



نگاهی بر هندسه و عملکرد سازه ای قوس چیدری (بررسی نمونه های موردی گنبد ها)

روجا ارجمندنیا^۱، گلزار یونسی^۲، پگاه شیرازپور^۳

- ۱- مربی گروه معماری واحد کرج، دانشکده مهارت، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
- ۲ مربی گروه معماری واحد کرج، دانشکده مهارت، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
- ۳ مربی گروه معماری واحد کرج، دانشکده مهارت، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

چکیده:

قوس یا چفت از عناصر معماری ایرانی است که در قدیم به کمک آن جهت پوشش سقفها یا تاق ها استفاده میگردید. در میان قوس ها قوس چیدری به دلیل مقاومت مناسب، بیشتر جهت پوشش گنبدها استفاده میشود. معماران ایرانی به طور تجربی دریافته بودند که چفد چیدری یا چیدری قابلیت باربری بالا و تناسبات زیبا دارد. و از آن در پوسته^۱ بیرونی گنبدهای دو پوسته^۲ به خصوص گسسته^۳ نار استفاده می کردند. این نوشتار به جمع اوری اطلاعات در مورد قوس چیدری و میزان کارایی و باربری آن و در پایان به معرفی نمونه های موردی قوس میپردازد.

لغات کلیدی : چفد، قوس، چیدری، چیدری، نیارش

مقدمه:

هندسه در معماری اسلامی به عنوان یک وسیله برای ایجاد تعادل و هماهنگی است، تعادلی که از طرف خالق در ساخت مخلوقات خود به کار گرفته شده است. این وسیله نه تنها در معماری بلکه در تمامی هنرهای وابسته به آن با کمال دقت و تبحر دیده می شود. نیارش قوس ها در معماری سنتی، یکی از موضوعات قابل بررسی در گذشته معماری کشورمان است که هنوز ابهامات زیادی در مورد آن وجود دارد.

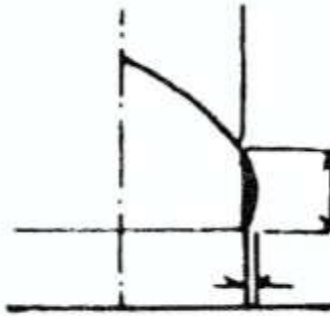
قوس که در زبان فارسی کهن چفد خوانده میشود، در تعریف هندسی، خط یا شکل منحنی است و در اصطلاح معماری، به باریکه تاقی که روی سر در یک درگاه قرار میگیرد، اطلاق میشود. تاق به طور کلی، به مفهوم پوشش بین دو دیوار است و شکلی که تاق از نظر ترکیب تابع آن میشود، همان چفد است.

قوس (یا چفته یا چفد) سازه ای منحنی شکل در معماری است که بر روی دهانه ها به منظور کاربردهای گوناگون پوششی ساخته می شود. این کاربردها می تواند طاق و گنبد باشد و یا سازه های دیگری همچون پل یا طاق نصرت و یا چفدها همواره از نگاه



ریخت‌شناسی به سه شکل کلی ساخته شده‌اند: مازه‌دار و تیزه‌دار و چندوجهی. با این حال آنچه بیشتر کارایی باربری داشته است معمولاً قوس‌های تیزه‌دار و مازه‌دار بوده است. سقفهای قوسی و گنبدی ساخته شده با مصالح خشت و آجر، یکی از مصادیق معماری پایدار در معماری سنتی ایران بودند، چرا که فرم گنبد بهترین فرم جهت مقابله با شرایط جوی و کاملاً سازگار با اقلیم بوده است.

چفد شبدری یا چیدری



به نظر میرسد انتخاب لغت شبدر از کلمه شب به معنی پوشاندن گرفته شده باشد (چون این چفد هیچگونه شباهتی با گل شبدر ندارد) کلمه شب در لغات ترکیبی چون شبستان، چادر شب، شب کلاه و ... به همین معنی پوشاندن آمده است. در جنوب ایران به شبدری، شپدری هم میگویند. یکی از عللی که این چفد معمولاً در گنبدها بکار میرود (نه در طاقها) آن است که در ترسیم این چفد از دایره استفاده می‌شود لذا ترسیم آن در فضا برای اجرای طاق به علت مشکل یافتن مرکز دایره کمابیش میسر نیست حال آنکه در خود گنبد (پوسته بیرونی) چون از نوعی شابلون" استفاده می‌کنند (ابزاری که روی خود گنبد می‌گردد و پایه اش روی

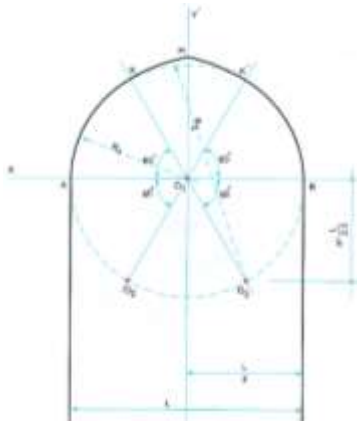
بلبرینگ است و مرتباً با آن می‌توان قوس گنبد را کنترل کرد) مشکل ترسیم آن در فضا حل می‌شود و فرم یکدست تر اجرا میگردد. علل دیگری در کاربرد این نوع چفد وجود دارد که از آن جمله می‌توان قابلیت باربری و زیبایی شکل و ترکیب پذیری آن با انحنای آوگون در گنبدهای آوگون دار رانام برد (پیرنیا، ۱۳۷۳)

آوگون، بیرون زدگی گنبد، در گنبد های دو پوسته میباشد . که اصلاحاً میگویند، قوس سرنگون یا وارونه شده و انتهای پای گنبد به طرف داخل متمایل میشود. (سیدصدر، ۱۳۸۱)

ترسیم انواع قوس چیدری

دانشمند بزرگ غیاث الدین روش ترسیم انواع چفد چیدری شامل تند، کند و ساده را در کتاب مفتاح الحساب آورده است (کاشانی، ۱۳۶۶: ۵۲-۵۴). غیاث‌الدین جمشید کاشانی (الکاشی)، ریاضیدان و اخترشناسی برجسته سده نهم قمری/پانزدهم میلادی تمدن اسلامی است؛ که بنیانگذار روشی علمی در دانش ریاضیات معماری است. تحقیقات کاشانی منجر به تدوین بنیان های نظری کاربرد ریاضی برای طراحی و محاسبه گونه های مختلف پوششی، قوس و تزئیناتی شد، که یا پیش از این به طور ناقص به آن پرداخته شده، و یا مورد بررسی قرار نگرفته بود. (کاشانی، ۱۳۶۶)

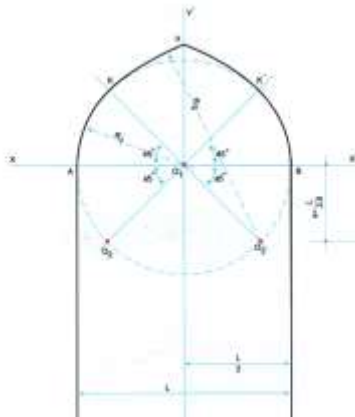
چفد چیدری مثل اکثر چفدهای ایرانی بر سه گونه تند و کند و متوسط است. استاد حسین زمرشدی در کتاب طاق و قوس در معماری ایران روش ترسیم دقیق این قوس ها را بیان نموده است. (زمرشدی، ۱۳۸۷)





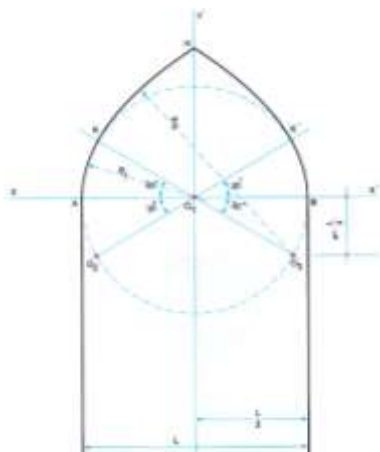
قوسی چیدری کند

- چیدری کند به جهت آن که خیز این چفد خیلی کوتاهتر از چیدری تند است؛ لذا برای دهانه های بزرگ مقاومت کافی ندارد.
- ۱- امتداد دو ستون و محورهای عمودی و افقی رسم می شود.
 - ۲- از مرکز O_1 در دو جهت تحت زاویه ی 60° درجه نسبت به محور افقی خطوط کمکی استخراج می شود. دایره های به شعاع O_1A و مرکز O_1 رسم میشود. نقاط تقاطع دایره و خطوط کمکی نقاط K, K', O_2 و O_3 نامگذاری می شود.
 - ۳- کمان اولیه قوس بخشی از محیط دایره بین نقاط AK و BK' است.
 - ۴- ادامه ی قوسی از دو نقطه ی مذکور به شعاع O_2K' و O_3K و به مرکز O_2 و O_3 تا نقطه ی H محل تقاطع با محور عمودی رسم می شود. (زمرشدی، ۱۳۸۷)



قوس چیدری متوسط

- ۱- امتداد ستونها و محورهای عمودی و افقی ترسیم میشود سپس به مرکز O_1 محل تقاطع دو محور دایره ای به شعاع O_1A رسم میگردد.
- ۲- از مرکز O_1 خطوط کمکی با زاویه ی 45° درجه نسبت به محور افقی رسم میشود تا دایره ای را که به مرکز O_1 رسم شده در نقاط K و K' و O_2 و O_3 قطع کند.
- ۳- کمان اولیه ی قوسی بخشی از محیط دایره ی بین نقاط AK و BK' است.
- ۴- ادامه ی قوس از دو نقطه ی مذکور به شعاع O_2K' و O_3K و به مرکز O_2 و O_3 تا نقطه ی H محل تقاطع با محور عمودی رسم می شود. (زمرشدی، ۱۳۸۷)



قوس چیدری تند

- چفد چیدری یا چیدری تند این چفد قابلیت باربری خوب و تناسبی زیبا دارد. از آن در پوسته ی بیرونی گنبد های دو پوسته ی گسسته نار استفاده می شود. (معماریان)
- ۱- امتداد دو ستون و محورهای عمودی و افقی رسم می شود.
 - ۲- به شعاع O_1A و مرکز O_1 دایره های ترسیم می شود.
 - ۳- از مرکز O_1 خطی با زاویه ی 30° درجه نسبت به محور افقی رسم می شود. محل تقاطع این خط با دایره ی ترسیم شده نقاط O_2 و O_3 است.
 - ۴- به مرکز O_1 و شعاع O_1A کمانی از نقطه ی A تا نقطه ی K رسم می شود. ۵- به مرکز O_3 و به شعاع O_3K ادامه ی قوس تا تلاقی با محور عمودی رسم می شود.



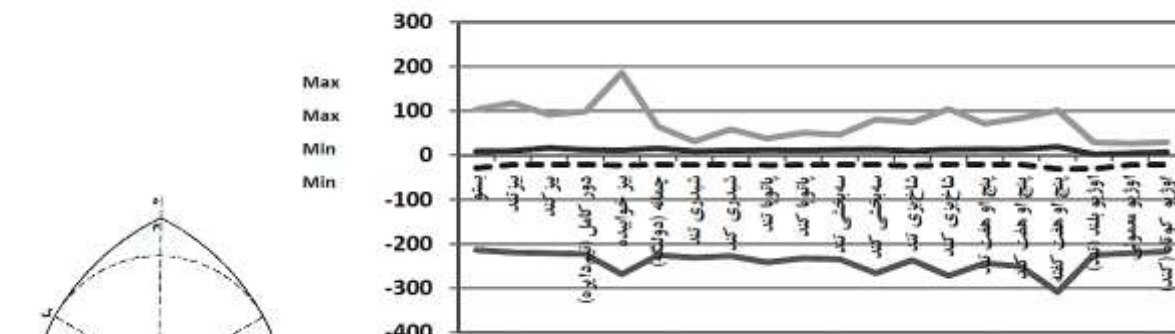
۶- شانه ی دیگر قوس نیز به همین روش ترسیم میگردد. (زمرشدی، ۱۳۸۷)

در چفدهای چیدری که برای منحنی گنبدهای گسته استفاده می شوند، نقاط الف و ب پاکار چفد نمی باشند. برای بدست آوردن اوگون (بیرون زدگی منحنی چفد نسبت به محل پاکار) با زاویه ۱۵° درجه نسبت به ج ب یا ج الف خطی ترسیم می کنیم و در نقاط الف ۱ و ب ۱ پاکار به دست میآید (معماریان، ۱۳۹۱).

انالیز استاتیکی قوس چیدری

مینا راد احمدی در مقاله انالیز استاتیکی قوس های ایرانی به انالیز استاتیکی ۲۰ قوس ایرانی پرداخته است. به کمک برنامه های کامپیوتری AutoCAD و ANSYS میتوان به سادگی برای مدلسازی از المانهای دوبعدی و یا سه بعدی استفاده کرد. پس از ایجاد هندسه اشکال در نرم افزار اتوکد و سپس المان بندی مناسب با ترسیمات هندسی، تغییر مکانها و تنشهای اصلی در نرم افزار ANSYS مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج حاصله نشان میدهد که میزان تغییر شکل و تنش بیشتر بستگی به هندسه قوس دارد نه خیز، همچنین قوس های تیزه دار ایرانی که معمولاً ۴ پرگاری یا ۶ پرگاری هستند نسبت به قوس های دو پرگاری و یک پرگاری (نیم دایره) پایدارتر هستند و علت آن این است که شکل قوس های مزبور به گونه ای است که در شرایط مشابه تحت تنش کمتری قرار میگیرند. چرا که منحنی فشار در این قوسها به هندسه قوس که در واقع مسیر انتقال بار میباشد، نزدیک تر است. بشتین مقدار ناپایداری در میان قوس های مورد بررسی مربوط به بیز خوابیده و پنج او هفت گفته بوده و کمترین تنش در انواع قوس اوژیو و چیدری مشاهده شد. (مینا راد احمدی، ۱۳۹۰).



مقایسه درصد تنشهای اصلی مجاز در قوس ها

علی زمانی فرد در مقاله ای با عنوان نگاهی به مرمت گنبد در ایران به بررسی ۱۴ گنبد ایرانی با قوس های مختلف به روش المان های خاص و برنامه NSA-II پرداخته است. نتایج بررسی شده از قوس های چیدری میزان و مکان تنش را به شرح زیر نشان میدهد:




طبق محاسبات انجام گرفته توسط نرم افزار، در گنبد با قوس چیدری تند تنش های اصلی همواره کششی میباشند مقدار آن ۹۳٪ مقدار مجاز است و در نزدیکی شکرگاه به وجود می آید. تنش نصف النهاری همواره فشاری و مقدار آن ۱۹٪ مقدار مجاز است که بیشترین مقدار آن در ناحیه تکیه گاه و پای گنبد است. بیشترین تنش برشی این گنبد برابر ۷۰٪ تنش مجاز در ناحیه پای گنبد و محل تکیه گاههاست. در گنبد با قوس چیدری کند حداکثر تنش های اصلی در محل شکر گاه به صورت کششی برابر ۱۳٪ تنش مجاز کششی است. حداکثر تنش نصف النهاری در محل تکیه گاه به صورت فشاری حدود ۱۸٪ تنش مجاز فشاری است مقدار تنش برشی ایجاد شده در محل تکیه گاه و برابر با ۶۰٪ تنش مجاز برشی است. (زمانی فرد، ۱۳۸۱)

بنابر این بر اساس تحقیقات انجام شده این مدل قوس از مقاومت کافی برای تحمل تنش های مجاز برخوردار بوده که این موضوع علت اصلی انتخاب این قوس ها را به عنوان گنبد نشان میدهد و معماران ایرانی با ازمون و خطا و بدون داشتن ابزارهای مناسب برای محاسبات، صرفا به طور تجربی این مدل قوس را برای گنبدها در نظر میگرفتند.

معرفی بنا

گنبد مسجد « معیرالممالک » گنبدی زیباست که سادگی جلوه آجری آن بیش از هر چیز جلب توجه می کند؛ چه، هیچ تزیینی در این گنبد دیده نمی شود. این گنبد از نوع دو پوشش پیوسته است. نوع قوس خود آن چیدری تند است، که در عهد صفویه بیشتر عمومیت داشته است. این نوع گنبد به دلیل ارتفاع زیاد نسبت آوگون است، در ناحیه فرود بر روی یک گریو مینشیند. (ضرغانی، ۱۳۸۵). در میان گنبدهای بنام دیگر، گنبد مقبره غیاث الدین ملکشاه مشهد، نیز از نوع چیدری است (هاشمی زرج اباد، ۱۳۹۰). گنبد مسجد جامع ورامین به همت شیبانی و به روش تقسیم بندی و ریسمان کشی در زمین، برداشت گردید. پس از پیاده نمودن حاصل برداشت با مقیاس مناسب، قوس بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و از رساله طاق و ازج غیاث الدین جمشید کاشانی، استفاده شد. حاصل این تحلیل دستیابی به ترسیم هندسی قوس چیدری بود. (شیبانی، ۱۳۶۹)

نام مکان	عکس	نوع قوس
گنبد مسجد معیرالممالک تهران		چیدری تند (ضرغانی، ۱۳۸۵)

چیدری تند (هاشمی، ۱۳۹۰)		مقبره امیر غیاث الدین ملک‌شاه مشهد	۲
چیدری کند (شیبانی، ۱۳۶۹)		مسجد جامع ورامین	۳
چیدری تند (زمانی فرد، ۱۳۸۱)		بقعه سید رکن الدین (یزد)	۴
چیدری تند (زمانی فرد، ۱۳۸۱)		امامزاده اسمعیل (اصفهان)	۵
چیدری کند (زمانی فرد، ۱۳۸۱)		گنبد مسجد جامع یزد	۶

بناهای شناخته شده دارای قوس چیدری (منبع : نگارنده)

از گنبدهای آنالیز شده توسط زمانی میتوان به گنبد بقعه سید رده دین (یزد) و امامزاده اسمعیل (اصفهان) اشاره کرد. زمانی با توجه به ابعاد گنبد این دو را از نوع چیدری تند میدانند. همچنین گنبد مسجد جامع یزد یکی از انواع گنبدهایی است که او اعتقاد دارد با قوسی از چیدری کند اجرا شده است. (زمانی فرد، ۱۳۸۱)



نتیجه گیری

قوس از عناصر سنتی معماری ایرانی است که از مدل های مختلف آن جهت پوشش گنبد ها و دهانه های بزرگ استفاده میگردید. در میان قوس ها، قوس چیدری به دلیل تحمل مناسب فشارها و تنش ها در نقاط مختلف قوس، از اهمیت بسزایی برخوردار بود. بسیاری از گنبدهای معروف، با دهانه های نسبتا بزرگ، به کمک این قوس شکل گرفته اند.

منابع:

۱. زمرشدی، حسین (۱۳۸۷) طاق و قوس در معماری ایران، انتشارات کیهان، تهران، ۲۴۳-۲۳۸
۲. کاشانی، غیاث الدین (۱۳۶۶)، رساله طاق و ازج، انتشارات سروش، تهران، چاپ اول ۱۰۳-۸۸
۳. معماریان، غلامحسین (۱۳۹۱) معماری ایران نیارش، انتشارات نغمه نو اندیش، تهران، چاپ اول، ۱۰۱-۱۰۰
۴. پیرنیا، محمد کریم، (۱۳۷۳) فصلنامه اثر شماره ۲۴، چفدها و طاق ها ۴۵-۵
۵. راد احمدی، مینا (۱۳۹۰) انالیز استاتیکی انواع قوس های ایرانی، چهارمین کنفرانس ملی عمران
۶. شیبانی، زرین تاج، (۱۳۶۹) فصلنامه اثر شماره ۲۱، گزارش تعمیرات مسجد جامع ورامین در سال ۱۳۶۹
۷. ضرغانی، اسماعیل، (۱۳۸۵) مجله اثر شماره ۴۰ و ۴۱، مسجد و مدرسه معیر الممالک ۸۰-۵۹
۸. هاشمی زرج اباد، حسن، (۱۳۹۰) مجله مطالعات فرهنگی خراسان شماره ۲۰، نیارش سازه های طاقی در معماری ارامگاهی خراسان ۱۴۵-۱۱۸
۹. سیدصدر، سید ابوالقاسم، (۱۳۸۱)، دایره المعارف معماری و شهرسازی، انتشارات ازاده، چاپ اول، ۳۲
۱۰. زمانی فرد، علی (۱۳۸۱)، نگاهی به مرمت گنبد در ایران، نشریه اثر، بهار و تابستان ۱۳۸۱ شماره ۳۳ و ۳۴. ۲۲۷-۲۷۸

منابع عکس

۱. www.safarnevvis.com

۲. www.kojaro.com

۳. www.rouydad24.ir