

بررسی شیوه‌های ساخت سازه‌های گنبدی با مصالح پایدار در معماری دوره ساسانی (نمونه موردی: آتشکده کوشک قیفر)

محمدمسعود غیابی: دانشجوی کارشناسی ارشد معماری منظر. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب .
(mohamadmasoudghiabi@gmail.com)

چکیده

معماری و پایداری سازه در ایران پیشینه‌ای چند هزارساله دارد. معماری ایرانی، بناهای تاریخی بیشماری را در سرزمینی پهناور و در طی قرن‌ها بوجود آورده است و توانسته مسائل سازه‌ای پیچیده‌ای را حل نموده و شاهکارهای باشکوهی از معماری را خلق کند. ساختار تاقها و گنبد‌های مساجد و مدارس و ... همگی نشانه‌هایی از تعامل مناسب میان اصول معماری و رفتار سازه‌ای در این گونه بناها است. معماری اسلامی ایران تداوم طبیعی معماری دوره ساسانی است و شناخت و مطالعه این معماری می‌تواند راهگشای ما در شناخت معماری دوره اسلامی و جنبه‌های مختلف آن باشد. معماران ساسانی توانایی بسیاری در برپایی پوشش‌های طاق و گنبد بر زیربنای چهارگوش داشتند و شیوه آنها در برپایی گنبد در مناطق مختلفی گسترش و تداوم یافت. همچنین تاثیر مذهب در معماری این دوره و وجود آیین زرتشتی سبب ایجاد آتشکده‌های گوناگونی شده که بقایای آن‌ها در استان‌های فارس، کرمانشاه، ایلام، کرمان، خراسان و ... یافت شده است که در این تحقیق به عنوان نمونه آتشکده کوشک قیفر در شهرستان ملکشاهی مورد بررسی قرار گرفت. یکی از مسائل مهم در طاق‌ها و گنبد‌ها شیوه ساخت و نحوه پایداری سازه‌ای این بناها می‌باشد. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی پایداری سازه‌ای و نحوه ساخت چهارطاقی و گنبد در دوره ساسانی با استفاده از منابع و اسناد کتابخانه‌ای و همچنین با تکیه بر روش توصیفی - تحلیلی و مطالعات میدانی صورت گرفته است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد استفاده از مصالح پایدار از قبیل سنگ و ساروج و گچ و همچنین شیوه‌های ساخت چهارطاقی و استفاده از قوس و انتقال نیرو بر روی چهار پایه از جمله دلایل پایداری سازه‌ای در آتشکده کوشک قیفر می‌باشد.

کلمات کلیدی: پایداری سازه‌ای، طاق، گنبد، معماری ساسانی، آتشکده کوشک قیفر

۱. مقدمه

امپراطوری ساسانی که حکومتی بر پایه‌ی ایدئولوژی و دین واحد بوده، سعی داشت در تمام جنبه‌های زندگی انسان‌ها تأثیرگذار باشد. در دین زرتشتی چهار عنصر حیاتی (آب، آتش، باد، خاک) مقدس شمرده می‌شود و کثیف کردن آنها گناه شمرده می‌شود. در این میان به آتش از همه بیش‌تر اهمیت داده می‌شده، زیرا که نقش پاک‌کنندگی داشته‌است (دریایی، ۱۳۸۸). سلسله ساسانی، نخستین سلسله در تاریخ ایران باستان است که دین زرتشتی را در دولت‌خود به رسمیت شناخت و دولتی مذهبی را پایه‌گذاری کرد. مذهب زرتشتی تأثیر خاصی بر هنر و معماری دوران ساسانی داشته‌است؛ در دوران ساسانیان، علاوه بر احداث آتشکده‌های مهم و بزرگ، چهار طاقی‌های فراوانی نیز ساخته شده که در آن‌ها مراسم مذهبی برپا می‌گردید. در متون تاریخی به جا مانده از این دوره، از جمله کتیبه‌ی شاپور اول در کعبه زرتشت، کتیبه‌های مهر نرسی و کتیبه‌های کرتیر (اکبرزاده و طاووسی، ۱۳۸۵)، به کرات به اخبار و یا دستور ساخت چهارطاقی‌ها توسط فرمانروایان و یا بلند مرتبگان برخورد می‌کنیم، که نشانگر جایگاه مهم ساخت آتشکده و بناهای عام‌المنفعه است (دریایی، ۱۳۸۸: ۴۰).

ایرانیان از گذشته گنبد را در بناها به عنوان واسطه‌ای برای جدایی از زمین و اتصال به آسمان تلقی و به کار می‌بردند و حتی اولین اقوامی می‌باشند که در ترقی و ساخت این عنصر بر زمینه چهارگوش راه‌های مبتکرانه ارائه نموده‌اند و در بناهای مانند مساجد و آرامگاه‌ها به فراوانی از این عنصر هویت بخش استفاده می‌شده است. قدمت ساخت گنبد در ایران به هزاره سوم پیش از میلاد باز می‌گردد. از آن زمان معماری ایرانی انواع مختلفی از سازه‌ها با بهترین شکل‌های گنبدی را با استفاده از روش‌های سنتی به وجود آورده است (حجازی و میرقادر، ۱۳۸۲: ۷۴۷). در دوران ساسانی گنبد سازی آنچنان رواج پیدا می‌کند و تکامل می‌یابد که از آن پس تا کنون پوشش گنبدی از نظر ساخت و شیوه پایداری به صورت الگو و دستورالعمل کلی مورد بهره برداری قرار می‌گیرد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). از طرفی معماران سنتی در ساخت بناهای مذهبی خاصیت‌های عملکردی عناصر ساختمانی را چنان طرح ریزی می‌کردند که مفاهیم پنهان آن عیان گردد. بنابراین، با آشکار سازی حقایق و درستی رفتار سازه‌ای مواد ساختمانی، گویی به آنان جان داده و آنان را قادر به عبادت خدا می‌کردند. برای این امر هندسه به عنوان زبان مشترک بین معماری و سازه می‌باشد، تا بتوان دیالکتیکی مناسب فی ما بین ایجاد گردد. بهره‌گیری از هندسه در پیمایش همساز میان فرم، ایستایی و تناسب، به عنوان اصلی جاری در تعامل سازه و معماری سنتی ایران همواره برقرار بوده است (مردمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۵).

گنبد و طاق در بناهای ایران باستان از اشکال مختلف نظیر نحوه پیدایش، نحوه ساخت و تفاوت شکل آن در سایر کشورها و سیستم سازه‌ای و فرآیندی که برای اجرای آن‌ها طی شده قابل بررسی است. اما در این پژوهش هدف از بررسی گنبد و طاق ساسانی بررسی شیوه‌های ساخت، مقاومت و پایداری سازه‌ای و نحوه ایستایی آن‌ها می‌باشد.

۲. مفاهیم و مبانی نظری

۲-۱. معنای چهارطاقی

چهارطاقی واژه‌ای است حامل چند معنا که برای نامیدن گونه‌ای بنا، نوعی خیمه، نوعی کلاه، و اسامی علم نام چند روستا به کار می‌رود و معانی کنایی نیز از آن برداشت می‌شود (گلدار، ۱۳۹۳). لغت‌نامه‌ها بنای چهارطاقی را این چنین تعریف کرده‌اند: قبه و گنبدی که بر چهار پایه و ستون استوار شود و از هر جانب طاقی هلالی دارد و هر یک از طاق‌های چهارگانه بر دو پایه و ستون نهاده شود و سقف و گنبد بر این پایه‌ها و طاق‌ها قرار گیرد (دهخدا، ۱۳۷۲: ذیل چهارطاقی). سقف یا گنبدی که بر روی چهار پایه بنا شده و چهار طرف آن باز باشد (معین، ۱۳۶۳: ذیل چارطاق).

۲-۲. مطالعات و نظریات

علی‌رغم حیات طولانی مدت سلسله ساسانی، آثار معماری زیادی از این دوره برجای نمانده است؛ لذا مشکلاتی در مطالعه‌ی سبک‌شناسی، تاریخ‌گذاری و جنبه‌های مختلف معماری این دوره وجود دارد (Reuther, ۱۹۳۹: ۴۹۲). آیین زرتشتی دین رسمی ایران در دوره ساسانی بود و بناهای مرتبط با این دین از جایگاه مهمی برخوردار بودند. ساختمان اصلی معابد، بناهای چهارطاقی مستقلی بودند که در زیر آنها آتش مقدس فروزان بوده و در طول مراسم مذهبی از دهانه‌های چهارگانه برای مؤمنان قابل مشاهده بوده است و هم چنین مجموعه‌هایی وجود داشته که آتش در مواقع دیگر در داخل آن نگهداری می‌شده است (بویس، ۱۹۷۵). مطالعات کلی صورت گرفته درباره‌ی بناهای مذهبی شناخته شده در دوره ساسانی نشان می‌دهد که بناهای مذهبی این دوره اغلب، دارای پلان چهارطاقی هستند. کلاوس شیپمان^۱ در پی تحقیقاتی که درباره‌ی چهارطاقی‌ها انجام داده است، چهارطاقی‌های ساسانی را به دو گروه اصلی تقسیم کرده است: گروه نخست، چهارطاقی‌هایی که با ساختارهای بزرگ در ارتباط هستند (تخت سلیمان) و گروه دوم چهارطاقی‌های منفردی که گاه آتشگاه یا سایر اتاق‌های فرعی به آن اضافه می‌شده است (آتشکده نیاسر)، (هاشمی زرج آبادی، ۱۳۸۹: ۹۰).

از نقطه نظر معماری بناهای مذهبی دوره ساسانی را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم بندی نمود:

۱. مجموعه‌های مذهبی که هسته‌ی مرکزی آن‌ها را یک چهارطاقی گنبددار و راهرو مسقف پیرامون آن تشکیل می‌دهد و فضاهایی با کارکردهای مختلف پیرامون این بخش قرار می‌گیرد.
۲. آتشکده‌ها و آتشگاه‌های آزاد و مستقلی که شامل یک چهارطاقی گنبددار و راهرو مسقف پیرامون آن می‌شود.
۳. چهارطاقی‌های گنبددار و مستقلی که چهار دهانه وسیع و گشاده به اطراف دارند و فضای داخلی آن‌ها از همه طرف قابل مشاهده است (هوف، ۱۳۶۶: ۴۰۱-۴۰۲).

در ارتباط با کارکرد و تاریخ‌گذاری گروه سوم مباحث زیادی مطرح است. به نوشته هوف^۲: اصطلاح چهارطاق در اصل یک بنای چهارگوش را می‌رساند که مشتمل بر چهار قوس در میان جرزهای گوشه ایست یا این که فقط به چهار دیوار ختم می‌شود و فضای میانی آن با کمک فیلیوش‌ها مسقف می‌شود. این بناها به اعتقاد آندره گدار^۳ و ک. اردمان^۴، ویرانه‌های آتشکده‌های ساسانی هستند که به صورت چتری بر روی آتش مقدس کشیده می‌شده است و آتش از فاصله دور از

^۱ Klaus Schippmann

^۲ Huff

^۳ André Godard

^۴ Erdmann, Kurt

میان دهانه های چهارطاقی قابل مشاهده بوده است. برخلاف این نظر، شواهد نشان می دهد معابد کهن ایرانی نسبت به فضای بیرون کاملاً بسته بوده است (هوف، ۱۳۶۶: ۴۰۱-۴۰۲). فقدان سبک شناسی و تاریخ گذاری مشخص سبب شده است تا هر نوع بنای چهارطاقی مستقل که فاقد مدارک مشخص تاریخ گذاری است، به عنوان آتشکده به این دوره نسبت داده شود.

معماری پارسی ساسانی به احتمال زیاد معماری گنبد سازی بین النهرین را به ارث برده است. خرابه های کاخ اردشیر بابکان و قلعه دختر (فیروزآباد) در استان فارس، توسط اردشیر اول (۲۲۴-۲۴۰) ساخته شده است، استفاده از گنبد توسط امپراطوری ساسانی را نشان می دهد. در دوران ساسانی، گنبدسازی آنچنان رواج می گیرد و تکامل می یابد که از آن پس تا امروز پوشش گنبدی از نظر ساخت بصورت الگو و دستور العمل کلی مورد بهره برداری قرار می گیرد. روش گنبدسازی در دوران ساسانی آنچنان با استفاده از نظم دقیق ریاضی در شکل بندی و ساختمان و با کاربست شیوه های صحیح صورت می گیرد که در همه انواع، گنبدها بدون احتیاج به گاه بست و کالبد و قالب در برابر همه نیروهای فشاری و رانشی به خوبی مقاومت می کنند. (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰).

۳. پیشینه تحقیق

دستوری و ایمان طلب (۱۳۹۶)، تحقیقی با عنوان تحلیل رفتار سازه ای گنبد تک پوسته سنگی نمونه موردی: آب انبار قشم انجام دادند. هدف از این مقاله آنالیز استاتیکی تحت بار وزن، آنالیز ارتعاش آزاد (مودال) در بنای تاریخی آب انبار قشم می باشد. در این مقاله پس از ایجاد هندسه سه بعدی آب انبار قشم، تحلیل بر روی آن به کمک نرم افزار ANSYS انجام شد. سپس آنالیز استاتیک خطی تحت بار وزن انجام گرفت و تغییر مکان ها بررسی شده و تنش های اصلی با تنش های مجاز مقایسه گردید. در ادامه آنالیز ارتعاش آزاد انجام گرفت و مودهای رفت و برگشتی و پیچشی در فرکانس های مختلف بررسی و مقایسه شد. در نهایت با بررسی نتایج، نقاط آسیب پذیر بنا شناسایی گردید و راهکارهایی ارائه شد.

مولایی و ثبوتی (۱۳۹۵)، تحقیقی با عنوان بررسی شیوه های ساخت و پایداری سازه های گنبدی و طاقی با مصالح پایدار در معماری ایرانی اسلامی انجام دادند. در این مقاله نشان داده شد که چگونه تمامی اجزاء معمارانه و سازه ای در این بناهای سنتی به صورتی پیوسته با یکدیگر عمل می کنند و نمی توان آن ها را از یکدیگر تفکیک نمود. همچنین اهمیت آشنایی و مطالعه و تحقیق در سازه های سنتی معماری ایران جهت پایداری و ماندگاری هنر اصیل معماری بومی ایرانی مشخص شد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۰)، تحقیقی با عنوان مطالعه گونه شناسی، عناصر و اجزای معماری ایران در دوره ساسانی انجام دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد معماری ساسانی در حقیقت تداوم و تکامل معماری اشکانی است. تمرکز توان معماری به ساخت بنای کاخ ها و معابد (در کنار تنوع گسترده از بناها با کارکردهای مختلف)، استفاده از نقشه هایی با عنصر مسلط ایوان، گنبدخانه و صحن، توانایی بسیار در برپایی سازه های طاق و گنبد، استفاده استادانه از مصالح در دسترس، به ویژه سنگ لاشه و ملاط گچ، استفاده گسترده و هنرمندانه از تزئین گچ بری و موارد دیگر از شاخصه های معماری ایران دوره ساسانی است.

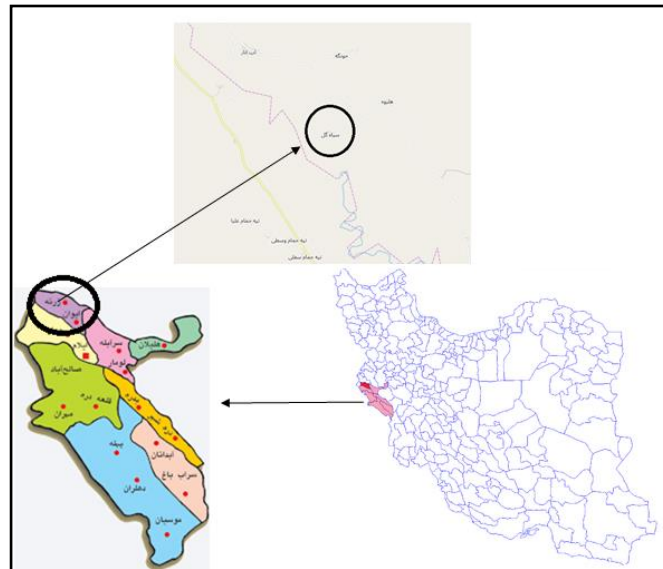
سعیدیان و همکاران (۱۳۹۰) تحقیقی با عنوان بازشناخت چگونگی شکل گیری گنبد اورچین (با تاکید بر ساختار هندسی معماری) انجام دادند. در این پژوهش به ریشه لغوی و معنایی گنبد اورچین اشاره شده و خواستگاه معماری این گنبد، متعلق به دوره سلجوقی، معرفی شده است. سپس روابط هندسی میان زینه های آن تحلیل شده و انواع این نوع گنبد شامل کوکبی و کثیرالاضلاع ترسیم شده اند. با بررسی گونه شناسی نمونه های موجود در ایران و عراق، نکات قابل تاملی در مورد روابط هندسی، ارتفاع، شکل گنبد و تعداد زینه های آن ارزیابی گردید. عواملی همچون عملکرد تارک، نحوه ساخت، پوشش گنبد، نحوه توزین بار در ساختار گنبد مشخص گردیده است.

۴. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از لحاظ روش توصیفی-تحلیلی می باشد، به این ترتیب که با استفاده از زمینه و بستر شناختی و نتایج بدست آمده از تحقیقات میدانی و جمع آوری اطلاعات و مطالعات اسنادی در جستجوی دستیابی به توسعه دانش کاربردی و حصول یک هدف عملی است. هدف اصلی این تحقیق، تولید دانش و آگاهی در زمینه بررسی انواع سازه های گنبدی و طاقی در دوره ساسانی و شیوه های ساخت و پایداری آن ها می باشد. در این پژوهش ابتدا با گردآوری یافته ها و مستندات علمی شیوه های ساخت سازه های گنبدی و طاقی مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت نحوه ایستایی و پایداری این سازه ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در نهایت با استفاده از مشاهدات، برداشت میدانی، نقشه ها و اسناد موجود به بررسی مصالح، نحوه ساخت و ایستایی آتشکده کوشک قیفر می پردازیم.

۵. محدوده و قلمرو پژوهش

آتشکده کوشک قیفر در ۲۵ کیلومتری شهر ملکشاهی واقع در استان ایلام، در بخش زرنه و در ساحل جنوبی رودخانه ای به نام کنگیر با فاصله تقریبی ۷۰۰ متر از آن رودخانه واقع شده است (شکل ۱). این آتشکده که در سال ۱۳۴۹ توسط اندنبرگ، باستان شناس بلژیکی کشف شد، وسط دشتی کوچک ساخته شده که احتمالاً در آن دشت منازل مسکونی اهالی این منطقه، یعنی جایی نزدیک به آتشکده قرار داشته و همچنین زمین های حاصلخیز و آبرفتی که در آنجا وجود دارد، مطابق با رسم معمول آن زمان همگی وقف آتشکده بوده است (ناصری، ۱۳۸۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان ملکشاهی غرب استان ایلام و آتشکده کوشک قیفر (نگارندگان).

اطراف این بنا به وسیله حیاطی محصور بوده ولی اکنون به علت عوامل طبیعی و غیرطبیعی تخریب شده است. نوع معماری بنا مربوط به دوره ساسانی است. همچنین وجود حیاطی که آتشکده را محصور می کرده و البته سالهاست در اثر فرسایش و بی توجهی تخریب شده، همگی نشانگر سبک معماری دوره ساسانی است (شکل ۲).



شکل ۲. تصویر نمای جنوبی و شرقی آتشکده کوشک قیفر (نگارندگان).

۶. یافته‌های پژوهش

۶-۱. پوشش‌های گنبدی در دوره ساسانی

گنبد سابقه‌ی طولانی در معماری جهان دارد، اما تمام گنبد‌های پیشین بر پایه‌ی مدور قرار می‌گرفتند و این معماران ساسانی بودند که نخستین بار مسأله برپایی گنبد بر سطوح چهارگوش را حل کردند (کریسول، ۱۹۱۴: ۶۸۱). برخلاف دوره اسلامی که گنبد بر زیربنای مربع، مدور و چندضلعی نهاده می‌شود، گنبد‌های ساسانی با استفاده از سنگ لاشه، سنگ تراشیده و آجر تنها بر زیربنای مربع نهاده می‌شدند. برپایی گنبد به کمک گوشه‌سازی بر سطوح چهارگوش ابتدا در کاخ اردشیر اول و قلعه دختر ظاهر می‌شود و شیوه کلی آن تا پایان دوره ساسانی تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند و تأثیری قاطع بر معماری اسلامی باقی می‌گذارد (اکان، ۱۹۸۷: ۴۷۹). تنوع اشکال گوشه‌سازی در این دوره گواه تلاش فزاینده‌ای است که معماران برای دستیابی به اشکال دلخواه به کار برده‌اند. در مراحل اولیه‌ی پاکار گنبد هنوز به طور کامل گرد نیست؛ بلکه به شکل هشت گوش گرد شده است. در نمونه‌های متأخر (در قصر شیرین) به شکل هندسی کامل خود نزدیک می‌شود و در نهایت در دوره اسلامی است که این امر به طور کامل محقق می‌شود (هوف، ۱۹۸۷: ۳۲۹).

از نکات برجسته‌ای که در مورد فرم‌های ساختمانی گنبدی باید به آن اشاره نمود خاصیت ایستایی این نوع ساختمان‌ها است. گنبد‌ها که بنا به تعریف دارای شکل هندسی دورانی، با انحنای دو جانبه هستند، نیروهای وزن و سایر نیروها را اساساً با مکانیزم نیروهای غشایی به تکیه‌گاه منتقل می‌کنند (اشرفی، ۱۳۹۲). فرم هندسی گنبد‌ها دارای این ویژگی است که معمولاً کمترین تنش کششی در این فرم‌ها به وجود می‌آید. بنابراین ساختن گنبد‌ها با مصالح ساختمانی (گل، آجر، سنگ) که قابلیت تحمل نیروهای خمشی را ندارند کاملاً امکان‌پذیر است. از دیدگاه تکامل فرم‌های ساختمانی، فرم‌های گنبدی دارای توانایی و برتری نسبت به فرم‌های ساختمانی قلابی و حتی فرم‌های ساختمانی طاقی هستند. از مزایای دیگر طاق قوسی و گنبد این است که باد از روی سطح محدب، با سهولت بیشتری رد می‌شود و فرسایش و تخریب کمتری را موجب می‌گردد (اشرفی، ۱۳۹۲).

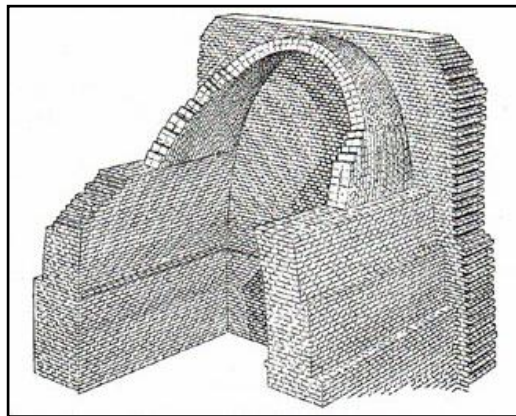
آندره گدار معتقد است معماران ساسانی با انحنا دادن به قسمت‌های پایین گنبد که با کمک و یا بدون کمک گوشه‌بندی‌ها و یا طاق‌های کوچک مخروطی شکل ساخته می‌شدند، به برپایی گنبد توفیق یافتند (گدار، ۱۳۷۱: ۱۹-۲۴). معماران ساسانی برای برپایی تعدادی از گنبد‌ها از تویزه‌های گچی سود می‌جستند (شکل ۳). در این روش بعد از آماده شدن پاکار گنبد، طرحی از مقطع گنبد بر سطح زمین کشیده می‌شد و بر اساس آن تویزه‌هایی با استفاده از قطعات نی و ملات گچ تهیه می‌شد و آنها را به فواصل معین بر روی پاکار گنبد به گونه‌ای که رأس آنها به یکدیگر متصل و پایه‌ی آنها در میان آخرین رج پاکار مهار می‌شد، قرار می‌دادند. بعد از این مرحله، بدنه اصلی گنبد در حد فاصل و پیرامون تویزه‌ها به صورت هماهنگ سنگ چینی می‌شد (همان: ۲۶-۲۸).



شکل ۳. شیوه پوشش چهارطاقی نیاسر با کمک تویزه گچی (گذار، ۱۳۷۱: ۳۱).

۲-۶. پوشش های طاقی در دوره ساسانی

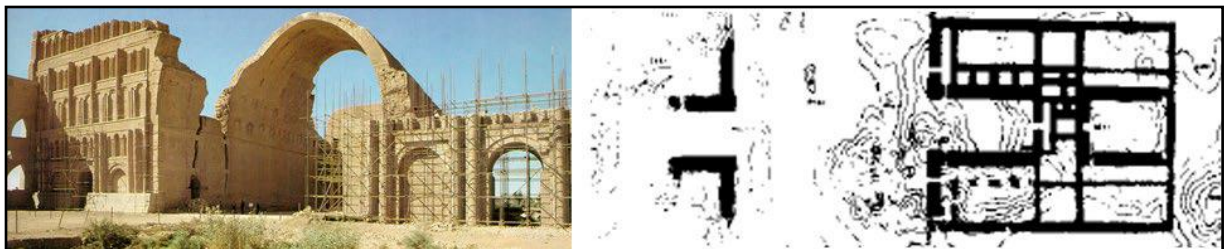
یکی از شاخصه ها و عناصر مهم معماری ساسانی استفاده گسترده و گاه یادمانی از سازه ها و پوشش های طاقی است. تکنیک طاق زنی ساسانی عمدتاً متکی به کیفیت ویژه ملات گچی است که سریع سفت شده و اجازه ای اجرای طاق را بدون استفاده از قالب می داده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). طاق های نیم دایره (گهواره ای) متداول ترین طاق ها بودند که به گونه استاندارد اجرا می شدند و تنها به یک دیوار پشتی نیاز داشت یا یک نوار باریکی از قالب برای رج اول و بقیه رج ها چسبیده به آن ادامه می یافت (شکل ۴). این شیوه علی رغم پیشرفته بودن، مانع از پیشرفت ساختمان سازی بر اساس هندسه می شود (هوف، ۱۹۸۷: ۳۲۹).



شکل ۴. طرح شیوه اجرای طاق های گهواره ای (بدون استفاده از قالب) (Ibid: ۱۹۹۷)

طاق های دوره ساسانی را می توان از نظر مقطع و شکل به انواع نیم دایره و نیم بیضوی طبقه بندی کرد؛ هر چند مواردی از طاق های تیزه دار و نعل اسبی نیز از این دوره شناسایی شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). در شیوه نیم دایره ای لایه ی نازکی از سنگ و ملات گچ ابتدا روی چوب بست قرار گرفته و سپس وقتی ملات خودش را می گرفت، این لایه، نقش داربست طاق زنی را برای توده سنگ و ملات که طاق واقعی را تشکیل می داد، ایفا می کرد. در این روش فقط به یک داربست طاق زنی نسبتاً سبک احتیاج بود که بر روی دیوارهای باربری که تا محل پاکار قوس بالا آمده بودند، قرار می گرفت. در نتیجه طاق گهواره ای شکل خاصی پیدا می کرد که نوع ویژه دوره ساسانی دانسته می شود. قطر دهانه ی قوس در این شیوه از پهنای اتاق یا درگاه بزرگتر بود، بنابراین پاکار قوس اندکی عقب تر از دیواره های زیرین قرار می گرفت. در این شیوه، مقطع طاق ها نیم دایره است (روتز، ۱۳۸۷: ۴۴-۴۳).

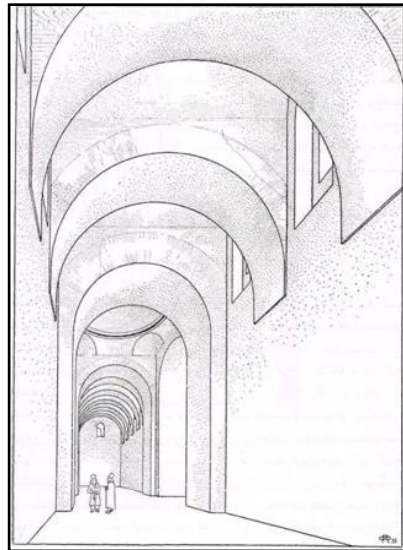
گونه های دیگر طاق ها بدون داربست طاق زنی ساخته می شد و طرحی نیم بیضوی داشتند. در این شیوه معماران برای احداث طاق بر روی فضاهای بزرگ به منظور کاهش عرض دهانه با ایجاد انحنا ی ملایمی در دیواره های پاکار، آنها را به طرف داخل متمایل ساخته و سپس دهانه ی فوقانی را با رج های عمودی می پوشاندند. بنابراین طرح نیم بیضوی طاق های دوره ساسانی، نتیجه در نظر گرفتن استحکام و ثبات نیست بلکه ناشی از فرایند عملی ساخت بناست. پوشش عظیم طاق کسری (شکل ۵) شاخص ترین نمونه از این نوع است (keall, ۱۹۸۷: ۱۵۶).



شکل ۵. تیسفون، طاق کسری نقشه و وضعیت کنونی (keall, ۱۹۸۷: ۱۵۶).

نوع دیگر طاق یا قوس دوره ساسانی، نوع نعل اسبی است که بعدها در معماری اوایل اسلامی رواج پیدا می کند. این نوع قوس اولین بار در کاخ فیروزآباد ظاهر می شود (پوپ، ۱۹۳۳: ۸۰).

از دیگر انواع طاق‌ها که در معماری ساسانی دیده می‌شود، نمونه‌های ابتدایی پوشش طاق و تویزه است از یک سلسله طاق و تویزه که در طول یکدیگر قرار می‌گیرند. در این طریقه رانش طاق به جای آنکه بر دیوارهای جانبی فشار وارد سازد، بر روی نقاط معینی از قوس‌های مستحکم‌تر تقسیم می‌شود. این شیوه به معمار اجازه می‌دهد در فاصله‌ی میان دو قوس، پنجره‌هایی تعبیه کند. این شیوه در معماری اسلامی تداوم پیدا کرد (تجویدی، ۱۳۶۳: ۱۸). نمونه‌ی شاخص این نوع طاق در ایوان کرخه دیده می‌شود (شکل ۶). در اینجا طاق گهواره‌ای شکل معمول دوره ساسانی اجرا نشده و به جای آن پنج قوس یا تویزه بزرگ در عرض فضا اجرا شده و حد فاصل آنها با ایی پوشش یافته است (شیپمان، ۱۳۸۴: ۱۳۱).

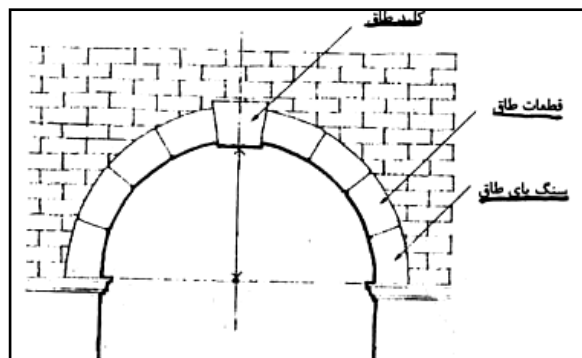


شکل ۶. ایوان کرخه، طاق‌های متقاطع (روتز، ۱۹۳۹: ۵۰۷).

۳-۶. رفتار سازه‌ای و نحوه ایستایی در طاق‌ها

از دیدگاه ایستایی، فرم‌های قوسی اعم از گنبدی و طاقی فرم‌هایی هستند که در آنها انتقال نیروی وزن و سایر نیروها اصولاً با مکانیسم نیروی غشایی (و اندکی نیروی خمشی) انجام می‌گیرد. از این رو فرم‌های قوسی شکل فنی تر و به منحنی نیروها، که منحنی کامل فرم ساختمانی است، نزدیکتر و نسبت به فرم‌های قلابی شکل دارای برتری فرمی هستند (فرشاد، ۱۳۷۶: ۳۱۷).

قوس‌های آجری که برای پوشش درگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند از پیوند رگه‌های آجری گوه‌ای شکل، که هر کدام با فشار عناصر کنار خود درجای خود نگاه داشته می‌شود، تشکیل شده‌اند (شکل ۷). در کل بارهای وارده از بالا به وسیله آنها به شانه قوس وارد شده، توسط پایه‌ها به زمین انتقال پیدا می‌کنند. باید توجه داشت که نیروی منتقل شده در محل پاکار، خود به دو مؤلفه تجزیه خواهد شد. تعادل قوس پیوند نزدیکی با پایه یا جرز و گشتاور چرخشی وارد شده از طرف بارها که به شانه قوس انتقال پیدا می‌کند دارد (تقی زاده، ۱۳۸۷).

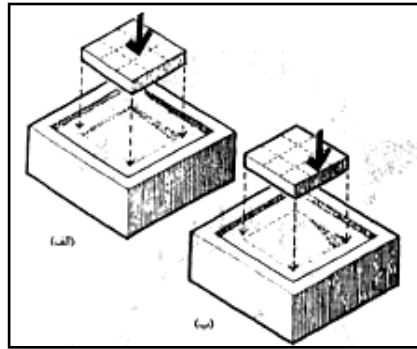


شکل ۷. بخش‌های یک قوس با مصالح بنایی (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲).

به طور کلی بخش‌هایی از یک قوس که تأثیر نیروها در آنجا مشاهده می‌شود عبارتند از:

۱. زاویه شکرگاه: در این نقطه اولین شکاف‌ها و خرابی‌های چفد مشاهده می‌شود، در قوس‌های ایرانی این زاویه در حدود ۲۲.۵۰ درجه می‌باشد.
۲. پشت بعل: بار وارده از طرف دیوار بالای چفد می‌باشد که وظیفه تعادل به کل سازه را داراست. قسمتی از نیروی رانش قوس که بطور مایل به شانه آن وارد می‌شود با وزن وارده از این قسمت ترکیب شده و در مواقعی خود باعث تعادل قوس می‌شود.
۳. مجردی یا جرز: عنصر قائم بر زمین می‌باشد که وظیفه انتقال نیروهای وارده از طرف قوس بر زمین را دارد. با اضافه نمودن عرض آن بر سطحی که به اندازه ۱.۳ ضخامت سطح می‌باشد نیز اضافه می‌شود، برآیند نیروهای قوس می‌بایست از سطح بگذرد در غیر این صورت سازه دارای تعادل نخواهد بود.
۴. عرض یا کلفتی پایه: اگر برشی از پایه قوس بزنیم و آن را تقسیم به سه کنیم و یک قسمت آن را که در وسط است جدا نماییم این قسمت به ۱.۳ کلفتی پایه معروف می‌باشد. (معماربان، ۱۳۶۷).

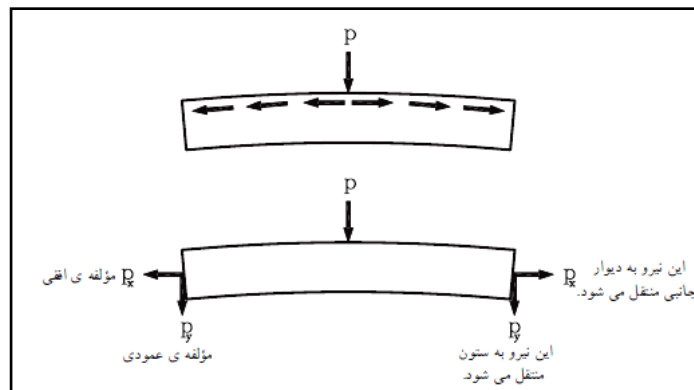
در مدل نمایشی قانون یک سوم وسط: (الف) نیروی وارده روی قطعه پی در مرکز آن است و نتیجه آن فقط نیروی فشاری روی خاک تکیه‌گاهی می‌باشد. (ب) نیروی روی بخش یک سوم وسط پی که نتیجه آن کشش روی بخش‌هایی از خاک تکیه‌گاهی است (شکل ۸). این قانون کلی از کشش ممانعت به عمل می‌آورد و در سازه‌های فشاری (مانند قوس‌ها) خط رانشی درون مرکز ایجاد می‌کند (همان).



شکل ۸. مدل نمایشی قانون یک سوم وسط (شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۲).

از طرفی شرایط داشتن تعادل در یک قوس از قرار زیر است:
الف) منحنی فشار داخل قوس باشد.

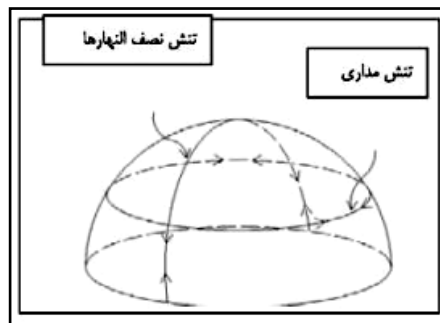
ب) در هر مقطع از قوس، از بوجود آمدن نیروی کششی جلوگیری شود، این بدین معنی است که برآیند نیروهای هر مقطع در داخل ۱.۳ کلفتی تیره قوس بیفتد. چنانچه بر قوسها، نیروی فشاری وارد شود، این نیرو از تیزی قوس به پایه‌ی دو طرف قوسها منتقل می‌شود. این نیرو که حاصل وزن تیر و دیواره بر روی قوسها است، در محل تکیه گاه به دو مؤلفه‌ی افقی و قائم تجزیه شده، این دو نیرو که از نیروی اصلی منشعب شده‌اند از طریق دیوار و ستون‌های جانبی به زمین منتقل می‌شود (شکل ۹)، (شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۲)



شکل ۹. انتقال نیرو در قوسها (شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۲).

۴-۶. رفتار سازه ای و نحوه ایستایی در گنبدها

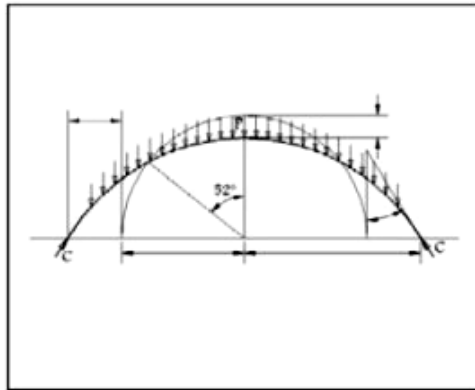
پس از طاق ها و سیر مراحل تکامل تیرها، فرم قوسی در فضایی سه بعدی به دوران در آمده و گنبد را ایجاد نموده که نوعی پوسته می باشد و از این لحاظ رفتار سازه ای متمایزی را نسبت به طاق ها دارا است. به طوری که بارهای وارده را بیشتر از طریق نیروهای غشایی (نیروهای در صفحه) منتقل می نماید و لنگر خمشی در آن بسیار محدود بوده و این موضوع دلیلی است بر ضخامت کم گنبد نسبت به تیرهای قوسی و لذا رفتار سازه‌ای این پوسته (غشا) متأثر از خصوصیات هندسی آن می باشد. نقطه قوت دیگر گنبد (پوسته) آن است که معمولاً تحت بارهای وارده تنش ها در قسمت اعظم سازه از یک نوع (فشاری یا کششی) بوده و بر همین اساس در ساخت گنبد توانسته اند از مصالح بنایی که قابلیت تحمل نیروهای کششی را ندارند به خوبی استفاده نمایند (شکل ۱۰)، (ضیاء آبادی، ۱۳۸۸). همان طور که گفته شد گنبد نوعی پوسته است که نسبت به محورش تقارن دارد. لذا تنش های حاصله از نیروهای وارده بر اثر وزن و غیره بطور یکنواخت در آن توزیع شده که در مسیر نصف النهارها تنش ها فشاری می باشند و در طول مدار بطور ثابت اثر می کند (ضیاء آبادی، ۱۳۸۸).



شکل ۱۰. انواع تنش‌های غشایی روی گنبد (ضیاء آبادی، ۱۳۸۸).

لذا لازم به ذکر است که جهت درک آسان تر موضوع هر گنبد را متشکل از تعدادی المان های نصف النهاری و تعداد المان های مداری در نظر گرفته که در واقع از آن ها بعنوان مقاطع متحمل تنش های اصلی نام می بریم. اکنون برای تشریح نحوه عملکرد نصف النهار و مدارها، یک گنبد با خیز نسبتاً زیاد که تحت بارهای وزنی خود قرار گرفته را در نظر می گیریم و با استفاده از تغییر شکل حاصله نیروها وارده را تحلیل می کنیم. همانطور که مشاهده می شود قسمت بالایی آن مسطح و قسمت پایینی آن باز می گردد و نقاطی که در بخش بالایی قرار دارند تحت اثر بارها به سمت داخل حرکت می کنند اما نقاط پایینی به سمت خارج و دور از محور حرکت

می‌نمایند. بر همین اساس مدارها در قسمت بالایی گنبد کوتاه می‌شوند و در آن‌ها تنش‌های فشاری ایجاد می‌گردد (شکل ۱۱). در حالی که مدارها قسمت پایینی گنبد کشیده شده و تحت تاثیر تنش‌های کششی قرار می‌گیرند. به طوری که در یک گنبد این چنین مداری که در زاویه ۵۲ درجه از محور اصلی قرار دارد تغییر در اثر انتقال نیروی نصف النهار ایجاد می‌گردد و همین موضوع (کشش و فشار در مدارها) باعث هماهنگ شدن یا رفتار یکنواخت (طنابی) نصف النهارها می‌شود (پیرنیا ۱۳۵۲).



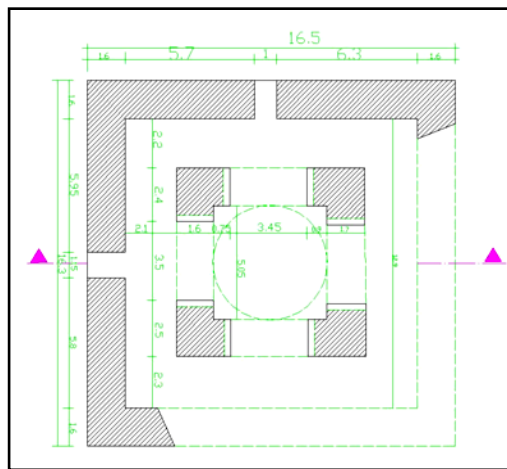
شکل ۱۱. انواع تنش‌های غشایی روی گنبد (پیرنیا، ۱۳۵۲).

۷. بحث و نتایج

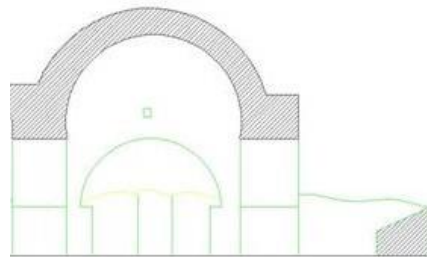
۷-۱. تحلیل نقشه‌ها و الگوی معماری در آتشکده کوشک قیفر

آتشکده کوشک قیفر دارای ملکشاهی مربع شکل به اندازه ۵ در ۵ متر و ارتفاع حدوداً ۱۰ متر می‌باشد. قطر دیوارهایش یک متر، دارای آتشدان و در قسمت فوقانی سوراخ‌هایی وجود دارد که برای خروج دود حاصل از سوخت آتش باشد (شکل ۱۲ و ۱۳).

در این بنا روش ساخت جرزها و ترکیب ساختار آن همانند بسیاری از چهارطاقی‌های ساسانی از جمله چهار طاقی بازه هور، چهارطاقی فراشیند، چهارطاقی چن‌ژیه ایلام، میل میلگه کرمانشاه، مولاب آبدانان و تاق رستم شیروان و چرداول است (مرادی، ۱۳۸۸: ۱۵۵). در این بناها لاشه سنگ‌هایی در اندازه‌های مختلف و بی‌شکل با نظم خاصی در کنار هم و به وسیله ملات گچ قرار داده شده‌اند (آزاد، ۱۳۸۴: ۲۲۰-۲۲۲).



شکل ۱۲. پلان آتشکده قیفر (نگارندگان)



شکل ۱۳. مقطع آتشکده قیفر (نگارندگان)

با شناختی که ما از معماری مذهبی دوره‌ی ساسانی داریم، مهمترین شاخصه‌ی انتصاب چهارطاقی‌ها به آتشکده، وجود تالار طواف پیرامون این آثار است. چهارطاقی کوشک قیفر دارای تالار طواف مرکزی هست و اتاق‌های متعدد پیرامون این تالار مرکزی قرار داشته است؛ محل قرارگیری آتشدان، احتمالاً در همین تالار مرکزی بود.

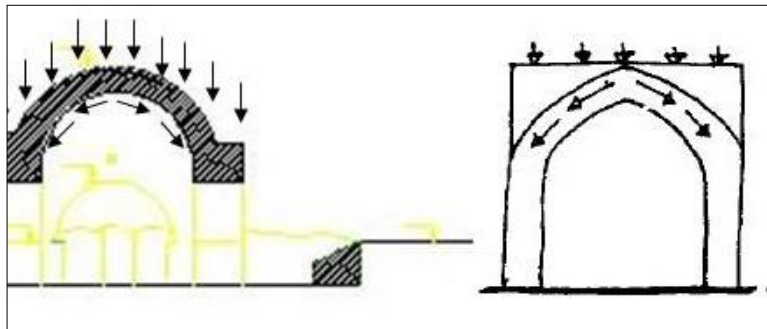
گذشته از دستیابی به ماهیت و کابری بنا، شناخت سبک و الگوی معماری به کار رفته در این مجموعه از دیگر اهداف بود. رودلف ناومان^۱، الگویی را برای آتشکده‌های باستانی دنبال می‌نمود که توسط آندره گدار (۱۹۳۸) و کورت اردمان (۱۹۴۱) مطرح شده بود و به اتاق A تخت سلیمان به عنوان آتشگاه توجه می‌کرد، محلی که در آن آتش مقدس نگهداری می‌شد و با اینکه در اتاق A در معرض تماشای عمومی نبود، اما در معرض دید نیايشگرانی بود که در راهروها و دالان‌های مجاور می‌گشتند (ناومان، ۱۹۶۵: ۶۶۱).

دیتريش هوف بناهای چهارطاقی را از لحاظ نوع و جزئیات پلان به سه گروه تقسیم کرده است که به ترتیب؛ گروه نخست، چهارطاقی‌های مجرد چهارگوش که در حقیقت بدون ستون‌های گوشه و طاق‌های مرتبط کننده هستند، ولی دیوارهایی راست و نازک با سه یا چهار ورودی دارند. گروه دوم، چهارطاقی‌ها با ستون‌های گوشه و طاق‌ها هستند که در این بین دست‌های وجود دارد که در آنها اتاق گنبددار مرکزی با راهرویی تنگ احاطه شده، گروه سوم نیز که به تعداد کمتری از آن یافت شده، دارای اجزایی مشابه نمونه‌ی چهارطاقی‌های دسته‌ی دوم هستند، با این تفاوت که به جای راهروی طواف گرد بخش مرکزی، با اتاق‌ها، ایوان‌ها و غیره احاطه شده‌اند (هوف، ۱۹۸۷: ۲۴۵).

با توجه به دسته‌بندی که هوف انجام داده است، آتشکده کوشک قیفر در گروه نخست یعنی چهارطاقی‌های چهارگوش قرار می‌گیرد.

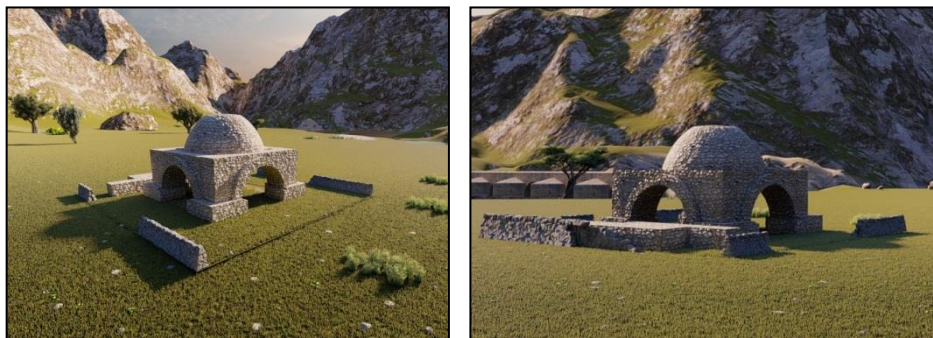
۲-۷- پایداری سازه ای و نحوه ایستایی در آتشکده کوشک قیفر

طاق‌ها چنانچه تحت بار عمودی یا افقی قرار گیرند نیروها را در امتداد قوس به باطاق و در نتیجه پایه‌ها منتقل می‌کنند و چنانچه قوس‌ها تحت تأثیر نیرویی عمود بر میانه‌های آن وارد گردد بهترین شکل را برای انتقال نیروهای عمودی دارند و می‌توان با انتخاب منحنی مورد نظر دهانه مورد لزوم را با استفاده از مصالح ساده‌ای اجرا نمود. در طاق‌ها چنانچه باطاق‌ها را از حالت تعادل و ایستای خود خارج نشوند هر قسمت و یا هر واحد عرض طاق به صورت مستقل عمل نموده و به بقیه قسمت‌های طاق بستگی نداشته و عملاً به صورت یک تیر مستقل عمل می‌نماید. همانطور که در مقطع آتشکده کوشک قیفر مشاهده گردید با استفاده از دهانه بزرگ توانسته خمش و کشش را به حداقل مقدار برساند و فشارهای وارده به وسیله امتداد قوس به باطاق‌ها منتقل می‌شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. نحوه عمل طاق‌ها (آتشکده کوشک قیفر) در مقابله با نیروها و فشارهای وارده (نگارندگان)

همچنین نوع طاق بکار رفته شده در آتشکده کوشک قیفر طاق چهار بخش می‌باشد. این نوع طاق مانند ترکیب از تقاطع دو طاق آهنگ بوجود می‌آید با این تفاوت که در این نوع طاق به جای اینکه چهار ضلع طاق بر روی چهار سطح تکیه کنند بر روی چهار نقطه استوارند. یکی از دلایل پایداری در آتشکده کوشک قیفر استفاده از همین نوع طاق است (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. تصویر سه بعدی بازسازی شده از بنا و سایت آتشکده کوشک قیفر (نگارندگان)

قسمت شمال طاق‌های چهار بخش از چهار طاق و چهار ترک تشکیل شده است. بارهای وارده کلاً توسط مجموعه ای از قوس‌های به هم چسبیده که ترک‌ها را می‌سازند، به چهار تکیه‌گاه منتقل می‌شوند. اجرای این طاق از چهار گوشه آن شروع و به رأس آن ختم می‌شود.

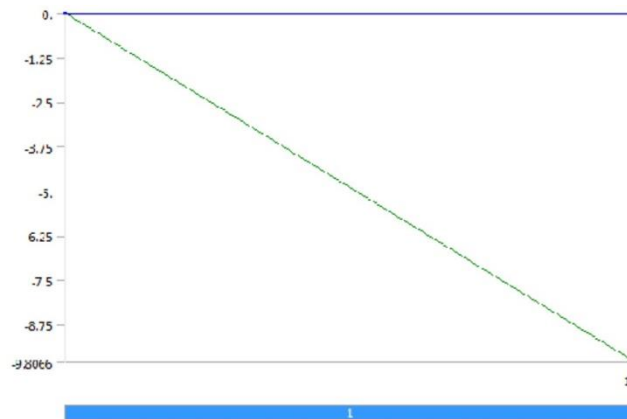
^۱ - Naumann

جدول (1) خصوصیات مصالح بنایی منبع : نگارنده

تنش مجاز لهیدگی	تنش مجاز برشی	تنش مجاز کششی	تنش مجاز فشاری	دانسیته وزنی	ضریب پواسون	مدول الاستیسیته
f_b	f_v	f_t	f_c	γ	ν	E
N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	kN/m^3		N/mm^2
۰/۷	۰/۱	۰/۲	۰/۷	۱۸/۵۴۱	۰/۱	7.358×10^3

جدول (2) آنالیز تحت اثر وزن بنا منبع : نگارنده

Definition	
Define By	Vector
Magnitude	9.8 m/s ² (ramped)
Direction	Defined
Suppressed	No
Define By	ector
Magnitude	9.8 m/s ² (ramped)
Direction	Defined
Suppressed	No



نمودار (1) تغییرشکل وزن بنا منبع : نگارنده

۳-۷- مصالح به کار برده شده در آتشکده کوشک قیفر

در روند تکامل فنون ساختمان و به خصوص در ساخت سازه های عمودی و همچنین سازه های طاقی، ملات ها همیشه نقش مهمی را در امکان دادن به شکل گیری سازه های پیچیده ایفا کرده اند. ملات به عنوان یک ماده چسبنده عمل می کند. در ساخت سازه های طاقی سازندگان از ملات های مختلفی استفاده می کرده اند. در آتشکده کوشک قیفر از ملات ساروج و گچ استفاده شده است (شکل ۱۶).



شکل ۱۶. نوع مصالح و ملات بکار رفته در بنای آتشکده کوشک قیفر (نگارندگان)

چسبندگی بالا گیرش سریع و استحکام اولیه گچ باعث به کارگیری وسیع آن در اجرای ساختمان های طاقی شده است و در واقع بر پا کردن یک سازه طاقی مثل گنبد انواع طاق ها و قوس ها که در آنها از قالب چوبی استفاده نشده است، ملزم به استفاده از این ماده است. همچنین از ملات های آهکی نیز در ساخت آتشکده کوشک قیفر استفاده شده است. اهمیت این ملات در ساخت سازه های طاقی بیشتر به خاطر استفاده از آن در پایه ریزی پی ها می باشد. یکی از مهم ترین ملات های آهکی که کاربرد آن در بنای آتشکده کوشک قیفر مشهود می باشد، ملات ساروج است که اگر چه در اجرا مشکلاتی دارد، ولی دارای مقاومت نهایی قابل توجهی است.

۸. نتیجه گیری

معماری ایرانی سرشار از ویژگی‌ها و خصوصیات منحصر به فرد است که در یکایک اجزا و عناصر سازنده آن، نمودی خلاقانه از نوآوری‌های گذشتگان دیده می‌شود. پس از حمله اسکندر مقدونی به هخامنشیان و بعد از حکومت اشکانی، با تأسیس سلسله‌ی ساسانی فرهنگ و تمدن ایرانی جان دوباره ای گرفت و زمینه ای فراهم شد تا هنرهای مختلف از جمله معماری رشد و توسعه پیدا کند. معماری ساسانی در کنار تداوم طرح‌ها و تکنیک‌های معماری پیشین، شاهد تکامل طرح‌های قبلی و نوآوری‌ها، تکنیک‌ها و اجزا و عناصر جدید است. از جمله مهمترین دستاوردهای این دوره اجرای گنبد بر زیربنای چهارگوش بود که از این نظر، معماری جهان مدیون معماران ساسانی است. آیین زرتشتی دین رسمی ایران دوره ساسانی بود و بناهای مرتبط با این دین از جایگاه مهمی برخوردار بودند. ساختمان اصلی معابد، بناهای چهارطاقی مستقلی بودند که در زیر آنها آتش مقدس فروزان بوده و در طول مراسم مذهبی از دهانه‌های چهارگانه برای مؤمنان قابل مشاهده بوده است و همچنین مجموعه‌هایی وجود داشته که آتش در مواقع دیگر در داخل آن نگهداری می‌شده است. چهارطاقی‌ها یا همان آتشکده‌ها بر پایه چهار دهانه وسیع ساخته شده است و معمولا دارای چهار دروازه است. شناخت چهارطاقی‌های ساسانی و انتصاب آنها به دوره‌ی ساسانی و داشتن کاربری آتشکده، یکی از چالش‌های پیش رو در بررسی بناهای مذهبی این دوره است. تا پیش از این، هر چهارطاقی که با ملات، لاشه سنگ و ساروج شناسایی می‌شد به دوران ساسانی نسبت داده می‌شد، اما شاید با بررسی دقیق‌تر بتوان فهمید که در اوایل دوران اسلامی نیز این سبک معماری هنوز ادامه داشته است. چهارطاقی‌های دوره ساسانی که به آتشکده معروف هستند دارای تالار طواف پیرامون بنا و همچنین برخوردار از تالار مرکزی و قرارگیری آتشکده در تالار مرکزی است، که نمونه بررسی شده یعنی آتشکده کوشک قیفر تمام این خصوصیات که مختص بناهای دوره ساسانی است را دارا می‌باشد.

در کنار تنوع گسترده ای از مصالح که در این دوره مورد استفاده بوده (سنگ لاشه، سنگ تراشیده، آجر، خشت، چینه، گل و گچ و چوب و غیره) استفاده از مصالح در دسترس، استفاده استاندارد از سنگ لاشه و ملات گچ برای ساخت بناهای مختلف، ویژگی شاخص معماری این دوره است، که در مورد آتشکده کوشک قیفر می‌توان گفت استفاده از مصالح پایدار از قبیل سنگ، ساروج و گچ و همچنین کاربرد استاندارد قوس با دهانه بزرگ در اطراف گنبدخانه از جمله دلایل پایداری سازه ای این بنای چهارطاقی می‌باشد.

منابع

- اشرفی، روشنگر (۱۳۹۲)، گنبد ایرانی و جایگاه آن در معماری اسلامی. قابل دسترس در سایت <http://www.islamicartz.com>
- آزاد، میترا (۱۳۸۴)، بررسی تحول بناهای مذهبی دور هی ساسانی به بناهای مذهبی قرون اولیه اسلامی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- پیرنیا، محمدکریم (۱۳۵۲)، ارمان ایران به جهان معماری گنبد، هنر و مردم، سال ۱۲، شماره ۱۳۶-۱۳۷
- تجویدی، اکبر (۱۳۶۳)، تداوم در معماری ایران، ج ۱، به کوشش آسیه جواد، تهران: مجرد، صص ۱۱-۲۵.
- تقی زاده آذری، کتابون (۱۳۸۷)، طراحی عملکردی در مهندسی سازه و تأثیر آن بر طراحی. هنرهای زیبا (۳۴).
- حجازی، مهرداد و میرقادر، رسول (۱۳۸۳)، تحلیل لرزه ای گنبد‌های ایرانی. نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۸، شماره ۶.
- دریایی، تورج (۱۳۸۸)، شهرستا نه‌ای ایرانشهر، ترجمه: شهرام جلیلیان، انتشارت توس، تهران.
- دستوری، سعیده و ایمان طلب، حامد (۱۳۹۶)، عنوان تحلیل رفتار سازه ای گنبد تک پوسته سنگی نمونه موردی: آب انبار قشم، کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در عمران معماری و شهرسازی.
- دهخدا، علی اکبر (۱۳۷۲)، لغت نامه دهخدا، زیر نظر محمد معین و سید جعفر شهیدی. تهران: دانشگاه تهران.
- روتر، اسکار (۱۳۸۷)، تاریخچه معماری دوره ساسانی، در بررسی هنر ایران، به کوشش آرتور پوپ و فیلیس اکرم، تهران، علمی و فرهنگی، صص ۶۳۹-۷۱۰.
- سعیدیان، امین؛ قلی، مجتبی؛ زمانی، احسان و انصاری، مجتبی (۱۳۹۰)، بازساخت چگونگی شکل‌گیری گنبد اورچین (با تأکید بر ساختار هندسی و معماری)، مطالعات شهر ایرانی اسلامی، دوره ۲ شماره ۵، صص ۴۷-۶۵.
- شمسی پور دهکردی، اکرم؛ مریم جعفری فارسانی و زهرا نقدی دورباطی، (۱۳۹۲)، ایستایی گنبد و قوس با مصالح پایدار در معماری سنتی ایران، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران، انجمن محیط زیست کومش، دانشگاه صنعت هوایی.
- شپیمان، کلاروس (۱۳۸۴)، مبانی تاریخ ساسانیان، کیکاوس جهانداری، تهران: فرزانه.
- ضیاءآبادی، آرش، ۱۳۸۶، کاربندی خاستگاه سازه‌های فضاکار، دومین کنفرانس ملی سازه‌های فضا کار، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا.
- فرشاد، پرفسود دکتر مهدی (۱۳۷۶)، تاریخ مهندسی در ایران، جلد سوم، نشر بلخ، وابسته به بنیاد نیشابور.
- گذار، آندره (۱۳۷۱)، آثار ایران، ج ۳، ابوالحسن سروقد مقدم، بنیاد پژوهش‌های آستان قدس رضوی.
- گذار، فاطمه (۱۳۹۳)، چهارطاقی: سابقه کاربرد واژه و صورت، دو فصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی.
- محمدی، مریم؛ نیستانی، جواد؛ موسوی، سیدمهدی (۱۳۹۰)، مطالعه‌ی گونه‌شناسی، عناصر و اجزای معماری ایران در دوره ساسانی، فصلنامه باستان‌شناسی، شماره ۱، دوره اول.
- مرادی، یوسف (۱۳۸۸)، چهارطاقی میل میلگه: آتشکده ای از دوره‌ی ساسانی، مطالعات باستان‌شناسی، شماره نخست، صص ۱۵۵-۱۸۳.
- مردمی، کریم؛ سهیلی فرد، مهدی؛ آقاعیزی، مجید (۱۳۹۴)، همسازی سازه و معماری در راستای جانمایی بهینه تکیه گاه‌ها به روش الگوریتم ژنتیک؛ (نمونه موردی: پوشانه‌های با فرم آزاد، طراحی شده بر اساس هندسه گره ایرانی)، نقش جهان، شماره ۱۰.
- معماریان، غلامحسین (۱۳۶۷)، نیارش سازه‌های طاقی. جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت.
- معین، محمد (۱۳۶۳)، فرهنگ فارسی. تهران: امیر کبیر.

۲۳. مولایی، یوسف و ثبوتی، هومن (۱۳۹۵)، بررسی شیوه های ساخت و پایداری سازه های گنبدی و طاقی با مصالح پایدار در معماری ایرانی اسلامی، سومین کنفرانس علمی پژوهشی افق های نوین در علوم جغرافیا و برنامه ریزی معماری و شهرسازی ایران.
۲۴. ناصری، علیرضا (۱۳۸۲)، معرفی طاق شیرین و فرهاد و آتشکده کوشک فیفر، فرهنگ ایلام، (۱۵)، ۳۴-۳۷.
۲۵. هاشمی زرج آبادی، حسن، بهار (۱۳۸۹)، چهارطاقی خانه دیو، آتشکده های نویافته از دوره ساسانی، مجله باغ نظر، ش ۱۵، سال ۷، صص ۷۹-۹۲.
۲۶. هوف، دیتریش (۱۳۶۶)، گنبدها در معماری اسلامی، کرامت ا. افسر و محمد یوسف کیانی، در معماری ایران دوره اسلامی، به کوشش محمد یوسف کیانی، جهاد دانشگاهی، صص ۳۹۷-۴۱۴.
۲۷. Boyce, M., ۱۹۷۵, "On the Zoroastrian Temple Cult of Fire", JAOS ۹۵, pp. ۴۶۴-۴۶۵.
۲۸. Creswell, K.A.C.(۱۹۱۴), "The History and Evolution of the Dome in Persia", Journal of the Royal Asiatic society of Great Britain and Ireland, pp. ۶۸۱-۷۰۱.
۲۹. Godard, A., ۱۹۳۸, "Les monuments du feu", Athar-e Iran, p. ۱۲.
۳۰. Huff, D.(۱۹۸۷). "Architecture II .Sassanian Period", Encyclopaedia Iranica, vol II, Routledge & Kegan Paul, London and New York, pp. ۳۲۹-۳۳۴.
۳۱. Keall.E.J(۱۹۸۹), "Ayvan(or Tag)-Khosrow", Encyclopaedia Iranica, vol III, Routledge & Kegan Paul, London and New York, pp. ۱۵۵-۱۵۹.
۳۲. Nauman, R., ۱۹۶۵, Et Ali, Takht-i Suleiman und Zendan-i Suleiman, Vorläufiger Bericht über die.- Ausgrabungen in den Jahre ۱۹۶۳ und ۱۹۶۴, AA ۱۹۶۵, pp. ۶۲۱-۶۲۳.
۳۳. O'kane, B(۱۹۹۶). "Dome in Iranian Architecture", Encyclopaedia Iranica, vol VII, Routledge & Kegan Paul, London and New York, pp. ۴۷۹-۴۸۵.
۳۴. Pope. A. U(۱۹۳۳). A Sasanian Garden Palace, The Art Bulletin, vol. ۱۵, no. ۱, pp. ۷۵-۸۵.
۳۵. Reuther, Oscar(۱۹۳۹). "Sasanian Architecture", in "A survey of Persian art", ed by Arthur Upham Pope, vol(۲) oxford university Prss, pp. ۴۹۳-۵۷۸