



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Energy optimization of the Ab-Anbar domes; Case study: Domes of Qazvin city*

Tohid Shiri¹ , Mohammad Didehban^{2,**} , Mohsen Taban² ¹ M.A. in Architecture, Department of Architecture, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.² Assistant Professor, Department of Architecture, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received	2020/06/20
Revised	2020/10/27
Accepted	2021/02/08
Available Online	2022/09/22

Keywords:

Sun Radiation
Dome
COMSOL
Honeybee & Ladybug
Ab-Anbars of Qazvin

Use your device to scan
and read the article online



Number of References

36



Number of Figures

6



Number of Tables

6

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Traditionally, the public has used Ab-Anbars (water reservoirs) in hot and dry areas and also in cold regions of Iran. One of the main elements of Ab-Anbar is the reservoir coverage (reservoir lining), which is made of various brick vaults such as barrel and colombo vaults with different rises and forms. Due to the dry weather in most parts of Iran and insufficient rainfall in more than six months of the year in most places, which has resulted in the seasonality of rivers and the lack of access to water, various arrangements have been established for freshwater supply in dry seasons. The construction of the Ab-Anbar (water reservoir and cistern) is one of the innovative ways to supply drinking water. In this regard, the Ab-Anbar, as its name implies, is used to store water in rainy seasons to be used for the rest of the year. The main structure of the Ab-Anbar consists of an underground storage tank and a dome to cover it. In some areas in Iran, a wind catcher is added to this structure to keep the water cool in summer. The construction material used for Ab-Anbars was a special mortar called Sarooj, which was made of sand, clay, lime, goat hair, egg whites, and ash in specific proportions, depending on the location and climate of the place. Some Ab-Anbars had rectangular storage tanks, and some tanks had a cylindrical shape. This study aims to determine the amount of solar radiation received on the surfaces and heat flow inside the Ab-Anbar domes of Qazvin, which leads to recognizing the most optimal form of reservoir coverage for Ab-Anbars among the studied samples.

METHODS: The data, including dry and humid temperature, air, radiation, and current radiation situation of Qazvin city weather station, were prepared over a ten-year period (1996-2006). The library documents also provided the map of the Ab-Anbar domes. In order to conduct the research, four samples of Ab-Anbars with different dome structures in Qazvin city were selected. After that, the domes were modeled in Revit 2016, and the amount of solar radiation received by the domes on the hottest day of the year, at 14, 16, and 18 o'clock, were determined using honeybee & ladybug plugins with Energy plus Engine. COMSOL software, and the CFD airflow analysis, were performed for validation in high-rise and low-rise domes.

FINDINGS: The results of the analyses showed that low-rise domes with large surface contact receive more heat than high-rise domes with a small surface contact, and the area of the domes is effective in receiving the sun radiation. Sardar Kouchak (Little Commander) dome, a low-rise dome, is approximately exposed to its total surfaces and solar heat by 84.3% at 14 o'clock. In comparison, the high-rise dome next to the Grand Mosque is exposed by 52.5% at 14 o'clock. The low-rise dome is exposed by 74.7%, while the high-rise dome is exposed by 53.5% at 16 o'clock. Finally, the low-rise dome is exposed by 62.4%, and the high-rise dome is exposed by 43.2% at 18 o'clock. Therefore, low-rise domes in the cold climate are more efficient in receiving solar radiation than high-rise ones.

* This article is derived from the first author's Master thesis entitled "Designing a temporary accommodation with a thermal optimization approach based on the potentials of the dome of Ab-Anbars", supervised by the second author and advised by the third, at Jundi-Shapur University of Technology Dezful.

** Corresponding Author:
Email: mdidehban@jsu.ac.ir
Phone: +98(61)42418561

Extended ABSTRACT

CONCLUSION: The airflow inside the domes was graphically performed for validation using CFD analysis on a hot day. The results are consistent with the outputs from honeybee & ladybug plugins. Low-rise domes can retain more heat than high-rise domes, and the vortex of hot air created in low-rise domes is less than in high-rise domes, which leads to more heat gain inside the dome. Therefore, the most suitable dome for Ab-Anbar in the cold climate of Qazvin are low-rise domes.

.....

HIGHLIGHTS:

- Selection of several examples of reservoirs with different structures in terms of form and shape.
- Simulating the absorption of sunlight and creating shadows on the surfaces of the domes with Honeybee and Ladybug plugins and CFD simulation with COMSOL software.
- The use of low-rising domes is more suitable and optimal than high-rising domes for cold climates.

ACKNOWLEDGMENTS:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-forprofit sectors.

CONFLICT OF INTEREST:

The authors declared no conflicts of interest.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Shiri, T.; Didehban, M.; Taban, M., (2022). Energy optimization of the Ab-Anbar domes; Case study: Domes of Qazvin city. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism.*, 13(1): 281-296.

 <https://dx.doi.org/10.30475/ISAU.2021.235674.1437>

 https://www.isau.ir/article_125700.html



بهینه‌یابی انرژی گنبد‌های آب انبارها؛ نمونه موردی: گنبد‌های شهر قزوین*

توحید شیری^۱، محمد دیده‌بان^{۲*}، محسن تابان^۲

۱. کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران.
۲. استادیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران.

مشخصات مقاله	چکیده
تاریخ ارسال ۱۳۹۹/۰۳/۳۱	<p>آب‌انبارها علاوه بر مناطق گرم و خشک، در مناطق سرد کشورمان نیز مورد استفاده عموم قرار می‌گرفته است. یکی از اصلی‌ترین عناصر آب‌انبارها پوشش مخزن آن‌هاست، که از طاق‌های آجری گوناگون مانند آهنگ، کلنبو یا خیز و فرم‌های متفاوت ساخته شده است. هدف از این پژوهش شناخت میزان دریافت تابش خورشید در سطوح و جریان حرارت در داخل گنبد آب‌انبارهای قزوین می‌باشد که منجر به شناخت بهینه‌ترین فرم پوشش مخزن آب‌انبار در بین نمونه‌های مطالعه شده می‌گردد. برای انجام این تحقیق چهار نمونه از آب‌انبارها با ساختار متفاوت گنبد در شهر قزوین انتخاب، سپس گنبد‌ها در نرم افزار Revit 2016 مدل‌سازی شد و میزان دریافت تابش خورشید گنبد‌ها در سردترین روز سال و در ساعات ۱۳، ۱۴ و ۱۶ با استفاده از پلاگین‌های Honeybee & Ladybug با موتور انرژی پلاس مشخص گردید. برای اعتبارسنجی با استفاده از نرم‌افزار COMSOL تحلیل جریان هوای یکسان CFD در گنبد‌های خیز بلند و کم انجام شد. نتایج آنالیزها نشان دادند که میزان دریافت تابش در سطوح گنبد آب‌انبارها متفاوت است و در گنبد‌های خیز کم و سطح تماس زیاد نسبت به تابش خورشید، عملکرد دریافت حرارت نسبت به گنبد‌های خیز بلند، بیشتر است. زیرا این گنبد‌ها سطوح بیشتری در معرض تابش خورشید قرار می‌دهند. در تحلیل جریان CFD در هنگام ظهر و گرمای شدید روز، در قسمت بالای گنبد خیز بلند گردابه‌ی گرما ایجاد می‌گردد که از گرم شدن بیش از حد داخل گنبد جلوگیری می‌نماید. بنابراین مناسب‌ترین گنبد برای آب‌انبارهای اقلیم سرد قزوین، گنبد‌های خیز کم می‌باشند.</p>
تاریخ بازنگری ۱۳۹۹/۰۸/۰۶	
تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۱۱/۲۰	
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۱/۰۶/۳۱	
واژگان کلیدی	
تابش خورشید	
گنبد	
COMSOL	
Honeybee & Ladybug	
آب‌انبارهای قزوین	

نکات شاخص

- انتخاب چند نمونه آب انبار با ساختار متفاوت از لحاظ فرمی و شکلی.
- شبیه‌سازی جذب تابش خورشید و ایجاد سایه در سطوح گنبد‌ها با پلاگین‌های Honeybee و Ladybug و شبیه‌سازی CFD با نرم‌افزار COMSOL.
- استفاده از گنبد‌های خیز کم مناسب و بهینه‌تر نسبت به گنبد‌های خیز بلند برای اقلیم سرد.

نحوه ارجاع به مقاله

شیری، توحید؛ دیده‌بان، محمد و تابان، محسن. (۱۴۰۱). بهینه‌یابی انرژی گنبد‌های آب انبارها؛ نمونه موردی: گنبد‌های شهر قزوین، نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۳(۱)، ۲۸۱-۲۹۶.

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده نخست با عنوان «طراحی اسکان موقت با رویکرد بهینه‌سازی حرارتی بر گرفته از پتانسیل‌های گنبد آب انبارها» می‌باشد که به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول انجام گرفته است.

* نویسنده مسئول

تلفن: ۰۰۹۸۶۱۴۲۴۱۸۵۶۱

پست الکترونیک: mdidehban@jsu.ac.ir

مقدمه

امروزه، امید می‌رود که با تکیه بر روش‌های همساز با اقلیم بتوان میزان گرمایش و سرمایش مکانیکی را به حداقل رساند. «آب و هوای هر ناحیه مرکب از کلیه عوامل و عناصر آب و هوایی آن ناحیه بوده و هنگام تقسیم‌بندی باید همه آنها در نظر گرفته شود. در این بین استفاده مناسب از نور روز، بعنوان منبع رایگان انرژی خورشیدی، یکی از همین عوامل مهم می‌باشد. توجه به کیفیت و کمیت نور روز در مرحله اولیه طراحی به منظور خلق فضایی با مصرف انرژی کم از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است» (Yazhari, Kermani, Nasrollahi & Mahdavejad, 2019: 88). حفاظت موثر از انرژی در بخش ساختمان نقش مهمی در جهت کاهش مصرف انرژی بازی می‌کند. شناسایی و منطقه بندی انرژی آن هم در گام ساعتی در آینده می‌تواند رهگشای مسائل بسیاری به منظور مدیریت انرژی پایدار باشد (Omidvar, Ebrahimi & Mahdavejad, 2018: 3). فرم ساختمان تاثیر مهمی بر روی اتلاف حرارت ساختمان‌ها دارد. از سوی دیگر، ضریب انتقال حرارت کلی، مقدار اتلاف حرارت از طریق پوسته ساختمان را تعیین می‌کند. بنابراین، اتلاف حرارت برای فرم‌های ساختمانی مختلف باید در رابطه ضریب انتقال حرارتی پوسته ساختمان تعیین شود (Shiri, Didehban & Taban, 2018: 67). سقف یکی از اجزای ساختمان است که در معرض حداکثر تابش است. بنابراین محافظت از آن در مقابل اشعه‌های خورشید در تابستان برای کاهش دریافتی و در معرض تابش بودن در زمستان از چالش‌های اصلی در طراحی است. تحقیقات زیادی نشان می‌دهند که ۵۰٪ از حرارت دریافتی ساختمان از بام است (Cheikh & Bouchair, 2008). آب انبارها، مخازن آب زیرزمینی بوده‌اند که برای رفع نیاز مردم به استفاده اعم از آشامیدنی و کشاورزی در بیشتر مناطق ایران ساخته می‌شده است. یکی از اصلی‌ترین عناصر آب انبارها که تاثیر زیادی بر حفظ و خنک ماندن آب داخل بنا داشته است، گنبد مخزن آب انبارها می‌باشد. برای پوشش مخزن آب انبارهای صحرایی علاوه بر نوع گنبدی، از طاق‌هایی چون آهنگ و کلبو استفاده شده است (Memarian, 1992: 27). گنبد مخزن آب انبارها در خنک نگه‌داشتن آب داخل مخزن آب انبارها بسیار موثر بوده است. تابش خورشید در طول روز با سطوح گنبد برخورد داشته و گرما از طریق پوسته‌ی گنبد به داخل مخزن آب انبار منتقل می‌شده است. در قزوین برای نگه‌داری و خنک نگه‌داشتن آب از آب انبارها استفاده می‌شده است، آب انبارهای واقع در این شهر دارای فرم و قوس‌های گوناگون بوده و در اکثر محلات شهر ساخته می‌شده است. شهر قزوین به شهر آب انبارها در گذشته معروف بوده و نزدیک به حدود صد آب انبار داشته است، که متأسفانه اکنون حدود ده عدد از این آب انبارها سالم مانده است (Memarian, 2008: 126). شکل ۱، به صورت شماتیک نحوه‌ی

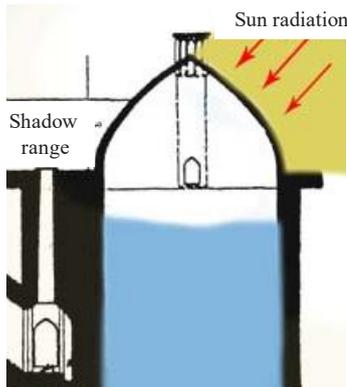


Fig.1. Schematic of receiving sunlight and creating shadows on the surfaces of the dome of the reservoir

معماری سنتی ایران برای سال‌های متمادی در تطابق با شرایط اقلیمی منطقه بوده است، و بناها بیشترین کارایی را برای استفاده‌کنندگان داشته است. لذا در این میان گنبد آب انبارهای واقع در شهر قزوین، در خنک نگه‌داشتن آب داخل آب انبارها موثر بودند و با توجه به اقلیم سرد گنبد‌ها با تنوع قوسی گوناگون اجرا می‌شده است. برای انجام پژوهش حاضر نقشه چهار نمونه از گنبد آب انبارهای قزوین شامل سردار بزرگ، سردار کوچک، زبانه بازار و جنب مسجد جامع کبیر از اسناد و مدارک کتابخانه‌ی برداشت شد. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی پلاس Honeybee، Ladybug و COMSOL میزان دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبد‌ها و تحلیل Cfd در داخل گنبد آب انبارهای قزوین به صورت تطبیقی مورد آنالیز حرارتی قرار گرفت. هدف از این پژوهش رسیدن به بهینه‌ترین گنبد در اقلیم سرد قزوین از لحاظ دریافت انرژی خورشیدی و نگهداری حرارتی، از بین این چهار نمونه با استفاده از تحلیل‌های بدست آمده می‌باشد. سوالات اصلی تحقیق به صورت زیر مطرح گردیده است:

۱. میزان دریافت تابش خورشید در معرض تابش و محدوده‌ی سایه بر سطوح گنبد آب انبارهای شهر قزوین چگونه بوده است؟
۲. نوع قوس و طاق گنبد آب انبارها بر جریان هوای گرم داخل گنبد چه تاثیری داشته است؟

چارچوب نظری تحقیق

آب انبار

به دلیل خشکی آب و هوای 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 تامین آب شیرین در فصول خشک سال شده است. احداث بند و آب انبار را می‌توان از این جمله نام برد (Ghobadian, 2013: 298). عناصر ساختمانی آب انبار با توجه به عملکرد خاص خود،



هوای نواحی مرتفع نسبت به نواحی پایین تر کاهش می یابد و جو زمین مانند یک خازن حرارتی حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد از حرارت تابشی خورشید به کره زمین را به خود جذب می کند (Ghobadian, 2013). 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. ولی در هر صورت برای استفاده از انرژی حرارتی حاصل از تابش آفتاب، پوشش سطوح خارجی به رنگ تیره انتخاب شده است (Kasmai & Ahmadijead, 2004). شکل ۴، دمای خشک سالانه اقلیم سرد شهر قزوین را به صورت گرافیکی نشان می دهد.

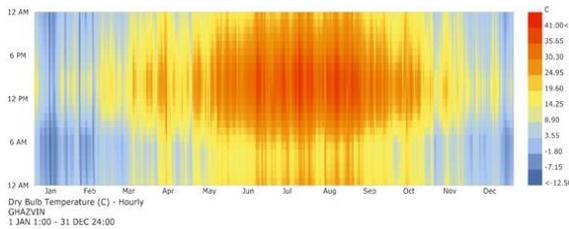


Fig.4. The annual dry temperature of Qazvin city, the highest temperature during the year is 41 degrees Celsius and the lowest temperature is -12.5 degrees Celsius. Honeybee Ladybug Energy Plus

پیشینه نظری تحقیق

پژوهش بر روی سطوح گنبدی

در پژوهشی یک نمونه از گنبد دویپوسته اقلیم گرم خشک کاشان را از منظر عملکرد حرارتی با استفاده از نرم افزارهای انرژی پلاس مورد ارزیابی قرار دادند. آن ها گنبد بقعه چهل دختران را با استفاده از آزمون های انتقال حرارت از طریق هدایت، تابش و همرفت با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که بهترین گنبد برای اقلیم گرم و خشک، گنبدی دویپوسته با پوسته ی خارجی به شکل ناری و پوسته ی داخلی به شکل قطاع کره، با تناسب شبیه به گنبد بقعه ی چهل دختران کاشان می باشد (Fouladi, Tahbaz & Majdi, 2015). نجفی و یعقوبی، مطالعه رفتار حرارتی یک نمونه از آب انبار واقع در شهر لار را با استفاده از شبیه سازی و میدانی ارزیابی کردند. آن ها آب انبار را در نرم افزار انسیس مدل سازی و تحلیل جریان Cfd در درون آن انجام دادند و جریان هوا از بادگیرها به داخل مخزن آب انبار شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد که آب انبارها مناسب ترین سیستم برای خنک نگه داشتن آب داخل مخزن در مناطق اقلیم گرم می باشند (Najafi & Yaghoubi, 2015). در پژوهش دیگری نجفی و یعقوبی، آب انبار زیرزمینی را مطالعه عددی و تجربی انجام دادند. آن ها در اقلیم گرم و خشک آب درون مخزن آب انبار را در سه عمق، برداشت شش ماهه دمای تابش، دمای داخل و خارج گنبد و رطوبت داخل آب انبار اندازه گیری کردند. نتایج آن ها نشان داد که آب داخل مخزن در عمق های مختلف با هم فرق داشته، و دما در عمق های پایین کمتر است و دمای

هر یک ویژگی های ساختمانی منحصر به فردی دارند که در آب انبارهای مختلف در سراسر کشور قابل مشاهده است. برای داشتن آبی خنک و جلوگیری از تبخیر آن، پوشش هایی بر روی انبار یا مخزن ساخته می شود که ویژگی های کلی ساختمان های طاقی را دارا هستند (Memarian, 2008: 127). شهر قزوین روزگاری بیش از صد آب انبار داشته است. اما در حال حاضر تعداد آب انبارهای سالم شهر حدود ده عدد است. (Ibid, 129). شکل ۲، مقطع دویپوسته جریان هوا در داخل گنبد آب انبار را نشان می دهد، که جریان هوا از بادگیرها وارد شده و از سوراخ بالای گنبد خارج می گردد (Arefmanesh, Dehghan & Dehghani, 2008: 29).

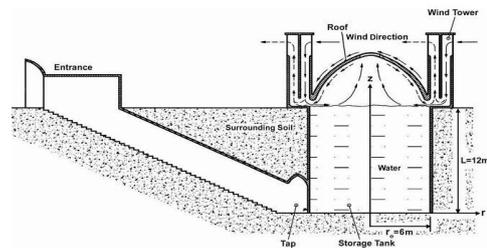


Fig.2. Vertical section of a reservoir sample (Arefmanesh, Dehghan & Dehghani, 2008)

گنبد

سقف گنبدی، یکی از عناصر بومی معماری مناطق گرم و خشک ایران می باشد. گنبد (یک پوسته) یکی از انواع چفدهاست که بر اساس چرخش حول محور عمودی راس یا تیزه آن شکل می گیرد، چرخش بر روی یک محور اتفاق می افتد (Memarian, 2011: 367). اساس شکل گنبدهای ایرانی بر مبنای شکل بیضی یا تخم مرغی، با مقاطع مختلف می باشد. در دوران اسلامی گنبدها به شکل های گوناگونی بوده هست (Memarian, 1987: 122). شکل ۳، مدل سازی و نحوه ی اجرای گنبد آب انبار حول محور عمودی با نرم افزار رویت نشان می دهد.

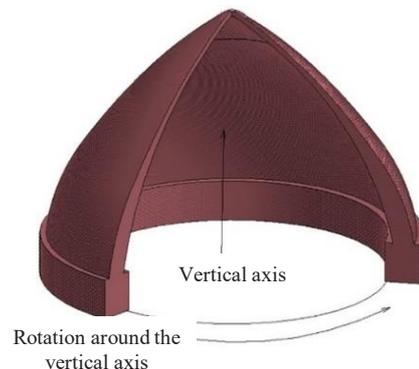


Fig.3. Modeling of the dome next to Jame Kabir Mosque, how to implement the dome around the vertical axis

ویژگی های اقلیم مناطق سرد

در اقلیم سرد کوهستان ها، رودخانه ها و قنات ها می باشند، رشته کوه های واقع در شمال و غرب کشور اکثراً برف گیر می باشد. در اقلیم سرد دمای

انجام دادند (Tang et al., 2003: 539). سرپوشان و یعقوبی، بر اساس موقعیت و وابستگی زاویه‌ای ضریب جذب خورشید بیان می‌کند در مناطقی با آب و هوای گرم و خشک، سقف گنبدی، دمای هوای اتاق را در فصل تابستان کاهش می‌دهد و انعکاس تابشی سقف گنبدی بیشتر از سقف تخت متناظرش است. در این راستا در سراسر دنیا تحقیقاتی صورت گرفته است. آنها نشان دادند سقف‌های گنبدی در شیراز نسبت به سایر سقف‌ها در تابستان ارجحیت دارد (Serpooshan & Yaghoobi, 2001: 31). گومز و گاندارا، میزان تشعشع دریافتی در مکزیک در واحد سطح مساحت سقف نیمکره را ۳۵ درصد کمتر از سقف صاف معادل آن گزارش نموده است. نتایج آنها نشان داد که در مناطق گرم و خشک که شدت تابش پخشی کم بوده سقف گنبدی مناسب است (Gomez & Gandara, 2003: 140). مهران و همکاران، در مورد تعیین بهینه‌ترین زاویه نصف گنبد به ازای تشعشع خورشید برای کاهش اتلافات برودتی وارده از سقف گنبدی، در شهر قم برای سقف بارگاه حضرت معصومه، مدل و مقدار انرژی تابشی و شار حرارتی را محاسبه و کمترین اتلافات را برای زوایای ۵۰ الی ۶۰ درجه معرفی نموده‌اند (Mehran & Kazemi, 2008: 249). ترکیب یک سقف خنک‌کننده انعکاسی با گام سقف بهینه یک استراتژی است که هدف آن کاهش انتقال حرارت از سطح سقف به داخل خانه در روزهای آفتابی می‌باشد، سقف بازتاب دهنده در طول روز گرمای کمتری به داخل ساختمان انتقال می‌دهد (Akbari et al., 2006). در پژوهشی که گیلانی و محمدکاری در اقلیم سرد انجام دادند، در طول دوره گرمایش جدار رو به خارج مدل، به سمت جنوب غربی در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرد، پس از جدار رو به جنوب غربی، جدار رو به جنوب دارای بیشترین توان دریافتی می‌باشد (Gilani & Mohammadkari, 2019).

روش تحقیق

پلاگین‌های Honeybee و Ladybug با قابلیت آنالیز با موتورهای قدرتمند انرژی، انرژی پلاس و اوپن استیڈیو و ریدینس، در بسیاری از پژوهش‌های خارجی مورد استفاده قرار گرفته است. این پلاگین‌ها از اعتبار بسیار بالایی برخوردار هستند و به دلیل داشتن برنامه‌نویسی به صورت الگوریتمی و امکان دسترسی به داده‌های آب و هوایی معتبر و تنوع در خروجی‌های گرافیکی و عددی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شین و همکاران، جهت شناسایی و میزان دریافت تابش خورشید بر ۱۵ بلوک واقعی در سه گونه تجاری، صنعتی و مسکونی از منطقه‌ی ووهان با استفاده از پلاگین‌های Hon-eybee و Ladybug پژوهشی انجام دادند، و میزان pv بیرونی برای سقف‌ها و جداره‌های بلوک‌ها را محاسبه نمودند (Shen et al., 2019). اولیوری و همکاران، پژوهش میدانی و شبیه‌سازی درباره

تابش بیرون گنبد با دمای داخل گنبد در طول فصول بالاتر می‌باشد (Najafi & Yaghoobi, 2017). نصراله‌ی، بیان می‌کند بدلیل زاویه متغیر تابش بین تابستان و زمستان سطوح افقی؛ تابش بیشتری در تابستان و کمتری در زمستان دریافت می‌کنند. برای جلوگیری از دریافت تابش شدید در تابستان و از دست دادن حرارت در زمستان باید مقاومت حرارتی مصالح عایق‌کاری در سطوح عمودی را افزایش داد. استفاده از مصالح منعکس‌کننده در سقف از جمله استراتژی‌های است که برای کاهش بار گرمایش در تابستان بکار می‌رود (Nasrollahi, 2009). هداوند و یعقوبی، تحلیل حرارتی سقف‌های گنبدی را انجام دادند. ایشان جریان باد مشرق-مغرب اطراف ساختمان‌های دارای سقف گنبدی و مسطح شمال-جنوب را تحلیل کردند. آنها دریافتند دمای متوسط روزانه ساختمان با سقف‌های گنبدی با زوایای حاشیه‌ی مختلف بجز سقف گنبدی با زاویه‌ی حاشیه ۱۸۰ درجه کمتر از سقف مسطح است و با افزایش سرعت باد نیز کاهش می‌یابد (Hadavand & Yaghoobi, 2007: 269). فقیه و بهادری، تشعشع خورشیدی بر روی سقف‌های گنبدی را ارزیابی کردند. آنها تشعشع خورشیدی دریافتی و جذب شده را برای چهار سقف گنبدی مشخص تخمین زدند و با یک سقف مسطح با مساحت یکسان مقایسه کردند. نشان دادند ماکزیمم تشعشع خورشیدی دریافتی این سقف‌ها واقع در نیم کره شمالی و در ماه ژوئن اتفاق می‌افتد و مستقل از مکان جغرافیایی و شرایط آب و هوایی است (Faghhi & Bahadori, 2008: 123). خوشاب و دهقان، جایجایی ترکیبی در زیر سقف گنبدی را به صورت عددی بررسی کردند. این سقف تحت تابش مستقیم خورشید بوده است؛ بنابراین بعنوان سطوح گرم با دمای یکنواخت، مشابه سطح بالایی منبع ذخیره آب سرد که دیوار افقی به صورت سطح سرد با همان دما در نظر گرفته شده بود. نشان دادند که در دو الگوی جریان، ناسلت متوسط با افزایش عدد گراشف در سرتاسر گنبد افزایش می‌یابد (Khoshab & Dehghan, 2014: 362). دهقان و دهقانی، تاثیر حرارتی یک منبع آب زیرزمینی را به صورت تجربی بررسی کردند (Dehghan & Dehghani, 2010: 820).

جذب حرارت سقف‌های گنبدی

در سال ۱۹۷۸ بهادری نژاد اولین کسی بود که در زمینه سقف‌های قوسی مطالعه نمود و نقش این‌گونه سقف‌ها در تهویه فضای داخل ساختمان و خنک نگه‌داشتن آب درون آب‌انبارها را بررسی نمود. با توجه به مطالعات او سقف‌های قوسی کمتر از سقف‌های تخت گرما را از طریق تابش جذب می‌نماید (Shiri, Didehban & Taban, 2018: 29). در مورد سقف ساختمان در منطقه گرم و خشک نیز، پژوهشگرانی مانند فتحی (۱۹۷۳) و مین استون (۱۹۸۳)، باون (۱۹۸۱) و کیتا (۱۹۹۱)، پژوهش‌هایی درباره‌ی انعکاس تابشی سقف‌های قوسی و گنبدی



شده در محیط نرم افزار در یک روز گرم تابستان، با جریان هوای گرم ثابت انجام گردید.

معرفی نمونه‌های موردی

آبانبارهای قزوین

بافت تاریخی شهر قزوین، به طور 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. در آبانبارها تبعیت از شکل مخزن می‌کرده است. نوع حاکم مخزن در قزوین با نقشه چهارگوش بوده است (Memarian, 2008: 139). 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. آبانبار سردار بزرگ در محله راه ری و خیابان راه آهن واقع شده است و بانی آن حسن خان از امیران قاجاریه بوده است. این آبانبار دارای گنبد عظیم آجری می‌باشد (Zinda Del, 1997). آبانبار زبانه بازار توسط مرحوم حاج ملا عبدالوهاب از علمای بنام دوره قاجار قزوین در کنار مسجد سلطانی بنا شده و ورودی آن از مسگر بازار است. بزرگ‌ترین آبانبار بازار شهر قزوین می‌باشد. تقریباً ۹۰ درصد بناهای میراثی و تاریخی در محدوده محله‌های قدیمی شهر قرار گرفته‌اند (Rafiyan, 2012). آنچه ساختمان آبانبارهای قزوین را با دیگر مناطق ایران به خصوص در مناطق گرم و خشک و جنوب ایران متمایز می‌کند، نوع پوشش‌های آن‌ها است. نوع پوشش آبانبار جنب مسجد جامع کبیر در اول خیابان سپه قزوین، روبه‌روی جلوخان و سر کوچه مسجد جامع کبیر و در شمال مسجد جامع کبیر قرار گرفته است. بانی آن علی خان از امیران بزرگ نظامی بوده که در اواخر سده یازدهم آن را بنا کرده است (Zinda Del, 1997). لازم به ذکر است تمامی نقشه‌های گنبد آبانبارها از کتاب یادگار ماندگار (نقشه بناهای تاریخی استان قزوین) برداشت شد و در جدول ۱، مشخصات و ابعاد و مقطع گنبد آبانبارهای شهر قزوین آورده شده است.

تحلیل دریافت تابش بر سطوح گنبد آبانبارها

نحوه‌ی آنالیز دریافت تابش در سطوح گنبدها در محیط نرم‌افزار بر اساس ابعاد و مدل‌های جدول ۲ می‌باشد. این جدول مشخصات مدلسازی گنبدها با دهانه یکسان در نرم‌افزار Rhino 5 بوده، که برای تحلیل دقیق نرم‌افزار گنبدها از سطوح سورفیس به سطوح مش‌بندی تبدیل گردیده است. مساحت گنبدها در پلاگین Grasshopper با الگوریتم area نوشته شد و مساحت پوسته‌ی بیرونی گنبدهای مش بندی به صورت خروجی اعداد نمایش داده شد. در هنگام تحلیل‌ها لازم به ذکر است، در تمامی مراحل

دیوارهای سبز عمودی در آب و هوای مدیترانه‌ی انجام دادند. و عملکرد ضخامت‌های مختلف دیوارهای سبز با استفاده از پلاگین‌های Ladybug و Honeybee مورد ارزیابی قرار دادند (Omidvar, Ebrahimi & Mahdavinejad, 2018). پژوهش حاضر با فرض تأثیرگذاری ویژگی‌های شکلی گنبد آبانبارهای قزوین، در راستای افزایش میزان جذب حرارت در معرض تابش خورشید و کاهش مقدار سایه‌اندازی در گنبدها می‌باشد. در این پژوهش به تعدیل اثر شرایط محیطی بر شکل‌گیری، نوع طاق و فرم گنبد آبانبارهای شهر قزوین پرداخته شده تا بتوان شرایط میزان دریافت تابش خورشید و جذب حرارت در محدوده سایه بر سطوح گنبدها را با هم دیگر مورد مقایسه تطبیقی قرار داد. برای تحلیل پتانسیل انرژی حرارتی تابش خورشید در سطوح گنبد آبانبارها، با استفاده از نرم‌افزار Rhino 5 با پلاگین‌های Ladybug و Honeybee شبیه‌سازی درصدی صورت گرفت. تا تأثیر خیز و نوع قوس گنبد آبانبارها در میزان جذب حرارت مشخص شود. از اقلیم سرد، شهر قزوین انتخاب گردید. زیرا دارای آبانبارهای با تعداد قابل قبول جهت مطالعه و تنوع شکل گنبدی می‌باشد. چهار نمونه از گنبد آبانبار با ساختار قوس مختلف شامل: سردار بزرگ، سردار کوچک، زبانه بازار و جنب مسجد جامع کبیر انتخاب گردید. سپس گنبدها بر اساس ابعاد نقشه‌ی واقعی در نرم‌افزار Revit 2016 به صورت سه بعدی مدلسازی شد و به نرم‌افزار Rhino 5 انتقال داده شد. در این نرم‌افزار با دستور Scale 3d دهانه تمام گنبدها به طول ۱۰ متر، بدون این که شکل مقطع گنبدها تغییر کند در نظر گرفته شد. تا با استفاده از پلاگین‌های Ladybug و Honeybee با موتور انرژی پلاس الگوریتم تحلیل دریافت تابش خورشید در گرم‌ترین روز سال در سه بازه‌ی زمانی ساعات ۱۴، ۱۶ و ۱۸ انجام گیرد. همه مدل‌ها در تراز صفر قرار گرفته شد. سپس نمونه‌ها به صورت جداگانه انتخاب و به عنوان مش به پلاگین‌های Honeybee و Ladybug معرفی گردید و مش‌ها به Geometry آنالیز دریافت تابش خورشید متصل گردید. سایز گریدها ۵ سانتی‌متر، و دیس فرام سایز بیس ۰/۸ تعریف گردید. الگوریتم دریافت تابش خورشید با داده‌های فایل آب و هوایی نوشته شد که سه بازه‌ی زمانی در روز گرم‌ترین روز سال نوشته و به الگوریتم وصل گردید. در نهایت تاگل الگوریتم تحلیل‌ها فعال گردید و آنالیزها صورت گرفت. خروجی‌های آنالیز در محیط نرم‌افزار Rhino 5، به صورت گرافیکی و در پلاگین Grasshopper و Ladybug و Honeybee به صورت عددی می‌باشد، که در نرم‌افزار قابلیت استخراج اعداد به صورت اکسلی وجود دارد. برای این محاسبات فایل آب و هوایی سالانه شهر قزوین EPW تعریف گردید. اعتبارسنجی پژوهش با استفاده از نرم‌افزار COMSOL، تحلیل جریان Cfd در داخل گنبدها انجام شد. برای انجام Cfd معادله‌ی نوشته

Table 1. Introducing the dimensions and size of the reservoir dome of Qazvin city (Mohammadzadeh, 2006)

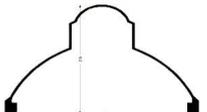
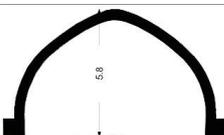
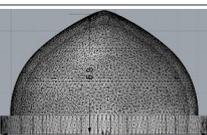
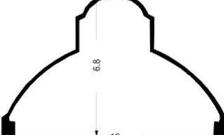
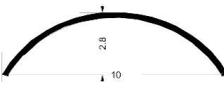
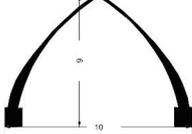
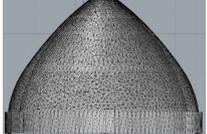
Qazvin ab Anbars dome	Ab Anbar Sardar bozorg	Ab Anbar zabane bazar	Ab Anbar Sardar kochek	Ab Anbar jonbe Masjed jame Kabir
Ab Anbar dome cross section				
Images of Ab Anbar located in Qazvin				
Height of the dome	7.5m	8.5m	1.8m	9m
Width of the dome	14m	11m	9m	10m
Reservoir shape	Circular	Circular	Square	Circular

Table 2. Specifications of Qazvin city water reservoir dome with constant opening for analysis of radiation received in Honeybee& Ladybug

Qazvin ab Anbars dome	Ab Anbar dome cross section	Dome modeled in the software	Height of the dome	Width of the dome	Area of the domes
Ab Anbar Sardar bozorg			5.8m	10m	328 m ²
Ab Anbar zabane bazar			6.8m	10m	325 m ²
Ab Anbar Sardar kochek			1.8m	10m	267 m ²
Ab Anbar jonbe Masjed jame Kabir			9m	10m	355 m ²

را جذب می‌نمایند، و این مقدار تقریباً در تمام نمونه‌های تحلیلی حدود یک سوم سطوح گنبد‌ها را در معرض اشعه‌ی خود قرار می‌دهد. البته این میزان در گنبد‌های با خیز بلند نسبت به گنبد‌های با خیز کم خیلی بیشتر اتفاق می‌افتد، زیرا در گنبد آب انبارهای با خیز بلند؛ سطوح بیشتری هم در محدوده‌ی سایه می‌گیرد. در اقلیم سرد شرایط جوی الزام می‌دارد، که نیاز به دریافت تابش خورشید بر سطوح گنبد آب انبارها بیشتر از ایجاد سایه باشد. تا حرارت جذب شده از تابش خورشید به خنک بودن آب داخل مخزن آب انبارها موثر باشد. بیشترین نقطه‌ی جذب حرارت در ساعت ۱۴، برابر با ۳۱۳ KWh/m² و کمترین دریافت تابش در این ساعت در تمام سطوح گنبد‌ها ۱۱ KWh/m² می‌باشد. این مقدار در ساعت ۱۶ در اقلیم سرد قزوین به ۱۱۵ KWh/m² کاهش یافته و کمترین دریافت تابش نیز ۱۱ KWh/m² جذب می‌گردد. همچنین به خاطر پایین آمدن جهت زاویه خورشید نسبت به سطوح گنبد‌ها در ساعت ۱۸ بالاترین مقدار جذب حرارت ۹ KWh/m² بوده است و کمترین دریافت تابش در محدوده‌ی سایه تقریباً ۱ KWh/m² می‌باشد.

فرم گنبد‌ها به عنوان متغیر اصلی و دیگر پارامترهای پایه مانند ضخامت، مصالح گنبد، بادگیرها ثابت فرض شده‌اند، زیرا هدف پژوهش بدست آوردن رابطه‌ی بین خیز گنبد آب‌انبارها با میزان حرارت دریافتی بوده است. برای محاسبات فایل آب و هوایی سالانه شهر قزوین EPW تعریف گردید، اطلاعات واقعی هواشناسی از ایستگاه قزوین برای سال ۲۰۰۵ تهیه و سپس تبدیل به فایل EPW شده است.

یافته‌ها و تحلیل نتایج پژوهش

خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی Honeybee و Ladybug

نحوه‌ی دریافت تابش خورشید بر روی سطوح گنبد آب‌انبارهای قزوین به نوع طاق، خیز و مساحت گنبد بستگی دارد. با توجه به آنالیزهای صورت گرفته به وسیله‌ی پلاگین‌های Honeybee و Ladybug با موتور انرژی پلاس که در جدول ۳، نشان داده شده است، مشخص شد که میزان دریافت تابش خورشید و جذب حرارت در محدوده سایه در طول روز تغییر می‌کند. در هنگام صبح و غروب سطوح گنبد‌ها حرارت کمتری



دریافت می‌نمایند. جداول ۴ و ۵، میزان جذب حرارت محدوده در معرض تابش و سایه‌گنبدها را نشان می‌دهد.

تحلیل نتایج شبیه‌سازی Ladybug و Honeybee

شکل ۵ بالا، مجموع حرارت دریافت کل، در معرض تابش و در محدوده‌ی سایه بر سطوح گنبد آب‌انبارهای دهانه ثابت قزوین، در ساعات ۱۴، ۱۶، ۱۸ برحسب KWh/m^2 را نشان می‌دهد. در این شکل بیشترین دریافت حرارت در گنبدهای دهانه ثابت، مربوط به گنبد سردار بزرگ و کمترین دریافت حرارت را گنبد سردار کوچک به دلیل داشتن مساحت و سطح تماس زیاد نسبت به تابش خورشید جذب می‌نماید، مساحت و شکل گنبدها در دریافت حرارت خورشید موثر است. میزان دریافت حرارت در ساعات‌های مختلف روز به دلیل جهت زاویه خورشید متفاوت است، جهت زاویه تابش خورشید نسبت به سطوح گنبدها مهم است. در ساعت ۱۴ ظهر اشعه‌ی تابش خورشید سطوح زیادی از گنبد سردار بزرگ را در معرض خود قرار می‌دهد لذا در این ساعت گنبد سردار بزرگ بیشترین دریافت حرارت در بین نمونه‌های گنبد دارد. اما در ساعت ۱۶ بعد از ظهر به دلیل تغییر جهت زاویه تابش گنبد سردار کوچک بیشترین حرارت در بین نمونه‌ها جذب می‌نماید. در ساعت ۱۸ غروب به علت خیز و ارتفاع گنبد سردار بزرگ و تغییر تقریباً ۹۰ درجه زاویه تابش خورشید، گنبدهای خیز بلند سطح بیشتری نسبت به گنبدهای خیز کم در معرض حرارت قرار می‌دهند. که بیشترین دریافت حرارت در این بازه‌ی زمانی مربوط به گنبد سردار بزرگ می‌باشد. بنابراین مساحت، جهت زاویه تابش و خیز گنبدها در دریافت حرارت در معرض تابش و محدوده‌ی سایه گنبدها تاثیر گذار است، گنبدهای که در هر بازه‌ی زمانی سطوح بیشتری در معرض حرارت خورشید قرار دهند بیشترین دریافت را خواهند داشت.

در شکل ۵ پایین، حرارت دریافتی بدست آمده از نرم‌افزار بر اساس درصد، در گنبدهای دهانه ثابت قزوین را نشان می‌دهد. در این شکل میزان دریافت حرارت در سه بازه‌ی زمانی روز ۱۴، ۱۶ و ۱۸ به صورت تفکیک نمایش داده شده است. دریافت حرارت بر کل سطوح گنبد به صورت درصدی می‌باشد، که گنبد سردار کوچک به دلیل خیز کم و سطح تماس زیاد در بازه‌ی زمانی ساعت ۱۴ تقریباً ۸۴.۳٪ و گنبد جنب مسجد جامع کبیر به دلیل خیز بلند و سطح تماس کم و ایجاد سایه‌اندازی زیاد ۵۲.۵٪ از سطوح‌شان در معرض حرارت تابش خورشید قرار می‌گیرد، که تقریباً گنبد خیز کم در این بازه‌ی زمانی ۳۱.۸٪ سطوح بیشتری نسبت به گنبد خیز بلند دارد. در ساعت ۱۶ گنبد سردار کوچک ۷۴.۷٪ و گنبد سردار بزرگ ۵۳.۵٪ از سطوح‌شان حرارت دریافت می‌نماید، که این میزان به ۲۱.۲٪ کاهش پیدا می‌نماید، و

خیز و ارتفاع گنبد آب‌انبارهای قزوین در میزان جذب حرارات نقش مهمی دارد. بیشترین دریافت تابش خورشید در ساعت ۱۴ در بین گنبد آب‌انبارها، گنبد سردار بزرگ با خیز ۵.۸ متر و مساحت ۳۲۸m^2 مترمربع به میزان ۳۷۶۲۸KWh/m^2 می‌باشد. در بین نمونه‌های موردی کمترین دریافت تابش را گنبد آب‌انبار سردار کوچک با خیز ۲.۸ متر و مساحت ۲۶۷m^2 مترمربع به میزان ۳۱۳۰۱KWh/m^2 جذب می‌نماید. این مقدار در ساعت ۱۶ رو به کاهش می‌یابد و میزان دریافت تابش خورشید کمتر؛ و میزان سایه‌اندازی در سطوح گنبد آب‌انبارها افزایش می‌یابد. در این دروه زمانی سردار کوچک سطوح بیشتری از در معرض تابش قرار می‌دهد؛ و بالاترین جذب حرارت به مقدار ۱۳۳۳۸KWh/m^2 و کمترین جذب را گنبد آب‌انبار زبانه بازار با مقدار ۱۱۶۴۱KWh/m^2 دریافت می‌نماید. در ساعت ۱۸ سایه‌اندازی تقریباً دو سوم کل گنبدها را در بر می‌گیرد و در گنبدهای با خیز بلند و سطح تماس زیاد نسبت به تابش خورشید در این ساعت جذب حرارت بیشتری را نسبت به گنبدهای با خیز کم دریافت می‌نمایند. بالاترین دریافت حرارت در این ساعت بر سطوح گنبد سردار بزرگ با میزان ۷۱۴KWh/m^2 و پایین‌ترین دریافت تابش بر سطوح گنبد سردار کوچک با میزان ۵۲۸KWh/m^2 ایجاد می‌گردد. بنابراین خیز و سطح تماس گنبدها در دریافت تابش خورشید طول روز نقش مهمی داشته است. هر چقدر گنبد با خیز بلند بنا گردد، جذب حرارت در محدوده‌ی سایه گنبد بیشتر است؛ زیرا گنبد سایه‌ی بیشتری را در پشت به تابش خورشید ایجاد می‌نماید. سایه‌اندازی در مواقع غروب و طلوع خورشید در گنبدهای خیز بلند بیشتر از گنبدهای خیز کوچک است، و البته که در هنگام طلوع و غروب گنبدهای خیز بلند سطوح بیشتری را به علت جهت زاویه تابش خورشید قرار می‌دهند. جذب حرارت در محدوده‌ی سایه در بین گنبد آب‌انبارها بیشترین مقدار را گنبد سردار کوچک با میزان ۳۸۲۰KWh/m^2 و کمترین مقدار را گنبد سردار بزرگ با میزان ۳۳۵۸KWh/m^2 در ساعت ۱۴ دریافت می‌نمایند. با کمتر شدن زاویه خورشید نسبت به سطوح گنبد آب‌انبارهای قزوین؛ میزان جذب حرارت در سایه‌اندازی کمتر شده ولی مقدار سایه‌اندازی افزایش می‌یابد.

در ساعت ۱۶ بعد از ظهر بیشترین میزان جذب حرارت در محدوده سایه بر روی گنبد سردار کوچک با مقدار ۱۸۲۱KWh/m^2 و کمترین دریافت را گنبد سردار بزرگ با مقدار ۸۹۰KWh/m^2 جذب می‌کند، که دلیل اصلی افزایش ایجاد سایه در گنبد جنب مسجد، داشتن طاقی با خیز بلند و سطح کم در معرض تابش می‌باشد. در ساعت ۱۸ بعد از ظهر بیشترین سایه‌اندازی را گنبد زبانه بازار با مقدار ۱۵۰KWh/m^2 و کمترین جذب حرارت در محدوده‌ی سایه را گنبد سردار کوچک با مقدار ۱۱۷KWh/m^2

Table 3. Analysis of receiving sunlight, heat absorption in the shadow range on the surfaces of the dome of Qazvin reservoirs in terms of kWh/m²

Ab Anbars dome	Analysis in the afternoon per hour13	Analysis in the afternoon per hour14	Analysis in the afternoon per hour16
Sardar bozorg 3d view	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
Sardar bozorg top view	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
Zabane bazar	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
Top view	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
Sardar kochek top view	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
Sardar kochek 3d view	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
Top view top view	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
Jonbe Masjed jame Kabir	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00
	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 13:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 14:00 - 31 DEC 24:00	 Radiation Analysis GHAZVIN_2005 15 OCT 16:00 - 31 DEC 24:00



Table 4. The amount of heat absorption in the area exposed to radiation in the dome of Qazvin reservoirs in terms of kwh/m²

Qazvin Ab Anbars dome	area of the domes	The temperature range of the received heat at the exposed surfaces at 13 o'clock in the afternoon						Total heat absorption in terms of kwh/m ²	
		200 kwh/m ²	180 kwh/m ²	160 kwh/m ²	140 kwh/m ²	120 kwh/m ²	100 kwh/m ²		
Sardar kocheh	267 m ²	The area of the dome surface that is exposed to this amount of heat absorption	6528	5508	4569	3712	2937	2040	25296
Sardar bozorg	328m		6822	5667	3358	3306	2519	2361	24035
Zabane bazar	325 m ²		7161	4296	3055	3007	1145	3580	22247
Jonbe Masjed jame Kabir	355 m ²		6461	4473	2385	3131	1192	3727	21371
Qazvin Ab Anbars dome	area of the domes	The temperature range of the received heat at the exposed surfaces at 14 o'clock in the afternoon						Total heat absorption in terms of kwh/m ²	
		146 kwh/m ²	131 kwh/m ²	117 kwh/m ²	102 kwh/m ²	87 kwh/m ²	73 kwh/m ²		
Sardar kocheh	267 m ²	The area of the dome surface that is exposed to this amount of heat absorption	4556	3848	3006	2248	1757	1474	16891
Sardar bozorg	328m		5028	3007	2149	2107	799	2514	15605
Zabane bazar	325 m ²		4812	3238	1928	1891	1075	1804	14750
Jonbe Masjed jame Kabir	355 m ²		4664	2790	1495	1955	741	2332	13979
Qazvin ab Anbars dome	area of the domes	The temperature range of the received heat at the exposed surfaces at 16 o'clock in the afternoon						Total heat absorption in terms of kwh/m ²	
		37 kwh/m ²	33 kwh/m ²	29 kwh/m ²	26 kwh/m ²	22 kwh/m ²	18 kwh/m ²		
Sardar kocheh	267 m ²	The area of the dome surface that is exposed to this amount of heat absorption	784	484	378	381	143	323	2496
Sardar bozorg	328m		1092	649	456	460	173	531	3363
Zabane bazar	325 m ²		961	571	402	405	228	467	3038
Jonbe Masjed jame Kabir	355 m ²		985	585	308	415	156	479	2930

Table 5. Heat absorption in the shadow range in the dome of Qazvin reservoirs inkwh/m²

Qazvin ab Anbars dome	area of the domes	The amount of heat received in the shadow range at 13 o'clock in the afternoon				Total heat absorption in terms of kwh/m ²	
		80 kwh/m ²	60 kwh/m ²	40 kwh/m ²	20 kwh/m ²		
Sardar kocheh	267 m ²	The area of the dome surface that is exposed to this amount of heat absorption	1142	734	408	163	2448
Sardar bozorg	328m		629	157	314	52	1154
Zabane bazar	325 m ²		572	143	286	47	1050
Jonbe Masjed jame Kabir	355 m ²		596	149	298	49	1093
Qazvin ab Anbars dome	area of the domes	The amount of heat received in the shadow range at 14 o'clock in the afternoon				Total heat absorption in terms of kwh/m ²	
		58 kwh/m ²	43 kwh/m ²	29 kwh/m ²	14 kwh/m ²		
Sardar kocheh	267 m ²	The area of the dome surface that is exposed to this amount of heat absorption	958	710	425	205	2300
Sardar bozorg	328m		399	98	199	32	730
Zabane bazar	325 m ²		597	265	179	86	1128
Jonbe Masjed jame Kabir	355 m ²		370	91	185	29	677
Qazvin ab Anbars dome	area of the domes	The amount of heat received in the shadow range at 16 o'clock in the afternoon				Total heat absorption in terms of kwh/m ²	
		14 kwh/m ²	11 kwh/m ²	7 kwh/m ²	3 kwh/m ²		
Sardar kocheh	267 m ²	The area of the dome surface that is exposed to this amount of heat absorption	91	89	34	4	220
Sardar bozorg	328m		247	64	68	23	405
Zabane bazar	325 m ²		218	133	84	31	467
Jonbe Masjed jame Kabir	355 m ²		223	78	111	26	440

غروب، گنبد سردار کوچک ۱۹.۲٪ نسبت به گنبد جنب مسجد جامع بهینه تر است. که نتایج نشان می دهند عملکرد گنبد های خیز کم در بازه های زمانی مختلف روز بهتر از گنبد های خیز بلند است. گنبد های خیز کم در اقلیم سرد سطوح بیشتری را نسبت به گنبد های خیز بلند قرار می دهند. شکل ۶ دریافت

عملکرد گنبد های خیز کم در این بازه هم نسبت به گنبد های خیز بلند بهتر است. در ساعت ۱۸ که زاویه تابش خورشید تقریباً ۹۰ درجه تغییر می کند، گنبد سردار کوچک ۶۲.۴٪ و گنبد جنب مسجد جامع ۴۳.۲٪ از سطوح شان در معرض اشعه ی تابش خورشید قرار می دهند. که در این بازه های زمانی نزدیک به

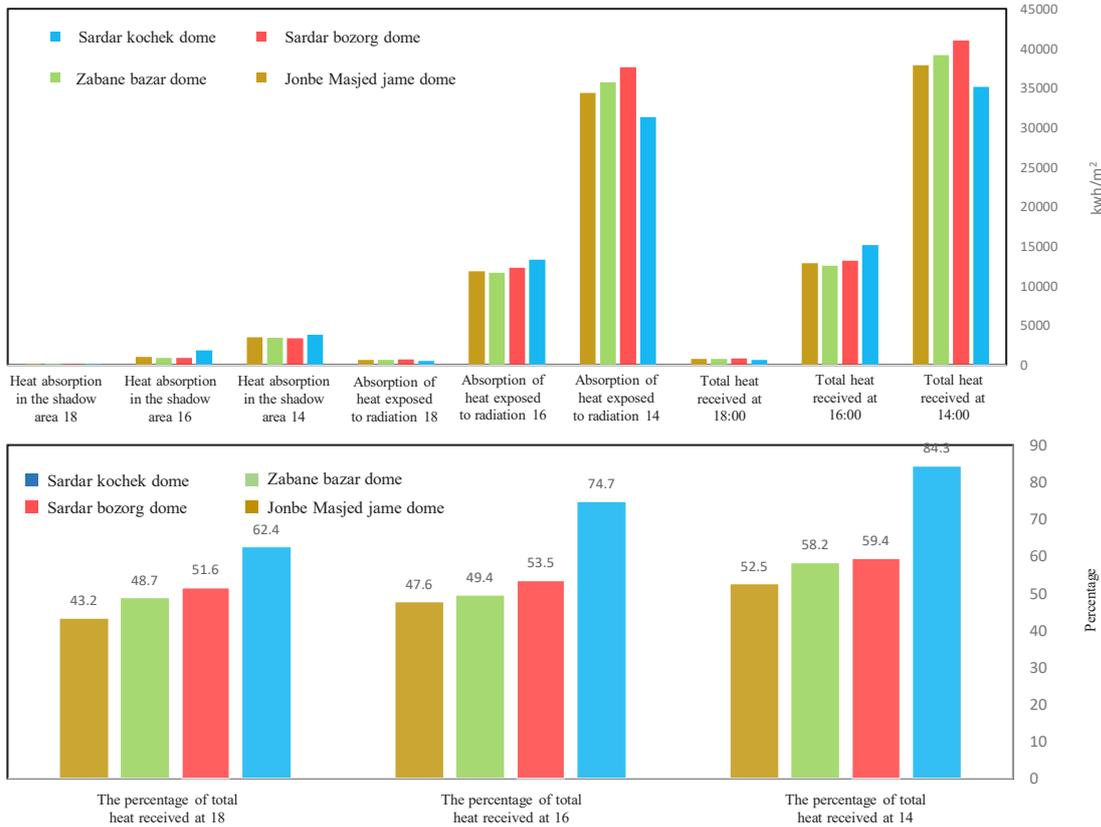


Fig.5. From the top, the graph related to the amount of heat received by exposure to radiation, in the shade and heat of the entire dome of the fixed mouth reservoirs of Qazvin city on the hottest day of the year at 2, 4, 6 pm. From the bottom, the graph of the percentage of solar radiation received on the surfaces of domes with fixed opening in Qazvin at 14, 16, 18 in the afternoon

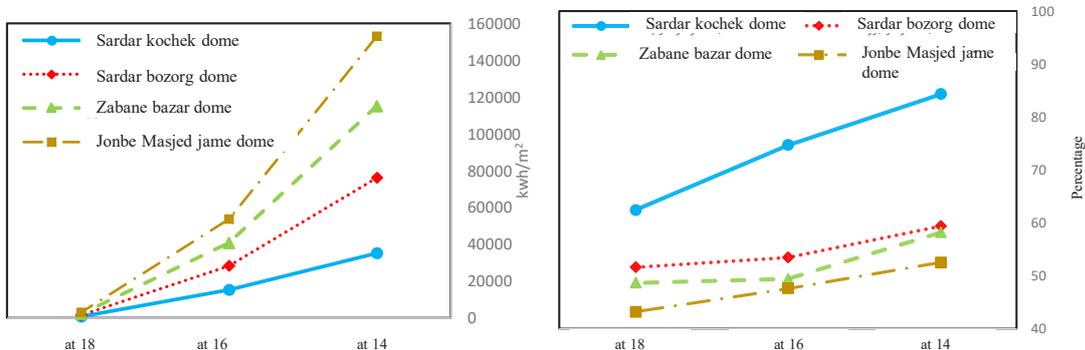


Fig.6. From the right side, the graph of the percentage of receiving radiation on the surfaces of the domes. The left side of the graph of receiving total radiation on the surfaces of Qazvin's fixed opening domes in time periods 13, 14, 16, 18

بر سطوح گنبد‌ها با فرم و شکل گنبد بستگی دارد، بطوری که 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 سطوح‌شان ایجاد می‌گردد.

شبیه‌سازی جریان Cfd در داخل گنبد‌ها

به منظور ارزیابی دقیق داده‌های گرافیکی و عددی حاصل از پلاگین‌های Honeybee و Ladybug با موتور انرژی پلاس، شبیه‌سازی بر روی دو نمونه از گنبد خیز بلند و خیز کم صورت گرفت. تحلیل Cfd صورت گرفته جهت بررسی و مقایسه سیر کلاسیون (چرخش) هوا در زیر گنبد‌ها بوده و همچنین کمک به استنباط

تابش کل بر سطوح گنبد‌های دهانه ثابت قزوین را نشان می‌دهد. به دلیل شدت انرژی کم تابش در هنگام غروب، میزان جذب حرارت کاهش یافته و دریافت حرارت در سطوح گنبد‌ها تقریباً نزدیک بهم می‌باشد. این نمودار نمودار سیر نزولی دارد، ماکزیمم دریافت حرارت کل در این نمودار مربوط به گنبد جنب مسجد جامع کبیر با میزان 37868 kWh/m^2 و مینیمم دریافت حرارت کل مربوط به گنبد سردار کوچک با میزان 35121 kWh/m^2 می‌باشد. بنابراین میزان دریافت تابش در سطوح گنبد‌ها به مساحت آن‌ها تاثیر مستقیمی دارد. مساحت گنبد هر چقدر زیاد باشد دریافت حرارت بیشتری خواهند داشت. از سمت چپ، نمودار درصد دریافت حرارت بر سطوح گنبد‌های دهانه ثابت قزوین را نشان می‌دهد. که بر خلاف نمودار دریافت حرارت کل، درصد جذب



تابش قرار می‌دهد؛ که منجر به دیرتر گرم شدن دمای هوای داخلی و جابجایی پایین هوای داخل گنبد خیز کم می‌گردد. اما در گنبد خیز بلند در این بازه‌ی زمانی حجم هوای داخلی سریع‌تر نسبت گرم می‌شود و جابجایی هوای گرم داخلی در گنبد نسبت به گنبد خیز کم زودتر انجام می‌گردد. سرعت جابجایی هوای داخلی در هنگام صبح نسبت به گنبد خیز کم بیشتر است. در ساعت ظهر که زاویه تابش خورشید شدید و عمود بر سطوح گنبد می‌باشد، در گنبدهای خیز کم به خاطر داشتن سطح تماس زیاد گرمای بیرون نسبت به گنبد خیز بلند سریعتر انجام می‌شود؛ و انتقال گرمای در این گنبد بیشتر است. اما در گنبد خیز بلند به دلیل نوع قوس و طاق گرمای کمتری به داخل گنبد از بیرون انتقال می‌یابد، زیرا هوای گرم شده‌ی داخل گنبد در قسمت بالای آن چرخه‌ی ایجاد می‌نماید. که این چرخه به نوعی در برابر اشعه‌ی تابش عملکرد عایق حرارتی را انجام می‌دهد. و از گرم شدن بیش از حد داخل گنبد خیز بلند جلوگیری می‌نماید.

نتیجه‌گیری

چهار نمونه از گنبد آبانبارهای شهر قزوین با دهانه‌ی یکسان مدلسازی گردید، تا شبیه‌سازی انرژی میزان دریافت تابش و جریان هوا در داخل گنبدها با استفاده از Ladybug، Honeybee و COMSOL در بازه‌های زمانی مختلف روز انجام گیرد. یافته‌های

تحلیل‌های گرافیکی نرم‌افزار Honeybee و Ladybug می‌باشد. تا تاثیر شکل و فرم گنبدها در متفاوت بودن میزان دریافت حرارت و جریان هوای داخل گنبدها به صورت تصویری نمایش داده شود. بنابراین خروجی نتایج فقط به صورت ویژوال بر اساس استنباط محققین با هم مقایسه شد. شبیه‌سازی پژوهش تحلیل Cfd در نرم‌افزار COMSOL با جریان یکسان در طول یک روز گرم بر روی گنبد خیز بلند سردار بزرگ و خیز کم سردار کوچک انجام گردید. شرایط مرزی گنبدها در نرم‌افزار تعیین گردید (جهت زاویه تابش خورشید در بازه‌های زمانی مختلف روز و موقعیت و در تراز صفر گنبدها قرار داده شد). جدول ۶ نحوه‌ی جریان هوا Cfd در داخل گنبدها به صورت مقطعی در ۵ بازه‌ی زمانی مختلف روز نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد شرایط وضع موجود با نتایج حاصل از تحلیل‌های Honeybee و Ladybug دریافت تابش خورشید به صورت گرافیکی و عددی منطبق بوده است. فشار جریان هوای گرم در داخل گنبدهای خیز بلند نسبت به گنبدهای خیز کم با توجه به تحلیل‌های گرافیکی بیشتر است. و داخل گنبدهای خیز بلند بر خلاف گنبدهای خیز کم حجم هوای زیادی قرار می‌گیرد که حجم هوا در جابجایی گرمای داخل گنبد بسیار مهم می‌باشد. زیرا هوای داخل گنبد دیرتر گرم و سرد می‌گردد. در هنگام صبح و غروب که زاویه و شدت تابش خورشید کم است، گنبد خیز کم سطوح کمی در معرض

Table 6. Cfd analysis with uniform flow inside high and low rise domes using consume software

Qazvin Ab Anbars dome	Section of Sardar bozorg	Section of Sardar kohek
Cfd analysis at 9		
Cfd analysis at 10		
Cfd analysis at 12		
Cfd analysis at 14		
Cfd analysis at 16		

می‌کند. اما در گنبد‌های خیز کم انتقال گرما خیلی سریع‌تر انجام می‌گیرد و گرمای بیشتری در داخل گنبد قرار می‌گیرد. بنابراین هر چقدر گنبد با خیز بلند و سطح تماس کم نسبت به تابش خورشید بنا گردد؛ باعث دریافت تابش خورشید کمتری شده و سایه اندازی بیشتری در پشت گنبد ایجاد می‌نماید، که این نمونه گنبد آب‌انبارها مناسب اقلیم سرد قزوین نمی‌باشد. و همچنین در گنبد‌های با خیز بلند تقریباً تابش یک سوم سطوح گنبد را در بر می‌گیرد، اما در گنبد‌های با خیز کم این میزان تقریباً دو سوم گنبد را تحت شعاع خود قرار می‌دهد. که با توجه با اقلیم سرد و نیاز داشتن به گرمای بیشتر؛ مناسب‌ترین گنبد برای آب‌انبارها گنبد‌های خیز کم و سطح تماس زیاد می‌باشند. فولادی و همکاران، عملکرد حرارتی یک نمونه از گنبد واقع در اقلیم گرم خشک را مورد بررسی قرار دادند (Fouladi, Tahbaz & Majdi, 2015). آن‌ها با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای با نرم‌افزارهای اکوتک و فلوئنت، آزمون انتقال حرارت از طریق هدایت، تابش و همرفت با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که بهترین شاخص جهت پوشش سقف ساختمان در اقلیم گرم و خشک، گنبد دوپوسته با پوسته‌ی میان تهی است. درچه یا بادخان تعبیه شده در راس گنبد موجب تخلیه‌ی هوای گرم داخل گنبد می‌گردد و سرعت هوای گرم داخل گنبد در قسمت بالای گنبد و خروجی بادخان بیشتر از قسمت‌های دیگر گنبد است. همچنین استفاده از کاشی در پوشش سقف گنبد، باعث کاهش حرارت گنبد در معرض تابش می‌گردد. پژوهش حاضر تقریباً همراستا با پژوهش فولادی و همکاران بوده است و نتایج بدست آمده با پلاگین‌های Hon-eybee و Ladybug نشان می‌دهد که در دریافت تابش خورشید در قسمت‌های بالای گنبد در طول روز بیشتر است و سرعت جریان هوای گرم در داخل گنبد‌ها متفاوت بوده و در قسمت‌های مماس با بدنه‌ی گنبد و در معرض تابش جریان بیشتر است.

نجفی و یعقوبی (2015) و نصرالهی (2009)، بر روی سقف‌های گنبدی مطالعه تجربی و عددی انجام دادند (Nasrollahi, Najafi & Yaghoubi, 2015; Nasrollahi, 2009). آن‌ها نشان دادند که میزان دمای داخل گنبد‌ها همواره در طول سال از دمای بیرون کمتر است و در عمق‌های پایین و مماس با کف زمین این دما بسیار پایین است. دمای هوای داخل گنبد در قسمت‌های معرض تابش بالاتر و بیشتر از بخش‌های سایه‌ی گنبد است و سرعت جریان بیشتر از بخش‌های محدوده‌ی سایه است. جذب تابش خورشید بر سطوح گنبد در به دلیل زاویه تابش خورشید در تابستان بیشتر و در زمستان کمتر است. آنالیزها و نتایج پژوهش حاضر تقریباً منطبق با پژوهش‌های بالا بوده و پژوهش حاضر عملکرد حرارتی گنبد‌ها را با روش جدید به صورت گرافیکی، عددی و درصدی بر حسب متر مربع ارائه داده است.

پژوهش نشان دادند که نوع فرم و شکل گنبد‌ها در میزان جذب حرارت و جریان هوای داخل گنبد موثر می‌باشد. خیز(ارتفاع) کم و سطح تماس زیاد گنبد انبارها، باعث افزایش میزان دریافت حرارت در معرض تابش و کاهش سایه در سطوح گنبد می‌گردد. در اقلیم سرد قزوین، دریافت حرارت در معرض تابش و محدوده‌ی سایه، با کاهش خیز گنبد‌ها تقریباً رابطه‌ی مستقیمی دارد، هر چقدر خیز گنبد کم و سطح تماس آن نسبت به تابش خورشید بیشتر باشد، دریافت تابش بیشتری خواهد داشت و سایه‌ی کمتری در گنبد آب انبار ایجاد می‌شود. در هنگام گرم‌ترین موقع روز نیز، گنبد با خیز کم و سطح تماس زیاد مناسب اقلیم سرد قزوین می‌باشد، زیرا در این بازه به سطوح گنبد تابش بیشتری برخورد می‌نماید. هنگامی که خورشید طلوع و غروب می‌کند میزان جذب حرارت در محدوده‌ی سایه تقریباً تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد، ولی در گنبد‌های با خیز کم این میزان در طول روز پایین‌تر از گنبد‌های با خیز بلند می‌باشد. و علاوه بر این که سطح تماس تابش خورشید در هنگام غروب و طلوع بیشتر است؛ اما میزان جذب حرارت و شدت انرژی کمتر می‌باشد. انرژی جذب شده بر سطوح گنبد‌ها بر حسب KWh/m^2 می‌باشد، حداکثر حرارت کل جذب شده در ساعت ۱۴ بعد از ظهر به ترتیب مربوط به گنبد سردار بزرگ با $37628 KWh/m^2$ ، گنبد زبانه بازار با $35715 KWh/m^2$ ، گنبد جنب مسجد جامع کبیر با $34377 KWh/m^2$ و حداقل جذب حرارت در این ساعت، گنبد سردار کوچک با $31301 KWh/m^2$ می‌باشد، که گنبد سردار بزرگ به مقدار KWh/m^2 ۶۳۲۷ بیشتر از گنبد سردار کوچک که کمترین جذب را دارد، دریافت می‌نماید. بیشترین دریافت حرارت در ساعت ۱۶ بعد از ظهر در سطوح گنبد سردار کوچک با میزان $13338 KWh/m^2$ و کمترین میزان دریافت در گنبد زبانه بازار با میزان $11641 KWh/m^2$ می‌باشد، که در این بازه‌ی زمانی گنبد سردار کوچک از همه گنبد‌ها بیشترین دریافت حرارت را دارد، که این اختلاف دریافت حرارت نزدیک بهم به میزان $1697 KWh/m^2$ می‌باشد. کل دریافت حرارت در ساعت ۱۸ در گنبد سردار بزرگ $714 KWh/m^2$ ، گنبد سردار کوچک $646 KWh/m^2$ و گنبد زبانه بازار $528 KWh/m^2$ می‌باشد، که گنبد سردار بزرگ در این بازه‌ی زمانی از تمامی گنبد‌ها بیشترین دریافت حرارت را دارد.

بنابراین الگوی دریافت تابش خورشید سطوح و جریان هوای گرم در داخل گنبد آب‌انبارها به خیز، شکل و نوع طاق گنبد‌ها بستگی دارد. گنبد‌های خیز بلند به دلیل حجیم بودن هوای بیشتری در داخل خود نگه می‌دارند، که این هوا در طول روز نسبت به گنبد خیز کم دیرتر گرم می‌شود. در گنبد‌های خیز بلند با توجه به نوع قوس‌شان گرمای داخل در قسمت بالای گنبد چرخه ایجاد می‌نماید که از انتقال گرمای زیاد در گرمترین موقع روز جلوگیری



اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی / حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به‌طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته‌شده در مقاله را می‌پذیرند.

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

تاییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از

References

1. Akbari, H., Berdahl, P., Levinson, R., Wiel, S., Miller, W. Desmarais, A. (2006). *Cool-color roofing material, PIER Building End-use Energy Efficiency Program No. CEC-500-2006-067*. California Energy Commission.
2. Arefmanesh A, Dehghan A.A, Dehghani A, (2008). *Thermal characteristics of an underground cold-water reservoir: Analytical and experimental studies*. Applied Thermal Engineering (29): 3261-3265.
3. 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.
4. Cheikh, H. Ben & Bouchair, A. (2008). *Experimental studies of a passive cooling roof in hot arid areas*. *Revue des Energies Renouvelables*, 11, pp.515-522.
5. 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.
6. Faghih K.A, Bahadori M.N. (2008). Solar radiation on domed roofs, *Energy and Buildings* (41): 1238-1245.
7. Fathy, H. (1973). *Architecture for the Poor*. University of Chicago Press, Chicago, London.
8. Fouladi V, Tahbaz M and H Majdi. (2015). "Double-shell dome from the perspective of thermal performance in the desert climate of Kashan". *Islamic Architecture Research Quarterly*, 11th issue, summer 2015, 4th year.
9. Ghobadian, V. (2013). *Climate study of traditional Iranian buildings*. Tehran: Tehran University.
10. Gilani, S; B, Mohammadkari. (2019). "Investigating the heating performance of solar greenhouses in residential buildings in cold climates, a case study: Ardabil city", *Modares Mechanical Engineering Journal*. Volume 11, Number 2, Summer 2019, pp. 147-157.
11. Hadavand M, Yaghoubi M, Emdad H.)2007(. Thermal analysis of vaulted roofs. *Energy and Buildings* (40): 265-275.
12. Kasmai, M; Ahmadinejad, M. (1999). "*Climate and Architecture*", Khak Publishing House, Tehran
13. Khoshab M, Dehghan A.A. (2014). Numerical simulation of mixed convection Airflow under a Dome-shaped roof, *Arab J Sci Eng* (39): 1359-1374.
14. Koita, Y. (1981). Comfort Attainment in Moghul Architecture. *In Proceedings of the International Passive and Hybrid Cooling Conference*, 32-36. Miami Beach, FL.
15. Mainstone, R. J. (1983). *Developments in Structural Form*. M.L.T. Cambridge Press.
16. Mehran M.S, Kazemi F, J . (2008). Training of Analysis and Comparison of Radiation Intensity Absorbed by Dome and Diagonal and Flat Roofs. *Journal of Educational Technology* 2(4): 249-258.
17. Memarian, Gh (1987). "*Niarash arch structures in Islamic architecture of Iran*", Tehran University of Science and Technology
18. Memarian, Gh (1992). "*Architecture of Yazd Ab-Anbars*", Tehran University of Science and Technology.
19. Memarian, Gh, (2008) Architecture of Qazvin Reservoirs, *Athar journal*, Fall, 32, pp. 189-201
20. Memarian, Gh (2011). "*Iranian architecture of Niarash*", second volume, Nagheme Navandish, Tehran.
21. Ministry of Energy (2013) "*Energy Balance Sheet of 2011*", Tehran: Ministry of Energy, Deputy Director General for Electricity and Energy, Office of Planning for Electricity and Energy.
22. Mohammadzadeh, M, N (2005). "Lasting Monument: *Map of Historical Monuments of Qazvin Province*", General Directorate of Cultural Tourism and Cultural Heritage of Qazvin Province
23. 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.
24. Najafi S, Yaghoubi M (2017). Numerical and experimental study of an under- ground water

- reservoir, cistern. *Water Resour management* 322-334.
25. Nasrollahi, F (2009), *Climate and Energy Responsive Housing in Continental Climates The Suitability of Passive Houses for Iran's Dry and Cold Climate,*" PhD thesis Berlin University of Technology".
 26. Omidvar, k. Ebrahimi, Reza. Mahdavi Nejad, Elham. (2018). "Modeling of the heating degree hours (HDH) at dawn in the dry desert regions of Iran". *Journal of Geographical Research on Desert Areas*. 6(1), 1-32.
 27. Qabadian, V (2014). "*Climatic survey of Iran's traditional buildings*", University of Tehran. Tehran.
 28. Rafiyan, M., (2012). "*Qazvin City Atlas*", Qazvin Municipality Design Services Organization, Qazvin
 29. Serpooshan, S, Yaghoobi, M. (2002). Calculation of Solar Energy Three-Dimensional Surfaces. *Iranian Journal of Energy* 7 (13): 3-21.
 30. Shen Xu, Z Huang, J Wang, T Mendis, J. (2019). Huang Evaluation of photovoltaic potential by urban block typology: A case study of Wuhan, China. *Renewable Energy Focus*, Volume 29 (2019) 141-147.
 31. Shiri T, Didehban M, M Taban (2018). "*Temporary housing design with a thermal optimization approach based on the potentials of reservoir domes*". Master's thesis, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful
 32. Shiri T, Didehban M, M Taban (2018). "The effect of form on the amount of shading and heat absorption in the dome of Yazd reservoirs". *Journal of Islamic Architecture Research*. 1398; 7 (4): 75-92
 33. 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
 34. Victor Gomez M, Gandara M.A.P. (2003). Heard Ch, Solar performance of hemispherical vault roofs, *Building and Environment* (38): 1431-1438.
 35. Yazhari Kermani, A. Nasrollahi, F. Mahdavinejad, M.J. (2019). The Climate Zoning of Office Buildings with an Emphasis on Radiant Factors in Hot and Dry Regions: A Case Study of Kerman, *Journal of Geographical Research on Desert Areas*. 7(1), 87-112.
 36. Zinda Del, H (1997). "*Comprehensive Iran tour Guide Collection of Qazvin Province*", Iran gander Publications, Tehran.

