

بنام خدا

هماهنگی سازه های نوین با معماری اسلامی و سنتی

مهندس مهدی عزیزیان

مهندسان مشاور آستان قدس رضوی، رئیس هیئت مدیره

تلفن ۸۸۰۸۸۸۵۸، شماره: ۸۸۰۶۵۴۵ پست الکترونیکی M.Azizian@reorazavi.org

مهندسان مشاور آستان قدس رضوی، استاد دانشکده معماری دانشگاه تهران

تلفن ۸۸۰۸۸۸۵۸، شماره: ۸۸۰۶۵۴۵ پست الکترونیکی golabchi@ut.ac.ir

دکتر پیمان همایی

مهندسان مشاور آستان قدس رضوی،

تلفن ۸۸۰۸۸۸۵۸، شماره: ۸۸۰۶۵۴۵ پست الکترونیکی: Homamip@modares.ac.ir

۱- چکیده

همگام با توسعه فن آوری، روشها و مصالح مورد استفاده برای ساخت سازه ها متحول شده اند و این امکان فراهم شده است که فرمهای متنوع معماری گسترش پیدا نمایند. در گذشته محدودیت های سازه ای اغلب عاملی بود که معماری با سازه تطابق پیدا میکرد بعنوان مثال شکل گیری فرمهای قوس و گنبد، به احتمال قوی ابتدا "منتج از محدودیتهای باربری مصالح و روشهای ساخت بوده و فرمهای چشم نوازی که برای آنها خلق شده است ممکن است تلاش معماری برای تطابق با سازه تلقی گردد. در حالیکه امروزه این سازه است که میتواند با معماری تطابق پیدا کند و حتی جامه عمل پوشاندن به طرح های جدید، مسیر تحول و توسعه صنعت ساختمان را تعیین میکند.

جایگزینی مصالحی چون فولاد، بتن مسلح و کامپوزیتها بجای خشت، آجر و سنگ در ساختمانها، موجب افزایش استحکام و ایمنی سازه ها و در عین حال، کاهش وزن و حجم اندامهای باربر شده است. در ساختمان هایی با معماری اسلامی و سنتی، حفظ تناسب ابعاد در ارتفاع، دهانه و احجام معماری یکی از مهمترین قیدهای طراحی هستند. این احجام معماری میتوانند بصورت کاذب ساخته و بعنوان اجزای الحاقی به سازه اصلی متصل شوند و یا میتوان سازه را با این احجام هماهنگ نمود و حجم معماری را توأم با اجرای سازه، ایجاد کرد. در مجموعه طرح توسعه حرم مطهر امام رضا(ع) تجربه هر دو شیوه طرح و اجرا بکار بسته شده است و در این مقاله به مقایسه کیفی این دو مقوله پرداخته میشود و نهایتاً توصیه هایی برای انتخاب هر یک از گزینه های مورد بحث ارائه می گردد.

۱- کلید واژه ها

معماری اسلامی، طراحی بهینه سازه ها، سازه های الحاقی

شاخصه اصلی سازه های نوین، طراحی بهینه آنهاست. در حالیکه رسیدن به طرح بهینه همواره مورد توجه بوده اما تحقق آن در سایه تحولات فن آوری میسر گردیده است. به این معنا که به هنگام طراحی انتخاب نوع مصالح، سیستم سازه و پیکربندی آن بنحوی است که ضمن تأمین ایمنی مطلوب و اهداف عملکردی، حتی المقدور با استفاده از کمترین هزینه حداکثر بازدهی از سیستم سازه بدست آید. با این توضیح روشن است که تابع هدف در طراحی ها رسیدن به کمترین هزینه است و هزینه شامل متغیرهایی چون مصالح مصرفی، دستمزد و زمان اجرا است. قیدهایی که برای پیدا کردن طرح بهینه باید رعایت شوند ابتدا تأمین ایمنی مطلوب و سپس تطابق سازه با معماری است. این دو قید طراحی در ادوار مختلف، متناسب با امکانات آن دوره، بصور مختلف بر طرحهای سازه و حتی بر طرح معماری تأثیر گذارده اند. بنظر می رسد، با توسعه فن آوری و فراهم شدن امکان هماهنگی هر چه بیشتر سازه و معماری، کاهش مصالح مصرفی بعنوان یکی از معیارهای طرح بهینه، محقق شده است. اما این استنتاج کلی، تا چه حد در سازه های با فرم معماری سنتی و ایرانی - اسلامی تحقق می یابد.

در تجربه عملی که در طرح توسعه حریم حرم مطهر امام رضا(ع) بدست آمده است، مقایسه ای بین هزینه پروژه، در چند طرح مختلف، انجام شده است و نتایج کلی آن در این مقاله ارائه شده است. بطور کلی این طرحها با دو روش طرح و ساخت متفاوت به اجرا در آمده اند، که این دو روش عبارتند از:

الف - طرح سازه فضایی هماهنگ با حجم معماری (ایجاد یکباره حجم معماری با المانهای سازه ای)

ب - طرح سازه قابی شکل که حجم معماری بصورت پوسته تزئینی و توسط اجزای الحاقی به آن متصل شده است



شکل (۱) - دو روش طرح و ساخت در کنار یکدیگر.

در بخشهای بعد ضمن معرفی پروژه های مورد مطالعه، معایب و محاسن هر یک از روشهای پیش گفته که در آن پروژه ها بکار رفته است تشریح شده است.

۳- سازه هماهنگ با معماری جایگزین معماری هماهنگ با سازه

هنگامیکه به تطابق سازه با معماری اشاره می شود، نباید فرمهای مناسب در معماری را برای سازه از یاد برد [۱] و [۲]. از نظر منطقی فقط هنگامی که فرم های مناسب برای انتقال بار در معماری بکار می روند می توان تطابق سازه با معماری را دنبال نمود. عبارت دیگر برای تطابق سازه با معماری سه عامل تعیین کننده است: فرم، مصالح و سیستم. خوشبختانه با استفاده از مصالح مناسب و در اختیار داشتن تئوری های مکانیک مواد و ابزارهای محاسباتی، تأمین هدف ایمنی و تضمین عملکرد مطمئن سازه در فرمهای پیچیده نیز میسر شده است. در مورد مزایای اصلی فولاد و بتن، دو مصالحی که در ساخت ساختمانهای جدید بکار می روند و جایگزین آجر و خشت شده اند، می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- تولید کنترل شده این مصالح که ضامن کیفیت مورد انتظار و خواص مکانیکی مورد نیاز است
- ۲- رفتار مکانیکی مشخص و قابل تعریف با مدل‌های ریاضی ساده که امکان تحلیل و طراحی و پیش بینی رفتار سازه تحت بارهای مختلف را فراهم میکند
- ۳- امکان کاهش وزن ساختمان
- ۴- امکان کاهش حجم اندامهای باربر ساختمان و افزایش سطح مفید
- ۵- امکان پیش ساخته کردن بخشهایی از سازه و بالا بردن سرعت اجرا

ترتیب ذکر مزایا در فوق، بر حسب توجه مهندسان سازه آورده شده است که اولین اولویت طرح را به تأمین حاشیه ایمنی مطلوب یعنی کاهش احتمال خرابی سازه می دهند. در گذشته و زمانیکه برای ساخت و ساز از مصالح آجری استفاده می شد، اغلب با تکیه بر تجربه های عملی و با روش آزمون و خطا، سازندگان ساختمانها موفق به تأمین هدف مورد نظر می شدند، ازینرو هر گونه نوآوری در طرح ساختمان که آنرا در زمره ساختمانهای خاص و منحصر بفرد قرار می داد، به سالهای متمادی نیاز داشت و با گذشت قرن‌ها، فقط یک ساختمان همچون گنبد سلطانیه ساخته می شد و تحول طرحهای معماری بطئی و آهسته صورت می گرفت. همانطور که در فوق ذکر شد، در سایه مزایای مصالح جدید، نوآوری در طرحهای معماری سرعت بسیاری پیدا کرده است و امروزه انتظار این است که طراح سازه با انتخاب مناسب مصالح و سیستم سازه ای، ضمن تأمین ایمنی لازم، طرح معماری را با کمترین تغییرات ایجاد کند.

۴- عملکرد سازه ای المانهای معماری

اگر شاخصه های معماری سنتی در ساختمانها را از دیدگاه سازه ای به قوس، طاق و گنبد [۳] خلاصه کنیم، استفاده از پوسته های بتنی و یا تیر ورقهای فولادی برای ساخت گنبد و استفاده از تیرهای قوسی بتنی یا خرپاهای فولادی برای ساخت قوسهای با دهانه های بزرگ، گزینه هایی هستند برای طرح و ساخت این شاخصه های معماری سنتی. اما زمانیکه به موضوع تأمین پیوستگی مناسب و ایجاد مسیر انتقال بار مطلوب در سازه می اندیشیم، خصوصاً "در مقابل بارهای لرزه ای، باید به اتکای گنبد و قوس و غیره به سیستم هایی همچون قابهای خمشی یا قابهای بادبندی شده توجه کنیم و این عناصر به تنهایی پایداری نخواهند ماند مگر اینکه بخشی از یک سیستم سازه ای شناخته شده و پایدار باشند.

با این توضیحات، المانهای مورد استفاده در معماری سنتی، ابتدا بعنوان یک جزء سازه ای یا زیر ساز هبررسی میشوند.

- قوسها

از گذشته های دور، قوسهای رومی بعنوان المانهای باربر در مقابل بارهای قائم شناخته شده و با مصالحی که فقط بار فشاری را تحمل میکردند همچون خشت و سنگ بکار میرفتند اما این قوسهای آجری و سنگی در مقابل جابجایی افقی حساس بوده و سرعت مقاومت خود را از دست داده و نا پایدار میشوند. با مصالح جدید عملکرد خمشی قوسها بهبود می یابد و در مقابل جابجایی افقی بهتر عمل میکنند. بطور کلی، در مقابل بار های قائم، قوسهای بتنی مناسب تر هستند تا قوسهای فولادی، زیرا فولاد با وجود مقاومت بیشتری که نسبت به مصالح بتنی دارد، در خطر کمزش است در حالیکه در مقاطع بتنی بدلیل ابعاد مقطع بزرگتر موضوع کمزش، اثر فرعی پیدا می کند. چنانچه قوس به عنوان جزیی از سیستم باربر جانبی مورد استفاده قرار گیرد و تحت خمش واقع شود، استفاده از هر دو مصالح بتن و فولاد مناسب هستند.

هندس قوسهای کلیل و قوسهای تزئینی مشابه عامل مهمی برای کاهش سختی این اجزا است و بنابر این در صورت استفاده از چنین قوسهایی، بهتر است از سیستم باربر جانبی مناسبی در کنار آنها استفاده شود و اجزای قوسی به آنها متکی شوند.

- گنبدها

سیر تحول فرم گنبدها، از دوره ساسانیان تا سامانیان مثالی است از مصادیق تحول بطئی فرمهای باربر. این عناصر در ابتدا از تبدیل تدریجی بدنه چهار دیواری به شکل منحنی و تشکیل فرم گنبدی پدید می آمدند و بعدها اجرای آن تحول پیدا نمود و دهانه های بزرگتری با تبدیل چهار ضلعی متشکل از چهار دیوار به هشت و شانزده ضلعی نهایتاً "با گنبدی پوشانده شدند که کاملاً" برجسته بر روی بنا و مستقل از

دیوارهای زیرین خودنمایی می نمود. در بارهای ثقیل و حتی بارهای جانبی، فرم گنبدی بسیار پایدارتر از قوس است. وقتی گنبدی بتنی یا فولادی ساخته میشود معمولا " آنرا همراه با سازه قابی که اسکلت فضاهای جانبی گنبد را تشکیل می دهد، یکپارچه در نظر میگیرند و همراه هم طراحی میکنند.

- طاقها

اگر از لحاظ هندسی، طاقها را گسترش یافته قوسها در بعد سوم و در فضا تعبیر کنیم، تفاوت زیادی بین رفتارهای آنها با قوسها، انتظار نخواهیم داشت. طاقهای بتنی، فرم یکپارچه مناسب برای انتقال بارهای قائم و جانبی را دارند و اغلب جزئی از سیستم سازه اصلی بشمار می روند، اما در سازه های فولادی معمولا "طاقها با کنارهم چیدن قوسهای منفرد و پر کردن سطوح بین آنها ساخته می شوند که پیوستگی کمتری دارند و از الحاقات سازه اصلی هستند.

- تزئینات معماری (مقرنسهها، کاربندی ها و ...)

از دیگر شاخصه های معماری سنتی و ایرانی - اسلامی، تزئینات معماری مثل مقرنسهها هستند که عموما " فرم مناسبی برای تلفیق با سازه ندارند و بدلیل شکستگی های کوچک و بزرگ در سطوح آنها، مسیر انتقال بار منسبی بشمار نمی روند و نمی توان از آنها بعنوان جزئی از سازه استفاده نمود بلکه باید آنها را با کمک اعضای رابط به سازه اصلی مهار نمود. در معماری قدیم این مهارها بیشتر از نظر ثقلی مورد توجه بودند اما در سازه های جدید این مهارها حتما " برای بارهای جانبی هم در نظر گرفته می شوند.

۵- معرفی سازه های مورد بررسی

- سازه های سبک صحنهای هدایت : این سازه از نوع خرپای فضایی ساخته شده از مقاطع نبشی فولادی است. این سازه دقیقا " حجم معماری را بوجود آورده است و فرم کلی سازه مانند دیواره های مرتفعی است که بصورت طره ای ایستایی خود را حفظ می کند.



شکل (۲): بخشی از سازه خرپایی صحن هدایت

- رواقهای فلزی صحن جامع رضوی: این سازه بدلیل سنگینی بسیار زیاد و عدم امکان اتکای آن به روی سقف زیرگذری که سازه از روی آن عبور می کند، بصورت پلی ساخته شده است که حدود شصت متر دهانه دارد و اعضای قائم قاب ویراندیلی شکل آن به شکل پایه های رواق های مجاور هم را ایجاد می کنند.



شکل (۳): بخشی از سازه رواق فلزی صحن جامع رضوی

- سازه های سبک صحنهای غدیر و کوثر: بخشی از این رواقها بصورت قاب ساخته شده است و حجم معماری با کمک آهنکشی مناسب به آن الحاق شده است. بخش دیگری از این رواقها که در نظر بود، مشابه پل فلزی رواقهای صحن جامع اجرا شوند، با کمک سبک سازی و کاهش وزن سازه به کمتر از یک سوم و بکارگیری سیستم خرپای فضایی ساخته شده است.



شکل (۴): بخشی از سازه رواقهای فلزی - سمت راست سیستم سازه قابی - سمت چپ سیستم خرپای سبک



شکل (۵) نمای نهایی رواق در مراحل پایانی اجرا

- سازه های سبک بست غربی و شرقی: پایه های این رواقها، بصورت خرپای فضایی و سقف آنها در بخش تخت، از نوع مرکب (کامپوزیت) و در بخش قوسی از قوسهای فلزی در ترکیب با پوسته سبک سیمانی ساخته شده است. شکل پایه های این رواقها (در مقطع) بسیار پیچیده است.



شکل (۶): بخشهایی از سازه رواق فلزی بست غربی و شرقی

- کاربندی های گنبدی در سردر های شرقی و غربی صحن جامع رضوی: این فرمهای گنبدی شکل در داخل سازه های قابی قرار دارند ولی به دلیل ابعاد بزرگ دهانه و ارتفاع آنها، از المانهای فلزی قوسی و خرپایی منطبق با فرم معماری کاربندی برای نگهداری آنها استفاده شده است.



شکل (۷): شکل سمت راست کاربردی سقف و شکل سمت چپ یکی از المانهای سازه ای نگهدارنده کاربردی را نشان می دهند

- سازه نیلوفری رواق امام : بمنظور افزایش سرعت ساخت، بجای پوشته بتنی، از المانهای فلزی و دالهای مسطح بتنی در ساخت این سازه استفاده شده است.



شکل (۸): المانهای قوسی فلزی در حین مونتاژ در تصویر سمت چپ و پس از اتمام سازه در تصویر سمت راست نمایش داده شده اند

- سازه پارکینگ شماره ۱- صحن غدیر و پارکینگ شماره ۳ - صحن هدایت : این سازه ها قابهای بتنی با تیرهای ماهیچه ای هستند .



شکل (۹): ۱ پارکینگ شماره ۳



شکل (۱۰): پارکینگ شماره ۱

۶- مسائل تحلیلی و طراحی

وقتی حجم معماری با عناصر سازه ای مقاوم فولادی ساخته میشود، معمولاً اولین گزینه انتخابی، سازه ای سه بعدی با اتصالات مفصلی و بصورت خرپایی است که هم مسائل طراحی ساده تر و هم سهولت اجرایی اتصالات را دارد. اما در صورتیکه نیاز باشد میتوان از سازه سه بعدی قابی متشکل از اعضای متصل شده بصورت گیردار و پوسته های صلب استفاده نمود که طبیعتاً "اجرای مشکل تر و محاسبات پیچیده تر و وقتگیرتری خواهد داشت. در هر صورت مدلسازی و تحلیل این سازه ها بمراتب مشکل تر از سازه های متعارف است البته نه تنها بدلیل پیکر بندی پیچیده بلکه بدلیل مسائل خاص طراحی و کنترلهای متعددی که مورد نیاز است. کنترل تغییر شکلها و کنترل تنشها در چنین سازه سه بعدی که در اغلب موارد فقط یک محور تقارن دارد و عناصر تیپ و مشابه در آن کم تعداد هستند بسیار پر زحمت و وقتگیر است خصوصاً" که استفاده از عناصر نبشی و سپری برای سهولت شکل دهی این

عناصر و امکان اتصال مستقیم جوشی بین آنها برای ساخت فرمهای سازه ای معماری سنتی بسیار مطلوب هستند و در این سازه ها بکار میروند در حالیکه این عناصر تحت اثر نیروهای فشاری، با خرابی کماتشی پیچشی تهدید میشوند و کمانش ساده در آنها رخ نمیدهد و باید ظرفیت باربری این عناصر را با احتساب مشخصات مؤثر مقطع تعیین نمود نه مشخصات اصلی مقطع. در نرم افزارهای متداول طرح سازه ها، این موارد بطور خودکار قابل کنترل نیست و فقط با محاسبات دستی باید بررسی شوند و برای جلوگیری از بروز خطا و اشتباه در محاسبات دستی، ضرورت کنترلهای مضاعف طراحی بیشتر میشود.

علاوه بر این باید توجه نمود، ساخت اجزای خمیده و قوسی فولادی اگر با روش نورد سرد باشد، در محل خم عضو و در جایکه تغییرشکلهای دائمی و ماندگار ایجاد میشود، مصالح فولادی در خطر ترد شکنی قرار میگیرد و شکل پذیری عضو کاهش می یابد و در هنگام طراحی بهتر است که شکل پذیری این عناصر بحساب نیایند و این اعضا اصطلاحاً "از نوع کنترل شونده توسط نیرو قلمداد گردند. نکته دیگر در طرح این سازه ها، پیش بینی اضافه بار ناشی از بی دقتی اجرای سازه است. فقط در صورت استفاده از دستگاههای برش دقیق CNC و دستگاههای خمکاری خودکار است که میتوان خطای اجرا و مونتاژ اجزای سازه را به صفر کاهش داد ولی با روشها و ابزارهای دیگر که متداول و سنتی هستند و برای شکل دهی قوسها و کمانها مورد استفاده قرار میگیرند نتایج متفاوتی بدست می آید و امکان دارد با وجود نظارت بر اجرا نهایتاً "حجمی که مونتاژ میشود با آنچه در طرح معماری پیش بینی شده است تفاوتی جزئی داشته باشد. این مشکل هنگام تکمیل نمای کار با گچ و امثالهم اصلاح میشود ولی این مصالح اضافه بار بیشتری بر سازه تحمیل میکند. آنچه بر اساس تجربه موجود قابل ارائه است این میباشد که در سطوح غیرمسطح، در تیزه و پای قوسها و محل تغییر انحنای قوسها تا ۵۰٪ افزایش وزن مصالح مصرفی محتمل است و هنگام طراحی باید مورد توجه طراح قرار بگیرد.

۷- مسائل اجرایی

اجرای سازه هماهنگ با معماری، اغلب مشکل تر از سازه مدولار و تیر و ستونی متعارف است و بنابراین، دقت اجرایی بیشتری نیاز دارد. ساخت اعضای منحنی و قوسها در صورتی نتیجه مطلوبی خواهد داشت که با کمک ابزارهای نیمه خودکار یا تمام خودکار انجام شوند. برشکاری و جوشکاری های ظریف در اجزای فولادی و قالب بندی پیچیده در اعضای بتنی گاهی اوقات شرایطی را ایجاد می کنند که در اجرای سازه به پیش مونتاژ قالبها و قطعات و یا ساخت ماکت نیاز خواهد شد.



شکل (۱۱): فاصله ایجاد شده بین آهن آلات (که ضد زنگ دارند) با نازک کاری ناشی از عدم دقت در ساخت اسکلت نگهدارنده کاربردی است.

۸- مصالح مصرفی

موفق ترین پروژه از لحاظ کاهش مصالح مصرفی در بین پروژه های مورد مطالعه، سازه رواقهای سبک (خرپای فلزی) صحنهای قدیر و کوثر در مقایسه با پل فلزی رواقهای صحن جامع است که وزن آهن آلات مصرفی حدود ۷۰٪ کاهش پیدا نمود. این موفقیت عمدتاً ناشی از سبک سازی نما و تأمین تکیه گاههای میانی برای سازه بود. همچنین با مقایسه مصالح مصرفی در دو سیستم سازه ای نشان داده شده در شکل‌های (۱) و (۵) نشان دادند، با استفاده از خرپای فلزی بجای سازه قابی، میتوان آهن آلات مصرفی را حدود ۴۰٪ کاهش داد. پس از این دو تجربه موفق، سازه های رواقهای صحن هدایت و بستهای غربی و شرقی با همین سیستم به مرحله اجرا در آمدند ولی بدلیل پیچیده بودن شکل آن طرحها، اجرای سازه های خرپای فلزی با سختی انجام شدند. در هر صورت استنتاج کلی از این تجربیات این است که مصالح مصرفی حداقل ۳۰٪ قابل تقلیل هستند اما با استفاده از فرمهای ساده تر در طرح معماری، هم میتوان مصالح را بیشتر کاهش داد و هم سهولت و سرعت اجرا بقدر کافی بالا خواهد رفت که استفاده از سیستم خرپای فلزی از هر لحاظ ارجحیت پیدا کند.

۹- زمان اجرا

مقایسه بین زمان اجرای سازه های مورد بحث نشان دادند که تفاوت قابل ملاحظه ای بین زمان اتمام این پروژه ها بوجود نیامده است. بعبارت دیگر، در هنگام ساخت سازه قابی، سرعت نصب سازه

بالا تر است اما پس از آن مرحله اضافه کردن الحاقات سازه باید انجام شود که وقتگیر است. در مقابل سازه خرپایی مدت ساخت بیشتری لازم دارد ولی با نصب آن اضافه کردن الحاقات بسیار سریع به اتمام می رسند. در خصوص سازه های بتنی نیز همین شرایط حاکم است و در صورت اکسپوز بودن سازه، ایجاد حجم معماری، به قالب بندی وقتگیری نیاز دارد اما پس از آن لزومی به کار اضافی برای نمای سازه نیست در حالیکه در سازه بتنی غیر اکسپوز که با سیستم قابی ساخته میشود، سرعت اولیه اجرا با لزوم انجام کارهای تکمیلی برای اجرای الحاقات سازه، جبران میشوند.

۱۰- هزینه کل

آنچه در مقایسه مصالح مصرفی و صعوبت اجرا و زمان ساخت توضیح داده شد نهایتاً در قالب هزینه کل مقایسه میشود. ارزیابی کلی این پروژه ها نشان میدهند، کاهش مصالح مصرفی عامل مهمتری در هزینه کل می باشد و صعوبت اجرا و هزینه ساخت و دستمزد اجرا در کارهای سخت تر را جبران می کند. بنابر این از لحاظ اقتصادی ساخت سازه های منطبق با معماری با وجود صعوبت های اجرایی صرفه اقتصادی دارد.

۱۱- جمع بندی

تجربه موفق در استفاده از خرپاهای فلزی در احجام متشکل از پایه های منشوری و طاقهای ساده (همچون رواقهای صحنهای غدیر و کوثر) استفاده از این سازه ها را برای کاهش هزینه مصالح مصرفی و زمان اجرا، مفید نشان می دهد. در مقابل در ساخت احجام با پیچیدگی فضایی بیشتر همچون کاربندی زیر گنبدها، استفاده سازه فلزی که به تنهایی برابر نباشد بلکه بواسطه مهار به سازه قابی اصلی حجم لازم را ایجاد کرده باشد، مناسبتر است. در مورد گنبدها، سرعت و سهولت اجرای سازه فلزی بسیار بیشتر از سازه بتنی است.

۱۲- مراجع

- ۱- سالوادوری م، "سازه در معماری"، ترجمه گلابچی م، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم ۱۳۸۲.
- ۲- مورف، "درک رفتار سازه ها"، ترجمه گلابچی م، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول ۱۳۸۰.
- ۳- زمرشیدی ح، "طاق و قوس در معماری ایران"، انتشارات کیهان، چاپ اول ۱۳۶۷.