

مقاله پژوهشی

هندسه نظری بسط و گسترش کاربردی (نمونه مورد مطالعه: کاربردی ۱۶)

زینب مشهور^{۱*}، آرش عثمانی^۱

۱- مربی، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

چکیده

گسترش کاربردی یکی از شیوه‌های ایجاد پوشش‌های متنوع در معماری سنتی بوده و کاربردی گسترش‌یافته بخش مهمی از آثار تاریخی معماری ایران را تشکیل می‌دهد. با این حال این نوع کاربردی در گونه‌شناسی‌های انجام‌شده جایگاه قابل توجهی نداشته و تاکنون پژوهشی هدفمند در زمینه چگونگی این بسط و گسترش صورت نگرفته و هر آنچه با این مضمون مشاهده‌شده، مطالعات پراکنده‌ای است که در خلال سایر پژوهش‌ها آمده است. پژوهش حاضر باهدف فهم بیشتر سازه‌های سنتی به بررسی هندسه نظری بسط و گسترش کاربردی، توسعه زمینه برای رسیدن به تنوع بیشتر و الزامات پیاده‌سازی کاربردی در زمینه‌های جدید پرداخته است. روش پژوهش به شیوه تحلیل توصیفی و استدلال منطقی با بررسی گزاره‌های هندسی است. جمع‌آوری اطلاعات از طریق بررسی‌های کتابخانه‌ای و مدل‌سازی رایانه‌ای انجام شده و جهت تدقیق بررسی‌ها، کاربردی ۱۶ به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد کاربردی گسترش‌یافته گونه مفصلی از کاربردی‌ها است که از تقاطع دو یا چند زمینه مادر همسان یا غیر همسان شکل گرفته است و با توجه به دو مؤلفه زمینه و فاصله اتصال، فرم‌های متنوعی را ایجاد می‌نماید. زمینه کاربردی گسترش به سه روش هندسه محیطی، هندسه غیر حذفی و هندسه حذفی قابل شکل‌گیری است؛ بنابراین این نوع کاربردی در انواع زمینه‌های چندضلعی منتظم، غیر منتظم با تقارن محوری و غیر منتظم بدون تقارن محوری با شرایط خاص خود قابل پیاده‌سازی است. در هندسه‌های محیطی شرایط فاصله اتصال همانند کاربردی در زمینه مادر است، اما در هندسه‌های حذفی و غیر حذفی تعداد تقسیمات میان دو پایه مجاوری که بیشترین فاصله را از هم دارند، تعیین‌کننده حداقل فاصله اتصال در آن‌ها است.

تاریخ دریافت:

۲۴ آبان ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش:

۲۶ فروردین ۱۴۰۲

کلیدواژه‌ها:

کاربردی

کاربردی گسترش‌یافته

کاربردی ۱۶

سازه‌های سنتی

doi : 10.22034/AHDC.2022.2765

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



۱- مقدمه

کاربندی متشکل از باریکه‌ها یا لنگه طاق‌هایی است که از تقاطعشان، استخوان‌بندی پوشش برای سقف به وجود می‌آید (بزرگمهری، ۱۳۷۱). این عنصر با نقش سازه‌ای- تزئینی بر اساس اصول دقیق هندسی بنا نهاده شده و نمونه‌هایی از ساده‌ترین تا کامل‌ترین آن‌ها در معماری دوره‌های مختلف ایران مشاهده می‌شود (معماریان ۱۳۹۱). در برخی منابع از انعطاف‌پذیری پایین هندسه کاربندی یاد شده است (آصفی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲) و همچنین برخی پژوهشگران بر این عقیده‌اند که اجرای کاربندی تحت شرایط دلخواه معمار و سازنده نیست، بلکه ابعاد و تناسبات زمینه، تعداد اضلاع کاربندی را مشخص می‌نماید (بزرگمهری، ۱۳۷۱ و زمرشیدی، ۱۳۸۸). علی‌رغم محدودیت‌های عنوان‌شده، این ساختار به دلیل هندسه وت‌ری، نسبت به سایر پوشش‌های سنتی نظیر گنبد و انواع طاق دارای تنوع و انعطاف بیشتری در پوشش زمین‌های مختلف است؛ بنابراین همین ویژگی نظر محققان متعددی را به خود جلب کرده و پژوهش‌های زیادی در زمینه شناخت هندسه کاربندی و گونه‌شناسی آن انجام شده است. با این وجود پژوهشی هدفمند در زمینه چگونگی بسط و گسترش کاربندی صورت نگرفته و هر آنچه با این مضمون مشاهده شده، مطالعات پراکنده‌ای است که در خلال سایر پژوهش‌ها آمده است. پژوهش حاضر باهدف فهم بیشتر سازه‌های سنتی به بررسی هندسه نظری بسط و گسترش کاربندی (فارغ از مسائل اجرایی) و با تمرکز بر توسعه زمینه‌ها برای رسیدن به تنوع بیشتر پرداخته است. در این راستا در ابتدا بر اساس اسناد و منابع کتابخانه‌ای هندسه کاربندی و نحوه شکل‌گیری آن را بررسی نموده و سپس بر مبنای تعاریف ارائه‌شده از کاربندی گسترش‌یافته در منابع پژوهش، چگونگی بسط و گسترش کاربندی را مورد مطالعه قرار داده‌است. در ادامه جهت تدقیق نتایج پژوهش، به بررسی انواع حالت‌های گسترش کاربندی ۱۶ پرداخته است. دلیل این انتخاب، کاربرد زیاد کاربندی ۱۶ در معماری سنتی و حالت‌های متعدد و قابل قبول آن جهت بررسی‌های تحلیلی است، به‌گونه‌ای که تعداد حالت‌های پیش‌آمده نه بسیار محدود است که روایی تحقیق را دچار اشکال کند و نه بسیار زیاد است که بررسی‌های تحلیلی را مشکل نماید. این پژوهش به روش استدلال منطقی و با جمع‌آوری اطلاعات از طریق بررسی‌های کتابخانه‌ای و مدل‌سازی رایانه‌ای انجام شده و به دنبال پاسخ به سؤال‌های زیر است:

- ۱- کاربندی گسترش‌یافته در گونه‌شناسی چه جایگاهی دارد و از نظر هندسی چگونه شکل می‌گیرد؟
- ۲- چگونه می‌توان با گسترش کاربندی شکل زمینه‌ها را توسعه داد و زمینه‌های متنوع‌تری ایجاد نمود؟
- ۳- در زمینه‌های کاربندی گسترش‌یافته چه شرایطی برای پیاده‌سازی هندسه کاربندی وجود دارد؟

۲- پیشینه پژوهش

در زمینه شناخت کاربندی منابع متعددی وجود دارد که از دیدگاه‌های مختلفی به بررسی این ساختار پرداخته‌اند. این منابع را می‌توان به دو دسته پژوهش‌های پایه‌ای و پژوهش‌های تکمیلی تقسیم کرد. پژوهش‌های پایه‌ای منابع دست اولی است که بر اساس تجربیات استادکاران سنتی تقریر شده است و به معرفی هندسه کاربندی، شیوه ترسیم و روش اجرای آن پرداخته است. در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

در کتاب هندسه در معماری که بر اساس آموزه‌های استاد پیرنیا تدوین شده، کلیات سازه‌ای و ساختاری کاربندی، فرمول و رابطه میان اضلاع و زمینه، انواع کاربندی و شیوه ترسیم آن معرفی و کاربندی به دو دسته کلی قالب شاقولی و سرسفت تقسیم شده است. در این کتاب در زمینه نحوه گسترش کاربندی به ترسیمات مختصری در هر نمونه اکتفا نموده و جزئیات آن بیان نشده است. تعدد نام‌گذاری‌ها در این کتاب سبب ایجاد ابهام در خواننده می‌گردد (بزرگمهری، ۱۳۷۱). در کتاب گره و کاربندی، شعراباف به بحث انواع کاربندی و نحوه ترسیم آن پرداخته و کاربندی سرسفت و قالب شاقولی را معرفی کرده و در ترسیمات، برخی کاربندی‌ها را یک‌پا و برخی دیگر را دوپا نامیده است (شعراباف، ۱۳۸۵). در کتاب احیای هنرهای زیاده‌دیده که بر اساس تجربیات استاد لر زاده تدوین شده است، به بحث انواع قوس و ترسیم آن، معرفی رسمی‌سازی (کاربندی) و آلت‌های رسمی و نحوه ترسیم آن پرداخته است (رئیس زاده و مفید، ۱۳۹۳).

در پژوهش‌های تکمیلی که حاصل پژوهش‌های دانشگاهی متأخر است، پژوهش‌گر با تمرکز بر مسئله‌ای خاص به دنبال تدقیق شناخت کاربردی از جنبه‌های مختلف نظیر گونه‌شناسی، هندسه، فرمول سازی و ... است. در این زمینه منابع زیر مورد توجه قرار گرفته است:

محمدیان و فرامرزی پس از بررسی فرمول کاربردی و ارائه رابطه‌ای ریاضی، به گونه‌شناسی فرمی کاربردی پرداخته و انواع کاربردی را به دو دسته کلی ساده و غیر ساده تقسیم نموده‌اند. در این گونه‌شناسی به تعریف مختصری از کاربردی گسترش پرداخته و آن را زیرمجموعه کاربردی غیرساده معرفی کرده‌اند. علاوه بر این با معرفی کاربردی منفرد دوپا و مرکب، آن‌ها را زیرمجموعه کاربردی‌های رسمی ساده قرار داده‌اند (محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰). در صورتی که این نوع کاربردی‌ها در برخی از منابع تحت عنوان کاربردی گسترش معرفی شده‌اند (بزرگمهری، ۱۳۷۱ و امجد محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). رئیسی و همکاران گونه‌شناسی کاربردی را بر اساس نقش ساختمانی، هندسه نظری و هندسه عملی مورد مطالعه قرار داده‌اند (رئیسی و همکاران، ۱۳۹۲). نژاد ابراهیمی و همکاران دیدگاه استادکاران سنتی و محققان در تعریف و تمایز رسمی‌بندی و کاربردی را بررسی نموده و به گونه‌شناسی کاربردی بر اساس ساخت گاه و کاربست پرداخته‌اند. در نهایت کاربردی را به سه دسته کلی کاربرد در چپیره‌سازی، پوشش و نما تقسیم نموده‌اند (نژاد ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش‌هایی که امجد محمدی و همکاران ارائه داده‌اند هندسه و گونه‌شناسی کاربردی، به صورت دقیق‌تر و جامع‌تر بررسی شده و کاربردی‌های قالب شاقولی به سه دسته کلی رسمی، اختری و مرکب تقسیم‌بندی شده‌اند (امجد محمدی و همکاران ۱۳۹۹ و Amjad Mohammadi et al, 2019). در این گونه‌شناسی نیز به طور محدود به کاربردی گسترش پرداخته و تعریفی از آن ارائه نموده و آن را زیرمجموعه کاربردی‌های رسمی قرار داده است.

پور احمدی و سهرابی به دنبال راه حل ریاضی برای تشخیص نوع کاربردی متناسب با زمینه مورد نظر بوده و به فرمول نویسی ریاضی برای کاربردی یک‌پا و دوپا پرداخته‌اند. این منبع فرمول کاربردی ارائه شده توسط پیرنیا را دست‌مایه پژوهش قرار داده و دقت آن را بررسی نموده است (پور احمدی و سهرابی، ۱۳۹۸). ریحانی همدانی و همکاران با تحلیل ریاضی کاربردی‌های ساده به فرمول نویسی برای انواع کاربردی رسمی منفرد یک‌پا، منفرد دوپا، مرکب و خاص پرداخته‌اند (ریحانی همدانی و همکاران، ۱۳۹۷). تعاریفی که در این منبع از کاربردی منفرد دوپا و مرکب ارائه شده است زیرمجموعه‌ای از کاربردی گسترش است.

آصفی و همکاران با شناخت الزامات ترسیمی کاربردی به ارائه راه‌حل‌هایی جهت افزایش تنوع زمینه‌های کاربردی و گسترش کاربرد آن پرداخته و روشی جهت ترسیم آن در زمینه‌های غیر منتظم تدوین نموده‌اند. این پژوهش در معرفی نمونه‌ها، کاربردی‌های حاصل زمینه‌های متقاطع را تحت عنوان کاربردی گسترش یافته معرفی کرده است (آصفی و همکاران، ۱۳۹۷). آئینه چی و همکاران به مطالعه عناصر کاربردی ۱۴ با دید محاسباتی و مقایسه آن در زمینه مشخص پرداخته‌اند. در ترسیم این کاربردی‌ها از روش شعاع‌های مستخرج از مرکز زمینه استفاده نموده‌اند. در این پژوهش هفت نمونه کاربردی از نوع یک‌پا و دوپا (با طول ثابت زمینه)، از نظر ارتفاع، اندازه شمشه، تعداد آلات تشکیل یافته، مساحت آلات، میزان باربری و ... مورد مقایسه قرار گرفته‌اند (آئینه چی و همکاران، ۱۳۹۸). آئینه چی در پژوهشی دیگر در خلال بررسی کاربردی‌های خاص در زمینه‌های غیرمتداول به بررسی شیوه‌های شکل‌گیری این کاربردی‌ها پرداخته و نحوه گسترش آن‌ها را بررسی نموده است (آئینه چی و همکاران، ۱۳۹۹). در این پژوهش بحث گسترش کاربردی در خلال ترسیمات انجام شده به طور گسترده‌تری دیده شده است؛ اما باین حال موضوع اصلی پژوهش نبوده و به همه جوانب آن نپرداخته است.

در جمع‌بندی این بخش از مقاله فقدان منابعی که به طور خاص به هندسه بسط و گسترش کاربردی پرداخته باشند محرز می‌شود؛ بنابراین این پژوهش با توجه به خلأ منابع در این زمینه، به بررسی و تحلیل هندسه این نوع کاربردی با توجه به تعاریف ارائه شده از آن پرداخته و قابلیت‌های آن را در ایجاد زمینه‌های متنوع هندسی بررسی کرده است. هم‌چنین جایگاه این نوع کاربردی را در میان گونه‌های مختلف تعریف و تبیین نموده است.

۳- روش تحقیق

این پژوهش با تأکید بر جنبه‌های کمی و کاربردی، نخست با تکیه بر اسناد و منابع کتابخانه‌ای، مروری بر کاربردی، شیوه‌های ترسیم و الزامات هندسی آن داشته و تعاریف و نمونه‌های مرتبط با کاربردی گسترش را از منابع مختلف استخراج نموده است. در ادامه بر اساس مطالعات بخش نخست به روش تحلیلی و استدلال منطقی، شیوه‌های بسط و گسترش زمینه کاربردی را واکاوی نموده است. در نهایت به دنبال یافتن حالت‌های مختلف ایجاد تنوع فرمی، به مطالعه گسترش کاربردی ۱۶ ضلعی با ارائه گزاره‌های قاعده‌مند حاصل بررسی دو مؤلفه شکل زمینه و فاصله اتصال پرداخته است. در این بخش با بهره‌گیری از مدل‌سازی رایانه‌ای که در نرم‌افزار اتوکد انجام شده، حالات ممکن بر اساس هندسه نظری (فارغ از مسائل اجرایی و یا موجودیت آن در معماری سنتی) استخراج شده است. شایان ذکر است، در ترسیمات از روش وتری استفاده شده است. این روش برای ترسیم انواع کاربردی یک شیوه واحد دارد و گزاره‌های متعددی جهت بررسی‌های مقایسه‌ای ارائه می‌دهد؛ اما در روش شعاع‌ها و فلکه‌ها شیوه ترسیم پیچیده‌تر بوده و برای هر کاربردی متفاوت از دیگری است. به همین دلیل گزاره‌های مقایسه‌ای محدودتری ایجاد می‌نماید و بیشتر برای ترسیم کاربردی بر روی زمین در زمان اجرا کاربرد دارد (ریحانی همدانی و همکاران، ۱۳۹۷). علاوه بر این کلیه بررسی‌ها بر اساس هندسه کاربردی قالب شاقولی انجام شده و کاربردی سرسفت به علت اینکه به سلیقه معمار با ایجاد تغییر در هندسه کاربردی قالب شاقولی (برای رسیدن به شمسه مطلوب) شکل می‌گیرد (بزرگمهری، ۱۳۷۱) از بررسی‌ها حذف شده است.

۴- چارچوب نظری

۴-۱- هندسه کاربردی

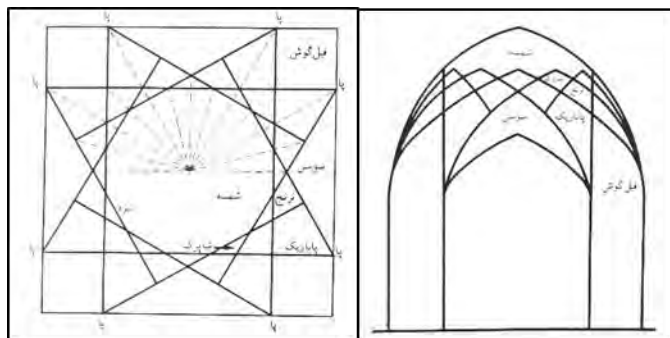
از نظر ساختار هندسی، پلان کاربردی مبتنی بر تقسیم دایره به قطاع یکسان و ترسیم وترهای متقاطع و متساوی بین نقاط تقسیم است (تصویر ۱- الف). ساختار هندسه سه‌بعدی آن نیز بر اساس دوران یک باریکه طاق حول مرکز دایره محیطی تشکیل می‌شود. لذا تمامی باریکه طاق‌های کاربردی دارای ابعاد و تناسبات یکسانی هستند (تصویر ۱- ب) (امجد محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). در این حالت ابعاد شمسه، مشخص و مستخرج از ترسیمات و هندسه دقیق کاربردی است و هر دونیمه باریکه طاق‌های تشکیل‌دهنده کاربردی در یک صفحه و در امتداد یکدیگر قرار دارند. این نوع کاربردی قالب شاقولی نامیده می‌شود (بزرگمهری، ۱۳۷۱).

نوع دیگر از کاربردی، قالب سرسفت نام دارد. در کاربردی سرسفت دونیمه باریکه طاق در امتداد هم قرار نگرفته و نمی‌توانند به صورت یک قوس کامل بارها را به تکیه‌گاه منتقل کنند (تصویر ۱- ج). لذا نسبت به کاربردی قالب شاقولی از توان باربری پایینی برخوردارند. در این نوع کاربردی ابعاد شمسه و ارتفاع کاربردی کوچک‌تر از حد معمول شده است (بزرگمهری، ۱۳۷۱). با توجه به اینکه پژوهش حاضر محدود به بررسی کاربردی قالب شاقولی است لذا این نوع کاربردی مورد بررسی قرار نگرفته است.



تصویر ۱: کاربردی شاقولی: الف- هندسه پلانی، ب- هندسه سه‌بعدی. مأخذ: نگارندگان، ج- باریکه طاق در کاربردی سرسفت. مأخذ: امجد محمدی و همکاران، ۱۳۹۹.

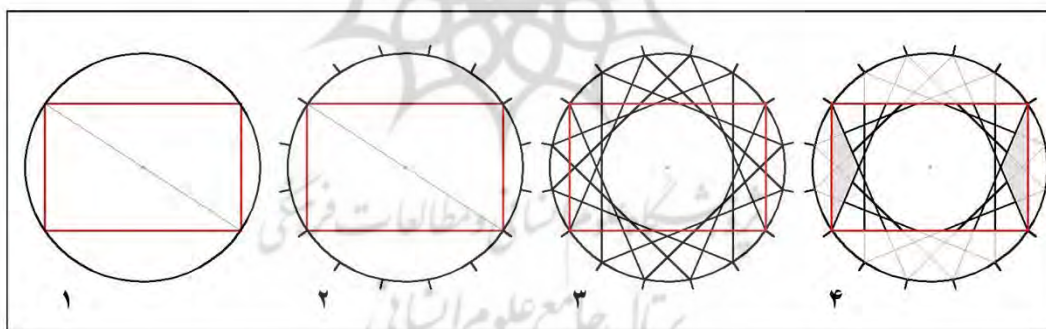
کاربردی از حیث سطوح مابین تیر طاق‌ها که در اصطلاح به آن‌ها آلت‌های کاربردی می‌گویند به اجزا مختلفی تقسیم می‌شود. این اجزا از مرکز زمینه به ترتیب شامل: شمسه وسط، شاپرک، ترنج (ترنج‌ها)، پاباریک، سوسن و فیل گوش هستند (رئیس زاده و مفید، ۱۳۹۳) (تصویر ۲).



تصویر ۲: نمایش اجزای کاربردی در نما و پلان، مأخذ: (رئیس زاده و مفید، ۱۳۹۳).

بر اساس مدارک موجود از نقشه‌ها و طول‌ماری‌های معماری در سده‌های گذشته، برای رسم کاربردی از تصویر پلان (به صورت یک‌چهارم کاربردی یا کاربردی کامل) استفاده شده و گاهی در کنار آن نمایی از طاق نیز ترسیم شده است (نجیب اغلو، ۱۳۹۸). در حال حاضر نیز تقریباً از همین شیوه استفاده می‌شود و به‌طور کلی دو روش برای ترسیم کاربردی ذکر شده است که عبارت‌اند از: روش استاد پیرنیا و روش استاد شرباف.

در روش استاد پیرنیا که به روش وتری نیز معروف است، ابتدا با توجه به مشخصات زمینه، تعداد اضلاع کاربردی تعیین می‌گردد. بعد از تعیین تعداد اضلاع، از مرکز مربع-مستطیل زمینه، دایره‌ای ترسیم می‌شود که بر آن زمینه محاط باشد و قطری برابر با قطر مربع-مستطیل داشته باشد. سپس، محیط دایره بر اساس تعداد اضلاع کاربردی به قطعات مساوی (تقریباً مساوی) تقسیم‌بندی می‌گردد به‌گونه‌ای که هر یک از گوشه‌های زمینه بر یکی از نقاط تقسیم منطبق باشد. سپس نقاط تقسیم بافاصله مساوی به هم وصل شده و هر خط در واقعیت سایه یک تویزه است. پس از آن بخشی از ترسیماتی که خارج از زمینه قرار دارند پاک شده و پلان کاربردی به دست می‌آید (تصویر ۳) (بزرگمهری، ۱۳۷۱). این روش برای رسم کاربردی روی کاغذ مناسب است و در این پژوهش به دلیل سادگی و سهولت و عمومیت آن مورد استفاده قرار گرفته است.



تصویر ۳: ترسیم کاربردی ۱۶ به روش استاد پیرنیا، مأخذ: نگارندگان.

در روش استاد شرباف ترسیمات بدون استفاده از دایره محیطی و مستقیماً داخل زمینه و با استفاده از شعاع‌ها، فلک‌ها و نقطه‌یابی انجام می‌گردد (شرباف، ۱۳۸۵) و نسبت به روش پیشین پیچیده‌تر بوده و شیوه ترسیم برای هر نوع کاربردی با دیگری متفاوت است. نمونه‌های متعددی از این روش در کتاب گره و کاربردی ارائه شده است (شرباف، ۱۳۸۵).

۴-۲- مؤلفه‌های تأثیرگذار بر فرم کاربردی

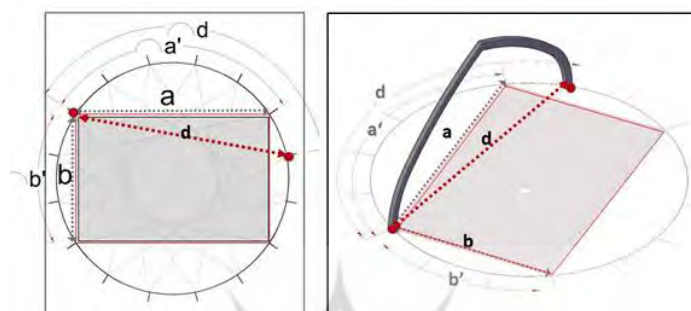
با توجه به ساختار هندسی کاربردی سه مؤلفه شکل زمینه، تعداد اضلاع کاربردی (n) و فواصل نقاط اتصال (d) در فرم نهایی کاربردی مؤثر است (بزرگمهری، ۱۳۷۱). کاربردی محدود به چند طرح معین نیست و می‌توان برای هر زمینه طرحی متناسب با آن داشت (رئیس زاده و مفید، ۱۳۹۳). این ساختار در انواع زمینه‌های منظم و غیر منظم به کار رفته است؛ اما در منابع مکتوب معماری سنتی فقط برای زمینه‌های ساده مربع - مستطیل رابطه‌ای قاعده‌مند بیان شده است و سایر زمینه‌ها در واقع از توسعه و

گسترش این زمینه‌ها شکل گرفته‌اند (بزرگمهری، ۱۳۷۱). در زمینه‌های مربع - مستطیل این رابطه به شکل زیر است و تعداد اضلاع کاربردی با تقریبی نزدیک به واقعیت بر اساس ابعاد و تناسبات زمینه مشخص می‌شود:

$$n = 2(a + b - 2) \quad (1)$$

n تعداد اضلاع کاربردی، a طول زمینه و b عرض زمینه.

در این رابطه ابعاد و تناسبات زمینه فوق‌العاده دقیق نیست و در مواردی معمار با کم‌وزیاد کردن در محاسبه ابعاد فضا و پس‌وپیش کردن دهانه، تقسیم‌بندی زمینه را انجام می‌دهد (بزرگمهری، ۱۳۷۱). در این پژوهش زمینه‌هایی که بر اساس این رابطه تعیین می‌شوند، زمینه مادر نام‌گذاری شده‌اند. در هر زمینه تعداد تقسیماتی از قطاع دایره مقابل طول و عرض زمینه قرار دارد که به ترتیب a' و b' نامیده شده است (تصویر ۴).



تصویر ۴: معرفی زمینه کاربردی، a و b : طول و عرض زمینه، a' و b' : تعداد تقسیمات مقابل طول و عرض زمینه، d : فواصل نقاط اتصال، مأخذ: نگارندگان.

در بررسی شکل‌گیری کاربردی در زمینه مادر، با توجه به رابطه میان فواصل نقاط اتصال (d) و تعداد تقسیمات روبروی طول زمینه (a') حالات زیر برقرار است (امجد محمدی و همکاران، ۱۳۹۹) (تصویر ۵).

(۱) $d < a'$: در این حالت فاصله اتصال کوچک‌تر از تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه است و شمسه بزرگ‌تر از

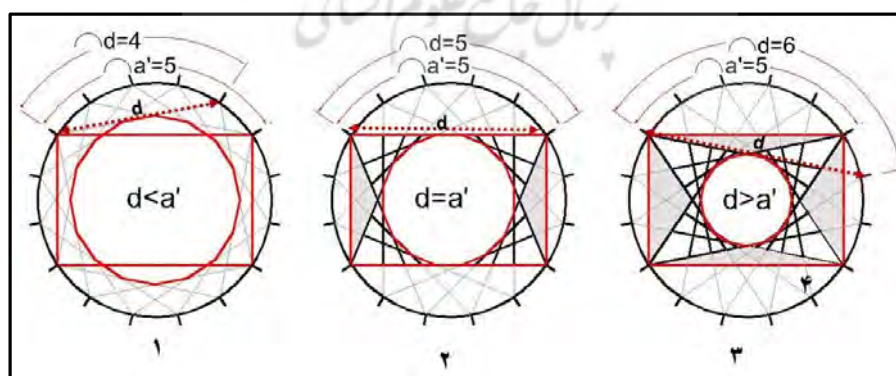
ماکزیمم مقدار خود شده و اضلاع زمینه را قطع می‌کند، لذا کاربردی شکل نمی‌گیرد.

(۲) $d = a'$: در این حالت فاصله اتصال برابر با تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه است و شمسه در بزرگ‌ترین حالت

خود و مماس بر زمینه شکل گرفته است. این نوع کاربردی رسمی نامیده می‌شود.

(۳) $d > a'$: در این حالت فاصله اتصال بزرگ‌تر از تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه است و شمسه کوچک‌تر از زمینه

بوده و کاربردی از نوع اختری است.



تصویر ۵: فاصله نقاط اتصال در زمینه مادر (کاربردی ۱۶ ضلعی). (۱) کاربردی شکل نمی‌گیرد، (۲) کاربردی رسمی، (۳) کاربردی اختری، مأخذ: نگارندگان.

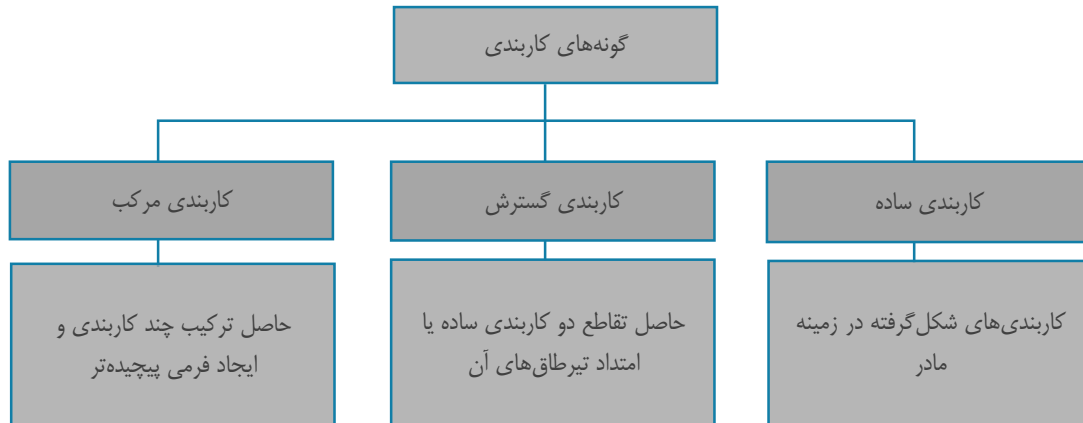
در این نوع کاربردی، زمینه در چهار نقطه دایره محیطی را قطع می‌کند و لذا بر ۴ پایه متکی است. همچنین با توجه به اینکه در یک‌چهارم پلان، یک پایه بر روی زمین قرار دارد با کاربردی یک پا نیز معروف است (محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰). در جدول ۱ مشخصه‌های کلی این نوع کاربردی ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصه‌های کاربردی ساده در زمینه مادر، مأخذ: نگارندگان

شکل زمینه	مربع - مستطیل	با تناسب خاص طبق رابطه (۱) $n = 2(a + b - 2)$	a: طول زمینه b: عرض زمینه
شرایط فاصله اتصال	۱- فاصله اتصال کوچک‌تر از تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه ($d < a'$)	کاربردی شکل نمی‌گیرد	
	۲- فاصله اتصال برابر با تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه ($d = a'$)	کاربردی از نوع رسمی	 کاربردی رسمی - حمام گنجعلی خان کرمان (گنج‌نامه، جلد ۱۸)
	۳- فاصله اتصال بزرگ‌تر از تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه ($d > a'$)	کاربردی از نوع اختری	 کاربردی اختری - مسجد جامع زنجان (گنج‌نامه، جلد ۷)
تعداد پایه‌ها	کاربردی ۴ پایه بر روی زمین دارد و با توجه به اینکه در یک‌چهارم پلان، یک پایه بر روی زمین دارد، به کاربردی یک پا نیز معروف است.		کاربردی رسمی - حمام گله‌داری بندرعباس، کاربردی متکی بر ۴ پایه

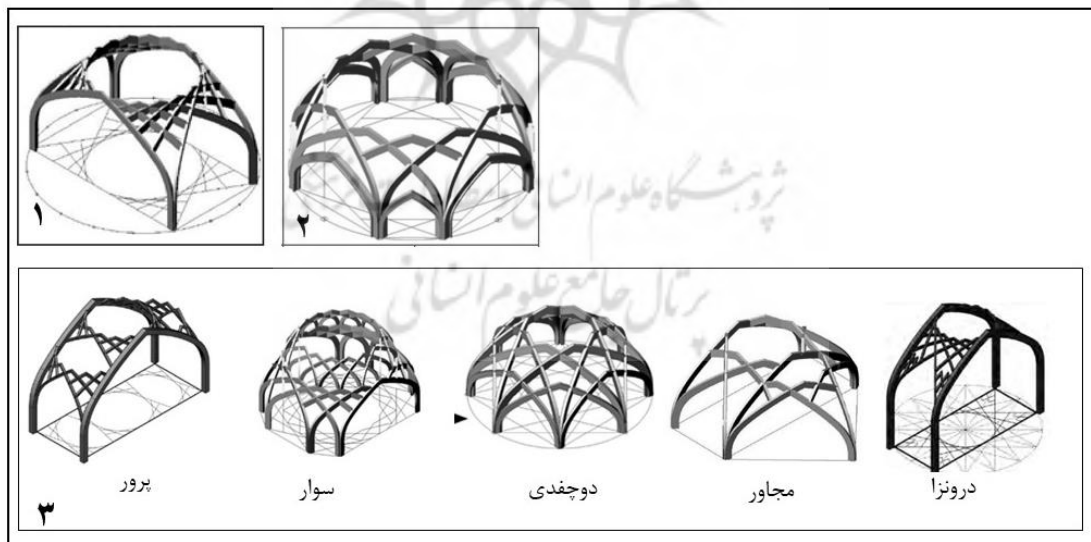
۴-۳- گونه شناسی کاربردی

بر اساس مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته و آنچه در پیشینه پژوهش بیان شد، نویسندگان و محققان درباره انواع کاربردی نظرات متفاوتی را ابراز کرده‌اند و بسته به هدف پژوهش، گونه‌شناسی‌های متعددی ارائه شده است. در این پژوهش با استفاده از آموزه‌های استاد پیرینا در کتاب هندسه در معماری، گونه‌شناسی بر اساس نحوه شکل‌گیری هندسه کاربردی انجام شده است. این منبع یکی از منابع اصلی در زمینه شناخت کاربردی است. به‌طور کلی می‌توان با توجه به نمونه‌های ارائه شده در این کتاب کاربردی را به سه دسته ساده، گسترش‌یافته و مرکب تقسیم کرد (نمودار ۱).



نمودار ۱: گونه شناسی کاربردی بر اساس هندسه شکل‌گیری آن، مأخذ: نگارندگان.

منظور از کاربردی ساده (تصویر ۶-۱)، کاربردی است که در زمینه مادر پیاده شده و شکل زمینه مربع-مستطیل است. این نوع کاربردی دارای چهارپایه روی زمین است. با توجه به محدودیت شکل زمینه و فاصله اتصال در کاربردی ساده، گونه دیگری از کاربردی‌ها شکل گرفته که در واقع گسترش‌یافته این نوع کاربردی است. در تعاریف کاربردی گسترش‌یافته (تصویر ۶-۲) را حاصل تقاطع دو یا چند کاربردی ساده دانسته (بزرگمهری، ۱۳۷۱ و معماریان، ۱۳۹۱) و یا آن را حاصل امتداد برخی تیرطاق‌های کاربردی ساده در جهت عرض یا طول زمینه تا دایره محیطی کاربردی، معرفی نموده‌اند (محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰). در جدول ۲ نمونه‌هایی از کاربردی‌های گسترش در معماری ایران معرفی شده‌اند. کاربردی مرکب (تصویر ۶-۳) نیز حاصل ترکیب کاربردی‌ها است که سبب خلق نمونه‌های پیچیده‌تری می‌گردد و انواع آن عبارت‌اند از: کاربردی پرور^۳، کاربردی سوار^۴، کاربردی دوچفدی^۴، کاربردی مجاور^۵ و کاربردی درونزا^۶. این نوع کاربردی‌ها در پژوهش‌های پیشین مورد بررسی قرار گرفته‌اند (محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰، امجد محمدی و همکاران، ۱۳۹۹ و Amjad Mohammadi et al, 2019).



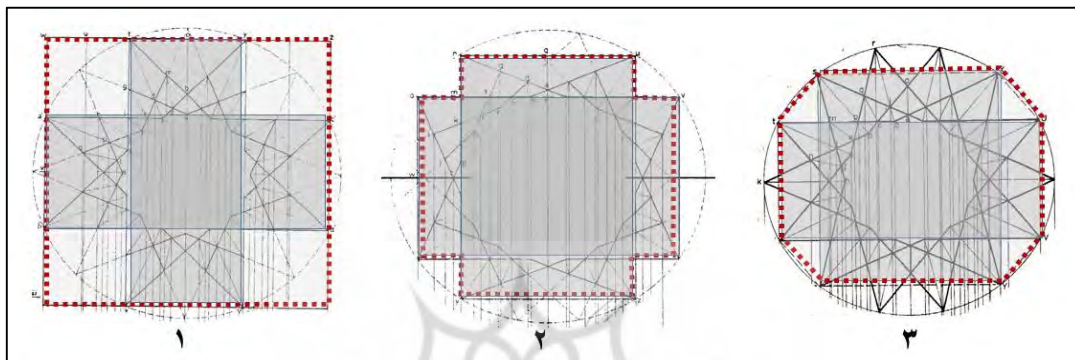
تصویر ۶: انواع کاربردی، (۱) کاربردی ساده، (۲) کاربردی گسترش، (۳) کاربردی مرکب، مأخذ: محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰، امجد محمدی و همکاران، ۱۳۹۹ و Amjad Mohammadi et al, 2019.

جدول ۲: نمونه‌هایی از کاربردی گسترش در معماری ایران، مأخذ ترسیمات: نگارندگان.

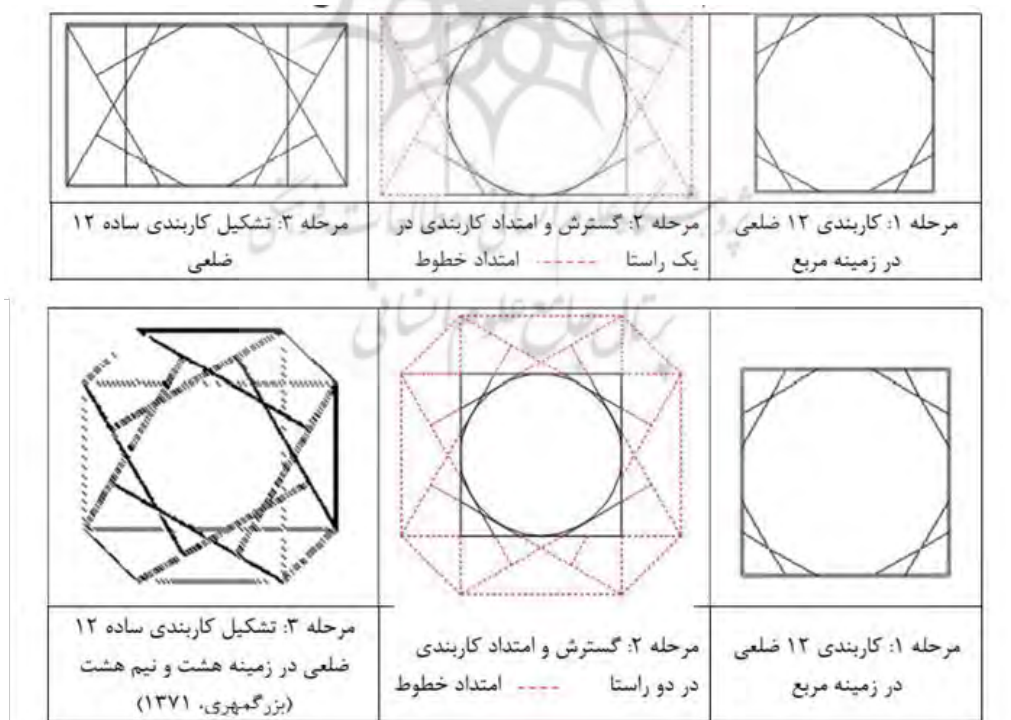
			<p>تیمچه امیر جنوبی، بازار تبریز، ۱۲۵۵ ه.ق (آئینه چی و ولی بیگ، ۱۴۰۰ و ستاری ساربانقلی و جدایی، ۱۳۹۰)</p>
<p>کاربندی ۲۸ ضلعی، تقاطع دو زمینه مستطیل و تشکیل زمینه هشت ضلعی غیر منتظم، $d=9$ و حذف سه ردیف از ترنج‌های نزدیک مرکز</p>			
			<p>حمام رحیم خان قزوین، سربینه حمام بزرگ، ۱۲۵۹ ه.ق (گنج‌نامه، جلد ۱۸)</p>
<p>کاربندی ۱۶ ضلعی، تقاطع دو زمینه مستطیل و تشکیل زمینه هشت ضلعی غیر منتظم، $d=5$</p>			
			<p>حمام گنجعلی خان کرمان، بخش میانی گرمخانه، (دوره قاجار) (گنج‌نامه، جلد ۱۸)</p>
<p>کاربندی ۱۶ ضلعی، تقاطع دو زمینه مربع و امتداد برخی تیر طاق‌ها و تشکیل زمینه چلیپا، $d=4$</p>			
			<p>حمام علی خان بخش ورای شهرستان مهر، سربینه، ۱۳۲۰ ه.ق (زارعی و همکاران، ۱۳۹۶)</p>
<p>کاربندی ۱۶ ضلعی، تقاطع دو زمینه مستطیل و تشکیل زمینه هشت ضلعی منتظم، $d=6$ و حذف یک ردیف از ترنج‌های نزدیک مرکز</p>			
			<p>حمام سلطان امیر احمد کاشان، سربینه حمام بزرگ، ۱۰۹۲ ه.ق (گنج‌نامه، جلد ۱۸)</p>
<p>کاربندی ۱۴ ضلعی، تقاطع دو زمینه مستطیل و تشکیل زمینه هشت ضلعی غیر منتظم، $d=5$ و حذف یک ردیف از ترنج‌های نزدیک مرکز</p>			
			<p>حمام چهارفصل اراک، سربینه حمام اقلیت‌ها (دوره قاجار) (گنج‌نامه، جلد ۱۸)</p>
<p>کاربندی ۱۲ ضلعی، تقاطع دو زمینه مستطیل و تشکیل زمینه هشت ضلعی غیر منتظم، $d=5$ و حذف دو ردیف از ترنج‌های نزدیک به مرکز</p>			

۵- گسترش کاربردی

همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد گسترش کاربردی به دو شیوه قابل انجام است. یک روش تقاطع دو یا چند کاربردی ساده با زمینه همسان یا غیرهمسان است. شایان‌ذکر است که برای ادغام دو یا چند کاربردی، باید تعداد اضلاع آن‌ها برابر باشند و اتصال نقاط روی دایره در آن‌ها بافاصله برابر صورت گیرد. پیرنیا برای این شیوه نمونه‌های متعددی نظیر گسترش درهم، گسترش در زمینه چلیبیا، گسترش در زمینه هشتی، گسترش در زمینه هشت و نیم هشت و ... ارائه داده است. اساس شکل‌گیری همه این کاربردی‌ها مشابه بوده و فرم نهایی زمینه حاصل تقاطع دو زمینه مادر است (تصویر ۷). در بسیاری از منابع نیز در ارائه نمونه‌ها از همین شیوه ترسیم استفاده شده است (محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰، آصفی و همکاران، ۱۳۹۷ و امجد محمدی و همکاران، ۱۳۹۹).



تصویر ۷: نمونه‌هایی از گسترش کاربردی بر اساس نامگذاری پیرنیا، (۱) گسترش در هم ۱۶ ضلعی رسمی در زمینه مربع، (۲) گسترش کاربردی رسمی ۱۶ در زمینه چلیبیا، (۳) گسترش ساختاری پیوسته چهارده ضلعی زمینه تقریباً نگینی، ماخذ: بزرگمهری، ۱۳۷۱.

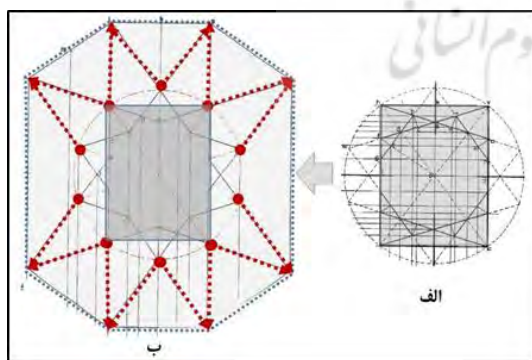


تصویر ۸: نمونه‌هایی از گسترش کاربردی بر اساس پژوهش آئینه چی و همکاران، ردیف بالا: امتداد در یک راستا، نتیجه مشابه کاربردی ساده در زمینه مادر است. ردیف پایین: امتداد در دو راستا، نتیجه مشابه تقاطع دو زمینه مادر است، ماخذ: آئینه چی و همکاران، ۱۳۹۹.

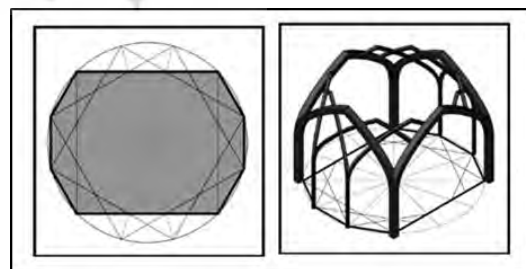
روش دیگر گسترش، امتداد برخی تیر طاق‌های کاربردی ساده در جهت عرض یا طول زمینه تا دایره محیطی یا خارج از دایره است. قابلیت هندسه کاربردی در امتداد یافتن از جهات مختلف باعث به وجود آمدن فضاهای متفاوت با زمینه‌های گوناگون می‌گردد (آئینه چی و همکاران، ۱۳۹۹). آئینه چی و همکاران در پژوهش خود سه شیوه برای امتداد اضلاع معرفی نموده‌اند که عبارت‌اند از: امتداد اضلاع کاربردی در یک راستا، امتداد اضلاع کاربردی در دو راستا، اتصال نقاط تقسیم دایره بر اساس شکل زمینه و حذف برخی پایه‌ها (آئینه چی و همکاران، ۱۳۹۹). نمونه‌های ارائه شده در این منبع برای شیوه‌های اول و دوم نشان می‌دهد، با امتداد در یک راستا گونه‌های دیگری از کاربردی در زمینه مادر قابل شکل‌گیری است که در پژوهش حاضر در دسته کاربردی ساده جای داده شده و کاربردی گسترش محسوب نمی‌گردد. با امتداد تیر طاق‌ها در دو راستا نیز نتایج مشابه روش اول (تقاطع دو زمینه کاربردی ساده) حاصل می‌گردد (تصویر ۸). محمدیان منصور و فرامرز نیز در تعریفی که از کاربردی گسترش ارائه نموده‌اند، آن را حاصل امتداد تیر طاق‌ها تا دایره محیطی دانسته اما وارد جزئیات آن نشده‌اند (تصویر ۹) و از طرف دیگر بخشی از نمونه‌های کاربردی گسترش را تحت عناوین کاربردی رسمی منفرد دو پا و کاربردی رسمی مرکب معرفی کرده و از روش اول در ترسیمات خود استفاده نموده‌اند (محمدیان منصور و فرامرز، ۱۳۹۰). پیرنیا برای گسترش تیر طاق‌ها خارج از دایره محیطی، به‌طور محدود دو نمونه ارائه داده است. یکی از این نمونه‌ها کاربردی ۱۰ ضلعی است و از این شیوه به‌عنوان گسترش طولی نام برده است (تصویر ۱۰).

همچنین با نام‌گذاری‌های دیگری نظیر گسترش کشیده و گسترش اختری توسط پیرنیا مواجه می‌شویم. با توجه به فرمول کاربردی برای هر نوع کاربردی ممکن است چند زمینه مادر شکل گیرد. بررسی این موضوع نشان می‌دهد این عناوین جهت نام‌گذاری انواع کاربردی‌های شکل گرفته در زمینه‌های مادر به‌کاررفته است. به‌عنوان نمونه برای کاربردی ۱۶، سه زمینه با تناسبات ۳ در ۷، ۴ در ۶ و ۵ در ۵ یا ۵ در ۵ به دست می‌آید. پیرنیا زمینه حد وسط (۴ در ۶) را کاربردی ساده نامیده و برای زمینه مستطیلی که نسبت طول به عرض آن بیشتر است (۳ در ۷) نام گسترش کشیده را انتخاب نموده و گسترش اختری را نیز برای زمینه با تناسبات مربع (۵ در ۵) به‌کاربرده است. در این پژوهش این قبیل کاربردی‌ها با توجه به شکل‌گیری در زمینه مادر در دسته کاربردی ساده جای داده شده‌اند و از نوع گسترش محسوب نمی‌گردند. همچنین پیرنیا فقط به شرح کاربردی‌هایی با زمینه‌های منتظم و غیر منتظم دارای تقارن پرداخته و برای زمینه‌های دارای هندسه خاص نمونه‌ای معرفی نکرده است.

مقایسه کلی دو تعریف ارائه شده از کاربردی گسترش نشان می‌دهد هر دو شیوه دارای اشتراکاتی بوده و می‌توانند نتایج مشابهی در بر داشته باشند که بررسی آن در این پژوهش نمی‌گنجد. با توجه به جامعیت و کاربرد تعریف اول در منابع متعدد و همچنین قابلیت آن در ارائه گزاره‌های هندسی قاعده‌مند، این پژوهش برای یافتن پاسخ پرسش‌های خود در ادامه این تعریف را ملاک بررسی‌های پژوهش قرار داده و به مسئله نحوه شکل‌گیری هندسه زمینه و الزامات فاصله اتصال در زمینه جدید پرداخته است.



تصویر ۱۰: گسترش کاربردی از طریق امتداد تیر طاق‌ها به خارج از دایره محیطی - الف) کاربردی رسمی ۱۰، ب) گسترش طولی کاربردی ۱۰، ماخذ: بزرگمهری ۱۳۷۱.

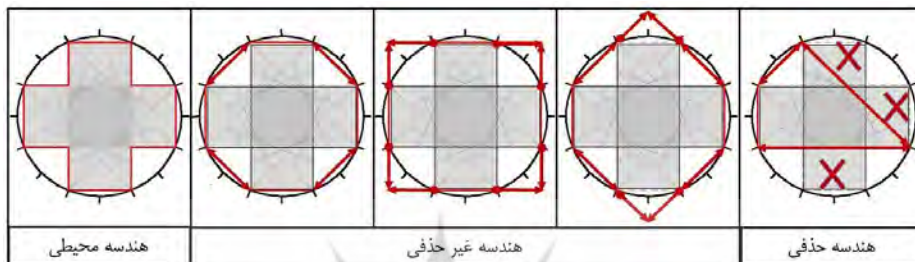


تصویر ۹: گسترش کاربردی از طریق امتداد تیر طاق‌ها در محدوده دایره محیطی ماخذ: محمدیان منصور و فرامرز، ۱۳۹۰.

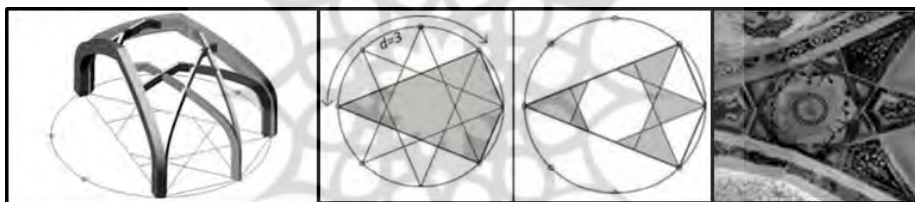
۵-۱- شکل زمینه و فاصله اتصال در کاربردی گسترش

زمینه کاربردی گسترش یافته را می توان از حالت های ممکن تقاطع هندسی دو زمینه مادر ایجاد نمود. با توجه به زاویه تقاطع ها، نوع زمینه و همسان یا غیرهمسان بودن آن ها و همچنین روش های ترسیم هندسی، حالت های متعددی برای تشکیل هندسه زمینه جدید به وجود می آید. در حالت کلی برای ترسیم زمینه گسترش می توان از روش های هندسی زیر استفاده نمود (تصویر ۱۱):

- ۱- هندسه محیطی: ترسیم شکل محیطی زمینه های متقاطع (مانند چلیپا).
- ۲- هندسه غیر حذفی: اتصال گوشه ها، امتداد اضلاع و یا ترکیبی از حالت های اتصال و امتداد.
- ۳- هندسه حذفی: حذف بخش هایی از زمینه های مادر برای رسیدن به هندسه مورد نظر. این نوع زمینه ها در برخی منابع به عنوان کاربردی خاص.



تصویر ۱۱: روش های هندسی شکل گیری زمینه گسترش ماخذ: نگارندگان.



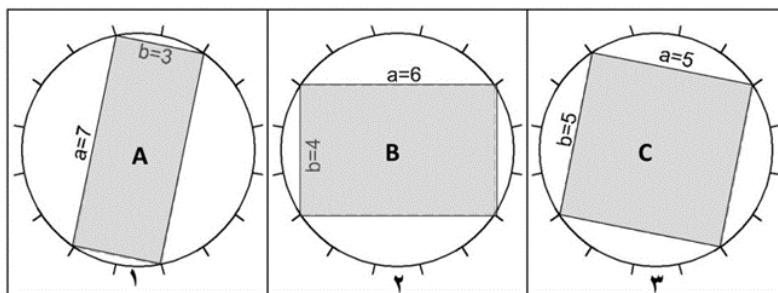
تصویر ۱۲: معرفی هندسه حذفی کاربردی گسترش تحت عنوان کاربردی خاص در برخی منابع (حمام وکیل شیراز)، ماخذ: امجد محمدی و همکاران ۱۳۹۹ و محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰.

فاصله اتصال در کاربردی گسترش برای هر سه حالت هندسه محیطی، هندسه غیر حذفی و هندسه حذفی باید به صورت مجزا بررسی گردد. همان گونه که در تصویر ۱۱ مشاهده می شود هندسه غیر حذفی نسبت به زمینه مادر سطح پوشش بیشتری داشته و بخش زیادی از کاربردی های گسترش در این دسته قرار می گیرند. در این حالت با توجه به افزایش سطح پوشش، محدودیت های فاصله اتصال نسبت به زمینه مادر کمتر می گردد. در هندسه محیطی با توجه به این که سطح پوشش محدود به زمینه مادر است لذا الزامات فاصله اتصال نیز از آن تبعیت می کند. در هندسه حذفی با توجه به حذف برخی پایه ها، سطح پوشش نسبت به هندسه غیر حذفی کمتر بوده و محدودیت های بیشتری نسبت به آن خواهد داشت. در ادامه جهت تدقیق، موارد فوق روی گسترش کاربردی ۱۶ به عنوان نمونه مورد مطالعه بررسی شده است.

۵-۲- بررسی گسترش کاربردی ۱۶

برای بررسی گسترش کاربردی ۱۶، ابتدا زمینه های مادر در این کاربردی مشخص شده و سپس شکل زمینه بر اساس تقاطع زمینه های مادر و روش های ترسیم هندسی بررسی شده و شرایط فاصله اتصال برای این زمینه ها تعیین گردیده است. با توجه به فرمول کاربردی، تناسبات زمینه های مادر در کاربردی ۱۶ به صورت زیر است^۷ (بزرگمهری، ۱۳۷۱) (تصویر ۱۳):

$$\begin{aligned}
 \text{زمینه A: با تناسبات تقریبی } 3*7 & \quad 16 = 2(3 + 7 - 2) \\
 \text{زمینه B: با تناسبات تقریبی } 4*6 & \quad 16 = 2(4 + 6 - 2) \\
 \text{زمینه C: با تناسبات تقریبی } 5*5 & \quad 16 = 2(5 + 5 - 2)
 \end{aligned}$$



تصویر ۱۳: زمینه‌های مادر در کاربردی ۱۶، ۱- زمینه A با تناسبات ۳*۷، ۲- زمینه B با تناسبات ۴*۶، ۳- زمینه C با تناسبات ۵*۵، a: طول زمینه، b: عرض زمینه، مأخذ: نگارندگان.

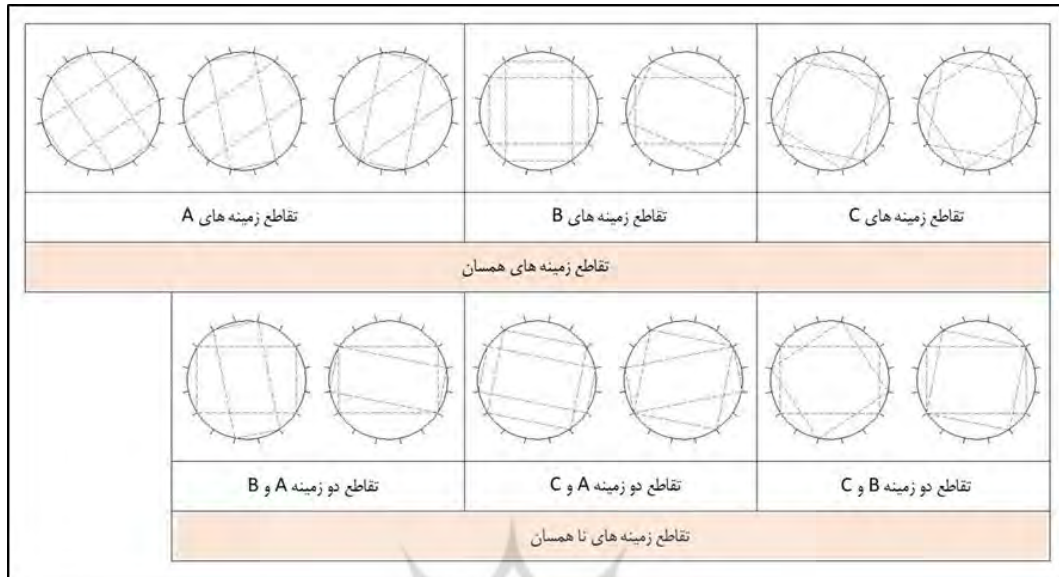
تصویر ۱۴ حالت‌های مختلف شکل‌گیری کاربردی ساده ۱۶ ضلعی در زمینه‌های A، B و C را نشان می‌دهد. زمانی که فاصله نقاط اتصال برابر با تعداد تقسیمات روبروی طول زمینه یا بزرگ‌تر از آن باشد ($d \geq a'$)، کاربردی شکل می‌گیرد و اگر فاصله اتصال کوچک‌تر از این مقدار باشد ($d < a'$)، کاربردی قابل پیاده‌سازی نیست.

زمینه A						
زمینه B						
زمینه C						

تصویر ۱۴: حالت‌های مختلف شکل‌گیری کاربردی ساده ۱۶، اگر $d \geq a'$ کاربردی تشکیل می‌شود، اگر $d < a'$ کاربردی قابل پیاده‌سازی نیست. a: طول زمینه، b: عرض زمینه، a': تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه، مأخذ: نگارندگان.

در گسترش کاربردی ۱۶، زمینه جدید از تقاطع دو زمینه همسان و غیرهمسان قابل حصول است. در تقاطع دو زمینه ناهمسان، علاوه بر برابر بودن تعداد اضلاع و فاصله اتصال، شرط لازم دیگر این است که هر دو زمینه دارای دایره محیطی یکسان باشند. تناسبات زمینه‌ها و زاویه تقاطع آن‌ها نسبت به یکدیگر حالت‌های مختلفی برای شکل زمینه نهایی ایجاد می‌نماید (تصویر ۱۵). علاوه بر شکل نهایی زمینه، متأثر از روش‌های هندسی به کاررفته در ترسیم آن بوده (محیطی، حذفی و غیر حذفی) و برای هر نوع تقاطع حالت‌های مختلفی پیش می‌آید که حاصل آن انواع چندضلعی‌های منتظم و غیر منتظم متقارن، چلیپا و چندضلعی‌های نامنتظم نامتقارن است. در جدول ۳ تعدادی از این حالات نشان داده شده است. از این جدول ۳ نکته می‌توان برداشت کرد: (۱) هر ردیف جدول نشان می‌دهد یک کاربردی با هندسه مشخص هم‌زمان می‌تواند روی زمینه‌های مختلفی پیاده شود. تفاوت این کاربردی‌ها فقط در شکل زمینه، تعداد سوسنی‌ها و فیلپوش‌هاست (تصویر ۱۶). (۲) زمینه‌های مشابهی که در ردیف‌های مختلف جدول تشکیل شده است نشان می‌دهد می‌توان کاربردی‌های متفاوتی در یک زمینه اجرا نمود. به‌عنوان مثال در زمینه‌های مربع با توجه به اینکه نحوه تقاطع دایره محیطی و زمینه نهایی چگونه باشد کاربردی‌های مختلفی شکل می‌گیرد (تصویر ۱۷). (۳) تعداد

پایه‌های کاربردی گسترش برابر است با تعداد نقاط تقاطع زمینه نهایی با دایره محیطی. لذا نمی‌توان تعداد پایه‌های ثابت و مشخصی را برای این نوع کاربردی بیان نمود. ولی اکثر زمینه‌ها دارای ۸ پایه بوده و در زمینه‌های با هندسه حذفی با توجه به شکل زمینه تعداد پایه‌ها کمتر است.



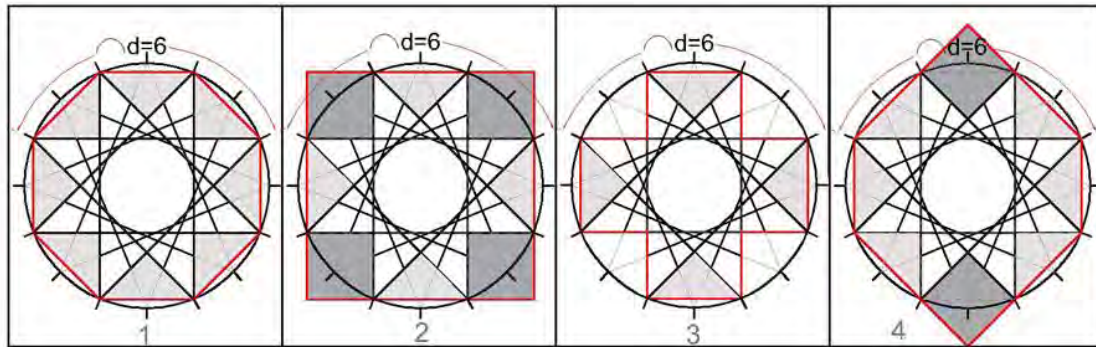
تصویر ۱۵: حالت‌های مختلف تقاطع زمینه‌های مادر در کاربردی ۱۶، مأخذ: نگارندگان.

جدول ۳: شکل نهایی زمینه گسترش در کاربردی ۱۶، مأخذ: نگارندگان.

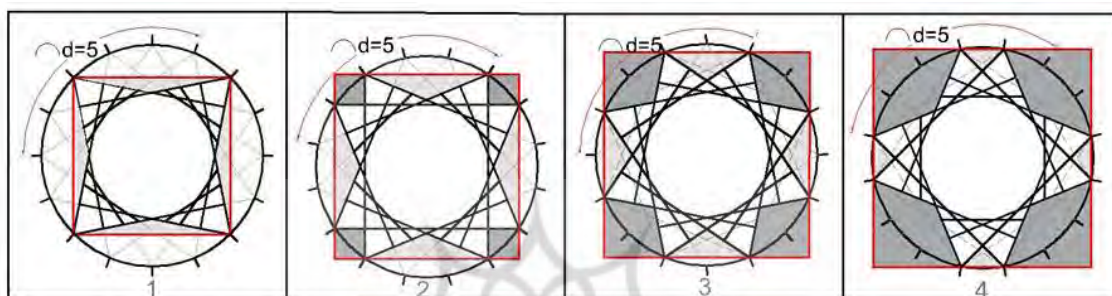
نحوه تقاطع زمینه‌های مادر	انواع شکل نهایی زمینه بر اساس هندسه ترسیمی انتخابی (محیطی، غیر حذفی و حذفی)
۱	
۲	
۳	

	تقاطع دو زمینه B	۱	
		۲	
	تقاطع دو زمینه C	۱	
		۲	
تقاطع دو زمینه ناهمسان A و C	تقاطع دو زمینه ناهمسان C و A	۱	
		۲	
تقاطع دو زمینه ناهمسان B و C	تقاطع دو زمینه ناهمسان C و B	۱	
		۲	

تقاطع دو زمینه ناهمسان



تصویر ۱۶: پیاده‌سازی کاربردی ۱۶ با هندسه مشخص و فاصله اتصال ثابت ($d=6$) در زمینه‌های مختلف (۱- زمینه هشت‌ضلعی، ۲- زمینه مربع، ۳- زمینه چلیپا، ۴- زمینه شش‌ضلعی نامنتظم)، مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۷: پیاده‌سازی کاربردی ۱۶ با هندسه متفاوت در زمینه مربع (فاصله اتصال ثابت ($d=5$))، (۱- کاربردی ساده، ۲- کاربردی گسترش حاصل تقاطع دو زمینه B، ۳- کاربردی گسترش حاصل تقاطع دو زمینه A، ۴- کاربردی گسترش حاصل تقاطع دو زمینه C، مأخذ: نگارندگان.

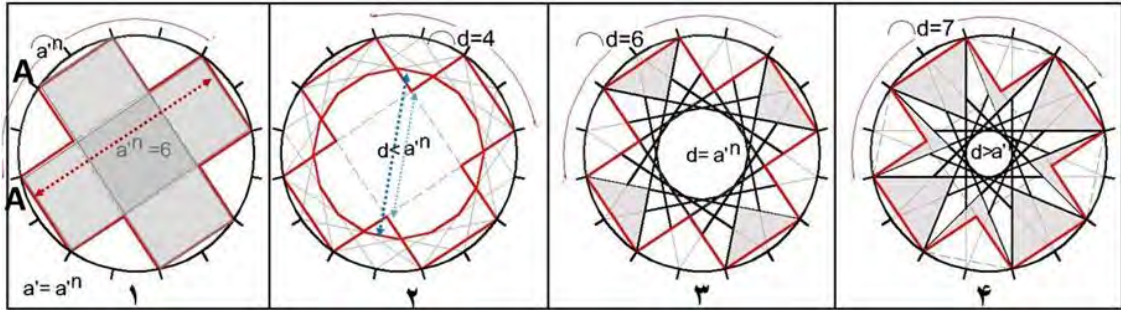
مسئله دیگر در کاربردی گسترش بررسی این موضوع است که در زمینه‌های گسترش چه شرایطی برای پیاده‌سازی هندسه کاربردی وجود دارد، وضعیت فاصله اتصال چگونه است و در چه حالاتی امکان پیاده‌سازی کاربردی نیست. در این نوع کاربردی با توجه به شکل‌گیری زمینه جدید، تعداد فواصل مقابل طول زمینه جدید ملاک بررسی فاصله اتصال قرار می‌گیرد که a^{2n} نامیده شده است. برای بررسی این موضوع، زمینه‌های جدید در کاربردی ۱۶ بر اساس هندسه شکل‌گیری در سه دسته کلی مورد بررسی قرار گرفته است:

۱- زمینه‌هایی که شکل نهایی حاصل فرم محیطی دو زمینه متقاطع است (همانند زمینه چلیپا): در این حالت چون سطح پوشش کاربردی محدود به محیط دو زمینه است. لذا حداقل فاصله اتصال برابر با طول زمینه مادر خواهد بود. اگر فاصله اتصال کمتر از این مقدار باشد بخش‌هایی از شمس خارج از زمینه مادر قرار گرفته و کاربردی شکل نمی‌گیرد. اگر زمینه‌های متقاطع ناهمسان باشند، زمینه مادری که طول بیشتری دارد ملاک تعیین حداقل فاصله اتصال خواهد بود (تصاویر ۱۸ و ۱۹).

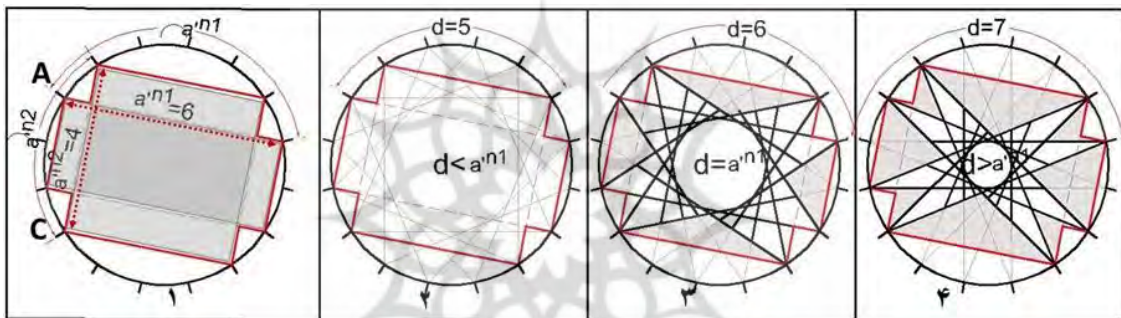
۲- زمینه‌هایی که در شکل‌گیری آن از هندسه غیر حذفی استفاده شده است: در این حالت ابتدا محل پایه‌ها را با توجه به تقاطع زمینه با دایره محیطی علامت‌گذاری نموده و سپس دو پایه مجاور که بیشترین فاصله را از هم دارند تعیین کرده و هم‌چنین تعداد فواصل بین این دو پایه را روی دایره محیطی مشخص می‌کنیم. این مقدار حداقل فاصله اتصال کاربردی را تعیین می‌نماید. در این حالت شمس کاربردی در بزرگ‌ترین حد خود و در برخی اضلاع مماس بر زمینه است. اگر فاصله اتصال از این مقدار کمتر باشد بخش‌هایی از شمس خارج از زمینه کاربردی قرار گرفته و کاربردی شکل نمی‌گیرد (تصویر ۲۰).

۳- زمینه‌هایی که در شکل‌گیری آن از هندسه حذفی استفاده شده است: در این زمینه‌ها شرط اولیه برای پیاده‌سازی کاربردی این است که قطر دایره به‌طور کامل داخل زمینه قرار گیرد؛ زیرا با توجه به هندسه مرکزی کاربردی

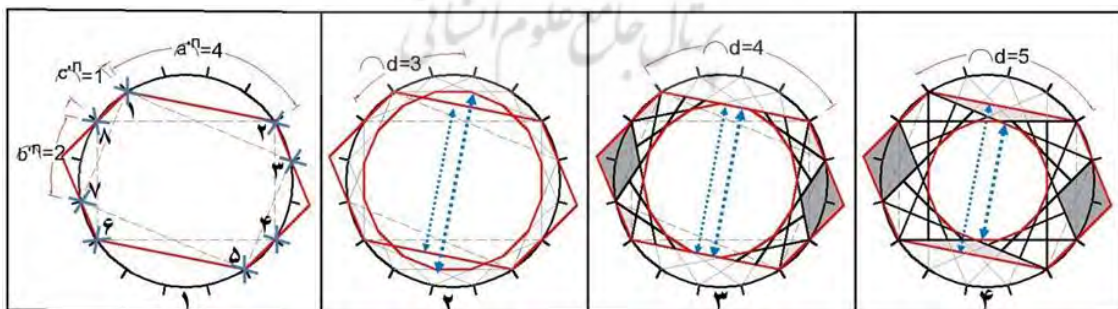
در صورتی که قطر داخل زمینه نباشد، زمینه در نصف دایره قرار گرفته و شمسه کاربردی خارج از زمینه تشکیل می‌شود (تصویر ۲۱). در صورت رعایت این اصل، شرایط فاصله اتصال همانند کاربردی‌های گسترش غیرحذفی است (تصویر ۲۲).



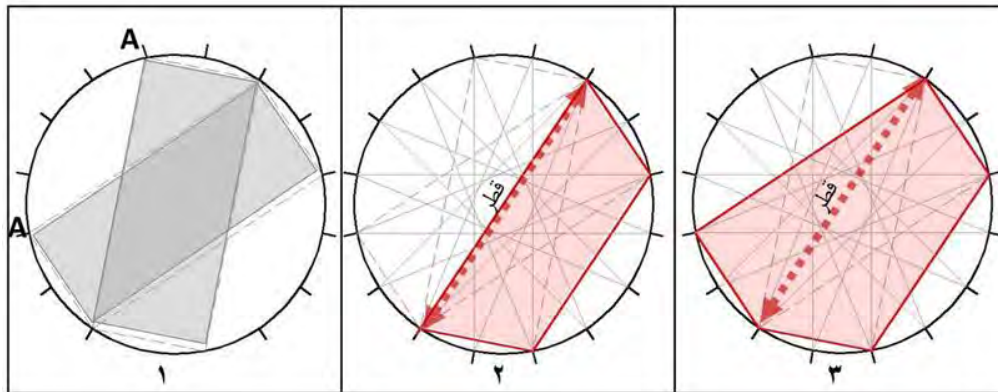
تصویر ۱۸: وضعیت فاصله اتصال در کاربردی گسترش محیطی با تقاطع همسان. ۱- تقاطع دو زمینه A (a^n): تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه گسترش، ۲- اگر $d < a^n$ ، کاربردی تشکیل نمی‌شود، ۳- اگر $d = a^n$ ، تشکیل کاربردی با حداکثر قطر شمسه، ۴- اگر $d > a^n$ ، تشکیل کاربردی با شمسه کوچک‌تر، مأخذ: نگارندگان.



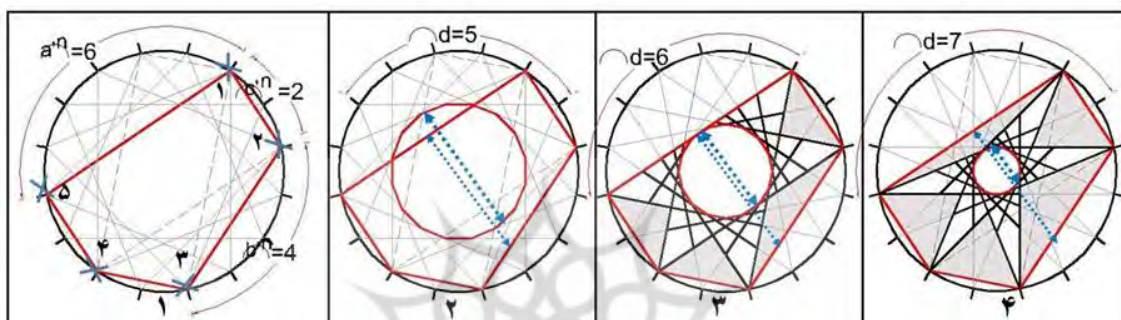
تصویر ۱۹: وضعیت فاصله اتصال در کاربردی گسترش محیطی با تقاطع ناهمسان. ۱- تقاطع دو زمینه A و C (a^{n1}): تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه A و a^{n2} : تعداد تقسیمات مقابل طول زمینه C و $(a^{n1} > a^{n2})$ ، ۲- اگر $d < a^{n1}$ ، کاربردی تشکیل نمی‌شود، ۳- اگر $d = a^{n1}$ ، تشکیل کاربردی با حداکثر قطر شمسه، ۴- اگر $d > a^{n1}$ ، تشکیل کاربردی با شمسه کوچک‌تر، مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۲۰: وضعیت فاصله اتصال در کاربردی گسترش با هندسه غیر حذفی، ۱- تعیین محل پایه‌ها و بیشترین فاصله پایه‌های مجاور $a^n = 4$ ، ۲- اگر $d < a^n$ ، کاربردی تشکیل نمی‌شود، ۳- اگر $d = a^n$ ، تشکیل کاربردی با شمسه مماس بر زمینه، ۴- اگر $d > a^n$ ، تشکیل کاربردی با شمسه کوچک‌تر از زمینه، مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۲۱: کاربردی گسترش به شیوه حذفی: ۱- تقاطع دو زمینه A، ۲- قطر دایره داخل زمینه قرار نگرفته است، ۳- قطر دایره داخل زمینه قرار گرفته است، مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۲۲: وضعیت فاصله اتصال در کاربردی گسترش با هندسه حذفی، ۱- تعیین محل پایه‌ها و بیشترین فاصله پایه‌های مجاور $a^*n=6$ ، ۲- اگر $d < a^*n$ ، کاربردی تشکیل نمی‌شود، ۳- اگر $d = a^*n$ ، تشکیل کاربردی با شمسه مماس بر زمینه، ۴- اگر $d > a^*n$ ، تشکیل کاربردی با شمسه داخل زمینه، مأخذ: نگارندگان.

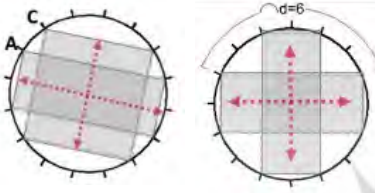
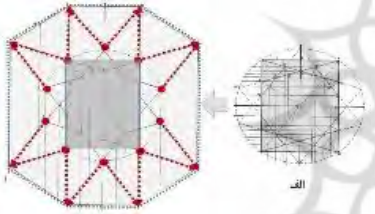

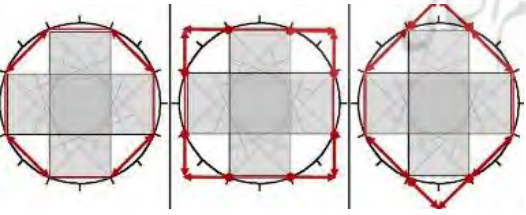

۶- بحث و تحلیل

کاربندها به سه گونه کلی کاربردی ساده، کاربردی گسترش و کاربردی مرکب تقسیم می‌شوند. کاربردی گسترش، گونه وسیعی از کاربردی‌هاست و بخش زیادی از کاربردی‌های معماری ایران در این گونه جای می‌گیرند. روش‌های هندسی گسترش زمینه و همچنین فاصله اتصال تیر طاق‌ها سبب می‌شود شکل‌های متنوعی از این نوع کاربردی ایجاد گردد، به گونه‌ای که در یک زمینه، فرم‌های مختلفی از کاربردی قابل پیاده‌سازی است و علاوه بر این، یک نوع کاربردی را می‌توان روی زمینه‌های مختلف نیز پیاده کرد (تصاویر ۱۶ و ۱۷). برخی از گونه‌های معرفی شده در پژوهش‌ها نظیر کاربردی رسمی منفرد دوبا، کاربردی رسمی مرکب^۸، برخی گونه‌های اختری و رسمی‌های خاص زیرمجموعه این نوع کاربردی هستند. در کاربردی گسترش همانند کاربردی ساده دو فاکتور شکل زمینه و فاصله اتصال در ایجاد تنوع فرمی مؤثرند. شکل زمینه در این کاربردی از حالت‌های هندسی ممکن تقاطع دو زمینه مادر ایجاد می‌گردد و با توجه به زاویه تقاطع، همسان یا غیرهمسان بودن زمینه‌ها و همچنین روش‌های هندسی به کاررفته در ترسیم آن‌ها (هندسه محیطی، هندسه حذفی و هندسه غیر حذفی) برای هر نوع تقاطع، زمینه‌های متعددی قابل حصول است.

از نظر هندسی، در کاربردی گسترش تقاطع دو زمینه مادر می‌تواند سطح پوشش بیشتری نسبت به کاربردی ساده ایجاد نماید. با توجه به هندسه ترسیمی زمینه، مقایسه فاصله اتصال این نوع کاربردی با کاربردی ساده در سه حالت انجام شده است. در زمینه‌هایی که از طریق ترسیم هندسه محیطی تشکیل شده‌اند، سطح پوشش محدود به زمینه‌های مادر است. لذا الزام فواصل همانند کاربردی ساده خواهد بود و در صورتی که فاصله اتصال بزرگ‌تر یا مساوی تعداد فواصل مقابل طول زمینه باشد کاربردی قابل پیاده‌سازی است. در این حالت در صورتی که دو زمینه متقاطع ناهمسان باشند، زمینه با طول بیشتر ملاک تعیین حداقل فاصله

اتصال خواهد بود. در زمینه‌هایی با هندسه غیر حذفی سطح پوشش زمینه افزایش یافته و محدودیت فاصله اتصال نسبت به کاربردی ساده کمتر شده است. در این حالت بیش‌ترین فاصله پایه‌های مجاور، حداقل فاصله نقاط اتصال کاربردی گسترش را مشخص می‌نماید. با توجه به افزایش تعداد پایه‌ها در کاربردی گسترش قطعاً این اندازه نسبت به کاربردی ساده کوچک‌تر بوده و در فواصل بیشتری کاربردی قابل پیاده‌سازی است. لذا در برخی از فواصلی که در زمینه مادر کاربردی شکل نمی‌گیرد کاربردی گسترش غیر حذفی قابل ترسیم است. در زمینه‌های حذفی نیز پایه‌های مجاور که بیشترین فاصله از هم را دارند ملاک تعیین حداقل فاصله اتصال خواهند بود؛ اما با توجه به اینکه در این نوع زمینه‌ها بخشی از زمینه مادر حذف شده است، نمی‌توان به‌طور قطع درباره مقایسه فاصله اتصال آن با کاربردی ساده نظر داد و هر نمونه باید به‌صورت موردی بررسی گردد؛ اما به‌طور کلی می‌توان گفت در این زمینه‌ها با توجه به حذف برخی از پایه‌ها و در نتیجه افزایش فاصله آن‌ها، محدودیت فواصل نسبت به هندسه غیر حذفی بیشتر است (جدول ۴).

جدول ۴: مشخصه‌های کاربردی گسترش (مستخرج از بررسی کاربردی گسترش ۱۶ ضلعی)، مأخذ: نگارندگان.

	<p>تقاطع دو زمینه مادر (همسان یا غیر همسان)</p>	<p>شکل‌گیری زمینه</p>
	<p>امتداد برخی تیر طاق‌ها</p>	<p>نحوه شکل‌گیری زمینه</p>
	<p>هندسه محیطی</p>	<p>شکل زمینه</p>
	<p>هندسه غیر حذفی</p>	<p>هندسه ترکیبی زمینه</p>
	<p>هندسه حذفی</p>	<p>هندسه حذفی</p>

			<p>اشکال منتظم</p>		
			<p>اشکال غیر منتظم با تقارن محوری</p>	<p>شکل نهایی زمینه</p>	
			<p>اشکال غیر منتظم بدون تقارن محوی</p>		
			<p>در زمینه‌هایی با هندسه محیطی طول زمینه جدید برابر با طول زمینه مادر است. لذا $a^n = a'$ و محدودیت فاصله اتصال همانند کاربردی ساده است؛ اما سطح پوشش بیش از کاربردی ساده است.</p>	<p>شرایط فاصله اتصال</p>	
			<p>در زمینه‌هایی با هندسه غیر حذفی طول زمینه جدید کمتر از طول زمینه مادر است. لذا $a^n < a'$ و محدودیت فاصله اتصال کمتر از کاربردی ساده است و کاربردی سطح پوشش بیشتری دارد.</p>	<p>اگر $d \geq a^n$ تشکیل می‌شود. اگر $d < a^n$ کاربردی شکل نمی‌گیرد. تعداد فواصل مقابل طول زمینه گسترش (a^n)</p>	
<p>در زمینه‌هایی با هندسه حذفی، به دلیل حذف تعدادی از پایه‌ها بخشی از زمینه مادر حذف شده است و نمی‌توان به‌طور قطع درباره مقایسه فاصله اتصال و سطح پوشش آن با کاربردی ساده نظر داد و هر نمونه باید به‌صورت موردی بررسی گردد. در این زمینه‌ها با توجه به حذف برخی از پایه‌ها و در نتیجه افزایش فاصله آن‌ها، محدودیت فواصل نسبت به هندسه غیر حذفی بیشتر است.</p>					
<p>کاربندی گسترش - بخش میانی گرمخانه حمام گنجعلی خان کرمان، متکی بر ۱۲ پایه</p>			<p>تعداد پایه‌های کاربردی با توجه به تعداد تقاطع زمینه با دایره محیطی مشخص می‌شود.</p>	<p>تعداد پایه‌ها</p>	

۷- نتیجه‌گیری

با مرور ادبیات علمی مرتبط، تنوع اسامی در حیطه کاربردی گسترش و نبود جایگاهی مشخص برای آن در گونه‌شناسی‌ها محرز شد. در این پژوهش گونه‌شناسی کاربردی بر اساس هندسه شکل‌گیری آن‌ها انجام گردید و هندسه نظری گسترش کاربردی

موردبررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد کاربردی گسترش طیف گسترده‌ای از کاربردی‌ها با زمینه‌های منتظم، غیر منتظم متقارن و غیر منتظم نامتقارن با هندسه خاص را پوشش می‌دهد و فراوانی فرمی آن در یک زمینه مشخص می‌تواند بسیار بیشتر از آنچه در معماری سنتی وجود دارد باشد. بسیاری از کاربردی‌ها در معماری سنتی زیرمجموعه این دسته می‌باشند. امروزه گسترش استفاده از نرم‌افزارها در بحث‌های طراحی و همچنین تنوع مصالح در کاربردهای پوششی، امکان اجرای فرم‌های متنوع مستخرج از هندسه کاربردی را فراهم می‌نماید لذا شناخت هندسه بسط و گسترش کاربردی می‌تواند اساس کار شکل‌گیری فرم‌های جدید در بحث به‌روزرسانی کاربردی را تسهیل نماید.

دو مسئله اصلی در بحث گسترش کاربردی نحوه شکل‌گیری هندسه زمینه و الزامات فاصله اتصال در زمینه جدید است. بررسی‌ها نشان داد شکل نهایی زمینه حاصل نحوه تقاطع زمینه‌ها، همسان یا غیرهمسان بودن آن‌ها و همچنین روش‌های ترسیم (محیطی، غیر حذفی و حذفی) به کاررفته در آن بوده و در نتیجه انواع اشکال زمینه قابل حصول است. در این میان زمینه با هندسه غیر حذفی فراوانی بیشتری در معماری سنتی دارد. انواع اشکال نامنظم و نامتقارن از طریق هندسه حذفی قابل شکل‌گیری است که در معماری سنتی کمتر مورد توجه بوده و نمونه‌های محدودی از این زمینه‌ها مشاهده می‌شود. فواصل اتصال در کاربردی گسترش نیز با توجه به هندسه زمینه تعیین می‌شود. در زمینه‌هایی با هندسه غیر حذفی با توجه به گسترش قابل توجه سطح پوشش کاربردی و افزایش تعداد پایه‌ها و در نتیجه کمتر شدن فاصله میان پایه‌های مجاور، محدودیت فاصله اتصال نسبت به کاربردی ساده کمتر شده و در حالات بیشتری کاربردی قابل پیاده‌سازی است. در هندسه محیطی، محدودیت فواصل اتصال همانند زمینه مادر است.

پی‌نوشت

۱. پیرنیا برای تعیین اضلاع کاربردی فرمولی ارائه می‌دهد که در مباحث پیش رو شرح آن آمده است.
۲. کاربردی پرور از ترکیب یک کاربردی کامل و دونیم کار پدید می‌آید و در زمینه‌های مستطیل کشیده کاربرد دارد (بزرگمهری، ۱۳۷۱).
۳. کاربردی سوار از سوار شدن یک کاربردی بر شمسه کاربردی دیگر حاصل می‌شود (امجد محمدی و همکاران ۱۳۹۹).
۴. کاربردی دو چفدی از ادغام دو کاربردی با چفدهای متفاوت تشکیل می‌شود (امجد محمدی و همکاران ۱۳۹۹).
۵. کاربردی مجاور از الحاق یک کاربردی به کاربردی دیگر ایجاد شده و برای زمینه‌های غیرمعمول کاربرد دارد (Amjad Mohammadi et al, 2019).
۶. در کاربردی درون‌زا روی اجزای یک کاربردی، کاربردی دیگری اجرا می‌شود (امجد محمدی و همکاران ۱۳۹۹).
۷. این تناسب تقریبی بوده و به‌عنوان مثال زمینه $۴*۶$ در واقعیت دارای تناسبات $۵/۹۹۵۸ * ۴/۰۰۶۳$ است. در اجرا معماران کمی با پس‌وپیش کردن دهانه این تقسیم‌بندی را انجام می‌دادند که در اصطلاح به آن کست و افزود گفته می‌شود (بزرگمهری، ۱۳۷۱).
۸. کاربردی رسمی مرکب با گونه کاربردی مرکب ارائه‌شده در این پژوهش متفاوت است. در پژوهش‌ها آمده است کاربردی رسمی مرکب از ترکیب دو یا چند کاربردی رسمی منفرد یک‌پا ایجاد می‌شود (محمدیان منصور و فرامرزی، ۱۳۹۰). در مقاله حاضر، کاربردی رسمی مرکب زیرمجموعه کاربردی گسترش است.

منابع

- آصفی، مازیار؛ نژاد ابراهیمی، احد و امجد محمدی، امیر. (۱۳۹۷). ارائه راهکار ترسیمی نو جهت طراحی نوآورانه کاربردی، نمونه مطالعاتی: کاربردی‌های بازار تاریخی تبریز. دو فصلنامه مرمت و معماری ایران. ۸ (۱۶)، ۲۰-۱.
- آئینه چی، شهرزاد؛ ولی بیگ، نیما و تهرانی، فرهاد. (۱۳۹۸). مطالعه مقایسه‌ای نسبت‌های عناصر کاربردی چهارده در گستره شیوه‌های ترسیم. دو فصلنامه علمی نگارینه هنر اسلامی. ۶ (۱۷)، ۳۴-۴۶.
- آئینه چی، شهرزاد؛ ولی بیگ، نیما و تهرانی، فرهاد. (۱۳۹۹). تقسیمات هندسی کاربردی‌های خاص در زمینه‌های غیرمتداول (با نگاهی ویژه به تومار میرزا اکبر). نامه معماری و شهرسازی. ۱۳ (۲۹)، ۱۲۷-۱۱۳.

- آئینه چی، شهرزاد و ولی بیگ، نیما. (۱۴۰۰). تحلیل معماری و فرآیند ساخت کاربندی‌های ویژه تیمچه‌های بازار تاریخی تبریز. پژوهش‌های باستان سنجی. (۱۴)، ۷۳-۸۹.
- امجد محمدی، امیر؛ نژاد ابراهیمی، احد و شهبازی، یاسر. (۱۳۹۹). هندسه کاربندی در معماری ایران؛ پاسخ به چالش کاربندی رسمی و اختری. فصلنامه پژوهش‌های معماری اسلامی. ۸ (۲۶)، ۴-۳۱.
- بزرگمهر، زهره. (۱۳۷۱). هندسه در معماری. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- پوراحمدی، مجتبی و سهرابی، مهدی. (۱۳۹۸). طراحی کاربندی: مسأله تقسیم‌بندی زمینه از منظر ریاضی. فصلنامه پژوهش‌های معماری اسلامی. ۷ (۲۳)، ۲۲-۴۰.
- حاجی قاسمی، کامبیز. (۱۳۸۳). گنجنامه، دفتر هفتم و دفتر هجدهم، تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- ریحانی همدانی، حسن؛ محمدیان منصور، صاحب؛ افشین مهر، وحید و بمانیان، محمدرضا. (۱۳۹۷). تحلیل ریاضی کاربندی‌های ساده معماری ایران. پژوهش‌های باستان شناسی ایران. ۸ (۱۷)، ۲۰۱-۲۲۰.
- رئیس زاده، مهناز و مفید، حسین. (۱۳۹۳). احیای هنرهای از یاد رفته: مبانی معماری سنتی در ایران به روایت استاد حسین لرزاده. تهران: مولی.
- رئیس، مهدی؛ بمانیان، محمد رضا و تهرانی، فرهاد. (۱۳۹۲). بازنگری در مفهوم کاربندی بر مبنای هندسه نظری، عملی و نقش ساختمانی. دو فصلنامه مرمت و معماری ایران. ۳ (۵)، ۳۳-۵۴.
- زارعی، هانی؛ وحیدی، فاطمه و رازانی، مهدی. (۱۳۹۶). تحلیل ویژگی‌های معماری و فضایی حمام‌های قاجاری در اقلیم فارس. نشریه معماری اقلیم گرم و خشک. ۵ (۵)، ۱-۱۹.
- زمرشیدی، حسین. (۱۳۸۸). مسجد در معماری ایران. تهران: زمان.
- ستاری ساربانقلی، حسن و جدایی، امیر. (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل کاربندی‌های به کار رفته در تیمچه‌های بازار تبریز. فصلنامه مطالعات شهر ایرانی اسلامی. (۵)، ۲۹-۴۶.
- شعرباف، اصغر. (۱۳۸۵). گره و کاربندی. تهران: سبحان نور.
- محمدیان منصور، صاحب و فرامرزی، سینا. (۱۳۹۰). گونه‌شناسی و تدوین ساختار هندسی کاربندی در معماری ایران. نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی. (۴۸)، ۹۷-۱۰۹.
- معماریان، غلامحسین. (۱۳۹۱). معماری ایرانی: نیارش. تهران: گلجام.
- نجیب اغلو، گل رو. (۱۹۹۵). هندسه و تزئین در معماری اسلامی (طومار تویقایی). ترجمه: مهرداد قیومی بید هندی (۱۳۹۸). تهران: روزنه.
- نژاد ابراهیمی، احد؛ شهبازی، یاسر و امجد محمدی، امیر. (۱۳۹۶). گونه‌شناسی ساختاری کاربندی و رسمی‌بندی در معماری ایران بر مبنای ساختمان و کاربست. نشریه فیروزه اسلام- پژوهش معماری و شهرسازی اسلامی. (۴)، ۲۵-۴۱.
- 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): 22-39.