

ابزارهای اجرا و کنترل در فناوری ساخت کاربردی‌های قالب شاغولی در معماری سنتی تبریز

شهرزاد آئینه‌چی^۱ 

۱. دانش‌آموخته دکتری رشته مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.

کلیدواژگان:

فناوری ساخت

ابزارهای کنترل

ابزارهای اجرا

کاربندی قالب شاغولی

آجرچینی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۳۱

© ۲۰۲۶/۱۴۰۵ نویسنده(گان). این

مقاله یک اثر دسترسی آزاد است که تحت

مجوز CC BY 4.0 منتشر شده است.

استناد و انتشار مجدد این اثر با ذکر منبع

درست مجاز است.

چکیده: ارزیابی یک بنا نیازمند برخوردی جامع با تمامیت آن است؛ بدین معنا که سیر تحول بنا باید به‌طور کامل بازشناسی شود. در این فرایند، شناخت مصالح، ملاحظات، جزئیات، سلسله‌مراتب اجرایی، نحوه و ابزار اجرا، قرارگیری عناصر و ترکیب آن‌ها با یکدیگر و نیز ارتباط میان سازه، تزیینات، جزرها و دیگر عناصر تشکیل‌دهنده بنا اهمیت اساسی دارد. در اجرای کاربردی، پس از ساخت پایه‌های باربر و تعیین نقشه زمینه، تویزه‌های اصلی و باربر اجرا شده و سپس لنگه‌ها بر روی آن‌ها سوار می‌شوند. از آغاز پیاده‌سازی نقشه‌ها تا مرحله ساخت عرقچین، نیاز به بازبینی و کنترل دقیق تمامی مراحل اجرا همواره احساس می‌شود. آگاهی از نحوه ساخت چیدمان اجزای کاربردی و شیوه‌های کنترل حین اجرا می‌تواند به شناسایی راهکارهایی مؤثر برای نگهداری و مرمت این سازه‌های سنتی منجر شود. هدف این مقاله، شفاف‌سازی نحوه اجرا و کنترل اجرای کاربردی‌های قالب شاغولی بر اساس آموزه‌های استادکاران سنتی و با تحلیل نمونه‌های واقعی است. بدین منظور، ابتدا اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهده و برداشت مستقیم میدانی و مصاحبه با استادکاران و مرمتگران گردآوری شد؛ سپس نظام هندسی نمونه‌ها با بهره‌گیری از مدل‌سازی سه‌بعدی بازسازی گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که اجرای کاربردی توسط معماران سنتی، هرچند در کلیات مشابه است، اما در جزئیات تفاوت‌هایی دارد. این تفاوت‌ها در چیدمان آجر لنگه‌ها و تویزه‌ها، نوع پرکننده‌ها و عرقچین، نحوه اجرای قالب و شکل زمینه قابل مشاهده است. هر استادکار بر اساس تجربه، امکانات پروژه، نوع آجر، نوع پوشش و شرایط کارگاهی، شیوه خاصی در اجرای ریزه‌کاری‌ها دارد. این تفاوت‌هاست که باعث می‌شود دو کاربردی با ساختار مشابه، در ظاهر و جزئیات اجرا تفاوت داشته باشند. همچنین کنترل تراز افقی و عمودی قالب‌ها و اجزای کاربردی توسط ابزارهای سنجش، نقش بسیار مؤثری در افزایش دقت و صحت اجرا دارد.

<https://doi.org/10.22034/hsaj.2025.558697.1023>

۱. مقدمه

دانش هندسه و توانایی به‌کارگیری روابط هندسی در عمل، همواره از ارکان اصلی معماری سنتی ایران به شمار می‌رفته است. معماران گذشته با درک عمیق از هندسه نظری و تطبیق آن با ابزارهای موجود، به ساخت پوشش‌های پیچیده و گوناگون می‌پرداختند. در دوران معاصر، استفاده از ابزارهای بسیار دقیق که خود بر پایه دانش ریاضیات و هندسه ساخته شده‌اند، امکان اجرای صحیح‌تر کاربردی‌ها را فراهم آورده است. با این حال، دقت نهایی و تحقق بی‌عیب و نقص این پوشش‌ها، همچنان به‌شدت منوط به کنترل مستمر و نظام‌مند در مراحل مختلف ساخت است؛ به‌گونه‌ای که عدم کنترل شاغولی بودن قالب‌ها در حین ساخت، موجب بروز خطا در انتقال هندسه کاربردی و نقاط تقاطع لنگه‌ها بر روی قالب‌ها می‌گردد. همچنین، بی‌توجهی به تراز بودن افقی رج‌های آجر و تیزه‌های کاربردی در حین اجرا، از اهمیت بسزایی برخوردار است؛ چراکه در غیر این صورت، رج‌های آجری در نقاطی خارج از تیزه به یکدیگر می‌رسند و در نتیجه، هندسه مطلوب کاربردی بدرستی اجرا نخواهد شد (بزرگمهری، ۱۳۷۱؛ رفیعی و همکاران، ۱۳۸۲). از سوی دیگر، تقسیم‌بندی نادرست روی منحنی قالب برای چین آجر، ممکن است فضای کافی برای اجرای کلید قوس باقی نگذارد که این خود بیانگر ضرورت واکاوی دقیق مراحل اجرا و روش‌های کنترل آنهاست.

پژوهش حاضر از نظر هدف، در زمره پژوهش‌های کاربردی و از نظر ماهیت، کیفی محسوب می‌شود. فرایند تحقیق بر دو رویکرد اصلی استوار است: نخست، مطالعه و تحلیل محتوای مطالب و اشارات مندرج در منابع مکتوب، و دوم، مشاهدات میدانی و بررسی عینی آثار در کارگاه‌های اجرایی. به‌منظور دستیابی به دقت بالا در تحلیل هندسی، نمونه‌هایی از کاربردی‌های در حال ساخت در بازار تاریخی تبریز انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بازسازی و مدل‌سازی دقیق پلان‌های دو بعدی در نرم‌افزار اتوکد، مستلزم احیای صحیح جزئیات اجرایی کاربردی بود. از این‌رو، به‌منظور تکمیل و تصحیح برداشت‌های ترسیمی، مصاحبه‌هایی با استادکاران سنتی متخصص در اجرای کاربردی انجام شد تا اطلاعات دقیقی پیرامون نحوه اجرای اجزا، شیوه چینش آجرها، نوع و مراحل به‌کارگیری قالب‌ها، و روش استفاده از ابزارهای کنترل گردآوری شود. این داده‌ها مبنای اصلاح و تکمیل مدل‌سازی‌های نرم‌افزاری قرار گرفت و به افزایش چشم‌گیر دقت تحلیل هندسی نمونه‌ها انجامید.

هدف اصلی این مقاله، بررسی نحوه استفاده از ابزارهای کنترل و اجرا به‌منظور افزایش دقت و صحت در ساخت کاربردی‌ها است. در این راستا، پرسش‌های پژوهش به‌صورت زیر مطرح می‌شوند:

۱- اجرای کاربردی‌های قالب شاغولی شامل چه مراحل است؟

۲- نحوه کنترل مراحل اجرای کاربردی‌های قالب شاغولی در معماری سنتی چگونه بوده است؟

لازم به ذکر است که پوشش‌های کاربردی را می‌توان به دو گروه عمده دسته‌بندی کرد: «کاربردی قالب شاغولی» و «کاربردی قالب سرسفت». در کاربردی قالب شاغولی، قالب در فضا به‌صورت عمود بر صفحه زمین قرار می‌گیرد و به دلیل ماهیت باربر خود، بیشتر در پوشش‌های اصلی نظیر چهارسوق‌ها و بازارها به کار می‌رود (بزرگمهری، ۱۳۷۱: ۱۰). در مقابل، کاربردی قالب سرسفت، که در آن دو نیمه هر تویزه در یک راستا نیستند و تویزه‌ها بلندتر و کشیده‌تر از نوع شاغولی هستند، فاقد عملکرد باربری بوده و عمدتاً برای ایجاد آسمانه پوش (سقف کاذب) و پوشش‌های تزئینی (رسمی‌بندی) کاربرد دارد (رفیعی سرشکی و همکاران، ۱۳۸۲: ۳۳۳). با توجه به اینکه محور اصلی بحث در این مقاله بر کنترل شاقول و تراز استوار است، تمرکز پژوهش منحصر بر کاربردی‌های قالب شاغولی معطوف شده است؛ چراکه دقت در کنترل‌های مذکور (شاقول، تراز، ریسمان و اندازه‌گیری دقیق) صرفاً در این نوع کاربردی قابل‌اتکا و معنادار است و بحث از کاربردی سرسفت، خارج از حیطه موضوعی این نوشتار می‌باشد.

۲. پیشینه تحقیق

کاربردی از ابعاد مختلفی چون هندسی، سازه‌ای و فضاسازی قابل مطالعه است که مورد توجه پژوهشگران و استادکاران مختلف شده است. بیشتر پژوهشگرانی که به مباحث مرتبط با کاربردی پرداخته‌اند تنها به روش ترسیم سنتی آن‌ها بسنده کرده‌اند (بزرگمهری، ۱۳۸۵؛ رئیس زاده و مفید، ۱۳۷۴). بعضی از نویسندگان هم روش‌های ترسیم جدیدی بر پایه فرمول‌های ریاضی ارائه داده‌اند: (فرشچی و دیگران، ۱۳۹۵؛ ریحانی همدانی و دیگران، ۱۳۹۷؛ Pour Ahmadi, 2014؛ Garofalo, 2016؛ Mohammadi et al., 2018؛ Ainechi et al., 2020). در این میان پژوهشگرانی به ارائه مطالبی در خصوص نام‌گذاری و دسته‌بندی انواع کاربردی‌ها بر پایه شکل پلان، سازه‌ای یا آمود بودن آن‌ها پرداخته‌اند (رئیس‌ی و همکاران، ۱۳۹۲). در منابع محدودی به فناوری ساخت کاربردی اشاره‌ای شده است (معماریان، ۱۳۹۴). این مقاله برای نخستین بار به استفاده از استادکاران سنتی به‌عنوان مراجع شفاهی معماری سنتی و تأکید بر جزئیات اجرایی کاربردی در دو شهر مختلف اشاره دارد (Ainechi & Valibeig, 2020). از پژوهشگران ایرانی تعدادی در زمینه نحوه چینش آجرها در تویزه‌های تاقی‌های گوناگون پژوهش‌هایی انجام داده‌اند (Ainechi & Valibeig, 2020). در پژوهشی، فناوری ساخت کاربردی‌های ویژه پوشش‌های بازار تاریخی تبریز انجام و مفاهیم نهفته در آن بازخوانی شده است (آئینه‌چی و ولی بیگ، ۱۴۰۰). در مقاله حاضر برای نخستین بار با بررسی‌های میدانی و بهره‌گیری از نظرات استادکاران متبحر محلی، جزئیات اجرایی و نحوه کنترل مراحل اجرای کاربردی‌های قالب شاغولی ارائه گردیده است. با وجود پژوهش‌های متعدد درباره جنبه‌های زیبایی‌شناسی و هندسه کاربردی در معماری سنتی، مطالعه‌ای نظام‌مند درباره ابزارهای کنترل و مراحل دقیق اجرای کاربردی وجود ندارد. منابع موجود عمدتاً به جنبه‌های طراحی هندسی یا تحلیل کلی اشکال پرداخته‌اند و اطلاعات جزئی و کاربردی درباره روش‌های کنترل شاقولی، تراز بودن رج‌ها، تقسیم‌بندی قالب‌ها و اصلاحات استادکاران در حین اجرا ناقص یا پراکنده است. این کمبود باعث شده دانش موجود درباره دقت و صحت اجرای کاربردی محدود باشد و تجربه استادکاران سنتی به‌طور کامل ثبت و تحلیل نشود. پژوهش حاضر با مطالعه میدانی، مصاحبه با استادکاران، برداشت دقیق جزئیات اجرایی و مدل‌سازی نرم‌افزاری پلان‌ها و جزئیات کاربردی درصدد پر کردن این خلأ است و می‌تواند دانش کاربردی درباره کنترل دقیق هندسه و شیوه‌های اجرای صحیح کاربردی را به دانش موجود اضافه کند.

۳. مبانی نظری پژوهش

تعریف کاربردی: گونه‌ای ساختار پوشاننده زمینه‌های گوناگون معماری است که دارای چهار بخش اصلی است:

(۱) تویزه‌ها (۲) لنگه‌ها (۳) پرکننده‌ها (۴) عرقچین‌ها

سازه‌هایی را کاربردی گویند که پاکار لنگه‌های آن‌ها پایین‌تر از تیزه تویزه آن‌ها آغاز شود.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربردی الزاماً بایستی به‌گونه‌ای باشد که لنگه‌های کاربردی بار خود، پرکننده‌ها و عرقچین را تحمل کنند.

- (۱) تعریف تویزه: تیر خمیده که وظیفه انتقال کل بارهای پوشش را به ستون‌ها دارند.
- (۲) تعریف لنگه: قطعاتی که یک یا دو پای آن‌ها بر روی پاکار تویزه، بر روی تویزه یا سایر لنگه‌های کاربردی قرار می‌گیرند. لنگه‌ها بیشتر نقش هدایت‌کننده و پخش‌کننده بار اصلی از تویزه‌ها به ستون‌ها و سایر عناصر را دارند (آینه‌چی، ۱۳۹۹: ۵۷).
- (۳) پرکننده‌ها: پس از اجرای تویزه‌ها و لنگه‌های کاربردی در فواصلی که از محل تقاطع لنگه‌ها و تویزه‌ها پدید می‌آید از پایین‌ترین تراز تا مکانی که عرقچین آغاز می‌شود اشکال گوناگونی به وجود می‌آیند. این اشکال همواره با آجر (در موارد نادر با خشت) به شیوه‌های گوناگون پر می‌شوند. در برخی موارد بر روی این بخش اندود قرار می‌گیرد (آینه‌چی و خالقی‌پناه، ۱۴۰۴: ۵).
- (۴) عرقچین: از بالاترین محل برخورد لنگه‌ها تا رأس تیزه‌تاق با فرمی نیم‌کره مانند یا ۴/۱ کره مانند پر می‌شود. این بخش را عرقچین می‌نامند (آینه‌چی، ۱۳۹۹).

۴. مراحل اجرای کاربردی‌های قالب شاغولی در معماری سنتی ایران

مراحل اجرایی کاربردی‌های قالب شاغولی سنتی در معماری ایران، باوجود تفاوت‌های جزئی در مناطق مختلف، در یک ساختار کلی مشترک قرار می‌گیرند و بر مبنای اصول هندسه عملی و تجربه استادکاران شکل می‌گیرند. در نخستین گام، طرح و هندسه پایه کاربردی تعیین می‌شود؛ به‌این‌ترتیب که فرم کلی، نسبت‌ها، خطوط منحنی و نقاط کنترلی بر اساس قواعد هندسی مشخص و تثبیت می‌گردد. در مرحله بعد، قالب‌های چوبی مطابق با این هندسه تهیه‌شده و در محل اجرا نصب می‌شوند. قالب‌ها بایستی از نظر شاقول، تراز و انطباق با الگوی هندسی به‌دقت تنظیم شوند تا امکان انتقال صحیح طرح به لایه‌های اجرایی فراهم شود.

پس از نصب قالب، تقسیم‌بندی خطوط، محورهای تیزه‌ها، نقاط تقاطع لنگه‌ها و سایر اجزای هندسی بر روی قالب انجام می‌گیرد. این تقسیم‌بندی‌ها نقش الگوی اصلی در سامان‌دهی رج‌های آجری را ایفا می‌کنند. اجرای رج‌های آغازین و تثبیت تیزه‌های اصلی از مراحل تعیین‌کننده در روند کار است، زیرا این بخش‌ها مسیر و نظم هندسی لایه‌های بعدی را مشخص می‌کنند و هرگونه خطا در این مرحله می‌تواند در ادامه موجب انحراف در شکل نهایی کاربردی شود. به دنبال آن، آجرچینی بر اساس خطوط قالب و نظم هندسی تعیین‌شده ادامه می‌یابد و آجرها در امتداد منحنی‌ها و لنگه‌ها با رعایت مدول و فواصل مناسب چیده می‌شوند.

در گام پایانی، بخش کلید یا گره نهایی اجرا می‌شود که نقش انسجام‌دهنده و تثبیت‌کننده ساختار کاربردی را بر عهده دارد. نهایتاً کل کاربردی از نظر شاغول بودن، تراز رج‌ها، پیوستگی تیزه‌ها و انطباق با طرح اولیه توسط استادکار کنترل شده و اصلاحات لازم در صورت نیاز انجام می‌گیرد. این فرایند مرحله‌به‌مرحله، چارچوب کلی اجرای کاربردی‌ها را در معماری سنتی ایران تشکیل می‌دهد و مبنای انجام نمونه‌های مختلف کاربردی در مناطق گوناگون کشور بوده است (محمدی، ۱۳۹۲: ۱۱۳).

۵. فرایند گام‌به‌گام طراحی و اجرای کاربردی‌های قالب شاغولی

مرحله اول: برای ساخت کاربردی می‌بایست بر اساس زمینه موردنظر و محل قرارگیری جرزها که لنگه‌ها بر روی آن می‌نشینند، هندسه کاربردی طراحی شود (شکل ۱) (تهرانی، ۱۳۹۱: ۹۰).

مرحله دوم: جرزهای اصلی مطابق نقشه زمینه تا بلندای پاکار تویزه‌ها اجرا می‌شود. اندازه این جرزها بستگی به‌اندازه تاق کاربردی دارد. هر قدر دهانه اصلی بزرگ‌تر باشد ستبرای جرزها بیشتر می‌شود (شکل ۲). تعیین ضخامت جرزها در معماری سنتی ایران بر پایه ترکیبی از ابعاد فضا، نوع پوشش، مصالح و تجربه استادکاران انجام می‌گرفت. مهم‌ترین عوامل مؤثر عبارت‌اند از:

- **الف. نسبت ضخامت جرز به دهانه:** در بناهای آجری و خشتی، ضخامت جرز معمولاً بین یک‌هشتم تا یک‌پنجم دهانه پوشش در نظر گرفته می‌شد. به‌عنوان مثال، برای دهانه‌ای به عرض ۴ متر، جرز با ضخامت حدود ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر متداول بوده است.
- **ب. ارتفاع فضا و نوع پوشش سقف:** در پوشش‌های سنگین مانند گنبد و تویزه‌های ضریبی، ضخامت جرز بیشتر در نظر گرفته می‌شود تا پایداری در برابر رانش افقی تأمین شود.

در مقابل، در پوشش‌های سبک‌تر یا فضاهای فرعی، ضخامت کمتر کافی است.

- **ج. جنس مصالح:** دیوارهای خشتی ضخیم‌تر از دیوارهای آجری اجرا می‌شوند، زیرا مقاومت فشاری خشت کمتر است.

- **د. موقعیت سازه‌ای و باربری:** جرزهایی که در محورهای باربر اصلی قرار دارند (زیر گنبد یا تویزه) ضخامت بیشتری دارند، درحالی‌که جرزهای پیرامونی ممکن است نازک‌تر باشند.

- **هـ. سنت اجرایی منطقه‌ای:** در مناطق مختلف ایران (مثلاً یزد، کاشان یا اصفهان)، نسبت‌ها و ضخامت‌های تجربی خاصی بر اساس اقلیم و نوع مصالح محلی شکل گرفته است (امین‌زاده، ۱۳۸۵).

مرحله سوم: قالب‌ها بر روی جرزهای اصلی قرار داده می‌شوند (شکل ۳).

مرحله چهارم: اجرا به طور همزمان از چهار طرف صورت می گیرد. بعد از قالب گذاری، ساختن تویزه های باربر اصلی شروع می شود (شکل ۴).

ابعاد، ضخامت و فرم تویزه ها (اعم از ضربی یا رومی) معمولاً بر اساس چند عامل اصلی تعیین می شوند:

• **دهانه پوشش:** هرچه دهانه بزرگ تر باشد، تویزه باید با ارتفاع و ضخامت بیشتری طراحی شود تا توان انتقال نیروها را به دیوارها یا پایه ها داشته باشد.

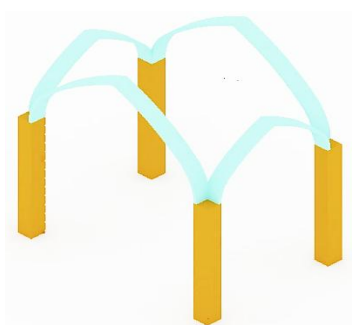
• **جنس و نوع مصالح:** در سازه های گچی یا آجری، نسبت ضخامت به دهانه متفاوت است؛ در تویزه های آجری، ضخامت معمولاً بین یک چهارم تا یک پنجم دهانه انتخاب می شود.

• **کارکرد فضا و نوع پوشش نهایی (کاربندی، رسمی بندی و غیره):** نوع تزیین و بارهای وارد بر تویزه در انتخاب فرم (ضربی یا رومی) مؤثر است.

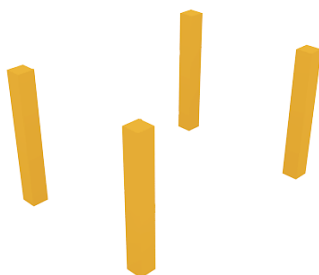
• **شیوه اجرایی استادکار و سنت بومی منطقه:** در برخی مناطق، الگوی تویزه ضربی بیشتر به کار می رود، درحالی که در مناطق دیگر تویزه رومی به دلیل شکل پذیری و سازگاری با پوشش های خاص ترجیح داده می شود (غفوری، ۱۳۸۸).

مرحله پنجم: بعد از اینکه تویزه های اصلی اجرا شد بقیه لنگه ها به آن ها متصل می شوند (شکل ۹). ضخامت و پهنای لنگه ها معمولاً متناسب با ضخامت تویزه ها و دهانه پوشش تعیین می شود. به طور معمول، ضخامت لنگه ها تقریباً برابر با نصف یا دو سوم ضخامت تویزه های اصلی تا بتوانند به خوبی روی تویزه قرار گرفته و بار را منتقل کنند. پهنای لنگه ها بسته به نوع پوشش و فاصله بین تویزه ها متفاوت است، اما در بسیاری از نمونه ها بین ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر متغیر بوده است. با اضافه کردن ردیف های آجری بیشتر در کناره های این لنگه ها آن ها تقویت می شوند. در ادامه بعد از استقرار یک یا دو لنگه اولیه موازی، لنگه های عمود یا مورب ساخته می شوند (پیرنیا، ۱۳۷۰) (شکل ۵).

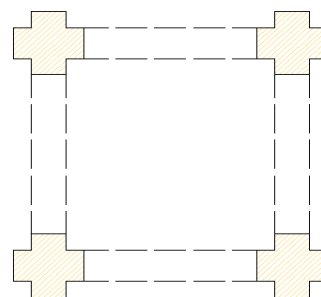
مرحله ششم: در نهایت داخل آلت های کاربردی با انواع روش های ساده و تزیینی آجرچینی پر می شود (آئینه چی، ۱۳۹۹: ۱۱۳) (شکل ۶).



شکل ۳: مرحله سوم



شکل ۲: مرحله دوم



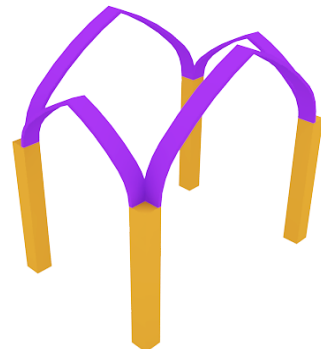
شکل ۱: مرحله اول



شکل ۶: مرحله ششم



شکل ۵: مرحله پنجم



شکل ۴: مرحله چهارم

۶. نحوه آجرچینی لنگه‌ها و تویزه‌ها

تویزه اصلی برابر معمولاً به روش رومی (هره)، ضربی یا ترکیبی از آن دو حالت اجرا می‌گردد که شیوه ترکیبی خود به دودسته ترکیبی آشکار و دز تقسیم می‌شود. در کاربردی‌ها تویزه اصلی فقط به شیوه ضربی و ترکیبی دز اجرا می‌شود. روش معمول اجرای لنگه‌های کاربردی در ایران، با آجرچینی ضربی است. پشت رج اول رج‌های دیگر به‌منظور تقویت از آجرهای مربع‌شکل با چیدمان ضربی که به‌صورت موازی در کنار یکدیگر کارشده‌اند، پر می‌شود (محمدی، ۱۳۹۲: ۷۲) (شکل ۷، شکل ۸ و شکل ۹). ضخامت و ابعاد تویزه‌ها به چند عامل اصلی وابسته است:

۱. دهانه و ارتفاع طاق: هرچه دهانه کاربردی بزرگ‌تر باشد، تویزه‌ها باید بار برتر باشند؛ در نتیجه ضخامت آن‌ها بیشتر در نظر گرفته می‌شود.

• در دهانه‌های کوچک (۲ تا ۳ متر) ضخامت تویزه معمولاً حدود یک آجر تا یک و نیم آجر است.

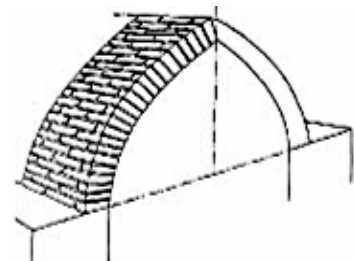
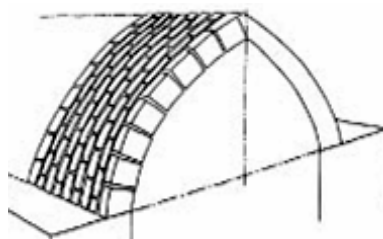
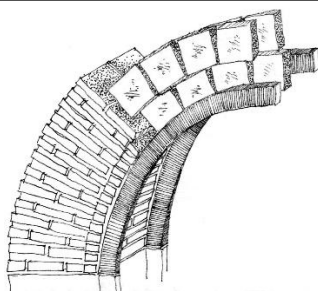
• در دهانه‌های متوسط (۳ تا ۵ متر) ضخامت به حدود دو آجر افزایش می‌یابد.

• در دهانه‌های بزرگ‌تر (بیش از ۵ متر) ممکن است سه آجر یا بیشتر باشد، بسته به نوع ملات و مصالح.

۲. جنس مصالح و نوع ملات: در صورت استفاده از ملات ضعیف‌تر، ضخامت تویزه باید بیشتر انتخاب شود (امجد محمدی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۴).

۳. فشار و تمرکز بارها: تویزه‌ها معمولاً در محل تمرکز بارهای افقی و قائم قرار دارند. برای جلوگیری از رانش، ضخامت در پایه‌ها گاه بیشتر گرفته می‌شود و به‌تدریج به سمت تاج کاهش می‌یابد.

شکل و اندازه تویزه‌ها و چگونگی چینش آجرها در فرایند ساخت آن‌ها به شکل مستقیم تأثیر می‌گذارد. تویزه‌های پایه کاربردی بر مبنای نحوه آجرچینی آن‌ها به سه دسته (روش رومی، ضربی و ترکیبی) تقسیم می‌شوند. آجرها به دلیل نوع شکل هندسی و تنوع اندازه‌ها می‌توانند انواع ترکیب‌ها را ایجاد کنند. عوامل مختلفی در طرز چینش آجرهای تویزه‌ها تأثیرگذار هستند همچون مصالح، قالب‌بندی، ابعاد و اندازه دهانه و سایر عوامل (قبادیان، ۱۳۹۰). ضخامت و اندازه تویزه‌ها برابر نیست. تویزه‌های واقع بر ضلع طولی بار اصلی را دریافت می‌کنند و قطورتر هستند و تویزه‌های واقع بر ضلع عرضی بار کمتری را تحمل می‌نمایند و پهنای کمتری دارند (معماریان، ۱۳۹۴: ۲۲۶). ساختار قرارگیری تویزه‌ها در ساختمان‌ها به اشکال گوناگونی است. این ساختارها وقتی بزرگ‌تر و کوچک‌تر می‌شوند شکل‌های متنوع با ابعاد متفاوتی ایجاد می‌کنند که نیازمند چینش‌های گوناگون هستند (آینه‌چی، ۱۳۹۹).



شکل ۹: شیوه اجرای تویزه به طریق آمیزه‌ای (مسجد نبی شهر جدید سهند سال ۱۳۸۵) (منبع: اکبر نمکی)

شکل ۸: شیوه اجرای تویزه به طریق ضربی (یکی از ورودی‌های بازار تبریز سال ۱۳۹۷)

شکل ۷: شیوه اجرای تویزه به طریق رومی (مسجد نبی شهر جدید سهند سال ۱۳۸۵) (منبع: اکبر نمکی)

۷. نحوه آجرچینی پرکننده‌ها

پس از اجرای تویزه‌ها و لنگه‌های کاربردی در فواصلی که از محل تقاطع لنگه‌ها و تویزه‌ها پدید می‌آید از پایین‌ترین تراز تا مکانی که عرقچین آغاز می‌شود اشکال گوناگونی به وجود می‌آیند. این اشکال همواره با آجر (در موارد نادر با خشت) به شیوه‌های گوناگون پر می‌شوند. در برخی موارد بر روی این بخش اندود قرار می‌گیرد. روش‌ها و فنون آجرکاری در نما بسیار متنوع است. آجرها به دلیل نوع شکل هندسی و تنوع اندازه‌ها می‌توانند

هزاران ترکیب را ایجاد کنند. در نهایت داخل آلت‌های کاربردی با انواع روش‌های ساده و تزئینی آجرچینی از جمله فارسی بر، خفته راسته و پاتوپا پر می‌شود (زم‌شیدی، ۱۳۸۹: ۱۴۰) (شکل ۱۰، شکل ۱۱ و شکل ۱۲).



شکل ۱۲: آجر چینی فارسی بر (بازار اصفهان)
(منبع: آرشیو میراث فرهنگی اصفهان)



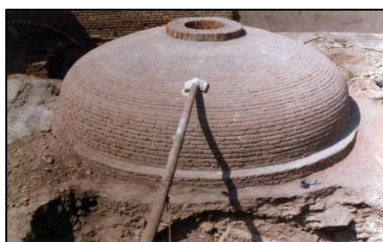
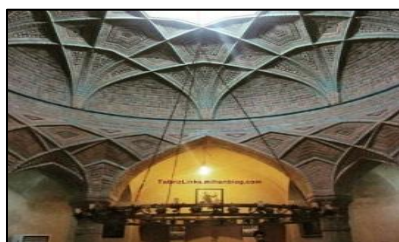
شکل ۱۱: نقوش آجری خفته راسته در عناصر کاربردی
(بازار اصفهان) (منبع: آرشیو میراث فرهنگی اصفهان)



شکل ۱۰: آجر چینی پاتوپا (خانه بخردی اصفهان)
(منبع: آرشیو میراث فرهنگی اصفهان)

۸. نحوه اجرای عرقچین‌ها

- ❖ اجرای عرقچین در تاق که به شیوه ترک به ترک اجرا شده: لنگه‌های گچی که نقش راهنمای منحنی تاق را دارند، در قطرهای تاق قرار می‌گیرند (معماریان، ۱۳۹۴: ۱۶۶). این لنگه‌ها طوری در محل جای می‌گیرند که بتوان پس از اجرا آن‌ها را برداشت. ترک‌ها پوسته‌های آجری هستند که لنگه‌ها را پر می‌کنند (معماریان، ۱۳۹۴: ۴۷۴).
- ❖ اجرای عرقچین به شیوه گردچین: پس از تبدیل چهارضلعی یا هشت‌ضلعی به قاعده دایره تاق، عرقچین آن مانند یک گنبد گردچین می‌شود. در روش گردچین آجرها به یک مرکز متمایل می‌گردند (معماریان، ۱۳۹۴: ۱۹۸).
- ❖ اجرای عرقچین با لنگه‌های شبیه به کاربردی: در برخی موارد، لنگه‌هایی که در بخش پوسته (عرقچین) سقف به کار می‌روند، ظاهری شبیه به لنگه‌های کاربردی دارند. با این حال، این عناصر جزو کاربردی محسوب نمی‌شوند و در تعریف اصلی کاربردی جای نمی‌گیرند، زیرا باربری و ویژگی‌های سازه‌ای لنگه‌های کاربردی واقعی را ندارند.



شکل ۱۵: اجرای عرقچین با لنگه‌های شبیه به کاربردی
(حمام نویر تبریز)



شکل ۱۴: اجرای شیوه آجرچینی گردچین در عرقچین
(مسجد نبی سهند تبریز)



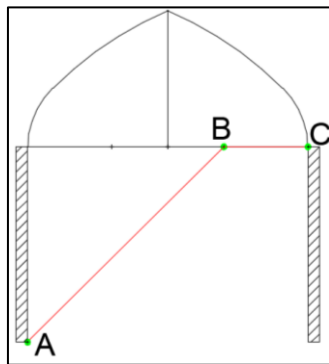
شکل ۱۳: اجرای شیوه آجرچینی ترک به ترک در عرقچین (پل بازار تبریز) (منبع: فرهاد تهرانی)

۹. روش‌های کنترل در اجرای کاربردی‌ها

در ساخت تویزه‌ها و لنگه‌ها از دو گونه ابزار بهره می‌گیرند: ۱- ابزار اجرا ۲- ابزار کنترل (شاغول، شمشه، ریسمان، تراز، ابزار اجرا (متر، شمشه^۱، قالب، میخ و ریسمان و غیره) برای ساخت لنگه‌ها و تویزه‌ها استفاده می‌شود. ابزار کنترل (شاغول، شمشه، ریسمان، تراز، گونیا^۲، نه‌نین^۳ و غیره) برای کنترل هندسه نظری و انتقال آن به هندسه عملی به ویژه هم خوان بودن آن از لحاظ شاغولی و هم باد کردن به کار می‌رود. گاهی اوقات نیز تنها ابزار کنترل در حین اجرا چشم سازنده آن است.

۹-۱. ابزارهای اجرا

-میخ و ریسمان: استفاده از طناب یا ریسمان به جای پرگار، کهن‌ترین روش است که در مصر باستان برای پیاده کردن تناسبات و ترسیم‌های معماری به کار می‌رفته است (سعید و پارمان، ۱۳۷۷: ۱۲۹). هندسه چغد مورد نظر کاربردی را نیز توسط میخ و ریسمان و شمشه بر روی قالب پیاده کرده و برش می‌دهند. از استقرار میخ در نقاط A و B و مداد در نقطه C و گرداندن ریسمان حول این نقاط قوس کامل کاربردی ترسیم می‌شود (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: نحوه پیاده سازی شکل قوس روی قالب (عکاس: آئینه‌چی، ۱۳۹۰)



شکل ۱۷: استفاده از قالب چوبی در ساخت لنگه (عکاس: آئینه‌چی، ۱۳۹۰)

-قالب: قالب‌های سنتی با چوب یا گچ ساخته می‌شد. امروزه بسیاری از قالب‌ها به علل مختلفی چون عدم شکستن یا تغییر شکل، با قوطی‌های فلزی نمره ۳ یا ۴، نئوپان، نبشی و غیره ساخته می‌شوند. هم در تویزه هم در لنگه شابلون‌ها توسط مهارهایی به اطراف متصل می‌شوند تا از حرکت قالب‌ها در حین چیدن آجر جلوگیری شود (شکل ۱۷).

-نحوه ساخت قالب گچی: قالب موقتی گچی از گچ و نی ساخته می‌شود. گچ ساختمایه شکل‌دهنده و نی استخوان‌بندی آن است. در ابتدا نصف نیمرخ چغد موردنظر را روی زمین ترسیم می‌کنند. موازی نیمرخ اول و بافاصله ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر، نیمرخ دیگر ترسیم می‌نمایند. روی خطوط ترسیمی، آجر چیده می‌شود؛ به‌نحوی که فاصله بین دو منحنی خالی بماند. جهت جلوگیری از چسبیدن قالب گچی به زمین از جداکننده‌ها همچون ماسه و نایلون استفاده می‌شود. سپس نی‌ها را در داخل قالب قرار می‌دهند و دوغاب گچ را روی آن می‌ریزند. پس از خشک شدن نیمی از قالب به‌دست‌آمده است؛ نیمه دیگر را نیز در همین قالب اجرا می‌کنند. برای اینکه دونیمه یک چغد، کامل و یکدست به دست آید از یک نیم قالب استفاده می‌کردند. پس از کامل شدن یک‌نیمه لنگه گچی، دقیقاً با شکل اول و در همان قالب نیمه دوم را می‌ساختند (شکل ۱۸ و شکل ۱۹).

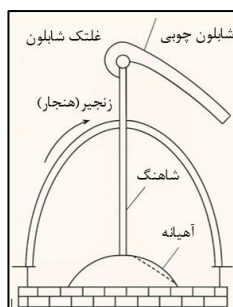
شابلون چوبی در اجرای عرقچین: در این روش پس از اجرای شاهنگ (میله چوبی) بر روی تیزه آهیانه، در بخش پایه خود، در قسمت پایین و یا در قسمت بالای آن غلتکی برای چرخیدن شابلون چوبی درست می کنند، پایه شابلون را روی غلطک و تیزه را بر روی شاهنگ اجرا می کنند، با چرخش شابلون گنبد با چغد موردنظر اجرا می شود. در واقع قالب گردون پیشاپیش مسیر درست را نشان می دهد. شاهنگ میله چوبی است و در مرکز گنبدخانه علم می کنند. شاهنگ را از چند طرف محکم می بندند تا تکان نخورد سپس روی دونقطه ای که باید دو کانون بیضی باشد، روی شاهنگ دو عدد گل میخ می زنند و به آن دو زنجیر بسیار ظریف وصل می کنند که با آن بتوان بیضی دلخواه را رسم کرد. این زنجیر همان هنجار است. سازنده گنبد از پشت گنبد مشغول چیدن می شد و منحنی گنبد را که از داخل می بایست صاف و دقیق می بود با زنجیر کنترل می کرد (شکل ۲۰).



شکل ۱۹: نحوه ساخت قالب گچی



شکل ۱۸: قالب های بسته شده برای محراب برای تویزه توسط محمد پاکنژاد



شکل ۲۰-ب: کروکی شکل ۲۰-الف



شکل ۲۰-الف: استفاده از شابلون چوبی جهت اجرای عرقچین (حمام نوبر تبریز)

۹-۲. ابزارهای کنترل

– شیلنگ تراز: برای پیدا کردن دونقطه هم تراز در ساختمان سازی به خصوص برای فاصله های زیاد استفاده می شود. مثلاً برای کنترل هم تراز بودن چرخها برای استقرار تویزه های کاربردی از شیلنگ تراز استفاده می شود (شکل ۲۱ و شکل ۲۲).

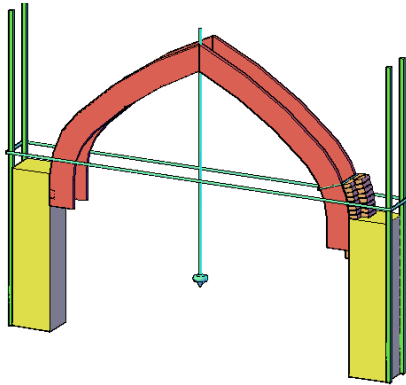


شکل ۲۱: استفاده از شیلنگ تراز برای کنترل تراز بودن افقی (عکاس: آئینه چی، ۱۳۹۶)



شکل ۲۲: کنترل شاغول بودن قالب با استفاده از تراز (عکاس: آئینه چی، ۱۳۹۶)

–کنترل تراز بودن افقی و عمودی قالب با شاغول سازی و ریسمان یا استفاده از تراز: در هنگام ساختن قالب برای توپزه‌های باربر جهت کسب اطمینان از تراز بودن قوس و قالب از شاغول و ریسمان استفاده می‌شود. دو شمشه ریسمان کشی شده، شاغول از راس قالب آویزان می‌شود. امتداد ریسمان شاغول با بادخور^۴ یک میلی‌متر از ریسمان کشی بین دو ستون سبب شاغول کردن قالب می‌شود. قالب‌ها توسط مهارهایی به اطراف متصل می‌شوند تا از حرکت آن‌ها در حین چیدن آجر جلوگیری شود. ضخامت آجر و اندازه ملاط‌خور روی قالب از یک پاکار نشانه‌گذاری می‌شود و در پاکار مقابل به پایان می‌رسد. شاغول را ۱۰ سانتی‌متر پایین‌تر از پاکار اجرا می‌کنند (شکل ۲۳ و شکل ۲۴).

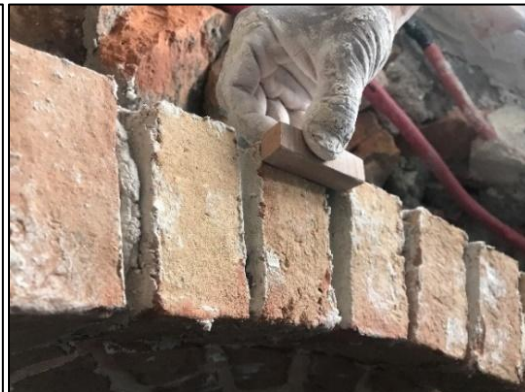
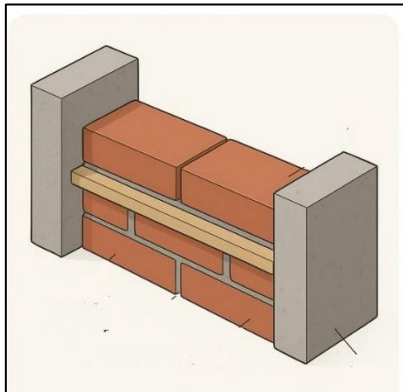


شکل ۲۴: نحوه شاغول کردن قالب (منبع: آئینه‌چی، ۱۳۹۹)



شکل ۲۳: نحوه شاغول کردن قالب توسط پاکنژاد (عکاس: آئینه‌چی، ۱۳۹۹)

–استفاده از چوب ملاط برای هم خوان کردن فاصله بین بندهای آجر: ضخامت آجر و اندازه ملاط‌خور روی قالب از یک پاکار نشانه‌گذاری می‌شود و در پاکار مقابل به پایان می‌رسد (شکل ۲۵ و شکل ۲۶).



شکل ۲۵: اندازه چوب ملاط (عکاس: آئینه‌چی، ۱۳۹۹)



شکل ۲۶: استفاده از میخ و ریسمان برای کنترل تراز بودن رج افقی آجرها (عکاس: آئینه‌چی، ۱۳۹۹)

– استفاده از میخ و ریسمان برای کنترل تراز بودن افقی هر رج آجری و کنترل تراز بودن دونقطه: برای کنترل تراز بودن افقی رج‌های آجری در هنگام ساخت تویزه‌ها با شیوه آجرچینی رومی از یک ریسمان که دو سر آن دو آجر چارک بسته شده است، استفاده می‌شود (شکل ۲۴). کنترل تراز افقی رج‌های آجر با ریسمان و آجر چارک در آجرچینی رومی مرحله به مرحله:

۱. قرار دادن آجرهای مرجع:

- ابتدا روی دیوار یا پایه، دو محل مناسب برای ریسمان مشخص می‌کنیم.
- در هر طرف، یک آجر چارک به کمک ملاط گچ به صورت موقت روی دیوار نصب می‌کنیم.
- این آجرها نباید در مسیر رج اصلی آجر قرار گیرند و فقط برای آویزان کردن ریسمان استفاده می‌شوند.

۲. بستن ریسمان:

- ریسمان را بین دو آجر چارک بسته و آن را کمی شل یا با کشش مناسب قرار می‌دهیم.
- ارتفاع ریسمان باید با سطح بالای آجر رج قبلی تنظیم شود تا تراز افقی کاملاً رعایت شود.

۳. موقعیت آجرهای آویزان نسبت به آجر بالایی:

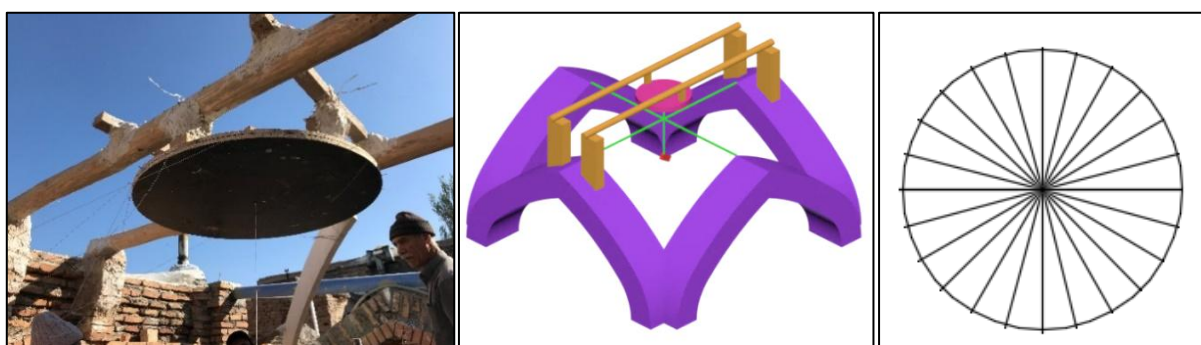
- آجر چارک‌های آویزان همیشه کمی پایین‌تر از ارتفاع آجر بالایی رج قبلی قرار می‌گیرند تا ریسمان روی سطح بالای آجر بالایی کشیده شود و هنگام آجرچینی راهنما باشد.

- به عبارت دیگر، ریسمان روی لبه بالایی آجر بالایی رج موجود قرار می‌گیرد و آجرهای آویزان فقط وظیفه نگاه داشتن ریسمان را دارند.

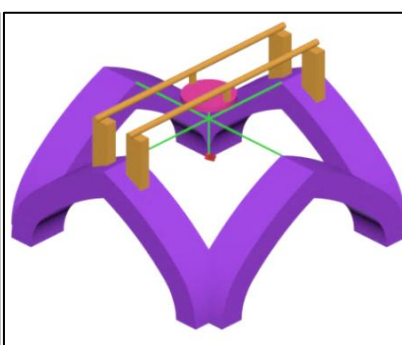
۴. چیدن رج جدید:

- آجرها را مطابق ریسمان می‌چینیم تا هر رج کاملاً افقی باشد.
- پس از اتمام رج، می‌توان ریسمان را بالا برد و برای رج بعدی دوباره استفاده کرد.

– استفاده از نه‌نین یا چوب و ریسمان برای کنترل تراز افقی تیزه‌های لنگه‌ها: بعد از اجرای تویزه‌ها، برای نصب نه‌نین در محل درست و دقیق خود، از تیزه‌های تویزه ریسمان بسته به گونه‌ای که در نقطه O یکدیگر را قطع کنند. از حدود یک متر بالاتر داربست زده تا نه‌نین از آنجا آویزان شود. برای اجرای مثلاً کاربندی ۱۲ قالب شاغولی، دایره نه‌نین توسط نقاله، خط و گونیا به ۲۴ قسمت مساوی تقسیم می‌شود. از مرکز نه‌نین شاغولی آویزان کرده، امتداد ریسمان شاغول با بادخور یک میلی‌متر از محل تقاطع ریسمان کشی‌های بین چهار تویزه سبب تعیین محل درست نصب نه‌نین می‌گردد. در امتداد شعاع‌های نه‌نین که تعداد آن‌ها ۲۴ عدد است، میخ‌هایی نصب می‌شوند (۲۴ عدد میخ). برای کاربندی ۱۲، نیاز به ۱۲ ضلع اصلی داریم. هر ضلع اصلی را با دونقطه روی محیط دایره مشخص می‌کنیم: یک نقطه برای ابتدای ضلع، یک نقطه برای انتهای آن؛ بنابراین، ۱۲ ضلع × ۲ نقطه = ۲۴ نقطه روی دایره ایجاد می‌شود. این ۲۴ نقطه سپس به عنوان محل نصب میخ یا ریسمان برای ترسیم خطوط کاربندی استفاده می‌شوند. به این ترتیب، تقسیم دایره به ۲۴ قسمت باعث می‌شود کاربندی ۱۲ به طور دقیق و متقارن اجرا شود. محل نصب نه‌نین دقیقاً در وسط یا میانه شمشه میانی است، نه روی لبه بالایی یا پایینی آن (شکل ۲۷، شکل ۲۸ و شکل ۲۹).



شکل ۲۷: تقسیم‌بندی نه‌نین به ۲۴ قسمت مساوی



شکل ۲۸: نحوه تعیین محل درست نه‌نین



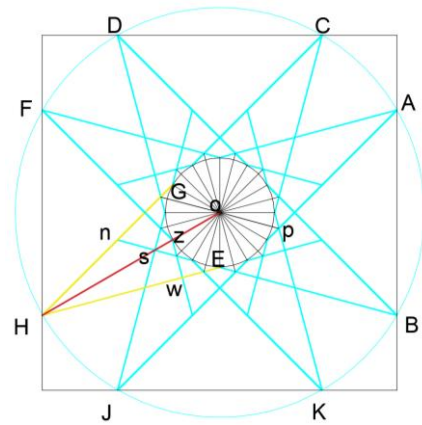
شکل ۲۹: اتصال نه‌نین به داربست چوبی (عکاس: آئینه‌چی، ۱۳۹۷)

جایی که شاغول آویزان شده از نقطه Z و ریسمان مورب کشیده شده از نقطه O همدیگر را قطع کنند، نقطه استقرار لنگه روی تویزه است (نقطه H). نقطه H را روی تویزه علامت زده، از نقطه H به نقطه E و g که نقاط تقسیم روی دایره نه‌نین هستند با ریسمان وصل می‌کنیم. همین کار را در چهار طرف تکرار کرده، ریسمان کشی کامل می‌شود (شکل ۲۷ و شکل ۲۸). لنگه‌های گچی مطابق نقشه کاربندی با تراز کاملاً شاغول شده

در محل ریسمان کشی نصب می‌گردند. بعد از استقرار قالب‌های نیمه، جهت قرارگیری بچه قالب‌ها نیاز به دانستن محل تقاطع آن‌ها با قالب‌های نیمه است. برای یافتن محل تلاقی لنگه قطع شده AU روی لنگه MB ، ابتدا یک شاغول عمودی روی لنگه MB آویزان کرده و ریسمانی از نقطه A به نقطه t وصل کرده، محل تلاقی آن‌ها، نقطه تلاقی دولنگه را روی لنگه mb نشان می‌دهد (شکل ۳۰، شکل ۳۱، شکل ۳۲، شکل ۳۳ و شکل ۳۴).



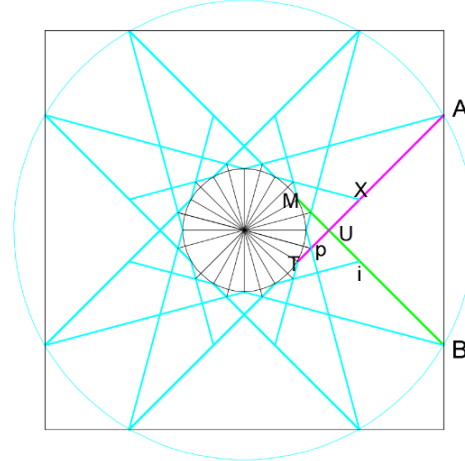
شکل ۳۱: شیوه اجرای نه‌نین و نحوه یافتن امتداد ریسمان روی تویزه با شاغول



شکل ۳۰: نحوه یافتن نقطه H در کاربردی ۱۲ قالب شاغولی



شکل ۳۳: محل تلاقی دو لنگه گچی



شکل ۳۲: یافتن محل تلاقی لنگه قطع شده AU روی لنگه MB



شکل ۳۵: استفاده از چوب و ریسمان برای کنترل تراز بودن افقی تیزه‌های قالب‌ها- بازار بید آباد اصفهان (منبع: آرشیو میراث فرهنگی اصفهان)



شکل ۳۴: نحوه تکیه دادن لنگه‌های گچی به نه‌نین (عکاس: آئینه‌چی، ۱۳۹۸)

– کنترل تراز بودن افقی تیزه‌های قالب‌ها با چوب و ریسمان: در دهانه‌های کوچک مثلاً سه‌متری یک چوب در وسط تویزه‌های اصلی گذاشته، ریسمان از وسط چوب به نقطه ثقل یا مرکز چندضلعی با شاغول وصل می‌شود. ریسمان را دورتادور می‌چرخانند باید فاصله از سر تیزه‌ها یکی باشد. مراحل اجرا به‌صورت جزئی

۱. نصب چوب وسط

- در دهانه‌های کوچک (مثلاً ۳ متر)، یک چوب یا تیرک عمودی در وسط دهانه بین دو تویزه اصلی نصب می‌شود.
- این چوب دقیقاً باید در نقطه میانی دهانه از نظر طولی قرار گیرد.
- ارتفاع این چوب معمولاً تا حدود وسط قوس یا کمی بالاتر است (بسته به فرم قوس).
- چوب باید قائم و تراز نصب شود (با شاغول کنترل شود).

۲. تعیین نقطه مرکز یا ثقل هندسی

- از بالای چوب وسط، ریسمانی با شاغول آویزان می‌شود تا مرکز دقیق هندسی قوس یا چندضلعی (پلان) مشخص گردد.
- نوک شاغول روی زمین باید دقیقاً در مرکز چندضلعی (مرکز قوس) قرار گیرد.
- توجه: منظور از «نقطه ثقل» در اینجا، مرکز هندسی قوس‌ها یا تویزه‌ها است، نه مرکز جرم سازه.

۳. چرخاندن ریسمان دورتادور

- ریسمان از بالای چوب وسط گرفته می‌شود و به‌صورت افقی به‌دور همه سر تویزه‌ها می‌چرخانند (دورتادور دهانه).
- در این حالت، سر ریسمان باید از نوک تمام تویزه‌ها عبور کند.
- در صورتی که فاصله ریسمان از سر هر تویزه برابر باشد، یعنی همه تویزه‌ها هم‌مرکز و هم‌ارتفاع هستند.
- اگر فاصله در نقطه‌ای بیشتر یا کمتر بود، آن تویزه یا باید بالا یا پایین تنظیم شود.

– کنترل نحوه چینش آجرهای پرکننده با میلگرد، نی یا شاخه نازک‌تر درخت: جهت استقرار درست آجرها و کنترل انحنای آن‌ها به سمت داخل به‌عنوان پرکننده، امروزه از میلگرد و زمان‌های گذشته از شاخه نازک‌تر درخت استفاده می‌کردند (شکل ۳۶ و شکل ۳۷).



شکل ۳۶: استفاده از میلگرد جهت چینش آجرهای پرکننده پاباریک (تیمچه میرزا جلیل بازار تبریز) (منبع: آئینه‌چی، ۱۳۹۷)

شکل ۳۷: استفاده از میلگرد جهت اجرای چتری (مسجد نبی سهند تبریز) (منبع: نمکی، ۱۳۸۵)

۱۰. بحث در یافته‌ها

باتوجه به زیاد بودن جزئیات اجرایی کاربردی کنترل درست بودن مراحل اجرا ضروری است. در یک جمع‌بندی کلی برای تراز بودن تیزه‌های لنگه‌های کاربردی از نه‌مین، تراز بودن افقی رج‌های آجری از یک ریسمان دو سر بسته با آجر چارک و برای پیدا کردن دونقطه هم تراز از شلنگ تراز استفاده می‌شود. شاغول بودن قالب چوبی یا گچی توسط ابزار شاغول صورت می‌گیرد (جدول ۱).

جدول ۱: نقاط قوت و ضعف بخش‌های اجرا و پیشنهادهای اصلاح روش اجرا

نقاط قوت بخش‌های اجرایی	نقاط ضعف و محدودیت‌ها	پیشنهادهای اصلاح روش اجرا
۱. نه‌نین برای تعیین مرکز و خطوط شعاعی: - مزیت: دقت بالا در تعیین محل نصب نه‌نین و تیزه‌ها. - نتیجه: حفظ تقارن کامل و هماهنگی بین اضلاع کاربردی.	۱. نه‌نین و ریسمان‌ها - محدودیت: نیاز به تجربه بالا برای آویزان کردن و خواندن دقیق بادخور. - مشکل احتمالی: جایه‌جایی ناخواسته یا لرزش نه‌نین باعث خطا در تیزه‌ها می‌شود.	۱. استفاده از تراز لیزری جایگزین یا مکمل ریسمان و شلنگ تراز برای کنترل دقیق افقی و عمودی.
۲. ریسمان دوسربسته برای تراز افقی رج‌های آجری - مزیت: روش ساده و سریع برای کنترل یکنواختی سطح آجری. - نتیجه: جلوگیری از اختلاف ارتفاع بین رج‌ها.	۲. ریسمان دوسربسته محدودیت: فقط برای کنترل خطی ساده مناسب است، نه برای کنترل کامل سطح منحنی یا شیب.	۲. تقویت اتصال نه‌نین و کاهش لرزش استفاده از سیم یا قلاب محکم‌تر و تثبیت چندنقطه‌ای برای جلوگیری از خطا در آویزان کردن.
۳. شلنگ تراز برای هم‌ترازی نقاط - مزیت: مناسب برای تعیین دقیق دونقطه هم‌سطح حتی در فواصل طولانی. - نتیجه: کنترل دقیق افقی و کاهش خطای اندازه‌گیری.	۳. شلنگ تراز محدودیت: نیاز به دقت در پر کردن و جلوگیری از هواگیری در شلنگ، در غیر این صورت خطا ایجاد می‌شود.	۳. کنترل مکرر در مراحل مختلف اجرا بررسی هر رج آجری و هر تیزه کاربردی پس از نصب اولیه و قبل از خشک شدن ملات.
۴. شاغول برای کنترل عمود بودن قالب‌ها - مزیت: تضمین عمود بودن اجزای موقت یا قالب‌های کاربردی. - نتیجه: افزایش دقت هندسی و پایداری سازه در مرحله اجرا.	۴. شاغول محدودیت: در ارتفاع زیاد ممکن است به دلیل باد یا حرکت وزنه خطای کوچک ایجاد شود.	۴. مستندسازی نقاط بحرانی ثبت دقیق محل تیزه‌ها، مرکز نه‌نین و ارتفاع رج‌ها برای اطمینان از تکرارپذیری در اجرا.

۱۱. نتیجه‌گیری

با بررسی‌های به‌عمل‌آمده مشخص شد که هندسه، امکانات در دسترس و توانمندی معماران سنتی بر شکل نهایی کاربردی‌های قالب شاغولی تأثیرگذار بوده است. برای ساخت کاربردی پس از ترسیم هندسه زمینه آن، استادکار بنا به سلیقه خود نوع قوس مدنظر را انتخاب کرده، قالب‌های چوبی یا گچی ساخته می‌شود. پس از برپا کردن قالب‌ها و کنترل عمود بودن آن‌ها با ریسمان و شاغول، ساخت تویزه‌های اصلی باربر شروع می‌شود. سپس لنگه‌ها بر روی تویزه‌های اصلی مستقر می‌شوند. پس از ساخت لنگه‌ها که اسکلت باربر هستند، پوسته‌های داخلی در میان آن‌ها قرار می‌گیرند. در مرحله آخر عرقچین روی لنگه‌های کاربردی قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین نکاتی که در حین اجرا باید رعایت شود کنترل تراز بودن افقی (هم باد بودن) و یا عمودی (شاغولی بودن) سطوح مختلف است. مثلاً در اجرای کاربردی‌های قالب شاغولی، شاغولی بودن قالب، هم تراز بودن رج‌های آجری، تراز افقی تیزه‌های لنگه‌های کاربردی، شاغولی بودن پایه‌ها و غیره باید به واسطه ابزار کنترل و چشم بنا مورد بازبینی قرار گیرد. همچنین در ساخت عرقچین برای اینکه چغد گنبد به شکل درست اجرا شود از شابلون چوبی استفاده می‌کنند. از میخ و ریسمان برای کنترل تراز بودن رج‌های افقی آجری، تیزه‌های لنگه‌های کاربردی و پیاده‌سازی هندسه چغد روی قالب چوبی یا گچی بهره می‌گیرند. همچنین بعد از ترسیم پلان کاربردی دوباره میزان هم‌خوانی شکل کشیده شده با نمونه اصلی مورد سنجش قرار گیرد. اجرای کاربردی سنتی، هرچند در کلیات مشابه است، اما در جزئیات می‌تواند تفاوت‌هایی داشته باشد که ناشی از تجربه استادکار و شرایط واقعی پروژه است. در جدول زیر خلاصه‌ای از مراحل مختلف اجرای کاربردی قالب شاغولی و ابزار کنترل و اجرای آن‌ها ارائه شده است (جدول ۲).

جدول ۲: مراحل مختلف اجرای کاربردی قالب شاغولی و ابزار کنترل و اجرای آن‌ها

مرحله اجرایی مربوطه	کاربرد	ابزار اجرا	ابزار کنترل
پیاده‌سازی شکل قوس روی قالب	صحیح کشیدن هندسه قوس روی قالب	میخ و ریسمان	-
چینش آجرها و برپا کردن جرزه‌های کاربردی	چینش آجرهای جرزه‌ها و کنترل هم تراز بودن جرزه‌ها برای استقرار تویزه‌های کاربردی	شمشه، میخ و ریسمان	شمشه، تراز، شیلنگ تراز
نصب قالب و چینش اولیه آجرها	بررسی عمودی بودن قالب‌ها و دیواره‌ها، راهنمای چینش آجرها روی منحنی کاربردی، هم خوان کردن فاصله بین بندهای آجر	شمشه، قالب	شاغول، شمشه، میخ و ریسمان، تراز، چوب ملات
برپا کردن لنگه‌های کاربردی	کنترل تراز افقی تیزه‌های لنگه‌ها	چوب و ریسمان، نه‌نین	چوب و ریسمان، نه‌نین
چینش آجرهای پرکننده	کنترل نحوه چینش آجرهای پرکننده‌ها	میخ و ریسمان	میلگرد، نی یا شاخه نازک‌تر درخت
اجرای عرقچین	نشان دادن مسیر درست چینش آجرهای عرقچین	شابلون چوبی	شابلون چوبی

نقاط قوت روش اجرایی

- استفاده از ابزارهای سنتی مانند نهبن، ریسمان دو سربسته، شلنگ تراز و شاغول باعث افزایش دقت هندسی و پایداری سازه می‌شود.
- اجرای تویزه‌های اصلی و لنگه‌ها به ترتیب صحیح، همراه با تقویت کناره‌ها، باعث حفظ تعادل و مقاومت کاربردی در برابر بارهای قائم و افقی می‌شود.
- روش‌های مرسوم استادکاران برای کنترل تراز و شاغولی بودن قالب‌ها و رج‌های آجری، باعث هماهنگی بین اجزا و یکنواختی ساختار نهایی می‌گردد.

نقاط ضعف و محدودیت‌ها

- برخی ابزارها، مانند نهبن و شاغول، در ارتفاع زیاد یا در شرایط باد، ممکن است خطای جزئی ایجاد کنند.
- ریسمان دو سربسته و شلنگ تراز تنها برای کنترل خطی یا دونقطه مؤثرند و کنترل کامل سطح منحنی یا شیب‌دار را پوشش نمی‌دهند.
- نیاز به تجربه بالا برای استفاده دقیق از ابزارهای سنتی و احتمال خطا در نصب اولیه وجود دارد.

پیشنهادهای بهبود

- استفاده از تراز لیزری به‌عنوان مکمل یا جایگزین ابزارهای سنتی برای کنترل دقیق افقی و عمودی.
 - تقویت اتصال نهبن و تثبیت چندنقطه‌ای برای کاهش لرزش و خطا.
 - کنترل مکرر در مراحل مختلف اجرا و ثبت مستند نقاط بحرانی مانند مرکز نهبن، ارتفاع رج‌ها و محل تیزه‌ها برای اطمینان از تکرارپذیری.
 - پیاده‌سازی شابلون و میخ و ریسمان برای کنترل شکل دقیق عرقچین و هندسه چفد.
- با اعمال این اصلاحات، امکان افزایش دقت، پایداری و کیفیت اجرایی کاربردی‌های سنتی فراهم شده و تجربه استادکاران با ابزارهای مدرن ترکیب می‌شود تا سازه‌ای پایدار و هماهنگ با هندسه تاریخی به دست آید.

سپاسگزاری

نویسنده از دانشگاه هنر اسلامی تبریز در اختیار نهادن امکانات پژوهشی برای به‌ثمر رسیدن این تحقیق سپاسگزاری می‌نماید. استادکار ماهر آقای محمد مولی‌زاده حین اجرای کاربردی در سرای میرزا جلیل بازار تبریز کاملاً مراحل اجرای کار را با جزئیات توضیح دادند.

تضاد منافع

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

حمایت مادی و معنوی

این مقاله فاقد حمایت مالی است.

دسترسی به داده‌ها

در این پژوهش از مطالعه میدانی و مشاهده استفاده شده است. برای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها نویسنده در کارگاه‌های سنتی حضور مداوم داشته است. در حین اجرای مراحل مختلف کار عکس‌برداری شد و با استادکار مربوطه راجع به نحوه اجرای کار مصاحبه انجام گرفت. داده‌ها از طریق درخواست منطقی از نویسنده قابل دسترسی هستند.

پی‌نوشت‌ها

۱. شمشه: شمشه اصولاً بر دو نوع است: چوبی و فلزی. از شمشه برای کنترل شاقولی بودن سطوح عمودی استفاده می‌شود.
۲. گونیا: وسیله‌ای متشکل از دو ضلع عمود بر هم است. گونیا به‌منظور کنترل قائمه بودن و عمود بودن دو امتداد استفاده می‌گردد. یا کنترل زاویه قائمه بودن دو سطح با استفاده از میخ و ریسمان صورت می‌گرفت. با میخ و ریسمان مثلث قائم‌الزاویه‌ای با اندازه اضلاع ۳، ۴، ۵ به وجود می‌آوردند.
۳. نهبن: ابزاری است دایره مانند، که در گذشته به‌عنوان تکیه‌گاه لنگه‌های کاربردی و کنترل تراز بودن تیزه آن‌ها استفاده می‌شد.

۴. **بادخور:** هنگام نصب یا اجرای نه‌نین (یا هر سازه مشابه)، ممکن است خطاهای کوچک در اندازه‌گیری، ریسمان کشی یا نصب رخ دهد. «بادخور» یک فاصله یا مقدار اضافی کوچک است که در نظر گرفته می‌شود تا بعد از نصب، قطعات دقیقاً در جای درست قرار بگیرند. «با بادخور یک میلی‌متر از محل تقاطع ریسمان کشی»، یعنی نه‌نین را یک میلی‌متر جابه‌جا یا فاصله بدهید تا در موقعیت درست قرار گیرد.

منابع

- آئینه‌چی، شهرزاد، و خالق‌پناه، شیرین (۱۴۰۴). تحلیل تناظر مفاهیم عرفانی با نقوش هندسی آموزدهای معماری میراث جهانی شیخ صفی‌الدین اردبیلی، اردبیل، ایران. *میراث جنوب غربی آسیا*، ۲ (۱)، کد ۲. <https://doi.org/10.22034/hsaj.2025.547809.1001>
- آئینه‌چی، شهرزاد، و ولی بیگ، نیما. (۱۴۰۰). تحلیل معماری و ساختاری کاربردی‌های ویژه تیمچه‌های بازار تاریخی تبریز. *پژوهه باستان‌سنجی*، ۷ (۲)، ۷۳-۸۹. <http://dx.doi.org/10.52547/jra.9.1.342>
- آئینه‌چی، شهرزاد. (۱۳۹۹). *تحلیل اثر ساختار شکلی بر فن‌آوری ساخت و مرمت کاربردی‌های بازار تبریز*. پایان‌نامه دکترای مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان.
- امجد محمدی، امیر، نژادابراهیمی، احد، و شهبازی، یاسر. (۱۳۹۹). *هندسه کاربردی در معماری ایران؛ پاسخ به چالش کاربردی رسمی و اختری*. *پژوهش‌های معماری اسلامی*، ۸ (۲۶)، ۴-۲۶. <http://jria.iust.ac.ir/article-1-1268-fa.html>
- امین‌زاده، فرزانه. (۱۳۸۵). *سازه‌های سنتی در معماری ایران*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- بزرگمهری، زهره. (۱۳۸۵). *هندسه در معماری*. چ ۳. تهران: میراث فرهنگی کشور و سبحان نور.
- بزرگمهری، زهره. (۱۳۷۱). *هندسه در معماری*. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- پیرنیا، محمدکریم. (۱۳۷۰). *آشنایی با معماری اسلامی ایران*. تهران: سروش.
- تهرانی، فرهاد. (۱۳۹۱). *نگرشی دوباره بر کاربردی؛ کاربردی ویژه*. اثر، (۵۳)، ۸۵-۹۶.
- فرشته نژاد، مرتضی. (۱۳۸۹). *فرهنگ معماری و مرمت معماری*. اصفهان: ارکان دانش.
- فرشچی، حمیدرضا، دانایی نیا، احمد، و اشرفی، احمد. (۱۳۹۵). *نظام هندسی زمینه‌های رسمی بندی یک‌پا، برگرفته از دایره محیطی*. *مرمت و معماری ایران*، ۶ (۱۲)، ۱۲۷-۱۳۸. <https://doi.org/10.1001.1.23453850.1395.6.12.3.8>
- غفوری، حمید. (۱۳۸۸). *مرمت بناهای تاریخی: سازه و مصالح*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- قبادیان، وحید. (۱۳۹۰). *درآمدی بر معماری ایران*. تهران: دانشگاه پیام‌نور.
- مهدی‌زاده سراج، فاطمه، تهرانی، فرهاد، و ولی بیگ، نیما. (۱۳۹۰). به کارگیری مثلث‌های هنجار در محاسبات ریاضی و پیاده‌سازی هندسه در ساخت و اجرای معماری سنتی ایران. *نشریه مرمت، آثار و بافت‌های تاریخی، فرهنگی*، ۱ (۱)، ۱۵-۲۶. <https://www.agiran.com/p1020639>
- معماریان، غلامحسین. (۱۳۹۴). *معماری ایران نیارش*. تدوین: هادی صفایی پور. تهران: موسسه انتشارات و موسسه فرهنگی هنری نغمه نواندیش.
- محمدی، محمدرضا. (۱۳۹۲). *فن‌آوری ساخت در معماری اسلامی ایران*. تهران: دانشگاه تهران.
- ریحانی همدانی، حسن، صاحب محمدیان، منصور، افشین مهر، افشین، و بمانیان، محمدرضا. (۱۳۹۷). *تحلیل ریاضی کاربردی‌های ساده‌ی معماری ایران*. *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ۸ (۱۷)، ۲۰۱-۲۲۰. <https://doi.org/10.22084/nbsh.2017.13894.1607>
- رئیس‌ی، مهدی، بمانیان، محمدرضا، تهرانی، فرهاد. (۱۳۹۲). *بازنگری در مفهوم کاربردی بر مبنای هندسه نظری، عملی و نقش ساختمانی*. *مرمت و معماری ایران*، ۳ (۵)، ۳۳-۵۵.
- رئیس‌ی‌زاده، مهناز، و مفید، حسین. (۱۳۷۴). *احیای هنرهای از یادرفته: مبانی معماری سنتی در ایران به روایت استاد حسین لرزاده*. چ ۲، تهران: مولی.
- صفایی‌پور، هادی، معماریان، غلامحسین، و بمانیان، محمدرضا. (۱۳۹۲). *فهم چپستی پوشش پتکانه از طریق تحلیل نمونه‌های نخستین در معماری ایران*. *معماری ایرانی*، ۱ (۵)، ۵-۱۸. <https://civilica.com/doc/443741>
- رفیعی سرشکی، بیژن، رفیع‌زاده، ندا، رنجبرکرمانی، علی محمد. (۱۳۸۲). *فرهنگ مهرازی (معماری) ایران*. چ ۱. تهران: انتشارات مرکز تحقیقات و ساختمان و مسکن.
- سعید، عصام، و پارمان، عایشه. (۱۳۷۷). *نقش‌های هندسی در هنر اسلامی*. ترجمه: مسعود رجب‌نیا، تهران: سروش.
- زمرشیدی، حسین. (۱۳۸۹). *گنبد و عناصر طاقی ایران*. تهران: زمان.

زمرشیدی، حسین. (۱۳۸۷). طاق و قوس در معماری ایران. تهران: کیهان.

Ainechi, S., Valibeig, N., & Tehrani, F. (2020). Karbandies' traditional construction technique in Tabriz and Isfahan. *International Journal of Architectural Heritage*, 14(10), 1533-1550. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1618971>

Ainechi, S., & Valibeig, N. (2020). Comparative and contrast study of Karbandie's Masonry ribs brick arrangements. *Curved and Layered Structures*, 7(1), 166-177. <https://doi.org/10.1515/cls-2020-0013>

Garofalo, V. (2016). The geometry of a domed architecture: A stately example of Kārbandi at Bagh-e Dolat Abad in Yazd. *Nexus Network Journal*, 18(1), 169-195. <https://doi.org/10.1007/s00004-015-0286-0>

Mohammadi, A. A., Asefi, M., & Ebrahimi, A. N. (2018). The geometrical regularization for covering irregular bases with Karbandi. *Nexus Network Journal*, 20(2), 331-352. <https://doi.org/10.1007/S00004-018-0373-0>

Mohammadian, M. S., Afshin, M. V., & Bemanian, M. R. (2018). *Mathematical Analysis of Simple Karbandy in Iranian Architecture*.

Pour Ahmadi, M. (2014). A basic method for naming Persian Karbandis using a set of numbers. *Nexus Network Journal*, 16(2), 313-343. <https://doi.org/10.1007/s00004-014-0192-x>

آئینه‌چی، شهرزاد (۱۴۰۵). ابزارهای اجرا و کنترل در فناوری ساخت کاربندی‌های قالب شاغولی در معماری سنتی تبریز. میراث جنوب غربی آسیا، ۳(۱)، ۳. <https://doi.org/10.22034/hsaj.2025.558697.1023>