بررسی منطقِ ایستاییِ تاق در بنای موسوم به ارک علیشاه در تبریز

امین مرادی*
دکترای باستان شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تبریز، ایران
بهروز عمرانی
ریاست پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تبریز، ایران
مهدی ذاکری
کارشناس میراث فرهنگی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران
Aminmoradi66@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۲/۳۱

چکیده

در صورتی‌که بقایای معماریِ منسوب به علیشاه جیلانی در تبریز را آخرین حلقه از زنجیره ساختمان‌های بزرگ‌مقیاس دوره ایلخانی متصور شویم؛ به گونه‌ای که دهانه‌ی سی متریِ آن بزرگ‌ترین و مرتفع‌ترین تاق آجری جهان اسلام را در بر داشته است، ابراز ایرادات فنی در راستای ردِ تئوری امکان اجرای تاق در دهانه‌ی مزبور، نکته‌ی مقابل بیش از نیم قرن مطالعات تاریخ معماری، نتایج باستان‌شناسی و گزارشات جهانگردان پیرامون انطباق داده‌های تاریخی با موقعیت مسجد علیشاه در تبریز خواهد بود. با فرض بر اینکه بقایای معماری U شکل با دیوارهایی به قطر یازده متر، جهت اجرای تاق آجریِ بخشی از پروژه معماریِ عظیمی در نظر گرفته شده است؛ کشف محدودیت‌های سازه‌ای حجم معماری مورد مطالعه در زمینه‌ی میزان پایداری، آسیب‌پذیری و نهایتاً عدم امکان اجرای تاق در دهانه‌ی مزبور، فصل‌گشای افق‌های نوینی پیرامون تفسیرِ متون تاریخی و رابطه آن با بنای ایلخانی یاد شده در منابع تاریخی خواهد بود. تحقیق پیش‌رو بر آن است تا پس از پاسخ‌دهی به این مسئله که آیا حجم آجری منسوب به علیشاه قابلیت اجرای چنان تاقی را داشته است یا خیر، ضمن آنالیز استاتیکی و تحلیل مشخصات سازه‌ای بقایای معماریِ موجود و بدون توجه به روایات تاریخی، نقش تعیین کننده‌ای در بازبینیِ مسائل تاریخی پیرامون مسجد علیشاه داشته باشد. مطابق نتایج به دست آمده، تنش حاصل از بارگذاریِ ناشی از وزن هر نوع تاق در بنای مورد نظر، فراتر از پتانسیل‌های مکانیکیِ سازه بوده و منجر به فروپاشی پایه‌ها در هر شرایط خواهد شد. از این دیدگاه، هیچ نوع پوششی از نوع تاق در هیچ بازه‌ی زمانی در بقایای معماری منسوب به علیشاه قابل اجرا نبوده است. بدین‌ترتیب، هیچ رابطه‌ای میان بقایای امروزی منسوب به علیشاه و مسجد ساخته شده توسط علیشاه وزیر با بزرگترین تاق آجری جهان وجود ندارد؛ از این دیدگاه، نمیتوان بقایای معماری موجود را به علیشاه جیلانی نسبت داد.

کلید واژگان: ارک علیشاه، مسجد علیشاه، تاق علیشاه، مجموعه علیشاه

۱- مقدمه

جنبش ناگهانیِ معماری بزگ‌مقیاس طی قرون هفتم و هشتم ه.ق را بزرگ‌ترین نوآوری صورت گرفته در تاریخ معماری جهان اسلام دانسته‌اند[۱] (طی این دوره و به دلیل اهمیت شمال‌غرب ایران به عنوان پایتخت جهان اسلام، شکل‌گیری دیدگاه‌های معماری متفاوت در این منطقه منجر به تولید ابعاد متفاوتی از بناها گردید که تا آن زمان بی‌سابقه بوده است. در همین راستا، آنچه که در روند تغییر ابعاد ساختمانی در مرحله اول ضروری می‌نماید، طراحیِ سیستم کارآمدی جهت انتقال نیرو به بهترین شکل ممکن به پایه‌هایی خواهد بود که قدرت واکنش در برابر آن نیرو را داشته باشند [۲]،[۳]؛ به همین جهت، اجرای بزرگترین تاق آجری جهان در بنای موسوم به ارک علیشاه و در دهانه‌ای نزدیک به ۳۰ متر، بزرگترین چالش معماری جهان اسلام را در پی خواهد داشت. علی‌رغم پیچیدیگی مسئله در نگاه اول، تمهیدات استاتیکی جهت انتقال نیروی ناشی از چنان تاق عظیمی در بنای موسوم به ارک علیشاه نه تنها کافی نیست، بلکه مسئله‌ی ایستایی چنان سازه‌ای –با توجه به ارتفاع دیوارها– مستلزم حضور پشتیبان‌هایی در دو طرف آن خواهد بود؛ چراکه در غیر این صورت، فشار جانبی تاق منجر به ایجاد شکست در پایه‌ها [۴] و در نتیجه از هم گسیختگیِ کل بنا خواهد شد. با علم بر اینکه ایستائی دیوار ضلع جنوبی پایین‌تر از دیگر اضلاع میباشد [۵] و با قبول تئوری حضور تاق در این بنا، به گونه‌ای که ارتفاع آن بین ۶۵ متر [۶]تا ۵۵ متر [۷] میتوانسته متغیر باشد؛ مسئله‌ی پوشش حدفاصل بین انتهای دیوار محراب و بالاترین ارتفاع تاق با مصالح آجری و به صورت سرتاسری از منطق ایستایی برخوردار نخواهد بود؛ چرا که در این‌صورت علاوه بر چالش مهار تاق، تثبیت مسئله‌ی رانش دیوار مزبور جزء پیچیده‌ترین مسائل پیرامون تاریخ مهندسی خواهد بود. از طرفی، مسئله اتصال بقایای معماری امروزی به بخش شمالیِ قدیمی‌تر [۶] به نحوی که حجم معماری مورد نظر را به نمای اصلیِ بنای شمالی افزوده‌اند [۸]، بلافاصله این استدلال را مطرح خواهد کرد که مسدود نمودن نمای اصلی بنای قسمت شمالی با حجم آجریِ عظیمِ تاق‌دار از منطق معمارانه برخوردار نمی‌باشد. از آنجا که نتایج مطالعات پیشین پیرامون مطالعه‌ی بقایای معماری موجود رهیافتی ترکیبی (Synthetic) و غیر تحلیلی بوده است؛ پژوهش پیش رو نخستین گام در زمینه‌ی بازبینیِ مسئله امکان حضور تاق و یا عدم وجود آن در سازه منسوب به علیشاه در تبریز بر اساس داده‌های عینی موجود (Objects) خواهد بود.

۲-پیشینه پژوهش

هرچند تمامی محققان و تاریخ‌دانان همواره از بزرگترین تاق آجری جهان در آنچه که امروزه به عنوان ارک علیشاه معرفی شده است سخن گفته و آن را بخشی از بقایای پروژه معماری مسجد علیشاه در تبریز دانسته‌اند [۹]، [۱۰]، [۱۱]؛ با این حال، بازبینی‌های علمی جهت حضور گونه‌ای تاقِ سهمی شکل دوره ساسانی در دهانه‌ای نزدیک به سی متر در بقایای امروزیِ منسوب به علیشاه موضوعی بوده است که قبل از منصوری و آجرلو هرگز بدان پرداخته نشده است [۶]. نگارندگان ضمن تکمیل مطالعات مزبور و با توجه به رفتار بهینه، انعطاف‌پذیری، قدرت تحمل بار و رفتار مکانیکیِ فوق‌العاده قوس‌های تیزه‌دار نسبت به انواع سهمی شکل و مانند آن [۷] و همچنین با توجه به تجارب اجرایی نگارندگان در زمینه‌ی طراحی، اجرا و احیاء سازه‌های سنتی که گزارش آن در جای دیگر آمده است [۱۲]، ضمن بازبینیِ نظریه‌ی قوس سهمی شکل، نحوه پوشش در سازه مزبور را از نوع قوس تیزه‌دار معرفی کرده‌اند [۱]. پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه‌ی تحلیل رفتار سازه‌ای این بنا محدود به بررسیِ آسیب‌پذیریِ لرزه‌ای آن بوده و جز ارزیابیِ ایمنی بنا در برابر زلزله به نتایج روشنی در زمینه‌ی نحوه‌ی پوشش بنا منجر نمی‌شود [۵].

۳-روش تحقیق:

روش مدل‌سازی بنای مورد نظر به صورت ماکرو می‌باشد؛ با توجه به اصل شبیه‌سازی، برای تطبیق بین مدل‌های آزمایشگاهی با مدل‌های عددی ساختمان‌های بنایی دو رویکرد ماکرو المان و میکرو المان برای مدلینگ ساختمان‌های بنایی قابل ارجاع می‌باشد. در رویکرد ماکرو، المان آجر به صورت پیوسته مدل می‌شود و مشخصات مصالح مربوط به واحد آجرکاری که شامل ملات و آجر می‌باشد داده می‌شود. در مدل میکرو المان، آجر و ملات هر کدام به صورت جداگانه مدل می‌شوند و مشخصات مربوط به هرکدام به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود. این مدل قادر به نشان دادن مسیر گسیختگی در دیوارهای بنایی بوده و ضعف چسبندگی بین ملات و آجر را به عنوان منبع کاهش سختی و شروع گسیختگی در نظر می‌گیرد. پس از مطالعات میدانی صورت گرفته در محل و برداشت‌های انجام شده سازه‌ی بنای منسوب به علیشاه در محیط نرم افزاریِ Auto Cad به صورت سه بعدی مدل سازی شد. (تصویر ۱). المانی که در ساخت این مدل استفاده شده است Solid65 است که یک المان ۸ گره‌ای ۶ وجهی است [۱۳].

به منظور تعیین بیشترین میزان تنش کششی و تنش فشاری از نرم‌افزار Ansys استفاده شده است. در ارتباط با خصوصیات مصالح و نوع رفتار سازه‌ای آنها در این بنا پیش‌فرض‌های زیر در نظر گرفته شده است:

رفتار مصالح ایزوتروپیک (خطی) و همگن فرض شده است.

تکیه‌گاه‌های موجود در پی به صورت پایه‌های گیردار در نظر گرفته شده و درجات آزادی مفاصل مقید شده است.

از کنش‌های خاک بر سازه و بالعکس صرفنظر گردیده است.

آنالیز ماکرو بر اساس ویژگی‌های آجر در این بنا صورت گرفته (جدول ۱) و در این تحلیل، شتاب گرانشی زمین برابر ۹/۸۱ محاسبه گردیده است [۵].

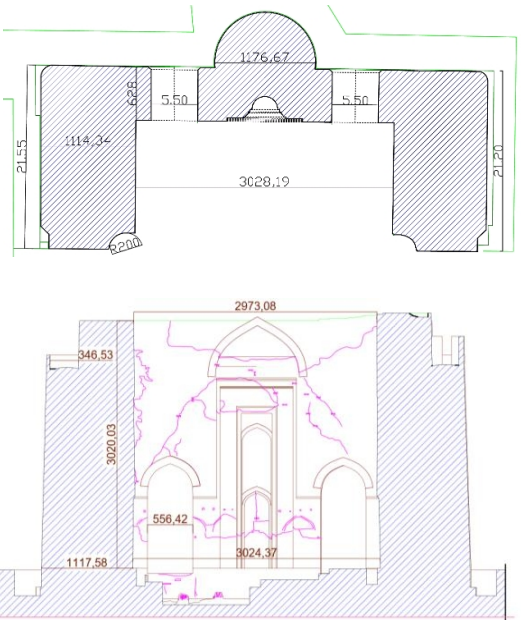
جدول ۱- مشخصات مصالح در بنای منسوب به علیشاه در تبریز.

مدل الاستسیته E N/m2	جرم حجمی Kg/m^3	ضریب پواسون V	ضریب انبساط حرارتی طولی α 1/0C
5×10^8	1480	0/2	$7/5 \times 10^{-6}$

ورود به فضاهای میان‌تهی موجود در داخل دیوارها و اقدام به تهیه‌ی نقشه معماری آن در ترازهای ارتفاعی مختلف از جمله اقداماتی بوده است که در تاریخ مطالعات بنای منسوب به ارک علیشاه بی‌سابقه بوده است.

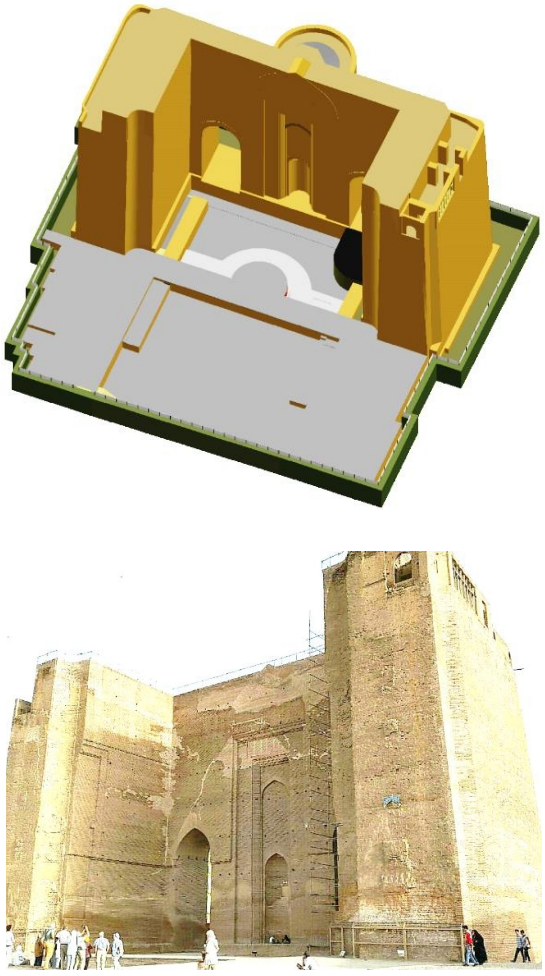
۴-جزئیات معماری بقایای امروزی منسوب به علیشاه جیلانی در تبریز

آنچه که امروزه موسوم به ارک علیشاه در تبریز می‌باشد، حجم معماری U شکلی است که در راستای شمالی جنوبی با دو بازوی آجری به قطر پایه ۱۱/۱۱متر و به طول ۲۱/۵۵ متر در ضلع شرقی و ۲۱/۲۰ متر در ضلع غربی به نحوی ساخته شده است که به ازای هر ۱۰ متر ارتفاع، ۲۵ سانتی‌متر از قطر آن کاسته می‌شود؛ به صورتی‌که در مرتفع‌ترین نقطه از بنا، در ۳۰ متری، قطر دیوار به ۱۰ متر کاهش می‌یابد؛ بدین ترتیب عدم تقارنِ نامحسوسی در ساختار کلی پایه‌ها وجود دارد. این دو بازو که به میزان ٪۲ در سطح بیرونی شیب‌دار میباشند، توسط رابطی در بخش جنوبی به قطر ۶/۲۸ متر به یکدیگر متصل میگردند و این ضلع از بنا توسط یک نیم برج استوانه‌ای متمایل به مخروط به قطر ۱۱/۷۶ متر در میانه تقویت شده است. فرورفتگیِ انتهای شمالی هر دو بازو شامل رُبعی از دایره‌ای میباشد که ۴ متر قطر دارد؛ به نحوی که امتداد این فرورفتگی تا بلندترین نقطه بیانگر این واقعیت میباشد که بنا در این دو قسمت به حجم استوانه‌ای مرتفعی متصل بوده است.



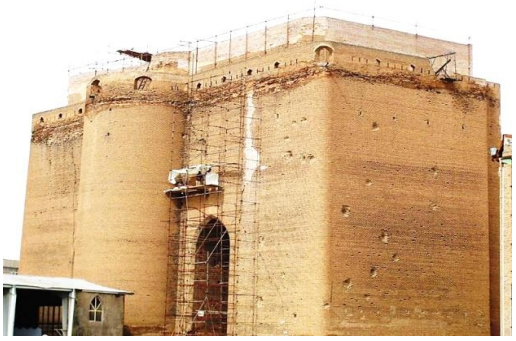
تصویر۱- ابعاد و اندازه‌ها در بنای موسوم به ارک علیشاه در تبریز؛ (نگارندگان)

فاصله بین این دو بازو در پایین‌ترین تراز، دهانه‌ای به طول ۳۰/۲۸ متر را تشکیل میدهد که این اندازه در ارتفاع ۸/۸۰ متری به ۲۹/۷۳ متر کاهش یافته و تا انتها ادامه پیدا می‌کند[۱]. دیوار ضلع جنوبی شامل دو بازشو با قوس چهارپرگاریِ تیزه‌دار به عرض ۵/۵۶ متر و ارتفاع ۱۳/۴۰ متر میباشد که از تراز ۳/۸۰+ سانتی‌متری شروع شده و در حدود ۱۶ درصد از کل سطح دیوار جنوبی را به خود اختصاص داده‌اند. (تصویر ۲)



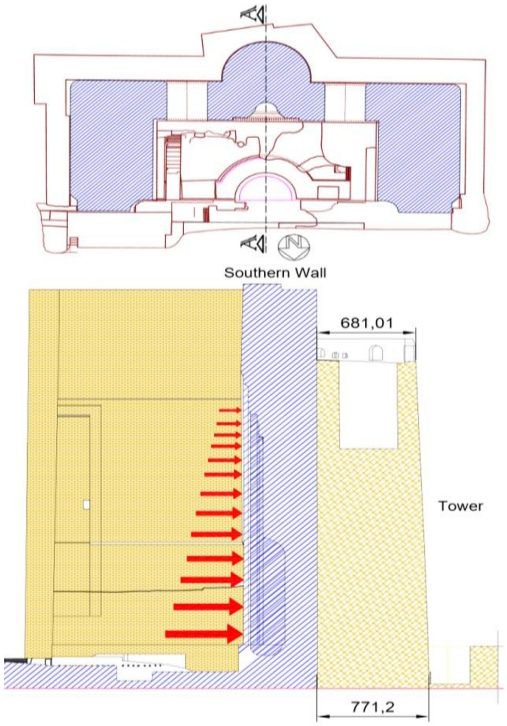
تصویر ۲-راست: بقایای امروزیِ منسوب به علیشاه جیلانی در تبریز؛ چپ: طرح سه بعدی از بقایای موسوم به ارک علیشاه در تبریز بر اساس داده‌های اسکن لیزر و برداشت‌های میدانی (نگارندگان)

ارتعاشات ساختمان‌های بنایی شدیداً به چگونگیِ اتصال دیوارها به یکدیگر و نیز مهار آنها در ارتفاع و کف بستگی دارد [۱۴]؛ به صورتی‌که اگر دیوارهای باربر به صورت منسجم و یکپارچه عمل کنند، مجموعه فضاها همراه با دیوارهای ضخیم در مقابل زلزله مقاوت بیشتری خواهند داشت [۱۵]. چنین به نظر میرسد که وجود تمهیداتی در نقاط اتصال بازوها به دیوار ضلع جنوبی و اجرای آن به صورت منحنی و نه زوایای شکسته در سازه، تفکری بوده است به منظور جلوگیری از ارتعاش آزاد در اجزای باربر و معمار بنا بدین مسئله به خوبی واقف بوده است؛ چراکه عملی نبودن اجرای اتصالِ مناسب بین دو دیوار ضخیم به روش هشت و گیر، باعث ایجاد انفصال در دیوار و در نتیجه کاهش مقاومت کلیت سازه می‌گردد [۱۶]. (تصویر ۳)



تصویر ۳- نحوه اتصال دو بازوی شرقی و غربی به دیوار قسمت جنوبی در بنای موسوم به ارک علیشاه (نگارندگان)

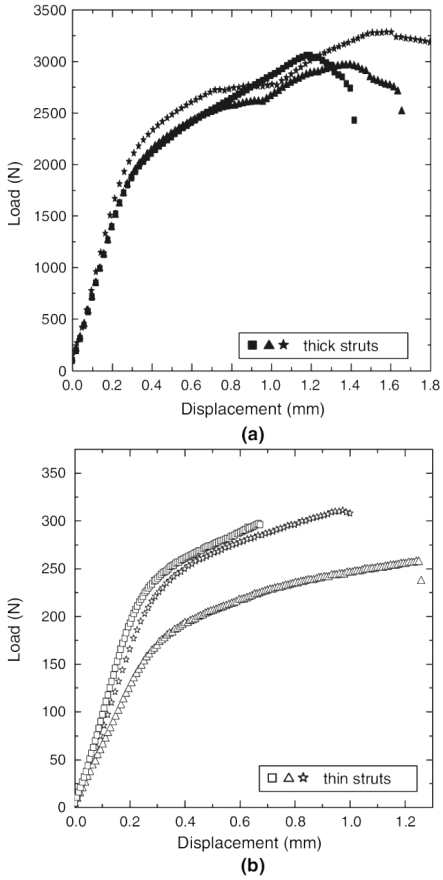
با توجه به عرض کمتر دیوار ضلع جنوبی (۶/۲۸ متر) و به منظور جلوگیری از چرخش و پیچش آن، نیم برج را در میانه‌ی دیوار بدان افزوده‌اند. با علم بر اینکه مقدار نیروی وارده از جانب بازوهای متصل به ضلع جنوبی در پائین‌ترین نقطه بیشترین حد ممکن خواهد بود، به صورتی که با نزدیک شدن به رأس دیوار از این میزان کاسته میشود [۱۷]، برج پشت دیوار ضلع جنوبی را به صورت مخروطی ساخته‌اند که قطر آن از پائین‌ترین تراز تا بالاترین ارتفاع به میزان ۹۰ سانتی‌متر کاهش یافته است تا عکس‌العمل مناسبی در برابر نیروی وارده به شکل مثلث از جانب دیوارهای متصل به آن داشته و آن را به بهترین کیفیت خنثی کند. با نزدیک شدن به ترازهای بالایی و با کم شدن اثر نیرو در ارتفاع مزبور، تمهیداتی در نظر گرفته شده است تا به ارتفاع ۷/۳۱ متر از ساختار برج به صورت میان‌تهی اجرا شود؛ بدین صورت علاوه بر کاهش هزینه‌ی ساختمانی، سرعت اجرای کار افزایش یافته است. (تصویر ۴)



تصویر ۴- مقدار و جهت نیروهای وارد شده به دیوار ضلع جنوبی و موقعیت برج استوانه‌ای نسبت به آن (نگارندگان)

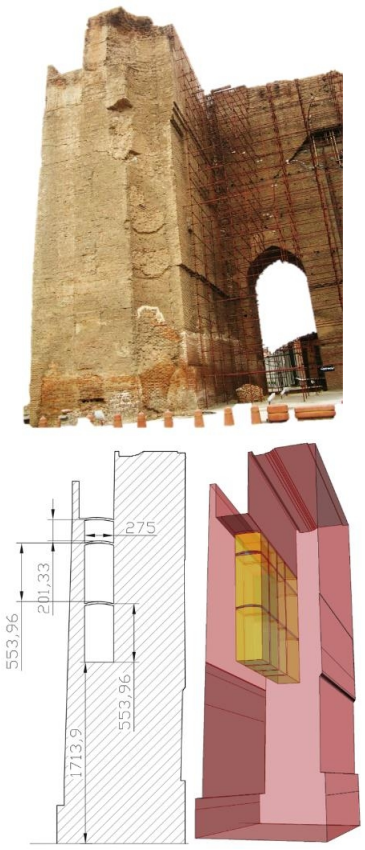
۵-بهبود شکل‌پذیریِ سازه‌ایِ بنای موسم به ارک علیشاه با رویکرد سبک‌سازی اجزای باربر

دیوارهای باربری که از قطر قابل توجهی برخوردار هستند از جمله عناصر سازه‌ای میباشند که بیشترین پتانسیل تخریب ساختمان را می‌تواند در بر داشته باشد [۱۸]. خسارات واردِ بر این دیوارها می‌تواند خطراتی برای سازه و سایر عناصر غیرسازه‌ای ایجاد کرده، همچنین مشکلاتی اساسی برای کارایی سازه و کاربری ساختمان ایجاد نماید [۱۹]. از طرفی، شکل‌پذیری یک ساختمانِ بنّایی تابعی از تنش‌های قائم، هندسه یا نسبت ارتفاع به طول، خواص مصالح استفاده شده (مقاومت فشاری) و شرایط مرزی تکیه‌گاهی (Boundary Condition) در حجم معماری مورد نظر خواهد بود [۲۰]. در حقیقت، هنگامی که نیروهای فشاری مقادیر بزرگتری دارند، مصالح بنایی برای اینکه شکل‌پذیری مناسبی داشته باشند، باید کرنش‌های خیلی بزرگتری را متحمل شوند که بدون تنظیم تمهیداتِ خاص معماری در دیوارهای قطورِ بنایی این امر امکان پذیر نیست. در خصوص رابطه‌ی شکل‌پذیری و نسبت ارتفاع به طول دیوار، تحقیقات انجام شده نشان داده است که با افزایش این نسبت، مکانیسم شکست به مکانیسم خمش تبدیل شده، به گونه‌ای که با افزایش شکل‌پذیری، احتمال گسیختگیِ ترازهایی بالایی در دیوارهای آجری افزایش می‌یابد؛ در حالی که برای دیوارهایی با مقادیر کوچک‌تر از نسبت مذکور، مکانیسم برشی حاکم بوده و ظرفیت شکل‌پذیری کاهش می‌یابد [۲۱]. با توجه به ضخامت ۱۱ متری پایه‌ها در سازه موسوم به ارک علیشاه، سازه دارای مقاوت فشاری قابل توجهی میباشد؛ به گونه‌ای که جهت تحمل بارهای قائم عموماً از اضافه ظرفیت نیز برخوردار است؛ با این حال، توپر بودن بنا منجر به انعکاس رفتاری فوق‌العاده خمشی در برابر بارگذاری جانبی و لرزش‌ها خواهد داشت [۱۵] (تصویر ۵)؛ به همین دلیل در طراحی سازه‌ی مزبور، معیار «رفتار» به جای معیار «مقاومت» مورد توجه بوده است. از این دیدگاه و با توجه به تجربیات زمین لرزه‌های گذشته در تبریز [۲۲]، معمار بر این اصل آگاه بوده است که ساختار چنین دیوارهای عظیمی می‌تواند آثار مثبت یا منفی بر رفتار ساختمان و ایستایی آن داشته باشد. از این دیدگاه، ایجاد فضاهای میان‌تهی در داخل پایه‌های ساختمان مزبور، رفتار کلی سازه را تغییر داده است؛ در غیر این صورت و با اجرای پایه‌ها به صورت حجم توپُر، با افزایش ارتفاع سازه، بارِ قائم زیادی نیز بر آن‌ها وارد شده و به موازات آن جابجایی و سقوط قسمت فوقانی پایه‌ها تحت تأثیر نیروهای جانبی دور از انتظار نخواهد بود [۲۳].



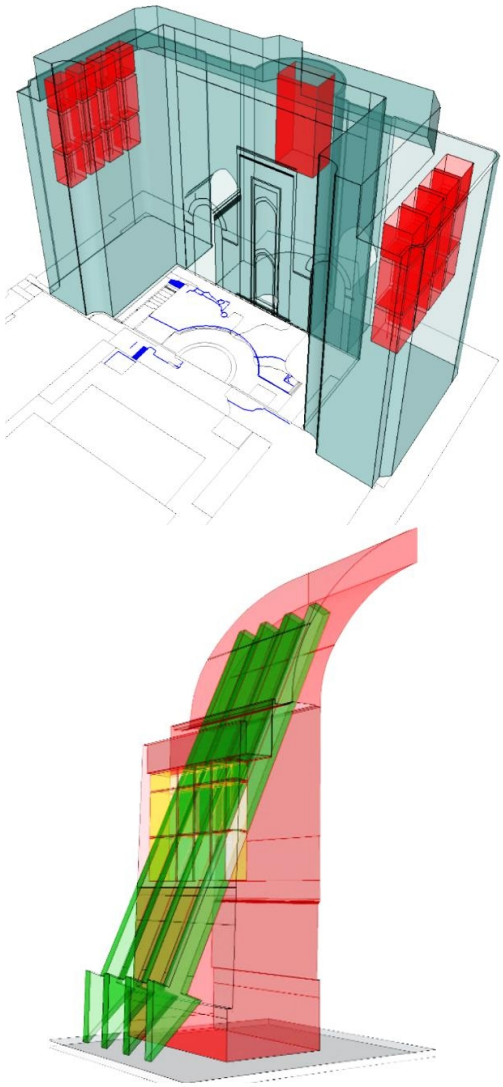
تصویر۵- میزان جابجایی بخش فوقانی سازه‌های مرتفع تحت بارگذاری در دیوارهای باربر مرتفع تونِر (a) و دیوارهای مرتفع میان‌تهی (b) [۲۴].

با علم بر این موضوع، معمار بنا کوشیده است تا با میان‌تهی ساختن بخش‌هایی از دیوارهای غربی و شرقی بنا، علاوه بر کاهش بار مرده‌ی ساختمان، صرفه‌جویی در وقت، هزینه و نیروی انسانی، ضمن افزایش میزان انعطاف‌پذیریِ بنا، رفتار سازه‌ای آن را ارتقاء بخشد. مطابق شواهد معماری، در سطحِ فوقانی بنا راهرویی ایجاد شده است که ۳/۳۰ متر عرض داشته و جان‌پناهی به ارتفاع ۳/۵۴ متر دور تا دور آن را در بر می‌گیرد. در طول هرکدام از بازوهای شرقی و غربی تعداد ۱۲ فضای میان‌تهی ایجاد شده است که این فضاها در چهار محور عمودی و هر کدام شامل سه فضای متصل به یکدیگر در عمق و با طول و عرض همسان به طول ۲/۷۵متر ترتیب یافته‌اند. بدین ترتیب، ارتفاع فضای اول در حدود ۲ متر و ارتفاع فضای دوم و سوم هرکدام ۵/۵۳ متر میباشد و در مجموع ۱۳ متر از کل هر دیوار با این شیوه میان‌تهی اجرا شده است. پنجمین فضای میان تهی در محل اتصال بازوهای آجری به دیوار ضلع جنوبی میباشد؛ با احتساب هر ردیفِ عمودی از فضاهای میان‌تهی به صورت حجم واحد، میتوان گفت در حدود ٪۲۳ درصد از حجم کل هر دیوار به صورت میان‌تهی اجرا شده است. (تصویر ۶)



تصویر ۵- ابعاد و موقعیت فضاهای میان‌تهی (زرد) در ساختار دیوارِ شرقی سازه‌ی منسوب به علیشاه که عین آن در ضلع غربی نیز تکرار شده است[۲].

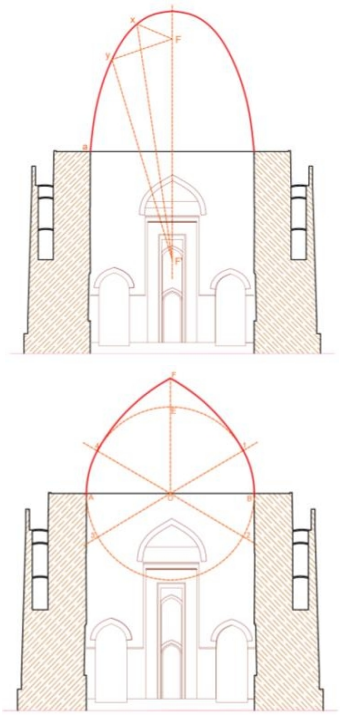
مطابق تحلیل‌های رایانه‌ای، در صورتی که ساختار کلیِ عناصر باربر به صورت حجم آجریِ یکپارچه در نظر گرفته شود، تحت تأثیر نیروی حاصل از وزن سازه و با صرف نظر از هر گونه عامل خارجی از جمله زلزله و ارتعاش، بین محدوده ۱۶ تا ۱۷ متری از تراز کف، دیوار شدیداً رفتار رانشی از خود نشان می‌دهد و تمایل به خمشِ خارج از صفحه و گسیختگی در آن مشهود است. با این حال، علی‌رغم تجربیات معماری بزرگ‌مقیاس در منطقه آذربایجان، همانند غازانیه و سلطانیه، در طراحی و ایجاد پشتیبان‌های سازه‌ای جهت انتقال نیرو [۷]، دانش سازه‌ای در بنای علیشاه فاقد هرگونه تدبیری جهت انتقال نیرو از طریق اعمال پشتیبان‌های جانبی بوده است. بدین ترتیب، هرچند با ایجاد شبکه‌ای میان‌تهی از فاضاهای به هم پیوسته و به موازات آن کاهش چشم‌گیر وزن سازه، تمایل به گسیختگی و رانش در بازوها کاهش یافته است؛ با این حال، بدون وجود هر گونه عنصر پشتیبان و با فرض بر وجود هر گونه تاق و قوس، خط نیرو شدیداً موقعیت فضاهای میان‌تهی را تحت تأثیر قرار خواهد داد (تصویر ۷)؛ تا آنجا که مسئله شکست دیوارها غیر قابل اجتناب خواهد بود.



تصویر ۷- راست: موقعیت فضاهای میان‌تهی در بازوهای شرقی، غربی و نیم برج متصل به ضلع جنوبی. چپ: نحوه تأثیر نیرو و عدم وجود هرگونه پشتیبان برای هدایت نیرو در طرفین سازه (نگارندگان)

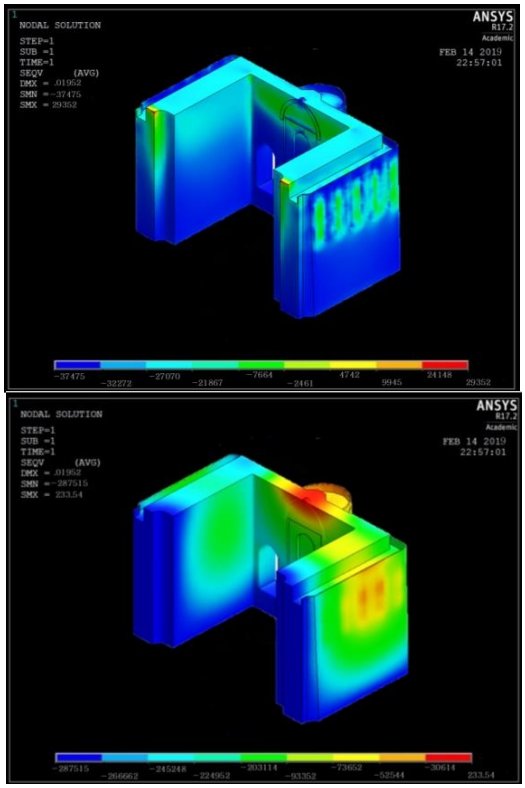
۶-امکان‌سنجی مسئله اجرای تاق در سازه‌ی موسوم به ارک علیشاه

درکِ تئوری قوس‌ها بدون درک باربرهای مناسب و پایه‌های آن به نتایج روشنی منجر نخواهد شد. بدون تردید ایجاد سازه‌ی بزرگتر نیازمند سیستم انتقال نیروی بهتری جهت تضمین ایستایی آن خواهد بود. هرچند ماهیت و ابعاد سازه جهت اجرای تاق همواره نسبتی از دهانه بوده است [۲۵]؛ با این حال، هندسه‌ی تاق نقش غیرقابل اجتنابی در تعریف ایستاییِ آن خواهد داشت. همانگونه که ذکر آن رفت، پوشش دهانه در سازه منسوب به علیشاه در قالب دو فرضیه‌ی قوس سهمی شکل دوره ساسانی [۶] و قوس تیزه‌دارِ چهارپرگاری [۷] مورد ارزیابی قرار گرفته است. (تصویر ۸)



تصویر ۸- امکان اجرای انواع قوس در سازه منسوب به علیشاه با توجه به مطالعات پیشین و بدون توجه به فضاهای میان‌تهی در ساختار سازه (نگارندگان)

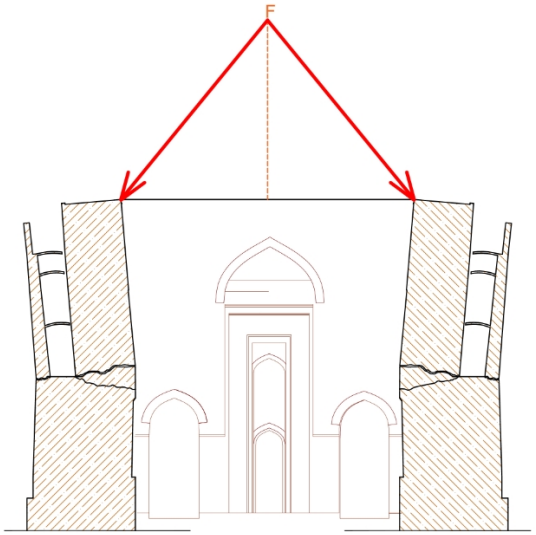
با علم بر اینکه بقایای معماری مورد نظر از قسمت شمالی به حجم معماری دیگری الحاق شده است [۸]، اجرای حدفاصل بین دو دیوار در قسمت جنوبی و افزودن نیم برج در میانه آن منجر به گیردار شدن پایه‌ها در دو قسمت شمالی و جنوبی خواهد شد. صرف‌نظر از اختلافات موجود پیرامون هندسه و نوع تاق، با حذف قالبی که تاق بر روی آن اجرا شده است؛ تحت تأثیر وزن ناشی از خود سازه و انتقال آن به پایه‌ها، سطح بیرونیِ پایه‌ها- با توجه به عدم وجود هرگونه پشتیبان در طرفین- رفتاری کششی از خود نشان میدهد [۲۴]. بدون توجه به نتایج آماری، نتایج تحلیل استاتیکی و مقادیر ماکزیمم تنش‌های کششی و فشاری ایجاد شده در بنا نشان دهنده این امر میباشد که مقادیر تنش‌ها فراتر از تنش‌های مجاز مصالح میباشد (تصویر ۹- وسط)؛ بنابر این در مناطقی با تنش کششی فراتر از مقادیر مجاز، ترک خوردگی اتفاق افتاده و جابجایی صورت خواهد داد (تصویر ۹-پائین). از این منظر، گسیختگی دیوارها مقدم بر رانش هر نوع تاق و قوس خواهد بود. لذا دیوار باربر با فضاهای میان‌تهی و بدون پشتیبان، در برابر وزن تاق کاملاً ناپایدار است. در همین راستا، با توجه به موقعیت فضاهای میان تهی میتوان گفت که هندسه‌ی معماریِ حجم آجری منسوب به علیشاه کیفیت سازه‌ای لازم را جهت حمل بارِ ناشی از هرگونه تاق و قوس را ندارد.



تصویر ۹- بالا: توزیع تنش کششی بر اثر نیروهای ثقلی (حداکثر تنش کششی : SMX: 29352 KN/m^2؛ بیشترین مقدار جابجایی: DMX: 0.1952)؛ پائین: توزیع تنش فشاری بر اثر نیروهای ثقلی (حداکثر تنش فشاری: SMX:233.54 KN/m^2؛ بیشترین مقدار جابجایی: DMX: 0.1952).

۷-بحث پیرامون امکان اجرای تاق در سازه منسوب به علیشاه در تبریز

تحقیق پیرامون فضاهای میان‌تهی در ساختار اضلاع غربی و شرقیِ سازه‌ی منسوب به ارک علیشاه در تبریز نکته‌ای بود که برای اولین بار در مطالعات مربوط به ساختار معماری بنا توسط نگارندگان لحاظ شد. اهمیت مطالعه‌ی این فاضاها تا آنجا پیش رفت که منطق ایستایی بزرگترین تاق آجری جهان را مورد تردید قرار داد. مطابق آنچه بدان پرداخته شد و با فرض بر وجود هر نوع پوششی اعم از قوس سهمی شکل و یا قوس تیزه‌دار و با توجه به موقعیت فضاهای میان‌تهی و عدم وجود هرنوع پشتیبان جهت انتقال نیرو، تنش‌های مکانیکی ناشی از بارگذاری وزن سازه در ارتفاع ۱۷ تا ۲۲ متری به بیشترین حد امکان رسیده و منجر به گسیختگی و شکست دیوار خواهد شد. از این دیدگاه و با علم بر اینکه هیچ گونه تمهیدات معماری خاصی برای حل مسئله رانش در طرفین این سازه وجود نداشته است [۸]، میتوان گفت مسئله‌ی مسقف شدن سازه مزبور تحت هیچ شرایطی امکان پذیر نبوده است. (تصویر ۹). هرچند تصویر ارائه شده توسط شاردن (۱۶۵۲ م.) از موقعیت آنچه که وی آن را مسجد علیشاه معرفی کرده است، جهت انتساب وجود نوعی پوشش در این بنا بسیار تحریک کننده است؛ با این حال، وضعیت و ساختار کنونی بنای موسوم به ارک علیشاه تبریز هرگز با توصیف مورخان و سیاحانی که مسجد علیشاه را دیده و توصیف کرده‌اند همخوانی و هماهنگی ندارد [۲۶]. بدین‌ترتیب و در خصوص قیاس دست‌آوردهای پژوهش حاضر با مطالعات پیشین باید گفت که مسئله برهم‌کنش سازه‌ای فضاهای میان‌تهی و ایستایی بنا، موضوعی بوده است که هیچ‌گاه مورد مطالعه علمی قرار نگرفته و بررسی رفتار سازه‌ای بنا با فرض بر یکپارچه بودن پایه‌ها همواره گمراه کننده و منجر به درک ناصحیح بنای مزبور شده بود.



تصویر ۱۰- رفتار سازه‌ای بنای منسوب به علیشاه و شکست ایجاد شده در پایه‌ها در اثر اجرای هر گونه تاق و قوس (نگارندگان)

۸-نتیجه گیری

منطق ایستایی ساختمان و امکاناتِ سازه‌ای بقایای امروزیِ منسوب به علیشاه جیلانی در تبریز بسیار ضعیف‌تر از آن است تا بتوان دهانه‌ی ۲۹/۷۳ متری آن را پوشیده از هر نوع تاق و قوس دانست. پیرو مطالعات پیشین، همواره مسئله شکست تاق و فروریختن آن پیرامون این بنا مطرح شده است؛ در صورتی که پس از بارگذاری سازه، در اولین مرحله خود پایه‌ها دچار جابجایی، شکست و آسیب دیدگی خواهد شد. از این دیدگاه و با توجه به نبود هرگونه ترک در بخش‌های پرتنش سازه، چنین به نظر میرسد که بقایای برجای مانده هیچ‌گاه تحت تأثیر نیرو و بار ناشی از اجرای تاق و قوس نبوده است. صرف‌نظر از انستاب هرگونه تاریخ پیشنهادی برای بنا و با توجه به ترفیع مسئله رانش عناصر باربر از طریق ایجاد پشتیبان در سازه‌های بزرگ‌مقیاس موجود در جغرافیای نه چندان دور از جمله سلطانیه و تأیید شواهد باستان‌شناسی مبنی بر عدم وجود هرگونه پشتیبان در طرفین سازه جهت مهار رانش دیوارها در این بنا، میتوان گفت دانش معماری در بنای مورد نظر با چالش مهار تاق مواجه نبوده است. مطابق آنچه بدان پرداخته شد، مسئله‌ی پوشش حدفاصل بین دو بازوی شرقی و غربی در بقایای امروزی منسوب به علیشاه منتفی بوده و در هیچ بازه زمانی، هیچ گونه تاقی در آن اجرا نشده است. از این دیدگاه، هیچ ارتباطی میان بقایای امروزی منسوب به علیشاه و آنچه که محققان از آن به عنوان مسجد علیشاه، شامل بزرگترین تاق آجری جهان یاد کرده‌اند وجود ندارد.

۹-پی نوشت‌ها

۱- بر خلاف مطالعات پیشین که فاصله میان دو بازو را ۲۸/۴ متر نوشته‌اند [۶]؛ مطابق داده‌های لیزر اسکن و اندازه‌گیری آنها این فاصله در بالاترین ارتفاع ممکن ۲۹/۷۳ متر می‌باشد.

۲- هرچند ایجاد چنین فضاهایی در معماری ایران با عنوان «صندوقه» شناخته شده است؛ با این حال مسلم میباشد که اعتبار یک چنین اصطلاح فارسی در فرهنگ بومی آذربایجان رایج نباشد. به همین جهت از آن با عنوان «فضاهای میان‌تهی» یاد کرده‌ایم.

منابع

۱) مرادی، امین، بزرگ مقیاس سازی در معماری شمال غرب ایران طی گذار از دوره سلجوقی به ایلخانی و تقارن آن با تحولات معماری اروپا در گذار از معماری رمانسک به گوتیک، رساله دوره دکتری در رشته باستان‌شناسی، گرایش دوران اسلامی، بابلسر، دانشگاه مازندران، ۱۳۹۶، ۲۰۴-۱۱۸.

2) Block, P., and Ochsendorf, J., Thrust network analysis: A new methodology for three dimensional equilibria. Journal of the IASS., Vol. 48, No.3, 2015, pp 167-174.

3) Fraternali, F., A thrust network approach to the equilibrium problem of unreinforced masonry vaults via polyhedral stress functions. Journal of Mechanics Research Communications., Vol. 37, No. 2, 2015, 198-201.

۴) نوری‌فرد، آزاده و دیگران، ارزیابی مفهومی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای غیرسازه‌ای در ساختمان‌های میان مرتبه‌ای – متعارف، فصلنامه علمی پژوهشی نقش جهان، سال ششم، شماره ۳، ۱۳۹۵، صفحات ۵۱ الی ۳۸.

۵) حسینی، محمود و دیگران، ارزیابی ایمنی لرزه‌ای بنای تاریخی ارگ علیشاه تبریز با استفاده از آنالیز اجزای محدود و آنالیز حد جنبشی ساده شده، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، سال شانزدهم، شماره ۲، ۱۳۹۵، صفحات ۹۱ الی ۱۰۲.

۶) منصوری، سید امیر و آجرلو، بهرام، بازشناسی ارک علیشاه تبریز و کاربرد اصلی آن، نشریه هنرهای زیبا، سال شانزدهم، شماره ۱۶، ۱۳۸۲، صفحات ۵۷ الی ۶۸.

۷) مرادی، امین، بازشناسی فرم معماری منزلگاه های شمالغرب ایران، تهران، انتشارات پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۱۳۹۷، صفحات، ۱۱۳ الی ۱۴۰.

۸)سرفراز، علی اکبر، گزارش کاوش در محوطه مسجد جامع علیشاه در تبریز، تهران، آرشیو سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۵۰، صفحات ۵۲ الی ۸۹.

9)Pope, A.U., The fourteenth century: Ghazankhan & the transition period, A survey of Persian art from prehistoric times to the present, London & New York, Oxford University Press, 1967, pp 98-114.

۱۰) ویلبر، دونالد نیوتن، معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانان، ترجمه عبدالله فریار، تهران، بنیاد ترجمه و نشر کتاب، ۱۳۴۶، صفحات ۱۱۵ الی ۱۲۴.

11) Qiyasi, Jafar., Memar Xaca Alishah Tabrizi: Dovru & Yaradiciliqi, Baki, Azerbaijan, 1997, pp 89-94.

12) Moradi, A. and Omrani. B., The Review of Ilkhanid Architecture in Northwest Iran, Tehran, Publication for the Research Center of Cultural Heritage Organization, 2018, pp 65-79.

۱۳)حجازی، مهرداد و دیگران، شکل بهینه، بار شکست و بار کمانش گنبدهای تاریخی آجری ایرانی، نشریه مسکن و محیط روستا، دوره ۳۵، شماره ۱۵۵، صفحات ۶۱ الی ۷۶.

۱۴)کریمی، امیرحسن و دیگران، بررسی آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی رفتار غیر خطی دیوارهای مصالح بنایی تحت بار چرخه‌ای داخل صفحه با در نظر گرفتن اثر چیدمان آجرچینی، نشریه علمی پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، سال چهارم، شماره ۲، صفحات ۱۸ الی ۳۲.

15) Zeilinska, M. and Misiewicz, J., Analysis of Historic Brick Wall's Strengthening Methods, World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, Prague, Czech Republic, 2016, pp 78- 90.

16) Huerta, S., The analyses of masonry architecture: a historical approach, Architectural science review, Vol. 51, No. 4, 2008, pp 297-328.

17) Gupta, A. and others., Effects of wall inclination on dynamic active thrust for cohesive soil backfill, Journal of Civil Engineering, Science and Technology, Vol. 9, No. 2, 2018, pp 127-135.

18) Charleson, A., Seismic Design for Architects Outwitting the Quake, Translated by Golabchi, M. and Sorooshnia, E., 2nd Edition, Tehran, University of Tehran Press, 2017, pp 111-123.

19) Taligedik, A., Damage Mitigation Strategies of Non-Structural Infill Walls: Concept and Numerical – Experimental Validation Program, Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake – Resilient Society 16-14 April, Auckland, New Zealand, 2016, pp 201-226.

20) Farshchi, D, Motavalli, M., Schumacher, A., Marefat, M.S., Nonlinear FE modeling of in-plane behavior of plain masonry walls and investigation effects of post-tensioning as a parametric study, 5th International conference on seismology and earthquake engineering, Tehran, Iran, 2007, pp 158-168.

21) Anthoine, A., Magonette, G., Magenes, G., Compression testing and analysis of brick masonry wall, Proceedings of the tenth European conference on earthquake engineering, Vienna, Austria, 1994, pp 213-250.

۲۲) ذکاء، یحیی، زمین لرزه‌های تبریز، تبریز، انتشارات شایسته، ۱۳۶۸، صفحات ۴۹-۵۳.

23)Tabeshpour, M., Unfilled Frames, Tehran, Fadak Issatis Publisher, 2015, pp 45-59.

24) Koduru, S. D., Probability Distribution for Strain Demand on Pipeline Due to Liquefaction-Induced Lateral Spreading, International Society of Offshore and Polar Engineers, Vol. 28, no. 4, 2018, pp 1-9.
25) Huerta. S., The safety of masonry buttresses, Journal of Engineering History and Heritage, Vol. 3, No, 163, pp 3-24.
۲۶) آجرلو، بهرام، ایوان تبریز، باستان پژوهی، سال چهارم، شماره ۱۰، ۱۳۸۱، صفحات ۱۲-۱۶.

An investigation of the Statically Presence of an Arch in the So-called Structure of Ali-Shah Ark in Tabriz

Amin Moradi*
Ph.D. in Archaeology, Member of Research Center for Cultural Heritage Organization.
Behruz Omrani
Head of Research Center for Cultural Heritage Organization.
Mehdi Zakeri
Member of Cultural Heritage organization of East Azerbaijan.
*Aminmoradi66@yahoo.com

Abstract

Considering the architectural remnants of the so-called structure of Ali-Shah in Tabriz as the last sequence of large-scale buildings during the Ilkhanid era in which it's approximate 29-meter span had held the largest and the highest ever made arch in the Islamic World, proposing controversial technical bugs parallel to the violation of theoretical possibilities towards erecting such an arch would be the opposite point of more than half a century's studies of historic architecture, archaeological investigation as well as historic documents in relation to the location of the Great Ali-Shah Mosque. With this pre-assumption that the U-shape structure including roughly 11 meter thickness for its walls had been considered to create a brick arch of a huge architectural project; clarifying the statically limitations of the mentioned building in terms of stability, durability, vulnerability and the impossibility of creating any kind of arch and vault in mentioned span would shed new lights towards the interpretation of historical contexts and its connections with the Ilkhanid structure appeared in the sources. After responding to question of statically feasibility of any kind of arch made by traditional masonry in so-called Ali-Shah Ark, besides statically analyses with no attention to historic reports and events, this project is aimed to play a vital role in reviewing the historic chronologies of Ali-Shah Mosque. According to the results, tensions result of loading due to any kind of arch would exceed the mechanical potentials of structure and will cause grossly deformation of vertical units under any condition. From this point of view, there has been no covering of arch either of vaults in this building anytime. In other words, there has been no relation between what is marked as Ali-Shah Mosque including the world's largest brick arch, and what is known as today's remnants of the so-called Ali-Shah Ark.

Keywords: Ark of Ali-Shah, Ali-Shah Mosque, Ali-Shah's Arch, Ali-Shah's Complex.