

پانل مدولار نمای ساختمان با قابلیت گرمایش و سرمایش

نوشین ابوالحسنی^۱، محمد جواد ثقفی^۲، ریما فیاض^{۳*}، بهروز محمد کاری^۴

چکیده

بهره‌گیری از سیستم‌های خورشیدی پاسخ مناسبی برای کاهش مصرف انرژی و مشکلات زیست محیطی است. از آنجایی که تابش خورشید در کشور ما در حد مطلوبی وجود دارد، سیستم‌های خورشیدی را می‌توان با نمای ساختمان ترکیب و از بار گرمایش و سرمایش ساختمان کاست.

در این پژوهش، به منظور کاهش بارهای گرمایش و سرمایش، به عنوان یکی از شاخصه‌های اصلی معماری پایدار و با استفاده از فناوری‌های نوین، پانلی جهت نصب در نمای ساختمان طراحی شد. این سیستم نما، ضمن کارایی حرارتی بالا، دارای خصوصیات زیبایی شناسانه و معمارانه بوده و جزئیات مدول‌های آن به گونه‌ای طراحی شده است که باعث ایجاد محدودیت در طراحی ساختمان نشود و امکان تعمیر، نگهداری و جایگزینی آن به سهولت ممکن باشد. پانل مدولار نمای ساختمان با قابلیت گرمایش و سرمایش، در زمستان از آب به عنوان جرم حرارتی استفاده کرده و عملکردی همچون دیوار ترومب دارد و در فصل تابستان با حذف جرم حرارتی و بهره‌گیری از سرمایش تبخیری، به خنک‌سازی فضای داخل کمک کرده و به این ترتیب، از پتانسیل‌های پوسته در تمام فصول استفاده می‌شود. در این سیستم به منظور افزایش کارایی از فن استفاده شده است.

سنجش کارایی و ارزیابی عوامل موثر بر عملکرد این پانل، با استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی نرم افزار انرژی پلاس صورت گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، استفاده از شیشه کم‌گسیل، ضخامت ۱۲۵ میلی‌متری لایه آب و دبی جریان هوای ۰/۱ تا ۰/۱۵ مترمکعب بر ثانیه (۲۰۰ تا ۳۰۰ فوت مکعب در دقیقه) را در مدل نمونه توصیه می‌کند. مدولار بودن پانل‌های نما با رویکرد تولید صنعتی و تسهیل استفاده، تعمیر و نگهداری سیستم پیشنهاد گردیده است.

واژه‌های کلیدی: پانل مدولار نما، گرمایش و سرمایش غیرفعال، دیوار ترومب، سرمایش تبخیری، انرژی پلاس.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۱۵

۱. کارشناس ارشد انرژی و معماری، دانشگاه تهران، پردیس هنرهای زیبا، تهران، ایران. n_abolhasani@ut.ac.ir

۲. استاد دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. msaghafi@ut.ac.ir

۳. دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران، کرج، ایران. (نویسنده مسؤل) fayaz@art.ac.ir

۴. استادیار، عمران-فیزیک ساختمان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران. kari@bhrc.ac.ir

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد نگارنده اول با موضوع «طراحی نمای ساختمان اداری با بهره‌گیری از ویژگی‌های دیوار ترومب (در اقلیم سرد)» به راهنمایی آقایان دکتر محمد جواد ثقفی و خانم دکتر ریما فیاض و مشاوره دکتر بهروز محمد کاری در دانشکده معماری پردیس هنرهای زیبا دانشگاه تهران می‌باشد.

۱. مقدمه

نظر به اهمیت کاهش مصرف انرژی، به دلایل زیست-محیطی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار و همچنین به منظور کاهش هزینه های دوره بهره برداری به ویژه با افزایش سریع قیمت انرژی در کشور، باید به دنبال راهکارهایی برای کاهش مصرف سوخت های فسیلی بود. مطابق داده های ترانزنامه انرژی ایران، در سال ۱۳۹۰، سهم بخش ساختمان (خانگی، عمومی و تجاری) از کل مصرف نهایی انرژی در کشور، ۳۶٪ بوده است (Secretariat Of Energy And Electricity, 2013:44) که اهمیت این بخش را در مصرف انرژی در سطح کلان نشان می دهد، به-کارگیری راهبردهای گرمایش و سرمایش غیر فعال کمک قابل توجهی به کاهش مصرف انرژی در کشور می کند.

بهره گیری از سیستم های خورشیدی و تلفیق آن با نمای ساختمان بهتر است از گام های اولیه در طراحی دیده شود و تمهیدات لازم برای ترکیب آن با سیستم های تهویه مطبوع لحاظ شود. در این پژوهش، نمای ساختمان با تکنولوژی گرمایش خورشیدی و سرمایش تبخیری ترکیب گردیده است. جرم حرارتی مورد استفاده آب می باشد که از مصالح در دسترس و دوستدار محیط زیست است. آب ظرفیت حرارتی بسیار بالایی دارد و در آرای جرم یکسان، سه برابر بتن می تواند انرژی حرارتی را در خود ذخیره کند (Bourdeau, 1980). لذا در فصل زمستان، برای ذخیره گرما از آن استفاده گردید و همچنین از برودت تبخیری حاصل از قطرات آب برای سرمایش هوا در فصل تابستان استفاده شد.

عملکرد زمستانی پانل نمای ساختمان با قابلیت گرمایش و سرمایش، از دیوار ترومب الهام گرفته شده است. دیوار ترومب یکی از سامانه های ایستای خورشیدی است و برای بهره گیری در زمستان مناسب می باشد ولی در تابستان پدیده بیش گرمایش در آن ایجاد شده و عملادر این فصل استفاده ای از آن نمی توان برد. در این تحقیق به منظور بهبود عملکرد تابستانی دیوار ترومب، راهکاری اندیشیده شد که علاوه بر حل مشکل ایجاد بیش گرمایش، بار سرمایشی فضا را نیز کاهش دهد و پانلی برای نمای ساختمان طراحی گردد که در بهبود شرایط آسایش ساکنان آن کمک می کند.

به منظور سنجش چگونگی کارکرد این پانل، مدل نمونه در نرم افزار انرژی پلاس و برای اقلیم شهر تبریز شبیه سازی شد و با مدل مشابه بدون استفاده از این پانل مقایسه

گردید و همچنین، جنس شیشه و ضخامت بهینه لایه آب تعیین شد.

۲. پیشینه تحقیق

پانل مدولار نمای ساختمان با قابلیت گرمایش و سرمایش، در عملکرد زمستانی خود، مشابه دیوار ترومب عمل می کند. بدین منظور پژوهش های انجام شده پیرامون بهینه سازی اجزای مختلف این دیوار ذخیره ساز حرارتی بررسی گردید. دیوار ترومب یکی از سامانه های غیرفعال خورشیدی است که اجزای آن شامل دیوار ذخیره ساز حرارتی و یک سطح شیشه خور با فاصله مناسب در سطح خارجی جدار (به منظور ایجاد اثر گلخانه ای در هنگام تابش) می باشد (Mazria, 1979:144). عرض بهینه این فاصله هوایی، یک دهم ارتفاع دیوار است. (Liping & Angui, 2006:4)

دیوار ترومب به دو دسته دیوار ترومب تهویه شونده (با دریچه) و دیوار ترومب بدون تهویه (بدون دریچه) تقسیم می شود. بالکومب پیشنهاد می کند مساحت دریچه ها ۱ تا ۲ درصد مساحت کل دیوار ترومب باشد. (Kabrhel, 2009:22)

عوامل تاثیرگذار دیگری همچون تاثیر عایق خارجی، (Gan, 1998:41) قرار دادن فن (Saadatian, 2012:6350) و تغییر جنس مصالح دیوار ذخیره ساز حرارتی (Gan, 1998:40) بر عملکرد دیوار ترومب بررسی شده است. یکی از معایب دیوار ترومب کارکرد نامناسب آن در تابستان است و تاکنون محققان برای بهبود آن به سایه اندازی (Chen et al, 1969:2006) و تهویه سیستم (Stazi et al, 2012:2847) بسنده کرده اند.

در این پژوهش از آب ساکن برای ذخیره حرارت در زمستان استفاده می شود. ذخیره سازی گرما یا سرما همواره یکی از راهکارهای تامین نیازهای گرمایشی و برودتی بوده است، نمونه آن در معماری سنتی ایران، یخچال های سنتی است که از ظرفیت حرارتی بالای آب به منظور ذخیره یخ در زمستان برای استفاده در تابستان بهره می برده اند. (Mahdavinejad & Javanrudi, 2012).

در این تحقیق، به منظور کارکرد مناسب پانل پیشنهادی در تمام فصول، می بایست راهکار مناسبی برای عملکرد تابستانی پانل پیشنهاد می شد. استفاده از سرمایش تبخیری، پاسخ گذشتگان ما برای بهبود شرایط تابستانی بوده است.

بناهای سنتی در مناطق گرم و خشک ایران با تلفیق بادگیر و حوض خانه (جریان هوا و سرمایش تبخیری) شرایط آسایش را برای ساکنان خود فراهم میکرده اند. (Mahdavinejad & Javanrudi, 2012:70).

در حال حاضر در برخی مناطق روستایی، با آویزان کردن حصیر در جلو پنجره و پاشیدن مداوم آب، حصیر را مرطوب نگه داشته و بادی که از لابه لای منافذ آن عبور میکند خنک و مرطوب می شود (Abolhasani, 2014:21).

از دیگر راهکارهای موجود به منظور سرمایش غیرفعال در معماری سنتی ایران می توان به شوادان اشاره کرد که در دزفول و شوش تراپیج بوده است. شوادان به دلیل قرار گرفتن در عمق خاک دارای دمای مناسبی در تمام فصول است و همچنین با مکش از حفره بالایی آن جریان هوا را بهبود می بخشد. (Nasrollahi, 2013, Mahdavinejad & Hadipour).

در سالهای اخیر نیز سامانه های سرمایش غیرفعال طراحی گردید. به عنوان مثال هاینو جداری با آجرهای سوراخ دار مرطوب با قابلیت جذب آب و اجازه عبور باد از میان آن را پیشنهاد داد که به خنک سازی فضای اطرافش کمک می کند (He & Hoyano, 2010:466). قیابکلو سیستمی را طراحی کرد که در آن آب به طور عمودی بر تارهای لیفی (رشته های نازک) جریان می یابد و نما را شکل میدهد. با عبور جریان هوا از میان آن تبخیر رخ داده و اثر سرمایشی بر روی ساکنین دارد. (Ghiabaklou, 2003:885).

۳. مکانیزم عملکرد پانل

سیستم پیشنهادی یک سیستم ساده و دوستدار محیط زیست است و از آب به عنوان جرم حرارتی استفاده کرده و از همه ویژگی های آن در فصول مختلف استفاده می شود. در عملکرد زمستانی، از آب که دارای ظرفیت حرارتی بالایی است برای ذخیره کردن حرارت در طول روز و آزاد کردن آن در طول شب استفاده می شود و در تابستان، از قطرات

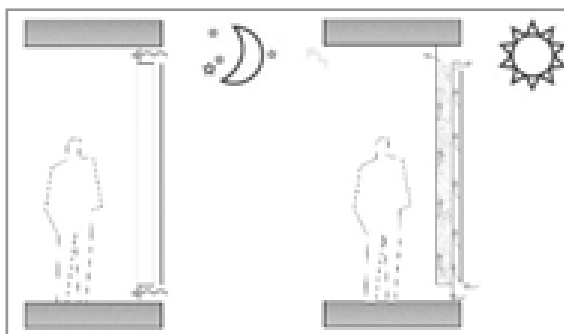
آب برای ایجاد سرمایش تبخیری و کاستن گرمای هوا استفاده شده است.

پانل پیشنهادی، از یک مخزن مکعب مستطیلی پلی کربنات، فاصله هوایی و شیشه خارجی تشکیل شده و دریچه هایی بر روی جدار داخلی و خارجی آن نصب می شود. در فصل زمستان مخزن با آب پر می شود. در تابستان آب مخزن تخلیه شده و در داخل آن، رطوبت زنی می شود. عملکرد سیستم در روزهای مختلف سال به شرح زیر می باشد:

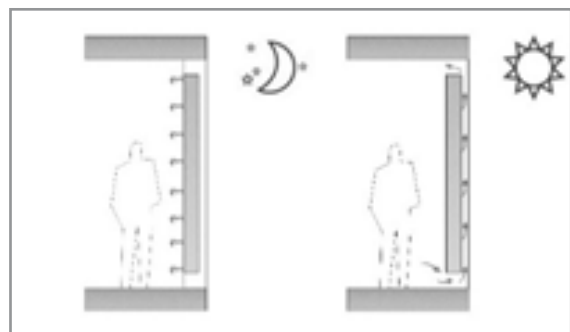
روز زمستان: مخزن با آب پر می شود تا به عنوان خازن حرارتی گرما را در طول روز ذخیره کند. همچنین، با بسته نگه داشتن دریچه های خارجی، بر اثر خاصیت گلخانه ای هوای بین مخزن و شیشه گرم می شود و از طریق همرفت و از راه دریچه های داخلی به فضای اتاق منتقل می شود (شکل ۱).

شب زمستان: در طول شب، گرمای ذخیره شده در آب به داخل تابیده می شود و با بسته نگه داشتن دریچه ها، هوای محبوس در فاصله هوایی به عنوان عایق عمل میکند. برای بهبود عملکرد سیستم، می توان از عایق متحرک خارجی استفاده کرد (شکل ۱).

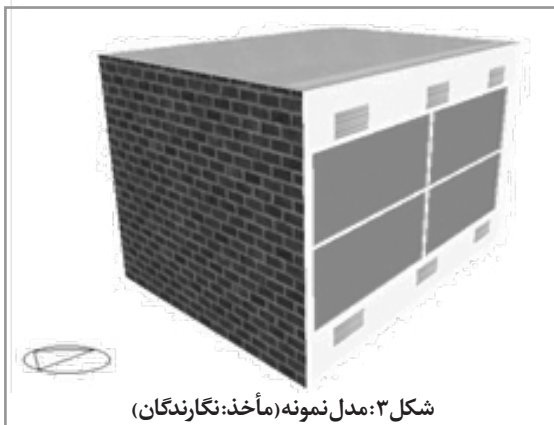
روز تابستان: در طول تابستان مخزن از آب تخلیه شده و هوای اتاق توسط فن به داخل مخزن مکیده می شود و پس از رطوبت زنی و کاهش گرمای محسوس، هوا به اتاق دمیده می شود. به منظور کاستن گرمای ایجاد شده در فاصله هوایی، دریچه های خارجی باز شده و با تخلیه مداوم هوای آن از ایجاد خاصیت گلخانه ای جلوگیری می شود. به منظور جلوگیری از افزایش بی رویه رطوبت هوای اتاق و امکان تداوم سرمایش و حفظ آسایش، لازم است یک دریچه برای تهویه طبیعی یا فن مکنده تعبیه شود. برای بهبود عملکرد سیستم، از سایه بان استفاده می شود (شکل ۲).



شکل ۲: عملکرد تابستانی پانل (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱: عملکرد زمستانی پانل (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۳: مدل نمونه (مأخذ: نگارندگان)

ترکیب می شوند. این ترکیب نیز، با استفاده از تعریف گره و ارتباط ورودی ها و خروجی های متناظر صورت گرفت.

از آنجایی که در پیکربندی حاضر، کلیه محاسبات، در یک نرم افزار صورت می گیرد و به صورت لحظه ای تاثیر متقابل پارامترها بر یکدیگر اعمال می شود، نتایجی کاملا قابل اعتماد و منطبق بر واقعیت به دست می دهد.

به منظور بررسی عملکرد سیستم پیشنهادی، یک مدل نمونه به ابعاد 3×4 و ارتفاع ۳ متر با کاربری اداری مدلسازی شد. ضلع ۴ متری مدل نمونه رو به جنوب و با فرض استفاده از پانل پیشنهادی - دارای یک محفظه شفاف از جنس پلی کربنات و با فاصله هوایی 10 سانتیمتر و یک لایه شیشه در سمت بیرونی - در نظر گرفته شد (شکل ۳).

در فصل گرمایش مخزن از آب پر شده تا نقش جرم حرارتی را ایفا و انرژی خورشیدی را در خود ذخیره کند، اما فصل سرمایش، با فرض مخزن خالی از آب در نظر گرفته شد تا جهت رطوبت زنی از آن استفاده شود.

برای دستیابی به ابعاد بهینه مخزن و مناسب ترین انواع شیشه، پارامترها به صورت هدفمند تغییر و شبیه سازی بارها تکرار شد که در بخش های بعدی، به نتایج آن پرداخته خواهد شد.

به منظور ارزیابی کارایی جدار جنوبی مستقل از تأثیرات سایر عوامل و نظر به این که مدل نمونه به عنوان یک اتاق در یک واحد اداری در نظر گرفته شده است و از سایر جدارهای آن، به دلیل هم دمایی تبادل حرارت صورت نمی گیرد، جدارهای مدل به استثنای جدار جنوبی، بی دررو (ادیاباتیک) در نظر گرفته شدند.

برای مقایسه رفتار حرارتی و بارهای گرمایش و سرمایش، نمونه دیگری با همان ابعاد و ویژگی ها و با نمای جنوبی

شب تابستان؛ با باز نگه داشتن تمامی دریچه ها، از طریق تهویه عبوری فضای داخل خنک می شود (شکل ۲).

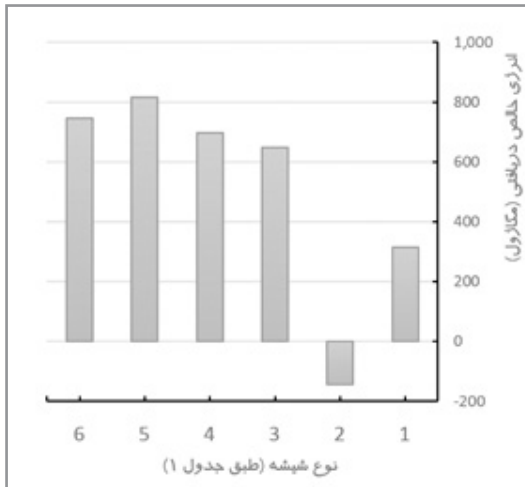
۴. ارزیابی کارایی پانل

راهکار پیشنهادی در این تحقیق شامل فرآیندهای فیزیکی بسیار متنوعی می باشد. از فرآیندهای اپتیکی شامل انعکاس، انتقال و جذب پرتوهای خورشیدی در سطوح شفاف، تا فرآیندهای حرارتی نظیر انتقال حرارت و جابجایی هوا و در فصل تابستان، فرآیند رطوبت زنی، همگی بر یکدیگر تأثیرات متقابل و لحظه ای دارند. بدون در نظر گرفتن کلیه پارامترهای موثر و اندرکنش متقابل آن ها، امکان ارزیابی دقیق و واقعی کارایی این سیستم، امکان پذیر نمی باشد. لذا، در عمل قریب به اتفاق نرم افزارها از قابلیت های کافی برای شبیه سازی این سیستم برخوردار نمی باشند. پس از بررسی - های گسترده و دقیق، نرم افزار جامع انرژی پلاس نسخه ۸ که ابزار محاسبه مستقل کلیه پارامترهای مذکور را دارد، انتخاب شد.

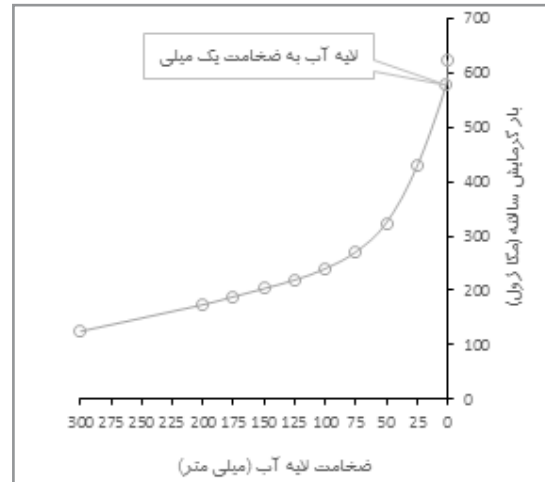
در نرم افزار انرژی پلاس، تعریف پارامترهای ورودی و خروجی و ابزارهای محاسباتی از طریق دستورات متنی (کدنویسی) می باشد. هرچند این مسأله، باعث پیچیدگی و دشواری کار با این نرم افزار می شود، اما در عوض، به کاربر آزادی بیشتری در ایجاد و ترکیب سیستم های مختلف می دهد. عناصر مختلف محاسباتی و پارامترهای متناظر با آن ها، به وسیله اجزایی مجازی موسوم به گره به یکدیگر متصل می شوند.

در این پژوهش، برای شبیه سازی عملکرد سیستم در انرژی پلاس، مجموعه پانل و اتاق به صورت دو محدوده یا زون حرارتی اصلی مشتمل بر فاصله هوایی بین شیشه و محفظه آب و دیگری فضای اتاق تعریف شد. برای ایجاد ارتباط هوایی بین این دو محدوده، پارامترهای ورودی و خروجی آن ها به وسیله تعریف گره و به واسطه ترکیب با یک سیستم گردش هوا یعنی فن و حسگرهای دمایی مرتبط گردید.

در فصل زمستان (فصل گرمایش)، آب درون محفظه، به عنوان جذب کننده پرتوهای خورشیدی و یک ذخیره کننده حرارتی در محاسبات لحاظ می شود و در تابستان (فصل سرمایش)، محفظه به عنوان کانال عبور هوا و فضایی برای رطوبت زنی، در محاسبات دخالت داده می شود. در حالت اخیر، مجموعه محدوده ها و سیستم گردش هوای تعریف شده در بالا، با یک سیستم رطوبت زنی نیز



شکل ۵: نمودار انرژی خالص کسب شده از سطح خارجی دیوار با شیشه های مختلف (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۴: نمودار بار گرمایشی مدل نمونه به ازای ضخامت های مختلف لایه آب (مأخذ: نگارندگان)

۲-۵. تاثیر مصالح شیشه بر عملکرد دیوار

۶-۱- عوامل خارجی حاکم بر نما

برای بررسی تاثیر جنس شیشه بر عملکرد گرمایشی سیستم، ۶ ساختار شیشه با ویژگی های متمایز انتخاب شدند (جدول ۱). پارامتری که در این ارزیابی معیار سنجش قرار گرفت، انرژی خالص دریافتی از طریق شیشه است که از تفاضل مقادیر «مجموع انرژی دریافتی» و «مجموع تلفات حرارتی» از طریق شیشه به دست می آید.

در نموداری که از نتایج شبیه سازی استخراج شده است، مشاهده می شود که شیشه کم آهن دارای تراز منفی است و علی رغم شفافیت بالا و بیشترین دریافت انرژی، به علت تلفات زیاد، گزینه مناسبی برای این سیستم نمی باشد. از طرف دیگر، شیشه ساده نیز در مقایسه با سایر انواع مورد بررسی، عملکرد بسیار ضعیف تری دارد. بهترین عملکرد مربوط به شیشه دوجداره کم گسیل است که اندکی از شیشه دوجداره شرایط بهتری دارد و به علت هزینه نه چندان بیشتر شیشه کم گسیل، می توان آن را گزینه مناسبی دانست. هر چند به علت تعدد لایه های شیشه در این سیستم و تاثیر منفی احتمالی آن بر روشنایی و کیفیت دید و همچنین وزن و پیچیدگی های اجرایی، شیشه تک جداره کم گسیل از نظر عملکرد در مقایسه با سایر انواع شرایط کاملاً قابل قبول و مناسبی دارد و به عنوان مصالح مورد استفاده در ارزیابی نهایی لحاظ خواهد شد.

شیشه (بدون پانل پیشنهادی) در اقلیم تبریز مدل سازی و شبیه سازی شد.

۵. بهینه سازی عملکرد زمستانی پانل

۵-۱. تاثیر ضخامت های مختلف آب

به منظور بررسی تاثیر ضخامت های مختلف آب به عنوان انباره حرارتی (آب ساکن)، بارهای گرمایشی سالانه مدل نمونه برای ساعات اداری و دمای معیار ۲۱ درجه سلسیوس مورد محاسبه قرار گرفت. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود روند نزولی بار گرمایش در ازای افزایش ضخامت لایه آب، در ضخامت های کم بسیار سریع اتفاق می افتد و تاثیر هر ۲۵ میلیمتر افزایش ضخامت آب تا ضخامت ۱۰۰ میلیمتر بسیار چشمگیر است ولی با افزایش بیشتر ضخامت، این نمودار روندی خطی با شیبی ملایم تر پیدا می کند. چنانچه مشاهده می شود، با استفاده از لایه ای به ضخامت ۲۵ میلیمتر، ۳۰ درصد از بار گرمایشی کاسته می شود. هرچند همچنان روند نزولی بار گرمایشی قابل توجه به نظر می رسد اما لحاظ عواملی نظیر سطح اشغال و ضخامت کلی جدار و نیز وزن زیاد آب، مانع از استفاده از ضخامت های بیش از ۱۵۰ میلیمتر می شود. در ضخامت ۱۲۵ میلیمتر که پس از این به عنوان ضخامت پیش فرض لایه آب لحاظ می شود، بار گرمایش ۶۵٪ نسبت به حالتی که از آب استفاده نشده است کاهش یافته است. در حالی که با استفاده از لایه ای به ضخامت ۳۰۰ میلیمتر، نزدیک به ۸۰٪ با کاهش بار گرمایش مواجه می شویم.

| شماره | جنس شیشه مورد استفاده در پانل پیشنهادی | ضخامت (mm) | ضریب هدایت (w/m.k) | ضریب عبور | ضریب گسیل (-) |
|-------|--|------------|--------------------|-----------|---------------|
| ۱ | تک جداره | ۶ | ۰.۹۰ | ۰.۷۷۵ | ۰.۸۴ |
| ۲ | تک جداره | ۶ | ۰.۹۰ | ۰.۸۸۹ | ۰.۹۱ |
| ۳ | تک جداره | ۶ | ۰.۹۰ | ۰.۶ | ۰.۱۰ |
| ۴ | دو جداره | ۱۳ | - | - | - |
| | شیشه ساده (لایه داخلی) | ۳ | ۰.۹۰ | ۰.۸۳۷ | ۰.۸۴ |
| | شیشه ساده (لایه خارجی) | ۶ | ۰.۹۰ | ۰.۷۷۵ | ۰.۸۴ |
| ۵ | دو جداره | ۱۳ | - | - | - |
| | شیشه کم گسیل در لایه داخلی (سطح کم گسیل در معرض آرگون) | ۳ | ۰.۹۰ | ۰.۸۹۹ | ۰.۱۰ |
| | شیشه کم آهن (در لایه خارجی) | ۶ | ۰.۹۰ | ۰.۸۸۹ | ۰.۹۱ |
| ۶ | دو جداره | ۱۳ | - | - | - |
| | شیشه کم گسیل در لایه داخلی (سطح کم گسیل در معرض آرگون) | ۳ | ۰.۹۰ | ۰.۸۸۹ | ۰.۱۰ |
| | شیشه کم آهن (در لایه خارجی) | ۶ | ۰.۹۰ | ۰.۸۸۹ | ۰.۹۱ |

جدول ۱: ویژگی مصالح شیشه مورد استفاده به منظور بررسی تاثیر آنها بر عملکرد و پانل پیشنهادی. مأخذ: نگارندگان

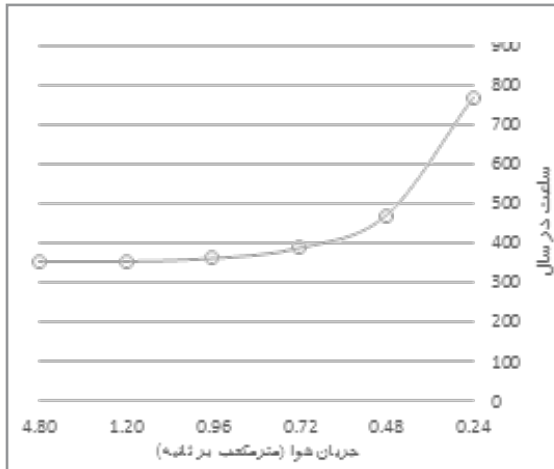
در یک مقایسه اولیه بین نتایج حاصله، می توان گفت استفاده از پانل در شرایط مورد نظر طراحی، در مقایسه با یک دیوار شیشه ای متعارف با مصالح مناسب مانند شیشه دوجداره، بین ۷۰ تا ۹۰ درصد بار گرمایشی نمونه را کاهش داده است. اگر دمای معیار را ۲۱ درجه در نظر بگیریم، می توان صرفاً به همین سیستم برای گرمایش فضای مذکور اکتفا کرد.

چنانچه در جدول ۲ مشاهده می شود استفاده از شیشه ساده در جدار جنوبی در همه حالات، بار حرارتی را به شدت بالا می برد. با این وجود استفاده از پانل پیشنهادی با شیشه ساده، بار گرمایشی را نسبت به عدم استفاده از آن، به کمتر از نصف کاهش داده است. در هر صورت، استفاده از شیشه ساده در این شبیه سازی صرفاً برای مقایسه دو

۳-۵. مقایسه بار گرمایش مدل در صورت استفاده و عدم استفاده از پانل پیشنهادی

برای بررسی تاثیر مصالح جدار جنوبی بر بار گرمایشی، شبیه سازی برای ۶ حالت مختلف، به ازای دماهای معیار ۲۱ و ۲۵ درجه سلسیوس انجام و نتایج با هم مقایسه شدند.

در سه حالت نخست، پانل پیشنهادی با سه نوع شیشه متفاوت در جدار جنوبی مدل مورد بررسی فرض گردید و در سه حالت دیگر، سه نوع جدار شیشه ای با شیشه ساده، شیشه کم گسیل و شیشه دوجداره در نظر گرفته شد. خلاصه نتایج در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۶: مجموع سالانه ساعات عدم دستیابی به دمای معیار ۲۶ درجه، استفاده از دیوار شیشه‌ای متعارف با تهویه طبیعی و بدون رطوبت زنی (مأخذ: نگارندگان)

مترمکعب در ثانیه، تعداد ساعاتی که در بازه زمانی وقت اداری، هوای فضای داخلی دمایی بالا تر از ۲۶ درجه سلسیوس دارد بررسی گردید. نتایج حاصل، در شکل ۶ خلاصه شده است.

برای ارزیابی سیستم برودتی تبخیری، با دمای معیار ۲۶ درجه و رطوبت زنی، مجموع ساعت هایی که دمای داخلی از دمای معیار بالاتر است محاسبه شد. چنانچه در جدول ۱ مشاهده می شود، با جریان هوای در حدود ۰،۰۲۴ تا ۰،۰۴۸ مترمکعب در ثانیه (۱۰۰ تا ۲۰۰ فوت مکعب در دقیقه) که معادل ۴،۵ تا ۹ بار تعویض هوا در ساعت، تقریباً همواره دمای هوای داخلی در مدل نمونه از دمای معیار پایین ترمی ماند.

| جریان هوا (مترمکعب بر ثانیه) | ۰،۰۲۴ | ۰،۰۴۸ |
|------------------------------|-------|-------|
| تعداد ساعت خارج از حد آسایش | ۳ | ۰ |
| آب مصرفی (لیتر) | ۴۳۳ | ۵۴۱ |

جدول ۳: مجموع سالانه ساعات عدم دستیابی به دمای معیار ۲۶ درجه با استفاده از پانل، مأخذ: نگارندگان

۲-۶. مصرف آب

به منظور ارزیابی دقیق تر توان این سیستم، در ارزیابی مجدد، دمای معیار به ۲۳ درجه کاهش یافت که در واقع حد میانه آسایش حرارتی در شهر تبریز است (Heidari & Jabbari, 2010:43). براساس داده های حاصل از شبیه سازی پیشین، نموداری با رعایت مقیاس در محور افقی و عمودی ترسیم گشت (شکل ۷)، این نمودار دارای محور های دوگانه عمودی برای بررسی و مقایسه همزمان تاثیر جریان هوا بردمای داخلی و مصرف آب است. با افزایش جریان هوا، در ابتدا به سرعت شرایط

سیستم در شرایط برابر صورت گرفته است و استفاده از پانل با شیشه ساده به هیچ وجه توجیه اقتصادی ندارد. از دیگر نکات قابل توجه در نتایج بدست آمده، اینکه در دیوارهای شیشه ای متعارف، عملکرد شیشه دوجداره ساده نسبت به تک جداره کم گسیل بسیار بهتر است، اما در پانل پیشنهادهی، کاملاً خلاف این روند حاکم است، چنان چه در نتایج مشاهده می شود، استفاده از شیشه تک جداره کم گسیل باعث کاهش شدید بار گرمایشی و حتی صفر شدن آن می شود و عملکرد پانل در تمامی شرایط آشکارا مثبت ارزیابی می شود.

۶. بهینه سازی عملکرد تابستانی پانل

در سرمایه‌بش تبخیری که در این سیستم از آن استفاده شده، بازگردانی هوا وجود نداشته و هوای تازه پس از رطوبت زنی خنک شده و وارد فضا می شود و نهایتاً به طور کامل از فضا خارج می شود. از طرفی، در سرمایه‌بش تبخیری، عملاً محتوای حرارتی هوا (آنالتپی) تغییری نمی کند و صرفاً گرمای محسوس کاهش و گرمای نهان آن افزایش می یابد. لذا به علت تعویض هوای زیاد و صرف انرژی برای رطوبت زدایی، ارزیابی برودت تبخیری با استفاده از بار سرمایه‌بشی امکان پذیر نمی باشد و نتایج معتبری به همراه نخواهد داشت. به همین دلیل، دو عامل مهم در سنجش برودت تبخیری، یعنی تعداد ساعات عدم دستیابی به دمای آسایش و نیز مصرف آب در این تحقیق مورد نظر قرار گرفته است.

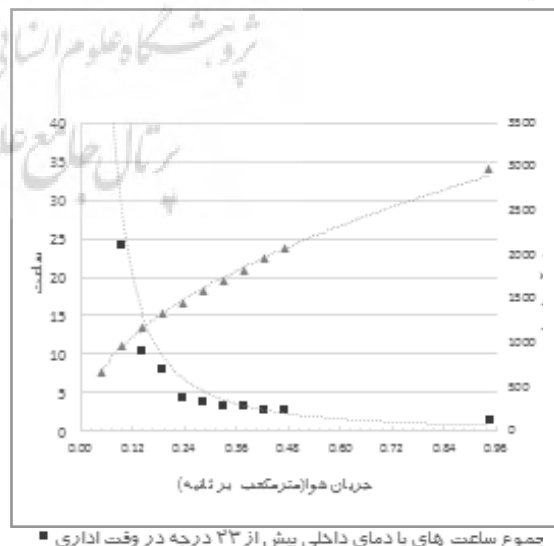
۶-۱. بررسی کارایی سرمایه‌بشی پانل

برای بررسی کارایی سرمایه‌بشی پانل، نیازهای سرمایه‌بشی مدل نمونه در دو حالت استفاده از پانل و عدم استفاده از آن (استفاده از دیوار شیشه ای متعارف) محاسبه شد. در حالت استفاده از پانل، جریان هوا با دبی های متفاوت، در جین عبور از محفظه پلی کربناتی، رطوبت زنی شده و وارد فضا می شود. در حالت استفاده از دیوار شیشه ای متعارف، فضای نمونه دائماً با هوای تازه تهویه می شود. در هر دو حالت، از سایه بان خارجی استفاده شده است.

برای مقایسه تهویه طبیعی و سرمایه‌بش تبخیری پیشنهادهی در این سیستم، دمای معیار در فصل سرمایه‌بش معادل ۲۶ درجه در نظر گرفته شده است که معادل حد بالای آسایش حرارتی در تابستان شهر تبریز است (Heidari & Jabbari, 2010:43). ابتدا مدل نمونه در سناریوی بدون رطوبت زنی و صرفاً با استفاده از تهویه طبیعی شبیه سازی شد، به ازای مقادیر متفاوت جریان هوا بر حسب

هوا بهبود می یابد ولی با عبور از حد مشخصی، این روند تغییر نموده و عملاً با افزایش جریان هوا، شرایط بهبود چندانی نمی یابد که این مساله ناشی از محدود بودن دامنه عملکرد سیستم های برودت تبخیری به دمای تر هوا است. توجه به این نکته کاملاً ضروریست که نتیجه گیری و داده های ذکر شده، با این فرض ارائه شده اند که ظرفیت رطوبت زنی نامحدود برای اشباع هر جریان هوایی وجود دارد. در غیر این صورت، اگر رطوبت کافی در جریان های قوی هوا تامین نشود، عملاً دمای هوای داخل معادل هوای خارج شده و آب مصرفی برای رطوبت زنی، بدون تاثیر مثبتی به هدر میرود.

با افزایش جریان هوا، مصرف آب با شیب زیادی افزایش می یابد و در جریان هوایی بیش از ۰,۲۸۸ مترمکعب بر ثانیه (۶۰۰ فوت مکعب در دقیقه)، بدون آن که تاثیر مفیدی بر دمای هوای داخلی داشته باشد، مصرف آب به شدت افزایش می یابد. در این شبیه سازی، نرخ جریان فن، ثابت فرض شده است، چنانچه از فن با جریان متغیر استفاده شود، ضمن کسب اطمینان بیشتر در دستیابی به دمای معیار، می توان به میزان قابل توجهی در مصرف آب صرفه جویی نمود. لذا پایش شرایط آب و هوایی به صورت مستمر و تنظیم دقیق جریان هوا در سیستم های برودت تبخیری، می تواند مصرف زیاد آب این سیستم ها را چه در این سیستم و چه در انواع متعارف خنک کننده های تبخیری به شدت کاهش داده و کمک شایان توجهی به مدیریت مصرف آب در شهرها به ویژه در مناطق خشک نماید



شکل ۷: مقایسه عملکرد برودتی و مصرف آب در دبی های مختلف جریان هوا (مأخذ: نگارندگان)

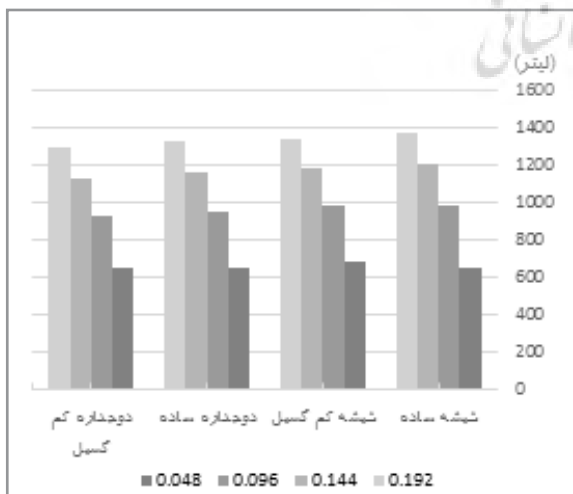
۳-۶. تاثیر مصالح شیشه

در شبیه سازی دیوار پیشنهادی در فصل گرمایش، نشان داده شد با در نظر گرفتن سادگی، تامین روشنایی، عملکرد حرارتی و نیز با توجه به اهمیت بیشتر گرمایش در اقلیم تبریز، می توان شیشه تک جداره کم گسیل را بهترین گزینه برای پانل دانست. برای ارزیابی تاثیر این شیشه و مقایسه آن با سایر انواع آن در حالت سرمایش، چهار نوع شیشه در دبی های مختلف جریان هوا مورد ارزیابی واقع شد.

نتایج نشان می دهند در هر دبی مشخص جریان هوا، نوع شیشه مورد استفاده تاثیر قابل توجهی بر مصرف آب نخواهد داشت (شکل ۸). در بررسی عامل ساعات عدم دستیابی به دمای معیار، مشخص شد با افزایش دبی از یک میزان حداقلی، تاثیر شیشه بر عملکرد سرمایشی کاملاً قابل چشم-پوشی خواهد بود. به عنوان مثال، در جریان هوای ۰,۰۴۸ متر مکعب بر ثانیه (۱۰۰ فوت مکعب در دقیقه)، بدترین عملکرد مربوط به شیشه ساده بوده و بهترین عملکرد مربوط به شیشه دوجداره کم گسیل است که به طور کاملاً واضحی در نمودار دیده می شود. این روند در جریان ۰,۰۹۶ متر مکعب بر ثانیه (۲۰۰ فوت مکعب در دقیقه) بسیار خفیف تر شده و در جریان های بالاتر، عملاً تفاوتی به چشم نمی-خورد (شکل ۹). در نتیجه، می توان انتخاب گزینه شیشه تک جداره کم گسیل را در حالت سرمایش نیز معتبر و قابل قبول دانست.

۷. جزئیات اجرایی پانل

بر اساس ایده مطرح شده و نتایج حاصل از شبیه سازی، پانل پیشنهادی با رویکرد تولید انبوه صنعتی در ابعاد ۳*۱,۵ متر، مطابق شکل ۱۰ طراحی شد. در این طراحی

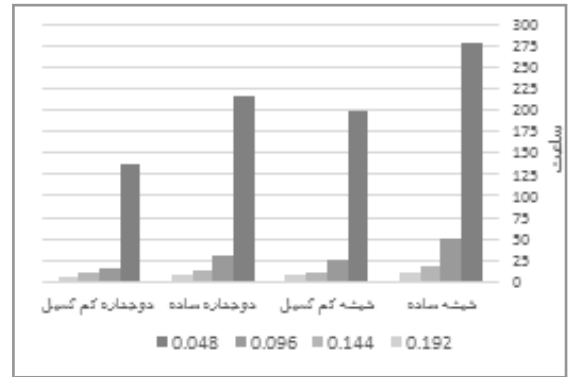


شکل ۸: مقایسه تاثیر انواع شیشه در مصرف آب در ازای مقادیر مختلف جریان هوا (متر مکعب بر ثانیه) (مأخذ: نگارندگان)

آب بندی و تحمل فشار آب در هنگام پر بودن مخزن، امکان عبور هوا در دبی های مورد نیاز را در زمان خالی بودن مخزن بدون افت فشار زیاد فراهم می آورد.

در این طراحی، به منظور مهار فشار استاتیک آب بر جداره های مخزن پلی کربناتی، در فواصل مشخص میله های مهار به گونه ای تعبیه شده اند که مانع افزایش فاصله و گسیختگی جداره های مخزن شود و در عین حال آب بندی مخزن کماکان حفظ شود. همچنین ملاحظات سازه ای نظیر مقاومت مکانیکی مدول، حفظ کلیت و چارچوب آن، تحمل وزن اجزا و انتقال داخلی بارها و نهایتاً اتصال مدول به سازه لحاظ گشته است.

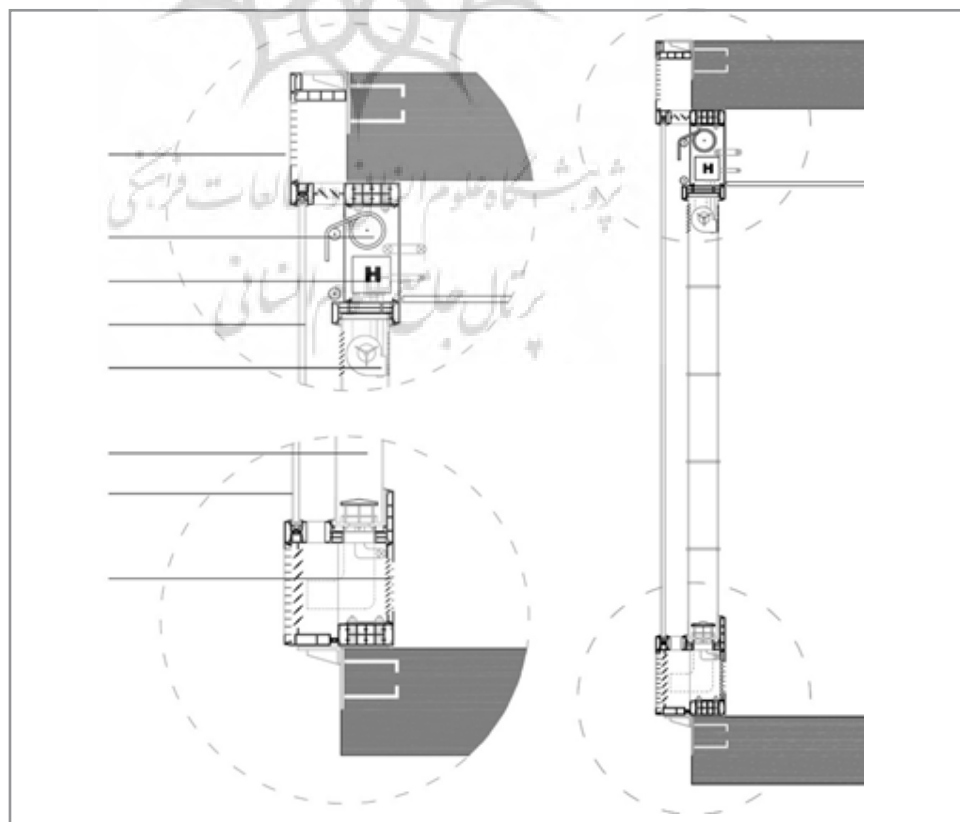
در این سیستم، رطوبت زنی توسط تجهیزات رطوبت زنی اولتراسونیک انجام می شود که ضمن سادگی و مصرف کم برق به علت استفاده از قطعات پیزوالکتریک که در عین سادگی و قیمت مناسب، همزمان برخلاف انواع حرارتی رطوبت زن، رطوبتی سرد تولید می کند. این رطوبت، ناشی از پودر شدن قطرات آب و بخار شدن فوری آن در هوا صورت می گیرد و تمام حرارت تبخیر از هوا گرفته می شود. در نتیجه بازدهی سطحی تبخیر در این نوع از برودت، برخلاف انواع الیاف گیاهی (پوشال) یا پدهای سلولزی و حتی هواشوی، به مراتب بیشتر و نزدیک به ۱۰۰ درصد می باشد. ضمن اینکه رسوب گذاری در مخزن رطوبت زن



شکل ۹: مقایسه تاثیر انواع شیشه در مجموع سالانه ساعات عدم دستیابی به دمای معیار ۲۳ درجه در ازای مقادیر مختلف جریان هوا (مترمکعب بر ثانیه) (مأخذ: نگارندگان)

امکان تعمیر و نگهداری و دسترسی مناسب به اجزای آن چه از داخل و چه از خارج لحاظ گردید.

به منظور برآورده کردن سناریوهای مختلف فرض شده در ایده طراحی، انواع دمپر ها، دریچه ها، فن گریز از مرکز، رطوبت زن و سایه بان متحرک مورد استفاده قرار گرفت. همچنین لوله های تغذیه رطوبت زن، تغذیه و تخلیه مخزن با فرض عبور از سقف کاذب، در این طراحی جانمایی گشت. علاوه بر آن، برای فراهم آوردن امکان عبور هوا از محفظه ای که در زمستان نقش مخزن آب را خواهد داشت، دریچه ای ویژه طراحی و پیشنهاد شد که ضمن



شکل ۱۰: جزئیات اجرایی پانل (منبع نگارندگان)

صورت نمی-گیرد و سطح تبخیر نیز وجود ندارد که نیاز به تعویض یا احیای آن وجود داشته باشد؛ لذا هزینه و مشکلات بهره-برداری از آن به حداقل می رسد.

به منظور تامین فشار مناسب برای جریان هوا از داخل جدار تعدادی فن گریز از مرکز کوچک در این طراحی پیشنهاد شده است که این تعدد امکان متغیر بودن جریان هوا برای فصل سرمایش و گرمایش و همچنین تنظیم میزان برودت و صرفه جویی در مصرف الکتریسیته و از آن مهمتر، صرفه جویی در مصرف آب را فراهم می کند.

نتیجه گیری

هدف از این تحقیق پیشنهاد پانلی برای نمای ساختمان به منظور کاهش بار گرمایش و سرمایش است که در آن از آب ساکن به عنوان خازن حرارتی در زمستان و از رطوبت زنی به منظور کاهش گرمای محسوس هوا استفاده می شود. ابعاد پانل پیشنهادی ۱,۵*۳ متر می باشد و جزییات مدول های آن طوری طراحی شد که باعث ایجاد محدودیت در طراحی ساختمان نشود و امکان تعمیر، نگهداری و جایگزینی آن به سهولت ممکن باشد. ارزیابی کارایی پانل با استفاده از موتور شبیه سازی انرژی پلاس انجام شد و نتایج حاصل از آن نشان داد جدار پیشنهادی، در یک ساختمان اداری در اقلیم تبریز عملکرد مناسبی دارد و می تواند سهم قابل توجهی از بار گرمایشی فضا را در زمستان های سرد این شهر تامین کند. همچنین، با توجه به محدودیت تقاضا برای سرمایش در تابستان های نه چندان گرم و طولانی این اقلیم، یک ظرفیت برودت محدود، می تواند برای تامین آسایش حرارتی کفایت کند و ساختمان را از داشتن یک سیستم سرمایشی مستقل، کاملاً بی نیاز کند.

در مقایسه این سیستم با جدار شیشه ای متعارف در دمای معیار ۲۱ درجه سانتی گراد، ۷۰ تا ۹۰ درصد کاهش بار گرمایش مشاهده شد. در فصل تابستان، برودت تبخیری با استفاده از رطوبت زن اولتراسونیک که در داخل مخزن (تخلیه شده از آب) انجام می شود، با دبی هوای تامین کننده ۵ تا ۹ بار تعویض هوا، ضمن سرمایش فضا در تمامی زمان ها، مصرف آب بهینه ای نیز دارد. با در نظر گرفتن تمهیداتی نظیر تعدد فن یا استفاده از فن با جریان متغیر، برای تغییر دبی جریان هوا، می توان مصرف آب را بهینه سازی کرد. با تکرار شبیه سازی، مصالح و ضخامت بهینه اجزای پانل انتخاب گردید. شیشه تک جداره کم گسیل و لایه آب به ضخامت ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی متر نتایج بهینه ای را فراهم آورده و در طراحی مدول نهایی، لحاظ گردید.

پانل مدولار نمای ساختمان با قابلیت گرمایش و سرمایش تاثیر قابل توجهی بر کاهش بار گرمایش و سرمایش مدل نمونه دارد. نتایج این پژوهش بر مبنای اطلاعات اقلیمی شهر تبریز و برای ساختمانی با کاربری اداری می باشد. لازم است پژوهش های مستقل دیگری در مورد بررسی نحوه کارکرد پانل در دیگر اقلیم ها انجام شود. در این تحقیق به دلیل عدم دسترسی به تجهیزات جهت ساخت پانل، شبیه سازی کامپیوتری به عنوان روش جایگزین برای مطالعات میدانی انتخاب شده است. لذا توصیه می شود با استفاده از داده های حاصل از آزمایشات تجربی نتایج این پژوهش اعتبار سنجی شود.

پی نوشت ها

۱. OverHeating

۲. هرچند در مورد سیستم هایی در مقیاس طرح پیشنهادی، چنین فرضی صدق نمی کند و ظرفیت هوادهی و رطوبت زنی، مانند هر سیستم تهویه مطبوع دیگری، در دامنه مشخص و متعارفی محدود می باشد.

فهرست منابع

- Abolhasani, N.; (2014) Office Building Envelope Design Using Trombe Wall Characteristic, M.A. Thesis, Fine Arts College, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)
- Bourdeau, L.E; (1980) Study of two passive solar systems containing phase change materials for thermal storage; in Presented at the 5th Natl. Passive Solar Conf., Amherst, Mass., 26-19 Oct. 1980
- Chen, B., Chen, X., Ding, Y. H., & Jia, X.; (2006) Shading effects on the winter thermal performance of the Trombe wall air gap: An experimental study in Dalian; Renewable energy, 1971-1961, (12)31.
- Gan, G.; (1998) A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings; Energy and buildings, 43-37, (1)27.
- Ghiabaklou, Z.; (2003) Thermal comfort prediction for a new passive cooling system; Building and environment, 891-883, (7)38
- He, J., & Hoyano, A.; (2010) Experimental study of cooling effects of a passive evaporative cooling wall constructed of porous

- Secretariat of Energy and Electricity; (2013) Energy Balance Sheet of Iran in 2012, Iran's Energy Ministry, Tehran. (In Persian)
- Stazi, F., Mastrucci, A., & di Perna, C.; (2012) Trombe wall management in summer conditions: An experimental study; Solar Energy, 2851-2839 ,(9)86.
- ceramics with high water soaking-up ability; Building and environment, -461 ,(2)45 472.
- Heidari Sh., GH jabari Sh.; (2010) Determining Thermal Comfort Period for Tabriz, Modares Mechanical Engineering ,38. (In Persian)
- Kabrhel, M.; (2009) Thermal storage wall; Effstock, 25-21.
- Liping, W., & Angui, L.; (2006, September) A numerical study of Trombe wall for enhancing stack ventilation in buildings; In The 23rd conference on passive and low energy architecture, Geneva, Switzerland.
- Mazria, E.; (1979) The Passive solar energy book; Rodale Press, Emmaus, PA; United states of America
- Mahdavinejad, M., & Javanrudi, K.; (2012) Assessment of Ancient Fridges: A Sustainable Method to Storage Ice in Hot-Arid Climates. Asian Culture and History, 2)4), p133.
- Mahdavinejad, M., & Javanrudi, K.; (2012) An adaptive comparison of the Influence of airflow on two type of Yazdi and Kermani wind-catchers, HONAR-HA-YE-ZIBA No. 48, Winter, Journal of Faculty of Fine Arts, University of Tehran, Iran, pp 79-69. (In Persian)
- Nasrollahei, N., Mahdavinejad, M. J., & Hadyanpour, M.; (2013) Studying the Thermal and Cryogenic Performance of Shevadun in Native (Local) Buildings of Dezfoul Based on Modeling and Environmental Measuring. American Journal of Energy Research, 53-45 ,(3)1
- 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, ,(8)16 6351-6340.