

مقایسه تجربی و عددی مقدار تشعشع دریافتی خورشیدی بر یک سقف گنبدی شکل با یک سقف مسطح

محسن مزیدی شرف آبادی^{۱*} و احمد رضا فقیه خراسانی^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: سقف گنبدی، سقف مسطح، تشعشع خورشید، بررسی تجربی و عددی.</p>	<p>استفاده از سقف‌های گنبدی برای کاهش بار برودتی ساختمان‌ها از شاهکارهای مهندسی مکانیک در ایران است. در این پژوهش مقدار تشعشع دریافتی خورشید روی سقف گنبدی و مسطح به صورت تجربی و عددی اندازه‌گیری و مقایسه شده است. اندازه گیری در روزهای پانزدهم هر ماه شمسی از طلوع تا غروب آفتاب و به فاصله یک ساعت انجام گرفته است. برای اندازه گیری تجربی تشعشع روی سقف گنبدی از یک مدل گنبدی شکل با مقیاس ۱/۱۰ گنبد مدرسه مصلی یزد استفاده و اطلاعات از سیزده نقطه روی آن استخراج شده است. گنبد دارای سه مدار A، B و C بوده که مدار A با افق زاویه ۳۰ درجه، مدار B زاویه ۵۰ درجه و مدار C زاویه ۹۰ درجه تشکیل می‌دهند. در هر مدار چهار نقطه اندازه گیری در چهار جهت اصلی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه مقدار تشعشع در فصول گرم، برای سقف گنبدی در جهت شرق و در فصول سرد در جهت جنوب قرار دارد حال آن‌که کمترین مقدار تشعشع در طول سال مربوط به جهت شمال است. همچنین بیشترین تشعشع دریافتی در جهت شرق مربوط به زمانهای اولیه صبح و در جهت غرب مربوط به ساعات بعدازظهر است. به علاوه برای سقف گنبدی در جهت جنوب، بیشترین مقدار تشعشع دریافتی در زمانهای نزدیک به ظهر اتفاق می‌افتد، در حالیکه بیشترین تشعشع دریافتی در جهت شمال به زمانهای پیش از ظهر تمایل دارد. همچنین میانگین تشعشع دریافتی برای سقف مسطح بر حسب ژول بر روز کمتر از سقف گنبدی است که اختلاف این دو در ماه‌های سرد سال کمتر می‌شود.</p>

۱- مقدمه

طول روز، خنکی هوا در شب، کم بودن بارش نزولات آسمانی، طوفان‌های شن، بادهای شدید و همچنین تفاوت دمای محسوس میان آفتاب و سایه را نام برد. مردمی که در این نواحی زندگی می‌کنند تدابیر خاصی برای مقابله با این شرایط اقلیمی اندیشیده اند که می‌توان به متمرکز نمودن اماکن و بناها در یک‌جا، ساخت آب انبارها، ایجاد خانه‌هایی با دیوارهای بلند و سقف‌های گنبدی و

شهرها و مناطقی که در حاشیه کویر قرار دارند از نظر آب و هوایی دارای ساختاری مخصوص به خود هستند. از شرایط اقلیمی حاکم بر آنجا می‌توان گرمای شدید هوا در

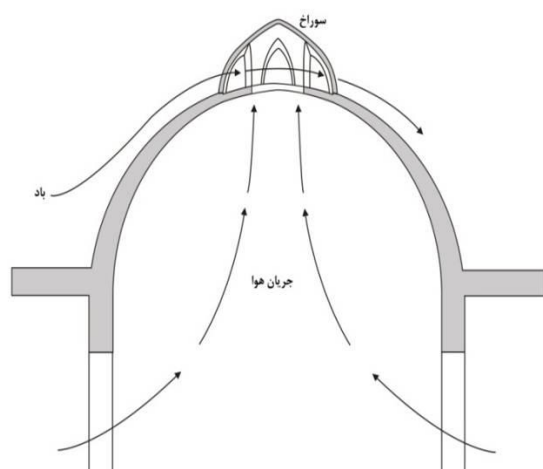
* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mazidi@bafgh-iau.ac.ir

۱. مربی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافق

۲. استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد

گنبدی زیادت‌تر از سقف مسطح خواهد بود، ولی در مناطق گرم و خشک مساله خنک سازی در تابستان مهم‌تر از گرم کردن محیط در زمستان است.

وقتی باد از روی یک سقف گنبدی عبور می‌کند باعث ایجاد مکشی در نوک سقف می‌شود، به عبارت دیگر فشار در راس گنبد کاهش یافته که با ایجاد روزنه ای در نوک سقف گنبدی هوای اتاق در هنگام وزش باد از طریق این شکاف خارج می‌شود. این خروج هوا می‌تواند مقداری از حرارت انتقال یافته از طریق پوسته گنبدی به داخل را دریافت نموده و سطح زیرین گنبد را خنک‌تر نماید و باعث کاهش تبادل حرارت تشعشعی این سطح با سطوح داخل ساختمان شود که به این ترتیب دریافت انرژی خورشیدی از طریق بام ساختمان به حداقل ممکن می‌رسد. در شکل ۱ جریان هوا در این‌گونه سقف‌های گنبدی بطور اجمالی نشان داده شده است.



شکل ۱- جریان هوا در یک ساختمان با سقف گنبدی [۲]

در بررسی کارایی حرارتی سقف‌های گنبدی شکل علاوه بر مطالعه الگوی جریان هوا بر روی این‌گونه سقف‌ها، مقدار تشعشع جذب شده خورشیدی در طول سال نیز باید بررسی شود.

تاکنون پژوهش‌های متعددی در مورد تعیین مقدار تشعشع خورشید روی سقف‌های گنبدی به صورت عددی توسط محققان داخلی و خارجی انجام گرفته ولی مطالعات

کوچه‌های نسبتاً باریک و گاه سرپوشیده با تاق‌های قوسی اشاره نمود. اگر خانه‌های قدیمی با ساختمان‌های امروزی مقایسه شود، مشخص می‌شود که در خانه‌های قدیمی دیوارها بلند و ضخیم بوده، مصالح بکار رفته در آنها خشت و گل می‌باشد ولی در ساختمان‌های امروزی دیوارها دارای ضخامت کمتر و کوتاه‌تر هستند و مصالح کمتری در آنها به کار رفته و ساختمان سبک‌تر است. در نتیجه در ساختمان‌های قدیمی بهای ساخت بالا و مخارج نگهداری و سرد و گرم کردن محیط پایین‌تر است ولی در ساختمان‌های جدید و امروزی بهای ساخت پایین‌تر و مخارج نگهداری و سرد و گرم کردن محیط بالاتر است، لذا تهویه مطبوع ساختمان با هزینه کم مساله مهمی در انتخاب و ساخت ساختمان می‌باشد.

استفاده از گل و خشت به عنوان مصالح اصلی ساختمان در مناطق کویری ایران به قدمت تمدن پارسی است که عملکرد حرارتی مناسب از دلایل عمده استفاده از این مصالح در ساخت ساختمان‌ها محسوب می‌شده است. بیشتر ساختمان‌های خشتی دارای سقف‌های گنبدی و تاق‌های قوسی می‌باشند. دمای سطح سقف اغلب بیشتر از دمای هوای محیط در هنگام روز و چند ساعت اول شب است. برای نمونه برای یک سقف مسطح که از آجر ساخته شده است در یک روز تابستانی وقتی دمای هوای محیط در ساعت ۳ بعدازظهر به ۴۰ درجه سانتیگراد می‌رسد، دمای سقف در حدود ۵۸ درجه سانتیگراد خواهد بود [۱]. در مقایسه با یک سطح مسطح و صاف، سقف گنبدی دارای مساحت رویه بیشتری است، به همین دلیل به خاطر مساحت جانبی زیادت‌تر، اتلاف حرارت از طریق جابجایی با هوای محیط وقتی دمای سقف بیشتر از دمای هوای محیط باشد برای سقف گنبدی زیادت‌تر از سقف مسطح خواهد بود. به خاطر شکل نیم کره ای که سقف گنبدی دارد سرعت باد روی آن زیادت‌تر از سقف مسطح بوده که این امر موجب افزایش انتقال حرارت جابجایی از سقف گنبدی می‌شود [۲]. البته همین وضع در زمستان هم صادق است که در این صورت اتلاف گرما از طریق سقف

سقف نیم‌کره را ۳۵ درصد کمتر از سقف مسطح معادل آن گزارش نمودند. در این تحقیق آنها به کمک روشهای عددی نشان دادند که مزیت سقف‌های گنبدی شکل در کم شدن تشعشع خورشید روی سقف است که منجر به پائین‌تر بودن دمای سقف و در نهایت کم شدن دمای هوای ساختمان می‌شود.

در ارتباط با تشعشع دریافتی سطوح شیبدار، کلین [۷] روش ساده‌ای را برای برآورد متوسط ماهانه تابش دریافتی روی سطوح شیبدار پیشنهاد کرد. وی نسبت بین تابش مستقیم دریافتی روی سطح افق به تابش مستقیم دریافتی روی سطح شیبدار را با فرض ثابت بودن گذرای اتمسفر در طی روز یا به عبارت دیگر ثابت بودن مقدار تابش مستقیم در طی روز برآورد نمود. در مطالعه‌ای دیگر، لیو و جوردن [۸] با برازش منحنیهای سینوسی - کسینوسی بر داده‌های تجربی، روابطی را برای به‌دست آوردن مقادیر لحظه‌ای تابشهای پراکنده و کل بر اساس مقادیر روزانه پیشنهاد کردند. در ادامه جین و همکاران [۹] نیز در تحقیقی جداگانه روشی را برای به‌دست آوردن مقادیر لحظه‌ای تابش‌های کل و پراکنده با استفاده از مقادیر روزانه ارائه نمودند. آنها همچنین با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در مناطق اقلیمی مختلف ضرایب این توزیع را به‌صورت مستقل از شرایط اقلیمی محاسبه و عنوان کردند که این ضرایب در سایر مناطق نیز به‌خوبی پاسخگو می‌باشند.

هدف از تحقیق حاضر، محاسبه تجربی و عددی مقدار کل تشعشع دریافتی روی یک سقف گنبدی با در نظر گرفتن کلیه کمیت‌ها و مقایسه آن با یک سقف مسطح متناظر با مساحت سطح قاعده یکسان می‌باشد. در این پژوهش مقدار تشعشع دریافتی خورشید روی یک سقف گنبدی به‌صورت تجربی با استفاده از یک دستگاه تشعشع سنج خورشیدی در پانزدهم هر ماه شمسی در طول یک سال به‌عنوان نماینده تقریبی آن ماه [۱۰] اندازه‌گیری و با نتایج مربوط به یک سقف مسطح متناظر مقایسه شده

تجربی در این زمینه بسیار اندک بوده است. در یک بررسی عددی، سرپوشان و یعقوبی [۳] میزان تشعشع خورشید در طول یک سال را بر روی سقف مسطح، نیم‌استوانه، نیمکره و یک گنبد واقعی برای شهر شیراز محاسبه نمودند. نتایج این تحقیق نشان می‌داد که مقدار تشعشع خورشید بر روی سقف مسطح از انواع دیگر بیشتر، سقف نیم‌استوانه و نیم‌کره تقریباً برابر و سقف گنبدی شکل از همه کمتر می‌باشد. مبنای مقایسه در این پژوهش مقدار تشعشع بر واحد سطح مساحت سقف بوده است. در بررسی کارایی حرارتی سقف‌های گنبدی شکل در مقایسه با سقف‌های مسطح، مساحت سطح قاعده هر دو سقف باید برابر بوده و میزان کل تشعشع خورشید به هر سقف باید با یکدیگر مقایسه شود. نتایج به‌دست آمده از پژوهش سرپوشان و یعقوبی نشان می‌دهد که تفاوت چندانی مابین تشعشع دریافتی سقف نیم‌استوانه و سقف نیم‌کره ملاحظه نمی‌شود ولی با افزایش نسبت طول به شعاع در سقف نیم‌استوانه، دریافت تشعشع آن افزایش یافته و این در حالی است که شعاع زیاد و طول کم سقف نیم‌استوانه‌ای، جسم را به دیوار عمودی نزدیک ساخته که دریافت بسیار کمتری دارد.

در پژوهشی دیگر تانگ و همکاران [۴-۵] به مقایسه مقدار تشعشع خورشید جذب شده در سقف‌های استوانه‌ای و گنبدی و مقایسه آن با سقف‌های مسطح پرداختند. تانگ و همکاران در پژوهش خود مقدار تشعشع جذب شده توسط سقف مسطح را بیشتر از سقف‌های استوانه‌ای و گنبدی معادل آن گزارش کرده و به این نتیجه رسیدند که نسبت تشعشع دریافتی سقف استوانه‌ای به سقف مسطح با موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی تغییر چندانی نمی‌کند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که سقف استوانه‌ای با جهت‌گیری شمال - جنوب در تابستان تشعشع کمتر و در زمستان تشعشع بیشتری را نسبت به سقف استوانه‌ای با جهت‌گیری شرق - غرب دریافت می‌نماید. گومز و همکاران [۶] در تحقیقی دیگر مقدار تشعشع دریافتی در مکزیک در واحد سطح مساحت

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta - \\ & \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \\ & \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \\ & \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \\ & \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \end{aligned} \quad (۱)$$

$$\cos\theta_z = \sin\delta \cdot \sin\phi + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega \quad (۲)$$

در این روابط ϕ عرض جغرافیایی و δ زاویه انحراف می‌باشد که مقدار زاویه انحراف توسط رابطه (۳) مشخص می‌شود [۱۱]:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360n}{365}\right) \quad (۳)$$

n شماره روز سال ($n=1$ برای اول فروردین) و ω نیز زاویه ساعت خورشیدی است که به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۱]: (t بر حسب ساعت خورشیدی که برای ظهر خورشیدی ۱۲ می‌باشد)

$$\omega(t) = (t - 12) \times 15 \quad (۴)$$

مقدار تشعشع دریافتی سطوح با استفاده از روابط (۵) و (۶) و مقدار کمیت صافی هوا در آن ساعت از روز سال و در موقعیت مشخص آن محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$\begin{aligned} H_o = & \frac{24 \times 3600}{\pi} \times G_{sc} \times \\ & \left[1 + 0.033 \frac{360(n+81)}{365} \right] \times \\ & \left[\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta \right] \end{aligned} \quad (۵)$$

$$\begin{aligned} I_o = & \frac{24 \times 3600}{\pi} \times G_{sc} \times \\ & \left[1 + 0.033 \frac{360(n+81)}{365} \right] \times \\ & \left[\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot (\sin(\omega(t_2)) - \sin(\omega(t_1))) + \right. \\ & \left. \frac{2\pi(\omega(t_2) - \omega(t_1))}{360} \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta \right] \end{aligned} \quad (۶)$$

G_{sc} ، متوسط سالانه شدت تابش خورشید روی یک صفحه عمود بر اشعه خورشید می‌باشد که در این پژوهش برابر ۱۳۶۷ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

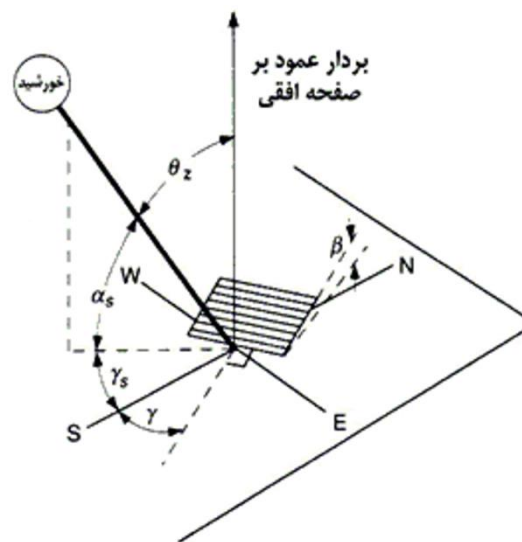
است. همچنین نتایج به دست آمده با نتایج شبیه‌سازی عددی نیز مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲- روش عددی

به منظور تعیین مقدار تشعشع دریافتی روی سقف گنبدی شکل، کل مساحت سقف به چندین سطح کوچک تقسیم و مقدار تشعشع دریافتی بر روی هر کدام از این سطوح با فرض سطح مسطح شیب دار محاسبه می‌شود و مجموع تشعشع دریافتی کلیه سطوح، مقدار تشعشع دریافتی سقف را مشخص می‌کند.

۲-۱- معادلات حاکم

شکل ۲ هندسه تابش خورشید بر روی سطوح مسطح شیب دار را نشان می‌دهد.



شکل ۲- هندسه تابش مستقیم خورشید بر روی سطح تخت شیبدار [۱۱]

θ ، زاویه تابش خورشید و عمود بر صفحه و θ_z زاویه اشعه خورشید با خط عمود بر صفحه افقی می‌باشد که توسط روابط (۱) و (۲) تعیین می‌شوند [۱۱]:

مستقیم به این گونه صفحات نرسیده ولی تشعشع پراکنده و منعکس شده از زمین به آنها می‌رسد. همچنین در رابطه $\rho_g, 17$ ضریب انعکاس زمین بوده که به‌طور متوسط با توجه به جنس زمین اطراف (آسفالت قیر اندود) 0.2 در نظر گرفته می‌شود.

برای محاسبه عددی تشعشع دریافتی روی هر صفحه دلخواه به کمک معادلات و روند بیان شده در این بخش یک برنامه رایانه‌ای به زبان فورترن تهیه شده است.

۲-۲- محاسبه مقدار تشعشع دریافتی روی سقف گنبدی

نمونه

به‌منظور محاسبه تشعشع دریافتی روی سطوح گنبدی، سقف گنبدی مدرسه علوم دینی مصلی در شهر یزد به‌عنوان سقف گنبدی مبنا انتخاب شده که نمایی از آن در شکل ۳ نشان داده شده است. سطح مقطع پایه سقف مورد نظر دایره‌ای شکل و به شعاع 300 سانتیمتر و ارتفاع آن نیز از نوک تا سطح قاعده 300 سانتیمتر می‌باشد که با این ابعاد مساحت جانبی سقف گنبدی مبنا 56 متر مربع خواهد بود.

نقطه واقع در راس سقف گنبدی به‌عنوان نقطه مرجع مربوط به سقف مسطح برای مقایسه مقدار تشعشع دریافتی بین سقف مسطح و گنبدی در نظر گرفته شده است. سقف گنبدی مورد نظر به سطح‌های کوچکی تقسیم شده و شکل ۴ شبکه تولید شده بر روی این سقف را نشان می‌دهد.

با استفاده از معادلات حاکم که پیش از این بیان شد تشعشع دریافتی برای هر کدام از شبکه‌ها محاسبه شده و مجموع نتایج به‌دست آمده برای هر شبکه، مقدار کل تشعشع دریافتی برای طول روز برای سقف مبنای مورد مطالعه را مشخص می‌نماید.

در این مطالعه از خصوصیات جغرافیایی شهر یزد (عرض جغرافیایی $31/54$ ، طول جغرافیایی $54/17$ و ارتفاع از سطح دریا 1234 متر) استفاده شده است.

با فرض برابر بودن صافی روزانه (K_t) در روز پانزدهم ماه با متوسط ضریب صافی ماهانه (\bar{K}_t)، مقدار H توسط رابطه (۷) محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است ضریب صافی ماهانه شهرهای مختلف ایران در مرجع [۱۲] ارائه شده است.

در مرحله بعد I بوسیله رابطه (۸) تعیین و با مشخص بودن مقدار I_o مقدار k_t یا همان ضریب صافی هوای ساعتی توسط رابطه (۱۲) مشخص می‌شود [۱۱].

$$H = K_t \cdot H_o \quad (7)$$

$$I = r_t \cdot H \quad (8)$$

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \cdot \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cdot \cos \omega_s} \quad (9)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \cdot \sin(\omega_s - 60) \quad (10)$$

$$b = 0.6604 - 0.4767 \cdot \sin(\omega_s - 60) \quad (11)$$

$$k_t = \frac{I}{I_o} \quad (12)$$

$$k_t < 0.35 \rightarrow \frac{I_d}{I_o} = 1 - 0.249 \cdot k_t \quad (13)$$

$$0.35 < k_t < 0.75 \rightarrow \frac{I_d}{I_o} = 1.557 - 1.84 \cdot k_t \quad (14)$$

$$k_t > 0.75 \rightarrow \frac{I_d}{I_o} = 0.177 \quad (15)$$

$$I_b = I - I_d \quad (16)$$

و در نهایت برای محاسبه کل تابش خورشید روی صفحه تخت با زاویه β نسبت به افق از رابطه (۱۷) استفاده می‌شود [۱۱]:

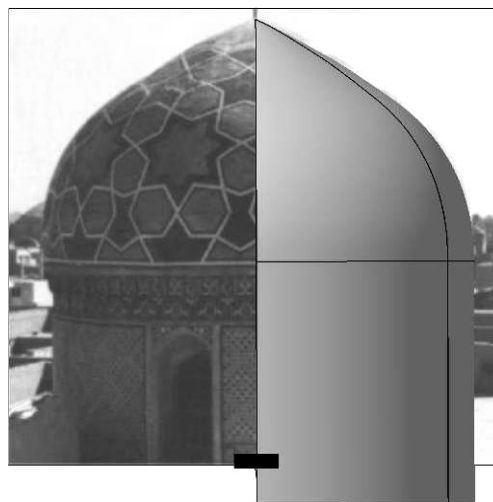
$$I_T = I_b \cdot R_b + I_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + (I_b + I_d) \cdot \rho_g \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (17)$$

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (18)$$

مقدار R_b برای صفحات تختی که در سایه قرار می‌گیرند ($\theta > 90^\circ$) صفر فرض می‌شود، به عبارت دیگر تشعشع

۳- روش تجربی

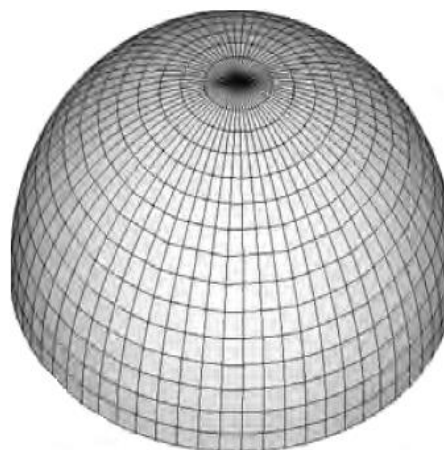
پس از انتخاب سقف گنبدی مدرسه علوم دینی مصلی شهر یزد به‌عنوان سقف گنبدی مینا، مدلی سه بعدی از جنس فایبرگلاس با مقیاس ۱ به ۱۰ از آن ساخته شد. از طرف دیگر چون ممکن بود در آینده اثر وجود یقه (پنجره هایی در زیر سقف) بر روی جریان هوا نیز بررسی شود، مدل به همراه ۱۲ عدد یقه تهیه و برای نگه داشتن مدل روی زمین پایه ای برای آن در نظر گرفته شد.



شکل ۳- سقف گنبدی مدرسه مصلی شهر یزد و مدل آن



شکل ۵- مدل سقف گنبدی آماده شده



شکل ۴- شبکه تولید شده برای سقف گنبدی مینا

برای اندازه‌گیری تشعشع خورشید، روی سطح مدل گنبدی، سیزده نقطه مشخص شد که این نقاط در شکل ۶ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشخص است، مدل گنبد مورد نظر به سه مدار A ، B و C تقسیم بندی شده که مدار A با افق زاویه 30° درجه، مدار B با افق زاویه 50° درجه و مدار C با افق زاویه 90° درجه می‌سازد. همچنین روی هر یک از مدارها چهار نقطه در چهار جهت اصلی جغرافیایی در نظر گرفته شده که نقطه ۱ در جهت شمال، نقطه ۲ در جهت غرب، نقطه ۳ در جهت جنوب و نقطه ۴ در جهت شرق قرار گرفته و علاوه بر این نقاط، نقطه سیزدهم (نقطه D) نیز در رأس گنبد واقع شده است. این نقطه همان نقطه مرجع مربوط

جدول ۱ مقادیر متوسط ماهانه ضریب صافی هوای (\bar{K}_T) شهر یزد را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

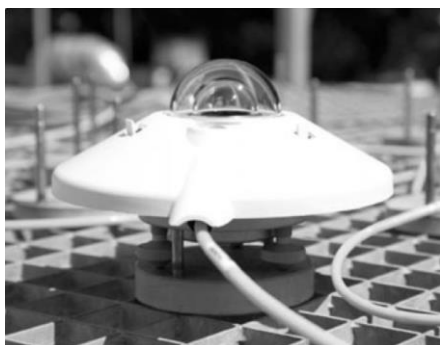
جدول ۱- مقادیر متوسط ماهانه ضریب صافی هوا برای شهر یزد [۱۳]

ماه	ضریب صافی هوا	ماه	ضریب صافی هوا
فروردین	۰/۶۱	مهر	۰/۷۴
اردیبهشت	۰/۶۸	آبان	۰/۶۵
خرداد	۰/۷۴	آذر	۰/۶۴
تیر	۰/۷۳	دی	۰/۶۰
مرداد	۰/۷۷	بهمن	۰/۶۲
شهریور	۰/۷۶	اسفند	۰/۵۹



شکل ۷- نحوه برداشت داده توسط تشعشع‌سنج خورشیدی

همچنین برای کاهش اثرات اجسام اطراف در مقدار تشعشع دریافتی توسط سقف گنبدی، مکان برداشت داده‌ها روی پشت بام دانشکده فنی مهندسی دانشگاه یزد انتخاب شده است.

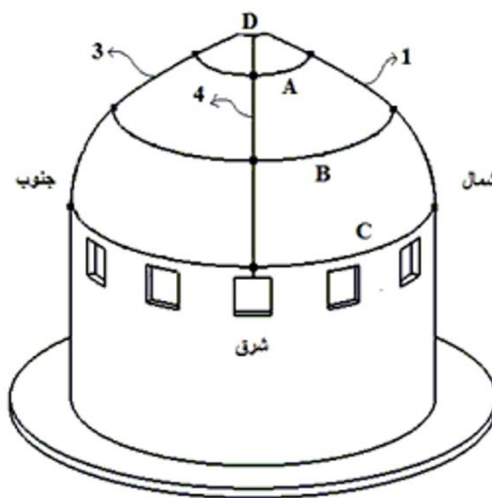


شکل ۸- دستگاه تشعشع‌سنج خورشیدی مورد استفاده

۴- نتایج و بحث

به علت تعداد زیاد داده‌ها، تعدد نقاط داده برداری و تنوع بسیار در ارائه نمودارها، تنها برای دو روز متفاوت و در دو ساعت خاص، نمودار تغییرات تشعشع خورشیدی در چند نقطه مختلف (نقطه صفر (D) مربوط به سقف مسطح، نقطه ۱ مربوط به سمت شمال، نقطه ۲ سمت غرب، نقطه ۳ سمت جنوب و نقطه ۴ سمت شرق) روی سطح مدل رسم و مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس برای روزهای ۱۵ مرداد و ۱۵ بهمن (وسط فصول سرد و گرم

به سقف مسطح برای مقایسه مقدار تشعشع دریافتی بین سقف مسطح و نقاط مختلف روی سقف گنبدی می‌باشد.



شکل ۶- محل قرارگیری نقاط روی مدل سقف گنبدی

در این مطالعه به مدت یک سال اطلاعات مربوط به مقدار تشعشع خورشید توسط یک عدد دستگاه تشعشع‌سنج خورشیدی روی نقاط مختلف گنبد مدل ثبت شده است. تشعشع‌سنج طیفی مورد استفاده مدل CMP 3، ساخت شرکت کیپ اند زونن می‌باشد که دارای حساسیتی بین ۵ تا ۲۰ میکروولت بر وات بر مترمربع است.

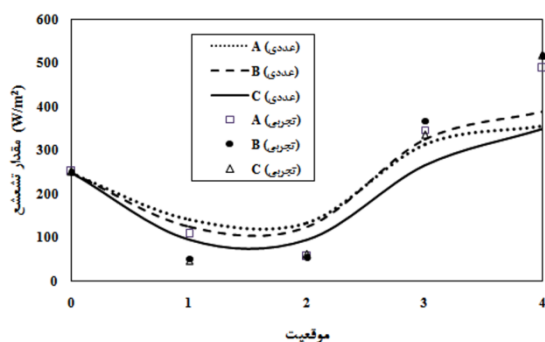
همچنین در اندازه‌گیری تجربی انجام شده مقدار خطای اندازه‌گیری برابر با مقدار تلورانس (حساسیت) دستگاه در نظر گرفته شده است. شکل ۷ نحوه برداشت داده توسط تشعشع‌سنج خورشیدی و شکل ۸ نمایی از دستگاه تشعشع‌سنج را نشان می‌دهد.

برداشت داده‌ها در روزهای پانزدهم هر ماه شمسی انجام گرفته که در هر روز از طلوع آفتاب تا غروب آفتاب و به فاصله زمانی هر یک ساعت داده‌ها در هر ۱۳ نقطه برداشت و علاوه بر اندازه‌گیری کل تشعشع دریافتی، تشعشع دریافتی پراکنده نیز ثبت شده است.

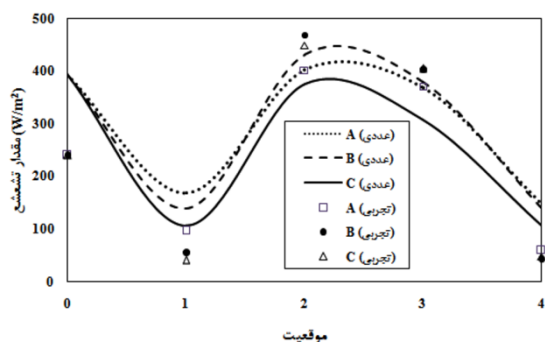
لازم به ذکر است که برای به دست آوردن مقدار تشعشع پراکنده کافی است تا سایه‌ای به اندازه کلاهک شیشه‌ای تشعشع‌سنج از فاصله حدود ۱ متری روی آن ایجاد شود.

طراحی پایدارساز فازی در سیستم‌های قدرت چند ماشینه با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی

همان طوری که از شکل‌های ارائه شده مشخص است، مقدار تشعشع دریافتی از خورشید برای مرداد ماه در ساعت ۸:۳۰ در جهت شرق بیشترین و در جهت غرب کمترین مقدار خود را داراست. این مقدار در ساعت ۱۵:۳۰ در جهت غرب بیشترین و در جهت شمال کمترین مقدار را دارد. علاوه بر این در مرداد ماه در ساعت ۸:۳۰ مقدار تشعشع در هر سه مدار بسیار نزدیک به هم می‌باشد و این در حالیست که در بهمن ماه این نزدیک شدن مقدار تشعشع در نقاط متناظر هر سه مدار در ساعت ۱۵:۳۰ اتفاق می‌افتد.



شکل ۱۱- مقدار کل تشعشع دریافتی در نقاط مختلف برای ۱۵ بهمن ساعت ۸:۳۰

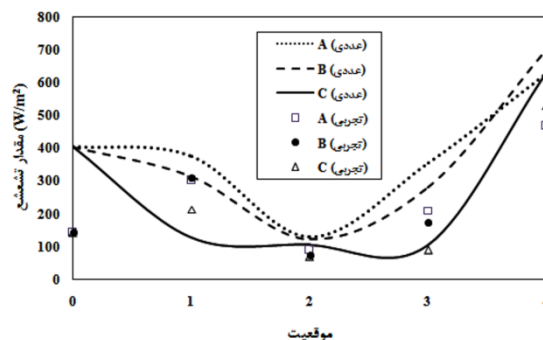


شکل ۱۲- مقدار کل تشعشع دریافتی در نقاط مختلف برای ۱۵ بهمن ساعت ۱۵:۳۰

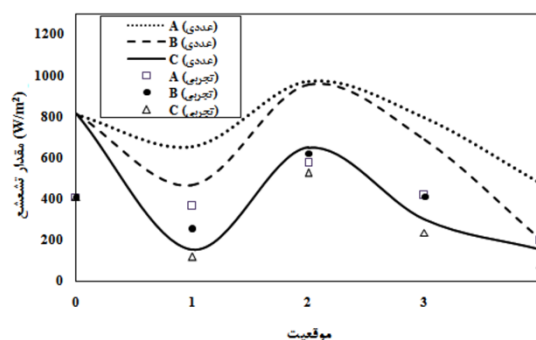
همچنین در مرداد ماه در ساعت ۱۵:۳۰ مدار A بیشترین مقدار و مدار C، کمترین مقدار تشعشع دریافتی را داراست. با توجه به اینکه در مرداد ماه خورشید عمودتر از

سال) در دو ساعت ۸:۳۰ و ۱۵:۳۰ نمودار تغییرات کل تشعشع دریافتی براساس نتایج حل عددی و داده برداری های تجربی در شکل‌های ۹ تا ۱۲ نشان داده شده است.

باید توجه داشت ثبت دقیق مقدار تشعشع دریافتی به صورت تجربی مشکلات فراوانی به همراه دارد، مثلاً در بعضی روزهای سال خصوصاً در فصول پاییز و زمستان روز پانزدهم ماه ابری بوده که ثبت اطلاعات به روز بعد موکول شده است. رنگ پیراهن شخص برداشت کننده اطلاعات و تغییر اجسام حول مدل نیز روی مقدار تشعشع پراکنده دریافتی تاثیر گذار است. به نظر می‌رسد با توجه به خطاهای اشاره شده هماهنگی قابل قبولی بین نتایج حاصل از حل عددی و نتایج تجربی در نمودارها مشاهده می‌شود.



شکل ۹- مقدار کل تشعشع دریافتی در نقاط مختلف برای ۱۵ مرداد ساعت ۸:۳۰



شکل ۱۰- مقدار کل تشعشع دریافتی در نقاط مختلف برای ۱۵ مرداد ساعت ۱۵:۳۰

۵- نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، کمترین مقدار تشعشع دریافتی در فصول گرم سال روی سقف گنبدی مربوط به جهت شمال می باشد در حالی که بیشترین مقدار مربوط به جهت شرق است، اما باید توجه داشت که بیشترین مقدار تشعشع در جهت های دیگر نیز به این مقدار خیلی نزدیک می باشد. برای فصول سرد سال روی سقف گنبدی بیشترین تشعشع دریافتی از خورشید در جهت جنوب قرار دارد. به طور کلی در طول سال بیشترین تشعشع در جهت شرق مربوط به زمانهای اولیه صبح (ساعت ۹ الی ۱۱) می باشد، حال آنکه در جهت غرب در بعدازظهر (ساعت ۱۵ الی ۱۷) تشعشع خورشیدی بیشینه مقدار خود را داراست. برای سقف گنبدی در جهت جنوب، بیشترین مقدار تشعشع دریافتی در زمانهای نزدیک به ظهر (ساعت ۱۱ الی ۱۴) اتفاق می افتد و این در حالیست که بیشترین تشعشع دریافتی در جهت شمال به زمانهای پیش از ظهر تمایل دارد. نتایج نشان می دهد که میانگین تشعشع دریافتی سقف مسطح بر حسب ژول بر روز کمتر از سقف گنبدی است که البته اختلاف این دو در ماه های سرد سال کمتر می شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافق که حامی این پروژه تحقیقاتی بوده است تقدیر و تشکر نمایند.

ماه بهمن به زمین می تابد، این نتیجه گیری قابل پیش بینی می باشد.

علاوه بر این از نمودارهای ارائه شده مشخص است که مقدار تشعشع دریافتی مربوط به سقف مسطح همانطور که انتظار می رفت، در فصل گرم سال بسیار بیشتر از فصل سرد می باشد.

با توجه به نتایج اخذ شده در ارتباط با سقف گنبدی مینا و سقف مسطح با مساحت سطح قاعده یکسان می توان دریافت که به طور میانگین مقدار کل تشعشع دریافتی در یک روز برای سقف مسطح کمتر از سقف گنبدی است که این مقادیر در جدول ۲ ارائه شده است. باید توجه شود که این نتیجه برای موقعیت جغرافیایی شهر یزد به دست آمده است و ممکن است این نتیجه گیری در نقاط جغرافیایی دیگر متفاوت باشد.

همچنین چون در فصول سرد سال خورشید مایل تر می تابد اختلاف مقدار تشعشع دریافتی سقف مسطح و سقف گنبدی کمتر است.

جدول ۲- میانگین مقادیر تجربی تشعشع دریافتی در یک روز برای سقف گنبدی و سقف مسطح با مساحت سطح قاعده یکسان در فصول مختلف سال (بر حسب ژول بر روز)

فصول گرم سال (نیمه اول سال)	فصول سرد سال (نیمه دوم سال)	سقف مسطح	سقف گنبدی
۳/۹۳×۱۰ ^۶	۶/۴۹×۱۰ ^۶	۲/۵۰×۱۰ ^۶	۴/۹۱×۱۰ ^۶

۶- مراجع

[۱] دهقانی ع.ر.، مزیدی م. (۱۳۷۹)، تعیین جریان کلی هوا در بادگیرها به عنوان عاملهای تهویه مطبوع سنتی در ساختمانهای قدیمی، نامه مکانیک شریف، سال ۳، شماره ۸.

[2] Faghieh Khorasani A.R., Bahadori N. M. (2011). "Thermal performance evaluation of domed roofs". Energy and Buildings, Vol. 43, pp. 1254-1263.

- [۳] سرپوشان، س.، یعقوبی، م.، (۱۳۸۱)، محاسبه انرژی خورشیدی روی سطوح سه بعدی، نشریه انرژی ایران، شماره ۱۳.
- [4] Tang R., Meir I.A., Etzion Y. (2003). "Thermal behavior of buildings with curved roofs as compared with flat roofs". *Solar Energy*, Vol. 74, pp. 273-286.
- [5] Tang R., Meir I.A., Wu T. (2006). "Thermal performance of non air-conditioned building with vaulted roofs in comparison with flat roofs". *Building and Environment*, Vol. 41, pp. 268-276.
- [6] Gomez V., Porta M., Heard C. (2003). "Solar performance of hemispherical vault roofs". *Building and Environment*, Vol. 38, pp. 1431-1438.
- [7] Kelen S.A. (1977). "Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces". *Solar Energy*, Vol. 19, pp. 325-329.
- [8] Liu B.Y.H., Jordan R.C. (1960). "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation". *Solar Energy*, Vol. 4, pp. 1-19.
- [9] Collares Pereira M., Rabl A. (1979). "The average distribution of solar radiation - correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values". *Solar Energy*, Vol. 22, pp. 155-164.
- [10] Faghih Khorasani A.R., Bahadori N. M. (2009). "Solar radiation on domed roofs". *Energy and Buildings*, Vol. 41, pp. 1238-1245.
- [11] Duffie J.A., Beckman W.A. (2006), "Solar Engineering of Thermal Processes". John Wiley, NY.
- [۱۲] بهادری نژاد، م.، میرحسینی، س.ع.، (۱۳۸۱)، ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران، سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۲۶ تا ۲۷ بهمن.