http://context-faru.um.ac.ir

Vol. 1, No. 1, 2025, p. 71-85

Research Article

Comparative analysis of the physical components of traditional glaciers according to the climate region (A case study of glaciers in the center and southeast of Iran)

M. Javadi Nodeh [1]*, A.M. Taheri [2]

How to cite this article:
javadi nodeh, M. and taheri, A. (2025). Comparative analysis of the physical components of traditional glaciers according to the climate region (A case study of glaciers in the center and southeast of Iran). *contextual architecture and urbanism design studies*,1 (1), 71-85. https://doi.org/10.22067/context.2025.91396.1004.

Receive: 30 December 2024
Revise: 25 January 2025
Accept: 08 February 2025
Available Online: 08 February 2025

Introduction

In the past, humans organized their environment to meet their physical and perceptual needs in harmony with nature. Appropriate design in physical form and characteristics was one of the climatic strategies used to interact with nature. Indigenous architectural components have always played a significant role in ensuring human comfort. Creating compatibility with nature has led to reduced energy consumption in built environments. However, today, with the rapid advancement of technology, resource consumption has accelerated, leading to increased environmental issues beyond the depletion of non-renewable energy resources.
Mud-brick icehouses are among the architectural elements historically designed to meet the primary needs of residents in hot and arid regions. These structures include shading walls, domes, reservoirs, and ice-making basins, each with specific technical characteristics (dimensions, sizes, orientation, and relative positioning). These components significantly affect performance and enable the long-term preservation of ice. Therefore, identifying the physical form and function of these icehouses can provide a model for conservation and contemporary application. These principles, often overlooked today, influence environmental challenges. Hence, further understanding of the interaction between indigenous architecture and the surrounding environment can be valuable in applying solutions and architectural elements aligned with these principles.

Materials and Methods

Based on the Köppen climate classification, this study identifies common structural and physical components of icehouses and analyzes their distinctions and similarities in desert and semi-desert climates. The research focuses on icehouses in central and southeastern Iran, specifically in the provinces of Yazd, Isfahan, and Kerman, selecting 22 samples. In the first phase, plans, aerial images, and sample photographs were collected, analyzed,

1-Department of Architecture and technical, Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University, Urmia, Iran
2- Department of Architecture Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil,Iran.
(*- Corresponding Author Email: ma.javadi@urmia.ac.ir)

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/context.2025.91396.1004

and reviewed. In the next phase, the samples were compared with each other. This typological analysis was conducted across a wide range of traditional buildings and icehouses in other regions.

Results and Discussion

The research methodology combines library research, field studies, and analytical-quantitative analysis. The findings indicate that indigenous architectural features have been shaped according to the regional ecosystem, creating environmental comfort through appropriate design. The shading walls of icehouses are influenced by solar angles, the dome's location, and the arrangement of components, which in turn affect the positioning of reservoir entrances. Additionally, the way the reservoir dome connects with other elements determines the formation or omission of certain subsidiary components. Evaluating these features helps identify climate-appropriate patterns.

Conclusion

Over time, these icehouses have developed into a stable and reproducible architectural model, directly impacting environmental health while reducing energy waste and ecological crises. The harmony between the components of icehouses and the natural environment can serve as a model for architecture and urban planning, supporting ecological designs suited to regional conditions.

Acknowledgement

These icehouses represent an effective combination of architecture and environmental adaptation, offering insights for sustainable and climate-responsive design.

Keywords: Traditional glaciers, physical components, climate adaptation, hot and dry climate.

جلد ۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱٤۰٤، ص ۸۵-۷۱

http://context-faru.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

تحلیل تطبیقی اجزای کالبدی یخچال‌های سنتی منطبق بر اقلیم منطقه (نمونه موردی یخچال‌های مرکز و جنوب شرق ایران)

مهسا جوادی نوده [۱]، علی‌محمد طاهری [۲]

تاریخ دریافت :۱۴۰۳/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰

چکیده

طراحی اجزا در عناصر معماری بومی از جهت تأمین آسایش برای انسان‌ها همواره حائز اهمیت بوده است. یخچال‌های خشتی دسته‌ای از عناصر معماری‌اند که به‌منظور رفع نیازهای اصلی ساکنین مناطق گرم و خشک از اجزایی در همین راستا ساخته‌شده‌اند. درواقع ساختار یخچال‌ها شامل: دیوار سایه‌انداز، گنبد، مخزن، حوضچه تهیه یخ با مشخصات فنی (ابعاد، اندازه‌ها، جهت و موقعیت نسبی) است. به‌گونه‌ای که روی عملکرد آن‌ها مؤثر بوده و می‌تواند یخ را برای مدت طولانی‌تری نگه دارد. ازاین‌رو شناسایی کالبد و عملکرد یخچال‌ها می‌تواند الگوی باقابلیت حفظ و استفاده در ساختارهای معاصر را در دسترس قرار دهد. بر این اساس در پژوهش حاضر با توجه به دسته‌بندی اقلیمی کوپن و وجود تمام اجزا و ساختارهای کالبدی مشترک ۲۲ یخچال شناسایی شدند که وجوه تمایز و تشابه آن‌ها در اقلیم‌های بیابانی و نیمه بیابانی مورد تحلیل قرارگرفته‌اند. روش مطالعه در این پژوهش ترکیبی از مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و به‌صورت تحلیلی-کمی است. یافته‌ها نشان می‌دهد که فرم دیوار سایه‌انداز متأثر از زاویه تابش و محل قرارگیری گنبد بوده و جانمایی اجزا بر محل قرارگیری ورودی‌های مخزن مؤثر بوده است. همچنین چگونگی اتصال گنبد مخزن با سایر عناصر موجب شکل‌گیری یا عدم شکل‌گیری تعدادی از اجزا فرعی نیز شده‌اند؛ که با توجه به امتیازدهی به این عناصر و سایر عناصر کالبدی موردبررسی الگوی منطبق بر اقلیم شناسایی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: یخچال‌های سنتی، اجزای کالبدی، تطابق اقلیمی، اقلیم گرم و خشک

۱- گروه معماری و فنی، مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندواب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۲- گروه معماری، دانشکده معماری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: ma.javadi@urmia.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/context.2025.91396.1004

نحوه ارجاع به این مقاله:
جوادی نوده، مهسا و طاهری، علی محمد. (۱۴۰۳). تحلیل تطبیقی اجزای کالبدی یخچال‌های سنتی منطبق بر اقلیم منطقه نمونه موردی یخچال‌های مرکز، جنوب و شرق ایران .
مطالعات طراحی معماری و شهرسازی زمینه گرا، ۱ (۱) ۷۱-۸۵ https://doi.org/10.22067/context.2025.91396.1004

مقدمه

معماری بومی ایران همواره به دنبال راهکارهایی بوده تا شرایط زندگی مناسب را در اقلیم‌های مختلف برای ساکنان فراهم سازد. بهترین راهکار برای این مسئله تطبیق با اقلیم و به‌کارگیری عناصر اقلیمی موردنیاز در ساختار بناها بوده است که جزو اصول اولیه معماری بومی محسوب می‌شود. همان‌طور که می‌توان از تابش مستقیم آفتاب و مصالح ساختمانی جهت تأمین و ذخیره انرژی استفاده کرد، می‌توان از سرمای زمستان و دمای پایین شب‌هنگام و عایق بودن نسبی زمین برای ذخیره‌سازی برودتی استفاده کرد (Ghobadian,2006). یخچال‌ها درگذشته بناهایی بودند که به‌عنوان مکمل آب‌انبارها و برای تهیه آب گوارا در زندگی مردم مورداستفاده قرار می‌گرفتند. معمار بومی بادانش و علم خود و استفاده از عناصر ساده معماری مجموعه‌ای از این بناها را در حاشیه روستاها و شهرها پدید آورده بود (Dehghani,2010). قرارگیری یخچال‌ها در خارج از بافت مسکونی درگذشته، از دست رفتن کاربری، اثرات باران‌های اسیدی و دیگر عوامل فیزیکی و شیمیایی همچنین پیشروی بافت مسکونی در زمان حاضر و قرارگیری آن‌ها در بافت مسکونی منجر به فراموشی، تخریب و تغییر کاربری آن‌ها شده است. علاوه بر آن مرمت‌های غیراصولی و برحسب حدس و گمان در سال‌های گذشته باعث شده که فرم اصلی یخچال‌ها دچار تغییر شود. امروزه یخچال‌ها به دلیل عدم شناخت به پدیده‌ای گم‌شده در بافت شهری تبدیل‌شده است (Nazarieh, Valibeig & Nasekhian, 2019). علیرغم کم‌توجهی به این بناها در چند دهه گذشته، تحقیقات و مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است. برای نمونه نظریه و دیگران به بازخوانی هندسه عناصر کالبدی یخچال های کرمان پرداخته‌اند. (Nazarieh, Valibeig & Nasekhian, 2019) در پژوهشی دیگر، ولی بیگ و نظریه نقش هندسه کالبدی در شکل گیری گنبد یخچال های استان کرمان را تحلیل کرده‌اند (Nazarieh, & Valibeig, 2018) همچنین سلطانی و بلوری به مطالعه ساختار کالبدی یخچال‌ها شهرستان نایین پرداخته‌اند. (Soltani Mohammadi & Beluri Bonab 2015) همان‌طور که مشخص است، پژوهش‌هایی که در این زمینه صورت گرفته بر نمونه‌ای خاص یا اقلیم مشخص تمرکز داشته است. درحالی‌که در پژوهش حاضر به بررسی یخچال‌های خشتی در تعداد نمونه‌های گسترده و با اقلیم‌های مشابه پرداخته می‌شود؛ و سعی بر این است که با بررسی ساختار هندسی عناصر کالبدی یخچال‌ها، ویژگی‌های ساختاری اجزا و چگونگی ساخت یخچال‌های خشتی بتوان الگوی همساز با اقلیم را شناسایی نمود. ازاین‌رو در این پژوهش با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، بازدید میدانی و بررسی تصاویر هوایی موجود، علاوه بر استخراج اطلاعات و مشخصات ساختاری به بررسی فرم، ساختار و عملکرد ۲۲ یخچال در استان‌های کرمان، اصفهان و یزد پرداخته‌شده است. این پژوهش با توجه به مطالعات صورت گرفته سعی دارد به سؤالات زیر پاسخ دهد:

یخچال‌های اقلیم گرم و خشک ایران در عناصر کالبدی چه وجوه تمایز و تشابهی دارند؟

یخچال‌های شرق، جنوب شرق و مرکز ایران به چند دسته تقسیم می‌شوند و الگوی همساز با اقلیم آن کدام‌اند؟

مبانی نظری

در بسیاری از نقاط ایران بخصوص نواحی گرمسیر کشور خزانه‌هایی همچون آب‌انبار بناشده که درگذشته نه‌چندان دور در آن یخ را برای فصول گرم سال تهیه و نگهداری می‌کردند. ساخت یخچال و آب‌انبار جزو دو مهارت برتر ایرانیان بوده است (Jorgensen., 2012). با توجه به اینکه مساحت قابل‌توجهی از ایران جزو مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود که دارای تابستان‌های داغ با گرمایی طاقت‌فرسا است، یخ جزو ضروریات زندگی مردم است. ساخت یخچال منحصر به مناطق گرم و خشک نبوده زیرا که در مناطقی همچون گیلان و مازندران و شهرهای غربی کشور مثل تبریز و ارومیه نیز علیرغم کالبد متفاوت احداث می‌شدند (Shafaghi,2008) (Mokhlesi, 1996). اما عمده یخچال‌ها در مناطقی ساخته می‌شدند که تابستان بسیار گرم و زمستانی با حداقل ۲۰ روز یخبندان داشتند، مناطقی که در همه حال کم آب، گاه یخبندان و گاه با گرمای سوزان همراه بوده‌اند. اقلیم فلات ایران دارای دو ویژگی بنیادی یعنی سرما شدید در زمستان که امکان تهیه یخ را فراهم می‌کند و تابستان با گرمای شدید است(Hourkard & Pierberto,1996).

در ابتدا برای ساخت یخچال‌ها محل مناسب برای احداث آن را پیدا می‌کردند، این محل باید شرایطی الزامی را دارا می‌بود. برای مثال نزدیک بودن به آب (قنات) به‌منظور تأمین آب، فاصله داشتن از سکونتگاه‌های شهری و قبرستان‌ها به هدف رعایت نظافت و بهداشت و جلوگیری از ورود آلودگی احتمالی، وجود ژرفای زیاد آب‌های

زیرزمینی، وجود بستر ساخت محکم و بکر و قرارگیری در فضایی باز و عدم وجود سایه نمونه‌هایی از این شرایط است.

تعداد عناصر سازنده و چگونگی عملکرد هر یخچال از وضعیت آب‌وهوایی هر اقلیم پیروی می‌کرده است. درگذر از مناطق سرد و بلند کوهستانی به سمت مکان‌های گرم و پست ایران تغییرات و سیر تکامل کالبدی و عملکردی یخچال‌ها آشکار می‌شود (Tavousi & et al 2012).

استفاده از یخ طبیعی و حمل و انتقال آن به محل ذخیره‌سازی، تنها زمانی مقرون‌به‌صرفه و دارای بازده مثبت است که کوهستان دارای برف و یخ فاصله زیادی با محل ذخیره‌سازی یخ نداشته باشد؛ بنابراین برای ساکنان شهرها و سکونتگاه‌های کویری که با برف‌های همیشگی فاصله نسبتاً زیادی داشتند، بهترین راه‌حل و غالباً تنها راه‌حل این بود که درهمان محل یخ تهیه و سپس ذخیره کنند (Hourkard & Pierberto,1996).

انواع یخچال‌ها ازنظر ساختار کالبدی

یخچال سنتی ایران بر اساس ساختار شکلی و تأثیرپذیری از عوامل اقلیمی به شش دسته تقسیم می‌شوند:

الف- یخچال‌های ساده: فاقد کارگاه یخ‌سازی بوده‌اند یعنی عناصری همچون دیوار سایه‌انداز و حوضچه تولید یخ در ساختارشان وجود نداشته و تنها دارای محل ذخیره یخ بوده و بیشتر در اقلیم سرد ساخته می‌شدند.

ب- یخچال‌های فاقد طاق : این دسته از یخچال‌ها دارای دیواری سایه‌انداز بودند که در سمت شمالی این دیوار یک حوضچه یا استخر به حداکثر عمق ۳ متر حفر می‌شد. این یخچال‌ها در اقلیم گرم و خشک و نیمه بیابانی مانند اصفهان رواج داشته‌اند و تا ۳۰-۴۰ سال گذشته هنوز هم مورد بهره‌برداری بوده‌اند ((Ghobadian, 2006.

پ- یخچال نیمه‌کامل یا بدون دیوار سایه‌انداز: ارتفاع از تأثیرگذارترین عوامل بر میزان یخبندان‌های زمستانی و زاویه تابش خورشید و دما می‌باشد. با کاهش ارتفاع در مناطق پست‌تر تعداد روزهای یخبندان هم دچار تغییر می‌شود. در این‌گونه مناطق یخچال تکامل بیشتری نسبت به گونه ساده خود یافته‌اند ولی دیوار سایه‌انداز آن‌ها به‌طورکلی حذف‌شده است. در یخچال‌های نیمه‌کامل به دلیل اختلاف دمای زیاد میان شب و روز فرایند تهیه و تولید و انبار کردن یخ با سرعت انجام می‌پذیرفته. معماران برای تسریع این عمل عمق حوضچه‌های یخ‌سازی را کاهش می‌دادند، همچنین دریافته بودند زاویه تابش تأثیر زیادی بر روی حوضچه‌های یخ در زمستان نداشته و عملاً ساخت دیوار سایه‌انداز بی‌تأثیر است بنابراین کارگاه‌های یخ‌سازی را فاقد دیوار سایه‌انداز می‌ساختند. این یخچال‌ها در اقلیم گرم و خشک و نیمه بیابانی در ناحیه شمال شرقی کشور دیده می‌شود. (Mokhlesi, 1996).

ج- یخچال کامل: این دسته پرکاربردترین و بیشترین ساخت را میان انواع یخچال‌ها داشته است و تمام اجزای اصلی یخچال‌ها را شامل دیوار سایه‌انداز، حوضچه تولید یخ، چال مخزن و گنبد روی مخزن اصلی دارا می‌باشد. این دسته در اقلیمی بنا می‌شدند که دما و زاویه تابش خورشید بیشترین تأثیر را داشته‌اند بنابراین دیوار سایه‌انداز و مخزن گنبدی اغلب مورداستفاده بوده است. این یخچال در پهناورترین اقلیم ایران یعنی گرم و خشک بیابانی احداث می‌شدند.

د- یخچال‌های زیرزمینی: شیوه عملکردی این یخچال‌ها همانند یخچال‌های گنبد دار بوده اما شکل کالبدی آن‌ها متفاوت است. بخش عمده این بدنه این نوع یخچال‌ها داخل زمین بوده و دیوارهای از سنگ لاشه، آجر و ملات آهک یا ساروج داشته‌اند و فرم سقف آن معمولاً به‌صورت طاق و تویزه و یا طاق آهنگ بوده است. پس از یخ‌سازی در کُرت‌ها یخ را از طریقه دریچه زیر طاقی به داخل یخچال می‌ریختند سپس روی آن آب می‌ریختند تا به‌صورت یکپارچه درآید. این نوع در اقلیم گرم و خشک و نیمه بیابانی شمالی مانند نواحی شمال مرکزی ساوه و تهران رواج داشته است (Ghobadian, 2006).

ذ- یخچال‌های تونلی: این دسته به‌صورت دهلیزهای طویل با طاق‌های ضربی ساخته می‌شدند. نمونه‌های آن در آذربایجان قابل‌مشاهده است (Valibeig, Rahravi poudeh & Rahimi,2016).

جدول ۱ – عناصر کالبدی موجود در انواع یخچال‌ها

یخچال‌ها	عناصر کالبدی					
	حوضچه تولید یخ	دیوار سایه‌انداز اصلی	دیوار سایه‌انداز فرعی	گنبد مخزن	چاله مخزن	اقلیم
ساده					❋	❋
بدون طاق ❋		❋				❋
نیمه‌کامل ❋	❋				❋	❋
کامل ❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋
زیرزمینی	❋				❋	❋
تونلی					❋	❋

ویژگی‌های رایج یخچال‌های اقلیم گرم و خشک ازلحاظ ساختار کالبدی

- حوضچه‌ی یخ‌ساز گودال مستطیل شکلی است که موازی و در بخش شمالی دیوار سایه‌انداز حفر می‌شده است. عمقی غالباً بین ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر داشته و جنس جداره‌ها و کف آن نیز به‌صورت کامل از جنس خاک رس قرص و دست‌نخورده بوده و هیچ‌گونه مصالحی در ساخت آن استفاده‌نشده است .(Soltnai Mohammadi,2018)

- دیوار سایه‌انداز: به‌منظور جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید به حوضچه یخ‌ساز و پایین نگه‌داشتن دمای فضا دیواری مرتفع با طول زیاد ساخته می‌شده است. این دیوارها در سمت جنوبی و گاها در راستای غربی و شرقی حوضچه تولید یخ بنا ایجاد می‌شده‌اند. ارتفاع این دیوارها در برخی یخچال‌های مناطق گرم و خشک به ۱۵ متر نیز می‌رسد. معمارها برای پایداری این دیوارهای مرتفع با افزایش ارتفاع از سطح زمین ضخامت آن‌ها را کاهش می‌دادند (Pirnia, 1995). البته برای استحکام بیشتر دیوار سایه‌انداز در زمان ساخت به ازای هرچند متر از پشت‌بندهایی استفاده می‌کردند که وظیفه مهار وزن دیوار را داشت.

-مخزن نگهداری یخ: شکل کلی گودال مخزن به‌صورت مخروطی وارون است که در دل زمین حفر می‌شود. جداره‌های این مخزن از چینه‌هایی تشکیل‌شده که به سطح آن به‌وسیله کاه و گل‌اندود شده است، عمق آن بسته به هر یخچال متفاوت است. بر روی مخزن حفرشده در زمین، گنبدی از جنس خشت خام و با پوشش پستو و رک مخروطی شکل بنا می‌شد است (Mokhlesi, 1996). هر چه دهانه گودال ذخیره‌سازی که حفرشده بزرگ‌تر باشد موجب می‌شود، گنبدی که روی آن بنا می‌شود ارتفاع بیشتری بگیرد و افزایش ارتفاع مساوی با افزایش وزن و کاهش استحکام گنبد می‌شود. از سمت دیگر با افزایش حجم گنبد میزان مساحت تحت تابش خورشید نیز افزایش پیداکرده و باعث جذب دمای بیشتر توسط مخزن می‌شود. ازاین‌رو معماران در ساخت یخچال از فرم مخروط پلکانی برای رفع این مشکلات استفاده کرده‌اند. این فرم باعث کاهش وزن گنبد شده و همین‌طور فرم پلکانی گنبد می‌تواند سطح مورد تابش خورشید را به خاطر سطوح عمودی موجود در خود که تابشی دریافت نمی‌کنند کاهش دهد؛ و در امر بازسازی و مرمت بنا فرم پلکانی موجب سهولت کار نیز می‌شود .(Nazarieh, Valibeig & Nasekhian, 2019)

مواد و روش‌ها

در این پژوهش بررسی و تحلیل‌های انجام‌شده بر اساس روش تحلیلی - توصیفی و در دسته‌بندی پژوهش‌های کیفی می‌گیرد. در جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های ابتدایی از روش مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی استفاده‌شده است. از میان آن می‌توان به مطالعات اسناد ادارات میراث فرهنگی استان‌های مذکور، کتاب‌ها و مقالات نوشته‌شده در این باب اشاره کرد. همچنین به‌منظور تحلیل پلان و ساختار یخچال‌های موردبررسی در کنار اسناد میراث فرهنگی، به تحلیل و استخراج اطلاعات از تصاویر هوایی نیز پرداخته‌شده است. این پژوهش سعی در مطالعه یخچال‌های مرکز و جنوب شرقی ایران داشته و نمونه‌ها از استان‌های یزد، اصفهان و کرمان انتخاب‌شده است. نمونه‌های انتخابی برای مطالعه ۲۲ یخچال را شامل می‌شوند.

در اولین مرحله پلان، تصاویر هوایی و تصاویر نمونه‌ها جمع‌آوری و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت؛ و در مرحله بعدی فرایند تحلیل، نمونه‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. این فرایند گونه شناسی در طیف گسترده‌ای از بناهای سنتی و یخچال‌های سنتی سایر نقاط انجام و تحلیل‌شده است.

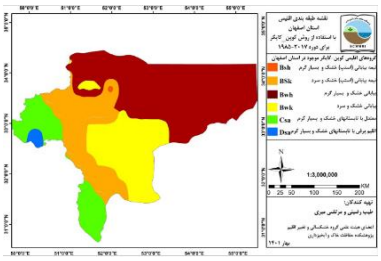
بررسی نمونه‌های موردبررسی

معرفی نمونه موردی‌های مطالعه

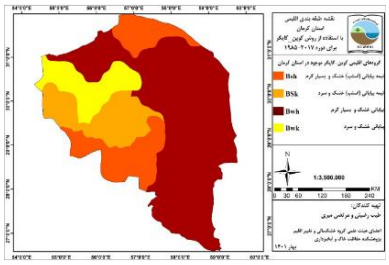
یخچال‌های موردبررسی در این پژوهش شامل یخچال‌های استان کرمان، یزد و اصفهان می‌باشد. در این میان استان کرمان بیشترین یخچال را نسبت به دیگر استان‌ها داراست. یخچال‌های این استان عبارت‌اند از مؤیدی، ارگ بم، انار، راور، ریگ‌آباد، عباس‌آباد، کبوتر خان، محمودآباد، لنگر، حاج رشید، زِریسف و جو مؤیدی (Nazarieh, Valibeig & Nasekhian, 2019) پس از کرمان، اصفهان با یخچال‌های بافران، محمدیه، محمدآباد (Soltnai Mohammadi,2018) و مختص آباد، زواره و قلعه جلالی و استان یزد با پنج یخچال اشکذر، میبد، برزن، ورودی (حاج‌آقا) و هگ، دیگر نمونه‌های موردمطالعه را تشکیل می‌دهند. علیرغم بعضی مرمت‌ها برای یخچال‌های موردمطالعه، تغییرات فرمی اندکی در ساختارشان ایجادشده است به همین دلیل هندسه و پلان آن‌ها دست‌نخورده است و می‌توان آن‌ها را به‌صورت دقیق مورد تحلیل و بررسی قرارداد. برای شناخت و مطالعه یخچال‌های خشتی موردمطالعه بهتر است که آن‌ها را به زیرگروه‌های اقلیمی تفکیک کنیم. بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر مناطقی که نمونه‌های موردبررسی در آن‌ها واقع شدند شامل ۴ دسته از این تقسیم‌بندی می‌شوند که در جدول ۲ معرفی می‌شوند.

جدول ۲ – تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر برای مناطق موردبررسی

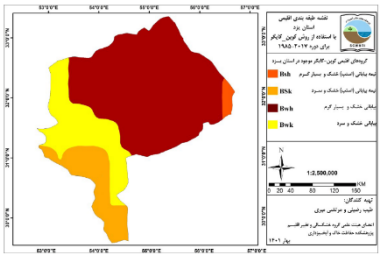
نام زیرگروه اقلیمی	زیرگروه اقلیمی
بیابانی خشک و بسیار گرم	BWH
بیابانی خشک و سرد	BWK
نیمه بیابانی (استپ) خشک و سرد	BSK
نیمه بیابانی (استپ) خشک و بسیار گرم	BSH



استان اصفهان

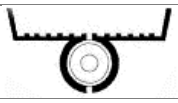
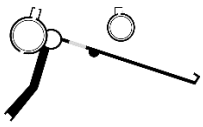
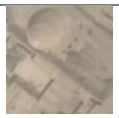
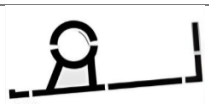
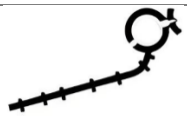
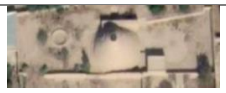
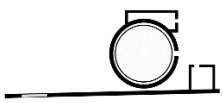
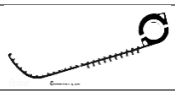


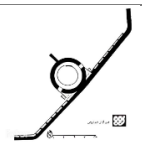
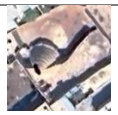
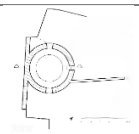
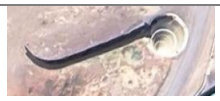
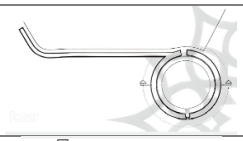
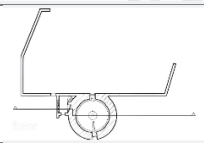
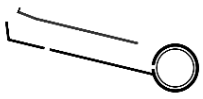
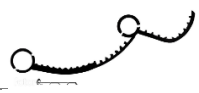
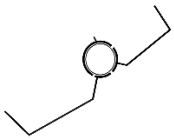
استان یزد



استان کرمان

جدول ۳ – معرفی یخچال‌های موردبررسی بر اساس کدبندی

کد بنا		زاویه قرارگیری	ارتفاع	کد ثبت میراث فرهنگی	قدمت اثر	موقعیت مکانی	اقلیم	پلان	تعداد ورودی
۱	میبد		۱۵/۰	۱۸۲۶	صفویه	میبد	BWH		۲
۲	مویدی		۱۳/۰	۲۴۳۷	صفویه	کرمان	BWH		۳
۳	ارگ بم		۱۴/۹	۶۷۱۵۹	صفویه	بم	BWH		۲
۴	انار		۷/۲۰	۱۳۹۶۴	قاجاریه	انار	BWH		۴
۵	لنگر		۱۰/۰	۱۳۲۸۰	قاجاریه	ماهان	BWH		۲
۶	قلعه جلالی		۱۰/۵	۱۳۵۰	سلجوقیان	کاشان	BWH		۱-۲
۷	زواره		۱۰/۰	۲۹۳۸۷	سلجوقیان	اردستان	BWH		۲
۸	زِریسف (گنج)		۱۸/۰	۳۵۱۰	قاجاریه	کرمان	BWH		۲
۹	جو مؤیدی (ریگ‌آباد)		۱۰/۲	۶۷۵۵	قاجاریه	کرمان	BWH		۲
۱۰	بندر آباد		۱۲/۰	۸۵۵۹	قاجاریه	اشکذر	BWH		۲
۱۱	مختص آباد		-	۱۴۲۰۸	قاجاریه	آران و بیدگل	BWH		۲
۱۲	عباس‌آباد		۱۲/۴	۱۰۷۵	قاجاریه	رفسنجان	BWH		۲

۱۳	کبوتر خان		۱۵/۰	-	ساسانیان	رفسنجان	BWH		۲
۱۴	محمدآباد		۱۰/۶۴	۱۱۵۶۵	قاجاریه	نائین	BWK		۳
۱۵	محمدیه		۹/۲۳	۱۳۶۶۲	قاجاریه	نائین	BWK		۲
۱۶	بافران		۱۰.۴۵	-	صفویه	نائین	BWK		۲
۱۷	هگ		۱۳/۵۰	۶۳۲۱	قاجاریه	ابرکوه	BWK		۱
۱۸	برزن		۲۰	۱۵۱۴۵	قاجاریه	ابرکوه	BWK		۳
۱۹	ورودی		۲۱/۸۰	۷۷۵۲	قاجاریه	ابرکوه	BWK		۲
۲۰	محمودآباد		۱۸/۰۰	-	قاجاریه	سیرجان	BSK		۲
۲۱	حاج رشید		۱۱/۵۰	۱۱۸۷۵	قاجاریه	سیرجان	BSK		۲
۲۲	راور		۱۰/۰۰	۲۹۴۴	قاجاریه	راور	BSH		۳

به‌طورکلی اجزای یخچال‌ها در مناطق مختلف کشور دارای تفاوت‌هایی هستند. این می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی همچون عوامل بر خواسته از اقلیم و زاویه تابش همچنین علم و توانایی سازندگان باشد که موجب برخی تفاوت‌ها و تمایزات در پلان، موقعیت قرارگیری، اتصالات، ارتفاع‌ها، عمق، ضخامت جداره‌ها و ورودی‌های یخچال‌های خشتی کشور شده است. این مشخصات در جدول شماره ۴ موردبررسی قرار می‌گیرند.

جدول ۴ – مشخصات کالبدی یخچال‌های موردبررسی

کد بنا	مصالح غالب	ارتفاع دیوار	طول دیوار	دیواره جانبی	دیواره سایه‌انداز	قطر مخزن	ضخامت جداره	عمق گودال	موقعیت گنبد	شیوه اتصال	نوع گنبد	ضخامت دیوار
۱	خشت و گل	۸	۶۲	۲	۱	۱۳	۲.۴۰	۵	جنوبی	مستقیم	پلکانی	**۲**
۲	خشت، گل، رس و آهک	۹	۱۳۸.۵	۲	۱	۱۵	۲	پرشده	شمالی	غیرمستقیم	پلکانی	**۳.۵**
۳	خشت و گل	۸.۲	۶۵	۱	۱	۱۲	۲	۶	شمالی	غیرمستقیم	پلکانی	**۲**
۴	خشت، گل، گچ، سنگ	۴	۶۶	۲	۱	۹	۱.۵	۴	شمالی	مستقیم	رک	**۱.۵**
۵	خشت و گل	۷.۴	۳۹.۵	۲	۱	۱۱.۴	۱.۶	۶	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۲.۶**
۶	خشت و گل	۶	۸۳.۵	–	۱	۱۵ و ۲۳	۲	۵	شمالی	غیرمستقیم	پلکانی	**۳**
۷	خشت و گل	۴	۳۱.۵	–	۱	۱۶	۱.۵	۴	شمالی	غیرمستقیم	پلکانی	**۱.۵**
۸	خشت و گل	۱۵.۴	۹۳.۴	۱	۱	۱۹.۵	۲	۵	شمالی	غیرمستقیم	پلکانی	**۲**
۹	خشت و گل	۸.۲	۷۹.۱	۱	۱	۱۸.۵	۲.۸	۶	شمالی	غیرمستقیم	پلکانی	**۲.۲**
۱۰	خشت و گل	۳	۳۳.۶	–	۱	۱۵.۲	۱.۸	۳	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۱.۵**
۱۱	خشت و گل	–	–	–	–	۱۸	۱.۵	پرشده	شمالی	غیرمستقیم	پلکانی	–
۱۲	خشت و گل	۱۳.۶۵	۱۰۶.۱	۲	۱	۱۹.۶	۲.۸	۱۰	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۲.۴**
۱۳	خشت و گل	۱۲	۸۲.۵	۳	۱	۱۵	۲.۴	2.36	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۳**
۱۴	خشت و گل	۵.۵۶	۴۱.۷	۱	۱	۸.۲	۲.۴	پرشده	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۱.۵**
۱۵	خشت و گل	۴.۵۴	۴۹	۲	۱	۸.۸	۲.۱	۵.۵۲	جنوبی	مستقیم	پلکانی	**۱.۷**
۱۶	خشت و گل	۴.۵۴	۵۸.۹	۲	۱	۷.۷۶	۱.۸۹	۴.۴۶	جنوبی	مستقیم	پلکانی	**۱.۳۵**
۱۷	خشت و گل	۳.۲	۹۹.۱۲	۱	۲	۱۶.۶۷	۱.۶	۳.۹	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۱.۴**
۱۸	خشت، سنگ و گل	۴.۵	۱۵۹.۸	–	۳	۲۱.۱	۱.۶	۴	شمالی	غیر متصل	رک	**۱.۳**
۱۹	آهک، چوب، خشت، چوب	۴.۱	۲۱۵.۸	۱	۴	۲۲.۵	۱.۲	۴	شمالی	غیر متصل	پلکانی	**۰.۷۰**
۲۰	خشت و گل	۵.۵	۹۹.۵	۲	۲	۱۶	۱.۷۵	۴	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۱.۵**
۲۱	خشت و گل	۱۱.۵	۱۳۸	–	۲	۹.۵	۲.۳	۷	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۲.۷**
۲۲	خشت و گل‌سنگ لاشه و قلوه	۶.۷	۹۲	۱	۱	۱۵	۱.۲	۵	شمالی	مستقیم	پلکانی	**۲.۳**

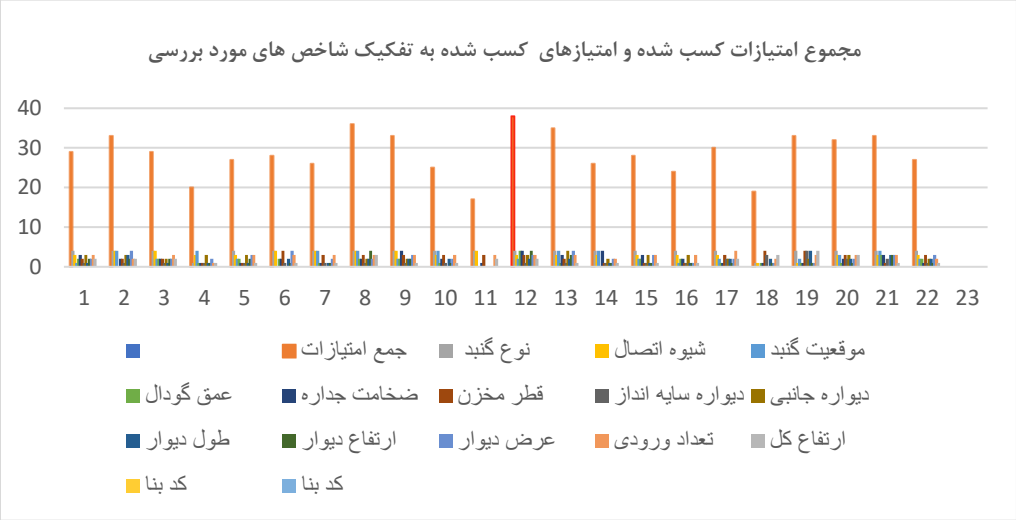
وجود تفاوت‌ها و تمایزات و همچنین کثرت یخچال‌ها موجب شده بتوان با شناخت نقاط ضعف و قوت هرکدام به بهترین حالت نزدیک شد. ممکن است هیچ‌کدام در تمام اجزا بهترین حالت را دارا نباشند ولی با مقایسه آن‌ها می‌توان به شناخت بهترین حالت هر جزء در میان کل ساختارها دست پیدا کرد و با در کنار هم گذاشتن آن‌ها به بهترین حالت رسید حال به مقایسه میان تمام داده‌های نمونه‌های موردبررسی در جدول ۵ خواهیم پرداخت تا از میان آن‌ها به بهترین ساختار کالبدی ساخته‌شده برسیم. درروند امتیازدهی سعی شده به

بهترین حالت اجراشده در هر بخش کالبد بالاترین امتیاز داده شود و دیگر نمونه‌ها با قیاس با نمونه برتر موردسنجش و امتیازدهی قرار بگیرند و این نکته باید ذکر شود که سقف امتیاز برای هر بخش امتیاز ۴ است و امتیاز هر نمونه در هر بخش برحسب داشتن میزان نسبی از حالت مطلوب محاسبه می‌شود. برای مثال بهترین حالت برای قرارگیری مخزن نسبت به دیوار سایه‌انداز در جهت شمالی دیوار بوده زیرا که سطح دریافتی تابش گنبد در این حالت کمتر از دیگر حالات است؛ و دیگر حالات یعنی قرارگیری در جناحین دیوار سایه‌انداز و قرارگیری در جنوب و یا عدم قرارگیری در کنار دیوار سایه‌انداز در درجات بعدی دسته‌بندی‌شده و امتیاز دریافت می‌کنند. این روند در دیگر بخش‌ها نیز به همین صورت انجام گرفته است.

جدول ۵ – امتیازدهی بر اساس رعایت و مراتب شاخصه‌های موردبررسی

کد بنا	ارتفاع کل	تعداد ورودی	عرض دیوار	ارتفاع دیوار	طول دیوار	دیواره جانبی	دیواره سایه‌انداز	قطر مخزن	ضخامت جداره	عمق گودال	موقعیت گنبد	شیوه اتصال	نوع گنبد	جمع امتیازات
۱	۲	۳	۲	۲	۱	۳	۱	۲	۳	۲	۱	۳	۴	۹۲
۲	۲	۲	۴	۲	۳	۳	۱	۲	۲	–	۴	۴	۴	۳۳
۳	۲	۳	۲	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۴	۴	۹۲
۴	۱	۱	۲	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۴	۳	۱	۲۰
۵	۱	۳	۳	۲	۱	۳	۱	۱	۱	۲	۲	۳	۴	۷۲
۶	۱	۳	۴	۱	۲	۰	۱	۴	۲	۲	۰	۴	۴	۸۲
۷	۱	۳	۲	۱	۱	۰	۱	۳	۱	۱	۴	۴	۴	۶۲
۸	۳	۳	۲	۴	۲	۲	۱	۳	۲	۲	۴	۴	۴	۶۳
۹	۱	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۳	۴	۲	۲	۴	۴	۳۳
۱۰	۱	۳	۲	۱	۲	۰	۱	۳	۲	۱	۴	۳	۴	۵۲
۱۱	۲	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۱	–	۰	۴	۴	۷۱
۱۲	۲	۳	۳	۴	۲	۳	۱	۳	۴	۴	۲	۳	۴	۳۸*
۱۳	۱	۳	۴	۳	۲	۴	۱	۲	۳	۱	۴	۳	۴	۵۳
۱۴	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۴	–	۴	۳	۴	۶۲
۱۵	۱	۳	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۳	۲	۲	۳	۴	۸۲
۱۶	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۲	۲	۱	۳	۴	۴۲
۱۷	۲	۴	۲	۱	۲	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۳	۴	۳۰
۱۸	۳	۲	۱	۱	۲	۰	۳	۴	۱	۱	۰	۱	۱	۱۹
۱۹	۴	۳	۱	۱	۴	۲	۴	۴	۱	۱	۲	۱	۴	۳۳
۲۰	۳	۳	۲	۱	۲	۳	۲	۳	۲	۱	۳	۳	۴	۳۲
۲۱	۱	۳	۳	۳	۳	۰	۲	۱	۳	۳	۴	۳	۴	۳۳
۲۲	۱	۲	۳	۱	۲	۲	۱	۳	۱	۲	۲	۳	۴	۷۲

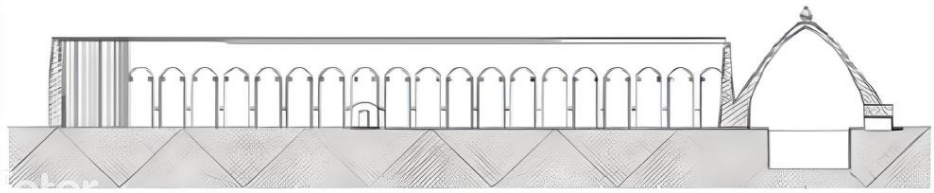
نمودار – مجموع امتیازات کسب‌شده و امتیازات تفکیک‌شده بر شاخص‌های موردبررسی



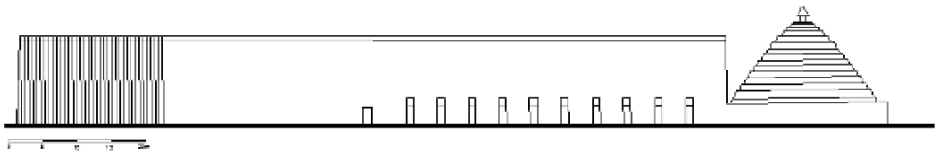
با توجه به داده‌ها، دسته‌بندی امتیازدهی که انجام‌شده یخچال شماره ۱۲ یعنی یخچال عباس‌آباد رفسنجان دارای بیشترین شرایط ایده آل است و بهترین یخچال میان تمام نمونه‌های موردی تشخیص داده شد. این یخچال میان دیگر نمونه‌ها از بهترین شرایط در نوع گنبد، عمق، ضخامت جداره و ارتفاع دیوار سایه‌انداز بهره‌مند بود. همچنین در مشخصاتی همچون شیوه اتصال، قطر مخزن، ضخامت دیوار سایه‌انداز، تعداد ورودی‌ها و دیوارهای سایه‌انداز از شرایط مطلوبی برخوردار است.

نمای شمال شرقی یخچال عباس‌آباد

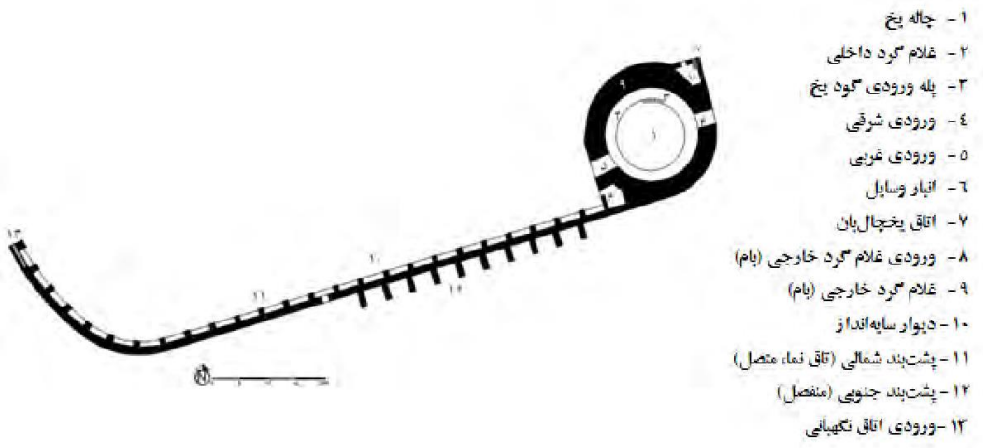
نمای شمال غربی یخچال عباس‌آباد



مقطع یخچال عباس‌آباد



نمای جنوبی یخچال عباس‌آباد



پلان یخچال عباس‌آباد

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شده تا با بررسی ساختار و کالبد کلی نمونه‌های موردبررسی با یکدیگر به بهترین فرم از یخچال‌ها دستیابی پیدا کنیم و مواردی همچون میزان یخ تولیدی هر یخدان، تأثیر اقلیم و زاویه تابش بر روی جهت‌گیری و زاویه قرارگیری دیوار سایه‌انداز، فن شناسی، بررسی تأثیر چیدمان در مقاومت سازه و تحلیل اثر نیروها بر آن می‌تواند موضوع پژوهش‌های آینده باشد. در آخر موارد زیر به‌عنوان نتیجه‌گیری بیان می‌شود:

۱. فرم گنبد در یخچال‌ها به‌طورکلی به دو صورت پلکانی و رک اجراشده است. گنبد رک به دلیل فرم مخروطی شکل و سطح صاف بیشترین تماس مستقیم با تابش آفتاب را داراست و همچنین موجب شرایط دشوارتر و عدم امکان مرمت و تعمیر گنبد بنا شود؛

اما فرم پلکانی در هر قسمت با ایجاد سایه بر سطح زیرین خود موجب کاهش سطح تماس آفتاب با سطوح گنبد می‌شود و همچنین فرم پلکانی موجب سهولت در امر مرمت بنا می‌شود.

۲. قرارگیری گنبد تأثیر زیادی در کارکرد و بازدهی بنا دارد. بهترین حالت در قرارگیری گنبد در شمال دیوار سایه‌انداز است؛ زیرا که سایه دیوار سایه‌انداز موجب کاهش تابش خورشید به سطح گنبد مخزن می‌شود. همین‌طور موجب می‌شود تا ورودی‌ها در سمت شرق و غرب مخزن ساخته شوند چون ورودی‌ها تحت سایه قرار می‌گیرند و با جلوگیری از ورود حرارت، برودت درون مخزن حفظ شود.

۳. به‌منظور کنترل تابش خورشید در زمان طلوع و غروب خورشید دیوارهای جانبی به ساختار اصلی یخدان‌ها اضافه کردند و فرم U شکل را برای دیوار سایه‌انداز برگزیدند. این دیوارها علاوه بر سایه‌اندازی به‌عنوان پشت‌بندهایی برای دیوارهای اصلی نیز عمل می‌کردند. همچنین با قرارگیری و اتصال گنبد مخزن به دیوار سایه‌انداز فرم L شکلی را به وجود می‌آید که در آن گنبد نیز مانند پشت‌بندی برای دیوار سایه‌انداز عمل کرده و جلوی رانش آن را می‌گیرد.

۴. نگهداری و ذخیره‌سازی یخ برای مدت طولانی نیازمند عایق سازی حرارتی مناسب است. در یخچال‌ها برای بهره‌گیری از ویژگی عایق حرارتی زمین، مخزن یخ را به‌جای سطح زمین، در دل زمین می‌کندند، بدیهی است که در این روش افزایش عمق نیز برای کاهش دما مطلوب‌تر است. همچنین ارتفاع بلندتر گنبد مخزن مطلوب است، زیرا که در فصول گرم به‌ویژه در مناطق کویری و گرم و خشک که تابش آفتاب درون مخزن را گرم می‌کند، هوای گرم در ارتفاع بالاتر قرار بگیرد و سطوح پایینی خنک نگه‌داشته شوند.

لازم به ذکر است که درروند پژوهش حاضر، نمونه‌هایی مشاهده گردید که مورد ثبت میراث فرهنگی قرار نگرفته‌اند. یا در مالکیت شخصی بوده که موجب عدم رسیدگی و یا بازسازی نامناسب آن شده است. درواقع این بناها خسارات قابل‌توجهی را متحمل شده‌اند؛ و در برخی موارد علیرغم مرمت‌های صورت گرفته، به‌کارگیری افراد غیرمتخصص و استادکاران محلی و سنتی موجب مرمت غیراصولی بناها شده است. در مواردی دیگر نیز به علت عدم نگهداری مناسب و عدم شناخت ساکنین بومی، این ابنیه مورد بی‌مهری قرارگرفته‌اند.

ازاین‌رو توصیه می‌گردد با ثبت موارد باقی‌مانده ازاین‌گونه ابنیه و مرمت اصولی آن‌ها توسط افراد متخصص در ایجاد شناخت و ارتقا سواد عمومی کوشش گردد.

منابع

1. Azad M, Soltani Mohammadi M. (2019). Study of Yakhchals of Naeen with Analytical Viewpoint based on Elements of Vernacular Architecture. *JHRE*. *38*(166), 95-108. https://doi.org/DOI:%2010.22034/38.166.95. (In Persian).
2. Dehqani, A.(2010). Water in Iran Plateau: Aqueduct, Cistern, Ice- house. Tehran, Iran: Yazda publication.. (In Persian).
3. Ghobadian, V.(2006). The Climatic Analysis of the Traditional Buildings in Iran. Tehran, Iran: University of Tehran. (In Persian).
4. Hourkard, B. & Pierberto, M. (1996). Traditional Ice-houses of Iran Plateau.)A. Sarv qad Moghadam, Trans. Geographical Research Qwarterly, 37, 56-65.
5. Jorgensen, H. (2012), Ice houses of iran, how, where, why, Mazda Publishers: California.
6. Mokhlesi, m. (1996), Old ice-houses as forgotten architectural master pieces, Presented in the first congress of iran architecture and civil engineering, 2-Arg Bam-Kerman, Tehran: Iran culture heritage, pp 685-596... (In Persian).
7. Nazarieh, N. Valibeig, N. and Nasekhian, S. (2017). Analysis of local architects' capability in process of building trasitional Ice houses. mmi 2018; 7 (14):pp. 45-60. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453850.1396.7.14.5.1 . (In Persian).
8. Nazarieh, N.& Valibeig, N.(2018). Analysis of the role of body geometry in the formation of the dome of the glaciers of Kerman province, Athar Quarterly, 37(75), 67-84. http://journal.richt.ir/athar/article-1-718-fa.html. (In Persian).
9. Nazarieh, N., Valibeig, N. and nasekhian, S. (2019). Rereading the Geometrical Physical Elements of Kerman Icehouses. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, *11*(25), 225-236. (In Persian).
10. Pirnia, m. (1995), Article of chefds and vaults, Asar Quarterly, 24:13-14.. (In Persian).
11. Shafaghi, S. (2008), Traditional ice-house as a simple of architectural Geniuses, Isfahan, Farhang magazine, 35: 42-49.(In Persian).
12. Soltani Mohammadi M. Beluri Bonab M. (2015). A study of the physical structure of glaciers in Nayin city, Athar Quarterly, 37(73), 43-58.

http://journal.richt.ir/athar/article-1-597-fa.html. (In Persian).
13. Soltnai Mohammadi, M. (2018). The Impact of Qanat In Physical Form Case Study: Mohammadiyeh Village, Nain, Iran, Journal of Architecture Hot and dry climate, 5(6), 97-115. https://doi.org/10.29252/smb.5.6.97.
14. Tavousi, M. Sadighi, J. Farzadi, F. Ebadi, M. Omidvari, M. Azin, A. & et al. (2012) . Iranian's percpectives about health importance. Payesh; 11 (5) :611-619. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807626.1391.11.5.5.5
15. Raziei T.& Miri M. (2022). Köppen-Geiger climate classification of Iran. Tehran: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian).
16. Valibeig, N. Nasekhian, S. and Nazarieh, N. (2017). An Analysis of the Impact of Shading Wall Geometry on Formation of the Ice Houses in Southeast of Iran (Case Study: Kerman). *Journal of Architecture and Urban Planning*, *9*(18), 147-166. https://doi.org/10.30480/aup.2017.517. (In Persian).
17. Valibeig, N. Nasekhian, S. & Nazarieh, N. (2018). Analyze the impact of climatic conditions on the overall form and components of traditional Ice-houses in Iran. Geographic Space, 18(61), pp.141-159. http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2315-en.html. (In Persian).
18. Valibeig, N. Rahravi poudeh, S. Rahimi, A. (2016), disconnected double-shell domes; geomery and construction, soffeh, 26 (2), 85-104. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.1683870.1395.26.2.5.0.