ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2019.174964.1831

تطابق اقلیمی کالبد گنبد بر اساس میزان دریافت تابش (بررسی گنبدهای مساجد: امام اصفهان، شیخ لطف الله، مسجدالنبی قزوین و جامع ارومیه)

بهزاد وثیق[1*] - توحید شیری[2]

۱. استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران (نویسنده مسئول).
۲. کارشناس ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۱ تاریخ اصلاحات: ۹۸/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۴/۰۵ تاریخ انتشار: ۹۹/۱۲/۳۰

چکیده

در طول تاریخ، گنبد عنصر شاخص در کالبد معماری مساجد ایران است. تاکنون عمده تحقیقات به بررسی شکلی و نمادپردازانه گنبد معطوف بوده است و عمده تحقیقات به تحلیل اثر شکل گنبد بر آسایش اقلیمی توجه نشده است. تنوع اقلیمی مناطق مختلف ایران، لزوم شناخت و استفاده از راهکارهایی ایجاد شرایط آسایش حرارت داخلی بنا را ضروری می‌سازد. هدف از این پژوهش شناخت میزان دریافت تابش خورشید و سایه‌اندازی بر رویه سطوح گنبد، در اقلیم‌های گرم و خشک و سرد بر پایه بررسی گنبدهای مساجد امام اصفهان، شیخ لطف‌الله، مسجدالنبی قزوین و جامع ارومیه، با استفاده از شبیه‌سازی تابش خورشید در پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ با موتور شبیه‌سازی رادیانس می‌باشد. در نخستین گام گنبدهای مساجد منتخب، در نرم‌افزار Revit2017 مدل‌سازی شد. سپس میزان دریافت تابش سالیانه آن‌ها در گرم‌ترین روز سال، ساعات ۱۴، ۱۶ و ۱۸ بعدازظهر با استفاده از تحلیل تابش خورشید تحت پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ انجام گرفت. نتایج آنالیزها نشان می‌دهد؛ با افزایش سطح گنبد مساجد میزان جذب حرارت در معرض تابش و در محدوده سایه افزایش می‌یابد، گنبدهای با خیز و ارتفاع بلند به لحاظ ایجاد سایه مناسب اقلیم گرم و خشک و گنبدهای با خیز و سطح تماس زیاد در اقلیم سرد و خشک به خاطر دریافت تابش زیاد مناسب هستند. ایجاد گنبد بر روی گریو باعث افزایش سایه‌اندازی در سطوح گنبد می‌شود. لذا چنین می‌توان بیان نمود که؛ شکل، خیز و نوع طاق گنبد در اقلیم‌های گرم و خشک و نیز سرد ایران براساس شرایط حرارتی و میزان نیاز جذب تابش خورشید در طول سال، طراحی شده است.

واژگان کلیدی: گنبد مساجد، تابش خورشید، رادیانس، هانی بی و لیدی باگ، اقلیم.

* E_mail: vasiq@jsu.ac.ir

۱. مقدمه

مورخین ابداع گنبد روی سطح چهار طاقی و ایجاد گوشواره را به دوران اشکانی نسبت می‌دهند. گنبد بنای فیروزآباد قدیمی‌ترین گنبد باقی مانده دوره ساسانی است که بر روی دیواری به قطر چهار متر بنا شده است (Pope, 2016, pp. 47-50). گنبدهای یک پوسته قدمت بیش‌تری نسبت به گونه‌های دیگر دارند، آن‌ها را می‌توان اولین نشانه گنبدهای باربر، حمال و ریشه تاریخی شکل‌گیری گنبدها دانست. آغاز شکل گنبدها در ایران بر مبنای بیضی یا تخم مرغی، با مقاطع مختلف بوده که در دوران اسلامی از لحاظ شکلی دارای تنوعی بسیار بوده است. در ریشه‌یابی شکل گنبد، نمادپردازی و راه‌حل‌های سازه‌ای- نیارشی نقش داشته است (Memarian, 1988, p. 123). با این حال تأثیر مؤلفه اقلیمی بر شکل‌گیری گنبد نمی‌تواند از نظر دور باشد. چگونگی طراحی ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی، تأثیر به‌سزایی بر تغییرات محیط‌زیست و میزان مصرف منابع خواهد داشت (Bazazan & Khosravani, 2016). با توجه به این‌که ساختار هندسه سقف یکی از بخش‌های اصلی ساختمان محسوب می‌شود؛ بنابراین تأثیر عمده‌ای بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی ساختمان دارد و هندسه سقف ساختمان از نظر شکلی معیار عمده برای تعیین عملکرد حرارتی ساختمان می‌باشد (Fooladi, 2014, p. 85). دریافت تابش خورشید بر سطوح بناهای گنبدی به شکل و فرم آن‌ها بستگی دارد، بناهای که سطوح بیش‌تری در معرض تابش قرار می‌دهند جذب حرارت بیش‌تری دارند (Shiri et al., 2018). معماری سنتی ایران برای سال‌های متمادی با کم‌ترین مصرف انرژی شرایط آسایش را فراهم نموده است. در این میان مسجد به‌عنوان پرکاربردترین بنای تاریخی که در تمام فصول سال مورد استفاده قرار گرفته و دارای جنبه عمومی هستند؛ مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش تلاش شده است که با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس، بر روی گنبد تک پوسته و دو پوسته در دو اقلیم سردکوهستانی و گرم و خشک، میزان دریافت تابش خورشید مورد تحلیل قرار گیرند. نمونه‌های بررسی شده به ترتیب تک پوسته و دو پوسته عبارت‌اند از: گنبد مساجد جامع ارومیه، شیخ لطف‌الله و مسجدالنبی قزوین، مسجد امام اصفهان که هر کدام دارای ارزش و قدمت تاریخی بسیار بالایی دارند، انتخاب شدند. همچنین این گنبدها طاق و قوس‌های مختلفی نسبت به همدیگر دارند. در ابتدا؛ نقشه‌های مساجد هر شهر از اسناد کتابخانه تهیه شد و سپس گنبدها در محیط نرم‌افزار Revit 2017 با مقیاس دقیق مدل‌سازی شد و تمام گنبدها به محیط Rhinocer-os 5 انتقال داده شد تا تحلیل تابش خورشید بر سطوح گنبدها با استفاده از پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ انجام شود. پژوهش در پی آنست که به این سؤالات پاسخ گوید: تأثیر اقلیم بر نحوه شکل‌یابی و ساخت گنبد چگونه است؟ تأثیر شکل گنبد بر میزان دریافت تابش حرارتی چگونه است؟

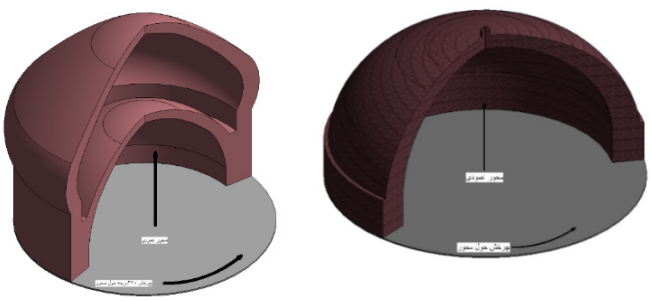
۲. چارچوب نظری تحقیق

در ابتدا لازم است تا جهت بررسی میزان تابش به واژه‌شناسی عناصر مورد بررسی پرداخته شود.

۲-۱- گنبد تک پوسته و دو پوسته

گنبد، پوششی است با یک یا دو پوسته که پوسته دوم به‌طور عمده نقش اندودی دارد. گنبد (یک پوسته) یکی از انواع چفدهاست که بر اساس چرخش حول محور عمودی راس یا تیزه آن شکل می‌گیرد، چرخش بر روی یک مدور اتفاق می‌افتد (Memarian, 2012, p. 367). یکی از ابتکارات معمار ایرانی در ساخت گنبد، تغییر ضخامت در پوسته گنبد می‌باشد. تغییر ضخامت در پوسته گنبد در زاویه (۲۲.۵) درجه (شکرگاه) اتفاق می‌افتد (Memarian, 1988, p. 63). که در شکل ۱ نحوه‌ای اجرای گنبد تک پوسته و دو پوسته با استفاده از نرم‌افزار Revit 2017 مدل‌سازی شده است. سقف گنبدی دو پوسته، یکی از عناصر بومی معماری مناطق گرم و خشک ایران می‌باشد، اما در اقلیم سرد کوهستانی هم از گنبد دو پوسته استفاده می‌شده است. ساخت گنبدهای دو پوسته از قرن پنجم شروع و در قرن هشتم رایج شده است (Memarian, 1988, p. 167). در سقف گنبد دو پوسته، «خود» و آهیانه به‌طور کامل از هم جدا هستند. در حد فاصل بین خود و آهیانه، یک گردن قرار می‌گیرد. در حالتی که دو پوشش به هم نزدیک باشند، این گردن در«اربانه» به صورت یک دیسک در می‌آید که در صورت فاصله زیاد این گردن، (گریو) نامیده می‌شود (Pirnia, 1991, p. 65).

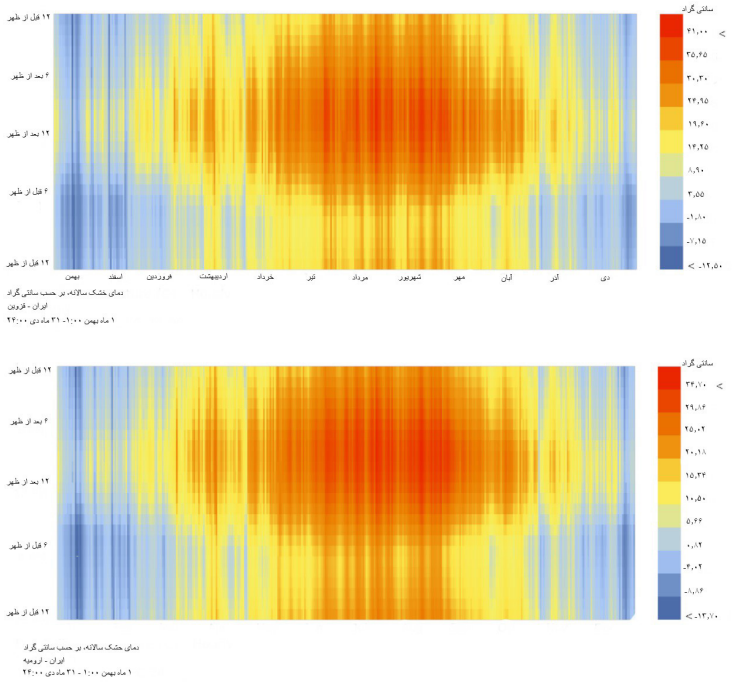
شکل ۱: از سمت راست: نحوه ساخت گنبد تک پوسته، سمت چپ: نحوه ساخت گنبد دو پوسته چرخش حول محور عمودی رأس



۲-۲- ویژگی‌های معماری بومی مناطق سرد

اگرچه میزان سرما و دوام آن در مناطق سرد متفاوت است؛ ولی اصولی که برای جلوگیری از اتلاف حرارت ساختمان رعایت شده، یکسان و به‌طور عمده شبیه به اصولی است که در معماری مناطق گرم و خشک مورد توجه بوده است. با این تفاوت که در مناطق سرد، منبع ایجاد حرارت در داخل ساختمان است. تنها تفاوت این مناطق و مناطق گرم و خشک، تمایل و ضرورت استفاده از حرارت ناشی از تابش آفتاب در داخل ساختمان در فصل زمستان است (Kasmaei & Ahmadinejad, 2003, p. 92). با توجه به برودت بسیار زیاد هوا در بخش عمده‌ای از سال در این نواحی، حداکثر استفاده از تابش آفتاب، بهره‌گیری از نوسان روزانه دما، حفظ حرارت و جلوگیری از باد سرد زمستانی در محیط‌های مسکونی امری ضروری است (Ghobadian, 2014, p. 99). شهر قزوین و ارومیه در این اقلیم قرار دارند. در شهر قزوین حداکثر دمای خشک در طول سال به ۴۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و سردترین روز در طول سال تا ۱۲.۵- درجه سانتی‌گراد می‌رسد. خروجی‌های به‌دست آمده از پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ که دارای شرایط آب و هوای (EPW) شهر ارومیه و قزوین بوده است، در شکل ۲ به‌طور سالیانه به‌صورت گرافیکی نمایش داده شده است. که بیش‌ترین دمای خشک در طول سال ۳۴.۷ درجه سانتی‌گراد، در سردترین روز سال تا ۱۳.۷۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

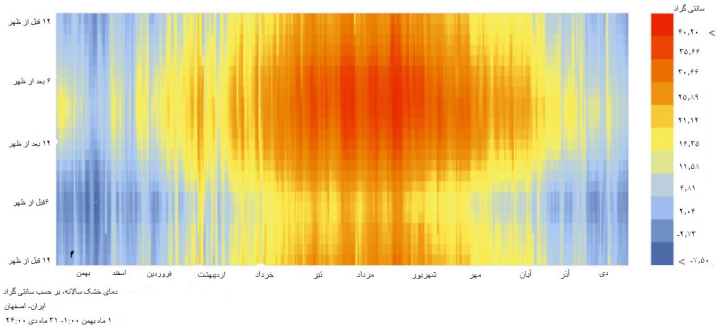
شکل ۲: بالا، نمودار سالانه دمای خشک قزوین و پایین، نمودار دمای خشک ارومیه



۲-۳- ویژگی‌های معماری بومی مناطق گرم و خشک (فلات مرکزی)

آفتاب در طول روز سطح زمین را تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌کند. در حالی که هنگام شب، دمای سطح زمین به سرعت کاهش می‌یابد و به ۱۵ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر می‌رسد (Kasmaei & Ahmadinejad, 2003, p. 84). به دلیل رطوبت کم و دوری از دریا، اختلاف درجه حرارت هوا در طی شبانه روزی زیاد است. با توجه به مشکلات اقلیمی این منطقه، معماری سنتی در اثر تجربه چند هزار ساله، راه‌حل‌های منطقی را ارائه نموده است (Ghobadian, 2014, p. 123). ساکنین مناطق گرم و خشک برای غلبه بر مشکلات آب و هوایی این نواحی تدبیرهایی را اندیشیده‌اند؛ از جمله آن در این مناطق ساختمان‌ها با مصالحی از جمله خشت و گل که ظرفیت حرارتی زیادی دارند بنا شده‌اند (Kasmaei & Ahmadinejad, 2003, p. 89). در این پژوهش اقلیمی که بر اساس معیارهای خاص انتخاب شد، اصفهان می‌باشد. که در شکل ۳ خروجی گرافیکی آنالیز دریافت تابش در طول سال را نشان می‌دهد، گرم‌ترین نقطه شهر اصفهان در طول سال ۴۰.۲۰ درجه سانتی‌گراد و سردترین نقطه در طول سال به ۷.۵۰- درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

شکل ۳: نمودار سالانه دمای خشک شهر اصفهان



۳. معرفی موردهای مطالعاتی

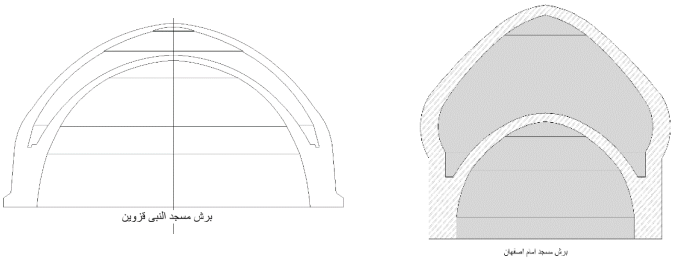
نمونه‌های موردی براساس شرایط اقلیمی و کیفیت ساخت گنبد و همچنین اهمیت بنا در دوره تاریخی خود انتخاب شده است. از این لحاظ به ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری هر گنبد پرداخته شده است.

۳-۱- گنبد دو پوسته

گنبد مسجد امام اصفهان، حاصل تلاش هنرمندان ایرانی در شکل بخشیدن به فضایی متفاوت از نظر شکل، رنگ و فرم بوده است (Michel, 2001, p. 150). مسجد امام در ضلع جنوبی میدان امام (نقش جهان) واقع شده و ساخت آن در سال ۱۰۲۰ ه.ق به دستور شاه عباس بوده است.

گنبد این مسجد دو پوسته گسسته می‌باشد، ضخامت گنبد داخلی در محل پاکار در حدود ۲.۱ و در تیزه در حدود ۷۵ سانتی‌متر است. مقطع آن نیز از نوع بیضی می‌باشد. گنبد خارجی که بر روی ساقه‌ای به ارتفاع ۷.۲۰ متر بنا شده؛ دارای دهانه‌ای حدود ۱۹.۸ متر و ارتفاعی در حدود ضخامت گنبد خارجی در محل پاکار در حدود ۲.۶ متر است که این ضخامت در تیزه به یک آجر می‌رسد. گنبد مسجدالنبی قزوین از نوع گنبد دو پوسته است. دهانه این گنبد، در حدود ۱۶.۵ متر و ارتفاع تیزه گنبد خارجی در حدود ۱۰ متر می‌باشد (Memarian, 1988, pp. 258-243). شکل ۴ نقشه از مقطع گنبدهای دو پوسته و جدول۱ مشخصات و ابعاد فیزیکی مسجد امام اصفهان و مسجدالنبی قزوین را نشان می‌دهد.

شکل ۴: نقشه مقطع گنبدهای دوپوسته، سمت راست: گنبد مسجدالنبی قزوین، سمت چپ: گنبد مسجد امام اصفهان



(Memarian, 1988)

جدول ۱: مشخصات و ابعاد فیزیکی گنبد دو پوسته مساجد امام و مسجدالنبی، اعداد برحسب متر است.

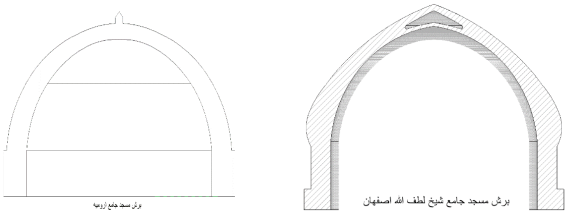
گنبد دوپوسته	دهانه	ارتفاع	ضخامت داخلی گنبد در راس	ضخامت گنبد خارجی در راس	ضخامت گنبد خارجی در پاکار	فاصله بین پوسته‌های گنبد	اقلیم	اطلاعات اقلیمی	مصالح
مسجد امام	۱۹.۸	۱۸.۹	۰.۷۵	۰.۸۵	۲.۶۶	۹.۳	گرم و خشک	فایل‌های آب و هوایی EPW	آجر، کاشی
مسجدالنبی قزوین	۱۶.۵	۱۰	۰.۳۵	۰.۳۵	۱.۸	۲.۱	سرد	فایل‌های آب و هوایی EPW	آجر، کاشی

(Memarian, 1988)

۳-۲- سقف تک پوسته

اکنون لازم است به معرفی برخی گنبدهای تک پوسته پرداخته شود. مسجد شیخ لطف‌الله در قسمت جنوب‌شرقی میدان نقش‌جهان اصفهان ساخته شد. کتیبه حاشیه گنبدخانه به ساخت این بنا به تاریخ ۱۰۲۵ اشاره دارد (HajiGhasemi, 2015, p. 124). شکل استوار گنبدی بر روی اتاق چهار گوش که میراث معماری ساسانی است، در این مسجد کوچک زیبا بار دیگر نمایان شده است (Pope, 2016, p. 217). این گنبد از تناسب بسیار زیبایی برخوردار است و استفاده از کاشی‌ها به رنگ‌های مختلف، جذابیت و زیبایی خاصی دارد (Memarian, 1988, p. 127). مسجد جامع ارومیه یکی دیگر از بناهای دارای گنبد تک پوسته است و از بناهای نیمه دوم قرن هفتم هجری، و مربوط به ایلخانی هست. گنبد مسجد جامع در حدود ۱۵.۸متر و ارتفاع تیزه آن تا زمین در حدود ۱۸ متر است، مقطع آن بیضی با خیز کم می‌باشد (Memarian, 2012, p. 310). شکل ۵ نقشه از مقطع گنبدهای تک پوسته و جدول ۲ مشخصات و ابعاد فیزیکی شیخ لطف‌الله اصفهان و مسجد جامع ارومیه را نشان می‌دهد.

شکل ۵: مدل‌سازی گنبدهای تک پوسته، سمت راست: برش مسجد شیخ لطف‌الله اصفهان و سمت چپ: برش مسجد جامع ارومیه



(Memarian, 1988)

جدول ۲: مشخصات و ابعاد فیزیکی گنبدهای تک پوسته شیخ لطف‌الله و جامع ارومیه، اعداد برحسب متر می‌باشد.

گنبد تک پوسته	دهانه	ارتفاع	ضخامت پاکار	ضخامت راس گنبد	میان تهی	اقلیم	اطلاعات اقلیمی	مصالح
مسجد امام	۱۹.۸	۱۸.۹	۲.۱	۰.۳۵	۱.۱	گرم و خشک	فایل‌های آب و هوایی EPW	آجر، کاشی
مسجدالنبی قزوین	۱۶.۵	۱۰	۳.۲	۰.۶۸	ندارد	سرد و کوهستانی	فایل‌های آب و هوایی EPW	آجر سنتی

(Memarian, 1988 with Emphasis by Authors)

۴. پیشینه تحقیق

در این بخش بر اساس مفاهیمی مانند: اثر تابش خورشید، نحوه جذب تابش بر سطوح منحنی گنبد و استانداردهای مربوط به آن تلاش شده است تا مرتبط‌ترین تحقیقات در این زمینه گردآوری شود. این تحقیقات در دو حوزه شبیه‌سازی نرم‌افزاری و نیمه‌تجربی قابل بحث هستند.

۴-۱- تحلیل اثر تابش خورشید بر سطوح گنبدی

پژوهشگران زیادی در زمینه اثر تابش خورشید بر سقف‌های گنبدی مطالعه انجام دادند، که شامل سقف‌های گنبدی آب انبارها، بازارها بوده است. در مورد سقف ساختمان در منطقه گرم و خشک، پژوهشگرانی مانند (Fathy, 1973; Mainstone, 1983; Bowen, 1981; Koita, 1981; Bahadori, 1978; Shiri et al., 2019) پژوهش‌هایی درباره اثر تابش بر سقف‌های گنبدی با روش آزمایشگاهی و شبیه‌سازی انجام دادند (Tang, Meir, & Etzion, 2003). طی پژوهشی تأثیر فرم بر میزان سایه‌اندازی و جذب حرارت در گنبد آب انبارهای یزد را با پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها با استفاده از این پلاگین‌ها اثر تابش خورشید بر سقف گنبدی آب‌انبارها در اقلیم گرم و خشک یزد را به‌دست آوردند. مناسب‌ترین گنبد آب‌انبار از لحاظ دریافت تابش خورشید برای اقلیم گرم و خشک ارائه دادند (Shiri et al., 2019, p. 78). پژوهشی را در شهر قم برای سقف بارگاه حضرت معصومه(س) انجام داده و مدل و مقدار انرژی تابشی و شار حرارتی را محاسبه و کم‌ترین اتلاف انرژی را برای زوایای ۵۰ الی ۶۰ درجه معرفی نموده‌اند. همچنین آن‌ها معتقد بودند که استفاده از کاشی در معماری سنتی ایران در پوشاندن سطوح گنبد باعث کاهش تشعشع خورشیدی جذب شده می‌شود (Khorasani & Bahadorinejad, 2009, p. 286). طی پژوهشی بر خانه گنبدی دو پوسته در کاشان تأثیر تابش و تهویه داخلی با شبیه‌سازی انجام دادند، نتایج نشان داد که میزان اختلاف حرارت روزانه در تابستان بین داخلی‌ترین سطح و خارجی‌ترین سطح

پوسته، حدود پنج درجه و در شب زمستان، این اختلاف دما حدود ۱۱.۵ درجه برحسب درجه سانتی‌گراد است (Fooladi, Tahabaz, & Majedi, 2016, p. 96). نتایج پژوهش نشان داد که لایه‌بندی حرارتی هوای زیر سقف گنبدی یا قوسی به گونه‌ای است که هوای گرم‌شده در قسمت بالا در تماس با سقف قرار می‌گیرد، که باعث می‌شود شرایط زندگی در ساختمان بسیار مطلوب باشد (Bahadori & Haghighat, 1985, p. 103). همچنین در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که جریان هوای وارده از بادگیرها، به تهویه فضای داخلی و خنک نگه داشتن گنبد آب‌انبارها در فصول گرم کمک به‌سزایی می‌نماید (Kho-rasani & Bahadorinejad, 2009, p. 215). طی پژوهشی که بر سقف‌های دو پوسته انجام دادند، نتایج نشان داد که سقف دو پوسته با قابلیت بازتابندگی بالا و تهویه مناسب می‌تواند به سرمایش غیرفعال در تابستان کمک کند (Bi-wole, Woloshyn, & Pompeo, 2008, p. 478). سقف دوپوسته ترکیب شده با سیستم مانع تابش، طراحی و در شبیه سازی رایانه‌ای مدل کردند. بعضی از ضرایب انتقال حرارت را به صورت همزمان در مدل یادشده و نمونه‌ای از آن مدل مقایسه کردند (Miranville, 2003). در سقف گنبدی دوپوسته تابش، همرفت و انتقال حرارت به‌عنوان سیستم سرمایش غیرفعال می‌تواند به کاهش هزینه‌های برق و تهویه مطبوع در تابستان منجر شود (Chang, 2008, p. 148). در سقف‌های گنبدی دو پوسته هر چه اختلاف ستون هوا کم‌تر شود، چون گردش هوا کم‌تر و اثر همرفت بسیار کاهش می‌یابد. و اتلاف سقف کم‌تر شده تقریباً ۸ تا ۱۰ درجه شرایط آسایش بهتر می‌شود و چرخش هوا در سقف گنبدی شبیه به کره بهتر می‌افتد (Moshfegh & Ibrahimi, 2008). پژوهشی بر سطوح چند نمونه از گنبد مساجد مناطق بیابانی با استفاده از پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ انجام دادند. آن‌ها با استفاده از موتور Radiance اثر تابش بر سطوح گنبدها را در گرم‌ترین روز سال به‌دست آوردند. نتایج نشان داد که در ساعت ۱۴ گنبدهای با خیز بلند تقریبا ۵۸ درصد و گنبدهای با خیز کم ۷۵ درصد، در ساعت ۱۶ گنبدهای با خیز کم ۶۸ درصد و گنبدهای با خیز بلند ۵۱ درصد و در ساعت ۱۸ گنبد با خیز بلند ۴۹ درصد و گنبد با خیز کم ۴۶ درصد از سطوح خود را در معرض تابش قرار می‌دهند.

۵. آزمون و روش تحقیق

به منظور ارزیابی میزان دریافت تابش خورشید بر سطوح بیرونی ساختمان‌ها، در مرحله اول نیاز به روشی است که بتواند شبیه‌سازی تابش بر سطوح مدل‌ها را با دقت بالا انجام دهد. برای شبیه‌سازی تابش خورشید بر سطوح بیرونی بناها، نیاز به شاخصه زمان، مکان و شرایط آب‌وهوایی منطقه است. و همچنین تأثیر سایه بر سطوح بیرونی ساختمان‌ها در آنالیز نشان دهد. بنابراین برای انجام آنالیز تابش خورشید و ایجاد سایه، ضروری است که یک ابزاری مناسب جهت ارزیابی و دریافت تابش بر سطوح بناها استفاده شود. Radiance, Daysim, and ArcGIS Ecotect, نرم‌افزارهایی برای ارزیابی تابش بر سطح ساختمان هستند (Brito, Gomes, Santos, & Tenedório, 2012; Freitas, Catita, Redweik, & Brito, 2015; Andersson, Wayne, Kammerud, & Peter, 1985). نرم‌افزار RADIANCE می‌تواند برای مقیاس‌های کوچک آنالیز تابش خورشید را با دقت بسیار بالای ارائه دهد، که این نرم‌افزار برای آنالیز از Perez Diffuse Ra-diation Model استفاده می‌نماید (Perez, Ineichen, Seals, Michalsky, & Stewart, 1990; Perez, Seals, Ineichen, Stewart, & Menicucci, 1987). پایه و اساس نرم‌افزار به صورت الگوریتمی است، که برای آنالیز تابش خورشید، در محیط گرس هاپر به صورت الگوریتم تصویری نوشته می‌شود. نرم‌افزار نتایج اشعه‌ای تابش خورشید بر مدل‌های سه بعدی را با دقت بالا نمایش می‌دهد و حتی برای آنالیز هندسه‌های منحنی پیچیده، نرم‌افزار RADI-ANCE پیشنهاد می‌شود (Ward, 1994). در این پژوهش نیز از موتور شبیه‌سازی معتبر Radiance استفاده شده است. پژوهش حاضر با فرض تأثیرگذاری ویژگی‌های شکلی گنبدهای دوپوسته و تک پوسته بر میزان دریافت تابش خورشید و ایجاد سایه در دو اقلیم گرم، خشک و سرد انجام پذیرفته است و شرایط حرارتی این ابنیه مورد مقایسه تطبیقی قرار گرفته‌اند. در این راستا؛ از هر اقلیم شهرهایی انتخاب شده‌اند که دارای شرایطی از قبیل موارد ذیل باشند: ۱. گنبدهای انتخابی قدمت و ارزش تاریخی باشند؛ ۲. مدارک و اسناد جهت نمایش ابعاد گنبدها و ویژگی‌های بناها موجود و قابل دسترسی باشند و ۳. در شهرهای منتخب، بناهای ثبتی میراث فرهنگی و دارای ارزش تاریخی قاجار و ما قبل قاجار موجود باشد؛ به‌گونه‌ای که هردو گنبد دو پوسته و تک‌پوسته را داشته باشند. در این پژوهش تلاش شده با بررسی دو نوع گنبد تک پوسته و دوپوسته در اقلیم‌های گرم، خشک و سرد چارچوب تحقیق نظام یابد. برای ایجاد مدل بهینه به لحاظ مصرف انرژی برای پوشش سقف تک‌پوسته و دوپوسته در اقلیم‌های گرم، خشک و اقلیم سرد و کوهستانی، سقف‌های مبنا این پژوهش، گنبد مسجد جامع ارومیه، مسجدالنبی قزوین و گنبد مسجد شیخ لطف‌الله، گنبد مسجد شاه (امام) اصفهان در نظر قرار گرفته شده است. شکل ۶ گنبد جامع ارومیه و گنبد مسجدالنبی قزوین، به‌عنوان گنبدهای اقلیم سرد، و گنبدهای مسجد امام اصفهان و مسجد شیخ لطف‌الله به‌عنوان گنبدهای اقلیم گرم و خشک، انتخاب و مدل شدند.

شکل ۶: از راست بالا: مسجد جامع ارومیه؛ چپ: مسجدالنبی قزوین (اقلیم سرد)؛ پایین راست: مسجد امام اصفهان و چپ: مسجد شیخ لطف الله (گرم، خشک)

(Memarian, 1988, p. 148; HajiGhasemi, 2015, p. 96; Memarian, 1988, p. 158; HajiGhasemi, 2015, p. 85)

برای انجام تحلیل تابش خورشید از پلاگین‌های معتبر هانی بی و لیدی باگ تحت موتور Radiance استفاده گردید، ابتدا گنبد مساجد انتخاب شده در محیط Rhi-noceos 5 در تراز صفر قرار داده شد. سپس با استفاده از ابزارهای هانی بی و لیدی باگ الگوریتم دریافت تابش خورشید در گرم‌ترین روز سال در سه بازه زمانی ۱۴، ۱۶ و ۱۸ بعدازظهر انجام شد. تحلیل‌ها با استفاده از فایل آب و هوایی EPW هر شهر از ایستگاه آب و هوایی دریافت و در نرم‌افزار بارگذاری شد تا آنالیزها بر اساس شرایط آب و هوایی هر منطقه صورت گیرد. لازم به ذکر است در تمامی مراحل فرم گنبد به‌عنوان متغیر اصلی مورد سنجش قرار گرفته است، دیگر پارامترهای پایه مانند ضخامت، مصالح گنبد ثابت فرض شده‌اند.

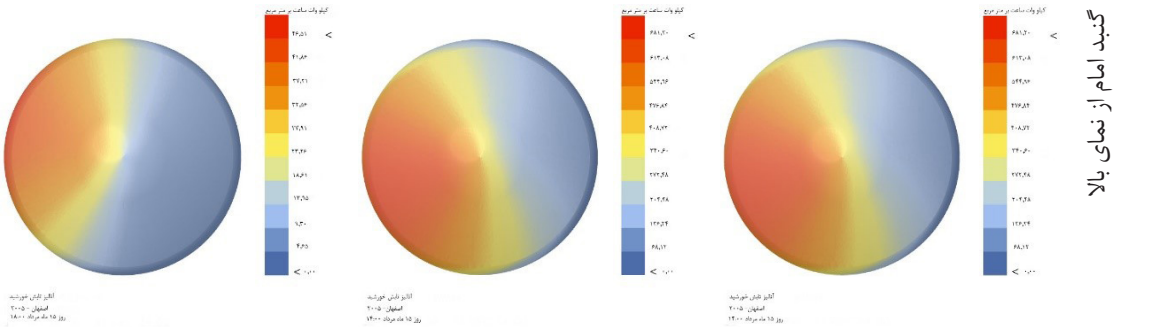
۶. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

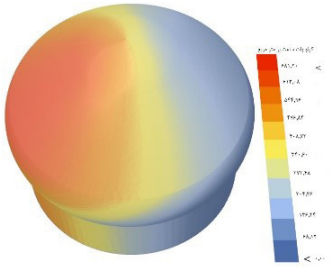
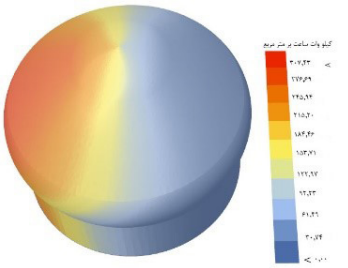
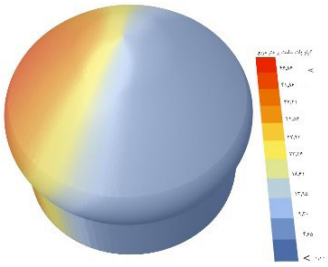
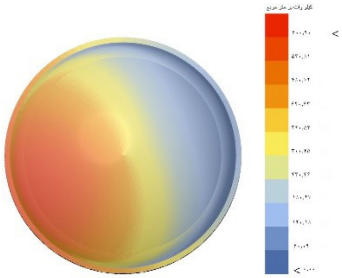
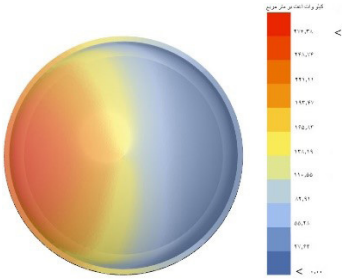
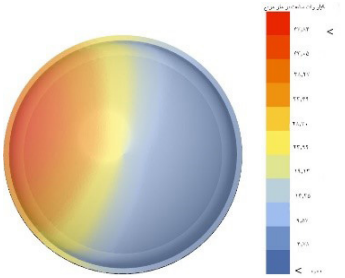
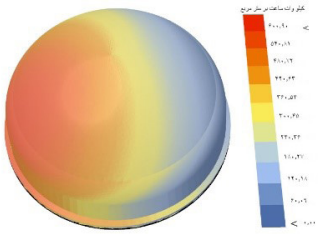
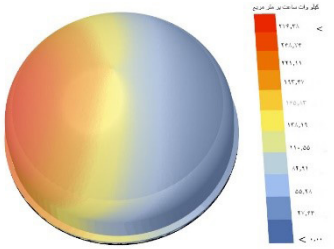
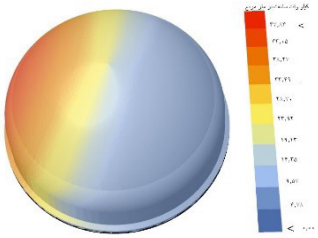
تحلیل میزان دریافت حرارت در معرض تابش و در محدوده سایه بر سطوح گنبد مساجد شیخ لطف‌الله، امام، مسجدالنبی قزوین و جامع ارومیه با استفاده از پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ تحت موتور Radiance انجام شد. تا عملکرد حرارتی، دریافت حرارت در معرض تابش و در محدوده سایه بر روی سطوح گنبدها مشخص شد. نتایج تحلیل‌ها به صورت گرافیکی و عددی نمایش داده شده است. که در دو بخش تحلیل گنبدهای تک پوسته و تحلیل گنبدهای دوپوسته نمایش داده شده است.

۶-۱- تحلیل گنبد مساجد تک پوسته

در این بخش از تحلیل‌ها که مربوط به گنبدهای تک پوسته می‌باشد، جدول ۳ تحلیل گرافیکی اثر تابش خورشید بر سطوح گنبدهای تک پوسته در سه بازه زمانی ۱۴، ۱۶ و ۱۸ از نمای بالا و حالت سه بعدی نشان می‌دهد. جدول ۴ خروجی اکسلی میزان دریافت حرارت در معرض تابش و جدول ۵ خروجی اکسلی میزان دریافت حرارت در محدوده سایه بر سطوح گنبدهای تک پوسته را نشان می‌دهند.

جدول ۳: تحلیل دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبد مساجد دو پوسته در بازه زمانی ۱۴، ۱۶، ۱۸ بر حسب KWh/m^2

گنبد دو پوسته	تحلیل در ساعت ۱۴ بعدازظهر	تحلیل در ساعت ۱۶ بعدازظهر	تحلیل در ساعت ۱۸ بعدازظهر
گنبد امام از نمای بالا			

گنبد دو پوسته	تحلیل در ساعت ۱۴ بعدازظهر	تحلیل در ساعت ۱۶ بعدازظهر	تحلیل در ساعت ۱۸ بعدازظهر
گنبد امام از نمای سه بعدی			
گنبد مسجدالنبی از نمای بالا			
			

جدول ۴: میزان جذب حرارت در معرض تابش گنبد مساجد دو پوسته برحسب kwh/m^2، مساحتی از سطح گنبد در معرض تابش= مساحت جذب حرارت

گنبد مساجد	مساحت گنبد		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۴ بعدازظهر					جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
امام (شاه)	۹۷۷ m^2	مساحت جذب حرارت	۶۸۲ kwh/m^2	۶۱۴ kwh/m^2	۵۴۵ kwh/m^2	۴۷۷ kwh/m^2	۴۰۹ kwh/m^2	۳۴۱ kwh/m^2
			۵۸۴۴	۲۸۳۲	۲۵۱۴	۱۵۱۷	۸۰۸	۳۳۰۶	۱۶۹۳۷
			۶۰۰ kwh/m^2	۵۴۰ kwh/m^2	۴۸۰ kwh/m^2	۴۲۰ kwh/m^2	۳۶۰ kwh/m^2	۳۰۰ kwh/m^2
مسجدالنبی	۱۴۳۰m^2		۳۲۳۴	۳۱۷۵	۲۸۲۲	۳۰۸۷	۳۵۲۸	۲۲۰۵	۱۸۰۵۱
گنبد مساجد	مساحت گنبدها		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۶ بعدازظهر					جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
امام (شاه)	۹۷۷ m^2	مساحت جذب حرارت	۳۰۷ kwh/m^2	۲۷۶ kwh/m^2	۲۴۵ kwh/m^2	۲۱۵ kwh/m^2	۱۸۴ kwh/m^2	۱۵۳ kwh/m^2
			۲۰۲۶	۹۱۱	۸۰۸	۵۶۷	۲۴۲	۱۰۱۰	۵۵۶۷
مسجدالنبی	۱۴۳۰m^2		۱۷۶ kwh/m^2	۲۴۸ kwh/m^2	۲۲۱ kwh/m^2	۱۹۳ kwh/m^2	۱۶۵ kwh/m^2	۱۳۸ kwh/m^2
			۱۲۱۷	۱۲۱۵	۱۰۸۲	۸۵۱	۸۰۸	۶۷۶	۵۸۵۱

گنبد مساجد	مساحت گنبدها		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۸ بعدازظهر						جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
			۴۷ kwh/m²	۴۱ kwh/m²	۳۷ kwh/m²	۳۲ kwh/m²	۲۷ kwh/m²	۲۳ kwh/m²	
امام (شاه)	۹۷۷ m²	مساحت	۳۰۳	۱۳۵	۱۲۲	۸۴	۳۵	۱۵۱	۸۳۳
مسجدالنبی	۱۴۳۰m²	جذب حرارت	۴۷ kwh/m²	۴۳ kwh/m²	۳۸ kwh/m²	۳۳ kwh/m²	۲۸ kwh/m²	۲۳ kwh/m²	
جامع ارومیه	۱۴۳۰m²		۲۰۷	۲۱۰	۱۸۶	۱۴۵	۱۳۷	۱۱۲	۹۹۹

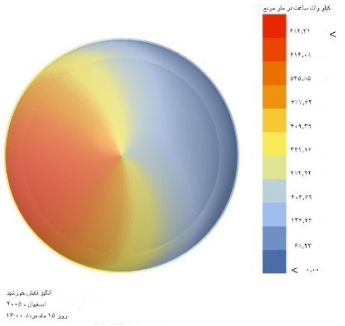
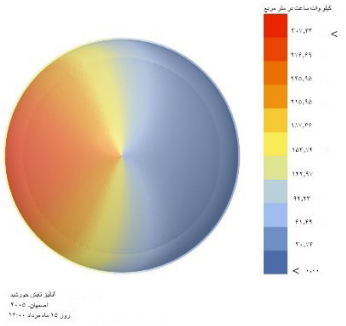
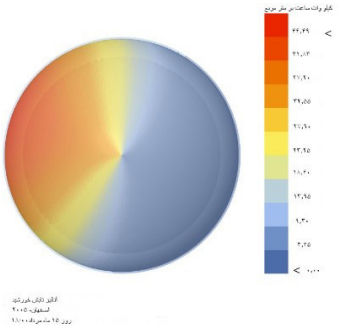
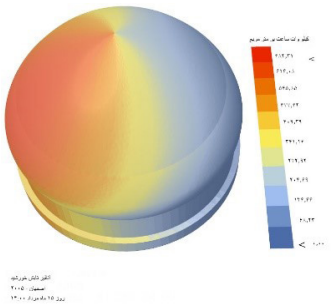
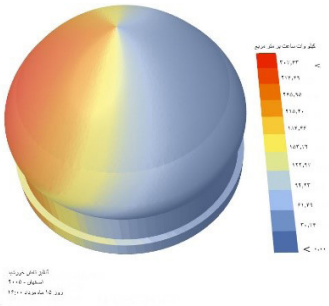
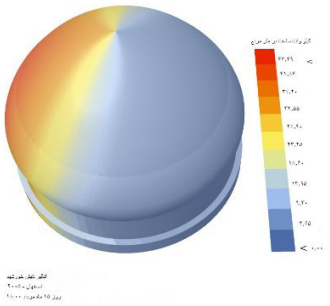
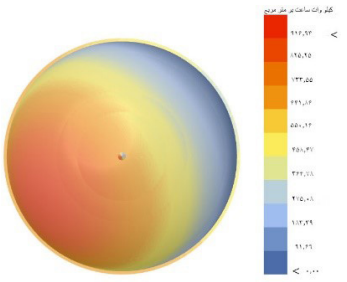
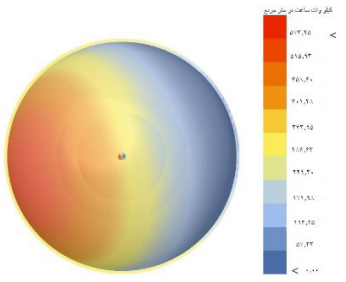
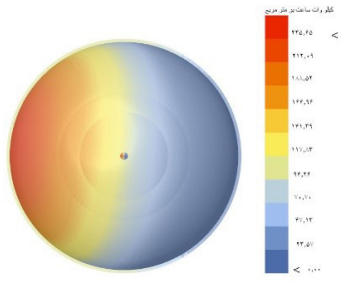
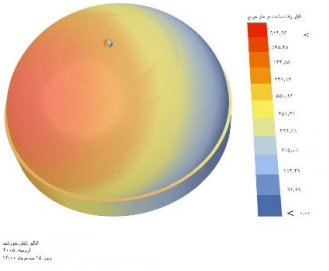
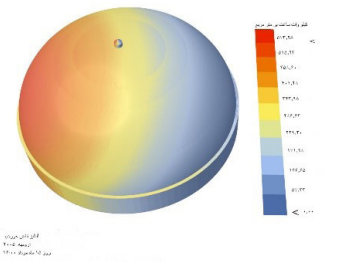
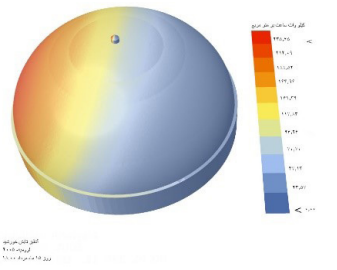
جدول ۵: میزان جذب حرارت در محدوده سایه بر سطوح گنبد مساجد دوپوسته بر حسب kwh/m^2، مساحتی از سطح گنبد در معرض حرارت= مساحت جذب حرارت

گنبد مساجد	مساحت گنبد		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در محدوده سایه در ساعت ۱۴ بعدازظهر				جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
			۲۷۲ kwh/m²	۲۰۴ kwh/m²	۱۳۶ kwh/m²	۶۸ kwh/m²	
امام (شاه)	۹۷۷ m²	مساحت	۷۱۸	۶۷۳	۱۲۵۷	۲۲۴	۲۸۷۳
		جذب حرارت	۲۴۰ kwh/m²	۱۸۰ kwh/m²	۱۲۰ kwh/ m²	۶۰ kwh/m²	
مسجدالنبی	۱۴۳۰ m²		۴۷۰	۱۷۶	۴۷۰	۲۹	۱۱۴۶
گنبد مساجد	مساحت گنبدها		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در محدوده سایه در ساعت ۱۶ بعدازظهر				جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
			۱۲۲ kwh/m²	۹۲ kwh/m²	۶۱ kwh/m²	۳۰ kwh/m²	
امام (شاه)	۹۷۷ m²	مساحت	۸۰۵	۷۲۸	۶۴۴	۳۹۶	۲۵۷۴
مسجدالنبی	۱۴۳۰ m²	جذب حرارت	۱۱۰ kwh/m²	۸۲ kwh/m²	۵۵ kwh/m²	۲۷ kwh/m²	
			۵۹۲	۴۸۲	۳۷۷	۱۶۴	۱۷۱۶
گنبد مساجد	مساحت گنبدها		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در محدوده سایه در ساعت ۱۸ بعدازظهر				جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
			۱۸ kwh/m²	۱۳ kwh/m²	۹ kwh/m²	۴ kwh/m²	
امام (شاه)	۹۷۷ m²	مساحت	۳۵۶	۲۹۱	۲۹۷	۱۳۲	۱۰۷۷
مسجدالنبی	۱۴۳۰ m²	جذب حرارت	۱۹ kwh/m²	۱۴ kwh/m²	۹ kwh/m²	۴ kwh/m²	
			۱۸۶	۱۵۷	۱۰۵	۵۸	۵۰۸

۶-۲- تحلیل گنبد مساجد تک پوسته

در این بخش تحلیل مربوط به گنبدهای دو پوسته است، جدول ۶ تحلیل گرافیکی اثر تابش خورشید بر سطوح گنبدهای دو پوسته در سه بازه زمانی ۱۴، ۱۶ و ۱۸ از نمای بالا و حالت سه بعدی نشان می‌دهد. جدول ۷ خروجی اکسلی میزان دریافت حرارت در معرض تابش و جدول ۸ خروجی اکسلی میزان دریافت حرارت در محدوده سایه بر سطوح گنبد دو پوسته را نشان می‌دهند.

جدول ۶: تحلیل دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبد مساجد تک پوسته، در بازه زمانی ۱۴، ۱۶ و ۱۸ بر حسب KWh/m²

گنبد	تحلیل در ساعت ۱۴ بعد از ظهر	تحلیل در ساعت ۱۶ بعد از ظهر	تحلیل در ساعت ۱۸ بعد از ظهر
گنبد شیخ لطف الله از بالا			
گنبد شیخ لطف الله سه بعدی			
گنبد جامع ارومیه از نمای بالا			
			

جدول ۷: میزان جذب حرارت در معرض تابش گنبد تک پوسته بر حسب kwh/m² مساحتی از سطح گنبد در معرض= مساحت جذب

گنبد مساجد	مساحت گنبد	میزان بازره حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۴ بعد از ظهر						جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m²
			۶۸۲ kwh/m²	۶۱۴ kwh/m²	۵۴۵ kwh/m²	۴۷۷ kwh/m²	۴۰۹ kwh/m²	۳۴۱ kwh/m²	
شیخ لطف‌الله	۱۰۳۴ m²	مساحت	۶۷۹۳	۲۹۱۲	۴۷۳۰	۳۶۲۰	۳۱۰۳	۷۱۹۷	۲۸۳۵۷
جامع ارومیه	۱۴۷۹ m²	جذب حرارت	۹۱۶ kwh/m²	۸۲۵ kwh/m²	۷۳۳ kwh/m²	۶۴۱ kwh/m²	۵۵۰ kwh/m²	۴۵۸ kwh/m²	
			۱۳۶۰۲	۹۱۸۸	۸۱۶۳	۹۵۱۸	۴۰۸۳	۶۸۰۱	۵۱۳۵۸

گنبد مساجد	مساحت گنبدها		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۶ بعدازظهر					جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
			۳۰۷ kwh/m²	۲۷۶ kwh/m²	۲۴۵ kwh/m²	۲۱۵ kwh/m²	۱۸۴ kwh/m²	۱۵۳ kwh/m²
شیخ لطف‌الله	۱۰۳۴ m²	مساحت	۲۳۲۹	۱۰۴۷	۱۱۶۲	۱۰۱۹	۱۰۴۷	۲۱۷۷
جامع ارومیه	۱۴۷۹ m²	جذب حرارت	۵۷۳ kwh/m²	۵۱۵ kwh/m²	۴۵۸ kwh/m²	۴۰۱ kwh/m²	۳۴۳ kwh/m²	۲۸۶ kwh/m²
			۴۲۵۴	۳۸۲۳	۳۴۰۰	۴۱۶۸	۱۵۲۸	۲۵۶۸

گنبد مساجد	مساحت گنبدها		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۸ بعدازظهر					جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
			۴۷ kwh/m²	۴۱ kwh/m²	۳۷ kwh/m²	۳۲ kwh/m²	۲۷ kwh/m²	۲۳ kwh/m²
شیخ لطف الله	۱۰۳۴ m²	مساحت	۲۵۶	۱۵۵	۱۷۵	۱۵۱	۱۵۳	۳۲۷
جامع ارومیه	۱۴۷۹ m²	جذب حرارت	۲۳۵ kwh/m²	۲۱۲ kwh/m²	۱۸۸ kwh/m²	۱۶۴ kwh/m²	۱۴۱ kwh/m²	۱۱۷ kwh/m²
			۱۳۹۵	۱۱۰۱	۱۱۱۶	۱۲۱۷	۴۱۸	۶۹۴

جدول ۸: میزان جذب حرارت در محدوده سایه بر سطوح گنبد مساجد تک پوسته بر حسب kwh/m^2، مساحتی از سطح گنبد در محدوده سایه= مساحت جذب حرارت

گنبد مساجد	مساحت گنبد		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در محدوده سایه در ساعت ۱۴ بعدازظهر				جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
			۲۷۲ kwh/m²	۲۰۴ kwh/m²	۱۳۶ kwh/m²	۶۸ kwh/m²	
شیخ لطف‌الله	۱۰۳۴ m²	مساحت	۶۴۵	۴۸۳	۴۷۹	۶۴۸	۲۲۵۷
جامع ارومیه		جذب حرارت	۳۶۶ kwh/m²	۲۷۵ kwh/m²	۱۸۳ kwh/m²	۹۱ kwh/m²	
	۱۴۷۹ m²		۱۳۵۸	۲۰۴۱	۱۳۵۸	۴۷۲	۵۲۳۲

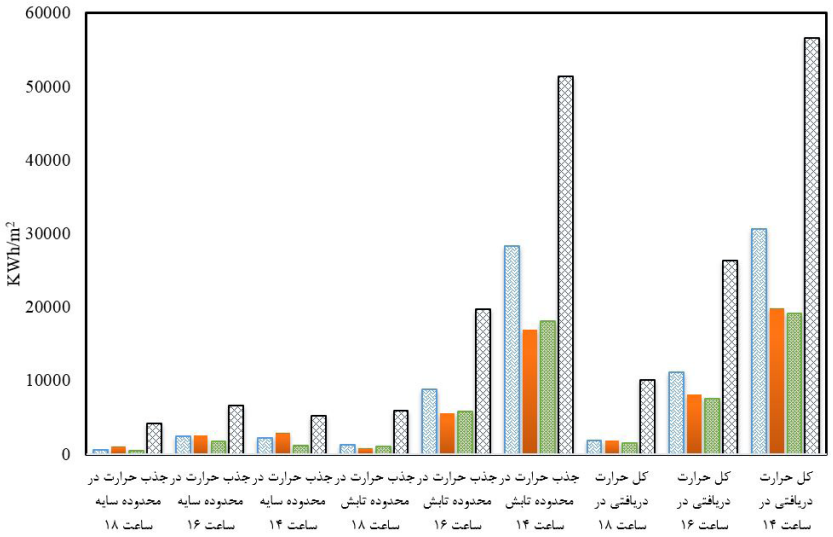
گنبد مساجد	مساحت گنبدها		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در محدوده سایه در ساعت ۱۶ بعدازظهر				جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
			۱۲۲ kwh/m²	۹۲ kwh/m²	۶۱ kwh/m²	۳۰ kwh/m²	
شیخ لطف‌الله	۱۰۳۴ m²	مساحت	۸۱۰	۶۵۴	۵۴۹	۴۱۲	۲۴۲۷
جامع ارومیه	۱۴۷۹ m²	جذب حرارت	۲۲۹ kwh/m²	۱۷۱ kwh/m²	۱۱۴ kwh/m²	۵۷ kwh/m²	
			۲۲۱۰	۱۹۰۴	۱۶۹۲	۸۴۶	۶۶۵۴

گنبد مساجد	مساحت گنبدها		میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در محدوده سایه در ساعت ۱۸ بعدازظهر				جمع کل جذب حرارت بر حسب kwh/m^2
		مساحت	۱۸ kwh/m²	۱۳ kwh/m²	۹ kwh/m²	۴ kwh/m²	
		جذب حرارت					
شیخ لطف‌الله	۱۰۳۴ m²		۱۷۰	۱۷۸	۱۵۳	۹۴	۵۹۸
جامع ارومیه	۱۴۷۹ m²		۹۴ kwh/m²	۷۰ kwh/m²	۴۷ kwh/m²	۲۳ kwh/m²	
			۱۳۲۶	۱۰۹۱	۱۰۴۶	۶۸	۴۱۴۷

میزان دریافت تابش خورشید بر روی سطوح گنبد مساجد به نوع طاق، خیز و مساحت آن بستگی دارد. با توجه به آنالیزهای صورت گرفته به وسیله پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ معین شد؛ مساحت سطوح گنبدها در میزان جذب تابش خورشید نقش مهمی دارند. بیش‌ترین دریافت تابش خورشید در ساعت ۱۴ بعدازظهر اتفاق افتاده است که در این میان، گنبد مسجد جامع؛ با مساحت ۱۴۷۹ m^2 با مقدار ۵۱۳۵۸ kwh/m^2 بیش‌ترین مقدار و گنبد مسجد شاه (امام) با مساحت ۹۷۷ m^2 با مقدار ۱۶۹۳۷ kwh/m^2 کم‌ترین میزان دریافت در معرض تابش را نشان داده‌اند.

هرچقدر زاویه تابش به غروب نزدیک می‌گردید، میزان جذب حرارت کم‌تر می‌شود. بیش‌ترین جذب حرارت در محدوده سایه در بین گنبدهای نمونه موردی متعلق به گنبد مسجد جامع ارومیه با مقدار ۵۲۳۲ kwh/m^2 و کم‌ترین مقدار مربوط به گنبد مسجدالنبی قزوین با میزان ۱۱۴۶ kwh/m^2 در ساعت ۱۴ بعدازظهر است. که در شکل ۷ میزان دریافت حرارت کل، در معرض تابش و محدوده سایه در بازه‌های زمانی ۱۴، ۱۶ و ۱۸ به تفکیک نمایش داده شده است.

شکل ۷: میزان دریافت حرارت کل، در معرض تابش و محدوده سایه در ساعات ۱۴، ۱۶ و ۱۸ بر سطوح گنبد مساجد برحسب kwh/m^2



۷. نتیجه‌گیری

درک و شناخت پیشینیان از وضعیت محیطی و اقلیمی هر منطقه کشورمان، سبب خلق بناهای معماری اسلامی با هدف ایجاد آسایش حرارتی شده است. با بررسی همه جانبه اندام‌های معماری است که می‌توان به دانش ساخت و زمینه‌های پیدایش اشکال و کالبدهای آن دست یافت. عمده تحقیقات درباره گنبدها معطوف به کیفیت و مبانی نظری و یا تاریخ معماری آن بوده است و در زمینه شناخت گنبد برپایه روش تحقیق‌های کمی کم‌تر پژوهشی صورت گرفته است. یکی از این پژوهش‌های کمی شناسایی جنبه‌های اقلیمی آسمانه گنبد است. در این مقاله تلاش شد تا تنوع گونه‌های شکلی گنبدهای ناری در معماری ایران از منظر اقلیمی مورد توجه قرار داده شود. به منظور شناخت و بررسی وضعیت جذب حرارت در معرض تابش و محدوده سایه در سطوح گنبدهای مسجد امام اصفهان و مسجد شیخ لطف الله از اقلیم گرم و خشک، و مسجد جامع ارومیه و مسجدالنبی قزوین از اقلیم سرد، مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل‌ها نشان دادند که دریافت حرارت خورشید در محدوده سایه گنبد مساجد با افزایش مساحت گنبدها رابطه مستقیم دارد؛ به طوری که هرچقدر مساحت گنبد زیاد باشد؛ جذب حرارت نیز بیش‌تر خواهد بود. علاوه بر مساحت بلکه با افزایش خیز و ارتفاع گنبد مساجد دریافت حرارت تغییر پیدا می‌کند. گنبد با خیز و ارتفاع کم در شرایط آب و هوایی اقلیم سرد؛ در تمام طول روز عملکرد مناسبی دارد؛ زیرا این گنبد سطح تماس بیش‌تری را در معرض تابش قرار می‌دهد و سایه‌اندازی کم‌تری نسبت به گنبدهای خیز بلند ایجاد می‌کند. در هنگام طلوع و غروب خورشید گنبدهای با خیز کم نسبت به گنبدهای خیز بلند سایه‌اندازی کم‌تری دارند، زیرا تابش خورشید سطوح کم‌تری در معرض قرار می‌دهد. اما گنبدهای خیز و ارتفاع بلند مناسب اقلیم گرم و خشک می‌باشند؛ زیرا این گنبدها به خاطر نوع طاق و شکل خود در گرم‌ترین زمان روز سایه‌اندازی بهتری نسبت به گنبدهای با خیز کم دارند، و همچنین ایجاد گنبد بر روی گریو در افزایش سایه‌اندازی گنبد کمک به‌سزایی می‌کند. بدنه‌ای گریو نسبت به شرایط اقلیمی منطقه گرم و خشک بسیار مناسب هست. نمایانگر این می‌تواند

باشد که استفاده از گریو در منطقه گرم و خشک برای به حداقل رساندن دریافت تابش در گنبدهای مساجد بوده است. علاوه بر این نتایج گرافیکی سه‌بعدی نشان می‌دهند که در جبهه‌ای جنوبی گنبدهای اقلیم سرد که به دلیل ارتفاع کم، ایجاد سایه کم‌تر دیده می‌شود. اما این شرایط در گنبدهای اقلیم گرم و خشک صدق نمی‌کند و همواره با ایجاد سایه بلند در پشت گنبد به همراه بوده است. براساس یافته‌ها می‌توان بین شکل گنبد و تطابق اقلیمی نسبت مستقیمی یافت. چنانچه روند تغییر شکل گنبد از مناطق گرم و خشک تا سرد پی گرفته شود؛ این موضوع مشاهده می‌شود که ارتفاع و سطح تماس گنبد در دریافت تابش خورشید نقش مهمی داشته است.

پی‌نوشت

1. Honeybee and Ladybug

REFERENCES

- Andersson, B., Wayne, P., Kammerud, R., & Peter, M. (1985). Scofield, the Impact of Building Orientation on Residential Heating and Cooling. *Energy and Buildings*, 8(3), 05-224. Https://Doi.Org/10.1016/0378-7788(85)90005-2
- Bahadori, M.N., & 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), 103-13. https://doi.org/10.1016/0360-1323(85)90004-6
- Bahadori, M.N. (1978). Passive Cooling Systems in Iranian Architecture. *Scientific. Am*. (238), 144-154. https://www.scientificamerican.com/article/passive-cooling-systems-in-iranian/
- Bazazan, F., & Khosravani, N. (2016). Measuring Carbon Dioxide Emissions by Various Production Units and Households Due to Energy Consumption in Iran (Environmental-Input Data Approach), *Environment Economics And Natural Resources*, 1-25.
- Biwole, P.H., Woloshyn, M., & Pompeo, C. (2008). Heat Transfers in a Double-Skin Roof Ventilated by Natural Convection in Summer Time. *Energy and Buildings*, (40), 1487-1497. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.004
- Bowen, A.B. (1981). Cooling Achievement in the Gardens of Moghul India, In: C. Bowen, K. Labs (Eds.), Proceeding of the International Passive and Hybrid Cooling Conference, Miami Beach, FL, 6-16 November, 27-32.
- Brito, M.C., Gomes, N., Santos, T., & Tenedório, J.A. (2012). Photovoltaic Potential in a Lisbon Suburb Using Lidar Data. *Solar Energy*, 86(1), 283-288, Https://Doi.Org/10.1016/J.Solener.2011.09.031
- Chang, P. (2008). Development and Preliminary Evaluation of Double Roof Prototypes Incorporating RBS (Radiant Barrier System). *Energy & Buildings*, (40), 140-147. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.021
- Fathy, H. (1973). Architecture for the Poor. University of Chicago Press, Chicago, London-12.
- Fooladi, V. (2014). Investigating the Impact of Climate on the Characteristics of Two-Shell Domes in the Dry and Dry Region of Iran, Phd in Architecture. Tehran: Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran.
- Fooladi, V., Tahbaz, M., & Majedi, H. (2016). Two-Dimensional Dome from the Perspective of Thermal Performance in Desert Climate of Kashan. *Quarterly Journal of Islamic Architecture*, 11.
- Freitas, S.C., Catita, P., Redweik, M., & Brito, C. (2015). Modelling Solar Potential in the Urban Environment: State-of-the-Art Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 915-931, Https://Doi.Org/10.1016/J.Rser.2014.08.060
- Ghasemi, H.K. (2015). Ganjnameh Cultural Works of Islamic Architecture of Iran, Tehran: Shahid Beheshti University.
- Ghobadian, V. (2014). The Climatic Review of the Traditional Iranian Buildings, Tehran: Tehran University Press.
- Kasmaei, M., & Ahmadinejad, M. (2003). Climate and Architecture, Tehran: Khak Publishing.
- Khorasani, F., & Bahadorinejad, M. (2009). Experimental Investigation of Air Flow over Domed Roofs. *Science & Technology*, 207-216.
- Khorasani, F.A., & Bahadorinejad, R.M. (2009). Sunlight on Dome-Shaped Roofs, At the 18th Annual International Conference on Mechanical Engineering of Iran 2010.)ISME), Tehran, Sharif University of Technology, 21 To 23 May.
- Koita, Y. (1981). Comfort Attainment in Moghul Architecture. In Proceedings of the International Passive and Hybrid Cooling Conference, 32-36. Miami Beach, FL.
- Mainstone, R.J. (1983). Developments in Structural Form, M.L.T. Press, Cambridge, 95-136.
- Memarian, G.H. (1988). The Neutrality of Vault Structures in Islamic Architecture of Iran, Tehran: Iran University of Science and Technology.
- Memarian, G.H. (2012). Iranian-Iranian Architecture, Tehran: Naghma Nawandish, Volume II.
- Michel, G. (2001). The Architecture of the World of Islam, (Yaghoubi, Trans.). Tehran: Molavi.
- Miranville, F. (2003). On the Thermal Behavior of Roof-Mounted Radiant Barriers under Tropical and Humid Climate Conditions: Modelling and Empirical Validation. *Energy and Buildings*, 35 (10), 997-1008. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00035-5
- Moshfegh, M., & Ibrahimi, M. (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.
- Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., & Stewart, R. (1990). Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance. *Solar Energy*, 44(5), 271-289. Https://Doi.Org/10.1016/0038-092X(90)90055-H
- Perez, R., Seals, R., Ineichen, P., Stewart, R., & Menicucci, D. (1987). A New Simplified Version of the Perez Diffuse Irradiance Model for Tilted Surfaces. *Solar Energy*, 39(3), 221-231. Https://Doi.Org/10.1016/S0038-092X(87)80031-2

- Pirnia, M.K. (1991). Gonbad in the Architecture of Iran. Zohre Bozorgmehri, Athar, 20.
- Pope, A.U. (2016). Iranian Architecture, Translator: Ghulam Hossein Sadri-Afshar, Tehran, Publishing Akhtaran.
- Shiri, T., & Momeni, K. (2020). Investigation of the Effects of Sunlight on the Surface of the Domes of Mosques in Desert Areas. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 8(1), 215-242.
- Shiri, T., Didehban, M., & Taban, M. (2018). Investigation of the Amount of Heat Radiation Received on the Surfaces of the Dome of Reservoir (Haj Hassan and Mohammadabad Nodooshan), in the Sixth Conference of the Annual Congress of Civil Engineering, Architecture and Urban Development of Iran, Tehran.
- Shiria, T., Didehban, M., & Taban, M. (2019). Temporary Accommodation Design with a Thermal Optimization Approach Taken From the Potential of Water Reservoir Dome, Master Thesis in Architecture and Urban Planning. Jundishapur Dezful University of Technology.
- Shirib, T., Didehban, M., & Taban, M. (2019). The Effect of Form on the Amount of Shading and Heat Absorption in the Dome of Yazd Reservoirs. *Journal of Islamic Architectural Research*, 7 (4), 75-92. https://www.researchgate.net/publication/344112227_Effect_of_Form_on_Shading_amount_and_heat_Absorption_in_Domes_of_YAZD_AB_ANBARS
- 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. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00165-2
- Ward, G. (1994). The RADIANCE Lighting Simulation and Rendering System In: Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. 45-47. 2https://Doi.Org/10.1145/192161.192286

نحوه ارجاع به این مقاله

وثیق، بهزاد و شیری، توحید. (۱۳۹۹). تطابق اقلیمی کالبد گنبد بر اساس میزان دریافت تابش (بررسی گنبدهای مساجد: امام اصفهان، شیخ لطف الله، مسجد النبی قزوین و جامع ارومیه). نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۳(۳۳)، ۲۰۹-۲۲۳.

DOI: 10.22034/AAUD.2019.174964.1831

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_102360.html