامانه طراحی شده جدید، به کار بسته شوند. پس از طراحی سامانه، مدلی از آن در شرایط معین ساخته شده و عملکرد سامانه آزمایش می‌شود و درنهایت نتایج آزمایش تجربی ارائه می‌شود.

جذب مستقیم و غیر مستقیم

برای ساخت بناهایی که از سامانه جذب مستقیم انرژی آفتاب استفاده می‌کننـــد، مدیریت صحیح جبهه‌های جنوب شـــرقی، جنوب و جنوب غربی بســـیار حائز اهمیت است. در این ســـامانه معمولا جرم حرارتی مناسب، سطح شیشه خور و عایق‌های شبانه، نقش بسیار مهمی دارند. در سامانه جذب مستقیم، نور خورشید از طریق شیشه‌های رو به جنوب به داخل بنا هدایت می‌شـــود، به ســـطح بتونی یا بنایی داخلی برخورد کرده، جذب شده و تبدیل به گرما می‌شود. مقداری از گرما، بلافاصله از سطح به داخل اتاق بر می‌گردد و بقیه از طریق هدایت در جرم حرارتی ذخیره شـــده و شب هنگام، گرمای ذخیره شـــده به داخل اتاق منتقل می‌شـــود *(مور، ۱۳۸۲، ۱۵۳)*. اصلی‌ترین مشکل در این سامانه گرم شدن بیش از حد فضای داخل اتاق در فصول گرم در اثر تابش مستقیم است و کف، برای استفاده از جرم حرارتی، بایستی عاری از پوشش‌هایی مانند فرش و مانند آن باشـــد. چنانچه تابش بر روی سطحی اتفاق بیفتد که با فضای هدف، ارتباط مســـتقیم نداشته، پس از جذب مقداری از گرما در جرم حرارتی سطح، بقیه را به بیرون فضا باز تابش می‌کند و گرمای جذب شـــده با تأخیر، به داخل فضای هدف تابش می‌کند. این سامانه غیر مســـتقیم بوده و گرمای مطبوع‌تری را وارد فضا می‌کند *(واتســـون و لب، ۱۳۸۴، ۱۴۴)*. می‌توان گفت با وجود کسب انرژی گرمایشی بیشتر در سامانه جذب مستقیم، کنترل این سامانه مشکل بوده و محدودیت‌های فراوانی را در طرح معماری وارد می‌کند. پس بایســـتی توجه داشت که سامانه‌ای با بازدهی مناسب مانند جذب مستقیم نیز دارای معایبی است که می‌توان آنها را از طرق دیگر رفع کرد.

دیوار ترومب[۳]

یکی از اصلی‌ترین ســـامانه‌های دریافت غیرمستقیم انرژی خورشید، ســـامانه دیوار ترومب است. در این سامانه با قرار دادن یک دیوار صلب از جنس مصالح بنایی یا بتنی و حتی آب در ضلع آفتاب‌گیر بنا بالاخص جبهه جنوبی و نصب دیواره‌ای شیشـــه‌ای با فاصلـــه‌ای در حدود ۳ تا ۴ ســـانتیمتر از دیوار بنایی، انرژی گرمایشـــی خورشید با تأخیر در شب هنـــگام و با خصوصیت تابشـــی مواد، وارد فضای داخلی بنا می‌شـــود *(مور،۱۳۸۲، ۱۶۶)*. این ســـامانه گرمای روز خورشید را دریافت و با تأخیر، شـــب هنگام آن را وارد فضای داخلی بنا می‌کند. اصلی‌ترین مشـــکل در این ســـامانه، مسدود کردن جبهه نورگیر بناست که میزان روشنایی طبیعی داخلـــی بنا را کاهش می‌دهد. یکی از راه‌حل‌هایی که توســـط متخصصین پیشـــنهاد می‌شود، ترکیب ســـامانه جذب مستقیم با دیوار ترومب است که از این طریق اشکالات موجود در هر دو سامانه تا حدی رفع می‌شود *(همان،۱۷۱)*.

توضیحات کلی طراحی سامانه گرمایشی

زندگی تنها در محیط و شرایط اقلیمی طبیعی یا مصنوع مناسب شکوفا می‌شود. ساکنان کره زمین از دیرباز این اصول را کشف، بنیان و روش طراحی بناهایشان قرار دادند *(مفیدی شمیرانی و ممقانی قاضی جهانی، ۱۳۹۱، ۷۹)*. ایده اولیه برای گرمایش بنا، اســـتفاده از خاصیت تابشی مواد است کـــه گرمای خود را به فضای اطراف تابش می‌کنند. اوقاتی از روز مانند ظهر، گرمای تابش یافته، تأثیر چندانی در گرمایش بنا نخواهد داشـــت، اما با غروب آفتاب و ســـرد شـــدن هوا، استفاده از تابش گرمایشی مواد تأثیر قابل توجهی در گرمایش داخلی خواهد داشـــت. پس بایســـتی به نوعی انرژی گرمایشـــی را که در مواد ذخیره می‌شـــود، حفظ کرده و از آن با تأخیر برای گرمایش داخلی بهره برد. ایده دوم اســـتفاده از قابلیت گرمایشی دیواره‌های ترومب آبی است، چرا که دمای آب این دیواره‌ها چنانچه از ۵۴ درجه سلسیوس بیشتر شود، کارکرد معکوس داشته و نیاز به کنترل‌های شـــدید حرارتی دارد و اگر به ۷۴ درجه سلسیوس برسد، بایســـتی تعدیل شـــود، همانند اتفاقی که در آبگرمکن‌های معمولی و خورشیدی نیز می‌افتد.

دمای این دیواره‌ها در مناطقی با ساعات آفتابی زیاد در ساعت ۱۰:۳۰ صبح به حدود ۵۴ درجه ســـانتیگراد می‌رسد، که پس از رسیدن به این دما همواره مقداری از انرژی گرمایشـــی خـــود را به داخل فضا تابش می‌کند *(Balcomb & Hedstrom,1980, 21)*.

ایـــن کارکرد در زمســـتان به گرمایش روز کمـــک می‌کند، اما میزان ذخیره حرارتی را برای شـــب به حداقل می‌رساند، در حالی که استفاده از کارکرد دیوار ترومب بیشـــتر به هدف دســـتیابی به گرمایش شبانه اســـت. چرا که گرمایش روزانه زمســـتانی با اســـتفاده از سیستم جذب مستقیم به سادگی حاصل می‌شود و دیگر نیازی به دیوار ترومب نیست. بنابراین در منطقه‌ای مانند ارســـباران که در اثر تابش مستقیم آفتاب به ایـــن دیواره‌ها به صورت تجربی در ســـاعت ۱۲:۴۰ دقیقه بعد از ظهر اردیبهشت ماه و ساعت ۱۵:۱۷ دقیقه دی ماه (با یک ورق جذب کننده که معمولا در دیوارهای ترومب نیز موجودند) دما به ۷۴ درجه سانتیگراد می‌رســـد، کارکرد دیوار ترومب پس از ســـاعت ۱۰:۳۰ صبح تا ۱۲:۴۰ دقیقه اردیبهشت ماه یا ۱۵:۱۷ دقیقه دی ماه، اصولا به کارکرد معکوس تبدیل شـــده و انرژی ارزشـــمند ذخیره شده برای شب را در روز اتلاف می‌کنـــد. پس می‌توان با انتقال گرمایـــش دیوار ترومب در دیوار صلب ســـنگی جنوب غربی، هم به جبران گرمایش از دست رفته ضلع جنوب غربی پرداخت و هم کارکرد دیوار ترومب را به بازدهی بیشتری رساند.

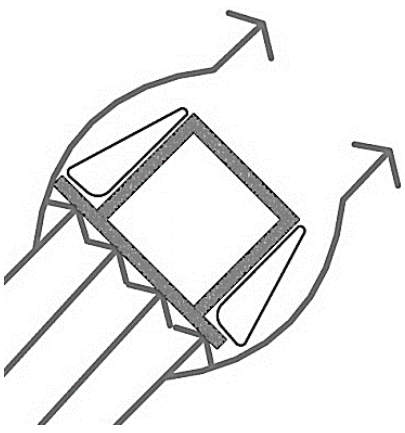
طراحی دیواره ترومب آبی با قابلیت توسعه به واسطه گرمایش دیواری برای جلوگیری از تأثیر بادها یا عوامل نامطلوب بر روی فضای داخلی ابتدا، بنا در جهت عامل نامطلوب چرخانده می‌شود، تا تأثیر و تنش ایجاد شده در ضلع‌های دیگر به صفر برسد. چنانچه باد نامطلوب از جنوب غربی باشد با چرخاندن بنا به جنوب غربی تنها این ضلع، تحت تأثیر عامل نامطلوب خواهد بود وگرنه هر دو ضلع جنوبی و غربی از این عامل تأثیر خواهند پذیرفت. به‌واسطه چرخش بنا، دیواره بدون بازشو جنوب غربی به عنوان منبع گرمایشی طراحی می‌شود و دیواره‌های دیگر بدون پذیرفتن تأثیر از عامل نامطلوب می‌توانند برای هر حالتی به کار گرفته شوند (شکل ۱).

اولین عنصر برای کارکرد یک سامانه، تأمین منبع انرژی آن است که برای تحقق بخشیدن به آن، ابتدا بایستی محل مناسبی را برای قراردادن دیوار ترومب آبی در نظرگرفت. دیوارهای ترومب، تنها قابلیت کارکرد در ضلع‌های جنوبی را با انحراف ۱۵ درجه نسبت به شرق یا غرب دارا هستند، پس می‌توان این دیواره را در گوشه جنوبی بنا با چرخش ۱۵ درجه نسبت به شرق در نظر گرفت. باید توجه داشت که با چرخش به شرق، تأثیر عامل نامطلوب بر روی دیوار ترومب آبی کاهش خواهد یافت (شکل ۲).

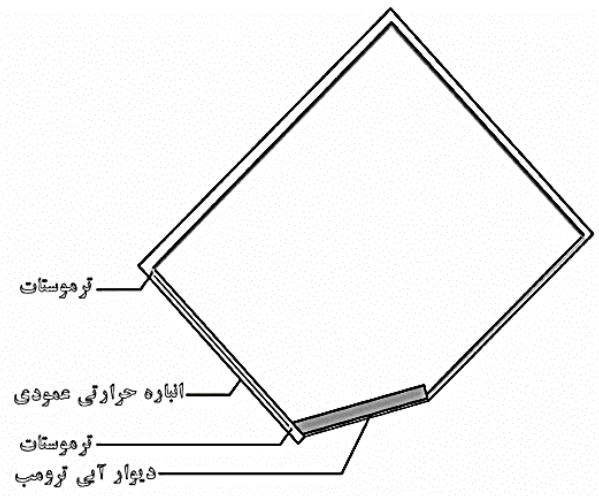
در گام بعدی چنانچه از دیوار ترومب آبی با یک منبع بهره برده شود، بایستی ۲ منبع کوچک آب در آن ایجادگردد. یکی از منبع‌ها همراه با یک ترموستات در قسمت فوقانی دیوار ترومب و دیگری در تحتانی‌ترین قسمت آن قرار می‌گیرد (شکل ۳).

نقش مخزن دوم، هدایت کننده آب گرم در سامانه است و مخزن سوم، مخزنی است که تأمین کننده آب با دمای کمتر برای تعدیل دمای دیوار ترومب می‌باشد. این مخزن همچنین می‌تواند آب برگشتی از سامانه را دوباره وارد چرخه دیوار ترومب کند. در صورتی که از دیوار ترومب آبی با سیستم ظرف‌های آب روی هم استفاده شود، ظرف فوقانی در نقش مخزن دوم و ظرف تحتانی در نقش مخزن سوم به کار بسته می‌شود. در مجاورت مخزن دوم یک ترموستات قرار داده می‌شود تا در صورتی که دمای آب داخل مخزن اول به ۵۴ تا ۷۴ درجه سانتیگراد رسید، بنا به تصمیم طراح و شرایط آب و هوایی، سامانه فعالیت خود را آغاز کند. مخزن دوم در ابتدا خالی از آب است. وقتی آب داخل مخزن اول گرم شده و به دمای۵۴- ۷۴ درجه سانتیگراد می‌رسد، ترموستات آب را به مخزن دوم وارد می‌کند. آب از داخل مخزن دوم وارد لوله‌هایی با مقطع خاص می‌شوند. این لوله‌ها از جنسی هستند که بیشترین ضریب انتقال حرارتی را داشته‌باشند و شکل آنها به نوعی است که حداکثر انتقال حرارت را ایجادکنند که با شیب مناسبی در دیوار طبق شکل۴ قرار می‌گیرند. لوله‌ها به دو نوع هستند: لوله‌های رفت که انتقال حرارتی بسیار بالا و سطح جانبی زیادی دارند و لوله‌های برگشت که با مقطع دایره‌ای، طراحی و عایق کاری شده‌اند (شکل ۴).

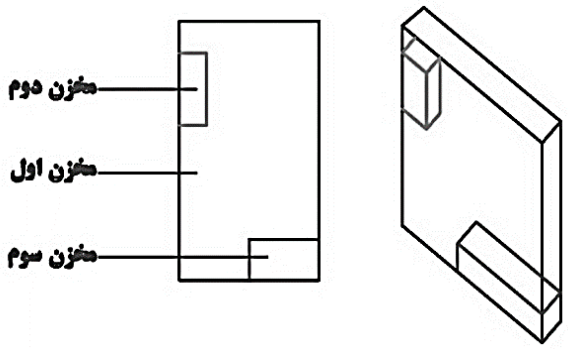
لوله‌های رفت داخل دیوار، گرمای خود را به دیواره سنگی انتقال می‌دهند و پس از آن به داخل یک مخزن کوچک ریخته می‌شوند. چنانچه دمای آب به اندازه کافی سرد شده باشد، ترموستات اجازه ورود



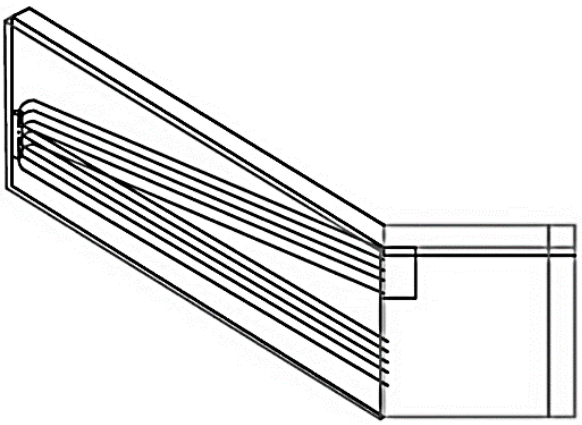
شکل ۱. جلوگیری از تأثیر باد جنوب غربی



شکل ۲. موقعیت کلی سامانه دیوار جنوب غربی



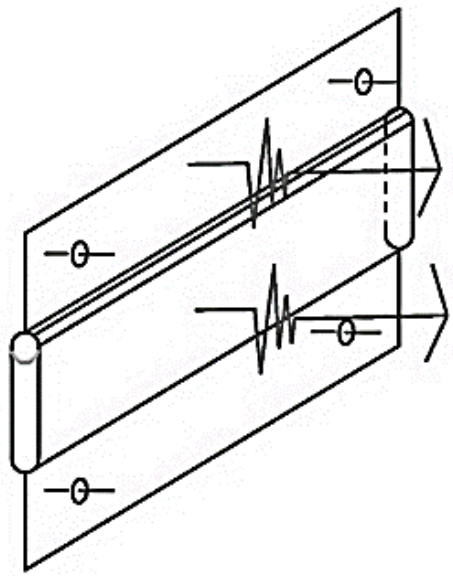
شکل ۳. وضعیت دیوار ترومب آبی



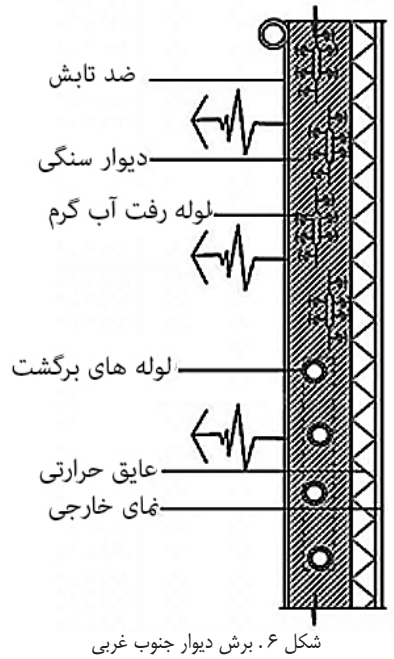
شکل ۴. ترکیب دیوار ترومب و دیوار جنوب غربی

آب را به داخل لوله‌های برگشت می‌دهد. هر چه قدر میزان حبس آب در داخل لوله‌های رفت بیشتر باشد، دمای آب برگشت، کمتر خواهد بود. آب برگشتی، بنا به وضعیت آب و هوایی می‌تواند وارد مخزن اول یا مخزن سوم شود. چنانچه گفته شد لوله‌های آب برگشتی عایق شده‌اند (شکل ۶) چون درغیر این‌صورت گرمای داده شده به سنگ‌ها، آب لوله را گرم می‌کند (شکل ۵).

برای حفاظت از دیوار در برابر باد جنوب غربی می‌توان از پوشش سبز در فاصله مناسبی استفاده کرد به نحوی که دیوار آبی در منطقه محافظت شده از باد قرار بگیرد. همچنین برای حفظ گرمای دیوار جنوب غربی استفاده از یک لایه عایق حرارتی مفید خواهدبود. برش دیوار جنوب غربی در ادامه ارائه می‌شود (شکل ۶).



شکل ۵. مقطع لوله‌های آب رفت



شکل ۶ . برش دیوار جنوب غربی

مدل‌سازی عملکرد انرژی دیواره جنوب غربی

در این بخش سعی شده‌اســت که عملکرد انرژی دیواره جنوب غربی شبیه‌ســازی شــود، برای این کار ماکتی از دیواره جنوب غربی ساخته شده‌اســت. در ابتدا جعبه‌ای توری برای نگهداری ســنگ‌ها در داخل یک حجم دیوار مانند ساخته می‌شود. این جعبه توری از جنس تورهای پنجره با سوراخ‌های یک میلیمتری است (شکل ۷).

لوله‌هایی مسی در داخل این جعبه به صورت مایل کار گذاشته می‌شوند، دلیل انتخاب لوله‌های مسی ویژگی مناسب این لوله‌ها در انتقال حرارت اســت. برای شــبیه ســازی دیوار با توجه به در نظر گرفتن دیواری با ابعاد ۶*۴*۰/۳ متر، با احتســاب مقیاس کوچک، مکعب توری با ابعاد ۰/۱*۰/۴*۰/۶ متر ساخته شده که ۵ لوله به طول تقریبا ۲۲ سانتیمتر و قطر یک سانتیمتر در داخل جعبه مطابق شکل ۸ کار گذاشته می‌شود. انتخاب قطر لوله‌ها پس از محاسبه سطح جانبی لوله پیشنهادی با مقطع دایره در نظر گرفته شده‌است، چرا که ساخت لوله به شکل پیشنهادی مســتلزم هزینه زیادی می‌باشــد. حجم دیوار مدل ۰/۰۲۴مترمکعب و ســطح جانبی ۵ لوله حدودا ۰/۰۳۵ متر مربع است که با اعمال ۱۰/۳۲ مترمربع سطح جانبی در لوله‌های دیوار اصلی (محیط لوله‌ها ۰/۳۵ متر به دست می‌آید) نتایج مدل در دیوار واقعی صدق خواهد کرد (شکل ۸).

ســر لوله‌ها در قسمت تحتانی بسته می‌شــود تا بتوانند آب را در خود نگه‌دارنــد. در ادامه، داخل جعبه جهت شبیه‌ســازی یک انباره حرارتی ســنگی با ســنگ‌هایی با قطر حدود یک تا سه سانتیمتر پر می‌شوند و یک دماسنج در داخل دیواره قرار می‌گیرد (شکل ۹).

پس از این مرحله، آب ۷۴ درجه سلســیوس در داخل لوله‌های مسی ریخته می‌شــود. از آنجایی که به دیوار ترومب آبی با شــرایط سامانه طراحی شده دسترسی وجود ندارد، این آب گرم شده و به دیواره منتقل می‌شود و روی آن با فوم پوشانده می‌شود. دلیل انتخاب دمای ۷۴ درجه این اســت که آب دیوار ترومب در دمای ۷۴ درجه بایستی تعدیل شود و بنا به آزمایشــی تجربی در منطقه ارسباران این دما در ساعت ۱۵:۱۷ دقیقه دی ماه به دست می‌آید (شکل ۱۱و۱۰).

پس از دو ساعت دمای آب داخل لوله‌ها اندازه‌گیری می‌شود. دمای آب لوله تحتانی حدودا ۲۷ درجه سلســیوس است، در حالی که دمای هوای بیرون حدود ۲۹ درجه سلســیوس و فضای داخل اتاق ۲۲درجه سلسیوس می‌باشد (شکل ۱۲).

در این صورت اگر فرض شــود تمام اتلاف حرارتی که توسط لوله‌ها انجام شــده در داخل دیواره سنگی حفظ شده باشد، می‌توان گفت که حرارتی معادل ۴۷ درجه سلســیوس به هــوای محبوس واقع در بین

شکل ۷. تورسیمی به عنوان جعبه سامانه

شکل ۸ . جای‌گیری لوله‌های مسی سامانه

شکل ۹. دماسنج بین سنگ‌ها

شکل ۱۰. پر کردن سامانه با سنگ

شکل۱۱. پوشاندن سامانه با فوم برای عایق سازی

شکل ۱۲. اندازه‌گیری دمای آب پس از آزمایش

سنگ‌ها تزریق شده‌است، که می‌تواند در داخل سنگ‌ها ذخیره‌شود. البته دمای دماسنج داخل دیواره معادل ۳۵ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد، که اختلاف دمای اتفاق افتاده، دمای تبادل شده را مشخص می‌سازد.

باید توجه داشت که دمای هوای بیرون ۲۹ درجه سلسیوس بوده و دمای هوای داخل جعبه ۶ درجه بیشتر از دمای هوای خارج است. همچنین دمای هوای اولیه بین سنگ‌ها ۲۸ درجه و دمای هوای بیرون، ۳۱ درجه بوده‌است. حال اگر همین عملکرد، در دیواره جنوب غربی پذیرفته شود، آب رسیده به مخزن کوچک در انتهای دیوار، در صورت حبس شدن در لوله‌ها در زمانی معادل دو ساعت به دمای ۲۷ درجه می‌رسد و اگر دمای داخل نیز ۲۲ درجه باشد ۵ درجه با محیط اختلاف دما داشته و می‌تواند این دما را به داخل اتاق منتقل کند. چنانچه زمان حبس آب در داخل لوله‌ها کوتاه‌تر باشد، دمای رسیده به مخزن انتهای دیوار بیشتر بوده و آب گرم‌تری حاصل خواهد شد که ترکیب این سامانه را با سامانه‌های تشعشعی (که نویسنده آن را در مقاله سامانه توسعه‌ای نامیده‌است) برای انتقال دمای آب به داخل بنا توجیه می‌کند. برای عملکرد جرم حرارتی جنوب غربی چنانچه دمای دماسنج داخل دیوار در نظر گرفته شود، دمای داخل دیوار با دمای داخل فضا ۱۳ درجه سلسیوس تفاوت دارد که در صورت تابش حرارت از دیواره، می‌توان امیدوار بود که گرمای مناسبی به دست آید. همچنین با احتساب ۱۸ درجه سانتیگراد برای دمای شب، دمایی معادل ۱۷ درجه قابلیت تابش به داخل فضا را خواهد داشت (با توجه به این اصل که دما از جسم گرم‌تر به محیط اطراف تابش خواهد کرد) (شکل ۱۳).

برای استفاده بهینه‌تر از انرژی گرمایشی ایجاد شده می‌توان آب رسیده به مخزن کوچکی را که بعد از لوله‌های رفت پیش‌بینی شده‌است (و دارای اختلاف دمای حداقل ۵ درجه سلسیوس با هوای داخل اتاق می‌باشد)، در داخل فضا و در فاصله ۳۰ سانتیمتری از کف اتاق از طریق دیوار دور فضا در کل اتاق به گردش درآورد. باید توجه داشت که نوع لوله‌ها در تمام ضلع‌ها از نوع لوله‌های رفت با ضریب انتقال حرارتی بالاست، که در اثر گذر از دیوارهای شمال‌شرقی و شمال‌غربی دمای خود را با دمای اتاق تعدیل کرده و اختلاف دما را به فضا تابش می‌کنند. در ادامه با عبور لوله‌ها از ضلع جنوب شرقی، آب آنها، گرم و به دمای مخزن اول دیوار ترومب نزدیک می‌شود و پس از گرم‌شدن در مخزن سوم از طریق این مخزن دوباره وارد سامانه می‌شود. باید توجه داشت که کارکرد سامانه توسعه‌ای، برای بهره‌بردن از انرژی گرمایشی در ضلع‌های شمال‌غربی و شمال‌شرقی است که جبهه‌های سرد بنا را در اوقات روز شامل می‌شوند، کارکرد سامانه توسعه‌ای دقیقا مشابه سامانه‌های تشعشعی کفی است که امروزه در بعضی از منازل به کاربسته می‌شوند، با این تفاوت که لوله‌ها از دیوار عبور کرده و گرمای تابش نشده (هدررفت) را منتقل می‌کنند. نتایج کارکرد سامانه توسعه‌ای با استفاده از تحلیل‌های رایج انرژی حاصل شده و دستیابی به نتایج دقیق‌تر آن با استفاده از آزمایش‌های تجربی و یا شبیه‌سازهای رایانه‌ای به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی ارائه شده‌است.

جدول ۱. نتایج آزمایش عملی سامانه با استفاده از مدل ساخته شده

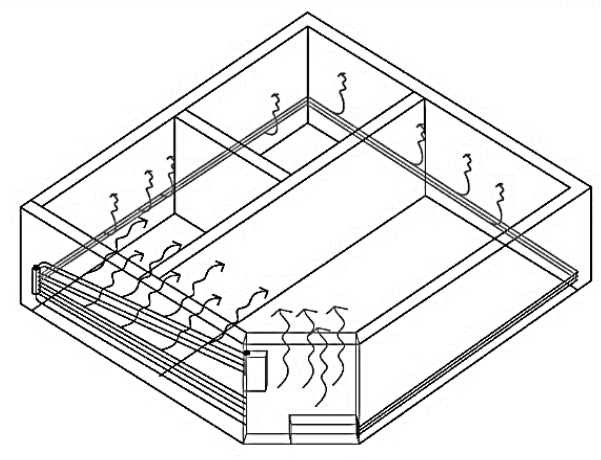
دمای آب لوله‌ها در ساعت ۱۴:۳۰	دمای هوای بیرون در ساعت ۱۴:۳۰	دمای هوای داخل در ساعت ۱۴:۳۰	دمای هوای بین سنگ‌ها در ساعت ۱۴:۳۰	دمای هوای شب در داخل	دمای هوای شب
۷۴	۳۱	۲۶	۲۸	۱۸	۱۹
دمای آب لوله پس از آزمایش ساعت ۱۶:۳۰	دمای هوای بیرون در ساعت ۱۶:۳۰	دمای هوای داخل در ساعت ۱۶:۳۰	دمای هوای بین سنگ‌ها پس از آزمایش	میزان اتلاف	اختلاف دما برای تابش در شب
۲۷	۲۹	۲۲	۳۵	۴۷	۱۷

کارکرد سامانه در یک واحد اقامتی

سامانه مذکور برای استفاده در واحدهای اقامتی در منطقه گردشگری قلعه دره سی ارسباران طراحی شده‌است. این سامانه قابلیت کارکرد در تمام بناهایی را که، در یکی از جبهه‌های آفتاب‌گیر محدودیت‌هایی مانند بادهای نامطلوب دارند، داراست. با توجه به اصول معماری پایدار، این سامانه قابلیت گرمایش طبیعی بنا را افزایش و وابستگی به انرژی‌های تجدیدناپذیر را کاهش می‌دهد و دیوار ترومب را به دیوار ترومب گسترش پذیر تبدیل می‌کند. در مناطق صعب العبور که رساندن انرژی مستلزم هزینه زیادی است، استفاده از این سامانه، گرمایش شبانه مناسبی در فصول و ساعات سرد فراهم می‌کند.

با توجه به تغییرات عرض جغرافیایی در مناطق هدف، چنانچه نیاز به دریافت انرژی خورشیدی بیشتری باشد، می‌توان دیواره مذکور را با شیب مناسبی نسبت به عرض جغرافیایی قرار داد تا دریافت انرژی بهینه شود. در اوقات گرم سال با ایجاد سایه بر روی سامانه می‌توان کارکرد آن را متوقف یا معکوس‌کرد. سایه اندازی مذکور در صورتی که به حالت کرکره‌های جمع شونده اعمال شود، کنترل مناسبی را بر روی گرمایش بنا ایجاد خواهدکرد، چرا که با سایه اندازی، دیوار ترومب آبی هوای سردتری را در اوقات گرم دریافت می‌کند و کارکرد آن، معکوس می‌شود و یا با بستن کرکره‌ها، سامانه متوقف می‌شود.

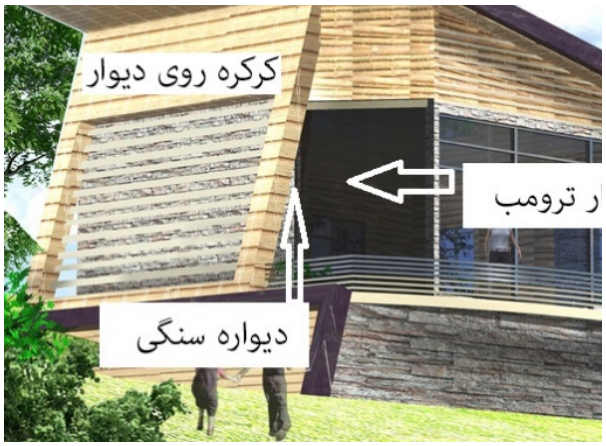
صفحه‌های ضدتابش گرما از قسمت داخلی می‌توانند مانع تابش گرما به داخل بنا شوند. باید توجه داشت که در صورت اعمال سایبان برای کنترل تابستانی، کارکرد سامانه در فصول سرد به دلیل زاویه مایل تابش در زمستان مختل نمی‌شود.



شکل ۱۳. توسعه سامانه دیوار بدون بازشو در جبهه آفتابگیر

نتیجه گیری

با توجه به اینکه سامانه‌های زیادی برای کاهش مصرف انرژی در سراسر دنیا طراحی شده‌اند ولی همه این سامانه‌ها قابلیت تطبیق با همه مناطق را ندارند و در بسیاری از موارد نیز، معکوس عمل می‌کنند و یا کارایی آنها با توجه به هزینه انجام شده دارای صرفه اقتصادی نیست. پس می‌توان با استفاده از تلفیق قابلیت‌های این سامانه‌ها و طراحی منطبق با اقلیم، هم به نوع‌های جدیدی از سامانه‌ها دست یافت و هم اجزا و عناصر موجود در بنا، از جمله دیوارها، کف‌ها، سایبان‌ها وموارد دیگر را از نظر ساخت و انرژی بهینه کرد. برای ایجاد گرمایش در بنا می‌توان با استفاده از ترکیب قابلیت‌های دیوار ترومب و جذب مستقیم و همچنین جایابی خصوصیاتی مانند رسانش، همرفت و تابش، سامانه‌ای جدید را طراحی کرد که این سامانه می‌تواند بدون استفاده از انرژی‌های تجدید ناپذیر به حالت دائم در گرمایش بنا مؤثر باشد. در طراحی این سامانه عدم تابش هوای گرم به داخل بنا در روز مد نظر است که از صفحات ضدتابش در روز استفاده می‌شود و هدف ایجاد گرمایش به‌واسطه تابش حرارتی دیواره سنگی به داخل بنا، برای شب است. با ترکیب سامانه دیوار ترومب آبی و جرم حرارتی دیواره سنگی به واسطه لوله‌های آب گرم می‌توان حرارت مازاد دیوار ترومب را در دیوار سنگی ذخیره و از گرمای مطبوع آن استفاده‌کرد و دیوار ترومب آبی را به دیوار حرارتی



شکل ۱۴. نمونه کارکرد سامانه در یکی از واحدهای اقامتی

گسترش‌پذیری در سایر اضلاع بنا تبدیل‌کرد و از طرفی دیوار سنگی را از بدنه‌ای حائل در برابر باد نامطلوب به بدنه حرارتی مناسبی برای گرمایش داخل بنا مبدل کرد.

پی نوشت ها

1. Passive system
2. Trombe wall

فهرست مراجع

۱. برزگر، زهرا؛ و مفیدی شمیرانی، سید مجید. (۱۳۸۹). طراحی اقلیمی اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان. *باغ نظر*، (۱۵)، ۱۳-۲۶.

۲. صادقی روش، محمد حسن؛ و طباطبائی، سید مهدی. (۱۳۸۸). تعیین محدوده آسایش حرارتی در شرایط آب و هوایی خشک. *هویت شهر*، (۴)، ۳۹-۴۵.

۳. مفیدی شمیرانی، سید مجید؛ و ممقانی قاضی جهانی، مهسا. (۱۳۹۱). اصول تجربی طراحی بناهای پایدار برای مناطق کویری. *هویت شهر*، (۱۲)، ۷۹-۸۴.

۴. مور، فولر. (۱۳۸۲)، *سیستم‌های کنترل محیط زیست*. (محمد علی کی نژاد و رحمان آذری، مترجم). تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

۵. نوروزیان ملکی، سعید؛ و حسینی، سید باقر؛ رضایی، محمود. (۱۳۸۸)، معماری در عصر تغییر اقلیم. *مسکن و محیط روستا*، (۴)، ۲۰-۳۲.

۶. واتسون، دانلد ؛ و لب، کنت. (۱۳۸۴) . *طراحی اقلیمی اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان*. (وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی، مترجم) تهران: دانشگاه تهران.

7. Arnold، F)1980) . Design consideration for solar dehumidifiers. *Proceedings of the fifth national passive solar conference.* (pp.712-716). colorado: American solar energy society.

8. Balcomb, D؛ &Hedstrom, J.C.(1980). Determining Heat Fluxes from Temperature Measurements in Massive Walls. *The 5th National Passive Solar Conference.* October 19-26,(pp.17-32). Amherst.

9. Roaf, S., Fuentes, M., & Thomas, S. (2003). *Eco house 2. A Design Guide*. London: Architectural.

ISSN: 17359562

Optimizing the Energy Function of Solid Walls without Windows in Sun Front Direction

Zahra Sokhandan Sorkhabi*, *M.A., Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*
Mohammad Ali Khanmohammadi, *Ph.D., Assistant Professor, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

... Abstract

In this paper, the purpose is finding a way to convert a solid wall without window to the passive thermal energy source. So the discussion is about the optimization of parts of buildings, especially solid walls without windows that are in front of sunshine and their neighborhoods to get more energies. With construction technologies, any part of buildings like walls, floors, roofs and etc. can be used as a passive energy sources, so heating and cooling equipment in building can be used less. One of the most important sun energy collectors are windows in south-west, south and southeast directions passively.

If a building does not have a window in sunshine directions, some parts of heating energies are missed. It is important in winter that sun radiations are big source of energy for heating the places. Purpose is enhancement of heating quality in fronts, that don't have windows. This passive system can adopt in all climates with cold winter or where that people use heating equipment at some times. First, paper explains about direct and indirect gains and trombe walls, and then finds the concept of heating passive systems. Obviously, the all of passive systems have some deficiencies, for example direct gains limit the use of any kind of carpets inside the place and some times, more heating radiations make place hotter than comfort zone. Trombe walls sit in south directions (rotated 15 degrees to the east or west) where windows should be there and reduce saving the sun radiation. So in design of passive systems, this is important to find advantages and use of them in the best way that it is possible. Thermal energy of water trombe walls waste after the water temperature achieves to 74°C and other hand, control of temperature of pipes to gain the pleasant heating is hard too. Management of surplus thermal energy of water trombe wall and flow it in copper pipes, insert the thermal energy to the stone wall. Combining of water trombe wall and thermal mass of stone wall were created an expansible trombe wall through extending the heat in stone wall with hot water pipes. Thermal mass of stone wall can radiate the thermal energy to the inside of place during the night. A model with appropriate scale is the best way to simulate the operation of passive system that is designed, so it shows that this passive system works or not. Model of system built from five copper pipes that put in a wire box, and then filled with sands and pebbles. The hot water with 74°C temperature is poured in the copper pipes and was kept in them for 2 hours.

As a result, combining the heating of trombe wall and stone wall help to save surplus heating energy of trombe wall in stone wall for night and improve the thermal efficiency and remove the deficiencies of trombe wall and minimize the waste of thermal energy and enhance stone walls from a buffer to suitable sources of thermal energy.

... Keywords: Optimizing the Energy Uses, Radiation Heating Systems, Water Trombe Wall, Thermal Mass, Stone Wall.

* Corresponding Author: Email: zahra.sokhandan@gmail.com