



میراث معماری خشتی سیلو در ارگ سریزد: پیوند اقلیم و اقتصاد در طراحی معماری پایدار

حانیه بیکی \*

فاطمه مهدیزاده سراج \*\*

اصغر محمد مرادی \*\*\*

## چکیده

در اقلیم گرم و خشک ایران، شکل‌گیری جوامع کشاورزی از دیرباز با چالش ذخیره‌سازی بلندمدت غلات بدون استفاده از سیستم‌های انرژی بر همراه بوده است. مقاله حاضر با هدف شناسایی و تحلیل راهکارهای غیرفعال به‌کاررفته در طراحی سیلوهای ارگ خشتی سریزد، یکی از کهن‌ترین انبارهای غله، انجام شده است. هدف، دستیابی به دانش بومی نگهداری غلات است که هم در به‌کارگیری مجدد و صرفه‌جویی اقتصادی ارگ سریزد و هم الهام‌بخش معماری معاصر پایدار کاربرد دارد. روش تحقیق به‌صورت توصیفی-تحلیلی و با بهره‌گیری از روش ترکیبی (میدانی، محاسباتی، مطالعات اسنادی و مصاحبه با شاهدان عینی) و طی برداشت‌های میدانی در تیر و مرداد ۱۴۰۳ انجام پذیرفت. یافته‌های کمی و کیفی نشان می‌دهند که بهره‌گیری از دیوارهای ضخیم خشتی، پوشش کاهگل، سازمان‌دهی فضایی،

\* مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم حانیه بیکی، دانشجوی رشته مرمت و احیای بناهای تاریخی دانشگاه علم و صنعت ایران است.

\*\* استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

نویسنده مسئول: <https://orcid.org/0000-0001-6103-5504>، [mehdizadeh@iust.ac.ir](mailto:mehdizadeh@iust.ac.ir)

\*\*\* استاد بازنشسته دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

ایجاد راهروهای باریک و تو در تو و تقویت پدیده دودکشی در کنار هم، شرایط بهینه را فراهم می‌کنند. نتایج محاسباتی حاکی از آن است که راهکارهای یادشده، منجر به ایجاد اختلاف دمای ۱۵ تا ۲۰ درجه‌ای با بیرون و تهویه مؤثر معادل  $CFM^a ۰,۷$  برای هر تن غله شده که بقا و سلامت غلات را برای دهه‌ها تضمین می‌کند. در نهایت، پژوهش بر اهمیت مستندسازی و بازخوانی راهکارهای بومی به‌عنوان الگویی کارآمد و کم‌مصرف برای مواجهه با چالش‌های معاصر در معماری پایدار اقلیمی تأکید می‌کند.

**کلیدواژگان:** انبار غله، اقلیم گرم و خشک، معماری بومی یزد، طراحی

غیرفعال، ارگ سریزد

## مقدمه

در اقلیم گرم و خشک ایران، ذخیره‌سازی بلندمدت غلات همواره به‌دلیل تابش شدید خورشید، نوسان دمای گسترده و رطوبت موادغذایی با چالش‌های جدی مواجه بوده است. در این شرایط، معماری سنتی با بهره‌گیری از مصالح بومی و راهکارهای غیرفعال، پاسخی پایدار برای تأمین امنیت غذایی ارائه کرده است. ارگ تاریخی سریزد به‌عنوان یکی از کهن‌ترین انبارهای غله خشتی جهان که شواهدی از دوران ساسانی در آن به چشم می‌خورد (ریاحی مقدم، ۱۳۸۵؛ شهرزادی، ۱۳۷۶)، نمونه‌ای بارز از این معماری هوشمندانه است که برای قرن‌ها کارایی خود را حفظ کرده است.

بر این اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر ارگ سریزد، در پی آن است که دانش کیفی بومی را به داده‌های کمی و کاربردی تبدیل کند. این پژوهش تلاش می‌کند تا با بررسی همزمان سامانه‌های سازه‌ای، عملکرد حرارتی و شیوه‌های تهویه طبیعی، تصویری جامع از منطق عملکردی ارگ سریزد ارائه دهد و نشان دهد که چگونه راهکارهای غیرفعال به کار رفته در آن، شرایط بهینه دما و رطوبت را برای نگهداری بلندمدت غلات فراهم کرده‌اند. افزون

---

<sup>a</sup>Cubic Feet per Minute

واحد اندازه‌گیری نرخ جریان حجمی هوا (حجم هوای عبوری در واحد زمان) که در سیستم‌های تهویه، سرمایش و گرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بر این، استخراج اصول طراحی نهفته در این سامانه‌ها می‌تواند زمینه‌ساز بهره‌گیری آگاهانه از این دانش بومی در معماری معاصر و پاسخ به چالش‌های امروز در حوزه پایداری و امنیت غذایی باشد.

روش پژوهش حاضر مبتنی بر رویکردی ترکیبی شامل مطالعات میدانی، تحلیل‌های محاسباتی و بررسی اسناد تاریخی است و داده‌برداری‌های میدانی آن در ماه‌های تیر و مرداد ۱۴۰۳ انجام شده است. نوآوری اصلی این تحقیق در رویکرد بین‌رشته‌ای و یکپارچه آن نهفته است؛ رویکردی که برای نخستین بار عملکرد سازه‌ای، حرارتی و تهویه‌ای یکی از مهم‌ترین سیلوهای تاریخی ایران را به صورت همزمان و مبتنی بر داده‌های واقعی مورد تحلیل قرار می‌دهد.

## ۱- مطالعات تاریخی / معماری

### ۱-۱ ساختارهای سنتی ذخیره‌سازی غلات در ایران

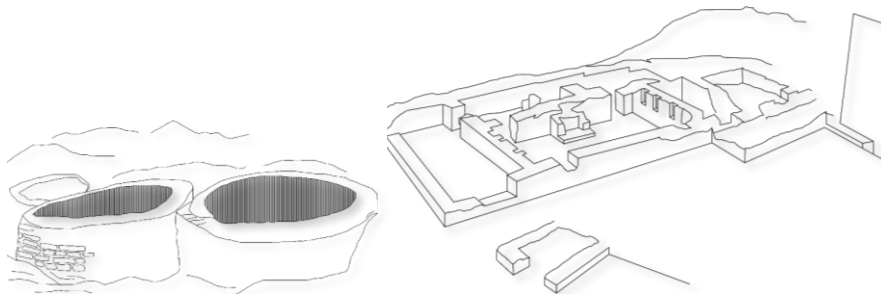
در بررسی تاریخی شیوه‌های ذخیره‌سازی غلات در ایران، شواهد باستان‌شناسی و معماری سه گونه عمده از ساختارهای انبار غله را معرفی می‌کنند:

الف) انبارهای چهارگوش (اتاقک‌های تو در تو)

این نوع از انبارها، که در متون باستان‌شناسی به عنوان اتاق‌های ذخیره نیز شناخته می‌شوند، معمولاً به صورت راهروهای باریک و متوالی طراحی شده‌اند. وجود پنجره‌های کوچک در نزدیکی سقف برای تهویه و کنترل دما و رطوبت، از جمله ویژگی‌های آن‌هاست. در این فضاها، غلات غالباً در خمره‌ها، تگاره‌های بزرگ و کیسه‌ها نگهداری می‌شده‌اند. از نمونه‌های شناسایی شده می‌توان به انبارهای «قلی‌درویش»، «نوشیجان» و «گودین‌تپه» اشاره کرد (مکوندی و شیخ‌زاده، ۱۴۰۰: ۱۷۹).

### ب) انبارهای استوانه‌ای یا سیلوها

از دوران مس و سنگ تا عصر مفرغ، هم‌زمان با رشد شهرنشینی و افزایش مازاد محصول، ساختارهای ذخیره‌سازی غلات به‌صورت سیلوه‌های استوانه‌ای با سقف‌های گنبدی شکل رواج یافتند. این سیلوها که غالباً از خشت یا آجر به‌همراه اندودهای گلی یا گچی ساخته می‌شدند، در مناطقی از جنوب غرب آسیا تا لوانت و مصر گسترش یافته بودند و نمونه‌هایی مشابه آن‌ها در ایران نیز مشاهده شده است (همان، ص ۱۸۰).



تصویر ۱: تصویر سمت چپ، انبارهای مدور تل‌سف در مرکز یک حیاط کنار یک‌دیگر قرار گرفته‌اند (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۴؛ با اقتباس از Oren، ۱۹۷۳: ۲۸).

تصویر ۲: تصویر سمت راست، گودین تپه نمونه ای از اتاقک‌های تو در تو (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۴).

### پ) انبارهای صخره‌ای

در برخی مناطق کوهستانی، مانند ایلام و کرمانشاه، غلات در دل صخره‌ها و کوه‌ها ذخیره می‌شده‌اند. این انبارها با استفاده از مصالحی چون سنگ، گچ، ساروج و گل ساخته شده و به‌دلیل موقعیت ارتفاعی، علاوه بر حفظ دمای مناسب و تهویه طبیعی، از امنیت بالایی نیز برخوردار بوده‌اند. این انبارها قادر به نگهداری از گندم، تا مدت سه سال نیز بوده‌اند. بنابر نقل قول‌های محلی و مستندات موجود، قدمت برخی از این فضاها (مانند انبارهای روستای زید در ایلام) به دوره ساسانیان بازمی‌گردد (قارایی، ۱۴۰۴).

## ۲-۱- ساختارهای پیچیده و نهادمند در ذخیره‌سازی

با پیشرفت ساختارهای حکومتی و اقتصادی، انبارهای ذخیره‌سازی غلات از اشکال ساده خانوادگی فراتر رفتند و به سیستم‌هایی نهادمند با عملکرد اداری-اقتصادی بدل شدند. در این نوع سازه‌ها، شبکه‌ای از فضاهای مرتبط با کارکردهای متنوع - مانند انبار مایعات، اتاق حسابداری، فضاهای حراستی - در کنار یکدیگر قرار داشتند. شواهدی از چنین ساختارهایی در محوطه‌های باستانی نظیر تپه‌نوشیجان با ساختار خشتی و پلان‌های منظم (Stronach, 1973:41)، گودین تپه با کاربری توزیع و ذخیره (Gopnik & Rothman, 2011:10) و تپه حصاربا شواهدی از سیستم سازمان‌یافته انبارداری یافت شده است (Dyson & Tosi, 2009; 2014: 3).

در نمونه‌هایی مانند ارگ سریزد و قلعه مهرپادین یزد، فضاهای تو در توی انبار غله نه تنها برای ذخیره‌سازی، بلکه به‌عنوان بخشی از ساختار دفاع اقتصادی قلعه و محدوده‌ی تحت نفوذ آن عمل می‌کرده‌اند. ویژگی‌هایی چون درگاه‌های محدود، راهروهای باریک، پوشش‌های گنبدی و طاق‌ضربی، ارتفاع کم سقف، و مسیرهای کنترل‌شونده برای ورود و خروج، نه تنها از جنبه تهویه و حفظ شرایط محیطی، بلکه از منظر امنیت و کنترل دسترسی، نقشی حیاتی ایفا می‌کرده‌اند (مشاهدات میدانی)؛ که در ادامه، بیشتر به آن می‌پردازیم.

## ۱-۳- ساختارهای سنتی ذخیره‌سازی غلات در خارج از ایران

الف) ایگودارها<sup>a</sup>

انبارهای جمعی مستحکم آمازیغ در مناطق کوهستانی جنوب و مرکز مراکش هستند که کارکرد اصلی آن‌ها ذخیره‌سازی غلات، روغن، خرما و همچنین نگهداری اسناد و اشیای قیمتی خانوادگی بوده است. پژوهش‌های میدانی نشان می‌دهند که این سازه‌ها علاوه بر کارکرد اقتصادی، نقش نمادین «انبار برکت» داشته و در پیوند با ساختارهای مقدس محلی مانند زاویه‌ها عمل می‌کرده‌اند (Naji, 2020: 232-235). همچنین براساس تحلیل‌های

---

<sup>a</sup> Agadirs/Igoudar

معماری و میراث ناملموس، سیستم مدیریتی ایگودارها بر پایه قوانین عرفی آمازیغ<sup>ق</sup> و حضور «لامین»<sup>ق</sup> به عنوان ناظر و نگهبان شکل می گرفته که آن را به یکی از قدیمی ترین الگوهای مدیریت جمعی منابع در شمال آفریقا تبدیل کرده است (El Harrouni, 2024: 4-6). علاوه بر این، بررسی های تازه نشان می دهند که ایگودارها از نظر سازمان اجتماعی و سیستم نگهداشت، نمونه ای پیشامدرن از «بانک های جمعی» به شمار می رفته اند (Revue d'Innovation et Dynamiques Territoriales, 2024: 12-14).

(ب) هورئا<sup>ق</sup>

انبارهای عمومی در امپراتوری روم باستان بودند که برای ذخیره سازی غلات، روغن زیتون و سایر کالاهای حیاتی مورد استفاده قرار می گرفتند. این سازه ها با ویژگی های معماری منحصر به فردی مانند دیوارهای ضخیم، کف های مرتفع و سیستم های تهویه پیشرفته طراحی شده بودند تا امنیت و حفظ کیفیت محتویات را در درازمدت تضمین کنند (Rickman, 1971: 45). بر اساس شواهد باستان شناسی، شهر رم در اوج خود میزبان نزدیک به ۳۰۰ هورئا بود که بزرگترین آنها ظرفیت ذخیره سازی عظیمی در حدود ۲۰،۰۰۰ متر مربع را دارا بود (Rickman, 1971: 78). طراحی این انبارها نه تنها پاسخگوی نیازهای لجستیکی بود، بلکه نقش کلیدی در ثبات اقتصادی و سیاسی امپراتوری از طریق سیستم توزیع غلات<sup>ق</sup> عمومی ایفا می کرد (Du Plessis, 2012: 112).

#### ۴-۱- ویژگی های اقلیم گرم و خشک و تأثیر آن بر معماری انبار

اقلیم گرم و خشک ایران، با ویژگی هایی چون دامنه نوسان حرارتی زیاد بین شب و روز، بارندگی اندک، رطوبت نسبی پایین و تابش شدید خورشید، معماران سنتی را به

---

<sup>ق</sup>آمازیغ (Amazigh): نام مردمان بومی شمال آفریقا که به زبان های بربری صحبت می کنند. قوانین عرفی آنها به «Izref» (ⵣⵉⴼ) معروف است (El Aissati, 2005).

<sup>ب</sup>لامین (Lamine): عنوانی برای نگهبان و مدیر مورد اعتماد جامعه که کلیدهای انبار جمعی را در اختیار داشته و بر رعایت قوانین عرفی نظارت می کرده است (Naji, 2020).

<sup>ق</sup> Horrea

<sup>د</sup> annona

سمت استفاده از راهکارهای پسیو برای حفظ تعادل حرارتی سوق داده است. در طراحی انبارهای غلات نیز، همین اصول رعایت شده‌اند:

- ضخامت زیاد دیوارها برای ذخیره حرارتی و جلوگیری از انتقال گرما
- تهویه طبیعی از طریق بازشوهای استراتژیک و ایجاد جریان دودکشی
- استفاده از پوشش گنبدی برای کاهش جذب حرارت و افزایش پایداری سازه

## ۲- مطالعات عملکردی

### ۲-۱- بررسی علم مواد سنتی

مصالح خشتی و اندودهای گلی مانند کاه گل از جمله قدیمی‌ترین مواد ساختمانی هستند که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها نقش مهمی در دوام و کارایی بناهای سنتی دارند. بررسی‌های علمی نشان داده است که این مصالح دارای ترکیب‌های معدنی مشابهی هستند و رفتار آن‌ها در برابر رطوبت و حرارت به شدت تحت تأثیر میزان نمک‌ها و افزودنی‌های گیاهی مانند کاه قرار می‌گیرد. نمونه‌های دارای کلرید بیشتر، رطوبت‌پذیری بالاتری دارند و افزایش مقدار کاه در مخلوط، باعث افزایش جذب رطوبت می‌شود. همچنین در دماهای پایین، این مواد، آب خود را از دست می‌دهند و در دماهای بالا، دی‌اکسیدکربن آزاد می‌کنند. استفاده از روش‌های تحلیلی نوین مانند فلورسانس پرتو ایکس<sup>a</sup>، پراش پرتو ایکس<sup>b</sup>، کروماتوگرافی یونی، ایزوثرم جذب رطوبت و آنالیز گرماسنجی، امکان شناخت دقیق‌تر ترکیب شیمیایی، فازهای معدنی، رفتار رطوبتی و خواص حرارتی این مصالح را فراهم کرده است. چنین مطالعاتی، جایگاه مهمی در تعیین مشخصات مصالح خشت و گلی دارند و به درک بهتر از عملکرد این مصالح سنتی در برابر شرایط محیطی کمک می‌کنند (Hejazi et al., 2024).

---

<sup>a</sup> X Ray Diffraction (XRD)

<sup>b</sup> X Ray Fluorescence (XRF)

## ۲-۲- بررسی فنی تهویه غیرفعال

در مبانی سرمایه‌های غیرفعال، ساختمان به گونه‌ای طراحی می‌شود که با استفاده از ویژگی‌های اقلیمی، مصالح ساختمانی و فرم معماری بتواند دمای داخلی را در محدوده آسایش حرارتی نگه دارد. این رویکرد بر پایه‌ی مدیریت تابش خورشید، تهویه طبیعی، جرم حرارتی مصالح و استفاده از سایه‌اندازها شکل گرفته است. در مناطق گرم و خشک، تأکید بر کاهش نفوذ تابش مستقیم خورشید و افزایش ظرفیت حرارتی دیوارها و سقف‌ها، موجب تعدیل نوسانات دمایی روز و شب شده است. در مناطق مرطوب، تهویه طبیعی و جریان هوا نقش کلیدی دارند. سامانه‌های سرمایه‌های غیرفعال نه تنها مصرف انرژی را کاهش می‌دهند، بلکه باعث ارتقای کیفیت محیط زیست و آسایش ساکنان نیز می‌شوند. این مبانی به عنوان بخشی از دانش فیزیک ساختمان، چارچوبی علمی برای طراحی پایدار و اقلیم‌محور فراهم می‌آورد و جایگاه مهمی در پیشینه پژوهش‌های معماری و انرژی دارد (قیابکلو، ۱۳۹۲).

## ۳- ارگ سریزد: میراث خشتی با طراحی اقلیمی و اقتصادی برای ذخیره‌سازی

### غلات در کویر ایران

ارگ سریزد، واقع در روستای سریزد از توابع شهرستان مهریز، استان یزد، در قلب کویر مرکزی ایران، نمونه‌ای برجسته از معماری خشتی با کارکردهای چندگانه ذخیره‌سازی، دفاع، و پشتیبانی از فعالیت‌های تجاری است (تصویر ۳). این بنا با مساحت ۷۷۹۰ مترمربع، به عنوان یکی از بزرگ‌ترین و کهن‌ترین انبارهای خشتی جهان شناخته می‌شود که برای ذخیره‌سازی غلات، مواد غذایی، و حفاظت از اموال در برابر تهاجمات طراحی شده بود (سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری ایران، ۱۳۵۴). شواهد ناچیزی از دوران ساسانی در ارگ سریزد به چشم می‌خورد (ریاحی مقدم، ۱۳۸۵: ۶۶)، در گزارشی از مرحوم رستم شهرزادی باستان‌شناس و موبد زردشتی در گزارش دست نویس باستان‌شناسی، در اداره میراث فرهنگی یزد، به این نکته اشاره کرده است که خشت‌هایی در ارگ سریزد به چشم می‌خورند که هنوز به علم الحاق کاه و سرند در خشت نرسیده بودند که نشان از خشت‌های ساسانی دارد<sup>۱</sup>. همچنین شواهد باستان‌شناختی، از جمله سفال‌های قرون هفتم و هشتم

هجری و الحاقات دوره‌های صفوی و قاجار، تداوم استفاده و بازسازی آن را تأیید می‌کنند (توکلی، ۱۳۹۸؛ مرکز اسناد و کتابخانه میراث فرهنگی و صنایع دستی استان یزد، ۱۴۰۳). این ارگ، به دلیل ارزش تاریخی و معماری خود، در تاریخ ۲۷ خرداد ۱۳۵۴ با شماره ثبت ۱۰۸۴ به‌عنوان اثر ملی ایران ثبت شده است (سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری ایران، ۱۳۵۴).



تصویر ۳: نمایی از ارگ سریزد (ماخذ: خبره‌دست، ۱۳۹۴)

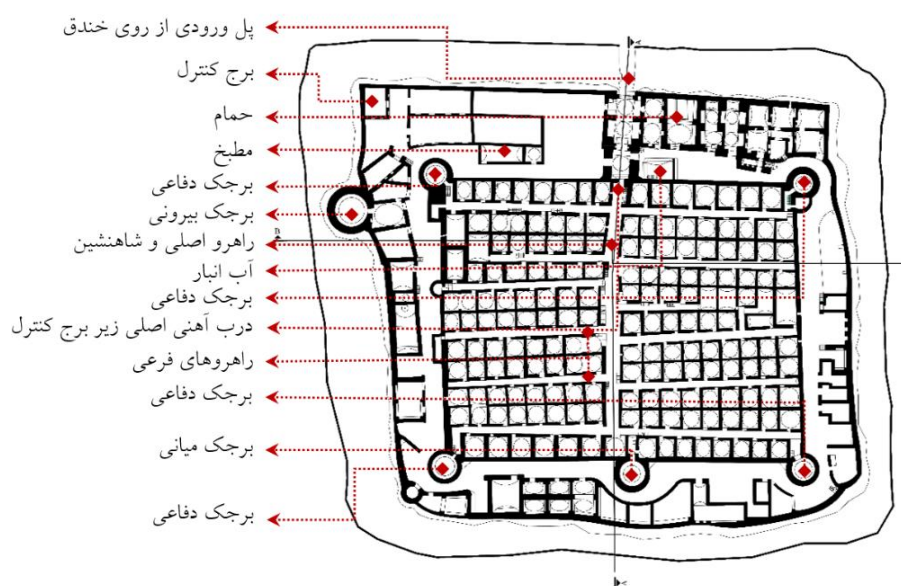
### ۳-۱ اهمیت تاریخی و تجاری

ارگ تاریخی سریزد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز تجاری و امنیتی در مسیر کاروان‌روهای تاریخی ایفای نقش می‌کرد. این مجموعه نه تنها محل ذخیره سازی غلات و اموال باارزش کاروان‌های داخلی و خارجی بود، بلکه به‌عنوان یک پایگاه امن برای ساکنان منطقه و کاروانیان در برابر تهدیدات خارجی عملکرد داشت. وجود کاروانسراهای متعدد در این منطقه گواه اهمیت این ارگ به‌عنوان یک گره ارتباطی و تجاری کلیدی در شبکه مبادلات تاریخی است (مرکز اسناد و کتابخانه میراث فرهنگی و صنایع دستی استان یزد، ۱۴۰۳).

### ۳-۲ ویژگی‌های معماری

ارگ سریزد در سه طبقه با مصالح بومی نظیر خشت، گل، آجر، و گچ ساخته شده است. پلان مستطیلی آن، که بر اساس اصول معماری ساسانی طراحی شده، شامل دروازه ورودی

متحرک، دیوارهای خشتی، دژ دولایه، باروها، شش برج کوچک دفاعی، راهروها، طاق‌های ضربی، و فضاهای مسکونی، خدماتی، و انبارها است (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳). با شمارش از روی نقشه‌های برداشت شده از ارگ می‌توان مشاهده کرد که ۱۸۰ اتاق در همکف ۱۷۲ اتاق در طبقه اول و ۱۳۴ اتاق در طبقه دوم بنا موجود است و بنابراین به طور کلی این بنا شامل ۴۶۸ اتاق با درهای مستقل و کلیدهای مجزا است که امکان ذخیره‌سازی امن اشیای گران‌بها و غلات را برای روستاییان فراهم می‌کرد (تصویر ۴). تزئینات معماری، مانند شومینه‌سازی در برخی حجره‌ها، به ارزش زیبایی‌شناختی بنا افزوده و نشان‌دهنده توجه به جزئیات در طراحی است (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳).



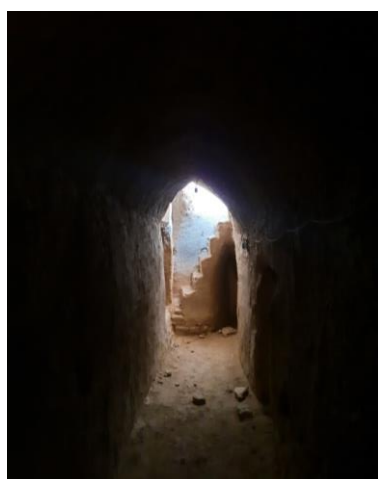
تصویر ۴: پلان همکف ارگ سریزد (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۳)

### ۳-۲-۱ سازماندهی فضایی

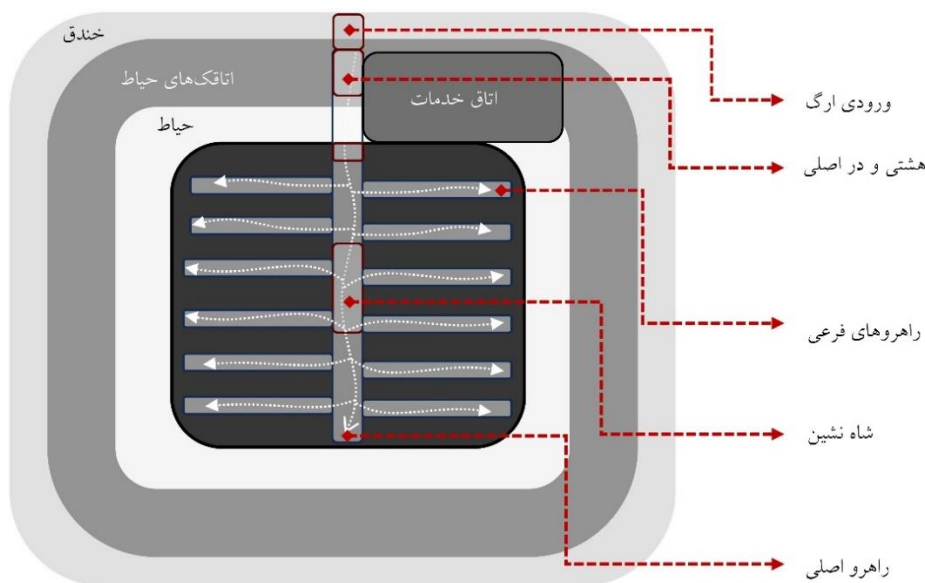
ورودی اصلی ارگ در ضلع شمالی قرار دارد و از طریق خندق به هشتی منتهی می‌شود. این هشتی از طریق بازشوهایی به حیاط بیرونی متصل است که شامل اتاق‌های یک طبقه و دو طبقه

با کاربری‌های متنوع، از جمله آغل (با مال‌بند)، مطبخ (با تنور)، و فضاهای اقامتی و اداری برای کارکنان و سربازان است. طبقات بالایی این اتاق‌ها برای ذخیره‌سازی غلات استفاده می‌شدند (مشاهدات میدانی و گفتگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳)<sup>۲</sup>. در سمت راست هشتی، پله‌هایی با طول ۶۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر به بالای سردر ارگ منتهی می‌شوند که مجهز به تیرکشی‌هایی در دیوارهای اطراف است.

پس از عبور از هشتی، دالانی عریض به دری چوبی و قطور با پوشش فلزی و میخ‌های آهنی منتهی می‌شود که تنها ورودی به هسته داخلی ارگ است (تصویر ۶). در بالای این در، دو حفره دیده‌بانی برای کنترل عبور و مرور توسط نگهبانان برجک تعبیه شده است. راهروی اصلی شمالی-جنوبی، با عرض ۲٫۵ تا ۳ متر، به دوازده راهروی فرعی (شش راهرو در هر سمت) با عرض ۱٫۲ متر منتهی می‌شود که به حجره‌های ذخیره‌سازی غلات دسترسی دارند. این راهروها مسقف و بدون نورگیر هستند (تصویر ۶). در انتهای راهروهای فرعی، راه‌پله‌های باریک با عرض کمتر از ۷۵ سانتی‌متر به طبقات بالاتر هدایت می‌کنند. طبقه اول شامل راهروهای مسقف با ساباط، شاه‌نشین در میانه راهروی اصلی، و اتاق‌هایی با بخاری‌ها و صندوقچه‌های دیواری است. طبقه آخر، از طریق راه‌پله‌های اضافی، به حجره‌های ذخیره‌سازی غلات اختصاص یافته و امکان مشاهده فضای اطراف و سقف‌های گنبدی را فراهم می‌کند (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳) (تصویر ۷).



تصویر ۵ و ۶: عکس سمت راست، در اصلی برای ورود به هسته اصلی ارگ؛ عکس سمت چپ، راهروهای سرپوشیده و باریک همکف ارگ (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۳)

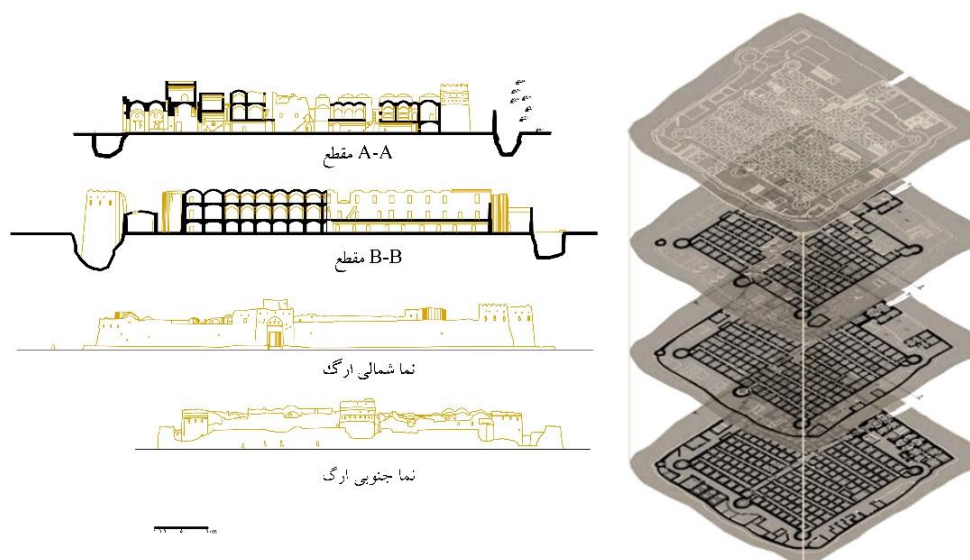


تصویر ۷: کروکی ساده از ارگ سریزد (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۴)

### ۲-۲-۳ نظام دفاعی

ارگ سریزد با طراحی چندلایه دفاعی، امنیت بالایی را تضمین می‌کند. لایه اول، خندقی با عرض ۶ متر و عمق ۳ تا ۴ متر بود که پیرامون ارگ را احاطه کرده و در مواقع خطر با ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر آب پر می‌شد تا از نقب‌زنی دشمن جلوگیری کند. پی‌های ارگ، احتمالاً از شفته‌آهک یا خاک دژ، با پی‌های رایج خانه‌های روستای سریزد همخوانی دارد (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳/گفت‌وگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳)<sup>۲</sup>. حصار اول، واقع در بیرون خندق، از چینه ساخته شده و بقایای آن با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر قابل مشاهده است. حصار دوم، در داخل خندق، از شش رج چینه (هر رج ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) و یک رج خشت تشکیل شده و زیر پنجمین رج، روزنه‌های خرپشته‌ای با فاصله یک متر تعبیه شده‌اند (تصویر ۸). شکل این

روزنه‌ها در رج آخر، که بازسازی شده، نظم کمتری دارند. حصار سوم، دیوار اصلی ارگ، با ارتفاع کنونی حدود ۴ متر، حداقل سه مرحله ساخت‌وساز را نشان می‌دهد (مرکز اسناد و کتابخانه میراث فرهنگی و صنایع دستی استان یزد، ۱۴۰۳). حصار بیرونی با ارتفاع ۶ متر، شامل سه برج مدور و یک برج مکعب‌شکل، و حصار داخلی با ارتفاع ۹ متر و شش برج مدور بود. ارگ دارای دو دروازه اصلی و پشتیبان بود؛ دروازه اصلی با مکانیزم طناب و قرقره به‌صورت متحرک عمل می‌کرد و پل متحرک روی خندق در شب جمع شده و ارتباط داخل و خارج ارگ را قطع می‌کرد. امروزه، پلی ثابت با عرض ۲٫۵ متر جایگزین پل متحرک شده است (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳) (تصویر ۹).



تصویر ۹: پلان‌ها، مقاطع و نماهای ارگ سریزد (ماخذ: با اقتباس از جدیدی، ۱۳۸۶؛ مهدی پور و نگارنده، ۱۴۰۳)

### ۳-۳ مدیریت منابع آب

در دیوار شمالی ارگ، تنبوشه‌هایی با قطر ۳۳ سانتی‌متر برای هدایت آب به آب‌انبار، تخلیه آب اضافی، و پر کردن خندق جهت تقویت دفاع تعبیه شده‌اند. طراحی این سیستم، با

بهره‌گیری از اختلاف ارتفاع بین آب‌انبار و خندق، از بالا آمدن آب از تنبوشه‌ها جلوگیری می‌کرد. چاه عمیقی در حیاط بیرونی برای تأمین آب مصرفی کارکنان و چاه دیگری در راهروی اصلی وجود دارد. باور محلی مبنی بر اتصال چاه راهروی اصلی به قلعه مهرپادین (در ۸,۵ کیلومتری سریزد) به‌عنوان مسیر فرار در زمان محاصره، اگرچه تأیید نشده، اما نشان‌دهنده پیچیدگی‌های طراحی امنیتی ارگ است. به گفته کلیددار محلی، حفاری این چاه به دلیل ریزش پس از ۴۰ متر متوقف شده است (مشاهدات میدانی و گفتگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳).<sup>۴</sup>

### ۳-۴ اهمیت معماری بنا در زمان معاصر

ارگ سریزد، با تلفیق معماری خشتی، نظام‌های دفاعی، و سازگاری با اقلیم کویری، نمونه‌ای برجسته از دانش بومی در طراحی پایدار است. این بنا نه تنها نیازهای عملکردی و امنیتی گذشته را برآورده می‌کرد، بلکه با استفاده از مصالح بومی و سازمان‌دهی فضایی هوشمندانه، الگویی برای معماری معاصر در اقلیم‌های مشابه ارائه می‌دهد. حفاظت و مستندسازی این میراث برای مطالعات معماری و مرمت در سطح جهانی ضروری است.

### ۴- تکنیک‌های عملکردی و نظام‌های ذخیره‌سازی در معماری ارگ سریزد

این بخش به بررسی تکنیک‌های عملکردی و نظام‌های ذخیره‌سازی در ارگ سریزد، با تمرکز بر استفاده از تاپوها (کوزه‌های سفالی) و ساختارهای درون‌سازه‌ای، می‌پردازد. این تکنیک‌ها نه تنها پاسخگوی نیازهای ذخیره‌سازی غلات و اشیای ارزشمند بوده‌اند، بلکه به بهبود رفتار سازه‌ای و پایداری حرارتی بنا کمک کرده‌اند. بررسی این تکنیک‌ها را در ادامه مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

## ۴-۱ کاربرد تاپوها در معماری ارگ سریزد

### ۴-۱-۱. تاپوهای مدفون در کف برای ذخیره‌سازی اشیای ارزشمند و

#### ادویه‌جات

در اتاقک‌های ارگ سریزد، تاپوهای سفالی مدفون در کف با دهانه‌ای کوچک طراحی شده‌اند که برای پنهان‌سازی اشیای قیمتی، اسناد مهم، و مواد غذایی مانند ادویه‌جات و حبوبات (نظیر عدس، نخود، لوبیا، و ماش) استفاده می‌شدند (مشاهدات میدانی / گفت‌وگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳)<sup>۵</sup>. موقعیت ارگ در مسیر تاریخی تجارت ادویه، که از هندوستان به ایران امتداد داشت، کاربرد این تاپوها را برای نگهداری ادویه‌جات ارزشمند توجیه می‌کند (مرکز اسناد و کتابخانه میراث فرهنگی و صنایع دستی استان یزد، ۱۴۰۳). ویژگی نیمه‌نفوذپذیر سفال خام (بدون پخت کوره‌ای) این تاپوها، با جذب رطوبت اضافی، محیطی خشک و خنک برای نگهداری اقلام در اقلیم گرم و خشک فراهم می‌کرد. با این حال، استفاده از این تاپوها برای ذخیره‌سازی حبوبات سنگین با تردید مواجه است، زیرا وزن زیاد این مواد می‌توانست به ساختار کف یا سقف زیرین آسیب برساند (زیرا این تاپوها کاربری کونال بندی هم دارند و نباید زیاد سنگین شوند؛ این مطلب در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت). بنابراین، کاربرد اصلی این تاپوها احتمالاً به اشیای سبک‌تر و ارزشمند محدود بوده است.

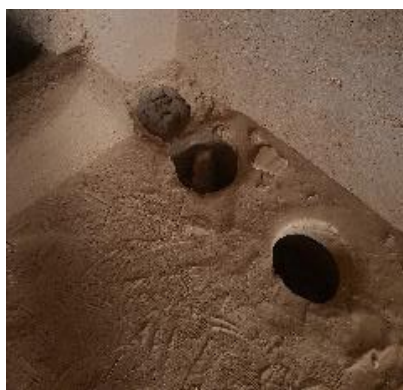
### ۴-۱-۲. تاپوهای بیرون از زمین برای ذخیره‌سازی غلات حجیم

در اتاقک‌های طبقه همکف، تاپوهای بزرگ‌تر با دهانه باریک و بدنه استوانه‌ای و وسیع برای ذخیره‌سازی مقادیر زیاد غلات مانند گندم و جو تعبیه شده‌اند (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳ / گفت‌وگو با ساکنان محلی)<sup>۶</sup> (تصویر ۱۰). ساختار نیمه‌نفوذپذیر این تاپوها، همراه با قرارگیری در فضاهای بسته، از فساد غلات جلوگیری می‌کرد. طراحی استوانه‌ای آن‌ها، با کنترل انتقال رطوبت، مانع از جذب بیش از حد رطوبت و حفظ کیفیت غلات می‌شد. این

نظام ذخیره‌سازی، نشان‌دهنده درک عمیق معماران بومی از مدیریت رطوبت و تهویه در اقلیم کویری است.

#### ۴-۱-۳. کاهش بار مرده سقف با استفاده از تاپوها در گنبدها

تاپوهای توخالی در سقف‌های گنبدی و قوسی برخی اتاقک‌های ارگ به کار رفته‌اند تا وزن سازه را کاهش دهند (تصویر ۱۱). به جای استفاده از کونال‌بندی یا پر کردن سقف با نخاله، این تاپوها به عنوان عناصر سبک‌وزن جایگزین شده‌اند، که نه تنها بار مرده وارد بر دیوارهای باربر را کاهش می‌دادند، بلکه موجب افزایش پایداری سقف در برابر نشست یا لرزش‌های احتمالی می‌شدند (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳/گفت‌وگو با ساکنان محلی)<sup>۷</sup>. فضاهای توخالی ایجادشده توسط تاپوها همچنین به عنوان عایق حرارتی عمل کرده و دمای داخلی را در اقلیم گرم و خشک تنظیم می‌کردند. نمونه مشابه این تکنیک در خانه‌ای مجاور خانه بلالی در مید مشاهده شده است، که نشان‌دهنده رواج این روش در معماری بومی منطقه است (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳).



تصویر ۱۰: عکس سمت راست، تاپوهای باقی مانده در ارگ که برای نگهداری غلاتی مانند گندم بوده است (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۴)

تصویر ۱۱: عکس سمت چپ، نمایی از تاپوهای به کار رفته در سقف ارگ طبقه همکف که در آنها در طبقات بالاتر باز است (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۳)

## ۴-۲ ساختارهای درون‌سازه‌ای ذخیره‌سازی

در اتاقک‌های داخلی ارگ، فضاهای نیمه‌استوانه‌ای با لبه برجسته در دل دیوارها ساخته شده‌اند که به صورت تکرار شونده در بخش‌های مختلف بنا دیده می‌شوند. این ساختارها، که شبیه گنج‌ها یا حوضچه‌های کم عمق هستند، با مصالح بومی مانند گل، خاک، و کاه (خشت با اندود کاهگل) ساخته شده‌اند (تصویر ۱۲). و از آنجایی که آجرهای خشتی و اندود

کاهگلی دارای ایزوترم جذب رطوبت<sup>a</sup> هستند، با افزایش رطوبت نسبی، محتوای رطوبت آن افزایش می‌یابد (Hejazi et al., 2024)، این مصالح با جذب رطوبت، از فساد غلات جلوگیری کرده و با بافت کلی بنا هماهنگی داشتند (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳/ گفت‌وگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳)<sup>۹</sup>. این فضاها برای ذخیره‌سازی و ساماندهی غلات در مقیاس خرد طراحی شده بودند و امکان تفکیک انواع غله، مدیریت مصرف تدریجی، و استفاده موضعی را فراهم می‌کردند. ادغام این ساختارها در دیوارها، علاوه بر کارکرد ذخیره‌سازی، به استحکام و انسجام سازه نیز کمک می‌کرد، که نشان‌دهنده رویکردی یکپارچه در طراحی پایدار است.

---

<sup>a</sup> ایزوترم جذب رطوبت (Moisture Sorption Isotherm): به رابطه تعادلی میان مقدار رطوبت موجود در یک ماده متخلخل (مانند خشت یا غلات) و رطوبت نسبی هوای پیرامون آن در دمای ثابت اطلاق می‌شود. این رابطه بیانگر رفتار ماده در جذب یا دفع رطوبت تحت شرایط محیطی متفاوت بوده و در ارزیابی پایداری رطوبتی مواد و طراحی فضاهای نگهداری بهینه کاربرد دارد. (Al- Muhtaseb, et al., 2002)



تصویر ۱۲: نماهایی از گنجینه‌هایی در دور تا دور اتاقک‌ها برای ذخیره‌سازی غلات با خوشه (ماخذ : نگارنده، ۱۴۰۳)

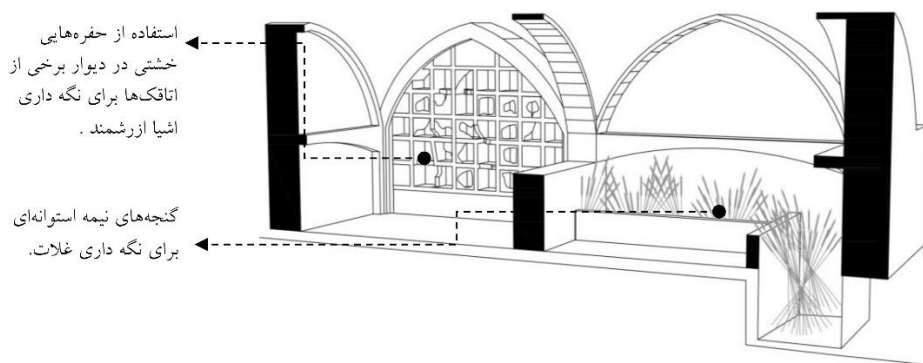
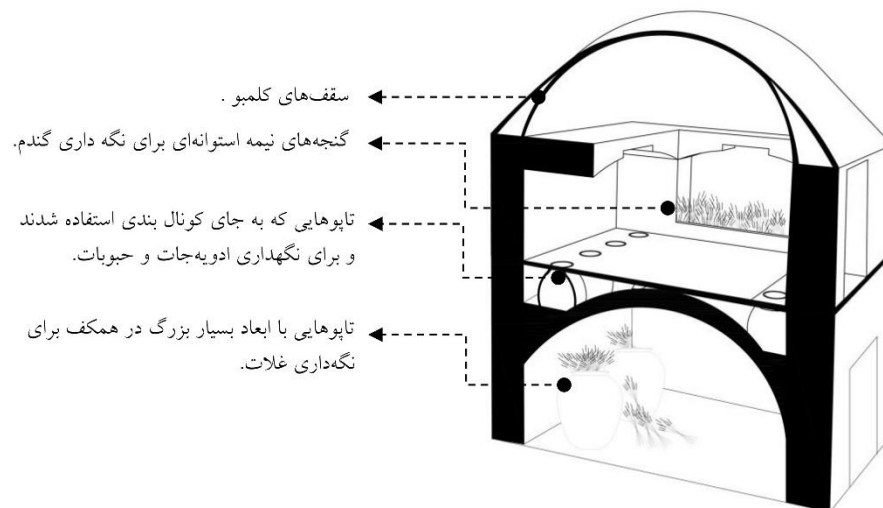
#### ۴-۳ حفره‌های پنهان در دیوارها برای نگهداری اشیای ارزشمند

در برخی اتاق‌های خاص، مانند اتاق مقابل شاه‌نشین، ردیف‌هایی از حفره‌های منظم در دل دیوارها تعبیه شده‌اند که برای پنهان‌سازی اشیای ارزشمند به کار می‌رفتند (تصویر ۱۳). این حفره‌ها، ساخته شده از خشت، پس از قرار دادن اشیاء با خشت تازه و اندود کاهگل پوشانده می‌شدند تا کاملاً استتار شوند. به گفته ساکنان قدیمی، این اتاق‌ها به گونه‌ای جانمایی می‌شدند که در معرض دید مستقیم شاه‌نشین یا جایگاه خان قرار گیرند، که این امر خطر دستبرد را کاهش می‌داد (گفتگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳)<sup>۱۰</sup>. این طراحی، نشان‌دهنده توجه به امنیت و استتار در معماری ارگ است.



تصویر ۱۳: حفره‌های پنهان در دل دیوار برای نگهداری اشیای قیمتی (ماخذ: نگارنده ۱۴۰۲)

تحلیل‌های فوق به بازنمایی تکنیک‌های عملکردی و نظام‌های ذخیره‌سازی در ارگ سریزد، از جمله استفاده از تاپوهای مدفون و بیرون از زمین، ساختارهای درون‌سازه‌ای، و حفره‌های پنهان، پرداختند که نمونه‌هایی برجسته از دانش بومی هستند. این راهکارها، با تلفیق کارکردهای ذخیره‌سازی، مدیریت رطوبت، عایق حرارتی، و بهبود رفتار لرزه‌ای، نه تنها نیازهای عملی ساکنان را برآورده می‌کردند، بلکه به پایداری سازه‌ای و اقلیمی بنا کمک کرده‌اند (تصویر ۱۴). مستندسازی این تکنیک‌ها، الگویی ارزشمند برای معماری معاصر در اقلیم‌های کویری ارائه می‌دهد و بر ضرورت حفاظت از این میراث تأکید دارد.



تصویر ۱۴: برش‌هایی از دو اتاقک‌های هسته داخلی ارگ (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۳)

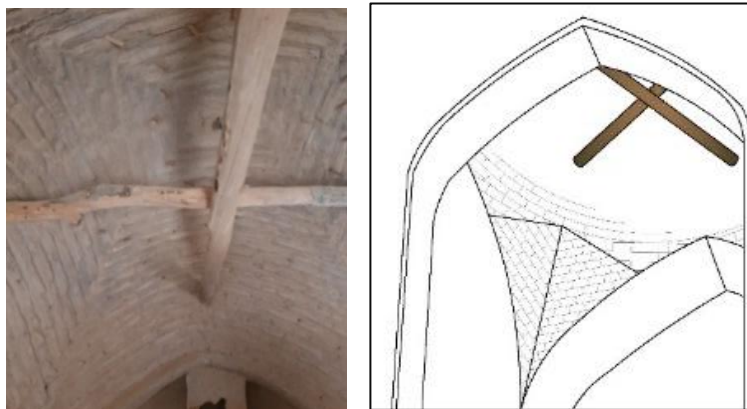
## ۵- جزئیات فنی و عناصر فرهنگی در معماری ارگ سریزد

ارگ سریزد، واقع در روستای سریزد از توابع شهرستان مهریز، استان یزد، نمونه‌ای برجسته از معماری خشتی است که با استفاده از تکنیک‌های بومی و مصالح محلی، کارکردهای ذخیره‌سازی، حفاظتی، و فرهنگی را در اقلیم کویری ایران بهینه‌سازی کرده است. این بخش به بررسی جزئیات فنی و عناصر فرهنگی در معماری ارگ، با تمرکز بر استفاده از چوب‌های خشک‌کننده غلات و کاربرد کدو تنبل خشک‌شده در دیوارها، می‌پردازد. این تکنیک‌ها

نه تنها پاسخگوی نیازهای عملی مانند حفظ غلات و اسناد بوده‌اند، بلکه پیوند عمیقی با دانش بومی و باورهای فرهنگی منطقه دارند.

## ۵-۱ جزئیات فنی در معماری ارگ سریزد

**چوب‌های خشک‌کننده غلات:** یکی از اجزای عملکردی در اتاق‌های داخلی ارگ سریزد، چوب‌هایی هستند که به صورت عمود بر هم در سقف یا دیوار برخی اتاق‌ها تعبیه شده‌اند (تصویر ۱۵). این چوب‌ها برای خشک کردن غلات تر پس از برداشت استفاده می‌شدند تا در جریان تهویه طبیعی داخل اتاق خشک شوند. این روش سنتی، با بهره‌گیری از گردش هوای طبیعی و جلوگیری از تماس مستقیم غلات با سطح زمین، از فساد و کپک‌زدگی محصولات جلوگیری می‌کرد (مشاهدات میدانی ۱۴۰۳ / گفتگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳).<sup>۱۱</sup> این تکنیک، که به‌طور خاص در اتاق‌های ذخیره‌سازی مشاهده شده، نشان‌دهنده درک عمیق معماران بومی از مدیریت رطوبت و تهویه در اقلیم گرم و خشک است. طراحی این چوب‌ها به گونه‌ای بوده که بدون نیاز به ابزارهای پیچیده، کارایی بالایی در حفظ کیفیت غلات ارائه می‌داد.



تصویر ۱۵: نمایی از چوب‌های به کار رفته در سقف اتاقک‌ها برای خشک کردن غلات (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۳)

## ۵-۲ عناصر فرهنگی در معماری سنتی

کاربرد کدو تنبل خشک شده در دیوارها: در معماری سنتی مناطق کویری، استفاده از مصالح طبیعی اغلب با باورهای فرهنگی و دانش بومی گره خورده است. در یکی از اتاق‌های بزرگ‌تر طبقه همکف ارگ سریزد، که به گفته اهالی محلی به عنوان انبار شخصی خان منطقه استفاده می شده، کدو تنبل خشک شده در دیوارها به کار رفته است (گفتگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳)<sup>۱۲</sup>. این کدوها برای نگهداری اسناد مهم، که به رطوبت و آفات حساس بودند، استفاده می شدند. در باور عامه، کدو تنبل خشک شده به دلیل مقاومت در برابر رطوبت، فساد، و آفات، ماده‌ای ایده آل برای حفاظت از اشیای ارزشمند تلقی می شد. این کاربرد نه تنها نشان دهنده استفاده خلاقانه از مصالح طبیعی است، بلکه پیوند عمیق معماری بومی با فرهنگ و باورهای محلی را آشکار می کند. انتخاب این اتاق بزرگ تر و جانمایی آن در نزدیکی فضاهای مرکزی، مانند شاه نشین، احتمالاً برای افزایش امنیت اسناد و کاهش خطر دستبرد بوده است (مشاهدات میدانی ۱۴۰۳/گفتگو با ساکنان محلی، ۱۴۰۳)<sup>۱۳</sup>.

جزئیات فنی و عناصر فرهنگی در معماری ارگ سریزد، از جمله چوب‌های خشک کننده غلات و استفاده از کدو تنبل خشک شده، نمونه‌هایی برجسته از تلفیق دانش بومی و باورهای فرهنگی در طراحی پایدار هستند. این تکنیک‌ها، با بهره گیری از مصالح محلی و درک عمیق از شرایط اقلیمی، نه تنها نیازهای عملی مانند حفظ غلات و اسناد را برآورده می کردند، بلکه به پایداری و هویت فرهنگی بنا کمک کرده اند. مستندسازی این روش‌ها، علاوه بر ارزش تاریخی، الگویی برای طراحی معماری معاصر در اقلیم‌های کویری ارائه می دهد و بر ضرورت حفاظت از این میراث تأکید دارد.

## ۶- پدیده‌های فیزیکی و تهویه طبیعی در معماری ارگ سریزد

معماری خشتی ارگ سریزد، با بهره گیری از تکنیک‌های بومی، تهویه طبیعی و پایداری دمایی را در اقلیم گرم و خشک ایران ایجاد کرده است. این بخش به بررسی پدیده‌های فیزیکی مؤثر بر گردش هوا و شرایط کالبدی و اقلیمی تأثیرگذار بر تهویه طبیعی در ارگ

می‌پردازد. طراحی هوشمندانه ارگ، با استفاده از اصول مکانیک سیالات و ویژگی‌های اقلیمی، نه تنها از فساد غلات ذخیره‌شده جلوگیری می‌کند، بلکه کارکردهای دفاعی و زیست‌محیطی را نیز تقویت می‌کند.

## ۶-۱ شرایط اقلیمی و جهت‌گیری بنا

جهت غالب باد در روستای سریزد، به‌ویژه در فصل‌های بهار و تابستان، از سمت شمال‌غربی، شمالی، و شمال‌شرقی است (سازمان هواشناسی مهریز، ۱۴۰۳). ارگ سریزد با چرخشی حدود ۱۰ درجه از محور شمالی به سمت شرق ساخته شده است، که این جهت‌گیری به بهره‌گیری بهینه از جریان باد کمک می‌کند. از آنجا که ارگ عمدتاً به‌عنوان انبار غلات استفاده می‌شد، تهویه مناسب در فصل‌های برداشت (بهار و تابستان) برای خنک نگه داشتن فضای داخلی و جلوگیری از فساد و کپک‌زدگی غلات اهمیت ویژه‌ای داشت (مرکز اسناد و کتابخانه میراث فرهنگی و صنایع دستی استان یزد، ۱۴۰۳).

## ۶-۲ ویژگی‌های کالبدی مؤثر بر تهویه طبیعی

در بدو ورود به ارگ، جریان هوای طبیعی به‌وضوح قابل احساس است. این جریان، نتیجه طراحی دقیق کالبدی و بهره‌گیری از اصول فیزیکی است که در ادامه بررسی می‌شوند.

### ۶-۲-۱ ورودی‌ها و خروجی‌های هوا

در طبقه همکف، سقف راهروهای ارگ کاملاً پوشیده است و ورودی‌های اصلی هوا شامل در اصلی هسته مرکزی و دو بازشوی سقفی در راهروی اصلی است. برای خروج هوا، بازشوهایی در بخش‌های مختلف راهروها تعبیه شده‌اند؛ که به علت ساخت راه‌پله‌ها به وجود آمده‌اند؛ مجموع مساحت این بازشوها ۷/۶۲ مترمربع است (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳). با این حال، بخش عمده جریان هوا از طریق در اصلی و بازشوهای سقفی وارد و خارج می‌شود، که نشان‌دهنده نقش کلیدی این عناصر در تهویه طبیعی است.

### ۶-۲-۲ طراحی راهروها و اثر ونتوری

طراحی راهروهای ارگ با کاهش تدریجی مقطع، به تشدید جریان هوا کمک می‌کند. راهروی اصلی با عرض میانگین ۲,۷ متر و ارتفاع ۳ متر است که در راهروهای فرعی، عرض به ۱,۲ متر و ارتفاع به ۲ متر کاهش می‌یابد (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳). این کاهش مقطع، بر اساس اصل ونتوری در مکانیک سیالات، سرعت جریان هوا را افزایش داده و فشار را کاهش می‌دهد، که منجر به مکش هوای خنک‌تر از فضاهای بیرونی به داخل راهروهای فرعی می‌شود (White, ۲۰۱۱) این پدیده، تهویه طبیعی را در فضاهای ذخیره‌سازی تقویت کرده و از تجمع رطوبت جلوگیری می‌کند.

### ۶-۲-۳ اثر دودکشی و پایداری دمایی

اختلاف دمای بین فضای داخلی و محیط بیرونی، زمینه‌ساز پدیده اثر دودکشی در ارگ است. مصالح بومی مانند خشت و گل، همراه با ضخامت بالای جداره‌ها و سقف‌های طاقی، دمای داخلی را خنک‌تر و کم‌نوسان‌تر از محیط بیرون نگه می‌دارند (مشاهدات میدانی، ۱۴۰۳). این پایداری دمایی، با ایجاد تفاوت فشار بین داخل و خارج، جریان همرفتی را تسهیل می‌کند (Wouters & Santamouris, ۲۰۰۶). هوای گرم و سبک‌تر بیرونی از طریق در اصلی و بازشوهای سقفی وارد شده و از راه‌پله‌ها یا بازشوهای ثانویه به سمت بالا خارج می‌شود. این فرآیند، علاوه بر تهویه مداوم، با کاهش رطوبت نسبی، به حفظ کیفیت غلات ذخیره‌شده کمک می‌کند.

### ۶-۲-۴ محاسبات دبی جریان هوا

دبی جریان هوا (حجم هوای عبوری در واحد زمان) به اختلاف دما، مساحت بازشوها، و سرعت باد وابسته است. با توجه به کاهش مقطع در راهروهای فرعی، اثر ونتوری باعث افزایش سرعت جریان و مکش بیشتر هوا می‌شود. اگرچه محاسبه دقیق دبی نیازمند داده‌های میدانی دقیق‌تر است، اما می‌توان فرض کرد که بخش قابل توجهی از جریان ورودی از طریق بازشوهای سقفی خارج شده و تنها بخشی به راهروهای فرعی می‌رسد (مشاهدات میدانی،

۱۴۰۳). این طراحی، با قانون برنولی (کاهش فشار با افزایش سرعت جریان سیال) سازگار است و تهویه مؤثری را تضمین می‌کند (White, ۲۰۱۱).

۱. بعد از جمع آوری داده‌ها در ارگ سریزد مطابق جدول ۱، برای محاسبه جریان هوا از مدل محاسباتی و فرمول مرتبط، کمک گرفته شد که در معادله ۱ تا ۷ معرفی می‌شود.

جدول ۱. ویژگی‌های اقلیمی و ابعادی ارگ سریزد

|                                                                                                      |                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| دمای هوای خارجی در ۳۱ تیر ۱۴۰۴ در گرمترین ساعات (۱۶ تا ۱۷)                                           | ۴۵°C (وب سایت سازمان هواشناسی کشور)                                                                                     |
| دمای هوای داخلی ارگ در ۳۱ تیرماه ۱۴۰۴ در گرمترین ساعات (۱۶ تا ۱۷) در راهرو های فرعی و اتاقک‌های همکف | ۲۵°C تا ۳۰°C (بررسی میدانی با دماسنج)                                                                                   |
| ابعاد در ورودی هسته داخلی ارگ                                                                        | ۱/۵ عرض در ۲ متر ارتفاع (برداشت میدانی)                                                                                 |
| مجموع بازشوهای خروجی هوا (سقف بازشو راه‌پله‌ها)                                                      | ۷/۶۲ متر مربع (محاسبه از روی نقشه اتوکد ارگ)                                                                            |
| مجموع بازشو های ورودی هوا (بازشو هایی در سقف راهرو اصلی)                                             | ۲۷ متر مربع (محاسبه از روی نقشه اتوکد ارگ)                                                                              |
| ابعاد و تعداد راهرو اصلی                                                                             | ۳ متر ارتفاع ۲/۷ متر عرض و ۴۰ متر طول راهرو (یک راهرو اصلی) (برداشت میدانی)                                             |
| ابعاد و تعداد راهروهای فرعی                                                                          | ۲ متر ارتفاع، ۱/۲ متر عرض، و ۲۰ متر طول راهروها (۱۲ راهرو فرعی، ۶ راهرو در سمت راست، ۶ راهرو در سمت چپ) (برداشت میدانی) |
| میانگین سرعت باد در سریزد در تابستان ۱۴۰۴                                                            | ۴ متر بر ثانیه (windy.com, 2026)                                                                                        |

از آنجا که تهویه مؤثر در فصل تابستان، به‌منظور جلوگیری از افزایش دما و کاهش احتمال فساد غلات، بیشترین اهمیت را دارد، برداشت داده‌ها از ارگ در زمان اوج گرمای تابستان انجام شد.

۲. برای محاسبه میزان تهویه طبیعی بر اثر اختلاف دما و خاصیت شناوری از رابطه ۱ ارائه شده توسط اشری<sup>۱</sup>، استفاده شده است (قیابکلو، ۱۳۹۲: ۱۵۴).

گاز یا هوا پس از گرم شدن در اثر نیروی شناوری تمایل به بالا رفتن دارد. هنگامی که جریان هوا توسط باد وجود نداشته باشد لایه های هوای موجود در ساختمان که به ترتیب از پایین به بالا گرمتر شده و تمایل به خروج از ساختمان را دارند با هوای خنک تری که از طریق دریچه های پایین تر به داخل مکیده می شوند جابجا می گردند (قیابکلو، ۱۳۹۲: ۱۵۶).

---

<sup>a</sup>ASHRAE مخفف American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (انجمن مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا) است. این انجمن مرجع بین المللی انتشار استانداردها، دستورالعمل های طراحی و روش های محاسباتی در حوزه مهندسی سیستم های محیطی ساختمان است.

معادله شماره ۱. محاسبه جریان هوا

|                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $q = C_D \cdot A \sqrt{2g\Delta H \cdot \frac{(T_i - T_o)}{T_i}}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $= q$                                                             | جریان حجمی هوا ( $m^3/s$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $= C_D$                                                           | ضریب تخلیه باز شو (برای چند باز شو برابر با ۰.۶۵ در نظر گرفته می شود).                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $= A$                                                             | مساحت قسمت باز پنجره ورود یا خروج هوا ( $m^2$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $= g$                                                             | شتاب جاذبه زمین معادل با ۹.۸۱ ( $m/s^2$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $= T_i$                                                           | دمای هوای داخل ( $^{\circ}K$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $= T_o$                                                           | دمای هوای خارج ( $^{\circ}K$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $= \Delta H_{NPL}$                                                | اگر مقدار A برای پنجره ورود هوا در نظر گرفته شده باشد، آنگاه $\Delta H_{NPL}$ برابر است با اختلاف ارتفاع بین تراز فشار خنثی و نقطه میانی بالاترین بازشوی ورود هوا ( $H_{NPL} - H_i$ ) و اگر مقدار A برای پنجره خروجی در نظر گرفته شود، برابر است با: اختلاف ارتفاع بین نقطه میانی بازشوی خروج هوا و تراز فشار خنثی ( $H_i - H_{NPL}$ ) بر حسب متر. |

۱-۲. اگر دو یا چند باز شو با مساحت های مختلف در یک فضا وجود داشته باشند، تراز فشار خنثی نزدیک به بازشوی بزرگتر بوده و مقدار  $\Delta H_{NPL}$  برای یک زون از رابطه منعکس شده در معادله شماره ۲ قابل محاسبه خواهد بود (قیابکلو، ۱۳۹۲: ۱۵۹):

معادله شماره ۲. محاسبه اختلاف ارتفاع

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| $\Delta H_{NPL} = \frac{H}{1 + [(A_i/A_o)^2 (T_i/T_o)]}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                              |
| اختلاف ارتفاع پایین‌ترین بازشوی خروجی و بالاترین بازشوی ورودی هوا بر حسب متر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $= H$                                        |
| مساحت قسمت بازشوهای ورودی‌ها<br>$A_o \rightarrow 1/5 \times 2 = 2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $= A_i$                                      |
| مساحت قسمت بازشوهای خروجی‌ها<br>$A_{io} \rightarrow 10 \times 2/7 = 27$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $= A_o$                                      |
| $A_{io} \rightarrow 2/5 \times 2/45 = 5/51$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                              |
| $A_i \rightarrow 7/62$ مجموع خروجی هوا از راه‌پله‌ها                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                              |
| <p><math>27 + 5/51 = 32/51</math></p> <p>در شرایط پایدار و با در نظر گرفتن باد غالب از جهت در اصلی، فرض می‌شود که مجموع بازشوهای بزرگ (<math>32/51 m^2</math>) به طور مساوی بین ورودی و خروجی تقسیم شده است.</p> <p>دلایل این فرض: با توجه به عملکرد دوطرفه بازشوهای بزرگ در سیستم‌های تهویه طبیعی (Allard, 1998) و عدم دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری دقیق جریان، توزیع مساوی بین جریان ورودی و خروجی برای بازشو <math>32/51</math> مترمربع در نظر گرفته شد. این رویکرد که در مطالعات مشابه (Etheridge, 2012; Chen &amp; Li, 2003) به عنوان یک تقریب اولیه معتبر شناخته شده است، امکان مدل‌سازی پایدار سیستم را فراهم می‌کند.</p> |                                              |
| $3m^2 = A$ مساحت در اصلی<br>$0/5 \times 32/51 = 16/255 m^2 = A$ سهم ورودی از بازشوی دوطرفه                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $19/225$<br>$m^2$<br>ورودی‌های<br>جریان باد: |
| $0/5 \times 32/51 = 16/255 m^2 = A$ سهم خروجی از بازشوی دوطرفه<br>$7.62 m^2 = A$ بازشوهای فقط خروجی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $23/875$<br>$m^2$<br>خروجی‌های<br>جریان باد: |
| $T_i \rightarrow 20 \text{ تا } 25^\circ C$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $= T_i$<br>دمای هوای داخل ( $^\circ K$ )     |
| $T_o \rightarrow 45^\circ C$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $= T_o$<br>دمای هوای خارج ( $^\circ K$ )     |
| $\Delta H_{NPL} = \frac{3}{1 + \left(\frac{23/875}{19/225}\right)^2 \times \left(\frac{20+273}{45+273}\right)^2} = 1/22$ $\Delta H_{NPL} = \frac{3}{1 + \left(\frac{23/875}{19/225}\right)^2 \times \left(\frac{25+273}{45+273}\right)^2} = 1/23$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                              |

۲-۲ محاسبه سرعت جریان هوا بدون احتساب اصطکاک مطابق معادله ۳

معادله شماره ۳: محاسبه سرعت هوا بدون احتساب اصطکاک

|                                                         |                       |                                                                 |                        |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|
| $V = \sqrt{2gH \cdot \frac{\Delta T}{T}}$               |                       |                                                                 |                        |
| $V$                                                     | سرعت باد ورودی به ارگ | $H$                                                             | ارتفاع ورودی هوا       |
| $C$                                                     | ضریب دبی              | $T$                                                             | دمای مطلق داخل         |
| $g$                                                     | شتاب گرانش زمین       | $\Delta T$                                                      | اختلاف دما داخل و خارج |
| سرعت باد برای بازشوهای سقف با دمای داخلی ۲۵ درجه سلسیوس |                       | $\sqrt{2 \times 9/8 \times 1/23 \times \frac{20}{298}} = 1/27$  |                        |
| سرعت باد برای بازشوهای سقف با دمای داخلی ۲۰ درجه سلسیوس |                       | $\sqrt{2 \times 9/8 \times 1/22 \times \frac{15}{303}} = 1/0.8$ |                        |

۳-۲ با توجه به سرعت، متوسط دبی هوا را مطابق معادله ۴ محاسبه می کنیم:

معادله شماره ۴: محاسبه دبی هوا

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| $Q = V \times A$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |
| $V$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | سرعت باد ورودی |
| <p><math>V \rightarrow \frac{1/0.8 + 1/27}{2} = 1/175 \text{ M/S}</math> میانگین سرعت باد براساس اختلاف دما</p> <p><math>V \rightarrow 4 \text{ M/S}</math> سرعت باد غالب</p> <p>سرعت جریان هوا پس از عبور از هشتی ورودی، به دلیل وجود افت فشار موضعی، کاهش می یابد. میزان این کاهش بر اساس رابطه برنولی و با در نظرگیری ضریب افت فشار محاسبه می شود (Munson et al., 2013).</p> <p><math display="block">V_2 = \frac{V_1}{\sqrt{1+K}} \rightarrow \frac{4}{\sqrt{1+0.5}} = 3/26</math></p> <p>از طریق در ورودی، دو جریان باد به داخل ارگ کشیده می شوند. ۱- باد از طریق جریان باد بیرون ۲- باد از طریق اثر دودکشی؛ که براین اساس، مجموع این دو باد برای محاسبه سرعت هوای ورودی به ارگ از در اصلی، تحت تأثیر همزمان دو نیروی محرکه اصلی باد غالب و اثر دودکشی انجام شد. برای این منظور، از رابطه ترکیبی استاندارد <math>V_{\text{combined}} = \sqrt{(V_{\text{wind}}^2 + V_{\text{stack}}^2)}</math> استفاده گردید که بر پایه جمع جبری فشارهای مؤثر (<math>\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{wind}} + \Delta P_{\text{stack}}</math>) استوار است</p> |                |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <p>(Etheridge, 2012). در این مدل، سرعت نهایی از جذر مجموع مربعات سرعت‌های جزئی به دست می‌آید که رویکردی پذیرفته‌شده در شبیه‌سازی عملکرد تهویه طبیعی در ساختمان‌ها محسوب می‌شود (Allard, 1998; ASHRAE, 2021).</p> $V_{\text{سرعت باد نهایی}} = \sqrt{V_{\text{باد غالب}}^2 + V_{\text{اثر دودکشی}}^2} \rightarrow \sqrt{3/26^2 + 1/175^2} = 3/46$ <p>این جریان باد غالب از بازشوهای بالای سقف اصلی نیز می‌گذرد و مقداری از باد را به داخل هدایت می‌کند.</p> $V_{\text{سرعت ورودی هوا}} = C_D \times V_{\text{سرعت باد آزاد}} = 4 \times 0/65 = 2/6$ <p><math>C_D</math> = ضریب تخلیه بازشو (برای چند بازشو برابر با ۰.۶۵ در نظر گرفته می‌شود).</p> $V_{\text{سرعت باد نهایی}} = \sqrt{V_{\text{باد غالب}}^2 + V_{\text{اثر دودکشی}}^2} \rightarrow \sqrt{2/6^2 + 1/175^2} = 2/85$ |                                                    |
| <p>۳ → در شمالی A</p> <p>۲۷ → بازشو دوم سقف A</p> <p>۵/۵۱ → بازشو اول سقف A</p> <p>۷/۶۲ → مجموع هواخروجی پله‌راه‌ها A</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>A</p> <p>سطح مقطع ورودی هوا</p>                 |
| $Q = A \times V \times C \rightarrow 3 \times 3/46 \times 0/65 = 6/74$ $Q = A \times V \times C \rightarrow 5/51 \times 2/6 \times 0/65 = 9/31$ $Q = A \times V \times C \rightarrow 27 \times 2/6 \times 0/65 = 45/63$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Q</p> <p>دبی هوا</p> <p>دبی کل</p> <p>۶۱/۶۸</p> |

۴-۲ این حجم از دبی قطعا با اصطکاک کاهش می‌یابد برای محاسبه میزان درصد

اصطکاک دبی هوا طبق معادله ۵ محاسبه می‌کنیم:

معادله ۵: محاسبه درصد اصطکاک دبی هوا

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| $\Delta P = f \times \frac{L}{D_n} \times \frac{PV^2}{2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
| $\Delta P$<br>اختلاف فشار (ap)<br>محاسبه تلفات فشار در طول مسیر ۴۰ متری:<br>الف) فشار هوای داخل ارگ<br>$\Delta P = 0.04 \times \frac{40}{2/84} \times \frac{1/2 \times 4/48^2}{2} \approx 6/78 \text{ pa}$<br>ب) فشار اولیه (محرک)<br>$P_{wind} = \frac{1}{2} \times P \times V_{wind}^2 \times C_p \rightarrow 0.5 \times 1/2 \times 4^2 \times 0.65 = 6/24 \text{ pa}$<br>$P_{stack} = p \times g \times h \times \frac{\Delta T}{T} \rightarrow 1/2 \times 9/8 \times 3 \times \frac{20}{298} \approx 2/37$<br>پ) تاثیر بر دبی هوا:<br>$(6/24 + 2/37) - 6/78 = 1/83 \text{ pa}$<br>فشار موثر بعد از اصطکاک<br>ت) درصد کاهش دبی هوا:<br>$\frac{Q_{new}}{Q_{initial}} = \sqrt{\frac{P_{eff}}{P_{initial}}} = \sqrt{\frac{1/83}{8/61}} = 0.45$<br>دبی نهایی = دبی کل × درصد کاهش دبی<br>$0.45 \times 61/68 = 27/75$<br>دبی نهایی با در نظر گرفتن اصطکاک |  |
| $f$<br>ضریب اصطکاک<br>برای دیوارهای گلی $\approx 0.04$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
| $L$<br>طول مسیر (m)<br>۴۰ متر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
| $D_n$<br>قطر هیدرولیکی<br>$D_h = \frac{4 \times A_{\text{ساعت}}}{P_{\text{محیط}}} = \frac{4 \times (2/7 \times 3)}{2 \times (2/7 + 3)} \approx 2/84 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |

|                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P$                                                                                                  | چگالی هوا                                                                                                                                                                                                         |
| $V$                                                                                                  | سرعت هوا ( $m/s$ )<br>محاسبه مجموع سرعت باد های وارد شده به ارگ:<br>$V = \sqrt{V^2_{\text{بهریان باد ورودی از بازو سقف}} + V^2_{\text{بهریان باد ورودی از در اصلی}}} = \sqrt{3/46^2 + 2/85^2} = 4/48 \text{ m/s}$ |
| محاسبه دبی نهایی<br>$Q = A \times V \rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{27/75}{3 \times 2/7} = 3/45$ |                                                                                                                                                                                                                   |

## ۶-۲ محاسبه سرعت هوا در راهروهای فرعی طبق معادله شماره ۷

معادله شماره ۷: محاسبه سرعت باد در راهروهای فرعی

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| محاسبه ضریب مکش (K)<br>مقدار دبی وارد شده تماماً به راهروهای فرعی نمی‌رسد و بخشی از آن توسط همان بازشوهای سقف خارج می‌شود. همچنین به علت کاهش سطح مقطع ورودی راهروهای فرعی طبق قانون ونتوری با مکش بیشتری همراه هستند؛ که در ادامه بررسی می‌شوند (Munson et al, 2013).<br>$K = \left( \frac{A_{\text{ورودی اصلی}}}{A_{\text{ورودی راهروهای فرعی}}} \right)^2 \rightarrow \left( \frac{3 \times 2/7}{1.2 \times 2} \right)^2 \approx 3/37$ |                                                                                                                         |
| توزیع دبی در راهروهای فرعی<br>$A \times K \rightarrow \text{خروجی هوا از راهلهها}$<br>$7/62 \times 3/37 = 25/71$<br>$\frac{\text{سهم خروجی راهروهای فرعی}}{\text{مجموع کل خروجی ها}} = \frac{25/71}{25/71 + \frac{32/51}{2}} = 0/61$<br>$0/61 \times 27/75 = 17$                                                                                                                                                                          | توزیع دبی با در نظر گرفتن مکش ونتوری<br>ضریب افزایش دبی هوا در راهروهای فرعی<br>میزان دبی هوا وارد شده به راهروهای فرعی |
| سرعت باد در راهروهای فرعی<br>$V = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{17}{12 \times 2/4} = 0/59$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                         |

## ۷-۲ بررسی مناسب بودن این جریان هوا برای انبار غلات

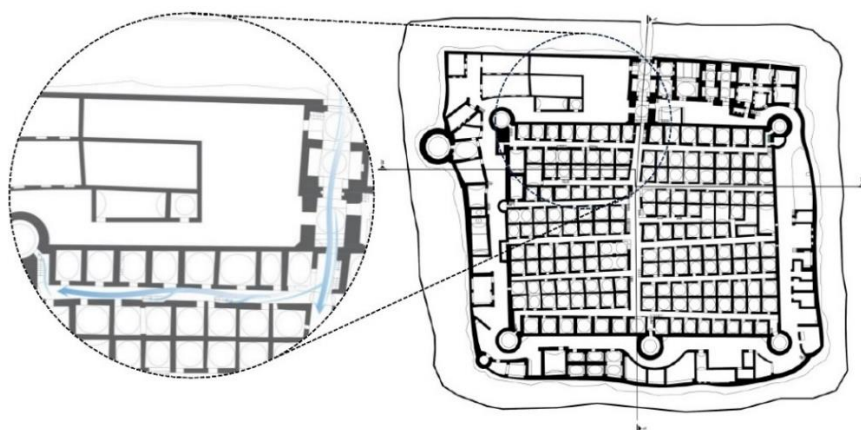
بررسی‌های میدانی و تحلیل داده‌ها در ارگ تاریخی سریزد نشان می‌دهند که معماری سنتی این بنا با بهره‌گیری از راهکارهای غیرفعال، شرایط بهینه‌ای برای ذخیره‌سازی بلندمدت غلات فراهم کرده است. سرعت هوا در راهروهای فرعی که حدود ۰/۵۹ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد، همراه با سطح مقطع مناسب راهروها، نرخ تهویه‌ای معادل ۹/۵ لیتر بر ثانیه به ازای هر تن غله را ایجاد می‌کند که در محدوده استانداردهای بین‌المللی برای خنک‌کاری و نگهداری غلات قرار دارد (جدول ۲ و تصویر ۱۶) (GRDC, 2013; USDA, n.d.).

جدول شماره ۲. مقایسه جریان هوا داخل ارگ با استانداردهای جهانی

| معیار ارزیابی          | مقدار محاسبه شده برای ارگ | محدوده استاندارد مرجع                                                                   | توضیح                                                                    |
|------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| سرعت هوا در راهرو فرعی | ۰/۵۹ متر بر ثانیه         | ۰/۵ تا ۱ متر بر ثانیه برای انبار داری<br>United States Department of Agriculture (2020) | سرعتی ملایم که از خشکی بیش از حد یا رطوبت‌گیری مجدد غلات جلوگیری می‌کند. |
| نرخ تهویه (برتن غله)   | ۹/۵ لیتر بر ثانیه بر تن   | ۱۰ لیتر بر ثانیه بر تن<br>United States Department of Agriculture (2020)                | نرخ تهویه در محدوده عالی برای خارج کردن گرمای تنفسی و رطوبت.             |



مقطع A-A



تصویر ۱۶: نمایش ورودی باد از دو باز شو سقف در راهرو اصلی و خروج باد از راهرو های فرعی (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۳)

### ۳. کارکردهای دفاعی و اقلیمی تهویه طبیعی در ارگ سریزد

تهویه طبیعی در ارگ سریزد، فراتر از یک راهکار غیرفعال خنک کنندگی، به عنوان یک سامانه یکپارچه عمل می کند که اهداف اقلیمی و امنیتی را همزمان محقق می سازد. این پژوهش با بهره گیری از روش تحقیق ترکیبی (مطالعات کتابخانه ای و مشاهدات میدانی) به بررسی این سامانه می پردازد.

مبانی علمی تهویه طبیعی در ارگ بر این اساس استوار است که حرکت هوا در ارگ سریزد بر اساس دو اصل ترمودینامیکی اثر دودکشی<sup>a</sup> و اثر ونتوری<sup>b</sup> شکل گرفته است. در عین حال، این سامانه، هوشمندانه، مزایای زیست محیطی و دفاعی را به صورت همزمان تأمین می کرده است (جدول ۳):

جدول ۳. پاسخگویی همزمان ارگ سریزد به کارکرد اقلیمی و دفاعی

| کارکرد اقلیمی          | کارکرد دفاعی                                    | شیوه اجرا در ارگ                              |
|------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| کاهش دما و رطوبت داخلی | کاهش وابستگی به بازشوهای بزرگ و جلوگیری از نفوذ | استفاده از دریچه‌ها و مجاری عمودی             |
| ایجاد آسایش حرارتی     | اختلال در نفوذ دود یا گازهای سمی                | ایجاد جریان هوای مداوم و پراکنده کننده        |
| افزایش ماندگاری غلات   | مقاومت در برابر محاصره طولانی مدت               | ذخیره سازی ایمن اقلام حیاتی در فضای خنک و خشک |

(منبع: مشاهدات میدانی نویسنده، ۱۴۰۳؛ Massia & Devillers, 2023)

#### ۴. راهکارهای اجرایی در معماری ارگ

مصالح بومی: استفاده از خشت و آجر با جرم حرارتی بالا، موجب تثبیت دمای داخلی در نوسانات دمایی شبانه روز می شود (Thermal comfort in traditional buildings, 2017).

سامانه گنبدهای دوپوسته: ایجاد لایه هوایی عایق بین دو پوسته، کاهش انتقال حرارت را به دنبال داشته است (Moscoso-García & Quesada-Molina, 2023).

<sup>a</sup> اثر دودکشی (Stack Effect): بر اساس اختلاف دمای هوای داخل و خارج، هوای گرم به سمت بالا صعود کرده و از طریق منافذ بالایی خارج می شود (Allard, 1998).

<sup>b</sup> اثر ونتوری (Venturi Effect): طراحی باریک شونده برخی معابر، با افزایش سرعت جریان هوا، راندمان تهویه را افزایش می دهد (Etheridge, 2011).

راهروهای باریک و طاقی: تقویت اثر ونتوری و هدایت جریان هوا به عمق بنا ( Kumari et al., 2020).

ملاحظه می‌شود که سامانه تهویه طبیعی در ارگ سریزد نمونه برجسته‌ای از معماری هوشمند بومی است که:

- مصرف انرژی را به صفر می‌رساند (تطبیق کامل با محیط زیست).
  - پایداری سازه را در برابر تهدیدات خارجی افزایش می‌دهد.
  - با بهره‌گیری از قوانین فیزیک، آسایش حرارتی پایدار ایجاد می‌کند.
- این معماری را می‌توان الگویی برای معماری معاصر دانست که به دنبال تلفیق پایداری زیست محیطی و امنیت است.

## ۷. نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ارگ سریزد تنها یک بنای تاریخی با کارکرد دفاعی نیست، بلکه نمونه‌ای منسجم از معماری مبتنی بر اقلیم برای ذخیره‌سازی غلات در شرایط آب و هوایی گرم و خشک به شمار می‌آید. بررسی‌های کالبدی، اقلیمی و میدانی بیانگر آن است که به کارگیری دیوارهای ضخیم خشتی، پوشش‌های گلی، سازمان‌دهی فضاهای متراکم، راهروهای باریک و بازشوهای محدود اما هدفمند، در کنار بهره‌گیری از اختلاف دما و فشار، نقش مؤثری در ایجاد شرایط پایدار دمایی و تهویه طبیعی داشته است. این عوامل در مجموع امکان نگهداری غلات را با حداقل وابستگی به انرژی‌های مکانیکی فراهم کرده‌اند.

یافته‌های این مطالعه محدود به حوزه مرمت یا شناخت تاریخی ارگ سریزد نیست و قابلیت استفاده در زمینه‌های دیگری نیز دارد. اصول استخراج‌شده از این بنا می‌تواند در طراحی یا به‌سازی فضاهای ذخیره‌سازی، انبارهای کشاورزی و ساختمان‌های واقع در اقلیم‌های مشابه مورد توجه قرار گیرد. دلیل این قابلیت تعمیم، شباهت شرایط اقلیمی و نیازهای عملکردی در مناطق گرم و خشک است؛ مناطقی که کنترل دما، تهویه و کاهش

مصرف انرژی همواره از مسائل اصلی طراحی به شمار می آیند. در این چارچوب، استفاده از جرم حرارتی بالا، هدایت طبیعی جریان هوا و بهره گیری از مصالح بومی می تواند به عنوان راهکارهایی عملی و کم هزینه مطرح شود.

از منظر ذخیره سازی محصولات کشاورزی نیز نتایج پژوهش نشان می دهد که راهکارهای سنتی به کاررفته در ارگ سریزد همچنان قابلیت پاسخ گویی به نیازهای امروز را دارند. این شیوه ها می توانند مبنایی برای بهبود عملکرد انبارهای موجود یا طراحی نمونه های جدید با مصرف انرژی کمتر باشند و در کاهش ضایعات محصولات نقش مؤثری ایفا کنند. همچنین مستندسازی این تجربیات می تواند به درک بهتر منطق عملکردی معماری بومی و انتقال آن به نسل های بعدی کمک کند.

در زمینه حفاظت و بازآفرینی، این پژوهش بر ضرورت توجه به منطق عملکردی بنا تأکید دارد. پیشنهاد می شود بازآفرینی ارگ سریزد به گونه ای انجام شود که ضمن حفظ ارزش های تاریخی و کالبدی، بخشی از کارکرد اصلی آن نیز به شکل نمایشی، آموزشی احیا شود. تبدیل برخی فضاهای انباری به بخش های آموزشی، نمایش فرآیند ذخیره سازی سنتی یا استفاده پژوهشی، می تواند به حفظ پویایی بنا و افزایش ارتباط آن با جامعه امروز کمک کند. همچنین طراحی مسیرهای بازدید با تمرکز بر عناصر اقلیمی و فضایی ارگ، می تواند درک بهتری از عملکرد بنا برای بازدید کنندگان فراهم آورد.

در مجموع، ارگ سریزد نمونه ای قابل توجه از هماهنگی میان معماری، اقلیم و کارکرد است. نتایج این پژوهش نشان می دهد که توجه به تجربه های بومی گذشته می تواند در مواجهه با مسائل معاصر، به ویژه در زمینه کاهش مصرف انرژی و استفاده بهینه از منابع، راهگشا باشد. حفاظت و بازآفرینی این بنا، نه به معنای توقف در گذشته، بلکه فرصتی برای بهره گیری آگاهانه از دانشی است که در طول زمان شکل گرفته و همچنان قابلیت استفاده دارد.

منابع

توکلی، ابوالفضل. (کارگردان). (۱۳۹۸). **در خانه بمانیم: قلعه سریزد** [فیلم مستند]

ریاحی مقدم، ساشا. (۱۳۸۵). **مطالعه و مستندسازی بافت فرهنگی-تاریخی روستای سریزد**، یزد، سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری و آرشیو پایگاه پژوهشی میراث فرهنگی شهر تاریخی مهریز.

<https://www.sid.ir/paper/205130/fa#pointx>

سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری ایران. (۱۳۵۴). **شماره ثبت ۱۰۸۴، ۲۷ خرداد**

شرکت آرمان سازان. (۱۳۸۶). **نقشه‌های ارگ سریزد**

شهرزادی، رستم. **گزارش باستان‌شناسی (دست‌نویس)**. (۱۳۷۶). آرشیو سازمان میراث فرهنگی یزد [گزارش دست‌نویس، آرشیو]

قارایی، جواد. (۱۴۰۴). **مستند ایرانگردی: روستای زید ایلام - پارت دوم** [ویدئو]؛ قابل دسترس در: <https://ifilo.net/v/A1y4Unj>، تاریخ مراجعه: ۱۱ دی ۱۴۰۴.

قیابکلو، زهرا. (۱۳۹۲). **کتاب مبانی فیزیک ساختمان ۴: سرمایه‌ش غیر فعال**. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

مرکز اسناد و کتابخانه ملی ایران-شعبه یزد. (بی‌تا). وب‌سایت رسمی. بازیابی شده در فروردین ۱۴۰۳، از <https://www.lisna.ir/tag/37>

مشاهدات میدانی و گفتگو با ساکنان محلی سریزد، ۱۴۰۳/۱۴۰۴

مصاحبه میدانی با اهالی بافت تاریخی سریزد، فروردین ۱۴۰۳/۱۴۰۴

مکوندی، لیلا، و شیخزاده، مهدی. (۱۴۰۰). **ملاحظات درباره‌ی ساختار انبارهای ذخیره‌سازی غلات در شاهنشاهی هخامنشی. نشریه نامه باستان‌شناسی**، ۱۲(۴)، ۱۸۹-۲۱۰

[https://nbsh.basu.ac.ir/article\\_4938.html](https://nbsh.basu.ac.ir/article_4938.html)

\*در بخش‌هایی از متن که به اهالی روستا ارجاع داده شده است، با کدهایی شماره گذاری شده‌اند؛ نام افراد مرتبط در جدول زیر ذکر شده است.

| شماره سوال | نام افراد                                                                     | متن سوال                                                                                                                    | پاسخ‌ها به صورت کدگذاری درون متنی |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| ۱          | قاسم بیگی / راهنمای ارگ سربزد و ساکن سربزد                                    | به عنوان راهنما حضور داشتند و به توضیحاتشان در مقاله اشاره شده است.                                                         | ۹/۷/۵/۴/۳/۲<br>۱۳/۱۲/۱۰           |
| ۲          | غلامرضا حاجی قاسمی / کلید دار ارگ و ساکن سربزد                                | به عنوان راهنما حضور داشتند و به توضیحاتشان در مقاله اشاره شده است.                                                         | ۶/۵/۴/۳/۲<br>۱۳/۱۲/۱۱/۱۰/         |
| ۳          | دکتر مجید سربزدی / مدیر بهسازی ارگ                                            | چه چیزهایی در تاپوهای به کاررفته در کف اتاقک‌ها نگه می داشتند؟ و توضیحاتی در مستند ارگ سربزد داشتند که به آن اشاره شده است. | ۷/۸/۵                             |
| ۴          | علی محمدی / ساکن سربزد                                                        | کاربری ارگ چه بوده و چگونه غلات را ذخیره سازی می کردند<br>خمره‌ها چه کاربری هایی داشتند.                                    | ۱۱/۶/۴/۳                          |
| ۵          | سید مصطفی فاطمی / مدیر کل توسعه گردشگری داخلی وزارت میراث فرهنگی و صنایع دستی | بر چه اساسی ارگ سربزد را متعلق به دوره ساسانی می دانند؟                                                                     | ۱                                 |

## References

- Allard, Francis. (Ed.). (1998). *Natural ventilation in buildings*. James & James.
- Al-Muhtaseb, Abdul Hamid, McMinn, William A. M., & Magee, Thomas R. A. (2002). *Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A review*. **Food and Bioproducts Processing**, 80(2), 118–128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>
- ASHRAE. (2021). *ASHRAE Handbook—Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Available

in: <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook/description-2021-ashrae-handbook-fundamentals>; access date: 2<sup>nd</sup> January 2026

Dyson, Robert H., & Tosi, Maurizio. (2009). *Tepe Hissar*. In Ehsan Yarshater (Ed.), *Encyclopaedia Iranica* (updated 2014). Retrieved from <https://iranicaonline.org/articles/tepe-hissar>; access date: 2<sup>nd</sup> January 2026

Du Plessis, Paul J. (2012) Letting and Hiring in Roman Legal Thought: 27 BCE – 284 CE. *Leiden: Brill*; Available in: <https://brill.com/display/title/15149>; access date: 2<sup>nd</sup> January 2026

El Aissati, Abderrahman. (2005). A Socio-Historical Perspective on the Amazigh (Berber) Cultural Movement in North Africa. *Afrika Focus*, 18(1–2), 59–72. <https://doi.org/10.1163/2031356X-0180102005>

El Harrouni, Rime. (2024, January). *Igoudars against climate change in Morocco* [Conference presentation]. ICOMOS – CIVVIH / Euro-Mediterranean University of Fez 2024 Conference, Cappadocia, Turkey. Available in: [https://civvih.icomos.org/wp-content/uploads/2024\\_cappadocia\\_presentation\\_theme2\\_14\\_Rime-El-Harrouni.pdf](https://civvih.icomos.org/wp-content/uploads/2024_cappadocia_presentation_theme2_14_Rime-El-Harrouni.pdf); access date: 2<sup>nd</sup> January 2026

Etheridge, David William. (2011). *Natural ventilation of buildings*. Wiley. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119951773>

Gopnik, Hilary, & Rothman, Mitchell S. (2011). *On the High Road: The History of Godin Tepe, Iran*. Toronto: Royal Ontario Museum & Mazda Publishers. <https://www.mazdapublishers.com/book/on-the-high-road>; <https://archive.org/details/onhighroadhistor0000unse>

Grains Research & Development Corporation (GRDC). (2013). *Aerating stored grain: cooling or drying for quality control* (fact sheet/booklet). Retrieved from: [https://storedgrain.com.au/wp-content/uploads/2013/07/GRDC-Aeration-Book-2013\\_Final.pdf](https://storedgrain.com.au/wp-content/uploads/2013/07/GRDC-Aeration-Book-2013_Final.pdf).

Hejazi, Behnam, et al. (2024). Characterisation of adobe and mud–straw for the restoration and rehabilitation of Persian historical materials. *Materials*, 17(8), 1764. <https://doi.org/10.3390/ma17081764>.

Kumari, Anju, Wanti, J., Swamy, Vimala, & Sakri, Sangamesh. (2020). Vernacular passive cooling techniques – a case study of a vernacular house in Allur Village, Kalaburagi, India. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(08). <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS080150>; available in:

<https://www.ijert.org/vernacular-passive-cooling-techniques-a-case-study-of-a-vernacular-house-in-allur-village-kalaburagi-india>; access date: 2<sup>nd</sup> January 2026

Massia, Magali, & Devillers, Philippe. (2023). Energy performance of vernacular architecture in various desert climates. *Journal of Salutogenic Architecture*, 2(1), 19–30. [https://doi.org/10.38027/jsalutogenic\\_vol2no1\\_2](https://doi.org/10.38027/jsalutogenic_vol2no1_2); available in: <https://jsalutogenic.com/jsa/article/view/7>; access date: 2<sup>nd</sup> January 2026

Moscoso-García, Pedro, & Quesada-Molina, Felipe. (2023). Analysis of Passive Strategies in Traditional Vernacular Architecture. *Buildings*, 13(8), 1984. <https://doi.org/10.3390/buildings13081984>; Available in: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/8/1984>; access date: 2<sup>nd</sup> January 2026

Munson, Bruce R., Young, Donald F, Okiishi, Theodore H., & Huebsch, Wade W. (2013). *Fundamentals of fluid mechanics* (6<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons. <https://www.zlibrary.to/dl/fundamentals-of-fluid-mechanics-6th-edition-pdf>

Naji, Said. (2020). Igudārs et Zāwyas: Les entrepôts de la baraka, réseaux du sacré et patrimonialisation des sociétés amazighes de l'Atlas et du Maroc présaharien. *Hesperis-Tamuda*, 55(4), 227–255. Available from: <https://www.hesperis-tamuda.com/Downloads/2020/fascicule-4/11.pdf> or [11.pdf](https://www.hesperis-tamuda.com/Downloads/2020/fascicule-4/11.pdf); access date: 2<sup>nd</sup> January 2026

Revue d'Innovation et Dynamiques Territoriales. (2024, July). Les greniers collectifs en Afrique du Nord: Apparition, dynamique et formes de valorisation. *Revue d'Innovation et Dynamiques Territoriales*, 1–18. Available in: <https://revues.imist.ma/index.php/ReIDT/article/view/47549>;

Rickman, Geoffrey. (1971). *Roman granaries and store buildings*. Cambridge University Press. <https://obnb.uk/p9039829-roman-granaries-and-store-buildings>

Santamouris, Mattheos & Wouters, Peter. (2006). *Building ventilation: The state of the art*. London: Earthscan. <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.4324/9781849770620/building-ventilation-peter-wouters-mat-santamouris>

Stronach, David. (1973). Excavations at Tepe Nush-i Jan, Part I: *The Median Temple Complex*. *Iran*, 11, 39–58. <https://doi.org/10.2307/4299625>

- Thermal comfort in traditional buildings composed of local and modern construction materials. (2017). *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 463–475.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.08.001>
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (n.d.). **Aeration for safe grain storage**. Retrieved from:  
<https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30200525/31%20Aeration%20For%20Safe%20Grain%20Storage.pdf>; Access date: 3<sup>rd</sup> January 2026
- United States Department of Agriculture (USDA). (2020). **Grain storage systems and aeration**. Washington, DC: USDA. Available at:  
<https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30200525/31%20Aeration%20For%20Safe%20Grain%20Storage.pdf>; Access date: 3<sup>rd</sup> January 2026
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (n.d.). **Aeration for safe grain storage**. Retrieved from:  
<https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30200525/31%20Aeration%20For%20Safe%20Grain%20Storage.pdf>; Access date: 3<sup>rd</sup> January 2026
- White, Frank. M. (2011). *Fluid mechanics* (7th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Windy.com (2026). Retrieved from:  
<https://www.windy.com/31.584/54.445?31.248,54.588,9>; accessed date: 1<sup>st</sup> January 2026.

# Earthen architectural heritage of Silo in Saryazd Citadel: Indigenous Knowledge of climate-Economy Nexus

**Hanieh Beiki**

Master student, Historic Preservation, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

**Fatemeh Mehdizadeh Saradj\***

Professor, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

**Asghar Moradi**

Emeritus Professor, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

## 1. Introduction

In Iran's hot and arid climate, the development of agricultural societies has historically depended on the ability to store grain for long periods without relying on energy-intensive systems. This study investigates the passive environmental strategies employed in the adobe silos of the ancient Saryazd grain storehouse, located in the village of Saryazd near Mehriz in Yazd Province, as one of the world's oldest adobe grain storehouses dating back to the Sasanian period (Riahi Moghadam, 2006; Shahrzadi, 1997), which exemplifies how traditional architecture used passive strategies and local materials to ensure food security.

---

\* Corresponding Author: [mehdizadeh@iust.ac.ir](mailto:mehdizadeh@iust.ac.ir); <https://orcid.org/0000-0001-6103-5504>

**How to Cite:** Beiki, H.; Mehdizadeh Saradj, F.; Moradi, A. (2026). Adobe architectural heritage of Silo in Saryazd Citadel: Adjoining the climate and economy in sustainable architectural design, *Semiannual Journal of Indigenous Knowledge*, Iran, xxxxxx

This study converts indigenous knowledge into quantitative data by analysing the citadel's structural systems, thermal behaviour, and natural ventilation. Using field surveys (summer 2024), computational simulations, and historical research, it provides the first integrated, data-driven assessment of the citadel's performance. The findings highlight its relevance for contemporary sustainable architecture and food security.

## **2. Literature Review**

Research on grain storage in Iran identifies three main traditional types: rectangular nested chambers, cylindrical silos, and rock-cut storerooms. Rectangular units, such as those at Nushijan and Godin Tepe, were organised into narrow, sequential rooms with small upper openings for ventilation (Macvandi & Sheikhzadeh, 2021: 179). Cylindrical adobe silos with domed roofs became widespread from the Chalcolithic to the Bronze Age, reflecting an increase in agricultural surplus (Ibid: 180). In mountainous regions, rock-cut granaries—such as those in Ilam and Kermanshah—provided thermal stability and security, sometimes preserving grain for up to three years (Gharaei, 2025).

As political and economic systems evolved, storage structures became institutional and multifunctional. Sites like Nushijan and Godin Tepe reveal organised storage networks linked to administrative control (Stronach, 1973:41; Gopnik & Rothman, 2011:10; Dyson & Tosi, 2009; 2014: 3). In later examples, such as the Saryazd Citadel, nested storage spaces also functioned within defensive-economic systems. Comparable models outside Iran include the Amazigh *igoudar* of Morocco—collective fortified granaries— (Naji, 2020: 232–235; *Revue d'Innovation et Dynamiques Territoriales*, 2024: 12–14) and the Roman *horrea*, large-scale state warehouses designed for ventilation, durability, and economic stability (Du Plessis, 2012: 112).

### **2.1 Functional Studies**

Material research highlights the thermal and hygroscopic properties of adobe and mud plasters, while studies on passive cooling emphasise

thermal mass, solar control, and natural airflow as key principles in climate-responsive grain storage design.

### **3. Methodology**

A descriptive–analytical methodology was adopted, combining computational simulations, documentary research, and interviews with eyewitnesses conducted during field surveys in July and August 2024. After reviewing the published literature about the Saryazd Citadel, this study first recorded the functional details by carefully interpreting the architectural and structural plans. Then, by interviewing the residents of the neighbouring village of the castle, it recorded their experiences and memories of the castle's life. Then, it tried to match the architectural features of the castle with the requirements of grain protection, such as providing the desired ventilation, from the point of view of scientific facts, in order to reach the hidden secrets behind the reasons for the formation of the castle's form.

### **4. Results**

The Saryazd Citadel, covering approximately 7,790 m<sup>2</sup>, was registered as a National Heritage site of Iran in 1975. Architecturally, the three-story structure is built of adobe, mud, brick, and gypsum. Its rectangular plan incorporates 468 individually secured rooms, organised along narrow, covered corridors connected to a controlled central entrance. Storage spaces occupy the upper levels, while service, residential, and administrative areas are integrated within the complex.

The citadel features a sophisticated multi-layered defensive system, including a moat, concentric walls, watchtowers, controlled gateways, and a drawbridge. An integrated water management system supplied wells, a reservoir, and the moat. Combining climatic adaptation, economic function, and military security, Saryazd represents an advanced example of indigenous sustainable design in desert environments.

#### ***4.1 Functional Techniques and Storage Systems***

The clay vessels (*tapou*) and buried ceramic jars with narrow openings were embedded in floors to conceal valuables, documents, spices, and small food items. Their semi-permeable, unfired clay absorbed excess moisture, helping maintain cool and dry conditions in the desert climate. Larger above-ground jars were used to store bulk grains such as wheat and barley, with cylindrical forms that regulated moisture and reduced spoilage.

Hollow vessels were also incorporated into domed roofs to reduce dead load, improve structural stability, and enhance thermal insulation. In addition, semi-cylindrical wall niches made of adobe and straw plaster provided small-scale grain storage while contributing to moisture regulation and structural cohesion. Hidden wall cavities further ensured security for valuable goods.

#### ***4.2 Technical Details***

The Saryazd Citadel demonstrates how indigenous techniques and cultural knowledge shaped sustainable desert architecture. Wooden crossbars installed in storage rooms were used to dry freshly harvested grain through natural ventilation, preventing moisture damage and mould. In addition, dried gourds or pumpkin embedded within walls—particularly in a large room associated with the local ruler—served to protect sensitive documents from humidity and pests. These methods reflect a creative integration of local materials, climatic understanding, and cultural beliefs, enhancing both functional efficiency and architectural identity.

#### ***4.3 Natural ventilation***

The adobe architecture of Saryazd Citadel achieves effective natural ventilation and thermal stability in Iran's hot-dry climate. Oriented about 10° east of north to capture prevailing summer winds, the design integrates controlled entrances, roof openings, and narrow corridors that accelerate airflow through the Venturi effect. Thick earthen walls and vaulted roofs stabilise indoor temperatures, enabling stack-driven ventilation.

Field measurements show interior temperatures 15–20°C cooler than outside and airflow rates of 0.59 m/s, providing approximately 9.5 L/s per ton of grain, within international storage standards. Beyond cooling, this passive system enhanced defence by reducing large openings, dispersing smoke or gases, and ensuring secure, long-term storage.

## **5. Conclusion**

The study shows that Saryazd Citadel is not only a defensive structure but also an integrated example of climate-responsive architecture for grain storage in hot, dry regions. Thick adobe walls, compact spatial organisation, controlled openings, and natural airflow create stable thermal conditions with minimal energy use. These indigenous strategies remain applicable for modern storage design, energy reduction, and sustainable reuse, while supporting informed conservation and adaptive revitalisation efforts.

**Keywords:** Grain storage, Hot-dry climate, Indigenous architecture of Yazd, Passive design, Saryazd citadel.