Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

فصلنامه پژوهش های معماری اسلامی / شماره یازدهم / تابستان ۱۳۹۵ / سال چهارم

گنبد دوپوسته از منظر عملکرد حرارتی در اقلیم کویری کاشان

وحدانه فولادی*

استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران (نویسنده‌ی مسئول)

منصوره طاهباز*

دانشیار گروه معماری, دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

حمید ماجدی*

دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله:۹۴/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش نهایی:۹۵/۰۴/۲۹

چکیـــــده:

از آنجا که بخش وسیعی از کشور در اقلیم گرم و خشک واقع شده است و بیشترین میزان جذب تابش در تابستان و در ساختمان‌های کم‌ارتفاع از ناحیه‌ی سقف ساختمان صورت می‌گیرد و در حالی که بیشترین مساحت پوسته‌ی خارجی این ساختمان‌ها به سقف اختصاص دارد؛ سرمایش تابستانی هزینه‌ی بالایی را به ساختمان تحمیل خواهد کرد. از این رو شکل سقف ساختمان به لحاظ تأمین شرایط آسایش فضای تحت پوشش آن اهمیت ویژه می‌یابد. از طرفی معماری بومی ایران همانند بسیاری از تمدن‌های کهن برای سال‌های متمادی با مصرف انرژی کمتری، شرایط آسایش ساکنان را فراهم می‌نموده است و سقف گنبدی دوپوسته، یکی از عناصر بومی معماری مناطق گرم و خشک ایران می‌باشد. بنابراین می‌توان با طراحی گنبد دوپوسته مناسب به شرایط آسایش فضای داخل ساختمان‌های عمومی کمک نمود. با این هدف، کاشان به عنوان شهری با قدمت هفت هزارساله و دارای معماری بومی، انتخاب و در آن گنبد بقعه‌ی چهل‌دختران که از فرم کلی گنبدهای کاشان پیروی می‌کند و دارای شرایط خاص تحقیق می‌باشد؛ مبنا قرار داده شد. سپس توسط شبیه‌سازی رایانه‌ای با نرم‌افزارهای اکوتکت، دیزاین‌بیلدر و فلوئنت، در شکل هندسی گنبد دوپوسته، تغییراتی داده شد و نتایج حاصل از آزمون‌های انتقال حرارت از طریق هدایت، تابش و همرفت، با یکدیگر مقایسه گردید. نتیجه اینکه در اقلیم کویری کاشان و اقلیم‌های مشابه، بهترین شاکله‌ی هندسی جهت پوشش سقف ساختمان، گنبدی است دوپوسته با پوستهی خارجی به شکل ناری و پوسته‌ی داخلی به شکل قطاع کره، با تناسبات شبیه به گنبد بقعه‌ی چهل‌دختران کاشان. در این صورت در تابستان با ایجاد دریچه‌هایی در پوسته‌ی خارجی و تعبیه‌ی بادخان در رأس گنبد جهت تخلیه‌ی هوای گرم جمع شده در زیر آن و ایجاد پوشش خارجی کاشی روشن و براق، جهت کاهش جذب انرژی تابش، که کاهش دمای هوای داخل بنا را به همراه خواهد داشت؛ و در زمستان نیز بستن دریچه‌ها و بادخان مطلوب خواهد بود.

واژه های کلیدی:گنبد دوپوسته، گرم و خشک، کاشان، هدایت، تابش، همرفت.

* v.fooladi@ymail.com ** m۵۸tahbaz@yahoo.com *** majedi_h@yahoo.com

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی دکتری تخصصی معماری وحدانه فولادی با راهنمایی دکتر منصوره طاهباز و مشاوره‌ی دکتر حمید ماجدی با عنوان «بررسی تأثیر اقلیم بر ویژگی‌های شکلی گنبدهای دو پوسته در منطقه‌ی گرم و خشک ایران» در دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

۱. مقدمه

چگونگی طراحی ساختمان‌ها به عنوان یکی از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی، تأثیر بسزایی بر تغییرات محیط زیست و میزان مصرف منابع زیرزمینی موجود خواهد داشت. میزانِ مصرف انرژی ساختمان‌ها درکشورهای توسعه‌یافته حدوداً یک سوم از کل میزان انرژی‌های مصرفی و دوسوم انرژی برق مصرفی را شامل می‌شود (مدیریت اطلاعات انرژی[1] ۱۹۹۵). با توجه به ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۹۱ ایران، ساختمان بزرگترین مصرف‌کننده‌ی انرژی در مقایسه با سایر بخش‌های اقتصادی ایران است (وزارت نیرو ۱۳۹۳، ۶۳). در ساختمان‌هایی که امروزه بر اساس روش‌های اقلیمی طراحی و ساخته شده باشد؛ نیاز به گرمایش و سرمایش مکانیکی به حداقل می‌رسد. در این ساختمان‌ها علاوه بر ویژگی‌های خارجی، پلان ساختمان نیز از نظر عملکردی در فصول مختلف، بر اساس استفاده از عوامل اقلیمی تعیین می‌شود. از این طریق میزان استفاده از انرژی‌های فسیلی به حداقل رسیده و شرایط آسایش در سطح بالاتری قرار می‌گیرد (واتسون و دیگران ۱۳۷۲، ۴). معماری بومی و ساخته شده بر اساس مسائل اقلیمی ایران نیز مانند بسیاری از تمدن‌های کهن برای سال‌های متمادی با کمترین مصرف انرژی شرایط آسایش را فراهم نموده است. از طرفی «نمای جنوبی یک ساختمان در زمستان حدوداً سه برابر بیشتر از دیگر نماهای ساختمان در معرض تابش خورشیدی است. در تابستان برعکس است؛ نمای جنوبی کمتر از بام و نمای شرقی و غربی، تشعشعات خورشیدی را دریافت می‌کند» (توماس[2] و شولتز[3] ۲۰۰۵، ۱۱۵). با توجه به اینکه ساختار هندسی سقف یکی از بخش‌های اصلی ساختمان محسوب می‌گردد؛ بنابراین تأثیر عمده‌ای بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان دارد و هندسه‌ی سقف ساختمان از نظر شکلی معیار عمده برای تعیین عملکرد حرارتی ساختمان می‌باشد. این در حالی است که حدود دو سوم تا سه پنجم مساحت کشور در منطقه‌ی گرم و خشک واقع شده است و نیاز به سرمایش تابستانی هزینه‌ی زیادی دربر خواهد داشت. از طرفی سقف‌های گنبدی در ساختمان‌های ایران و بسیاری از نقاط جهان قابل مشاهده می‌باشند؛ این ساختمان‌ها به صورت بومی در ایران با خشت، آجر، اندود، ملات گچ، آهک و خاک ساخته شده‌اند. مواردی چون شرایط اقلیمی و جوی منطقه، آیین و مذهب و فرهنگ رایج و اقتصاد در طراحی و ساخت آنها مؤثر بوده است.

در این پژوهش سعی شده نمونه‌ای در اقلیم گرم و خشک ایران انتخاب و به وسیله برخی نرم‌افزارهای تخصصی مدلهای مختلف گنبد دوپوسته، بررسی، مقایسه و مدل بهینه پاسخگو به شرایط آسایش در این اقلیم ارائه گردد.

۲. روش تحقیق

پژوهش حاضر با فرض تأثیرگذاری ویژگی‌های شکلی گنبد دوپوسته در تعدیل اثر شرایط محیطی بر فضای داخلی ساختمان در منطقه‌ی گرم و خشک ایران، شکل گرفته است. در این راستا؛

میان اقلیم‌های[4] گرم و خشک ایران شامل کوهپایه‌های کم‌ارتفاع، ناحیه‌ی دشتی و ناحیه‌ی کویری در نظر گرفته شده است. از هر اقلیم میانه شهرهایی انتخاب شده‌اند که دارای شرایطی از قبیل موارد ذیل باشند:

– دارای قدمت تاریخی باشد.

– در این شهرها، بناهای ثبت شده‌ی میراث فرهنگی و دارای ارزش تاریخی قاجار و ماقبل قاجار موجود باشد به گونه‌ای که سقف گنبدی با دو لایه‌ی مجزا داشته باشند.

– مدارک و اسناد جهت نمایش ابعاد و ویژگی‌های بناها موجود و قابل دسترسی باشند.

از میان شهرها، کاشان انتخاب شد؛ زیرا دارای گنبدهای دو پوسته با تعداد قابل قبول جهت مطالعه و دسته‌بندی است و همچنین گنبدها از نظر شکلی متنوع هستند. گنبدهای دوپوسته در کاشان به سه دسته‌ی ۶ تایی تقسیم شد؛ تحلیل ابعاد و اندازه‌های خطی و سطحی و حجمی آنها، صورت گرفت و گنبدهای دارای کاربندی با بیشترین میزان شباهت در تناسبات معرفی شدند که این گنبدها دارای تناسباتی نزدیک به کره هستند. پس از آن گنبدهای دارای شکل ناری دارای بیشترین میزان تشابه می‌باشند (فولادی ۱۳۹۳، ۹۰). در میان گنبدها، گنبد دوپوسته ناری بقعه‌ی چهل‌دختران که از تناسبات کلی گنبدهای

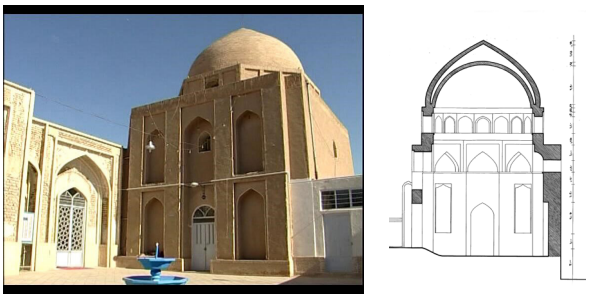
Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

کاشان پیروی کرده و دارای تناسباتی شبیه به کره بود و با درنظر گرفتن پاسخگویی به شرایط اقلیمی، بهترین شاکله برای پوشش سقف، گنبد دوپوسته گسسته ناری با لایه‌ی میانی هوا شناخته شد (فولادی ۱۳۹۳، ۹۰). همچنین با توجه به شرایط خاص تحقیق –که در پژوهش فولادی (۱۳۹۳، ۴۴–۸۰) به تفصیل به آن اشاره شده است– جهت آزمایشات تجربی و شبیه‌سازی رایانه‌ای مناسب تشخیص داده شد و انتخاب گردید.

در تحقیق حاضر در نظر است توسط شبیه‌سازی رایانه‌ای مدلی بهینه برای گنبد، به لحاظ حفظ دمای هوا در فضای تحت پوشش آن ایجاد شود. امکان سنجش چنین مدلی در شرایط آزمایشگاهی و یا در شبیه‌سازی رایانه‌ای امکان‌پذیر خواهد بود که در تحقیق حاضر شبیه‌سازی رایانه ای انتخاب شده است. چهار نرم‌افزار شبیه‌سازی ساختمان از نظر مصرف انرژی که مورد توجه معماران و دارای استفاده وسیع می‌باشد؛ مانند اکوتکت[۵]، انرژی پلاس[۶]، دیزاین بیلدر[۷] و فلوئنت[۸] ، با توجه به شناخت نحوه‌ی عملکرد و قوت‌ها و ضعف‌ها، در این تحقیق استفاده شده‌اند. به منظور اعتبارسنجی و تخمین خطای احتمالی در محاسبات مدل‌های شبیه‌سازی شده، در پژوهش (فولادی ۱۳۹۳، ۱۲۹) نتایج حاصل از شبیه‌سازی رایانه‌ای با نتایج آزمایش تجربی در مدل نمونه‌ی منتخب مورد قیاس قرار گرفته‌اند. همچنین نتایج شبیه‌سازی‌ها خود با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مشخص گردید در میان نرم‌افزارها نتایج حاصل از نرم‌افزار انرژی‌پلاس با دیگر نتایج شبیه‌سازی و آزمایش تجربی در مواردی انطباق نداشته و در آزمایشات این تحقیق استفاده از آن متوقف گردید.



تصویر ۱. گنبد مبنا. بقعه‌ی چهل‌دختران کاشان. راست؛ تصویر جنوبی بنا. چپ، برش عمودی از بنا (مأخذ: آرشیو سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری کاشان)

برای ایجاد مدل بهینه به لحاظ مصرف انرژی برای پوشش سقف در کاشان و اقلیم‌های مشابه، سقف مبنا، وضع موجود گنبد بنای چهل‌دختران کاشان و بنای مبنا، بنای بقعه‌ی چهل‌دختران در نظر گرفته شده است (تصویر ۱) و موارد زیر به ترتیب، مورد آزمون قرار داده شده اند:

الف) هدایت: هرچه انتقال حرارت از جانب سقف (از خارج به داخل و از داخل به خارج) کاسته شود؛ عملکرد حرارتی آن در گرم‌ترین و سردترین روزهای سال بهتر خواهد بود.

آزمون ۱. گنبد با حذف پوسته‌ی داخلی، تک پوسته در نظر گرفته شده است.

آزمون ۲. فاصله‌ی میان دو پوسته کاهش یافته است.

آزمون ۳. فاصله‌ی میان دو پوسته افزایش یافته است.

ب) تابش: هرچه جذب انرژی تابشی کاهش یابد؛ عملکرد حرارتی سقف در روزهای گرم بهتر خواهد بود.

آزمون ۴. پوسته‌ی خارجی گنبد به شکل نیمکره با سطح خارجی برابر تغییر شکل یافته است.

آزمون ۵. گنبد مبنا با پوشش خارجی سنتی کاشی در نظر گرفته شده است.

ج) همرفت: از آنجا که هوای گرم‌تر همیشه چگالی کمتری نسبت به هوای سرد دارد و به سمت بالا حرکت می‌کند؛ هرچه گرمای جمع‌شده‌ی زیر گنبد بیشتر به خارج منتقل شود؛ شرایط آسایش در تابستان بیشتر فراهم خواهد شد.

آزمون ۶. ایجاد دریچه در پوسته‌ی خارجی گنبد مبنا.

آزمون ۷. تعبیه‌ی بادخان در رأس گنبد مبنا.

دقت شود با توجه به پژوهش (فولادی ۱۳۹۳، ۱۱۶) حل‌های ارائه شده در تغییرات هندسه گنبدها از روش پایدار[۹] هستند؛ و در صورتی که تابعی از زمان شوند؛ صحیح نمی‌باشند و برای درک بهتر رفتار حرارتی سقف‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین بیان این نکته ضروری است که در هرکدام از آزمون‌های انجام شده از نرم‌افزاری استفاده شده است که قابلیت بهتری جهت شبیه‌سازی آن مورد را داشته باشد و نیز گاهی برای یک آزمون از بیش از یک نرم‌افزار استفاده شده تا نتایج قابل مقایسه باشند و در انتها به جمع‌بندی آزمون‌ها پرداخته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

۳. پیشینه‌ی تحقیق

۳-۱. جذب انرژی تابش توسط سقف گنبدی

در مورد سقف ساختمان در منطقه گرم و خشک، پژوهشگرانی مانند فتحی[۱۰] ۱۹۷۳، مین استون[۱۱] ۱۹۸۳، باون[۱۲] ۱۹۸۱ و کیتا[۱۳] ۱۹۸۱، پژوهش‌هایی درباره‌ی انعکاس تابشی سقف‌های قوسی و گنبدی انجام دادند. (آزمایشات تانگ. آر.[۱۴] و دیگران ۲۰۰۳، ۵۳۹) بر اساس موقعیت و وابستگی زاویه‌ای ضریب جذب خورشید بیان می‌کند در مناطقی با آب و هوای گرم و خشک، سقف گنبدی، دمای هوای اتاق را در فصل تابستان کاهش می‌دهد و انعکاس تابشی سقف گنبدی بیشتر از سقف تخت متناظرش است. در این راستا در سراسر دنیا تحقیقاتی صورت گرفته است؛ از جمله، (سرپوشان و یعقوبی ۱۳۸۱، ۳) که نشان می‌دهد سقف‌های گنبدی در شیراز نسبت به سایر سقف‌ها در تابستان ارجحیت دارد (گومز[۱۵] ۲۰۰۳، ۱۴۳۱). میزان تشعشع دریافتی در مکزیک در واحد سطح مساحت سقف نیمکره را ۳۵ درصد کمتر از سقف صاف معادل آن گزارش نموده است. فارسی (۱۳۸۸)، میزان انرژی تابشی دریافتی در احجام و سطوح مختلف را در تهران مورد آزمون قرار داده و معتقد است که با حجم ثابت و سطح ثابت کمینه تابش دریافتی به نیمکره اختصاص دارد. احمدی (۱۳۸۴) و (مهران و دیگران ۱۳۸۷، ۲۴۹) عملکرد حرارتی سقف‌ها نسبت به حالت مبنا (سقف تخت) از نظر شدت تابش جذب و مصرف انرژی برای شرایط متفاوت را بررسی نموده اند. نتایج این پژوهش‌ها نشان داده است که در مناطق گرم و خشک –که شدت تابش پخشی کم بوده– سقف گنبدی مناسب است. در مورد تعیین بهینه‌ترین زاویه نصف گنبد به ازای تشعشع خورشید برای کاهش اتلافات برودتی وارده از سقف گنبدی مشفق و ابراهیمی (۱۳۸۷)، در شهر قم برای سقف بارگاه حضرت معصومه، مدل و مقدار انرژی تابشی و شار حرارتی را محاسبه و کمترین اتلافات را برای زوایای ۵۰ الی ۶۰ درجه معرفی نموده‌اند. فقیه خراسانی و بهادری نژاد (۱۳۸۹)، معتقد است استفاده از کاشی در معماری سنتی ایران در پوشاندن سطح گنبدها باعث کاهش تشعشع خورشیدی جذب شده می‌شود به نحوی که این میزان حتی از سقف صاف معادل آن که با مواد دیگر پوشانیده شده است کمتر است که کمک شایانی در تهویه‌ی ساختمان می‌نماید. بررسی عملکرد سقف از نظر میزان مصرف انرژی سرمایش در فلوریدا توسط (پارکر[۱۶] و دیگران ۱۹۹۷، ۱۰۵) انجام شده است که نشان می‌دهد ساختمان‌هایی با رنگ براق بار حرارتی ساختمان را کاهش می‌دهند.

۳-۲. انتقال انرژی گرمایی از طریق جابجایی هوا

در سقف‌های گنبدی سرعت باد روی گنبد و در نتیجه ضریب انتقال حرارت جابجایی افزایش یافته و با سطح بیشتر گنبد نسبت به بام مسطح انتقال حرارت به هوای بیرون بیشتر شده و بنابراین حرارت کمتری به داخل ساختمان راه می‌یابد. با قرار دادن سوراخی در رأس گنبد و فشار منفی ایجاد شده در اثر وزش باد در این محل، جریان هوایی از داخل ساختمان به طرف این سوراخ برقرار می‌شود که می‌تواند مقداری از حرارت انتقال یافته از طریق پوسته گنبد به داخل را دریافت نماید و سطح زیرین گنبد را خنک‌تر نموده و باعث کاهش تبادل حرارت تشعشعی این سطح با سطوح داخل ساختمان گردد. به این ترتیب دریافت انرژی خورشیدی از طریق بام ساختمان به حداقل ممکن می‌رسد (فقیه خراسانی و بهادری نژاد ۱۳۸۹). پژوهش (بهادری[۱۷] و حقیقت[۱۸] ۱۹۸۵، ۱۰۳) بیان کرد که لایه‌بندی حرارتی هوای زیر سقف گنبدی یا قوسی به گونه‌ای است که هوای گرم شده در زیر سقف قرار می‌گیرد؛ بنابراین شرایط مطلوبی برای زندگی در ساختمان فراهم می شود. (بهادری ۱۹۷۸، ۱۴۴) به معرفی نقش سقف‌های گنبدی‌شکل در تهویه‌ی فضا و همچنین خنک نگه داشتن آب در آب انبارهای عمومی در فصول گرم با استفاده از جریان هوای ناشی از بادگیرها و سقف‌های گنبدی در مناطق گرمسیر ایران، پرداخت. «تهویه بهتر زمانی اتفاق می‌افتد که جریان هوا بین پنجره‌های بازشده در ساقه و روزنه‌ی بالای گنبد همزمان اتفاق بیافتد (فقیه[۱۹] و بهادری ۲۰۰۹، ۲۱۵). رفتار حرارتی سقف‌های تخت و قوسی برحسب دمای داخل ساختمان توسط پرلموتور[۲۰] (۱۹۹۳) بررسی شد. «عملکرد سقف‌های خشتی و دارای سطح داخلی مرطوب که در بالای سقف گنبدی سوراخ

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

وجود داشته باشد؛ میزان تهویه‌ی مطبوع در سرعت‌های پایین جریان باد را فراهم می‌آورد» (بهادری و حقیقت ۱۹۸۵، ۳۶۵). الجوادی[۲۱] و السودانی[۲۲] (۲۰۱۰) از مدل نرم‌افزاری اکوتکت جهت ارزیابی عملکرد حرارتی ساختمان استفاده نموده و نتایج آن را با نتایج تجربی در ساختمان گنبدی‌شکل و ساختمان مشابه دارای سقف تخت، مقایسه کرده است. نتایج نهایی در ساختمان گنبددار به کاهش درجه حرارت به طور متوسط حدود ۲-۶ درجه سانتیگراد، و کمک به رسیدن به تعادل حرارتی در فصل تابستان در بغداد می‌باشد (فقیه و بهادری ۲۰۰۹، ۲۱۶). با محاسبات عددی، کاهش دمای هوای درون فضا با سقف قوسی نسبت به دمای هوای درون فضا با سقف تخت را به کمک نمودارهایی نشان داده شده است.

۳-۳. سقف دوپوسته

سقف دوپوسته با قابلیت بازتابندگی بالا و تهویه‌ی مناسب، می‌تواند به سرمایش غیرفعال در فصل تابستان کمک کند. در شرایط جذب تابش که به شدت با انتقال گرمای طبیعی همراه است؛ نیاز به از دست دادن حرارت از طریق سقف دوپوسته ضروری می‌نماید. سطح سقف باید مقدار زیادی از تابش را دفع کند (بیوله[۲۳] و دیگران ۲۰۰۸، ۱۴۸۷). عملکرد حرارتی اتاق تحت آزمون های میدانی با سقف‌های تخت مختلف - همچون سقف بتنی، سقف بتن عایق، سقف دوجداره، سقف با پوشش گیاهی و سقف‌های بتنی فعال) را در آب و هوای بسیار گرم و خشک مصر توسط خلیل[۲۴] و دیگران (۲۰۱۰) ارزیابی شده، آزمایش سقف‌ها نوسانات حرارتی داخل ساختمان را ٪۹۶ با بتن عایق شده، ٪۹۰ سقف دوجداره ، ٪۸۹ با پوشش گیاهی و ٪۷۶ برای بتن معمولی نشان می‌دهد. در سال ۲۰۰۲، در مرکز علمی و فنی فرانسه برای تحقیقات ساختمان یک سری از اندازه‌گیری تجربی و میدانی در سقف دوپوسته انجام شده است. میروانویل[۲۵] و دیگران (۲۰۰۳) یک مدل سقف دوپوسته‌ی ترکیب شده با یک سیستم مانع تابش طراحی کرده است. پس از تنظیم بعضی از ضرایب انتقال حرارت، آن را با اندازه‌گیری‌های تجربی یک نمونه موردی مناسب، به منظور اعتبارسنجی مدل، مقایسه کرده است (چانگ[۲۶] و همکاران ۲۰۰۸، ۱۴۰). به صورت تجربی، میزان صرفه‌جویی انرژی را در سقف دوپوسته (سقف پوشیده با یک سیستم مانع تابش) مورد بررسی قرار داد. نتایج حاکی از عملکرد مناسب حرارتی سقف دوپوسته می‌باشد. با اضافه کردن یک صفحه‌ی فلزی در پشت بام‌های موجود فلزی، سقف دوپوسته توسط بیوله (۲۰۰۸) مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان سیستم سرمایش غیرفعال که می‌تواند به کاهش هزینه‌های برق برای تهویه‌ی مطبوع در تابستان و در کشورهای گرم و خشک کمک کند. «تابش، همرفت و انتقال حرارت بررسی شده است. بسته به خصوصیات سطح، مقدار زیادی از تابش خورشید بازتاب می‌شود. از طریق انتقال گرمایی طبیعی گرمای باقی مانده در کانال منتقل می‌شود. شبیه‌سازی عددی دوبعدی از انتقال حرارت نشان می‌دهد پارامترهای مهم برای بهره‌وری سیستم سقف دو پوسته، به ترتیب اهمیت، میزان انتشار سطح ورق فلز، سطح داخلی و خارجی ورق، ضخامت عایق و زاویه‌ی تمایل برای عرض کانال بیش از ۶ سانتی‌متر می‌باشد» (بیوله و دیگران ۲۰۰۸، ۱۴۸۷). در مورد سقف‌های گنبدی دوپوسته «هر چه اختلاف ستون هوای بین دو پوسته کمتر شود؛ چون گردش هوا کمتر و اثر همرفت بسیار کاهش می‌یابد؛ اتلافات از سقف کمتر شده و تقریباً ۸ الی ۱۰ درجه شرایط آسایش را بهبود می‌بخشد. در حالتی که فضای گنبد دوپوسته با شکل منظم و شبیه‌تر به کره -که در آن یک چرخش هوا اتفاق می‌افتد- باشد؛ به دلیل تماس کم جریان همرفت هوا با قشر داخلی، حرارت به پوسته داخلی منتقل نمی‌شود و نتایج بهتری دیده می‌شود» (مشفق و ابراهیمی ۱۳۸۷).

٤. عملکرد حرارتی انواع مختلف سقف گنبدی دوپوسته با لایه‌ی میانی هوا[۲۷]

لازم به توضیح است هر نرم‌افزاری به منظور انجام محاسبات، ساده‌سازی‌هایی انجام می دهد. علاوه بر آن در پژوهش حاضر ساده‌سازی‌هایی نیز صورت گرفته است؛ از جمله اینکه در شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار فلوئنت جواب به دست آمده یک جواب تقریبی با ساده‌سازی دوبعدی است و تشعشع خورشید در آن تقریب خورده است. برای

Archive of SID

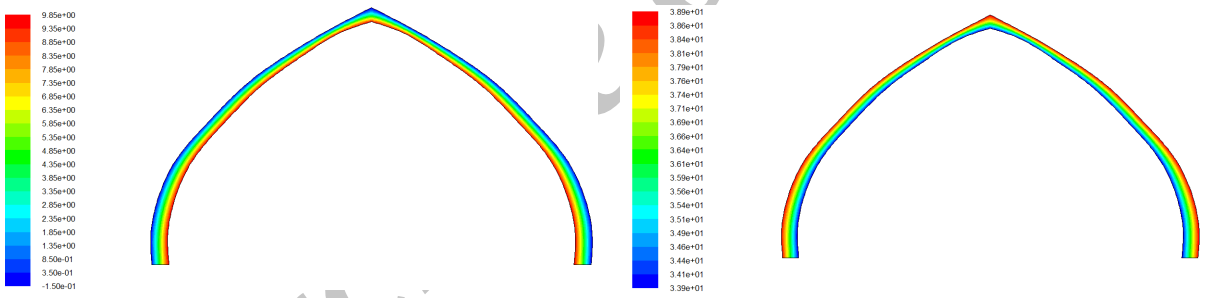
www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

آن که حصول حل دقیق، باید حل به شکل سه‌بعدی انجام می‌شد؛ زیرا تأثیر تشعشع خورشید ماهیتی سه‌بعدی دارد. در صورت عدم ساده‌سازی نیاز به نیروهای متخصص و راه‌حل‌های تخصصی می‌باشد که مطالب را فراتر از بحث حاضر پیش می‌برد و به ساده‌سازی‌ها اکتفا شده است. همچنین شبیه‌سازی در نرم‌افزار اکوتکت و دیزاین‌بیلدر در پیش‌فرض نرم‌افزار شرایط پایدار[۲۸] در نظر گرفته می‌شود. چنانکه ساعات روز را به سه بخش ۸ ساعته تقسیم نمود؛ بازه‌ی زمانی ۶-۱۰ و ۱۸-۲۲ با دمای متوسط، بازه‌ی زمانی ۱۰-۱۸ با دمای حداکثر و بازه‌ی زمانی ۲۲-۶ دمای حداقل خواهد بود. در این صورت با توجه به ظرفیت گرمایی بالای جداره‌ها، طی بازه‌ی زمانی دمای حداکثر هنوز گرمای سطح گرمتر به سطح سردتر نرسیده که وارد بازه‌ی دمای متوسط و سپس بازه‌ی دمای حداقل می‌شود؛ و گرما شروع به بازگشت به سمت سردتر جداره می‌کند. بنابراین جواب‌های واقعی همواره تابعی از زمان خواهند بود (فولادی ۱۳۹۳، ۱۲۲)؛ و نتیجه‌های پایدار نتیجه‌های واقعی فیزیکی در این مسأله نیستند؛ چرا که سیال هوا بعد از ۸ ساعت دمای حداکثر به مرحله پایدار وارد نشده است و شب هنگام، با کم شدن دمای محیط رفتار سیال نیز شروع به تغییر می‌کند. بنابراین، هیچگاه به حالت پایدار نخواهد رسید. اما جواب‌های پایدار نشان می‌دهند که شرایط مرزی، سیال را به چه جهتی هدایت می‌کند و برای درک رفتار سیال هوا و تأثیر آن بر تغییرات دما مناسب خواهد بود.

٤-١. آزمون ۱: گنبد با یک پوسته

چنانچه پوسته‌ی خارجی در تبادل مستقیم با محیط در نظر گرفته شود؛ شکل پوسته‌ی خارجی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود؛ بنابراین پوسته‌ی داخلی حذف شده تا تأثیر تک‌پوسته بودن سقف گنبدی نسبت به سقف مبنا مورد قیاس قرار گیرد. در این آزمون سقفی که مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ سقف تک‌پوسته ایست با شکل گنبد ناری مبنا که همانطور که در تصویر ۲ مشخص است؛ تنها مدل انتقال حرارت از بدنه‌ی آجری سقف، در شرایط تابستان و زمستان[۲۹] به شکل هدایت می‌باشد.



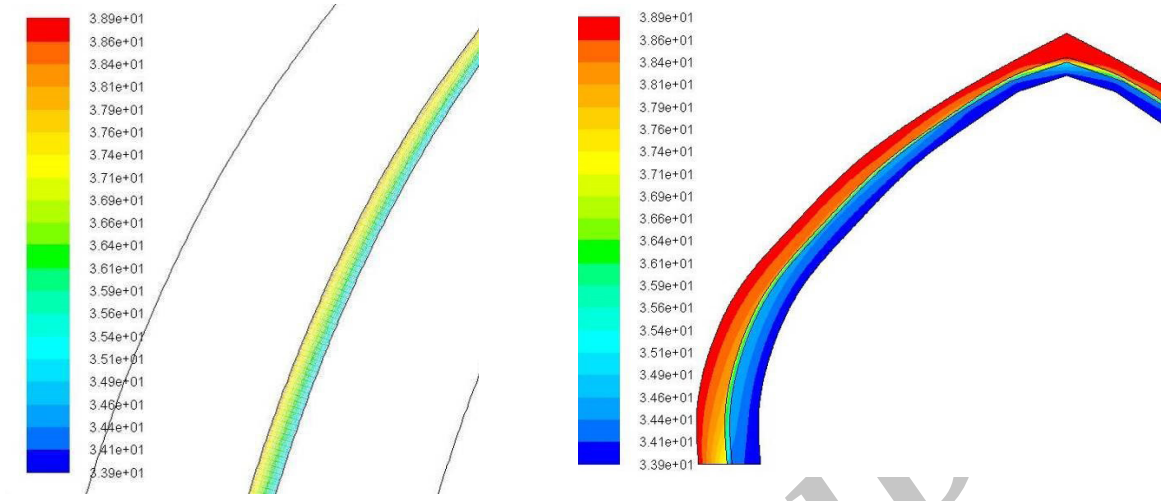
تصویر ۲. نمودار سطوح هم‌دما در مقطع عمودی پوسته‌ی خارجی گنبد مبنا. راست: تابستان، روز با اختلاف دما حدود ۵ درجه بین داخلی‌ترین سطح و خارجی‌ترین سطح پوسته. چپ: زمستان شب با اختلاف دما حدود ۱۱٫۵ درجه بین داخلی‌ترین سطح و خارجی‌ترین سطح پوسته بر حسب درجه سانتی گراد (نرم‌افزار فلوئنت)

٤-٢. آزمون ۲: کاهش ضخامت لایه هوا میان دو پوسته

حال اگر پوسته‌ی سقف آزمون ۱ به شکل دو لایه و بدون جریان همرفت سیال میان دولایه، در نظر گرفته شود؛ در این حالت سقف فرضی مورد بررسی قرار می‌گیرد که دو لایه از گنبد ناری مشابه گنبد مبنا روی یکدیگر با فاصله ۵ سانتی‌متر فضای پر شده از هوا، قرار گیرد. همانطور که در تصویر ۳ مشاهده می‌شود؛ رنگ‌های نماینده‌ی سطوح هم‌دما همواره موازی یکدیگرند. همچنین می‌توان در عکس بزرگنمایی شده‌ی خطوط جریان دید که هیچ گردابه‌ای در سیال شکل نمی‌گیرد. وجود نداشتن گردابه باعث می‌شود که این سقف‌ها از نظر تبادل حرارت به روش هدایت بهتر از سقف مدل مبنا عمل کند بنابراین انتقال حرارت کمتر خواهد بود.

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

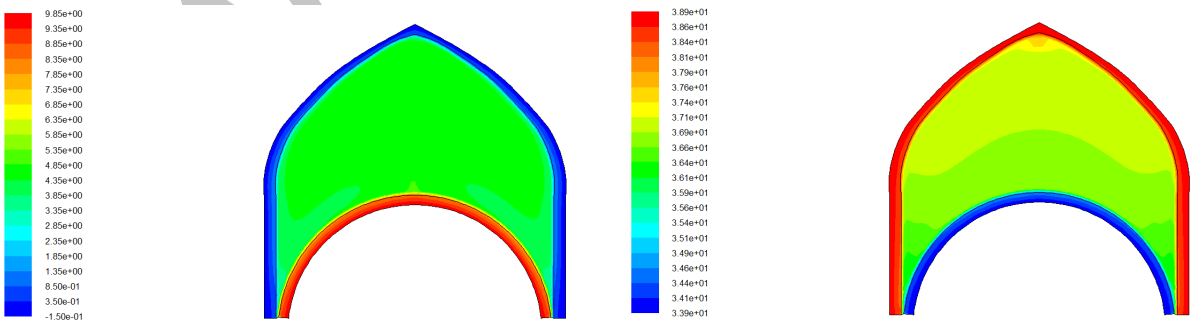


تصویر ۳. نمودار سطوح هم دما در مقطع عمودی گنبد دو پوسته با ۵ سانتی‌متر لایه‌ی میانی هوا در تابستان، روز.
راست: مقطع عرضی. چپ: بزرگنمایی لایه‌ی میانی هوا در مقطع عرضی، بر حسب درجه سانتی‌گراد (نرم‌افزار فلوئنت)

۳-٤. آزمون ۳: افزایش فاصله‌ی میان دو پوسته

در این آزمون در مقایسه با آزمون‌های ۱ و۲، با افزایش فاصله میان دو پوسته، تأثیر ایجاد جریان همرفت در انتقال حرارت میان دو پوسته مورد آزمون قرار می‌گیرد. بنابراین با افزایش فاصله میان دو پوسته با استفاده از ساقه ۳ متری رفتار گنبد دوپوسته در شرایط تابستان و زمستان مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شرایط تابستان، روز، با توجه به طرحواره تصویر ۴، تجمیع هوای گرم در نوک گنبد وجود دارد؛ اما به دلیل فاصله‌ی زیاد مابین دو پوسته هوای با گرم‌تر، از پوسته‌ی زیرین فاصله بیشتری دارد. همچنین با توجه به طرحواره‌ی خطوط جریان در تصویر ۵، جمع‌آوری حرارت در سطح زیرین پوسته‌ی خارجی توسط دو گردابه‌ی بزرگ صورت گرفته است. در تصویر ۶، خطوط سرعت جریان یکپارچه بوده و تأییدی بر این مدعا است. شب هنگام با کاهش دمای خارج گرمای جمع شده در نوک گنبد به بیرون انتقال داده می‌شود. در حالت زمستان، در تصویر ۴ دیده می‌شود که تجمیع گرما زیر سطح داخلی از پوسته‌ی خارجی کم بوده و حرارت به سرعت به خارج منتقل شده است؛ زیرا گردابه‌ها سرعت و شدت بیشتری نسبت به حالت تابستان دارند (تصویر ۵ و ۶). بنابراین انتقال حرارت با سرعت بیشتری صورت خواهد گرفت که در حالت زمستان مطلوب نیست.

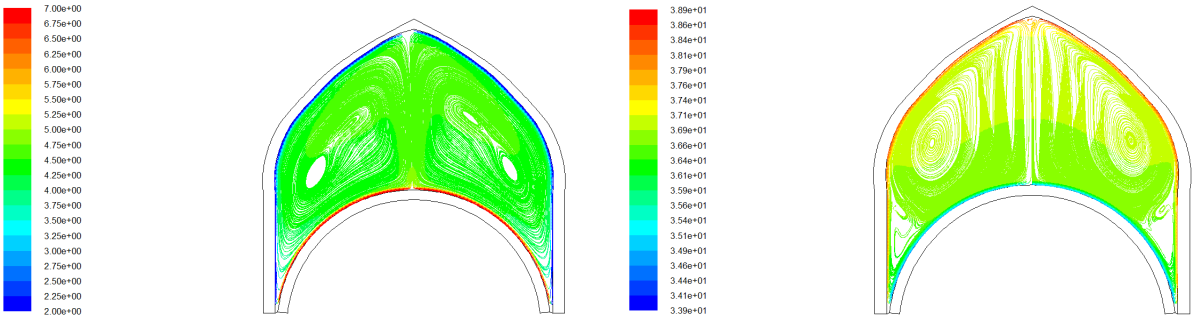
٤-٤. آزمون ٤: گنبد کروی متناظر با گنبد مبنا



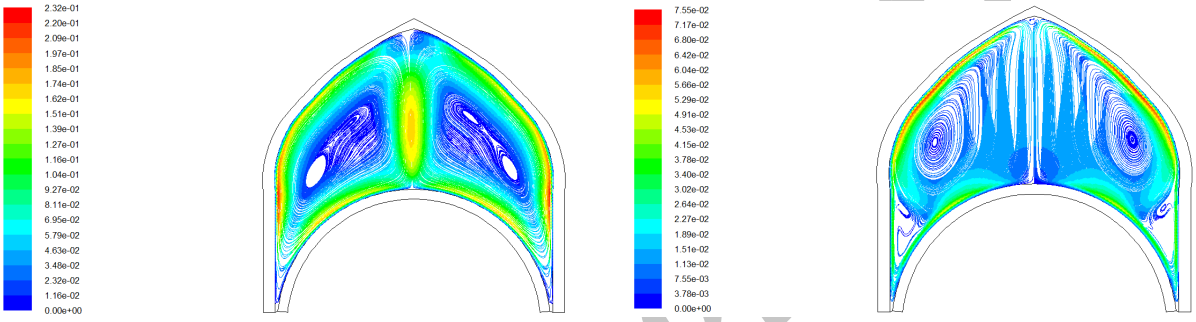
تصویر ۴. نمودار سطوح هم‌دما در مقطع عمودی گنبد دو پوسته با ۳ متر لایه‌ی میانی هوا در
راست: تابستان، روز. چپ: زمستان شب، بر حسب درجه سانتی گراد (نرم‌افزار فلوئنت)

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018



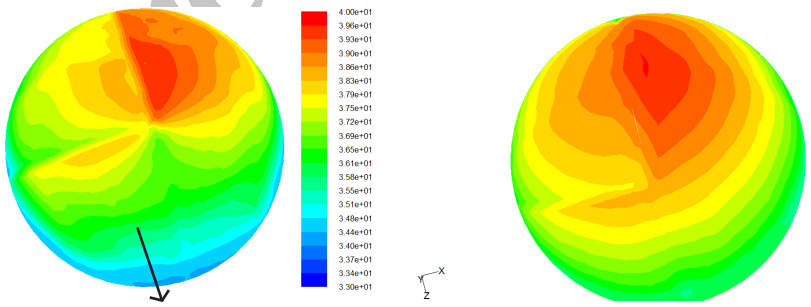
تصویر ۵. نمودار خطوط جریان دما در مقطع عمودی گنبد دو پوسته با ۳ متر لایه‌ی میانی هوا در راست: تابستان، روز. چپ: زمستان، شب. بر حسب درجه سانتی‌گراد (نرم‌افزار فلوئنت)



تصویر ۶. نمودار خطوط سرعت جریان در مقطع عمودی گنبد دوپوسته با ۳ متر لایه میانی هوا در راست: تابستان، روز(بین ۰,۰۰۳ –۰,۷۵) چپ: زمستان، شب (بین ۰,۰۱–۰,۲). بر حسب متر بر ثانیه (نرم‌افزار فلوئنت)

در مقایسه‌ی گنبد مبنا با گنبد قطاع کره در تصویر ۷ مشاهده می‌شود سطح گنبد ناری، به دلیل اینکه مساحت بیشتری را هنگام تابش در نیمسایه دارد؛ نسبت به سطح قطاع کروی متناظر انرژی تابشی کمتری را جذب می‌نماید. بنابراین، در فصل گرم سال به لحاظ حرارتی عملکرد مناسب‌تری خواهد داشت. البته یادآور می‌شود که تابش هرچه عمودی‌تر صورت گیرد؛ این اختلاف کمتر خواهد شد.

۵-۴. آزمون ۵: گنبد مبنا با پوشش خارجی سنتی



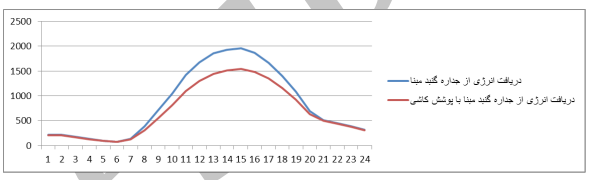
تصویر ۷. نمودار سطوح هم‌دما در سطح خارجی. راست: گنبد مبنا. چپ: گنبد قطاع کره متناظر با گنبد مبنا. در ساعت ۱۵ روز ۴ ژولای در کاشان. دما متغیر بین ۳۳–۴۰ درجه سانتی گراد. سمت شمال پایین است. (نرم‌افزار فلوئنت)

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

کاشی

پوشش خارجی گنبد مبنا با مصالح آجر با رنگ روشن می‌باشد؛ در این بخش به سطح خارجی آن پوشش کاشی سنتی افزوده شده تا تأثیر آن بر دریافت انرژی تابشی در تابستان، سنجیده شود. با توجه به اینکه جذب انرژی در ماه ژولای از مابقی ماهای سال، بیشتر است با توجه به تصویر ۸، در قیاس میان گنبد آزمون و گنبد مبنا مشاهده می‌شود از ساعت ۷ تا ۲۰ در طول روز در ماه ژولای جذب انرژی در گنبد با پوشش کاشی به میزان حداکثر تا ۵۰۰ وات کاهش داشته است. چنانچه در تصویر ۷ (شکل راست) دیده می‌شود؛



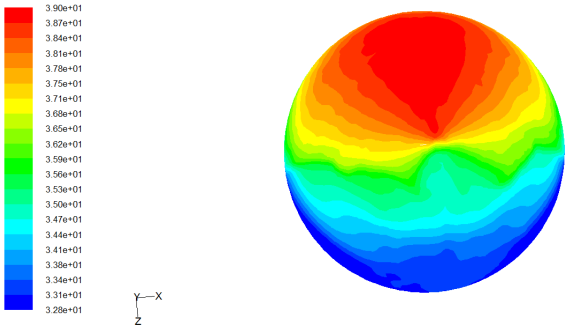
تصویر ۸. نمودار مقایسه میان دریافت انرژی از جداره‌ی گنبد مبنا و گنبد مبنا با پوشش کاشی در ماه ژولای (بیشترین میزان جذب در این ماه اتفاق افتاده است). آبی: دریافت انرژی از سطح گنبد مبنا. قرمز: دریافت انرژی از سطح گنبد مبنا با پوشش کاشی. محور افقی، ساعات روز و محور عمودی، انرژی جذب شده بر حسب وات. (نرم‌افزار اکوتکت)

٤-٦. آزمون ٦: ایجاد دریچه در پوسته‌ی خارجی گنبد مبنا

حالتی که در این مرحله بررسی شده است؛ گنبدی دوپوسته مانند حالت مبناست با این تفاوت که دریچه‌هایی بر روی گنبد بالایی تعبیه شده است که هوای گرم جمع شده در میان دو گنبد از طریق آنها تخلیه شوند؛ این حالت در تابستان کاربرد خواهد داشت.

در طرحواره‌ی دما در مقایسه دو حالت در تصویر ۱۰ دیده می‌شود که در گنبد با افزودن دریچه‌ی تجمیع حرارت بین دو پوسته وجود ندارد؛ زیرا هوای گرمتر توسط جریان وارد شده از دریچه‌های رو به باد از سوی مخالف خارج شده است. در طرحواره‌ی خطوط جریان تصویر ۱۱ مشخص است که گردابه‌های کناری گنبد با سرعت بیشتر شکل گرفته‌اند و این نشان می‌دهد که پدیده‌ی پمپاژ حرارتی

بازه‌ی دمای سطح خارجی گنبد مبنا از ۳۵ تا ۴۰ درجه متغیر می‌باشد و در مقایسه با تصویر ۹ که نماینده‌ی بازه‌ی دمای سطح خارجی گنبد با پوشش کاشی بین ۳۲ تا ۳۹ درجه می‌باشد؛ دمای بالاتری را نشان داده است. مورد دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد؛ این که دمای حداکثر (دمای ۳۷ به بالا) در گنبد با پوشش کاشی مساحت کمتری را نسبت به گنبد مبنا به خود اختصاص داده است و مساحت بیشتری از سطح خارجی آن به دمای پایین‌تر از ۳۶ درجه اختصاص دارد. در این صورت مطالب ذکر شده در توضیحات تصویر ۸ را تأیید نموده است.



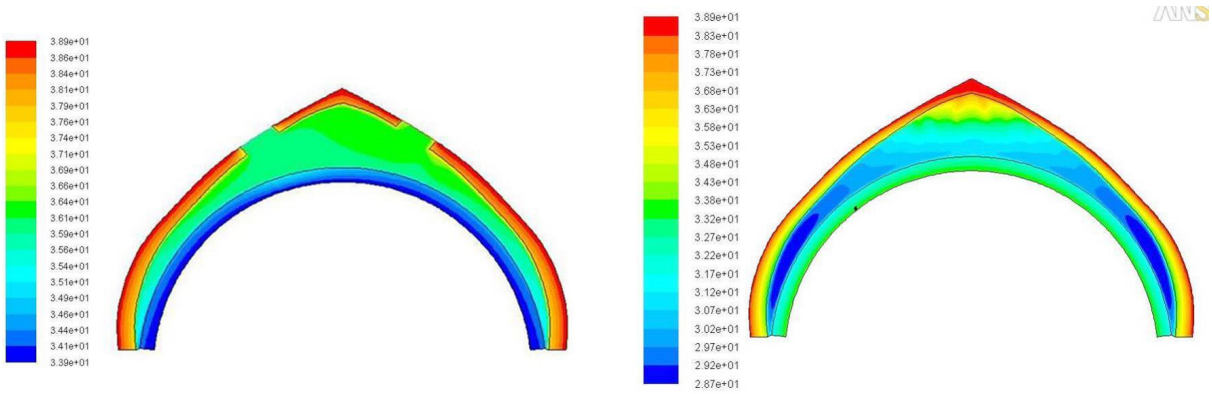
تصویر ۹. نمودار سطوح هم‌دما در سطح خارجی گنبد مبنا با پوشش کاشی در ساعت ۱۵ روز ۴ ژولای در کاشان. دما متغیر بین ۳۳-۳۹ درجه سانتی‌گراد. سمت شمال در راستای پیکان می‌باشد. (نرم‌افزار فلوئنت)

اتفاق می‌افتد و گرما را به بیرون می‌راند. می‌توان این گونه استدلال کرد که تبادل سریع هوا باعث می‌شود که در شب‌های تابستان ساختمان زودتر و بیشتر خنک شود و برای روز که دما حالت بحرانی دارد؛ دمای داخل مناسب‌تر خواهد بود؛ یعنی حرارت جمع‌شده‌ی روز بهتر تخلیه می‌شود. البته طرح گنبدهای دریچه‌دار در زمستان بازدهی مناسب ندارند؛ چرا که موجب از دست رفتن انرژی بیشتری می‌شوند .

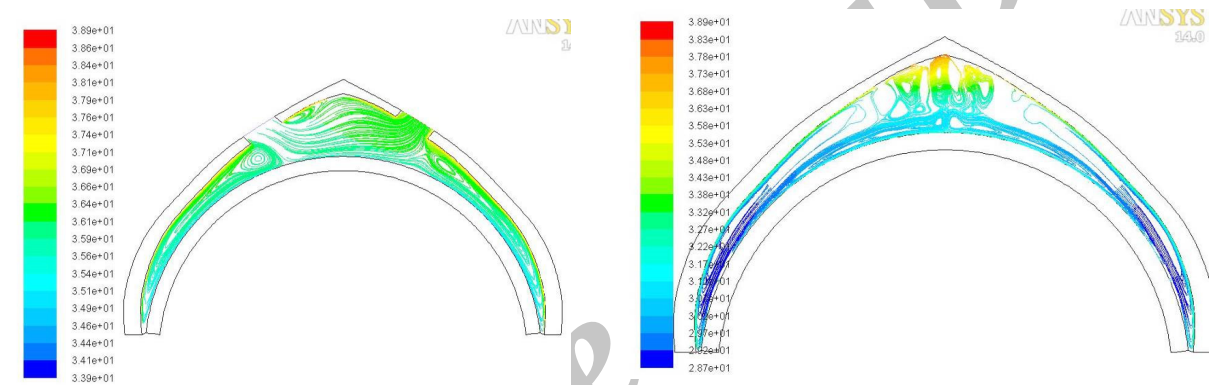
Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018



تصویر ۱۰. نمودار سطوح هم‌دما در مقطع عمودی گنبد در تابستان، روز. راست: گنبد مبنا. چپ: گنبد مبنا با افزودن دریچه. دما بین۳۴-۴۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است) (نرم‌افزار فلوئنت)



تصویر ۱۱. نمودار خطوط جریان دما در مقطع عمودی گنبد در تابستان، روز. راست: گنبد مبنا. چپ: گنبد مبنا با افزودن دریچه. بر حسب درجه سانتی‌گراد (نرم‌افزار فلوئنت)

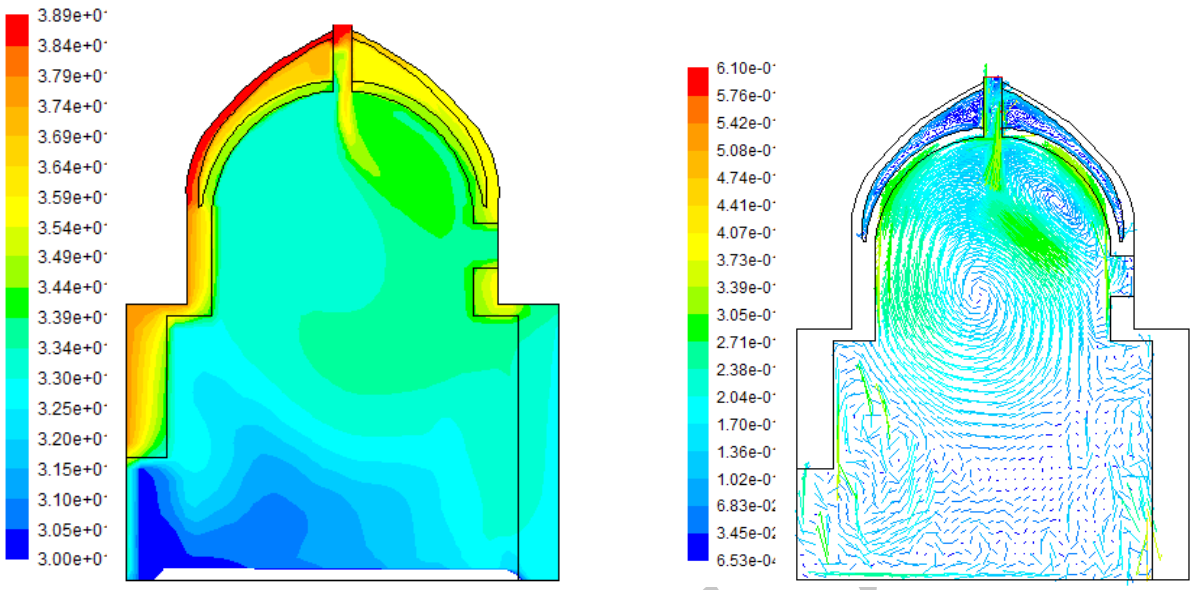
٤-۷. آزمون ۷: تعبیه‌ی بادخان در رأس گنبد مبنا

در مقایسه‌ی نمودار دما مکان در تصویر ۱۳ مشاهده می‌شود دمای هوای داخل در مدل دارای بادخان به طور میانگین دمای پایین‌تری را نشان می‌دهد. در صورتی که بادخان در رأس گنبد مبنا تعبیه گردد؛ مشابه تصویر ۱۲، مشاهده می‌شود که جهت جریان در بادخان به سمت بالا است. زیرا که در هوای آزاد بالای بادخان در صورت وزش باد محوطه کم فشار شکل می‌گیرد و هوای گرم با چگالی کمتر، تحت فشار هوای با چگالی بیشتر به سمت بالا حرکت می‌کند. ذاتاً کم شدن چگالی نمی‌تواند علتی برای بالا رفتن سیال باشد؛ بلکه در مواجه با سیال چگال‌تر جایشان را با هم عوض می‌کنند. در واقع می‌توان دید که گردابه‌ای تحت تأثیر مکش بادخان ایجاد شده است و جریان عمودی هوای داخل دیده می‌شود. شایان ذکر است این آزمایش در زمستان، مطلوب نیست. بنابراین دریچه‌های بادخان در زمستان بسته خواهند بود.

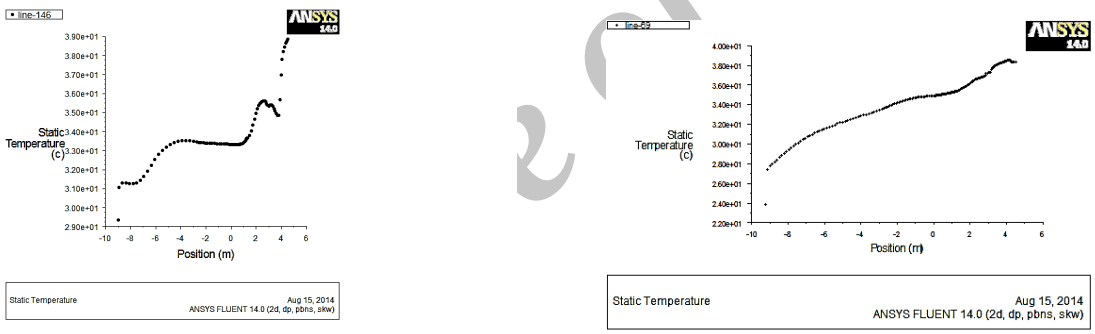
Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018



تصویر ۱۲. نمودار نمایش سطوح هم‌دما در مقطع عرضی ساختمان مبنا در حالت گنبد همراه بادخان در رأس آن. در شرایط تابستان، روز. بر حسب درجه سانتی‌گراد. راست: نمودار سرعت خطوط جریان دما. چپ: نمودار نمایش سطوح هم‌دما (نرم‌افزار فلوئنت)



تصویر ۱۳. نمودار دما مکان در محور مرکزی مقطع عرضی ساختمان مبنا در شرایط تابستان، روز. محور عمودی: دما بر حسب درجه سانتی‌گراد. محور افقی: مکان و نقطه صفر آن نماینده مرکز گنبد می‌باشد. راست: در حالت گنبد مبنا. چپ: گنبد مبنا همراه بادخان در رأس آن (نرم‌افزار فلوئنت)

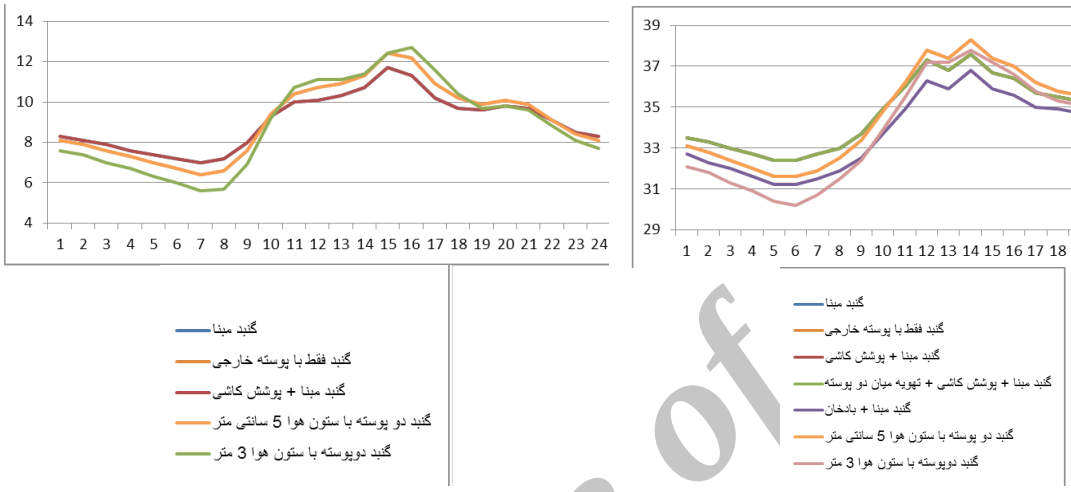
۵. مقایسه‌ی نتایج تغییرات در شاکله‌ی هندسه‌ی گنبد مبنا

با توجه به جرم حرارتی بالا در دیوارها تغییراتی که در شاکله‌ی هندسی گنبد ایجاد می‌شود؛ تنها موجب تغییرات اندک در میانگین دمای داخلی بنا می‌شود. لذا، در صورتی که جرم حرارتی دیوارها کم شود؛ تأثیرات تغییر شکل سقف بر دمای داخلی اهمیت زیادی خواهد داشت. در تصویر ۱۴ مقایسه‌ی تغییرات دما و تأثیر هندسه‌ی سقف بر آن مورد بررسی است و کمترین میزان تغییر مدنظر قرار گرفته است. در نرم‌افزار اکوتکت میانگین دمای داخلی در حالت گنبد مبنا و گنبد مبنا با پوشش کاشی در حالت زمستان و تابستان و گنبد مبنا در حالتی که هوای مابین دو پوسته تهویه شود؛ در حالت تابستان با یکدیگر مورد قیاس قرار گرفتند؛ اما نتایج بر هم منطبق شد. وجود بادخان حدود ۱ درجه کاهش دما در تابستان را نشان می‌دهد. در حالت بنا با گنبد دوپوسته و لایه میانی هوا بین دوپوسته برابر با ۳ متر در حالت تابستان و زمستان در ساعات ۱۰–۱۸ دمای داخلی بالاتر از حالت مبنا و در بقیه ساعات روز دمای پایین‌تر از حالت مبنا را نشان داده است. نیز حذف

www.SID.ir

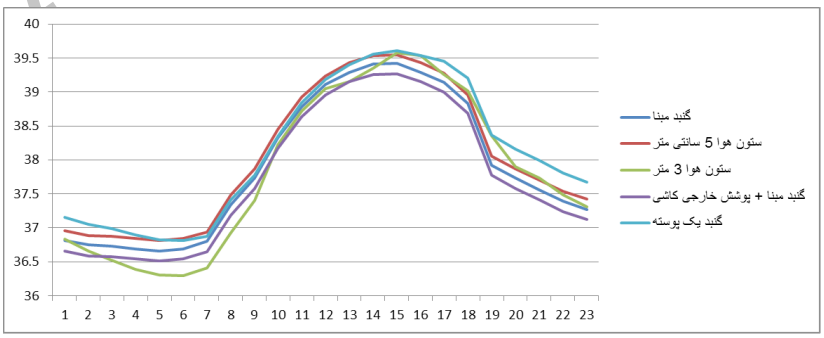
Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

پوسته داخلی موجب شده تا در ساعات حداقل روزانه دمای داخلی پایین‌تر و در ساعات حداکثر روزانه دمای داخلی بالاتر از حالات دیگر در زمستان و تابستان باشد. در حالت گنبد دو پوسته با لایه‌ی میانی هوا ۵ سانتی‌متر تغییری در میانگین دمای داخلی نسبت به گنبد تک‌لایه مشاهده نمی‌شود و بر آن منطبق است. بنابراین، تطبیق میانگین دمای داخلی در حالات مختلف گنبد با یکدیگر نشان‌دهنده‌ی دقت پایین در محاسبات در نرم‌افزار اکوتکت می‌باشد؛ که به علت ضخامت زیاد جداره‌های ساختمان و جرم حرارتی بالا، تغییر میانگین دمای داخل در نرم‌افزار اکوتکت در حالت‌های مذکور قابل اندازه‌گیری نیست. همچنین می‌توان دریافت تغییر مصالح در نتایج نهایی این نرم‌افزار تأثیر چندانی نخواهد داشت و تنها در تغییر شکل هندسی تغییرات قابل مشاهده است.



تصویر ۱۴. نمودار مقایسه‌ی میانگین دمای داخلی گنبد در حالات مختلف. بالا: ۴ ژولای ، پایین: ۲۰ ژانویه . محور افقی، ساعات روز و محور عمودی، دما بر حسب سانتی‌گراد (نرم‌افزار اکوتکت)

با توجه به دستاوردهای (فولادی ۱۳۹۳، ۱۲۹) بیشترین تشابه تخمین میانگین دمای داخل بنا با نتایج حاصل از برداشت میدانی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر صورت گرفته است و با توجه به محدودیت‌های کاربر گرافیکی این نرم‌افزار حالاتی که قابلیت مدلسازی داشته‌اند؛ مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. طبق تصویر ۱۵ و جدول ۱، گنبد با پوشش خارجی کاشی کمترین دمای داخلی بنا را در تابستان و بیشترین میزان دما را در زمستان نشان داده‌است. نتایج حاصل از حالات بنا با گنبد دوپوسته با هوای میانی ۵ سانتی‌متر و گنبد یک‌پوسته در تابستان دمای بالاتری از حالت مبنا و در زمستان دمای پایین‌تری را نسبت به حالت مبنا نشان داده‌اند. در حالت بنا با گنبد دوپوسته با فاصله میانی ۳ متر در تابستان از ساعت ۱۰ تا ۲۰ دمای بالاتر و در ساعات دیگر دمای پایین‌تر از حالت مبنا را نشان داده است و در زمستان نیز کمترین دمای داخلی را در بنا موجب شده است.



تصویر ۱۵. نمودار مقایسه‌ی دمای ساعتی نمونه‌های مورد آزمون در ۴ ژولای. محور افقی، ساعات روز و محور عمودی، دما بر حسب سانتی‌گراد. (نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر)

Archive of

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

جدول ۱. مقایسه‌ی دمای هوای داخل بنا در نمونه‌های مورد آزمون در یک روز مشخص در تابستان و زمستان. بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد (محاسبات توسط نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر)

	گنبد مبنا	ستون هوا ۳ متر	ضخامت هوا ۵ سانتی‌متر	گنبد مبنا با پوشش کاشی	گنبد یک‌پوسته
تابستان	۳۷,۹۰	۳۷,۸۴	۳۸,۰۴	۳۷,۷۵	۳۸,۱۳
زمستان	۴,۶۹	۳,۹۴	۴,۶۶	۴,۷۰	۴,۲۵

چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود
گنبد با یک پوسته در حالت تابستان و زمستان تفاوت بسیار زیادی در مقایسه با شار حرارتی در حالات دیگر دارد.
در حالت تابستان به ترتیب، گنبد با ستون هوای میان دوپوسته به ارتفاع ۳ متر کمترین میزان شار حرارتی، گنبد با تهویه هوای میان دوپوسته، گنبد با لایه‌ی میانی هوا ۵ سانتی‌متر و گنبد مبنا بیشترین میزان شار حرارتی را در گنبدهای دوپوسته نشان می‌دهند.
در حالت زمستان به ترتیب ، گنبد مبنا کمترین میزان شار حرارتی، گنبد با هوای میان دوپوسته به ارتفاع ۳ متر، گنبد با لایه‌ی میانی هوا ۵ سانتی‌متر و گنبد با تهویه‌ی هوای میان دوپوسته، بیشترین میزان شار حرارتی را در گنبدهای دوپوسته نشان می‌دهند.

جدول ۲. مقایسه‌ی شار حرارتی در نمونه‌های مورد آزمون در تابستان از خارج به داخل و زمستان از داخل به خارج. برحسب ژول بر ثانیه (وات)، (محاسبات توسط نرم‌افزار فلوئنت)

	فقط پوسته‌ی خارجی	گنبد مبنا + تهویه میان دو پوسته	ستون هوا ۳ متر	ضخامت هوا ۵ سانتی‌متر	گنبد مبنا
تابستان	۶۰۱۰۶,۹۷	۳۰,۱۳	۲۴,۸۶	۳۷,۶۳	۴۵,۱۹
زمستان	۱۲۰۱۵۳,۸	۹۹,۱۷	۷۲,۳۲	۸۳,۹۹	۵۸,۷۴

در مقایسه‌ی حالات تابستانی و زمستانی در کل شار حرارتی در زمستان بیشتر است و به جز حالت گنبد مبنا، در مابقی حالات شار حرارتی در زمستان از ۲ برابر شار حرارتی در تابستان بیشتر می‌باشد و ایجاد گردابه‌های داخلی قوی‌تر با سرعت جریان بیشتر در زمستان را توجیه می‌نماید.

٦. جمع‌بندی

عملکرد حرارتی انواع مختلف سقف گنبدی دوپوسته با لایه‌ی میانی هوا توسط نرم‌افزارهای منتخب، شبیه‌سازی و مورد قیاس قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که دولایه نمودن گنبد فارغ از فاصله‌ی لایه‌ها از یکدیگر به تنهایی در تأمین شرایط آسایش روزهای گرم و سرد سال به لحاظ کاهش هدایت گرما از خارج به داخل و بالعکس به طور چشمگیری مؤثر خواهد بود.
شاکله‌ی گنبد ناری به لحاظ جذب انرژی تابش (مستقیم و غیرمستقیم) نسبت به شکل قطاع کره متناظر (مساحت برابر) به دلیل اینکه مساحت بیشتری از سطح آن در نیمسایه قرار می‌گیرد؛ انرژی کمتری جذب نموده در روزهای گرم مناسب‌تر می‌باشد.
در صورتی که سطح خارجی گنبد مبنا با کاشی روشن و براق پوشانده شود؛ جذب انرژی تابشی را کاهش می‌دهد و درنتیجه هوای داخل در تابستان دمای کمتری خواهد داشت.
هوا با قطر کم (به عنوان مثال ۵ سانتی‌متر) به گونه‌ای که انتقال حرارت از طریق همرفت صورت نگیرد؛ به عنوان عایق حرارتی عمل می‌نماید. در این صورت انتقال حرارت تنها به صورت هدایت خواهد بود. در مقایسه با گنبد مبنا در روزهای گرم که هوای گرم‌تر در زیر رأس گنبد جمع‌آوری شده است؛ با خنک شدن هوا گرما را دیرتر به بیرون منتقل می‌نماید؛ در نتیجه هوای داخلی دمای بالاتری را تجربه خواهد کرد. گرمایی که در طول روز در حالت گنبد مبنا

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

از پوسته خارجی عبور کرده؛ در فضای مابین دوپوسته در بالاترین قسمت، جمع می‌شود و با خنک شدن هوا به بیرون منتقل می‌شود. در روزهای سرد نیز از آنجا که فضای حد فاصل بین سرمای خارج و گرمای داخل وجود ندارد؛ گرمای داخل سریع‌تر به خارج منتقل خواهد شد. در نتیجه در حالت گنبد دوپوسته با لایه‌ی میانی هوا با قطر حداقل در تابستان هوای گرم‌تر و در زمستان هوای سردتری خواهیم داشت.

در حالتی که فاصله‌ی میان دو پوسته با هوا به ارتفاع ۳ متر پر شود؛ گرما در بالاترین قسمت آن جمع خواهد شد و فاصله‌ی زیادی از سطح پوسته داخلی خواهد داشت و با وجود اینکه گردابه‌های داخلی به صورت کامل و با سرعت و قدرت بیشتر نسبت به حالت مبنا شکل می‌گیرند؛ در تابستان روز و شب مدت زمان بیشتری نیاز است تا گرمای خارج به داخل و داخل به خارج منتقل شود؛ اما در شب زمستان که گرما زیر پوسته زیرین گنبد جمع شده؛ پس از انتقال به هوای فضای میانی گنبد، نسبت به حالت مبنا به دلیل وجود گردابه‌های قوی‌تر، گرما سریع‌تر به خارج منتقل خواهد شد. در نتیجه در زمستان هوای داخل سردتر خواهد بود.

وجود تهویه‌ی هوا میان دوپوسته موجب تخلیه شدن گرمای جمع شده در فضای مابین دوپوسته خواهد شد و در تابستان دمای هوای داخل را می‌کاهد.

علاوه بر آن وجود دریچه (بادخان) در رأس گنبد باعث می‌شود فشار منفی حاصل از وزش باد به سطح خارجی گنبد، هوای گرم داخل جمع شده در زیر سطح زیرین پوسته داخلی را به بیرون بکشد و از این طریق ضمن خروج گرما، تهویه‌ای در داخل شکل گیرد؛ که در شرایط تابستان مطلوب می‌باشد.

۷. نتیجه

در پژوهش حاضر با فرض اینکه معماری بومی برای سال‌های متمادی با کمترین نیاز به سوخت فسیلی، پاسخگوی شرایط آسایش انسانی بوده است؛ استفاده از طراحی معماری بومی و سنتی و با راهکارهای نوین در جهت کاهش مصرف انرژی و طراحی معماری پایدار مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه گنبد دوپوسته یکی از عناصر معماری بومی ایران است؛ در این راستا بهترین شاکله‌ی هندسی گنبد دوپوسته در اقلیم کویری کاشان و اقلیم‌های مشابه به قرار زیر معرفی گشت؛

گنبدی دوپوسته با پوسته‌ی خارجی به شکل ناری، که پوسته‌ی داخلی و خارجی نسبت به هم دارای تناسباتی نزدیک به تناسبات گنبد مبنا (گنبد بقعه چهل دختران کاشان) باشد.

در شرایط گرم تابستان؛

ایجاد دریچه‌ی رو به باد در یک سمت و پشت به باد در سمت مخالف در پوسته‌ی خارجی جهت تخلیه‌ی هوای گرم جمع شده در زیر پوسته‌ی خارجی در کاهش دمای هوای داخلی مؤثر خواهد بود.

همچنین، تعبیه‌ی بادخان در رأس گنبد به منظور تخلیه هوای گرم جمع شده زیر پوسته‌ی داخلی، در کاهش دمای هوای داخل بنا و نیز ایجاد تهویه‌ی طبیعی تأثیر خواهد داشت.

ایجاد پوشش خارجی کاشی به لحاظ ماهیت روشن و براقی که داراست؛ میزان جذب انرژی تابشی را کاهش خواهد داد.

در شرایط سرد زمستان؛

گنبد دوپوسته معرفی شده در بالا، با بستن دریچه‌های پوسته‌ی خارجی و دریچه‌های بادخان حالت مطلوب خواهد بود.

در صورتی که مدل مذکور توسط نیروهای متخصص به مدلی بهینه با مصالح سبک و نوین ارتقا یابد؛ جهت پوشش سقف بناهای عمومی شهری (به خصوص آتریوم میانی) نظیر مساجد، مدارس، مراکز اداری و تجاری و... مناسب خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

پی‌نوشت

۱. EIA
۲. Thomsen
۳. Schultz
۴. Mesoclimate
۵. Autodesk Ecotect
۶. Energy Plus
۷. Design Builder
۸. Fluent
۹. Steady
۱۰. Fathy
۱۱. Mainstone
۱۲. Bowen
۱۳. Kita
۱۴. Tang. R.
۱۵. Gomez
۱۶. Parker
۱۷. Bahadori
۱۸. Haghighat
۱۹. Faghih
۲۰. Pearlmutter
۲۱. Al-Jawadi
۲۲. Al-Sudany
۲۳. Biwole
۲۴. Khalil
۲۵. Miranville
۲۶. Chang

۲۷. در کلیه‌ی آزمون‌ها اختلاف دمای داخل و خارج بنا ۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است.
۲۸. Steady: منظور از جواب پایدار جوابیست که تابعی از زمان نباشد.
۲۹. در تمامی نمودارها، شرایط زمستانه کمترین دما در شب ۲۰ ژانویه ۲۰۱۴ می‌باشد که با توجه به برداشت میدانی دمای داخلی بنا ۹,۸۵ درجه و دمای خارج بنا ۰,۱۵- درجه در نظر گرفته شده است. شرایط تابستانه نیز اوج دما در ظهر روز ۴ ژولای همان سال می‌باشد که با توجه به برداشت میدانی دمای داخلی بنا ۳۳,۹ درجه و دمای خارج بنا ۳۸,۹ درجه در نظر گرفته شده است.

منابع

۱. احمدی، عباس. ۱۳۸۴. *اثرات شکل و ساختار سقف در سرمایش ساختمان و مصرف انرژی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک. تهران: دانشگاه تربیت مدرس.
۲. سرپوشان، سعید، و محمود یعقوبی. ۱۳۸۱. محاسبه‌ی انرژی خورشید روی سطوح سه‌بعدی. *نشریه انرژی ایران* ۷ (۱۳): ۳- ۲۱.
۳. فارسی محمدی پور، علیرضا. ۱۳۸۸. *بررسی رابطه‌ی سطح، حجم و فرم بنا با تابش برای تولید برق خورشیدی در منطقه‌ی گرم و خشک ایران*. رساله دکتری تخصصی معماری. تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.
۴. فقیه خراسانی، احمدرضا، و مهدی بهادری نژاد. ۱۳۸۹. تشعشع خورشید بر روی سقف‌های گنبدی شکل. در *هجدهمین همایش سالانه بین‌المللی مهندسی مکانیک ایران* (ISME ۲۰۱۰)، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۲۱ لغایت ۲۳ اردیبهشت.

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

۵. فولادی، وحدانه. ۱۳۹۳. *بررسی تأثیر اقلیم بر ویژگی‌های شکلی گنبدهای دو پوسته در منطقه گرم و خشک ایران*. رساله دکتری معماری. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
۶. مشفق، محمد، و محمد ابراهیمی. ۱۳۸۷. تعیین بهینه‌ترین زاویه نصف گنبد به ازای تشعشع خورشید برای کاهش اتلافات برودتی وارده از سقف گنبدی در شهر قم. در *ششمین کنفرانس سالانه دانشجویی مهندسی مکانیک (STU ۲۰۰۹)*، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، اسفند.
۷. مهران، سعید، منوچهر راد، و فرزاد جعفر کاظمی. ۱۳۸۷. آموزش تجزیه و تحلیل شدت تابش جذب شده توسط سقف‌های گنبدی و مورب و مقایسه‌ی آن با سقف تخت. *فصلنامه فناوری آموزش* ۲ (۴): ۲۴۹– ۲۵۸.
۸. واتسون، دانلد، و کنت لبز. ۱۳۷۲. *طراحی اقلیمی، اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان*. ترجمه‌ی وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۹. وزارت نیرو. ۱۳۹۳. *ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۹۱*. تهران: وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.

References

1. Ahmadi, Abbas. 2005. *Impacts of Form and Structure of the Ceiling in Cooling and Energy Consumption. Mechanical engineering Master's Thesis*. Tehran: Tarbiat Modarres University.
2. Al-Jawadi, Miqdad Haidar, Jamal AbdulWahid Al-Sudany. 2010. Domes and their Impact on Thermal Environment inside Buildings. XXXVII IAHS. *In World Congress on Housing*, Spain, Santander, October 26 – 29.
3. Bahadori, M. N. 1978. *Passive Cooling Systems in Iranian Architecture*. Scientific. Am. (238): 144-154.
4. Bahadori MN., Haghighat F. 1985. Passive Cooling in Hot, Arid Regions in Developing Countries by Employing Domed Roofs and Reducing the Temperature of Internal Surface. *Building and Environment* 20 (2): 103-130
5. Biwole P.H., M. Woloszyn, C. Pompeo. 2008. Heat Transfers in a Double-Skin Roof Ventilated by Natural Convection in Summer Time. *Energy and Buildings* (40): 1487–1497.
6. Bowen, A.B. 1981. Cooling Achievement in the Gardens of Moghul India. C. Bowen, K. Labs (Eds.), *In Proceeding of the International Passive and Hybrid Cooling Conference*, 27-32. Miami Beach, FL, 6–16 November.
7. Chang, P.-C. et al. 2008. Development and Preliminary Evaluation of Double Roof Prototypes Incorporating RBS (Radiant Barrier System). *Energy & Buildings* (40):140–147.
8. *Energy Information Administration.* (EIA). 1995. U.S. State Energy Data Report-95.
9. Faghih. A.K , Bahadori. M.N. 2009. *Experimental Investigation of Air Flow Over Domed Roofs.* Science & Technology: 207-216.
10. Faghih Khorasani, Ahmad Reza, and Mahdi Bahadorinezhad. 2014. Radiation on the Dome-Shaped Ceilings. *In Eighteenth Annual International Conference on Mechanical Engineering of Iran. ISME (2010)*, Tehran, Sharif University of Technology, 21 till 23 May.
11. Farsi Mohammadi poor, Ali Reza. 2009. *Investigation the Relationship between Surface, Volume and Form of the Building, by Solar Radiation to Generate Electricity, in Hot and Dry in Iran*. PhD thesis in Architecture. Tehran: Iran University of Science and Technology.
12. Fathy, H. 1973. *Architecture for the Poor*. University of Chicago Press, Chicago, London.
13. Fooladi, Vahdaneh. 2014. *The Effect of Climate on Double Skin Domes form in Hot-Arid in Iran. Ph.D. Thesis in Architecture*. Tehran: Department of Art and Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University.
14. Gomez, V, Porta, M. and C. Heard. 2003. Solar Performance of Hemispherical Vault Roofs. *Building and Environment* (38): 1431-1438.
15. Khalil, M. H, S.S. Sheble, M. S. Morsy, S. Fakhry. 2010. Thermal Performance of Exposed Composed Roofs in Very Hot Dry Desert Region in Egypt (Toshky). *In Proceedings of the Tenth International Conference for Enhanced Building Operations*, Kuwait, October 26-28.
16. Koita, Y. 1981. Comfort Attainment in Moghul Architecture. *In Proceedings of the International Passive and Hybrid Cooling Conference*, 32-36. Miami Beach, FL.
17. Mainstone, R. J. 1983. *Developments in Structural Form*. M.L.T. Cambridge Press.
18. Mehran, Saeed, Manuchehr, and Farzad Jafar Kazemi. 2008. Training of Analysis and Comparison of Radiation Intensity Absorbed by Dome and Diagonal and Flat Roofs. *Journal of Educational Technology* 2(4): 249-258.
19. Miranville, F. et al. 2003. On the Thermal Behaviour of Roof-Mounted Radiant Barriers under Tropical and Humid Climate Conditions: Modelling and Empirical Validation. *Energy and Buildings* 35 (10): 997–1008.
20. Moshfegh, Muhammad, and Mahmoud Ibrahimi. 2008. *Determining the Most Optimal Half Dome Angle to Ministry of Energy*. 2014. 2012 Energy Balance Sheet. Tehran: Ministry of Energy, Power and Energy Affairs, Macro Planning Office of Electricity and Energy.

Archive of SID

www.SID.ir

21. Parker, Danny S. Barkaszi Jr, Stephen F. 1997, Roof Solar Reflectance and Cooling Energy Use: Filed Research Result from Florida. *Energy and Buildings* (25): 105-l 15.
22. Pearlmutter D.1993, Roof Geometry as a Determinant of Thermal Behavior a Comparative Study of Vaulted and Flat Surface in a Hot-Arid Zone. *Architectural Science Review* 36 (2): 75-86.
23. Serpooshan, Saeed, and Mahmoud Yaghoobi. 2002. Calculation of Solar Energy Three-Dimensional Surfaces. Iranian *Journal of Energy* 7 (13): 3-21.
24. Solar Radiation to Reduce Cooling Losses Incurred from the Roof of a Dome in Qom. *Sixth Annual Conference of Mechanical Engineering (STU 2009)*, Tehran, Amirkabir University of Technology, March.
25. Tang. R. S, Meir I.A., Etzion Y. 2003. An Analysis of Absorbed Radiation by Domed and Vaulted Roofs as Compared with Flat Roofs. *Energy and Building 35* (6): 539-548.
26. Thomsen K. E., Schultz, J. M. & B. Poe .2005. Measure Performance of 12 Demonstration Projects-IEA Task 13 Advanced Solar Low Energy Buildings. *Energy and Buildings (32)*: 111-119.
27. Watson, Donald, and Kent Labs. 1993. *Climatic Design: Energy Efficient Building Principles and Practices.* Translated by Vahid Ghobadian, and Muhammad Feyz Mahdavi. Tehran: Tehran University Press.

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

Journal of Reasearch in Islamic Architecture / No.11 / summer 2016

Double-shell dome in terms of thermal behavior in Kashan desert climate*

Vahdaneh Fooladi *
Assistant Professor, Department of Art and Architecture, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University

Mansoureh Tahbaz **
Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning. Shahid Beheshti University

Hamid Majedi ***
Associate Professor, Department of Art and Architecture, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University

Received:11/01/2016 Accepted: 19/07/ 2016

Abstract

Since a large part of Iran is located in hot-dry climate, also the maximum amount of radiation absorbed is done from the roof in low-lying buildings among other facades in summer. And also the maximum area of the outer shell of the building is dedicated to the ceiling. Further, the most energy consumption is devoted to the building, and there is high cost of cooling in the summer in Iran. Hence the implication of the roof's shape in providing comfort conditions couldn't br ignored. On the other hand, the vernacular architecture of Iran, like many other ancient civilizations has provided comfort conditions for many years with lower energy consumption. The double-dome roof is one of the indigenous architecture in hot-dry climate of Iran. Suitable double-dome is considered to provide comfort conditions in public buildings. By this aim, Kashan, a city of seven thousand years old and a vernacular architecture is chosen. The dome of the Chehel Dokhtaran tomb, that followes the general form of Kashan domes and has certain circumstances of this research, was considered the base. Afterwards the following tests were tried respectively and there were some changes on the geometry of the double-dome of the tomb by computer simulations such as Ecotect, Design Builder and Fluent softwares.

A-conduction: the reduction of heat transfer of the roof the better thermal performance on hot and cool days;

Test 1. Single shell dome is considered by removing the inner shell.

Test 2. The distance between two shells was decreased.

Test 3. The distance between two shells was increased.

B-radiation: the more radiation absorbed is reduced, the better thermal performance of the roof on hot days;

Test 4. The outer surface of the dome is deformed into hemisphere shape.

Test 5. Covering the outer shell of the dome by traditional tile.

* v.fooladi@ymail.com ** m58tahbaz@yahoo.com *** majedi_h@yahoo.com

* This paper is extracted from Vahdaneh Fooladi Ph.D. thesis entitled "The effect of climate on double skin dome s form in hot-arid in Iran" Thesis Advisor; M. Tahbaz Ph.D. Consulting Advisor; H. Majedi Ph.D. in Department of Art and Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Archive of SID
www.SID.ir

Downloaded from jria.iust.ac.ir at 15:27 IRST on Wednesday March 7th 2018

C-Convection: the warmer air is less dense than the cold air and always move upward, therefore the more remove the hot air accumulated inside the more comfort conditions provide in summer;
Test 6. Creating windowes in outer shell of the dome.
Test 7. Creating wind-catcher on the top of the dome.
The results of conduction, radiation and convection tests were compared with each other:
Considering the dome with two shells regardless shells distance from each other is significantly effective to provide comfort conditions in hot and cold days, due to reducing heat conduction from outside to inside and vice versa.
In the case of double shell dome with thin air layer like 5cm thikness between shells, the air layer acts as thermal insulation and the heat transfers only by conduction in such a way that the convection heat transfer isn't done. Compared with the main dome, the heat was crossed from the outer shell of the main dome during the day, and is collected at the top of the space between two shells; pass out while the weather temperature decreased at night, in test2 the heat transferred later to the outside. So, indoor air will experience higher temperature. And on winter, the heat will be transferred faster to the outside. So, the inside temperature will be hotter in summer and colder in winter.
In test3 the distance between two shells is increased to 3m and be filled by air. The heat will be collect under the top of the outer shell and will be far from the surface of the inner shell, although the interior vortices are formed completely and faster than the basic form in summer day and night and more time is required to transfer heat from outside to inside and vice versa. But on winter night the heat was gathered under the inner-dome will transfer to the air between tow shells. Compared to the main dome the heat will be transferred faster to the outside because of the stronger vortices. So in the winter inside air will be colder.
Comparision Nari dome form and the hemesphire dome with similar area, Nari dome is more suitable, thanks to the more surface area of it that is placed in shade and less direct and indirect radiation absorbed on hot days.
If the outer surface of the dome covered by bright tiles, reduces the absorption of radiation and the air temperature will be decrease on summer.
Air conditioning between shells caused evacuation of gathered heat and in summer reduces inside air temperature.
Wind-catcher causes negative pressure of the wind power on the outer dome, and make hot air that was gathered under the inner shell pulling out. And through heat exhaust, inside ventilation is formed, which is desirable on summer.
The general result is: The best geometric configuration to cover the roof of the building in desert climate of Kashan and similar climates, is the double-shell dome with outer-shell in the form of Nari-shaped and the inner-shell in the form of sphere sector, which similar to the dome of the Chehel Dokhtaran tomb of Kashan. Therefore with installing windowes on the outer shell and installing wind-catcher on top of the dome to remove the hot air. Also covering the dome by Iranian tiles, reduces the absorption of radiation. So the air temperature inside the building reduces on summer. Also close windowes and wind-catcher would be desirable, on winter.

Keywords:double dome, hot and dry, Kashan, conduction, radiation, convection.

Archive of SID

www.SID.ir