Journal of Athar
فصلنامه علمی اثر
ISSN: 2538-1830 | Volume 41 | Issue 2 | Summer 2020

Study on the Methods of Weight Lightening of Vaults in Historical Buildings

Farimah Hooshyar[1*], Dariush Heydari[2], Saeed Hemat Zadeh[3]

1. Master of Restoration of Ancient Buildings, Department of Restoration, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. PhD in Restoration of Ancient Buildings, Department of Restoration, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan University of Arts, Isfahan, Iran
3. Master of Restoration of Ancient Buildings, Department of Restoration, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan University of Arts, Isfahan, Iran

Article Info

Original Article

Received: 2020/12/30;
Accepted: 202102/08;
Published Online 2021/04/02

10.30699/athar.41.2.130

Use your device to scan and read the article online

Corresponding Author
Farimah Hooshyar
Master of Restoration and Restoration of Ancient Buildings, Department of Restoration, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Email:
fari8707@yahoo.com

ABSTRACT

Iranian architecture is full of innovations and initiatives that have evolved over time and have succeeded in erecting sustainable buildings with a logic of static and balanced forces. It has succeeded in erecting stable structures with a static logic and balance of forces. The use of local materials along with the use of various methods and techniques of structures, has paved the way for Iranian architects to create unique and sustainable spaces.one of the most important tasks of architects and restorers is to review and analyze these methods. Undoubtedly, in order to enter the category of recognizing, preserving and restoring architectural heritage, it is necessary to first look at this great heritage with a scientific approach and then make a detailed analysis of the structure of the building. One of these techniques is weight lightening. This is achieved by using the geometry, proportions, experience and ingenuity of the architect. Weight lightening in historical buildings, was performed in different ways.In addition to reducing the weight of the building, it balances the forces on the load-bearing components, especially the arch, and provides more stability to the building. This study seeks to answer the questions of how weight lightening in historical buildings was carried out and in what ways, what role was played in the balance of forces in the building, and how it has been able to increase the useful life and make the building resistant to natural disasters. To find the answer, the present article is designed with the aim of examining, and recognizing, the method of stylistic benefits in traditional buildings, and then examines the various, weight lightening methods in terms of the form and manner of power transmission and impact on the building And manner of power transmission and impact on the building The method of qualitative research is based on descriptive, comparative, field studies and research of traditional masters. Finally, by using modeling by AutoCAD and TriDimax software and comparing different styles of styling, the article, has tried to present a typology of styling in traditional structural elements. Finally, various, weight lightening methods, are identified in traditional buildings and it is understood that, weight lightening leads to greater stability by reducing the weight of the structure and solving the thrust problems. It should be noted that this study does not include domes, domed arches and all-wood structures that are common in the Caspian climate of Iran.

Keywords: Weight lightening, Gheyd, Konoo, Historical buildings

Copyright © 2020. This open-access journal is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

How to Cite This Article:

Houshyar, F., Heydari, D., Hemmat Zadeh, S. (2020). A Study on the Methods of Weight Lightening of Vaults in Historical Buildings. *Athar*, 41 (2):130-155

مجلهٔ علمی اثر

شاپا: ۱۸۳۰-۲۵۳۸ دوره ۴۱ | شماره ۲ | تابستان ۱۳۹۹

مقالهٔ پژوهشی

پژوهشی در روش‌های سبک‌سازی طاق‌ها در بناهای تاریخی

فریماه هوشیار[1*]، داریوش حیدری[2]، سعید همت‌زاده[3]

۱. کارشناسی ارشد مرمت و احیا بناها و بافتهای تاریخی، گروه مرمت، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. دکترای مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی، گروه مرمت، دانشکدهٔ حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۳. کارشناسی ارشد مرمت و احیا بناها و بافت‌های تاریخی، گروه مرمت، دانشکدهٔ حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰

پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴

نویسندهٔ مسئول:

فریماه هوشیار

کارشناسی ارشد مرمت و احیا بناها و بافت‌های تاریخی، گروه مرمت، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پست الکترونیک:

fari8707@yahoo.com

خلاصه

معماری ایرانی آکنده از نوآوری‌ها و ابتکارهایی است که به‌مرور زمان تکامل بیشتری یافته و موفق به برپایی بناهایی پایدار و برخوردار از منطق ایستایی و تعادل نیروها شده است. استفاده از مصالح بومی در کنار به کار بردن روش‌ها و تکنیک‌های سازه‌ای متنوع، راه را برای معماران ایرانی جهت خلق فضاهای بی‌نظیر و پایا هموار کرده است. یکی از مهم‌ترین وظایف معماران و مرمتگران، بازخوانی و تحلیل این روش‌هاست؛ چراکه بی‌شک، برای وارد شدن به مقولهٔ شناخت، حفاظت و مرمت میراث معماری نیاز است تا در ابتدا با رویکرد علمی به این میراث عظیم نگریسته و سپس آنالیز دقیقی از سازهٔ بنا به عمل آید. یکی از این تکنیک‌ها، سبک‌سازی است. این مهم با بهره‌گیری از هندسه، تناسبات، تجربه و درایت معمار حاصل شده است. سبک‌سازی در بناهای تاریخی به روش‌های مختلفی اجرا می‌شده و در کنار کاهش وزن بنا، باعث تعادل در نیروهای وارد بر اجزای باربر به‌ویژه طاق و تأمین پایداری بیشتر بنا می‌شده است. این پژوهش در پی یافتن پاسخ این پرسش‌هاست که سبک‌سازی در بناهای تاریخی چگونه و به چند طریق اجرا می‌شده، چه نقشی در توازن نیروها در بنا به عهده داشته و چگونه توانسته است باعث افزایش عمر مفید و مقاوم‌کردن بنا در برابر بلایای طبیعی شود. برای یافتن پاسخ، نوشتار پیش رو با هدف بررسی و شناخت روش مزایای سبک‌سازی در بناهای سنتی صور گرفته و سپس انواع روش‌های سبک‌سازی را از لحاظ شکل و نحوهٔ انتقال نیرو و اثرگذاری بر بنا بررسی کرده است. این الگوها توسط شکل‌هایی که معرف طرح کلی ساختاری و هندسی آنهاست، همراه با تحلیل و بررسی ارائه شده است. روش پژوهش کیفی مبتنی بر مطالعات توصیفی، تطبیقی، میدانی و تحقیق از استادکاران سنتی بوده که درنهایت با استفاده از مدل‌سازی توسط نرم‌افزار اتوکد و تری‌دی‌مکس و مقایسهٔ انواع شکل‌های سبک‌سازی، سعی در ارائهٔ تیپولوژی سبک‌سازی در عناصر سازهٔ سنتی کرده است. در انتها، روش‌های متنوع سبک‌سازی در ابنیهٔ سنتی مشخص و این موضوع درک شده است که سبک‌سازی با کاهش وزن سازه و حل مسائل رانشی، سبب پایداری بیشتر بنا می‌شود. گفتنی است این بررسی شامل گنبد، طاق‌های گنبدی و سازه‌های تمام چوب نیست که در اقلیم خزری ایران رایج است.

کلیدواژه‌ها: سبک‌سازی، قید بندی، کنوبندی، بناهای تاریخی

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

هوشیار، فریماه، حیدری، داریوش، همت‌زاده، سعید (۱۳۹۹). پژوهشی در روش‌های سبک‌سازی طاق‌ها در بناهای تاریخی. *فصلنامه علمی اثر*، ۴۱ (۲): ۱۵۵-۱۳۰

مقدمه

بناهای تاریخی، کمتر از لحاظ اجزای سازه که عنصر نگهدارنده و پایدارکنندهٔ بناست، مورد توجه و تحلیل قرار گرفته‌اند. معمار مربوط به بناهای تاریخی یا همان حفاظتگر، باید نسبت به فناوری ساختمان‌سازی گذشته آگاهی و ادراک داشته باشد (Filden, 1982). حل مسائل پیچیدهٔ بازیافت و نوسازی مجموعه‌های ساختمانی کهن در گرو شناختن ساختمان و شیوه‌های ساخت آن است (Cigni, 2004). بدون شک یکی از روش‌های پایدارسازی سازهٔ بناهای ایرانی، به موازات استفاده از فرم‌های پیچیدهٔ طاق و ایجاد فضاهای متعدد در داخل بنا، کاهش وزن و سبک ساختن بنا بوده است؛ به عبارتی می‌توان گفت، معماران ایرانی همیشه در حال رقابت با یکدیگر برای افزودن بر ارتفاع و پیچیدگی بنا و هم‌زمان، کاهش وزن سازه بوده‌اند. این اقدامات باعث کاهش صلبیت و بار مردهٔ بنا شده و امکان ایجاد فضاهای بزرگ‌تر و انعطاف‌پذیرتر (با توجه به نوع مصالح موجود) را فراهم می‌نموده است. سازندگان اصلی بناهای تاریخی، ارتباط بسیار خوبی میان دست و ذهن داشتند و قادر بودند با نگاه تیزبین خود، خطوط رانشی را (اگرچه نمی‌توانستند به‌طور دقیق کمیت آنها را مشخص کنند) در بناهایی تحلیل کنند که بیشتر به شکل سازه‌ای خود بستگی داشتند تا به مقاومت نسبتاً ضعیف مصالحی که با آن ساخته شده‌اند (Filden, 1982). در ابنیهٔ تاریخی ایرانی، روش‌های سبک‌سازی برحسب نحوهٔ اجرا و ابعاد بنا متفاوت بوده است. به موازات پیچیدگی ساختمان و پلان‌ها، نیاز به دانستن قوانین ایستایی، تقسیم بار و نهایتاً تعادل بنا توسط معمار، پررنگ‌تر می‌شود. از آنجا که عمدهٔ مصالح استفاده‌شده در بناهای سنتی، از خشت و آجر بوده و اکثر اقلیم‌های ایران با بلایای طبیعی همچون زلزله روبه‌رو بوده و هستند؛ بنابراین تمهیدات مختلفی برای ایجاد تعادل پایا توسط معمارها به کار می‌رفته، که یکی از آنها سبک‌سازی بنا بوده است. بناهای بررسی‌شده در این نوشتار، از نوع خشتی و آجری هستند. این مصالح، تاب تحمل نیروی کششی را ندارند، ولی نیروهای فشاری را به‌خوبی تحمل می‌کنند. پوشش این‌گونه بناها بیشتر از نوع قوسی است. در این نوع مکانیسم، انتقال نیروی وزن و سایر نیروها با مکانیسم فشاری و کمی خمشی انجام می‌گیرد که در ایستایی این نوع پوشش‌ها، رفع نیروی رانشی بسیار مهم است. برای حل این مسئله، روش‌های متعددی توسط معماران به کار رفته است که یکی از آنها سبک‌سازی است.

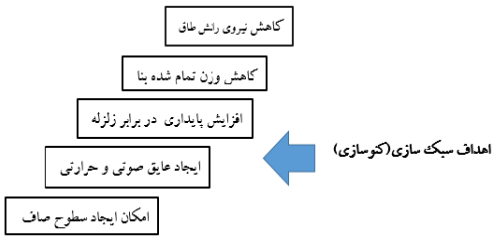
پیشینهٔ پژوهش

با وجود اینکه سبک‌سازی بناهای تاریخی مقولهٔ پراهمیتی است، تحقیقات کمی درمورد آن صورت گرفته است. (Tehrani, 2008)، در بررسی سبک‌سازی سازه‌های سنتی به استفاده از کونال‌بندی (کنوبندی، صندوقه‌سازی و قیدبندی) مشخصات و شکل صندوقه‌ها و دسته‌بندی صندوقه‌ها پرداخته است. (Ketabi, 2014)، در پژوهشی، به اشکال سبک‌سازی در بناهای تاریخی اشاره کرده و هندسه را مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری آنها دانسته است (Vafamehr, 2005). نیز به اختصار چند روش سبک‌سازی بناها را بررسی کرده است. بیشترین تحقیقاتی که تاکنون انجام شده، به ارائهٔ فرم‌های رایج و محدود بسنده کرده و از زوایای مختلف این مسئله را مورد توجه قرار نداده است. این تحقیق با نگاهی فراگیر، سعی در بررسی گونه‌های متنوع سبک‌سازی اجرا شده در بناها و سازه‌های تاریخی (پل‌ها) داشته و موارد کاربرد این روش‌ها و نیز تأثیر سبک‌سازی در تعادل نیروهای وارد بر طاق و دیوارهای زیرین را، تبیین نموده است.

اهداف سبک‌سازی

مقصود معماران از سبک‌سازی در بناهای تاریخی، دستیابی به اهدافی چون ایجاد سطوحی صاف در جایی که فرم منحنی طاق‌ها رسیدن به چنین سطوحی را ناممکن می‌سازد، کاهش بار مرده وارده بر ساختمان، افزایش ایستایی که باعث پایداری بیشتر بنا در طی زمان و نیز استحکام در برابر حوادث طبیعی به‌خصوص زلزله و بهبود عملکرد لرزه‌ای بنا می‌گشته، ایجاد

عایق صوتی و حرارتی و امکان استفاده از فضاهای پشت‌بام بوده است (شکل ۱).



شکل ۱. اهداف سبک سازی

کاهش وزن و سبک‌سازی در یک بنا در سه گروه از اجزای سازه قابل‌بررسی است:

۱. کاهش وزن اجزای باربر (استفاده از تکنیک‌های سبک‌سازی)؛
۲. کاهش وزن اجزای غیرباربر (کاهش وزن المان‌های جداکننده)؛
۳. استفاده از مصالح سبک.

سبک‌سازی طاق‌ها

غیر از چوب، تنها مصالحی که در دست معماران، مسجد یا کلیساهای قرون وسطی قرار داشت سنگ و آجر بود. این مصالح تنها برای فشار مناسب بوده و سازه‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی می‌شدند که هیچ‌گونه تنش کششی (به‌جز مقادیری ناچیز) در آنها به وجود نیاید. این امر، دلیل استفادهٔ وسیع از طاق و گنبد را توجیه می‌کند (Morgan, 1977). در ایران نیز فرم اکثر طاق‌ها به‌صورت قوسی و در موارد کمتری به‌صورت تخت است. این طاق‌ها، فشارها را بر سراسر دیوار وارد می‌کنند. در طاق‌های فرم منحنی، مسئلهٔ مهم، غلبه بر رانش این طاق‌هاست. از کنار هم قرارگرفتن این طاق‌های محدب، فصل مشترکی ایجاد می‌شود که نیاز بوده تا به فرم تخت و قابل‌استفاده تبدیل شود. آسان‌ترین روش، پوشاندن فضای ایجادشده توسط خاک و نخاله‌های بنایی است، که این کار به‌وضوح باعث افزایش بار مرده بر ساختمان می‌شود، ولی نیروی رانش سقف را کاهش می‌دهد و سطح صاف مورد نیاز را نیز تأمین می‌کند (شکل‌های ۲ و ۳).

روش‌های دیگر پوشاندن این فضای مقعر، همگی جزء تکنیک‌های سبک‌سازی محسوب می‌شوند که عبارت‌اند از: کنوبندی، قیدبندی و صندوقه‌سازی. این روش‌ها در ادامه به تفکیک و به‌طور مفصل بررسی شده‌اند.

شکل‌های ۲ و ۳. پرکردن فضای بین طاق‌ها با خاک
منبع: نگارندگان

قیدبندی

قیدکردن در لغت به معنی بندکردن و در بند آوردن است (Moin, 1971). در عمل نوعی روش سبک سازی است که به‌دلیل داشتن ستون مستقل، از فرم هندسی طاق زیرین خود تبعیت نمی‌کند. این تکنیک، قابل‌استفاده در آسمانه‌های استوانه‌ای (طاق آهنگ)، کروی (گنبد) و مخروطی (فیل پوش) است.

قیدها، شامل دو بخش دیواره‌ها و پوشش هستند که هرکدام به چند روش قابل‌اجرا هستند. معماران، فرم‌های مختلفی از قید را با توجه به نوع آجرچینی ایجاد می‌کرده‌اند. این تفاوت‌ها در نوع دیواره چینی و پوشش مشهود بوده و به شرح زیر هستند.

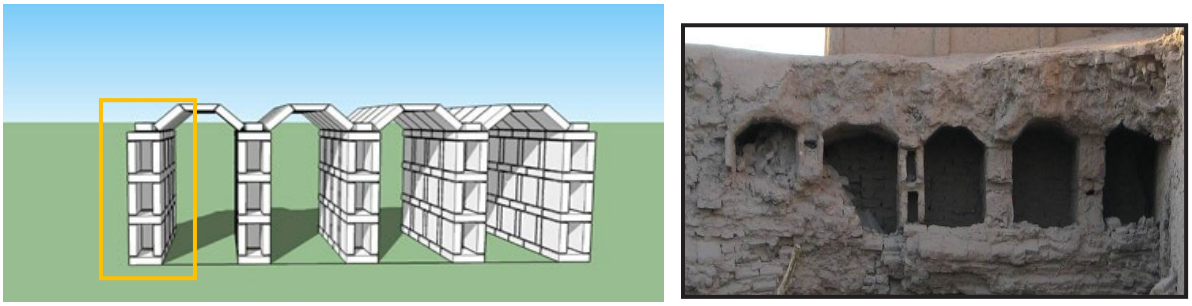
روش‌های اجرای دیوارهٔ قید

۱. صندوقه‌کردن دیوارها

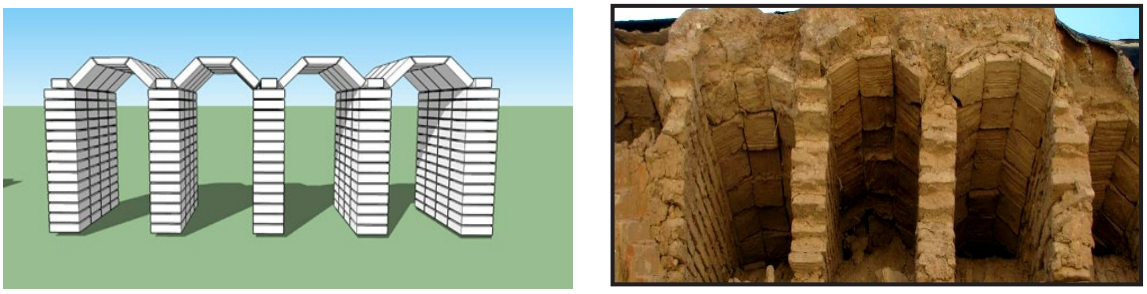
در این روش در هر رج، آجرها به‌نحوی چیده می‌شوند که میان آنها فضای خالی ایجاد شده و در این حالت وزن دیواره بسیار کمتر می‌شود (شکل ۴).

۲. اجرای دیوار توپر با استفاده از آجر کامل

در این حالت، آجر به‌صورت کامل برای ساخت دیواره به کار می‌رود. این روش نسبت به روش صندوقه‌سازی از وزن بیشتری برخوردار است (شکل ۵).



شکل ۴. صندوقه‌کردن دیوارهای قیدها (خیابان گلسرخ یزد) به‌همراه مدل سه‌بعدی آنها
منبع: نگارندگان



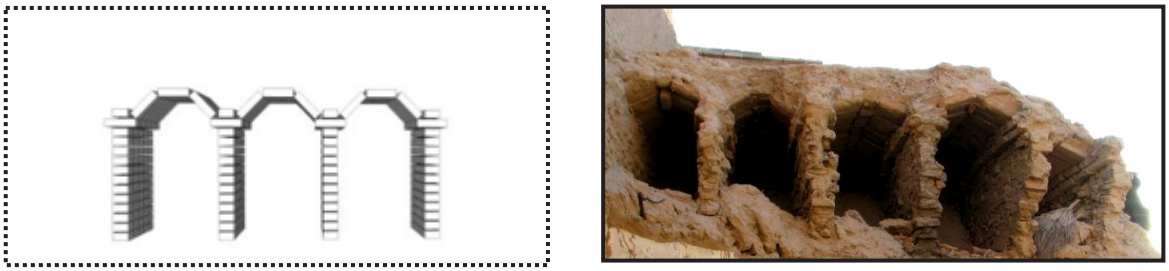
شکل ۵. دیوار توپر و استفاده از آجر کامل در ساخت دیوارهٔ قید (محلهٔ فهادان یزد) و مدل سه‌بعدی آن
منبع: نگارندگان

۳. اجرای دیوار توپر با استفاده از آجر نیمه

در این شیوه، آجرها به دو نیمه تقسیم شده و از نیمهٔ آجر برای ساخت دیوارهٔ قید استفاده می‌شود. در این روش، عرض دیواره‌ها کمتر بوده و همچنین میزان آجر مصرفی برای اجرای دیوار کاهش می‌یابد (شکل ۶).

۴. استفاده از آجر تیغه در دیواره‌چینی

در این شیوه، آجرها از ضخامت و به‌صورت تیغه‌ای، برای ساخت دیواره‌ها به کار می‌روند. واضح است که این روش استحکام دو شیوهٔ بالایی را ندارد (شکل ۷).



شکل ۶. استفاده از آجر نیمه در اجرای دیوار توپر قید (محلهٔ فهادان یزد) به همراه مدل سه‌بعدی آن
منبع: نگارندگان

شکل ۷. استفاده از آجر تیغه در اجرای دیوار قید (محلهٔ زرتشتیان یزد) به همراه مدل سه‌بعدی آن
منبع: نگارندگان

نکتهٔ قابل‌توجه در ساخت دیواره‌ها آن است که گاهی مشاهده می‌شود آجر به‌صورت تیغه بر روی تیزهٔ قوس زیرین به کار رفته است (این بدین معناست که در اجرای دیوارهٔ قید می‌توان از دو نوع آجرچینی استفاده کرد) (شکل ۸). در توجیه به کار بردن آجر تیغه بر روی تیزهٔ قوس می‌توان اظهار داشت که به‌علت ارتفاع زیاد تیزهٔ طاق نسبت به بقیهٔ قسمت‌های طاق، لایهٔ لازم برای رسیدن به سطح صاف به کمترین میزان بوده و بنابراین تیزه متحمل بار کمتری است و نیاز به قوی‌تر ساختن دیواره قید وجود ندارد. درضمن در استفاده از مصالح صرفه‌جویی می‌شود.

شکل ۸. استفاده از آجر تیغه در دیوارهٔ قید بر روی تیزهٔ طاق زیرین (خیابان ابن‌سینا اصفهان)
منبع: نگارندگان

آجرچینی پوشش قید

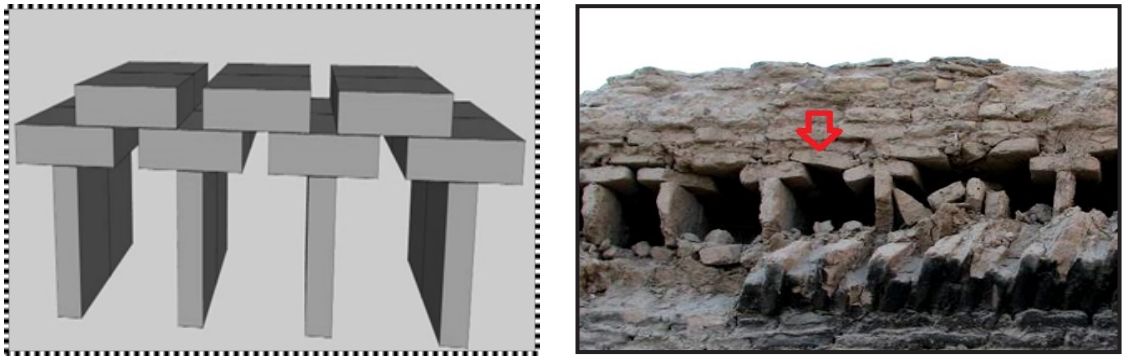
نحوهٔ اجرای پوشش قیدها به دو صورت پتکین و چپیله است.

پتکین

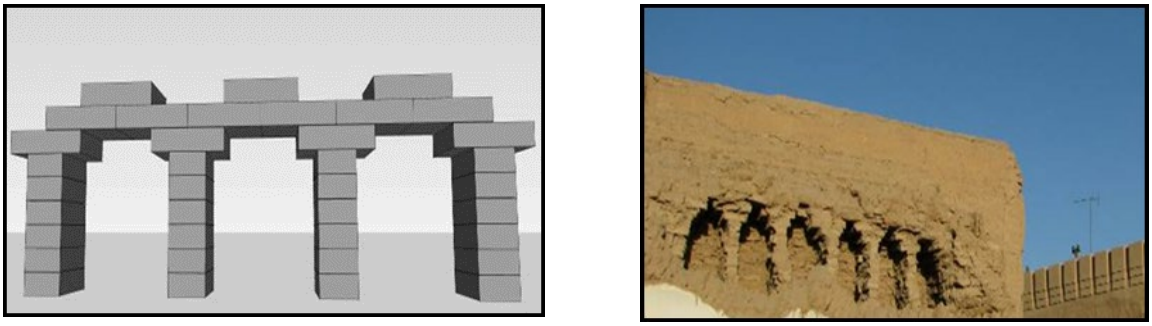
به معنای پیش‌آوردن تدریجی دیوار است. نوعی از آجر چینی است که رج آجرها، حالت پله‌ای را نشان می‌دهد. به این صورت که در هر ردیف به‌اندازهٔ نصف آجر بالایی عقب نشینی می‌کنند (شکل ۹). اجرای این روش در پوشش قید به چند حالت انجام می‌شود:

روش اول: در این فرم پس از ساخت دیواره‌ها، روی آنها با یک ردیف افقی آجر پوشیده می‌شود. سپس ردیف‌های بعدی آجرها در رج بالاتر، درست روی فضای خالی بین رج آجرهای پایین قرار می‌گیرند.

روش دوم: در این روش هم نحوهٔ آجرچینی شبیه روش بالایی است، اما فاصلهٔ افقی بین رج‌های آجر، روی هر ستون در ردیف بالاتر با نیمهٔ دو آجر پوشیده می‌شود (شکل ۱۰).

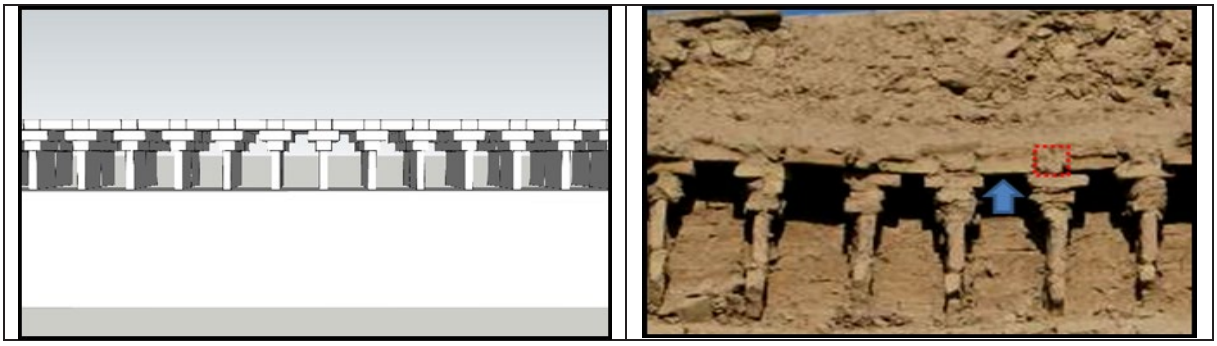


شکل ۹. اجرای پوشش پتکین (محلهٔ کوشک نو یزد) به‌همراه مدل سه‌بعدی
منبع: نگارندگان



شکل ۱۰. اجرای پوشش پتکین (محلهٔ کوشک نو یزد) به‌همراه مدل سه‌بعدی
منبع: نگارندگان

روش سوم: در این حالت وقتی دیواره‌ها اجرا شدند و آجرچینی افقی روی دیواره‌ها انجام گرفت، یک‌چهارم آجر را که از قبل شکسته و آماده کرده‌اند، در وسط آجر افقی پایهٔ قید قرار می‌دهند و سپس فاصلهٔ افقی بین دیواره‌ها را با آجر کامل می‌پوشانند (شکل ۱۱).



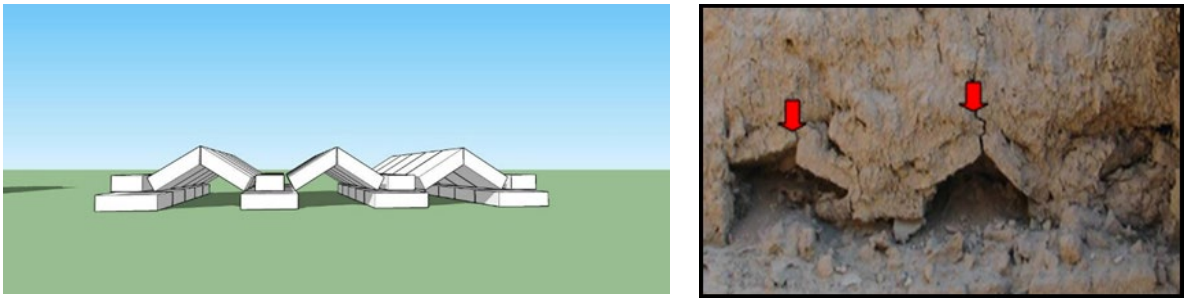
شکل ۱۱. اجرای پوشش پتکین (محلهٔ زرتشتیان یزد) به‌همراه مدل سه‌بعدی
منبع: نگارندگان

چپیله یا لاپوش

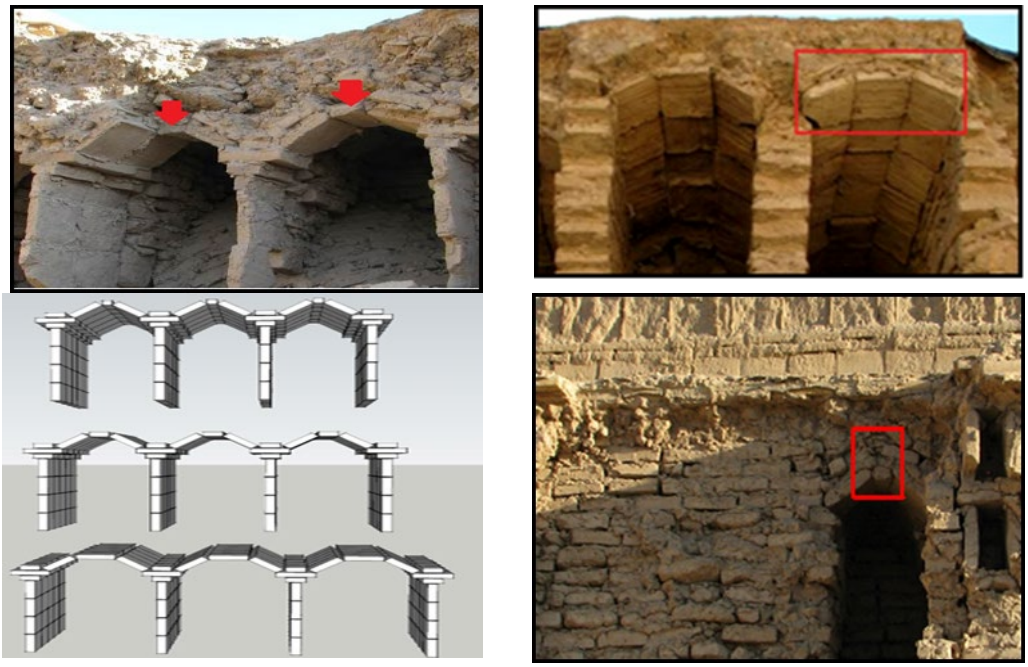
در این نوع اجرا، لبهٔ آجر به‌صورت لایه‌های باریک در مقطع عمودی و دید روبه‌رو قرار دارد (Pirnia,1994). روش‌های اجرای پوشش لاپوش نیز متنوع است. در ساده‌ترین حالت، از دو آجر استفاده می‌شود که آن را لاپوش یک رج می‌نامند (شکل ۱۲).

در حالت‌های دیگر از بیش از دو آجر، بسته به نیاز استفاده می‌کنند که به ابعاد محلی که قرار است قید اجرا شود بستگی دارد. در بیشتر موارد، از سه آجر برای پوشش چپیله استفاده می‌کنند. پوشش لاپوش سه آجری به صورت‌های زیر اجرا می‌شده است: استفاده از سه آجر کامل (شکل ۱۳)، استفاده از دو آجر کامل در پهلوها و یک نیمه آجر در وسط (شکل ۲۳)، یا دو آجر کامل در پهلوها و یک‌چهارم آجر در وسط.

با توجه به روش‌های مختلف و اشکال مختلف قیدها در بناهای سنتی ، این روش‌ها در جداول زیر (شماره ۱و۲) مورد مقایسه قرار داده شده‌اند.



شکل ۱۲. اجرای لاپوش یک رج (محله فهادان یزد) به همراه مدل سه‌بعدی آن
منبع: نویسندگان



شکل ۱۳. اجرای قید با پوشش چپیله با سه خشت (محلهٔ فهادان یزد) به‌همراه مدل سه‌بعدی آن
منبع: نگارندگان

شکل ۱۴. اجرای قید با پوشش چپیله با بیش از سه آجر (آسیاب ناژوان اصفهان)
منبع: نگارندگان

جدول ۱. تفکیک روش‌های اجرای انواع قید

اجزای تشکیل دهنده ی قید		نحوه ی اجرا
	دیوارها	صندوقه چینی ساده
	پوشش	پتکین چپیله

منبع: نگارندگان

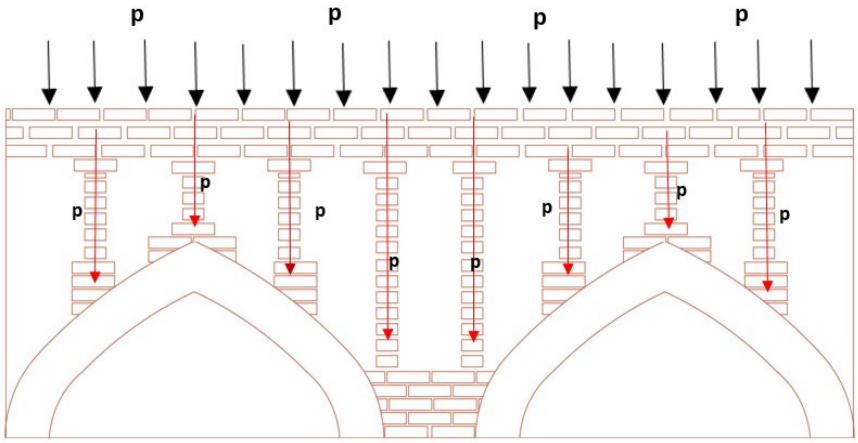
جدول ۲. مقایسهٔ انواع قیدها

پوشش	دیواره	تصویر
چپیله	تیغه ای	
چپیله	آجر نیمه	
چپیله	آجر کامل	
چپیله	صندوقه	
پتکین	تیغه ای	
پتکین	آجر کامل	
پتکین	آجر نیمه	

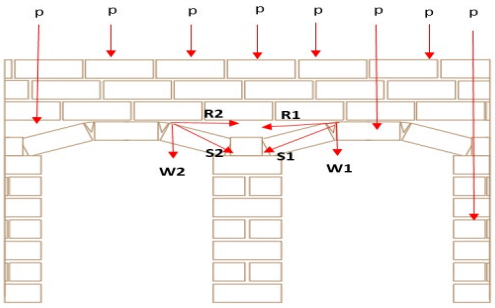
منبع: نگارندگان

نحوهٔ انتقال نیرو در دو نوع پوشش پتکین و چپیله

همان‌طور که ذکر شد، قیدها دو نوع پوشش پتکین و چپیله دارند. سوای پوشش، هر قید دارای دیواره‌ای است که رفتاری مانند ستون از خود نشان می‌دهد. در شیوهٔ آجر چینی پتکین، نیروی واردشده از لایهٔ آجر بالایی، درست به مرکز این ستون وارد شده و به طاق زیرین انتقال می‌یابد (شکل‌های ۱۵، ۱۶). در این روش سبک‌سازی، به‌دلیل خالی‌بودن فاصلهٔ بین دیواره‌های قیدها از بار وارد بر طاق کاسته و از نیروی وارد بر آن به میزان قابل‌توجهی کاسته خواهد شد.



شکل ۱۵. نحوهٔ انتقال نیرو از طریق پوشش پتکین بر روی قوس‌های زیرین
منبع: نگارندگان



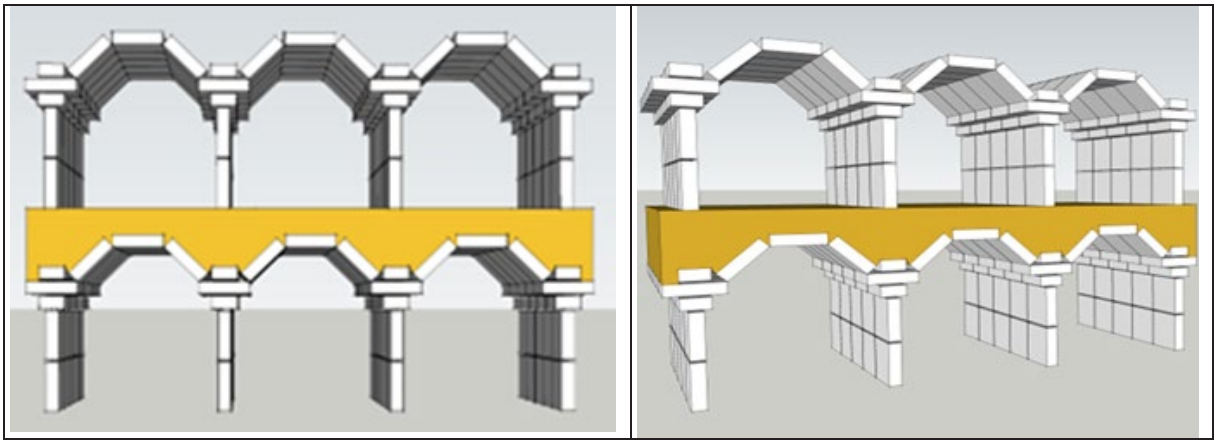
شکل ۱۶. نحوهٔ انتقال نیرو از طریق پوشش چپیله
منبع: نگارندگان

می‌گیرد (کمانش در عضوهای تحت فشار مانند ستون و دیوار رخ می‌دهد) و ناپایدارتر است. در این حالت، به‌جای ساختن ستون‌های دراز و باریک، دو ردیف ستون با ارتفاع کمتر ساخته می‌شوند؛ بنابراین در قیدهای دوطبقه، یک ستون دراز به دو ستون کوتاه تبدیل شده و این مانع کمانش و ناپایداری می‌شود.

گفتنی است، قیدها به‌صورت یک‌طبقه (شکل ۱۷) و گاه دوطبقه (شکل ۱۸، ۱۹) و همیشه عمود بر طاق یا دیوار زیرین اجرا می‌شده‌اند. قیدها زمانی به‌صورت دوطبقه ساخته می‌شوند که ارتفاع ایجاد کانه‌بندی زیاد باشد. دیواره‌های قیدها رفتار ستون‌های لاغر را از خود نشان می‌دهند. هرچه ارتفاع ستون بیشتر شود، بیشتر در معرض کمانش قرار

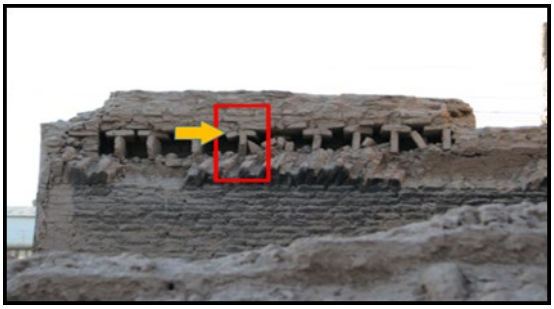
شکل ۱۷. اجرای قید به‌صورت یک‌طبقه (خانه‌ای در میبد)
منبع: نگارندگان

شکل ۱۸. اجرای قید به‌صورت دوطبقه (به‌ترتیب بافت تاریخی یزد، اردکان)
منبع: نگارندگان



شکل ۱۹. مدل سه‌بعدی از قیدبندی دوطبقه از دو جهت روبه‌رو و پهلو
منبع: نگارندگان

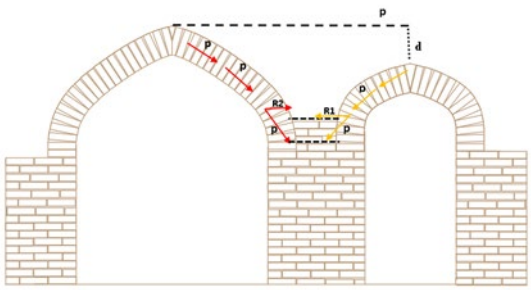
ذکر این نکته ضروری است که نقطهٔ ضعف اجرای قید با پوشش پتکین، عدم مقاومت خشت‌های افقی است که روی دیوارهٔ قیدها قرار گرفته و می‌شکنند (شکل ۲۰). استادکاران سنتی در یزد برای این مورد، اصطلاح «خشت نرم شده است» را به کار می‌بردند و برای حل این مشکل، از آجر به‌جای خشت استفاده کرده‌اند (شکل ۲۰). در پوشش چپیله نیز از خشت در پایهٔ ستون استفاده کرده‌اند. درضمن باید توجه کرد که پوشش چپیله، مقاومت بیشتری نسبت به پوشش پتکین دارد.



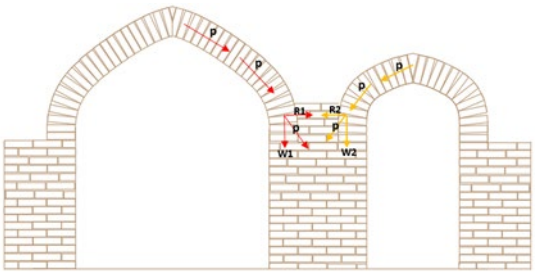
شکل۲۰. به‌ترتیب تغییر شکل‌دادن خشت روی دیوارهٔ قید در پوشش پتکین، استفاده از آجر در پایهٔ قید (محلهٔ سید گلسرخ یزد)
منبع: نگارندگان

محل ساخت قید در ساختمان‌های سنتی

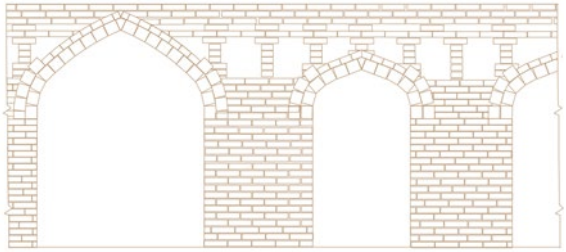
همیشه نیاز است در قسمت‌هایی از بنا که به میزان زیادی تحت فشار بار قرار می‌گیرند، سازه سبک شود. قیدها نیز در این قسمت‌ها اجرا می‌شوند. همچنین در بناهایی که از چفدهای متفاوت در طاق‌ها استفاده می‌شود و عرض دهانهٔ طاق‌ها با یکدیگر متفاوت‌اند، در دهانه‌های متفاوت تیزهٔ طاق‌ها در یک ارتفاع قرار نمی‌گیرند (در شکل ۲۱، اختلاف ارتفاع تیزه‌ها با AB نشان داده شده است). در این حالت، نیروی رانش که به ترازهای مختلفی از طاق‌ها وارد می‌شود، ایجاد خطر کرده و هنگامی که احتیاج به صاف‌کردن سطح برای ساخت طبقهٔ فوقانی باشد، از «قیدبندی» استفاده می‌کنند. در این حالت، پاطاق‌ها را در یک ارتفاع می‌گیرند (شکل ۲۲) و اختلاف ارتفاع ایجادشده را با قیدبندی، جبران می‌کنند (شکل ۲۳). در قسمت‌های دیگری از بناهای تاریخی مانند کنج‌های ایجاد شده بین تویزه‌هایی که طاق را تشکیل داده‌اند (شکل ۲۳) گاهی بر روی دیوار باربر زیرین (شکل۲۴) و همچنین فاصلهٔ بین ایوان طبقهٔ همکف و طاق‌های زیرزمین، زمانی که ایوان روی زیرزمین ساخته شده، برای دستیابی به سطح صاف ایوان است (شکل ۲۵). در قسمت بالای نعل درگاه‌ها به علت اینکه ایجاد درب باعث از میان رفتن پیوستگی دیوار گردیده و میزان تنش در قسمت بالای نعل درگاه زیاد می‌گردد برای کاستن از فشار وارد شده بر این قسمت، اقدام به ساختن قید می‌کرده‌اند (شکل ۲۶).



شکل۲۱. قرارگرفتن تیزه‌ها در دو ارتفاع متفاوت و ایجاد مشکلات رانشی
منبع: نگارندگان



شکل ۲۲. قرارگرفتن پاکار طاق‌ها در یک ارتفاع و حل مشکل رانش. منبع: نگارندگان



شکل۲۳. قیدبندی در فاصلهٔ دو تیزه در ارتفاع متفاوت
منبع: نگارندگان

شکل ۲۴. اجرای قید در کنج ایجادشده بین دو تویزه (خانهٔ یزدیان زواره)، منبع: نگارندگان

شکل ۲۷. اجرای قید در فاصلهٔ بین ایوان و زیرزمین
منبع: (Tehrani, 2008)

شکل۲۵. اجرای قید روی دیوار باربر زیرین
منبع: نگارندگان

شکل ۲۸. محل قرارگیری دیوارهها در طاق کژاوه

شکل ۲۶. اجرای قید روی نعل درگاه (خانهٔ تاریخی مروج یزد)
منبع: نگارندگان

شکل ۲۹. اجرای قیدبندی روی طاق کجاوه (محلهٔ زرتشتیان یزد)
منبع: نگارندگان

در ادامه به بررسی چگونگی روش ساخت قیدبندی در طاق کژاوه پرداخته خواهد شد (شکل ۲۸). در طاق کژاوه، محل قرارگیری دیوارهٔ قیدها به گونهٔ زیر است: یک دیواره روی تیزه، یک دیواره روی تویزه و دیگری بین این دو قرار می‌گیرد (شکل۲۹).

کنوبندی

کنوبندی نیز مانند قیدبندی، روش رایج دیگری در سبک‌سازی بناهای تاریخی بوده است. بنّاها در اصطلاح کنوبندی را کنوشکستن می‌گویند. کنو طاقی کوچک به ضخامت یک یا نیم آجر است که در جهت خلاف طاق اصلی (معمولاً آهنگ) زده

می‌شود (شکل ۳۰). برای تامین پایداری طاق لازم است که برآیند بارها از طریق تکیه‌گاه‌ها به پی و زمین منتقل شوند. مساله اصلی در این انتقال، بستگی به جهت کم و بیش مایل برآیند بارها دارد. در سطح عمودی به‌وسیله تکیه‌گاه‌هاست که برآیند بارها با خطر خارج شدن یا لااقل دورشدن از مرکز ثقل مواد و مصالح رو به رو می‌شود بنابراین لازم است که در سطح تکیه‌گاه‌ها از مواد و مصالح نسبتا ضخیم استفاده کرد تا بتواند نیروی رانش افقی را در خود جذب نماید (Besenval, 2001). کنو علاوه‌بر آنکه جلوی رانش طاق را از دو طرف می‌گیرد، مقاومت خوبی در برابر زلزله ایجاد کرده و به‌علت مجوف‌شدن فاصلهٔ بین دو طاق، بام سبک می‌شود. روی آن را می‌توان صاف کرد و عایق خوبی از لحاظ انتقال سرما و گرماست (Pirnia, 1994). وقتی شیب بام را با کنوبندی حل کنند، به آن کنوشکستن می‌گویند (Pirnia, 1994). به‌طورکلی می‌توان گفت که کنو، نوعی طاق کوچک با اجرای لاپوش یا ضربی است که الزاماً یک وجه قرارگیری آن روی طاق اصلی است این طاق کوچک در بیشتر موارد هم‌جهت با طاق اصلی و در موارد اندکی عمود بر طاق اصلی دیده می‌شود. کنوهای عمود بر طاق اصلی به‌ندرت در ساختمان‌ها و بیشتر در پل‌های تاریخی دیده می‌شود که در ادامه به آن مفصلا پرداخته خواهد شد.

شکل ۳۰. کنوبندی (بلوار بسیج یزد)
منبع: نگارندگان

شکل ۳۱. اجرای کنو به‌صورت چپیله
منبع: نگارندگان

۳۲. اجرای کنو با روش ضربی
منبع: نگارندگان

نحوهٔ آجرچینی کنو

در این بخش، به نحوهٔ اجرای کنو از نظر نوع آجرچینی پوشش و نحوهٔ قرارگیری کنو پرداخته خواهد شد. کنوها پوششی دارند که شبیه طاق است و با دو روش آجرچینی ضربی و چپیله اجرا می‌شود (شکل‌های ۳۱ و ۳۲). در روش چپیله، به‌علت مقاومت کم این نوع اجرا، روی آن را چند رج پالانه می‌کنند (Pirnia,1994).

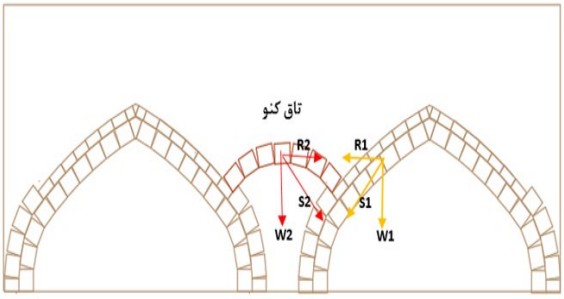
کنوها برخلاف قیدها که همیشه هم‌جهت با طاق یا دیوار باربر زیرین هستند، در دو جهت عمود بر طاق زیرین (شکل ۳۳) ویا هم‌محور(شکل ۳۴) با طاق زیرین و گاهی به‌صورت عمود و موازی به‌صورت یک‌جا دیده می‌شوند.

شکل ۳۳. کنو عمود بر طاق اصلی (پل مشیر بوشهر)
منبع: نگارندگان

شکل ۳۴. کنو در جهت طاق اصلی
منبع: نگارندگان

نحوهٔ کنترل رانش توسط طاق کنو

رفتار قوسی به‌صورت استثنایی کارآمد است و به مصالح اجازه می‌دهد به بهترین صورت عمل کنند: فشار در قوس‌ها و طاق‌ها و کشش در کابل‌ها (Croci,1998) خط رانش قوس از مجموعه برآیندهای حاصل از نیروی وزن و عملکرد گوه‌ای اجزای طاق به وجود می‌آید (Heydari,1999) در طاق‌ها، عکس‌العمل‌های افقی به‌همراه عکس‌العمل‌های عمودی و نیروهای وارد بر قوس، خط نیروهای برآیند یا منحنی فشار را ایجاد می‌کنند که نشان‌دهندهٔ خطی است که نیروهای برآیند در طول آن عبور می‌کنند (Croci,1998) هرگاه بتوان عکس‌العمل افقی (رانش) در طاق را کاهش داد، طاق پایدارتر خواهد بود (Heydari,1999). مؤلفهٔ افقی (نیروی رانشی) همواره تهدیدی برای برهم زدن تعادل چفد به‌خصوص در مواردی است که بار زیادی قرار است به طاق وارد شود. در این حالت معماران برای دفع نیروی رانشی اقدام به کنوسازی بین دو طاق کرده‌اند که نه‌تنها باعث سبک‌کردن وزن ساختمان و ایجاد سطحی صاف روی پشت‌بام یا جهت ساختن طبقه‌ای دیگر روی بنا می‌شود، بلکه نیروی رانشی را به‌طرز مؤثری کاهش می‌دهد. مؤلفهٔ نیروهای رانشی توسط یکدیگر خنثی می‌شود و این به تعادل طاق کمک می‌کند (شکل ۳۵).

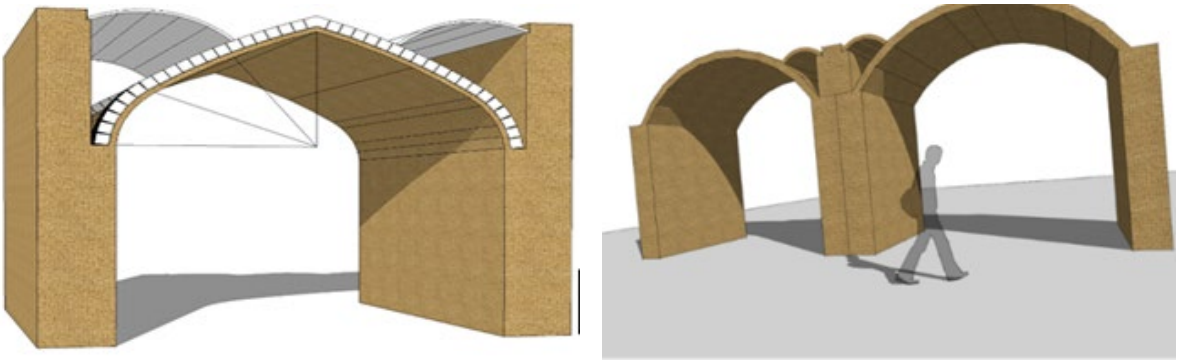


شکل ۳۵. کمک به مهار رانش طاق اصلی با استفاده از کنوبندی
منبع: نگارندگان

واضح است که عکس‌العمل رانشی نسبت عکس با ارتفاع قوس دارد؛ بنابراین هرچه خیز قوس بیشتر باشد، نیروی رانشی کمتر بوده و به میزان زیادی مهار می‌شود، ولی گاهی به‌خصوص در دهانه‌های بزرگ، امکان اجرای قوس با خیز زیاد وجود ندارد و باید قوس با خیز کم اجرا شود. در این حالت برای مهار نیروی رانشی، کنوبندی در طرفین طاق نقش بسیار مهمی در دفع رانش دارد (شکل ۳۵) و معمولاً توسط معماران حاذق برای پایداری بیشتر طاق‌های قوسی به کار گرفته می‌شده است.

شکل ۳۶. اجرای طاق در دهانهٔ بزرگ و استفاده از قوس با خیز کم و مهار رانش با کنوبندی (خانهٔ مروج یزد)
منبع: نگارندگان

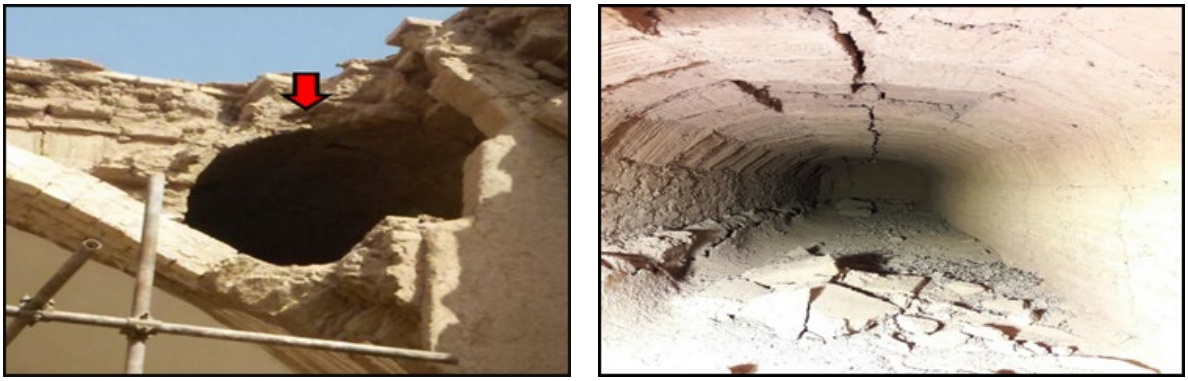
محل قرارگیری طاق کنو بسیار مهم است. همان‌طور که مشخص است، طاق در ناحیهٔ شکن‌گاه (زاویهٔ ۲۲/۵ درجه نسبت به سطح افق) رو به بیرون می‌شکند و در ناحیهٔ ایوارگاه (زاویهٔ ۶۷/۵ درجه نسبت به سطح افق) رو به تو می‌چاکد (Pirnia,1994)؛ بنابراین بهترین محل قرارگیری کنو روی شکن‌گاه است (شکل ۳۶)، تا بتواند نیروی رانشی وارده از سمت طاق را خنثی کند، ولی در عمل مشاهده می‌شود در بعضی موارد، کنوها در فاصلهٔ شکن‌گاه تا ایوارگاه طاق قرار گرفته‌اند (شکل ۳۷ و ۳۸). این نوع اجرا سبب می‌شود رفتاری که از کنو انتظار می‌رود (به‌خصوص در شرایطی مانند زلزله) را از خود بروز ندهد و درنتیجه کارایی مناسب را به‌ویژه در مواقع بحران نداشته باشد.



شکل ۳۷. سه‌بعدی از محل مناسب قرارگیری کنو روی شکن‌گاه و سه‌بعدی محل نامناسب قرارگیری کنو روی ایوارگاه
منبع: نگارندگان

شکل ۳۸. محل نامناسب قرارگیری طاق کنو
منبع: نگارندگان

ابعاد کنو به بزرگی و ابعاد طاق‌هایی که کنو روی آن اجرا شده، بستگی دارد؛ بنابراین تنوع در اندازهٔ کنوها بسیار مشاهده می‌شود. گاه کنوها چنان بزرگ اجرا می‌شده‌اند که فرد به‌راحتی می‌توانسته درون آن وارد شود (شکل ۳۹). در زمان‌های گذشته از این کنوها برای مخفی‌شدن یا پنهان‌کردن اشیای باارزش استفاده می‌کرده‌اند (مصاحبه با افراد محلی، ۱۳۹۴).

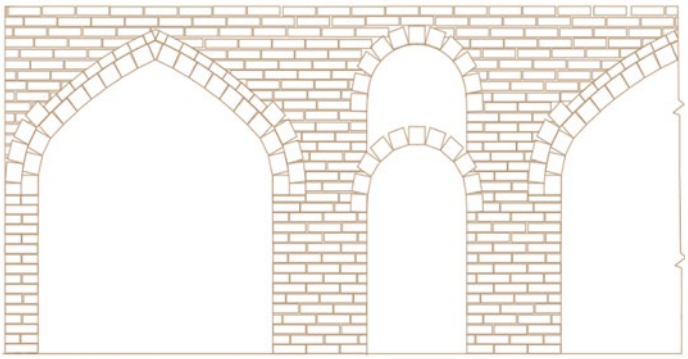


شکل ۳۹. ابعاد بزرگ کنو (خانهٔ تاریخی مروج یزد)
منبع: نگارندگان

گاهی مشاهده می‌شود که هر دو روش کنوسازی و قیدبندی به‌صورت هم‌زمان برای سبک‌سازی هر چه بیشتر بنا به کار گرفته شده‌اند (شکل ۴۰).

شکل ۴۰. اجرای کنوبندی و قیدبندی به‌صورت هم‌زمان (خانهٔ مروج یزد) به‌همراه مدل سه‌بعدی
منبع: نگارندگان

ذکر این نکته ضروری است که در مواقعی، با طاق‌هایی مواجه می‌شویم که در ابتدا طاق کنو تصور می‌شود، ولی با دقت می‌توان دریافت این طاق‌های کوچک کاذب بوده و برای یکسان‌سازی قوس‌های با دهانهٔ بزرگ با قوس‌های با دهانهٔ کوچک‌تر که در مجاورش قرار دارد، ایجاد شده است (شکل ۴۰). به این ترتیب که ابتدا دیوارک‌هایی در طرفین قوس اصلی ساخته و سپس این پوشش کاذب روی آن اجرا می‌شود (شکل ۴۱).



شکل ۴۱. طاق کاذب برای افزایش ارتفاع (خانهٔ تاریخی مروج یزد)
منبع: نگارندگان

گفتنی است اثر تخریبی زلزله روی کنوی دارای ارتفاع بلندتر نسبت به کنو با ارتفاع کمتر، بیشتر است.

بررسی کنوبندی در پل‌های تاریخی

هنگام طرح و اجرای یک پل با دهانهٔ طویل، وزن بسیار سنگین سازه، اثرات دینامیکی بارهای متحرک و اثرات دینامیکی فشار باد، مسائلی را پدید می‌آورد که حل آنها نیازمند اطلاعات و معلومات، قوهٔ ابتکار، مهارت و نیز ذوق و نبوغ مهندسی در بالاترین سطح است (Morgan,1977). پل‌های تاریخی ایران بیشتر از نوع قوسی هستند. در پل‌های قوسی، قوس، عضو اصلی سازه به‌شمار می‌رود و بارهای وارده را به پایه‌های جناحی یعنی نقاطی که قوس از آنها برمی‌خیزد انتقال می‌دهد. قسمتی از سازهٔ پل که بالاتر از حلقهٔ پل قرار دارد، پشت بغل نامیده می‌شود (Morgan,1977). پشت بغل در صورتی که با خاک پر شود، وزن بسیار زیادی را بر سازهٔ پل تحمیل می‌کند. معماران با استفاده از فرم مناسب چشمهٔ طاق‌ها، کنوها و احداث اطاق روی پل، علاوه‌بر تأمین ایستایی و سبک‌سازی سازهٔ پل، از فضاهای معماری مورد نیاز نیز بهره‌برداری می‌کرده‌اند. کنوها در پل‌های تاریخی، به هر دو صورت موازی و عمود بر طاق دهانهٔ پل هستند و به‌صورت پنهان و آشکار و یک‌طبقه یا دوطبقه دیده می‌شوند.

۱. کنوهای پنهان

این دسته کنوها قابل‌رؤیت در نمای پل‌ها نیستند. این گروه از کنوها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف) عمود بر قوس‌های اصلی

در پل‌ها، کنوسازی در جهت عمود بر طاق اصلی (شکل ۴۲) به‌منظور سبک‌کردن طاق‌هاست؛ زیرا در پل‌هایی که دارای طاق‌های بزرگ هستند، حجم پشت بغل طاق زیاد است و چنانچه با مصالح پر شود، وزن طاق به میزان زیادی افزایش می‌یابد؛ بنابراین کنوسازی در پشت بغل‌ها انجام می‌شود.

ب) کنوهای هم‌جهت با طاق اصلی

این کنوها به دلایل زیر ساخته می‌شوند:

۱. تکیهٔ طاق‌های کنو به شکن‌گاه قوس اصلی است؛ درنتیجه نیروی رانش کنوها به‌سمت شکن‌گاه قوس اصلی وارد شده و نیروی رانش قوس اصلی را کاهش می‌دهد.

۲. ایجاد سطح صاف برای عبور و مرور (عبورگاه پل)؛

۳. سبک‌شدن و کاهش فشار به طاق‌ها (شکل ۴۳).

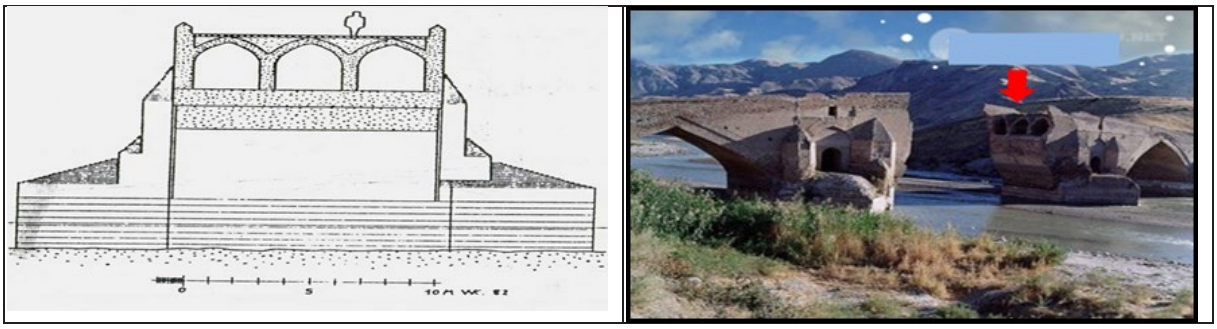
۲. کنوهای آشکار

این کنوها همواره در جهت قوس‌های اصلی پل ساخته می‌شوند (شکل ۴۴). دلیل ساخت این نوع کنوها علاوه‌بر سبک‌سازی و کاهش وزن سازه عوامل زیر هستند:

۱. ایجاد دهانه‌های کوچک در جرز بین طاق‌های اصلی که در این صورت جرزها کوچک‌تر و مصرف مصالح کمتر می‌شود. در مواقع طغیان، جرزهای کوچک‌تر به عبور جریان و تخلیهٔ سریع‌تر سیلاب کمک می‌کنند.

۲. جریان هوا به‌صورت کوران در این دهانه‌های کوچک برقرار می‌شود؛ بنابراین باعث تبخیر رطوبت جرزها شده و رطوبت را در آنها به حداقل می‌رساند.

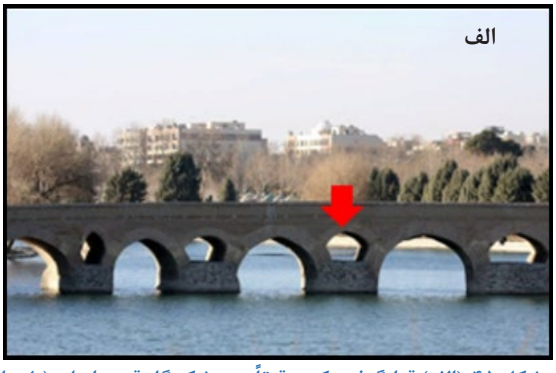
۳. کمک به شیب‌بندی پل.



شکل ۴۲. به‌ترتیب کنوی پنهان عمود بر قوس اصلی (پل‌دختر میانه) و مقطع کنوی پنهان عمود بر قوس اصلی
منبع: (Tehrani, 2008)

شکل ۴۳. کنوی پنهان و هم‌جهت با قوس اصلی، مکان عکس‌ها به‌ترتیب، پل کشکان کرمانشاه و پل لیقوان تبریز منبع: اینترنت

شکل ۴۴. کنوی آشکار، مکان عکس‌ها به‌ترتیب، پل شادروان شوشتر، پل ونیار آذربایجان شرقی
منبع: اینترنت



شکل ۴۵. (الف) قرارگرفتن کنو دقیقاً روی شکن‌گاه قوس اصلی (پل مارنان اصفهان)؛ (ب) قرارگرفتن کنو با فاصله از قوس اصلی (پل کلخوران اردبیل)
منبع: اینترنت

کنوهای آشکار به دو صورت ساخته می‌شدند: در روش اول، با اجرای دیوارک‌هایی در راستای قوس چشمه‌ها، طراحی و اجرا می‌شدند(شکل ۴۵ ب) و در روش دیگر، دقیقاً روی شکن‌گاه طاق اصلی قرار می‌گرفتند (شکل ۴۵ الف). در این حالت برخلاف روش قبلی، نقش اصلی آنها تعادل نیروها و جلوگیری از رانش و در درجهٔ بعدی کاستن از وزن سازه است. کنوها در پل‌های تاریخی، گاه به‌صورت دوطبقه ساخته می‌شدند که در این حالت همواره در راستای قوس‌های اصلی پل هستند (شکل ۴۶).

با توجه به تنوع اجرای کنوها در پل های تاریخی اشکال مختلف کنوها در جدولی (جدول ۳) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول ۳. مقایسهٔ انواع کنوها در پل‌های تاریخی

کنو	وضعیت قرار گیری	نمونه
پنهان	عمود بر قوسهای اصلی پل	
	هم جهت با قوس اصلی پل	
آشکار	همواره هم جهت با قوسهای اصلی پل	
دو طبقه	هم جهت با قوسهای اصلی پل	
هر دو نوع پنهان و آشکار به صورت یکجا	کنوی آشکار: هم جهت با قوسهای اصلی پل کنوی پنهان: عمود یا موازی باقوسهای اصلی پل	

منبع: نگارندگان

شکل ۴۶. کنوی آشکار و دوطبقهٔ مکان‌ها به‌ترتیب، پل لاتیدان هرمزگان و پل میر بهاءالدین زنجان
منبع: اینترنت

سایر روش‌های سبک‌سازی طاق‌ها

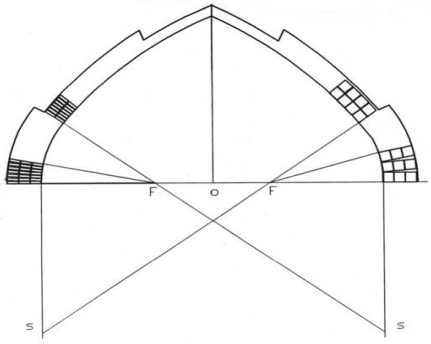
نوع دیگری از سبک‌سازی طاق‌ها، استفاده از سفال در فصل مشترک طاق‌هاست (شکل ۴۷) که از این روش، در شهرهای کویری مانند میبد و اردکان به‌دلیل تولید انبوه سفال (حرفهٔ اکثر مردم این مناطق سفال‌سازی است) استفاده می‌شود. فرهنگ استفادهٔ بهینه و قناعت نیز سبب شده تا از خمره‌های (چمانه) شکسته‌شده در سبک‌سازی‌ها استفاده شود.

شکل ۴۷. به کار بردن خمره‌های سفالی برای سبک‌سازی طاق (بافت تاریخی میبد)
منبع: نگارندگان

همان‌طور که بیان شد، روشی دیگر در سبک‌سازی طاق‌ها ایجاد صندوقه است. در بعضی اوقات که خیز قوس زیاد باشد، ابتدا دیوارک‌هایی در جهت یا عمود بر طاق اصلی اجرا و سپس روی آن را چپیله می‌کنند (شکل ۴۸). فضاهای خالی ایجادشده باعث سبک‌شدن طاق می‌شدند. گاهی حفره‌هایی در نمای بیرونی دیوارک‌ها اجرا می‌شد که باعث سیرکوله‌شدن هوا می‌شد. فضای داخلی صندوقه‌ها غیرقابل استفاده و دسترسی به داخل آن مشکل است. این صندوقه‌ها معمولاً پس از اتمام سازه به بنا الحاق می‌شوند و جزء سازهٔ بنا محسوب نمی‌شوند.

شکل ۴۸. صندوقه‌سازی در طاق شکل‌ها به‌ترتیب از راست، خانه‌ای در یزد، آسیاب ناژوان اصفهان
منبع: نگارندگان

کاهش وزن تویزه باعث سبک‌ترشدن وزن ساختمان و کاهش آسیب به بنا در هنگام وقوع زلزله می‌شود. برای این منظور، کاهش وزن تویزه یک‌بار در شکن‌گاه و یک‌بار در ایوارگاه انجام می‌شود (شکل ۴۹).



شکل ۴۹. کاهش وزن تویزه در شکن‌گاه و ایوارگاه
منبع: (Tehrani, 2008)

در انتهای مقاله به چند روش سبک‌سازی دیوارها در بناهای تاریخی اشاره می‌شود:

سبک‌سازی دیوارها

از آنجا که تویزه‌ها حکم جرز را دارند و بارهای وارده از طاق را به زمین منتقل می‌کنند، دیوار بین تویزه‌ها، نباید و نمی‌تواند به ضخامت تویزه‌ها باشد. قرن هشتم هجری، دیوار بین تویزه‌ها، با همان ضخامت تویزه‌ها اجرا می‌شد، ولی به‌تدریج معماران متوجه شدند، چون بر دیوارهای بین دو تویزه بار چندانی وارد نمی‌آید، پس دیوار در محل اتصال بین دیوار و تویزه شکست می‌خورد؛ بنابراین این نقیصه را برطرف کردند و دیوارها سبک اجرا شدند (Pirnia, 1994). سبک‌کردن دیوار بین تویزه‌ها به این صورت است که در پایین دیوار طاقچه‌ای با حدود فاصلهٔ نیم‌متر از زمین و احداث رف در بالای آن، دیوار را به‌اندازهٔ دلخواه سبک می‌کنند (Pirnia, 1994) (شکل ۵۰). در تعریف رف در فرهنگ فارسی معین آمده است: طاقچهٔ باریک که در سرتاسر دیوار با گچ درست کنند. در تعریف طاقچه این‌گونه بیان شده است: قسمت فرورفته در دیوار اطاق فرودتر از رف که برای نهادن اشیا و لوازم خانه سازند. در بازارهای قدیمی مشاهده می‌شود که درب مغازه‌ها درست در فاصلهٔ بین تویزه‌ها قرار گرفته است. به این ترتیب هم دیوار بین تویزه‌ها سبک می‌شده و هم فضای لازم برای مغازه ایجاد می‌شده است.

شکل ۵۰. ایجاد طاقچه و رف در دیوار (عمارت امیرآباد زواره)و دهانهٔ مغازه در فاصلهٔ بین دو تویزه
منبع: نگارندگان

روش دیگر برای سبک‌سازی دیوارها صندوقه‌سازی است، در این روش، بین هر چهارخشت یا آجر، یک فضای خالی به وجود می‌آید (شکل ۵۱) و در این حالت، دیوار بسیار سبک شده و با کمترین تعداد آجر یک حجم مشخص دیوار ساخته خواهد شد. گفتنی است این روش، تنها در دیوارهای غیر باربر قابلیت اجرایی دارد.

در بسیاری از مواقع از درو روش صندوقه چینی و قید بندی همزمان استفاده می‌شود (شکل ۵۲).

شکل ۵۱. صندوقه‌سازی در دیوارها مکان‌ها به‌ترتیب، محلهٔ ناژوان اصفهان و خانه‌ای در محلهٔ تل یزد
منبع: نگارندگان

شکل ۵۲. استفاده از دو روش قیدبندی و صندوقه‌چینی به‌صورت همزمان (محلهٔ تل یزد)
منبع: نگارندگان

تأثیر سبک‌سازی بر کاهش آسیب به بنا هنگام زلزله

همان‌گونه که مشخص است، جرم برابر است با نسبت وزن به شتاب گرانش زمین؛ یعنی $m=(w/g) \rightarrow F=(w/g)a$.

حال اگر این رابطه را به سازه نسبت دهیم، w همان وزن سازه خواهد بود. با توجه به این روابط خواهیم فهمید هرچه جرم یا وزن سازه بیشتر باشد، نیروی ایجادشده در اثر زلزله در سازه بیشتر و شتاب آن کمتر خواهد بود. در محاسبهٔ نیروی زلزله به‌جای وزن سازه از وزن مؤثر لرزه‌ای استفاده می‌کنیم. وزن مؤثر لرزه‌ای، براساس بند ۳-۳-۱-۱ استاندارد ۲۸۰۰ شامل w، شامل بارهای مرده، وزن تأسیسات ثابت و وزن دیوارهای تقسیم‌کننده به‌اضافهٔ درصدی از بار زنده و برف است. بارهای ثابت ناشی از وزن ساختمان، همان بارهای مرده هستند. با توجه به روابط ذکرشده مشخص است با کاهش وزن تمام‌شدهٔ بنا، در سازه‌های سنتی با تکنیک‌های سبک‌سازی، از میزان نیروی تخریبی زلزله در بنا به‌طرز مؤثری کاسته و بر عمر بنا افزوده خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این نوشتار، انواع روش‌های سبک‌سازی در بناهای تاریخی بررسی و به‌منظور درک صحیح‌تر، همراه با شکل و مدل‌سازی ارائه شد. استفاده از روش‌های مختلف سبک‌سازی، باعث کاهش چشمگیر وزن سازه می‌شود (به‌خصوص زمانی که از چند روش به‌صورت هم‌زمان استفاده شود). هریک از روش‌های سبک‌سازی برحسب تشخیص معمار اجرا می‌شده است. از قیدها به‌صورت گسترده بر روی دیوارهای باربر برای کاهش وزن انتقالی سقف به دیوار یا زمانی که طاق‌ها ایجاد فصل مشترک کرده، برای پرهیز از پرکردن این فضا با خاک و تحمیل وزن اضافی بنا و یا در مواقعی که دهانه‌های طاق‌ها از لحاظ افریز متفاوت و ارتفاع تیزه‌ها نیز یکسان نیست و نیروهای رانشی ایجاد مسائل جدی می‌نماید، با استفاده از قیدبندی، می‌توان به سطوح صاف دست یافت و تعادل نیروها را برقرار کرد.

کنوها نوعی طاق‌های کوچک هستند که در بیشتر موارد هم‌محور با طاق اصلی اجرا می‌شده‌اند، برای سبک ساختن طاق‌ها به کار رفته و با مهار نیروی رانشی وارده از طاق به تعادل بنا، به‌خصوص در زمان اجرای دهانه‌های بزرگ، کمک فراوانی می‌نموده‌اند. سایر روش‌های سبک‌سازی مانند استفاده از سفال در فصل مشترک طاق‌ها، صندوقه‌کردن دیوارهای غیرباربر، صندوقه‌سازی روی پشت‌بام هریک به فراخور خود، به کاهش وزن تمام‌شدهٔ بنا کمک می‌کرده‌اند. همچنین در سازه‌های سنتی به‌دلیل ابعاد بزرگ و ضخیم‌بودن دیوارها و همچنین سنگینی مصالح، وزن ساختمان بسیار زیاد می‌شود و از این‌رو نیروی زمین‌لرزه، که نسبت مستقیم با وزن بنا دارد، تخریب گسترده‌ای در این سازه‌ها ایجاد می‌کند که با استفاده از تکنیک‌های سبک ساختن بناهای سنتی از میزان تخریب به طرز چشمگیری، کاسته خواهد شد.

سپاسگزاری

وجود ندارد.

منابع مالی

ندارد.

تعارض منافع

بین نویسندگان تعارضی در منافع وجود ندارد.

References

Besenval, R. (2001). *Vault technology in the ancient east*, transleted by Habibi Mohsen, Tehran, Iran cultural heritage organization

Cigni, G. (2004). *Consolidation of brick structures*, translated by Iranfar Saeed, Tehran, Department of Housing and Urban Development

Croci, G. (1998). *The conservation and structural restoration of architectural heritage*, translated by Aytollah zadeh Bagher & Hejazi mehrdad, Cultural Research Office

Heydari, D. (1999), Hydraulic survey of historic bridges, The Second *Bam Congress*.

Pirnia, K. (1994). Archs and vaults. *Athar*, no24

Ketabi, E. (2014). Various styles of lightening weight in historical buildings; A solution for a sustainable structure in Iranian architecture, *National Conference on Sustainable Architecture and Urban Planning*.

Morgan, W. (1977). *Behaviour of components of structures*, translated by Badiee, Majid, Tehran: Tehran University.

Moin, M. (1971). *Persian Dictionary*, Tehran: Amikabir.

Tehrani, F. (2008). Weight lightening of roof in the masonary buildings, *Athar.* 19 (29-30), 232-238.

Vafamehr, M. (2005). A study of a sample of technology in Iranian Islamic architecture to lighten the weight of the building with local materials.

Website of Civil Engineering Association, http://www.mycivil.ir.