

The Structural System of Karbandi: Definition, Formation and Influential Factors

F. Shervani Tabar ¹, A. Nejad Ebrahimi ^{*2}, M. R. Chenaghlou ³

1. M.Sc., Architecture Technology, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Arts University, Tabriz, Iran.

2. Faculty member, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Arts University, Tabriz, Iran.

3. Faculty member, Faculty of Civil Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

Abstract

Karbandi is an arched structural element used for roof coverings in the historical architecture of Iran, distinguished by its high functional and formal capacity, simultaneously serving both structural and decorative purposes. The aim of this study is to answer the following questions: What trajectory has the formation process of Karbandi followed? What are the influential factors in this process and in its evolution into existing types? This qualitative research employs both fieldwork and library-based methods to collect data, which are then analyzed and evaluated. Initially, the gradual transition of common structural systems in historical Iranian architecture towards Karbandi was examined. The concept of Karbandi was also reviewed from the perspectives of various researchers to select the most precise definition. Subsequently, the key concepts related to Karbandi were identified and categorized. Karbandi is formed by narrow arches with chord-based and harmonious geometries, serving both load-bearing and decorative roles. Its primary characteristics include chordal geometry, orderly connections, the layered alignment of main points, and its construction based on a circular framework. The structural components of Karbandi can be analyzed through two aspects: theoretical geometry and practical geometry. It is important to note that the relationship between these two geometries is interactive and reciprocal, with some shared elements. Each of these components has influenced the formation process of this arched element while undergoing changes themselves throughout this process.

Keywords: Karbandi, Practical Geometry, Theoretical Geometry, Karbandi Construction, Formation of Karbandi.



**Knowledge of
Conservation and
Restoration**

Vol. 7(1) No.19
May 2024

<https://kcr.riht.ir>

Pages: 41 to 54

Corresponding Author

A. Nejad Ebrahimi

Faculty member, Faculty of
Architecture and Urbanism,
Tabriz Islamic Arts University,
Tabriz, Iran.

Email

ahadebrahimi@tabriziau.ac.ir

نیارش کاربندی: تعریف، شکل‌گیری و مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آن

فاطمه شروانی تبار^۱، احد نژاد ابراهیمی^{۲*}، محمدرضا چناقلو^۳

۱. کارشناس ارشد فناوری معماری، گرایش استحکام‌بخشی بناهای تاریخی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

۲. عضو هیئت علمی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

۳. عضو هیئت علمی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

چکیده

کاربندی، یک عنصر طاقی برای پوشش سقف با ظرفیت بالای عملکردی و فرمی و کارکرد سازه‌ای و تزئینی، متعلق به معماری تاریخی ایران است. این عنصر تزئینی در طول مدت رواج خود تغییراتی داشته است که موجب شکل‌گیری انواع مختلف از آن با ویژگی‌های گوناگون شده است. از این رو، هدف از این تحقیق دستیابی به پاسخ این سؤالات است که روند شکل‌گیری کاربندی چه مسیری را طی کرده است؟ و مؤلفه‌های مؤثر بر کاربندی در این مسیر و در ادامه تبدیل آن به انواع موجود، چه بوده است؟ در این تحقیق کیفی، اطلاعات به روش میدانی و کتابخانه‌ای جمع‌آوری و سپس تحلیل و بررسی شده‌اند. در این راستا، ضمن اینکه روند تغییر تدریجی دستگاه‌های سازه‌ای رایج در معماری تاریخی ایران به سمت ایجاد کاربندی، مورد بررسی قرار گرفته است، مفهوم کاربندی نیز از دیدگاه پژوهشگران بررسی شده تا دقیق‌ترین تعریف کاربندی ارائه شود. در ادامه مفاهیم مطرح در حوزه کاربندی بیان و دسته‌بندی خواهند شد. بررسی‌ها نشان داد که کاربندی از باریک‌های طاق‌هایی با هندسه وت‌ری و هماهنگ ایجاد می‌شود و دارای هر دو نقش باربری و تزئینی است. هندسه وت‌ری، اتصالات منظم و روی هم قرارگیری نقاط اصلی زمینه و کاربندی روی دایره‌ی منبأ، از خصوصیات اصلی کاربندی هستند. مؤلفه‌های ساختار کاربندی را می‌توان ذیل دو بخش هندسه نظری و عملی بررسی نمود؛ باید دقت داشت که ارتباط این دو هندسه یک ارتباط تعاملی و دوطرفه است که دارای مؤلفه‌های مشترک نیز هستند. هر یک از این مؤلفه‌ها بر روند شکل‌گیری این عنصر طاقی تأثیر داشته و نیز در این روند، خود دچار تغییر شده‌اند.

واژگان کلیدی: کاربندی، هندسه عملی، هندسه نظری، اجرای کاربندی،

شکل‌گیری کاربندی.



فصل‌نامه دانش حفاظت و مرمت

سال هفتم، شماره ۱

شماره پیاپی ۱۹، بهار ۱۴۰۳

<https://kcr.richt.ir>

صفحات: ۴۱ تا ۵۴

نویسنده مسئول

احد نژاد ابراهیمی

عضو هیئت علمی، دانشکده معماری و

شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز،

تبریز، ایران.

رایانامه

ahadebrahimi@tabriziau.ac.ir.

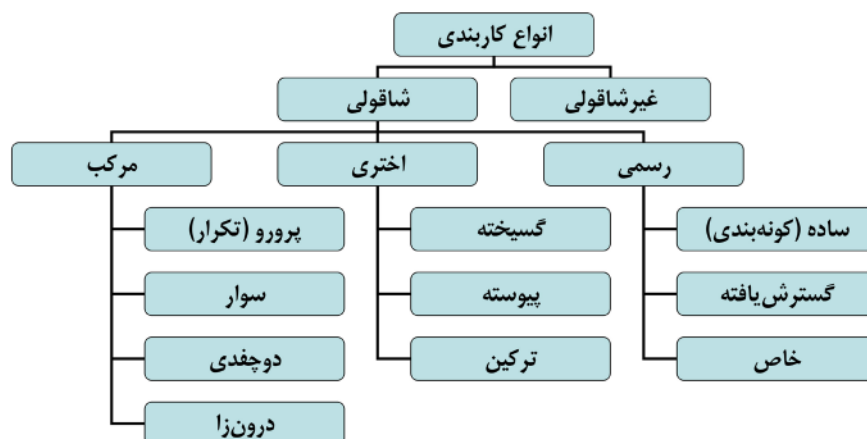
مقدمه

کاربندی، نوعی از سازه‌های طاقی متعلق به معماری تاریخی ایران، با ریشه کاملاً ایرانی است. از کلمه "کاربندی" برای اطلاق به این عنصر، نخستین بار در نشریه شماره شش "اثر" به قلم بزرگمهری (Bozorgmehr & Pirnia, 2006) استفاده شده است. شرع‌باف (Sharbaaf, 2006)، کاربردی را حاصل ترکیب "کار" و "بستن" عنوان کرده (Faramarzi & Tehrani, 2022)، در نتیجه، معنی لغوی این کلمه به نوعی درهم تنیدن و بافتن کارها است. در واقع کاربردی دربردارنده باریکه‌ی طاق‌هایی به نام کار است که به شکلی پیچیده و حساب‌شده درهم رفته و زمینه‌ای دایره‌ای برای ایجاد پوشانه درست می‌کنند (Neyestani & Rahimian, 2017). از تقاطع این باریکه طاق‌های مورب برای طاق‌زنی به منظور ایجاد پوشش استفاده می‌شود (Godarzi Soroush, 2015).

در منابع مختلف از دیدگاه‌ها و جنبه‌های گوناگون، به تعریف، علل شکل‌گیری، تاریخچه، هندسه، ترسیم و روابط ریاضی حاکم، مبحث‌های اجرایی و چگونگی به‌کارگیری کاربردی در معماری معاصر پرداخته شده است. حسین بن محمد معمار، معروف به لرزاده در یکی از کتاب‌های خود به نام "احیای هنرهای ازدست‌رفته" به بررسی نحوه ترسیم و توضیح هندسه به کار رفته در رسمی‌بندی و نیم‌کار می‌پردازد. هر چند نکاتی در مورد ساخت نیز بیان می‌کند، اما عمده‌ی نوشتار وی در باب ترسیم است (Lorzadeh, 1995 - Rais Zadeh et al. 1995). محمد کریم پیرنیا نیز در کتاب "هندسه در معماری" که توسط زهره بزرگمهری گردآوری و تدوین شده، شیوه‌های ترسیم و انواع کاربردی را به‌طور خلاصه بیان کرده است (Bozorgmehr & Pirnia, 2006).

استاد اصغر شرع‌باف در سال ۱۳۷۹ در کتاب "گره و کاربردی" کلیات و اندکی هم در باب اجرای آن بیان کرده و روش‌های سنتی ترسیم کاربردی را برای زمینه‌های منتظم شرح داده است. او کاسه‌سازی، یزدی‌بندی و رسمی‌بندی را کاربردی نامیده و در مقابل آن به بیان گره‌سازی که منحصر به سقف نیست، پرداخته است (Sharbaaf, 2006 - Pournaderi, 2000).

(Makinejad, 2006). ضیاء‌آبادی طی تحقیقی در سال ۱۳۸۷ به بررسی تاریخچه پیدایش کاربردی پرداخته، رفتار سازه‌ای کاربردی را مورد مطالعه قرارداد و آن را پیش‌زمینه پیدایش سازه فضاکارهای امروزی دانسته است (Ziaabadi, 2008). محمدیان و فرامرزی در سال ۱۳۹۰ در مقاله‌ای ضمن گونه‌شناسی انواع کاربردی، سه نوع کاربردی رسمی شامل منفرد دوپا، خاص و مرکب را معرفی کردند. آن‌ها کاربردی غیر ساده را به انواع کاربردی شامل پنج نوع پرور، سوار، دو چفدی، گسترش و درون‌زا، دسته‌بندی کردند. این محققین نوع دسته‌ی اختری را با این استدلال که نمونه‌ی مشابهی در معماری ایرانی ندارد، از دسته‌بندی انواع کاربردی‌ها حذف کرده‌اند (Mohammadian & Framarzi, 2011). لیلیان در سال ۱۳۹۰ با مطالعه‌ی تیمچه‌ی حاج‌محمدقلی به بررسی مؤلفه‌هایی مانند نحوه توزیع بار در سازه‌ی کاربردی، نحوه‌ی تطبیق هندسه نظری و عملی، کارکرد طاق‌های تشکیل‌دهنده و تقدم زمان ساخت هر یک از این طاق‌ها پرداخت. وی نحوه‌ی ارتباط جنبه‌هایی چون کاربری‌ها و روابط بین آن‌ها، سازه و معماری این کاربردی را نه یک ارتباط یک‌طرفه، بلکه تعاملی قوی و دوجانبه دانسته است (Laylian, 2011). نژاد ابراهیمی و همکاران در سال ۱۳۹۶، با اشاره به اختلاف‌نظرها و تناقضات موجود در مورد تعریف و ماهیت کاربردی، اذعان داشتند که این مسئله موجب اشکالاتی در درک مفاهیم پایه و نوآوری در این باب شده است. آن‌ها با انجام یک مطالعه تطبیقی و بررسی تفاوت بین رسمی‌بندی و کاربردی از نقطه‌نظر مکان اجرا و کاربرد، یک دسته‌بندی جامع در این خصوص ارائه کردند (Nejad Ebrahimi et al., 2017). آئینه‌چی و ولی‌بیگی در سال ۱۴۰۰ طی تحقیقی، نظرات معماران سنتی و پژوهشگران دوره‌ی حاضر را در باب نام‌گذاری گونه‌های مختلف کاربردی جمع‌آوری و دسته‌بندی کرده و بعد تعاریف انواع مختلف کاربردی را به رشته‌ی تحریر درآوردند (Ainehchi & Vali-Beig, 2021). در شکل ۱ آخرین طبقه‌بندی انجام‌شده برای انواع کاربردی نشان داده شده است. با بررسی منابع در پیشینه‌ی تحقیق مشخص شد که



شکل ۱. طبقه‌بندی انواع کاربردی (Amjad-Mohammadi, 2017).

می‌توان درهم‌تنیدن و بافتن باریکه‌ی طاق‌ها دانست. با بررسی منابع در پیشینه تحقیق مشخص شد که مقصود همه صاحب‌نظران ذیل این کلمه دقیقاً یک چیز واحد نیست؛ از این‌رو، جهت شناخت این عنصر معماری ایرانی، مرمت و استحکام‌بخشی هرچه بهتر نمونه‌های موجود و حتی استفاده از آن در معماری معاصر، ابتدا نیاز است مفهوم "کاربندی" بررسی شود. در جدول ۱ نظرات گروهی از محققین درباره‌ی معنی و جایگاه استفاده از مفهوم کاربردی درج و با یکدیگر مقایسه شده است.

با توجه به مطالب درج‌شده در جدول ۱ می‌توان دریافت که علیرغم دسته‌بندی و تعاریف متفاوت ارایه شده در منابع مختلف، همه آن‌ها در بررسی جداگانه نقش باربر و تزئینی کاربردی اتفاق نظر دارند. همچنین تحقیقات انجام‌شده در این مورد، ما را به تعریف قراردادی و جامعی هدایت می‌کند که بیشتر محققین در مقالات اخیر، به‌عنوان ادبیات مشترک در این حوزه آن را پذیرفته‌اند. در این تعریف آمده است: "کاربندی، عنصری طاقی از معماری تاریخی ایران است که از باریکه‌ی طاق‌هایی با هندسه وت‌ری و هماهنگ ایجاد می‌شود و توأم دارای نقش باربر و تزئینی است". آن‌ها همچنین در مورد ویژگی‌های اصلی هندسه کاربردی شامل هندسه وت‌ری، اتصالات منظم و روی هم قرارگیری نقاط اصلی زمینه و کاربردی روی دایره مبنا متفق‌القول هستند.

صاحب‌نظران مختلف، در خصوص تعاریف، توصیفات و دسته‌بندی‌ها در مورد کاربردی، نظر واحدی نداشته‌اند. تنوع نام‌گذاری گونه‌های مختلف کاربردی در منابع خارجی نشان‌دهنده شناخت ناکافی پژوهشگران و در منابع داخلی به علت بومی بودن نام‌گذاری در هر منطقه از ایران است. این تعدد در اسامی، باعث سردرگمی مخاطب عام و عدم اتفاق نظر پژوهشگران در دسته‌بندی این عنصر طاقی شده است (Raisi et al., 2013)؛ از این‌رو نیازمند دستیابی به ادبیاتی مشترک در خصوص مفهوم "کاربندی" و تعریفی قراردادی برای آن هستیم که بیشتر پژوهشگران در آن اتفاق نظر داشته باشند؛ بنابراین این تحقیق با هدف پاسخ به ضرورت‌های مطرح‌شده، در سه بخش، طراحی و انجام شد. در بخش اول، به‌منظور فهم کاربردی و روند شکلگیری آن، تحولات تدریجی دستگاه‌های سازه‌ای رایج در معماری تاریخی ایران به سمت ایجاد کاربردی، موردبررسی قرار گرفت؛ سپس، با بررسی تعاریف ارائه‌شده برای کاربردی در منابع پیشین، دقیق‌ترین تعریف کاربردی انتخاب شد؛ و در نهایت، مفاهیم مطرح در این حوزه به‌منظور تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر شکل‌گیری انواع کاربردی، تبیین و دسته‌بندی گردید.

تعریف کاربردی و مطالعات پیشین

شعرباف کاربردی را حاصل ترکیب "کار" و "بستن" عنوان کرده و در نتیجه معنی لغوی این کلمه را

جدول ۱. تعاریف و نظریات موجود در مورد کاربندی.

Table 1. Definitions and theories regarding Karbandi.

نام صاحب‌نظر	سال	تعریف کاربندی و نقش آن
حسین لرزاده	۱۳۵۸	ضمن عدم اشاره به کلمه کاربندی، رسمی‌سازی را باربر و تکاملی از گوشه‌سازی می‌داند و با توضیحاتی در باب نیم‌کار، اصول اربعه در معماری را شامل مقرنس، کاسه‌سازی، رسمی‌بندی و یزدی‌بندی، به همراه گره‌سازی معرفی می‌کند.
محمدکریم پیرنیا، زهره بزرگمهری	۱۳۶۰	کاربندی و رسمی‌بندی برابر است و هر دو می‌توانند باربر یا تزئینی باشند.
اکبر حلی	۱۳۶۵	وی بر باربر بودن رسمی‌بندی تأکید می‌کند و آن را به‌همراه یزدی‌بندی، مقرنس، گره‌سازی و کاسه‌سازی، اصول خمسه معماری ایرانی معرفی می‌کند.
اصغر شهرباف	۱۳۷۹	رسمی‌بندی، گونه‌بندی، یزدی‌بندی، مقرنس و کاسه‌سازی مجموعاً کاربندی نامیده می‌شود و رسمی‌بندی می‌تواند تزئینی یا باربر باشد.
آرش ضیاءآبادی	۱۳۸۷	کاربندی می‌تواند باربر یا تزئینی باشد. رسمی‌بندی، مقرنس و یزدی‌بندی زیرمجموعه‌ی کاربندی و از نوع تزئینی است.
حسین زمرشیدی	۱۳۸۹	کاربندی و رسمی‌بندی برابر است که هر دو می‌توانند باربر یا تزئینی باشند.
فرهاد تهرانی	۱۳۹۰	کاربندی علاوه بر تزئینی بودن، باربر است، اما رسمی‌بندی تزئینی است. کاربندی سیستمی برای رسیدن به هندسه‌ی ایده‌آل جهت جلوگیری از اعوجاج طاق است.
عباس صلواتی	۱۳۹۲	کاربندی، باربر و سازه‌ای است، اما رسمی‌بندی تزئیناتی به‌صورت خطوط گچی است که هیچ‌گونه اتصال ساختاری و قابل‌توجهی به باریکه‌ی طاق‌های باربر ندارد.
مهدی رئیسی، محمدرضا بمانیان و فرهاد تهرانی	۱۳۹۲	کاربندی علاوه بر نقش تزئینی، باربر است، اما رسمی‌بندی فقط تزئینی است.
احد نژادابراهیمی	۱۳۹۶	کاربندی علاوه بر تزئینی بودن، باربر و سازه‌ای است، اما رسمی‌بندی تزئینی است. همچنین مقرنس کاملاً تزئینی و خارج از دسته‌بندی انواع کاربندی است.
امیر امجد محمدی	۱۳۹۶	کاربندی از عناصری طاقی اصیل معماری ایرانی و مبتنی بر هندسه‌ای هماهنگ که علاوه بر نقش تزئینی، باربر نیز هست؛ اما رسمی‌بندی فقط تزئینی است.

تعریف کار

می‌شود عبارتند از: تیر طاق، لنگه طاق یا تویزه (Mohammadian & Framarzi, 2011). در شکل ۲، کار در کنار قوس، طاق و چفد نمایش داده شده‌اند.

به برشی با ضخامت کم از یک طاق، "کار" گفته می‌شود. دیگر نام‌هایی که برای این عنصر استفاده



شکل ۲. از سمت راست: ترسیمی شماتیک از طاق، کار، چفد و قوس.

Figure 2. From the right: A schematic drawing of a vault (Tāq), rib (Kār), chafd, and Arch (Qous).

شکل گیری کاربردی

ساخت یک بنا فقط یک عمل فنی ساده نیست، بلکه به معنای حل مسائل فنی مرتبط با ایستایی آن با مصالح موجود و همزمان حل مسائل عملکردی و زیبایی و ارتباط آن با محیط اطرافش است. از این رو برپای یک سیستم ایستایی، فرآیندی پیچیده و دارای ارتباطی دو طرفه با دیگر عناصر معماری از قبیل فضا، مصالح، شکل و غیره است (Memarian, 1988).

ارتباط مصالح و فرم با ساختار معماری

فراوانی نوع خاصی از مصالح در یک منطقه، تأثیر قابل توجهی در رونق یک نوع خاص از سیستم‌های ایستایی با استفاده از آن نوع مصالح، در آن منطقه دارد. در بخش بزرگی از کشورمان استفاده از خاک طبیعی به صورت خشت و آجر مرسوم بوده و هست (Ibid) که فقط تحمل نیروهای فشاری را دارند و در مقابل کشش، بسیار ضعیف عمل می‌کنند. در پوشاندن دهانه‌های بزرگ‌تر، ضعف این مصالح آشکارتر می‌شود. برای حل این مسئله، معماران در گذشته دو رویکرد داشته‌اند: نخست، یافتن مصالحی که در برخورد با این جنس نیروها رفتار قابل قبولی داشته باشند؛ و دوم ایجاد سیستم‌های سازه‌ای خاص که بتواند با مصالح موجود دهانه‌های بزرگ‌تر را پوشش دهند. در مورد راهکار نخست، چوب در مسیر تکامل معماری در مناطقی از ایران تا حدودی مورد استفاده قرار گرفت، اما مشکل آسیب‌پذیر بودن در مقابل رطوبت و موربانه و دسترسی محدود به آن، استفاده‌اش را محدود کرد. در ارتباط با راهکار دوم، تحول در فرم رخ داد که تغییری دو منظوره بود. چراکه همزمان با ایجاد فضاهای جدید، می‌توانست بر محدودیت‌های ناشی از ضعف مصالح غلبه کند. در نتیجه، اشکال تغییر یافته و پوشانه‌ها از سطوح صاف به صورت اشکال قوسی شکل درآمدند و طاق‌ها ایجاد شدند (Ziaabadi, 2008).

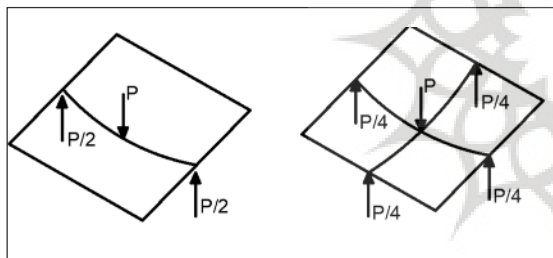
سیستم‌های سازه‌ای در معماری تاریخی ایران

در معماری تاریخی ایران دو نوع سیستم سازه‌ای تیرپوش و طاقی دیده می‌شود که بعد از ورود مصالح جدید به کشور استفاده از این شیوه‌ها کمتر شده ولی

کاملاً از بین نرفته است.

سیستم ایستایی تیرپوش

سیستم تیرپوش از نظر فنی، نیروی وارده را به کمک عنصری که معمولاً تیر چوبی یا سنگی است و با مکانیسم خمشی به عنصری ستون مانند منتقل کرده و در نهایت به تکیه‌گاه می‌رساند (Memarian, 1988). روند تکاملی این سیستم را می‌توان به ترتیب در ساخت تیرهای دوطرفه، شبکه‌ی تیرها و صفحه بیان کرد (شکل ۳). رفتار صفحه، مثل شبکه‌ای از تیرهای بسیار زیاد و باریک به هم پیوسته است. تیرهای این شبکه می‌توانند در هر مسیری عمل کنند، زیرا صفحه را می‌توان به باریک‌های عمود یا مورب تقسیم کرد تا این باریک‌ها بتوانند هر دو نقطه از مرز صفحه را به هم متصل کرده و مانند یک تیر عمل کنند. از این جهت رفتار خمشی یک صفحه به مراتب بهتر از یک تیر است (Salvadori, 1995; Ziaabadi, 2008).



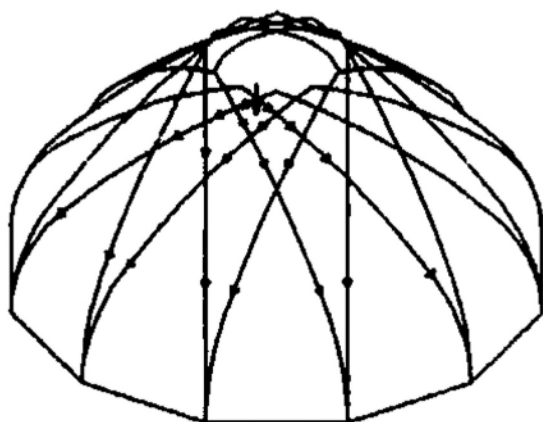
شکل ۳. مقایسه انتقال بار یک‌طرفه و دوطرفه

(Ziaabadi, 2008).

Figure 3. Comparison of one-way and two-way load transfer (Ziaabadi, 2008).

سیستم ایستایی طاق

در این سیستم انتقال نیروی وزن و بارهای جانبی با سازوکار فشاری و اندکی نیروی خمشی رخ می‌دهد. نیرو از طریق قوس به شانه قوس یا پاکار آن می‌رسد، سپس به پایه و در نهایت به تکیه‌گاه و زمین منتقل می‌شود (Memarian, 1988). شکل ۴ روند تغییر شکل پوشش‌های تخت به منحنی را نشان می‌دهد. عملکرد این سیستم با تجزیه نیروها به دو مؤلفه،



شکل ۵. انتقال نیرو در کارهای کاربندی و گره‌های (تقاطع) کاربندی (Ziaabadi, 2008).

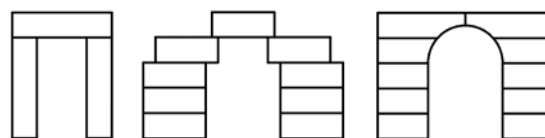
Figure 5. Force transfer in the kār of Karbandi and the intersections (nodes) of Karbandi (Ziaabadi, 2008).

تویزه‌های باربر اصلی، به پایه‌ها و در نهایت پی و زمین انتقال داده می‌شود (Ainehchi & Hosseini, 2011). کاربندی، با ایجاد نقاط تقاطعی که در کاربندی برای تیرهای قوسی، طرح و محاسبه می‌شود، رفتار سازه‌ای متمایزی را از خود نشان داده و مطابق شکل ۵ بر اثر تقاطعی که بین آن‌ها به وجود می‌آید، نوعی تکیه‌گاه جانبی یا گره برای هر تیر قوسی ایجاد می‌شود. هنگام وارد شدن یک بار متمرکز بر هر نقطه‌ای از این سازه، مشاهده می‌شود که از طریق اعضا و بر اساس تقاطع آن‌ها با هم در مسیر حرکت به سمت تکیه‌گاه اصلی تجزیه شده و به اعضای پایین دست منتقل می‌شوند. از طرفی دیگر با تقسیم هر تیر به اعضای کوچک‌تر، طول آزاد اعضا نیز کاهش می‌یابد (Ziaabadi, 2008).

مؤلفه‌های مؤثر بر ساختار کاربندی

نیارش

واژه‌ی نیارش ریشه در معماری تاریخی ایران دارد و مفهوم آن شامل دانش ایستایی، فن ساختمان و ساختمایه (مصالح) شناسی است (Pirnia, 2015). معماران مسائل مربوط به ساخت را با استفاده از این دانش با ژرف‌نگری و اسلوب‌وار حل و فصل می‌کردند؛ البته که یادگیری و تسلط بر آن نیازمند تجربه‌های



شکل ۴. تغییر شکل پوشش‌های تخت به منحنی

(Memarian, 1988).

Figure 4. The transformation of flat coverings into curved ones (Memarian, 1988).

موردبررسی قرار داده می‌شود. مؤلفه اول در جهت محور قوس (عنصر سازه‌ای) که نقش انتقال نیرو به پاقوس و تکیه‌گاه را به کمک عناصر تشکیل‌دهنده برعهده دارد؛ و مؤلفه دوم عمود بر اولی بوده و علاوه بر خنثی کردن نسبی نیروی رانش بالادست، ایستایی پوشش را به کمک عوامل دیگر مانند چسبندگی ملاط و اصطکاک بین مصالح تأمین می‌کند. برای هر دسته از نیروها شکل مخصوصی از قوس (منحنی طنابی) وجود دارد که در آن تمام قوس تحت فشار ساده قرار می‌گیرد (Salvadori, 1995). پس از سیر مراحل تکاملی تیرها و طاق‌ها، از دوران فرم قوسی در فضای سه‌بعدی گنبد، ایجاد شد. گنبد، نوعی پوسته است و به علت خصوصیات هندسی آن، رفتار مطلوب‌تری نسبت به طاق دارد. گنبد، بارها را از طریق نیروهای غشایی منتقل کرده و لنگر خمشی آن بسیار محدود است و به همین علت ضخامت کمتری نسبت به تیرهای قوسی دارد (Salvadori, 1995, Ziaabadi, 2008).

نحوه عملکرد و انتقال نیرو در کاربندی

کاربندی راهکاری متمایز، پیشرفته و جامع است و می‌توان آن را تلفیقی از تیرهای قوسی و گنبد دانست. با این تفاوت که در کاربندی بر اثر تقاطع تیرهای قوسی در فضا، علاوه بر اسکلت‌بندی مناسبی که برای گنبد یا همان پوسته ایجاد شده، از نقاط ضعف تیرهای قوسی هنگامی که به شکل منفرد استفاده می‌شوند، خبری نیست. همچنین، باید در نظر داشت که کاربندی یک سازه‌ی سه‌بعدی است و تصویرش در صفحه بیانگر کامل خصوصیات آن نیست (Ziaabadi, 2008). در کاربندی پوسته‌ی گنبد نیروی وارد بر خود را در تمام جهات پخش کرده و سپس این نیرو به وسیله

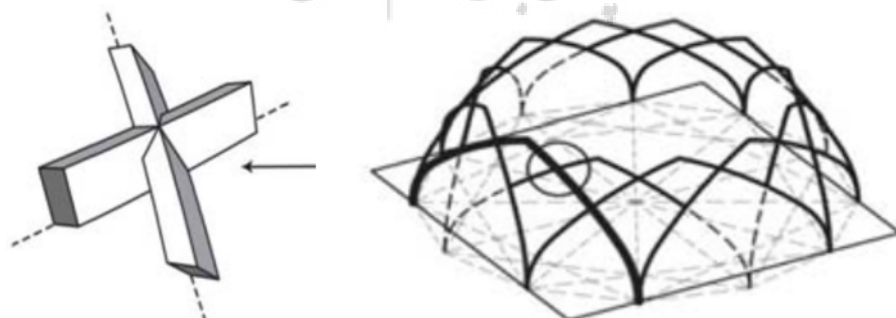
ابزاری برای ایجاد تعادل و هماهنگی، از همان نوعی است که از طرف خالق در ساخت مخلوقات به کار رفته است؛ و آن تعادل و هماهنگی هم جز وحدت در کثرت، چیزی نیست (Memarian, 1988). در بسیاری موارد، بناهای معماری تاریخی ایران، علاوه بر عملکرد ساختمانی خود، وسیله‌ای برای بیان این مفاهیم هستند. عناصر معماری، در آغاز سازه‌ای و برابر بودند ولی با پیشرفت دانش بشری، معماران درصدد تلفیق وجه زیباشناسی اجزا با بعد سازه‌ای آن‌ها برآمدند (Amjad-Mohammadi, 2017). کاربردی نیز یکی از سازه‌های زیبا از نظر شکلی و پیچیده از نظر ساختمانی و ایستایی است که در ابتدا به‌عنوان عنصری برای حل مسئله پوشش سقف ایجاد شده و در سیر تکامل خود با تبدیل به اشکالی پیچیده‌تر با تعداد زیادی اضلاع با تمرکز شکلی به سمت یک نقطه، اکنون دیگر به‌نظر عنصری برای بیان وحدت است (Nazari et al., 2017).

فارابی علم هندسه را دارای دو بخش عملی و نظری می‌داند. هندسه نظری آن بخشی از هندسه است که درباره‌ی طرح کلی اجسام به‌صورت مطلق بحث می‌کند. این هندسه قبل از آنکه نمود خارجی پیدا کند، در ذهن معمار به‌صورت طرحی ایدئال شکل گرفته و سپس ترسیم می‌شود. بعد از این مرحله، آنچه ترسیم شده است به کمک ابزار و در قالب هندسه عملی به اجرا درمی‌آید. شکل ۶ نمونه‌ای از تفاوت این دو هندسه در کاربردی را نشان می‌دهد. تفاوت در شیوه‌ی انتقال از هندسه نظری به عملی، موجب تفاوت در نتیجه

پیوسته، دانش هندسه، تناسبات و ترکیب آن‌ها با هوش و مهارت معمار بوده است. معمار با بهره‌بردن از این علم، تقابل نیروهای بنا را به تعادل و توازن پایا می‌رساند و در عین به حداقل رسیدن ابعاد سفت‌کاری آن، موجب ایجاد احجام و اشکالی زیبا می‌شود (Memarian, 1988). در ایران قدیم، معماری و سازه رشته‌ی واحدی بودند و در ساخت یک فضا آن‌قدر با هم آمیخته بودند که هیچ‌گونه جدایی، تفاوت یا تناقضی بین این دو دیده نمی‌شد (Motamedi Shafiq & Zolfagharzadeh, 2015).

علم هندسه: انواع و کاربردهای آن در معماری

معنی لغت هندسه را دهخدا این‌گونه بیان می‌کند: "معرب کلمه‌ی اندازه در فارسی و رشته‌ای از علم ریاضی است که به مطالعه‌ی فضا و اشکال قابل تصور در آن می‌پردازد" (Amjad Mohammadi, 2017). هدف نهایی هندسه، آماده کردن ذهن برای ادراک حیات کیهانی افلاک و رهیافت به روشی است که در آن به عالم، نظم و سامان داده می‌شود. هندسه روح را به سوی حقیقت سوق می‌دهد" (Ashayeri, et.al, 2022). هندسه در معماری به معمار کمک می‌کند با ارائه یک الگوی مناسب و با بهره‌گیری از اشکال، روابط و خواص هندسی، فضای بصری ناظر را فرم دهد (Mohades-Khorasani et.al, 2015). معماری تاریخی ایران با هندسه پیوندی عمیق دارد. پوپ در کتاب سیری در هنر ایران، هندسه و ریاضیات را ابزار ایرانی‌ها برای انتقال مفاهیم عالم معنا دانسته است (Ashayeri et.al, 2022). هندسه در معماری اسلامی



شکل ۶. تفاوت هندسه نظری و عملی در کاربردی (Raisi, Bemanian, & Tehrani, 2013).

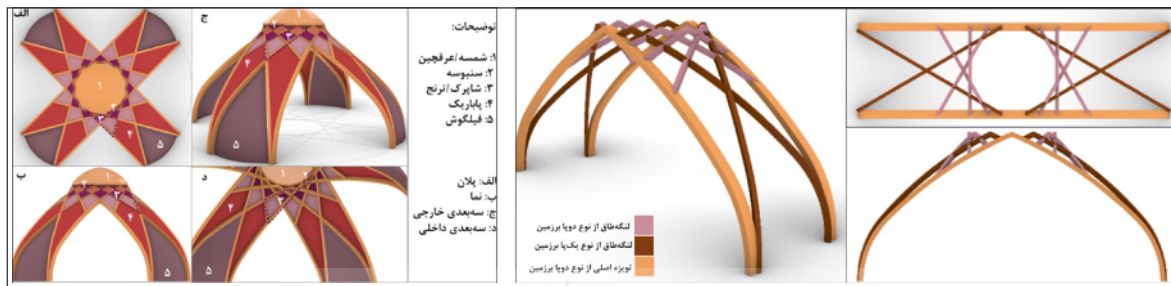
Figure 6. The difference between theoretical and practical geometry in Karbandi (Raisi, Bemanian, & Tehrani, 2013).

نهایی می‌شود. به‌عنوان مثال کاربردی‌های مختلفی وجود دارند که با وجود هندسه نظری یکسان، اما در اجرای شکلی با یکدیگر تفاوت دارند.

عناصر کاربردی

مطابق شکل ۷، عناصر تشکیل‌دهنده کاربردی به دو

بخش آلت‌های کاربردی و کارها قابل تقسیم هستند. آلت‌های کاربردی، مفاهیم هندسی مجرد و اشکال فضایی مختلفی هستند که از تقاطع کارهای کاربردی ایجاد می‌شوند (Salavati, 2014) (به تعاریف جدول ۲ نگاه کنید). توپزه و لنگه، دو دسته اصلی کارهای کاربردی هستند (به تعاریف جدول ۳ نگاه کنید).



شکل ۷. چپ، آلت‌های تشکیل‌دهنده کاربردی. راست، انواع کارها در کاربردی.

Figure 7. Left, the components forming the Karbandi. Right, the types of kār in Karbandi.

جدول ۲. انواع آلت‌های کاربردی و تعاریف آن‌ها.

Table 2. Types of Karbandi tools and their definitions

شمشه	در لغت به‌معنای خورشید است. نه‌تن‌یا عرقچین نیز به آن گفته می‌شود. گنبدی کم‌خیز است که در بالاترین بخش کاربردی ساخته می‌شود (Bozorgmehr & Pirnia, 2006). برخی منابع گنبد روی شمشه را عرقچین می‌نامند. در منابع مختلف خارجی با عناوینی همچون «مدال بزرگ چندضلعی در قسمت انتهایی تزیینات طاق» و «چندضلعی ستاره‌ای» از آن نام برده شده است (Nazari et al., 2017).
سنوسه	این آلت دارای سه ضلع بوده و برای ایجاد گردی زیر شمشه، روی شاپرک‌ها ساخته می‌شود. (Bozorgmehr & Pirnia, 2006).
شاپرک / ترنج	لوزی‌های خمیده‌ای هستند که روی ضلع بالایی دو پاباریک ساخته می‌شوند. روی هر پاباریک حداقل دو شاپرک وجود دارد و در برخی موارد نیز شاپرک‌ها در چند ردیف روی هم ساخته می‌شوند. (Bozorgmehr & Pirnia, 2006).
پا باریک	پاباریک‌ها اشکالی خمیده و چهارضلعی مانند یک لوزی کشیده شده هستند که میان دو طاق کنار هم ایجاد می‌شوند؛ هر گوشه از زمینه یک پاباریک دارد. (Ainehchi & Vali-Beig, 2019).
فیل‌گوش	آلتی است که در گوشه‌های کار و همیشه بین دو پاباریک قرار گرفته است و باید اضلاع آن دوجه‌دو با هم مساوی باشند. در غیر این صورت فیل‌گوش ناگزیر به سوسنی تبدیل می‌شود و زمینه‌ی کار به شکل هشت‌ضلعی، شش‌ضلعی و غیره درمی‌آید. (Ainehchi & Vali-Beig, 2019).
سوسنی / سینه‌باز	در کاربردی‌های رسمی کشیده، برای رساندن کارها به شمشه یا خورشیدی وسط در زمینه‌ی کاربردی، به یک اندام واسطه‌ای نیاز است که روی آن کارهای یک پا و دو پا در هوا جای می‌گیرند، به این عضو سوسنی می‌گویند. (Ainehchi & Vali-Beig, 2019).

جدول ۳. انواع کارهای کاربردی.

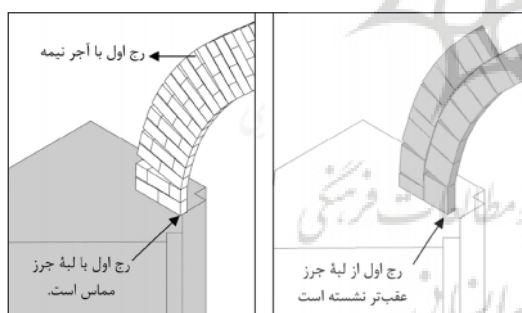
Table 3. Types of kār (rib) in Karbandi.

تویزه	قوس باربری است که کل بارهای پوشش را از قبیل وزن چشمه و طاق، به پایه‌ها و زمین منتقل میکند. این قوس همیشه به صورت یک قوس کامل و متقارن ساخته می‌شود. (Ainehchi & Vali-Beig, ۲۰۲۱). به آن دوپا بر زمین نیز می‌گویند. (Mohammadian & Framarzi, 2011).
لنگه	لنگه‌ها قطعاتی از یک کار هستند که پای آن‌ها بر روی پاکار، تویزه‌ها یا بر روی سایر لنگه‌های کاربردی قرار می‌گیرند. لنگه در نقش هدایت‌کننده و پخش بار اصلی از تویزه‌ها به ستون‌ها و سایر عناصر هستند. لنگه‌های بدون پاکار، دوپا (لنگ) در هوا و لنگه‌های دارای یک پاکار، یکپا (لنگ) در هوا یا یکپا بر زمین نامیده می‌شوند. (Salavati, 2014; Mohammadian & Framarzi, 2011).

نیاز است؛ اما در کارهای با طول کم، پایه‌های سبک هم کافی است. پایه‌ها بعد از تراز شدن، از بالا و پایین به یکدیگر کلاف می‌شوند و سپس قالب روی آن‌ها متصل می‌شود. زمان باز کردن قالب و پایه‌های آن در ساخت کارهای طویل و سنگین، بین ۷ تا ۱۰ روز بعد از اجرا است (Zomarshidi, 1998).

جاگذاری قالب

در نحوه جاگذاری قالب دو روش متفاوت وجود دارد (شکل ۸). این تفاوت در جاگذاری قالب در نهایت منجر به دو روش اجرایی مختلف می‌شود. در روش اول، قالب در لبه‌ی جرز جاگذاری می‌شود و از آنجا که قالب روی جرز تکیه ندارد، عمود نگه‌داشتن آن مشکل‌تر است. در روش دوم، پای قالب روی جرز می‌نشیند و در نتیجه‌ی این تفاوت، نحوه‌ی قرارگیری باریکه‌ی طاق‌ها بر روی جرزها نیز متفاوت می‌شود. در روش اول که قالب در لبه‌ی جرز است، رج اول باریکه‌ی طاق با سطح داخلی جرز مماس می‌شود. ولی در روش دوم که قالب روی جرز است، رج اول باریکه‌ی طاق از لبه جرز حداقل حدود پنج سانتی‌متر عقب‌تر قرار می‌گیرد.



شکل ۸. شمایی از تفاوت ردیف اول باریکه‌طاق به علت تفاوت جاگذاری قالب (Salavati, 2014).

Figure 8. A schematic of the difference in the first row of the ribs due to the difference in mold placement (Salavati, 2014).

معرفی آلت‌های کاربردی در سطح تخمیر

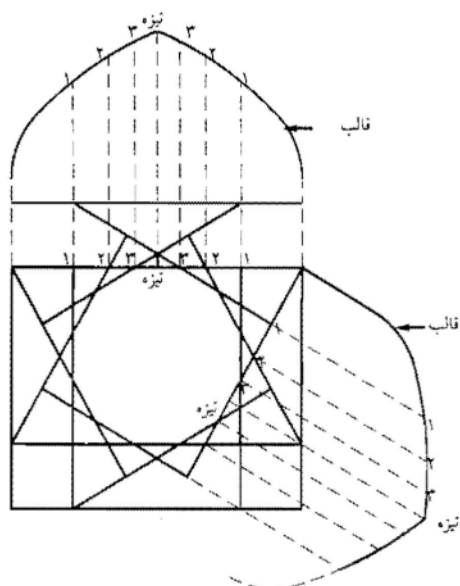
اجرای کاربردی با احداث تخمیر شروع می‌شود. سطح تخمیر، یک سطح تراز و صاف شده روی زمین برای ترسیم نقشه کاربردی است (Vafai & Farbod, 2011).

ساخت و جزئیات اجرایی کاربردی

در این بخش به توضیح انواع قالب و نحوه ساخت آن‌ها، نحوه انتقال هندسه نظری روی زمین و انتقال آن به سطوح سه‌بعدی و ترتیب اجرای کارها در ساخت کاربردی پرداخته می‌شود.

قالب

قالب‌های قوس مورد استفاده در ساخت کاربردی در مقیاس یک‌به‌یک ساخته می‌شود. با توجه به نیاز به قالب کامل یا نیمه در مراحل مختلف ساخت قوس‌ها، برای سهولت اجرا، افزایش سرعت و کاهش هزینه‌ها، بعد از اجرای قوس‌های کامل، برای ساخت قوس‌های نیمه، مانند لنگه‌های یک پا در هوا و یا دو پا در هوا، قالب از وسط بریده می‌شود. برای ساخت کارهای کم ضخامت می‌توان از قالب تک لایه استفاده کرد؛ اما برای ساخت کارهای با ضخامت زیاد و یا کارهای طویل، قالب دوبله مورد نیاز است (Salavati, 2014). قالب‌ها می‌توانند از جنس گچ و نی، چوب یا فلز باشند. برای ساخت کارهای طویل و سنگین، در زیر قالب‌ها پایه‌های باربر مورد



شکل ۱۰. انتقال هندسه پلانی کاربندی از تخمیر به سطوح سه‌بعدی (Rais Zadeh & Mofid, 1995).

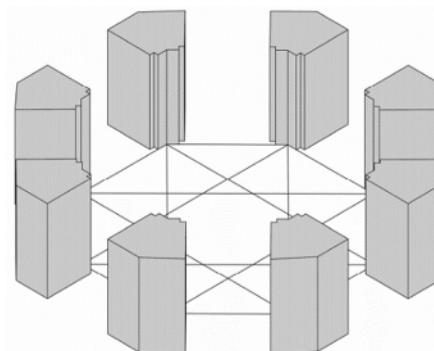
Figure 10. The transformation of the planar geometry of the Karbandi from a flat surface to three-dimensional surfaces (Rais Zadeh & Mofid, 1995).

و از سمت دیگر آن بر روی لنگه دیگر قرار دارند، بنا می‌شوند. لنگه‌های آخر، دارای ضخامتی کمتر از دو دسته قبلی هستند، زیرا نقش سازهای ندارند. با طی این روند استخوان‌بندی کل گنبد ایجاد می‌شود. سپس فواصل بین تویزه‌ها و لنگه‌های کاربندی با آجر پر می‌شوند. در آخر، پوسته‌ی شمشه (عرقچین) از روی تویزه‌ها به سمت بالا اجرا می‌شود (Ainehchi & Vali-Beig, 2021).

جمع‌بندی

هدف این تحقیق، آرایه جمع‌بندی از مؤلفه‌های مؤثر بر ساختار کاربندی است. کاربندی، از باریکه‌ی طاق‌هایی با هندسه وتری و هماهنگ ایجاد می‌شود و توأماً دارای نقش باربر و تزئینی است. هندسه وتری، اتصالات منظم و روی هم قرارگیری نقاط اصلی زمینه و کاربندی روی دایره مینا، از خصوصیات اصلی کاربندی هستند. مؤلفه‌های ساختار کاربندی را می‌توان ذیل دو بخش هندسه نظری و عملی بررسی نمود؛ باید دقت

تصویر کاربندی بر روی تخمیر با مقیاس یک‌به‌یک ترسیم شده و محل تقاطع آلت‌های کاربندی و نقاط هم‌ارتفاع آن روی تخمیر مشخص می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹. شمایی از ترسیم هندسه کاربندی روی تخمیر، جهت اجرای کاربندی (Salavati, 2014).

Figure 9. A schematic of drawing the geometry of Karbandi on a flat surface, for the execution of Karbandi (Salavati, 2014).

انتقال هندسه پلانی کاربندی به سطوح سه‌بعدی

در ادامه مطابق شکل ۱۰، برای همه کارها، به‌ترتیب قالب روی هر یک از خطوط تخمیر جاگذاری شده و نقاط مشخص شده روی تخمیر با شاغول به بالا و روی قالب منتقل می‌شوند (Amjad-Mohammadi, 2017).

ترتیب کلی اجرای کارها

سلسله مراتب اجرا در کاربندی‌ها، از سمت کارهای با درجه‌ی باربری بیشتر به سمت کارهای با درجه‌ی باربری کمتر است. ابتدا، چهار تویزه‌ی کناری، معمولاً با شیوه‌ی رومی، بر روی جرزهای بنا ساخته می‌شوند. در ادامه، با ایجاد تویزه‌های میانی و نهان که از دو سو بر روی جرزهای اصلی بنا قرار می‌گیرند، بخش باربر اصلی گنبد ساخته می‌شود. در مراحل بعدی با استفاده از بخشی از قالب چوبی اولیه، ابتدا لنگه‌هایی که از یک‌طرف بر روی جرزهای بنا و از طرف دیگر روی تویزه‌های میانی جای گرفته‌اند و سپس لنگه‌هایی که از یک سمت بر روی تویزه میانی

analysis and construction process of special vaulting in the Timchehs of the Historical Bazaar of Tabriz. Journal of Research on Archaeometry Journal, 6(2), 73-89. (In Persian).

[آینه‌چی، شهرزاد، و نیما ولی‌بیگ. (۱۴۰۰). «تحلیل معماری و فرایند ساخت کاربندی‌های ویژه تیمچه‌های بازار تاریخی تبریز». پژوهش باستان سنجی ۶ (۲): ۸۹-۷۳.]

Ainehchi, S., & Vali-Beig, N., & Tehrani, F. (2019). Comparison of the geometry and drawing method of ribbed vaults: Case studies of ribbed vaults in fields 10, 12, 14, and 16. Journal of Architecture and Urban Planning, 29(84), 74-91.

Amir-Ashayeri, S., Balilan-Asl, L., Satarzadeh, D., & Habib, F. (2022). Exploring the role of rational and perceptible geometry in the architecture of Soltaniyeh Dome. Islamic Art Studies Journal, 19(45), 27-49. (In Persian).

[امیرعشایری، سواره، و بلیلان اصل، لیدا، و ستارزاده، داریوش، و حبیب، فرح. (۱۴۰۱). «واکاوی نقش هندسه معقول و محسوس در معماری گنبد سلطانیه». نشریه مطالعات هنر اسلامی ۱۹ (۴۵): ۴۹-۲۷.]

Amjad-Mohammadi, A. (2017). Research on the geometry of Karbandi in the historical Bazaar of Tabriz for application in free surface design (Master's thesis). Islamic Art University of Tabriz. (In Persian).

[امجدمحمدی، امیر. (۱۳۹۶). «پژوهشی در هندسه کاربندی‌های بازار تاریخی تبریز برای کاربری در طراحی سطوح آزاد». پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.]

Bozorgmehr, Z., & Pirnia, K. (2006). Geometry in architecture (1st ed.). Subhan Noor Publications, Cultural Heritage Organization, Tehran. (In Persian).

[بزرگمهری، زهره و پیرنیا، کریم (۱۳۸۵)، هندسه در معماری، چاپ اول، سبحان نور و سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران.]

Faramarzi, S., & Tehrani, F. (2022). Geometric and structural features in the Karbandi of the Qajar era. Golestan Honar, 7(2), 48-60. (In Persian).

[فرامرزی، سینا، و فرهاد تهرانی. (۱۴۰۱). «ویژگی‌های

داشت که ارتباط این دو هندسه یک ارتباط تعاملی و دو طرفه است و همچنین دارای مؤلفه‌های مشترک نیز هستند. هر یک از این مؤلفه‌ها بر روند شکل‌گیری این عنصر طاقی تأثیر داشته و نیز در این روند، خود دچار تغییر شده‌اند. همچنین بعد از شکل‌گیری نهایی کاربندی، همین مؤلفه‌ها موجب ایجاد انواع کاربندی شده‌اند. انواع کار، عناصر تشکیل‌شده از تقاطع کارها، جزئیات اجرایی همچون انواع و نحوه‌ی استفاده از قالب، انتقال هندسه‌ی پلانی از کاغذ به زمین و از زمین به سطح سه‌بعدی و ترتیب اجرای کارها از جمله این مؤلفه‌ها هستند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد «فاطمه شروانی‌تبار» با عنوان «مطالعه برای تبیین نیارش در ترکیب کارهای کاربندی جهت ارائه راهکار برای پایداری لرزه‌ای» است که با راهنمایی «دکتر احد نژاد ابراهیمی» و «دکتر محمدرضا چناقلو» در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است. بدین‌وسیله بر خود واجب می‌دانم که از استادان محترم راهنما و مشاور که این مقاله مستخرج از آن است، تشکر و قدردانی نمایم.

حامیان مادی و معنوی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول مقاله با عنوان «مطالعه برای تبیین نیارش در ترکیب کارهای کاربندی جهت ارائه راهکار برای پایداری لرزه‌ای» است که با حمایت و امکانات مادی و معنوی دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام شده است.

منابع

Ainehchi, S., & Hosseini Foujerdi, S. M. (2011). Review and study of the Southern Timcheh Amir cover in Tabriz Bazaar. Asar Quarterly, 53, 5-14. (In Persian).

[آینه‌چی، شهرزاد، و سید محسن حسینی فوجردی. (۱۳۹۰). «بازبینی و بررسی پوشش تیمچه امیر جنوبی در بازار تبریز». فصلنامه اثر (۵۳): ۱۴-۵.]

Ainehchi, S., & Vali-Beig, N. (2021). Architectural

هندسی و سازه‌ای در کاربندی‌های دوره قاجار». گلستان هنر ۷ (۲): ۴۸-۶۰.

Godarzi Soroush, Kh. (2015). Gerehsazi and Karbandi. Tehran: Payam Noor University. (In Persian).

[گودرزی سروش، خلیل. (۱۳۹۴). گره سازی و کاربندی. تهران: دانشگاه پیام نور].

Laylian, M. R. (2011). The interaction of architectural space and structure in Karbandi with structural role in the Bazaar of Tabriz. Asar Quarterly, 53, 111-126. (In Persian).

[لیلیان، محمدرضا. (۱۳۹۰). «چگونگی تعاملات فضای معماری و سازه در کاربندی‌های با نقش سازه‌ای در بازار تبریز». فصلنامه اثر (۵۳): ۱۱۱-۱۲۶].

Makinejad, M. (2006). Selected works of Master Asghar Sharbaaf: Gereh and Karbandi. Tehran: Matin Publishing Institute. (In Persian).

[مکی‌نژاد، مهدی. (۱۳۸۵). گزیده آثار استاد اصغر شرعاف: گره و کاربندی. تهران: موسسه تالیف، ترجمه و نشر آثار متین].

Memarian, G. (1988). Structural design of vaulted structures in Islamic architecture of Iran. Tehran: University of Science and Industry. (In Persian).

[معماریان، غلامحسین. (۱۳۶۷). نیارش سازه‌های طاقی در معماری اسلامی ایران. تهران: جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت].

Mohades-Khorasani, A., Horfer, H., & Godarzi, M. (2015). An introduction to architectural geometry. 46th Iranian Mathematical Conference, Yazd. (In Persian).

[محدث‌خراسانی، علی، حمید هورفر، و مرجان گودرزی. (۱۳۹۴). «درآمدی بر هندسه معماری». چهل و ششمین کنفرانس ریاضی ایران، یزد].

Mohammadian Mansour, S., & Framarzi, S. (2011). Typology and formulation of the geometric structure of Karbandi in Iranian architecture. Fine Arts Journal - Architecture and Urbanism, 48, 97-109. (In Persian).

[محمدیان منصور، صاحب، و سینا فرامرزی. (۱۳۹۰). «گونه

شناسی و تدوین ساختار هندسی کاربندی در معماری ایران». نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی (۴۸): ۹۷-۱۰۹.

Motamedi Shafiq, S., & Zolfagharzadeh, H. (2015). Review of the role of structural design in past and contemporary Iranian architecture. First Specialized Conference on Iranian Architecture and Urbanism, Kharazmi Higher Institute of Science and Technology, Shiraz. (In Persian).

[معتدلی شفیق، شیوا، و حسن ذوالفقارزاده. (۱۳۹۴). «بررسی جایگاه نیارش در معماری گذشته و معاصر ایران». اولین کنفرانس تخصصی معماری و شهرسازی ایران، مؤسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، شیراز].

Nazari, S., Mozaherian, H., Memarian, G., & Kazempour, H. R. (2017). Typology and geometric and structural analysis of Yazdibandi in Iranian architecture. Fine Arts Journal - Architecture and Urbanism, 22(1), 53-64. (In Persian).

[نظری، سهیل، حامد مظاهریان، غلامحسین معماریان، و حمیدرضا کاظم‌پور. (۱۳۹۶). «گونه شناسی و تحلیل هندسی و سازه‌ای یزدی بندی در معماری ایران». نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی ۲۲ (۱): ۵۳-۶۴].

Nejad Ebrahimi, A., Shahbazi, Y., & Amjad-Mohammadi, A. (2017). Structural typology of Karbandi and Rasmi-bandi in Iranian architecture based on location and application. Islamic Architecture and Urbanism Culture, 3(4), 41-25. (In Persian).

[نژاد ابراهیمی، احد، و یاسر شهبازی، و امیر امجدمحمدی. (۱۳۹۶). گونه شناسی ساختاری کاربندی و رسمی بندی در معماری ایران بر مبنای ساختگاه و کاربست. فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی ۳ (۴): ۲۵-۴۱].

Neyestani, J., & Rahimian, F. (2017). Domes and cupolas in Islamic architecture of Iran (From the early 5th century to the end of the 9th century AH): Theories, approaches, and styles. Tehran: Arman Shahr. (In Persian).

[نیستانی، جواد، و فرشاد رحیمیان. (۱۳۹۶). گنبد و چپیره در معماری اسلامی ایران (از آغاز قرن پنجم تا پایان قرن نهم هجری): نظریه‌ها، رویکردها و سبک‌ها. تهران: آرمانشهر].

Pirnia, M. K. (2015). Style in Iranian architecture. Tehran: Sorosh (In Persian).

[پیرنیا، محمدکریم. (۱۳۹۴). سبک شناسی معماری ایرانی. تهران: سروش].

Pour Ahmadi, Mojtaba. 2014. "A Basic Method for Naming Persian Karbandis Using a Set of Numbers." Nexus Network Journal Architecture and Mathematics (16): 313-343.

Pournaderi, H. (2000). Sharbaaf and his works, Volume 2: Gereh and Karbandi. Tehran: Cultural Heritage Organization Publications. (In Persian).

[پورنادری، حسین. (۱۳۷۹). شعراف و آثارش جلد دوم گره و کاربندی. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور].

Rais Zadeh, M., & Mofid, H. (1995). Revival of forgotten arts and traditional architecture in Iran as told by Master Hossein Lorzadeh. Tehran: Mulli. (In Persian).

[رئیس زاده، مهناز، و حسین مفید. (۱۳۷۴). احیای هنرهای از یاد رفته و معماری سنتی در ایران به روایت استاد حسین لرزاده. تهران: مولی].

Raisi, M., Bemanian, M. R., & Tehrani, F. (2013). Revisiting the concept of Karbandi geometry based on theoretical, practical, and structural geometry. Iranian Restoration and Architecture Journal, 3(5), 33-54. (In Persian).

[رئیس، مهدی، محمدرضا بمانیان، و فرهاد تهرانی. (۱۳۹۳). «بازنگری در مفهوم هندسه کاربندی بر مبنای هندسه نظری، عملی و نقش ساختمانی». نشریه مرمت و معماری ایران ۳ (۵): ۳۳-۵۴].

Salavati, A. (2014). Study of methods and details of Karbandi covers with emphasis on the arched struts in some contemporary and historical examples. Asar Quarterly, 62, 53-68. (In Persian).

[صلواتی، عباس. (۱۳۹۳). «بررسی روش‌ها و جزییات پوشش‌های کاربندی با تأکید بر باریکه طاق‌های باربر در برخی از نمونه‌های معاصر و تاریخی». فصلنامه اثر (۶۲): ۵۳-۶۸].

Salvadori, M. (1995). Structures in architecture (M. Golabchi, Trans.). Tehran: Tehran University. (In Persian).

[سالوادوری، ماریو. (۱۳۷۴). سازه در معماری. ترجمه محمود گلابچی، تهران: دانشگاه تهران].

Sharbaaf, A. (2006). Gereh and Karbandi. Tehran: Subhan Noor. (In Persian).

[شعراف، اصغر. (۱۳۸۵). گره و کاربندی. تهران: سبحان نور].

Tehrani, F. (2011). A reassessment of Karbandi and introduction of special Karbandi in the Tabriz Bazaar. Asar Quarterly, 53, 85-96. (In Persian).

[تهرانی، فرهاد. (۱۳۹۰). «نگرشی دوباره بر کاربندی و معرفی کاربندی ویژه در بازار تبریز». فصلنامه اثر (۵۳): ۸۵-۹۶].

Vafai, S., & Farbod, F. (2011). The role of decorative elements in the Timcheh of the Grand Bazaar of Qom in the Qajar Era. Book Monthly Art Journal, 161, 50-59. (In Persian).

[وفایی، سمانه، و فریناز فربود. (۱۳۹۰). «جایگاه عناصر تزئینی تیمچه بزرگ بازار قم در عصر قاجار». نشریه کتاب ماه هنر (۱۶۱): ۵۹-۵۰].

Ziaabadi, A. (2008). Karbandi as the origin of space-structure systems. Asar Quarterly, 46, 33-54. (In Persian).

[ضیاءآبادی، آرش. (۱۳۸۷). «کاربندی خاستگاه سازه‌های فضاکار». فصلنامه اثر (۴۶): ۵۴-۳۳].

Zomarshidi, H. (1998). Architecture of Iran - Traditional materials. Tehran: Zomord Publications. (In Persian).

[زمرشیدی، حسین. (۱۳۷۷). معماری ایران - مصالح‌شناسی سنتی. تهران: زمرد].