نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۲، بهار ۱۴۰۳

تحلیل دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبد آب‌انبارهای اقلیم گرم خشک و سرد با پلاگین‌های Honeybee & ladybug[1]

دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۲۸ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۷/۱۵

صفحات: ۳۲۵-۳۰۴

توحید شیری: دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران .
Email: t.shiri.m@jsu.ac.ir
محمد دیده بان: استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران[2].
Email: mdidehban@jsu.ac.ir
محسن تابان: استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران.
Email: mntaban@jsu.ac.ir

چکیده

معماران گذشته در اکثر نقاط کشورمان آب‌انبارها را برای نگهداری و خنک نگه‌داشتن آب، جهت استفاده مردم در بیشتر نقاط اقلیمی کشورمان مخصوصاً (گرم خشک، سرد) بنا می‌کردند. این پژوهش با هدف شناخت رابطه‌ی میزان دریافت تابش خورشید با نوع قوس گنبد آب‌انبارها می‌باشد. بدین منظور داده‌های شامل دمای خشک و مرطوب، هوا، تابش از ایستگاه شهرهای یزد و قزوین تهیه و نقشه گنبد آب‌انبارها از طریق مدارک و اسناد کتابخانه‌ی دریافت شده است. برای انجام این تحقیق دو نمونه گنبد آب‌انبار با قوس مختلف از شهر یزد و شهر قزوین انتخاب گردید، سپس گنبدها بر اساس نقشه‌های واقعی در نرم‌افزار رویت ۲۰۱۷ مدل‌سازی شد. تا میزان دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبدها در گرم‌ترین روز سال در ساعات ۱۴، ۱۶، ۱۸ برای اقلیم گرم خشک و در سردترین روز سال در ساعات ۱۳، ۱۴، ۱۶ برای اقلیم سرد قزوین با استفاده از پلاگین‌های انرژی پلاس هانی بی و لیدی باگ به دست آید. نتایج نشان دادند میزان دریافت تابش بر سطوح گنبدها به فرم و خیز بستگی دارد. گنبدهای خیز بلند در ساعت ۱۴ تقریباً ۷۸٪ و گنبدهای خیز کم ۹۳٪، در ساعت ۱۸ که زاویه تابش خورشید تقریباً ۸۰ درجه تغییر می‌کند، گنبدهای خیز بلند ۶۷٪ و گنبد خیز کم ۶۴٪ از سطوح‌شان در معرض تابش خورشید قرار می‌دهند؛ بنابراین فرم گنبد در بازه‌های زمانی مختلف روز، میزان تابش خورشید متفاوتی دریافت می‌نماید و مقدار سطح تماسی که گنبد در معرض تابش قرار می‌دهد، در جذب حرارت و ایجاد سایه گنبد مؤثر است. عملکرد گنبدهای خیز بلند مناسب برای اقلیم گرم خشک و گنبدهای خیز کم مناسب برای آب‌انبارهای اقلیم سرد می‌باشند.

کلید واژگان: تابش خورشید، گنبد آب‌انبار، شبیه‌سازی هانی بی و لیدی باگ، اقلیم گرم خشک، اقلیم سرد.

---

۱. مقاله بر گرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد معماری با عنوان «**طراحی اسکان موقت با رویکرد بهینه‌سازی حرارتی بر گرفته از پتانسیل‌های آب‌انبارها**» با راهنمایی دکتر ... و مشاور دکتر ... در دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول می‌باشد.

۲ .نویسنده مسئول: دزفول، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه معماری

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

مقدمه

مورخین ابداع گنبد روی سطح چهارطاقی و ایجاد گوشواره را به دوران اشکانی نسبت می‌دهند، قدیمی‌ترین گنبدهای موجود ایرانی بر روی دیوارهایی به قطر ۴ متر در کاخ فیروزآباد قرار گرفته‌اند (پوپ، ۱۳۹۵، ۴۷). گنبدهای یک پوسته قدمت بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر دارند و آن‌ها را می‌توان اولین نشانه گنبدهای باربر و حمال و ریشه تاریخی شکل‌گیری گنبدها دانست (معماریان، ۱۳۶۷، ۱۲۲). ناصرخسرو در قرن پنجم از وجود گنبدک در راه نایین خبر می‌دهد. این بناها را در بیابان به همراه آب‌انبار (مصانع)، در هر دو فرسنگ می‌ساختند تا در گرما و سرما در آنجا بیاسایند (ناصرخسرو، ۱۳۶۲، ۱۱۹). معماری بومی و ساخته‌شده بر اساس مسائل اقلیمی ایران مانند بسیاری از تمدن‌های کهن برای سال‌های متمادی با کمترین مصرف انرژی شرایط آسایش را فراهم می‌نموده است (توماس و شولتز[1]، ۲۰۰۵، ۱۱۵). آب‌انبارها، مخازن آب زیرزمینی بوده‌اند که برای رفع نیاز مردم به آب شرب در بیشتر مناطق ایران و بعضی از کشورهای دیگر ساخته می‌شده است. یکی از اصلی‌ترین عنصر آب‌انبارها که تأثیر زیادی بر حفظ و خنک ماندن آب داخل بنا داشته است، پوشش مخزن آب‌انبارها می‌باشد. برای پوشش مخزن آب‌انبارهای صحرایی علاوه بر نوع گنبدی، از طاق‌هایی چون آهنگ و کلنبو استفاده شده است (معماریان، ۱۳۷۲، ۲۷). با توجه به اینکه ساختار هندسه 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 (فولادی و همکاران،۱۳۹۵، ۹۱). در سال ۱۹۷۸ **بهادری نژاد** اولین کسی بود که در زمینه سقف‌های قوسی مطالعه کرد و نقش این‌گونه سقف‌ها در تهویه فضای داخل ساختمان و خنک نگه‌داشتن آب درون آب‌انبارها را بررسی کرد. با توجه به مطالعات او سقف‌های قوسی کمتر از سقف‌های تخت گرما را از طریق تابش جذب می‌نماید؛ و همچنین سقف‌های قوسی گرمای بیشتری را نسبت به سقف‌های تخت از طریق جابجایی دفع می‌کند. این امر باعث می‌شود که دمای درون ساختمان‌های دارای سقف‌های قوسی در روزهای گرم پایین‌تر باشد. همچنین هوای گرم اتاق به علت سبک بودن از طریق جابجایی طبیعی به سمت بالا حرکت کرده و در زیر سقف جمع می‌شود و در پایین اتاق جریان هوای خنک به وجود می‌آید که این مطلب نیز به علت شرایط بهتر دمایی در روزهای گرم می‌شود (بهادری نژاد، ۱۹۷۸، ۲۴۳). در مورد سقف ساختمان در منطقه گرم و خشک، پژوهشگرانی مانند فتحی ۱۹۷۳ و مین استون ۱۹۸۳، باون ۱۹۸۱ و کیتا ۱۹۱، پژوهش‌های درباره‌ی انعکاس تابشی سقف‌های قوسی و گنبدی انجام داده‌اند (تانگ. آر و دیگران، ۲۰۰۳، ۵۳۹) بر اساس موقعیت وابستگی زاویه‌ای ضریب جذب خورشید بیان می‌کند در مناطقی با آب‌وهوای 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 (سرپوشان و یعقوبی، ۱۳۸۱، ۳). طی پژوهشی که (گیلانی و محمد کاری، ۱۳۹۰، ۱۵۵) در اقلیم سرد انجام دادند، در طول دوره گرمایش، جدار رو به خارج مدل، به سمت جنوب غربی قرار می‌گیرد، بیشترین توان متوسط روزانه انرژی خورشیدی عبوری دریافت می‌شود. پس از جدار رو به جنوب غربی، جدار رو به جنوب دارای بیشترین توان دریافتی است. بهادری و حقیقت در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که

[1] Thomsen,Schultz

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

لایه‌بندی حرارتی هوای زیر سقف گنبدی یا قوسی به‌گونه‌ای است که هوای گرم شده در زیر سقف قرار می‌گیرد؛ بنابراین شرایط مطلوبی برای زندگی در ساختمان فراهم می‌شود (بهادری و حقیقت، ۱۹۸۵، ۱۰۳). فقیه و بهادری (۲۰۰۹) سقف‌های گنبدی شکل در تهویه‌ی فضا و همچنین خنک نگه‌داشتن آب در آب‌انبارهای عمومی در فصول گرم با استفاده از جریان هوای ناشی از بادگیرها و سقف‌های گنبدی در مناطق گرمسیر ایران، پرداخت (فقیه و بهادری، ۲۰۰۹، ۲۱۵). فقیه و بهادری (۲۰۰۸) در پژوهشی تشعشع خورشیدی بر روی سقف‌های گنبدی را ارزیابی کردند، آن‌ها تشعشع خورشیدی دریافتی و جذب‌شده را برای چهار سقف گنبدی مشخص تخمین زدند و با یک سقف مسطح با مساحت یکسان مقایسه کردند. ایشان نشان دادند ماکزیمم تشعشع خورشیدی دریافتی این سقف‌ها واقع در نیم‌کره شمالی و در ماه ژوئن اتفاق می‌افتد و مستقل از مکان و شرایط آب‌وهوایی است (فقیه و بهادری، ۲۰۰۸، ۱۲۳۹). خوشاب و دهقان (۲۰۱۴) طی پژوهشی جابجایی ترکیبی در زیر سقف گنبدی را به‌صورت عددی بررسی کردند. این سقف تحت تابش مستقیم خورشید بوده است؛ بنابراین به‌عنوان سطوح گرم با دمای یکنواخت، مشابه سطح بالایی منبع ذخیره آب سرد که دیوار افقی به‌صورت سطح سرد با همان دما در نظر گرفته‌شده بود. نشان دادند که در دو الگوی جریان، متوسط با افزایش عدد گراشف در سرتاسر گنبد افزایش می‌یابد (خوشاب و دهقان، ۲۰۱۴، ۱۳۶۲). دهقان و دهقانی (۲۰۱۰) تأثیر حرارتی یک منبع آب زیرزمینی را به‌صورت تجربی بررسی کردند. آن‌ها علاوه بر کارهایی که در سال ۲۰۰۹ انجام داده بودند با اندازه‌گیری لایه‌بندی حرارتی در منبع به تحلیل انرژی و تعیین بازده‌های قانون اول و دوم ترمودینامیک در مورد منبع به اشاره پرداختند (دهقان و دهقانی، ۲۰۱۰، ۸۲۱). طی پژوهشی محمدی و همکاران (۱۳۹۷) دمای هوای میانگین ماهیانه با استفاده از داده‌های دمای سطوح زمین را، با روش شاخص تفاضلی به دست آوردند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۳۳). بادامی و همکاران طی پژوهشی تغییرات جزیره حرارتی بر سطوح شهری در روز و شب با استفاده از چند زمانه مادیس مورد ارزیابی قرار دادند (بادامی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۱۵). سبزواری و گلنشان (۱۹۹۰) در پژوهشی شدت تشعشع خورشیدی بر روی سطوح کروی و گنبدی را فرمول‌بندی و برای مکان جغرافیایی خاص تشعشع را با استفاده از متد تفاضل محدود محاسبه کردند (گلشنان و سبزواری، ۱۹۹۰، ۱۲۶۴). فقیه و بهادری (۲۰۰۹) طی پژوهشی ورود جریان هوا از طریق بادگیرها برای آب‌انبارهای اقلیم گرم و خشک ایران پرداختند. آن‌ها دریافتند که سقف‌های گنبدی شکل در تهویه‌ی فضا و خنک نگه‌داشتن آب درون آب‌انبارها تأثیرگذار هستند و سقف‌های گنبدی در چرخش بهتر جریان هوای درون آب‌انبارها کمک بسزایی می‌نماید (فقیه و بهادری، ۲۰۰۹، ۲۱۵). سالاروند و طالبی (۱۳۹۷) با شبیه‌سازی آب‌انبار در نرم‌افزار انرژی پلاس، عملکرد حرارتی آن را در دوره‌ی ذخیره‌سازی موردمطالعه قرار دادند. هم‌چنین تأثیر انتقال حرارت تشعشعی سقف گنبدی با محیط، تبخیر سطحی و خاک اطراف مخزن، بر تغییرات دمای آب با گذشت زمان را موردبررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که انتقال حرارت تشعشعی بین سقف گنبدی و آب و دمای اولیه خاک، تأثیر چشم‌گیری در تغییرات دمای آب دارند (سالاروند و طالبی، ۱۳۹۷، ۱۷). نجفی و یعقوبی (۲۰۱۷) پژوهش تجربی و عددی بر روی نمونه‌ی از آب‌انبار در اقلیم گرم خشک انجام دادند. آن‌ها دمای داخلی و خارجی مخزن گنبد را حدود شش ماه برداشت کردند و نشان دادند دمای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

داخلی هوای آب‌انبار در طول سال ۶ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر است و در نرم‌افزار انسیس[1] اعتبار سنجی نتایج را انجام دادند (نجفی و یعقوبی، ۲۰۱۵، ۱۳۶۱). با توجه به تحقیقات فوق می‌توان دریافت؛ پژوهش‌ها بر اثر حرارت داخلی گنبدها و اکثراً یک نمونه در اقلیم خاص مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است؛ و تحقیقاتی که از لحاظ دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبدها به‌صورت تطبیقی بر روی چند نمونه از گنبد آب‌انبارها در اقلیم گرم خشک و سرد صورت نگرفته است. ضرورت این تحقیق آن است که می‌تواند کاربستی جهت سنجش همسازی کالبد ابنیه در اقلیم گرم خشک و سرد باشد و بهینه‌ترین گنبد از لحاظ دریافت تابش خورشید برای این اقلیم‌ها مشخص گردد. معماری سنتی ایران برای سال‌های متمادی با کمترین مصرف انرژی شرایط آسایش را فراهم نموده است. در این میان آب‌انبارها به‌عنوان بناهای عمومی تاریخی در تمام فصول سال مورداستفاده قرار می‌گرفته و برای نگهداری و خنک نگه‌داشتن آب در اکثر نقاط کشورمان در اقلیم‌های مختلف استفاده می‌شده است. در این پژوهش تلاش شده است که با استفاده از پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ[2] با موتور انرژی پلاس میزان دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبد آب‌انبارهای اقلیم گرم خشک و سرد مورد تحلیل قرار گیرد. لذا دو نمونه گنبد آب‌انبار از شهر یزد و دو نمونه از شهر قزوین، بر اساس ارزش بنا از لحاظ تاریخی، خیز و نوع طاق گنبد انتخاب گردید تا موردمطالعه و بررسی دریافت حرارتی قرار گیرد. پژوهش حاضر در پی دستیابی رابطه‌ی طاق گنبد آب‌انبارها با اقلیم گرم خشک و سرد می‌باشد تا تأثیر شکل گنبد بر میزان دریافت تابش خورشید در بازه‌های زمانی مختلف روز مشخص گردد.

۱. نوع قوس و طاق گنبد آب‌انبارهای اقلیم گرم خشک و سرد کشورمان در دریافت حرارت تابش خورشید چگونه بوده است؟
۲. رابطه‌ی خیز گنبد آب‌انبارها با میزان دریافت تابش و جذب حرارت در محدوده‌ی سایه چگونه است؟

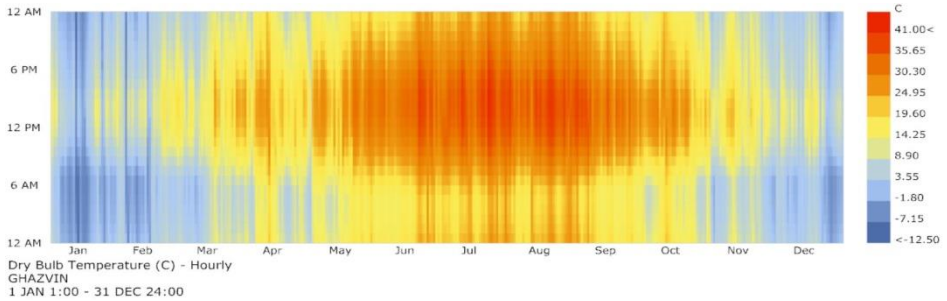
روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

در اقلیم سرد با اینکه میزان سرما و دوام آن در این مناطق متفاوت است، اما استفاده از مصالحی با ظرفیت، عایق حرارتی خوب، به حداقل رساندن میزان تعویض هوای داخلی و تهویه طبیعی و در نتیجه، جلوگیری از ایجاد سوز در داخل و خروج حرارت داخلی به خارج از ساختمان، بوده 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 (کسمایی،۱۳۸۳، ۹۲). 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 (قبادیان، ۱۳۹۳، ۹۹). شکل(۱). دمای خشک سالانه اقلیم سرد شهر قزوین را در طول یک سال نمایش می‌دهد.

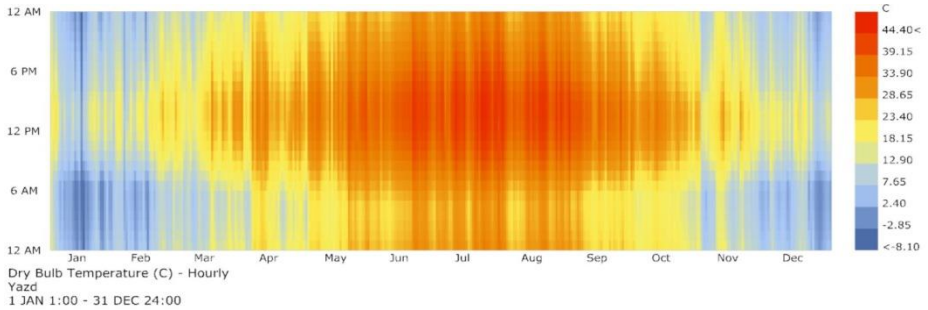
1 ANSYS
2 Honeybee& ladybug8

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]



شکل (۱). دمای خشک سالانه اقلیم شهر قزوین که بالاترین دما در طول سال ۴۱ درجه سانتی‌گراد و پایین‌ترین دما ۱۲/۵- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. منبع: هانی‌بی لیدی باگ منبع: نگارندگان.

در اقلیم گرم و خشک تابش مستقیم آفتاب شدید و ۷۰۰ تا ۸۰۰ کیلوکالری در هر ساعت در مترمربع در سطح افقی انرژی تولید می‌کند، در تابستان آفتاب در طول روز سطح زمین تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌کند. ساکنین مناطق گرم و خشک برای غلبه بر مشکلات آب‌وهوایی این نواحی تدبیرهای را اندیشیده‌اند؛ از جمله آن در این مناطق ساختمان‌ها با مصالحی از جمله خشت و گل که ظرفیت حرارتی زیادی دارند بنا شده‌اند. در بیشتر نواحی این مناطق، سقف ساختمان‌ها به شکل خرپشته، طاق یا گنبد ساخته شده است (کسمایی، ۱۳۸۳، ۸۹). در شکل (۲) دمای خشک سالانه اقلیم گرم و خشک یزد نمایش داده شده است.



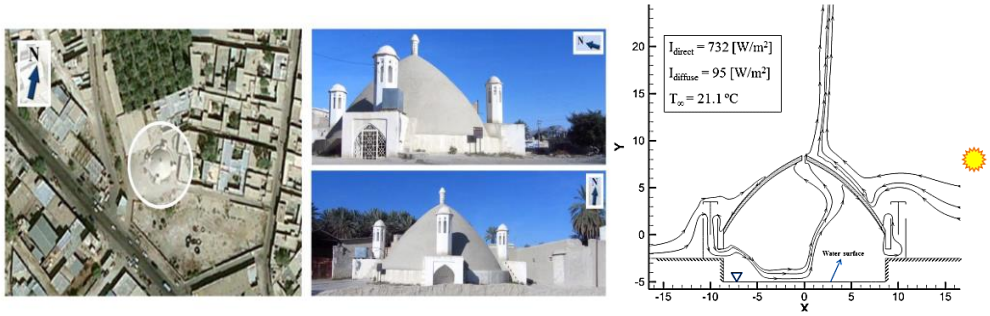
شکل (۲). دمای خشک سالانه اقلیم شهر یزد که بالاترین دما در طول سال ۴۴ درجه سانتی‌گراد و پایین‌ترین دما ۸- درجه سانتی‌گراد منبع: هانی‌بی لیدی باگ، نگارندگان.

آب‌انبار

فرهنگ معین در تعریف آب‌انبار می‌نویسد «محفظه‌ای که در آن همواره آب خوش‌گوار ذخیره کنند، مکان سرپوشیده در زیرزمین که در آن آب جمع می‌کردند» (معین، ۱۳۷۱، ۶). به دلیل خشکی آب‌وهوای بخش عمده‌ای از کشور ایران و عدم ریزش باران کافی در بیش از شش ماه از سال در اکثر نقاط و در نتیجه فصلی بودن آب رودخانه‌ها و عدم امکان دسترسی به آب، تمهیدات گوناگونی جهت تأمین آب شیرین در فصول خشک سال شده است. احداث بند و آب‌انبار را می‌توان از این جمله نام برد. در این رابطه، آب‌انبار همان‌گونه که از نام آن مشخص است، برای ذخیره آب در فصول پر آب و استفاده از آن در بقیه ایام سال می‌باشد (قبادیان، ۱۳۹۳، ۲۹۸). هرچند که در دیگر مناطق نیز آب‌انبارهایی با این ابعاد دیده می‌شود، رواج آن به این صورت فقط در یزد و شهرهای اطراف آن مشاهده می‌شود. وقتی این ساختمان‌های باشکوه در کنار دیگر قرار می‌گیرد بزرگی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

آن‌ها بیشتر نمایان می‌شود (معماریان، ۱۳۷۲، ۴). در شکل (۳) نمونه‌ای از آب‌انبار واقع در شهر لار از نمای مقطع، سه‌بعدی و بالا نشان داده شده است.



شکل (۳). سمت راست، نمونه‌ی از آب‌انبار واقع‌شده در لار و سمت چپ، مقطع عمودی تحلیل جریان هوا در داخل آب‌انبار (منبع: نجفی و یعقوبی۲۰۱۵: ۱۳۶۴) [1]

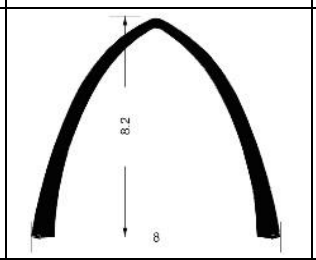
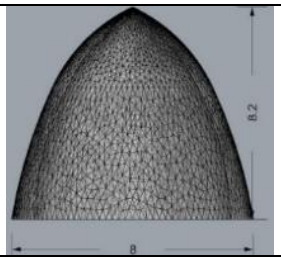
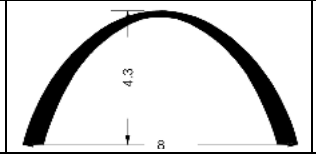
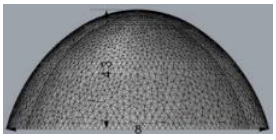
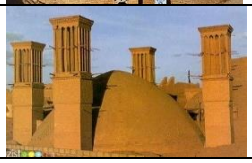
گنبد آب‌انبارهای یزد

در یزد نیز مانند دیگر نقاط سرزمین خشک و کم آب ایران، آبادی‌ها در مکان‌هایی شکل‌گرفته‌اند که نشانی از آب باشد. تأمین آب مشروب هر آبادی نیز از جمله کارهایی بوده است که ساکنان هر محله به آن پرداخته‌اند. در یزد یکی از قدیمی‌ترین راه‌حل‌ها، استفاده از چاه‌های آب سرد بوده است. احتمالاً آب‌انبارها از قرن نهم به بعد در بافت شهرها و روستاها گسترش‌یافته‌اند (معماریان، ۱۳۷۲، ۱۵). جعفری (۱۳۳۹) صاحب تاریخ یزد، پیدایش یزد را از زمان اسکندر می‌داند: «و چون بسر بیابان خراسان رسید که اکنون شهر یزد است به لشکر بفرمود تا قلعه بساختند و نهری جاری کردند ...» و آن مقام کثه نام نهاد و این اول عمارت یزد است که آن را زندان ذوالقرنین می‌خواندند (جعفری، ۱۳۳۹، ۶). با توجه به ویژگی‌های آب‌وهوایی استان یزد و کمبود باران و نهر و رودخانه‌های جاری، اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده آب‌انبارها، قنات می‌باشد (معماریان،۱۳۷۲، ۱۲). با توجه به جدول (۱) که مشخصات آب‌انبارهای انتخاب‌شده از شهر یزد را نشان می‌دهد، آب‌انبار صحرای دستی در جاده یزد کرمان و جنوب شهر مهریز، پوششی با خیز بلند دارد (همان، ۱۰۹). نمونه دیگر آب‌انبار شاه ولی تفت که قدمت آن به گفته اهالی حدود ۴۰۰ سال است این آب‌انبار در کنار یک حسینیه و در نزدیکی بازار تفت ساخته شده است (همان، ۱۳۸).

[1] Najafi, Yaghoubi

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

جدول (۱). معرفی ابعاد و اندازه گنبد آب‌انبارهای اقلیم یزد،

آب‌انبارهای یزد	مقطع گنبد آب‌انبارها با دهانه ثابت	مدل‌سازی مقطع گنبدها با دهانه ثابت در نرم‌افزار Rhinoceros 5	تصاویر آب‌انبارهای واقع در یزد	مساحت گنبدها
صحرایی دستی				265m2
شاه ولی تفت				185m2

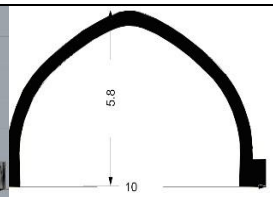
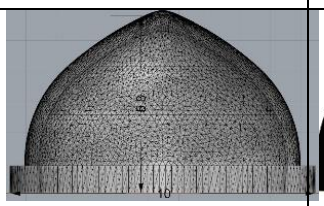
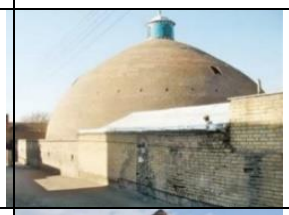
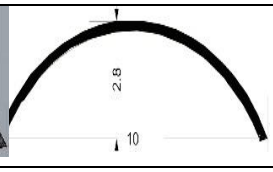
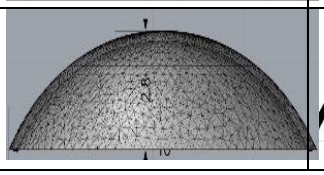
منبع: (معماریان، ۱۳۷۲)، منبع: نگارندگان

گنبد آب‌انبارهای قزوین

بافت تاریخی شهر قزوین، به‌طور عمده در دوران صفوی (شاه تهماسب) شکل گرفته است. مقر حکومت در این دوران، در مرکز شهر قرار داشته و داخل آن، مساجد، کاروان‌سراها و آب‌انبارها بوده است. این مکان جایگاه استقرار عناصر خدماتی محله مانند مسجد، تکیه یا حسینیه، حمام و آب‌انبارها نیز بوده که مرکز محله را تشکیل می‌داده است (رفعیان و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۷۶). آنچه ساختمان آب‌انبارهای قزوین را با دیگر مناطق ایران به‌خصوص در مناطق گرم و خشک و جنوب ایران متمایز می‌کند، نوع پوشش‌های آن‌ها است، نوع پوشش در آب‌انبارها تبعیت از شکل مخزن می‌کرده است. نوع حاکم مخزن در قزوین با نقشه چهارگوش بوده است (معماریان، ۱۳۸۸، ۱۹۳). آب‌انبار سردار کوچک روبه روی مسجد- مدرسه سردار قرار گرفته است و یکی از آب‌انبارهای مهم قزوین به شمار می‌رود. مخزن آن سقفی مرکب از چهار گنبد مشابه هم دارد (زنده دل، ۱۳۷۷، ۶۸). آب‌انبار سردار بزرگ در محله راه ری و خیابان راه‌آهن واقع شده است و بانی آن حسن‌خان از امیران قاجاریه بوده است. این آب‌انبار دارای گنبد عظیم آجری می‌باشد (همان، ۶۷). لازم به ذکر است، نقشه-های گنبد آب‌انبارها از کتاب یادگار ماندگار (نقشه بناهای تاریخی استان قزوین) برداشت گردید جدول (۲).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

جدول (۲). مشخصات گنبد آب‌انبارهای شهر قزوین با دهانه ثابت برای تحلیل دریافت تابش در هانی بی لیدی باگ،

گنبد آب‌انبارهای قزوین	مقطع گنبد آب‌انبارها	تصاویر گنبدهای مش بندی شده در نرم‌افزار Rhinoceros 5	تصاویر آب‌انبارهای واقع در قزوین	مساحت گنبدها
آب‌انبار سردار بزرگ				328 m^2
آب‌انبار سردار کوچک				267 m^2

منبع: (محمدزاده، ۱۳۸۵)، منبع: نگارندگان.

داده و روش کار

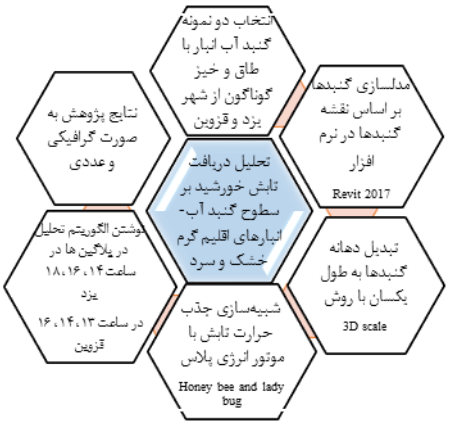
گنبد آب‌انبارها فارغ از شکل فرمی، برحسب ارتفاع (خیز) و میزان سطح تماس آن‌ها نسبت به یکدیگر موردبررسی قرار می‌گیرند. پژوهش حاضر با فرض تأثیرگذاری ویژگی‌های شکلی گنبد خیز بلند و کوچک بر چگونگی دریافت تابش خورشید و سایه‌اندازی در دو محیط اقلیم گرم خشک و اقلیم سرد موردبررسی قرار گرفته است. در این پژوهش به تعدیل اثر شرایط محیطی بر سطوح گنبدها؛ در منطقه‌ی گرم خشک و اقلیم سرد پرداخته شده است. از هر اقلیم شهرهای انتخاب‌شده‌اند که دارای شرایطی از قبیل موارد ذیل باشند:

۱. گنبدهای انتخابی دارای قدمت و ارزش بنای در طول دوره‌های تاریخی داشته باشند.
۲. مدارک و اسناد جهت نمایش ابعاد گنبدها و ویژگی‌های بناها موجود و قابل‌دسترسی باشند.
۳. در این شهرهای انتخاب‌شده، بناهای ثبتی میراث فرهنگی و دارای آب‌انبارهای با قدمت بالا موجود باشد.

برای انجام پژوهش با استفاده از پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ[1] در نرم‌افزار راینو ۵[2]، با موتور انرژی پلاس تحلیل میزان دریافت تابش خورشید و جذب حرارت در محدوده‌ی سایه بر سطوح گنبد آب‌انبارهای اقلیم گرم خشک و سرد صورت گردید. مدل‌ها بر روی سطح زمین با تراز صفر، در شرایط آب‌وهوایی شهر یزد و قزوین موردمطالعه و بررسی قرار گرفت، برای تعیین دریافت تابش خورشید و جذب حرارت بر روی سطح گنبدها، الگوریتم نوشته‌شده در انرژی پلاس در گرم‌ترین و سردترین روز سال؛ در سه بازه‌ی زمانی روز می‌باشد. برای درک بهتر نحوه‌ی انجام تحقیق در شکل (۴) مراحل به‌صورت گام‌به‌گام نمایش داده شده است.

1 honeybee & ladybug
2 Rhinoceros 5

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]



شکل (۴). تبیین مراحل گام‌به‌گام انجام تحقیق، منبع: نگارندگان.

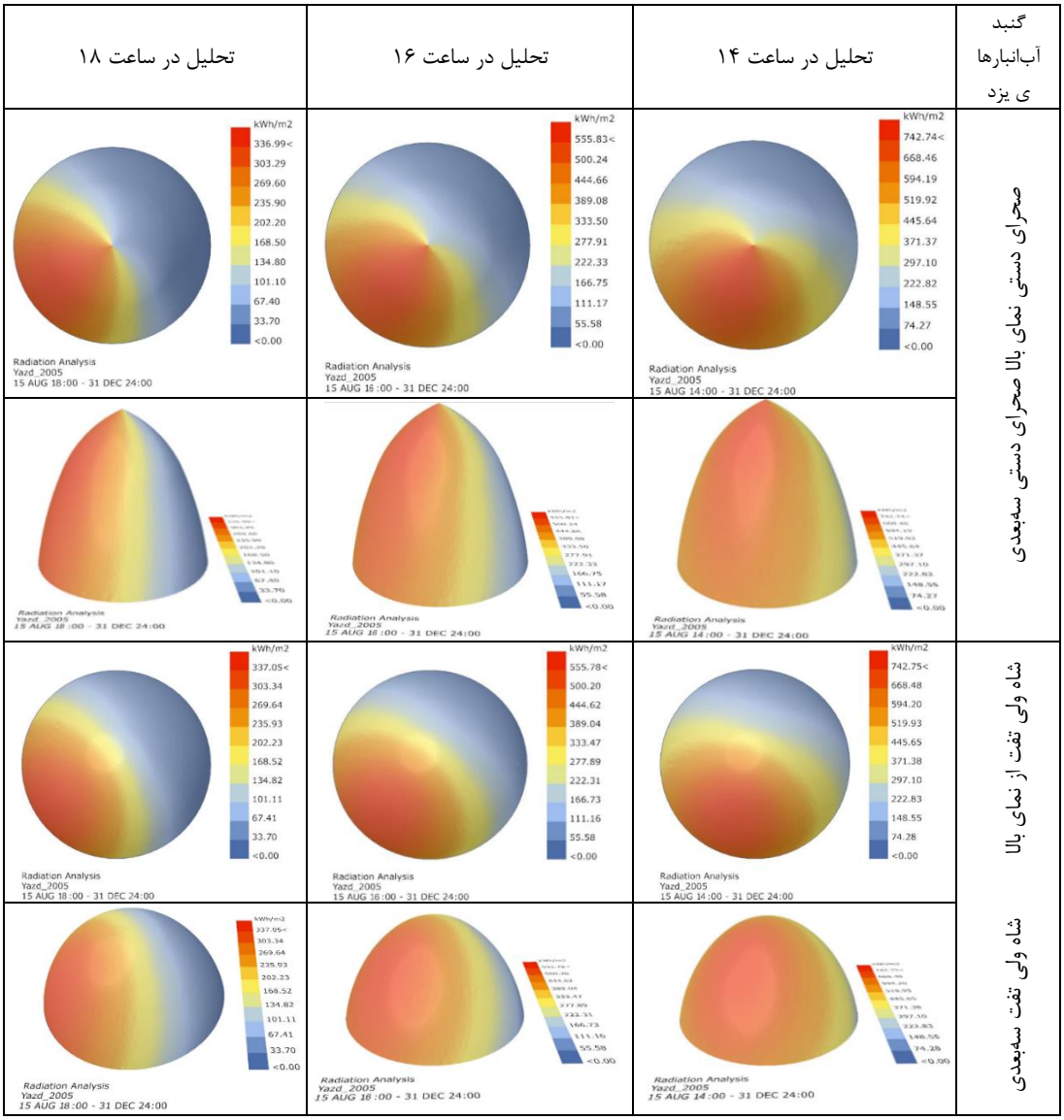
نتایج

نحوه‌ی تحلیل دریافت تابش بر سطوح گنبد آب‌انبارها

ابتدا حجم گنبد آب‌انبارها طبق ابعاد نقشه‌ی واقعی در نرم‌افزار راینو ۵؛ مدل‌سازی شد، سپس مدل گنبدها با دستور اسکیل سه‌بعدی[1] در نرم‌افزار راینو ۵ یکسان‌سازی گردید؛ بدون این‌که شکل مقطع گنبدها تغییر ایجاد شود. یکسان‌سازی دهانه گنبدها برای شهر یزد 8m و برای شهر قزوین به طول 10m در نظر گرفته شد؛ که به دلیل متفاوت بودن شکل مقطع گنبدها، مساحت گنبدها نیز تغییر پیدا کرد. در مرحله‌ی بعد مدل‌ها بر روی سطح زمین با تراز صفر، در شرایط آب‌وهوایی شهر یزد و قزوین قرار گرفت تا عملکرد دریافت حرارت در معرض تابش و در محدوده‌ی سایه بر سطوح گنبد آب‌انبارهای یزد و قزوین مشخص گردد. الگوریتم نوشته‌شده در انرژی پلاس در گرم‌ترین روز سال برای گنبد آب‌انبارهای یزد در ساعات 18, 16, 14 و برای گنبدهای قزوین به دلیل عدم نمایش تابش در ساعت 18 در سردترین روز سال، بازه‌های زمانی 13، 14 و 16 در نظر گرفته شد. مقطع گنبد آب‌انبارها نیز از کتاب سیری در معماری آب‌انبارهای یزد برداشت (معماریان، ۱۳۷۲) و در نرم‌افزار رویت ۲۰۱۷ مدل‌سازی گردید. در پلاگین گرس‌هاپر با الگوریتم اریبا[2] مساحت تمام گنبدها محاسبه گردید. لازم به ذکر است در تمامی مراحل فرم گنبدها به‌عنوان متغیر اصلی موردسنجش قرار گرفته است، دیگر پارامترهای پایه مانند ضخامت، بادگیر، مصالح گنبد ثابت فرض شده‌اند. برای انجام آنالیزها فایل آب‌وهوایی[3] سالانه شهر یزد و قزوین تعریف گردید، اطلاعات واقعی هواشناسی از ایستگاه یزد و قزوین دریافت و سپس تبدیل به فایل آب‌وهوایی شده است، برای آنالیزها سال ۲۰۰۵ در نظر گرفته شد.

1 Scale3D
2 area
3 EPW

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]



شکل (۵). تحلیل دریافت تابش خورشید، جذب حرارت در محدوده سایه بر سطوح گنبد آب‌انبارهای یزد برحسب kwh/m^2، منبع: انرژی‌پلاس (هانی بی و لیدی باگ) منبع: نگارندگان.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

جدول (۴). میزان جذب حرارت در محدوده در معرض تابش در گنبد آب‌انبارهای یزد برحسب kwh/m^2،

گنبد آب‌انبارها	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۴												جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2	
			742 kwh/m2		668 kwh/m2		594 kwh/m2		519 kwh/m2		445 kwh/m2		371 kwh/m2		
صحرای دستی	265 m2	مساحتی از سطح گنبد در معرض تابش	25 m2	18679	20 m2	12745	27 m2	16528	25 m2	13340	27 m2	12146	26 m2	9929	150 m2	83370
شاه ولی تفت	185 m2		24 m2	18119	23 m2	15323	20 m2	12197	17 m2	8833	19 m2	8479	18 m2	6657	121 m2	69611
گنبد آب‌انبارها	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۶												جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2	
			555 kwh/m2		500 kwh/m2		444 kwh/m2		389 kwh/m2		333 kwh/m2		277 kwh/m2		
صحرای دستی	265 m2	مساحتی از سطح گنبد در معرض تابش	28 m2	15737	22 m2	11130	30 m2	13648	27 m2	10617	21 m2	7147	20 m2	5578	148 m2	63859
شاه ولی تفت	185 m2		22 m2	11704	19 m2	9897	17 m2	7803	14 m2	5829	15 m2	5174	16 m2	4407	103 m2	44816
گنبد آب‌انبارها	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۸												جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2	
			337 kwh/m2		303 kwh/m2		269 kwh/m2		235 kwh/m2		202 kwh/m2		168 kwh/m2		
صحرای دستی	265 m2	مساحتی از سطح گنبد در معرض تابش	29 m2	10002	25 m2	7868	30 m2	8269	28 m2	6663	23 m2	4496	15 m2	2582	151 m2	39882
شاه ولی تفت	185 m2		17 m2	6047	16 m2	4988	15 m2	4130	14 m2	3260	12 m2	2541	11 m2	1833	85 m2	22802

منبع: انرژی‌پلاس (هانی بی و لیدی باگ) منبع: نگارندگان.

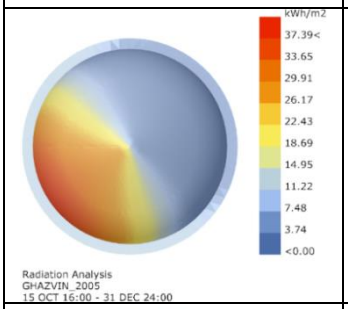
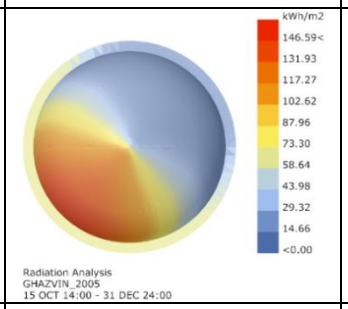
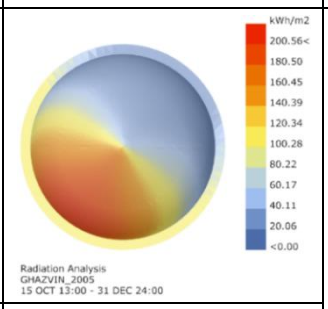
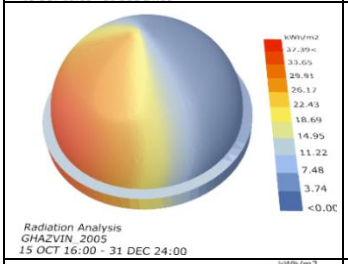
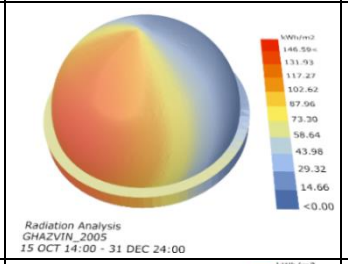
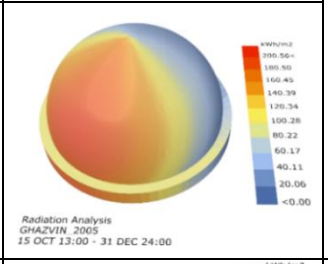
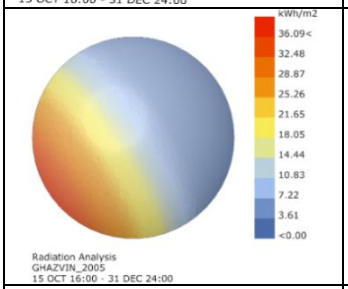
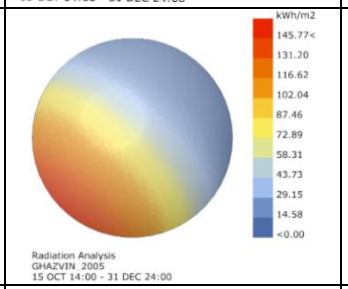
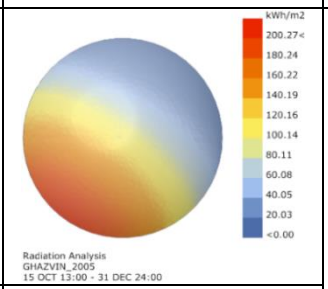
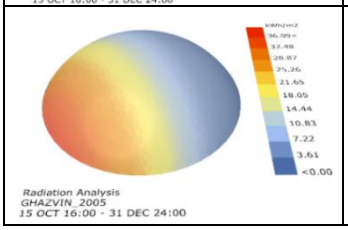
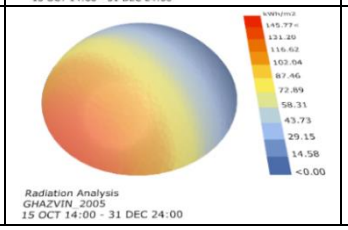
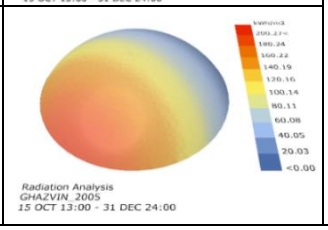
جدول (۵). میزان جذب حرارت در محدوده سایه در گنبد آب‌انبارهای یزد برحسب kwh/m^2،

گنبد آب‌انبارهای یزد	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در محدوده سایه در ساعت ۱۴										جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2	
			297 kwh/m2		222 kwh/m2		148 kwh/m2		74 kwh/m2				
صحرای دستی	265 m2	مساحت گنبد در محدوده‌ی جذب حرارت	18 m2	5351	15 m2	3353	13 m2	1882	11 m2	843	57 m2	11431	
شاه ولی تفت	185 m2		16 m2	4890	15 m2	3326	12 m2	1834	9 m2	657	52 m2	10708	
گنبد آب‌انبارهای یزد	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در محدوده سایه در ساعت ۱۶										جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2	
			222 kwh/m2		166 kwh/m2		111 kwh/m2		55 kwh/m2				
صحرای دستی	265 m2	مساحت گنبد در محدوده‌ی جذب حرارت	13 m2	2823	10 m2	1803	9 m2	1058	9 m2	495	41 m2	6181	
شاه ولی تفت	185		12	2998	11	2057	10	1273	9	549	42 m2	6878	

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

			m2		m2		m2		m2		m2	
جمع کل جذب حرارت kwh/m2برحسب		میزان بازه حرارت دریافتی در محدوده سایه در ساعت ۱۸									مساحت گنبد	گنبد آب‌انبارهای یزد
		33 kwh/m2		67 kwh/m2		101 kwh/m2		134 kwh/m2				
2664	28 m2	166	5 m2	426	6 m2	829	8 m2	1242	9 m2	مساحت گنبد در محدوده‌ی جذب حرارت	265 m2	صحرای دستی
2864	31 m2	201	6 m2	483	7 m2	840	8 m2	1338	10 m2		185 m2	شاه ولی تفت

منبع: انرژی‌پلاس (هانی بی و لیدی باگ) منبع: نگارندگان.

تحلیل بعدازظهر در ساعت16	تحلیل بعدازظهر در ساعت14	تحلیل بعدازظهر در ساعت13	گنبد آب‌انبارهٔ ۱
			سردار بزرگ نمای بالا
			سردار بزرگ سه‌بعدی
			سردار کوچک نمای بالا
			سردار کوچک سه‌بعدی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

شکل (۶). میزان جذب حرارت در محدوده در معرض تابش در گنبد آب‌انبارهای قزوین برحسب kwh/m^2، منبع: انرژی-پلاس (هانی بی و لیدی باگ) منبع: نگارندگان.

جدول (۶). میزان جذب حرارت در محدوده سایه در گنبد آب‌انبارهای قزوین برحسب kwh/m^2،

گنبد آب‌انبارها	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۳												جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2	
			200 kwh/m2		180 kwh/m2		160 kwh/m2		140 kwh/m2		120 kwh/m2		100 kwh/m2		
سردار بزرگ	328 m2	مساحت گنبد در معرض تابش	26 m2	5313	25 m2	4605	23 m2	3778	21 m2	2984	20 m2	2400	18 m2	1885	13 m2	20968
سردار کوچک	267 m2		25 m2	5073	24 m2	4277	22 m2	3631	21 m2	2953	20 m2	2435	19 m2	1949	131 m2	20318
گنبد آب‌انبارها	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۴												جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2	
			146 kwh/m2		131 kwh/m2		117 kwh/m2		102 kwh/m2		87 kwh/m2		73 kwh/m2		
سردار بزرگ	328 m2	مساحت گنبد در معرض تابش	24 m2	3495	23 m2	3050	20 m2	2456	19 m2	1973	18 m2	1626	17 m2	1257	121 m2	13860
سردار کوچک	267 m2		24 m2	3547	21 m2	2868	20 m2	2374	19 m2	1960	17 m2	1509	16 m2	1188	117 m2	13449
گنبد آب‌انبارها	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در سطوح در معرض تابش در ساعت ۱۶												جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2	
			37 kwh/m2		33 kwh/m2		29 kwh/m2		26 kwh/m2		22 kwh/m2		18 kwh/m2		
سردار بزرگ	328 m2	مساحت گنبد در معرض تابش	21 m2	764	20 m2	671	20 m2	580	21 m2	554	17 m2	389	16 m2	298	95 m2	3258
سردار کوچک	267 m2		16 m2	602	17 m2	555	17 m2	503	18 m2	465	16 m2	346	15 m2	273	99 m2	2746

منبع: انرژی‌پلاس (هانی بی و لیدی باگ) منبع: نگارندگان.

جدول (۷). میزان جذب حرارت در محدوده سایه در گنبد آب‌انبارهای یزد برحسب kwh/m^2،

گنبد آب‌انبارهای قزوین	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در محدوده سایه در ساعت ۱۳									جمع کل جذب حرارت kwh/m2برحسب	
			80 kwh/m2		60 kwh/m2		40 kwh/m2		20 kwh/m2			
سردار بزرگ	328 m2	مساحت گنبد در محدوده‌ی جذب حرارت	18 m2	1469	17 m2	1023	14 m2	564	12 m2	242	61 m2	3299
سردار کوچک	267 m2		19 m2	1516	16 m2	993	15 m2	587	13 m2	277	63 m2	3374
گنبد آب‌انبارهای قزوین	مساحت گنبد	میزان بازه حرارت دریافتی در محدوده سایه در ساعت ۱۴									جمع کل جذب حرارت kwh/m2برحسب	
			58 kwh/m2		43 kwh/m2		29 kwh/m2		14 kwh/m2			
سردار بزرگ	328	مساحت گنبد در	17	932	15	648	13	389	11	160	56 m2	2131

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

			m2		m2		m2		m2	محدوده‌ی جذب حرارت	m2	
2081	55 m2	168	12 m2	379	13 m2	619	14 m2	913	16 m2		267 m2	سردار کوچک
جمع کل جذب حرارت برحسب kwh/m2		میزان بازه حرارت دریافتی در محدوده سایه در ساعت ۱۶									مساحت گنبد	گنبد آب‌انبارهای قزوین
		3 kwh/m2		7 kwh/m2		11 kwh/m2		14 kwh/m2				
461	55 m2	31	11 m2	82	13 m2	140	15 m2	206	16 m2	مساحت گنبد در محدوده‌ی جذب حرارت	328 m2	سردار بزرگ
384	42 m2	30	10 m2	72	10 m2	120	11 m2	161	11 m2		267 m2	سردار کوچک

منبع: انرژی‌پلاس (هانی بی و لیدی باگ) منبع: نگارندگان.

بحث

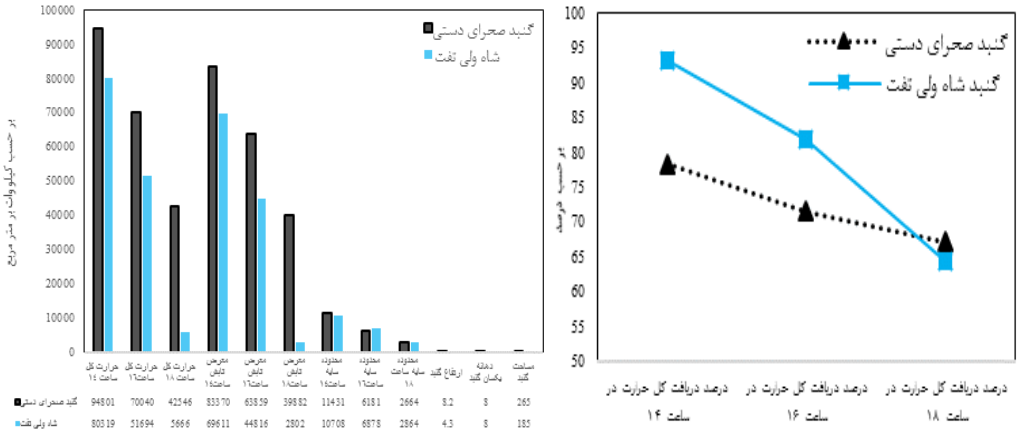
در شکل (۷) درصد دریافت حرارت در معرض تابش، محدوده‌ی سایه بر سطوح گنبد آب‌انبارهای با دهانه ثابت یزد نمایش داده شده است. این نمودار مستخرج از جدول (۴) که میزان دریافت حرارت در معرض تابش و جدول (۵) میزان دریافت حرارت در محدوده‌ی سایه بر سطوح گنبد آب‌انبارهای دهانه ثابت شهر قزوین می‌باشد. در هر یک از جداول به تفکیک میزان دریافت حرارت بر اساس راهنما، مساحت و KWh/m^2 نشان داده شده است. نمودار نمایش مقدار درصد دریافت حرارت در سه بازه‌ی زمانی ۱۴، ۱۶، ۱۸ می‌باشد که با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. انرژی جذب‌شده در سطوح این گنبدها برحسب کیلووات بر مترمربع[1] می‌باشد. نمودارها نشان می‌دهند که میزان جذب تابش خورشید در گنبدهای خیز کم و سطح تماس زیاد در بازه‌های زمانی ظهر نسبت به گنبدهای خیز بلند و سطح تماس کم، بیشتر است؛ زیرا در این ساعات گنبدهای خیز کم با توجه به فرم‌شان مساحت بیشتری را در معرض تابش خورشید قرار می‌دهند؛ اما هرچقدر به غروب نزدیک‌تر می‌گردد و زاویه‌ی تابش خورشید بر سطوح گنبدها تغییر می‌کند، گنبدهای خیز کم سطوح کمتری را نسبت به گنبدهای خیز بلند در معرض تابش خورشید قرار می‌دهند؛ و مساحتی که گنبدهای خیز بلند در معرض تابش قرار می‌دهد از گنبدهای خیز کم بیشتر می‌گردد. در نتیجه هرچقدر گنبدها سطوح بیشتری در معرض تابش قرار دهند، جذب حرارت بیشتری خواهند داشت.

حرارت دریافتی به‌دست‌آمده از نرم‌افزار بر اساس درصد نیز، در گنبدهای خیز بلند در بازه‌ی زمانی ساعت ۱۴ تقریباً ۷۸٪ و گنبدهای خیز کم ۹۳٪ از سطوح‌شان حرارت خورشید جذب می‌نمایند؛ که تقریباً گنبدهای خیز بلند در این بازه‌ی زمانی ۱۶٪ سطوح بهینه‌ی نسبت به گنبدهای خیز کم دارند؛ و در ساعت ۱۶ گنبدهای خیز بلند ۷۱٪ و گنبدهای خیز کم ۸۱٪ از سطوح‌شان حرارت جذب می‌کنند که این میزان به ۱۰٪ کاهش پیدا می‌نماید؛ و عملکرد گنبدهای خیز بلند در این بازه هم نسبت به گنبد خیز کم بهتر است؛ اما در ساعت ۱۸ بعدازظهر که زاویه تابش خورشید تقریباً ۸۰ درجه تغییر می‌کند، گنبدهای خیز بلند ۶۷٪ و گنبد خیز کم ۶۴٪ از سطوح خود را در معرض اشعه‌ی تابش خورشید قرار می‌دهند؛ که در این بازه‌ی زمانی نزدیک به غروب، عملکرد گنبدهای خیز کم ۳٪ نسبت به گنبدهای خیز بلند بهینه می‌گردد. نتایج نشان می‌دهند عملکرد گنبدهای خیز بلند در بازه‌ی زمانی نزدیک به ظهر و بعدازظهر بهتر از گنبدهای خیز کم است؛ اما هرچقدر

[1] KWh/m^2

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

زاویه خورشید به سمت غروب و طلوع تغییر می‌کند عملکرد گنبدهای خیز کم نسبت به گنبدهای بلند بهتر می‌گردد.



شکل (۷). نمودار از سمت چپ مربوط به میزان دریافت حرارت در معرض تابش، در محدوده‌ی سایه و حرارت کل گنبد آب‌انبارهای دهانه ثابت شهر یزد در گرم‌ترین روز سال در ساعات ۱۴، ۱۶، ۱۸ بعدازظهر نمودار از راست درصد میزان دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبدهای با دهانه ثابت یزد در ساعات ۱۴، ۱۶، ۱۸ بعدازظهر، منبع: نگارندگان.

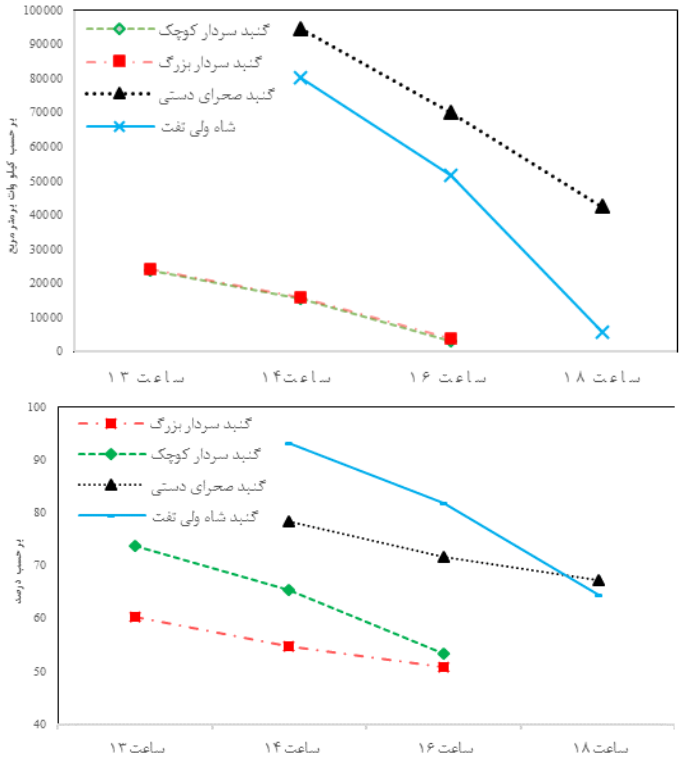
شکل (۸) درصد جذب حرارت در معرض تابش، در محدوده‌ی سایه و حرارت کل در سطوح گنبد آب‌انبارهای قزوین با دهانه ثابت را نشان می‌دهد. این نمودار مستخرج از جدول (۶) که میزان دریافت حرارت در معرض تابش و جدول (۷) میزان دریافت حرارت در محدوده‌ی سایه بر سطوح گنبد آب‌انبارهای دهانه ثابت شهر یزد می‌باشد. در هر یک از جداول به تفکیک میزان دریافت حرارت بر اساس راهنما، مساحت و KWh/m^2 نشان داده شده است. در این نمودار میزان درصد جذب حرارت در سه بازه‌ی زمانی ۱۳، ۱۴، ۱۶ به نمایش گذاشته شده است که انرژی جذب‌شده در سطوح گنبدها برحسب KWh/m^2 می‌باشد. حرارت دریافتی به‌دست‌آمده از نرم‌افزار بر اساس درصد نیز، در گنبدهای خیز بلند در بازه‌ی زمانی ساعت ۱۳ تقریباً ٪۶۰ و گنبدهای خیز کم ٪۷۳ از سطوح‌شان حرارت خورشید جذب می‌نمایند؛ که تقریباً گنبدهای خیز کم در این بازه‌ی زمانی ٪۱۳ سطوح‌شان نسبت به گنبدهای خیز بلند بیشتر حرارت جذب می‌کند؛ و در ساعت ۱۴ گنبدهای خیز بلند ٪۵۴ و گنبدهای خیز کم ٪۶۵ از سطوح‌شان حرارت جذب می‌کنند که این میزان به ٪۹ کاهش پیدا می‌نماید؛ و عملکرد گنبدهای خیز کم در این بازه هم نسبت به گنبد خیز کم بهتر است؛ اما در ساعت ۱۶ که زاویه تابش خورشید تقریباً ۶۰ درجه تغییر می‌کند، گنبدهای خیز بلند ٪۵۰ و گنبد خیز کم ٪۵۳ از سطوح خود را در معرض اشعه‌ی تابش خورشید قرار می‌دهند؛ که در این بازه‌ی زمانی نزدیک به غروب، عملکرد گنبدهای خیز کم ٪۳ نسبت به گنبدهای خیز بلند حرارت بیشتری جذب می‌نماید؛ که نتایج نشان می‌دهند عملکرد گنبدهای خیز بلند در بازه‌ی زمانی نزدیک به ظهر و بعدازظهر بهتر از گنبدهای خیز کم است؛ اما هرچقدر زاویه خورشید به سمت غروب و طلوع تغییر می‌کند عملکرد گنبدهای خیز بلند نسبت به گنبدهای خیز کم نزدیک به هم می‌گردد و گنبدهای خیز بلند حرارت بیشتری جذب می‌نمایند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

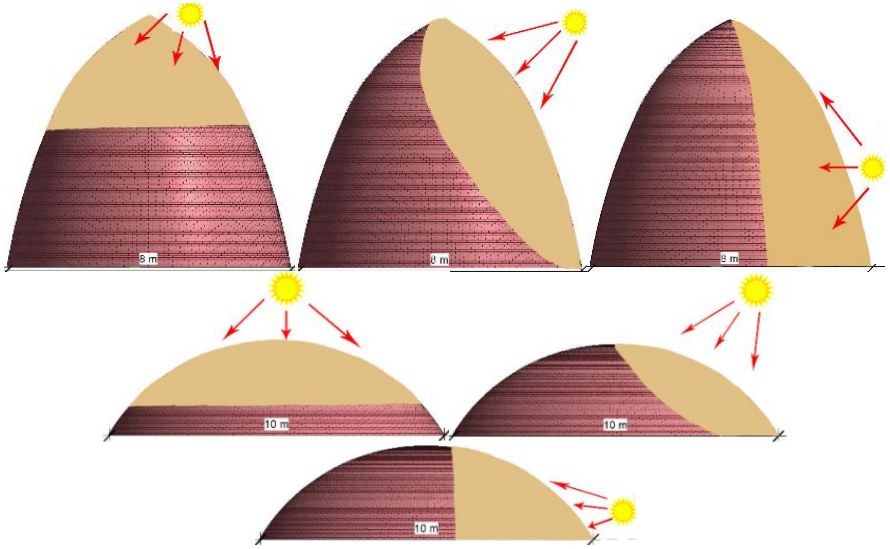
شکل (۸). نمودار از سمت چپ مربوط به میزان دریافت حرارت در معرض تابش، در محدوده‌ی سایه و حرارت کل گنبد آب‌انبارهای دهانه ثابت شهر قزوین در سردترین روز سال در ساعات ۱۳، ۱۴، ۱۶. نمودار از راست درصد میزان دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبدهای با دهانه ثابت قزوین در ساعات ۱۴، ۱۶، ۱۸، منبع: نگارندگان.

شکل (۹) از سمت بالا، نمودار دریافت تابش کل بر سطوح گنبدهای دهانه ثابت قزوین و یزد را نشان می‌دهد. تمام نمودارها سیر نزولی دارند و به دلیل شدت انرژی کم تابش در هنگام غروب، میزان جذب حرارت کاهش می‌یابد. ماکزیمم دریافت حرارت کل در این نمودار مربوط به گنبد صحرای دستی بوده و مینیمم دریافت حرارت کل مربوط به گنبد سردار کوچک می‌باشد؛ بنابراین میزان دریافت تابش در سطوح گنبدها با مساحت آن‌ها تأثیر مستقیمی دارد. مساحت گنبد هرچقدر زیاد باشد جذب حرارت بیشتری خواهند داشت. از سمت پایین، نمودار درصد دریافت حرارت بر سطوح گنبدهای دهانه ثابت یزد و قزوین را نشان می‌دهد؛ و اما درصد جذب بر سطوح گنبدها با فرم و شکل گنبد تأثیر مستقیمی دارد، به‌طوری‌که فرم گنبد هرچقدر با خیز کم و سطح تماس زیاد اجرا شود میزان تابش بیشتری بر سطوح خود جذب می‌نماید؛ و سایه‌اندازی کمتری در پشت گنبد ایجاد می‌گردد؛ و هرچقدر گنبدها با خیز بلند و سطح تماس کم اجرا شوند، درصد جذب کمتری در سطوح خود ایجاد می‌گردد. شکل (۱۰) از بالا تصاویر گرافیکی میزان برخورد تابش خورشید بر سطوح گنبدهای خیز بلند در بازه‌ی زمانی صبح تا ظهر نمایش داده شده است. گنبد خیز بلند در بازه‌ی زمانی ظهر که زاویه تابش تقریباً عمود بر سطوح گنبد است، به دلیل نوع طاق گنبد؛ سطوح کمتری در معرض تابش قرار داده می‌شود. در این ساعت گنبد خیز بلند در طول روز کمترین میزان دریافت تابش خورشید بر سطوح خود را دارد؛ اما هرچقدر خورشید به غروب و طلوع روز نزدیک می‌گردد، زاویه تابش کمتر شده و با توجه به خیز گنبد سطوح بیشتری را در معرض تابش خورشید قرار می‌دهد؛ بنابراین گنبدهای خیز بلند در هنگام غروب و طلوع عملکرد ماکزیمم دریافت تابش را دارند که با توجه به‌شدت کم انرژی خورشید در گرمای داخلی گنبد اثرگذاری زیادی ندارد. از پایین، تصاویر گرافیکی مقدار دریافت تابش بر سطوح گنبد خیز کم در سه بازه‌ی زمانی روز است. گنبد خیز کم در بازه‌ی زمانی ظهر به دلیل نوع طاق و قرار دادن سطوح زیاد در معرض تابش، بیشترین دریافت تابش خورشید را دارد. ولی هرچقدر زاویه تابش به زمان غروب و طلوع روز می‌رسد، گنبد خیز کم با توجه به فرم و قوس گنبد؛ کمترین دریافت سطوح در معرض تابش را ایجاد می‌کند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]



شکل (۹). از سمت بالا؛ نمودار دریافت تابش کل بر سطوح گنبدهای دهانه ثابت یزد و قزوین. از سمت پایین؛ نمودار درصد دریافت تابش بر سطوح گنبدها در ساعات ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۸، منبع: نگارندگان.



شکل (۱۰). از سمت بالا تصاویر گرافیکی میزان دریافت تابش بر سطوح گنبد خیز بلند در سه بازه‌ی زمانی روز (۱۳، ۱۴، ۱۶). از سمت پایین تصاویر گرافیکی میزان برخورد تابش خورشید بر سطوح گنبد آب‌انبارهای خیز کم در سه بازه‌ی زمانی روز (۱۳، ۱۴، ۱۶). منبع: نگارندگان.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

نتیجه‌گیری

درک و شناخت پیشینیان از وضعیت محیطی و اقلیمی هر منطقه کشورمان، موجب خلق بناهای عمومی با هدف ارتقاء عملکرد حرارتی شده است. با بررسی طاق گنبد آب‌انبارهای معماری است که می‌توان به دانش ساخت و زمینه‌های پیدایش کالبدهای آن دست یافت. تا بهینه‌ترین طاق گنبد آب‌انبار برای اقلیم‌های گرم خشک و سرد مشخص گردد؛ بنابراین در این مقاله تلاش شد تا گنبدهای خیز بلند و خیز کم آب‌انبارها از منظر اقلیمی موردتوجه قرار داده شود؛ و به‌منظور شناخت و بررسی وضعیت جذب حرارت در معرض تابش و در محدوده‌ی سایه در سطوح گنبدهای دهانه ثابت شاه ولی تفت و صحرای دستی از اقلیم گرم خشک و سردار بزرگ و سردار کوچک از اقلیم سرد مورد تحلیل و ارزیابی حرارتی قرار گرفت. دریافت حرارت در معرض تابش و در محدوده‌ی سایه گنبد آب‌انبارها با مساحت آن‌ها رابطه‌ی مستقیمی دارد. الگوی دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبد آب‌انبارها به شکل و نوع طاق گنبدها بستگی دارد و متفاوت بودن شکل گنبدها نشان می‌دهد که میزان دریافت تابش خورشید و جذب حرارت در محدوده سایه نیز تغییر می‌کند. هر چه سطح گنبد با انحنای ملایم و در معرض تابش خورشید ساخته شود، انرژی تابش بیشتری را جذب می‌نماید و جذب حرارت در محدوده‌ی سایه کمتری در گنبد ایجاد می‌شود. ارتفاع و نوع قوس گنبد آب‌انبارها در جذب حرارت نیز بسیار مهم است، به‌طوری‌که گنبدهای با ارتفاع و خیز بلند در اقلیم گرم خشک در هنگام طلوع و غروب بیشترین سطوح خود را در معرض تابش قرار می‌دهند؛ و در بازه‌ی زمانی ظهر که شدت تابش خورشید شدید است، این گنبدها کمترین سطوح خود در معرض تابش قرار می‌دهند. در گنبدهای خیز کم اقلیم گرم خشک، برخلاف گنبدهای خیز بلند میزان دریافت تابش خورشید در هنگام طلوع و غروب کمتر است، به دلیل خیز کم این گنبدها در این بازه‌ی زمانی کمترین سطوح خود را در معرض تابش قرار می‌دهند؛ اما در بازه‌ی زمانی ظهر که زاویه تابش خورشید تقریباً عمود است، گنبدهای خیز کم ماکزیمم سطوح در اختیار تابش قرار می‌دهند. انرژی جذب‌شده بر سطوح گنبدها برحسب KWh/m^2 می‌باشد، حداکثر حرارت کل جذب‌شده در ساعت ۱۴، ۱۶ بعدازظهر به ترتیب مربوط به گنبد صحرای دستی با مقدار $94501\ KWh/m^2$ و $70040\ KWh/m^2$ برای اقلیم گرم و خشک می‌باشد و برای اقلیم سرد در ساعت ۱۳ و ۱۴ به ترتیب مربوط به گنبد سردار بزرگ با مقدار $24267\ KWh/m^2$ و $15991\ KWh/m^2$ است؛ اما در ساعت ۱۸ به دلیل جهت زاویه تابش و خیز گنبد بیشترین دریافت مربوط به گنبد شاه ولی تفت با مقدار $5666\ KWh/m^2$ می‌باشد و برای اقلیم سرد بیشترین دریافت را گنبد سردار بزرگ با میزان $3719\ KWh/m^2$ می‌نماید. مساحت گنبدها در میزان دریافت گنبدها مؤثر هستند زیرا گنبدهای با مساحت زیاد قطعاً دریافت حرارت بیشتری دارند؛ بنابراین از رابطه‌ی میزان دریافت حرارت بر مساحت گنبدها مقدار درصد جذبی برای تمام گنبدها به دست آمد و مقدار درصد دریافت حرارت خورشید برای تمام گنبدها مشخص شد. در ساعت ۱۴ گنبد صحرای دستی 78% و گنبد شاه ولی 93%، در ساعت ۱۶ گنبد صحرای دستی 71% و گنبد شاه ولی تفت 81% حرارت تابش خورشید جذب می‌نماید. در ساعت ۱۸ به دلیل تغییر جهت زاویه تابش خورشید گنبد صحرای دستی 67% و گنبد شاه ولی تفت 64% از سطوح‌شان در معرض تابش قرار می‌گیرد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

برای اقلیم سرد شهر قزوین، در ساعت ۱۳ گنبد سردار بزرگ 60% و گنبد سردار کوچک 73%، در ساعت ۱۴ گنبد سردار بزرگ 54% و گنبد سردار کوچک 65% و در ساعت 16% گنبد سردار بزرگ 50% و گنبد سردار کوچک 53% حرارت تابش خورشید جذب می‌کنند؛ بنابراین دریافت حرارت تابش خورشید گنبدها در اقلیم گرم خشک و سرد به نوع قوس و طاق گنبدها نیز بستگی دارد.

در مقایسه با تحقیقاتی که دیگر پژوهشگران بر روی سطوح گنبدی با استفاده از مدل‌سازی عددی انجام داده‌اند، تحقیق حاضر به دلیل بررسی مقایسه‌ای میزان دریافت تابش خورشید در دو اقلیم گرم خشک و سرد روش جامع‌تری را ارائه می‌نماید؛ و نرم‌افزار استفاده شده قابلیت نمایش نتایج به‌صورت گرافیکی و اکسلی می‌باشد که میزان دریافت حرارت در سطوح گنبدها به‌صورت دقیق و درصدی نمایش داده شده است. به‌عنوان‌مثال فولادی و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد حرارتی یک نمونه از گنبد واقع در اقلیم گرم خشک را موردبررسی قرار دادند و دریافت تابش و جریان هوا را در گنبد مدل‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که گنبد حاضر مناسب‌ترین و بهینه‌ترین فرم برای اقلیم موردمطالعه است. بااین‌حال پژوهش آن‌ها تنها بر روی یک نمونه از گنبد انجام شد که در اقلیم گرم خشک تنوع و عملکرد گنبدها متفاوت است و با یک تحلیل بر روی نمونه خاص نمی‌توان به انتخاب درست دست یافت؛ و همچنین دریافت حرارت تابش خورشید به‌صورت گرافیکی و کلی بیان شده بود که در این پژوهش به‌صورت دقیق و عددی نمایش داده شده است. فقیه و بهادری (۲۰۰۸)، بهادری و حقیقت (۱۹۸۵)، سرپوشان و یعقوبی (۱۳۸۱)، بهادری نژاد (۱۹۷۸) بر روی سقف‌های گنبدی مطالعه کردند، نتایج آن‌ها همانند این تحقیق نشان داد که سقف‌های گنبدی در دریافت حرارت تابش خورشید عملکرد بهتری دارند و میزان دریافت تابش خورشید در بازه‌های زمانی مختلف روز تغییر می‌نماید؛ و تابش خورشید در طول روز بخشی از گنبد را در معرض خود قرار می‌دهد و قسمت دیگر در سایه است که در خنک نگه‌داشتن دمای داخلی گنبد بسیار مؤثر می‌باشد. تفاوت پژوهش حاضر با این پژوهشگران در این است که آن‌ها عملکرد حرارتی تنها یک نمونه از گنبد را با روش عددی و تجربی انجام دادند و یا با یک نمونه از سقف تخت مقایسه کردند که به شناخت و انتخاب نوع مناسب قوس گنبدها نپرداخته‌اند تنها عملکرد گنبدها شناسایی شده است. در واقع وجه تمایز این تحقیق با پژوهش‌های دیگر در این است که میزان دریافت تابش خورشید در این پژوهش به‌صورت مقایسه‌ی در بازه‌ی زمانی مختلف روز در گرم‌ترین و سردترین روز سال انجام گردیده است؛ و همچنین نتایج به‌صورت گرافیکی، عددی و درصدی برحسب مساحت مترمربع گنبدها ارائه شده است؛ بنابراین عملکرد گنبد آب‌انبارهای قزوین در اقلیم سرد نیاز به ماکزیمم دریافت تابش خورشید دارند، به همین دلیل برخلاف عملکرد اقلیم گرم خشک است. در اقلیم گرم خشک گنبدهای خیز کم مناسب‌تر از گنبدهای خیز بلند هستند، زیرا مقدار سایه‌اندازی در پشت گنبدها بسیار کم بوده و تقریباً تمام سطوح گنبد در طول روز در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرد. گنبدهای با خیز بلند و سطح تماس کم انرژی تابشی کمتری جذب نموده و مناسب برای اقلیم گرم خشک شهر یزد می‌باشند. ولی گنبدهای به خیز کم و سطح تماس زیاد به دلیل ایجاد سایه‌ی کم مناسب اقلیم سرد قزوین می‌باشند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

منابع

پوپ، آرتوراپهام (۱۳۹۵). **معماری ایران**، مترجم: غلامحسین صدری‌افشاری، تهران: شرکت انتشارات اختران.

حسن جعفری، جعفربن محمدبن (۱۳۹۹). **تاریخ یزد**. به کوشش ایرج افشار، تهران: نشر کتاب.

دره بادامی سیروس هاشمی، بلورانی علی درویشی، علوی‌پناه سید کاظم و محمد ملکی (۱۳۹۷). **تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس (مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران)**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۲): ۱۱۳-۱۲۸.

رفیعیان، مجتبی و همکاران (۱۳۹۱). **اطلس شهر قزوین**، سازمان خدمات طراحی شهرداری قزوین، کارفرما.

زنده‌دل، حسن (۱۳۷۷). **مجموعه راهنمای جامع ایران‌گردی استان قزوین**. تهران: نشر ایران‌گردان.

سالاروند حسین، محمدحسین طالبی و علیرضا موحدی (۱۳۹۷). **تحلیل عددی آب‌انبارهای سنتی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، یزد. دانشگاه علم و هنر یزد: مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی).

فولادی واحدانه، طاهباز منصوره و حمید ماجدی. (۱۳۹۵). **گنبد دوپوسته از منظر عملکرد حرارتی در اقلیم کویری کاشان**. پژوهش‌های معماری اسلامی ۴(۱۱):۹۰-۱۰۸

قبادیان، وحید (۱۳۹۳). **بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران**. تهران: دانشگاه تهران.

گیلانی، سارا، بهروز محمد کاری (۱۳۹۰). **بررسی عملکرد گرمایشی گلخانه‌های خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد نمونه موردی: شهر اردبیل**، مجله مهندسی مکانیک مدرس. ۱۱(۲): ۱۴۷- ۱۵۷.

معماریان، غلامحسین (۱۳۸۸). **معماری آب‌انبارهای شهر قزوین**، اثر (۳۵).

معین، محمد (۱۳۷۳). **فرهنگ معین**، تهران: انتشارات بهزاد.

معماریان، غلامحسین (۱۳۷۲). **سیری در معماری آب‌انبارهای یزد**، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.

مرتضی کسمایی، محمد احمدی‌نژاد (۱۳۸۳). **اقلیم و معماری**، تهران: نشر خاک.

محمدزاده، محمد نادر (۱۳۸۵). **یادبود ماندگار: نقشه بناهای تاریخی استان قزوین**، قزوین: اداره کل گردشگری فرهنگی و میراث فرهنگی استان قزوین.

محمدی، چنور؛ فرج زاده منوچهر، یوسف قویدل رحیمی و عباسعلی علی اکبربیدختی (۱۳۹۷). **تخمین دمای هوا بر اساس پارامترهای محیطی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۸، شماره ۴۸، بهار ۹۷. صص: ۱۳۱-۱۵۲.

ناصر، خسرو (۱۳۷۷). **گزیده دیوان ناصرخسرو**، تهران: انتشارات قربانی.

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.

Bahadori MN, Haghighat F (1985b), **Weekly storage of coolness in heavy brick and adobe walls**. Energy and Buildings 8(4):259–270

Bahadori, M. N, (1978) **Passive Cooling Systems in Iranian Architecture. Scientific**. Am. (238): 144-154.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]

Dehghan A.A, Dehghani A.R,(2010), **Experimental and theoretical investigation of Thermal performance of underground cold-water reservoir**, International Journal of Thermal Science (50): 816-824.

Faghih K.A, Bahadori M.N, (2009),**Three dimensional numerical investigation of air Flow over domed roofs,** J. Wind Eng. Ind. Aerodyne, 98, 161-168.

Faghih K.A, Bahadori M.N, (2008), **Solar radiation on domed roofs, Energy and Buildings** (41): 1238-1245.

Fathy, H, (1973), **Architecture for the Poor. University of Chicago Press**, Chicago, London.

Khoshab M, Dehghan A.A, (2014), **Numerical simulation of mixed convection Airflow under a Dome-shaped roof**, Arab J Sci Eng (39): 1359-1374.

Koita, Y, (1981), **Comfort Attainment in Moghul Architecture. In Proceedings of the International Passive and Hybrid Cooling Conference**, 32-36. Miami Beach, FL.

Main stone, R. J, (1983), **Developments in Structural Form**. M.L.T. Cambridge Press.

Najafi.S. & M. Yaghoubi, (2017), **Numerical and Experimental Study of an Under-Groundwater Reservoir**, Cistern. Water Resour Manage 5(2): 269–274.

Najafi S, Yaghoubi M (2015), **Thermal study of a cistern's dome (the case of Motamed cistern in Lar, Iran)**.Energy and Buildings 102:453–466.

Serpooshan, Saeed, and Mahmoud Yaghoobi, (2002), **Calculation of Solar Energy Three-Dimensional Surfaces**. Iranian. Journal of Energy 7 (13): 3-21.

Sabzevary. A, A. Golneshan, (1990), **SOLAR RADIATION INTENSITY ON DOMED ROOFS**. Solar & Wind Technology Vol. 7, No. 6. pp. 625-647.

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.

Thomsen K. E., Schultz, J. M. & B, (2005), **Measure Performance of 12 Demonstration Projects-IEA Task 13 Advanced Solar Low Energy Buildings**. Energy and Buildings (32): 111-119.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.144.7]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.305]