

هندسه کاربردی در معماری ایران؛ پاسخ به چالش کاربردی رسمی و اختری



امیر امجد محمدی*

دانشجوی دوره دکتری معماری، دانشکده‌ی معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران (نویسنده‌ی مسئول)

احمد نژاد ابراهیمی**

دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی، تبریز

یاسر شهبازی***

دانشیار سازه‌های هوشمند و تکنولوژی معماری، دانشکده‌ی معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی، تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۸/۲۰

چکیده:

کاربردی یکی از عناصر تاقی اصیل و کهن در معماری ایران است که مبتنی بر شبکه‌ای با هندسه هماهنگ شکل می‌گیرد و علاوه بر کارکرد معماری رفتار سازه ای نیز دارد. لکن ابهاماتی در خصوص هندسه این عنصر معماری وجود دارد که می‌بایست با پژوهش‌های هدفمند برطرف شوند. یکی از این ابهامات، تشخیص نحوه ترسیم هندسه گونه‌های مختلف کاربردی است. براساس اطلاعات موجود، گونه‌های مختلف کاربردی، به راحتی قابل تمییز نیستند. کاربردی رسمی و اختری از موضوعات بحث برانگیز در شناخت هندسه کاربردی در معماری ایران می‌باشد. این پژوهش با هدف شناخت و کشف روابط هندسی کاربردی‌های رسمی و اختری بر مبنای نمونه‌های واقعی و همچنین بررسی و تحلیل خصوصیات هندسی گونه‌های مختلف آنها انجام یافته است. پژوهش حاضر به میزان زیادی وابسته به برهان‌های ریاضی و گزاره‌های قاعده‌مند است و به روش استدلال منطقی و با جمع‌آوری اطلاعات از طریق برداشت‌های میدانی، مشاهده عینی، بررسی‌های کتابخانه‌ای و مدل‌سازی رایانه‌ای در پی پاسخ به سوال ذیل بوده است: کاربردی رسمی و اختری از جنبه‌های هندسی دارای چه خصوصیتی هستند و برای تشخیص گونه‌های مختلف این دو دسته، چه معیارهایی می‌توان مطرح کرد؟ ضرورت انجام پژوهش، شفاف‌سازی نحوه ترسیم هندسه انواع کاربردی است تا بر مبنای نمونه‌های اجرا شده، یک دسته‌بندی جامع برای آن ارائه گردد. نتایج تحقیق نشان داد که تفاوت دو شیوه رسمی و اختری در فاصله اتصال نقاط تقسیم روی دایره می‌باشد؛ در صورتی که رابطه تساوی تعداد قطاع دایره، در مقابل طول مستطیل زمینه یا مستطیل‌های فرضی زمینه با فاصله اتصال نقاط تقسیم دایره بر قرار گردد، کاربردی حاصله رسمی ساده است و در حالت عدم برقراری تساوی مذکور، کاربردی به دست آمده اختری می‌باشد. بدین صورت از لحاظ ریاضی حالات مختلفی پیش می‌آید که مورد بررسی قرار گرفتند. با بررسی حالات مذکور، این موضوع اثبات گردید که تاق ترکیب نیز نوعی کاربردی اختری است. لذا دسته دیگری تحت عنوان «ترکین» به دو دسته دیگر کاربردی‌های اختری افزوده شد. بعلاوه، مطالعه بر روی خصوصیات هندسی دو شیوه شاقولی و سرسفت روشن کرد که کاربردی‌های شاقولی، همیشه بصورت کامل بکار نرفته‌اند؛ گاهی یک یا دو ردیف از ترنج‌های نزدیک به مرکز حذف شده و کاربردی، سیمای جدیدی به خود گرفته است. در این حالت برای افزایش مقاومت کاربردی در دهانه‌های بزرگ، از چندین باریکه تاق پنهان دیگر نیز استفاده می‌شود.

واژه های کلیدی: هندسه کاربردی، کاربردی اختری، کاربردی رسمی، باریکه تاق متقاطع، معماری ایران.

* amir.amjad1993@gmail.com

** ahadebrahimi@tabriziau.ac.ir

*** y.shahbazi@tabriziau.ac.ir



به پاسخ سوالات ذیل بوده است: الف) کاربردی رسمی و اختری از جنبه‌های هندسی دارای چه خصوصیتی هستند و برای تشخیص گونه‌های مختلف این دو دسته، چه معیارهایی می‌توان مطرح کرد؟ ب) چگونه می‌توان بر اساس خصوصیات هندسی نمونه‌های متنوع کاربردی و با در نظر گرفتن آموزه‌های معماری ایرانی، یک گونه‌بندی جامع ارائه نمود که برای تمامی نمونه‌های تاریخی و جغرافیایی صادق باشد؟

۱. پیشینه تحقیق

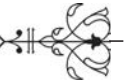
درباره کاربردی، در منابع مختلف، اطلاعات متنوعی مندرج است که هر یک، از دیدگاهی درباره آن بحث نموده‌اند؛ مهم‌ترین منبع موجود در این خصوص که برگرفته از آموزه‌های استاد پیرنیاست؛ توسط خانم بزرگمهری (۱۳۸۵) تحریر یافته است. این کتاب ضمن معرفی کلیات سازه‌ای و ساختاری کاربردی، آن را به دو دسته شاقولی و سرسفت تقسیم کرده است که کاربردی شاقولی دارای دو نوع رسمی و اختری می‌باشد. سپس کاربردی اختری به دو دسته گسیخته و پیوسته تقسیم شده است. منبع مذکور علی‌رغم غنای علمی بالای خود، بصورت خیلی خلاصه نوشته شده و حالات مختلف کاربردی‌های رسمی و اختری نیز مورد بررسی قرار نگرفته‌اند؛ بطوریکه در شرح کاربردی‌های رسمی و اختری، فقط به یک تعریف کوتاه اکتفا شده است. منبع مهم دیگر توسط استاد شعریاف (۱۳۸۵) نوشته شده است. استاد شعریاف نیز کاربردی را در دو دسته شاقولی و سرسفت معرفی کرده است؛ اما در نوشته‌های خود عنوانی از کاربردی‌های رسمی و اختری نمی‌آورد. وی نمونه‌هایی برای هر کدام از دو دسته شاقولی و سرسفت ترسیم کرده و برخی را یک‌پا و برخی دیگر را دوپا می‌نامد. کاربردی‌های یک‌پا آن دسته از کاربردی‌هایی هستند که در یک چهارم زمینه، یک پایه باربر بر روی زمین دارند و کاربردی‌های دوپا، آنهایی می‌باشند که دارای دو پایه باربر در یک چهارم زمینه هستند. استاد لرزاده در کتاب خود (لرزاده ۱۳۵۸) بعد از معرفی کلیات ساختاری کاربردی، یک روش ترسیمی برای کاربردی ارائه داده و چندین نمونه کاربردی نیز ترسیم کرده است؛ اما نامی از گونه‌های مختلف کاربردی نمی‌برد و تنها اشاره مختصری

مقدمه

کاربردی یکی از عناصر تاقی معماری ایران است که پیاده‌سازی آن بر پایه اصول دقیق هندسی می‌باشد. این عنصر معماری به سبب برخی خصوصیات سازه‌ای - هندسی، توجه استادکاران معماری را در طول تاریخ معماری اسلامی به خود جلب کرده و باعث طرح و خلق آثار معمارانه با ارزشی شده است؛ اما علی‌رغم پیشرفت‌های اجرایی آن، از جنبه‌های نظری، پژوهش‌های اندکی درباره آن وجود دارد؛ چنانکه در بین محققین معماری ایران، ابهامات فراوانی در خصوص هندسه نظری کاربردی وجود دارد. یکی از این ابهامات شناخت و تشخیص گونه‌های مختلف کاربردی است؛ بطوریکه منابعی همچون محمدیان و فرامرزی (۱۳۹۰) و رئیسی و همکاران (۱۳۹۱) پاسخ روشنی به این نیاز نمی‌دهند و بدین سبب برخی از گونه‌های مهم کاربردی فراموش می‌شود. ۱. برخی منابع (پوراحمدی ۲۰۱۴) نیز بطور دیگری با مسئله پیچیدگی و ابهامات موجود در هندسه کاربردی برخورد کرده و یک نوع نام‌گذاری جدید ارائه می‌دهند که با آنچه در معماری ایرانی وجود دارد متفاوت است. با درک این حقیقت، پژوهش حاضر به بررسی بخشی از ابهامات موجود درباره هندسه کاربردی، یعنی واکاوی هندسی کاربردی رسمی و اختری، پرداخته است. بر این اساس هدف پژوهش شناخت و کشف روابط هندسی کاربردی‌های رسمی و اختری بر مبنای نمونه‌های اجرا شده و همچنین تحلیل خصوصیات هندسی گونه‌های مختلف آنها بوده است. هدف پژوهش، شفاف‌سازی نحوه ترسیم هندسه انواع کاربردی‌های موجود در معماری ایران، با محوریت کاربردی‌های بازار تاریخی تبریز و ابنیه شاخص کاشان است تا بر اساس آن، یک دسته‌بندی جامع برای گونه‌های مختلف کاربردی ارائه گردد.

پژوهش حاضر به میزان زیادی وابسته به برهان‌های ریاضی و گزاره‌های قاعده‌مند است و به روش استدلال منطقی و با جمع‌آوری اطلاعات از طریق برداشت‌های میدانی، مشاهده عینی، بررسی‌های کتابخانه‌ای و مدل‌سازی رایانه‌ای انجام گرفته است. همچنین از نرم‌افزارهایی همچون راینو (Rhino 6)، اتوکد (AutoCAD 2018)، و فوتوشاپ (Adobe Photoshop CC 2018) استفاده شده و هدف نهایی رسیدن





بیشتر بحث‌هایش ساختاری است؛ لذا مطلبی در خصوص هندسه کاربندی‌های رسمی و اختری ندارد. در تحقیق انجام شده توسط پوراحمدی (پوراحمدی ۲۰۱۴)، برای گونه‌های مختلف کاربندی، یک نامگذاری جدید و متفاوت با آنچه در معماری ایرانی وجود دارد، صورت گرفته است. اما در بخش‌های اول آن، کلیات هندسه کاربندی و تعاریف برخی گونه‌های آن ذکر شده است؛ لذا به اقتضای نحوه برخوردش با موضوع، به بررسی و تحلیل هندسه گونه‌های مختلف کاربندی نمی‌پردازد. در جمع‌بندی این بخش از مقاله، فقدان منابعی محرز می‌شود که با نگاهی عمیق‌نگر به جستجوی مبانی پایه‌ای موضوع پرداخته و با بررسی دقیق گونه‌های متنوع کاربندی رسمی و اختری، تفاوت و اصول هندسی هر دسته را کشف کند. بنابراین مقاله حاضر با در نظر گرفتن خلأ علمی مذکور، بر آن است تا با ارائه یک گونه‌بندی جامع و استخراج خصوصیات هندسی و ترسیمی هر گونه، روند طراحی این الگوی شاخص معماری ایران را در دنیای معاصر، تسهیل گرداند.

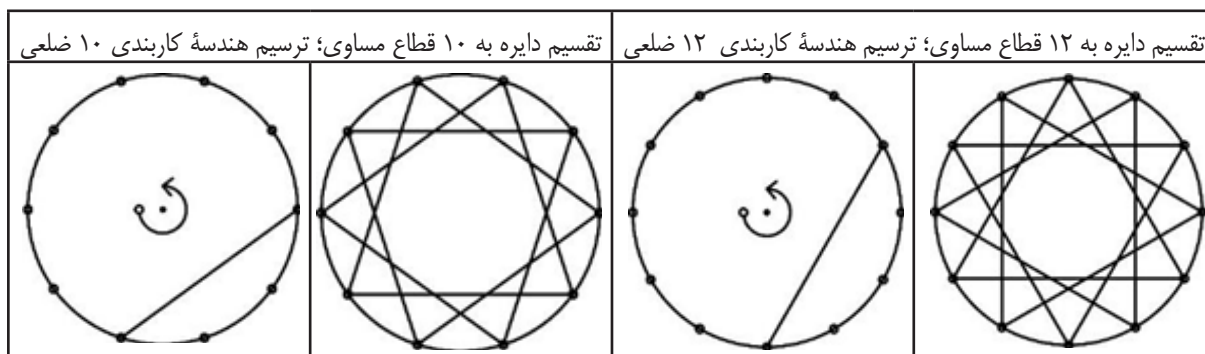
۲. هندسه کاربندی

هندسه کاربندی، از روش‌های ترسیمی کاملاً دقیق و ریاضی‌وار به دست می‌آید که درست به همین دلیل محدودیت و الزاماتی برای آن وجود دارد (آصفی و همکاران ۱۳۹۷). بررسی و تحلیل نمونه‌های کاربندی در معماری ایران براساس یافته‌های پژوهش‌های انجام شده توسط (امجد محمدی^۶ و دیگران ۲۰۱۸؛ نوایی و حاجی‌قاسمی ۱۳۹۰؛ بزנוال ۱۳۷۹) نشان می‌دهد که هندسه کاربندی بر پایه دو اصل است:

– اصل اول: هندسه پلانی کاربندی، مبتنی بر تقسیم دایره به قطاع یکسان و ترسیم وترهای متقاطع و متساوی بین نقاط تقسیم است (تصویر ۱).

به کاربندی‌های شاقولی و سرسفت دارد. دکتر معاریان در کتاب خود (معاریان ۱۳۹۱) با ارائه نظراتی – که بخشی از آنها مشابه نظرات استاد پیرنیاست – کاربندی را به دو دسته کلی شاقولی و سرسفت تقسیم کرده و حالت شاقولی را در دو دسته رسمی و اختری معرفی می‌کند. بعلاوه برای کاربندی رسمی دو گونه پرور (تکرار) و گسترش‌یافته و برای اختری، دو گونه گسیخته و پیوسته را ذکر کرده و برای هر کدام تعریف کوتاهی نوشته است. منبع دیگری که در این راستا وجود دارد «گونه‌شناسی و تدوین ساختار هندسی کاربندی در معماری ایران» می‌باشد (محمدیان و فرامرزی ۱۳۹۰). نگارندگان این مقاله دسته کاربندی‌های اختری را به کلی از گونه‌بندی خود حذف کرده‌اند و معتقدند که بر اساس تعریف ارائه شده برای کاربندی اختری، هیچ نمونه‌ای از آن در معماری ایرانی یافت نشده است؛ لذا کاربندی شاقولی را معادل کاربندی رسمی دانسته‌اند. این در حالی است که در زیر مجموعه کاربندی رسمی، دسته‌ای را تحت عنوان کاربندی‌های «منفرد دویا» مطرح کرده‌اند که تمامی نمونه‌های ارائه شده در این دسته، بر اساس تعریف کاربندی اختری (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۵)، در زیر مجموعه کاربندی اختری قرار می‌گیرد.^۳ از طرفی نیز تمامی نمونه‌های کاربندی، که از تقاطع دو کاربندی ساده همسان تشکیل شده‌اند را کاربندی مرکب دانسته‌اند؛ در حالی که بر اساس تعریف کاربندی رسمی گسترش‌یافته (معاریان ۱۳۹۱، ۳۵۰؛ پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۴۴) این گونه کاربندی‌ها در دسته کاربندی رسمی گسترش‌یافته قرار می‌گیرند.^۴ بعلاوه در این مقاله گونه‌هایی از کاربندی که از دوران یک مربع، حول مرکز خود، تشکیل یافته‌اند نیز جزئی از کاربندی‌های مرکب معرفی شده‌اند؛ اما این نوع کاربندی‌ها بر اساس تعاریف کاربندی اختری گسیخته (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۵؛ معاریان ۱۳۹۱، ۳۵۳)، در دسته کاربندی‌های اختری گسیخته قرار می‌گیرند.^۵ با درک این موارد روشن است که گونه‌بندی ارائه شده در این مقاله چندان دقیق نیست و باید مورد بازبینی قرار گیرد. مقاله دیگری که باید بدان اشاره کرد توسط دکتر رئیسی (۱۳۹۲) تحریر یافته است. این مقاله وارد بحث‌های هندسه ترسیمی کاربندی و خصوصیات هندسی گونه‌های مختلف کاربندی نشده و

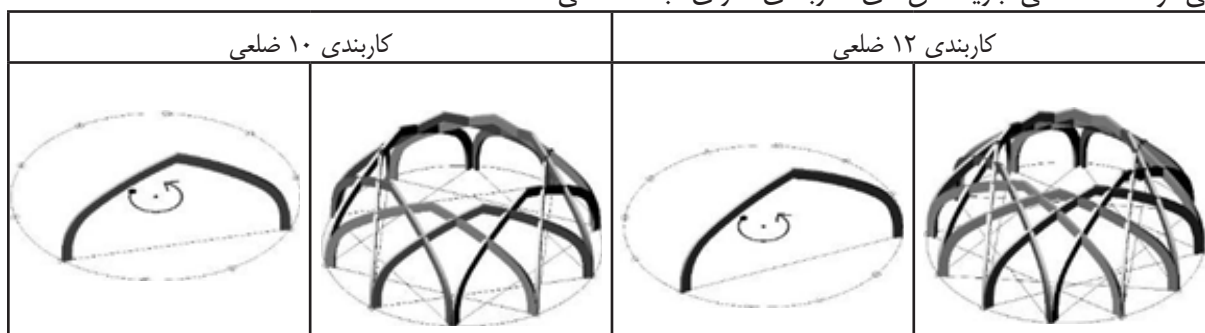




تصویر ۱. هندسه پلانی کاربردی (مأخذ: نگارندگان)

و تناسبات یکسانی هستند (تصویر ۲). در اجرا نیز برای ساخت تمامی باریکه‌تاق‌ها فقط از یک نوع قالب استفاده می‌کنند.

- اصل دوم: ساختار هندسه سه‌بعدی کاربردی، بر اساس دوران یک باریکه‌تاق حول مرکز دایره محیطی تشکیل می‌شود؛ لذا تمامی باریکه‌تاق‌های کاربردی دارای ابعاد



تصویر ۲. هندسه سه‌بعدی کاربردی (مأخذ: نگارندگان)

هستند (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۱). بر اساس نظر استاد پیرنیا (۱۳۸۵، ۱۲) کاربردی‌های رسمی و اختری نیز تماماً به شکل شاقولی می‌باشند و در این دسته قرار می‌گیرند؛ لذا برای شناخت این دو نوع کاربردی، می‌بایست کاربردی‌های شاقولی و سرسفت نیز مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند.

. گونه‌شناسی هندسی؛ کاربردی رسمی و اختری اسناد و کتب معماری و مشاهدات میدانی از مصادیق اجرا شده نشان می‌دهد که کاربردی به دو دسته «شاقولی» و «سرسفت» تقسیم شده است. کاربردی‌های نوع سرسفت نسبت به نوع شاقولی از تداول کمتری برخوردارند و بیشتر نمونه‌های کاربردی موجود در معماری ایران از نوع شاقولی



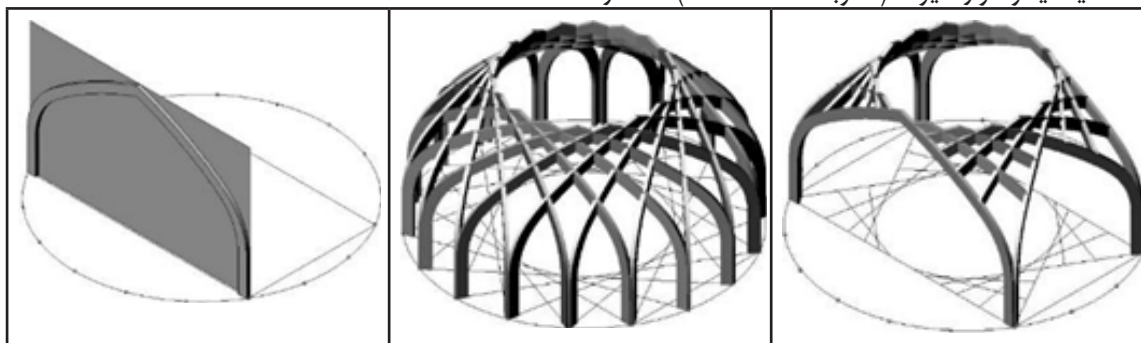
نمودار ۱. دسته‌بندی هندسه کاربردی (مأخذ: نگارندگان)





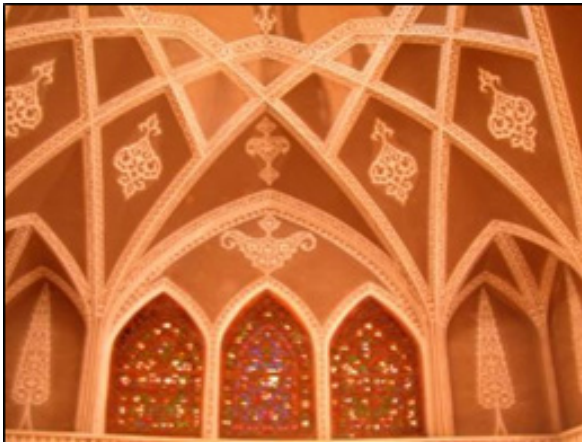
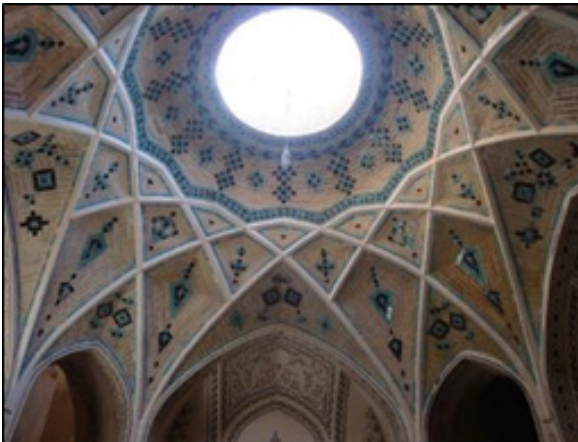
این حالت باریکه تاق ها غالباً بصورت یک قوس کامل عمل می کنند و کاربندی تشکیل یافته از توان باربری بالایی برخوردار است (تصویر ۳).

۱-۳. کاربندی شاقولی این دسته شامل گونه هایی است که هر دو نیمه باریکه تاق های تشکیل دهنده کاربندی، در یک صفحه و در امتداد یکدیگر قرار گیرند (شعرباف ۱۳۸۵، ۱۰). لذا در



تصویر ۳. کاربندی شاقولی (مأخذ: نگارندگان)

نمونه هایی از این نوع کاربندی در حمام مردانه خانه عامری ها و تالار خانه عباسیان وجود دارد که هر دو بنا مربوط به دوره تاریخی قاجاریه است (تصویر ۴).

تالار خانه عباسیان	حمام مردانه خانه عامری ها
	

ردیف هایی از ترنج، دو نیمه باریکه تاق ها در تیزه از هم جدا شده و تقاطع یک در میان یا دو در میان باریکه تاق ها، هندسه ای مشابه کاربندی های سرسفت را نشان می دهند. اما با توجه به اینکه این نوع کاربندی، از هندسه کاربندی های شاقولی به دست می آید و باریکه تاق های از هم جدا شده نیز دقیقاً در یک راستا قرار دارند. لذا در مقاله حاضر نیز همچون منابع قبلی، این حالت زیر مجموعه کاربندی های شاقولی قرار گرفته است.

استفاده از کاربندی شاقولی در معماری ایران، همیشه به یک شکل نبوده است؛ گاهی به منظور کوتاه تر کردن ارتفاع کاربندی، یک یا چندین ردیف از ترنج های نزدیک مرکز حذف شده و کاربندی حاصله سیمای جدیدی به خود گرفته است. در اغلب منابع، این نوع کاربندی ها نیز در دسته کاربندی شاقولی قرار گرفته اند (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۶۶؛ شعرباف ۱۳۸۵، ۱۱۳). لکن چنانکه در تصاویر ۵ و ۶ نیز روشن است؛ با حذف





کاربندی شاقولی کامل دارای ۴ ردیف ترنج	کاربندی شاقولی با یک ردیف حذف ترنج دارای ۳ ردیف ترنج	کاربندی شاقولی با دو ردیف حذف ترنج دارای ۲ ردیف ترنج

تصویر ۵. حذف یک یا دو ردیف از ترنج های کاربردی شاقولی (مأخذ: نگارندگان)

توان باربری سازه، از چندین باریکه تاق پنهان نیز استفاده شده است که از فضای داخلی قابل دیدن نیستند؛ این باریکه تاق ها اصلی ترین عناصر باربر کاربردی بحساب می آیند و اجزای کاربردی متصل بر آنها اجرا می شوند (تصویر ۶).

در این حالت دو نیمه از باریکه تاق ها، از هم فاصله گرفته و اتصال مستقیمی باهم ندارند؛ لذا نسبت به کاربردی شاقولی کامل، از توان باربری کمتری برخوردارند (چناقلو و دیگران ۲۰۱۷). در برخی از نمونه های این شیوه، به منظور افزایش

کاربندی شاقولی کامل دارای ۴ ردیف ترنج	کاربندی شاقولی با یک ردیف حذف ترنج دارای ۳ ردیف ترنج	کاربندی شاقولی با دو ردیف حذف ترنج دارای ۲ ردیف ترنج

تصویر ۶. نمایش ضعف سازه ای کاربردی شاقولی با یک یا دو ردیف حذف ترنج. تصویر پایین؛ افزایش توان باربری این نوع کاربردی با استفاده از باریکه تاق های پنهان (مأخذ: نگارندگان)



حذف ترنج بیشتر در کاربردی های رسمی گسترش یافته^۹ صورت می گیرد که یکی از نمونه های آن، در تیمچه حاج محمدقلی بازار تاریخی تبریز قرار دارد که مربوط به دوره تاریخی قاجاریه است (تصویر ۷).

تصویری از بیرون؛ نمایش باریکه تاق های پنهان (مأخذ: از آرشیو دکتر تهرانی)	تصویری از درون؛ کاربردی شاقولی با دو ردیف حذف ترنج (مأخذ: نگارندگان)
	

تصویر ۷. کاربردی تیمچه حاج محمدقلی در بازار تبریز

هیچکدام از دسته های رسمی و اختری قرار نمی گیرند. لذا این تحقیق دسته دیگری تحت عنوان کاربردی «مرکب» به دو دسته دیگر کاربردی های شاقولی اضافه کرده و نمونه های ترکیبی مذکور را در این دسته بررسی نموده است.

هندسه کاربردی های شاقولی به دو دسته کاربردی «رسمی» و «اختری» تقسیم شده اند (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۲)؛ نمونه های کاربردی موجود در معماری ایرانی نشان می دهد که این دو دسته همیشه بصورت منفرد بکار نمی روند؛ برخی نمونه های ترکیبی نیز وجود دارند که از لحاظ هندسی در



نمودار ۲. دسته بندی کاربردی شاقولی (مأخذ: نگارندگان)

دایره (۳به۳، ۴به۴، ۵به۵ و غیره) d نامیده شود؛ همواره رابطه زیر برقرار است:

$$d=a$$

رابطه فوق بدین معناست که اگر طول مستطیل زمینه در مقابل ۵ قطاع از دایره قرار گیرد؛ اتصال نقاط تقسیم روی دایره با فاصله ۵به۵ صورت گیرد (تصویر ۸).

۳-۱-۱. رسمی

این نوع کاربردی، پرکاربردترین و مرسوم ترین گونه کاربردی است و به همین دلیل به آن رسمی گویند. مشخصه هندسه کاربردی رسمی در زمینه های مستطیلی و مربعی این است که فاصله اتصال نقاط تقسیم روی دایره با توجه به طول زمینه تعیین می شود (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۲)؛ چنانکه اگر تعداد قطاع دایره، در مقابل طول مستطیل a و فاصله اتصال نقاط تقسیم





استقرار طول زمینه در برابر ۵ قطاع از دایره	اتصال نقاط روی دایره با فاصله ۵به۵	حذف امتداد خطوط موجود در خارج زمینه و داخل سوسنی‌ها؛ تشکیل هندسه کاربردی

تصویر ۸. کاربردی رسمی در زمینه مستطیلی (مأخذ: نگارندگان)

مفروض تعیین می‌شود^{۱۱} (تصویر ۹). در صورتی که مستطیل‌های مفروض همسان نباشند؛ امکان اجرای کاربردی رسمی وجود ندارد.

در زمینه‌های غیرمستطیلی و غیرمربعی نیز، ابتدا زمینه بشکل ترکیبی از دو یا چندین مستطیل متقاطع و همسان فرض شده و فاصله اتصال نقاط تقسیم دایره با توجه به طول مستطیل‌های

زمینه غیرمستطیلی	فرض زمینه بشکل دو مستطیل متقاطع و همسان؛ استقرار طول مستطیل‌ها در برابر ۵قطاع از دایره	اتصال نقاط روی دایره با فاصله ۵به۵	حذف امتداد خطوط موجود در خارج زمینه و داخل سوسنی‌ها؛ تشکیل هندسه کاربردی

تصویر ۹. کاربردی رسمی در زمینه غیرمستطیلی (مأخذ: نگارندگان)

از دو دسته ساده و گسترش یافته قرار نمی‌گیرند. لذا دسته دیگری تحت عنوان کاربردی «رسمی خاص» به این دو دسته اضافه شده و سه دسته مذکور، ذیلاً مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

استاد پیرنیا کاربردی رسمی را به دو دسته «ساده» و «گسترش یافته» تقسیم کرده است (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵). اما کاربردی‌های موجود در معماری ایران، روشنگر این حقیقت است که برخی از نمونه‌های خاص کاربردی رسمی، در هیچکدام





نمودار ۳. دسته بندی کاربردی رسمی (مأخذ: نگارندگان)

پیرامونی مسجد کبود تبریز^{۱۲} و حمام گنجعلی خان کرمان بکار رفته است (تصویر ۱۰). همچنین در هندسه ترسیمی این نوع کاربردی همواره روابط زیر برقرار است:
در زمینه های مربعی:

$$d=n/4$$

در زمینه های مستطیلی:

$$d>n/4$$

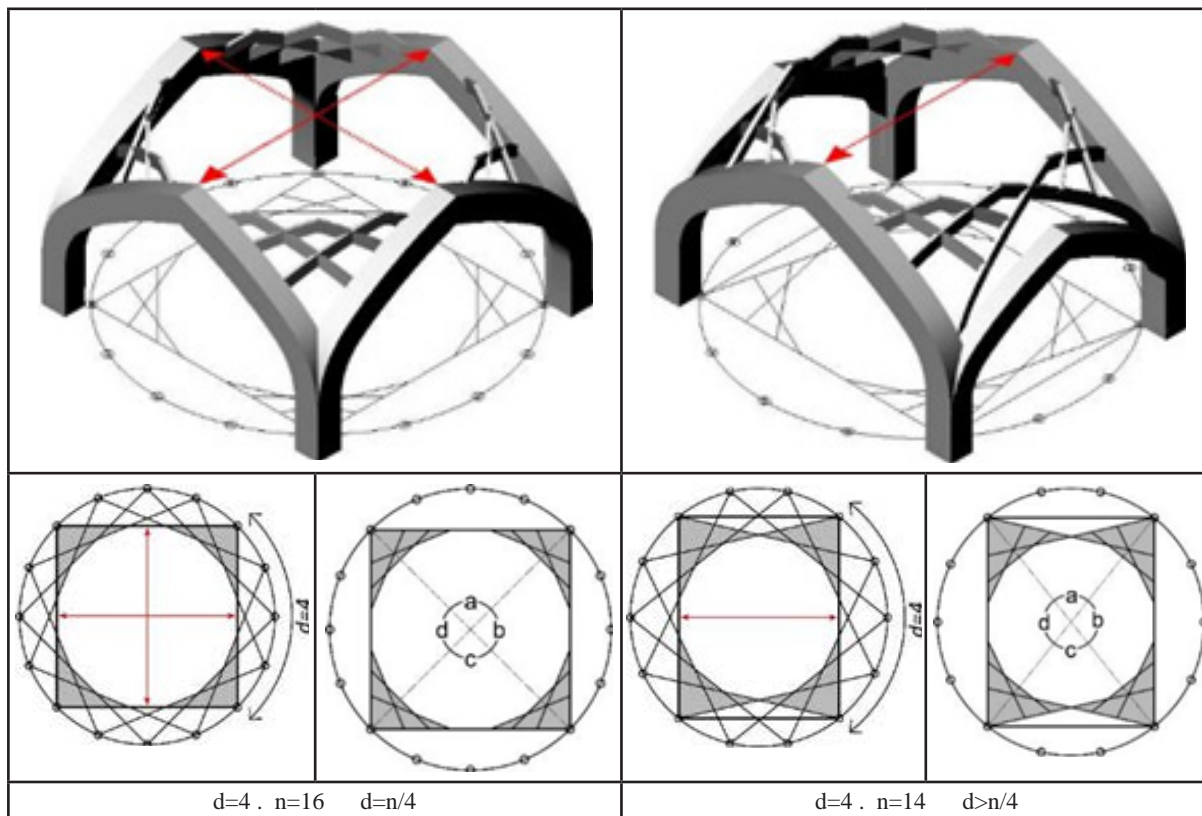
که در آن d ، فاصله اتصال نقاط تقسیم دایره (۳ به ۳، ۴ به ۴، ۵ به ۵ و غیره) و n ، تعداد اضلاع کاربردی (تعداد قطاع روی دایره) است.

۱-۱-۱. ساده (گونه بندی)^{۱۱}

عنوان کاربردی رسمی ساده به آن دسته از کاربردی هایی اطلاق شده است که در زمینه های مستطیلی و مربعی اجرا می شوند و تنها دارای چهار پایه باربر بر روی زمین هستند. در این شیوه، همواره شمسه در بزرگترین حالت خود و مماس بر اضلاع زمینه است (کاشانی ۱۳۶۶)؛ سوسنی نیز در زمینه های مربعی حذف شده و در زمینه های مستطیلی تنها در دو طرف روبرو تشکیل می شود (تصویر ۱۰). نمونه هایی از این نوع کاربردی در رواق

<p>رواق پیرامونی مسجد کبود تبریز (کاربندی ۱۶ ضلعی در زمینه مربعی)</p>	<p>حمام گنجعلی خان کرمان (کاربندی ۱۴ ضلعی در زمینه مستطیلی)</p>
	
<p>عدم تشکیل سوسنی و مماس بودن شمسه به هر چهار طرف زمینه</p>	<p>تشکیل سوسنی فقط در دو طرف کاربردی و مماس بودن شمسه به دو طرف دیگر</p>





تصویر ۱۰. نمونه‌هایی برای کاربردی ساده (مأخذ: نگارندگان)

زمین دارد و بدین سبب نسبت به کاربردی ساده از توان باربری بیشتری برخوردار است. در کاربردی گسترش‌یافته -برخلاف کاربردی ساده- شمشه مماس بر اضلاع زمینه نبوده و کوچکتر است. نمونه‌های زیبایی از این شیوه در حمام سلطان امیر احمد کاشان و مسجد حاج صفر علی تبریز بکار رفته است (تصویر ۱۱). همچنین در این نوع کاربردی همواره رابطه زیر برقرار است:

$$d > n/4$$

که در آن d ، فاصله اتصال نقاط تقسیم دایره (۳به۳، ۴به۴، ۵به۵ و غیره) و n ، تعداد اضلاع کاربردی (تعداد قطاع روی دایره) است.

رابطه جالب توجه دیگری که در این نوع کاربردی وجود دارد این است که همواره چهار زاویه مرکزی بدست آمده از ترسیم اقطار زمینه، مضربی از حاصل تقسیم 360° بر تعداد اضلاع کاربردی $(360^\circ/n)$ هستند.

رابطه (۱)،

$$\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{d} = \left(\frac{360^\circ}{n}\right)x, \quad x \in N$$

۳-۱-۱-۲. گسترش یافته

چنانکه یک کاربردی از تقاطع دو یا چند کاربردی ساده مستطیلی همسان تشکیل شود، آن را کاربردی گسترش‌یافته گویند (معماریان ۱۳۹۱، ۳۵۰؛ پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۴۴). در این حالت معمولاً کاربردی هشت پایه برابر بر روی





<p>حمام سلطان امیر احمد کاشان؛ گسترش کاربردی ۱۴ ضلعی در زمینه هشت ضلعی خاص؛ دارای هشت پایه باربر بر روی زمین.</p>		<p>مسجد حاج صفرعلی تبریز؛ گسترش کاربردی ۱۲ ضلعی در زمینه مربع؛ دارای چهار پایه باربر بر روی زمین.</p>	
<p>۱. کاربردی ۱۴ ضلعی: تقسیم دایره به ۱۴ قطاع مساوی</p>	<p>۲. فرض زمینه بشکل دو مستطیل متقاطع و همسان؛ استقرار طول مستطیل ها در برابر ۵ قطاع از دایره</p>	<p>۱. کاربردی ۱۲ ضلعی: تقسیم دایره به ۱۲ قطاع مساوی</p>	<p>۲. فرض زمینه بشکل دو مستطیل متقاطع و همسان؛ استقرار طول مستطیل ها در برابر ۴ قطاع از دایره</p>
<p>۳. اتصال نقاط تقسیم روی دایره با فاصله ۵ به ۵</p>	<p>۴. حذف یک ردیف از ترنج های نزدیک مرکز. ۵. تشکیل سوسنی در هشت طرف کاربردی و مماس نبودن شمس به اضلاع زمینه</p>	<p>۳. اتصال نقاط تقسیم روی دایره با فاصله ۴ به ۴</p>	<p>۴. تشکیل سوسنی در چهار طرف کاربردی و مماس نبودن شمس به اضلاع زمینه</p>
<p>$d=5, n=14$ $d>n/4$</p>		<p>$d=4, n=12$ $d>n/4$</p>	

تصویر ۱۱. نمونه هایی برای کاربردی گسترش یافته (مأخذ: نگارندگان)





سه‌ضلعی، چهارضلعی‌های غیرمستطیلی و غیرمربعی، پنج‌ضلعی و غیره اجرا شوند. نمونه‌هایی از این نوع کاربردی در حمام و کیل شیراز و گنبدخانه بقعه بابا رکن‌الدین اصفهان قرار دارد. در این نوع کاربردی‌ها، بزرگترین ضلع زمینه، مبنای اتصال نقاط تقسیم روی دایره است؛ برای مثال در هر دو نمونه حمام و کیل و بقعه بابا رکن‌الدین، بزرگترین ضلع زمینه در برابر سه قطاع از دایره قرار گرفته است، لذا اتصال نقاط با فاصله ۳به ۳ می‌باشد (تصویر ۱۲).

همانطور که در تصویر ۱۱ دیده می‌شود؛ در این نوع کاربردی، طول مستطیل‌ها معیار یافتن فاصله اتصال نقاط تقسیم روی دایره هستند. برای مثال در کاربردی حمام سلطان امیر احمد کاشان طول مستطیل‌ها در برابر ۵قطاع از دایره قرار گرفته‌اند؛ لذا نقاط تقسیم دایره با فاصله ۵به ۵ وصل شده‌اند.

۳-۱-۱-۳. رسمی خاص

عنوان کاربردی رسمی خاص به کاربردی‌هایی اطلاق شده است که در زمینه‌های غیرمرسوم و خاص، همچون

حمام و کیل شیراز (مأخذ: محمدیان و فرامرزی ۱۳۹۰، ۱۰۴)		گنبدخانه بقعه بابا رکن‌الدین اصفهان	

تصویر ۱۲. کاربردی رسمی خاص (مأخذ: نگارندگان)



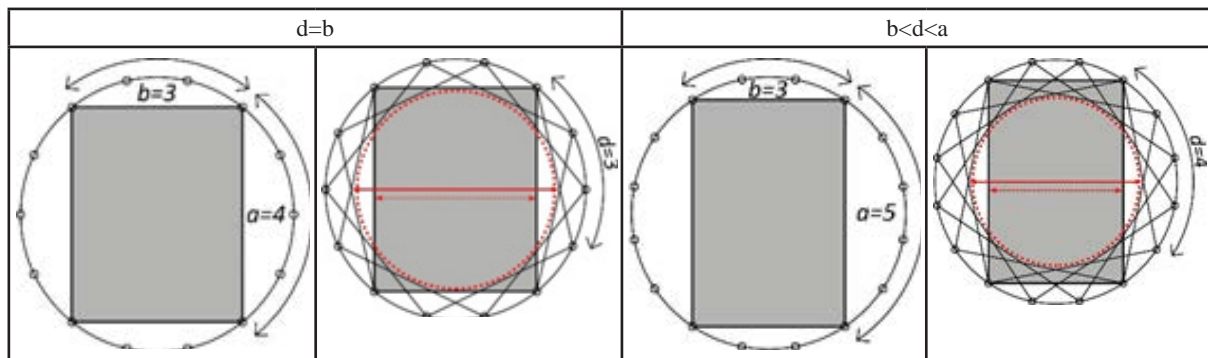
۳-۱-۲. اختری

کاربندی اختری به آن دسته از کاربردی‌هایی اتلاق شده است که در آنها، فاصله اتصال نقاط تقسیم روی دایره بطور دلخواه (۳به۳، ۴به۴، ۵به۵ و غیره) انتخاب شود (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۵) و برابر با تعداد قطاع دایره در برابر طول زمینه نباشد (d≠a)^{۱۳}. با توجه به تعریف مذکور، اگر تعداد قطاع دایره، در مقابل طول مستطیل (a)، تعداد قطاع دایره، در مقابل عرض مستطیل (b)، فاصله اتصال نقاط تقسیم دایره (۳به۳، ۴به۴، ۵به۵ و غیره) (d) و تعداد کل تقسیمات دایره (n) نامیده شود؛ از لحاظ ریاضی حالات ذیل

پیش می‌آیند که باید بررسی شوند:

- d < b
- d = b
- b < d < a
- a < d < n/2
- d = n/2

تحقق سه حالت اول در زمینه‌های مستطیلی، امکان‌پذیر نیست (امجد محمدی و دیگران ۲۰۱۹)؛ زیرا در این صورت شمسه بزرگتر از ماکزیمم مقدار خود شده و اضلاع زمینه را قطع می‌کند؛ لذا کاربردی داخل زمینه تشکیل نمی‌شود (تصویر ۱۳).



تصویر ۱۳. عدم امکان پیاده‌سازی هندسه کاربردی در زمینه‌های مستطیلی، اگر $d < a$ باشد (مأخذ: نگارندگان)

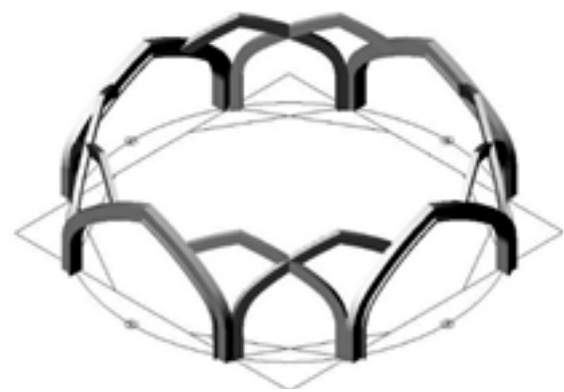
صفرعلی تبریز (اختری ۲۸ ضلعی) بکار رفته است (تصویر ۱۴). شایان ذکر است که اگر قصد بر اجرای کاربردی رسمی ۱۲ ضلعی در زمینه کاربردی مسجد حکیم و اجرای کاربردی رسمی ۲۸ ضلعی در زمینه کاربردی مسجد حاج صفرعلی وجود داشت؛ لازم بود که نقاط تقسیم دایره در اولی با فاصله ۴به۴ ($d=a$) و در دومی با فاصله ۸به۸ وصل گردد.

اما حالات دوم و سوم در برخی از زمینه‌های غیرمستطیلی -مانند مربع و هشت ضلعی- امکان‌پذیر هستند؛ در حالت دوم ($d=b$)، شمسه در بزرگترین حالت خود و مماس بر اضلاع زمینه است و کاربردی هشت پایه برابر بر روی زمین دارد (تصویر ۱۴)^{۱۴}. این نوع کاربردی مقاوم‌ترین نوع کاربردی است که معمولاً در محل انتقال زیر گنبد استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از این شیوه در زیر گنبد مسجد حکیم اصفهان (اختری ۱۲ ضلعی) و زیر گنبد مسجد حاج

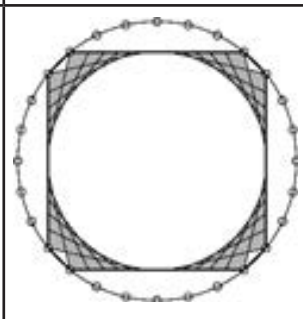
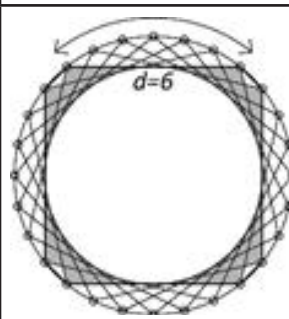
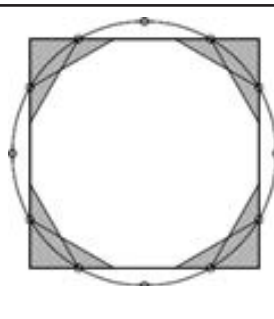
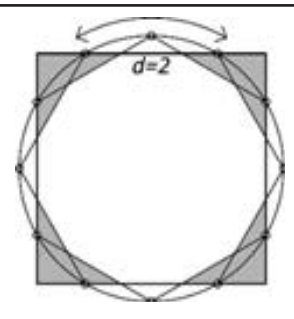
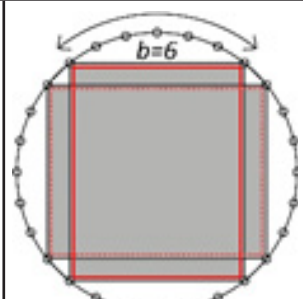
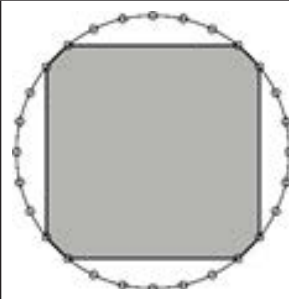
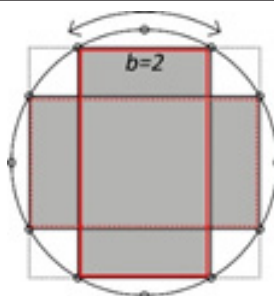
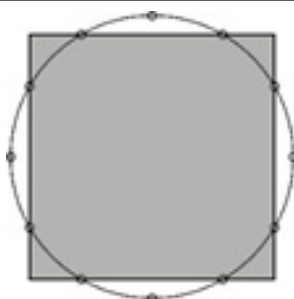
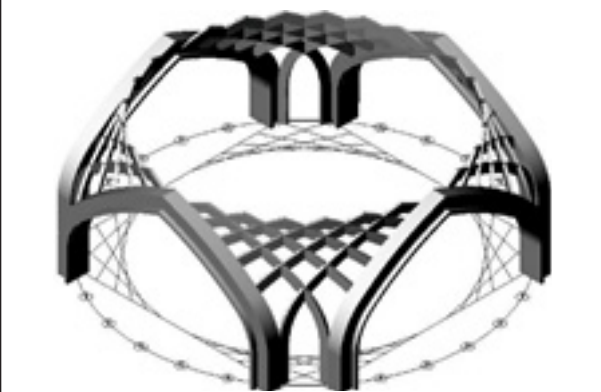




مسجد حکیم اصفهان



مسجد حاج صفرعلی تبریز



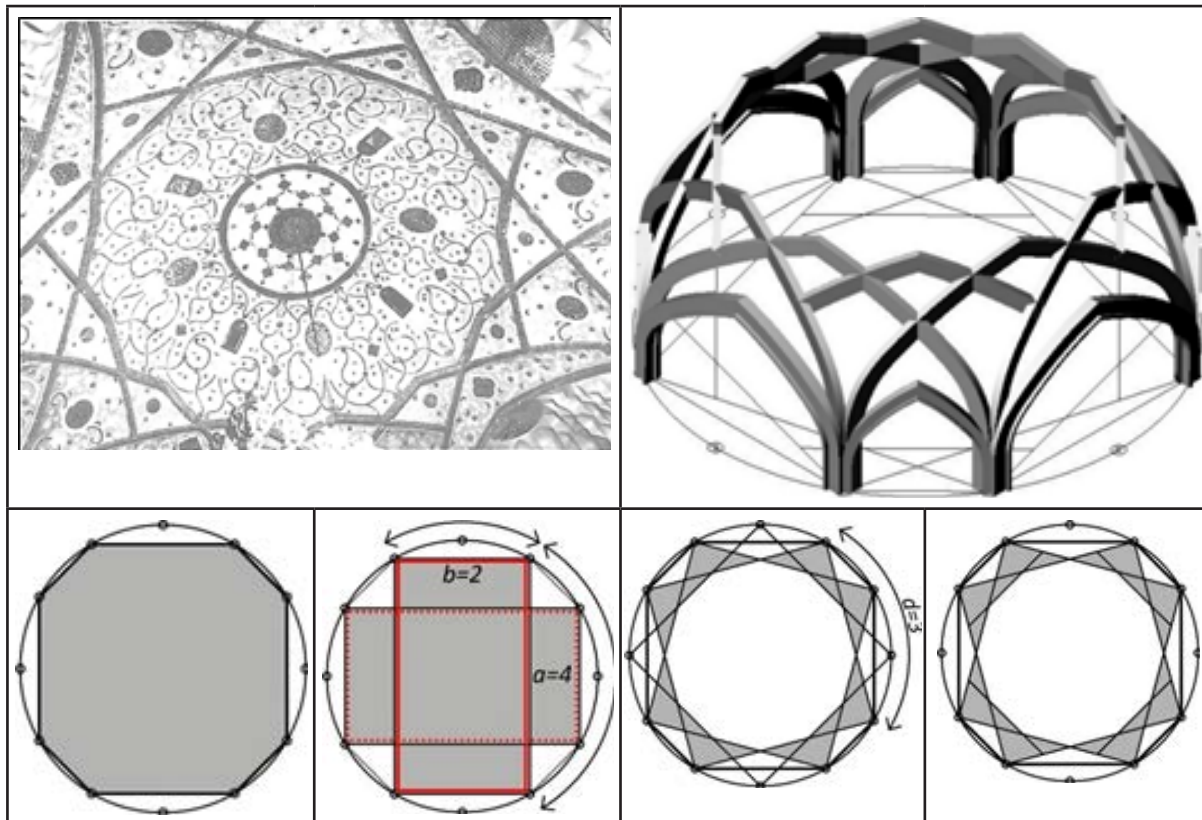
تصویر ۱۴. کاربندی اختری؛ $d=b$ (مأخذ: نگارندگان)





در امامزاده حسین قزوین (کاربندی اختری ۱۲ ضلعی) موجود است (تصویر ۱۵).

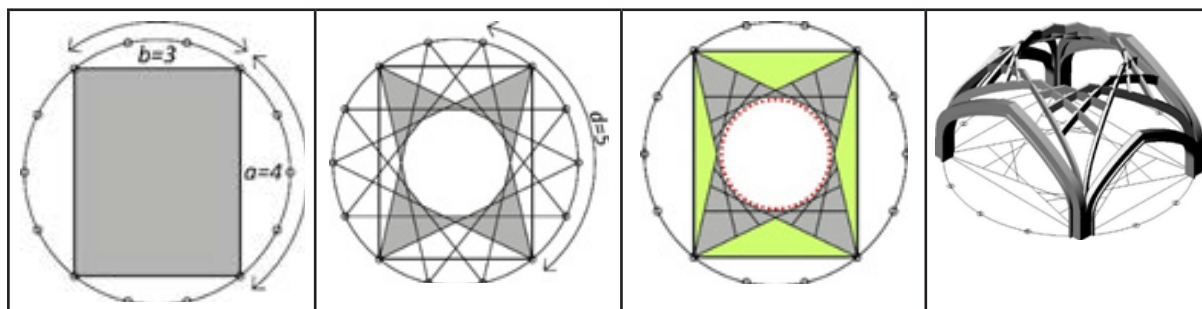
تحقق حالت سوم ($b < d < a$) نیز در برخی از زمینه های غیرمستطیلی امکان پذیر است. در این حالت شمسه کوچکتر از حالت قبل شده و در اطراف کاربندی سوسنی تشکیل می شود. نمونه ای از این شیوه



تصویر ۱۵. کاربندی اختری؛ $b < d < a$ ، امامزاده حسین قزوین (مأخذ عکس از پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵)

سوسنی تشکیل می شود (تصویر ۱۶). این نوع کاربندی اختری علی رغم اینکه از لحاظ هندسی کاملاً منطقی و درست است؛ ولی در بین نمونه های اجرا شده چندان مرسوم نمی باشد. حال اگر

از لحاظ هندسی، در زمینه های مستطیلی و غیرمستطیلی، تحقق حالت چهارم ($a < d < n/2$) امکان پذیر است. در این صورت قطر شمسه کوچکتر از تمامی حالات قبل شده و در اطراف کاربندی



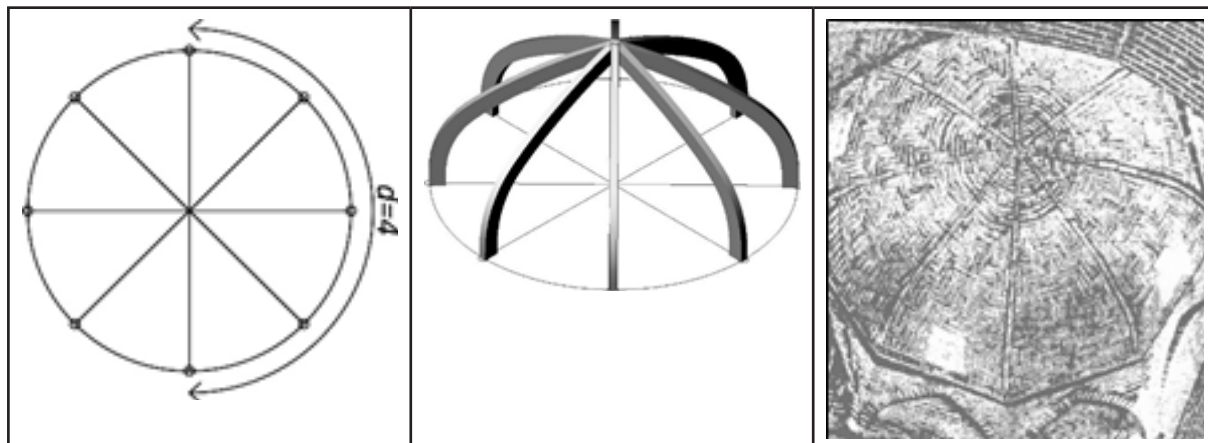
تصویر ۱۶. کاربندی اختری در زمینه مستطیلی؛ $a < d < n/2$ (مأخذ: نگارندگان)



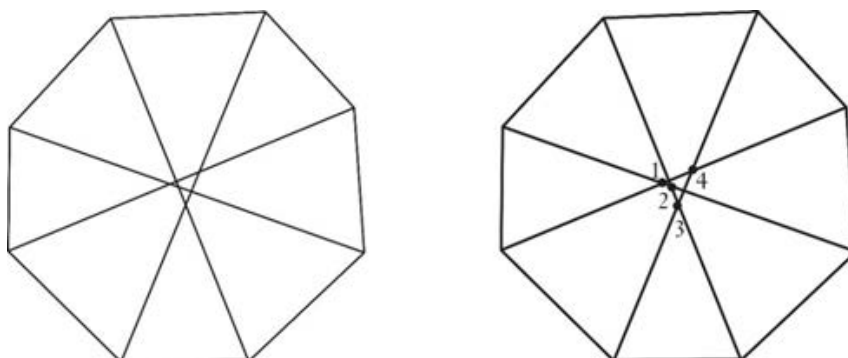


تعریف هندسی کاربرندی اختری، تاق ترکیب نیز نوعی کاربرندی اختری است. این نوع تاق کاربرد فراوانی در معماری ایرانی داشته است که نمونه‌هایی از آن در مسجد جامع اردستان، مسجد جامع اصفهان و مسجد جامع برسپان وجود دارد (تصویر ۱۷).

$d=n/2$ باشد؛ تمامی وترهای ترسیم شده از مرکز دایره می‌گذرند؛ در این حالت، برخی از اجزای کاربرندی همچون شمسه و ترنج حذف شده و کاربرندی حاصله یک نوع خاص تاق می‌باشد که اصطلاحاً بدان تاق ترکیب گویند (تصویر ۱۷). بنابراین بر اساس



تصویر ۱۷. کاربرندی اختری $d=n/2$ ؛ تاق ترکیب، مسجد جامع اردستان (مأخذ عکس از بزנוال ۱۳۷۹)



تصویر ۱۸. زمینه هشت‌ضلعی نامنتظم؛ عدم امکان تشکیل کاربرندی (مأخذ: جونز^{۱۵} و دیگران ۲۰۱۰، ۴۳)

لازم است دسته دیگری تحت عنوان «ترکین» به این دو دسته اضافه شود. بر این اساس، در ادامه کاربرندی اختری در سه دسته مذکور مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

کاربرندی اختری از جنبه‌های هندسی به دو دسته «گسیخته» و «پیوسته» تقسیم شده است (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۵). لکن هیچکدام از این دو دسته، شامل تاق ترکیب نمی‌شوند؛ لذا با توجه به اینکه تاق ترکیب نیز یک نوع کاربرندی اختری محسوب می‌شود؛



نمودار ۴. دسته‌بندی کاربرندی اختری (مأخذ: نگارندگان)



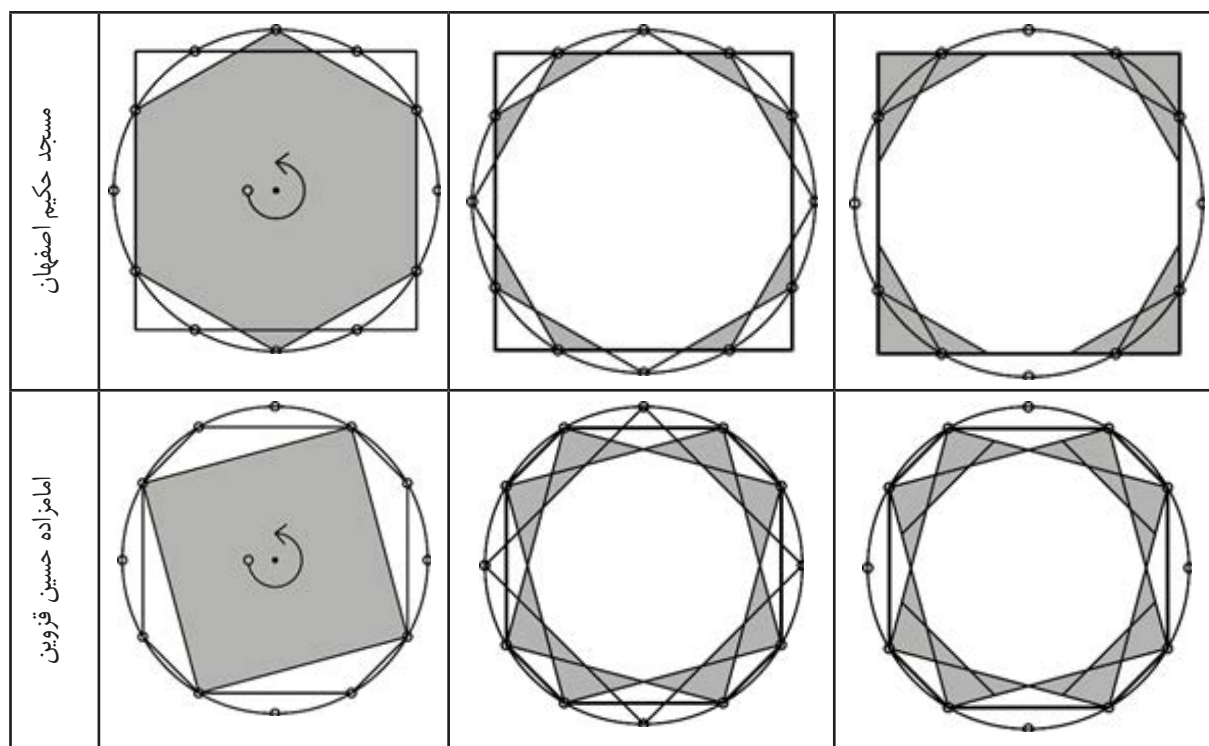


مربع زمینه تشکیل شود؛ در این حالت با توجه به برقراری رابطه $d=a$ (کاربندی حاصله از نوع کاربندی رسمی ساده می باشد) تصویر ۱۰.

بنا بر گفته های فوق، دو کاربندی مسجد حکیم اصفهان و امامزاده حسین قزوین، از نوع اختری گسیخته می باشند؛ بطوریکه کاربندی مسجد حکیم از دوران یک شش ضلعی منتظم و کاربندی امامزاده حسین از دوران یک مربع تشکیل شده اند (تصاویر ۱۴، ۱۵، و ۱۹).

۱-۲-۱-۳ گسیخته

کاربندی اختری گسیخته، شامل آن دسته از کاربندی هایی است که «از تقاطع اضلاع تعدادی چندضلعی [منتظم] (بیشتر مربع) بدست آیند» (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۵). تطبیق تعریف مذکور با نمونه های موجود در معماری ایرانی، روشنگر این نکته است که هرگاه کاربندی از دوران یک چندضلعی منتظم (بیشتر مربع) حول مرکز خود بدست آید؛ کاربندی حاصله اختری گسیخته است (تصویر ۱۹). به استثنای مواقعی که زمینه، مربع باشد و کاربندی از دوران



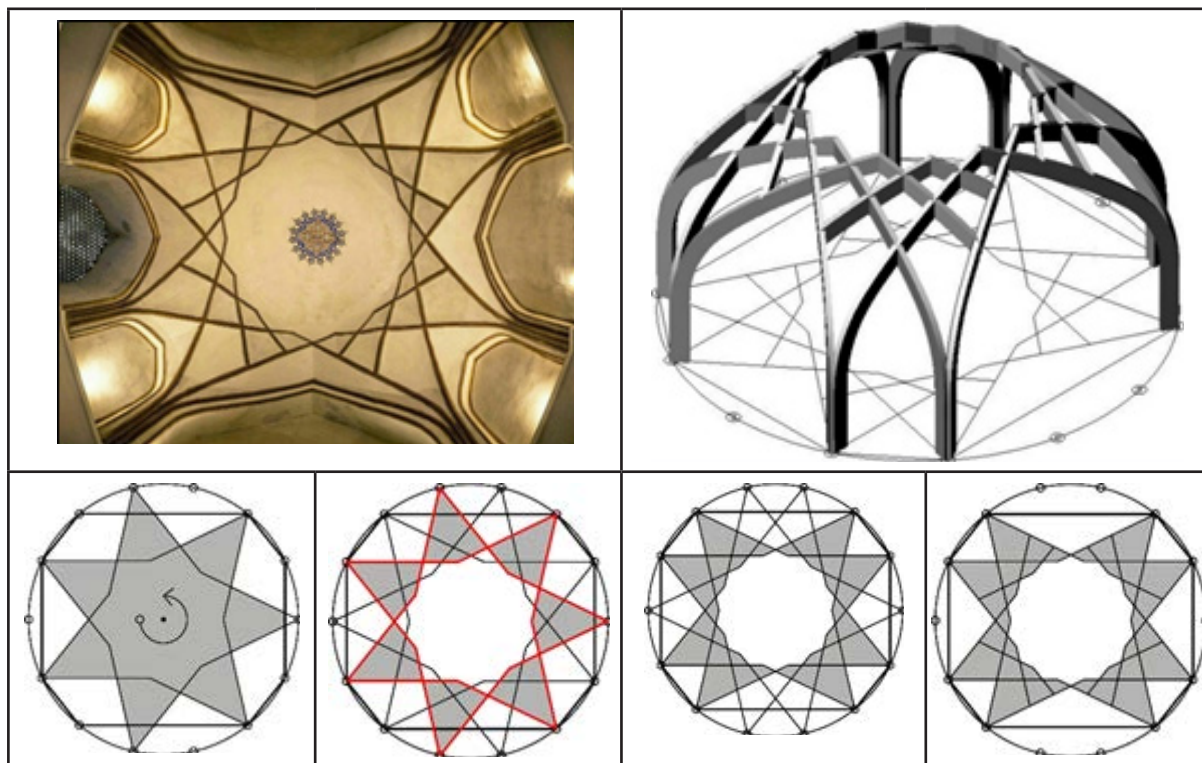
تصویر ۱۹. کاربندی اختری گسیخته (مأخذ: نگارندگان)

دور حرکت به همان نقطه برگشته و یک چندضلعی منتظم تشکیل می دهند. یک نمونه زیبایی از کاربندی اختری پیوسته در باغ فین کاشان قرار دارد (تصویر ۲۰). چنانکه در تصویر ۲۰ با خطوط قرمز نشان داده شده است؛ خطوط کاربندی تا دو دور بصورت پیوسته حرکت کرده اند و در نهایت یک شکل ستاره ای تشکیل داده اند. از دوران این شکل ستاره ای هندسه کاربندی قابل حصول است.

۲-۲-۱-۳ پیوسته

هرگاه خطوط هندسه یک کاربندی اختری، «از یک نقطه در محیط دایره شروع شود و پس از تکرار به همان نقطه برسد؛ [کاربندی حاصله] از نوع پیوسته است» (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵، ۱۵). این تعریف بدان معنا است که در اختری پیوسته، خطوط کاربندی پس از دو یا چندین دور حرکت به نقطه اول برمی گردند؛ در حالی که در نوع اختری گسیخته، خطوط از یک نقطه شروع می شوند و پس از یک

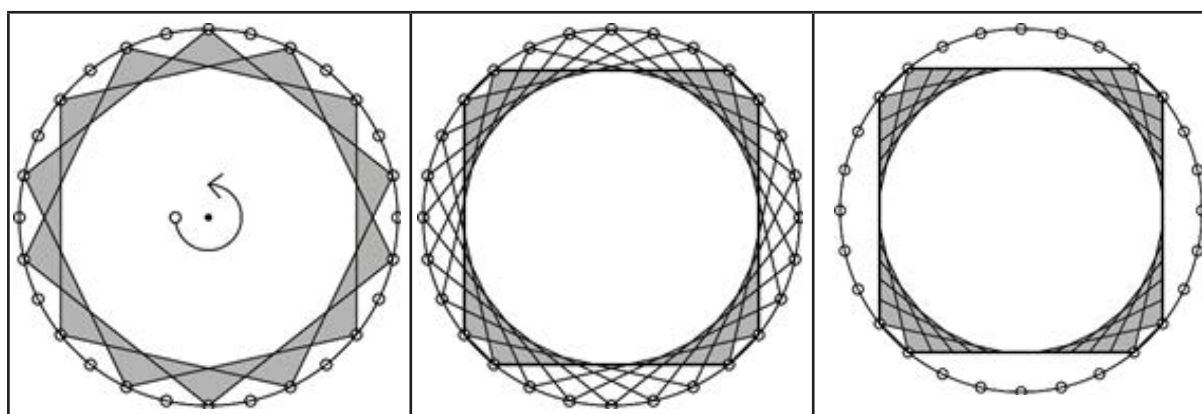




تصویر ۲۰. کاربندی اختری^{۱۶} پیوسته؛ باغ فین کاشان (مأخذ: نگارندگان)

ستاره‌های پیوسته و یا از دوران آن، تشکیل می‌شود. نمونه دیگری از کاربندی اختری پیوسته در زیر گنبد مسجد حاج صفرعلی تبریز قرار دارد (تصاویر ۱۴ و ۲۱).

با بررسی گونه‌های مختلف کاربندی اختری، روشن است که وجه تمایز هندسه کاربندی اختری گسیخته و پیوسته این است که در حالت گسیخته، دوران یک چندضلعی منتظم هندسه کاربندی را ایجاد می‌کند؛ اما در حالت پیوسته، هندسه کاربندی از یک شکل



تصویر ۲۱. کاربندی اختری پیوسته؛ مسجد حاج صفرعلی تبریز (مأخذ: نگارندگان)

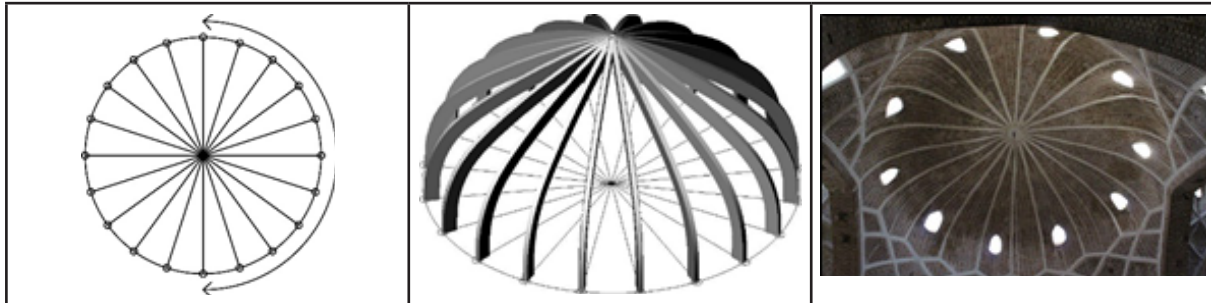




تیمچه ملک بازار تبریز، مسجد جامع اردستان، مسجد جامع اصفهان و مسجد جامع برسیان مشهود است (تصاویر ۱۷ و ۲۲).

۱-۲-۳. ترکیب

این دسته شامل کاربردی‌هایی است که از دوران یک خط صاف حول نقطه وسط خود تشکیل می‌شوند. نمونه‌هایی از این نوع کاربردی در



تصویر ۲۲. کاربردی اختری ترکیب؛ تیمچه ملک در بازار تبریز (مأخذ: نگارندگان)

کاربردی تحت عنوان «پرور (تکرار)» و «سوار» نام می‌برد (پیرنیا و بزرگمهری ۱۳۸۵)؛ با توجه به اینکه این دو نوع کاربردی از ترکیب دو یا چندین کاربردی تشکیل می‌شوند؛ در زیر مجموعه کاربردی مرکب بررسی شده‌اند. در معماری ایران دو نوع کاربردی دیگر نیز با عناوین «دوچفدی» و «درون‌زا» استفاده شده است (محمدیان و فرامرزی ۱۳۹۱) که همچون دو حالت قبل بصورت ترکیب دو یا چندین کاربردی اجرا می‌شوند؛ لذا جزء کاربردی‌های مرکب در نظر گرفته شده‌اند. در ذیل، چهار دسته از کاربردی‌های مرکب را با عناوین «پرور (تکرار)»، «سوار»، «دوچفدی» و «درون‌زا» بررسی شده‌است.

۳-۱-۳. مرکب

کاربردی‌های رسمی و اختری همیشه بصورت منفرد بکار نمی‌روند؛ گاهی دو یا چندین کاربردی رسمی و یا اختری با یکدیگر ترکیب شده و کاربردی‌های پیچیده‌تری بوجود می‌آورند؛ این نوع کاربردی‌ها را کاربردی مرکب می‌نامند^۷. شایان ذکر است که طراحی این نوع از کاربردی‌ها حالتی خلاقانه و شخصی دارند؛ از این رو عناوین مورد استفاده در این بخش نیز بالتبع حالت ذوقی و شخصی دارند. لذا ممکن است هر طراحی اصطلاحات و واژگان خاصی را در توصیف کاربردی ابداعی خود به کار گیرد. کاربردی‌های مرکب تنوع بسیار زیادی دارند که در این تحقیق چهار نوع از مهمترین آنها معرفی شده است. استاد پیرنیا در بین نمونه‌های کاربردی رسمی، از دو نوع



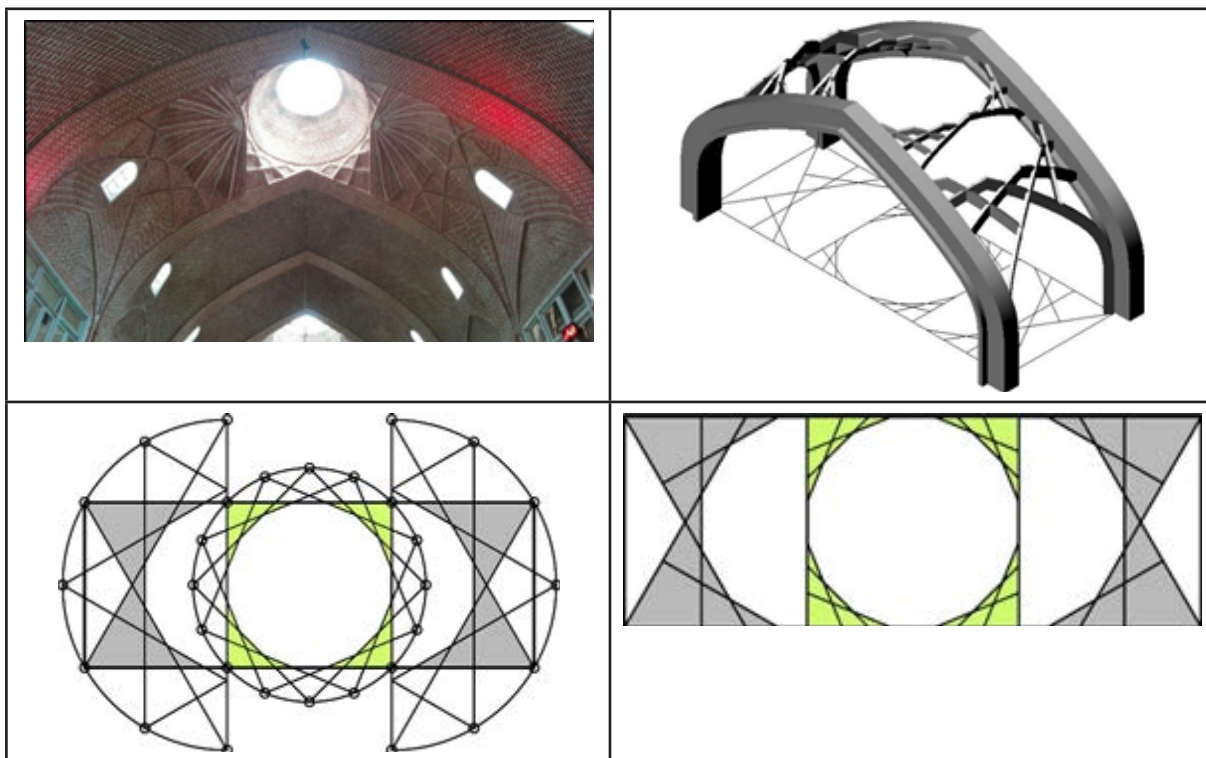
نمودار ۵. دسته‌بندی کاربردی مرکب (مأخذ: نگارندگان)

و سپس بدلیل طول زیاد زمینه، دو نیم‌کار دیگر نیز در طرفین آن اجرا می‌شود. یکی از نمونه‌های زیبای کاربردی پرور در تیمچه مظفریه بازار تبریز بکار رفته است؛ این کاربردی ترکیبی از دو نیم‌کار رسمی ۱۲ ضلعی و یک کاربردی رسمی ۱۶ ضلعی است (تصویر ۲۳).

۳-۱-۳-۱. پرور (تکرار)

یکی از انواع کاربردی‌های مرکب از ترکیب یک کاربردی کامل و دو نیم‌کار پدید می‌آید که می‌توان برای آنها عنوان کاربردی پرور (یا تکرار) اطلاق کرد. این نوع کاربردی در زمینه‌های مستطیلی کشیده کاربرد دارد؛ بطوریکه در وسط زمینه یک کاربردی کامل ساخته شده



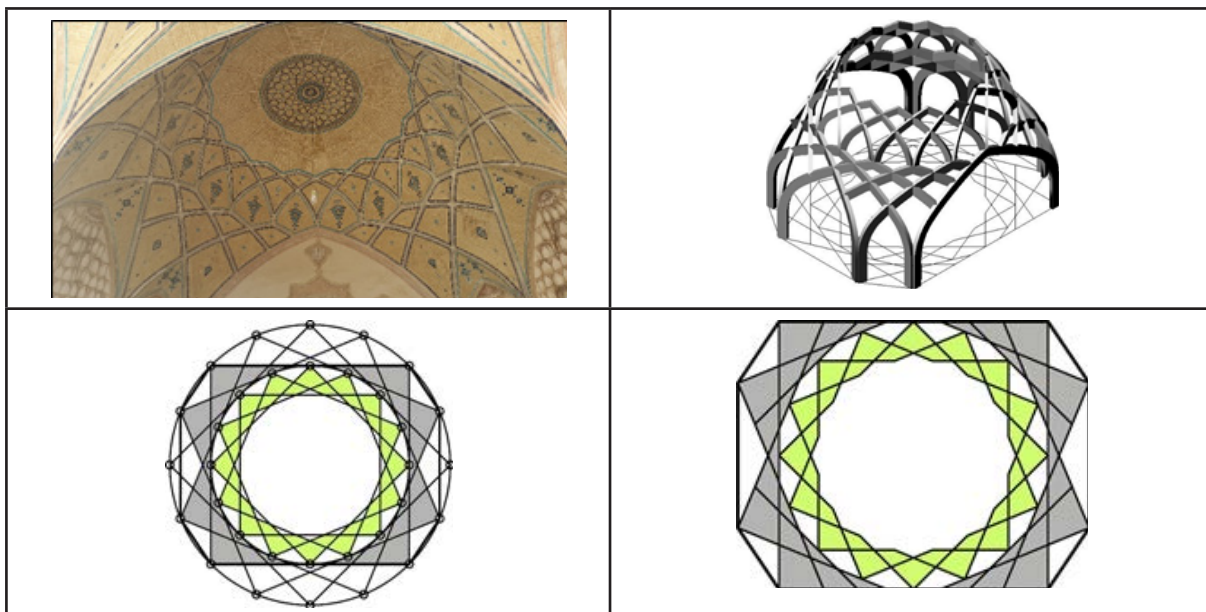


تصویر ۲۱. کاربردی اختری پیوسته؛ مسجد حاج صفرعلی تبریز (مأخذ: نگارندگان)

سوار نامید. یکی از مصادیق این شیوه در مدرسه آقا بزرگ کاشان قرار دارد که در آن یک کاربردی اختری گسیخته بر روی یک کاربردی اختری گسیخته دیگر سوار شده است (تصویر ۲۴).

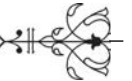
۳-۱-۳-۲. سوار

هرگاه بر روی شمسۀ یک کاربردی، کاربردی دیگری سوار شود؛ نوعی کاربردی مرکب حاصل می شود که می توان آن را کاربردی



تصویر ۲۴. کاربردی سوار، مدرسه آقا بزرگ کاشان (مأخذ: نگارندگان)

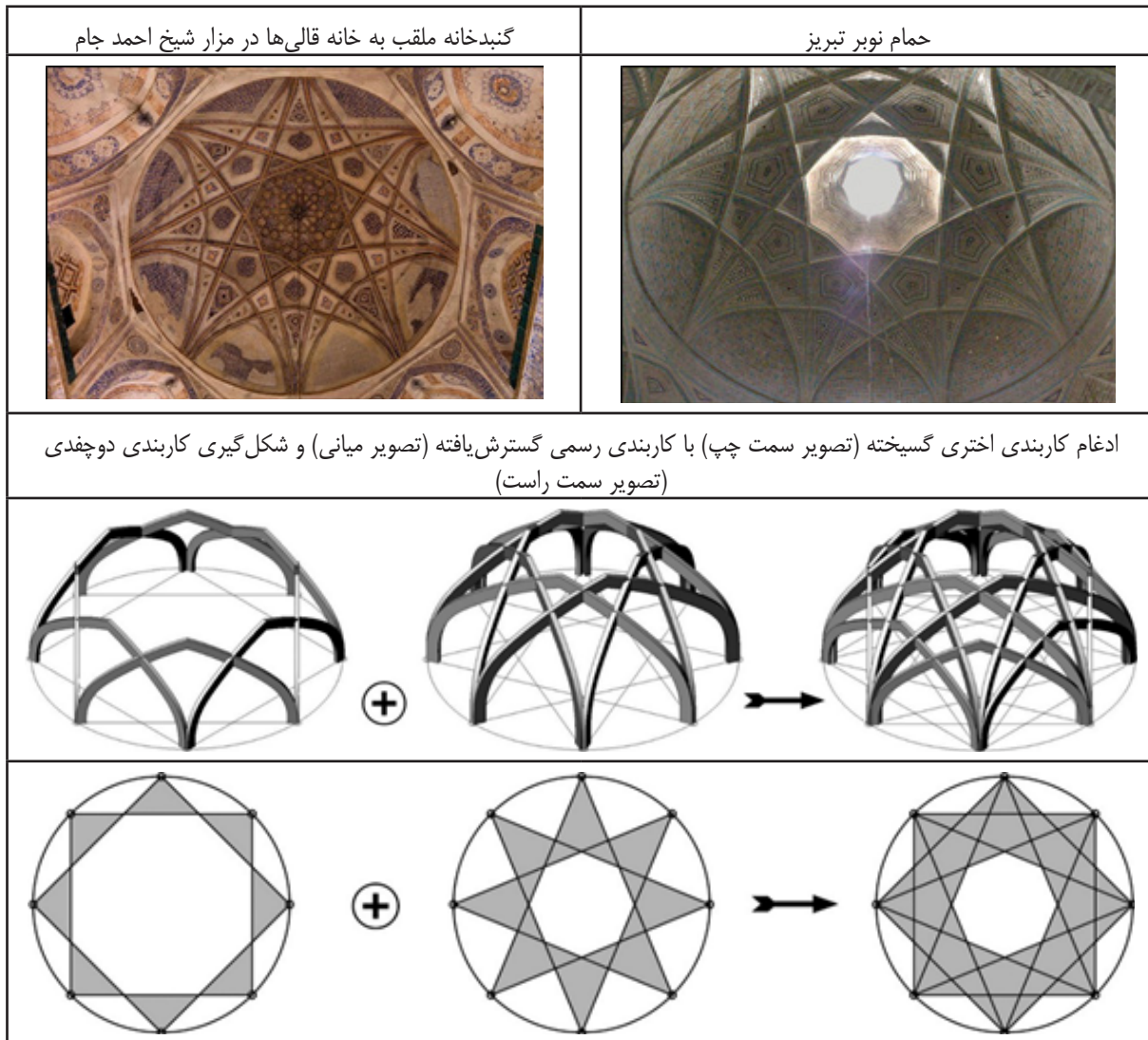




شده‌اند. این نوع کاربردی را می‌توان تحت عنوان کاربردی دوچفدی دانست. نمونه‌هایی از این نوع کاربردی در مزار شیخ احمد جام و حمام نوبر تبریز بکار رفته است (تصویر ۲۵). این دو نمونه از ادغام یک «کاربندی اختری گسیخته» و یک «کاربندی رسمی گسترش‌یافته» حاصل شده‌اند.

۳-۱-۳-۳. دوچفدی

همانطور که پیش‌تر گفته شد؛ کاربردی بر اساس دوران یک باریکه‌تاق، حول مرکز دایره محیطی تشکیل می‌شود؛ لذا تمامی باریکه‌تاق‌ها دارای چفد یکسانی هستند. اما گاهی کاربردی‌هایی دیده می‌شوند که از ادغام دو کاربردی با چفدهای متفاوت تشکیل



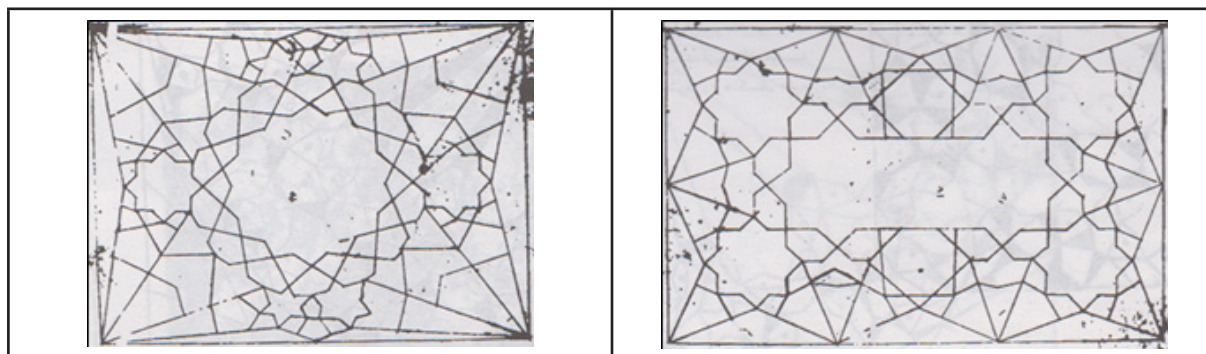
تصویر ۲۵. کاربردی دوچفدی (مأخذ: نگارندگان)

نامید. در این حالت، گاهی پیش از اتمام اجزای کاربردی، اجزای کاربردی(های) دیگری شروع شده و بدین صورت دو یا چندین کاربردی ناقص باهم ترکیب می‌شوند (تصویر ۲۶).

۳-۱-۳-۴. درون‌زا

چنانچه روی اجزای یک کاربردی، کاربردی(های) دیگری اجرا شود، نوعی کاربردی مرکب ایجاد می‌شود که می‌توان آن را درون‌زا

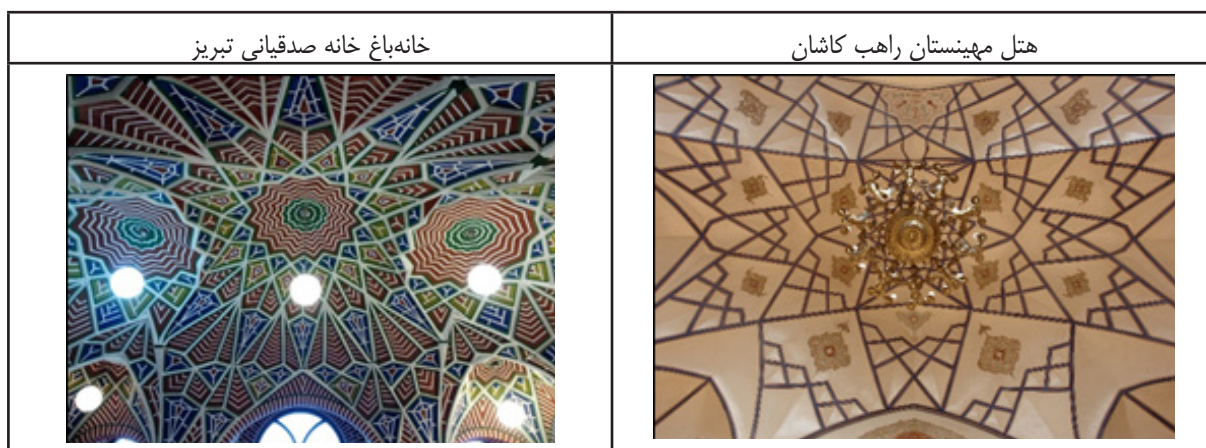




تصویر ۲۶. کاربندی درون‌زا (مأخذ: نجیب‌اوغلو ۱۳۸۹)

کاربندی در خانه‌باغ صدقیانی تبریز و هتل مهینستان راهب کاشان بکار رفته‌اند (تصویر ۲۷).

کاربندی درون‌زا خود به گونه‌های مختلفی قابل تقسیم است؛ اما به جهت رعایت اختصار از بررسی این گونه‌ها خودداری شده تا در مجالی دیگر مفصلاً بدان پرداخته شود. نمونه‌هایی از این نوع

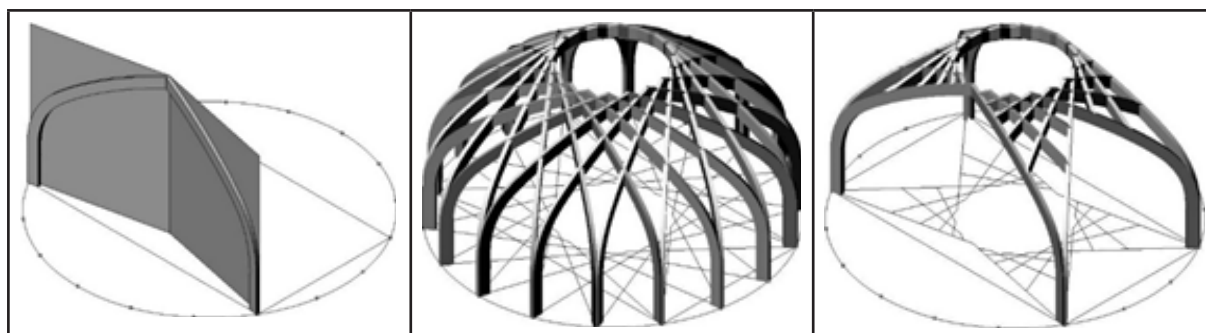


تصویر ۲۷. کاربندی درون‌زا (مأخذ: نگارندگان)

باریکه‌تاق‌ها نتوانند بصورت یک قوس کامل بارها را به تکیه‌گاه‌ها منتقل کنند؛ لذا نسبت به کاربندی قالب شاقولی از توان باربری پایینی برخوردارند (تصویر ۲۸). این شیوه زمانی کاربرد دارد که لازم باشد شمسۀ کاربندی کوچکتر از حد متعارف خود اجرا شود.

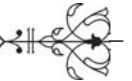
۲-۳. کاربندی سرسفت

هرگاه دو نیمه از باریکه‌تاق‌های سازنده کاربندی در یک صفحه نباشند، کاربندی حاصله را سرسفت گویند (شعریاف ۱۳۸۵، ۹). عدم قرارگیری دو نیمه از باریکه‌تاق‌ها در امتداد هم باعث شده‌اند که



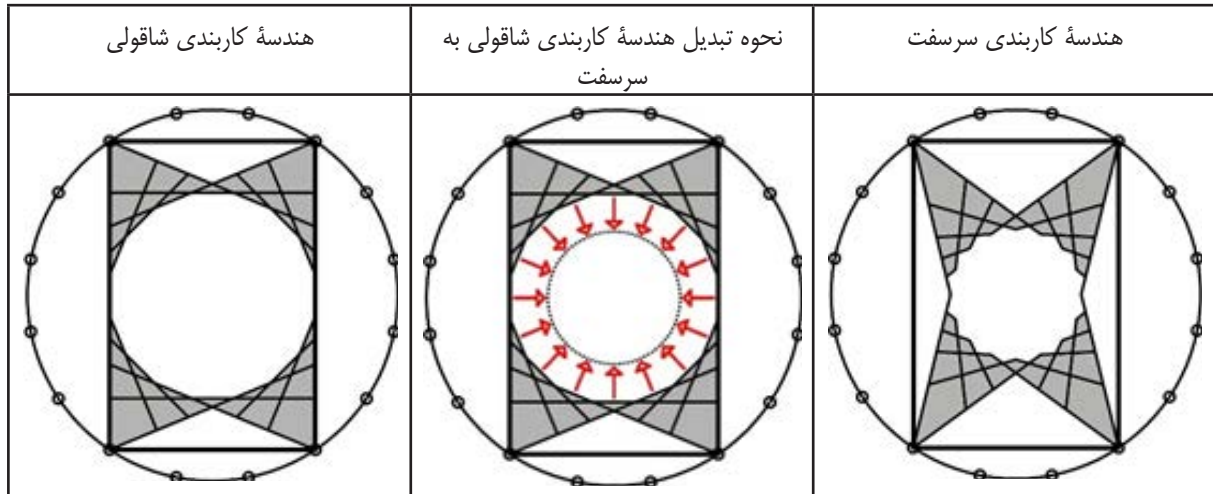
تصویر ۲۸. کاربندی سرسفت (مأخذ: نگارندگان)





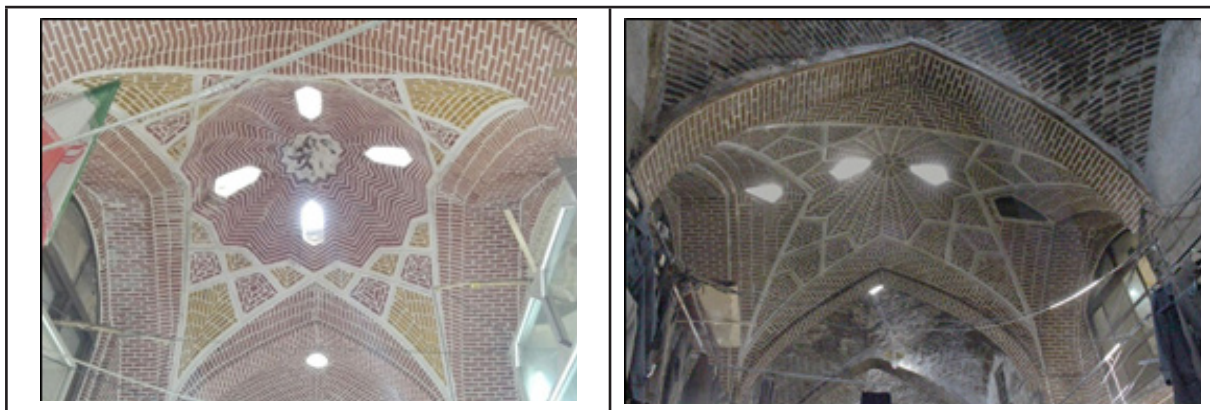
کاربندی را کوچک می کنند (تصویر ۲۹). در هندسه نظری، هندسه تمامی انواع کاربندی رسمی و اختری را می توان بصورت سرسفت پیاده کرد، اما این امر در عمل چندان مرسوم نیست.

نحوه ترسیم هندسه کاربندی سرسفت تفاوت چندانی با حالت شاقولی ندارد؛ بطوری که برای ترسیم هندسه هر کاربندی سرسفت، ابتدا آن را بصورت شاقولی ترسیم کرده و سپس به میزان دلخواه، قطر شمسه



تصویر ۲۹. نحوه ایجاد هندسه کاربندی سرسفت (مأخذ: نگارندگان)

این نوع کاربندی غالباً در زمینه های چهارضلعی اجرا شده اند که نمونه هایی از آن در بازار تبریز بکار رفته است (تصویر ۳۰).



تصویر ۳۰. کاربندی سرسفت؛ بازار تبریز (مأخذ: نگارندگان)

این است که اولاً با در نظر گرفتن آموزه های معماری ایرانی صورت گرفته است؛ ثانیاً برای تمامی نمونه های تاریخی و جغرافیایی صادق می باشد. جدول ۱ این گونه بندی را با ذکر برخی خصوصیات هندسی گونه های آن، نشان می دهد.

یافته های پژوهش در این تحقیق هندسه گونه های مختلف کاربندی مورد بررسی و کنکاش قرار گرفت و معیارهایی برای تشخیص هندسه گونه های مختلف کاربندی تبیین شد و با تصحیح ایرادات گونه بندی های قبلی، گونه بندی جدیدی ارائه گردید. مهم ترین ویژگی گونه بندی مذکور



جدول ۱. گونه‌بندی کاربردی در معماری ایران و ذکر برخی خصوصیات هندسی آنها (مأخذ: نگارندگان)

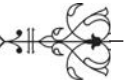
$(\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{d} = \left(\frac{r_1, \dots, r_n}{n}\right) x, x \in N), (d \geq \frac{n}{4})$ ساده (گونه‌بندی):	رسمی ($d=a$)	شاقولی	کاربندی
گسترش یافته: $d > n/4$			
خاص: در این حالت، a برابر تعداد قطاع دایره در برابر بزرگترین ضلع زمینه است.			
گسیخته: هندسه کاربردی از دوران یک چندضلعی منتظم ایجاد می‌شود.	اختری ($d \neq a$) $b \leq d \leq n/2$		
پیوسته: هندسه کاربردی از یک شکل ستاره‌ای پیوسته و یا از دوران آن ایجاد می‌شود.			
ترکین ($d=n/2$): هندسه کاربردی از دوران یک خط، حول نقطه وسط خود ایجاد می‌شود.			
پرور (تکرار): از ترکیب یک کاربردی کامل و دو نیمکار در اطراف آن	مرکب: ترکیب دو یا چند کاربردی رسمی و یا اختری		
سوار: استقرار یک کاربردی n ضلعی، بر روی شمسه یک کاربردی n ضلعی دیگر			
دوچفدی: ادغام دو کاربردی n ضلعی با چفدهای متفاوت			
درون‌زا: اجرای کاربردی (هایی) روی اجزای کاربردی (های) دیگر			
سرسفت: هندسه کاربردی ابتدا بصورت شاقولی ترسیم شده و سپس قطر شمسه به میزان دلخواه کاهش داده می‌شود.			

نتیجه‌گیری

زمینه‌های غیرمستطیلی، ابتدا باید زمینه را به دو یا چند مستطیل متقاطع همسان تقسیم کرد؛ در این حالت نیز طول یکی از مستطیل‌های متقاطع، معیار تشخیص نوع کاربردی است که در صورت برقراری رابطه ($d=a$) کاربردی حاصله از نوع رسمی گسترش یافته می‌باشد. حال اگر نامساوی ($d \neq a$) برقرار باشد؛ کاربردی حاصله از نوع اختری است. در این صورت از لحاظ ریاضی حالات مختلفی پیش می‌آید که مورد بررسی قرار گرفتند. با بررسی این حالات روشن شد اگر ($d=b$) باشد (b : تعداد قطاع دایره در برابر عرض مستطیل‌های متقاطع)، نوعی از کاربردی اختری بوجود می‌آید که در تحقیقات قبلی به اشتباه، کاربردی رسمی دانسته شده بود. به‌علاوه با بررسی این حالات ثابت شد که تاقی ترکین نیز نوعی کاربردی اختری است. لذا دسته دیگری تحت عنوان «ترکین» به دو دسته دیگر کاربردی‌های اختری، یعنی «گسیخته» و «پیوسته» افزوده می‌شود. همچنین بررسی گونه‌های مختلف کاربردی اختری، روشن ساخت که وجه تمایز هندسه کاربردی اختری

کاربندی یکی از الگوهای پوششی ریاضی‌وار و دقیق است که گونه‌های متنوعی از آن در معماری ایرانی وجود دارد. مطالعه بر روی خصوصیات هندسی دو شیوه شاقولی و سرسفت روشن کرد که کاربردی‌های شاقولی، همیشه بصورت کامل بکار نرفته‌اند؛ گاهی یک یا دو ردیف از ترنج‌های نزدیک به مرکز حذف شده و کاربردی، سیمای جدیدی به خود گرفته است. در این حالت برای افزایش مقاومت کاربردی در دهانه‌های بزرگ، از چندین باریکه تاق پنهان دیگر نیز استفاده می‌شود. بررسی کاربردی‌های رسمی و اختری نشان داد که تفاوت این دو شیوه در فاصله اتصال نقاط تقسیم روی دایره (d) می‌باشد؛ تشخیص این نکته در زمینه‌های مستطیلی و مربعی بسادگی امکان‌پذیر است؛ چنانکه اگر طول مستطیل یا یکی از اضلاع مربع در برابر (a) قطاع از دایره قرار گیرد؛ در صورت برقراری رابطه ($d=a$) کاربردی حاصله از نوع رسمی ساده است. اما در





این حالت با توجه به برقراری رابطه $(d=a)$ کاربندی حاصله از نوع کاربندی رسمی ساده است و نمی‌تواند اختری باشد. گونه‌های کاربندی رسمی و اختری همیشه بصورت منفرد بکار نمی‌روند؛ گاهی دو یا چندین کاربندی رسمی و یا اختری با هم ترکیب شده و گونه‌های جدیدی از کاربندی ایجاد می‌کنند؛ لذا دسته دیگری تحت عنوان «کاربندی مرکب»، به دو دسته دیگر کاربندی‌های قالب شاقولی - یعنی رسمی و اختری - افزوده شد.

گسیخته و پیوسته این است که در حالت گسیخته، دوران یک چندضلعی منتظم (بیشتر مربع)، هندسه کاربندی را ایجاد می‌کند؛ اما در حالت پیوسته، هندسه کاربندی از یک شکل ستاره‌ای پیوسته و یا از دوران آن، تشکیل می‌شود. همچنین نتایج تحقیق روشن کرد که در یک حالت خاص، تعریف کاربندی اختری گسیخته و کاربندی رسمی ساده با یکدیگر تداخل دارند. این تداخل زمانی است که زمینه، مربع باشد و کاربندی از دوران مربع زمینه تشکیل شود. در

پی‌نوشت

۱. به بخش پیشینه تحقیق رجوع شود.
۲. PourAhmadi
۳. به بخش کاربندی اختری رجوع شود (تصویر ۱۴).
۴. به بخش کاربندی رسمی گسترش یافته رجوع شود (تصویر ۱۱).
۵. به بخش کاربندی اختری گسیخته رجوع شود.
۶. Amjad Mohammadi
۷. Chenaghlou
۸. در برخی منابع به این نوع کاربندی عنوان کاربندی ویژه اطلاق شده است (نژادابراهیمی و همکاران ۱۳۹۶).
۹. کاربندی رسمی گسترش یافته، یکی از انواع کاربندی شاقولی است که در بخش‌های بعدی شرح داده شده است.
۱۰. به استثنای کاربندی‌های رسمی خاص که در بخش مربوط به خود شرح داده شده‌اند.
۱۱. استاد شعیب (۱۳۸۵) این نوع کاربندی را کونه‌بندی نامیده است.
۱۲. برخی منابع این نوع کاربندی را به اشتباه کاربندی اختری دانسته‌اند؛ با توجه به اینکه در این حالت فاصله اتصال نقاط تقسیم روی دایره برابر با تعداد قطاع دایره در برابر اضلاع مربع زمینه است لذا کاربندی حاصله از نوع کاربندی رسمی می‌باشد.
۱۳. چنانکه در بخش کاربندی رسمی دیدیم، اگر $d=a$ باشد؛ کاربندی حاصله از نوع رسمی است.
۱۴. این نوع کاربندی در مقاله «گونه‌شناسی و تدوین ساختار هندسی کاربندی در معماری ایران» به اشتباه نوعی کاربندی رسمی، تحت عنوان «منفرد دوبا» معرفی شده است (محمدیان و فرامرزی ۱۳۹۱، ۱۰۰).
۱۵. Jones
۱۶. فاصله اتصال نقاط تقسیم روی دایره در کاربندی باغ فین کاشان ۵به۵ می‌باشد $(b < d < a)$ که یک ردیف از ترنج‌های نزدیک به مرکز حذف شده‌اند. لازم بذکر است که اگر بنا بود در این زمینه یک کاربندی رسمی پیاده شود؛ می‌بایست نقاط تقسیم دایره با فاصله ۶به۶ وصل می‌شد.
۱۷. در معماری ایران، گاهی ترکیب کاربندی با دیگر عناصر معمارانه، همچون «مقرنس»، «یزدی‌بندی»، «کاسه‌سازی» و غیره نیز دیده می‌شود؛ اما با توجه به اینکه مقاله حاضر فقط به بررسی کاربندی اختصاص یافته است؛ لذا نمونه‌های ترکیبی مذکور مورد بررسی قرار نگرفتند.

منابع

۱. آصفی، مازیار، و احد نژادابراهیمی، و امیر امجدمحمدی. ۱۳۹۷. ارائه راهکار ترسیمی نو جهت طراحی نوآورانه کاربندی؛ نمونه مطالعاتی: کاربندی‌های بازار تاریخی تبریز. مرمت و معماری ایران ۱ (۱۶): ۱-۲۰.
۲. بزوال، رولان. ۱۳۷۹. فن‌آوری تاق در خاور کهن. ترجمه‌ی محسن حبیبی. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
۳. پیرنیا، محمدکریم، و زهره بزرگمهری. ۱۳۸۵. هندسه در معماری. تهران: میراث فرهنگی کشور و سبحان نور.
۴. رئیس، مهدی، محمدرضا بمانیان، و فرهاد تهرانی. ۱۳۹۲. بازنگری در مفهوم کاربندی بر مبنای هندسه نظری، عملی و نقش ساختمانی. مرمت و معماری ایران ۳ (۵): ۳۳-۵۵.

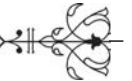


۵. شهرباف، اصغر. ۱۳۸۵. گره و کاربندی، جلد اول. تهران: میراث فرهنگی کشور و سبحان نور.
۶. کاشانی، غیاث‌الدین جمشید. ۱۳۶۶. رساله طاق و ازج. ترجمه‌ی سید علیرضا جذبی. تهران: سروش.
۷. لorzاده، حسین. ۱۳۵۸. احیای هنرهای از یاد رفته. به کوشش محمد خواجه‌وی. بی‌جا.
۸. محمدیان منصور، صاحب، و سینا فرامرزی. ۱۳۹۰. گونه‌شناسی و تدوین ساختار هندسی کاربندی در معماری ایران. هنرهای زیبا (۴۸): ۹۷-۱۰۹.
۹. معماریان، غلامحسین. ۱۳۹۱. معماری ایرانی: نیارش، جلد‌های ۱ و ۲. تدوین هادی صفایی‌پور. تهران: نگمه نواندیش.
۱۰. نجیب‌اوغلو، گل‌رو. ۱۳۸۹. هندسه و تزئین در معماری اسلامی. ترجمه‌ی مهرداد قیومی. تهران: روزنه.
۱۱. نژاد ابراهیمی، احد، یاسر شهبازی، و امیر امجدمحمدی. ۱۳۹۶. گونه‌شناسی ساختاری کاربندی و رسمی‌بندی در معماری ایران بر مبنای ساختگاه و کاربست. فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی ۳ (۱): ۲۵-۴۱.
۱۲. نوایی، کامبیز، و کامبیز حاجی‌قاسمی. ۱۳۹۰. خشت و خیال. تهران: سروش.

References

1. Amjad Mohammadi, A., A. Nejad Ebrahimi, and Y. Shahbazi. 2019. Geometric Design of a Masonry Lattice Space Dome Titled KARBANDI in Persian Architecture. *International Journal of Space Structures* 34(1-2): 22-39. doi: 10.1177/0956059919845631.
2. Amjad Mohammadi, A., M. Asefi, and A. Nejad Ebrahimi. 2018. The Geometrical Regularization for Covering Irregular Bases with Karbandi. *Nexus Network Journal* 20 (2): 331-352. doi: 10.1007/s00004-018-0373-0.
3. Asefi, M., A. Nejad Ebrahimi, and A. Amjad Mohammadi. 2019. A Novel Drawing Method for Innovative Design of Karbandi; Case Study: The Karbandis of Tabriz Historic Bazaar. *Maremat and Me'mari-e Iran* 1(16): 1-20.
4. Besenval, Ronald. 2000. *Technologie de la voute dans l'orient ancien*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization.
5. Chenaghlu, M., A. Najad Ebrahimi, Y. Shahbazi, M. Kheirollahi, and A. Amjad Mohammadi. 2017. Structural Morphology of a Masonry Space Dome in Historical Tabriz Bazaar Complex. In: *Interfaces: Architecture. Engineering. Science (Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017, 25-28 September 2017, Hamburg, Germany)*.
6. Jones, Barry, Andrea Sereni, and Massimo Ricci. 2010. Building Brunelleschi's Dome: A Practical Methodology Verified by Experiment. *Journal of the Society of Architectural Historians* 69 (1): 39-61.
7. Kashani, Qiaseddin-e Jamshid. 1987. *Treatise of Arch and Vault*. Translated by Seyed Alireza Jalebi. Tehran: Soroush.
8. Lorzadeh, Hossein. 1979. *Revival of Forgotten Arts*. Without Official Publisher.
9. Memarian, Gholam Hossein. 2010. *Iranian Architecture, Niaresh, 1st and 2nd Vols*. Collected by Hadi Safaeepour. Tehran: Naghemye Noandish.
10. Mohammadian Mansour, S., and S. Faramarzi. 2011. Typology and Formulation of Geometry structure of Karbandi in Persian Architecture. *Honar-Ha-Ye-Ziba-Memari-Va-Shahrsazi* (48): 97-109.
11. Najib Oghlu, Golru. 2010. *Geometry and Ornaments in Islamic Architecture*. Translated by Mehrdad Ghayumi. Tehran: Rozaneh.
12. Nava'I, K, and K. Haji Qassemi. 2011. *Khesht-o Khial, An Interpretation of Iranian Islamic Architecture*. Tehran: Soroush.
13. Necipoglu, G. 1995. *The Topkapi Scroll: Geometry and Ornament in Islamic Architecture*. with an Essay on the Geometry of the Muqarnas by Mohammad Al-Asad. Santa Monica: The Getty Center for the History of Art and the Humanities.
14. Nejad Ebrahimi, A., Y. Shahbazi, and A. Amjad Mohammadi. 2017. Structural Typology of Karbandi and Rasmibandi in Persian Architecture based on the Place and Method of Usage. *CIAUJ* 3 (1): 25-41.
15. Pirnia, M, and Z. Bozorgmeri. 2006. *Geometry in Architecture*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization.
16. Pour Ahmadi, Mojtaba. 2014. A Basic Method for Naming Persian Karbandis Using a Set of Numbers. *Nexus Network Journal* 16 (2): 313-343.
17. Raeisi, M., M. Bemanian, and F. Tehrani. 2013. Rethinking the Concept of Karbandi Based on Theoretical Geometry, Practical Geometry and Building Function. *Maremat and Me'mari-e Iran* 3 (5): 33-54.
18. Sherbaf, A. 2006. *Gereh and Karbandi, 1st Vol*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Organization.





research. By studying the states, it was clear that if $d=b$ (b : the number of segments of the circle in front of the width of intersecting rectangles), a type of Akhtari karbandi will be formed that was mistakenly considered as Rasmi karbandi in the previous studies. Additionally, it was approved that Tarkin vault is a type of Akhtari karbandi, therefore, another type called "Tarkin" is added to two other types of Akhtari karbandi, i.e. "discrete" and "continuous". By studying different types of Akhtari karbandi, it was found that the difference between discrete and continuous Akhtari Karbandi(s) is that in discrete type, rotation of a regular polygon (often square) forms the geometry of karbandi but in continuous type, the geometry of karbandi is formed by a continuous Akhtari shape or its rotation. Also, the results showed that in a special state, the definitions of discrete Akhtari karbandi and simple Rasmi karbandi interfere with each other. This interference occurs when the base is square and karbandi is formed by the rotation of the square of the base. In this case, if $d=a$, the resulting karbandi will be a type of simple Rasmi Karbandi, otherwise it cannot be a Akhtari karbandi. Different types of Rasmi and Akhtari karbandi(s) are not always used alone; sometimes two or more Rasmi and Akhtari Karbandi(s) are combined and create a new type of Karbandi(s). Therefore, another type called "compound karbandi" is added to two other types of plumb karbandi- i.e. Rasmi and Akhtari. Furthermore, a study on geometric properties of two plumb and out of plumb Karbandi(s) has clarified that plumb Karbandi(s) have not been always fully utilized and sometime one or two rows of Toranj near the center were removed and new type of karbandi was created. In this case, some hidden ribbed arches were used in order to increase the strength of karbandi in the large spans. Finally, in this study, the geometry of different types of karbandi was investigated and some criteria were developed in order to identify the geometry of different types of karbandi and a new classification was presented by correcting the defects of previous classification. The most important feature of this classification is that firstly, it was developed by taking into account the teachings of Persian architecture and secondly, it is true for all historical and geographical examples.

Keywords: Geometry of Karbandi, Rasmi Karbandi, Akhtari Karbandi, Ribbed vault, Persian architecture.





The Geometry of Karbandi in Persian Architecture; Response to the Challenges of “Rasmi” and “Akhtari” Karbandi

Amir Amjad Mohammadi *

Ph.D. student of architecture, Architecture and Urban Planning Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Corresponding author).

Ahad Nejad Ebrahimi **

Associate Professor of Architecture, The faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Iran.

Yaser Shahbazi ***

Associate Professor of Smart structures and architectural technology, The faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Iran.

Received: 03/05/2020

Accepted: 22/06/2020

Abstract

Karbandi is one of the original and ancient arched elements in Persian architecture which is formed based on a harmonic lattice geometry. In addition to the architectural function, it also has structural behavior and thus this architectural element attracted the attention of architectural masters throughout the history of Islamic Architecture and led to the creation of valuable architectural works; despite its executive progress, there are few research on its theoretical aspects and there are many ambiguities among the researchers in terms of the theoretical geometry of Karbandi. One of these ambiguities is to determine how the geometry of different types of Karbandi is mapped; so that some references (for example: Mohammadian and Faramarzi, 2011; Raeisi et al., 2012) do not have a clear answer to this and therefore, some important types of Karbandi are forgotten. Some other references (for example: PourAhmadi, 2014) also deal with the complexity and ambiguity of geometry of Karbandi with another approach and provide a new type of naming that is different from what exists in Persian Architecture. According to the available information, different types of Karbandi cannot be easily distinguished. Rasmi and Akhtari Karbandi are of the controversial issues in recognizing the geometry. The present study aimed to identify and discover the geometric relationships of the Rasmi and Akhtari Karbandi based on actual examples as well as study and analyze the geometric characteristics of different types of them. The necessity of the present study is to clarify how the geometry of different types of Karbandi is mapped to provide a comprehensive classification for it based on executed examples. The results of the present study showed that the difference between the two types of Rasmi and Akhtari Karbandi is the connection distance between the points of division on the circle (d) and it is easy to recognize this note in rectangular and square bases. If the length of rectangle or a side of square (a) is in front of some segments of the circle and $d=a$, the resulting karbandi will be a type of simple Rasmi karbandi. But in non-rectangular base, firstly, the base should be divided into two or more identical intersecting rectangles. In this case, the length of one of the intersecting rectangles is considered as a criterion to identify the type of karbandi. If $d=a$, the resulting karbandi will be a type of extension Rasmi karbandi. If $d < a$, the resulting karbandi will be a type of Akhtari karbandi. In this case, there are mathematically several different states that were studied in this