Journal of Athar
ISSN: 2538-1830 | Volume 42 | Issue 2 | Summer 2021

Analysis of Repetition Pattern and Geometric Characteristics of Regular Bases in Karbandi

Mir Ali Aidini[1], Yaser Shahbazi[2*], Farhad Akhundi[3]

1. Master Student, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
2. Associate Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

Article Info

Original Article

Received: 2021/03/20;
Accepted: 2021/07/06;
Published Online 2021/09/15

10.30699/athar.42.2.194

Use your device to scan and read the article online

Corresponding Author
Yaser Shahbazi
Associate Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
Email:
y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

ABSTRACT

The Karbandi is one of the original elements of Iranian architecture that has been an outcome of Iranian architects' dominance on geometry and mathematics. Designing Karbandies, choosing the base is a crucial key. It has always been a question "How to easily found related Karbandies for a Specific base?" and "By what pattern are the regular bases in Karbandies repeated?'. The present study is done to answer these questions. To achieve this goal, first, all the drawable Karbandies were drawn and then the bases in them were examined and explored. Bases in Karbandies were divided into two general coincidental and non-coincidental categories. Then the number of Karbandies with squares, rectangles, equilateral triangles, and regular polygons and corresponding repetition pattern for each plan was determined. It was shown that for each regular polygon the general pattern of repetition is $a_n=kn*n$ $k,n\epsilon N$. Also, the relationship between chord length in planar geometry of Karbandi, the height of Karbandi, and area of Shamse was examined and it was stated that the more we move in the types of one specific number of Karbandi, the length of the chord, the height of Karbandi and number of internal divisions in its geometry increases, but the area of the Shamse decreases. Besides, by examining a special type with the ability to generalize to all number of Karbandies, it was concluded that the length of the chords and consequently the height of the Karbandi is decreasing, but the area of the Shamse is increasing.

Keywords: Karbandi, Geometry, Base, General sequence, Iranian architecture

Copyright © 2021. This open-access journal is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

How to Cite This Article:

Aidini, M A, Shahbazi Y, Akhundi, F. (2021). Analysis of Repetition Pattern and Geometric Characteristics of Regular Bases in Karbandi. *Athar, 42*(2), 194-210.

مجلهٔ علمی اثر
شاپا: ۱۸۳۰-۲۵۳۸ دوره ۴۲ | شماره ۲ | تابستان ۱۴۰۰

مقالهٔ پژوهشی

واکاوی مفاهیم مشترک تکرارشونده و مشخصات هندسی زمینه‌های منتظم در کاربندی

میرعلی آیدینی[۱]، یاسر شهبازی*[۲]، فرهاد آخوندی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده فناوری معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
۲. دانشیار، سازه‌های هوشمند و فناوری معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
۳. استادیار، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۳۰
پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۵
انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴

نویسندهٔ مسئول:
یاسر شهبازی
دانشیار سازه‌های هوشمند و فناوری معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
پست الکترونیک:
y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

خلاصه

کاربندی یکی از عناصر اصیل معماری ایرانی، حاصل ذوق و تسلط معماران ایرانی بر علم ریاضیات و هندسه بوده است. در استفاده از کاربندی‌ها، زمینه (پلان یا کارشیو) یکی از ارکان جدایی‌ناپذیر فرآیند طراحی می‌باشد و همواره این سؤالات مطرح بوده است که چگونه می‌توان برای یک زمینه، به‌سادگی کاربندی‌های مربوط به آن را پیدا نمود؟ زمینه‌های منتظم موجود در کاربندی‌ها با چه مفاهیم مشترک تکرارشوندهٔ هندسی تکرار می‌شوند؟ پژوهش حاضر با اتکا بر برهان‌های ریاضی و گزاره‌های قاعده‌مند و مبتنی بر علم هندسه و احکام بدیهی در صدد پاسخگویی به سؤالات مذکور است؛ لذا روش تحلیل به‌کاررفته در آن روش توصیفی و استدلال منطقی است که اطلاعات لازم در مورد کاربندی به‌صورت مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی مقالات داخلی و خارجی، مشاهدات میدانی و مدل‌سازی‌های رایانه‌ای گردآوری شده است. نخست تمامی کاربندی‌های ممکن، ترسیم و مدل‌سازی شده و سپس زمینه‌های موجود در آن‌ها بررسی وکنکاش شدند. سپس شمارهٔ کاربندی‌ها، n، نوع آن، m و الگوی تکرار برای زمینه‌های منطبق، مربع، مستطیل، مثلث متساوی‌الاضلاع و چندضلعی منتظم مشخص شده است. نشان داده شد که برای هر k ضلعی منتظم جملهٔ عمومی الگوی تکرار آن به ازای $k\geq 3$ به‌صورت $a_n=kn*n \quad k,n\epsilon N$ می‌باشد. در ادامه، نشان داده شد که تمامی کاربندی‌های زوج با شمارهٔ بزرگ‌تر از چهار، منطبق بر زمینهٔ پرکاربرد مستطیلی خواهند بود. رابطهٔ بین طول وتر در هندسهٔ پلانی کاربندی، ارتفاع کاربندی و مساحت شمسه نیز ارزیابی شد. نتایج ارزیابی حاکی از آنست که برای یک شمارهٔ ثابت n، هرچقدر در نوع آن کاربندی، m، پیش می‌رویم، طول وتر، دهانهٔ قوس، ارتفاع کاربندی و تعداد تقسیم‌بندی‌های داخلی در هندسهٔ کاربندی افزایش و مساحت شمسه کاهش می‌یابد. همچنین برای یک نوع خاص m، با افزایش شماره، n، طول وترها و در نتیجه ارتفاع کاربندی کاهش و مساحت شمسه افزایش می‌یابد.

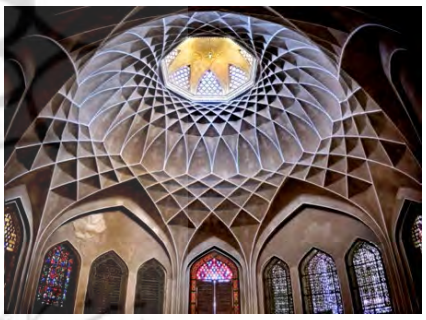
کلیدواژه‌ها: کاربندی، هندسه، زمینه، جملهٔ عمومی، معماری ایرانی

حق کپی‌رایت انتشار: این نشریه دارای دسترسی باز، تحت قوانین گواهینامه بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 International License منتشر می‌شود که اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می‌دهد.

آیدینی، میرعلی ، شهبازی، یاسر، آخوندی، فرهاد (۱۴۰۰). واکاوی مفاهیم مشترک تکرارشونده و مشخصات هندسی زمینه‌های منتظم در کاربندی. *فصلنامه علمی اثر*، ۴۲ (۲)، ۱۹۴-۲۱۰.

مقدمه

مطالعه و بررسی فناوری‌های گذشته در عصر حاضر، با توجه به این نکته که تعداد کمی از استادکاران حرفه‌ای در دسترس باقی مانده‌اند، امری ضروری و حائز اهمیت است (Ainechi et al., 2019a). در این میان، کاربندی گونه‌ای پوششی در معماری ایرانی از سدهٔ چهارم خورشیدی به بعد، حاصل نبوغ معماران ایرانی در بهره‌گیری از هندسه و ریاضیات برای طراحی و پوشش بناها بوده است. کاربندی، ریشه‌ای کاملاً ایرانی دارد و اگر در کشورهای دیگر نیز مشاهده می‌شود باید در جستجوی ریشهٔ آن در ایران بود (Memariyan, 2016). کاربندی یک سیستم فضایی است که برخی از انتقال هندسهٔ ستاره‌وار روی یک سطح منحنی به‌دست می‌آید (Garofalo, 2016). از کاربندی گاه به‌عنوان پوشش اصلی سقف و گاه به عنوان سقف دوم، سقف کاذب، برای دو لایه کردن سقف با توجه به اقلیم‌های مختلف ایران استفاده شده است (شکل۱). همچنین یکی دیگر از کاربردهای این عنصر معماری تبدیل پلان مربع به دایره و یا به تعبیری گوشه‌سازی بوده است. این تبدیل همواره از دغدغه‌های اصلی معماران سنتی ایرانی بوده است که راهکارهای متنوعی برای آن یافته‌اند. کاربندی را می‌توان یکی از تکامل یافته‌ترین و زیباترین روش‌های مورد استفاده برای گوشه‌سازی دانست. از کاربندی در زمینه نیم‌کار برای پوشش ایوان‌ها استفاده شده است (شکل۲). در طراحی کاربندی‌ها، به‌دلیل ساختار هندسی قانونمند آن نمی‌توان هر کاربندی را در هر زمینه‌ای طراحی و اجرا کرد (Pour Ahmadi & Sohrabi, 2019). به‌عبارت دیگر هر کاربندی، دارای زمینه‌های مخصوص خود بوده و طراح باید بداند که برای هر زمینه با تناسبات خاص خود به سراغ کدام شماره از کاربندی‌ها برود.



شکل ۱. کاربندی عمارت باغ دولت‌آباد، یزد، ایران

شکل ۲. نیم‌کاربندی مسجد-مدرسهٔ آقا بزرگ خان، کاشان، ایران

روش بررسی

سوال اصلی که ضمن مرور منابع هنوز پاسخ مناسبی بدان ارایه نشده آنست که مفاهیم مشترک تکرارشونده هندسی شماره‌های مختلف کاربندی بر حسب زمینه‌های مربع، مستطیل، مثلث متساوی‌الاضلاع و n ضلعی‌های منتظم چگونه است؟ در این پژوهش هدف ارائه و ترسیم کاربندی با بیانی ساده، منسجم و به دور از مرزبندی‌های سنتی برای درک راحت‌تر مخاطب از هندسه کاربندی است. همچنین، زمینه‌های مستطیل، مربع، مثلث و چندضلعی منتظم در شماره‌های مختلف کاربندی‌ها مورد مطالعه قرار گرفته تا مفاهیم مشترک تکرارشونده هندسی برای هر یک از آن زمینه‌ها استخراج گردد. برای این منظور مقاله حاضر به بررسی و تحلیل هندسی تمامی کاربندی‌های قابل رسم پرداخته تا در نهایت ضمن دسته‌بندی جامعی از مفاهیم مشترک تکرارشونده هندسی زمینه‌های مشخص در هر کاربندی، جمله‌ی عمومی مفاهیم مشترک تکرارشونده هندسی برای هر زمینه تعیین گردد. این تحقیق از نظر هدف از نوع تحقیق‌های بنیادی-نظری می‌باشد که با روش تحلیلی- توصیفی پژوهش شده است. پژوهش حاضر با اتکا بر برهان ریاضی و گزاره‌های قاعده‌مند و مبتنی بر علم هندسه و احکام بدیهی صورت گرفته است تا به نتایجی دقیق و صحیح دست یابد. لذا روش تحلیل به کار رفته در آن روش توصیفی و استدلال منطقی است که اطلاعات لازم

در مورد کاربندی به صورت مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی مقالات داخلی و خارجی، مشاهدات میدانی و مدلسازی‌های رایانه‌ای گردآوری شده است. با توجه به لزوم استفاده از فناوری‌های رایانه‌ای برای مدلسازی انواع کاربندی‌ها، از راهبرد شبیه‌سازی و مدلسازی استفاده شده است. بنابراین پژوهش حاضر از نوع ترکیبی بوده که نگارندگان با مطالعه و بررسی انواع کاربندی‌ها درصدد رسیدن به نتایج ترکیبی می‌باشند.

پیشینه‌ی پژوهش

در بررسی کاربندی تا کنون منابع مختلفی به چاپ رسیده است. هر یک از این منابع از جنبه‌ای خاص به بررسی کاربندی پرداخته‌اند. اولین دسته از منابعی که به موضوع کاربندی می‌پردازند، منابعی است که توسط معماران سنتی تألیف گردیده‌اند. از مهمترین آنان می‌توان به کتاب هندسه در معماری، برگرفته از آموزه‌های استاد پیرنیا که با تلاش زهره بزرگمهری در سال ۱۳۸۵ تألیف شده است، اشاره نمود. طبق این کتاب، کاربندی تشکیل یافته از باریکه تاق‌هایی با قوس معین است که از تقاطعشان استخوان‌بندی پوشش برای سقف ایجاد می‌شود (Pirniya & Bozorgmehri, 2006). همچنین در این کتاب در مورد تاریخچه، کاربرد، گونه شناسی و نحوه‌ی ترسیم انواع کاربندی‌ها و کاربندی‌ها با زمینه نیم‌کار بحث شده و فرمول تجربی 2(a+b-2) برای یافتن کاربندی مناسب در زمینه‌های مستطیلی معرفی شده است (a طول و b عرض مستطیل می‌باشد). این فرمول دارای نواقصی است که در مقاله (Mohammadiyanmansour & Faramarzi, 2012) به مشکلات و تناقضات آن پرداخته شده و فرمولی کارآمدتر برای یافتن شماره‌ی کاربندی مناسب برای زمینه‌های مستطیلی ارایه شده است. همچنین در این مقاله به گونه‌شناسی کاربندی‌ها پرداخته شده و کاربندی‌ها به دو دسته‌ی کلی ساده و غیر ساده با زیرشاخه‌های مربوطه تقسیم‌بندی شده‌اند. در مقاله‌ی دیگری (Pour Ahmadi & Sohrabi, 2019) نیز به نقد فرمول معرفی شده توسط خانم بزرگمهری در کتاب هندسه در معماری پرداخته می‌شود و روش طراحی و ترسیم کاربندی توسط استاد پیرنیا، استاد شعرباف و استاد لرزاده در یک زمینه‌ی مستطیلی مقایسه می‌گردد. سپس با نوشتن برنامه‌ی کامپیوتری در نرم‌افزار مِیپِل، طراح می‌تواند کاربندی قابل استفاده بر روی زمینه‌ی مورد نظر خود را بیابد. در نهایت با مقایسه جواب‌های ایجاد شده توسط نرم‌افزار و فرمول تجربی ذکر شده در کتاب هندسه در معماری مشاهده می‌شود که این فرمول علی‌رغم محدودیت‌هایی که دارد، می‌تواند برای زمینه‌های متعارف پاسخ‌های نسبتاً دقیقی تولید کند (Pour Ahmadi & Sohrabi, 2019). منبع مهم دیگری توسط استاد شعرباف نوشته شده است که کاربندی را به دو دسته‌ی شاقولی و غیرشاقولی دسته‌بندی و برای هرکدام نمونه‌هایی را ترسیم کرده است (Shaarbaf, 2006). استاد لرزاده در کتاب خود (Lorzade, 2005) بعد از معرفی کلیات ساختاری کاربندی، یک روش ترسیمی برای کاربندی ارائه می‌دهد و چندین نمونه کاربندی را ترسیم می‌کند. در مقاله (Reyhani Hamedani et al., 2018) به فرمول‌نویسی و نامگذاری انواع کاربندی‌ها بر اساس چهار فاکتور n (اضلاع کاربندی)، d (فواصل اتصال)، θ (شاقولی یا ناشاقولی بودن) و فاکتور زمینه پرداخته شده است. رئیسی و همکاران سه ابهام در نامگذاری، تشخیص هندسه و تشخیص نقش ساختمانی کاربندی را شناسایی و تحلیل و سپس راه‌حلی برای ابهام زدایی هر کدام مطرح می‌کنند. براین اساس، سه معیار در هندسه نظری، هندسه عملی و نقش ساختمانی برای تشخیص کاربندی‌ها بیان می‌شود و در نهایت بر اساس سه معیار مذکور، کاربندی‌ها به هشت گونه تقسیم می‌شوند (Raeisi et al., 2013). در مقاله دیگری (Ainechi et al., 2019b) به مقایسه‌ی بین روش ترسیم کاربندی‌ها توسط استاد پیرنیا، بزرگمهری، شعرباف و لرزاده پرداخته شده و مزایا و معایب هر یک دسته‌بندی شده است. مقاله‌ی (Amjad Mohammadi et al., 2020) به بررسی و تحلیل خصوصیات هندسی گونه‌های مختلف کاربندی‌ها می‌پردازد و کاربندی‌ها را به دو دسته‌ی کلی شاقولی و غیرشاقولی تقسیم نموده و زیرشاخه‌های هر یک را مشخص می‌سازد. در نهایت یک دسته‌بندی دقیق از انواع کاربندی‌ها ارائه نموده و کاربندی شاقولی را به سه دسته اصلی کاربندی رسمی، کاربندی اختری

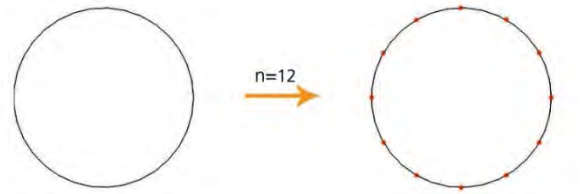
و کاربندی مرکب دسته‌بندی می‌کند. در مقاله‌ی نوشته شده توسط (Pour Ahmadi, 2014) پس از بررسی نامگذاری سنتی انواع کاربندی‌ها، یک روش جدید برای نامگذاری کاربندی‌ها بر اساس ویژگی‌های هندسی آن‌ها ارائه می‌گردد. همچنین اشاره‌ای به زمینه‌های موجود در برخی کاربندی‌ها و تناسبات آن‌ها می‌شود. در مقاله (Amjad Mohammadi et al., 2018) پس از معرفی انواع کاربندی‌ها و زمینه‌های رایج در آن‌ها، به معرفی روشی برای ایجاد کاربندی در زمینه‌های نامتنظم می‌پردازد. همچنین در مقاله‌ی دیگری از (Amjad Mohammadi et al., 2019) به بررسی هندسه‌ی کاربندی و ویژگی‌های آن می‌پردازد. نشان داده شد فواصل اتصال در هندسه‌ی کاربندی یک فاکتور مهم در ایجاد کاربندی‌های متنوع بوده و ارتفاع کاربندی با اندازه شمسه رابطه‌ی معکوس دارد. در مقاله (Saremi Naeeni et al., 2017) به بررسی تاریخچه کاربندی و سیر تکاملی آن پرداخته می‌شود و دیدگاه صاحب‌نظران در مورد کاربندی مورد بررسی قرار می‌گیرد و پاسخ داده می‌شود که آیا کاربندی عملکرد سازه‌ای دارد یا عنصری تزیینی است. در برخی مقالات کاربندی از لحاظ سازه‌ای و نحوه‌ی اجرا مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است؛ به عنوان مثال تیمچه‌های بازار سنتی تبریز از لحاظ فرمی و عملکرد سازه‌ای در مقالات (Chenaghlou, Nejad Ebrahimi, Shahbazi, Kheirollahi & Amjad Mohammadi, 2017) و (Leyliyan, 2011) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین در مقاله (Ainechi et al., 2019a) تکنیک‌های سنتی نحوه‌ی ساخت، اجرای کاربندی و روش‌های آجرچینی آن در شهرهای تبریز و اصفهان مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در مقاله‌ی (Petralla, 2016) در مورد ساختار تاق‌های بنایی در کاربندی‌های موجود در شهر تبریز و سازه ایوان غربی مسجد جامع شهر اصفهان بحث شده است. در بررسی پژوهش‌های گوناگون بر اساس اثر تحلیل ساختار هندسی کاربندی بر فناوری ساخت و مرمت آن‌ها مطالب چندانی ارائه نگردیده که از جمله کارهای محدود در این زمینه می‌توان به پژوهش آیینه‌چی و همکاران اشاره نمود (Ainechi et al., 2019). همچنین در زمینه‌ی هندسه و دنباله‌های تکرارشونده در کاربندی پژوهش خاصی مطرح نشده که در مقاله حاضر بدان پرداخته شده است.

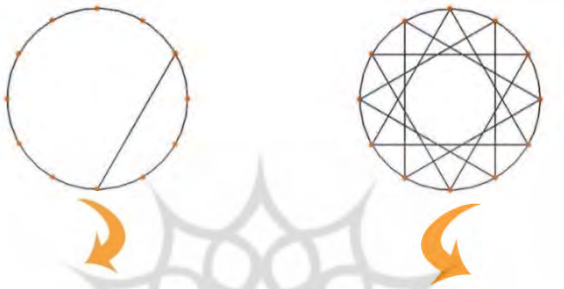
یافته‌های تحقیق

کاربندی تکنیکی سنتی در معماری ایرانی-اسلامی است از دوران قوس معینی حول مرکز دایره با شعاع مشخص به‌دست می‌آید. کاربندی‌ها بر اساس تعداد تقسیمات روی دایره (n) و نحو اتصال نقاط تقسیم روی دایره به یکدیگر (m)، به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. به‌عنوان مثال کاربندی ۴*۱۲ یعنی دایره با شعاع معلوم به ۱۲ قسمت مساوی تقسیم شده (n=۱۲) و نقاط روی دایره با فواصل چهارتایی بهم وصل شده (m=۴) و وترها را ایجاد کرده‌اند (جدول ۱). اگر به جای هرکدام از وترها در هندسهٔ پلانی کاربندی یک قوس جایگزین کنیم، هندسهٔ سه‌بعدی کاربندی تشکیل خواهد شد.

در معماری سنتی ایران هر پلانی که بتوان داخل هندسه کاربندی کشید را زمینه می‌نامیم. زمینه‌ها به دو دستهٔ منتظم (مربع، مثلث متساوی‌الاضلاع و چندضلعی‌های منتظم) و نامنتظم (مثلث متساوی‌الساقین، مستطیل، ذوزنقه متساوی‌الساقین، هشت، هشت و نیم، نگینی، کشکولی و ...) تقسیم می‌شوند. به‌عنوان مثال در کاربندی شمارهٔ ۸ نوع ۳ (۳*۸)، پنج زمینه قابل‌رسم است (جدول ۲). توجه کنید که رئوس زمینه‌های کشیده‌شده حتماً باید روی یکی از نقاط تقسیم در دایرهٔ محاطی کاربندی مربوطه باشد.

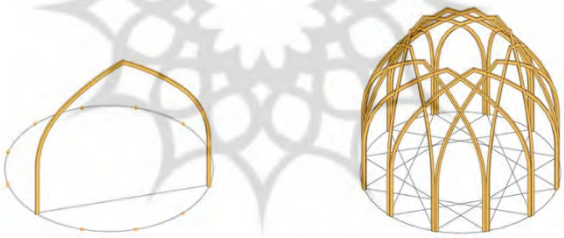
جدول ۱. بررسی روند ترسیم و مدل‌سازی هندسهٔ کاربندی شمارهٔ ۱۲ نوع ۴ (۴*۱۲) (نگارندگان)





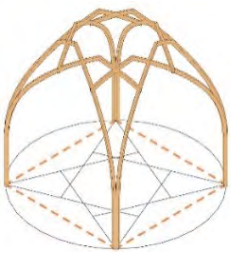
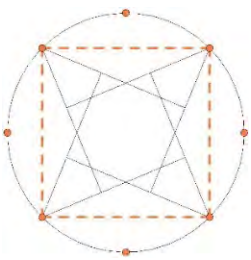
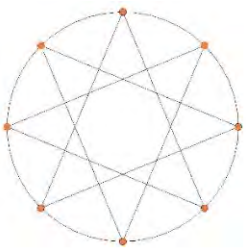
۳- وصل کردن نقاط با فواصل چهارتایی

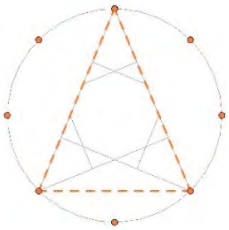
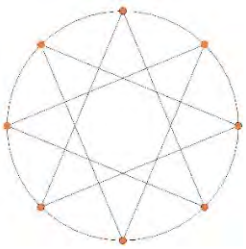
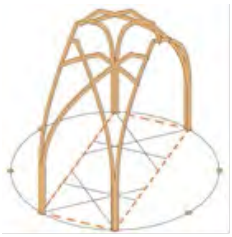
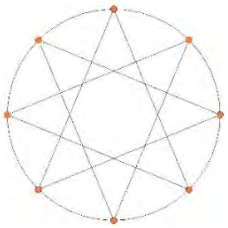
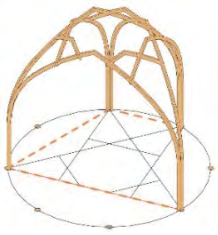
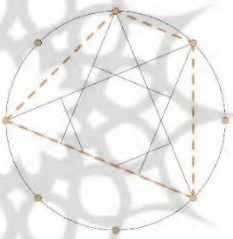
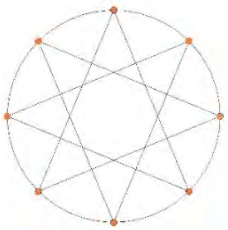
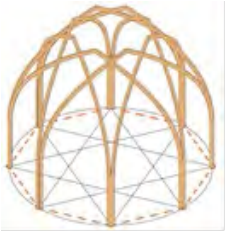
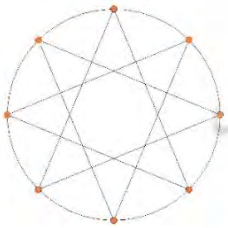
٤- هندسه نهایی کاربندی ٤*۱۲



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

جدول ۲. زمینه‌های موجود در کاربندی شمارهٔ ۸ نوع ۳ (کاربندی۳*۸) (نگارندگان)

فرم سه بعدی	زمینه		هندسه کاربندی	
		مربع		۸*۳

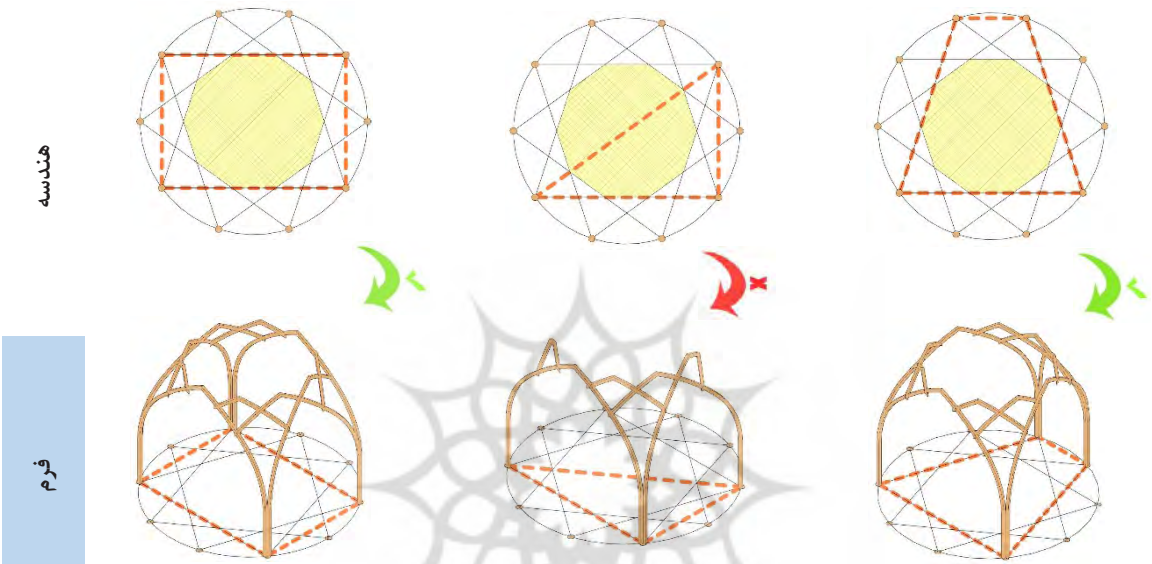
فرم سه بعدی	زمینه		هندسه کاربندی	
		مثلث		۸*۳
		مستطیل		۸*۳
		ذوزنقه		۸*۳
		هشت ضلعی		۸*۳

نقطهٔ حائز اهمیت در ترسیم زمینه، آنست که بایستی شمسه، داخل یا مماس بر زمینه باشد. در کاربندی‌های مختلف آن دسته از زمینه‌هایی قابل‌قبول هستند که شمسه به‌طور کامل در داخل زمینه قرار بگیرد. در غیر این صورت اگر قسمتی از شمسه بیرون از زمینه باشد، فرم نهایی کاربندی ناقص خواهد بود. در جدول ۳، نمونه‌هایی از زمینه‌های قابل‌قبول یا مردود در کاربندی شمارهٔ ۱۰ نوع ۳ نشان داده شده است. ذکر این مطلب حائزاهمیت است که در کاربندی با زمینهٔ نیم‌کار (نیم‌کاربندی) که در معماری سنتی ایران برای پوشش ایوان‌ها کاربرد داشته است، به‌دلیل نصف شدن هندسهٔ کاربندی، زمینهٔ انتخابی به‌ناچار از داخل شمسه عبور می‌کند. مقالهٔ حاضر بر کاربندی‌های کامل متمرکز بوده و به مبحث نیم‌کاربندی و جزییات آن پرداخته نشده است.

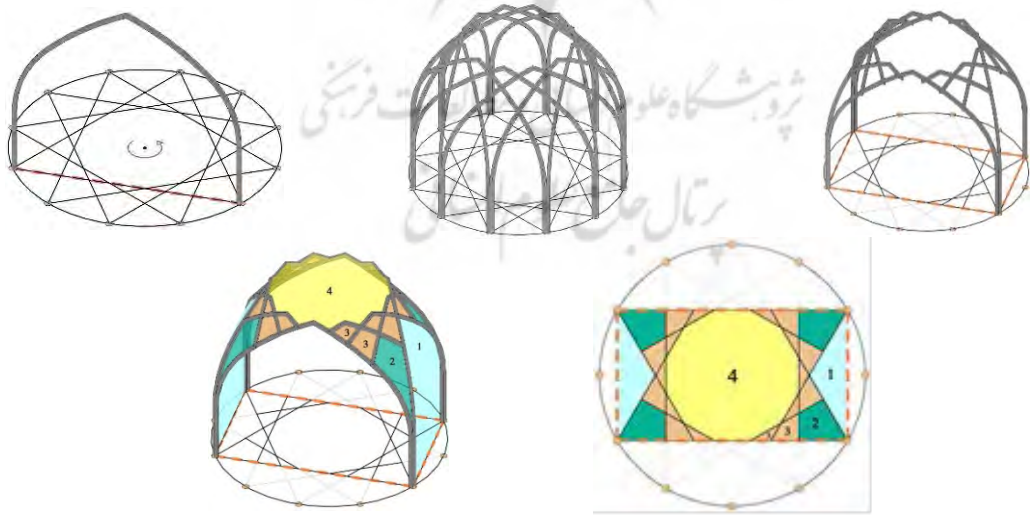
با مطالعه و بررسی منابع مختلف (Memariyan, 2016; Pirniya & Bozorgmehri, 2006; Saremi Naeeni et al.,

2017; Amjad Mohammadi et al., 2019) می‌توان گفت هر کاربندی تحت دوران قوسی معین، از اجزای شمسه، پاباریک، ترنجی و سوسنی تشکیل یافته است. جدول ۴ مراحل تشکیل کاربندی ۴*۱۲ در زمینه‌ای مستطیلی به‌همراه اجزای آن را نشان می‌دهد.

جدول ۳. زمینهٔ ترسیمی با شمسه‌های مماس یا محاط داخل در زمینه؛ نمونهٔ موردی: کاربندی ۳*۱۰ (نگارندگان)



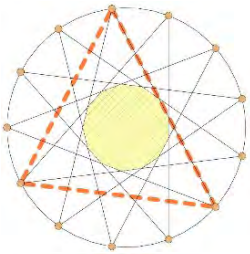
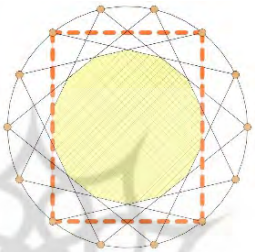
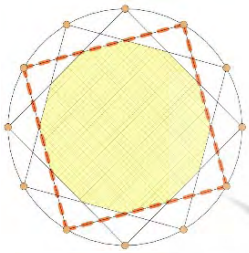
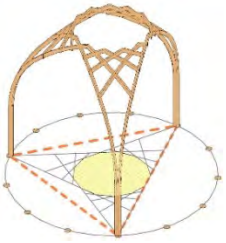
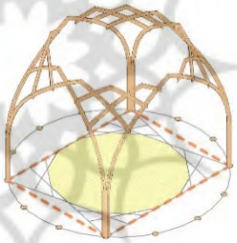
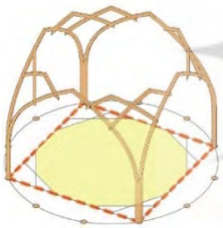
جدول ۴. اجزای کاربندی: ۱- سوسنی؛ ۲- پاباریک؛ ۳- ترنجی؛ ۴- شمسه (نگارندگان)



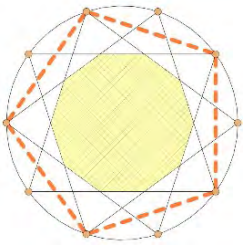
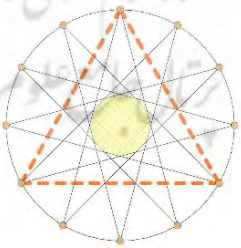
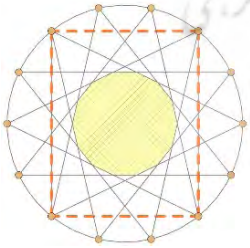
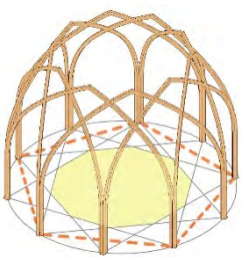
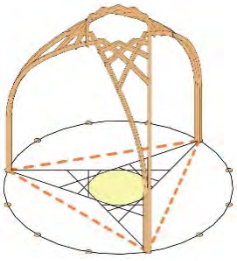
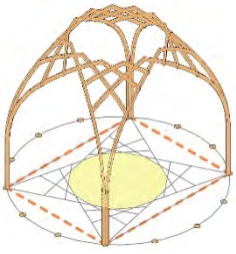
زمینه‌های منطبق و غیرمنطبق

زمینه‌ای در داخل کاربندی که حداقل یکی از اضلاع آن با یکی از اضلاع شمسه مماس باشد را زمینهٔ منطبق می‌نامیم. در اضلاعی از زمینه که مماس با شمسه است، عضو سوسنی حذف می‌گردد و برعکس در اضلاعی از زمینه که مماس با شمسه نیست، عضو سوسنی ایجاد خواهد شد. در زمینهٔ منطبق، شمسه در بزرگ‌ترین حالت خود می‌باشد. زمینه‌ای در داخل یک کاربندی که شمسه کاملاً داخل زمینه قرار گرفته باشد را زمینهٔ غیرمنطبق می‌نامیم. در این نوع از زمینه‌ها در بخش‌هایی که شمسه با زمینه مماس نیست، عضو سوسنی دیده می‌شود. در جداول ۵ و ۶ نمونه‌هایی از زمینه‌های منطبق و غیرمنطبق نشان‌داده شده است.

جدول ۵. نمونه‌هایی از زمینه‌های منطبق (نگارندگان)

	شمسه با یک ضلع زمینه مماس	شمسه با دو ضلع زمینه مماس	شمسه با هر چهار ضلع زمینه مماس
هندسه			
فرم			

جدول ۶. نمونه‌هایی از زمینه‌های غیرمنطبق (نگارندگان)

هندسه			
فرم			

مشخصات هندسی و قواعد نامگذاری کاربندی

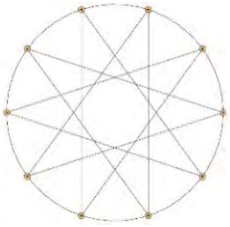
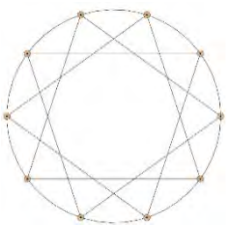
در نامگذاری کاربندی به‌صورت n*m، n تعداد تقسیمات روی دایرهٔ محاطی بیانگر شمارهٔ کاربندی و m فواصل اتصال نقاط بهم نشان‌دهندهٔ نوع کاربندی است. به‌عنوان مثال در کاربندی ۴*۱۴، که می‌خوانیم کاربندی شمارهٔ ۱۴ نوع ۴، دایره به چهارده قسمت مساوی تقسیم شده و نقاط با فواصل چهارتایی به هم وصل شده تا هندسهٔ پلانی کاربندی مربوطه را شکل دهند. از تعداد اضلاع شمسهٔ ایجاد شده در وسط هندسهٔ کاربندی، می‌توان تشخیص داد که دایرهٔ محاطی به چند قسمت مساوی تقسیم شده است. هنگامی که دایره‌ای را به n قسمت مساوی تقسیم کنیم و نقاط ایجاد شده روی دایره را با فواصل یک‌به‌یک بهم وصل کنیم، داخل دایره n ضلعی منتظم پدید می‌آید. برای مثال، کاربندی ۶*۱ نشان دهندهٔ یک شش‌ضلعی منتظم است. سؤالی که مطرح می‌گردد آنست که در یک شمارهٔ دلخواه از کاربندی چند نوع متفاوت فرم یکتا و منحصربه‌فرد می‌توان تولید و ترسیم نمود. بر اساس زوج یا فرد بودن شمارهٔ کاربندی، بیش‌ترین مقدار m طبق جدول ۷ ادامه خواهد یافت. با عبور از این مقدار بیشینه، برای m کاربندی نوع جدیدی ایجاد نخواهد شد و هندسهٔ کاربندی از یک نوع به بعد تکرار می‌شود. به‌عنوان مثال در کاربندی شمارهٔ ۹، تا کاربندی نوع ۴ یعنی کاربندی ۴*۹ حالت‌های جدید ایجاد می‌شود و کاربندی بعد آن یعنی ۵*۹ همان هندسهٔ کاربندی ۴*۹ را دارند چون ۵+۴=۹. سایر کاربندی‌های دوبه‌دو مشابه از کابندی شمارهٔ ۹ عبارتند از: ۱*۹=۸*۹ ، ۲*۹= ۷*۹ ، ۳*۹= ۶*۹ و ۴*۹= ۵*۹.

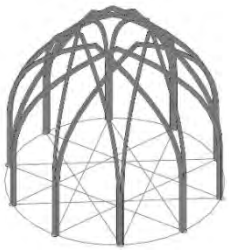
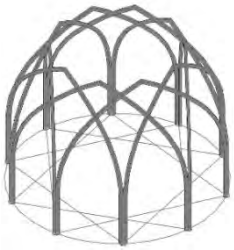
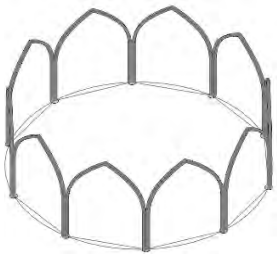
جدول ۷. رابطهٔ پیشنهادی برای آخرین نوع m از کاربندی شماره‌های زوج یا فرد n (نگارندگان)

شماره	فرمول
کاربندی‌های فرد	$n * (\frac{n}{2} - 0.5)$
کاربندی‌های زوج	$n * (\frac{n}{2} - 1)$

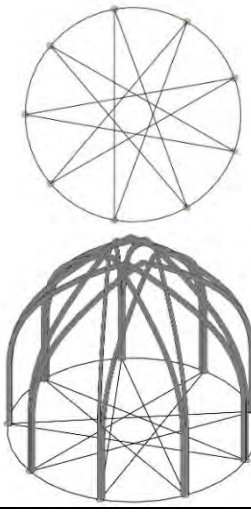
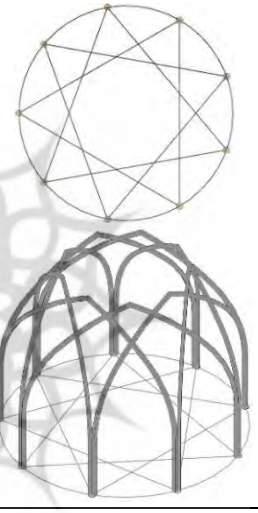
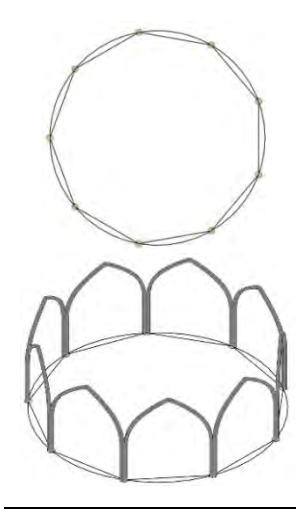
طبق فرمول ارائه‌شده برای کاربندی زوج در جدول ۷، به‌عنوان مثال در کاربندی شمارهٔ ۱۰، تا کاربندی ۴*۱۰ می‌توان فرمیابی و ترسیم نموده و این شماره از کاربندی ۴ نوع منحصربه‌فرد خواهد داشت. برای هر کاربندی شمارهٔ زوج اگر نوع n * n/2 را رسم کنیم، حالت تاق ترکین به‌دست می‌آید. در این حالت شمسهٔ وسط حذف شده و دیگر فرم کاربندی نخواهیم داشت. در کاربندی شمارهٔ ۹، طبق فرمول ارایه شده برای کاربندی فرد در جدول ۷، تا کاربندی ۴*۹ می‌توان ترسیم نمود. در جداول ۸ و ۹، انواع کاربندی شماره‌های ۱۰ و ۹ نشان داده شده‌اند.

جدول ۸. انواع کاربندی شمارهٔ ۱۰ (نگارندگان)

کاربندی ۴*۱۰	کاربندی ۳*۱۰	کاربندی ۲*۱۰	کاربندی ۱*۱۰
			

کاربندی ۴*۱۰	کاربندی ۳*۱۰	کاربندی ۲*۱۰	کاربندی ۱*۱۰
			

جدول ۹. انواع کاربندی شمارهٔ ۹ (نگارندگان)

کاربندی ۴*۹	کاربندی ۳*۹	کاربندی ۲*۹	کاربندی ۱*۹
			

از جمله نکات هندسی که در ارتباط با کاربندی n*m می‌توان بیان نمود، ارتباط بین تقسیمات داخلی هندسهٔ کاربندی و حاصلضرب شمارهٔ n و نوع کاربندی m است. با ضرب n در m تعداد تقسیمات داخلی هندسهٔ کاربندی n*m بدون احتساب شمسه به‌دست می‌آید. به‌عنوان مثال در کاربندی ۴*۱۲، حاصل‌ضرب ۴۸=۴×۱۲ نشان‌دهندهٔ تعداد تقسیمات داخلی کاربندی مربوطه بدون احتساب شمسه می‌باشد. به عبارت دیگر، در کاربندی ۴*۱۲، چهار ردیف دوازده‌تایی با اشکال یکسان در هر ردیف وجود داشته که به دور شمسهٔ کاربندی مربوطه چیده شده‌اند. در جدول ۱۰، ۴ ردیف مستقل با رنگ‌های مختلف شامل ۱۲ شکل یکسان در هر ردیف در کاربندی ۴*۱۲ نشان داده شده است.

قواعد حاکم بر زمینه‌های مختلف در کاربندی

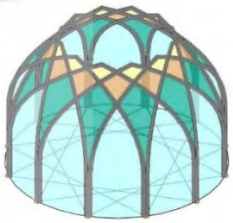
در این قسمت از مقاله، قواعد هندسی حاکم بر زمینه‌های مختلف که کاربندی را بتوان در آن زمینه‌ها ترسیم و اجرا نمود بررسی شده است. زمینه‌ها به دو دستهٔ کلی زمینهٔ منتظم و غیرمنتظم تقسیم‌بندی شده و در هر یک از این زمینه‌ها با استفاده از استقرای ریاضی، جملهٔ عمومی از کاربندی‌های محتمل و یکتا معرفی شده است.

کاربندی‌ها با زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع

با بررسی کاربندی‌ها، برای زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع می‌توان مشاهده نمود که تمامی کاربندی‌هایی که شمارهٔ آن‌ها مضربی از سه باشد، همچون کاربندی‌های شمارهٔ ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ... دارای زمینهٔ مثلث متساوی الاضلاع هستند.

برای پاسخ به این سؤال که کدام نوع از یک شمارهٔ کاربندی با مضرب ۳، دارای زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع منطبق می‌باشند؛ کافیست شمارهٔ کاربندی n بر عدد ۳ تقسیم شده تا نوع کاربندی m تعیین گردد. برای مثال در کاربندی شمارهٔ ۱۲، حاصل تقسیم ۴=۳÷۱۲ نوع کاربندی را مشخص ساخته و در نتیجه در کاربندی ۴*۱۲ حتماً زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع منطبق وجود خواهد داشت. در جدول ۱۱، انواع کاربندی‌هایی که زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع دارند ارائه شده است. در این جدول، ستون اول دارای زمینهٔ منطبق و ستون‌های بعدی دارای زمینهٔ غیرمنطبق هستند. با نگاهی بر این جدول می‌توان بیان نمود که تمامی کاربندی‌ها در ستون اول که دارای زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع منطبق بوده از جملهٔ عمومی $a_n=3n*n,\ n\epsilon N$ پیروی می‌کنند. جملهٔ عمومی مربوط به سایر ستون‌ها در پایین آن ذکر شده و با توجه به آن جملهٔ عمومی می‌توان جدول مذکور را گسترش داد. در هر ستون، با حرکت از بالا به پایین، تعداد تقسیمات در هندسهٔ کاربندی، ترنج‌ها، افزایش و مساحت شمسه کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال، مساحت شمسه در کاربندی ۸*۲۴ کمتر از مساحت شمسه در کاربندی ۷*۲۱ در شرایط یکسان است. همچنین، در هر ردیف با حرکت از چپ به راست، تقسیمات در هندسهٔ کاربندی افزایش، مساحت شمسه کاهش و ارتفاع کاربندی افزایش می‌یابد. بایستی توجه داشت که شدت کاهش مساحت شمسه در حرکت عمودی، ستونی، نسبت به حرکت افقی، ردیفی، کم‌تر است.

جدول ۱۰. چهار ردیف مستقل در اطراف شمسه در هندسهٔ پلانی و فرم سه‌بعدی کاربندی ۴*۱۲ (نگارندگان)

کاربندی ۴*۱۲ یعنی چهار ردیف ۱۲ تایی دور شمسه	
	

جدول ۱۱. کاربندی‌ها با زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع و جمله‌عمومی متناظر (نگارندگان)

ستون ششم	ستون پنجم	ستون چهارم	ستون سوم	ستون دوم	ستون اول
					۳*۱
					۶*۲
				۹*۴	۹*۳
				۱۲*۵	۱۲*۴
			۱۶*۷	۱۵*۶	۱۵*۵
			۱۸*۸	۱۸*۷	۱۸*۶
		۲۱*۱۰	۲۱*۹	۲۱*۸	۲۱*۷
		۲۴*۱۱	۲۴*۱۰	۲۴*۹	۲۴*۸
	۲۷*۱۳	۲۷*۱۲	۲۷*۱۱	۲۷*۱۰	۲۷*۹
	۳۰*۱۴	۳۰*۱۳	۳۰*۱۲	۳۰*۱۱	۳۰*۱۰
۳۳*۱۶	۳۳*۱۵	۳۳*۱۴	۳۳*۱۳	۳۳*۱۲	۳۳*۱۱
۳۶*۱۷	۳۶*۱۶	۳۶*۱۵	۳۶*۱۴	۳۶*۱۳	۳۶*۱۲
3n* (n+5)	3n* (n+4)	3n* (n+3)	3n* (n+2)	3n* (n+1)	3n*n

کاربندی‌ها با زمینهٔ مربع

زمینهٔ مربع ازجمله رایج‌ترین زمینه‌ها در معماری سنتی ایران بوده است. با بررسی کاربندی‌ها، برای زمینهٔ مربع می‌توان مشاهده نمود که تمامی کاربندی‌هایی که شمارهٔ آن‌ها مضربی از ۴ باشد، همچون کاربندی‌های شمارهٔ ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ... دارای زمینهٔ مربع هستند. برای پاسخ به این سؤال که کدام نوع از یک شمارهٔ کاربندی با مضرب ۴، دارای زمینهٔ مربع منطبق می‌باشند؛ کافیست شمارهٔ کاربندی n بر عدد ۴ تقسیم شده تا نوع کاربندی m تعیین گردد. به‌عنوان مثال درکاربندی ۳*۱۲ حتماً زمینهٔ مربع منطبق وجود خواهد داشت و شمسه در بزرگ‌ترین اندازهٔ خود می‌باشد. در نوع‌های بعدی آن یعنی کاربندی ۴*۱۲ و ۵*۱۲ نیز زمینهٔ مربع ایجاد می‌شود با این تفاوت که دیگر زمینهٔ منطبق نیست و تبدیل به زمینهٔ غیرمنطبق شده است؛ یعنی شمسه در وسط زمینه قرار گرفته و در طرفین عضو سوسنی ایجاد شده است. در جدول ۱۲، انواع کاربندی‌هایی که زمینهٔ مربع دارند ارائه شده است. در این جدول، ستون اول دارای زمینهٔ منطبق و ستون‌های بعدی دارای زمینهٔ غیرمنطبق هستند. با نگاهی بر این جدول می‌توان بیان نمود که تمامی کاربندی‌ها در ستون اول که دارای زمینهٔ مربع منطبق بوده از جملهٔ عمومی $a_n=4n*n,\ n\epsilon N$ پیروی می‌کنند. جملهٔ عمومی مربوط به سایر ستون‌ها در پایین آن ذکر شده و با توجه به آن جملهٔ عمومی می‌توان جدول مذکور را گسترش داد. در هر ستون، با حرکت از بالا به پایین، تعداد تقسیمات در هندسهٔ کاربندی، ترنج‌ها، افزایش و مساحت شمسه کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال، مساحت شمسه در کاربندی ۵*۲۰ کم‌تر از مساحت شمسه در کاربندی ۴*۱۶ در شرایط یکسان است. همچنین، در هر ردیف با حرکت از چپ به راست، تقسیمات در هندسهٔ کاربندی افزایش، مساحت شمسه کاهش و ارتفاع کاربندی افزایش می‌یابد. بایستی توجه داشت که شدت کاهش مساحت شمسه در حرکت عمودی، ستونی، نسبت به حرکت افقی، ردیفی، کم‌تر است.

جدول ۱۲. کاربندی‌ها با زمینهٔ مربع و جمله‌عمومی متناظر (نگارندگان)

ستون ششم	ستون پنجم	ستون چهارم	ستون سوم	ستون دوم	ستون اول
					۴*۱
				۸*۳	۸*۲
			۱۲*۵	۱۲*۴	۱۲*۳
		۱۶*۷	۱۶*۶	۱۶*۵	۱۶*۴
	۲۰*۹	۲۰*۸	۲۰*۷	۲۰*۶	۲۰*۵
۲۴*۱۱	۲۴*۱۰	۲۴*۹	۲۴*۸	۲۴*۷	۲۴*۶
4n* (n+5)	4n* (n+4)	4n* (n+3)	4n* (n+2)	4n* (n+1)	4n*n

کاربندی‌ها با زمینهٔ k ضلعی منتظم

با بررسی کاربندی‌های مثلث و مربع بخش‌های قبلی و با استفاده از استقرای ریاضی، می‌توان مشاهده نمود که برای هر زمینهٔ k ضلعی منتظم منطبق، جملهٔ عمومی $a_n=kn*n,\ k,n\epsilon N$ مفاهیم مشترک تکرارشوندهٔ هندسی آن را مشخص می‌کند. به‌عنوان مثال برای زمینهٔ هفت ضلعی منتظم منطبق می‌توان جملهٔ عمومی $a_n=7n*n,\ n\epsilon N$ را پیشنهاد داد و جدول مربوط به آن را مطابق جدول ۱۳ تشکیل داد. آنچه از این جدول نیز مشخص است، ستون اول کاربندی‌ها با زمینهٔ منطبق و ستون‌های بعدی کاربندی‌ها با زمینهٔ غیرمنطبق را نشان می‌دهند. لازم‌به‌ذکر است که در تمامی جداول مرتبط با کاربندی‌های k ضلعی منتظم نیز، با حرکت از بالا به پایین در ستون‌ها و یا حرکت از چپ به راست در ردیف‌ها، تقسیمات در هندسهٔ کاربندی افزایش، مساحت شمسه کاهش و ارتفاع کاربندی افزایش می‌یابد. همچنین کاهش مساحت شمسه در حرکت عمودی، ستونی، نسبت به حرکت افقی، ردیفی، کم‌تر است.

جدول ۱۳. کاربندی‌ها با زمینهٔ ۷ ضلعی منتظم و جمله‌عمومی متناظر (نگارندگان)

ستون هشتم	ستون هفتم	ستون ششم	ستون پنجم	ستون چهارم	ستون سوم	ستون دوم	ستون اول
					۷*۳	۷*۲	۷*۱
			۱۴*۶	۱۴*۵	۱۴*۴	۱۴*۳	۱۴*۲
۲۱*۱۰	۲۱*۹	۲۱*۸	۲۱*۷	۲۱*۶	۲۱*۵	۲۱*۴	۲۱*۳
7n* (n+7)	7n* (n+6)	7n* (n+5)	7n* (n+4)	7n* (n+3)	7n* (n+2)	7n* (n+1)	7n* n

کاربندی با زمینهٔ مستطیلی

بررسی‌های هندسی صورت‌گرفته در کاربندی حاکی از آنست که در تمامی کاربندی‌های زوج بزرگ‌تر از ۴ زمینهٔ مستطیل وجود خواهد داشت. همچنین یک شمارهٔ کاربندی ممکن است چندین زمینهٔ مستطیلی داشته باشد (جدول ۱۴). در این جدول تمامی کاربندی‌های ستون اول دارای زمینهٔ مستطیل منطبق بوده و در ستون‌های بعدی زمینهٔ منطبق ستون قبلی به زمینهٔ غیرمنطبق تبدیل شده و یک زمینهٔ منطبق دیگر به آن ستون اضافه می‌شود. این فرآیند افزایش زمینهٔ غیرمنطبق در هر ستون نسبت به ستون قبلی برای همهٔ ستون‌های دوم به بعد اتفاق می‌افتد. ضمناً شمارهٔ هر ستون بیانگر تعداد زمینه‌های مستطیلی موجود در آن ستون می‌باشد. به‌عنوان مثال، در ستون سوم جدول ۱۴، حتماً سه زمینهٔ مستطیلی وجود داشته که یکی از آنها منطبق و بقیه غیرمنطبق هستند. زمینهٔ منطبق دارای بزرگ‌ترین حالت ممکن برای شمسه می‌باشد؛ ولی در زمینه‌های غیرمنطبق، شمسه کوچک‌تر شده و در عوض، عضو سوسنی به فرم کاربندی اضافه می‌گردد. در جدول مربوط به زمینهٔ مستطیلی نیز همانند k ضلعی‌های منتظم، با حرکت از بالا به پایین در هر ستون و یا حرکت از چپ به راست در هر ردیف، تعداد تقسیمات در هندسهٔ کاربندی (ترنج‌ها) افزایش و مساحت شمسه کاهش پیدا می‌کند. همچنین، شدت کاهش مساحت شمسه در حرکت عمودی، ستونی، نسبت به حرکت افقی، ردیفی، کم‌تر است

جدول ۱۴. کاربندی‌ها با زمینهٔ مستطیلی و جمله‌عمومی متناظر (نگارندگان)

ستون پنجم	ستون چهارم	ستون سوم	ستون دوم	ستون اول
یک زمینه مستطیل منطبق و چهار نامنطبق	یک زمینه مستطیل منطبق و سه نامنطبق	یک زمینه مستطیل منطبق و دو نامنطبق	یک زمینه مستطیل منطبق و یک نامنطبق	یک زمینه مستطیل منطبق
				۶*۲
				۸*۳
			۱۰*۴	۱۰*۳
			۱۲*۵	۱۲*۴
		۱۴*۶	۱۴*۵	۱۴*۴
		۱۶*۷	۱۶*۶	۱۶*۵
	۱۸*۸	۱۸*۷	۱۸*۶	۱۸*۵
	۲۰*۹	۲۰*۸	۲۰*۷	۲۰*۶
۲۲*۱۰	۲۲*۹	۲۲*۸	۲۲*۷	۲۲*۶
۲۴*۱۱	۲۴*۱۰	۲۴*۹	۲۴*۸	۲۴*۷

بحث

در زمینه‌های منتظم شامل مثلث متساوی‌الاضلاع، مربع و تمامی n ضلعی‌های منتظم که جملات عمومی و جداول مرتبط آن‌ها در بخش‌های قبلی ارائه شده است، تمامی کاربندی‌های موجود در ستون اول آن جداول، در هندسهٔ پلانی دارای طول وترهای، باریکهٔ طاق، یکسان می‌باشند و این امر باعث می‌شود که ارتفاع کاربندی‌های موجود در این ستون همواره یکسان باشند؛ در حالیکه در ستون‌های بعدی آن جداول، ابعاد وترها از بالا به پایین در حال کاهش است و این یعنی رفته‌رفته ارتفاع کاربندی‌ها در شرایط یکسان کاهش پیدا می‌کند. از لحاظ ابعاد شمسه هم، در هر ستون اگر از بالا به پایین بررسی گردد، حرکت عمودی، اندازهٔ شمسه کاهش می‌یابد. در جدول ۱۵، کاربندی‌های موجود ستون اول زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع که در جدول ۱۱ مطرح‌شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. برای مقایسه، شعاع دایره در تمامی کاربندی‌ها ۴ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۵. مقایسهٔ مساحت شمسه و طول وتر کاربندی‌ها در ستون زمینهٔ مثلث متساوی‌الاضلاع منطبق (نگارندگان)

شماره کاربندی	۳*۱	۶*۲	۹*۳	۱۲*۴	۱۵*۵	۱۸*۶	۲۱*۷
طول وتر	۶/۹۳	۶/۹۳	۶/۹۳	۶/۹۳	۶/۹۳	۶/۹۳	۶/۹۳
مساحت شمسه	۲۰/۷	۱۳/۸	۱۳	۱۲/۸۵	۱۲/۷۴	۱۲/۶۹	۱۲/۶۶

در جداول مربوط به زمینه‌های مربع، مثلث متساوی‌الاضلاع و k ضلعی منتظم، با حرکت از چپ به راست، حرکت افقی، طول وترها، باریکهٔ طاق، و در نتیجه ارتفاع کاربندی‌ها افزایش و مساحت شمسه‌ها کاهش می‌یابد. شدت کاهش مساحت شمسه در حرکت افقی، بیش‌تر از حرکت عمودی در جداول است. به‌عنوان مثال یک ردیف از جدول زمینهٔ مربع در جدول ۱۶ بررسی شده است. بادقت در جدول ۱۶ می‌توان گفت که هر چقدر در نوع‌های مختلف کاربندی شمارهٔ n جلو می‌رویم، طول وتر و در نتیجهٔ ارتفاع کاربندی افزایش خواهد یافت. همچنین تعداد تقسیم‌بندی‌های داخلی در هندسهٔ کاربندی افزایش و مساحت شمسه کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۱۶. مقایسهٔ مساحت شمسه و طول وتر کاربندی‌ها در ردیف زمینهٔ مربع و تأثیر نوع کاربندی m (نگارندگان)

شمارهٔ کاربندی	۲۰*۵	۲۰*۶	۲۰*۷	۲۰*۸	۲۰*۹
طول وتر	۵/۶۵	۶/۴۷	۷/۱۲	۷/۶۰	۷/۹۰
مساحت شمسه	۲۵/۳	۱۷/۵	۱۰/۵	۴/۸	۱/۲۳

در مقایسه با تأثیر نوع کاربندی m در یک شمارهٔ خاص کاربندی n بر مشخصات شمسه و ارتفاع کاربندی، شمارهٔ کاربندی n برای یک نوع خاص m اثرات معکوسی را خواهد داشت. با بررسی یک نوع خاص در شماره‌های مختلف کاربندی، می‌توان مشاهده نمود که طول وترها و در نتیجه، ارتفاع کاربندی کاهش و مساحت شمسه افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال، در جدول ۱۷، شماره‌های مختلف کاربندی برای نوع ۴، m=۴، مقایسه شده است.

جدول ۱۷. مقایسهٔ مساحت شمسه و طول وتر کاربندی‌ها و تأثیر شمارهٔ کاربندی n (نگارندگان)

شمارهٔ کاربندی	۹*۴	۱۰*۴	۱۱*۴	۱۲*۴	۱۳*۴	۱۴*۴
طول وتر	۷/۹	۷/۶	۷/۲	۶/۹۲	۶/۵	۶/۲۵
مساحت شمسه	۱/۶	۴/۹	۸/۹	۱۲/۸	۱۶/۵	۱۹/۸

نتیجه‌گیری

کاربندی، تکنیکی است سنتی در معماری ایرانی-اسلامی برای پوشش انواع سقف‌ها و گوشه‌سازی‌ها با هندسه‌ای ستاره‌وار که انواع آن، از دوران قوس معینی حول مرکز دایره با شعاعی مشخص به‌دست می‌آید. در این مقاله، روش ساده‌ای برای ترسیم و مدل‌سازی انواع کاربندی به‌کمک نرم‌افزارهای کامپیوتری بیان شده است. سپس، دو دستهٔ کلی زمینه‌های منطبق و غیرمنطبق موجود در کاربندی‌ها بررسی شد. با درک این موضوع، زمینه‌های مربع، مستطیل، مثلث متساوی‌الاضلاع و چندضلعی‌های منتظم موجود در کاربندی‌ها مورد بررسی و کنکاش قرار گرفت. در ادامه، مفاهیم مشترک تکرارشونده و جملهٔ عمومی تکرار برای هر زمینه منطبق و غیرمنطبق مشخص گردید تا کاربر بتواند شمارهٔ n، و نوع، m، کاربندی موردنظر را برای طراحی در زمینهٔ مدنظر تعیین نماید. در ادامه، رابطهٔ بین طول وتر در هندسهٔ پلانی کاربندی، ارتفاع کاربندی و مساحت شمسه ارزیابی شد. نتایج ارزیابی حاکی از آنست که برای یک شمارهٔ ثابت n، هرچقدر در نوع آن کاربندی،m، پیش می‌رویم، طول وتر، دهانهٔ قوس، ارتفاع کاربندی و تعداد تقسیم‌بندی‌های داخلی در هندسهٔ کاربندی افزایش و مساحت شمسه کاهش می‌یابد. در عوض، برای یک نوع خاص m، با افزایش شماره، n، طول وترها و در نتیجه ارتفاع کاربندی کاهش و مساحت شمسه افزایش می‌یابد.

سپاسگزاری

این مقاله، مستخرج ازپایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد آقای‌میرعلی آیدینی با عنوان "تحلیل، طراحی پارامتریک و بهینه‌سازی کاربندی به روش گرافیک استاتیک" می‌باشد که با راهنمایی دکتریاسر شهبازی و دکترفرهاد آخوندی در دانشگاه هنر اسلامی تبریز صورت گرفته است.

منابع مالی

منابع مالی این پژوهش از طریق مشارکت نویسندگان تأمین شده است.

تعارض منافع

تعارض منافعی بین نویسندگان وجود ندارد.

References

Ainechi, Sh., Valibeig, N., & Tehrani F. (2019a). Karbandies Traditional Construction Technique in Tabriz and Esfahan. *International Journal of Architectural Heritage*, *14*(1), 1-18.

Ainechi, Sh., Valibeig, N., & Tehrani, F. (2019b). Comparison of geometry and method of drawing the Karbandi, Study. *Soffeh*, *29*(84), 73-91. [in Persian]

Amjad Mohammadi, A., Nejad Ebrahimi, A., & Shahbazi, Y. (2020). The Geometry of Karbandi in Persian Architecture; Response to the Challenges of “Rasmi” and “Akhtari” Karbandi. *Journal of Reasearch in Islamic Architecture*, *8*(26), 4-28. [in Persian]

Amjad Mohammadi, A., Nejad Ebrahimi, A., & Shahbazi Y. (2019). Geometric design of a masonry

lattice space dome titled KARBANDI in Persian architecture. *International Journal of Space Structures*, *34*(2), 22-39.

Amjad Mohammadi, A., Asefi, M., & Nejad Ebrahimi A. (2018). The Geometrical regularization for Covering Irregular Bases with Karbandi. *Nexus Network Journal*, *20*(2), 331-352.

Chenaghlou, M. R., Nejad Ebrahimi, A., Shahbazi, Y., Kheirollahi, M., & Amjad Mohammadi, A. (2017). Structural Morphology of a Masonry Space Dome in Historical Tabriz Bazaar Complex. *Proceedings of the IASSAnnual Symposium 2017"Interfaces: architecture. Engineering*. Science" September 25-28th, 2017, Hamburg, Germany.

Garofalo, V. (2016). The Geometry of a Domed Architecture: A Stately Example of Karbandi at Bagh-e Dolat Abad in Yazd. *Nexus Network Journal*, *18*, 169-195.

Leyliyan, M. R. (2011). How architectural and structural space interacts in Karbandies with structural role in Tabriz Bazaar. *Athar*, *32*(53). 111-126. [in Persian]

Lorzade, H. (2005). Revival of Forgotten Arts: Fundamentals of Traditional Architecture in Iran. Tehran: *Mola publication*. [in Persian]

Memariyan, Gh. (2016). *Iranian architecture: Construction*. Tehran: Naghmeh noandish publication. [in Persian]

Mohammadiyanmansour, S., & Faramarzi, S. (2012). Typology and the Formulating Geometric Structure of Karbandi in Iran's Architecture. *Journal of Fine Arts - Architecture and Urban Planning*, *48*, 97-109. [in Persian]

Petralla, S. (2016). Arches and ribbed vaults of the Iranian tradition. In online Proceedings of the International Symposium Masons at Work. *Architecture and Construction in the Pre-Modern World*.

Pirniya, M., & Bozorgmehri, Z. (2006). *Geometry in architecture*. Tehran: The cultural heritage of the country and Sobhan Noor. [in Persian]

Pour Ahmadi, M. (2014). A Basic Method for Naming Persian Karbandies Using a Set of Numbers. *Nexus Network Journal*, *16* (2), 313-343.

Pour Ahmadi, M., & Sohrabi, M. (2019). Design of Persian Karbandi: The Problem of Dividing the Base from a Mathematical Viewpoint. *Journal of Reasearch in Islamic Architecture*, *23*, 22-40. [in Persian]

Raeisi, M., Bemanian, M., & Tehrani, F. (2013). Rethinking the Concept of Karbandi Based on theoretical geometry, practical geometry and building function. *Journal of Restoration and architecture of Iran*, *1*(5), 33-54. [in Persian]

Reyhani Hamedani, H., Mohammadian Mansour, S., Afshinmehr, V., & Bemanian M. R. (2018). Mathematical Analysis of Simple Karbandi in Iranian Architecture. *Journal of Iranian Archaeological Research*, *8*(17), 201-220. [in Persian]

Saremi Naeeni, D., Aibaghi Esfahani, H., & Mirshojaeian Hosseini, I. (2017). Recognising Karbandi in Iran's Architecture and a Review of its Decorative-Structural Role. *British Institute of Persian Studies*, *56* (2), 1-11.

Shaarbaf, A. (2006). *Gereh and Karbandi*. Tehran: The cultural heritage of the country and Sobhan Noor. [in Persian].