



## بررسی روش های تحلیل سازه های تاقی و استفاده از روش Thrust Line Analysis در تحلیل سازه های یک تاق سنتی در شهر یزد

محمد حسین افشاری پور

دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

mhaf72@gmail.com

### خلاصه

این مقاله به بررسی روش های نوین تحلیل سازه های تاقی می پردازد و سپس تکنیک Thrust line analysis بطور دقیق تر معرفی شده و از آن برای تحلیل پایداری سازه های یک تاق سنتی در شهر یزد استفاده می شود. دلیل استفاده از تکنیک مذکور، سرعت و سادگی محاسبات و دقت نسبتاً مطلوب نتایج بدست آمده می باشد. بخش اول مقاله با روش کتابخانه ای و بخش دوم آن با روش توصیفی-تحلیلی انجام شده است. نتایج این مقاله در زمینه حفاظت و مرمت تاق های سنتی موجود، بازسازی و مقاوم سازی در برابر زلزله قابل استفاده می باشند.

کلمات کلیدی: تحلیل سازه ای، سازه های سنتی، یزد، Thrust line analysis، مرمت

### 1. مقدمه

تاکنون روش های مختلفی برای تحلیل سازه های تاقی ارائه شده اند که روش های ساده و گرافیکی تا روش های محاسباتی با متغیر های زیاد را دربرمی گیرند. در معماری گذشته، مشخص کردن پارامترهای سازه ای تاق مانند خیز، ضخامت و سطح دیوارهای باربر بر اساس شهود و دانش تجربی بنایان صورت می گرفت. در قرن 13، معمار Villard de Honnecourt در نوشته هایی نحوه بهینه سازی یک تاق چهار بخشی را شرح می دهد (Honnecourt 1300). بعداً مشاهده شد که تاق های چهار بخشی که از این روش استفاده کرده بودند رفتار سازه ای بهتری داشتند (Ebner 2011). این امر نشان دهنده وجود نوعی شهود در بنایان گذشته نسبت به رابطه بین فرم و عملکرد سازه ها می باشد (Galasso 2008).

در دو قرن اخیر، سه گروه متفاوت از روش های یافتن فرم صحیح هندسه های منحنی و فونیکولار پیشنهاد شده اند. در گروه اول از مدل های فیزیکی استفاده می شود مانند مدل های زنجیری یا نخ که آویخته می شوند. برای مثال در قرن هفدهم، طراحی و ارزیابی سازه گنبد کلیسای جامع سنت پاول در لندن و سنت پیتر در روم توسط مدل های زنجیر آویخته انجام شد. در اوایل قرن بیستم نیز طراحان مشهوری مانند آنتونی گائودی، فرای اوتو و هاینریش ایسلر از این روش استفاده کردند (Gabriele, et al. 2018).

گروه دوم شامل روش های گرافیکی می شود که شناخته شده ترین آنها گرافیک استاتیک است. این روش در قرن نوزدهم بیشتر توسط کارل کولمان، لویی کرمونا، جیمز ماکسول، ویلیام رنکین و رافائل گوستاوینو استفاده میشد. در گرافیک استاتیک که مبتنی بر هندسه و ترسیم است، از دو دیاگرام استفاده می شود: یک دیاگرام فرمی که هندسه سازه را بصورت اتصالات مفصلی نشان می دهد، و یک دیاگرام نیرو که تعادل نیروهای درونی و خارجی سازه را نشان می دهد. قدرت این روش مبتنی بر دو جانبه بودن آن است، بدین معنی که هم میتوان از روی دیاگرام فرم، دیاگرام نیرو را محاسبه کرد، و هم میتوان بطور بالعکس عمل کرد و بخش هایی از دیاگرام فرم را از روی دیاگرام نیرو بدست آورد. در نتیجه هر دو محدودیت های فرمی یا نیرویی میتوانند طراحی را به پیش ببرند (Kilian 2006). دیاگرام نیرو با ترکیب تمام بردارهای نیرو ساخته می شود و تعادل گره ها و سازه را بطور گرافیکی بیان می کند. از آنجائیکه عناصر دیاگرام نیرو، بردار نیروی اعضای سازه ای هستند، تعداد آنها با دیاگرام فرم برابر است؛ عناصر آن با عناصر متناظر در دیاگرام فرم موازی هستند؛ و طول عناصر متناسب با اندازه نیروهای محوری در عناصر سازه ای دیاگرام فرم است. از نظر هندسی، این رابطه بین دیاگرام های نیرو و فرم دوسویه است (Maxwell 1864). ایراد بزرگ روش های بالا این بود که هر گونه تغییر در طراحی و سازه ایجاب می کند که سازه از ابتدا محاسبه شود چراکه هر گونه تغییر در اجزای آن بر روی کل سازه تاثیر می گذارد، و از آنجائیکه در آن زمان امکان استفاده از رایانه وجود نداشت انجام این محاسبات بسیار طولانی و طاقت فرسا بود.