

# ارزیابی رفتار لرزه ای بناهای تاریخی ( با مطالعه موردی بناهای تاریخی استان آذربایجان شرقی )

مجید پورامینیان<sup>۱</sup>

کارشناس ارشد سازه، دانشگاه تربیت معلم آذربایجان، تبریز (۰۹۱۱۳۹۲۸۸۶۷)

[Majeed\\_aminian@yahoo.com](mailto:Majeed_aminian@yahoo.com)

## خلاصه

با توجه به توزیع و میزان پراگندگی آثار تاریخی در استان های کشور مشاهده میشود که استان آذربایجان شرقی با اختصاص سهم ۳,۶ درصدی از کل آثار تاریخی کشور یکی از استانهای تاریخی کشور است. از طرفی رویداد زمین لرزه های قبلی در آذربایجان و روند قرارگیری خطواره های ساختاری جنبی در منطقه نمایانگر پهنه ای بسیار لرزه خیز است که هر لحظه احتمال وقوع زمین لرزه ای ویرانگر در آن وجود دارد. لذا با توجه به وجود گسل های متعدد در این استان و همچنین اهمیت این بنا از لحاظ تاریخی، فرهنگی و گردشگری آسیب شناسی و مقاوم سازی این بناها را اجتناب ناپذیر میسازد. در این مقاله با مدلسازی عددی تعدادی از مهمترین بناهای تاریخی استان به بررسی رفتار و استقامت این بناها در برابر زلزله های محتمل پرداخته شده است.

**کلمات کلیدی:** بناهای تاریخی، مدلسازی عددی، رفتار لرزه ای، آذربایجان شرقی، Ansys

## مقدمه

اهمیت بناهای تاریخی ایران بلحاظ فرهنگی، هنری و زیبایی شناسی بر کسی پوشیده نیست بعلاوه بناهای مذکور عامل مهمی جهت جذب توریست و گسترش این صنعت در کشور نیز می باشند. بنابراین بررسی ظرفیت باربری این بناها مخصوصاً در مقابل بارهای لرزه ای دارای اهمیت خاصی می باشد. جهت ارزیابی ظرفیت باربری اینگونه بناها و همچنین ارزیابی تاثیر روشهای مقاوم سازی بر آنها، با استفاده از روابط تحلیلی ساده غیر ممکن می باشد و بکارگیری روش های عددی اجتناب ناپذیر می باشد. اغلب سازه های میراث فرهنگی، با استفاده از مصالح بنایی ساخته شده اند. این نوع سازه ها معمولاً در برابر زلزله دارای ضعف های عمده ای هستند شناخت این ضعف ها مقدمه ای بر انتخاب روش مناسبی برای مقاوم سازی آنها می باشد.

در این مقاله با مطالعه موردی بر روی بنای تاریخی ارگ علیشاه تبریز و بقعه شیخ شهاب الدین اهری، مدلسازی عددی به کمک نرم افزارهای Ansys, AutoCad انجام و سپس ارزیابی باربری ثقلی و جانبی آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

## مروری بر تحقیقات انجام شده روی بناهای تاریخی

جهت بررسی و مطالعه بناهای تاریخی و فرهنگی محدودیت های زیادی وجود دارد مانند: [۱]

- حفظ اصالت بنا
- عدم استفاده از روشها و آزمایش های مخرب
- هزینه بر بودن ساخت مدل میز لرزان و دقیق نبودن نتایج این گونه آزمایشات به علت وجود جزئیات و ظرافت های زیاد این گونه بناها
- حساسیت جوامع، سازمان های بین المللی و ارگان های مرتبط با حفظ، مرمت و احیاء

## بناهای تاریخی

به همین دلیل متداولترین روش مطالعه رفتار و استقامت بناهای تاریخی، تحلیل سازه با بکارگیری رایانه و استفاده از روش های اجزای محدود می باشد. مطالعه دقیق رفتار لرزه ای این چنین بناهایی مستلزم انجام تحلیل های دینامیکی می باشد که باید علاوه بر رفتار غیرخطی

<sup>۱</sup>- مربی موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی ایوانکی

مصالح، ترک خوردن مصالح، گسترش باز و بسته شدن ترک ها در آنها لحاظ شود. در عمل انجام این نوع تحلیل ها بسیار پیچیده می باشد و با توجه به محدودیت های سخت افزاری و نرم افزاری تا کنون در مورد هیچ بنای تاریخی بکار گرفته نشده است. از جمله بناهای تاریخی موجود در دنیا که تحلیل اجزای محدود برای آنها انجام شده است می توان به موارد زیر اشاره کرد:

گنبد سلطانیه، باغ دولت آباد یزد، بنای پانتعون ایتالیا، گنبد ایاصوفیه ترکیه، کلیسای باسیلیکای ایتالیا، و کلیسای ماریا ویجا اسپانیا ولی بر روی بنای تاریخی ارگ علیشاه تبریز و بقعه شیخ شهاب الدین اهری هیچ گونه پژوهشی (از منظر سازه ای) صورت نگرفته است. مهمترین دلایل آسیب های وارده به این بناها، نشست خاک، تنزل کیفیت مصالح و فقدان حفاظت و نگهداری از آنها می باشد. به منظور مشاهده و کنترل تغییر شکل های ایجاد شده در طی زمان این گونه بناها اعم از مشاهده و کنترل حرکت ترک ها، (باز شدگی و لغزیدگی)، لغزش ها و دیگر تغییر شکل ها، به طور وسیعی از سیستم های کنترلی بکار گرفته می شود. ثبت اطلاعات توسط سنسورهای بکار گرفته در این سیستم ها در درک مکانیزم حرکت بنا و اعمال این تغییرات در مدلسازی عددی و همچنین در انتخاب روشی معتبر و مناسب برای ارزیابی شرایط ایستایی سازه ها مفید خواهد بود.

### آنالیز بناهای تاریخی

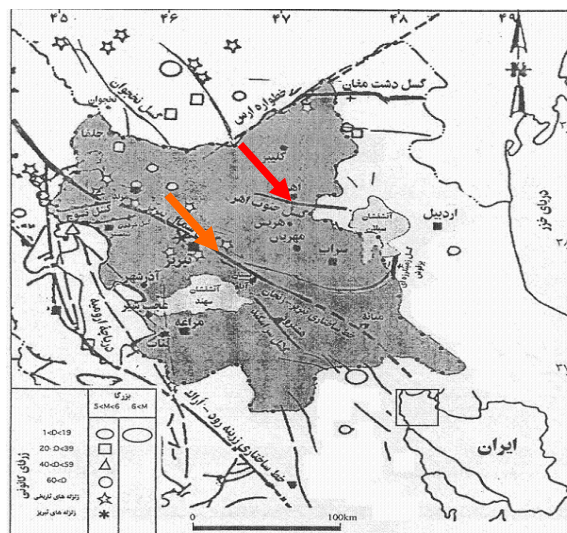
به طور کلی آنالیز بناهای تاریخی کاری پیچیده است. زیرا، اولاً محدودیت منابع جهت مطالعه رفتار مکانیکی مصالح بنایی از جمله آزمایش های غیرمخرب در محل، آزمایش تجربی آزمایشگاهی بعدی و توسعه ابزارهای عددی معتبر و ثانیاً مشکلات بکارگیری اطلاعات موجود در آنالیز بناهای تاریخی که عامل مهمتری است.

از مهمترین این مشکلات می توان به موارد متداول زیر اشاره نمود:

- نبود اطلاعات مربوط به ابعاد هندسی قسمت های تخریب شده بنا.
- از مصالح تشکیل دهنده هسته داخلی المان های سازه ای اطلاعاتی در دسترس نیست.
- تشخیص خواص مکانیکی مصالح بکار گرفته در بنا مشکل و گران است.
- به علت کیفیت ساخت و استفاده از مصالح طبیعی، تغییرات زیادی در خواص مکانیکی مصالح مشاهده می شود.
- تغییرات چشمگیر در اصل و ترکیب المان های سازه ای مربوط به بناهای با دوره طولانی.
- توالی و ترتیب ساخت بنا ناشناخته است.
- آسیب های موجود در بنا ناشناخته است.
- دستورالعمل های و آیین نامه ها غیر کاربردی می باشند.

### لرزه زمینساخت، گسل های بنیادی و کواترنر در پهنا استان آذربایجان شرقی [۲]

در این قسمت مهمترین روندهای ساختاری در گستره استان معرفی می شوند. این روندها در نقشه لرزه زمینساخت این ناحیه در شکل (۱) قابل مشاهده است. به طور کلی از نظر لرزه زمینساخت جنبا، روندهای لرزه خیز تبریز- زنجان، زرينه رود - اراك و ارس گستره آذربایجان را تحت تاثیر قرار داده اند.



شکل (۱): نقشه لرزه زمینساخت پهنا استان آذربایجان شرقی

## برآورد مقدماتی خطر زمین لرزه برای شهر تبریز [۲]

واقع شدن شهر تبریز در پای گسل شمال تبریز آنرا به پر خطرترین پهنه از دیدگاه لرزه‌خیزی در کل استان تبدیل کرده، چرا که برای این محل بیشینه شتاب افقی حدود  $0.64g$  (MCE) محاسبه شده است. شهراهر نیز به علت واقع شدن در جوار گسل جنوب اهر، محلی پر خطر از دیدگاه لرزه‌خیزی می باشد بطوری که برای این محل بیشینه شتاب افقی حدود  $0.36g$  محاسبه شده است. (جدول ۱) بنابراین بطور کیفی می توان گفت که آثار تاریخی اهر و تبریز در وضعیت خطرناکی قرار دارند و زلزله عامل تهدید کننده جدی برای ابنیه تاریخی آنهاست. در جدول (۱) محاسبه بیشینه پارامترهای جنبش شدید زمین در گستره استان آذربایجان شرقی قابل مشاهده است.

جدول ۱. محاسبه بیشینه پارامترهای جنبش شدید زمین در گستره استان آذربایجان شرقی

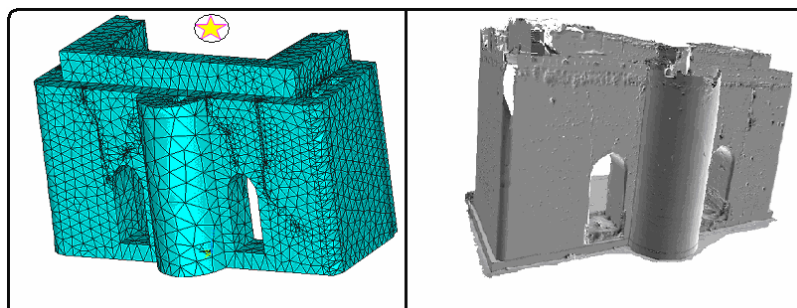
بیشینه پارامترهای جنبش شدید زمین MCE			سرچشمه خطی لرزه‌زا (مهمترین سرچشمه لرزه‌زا نسبت به شهر)					شهر و مرکز بخش
بیشینه شدت در محل I(MSK)	بیشینه شتاب افقی (%g) PGA	فاصله از گسل (کیلومتر)	شدت بیشینه بر روی گسل I(MSK)	بزرگا	طول گسیختگی (کیلومتر)	طول (کیلومتر)	گسل	
IX	٪۶۴	۱	IX	۷/۳	۵۸	۱۵۰	گسل شمال تبریز	تبریز
VII <sup>+</sup>	٪۳۶	۸	VII <sup>+</sup>	۶/۵	۲۳	۶۲	گسل جنوب اهر	اهر

### مدل اجزای محدود (به روش مدل سازی ماکرو)

بر پایه این روش از مدل سازی مصالح بنایی، نمی‌توان واحدهای منفرد و اتصالات را از یکدیگر تشخیص داد و محیط مصالح بنایی به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شود به این معنی که آجرها و ملات و سطح مشترک ملات و آجر به صورت یک ماده همگن معادل فرض می‌گردد. خواص فیزیکی این محیط با انجام آزمایشات، و یا متوسط‌گیری وزنی بین خواص فیزیکی محیط آجر و ملات تعیین می‌گردد. یکی از این پارامترها که در نتایج آنالیز تاثیر زیادی دارد، مدول الاستیسیته مصالح است. در ادامه رابطه ای جهت تعیین دقیقتر این پارامتر ارائه شده است. روش مدل سازی بکار رفته در این مقاله مدل سازی ماکرو می باشد. [3]

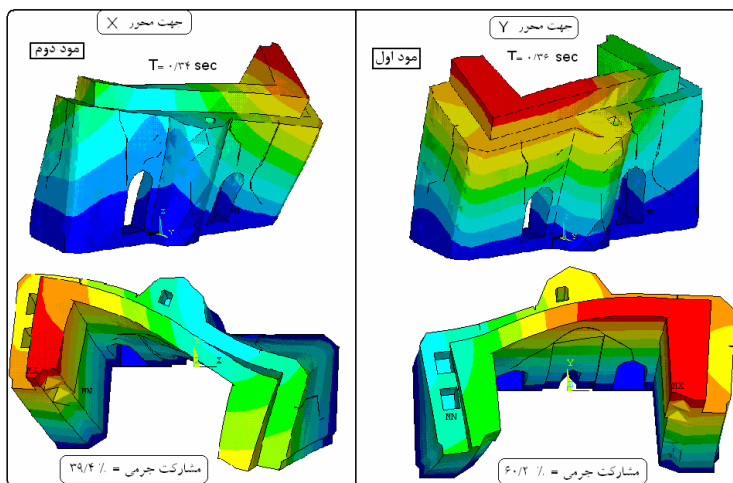
### بنای تاریخی ارگ علیشاه تبریز

در مرکز شهر تاریخی تبریز، بازمانده های بنای باستانی شکوهمندی قرار دارد که از آن به نام های ارگ تبریز؛ طاق علیشاه و نیز مسجد جامع علیشاه یاد می شود. قدمت این بنای عظیم آجری به عهد ایلخانیان بازمی‌گردد. بنای تاریخی ارگ تبریز تحت تاثیر عوامل طبیعی و غیر طبیعی در دوره های گذشته مورد تهدید و آسیب های جدی قرار گرفته است. از جمله حوادث غیر مترقبه، زلزله تاریخی سال ۱۱۵۸ هجری شمسی است که در آن آسیب های جدی به سازه ارگ وارد شد و ترک های عمیقی در دیواره های آن ایجاد شد. بقایای موجود ارگ علیشاه با پلان U شکل به ارتفاع متوسط ۳۳ متر و عرض ۵۱/۲ متر و طول ۲۱/۱ متر، تنها بخش کوچکی از کل این مجموعه معماری تاریخی بوده است. در شکل ۲ مدل سه بعدی ارگ نشان داده شده است.

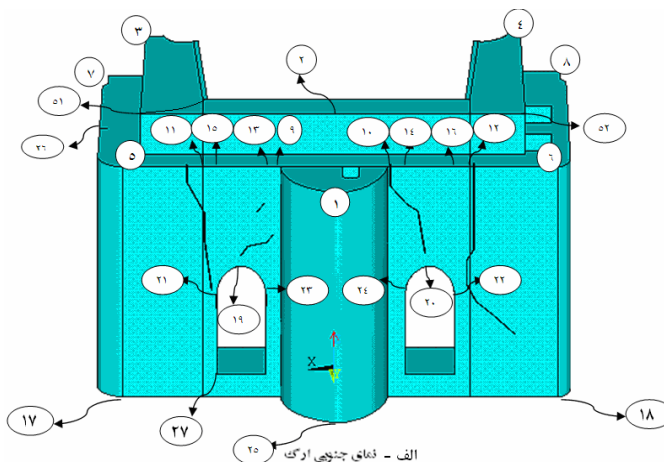


شکل (۲): مدل سه بعدی ارگ علیشاه و مدل اجزای محدود

در شکل ۳ شکل های مودی ارگ که از آنالیز مودال بدست آمده است نشان داده شده است. همانطور که مشاهده میشود دیوار محراب (دیوار نازکتر) همیشه تحت پیچش قرار دارد. در شکل ۴ تعدادی از نقاط جهت کنترل تغییر مکان ها و تنش ها تحت آنالیز لرزه ای انتخاب شده است. و در جدول ۲ چند زلزله مناسب منطقه که در بارگذاری لرزه ای بکار رفته است نشان داده شده است.



شکل (۳): شکل های مودی



شکل (۴): معرفی نقاط کنترلی

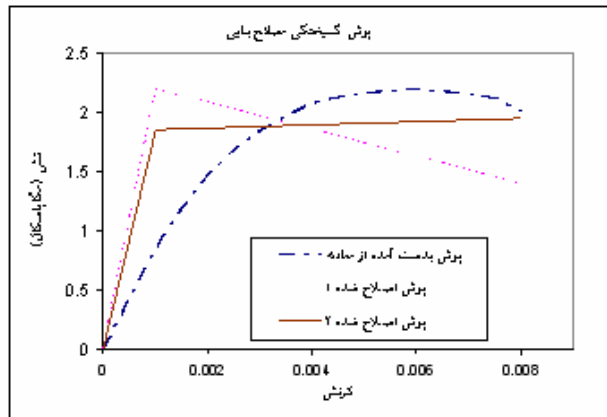
جدول (۲): ویژگی شتابنگاشت های واقعی و شبیه سازی شده، بکار رفته در تحقیق

PGA (g)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	نامگذاری زلزله	توصیف زلزله
۰/۳۸	۳۷۱	I	چی چی ۱۹۹۹
۰/۵۳	۵۲۰	II	زلزله چی چی شبیه سازی شده، ۱۰٪ در ۵۰ سال، خاک نوع IV
۰/۶۴	۶۲۷	III	چی چی شبیه سازی شده

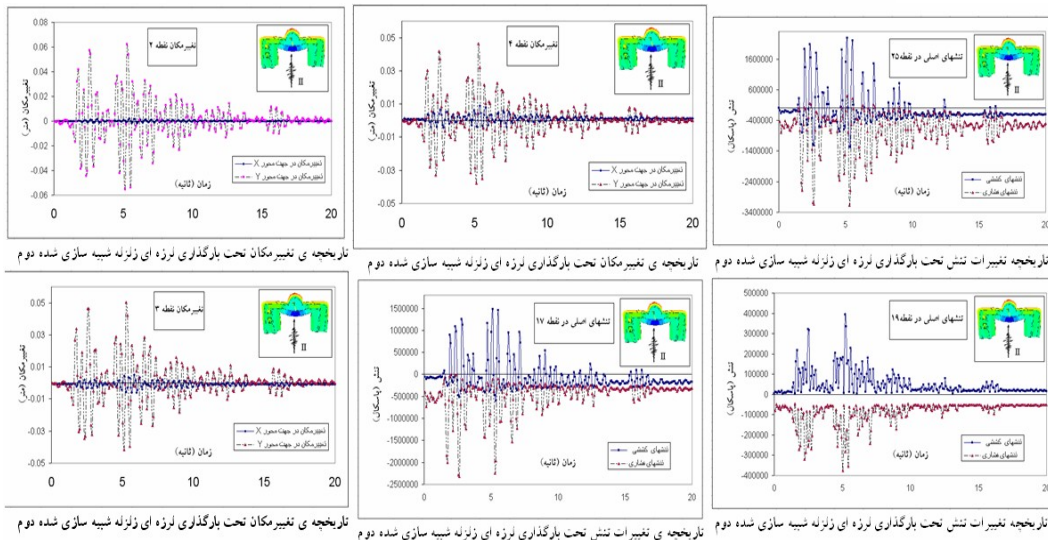
در این آنالیز برای مدلسازی رفتار غیر خطی مصالح از قابلیت نرم افزار ANSYS استفاده شده است. بدین شکل که نمودار تنش- کرنش به صورت ورودی به برنامه داده می شود و برنامه قادر است با استفاده از روش های تحلیلی غیرخطی، اقدام به آنالیز مدل بر اساس نمودار رفتاری مصالح نماید. با توجه به مدل همگن اجزای محدود و روابطی که بین کرنش و نسبت های تنش توسط سایر محققین بدست آمده است، از رابطه معادله تنش کرنش عمومی (۱) که باتوجه به آزمایشات نارین و سینها در سال ۱۹۸۸ و ۱۹۹۱ بر روی پانلهای بنایی بدست آمده است،

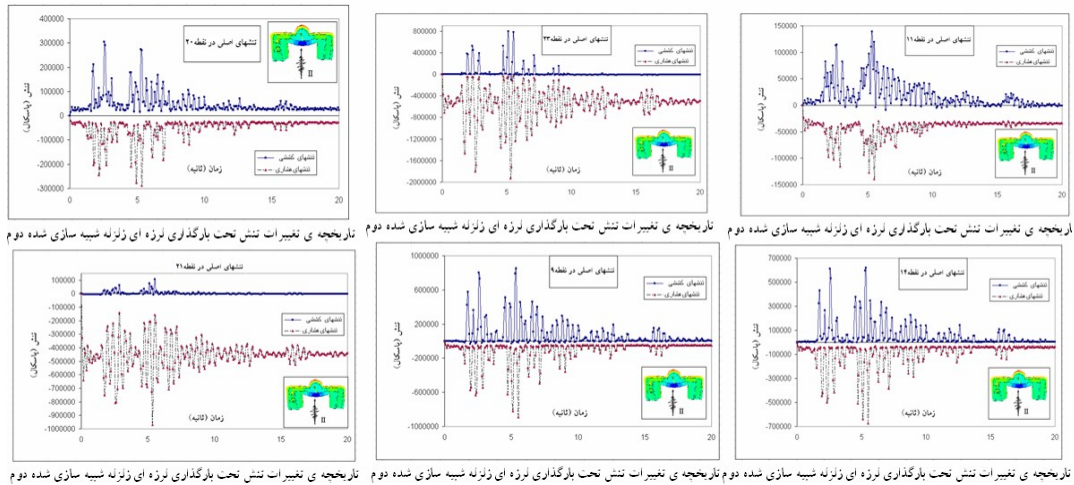
استفاده می شود. که  $f$  و  $\varepsilon$  مقادیر مطلق تنش و کرنش:  $f_m$  تنش پیک گسیختگی:  $\varepsilon_m$  کرنش بدست آمده در لحظه پیک تنش می باشند. زمانی که گسیختگی توسط کرنش های عمود بر بند ملات حاکم می شود، تنش ها و کرنش های معادله فوق به صورت عمود بر بند ملات می باشند، به طور مشابه، وقتی که گسیختگی به وسیله کرنش های موازی با بند ملات حاکم می باشد، تنش ها و کرنش های معادله فوق موازی با بند ملات هستند. مقادیر  $\alpha\varepsilon m$  و  $\beta f_m$  در معادله فوق نشان دهنده پیک کرنش و تنش در این لحظه می باشند. در محاسبه منحنی پوش نیز مقادیر  $\alpha, \beta$  برابر ۱ در نظر گرفته می شود. در شکل (۵) پوش بدست آمده از رابطه (۱) به صورت خط چین نشان داده شده است. پوش های اصلاح شده را میتوان مطابق هر یک از پوش های اصلاح شده شکل (۵) در نظر گرفت. در این تحقیق از پوش اصلاح شده دوم استفاده شده است. نتایج آنالیز لرزه ای در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که از شکل ها مشخص است مقادیر تنش ها مقادیر بالایی دارند و همچنین تغییرشکل های ایجاد شده برای سازه های بنایی تغییرشکل های بزرگی است. زیرا سازه های بنایی سازه هایی ترد و با شکل پذیری بسیار کم هستند.

$$\text{رابطه (۱): } f = (\beta f_m) \frac{\varepsilon}{\alpha \varepsilon m} e^{\left(1 - \frac{\varepsilon}{\alpha \varepsilon m}\right)}$$



شکل 5: منحنی تنش-کرنش مصالح مورد استفاده در مدل عددی





شکل ۶- تاریخچه ی تغییرات تنش و تغییر مکان نقاط کنترلی

نتایج تحلیل ها نشان می دهد ارگ تبریز مانند اکثر سازه های بنایی تاریخی ظرفیت باربری مناسبی جهت تحمل بار های ثقلی و وزن خودش دارد و همچنین در برابر بارگذاری لرزه ای به شدت آسیب پذیر است. در زلزله هایی که پاسخ سازه ارگ در ناحیه ی تشدید طیف پاسخ شان قرار می گیرد، استقامت سازه حداکثر تا  $0.12$  برابر شتاب ثقل زمین است. همچنین برای زلزله هایی که پاسخ سازه در خارج از ناحیه ی طیف پاسخ شان قرار دارد این استقامت تا حدود  $0.25$  برابر شتاب ثقل زمین افزایش می یابد. اما در هر حال استقامت موجود سازه برای تحمل زلزله های با بیشینه شتاب افقی امکانپذیر برای شهر تبریز ( $0.64 g$ ) بسیار کمتر از استقامت لازم می باشد.

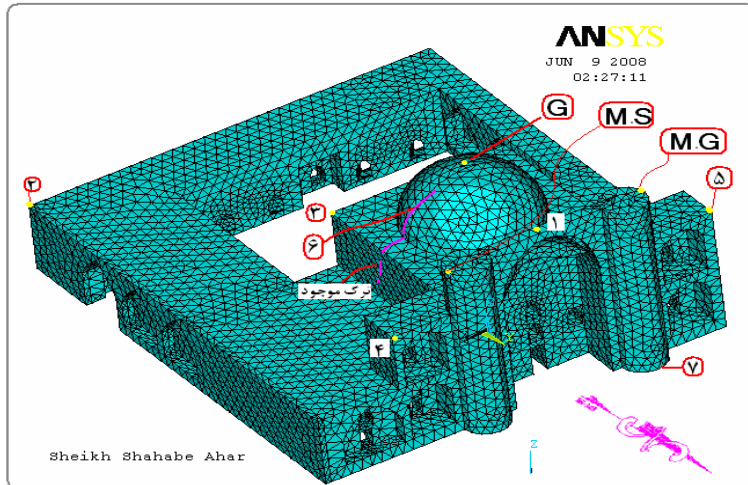
باربری جانبی سازه در هر دو جهت (محور X و Y) کم بوده و تقویت ظرفیت باربری سازه در هر دو جهت امری اجتناب ناپذیر می باشد. در مقام مقایسه ظرفیت باربری سازه در جهت محور Y کمتر از جهت محور X است. همچنین بارگذاری جانبی در جهت های مثبت هر دو محور وضعیت بحرانی تری نسبت به بارگذاری لرزه ای در خلاف جهت محور ها ایجاد می کند.

### بنای تاریخی شیخ شهاب الدین اهری

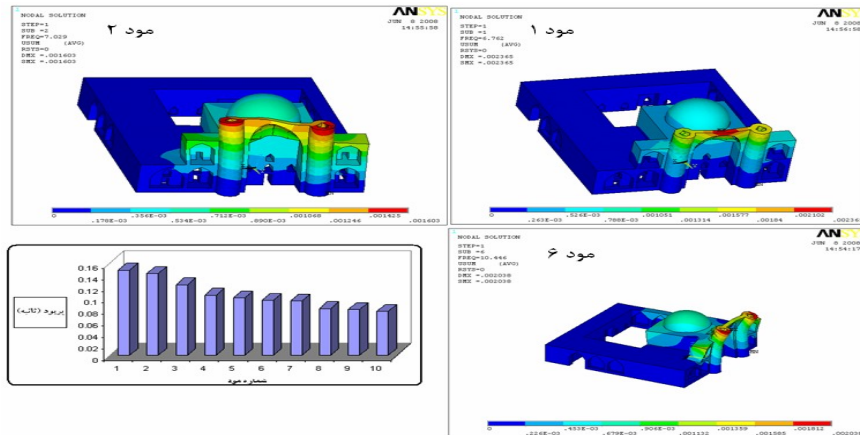
بقعه شیخ شهاب الدین اهری در پارک شیخ شهاب الدین قرار گرفته و آرامگاه شیخ شهاب الدین محمد اهری- عارف بزرگ قرن هفتم هجری- است. دارای  $1497$  مترمربع بوده و ساختمانی مشتمل بر خانقاه، مسجد، ایوانی بلند، مناره ها و غرفه های متعدد است. خانقاه این بنا دارای فضای بزرگی است که زیر گنبد دو پوش قرار گرفته و مقطعی مربعی شکل دارد و هر ضلع آن  $11/20$  متر، ارتفاع آن  $18$  متر و ضخامت دیوارهایش  $1/30$  متر می باشد که در اصطلاح محلی به "قوشخانه" معروف است. در شکل ۷ نمای بنا آورده شده است در شکل ۸ تعدادی از نقاط جهت کنترل تغییر مکان ها و تنش ها تحت آنالیز لرزه ای انتخاب شده است. و شکل ۹ شکل های مودی بنا نشان میدهد. همانطور که از شکلها مشخص است طبقه ی بالا، طبقه نرم محسوب میشود.



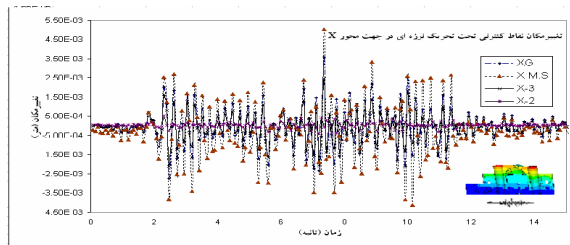
شکل ۷- نمای سه بعدی از بقعه



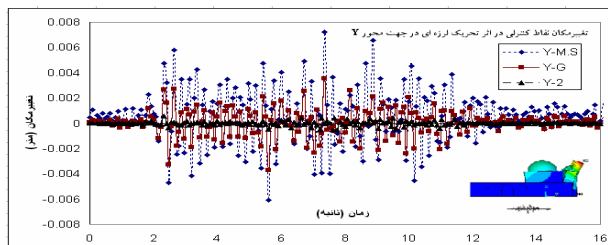
شکل ۸- معرفی نقاط کنترلی



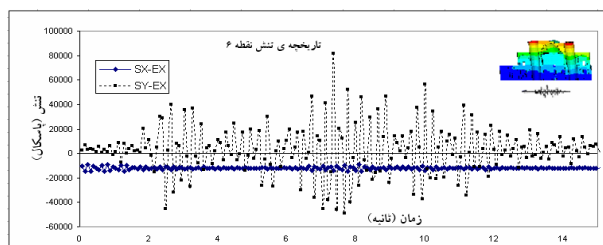
شکل ۹- شکل های مودی و پرپود سازه



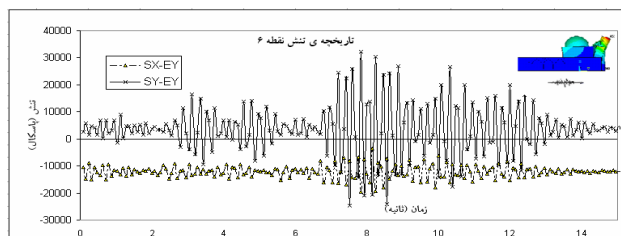
شکل ۱۰- تاریخچه تغییر مکان نقاط کنترلی در اثر تحریک لوزه ای شتابنگاشت زلزله منجیل



شکل ۱۱- تاریخچه تغییر مکان نقاط کنترلی در اثر تحریک لوزه ای شتابنگاشت زلزله منجیل



شکل ۱۲- تاریخچه تغییرات تنش در نقطه کنترلی ۶ در اثر تحریک لرزه ای شتابنگاشت زلزله منجیل



شکل ۱۳- تاریخچه تغییرات تنش در نقطه کنترلی ۶ در اثر تحریک لرزه ای شتابنگاشت زلزله منجیل

بنا در طبقه اول از استحکام و سختی خوبی برخوردار بوده و در صورت ارائه طرحی جهت مقاوم سازی باید نسبت به تقویت آن در طبقات بالاتر اقدام نمود. برای بارگذاری در جهت محور دوم مقادیر بالاتری هم برای تغییرمکان ها و هم برای تنش ها داریم. لذا بنا در این جهت آسیب پذیرتر خواهد بود. و در صورت ارائه طرحی جهت مقاوم سازی بنا در برابر بارگذاری لرزه ای تقویت بنا در این جهت در اولویت قرار دارد. مناره ها، دیوار متصل کننده مناره ها که به عنوان بازوی کوپل آنها محسوب می شوند و همچنین گنبد و دیوار زیر آن نیاز به تقویت و بهسازی دارند. (شکل های ۹-۱۳)

#### نتیجه گیری

این بناها همانند اکثر بناهای تاریخی ظرفیت باربری مناسبی در برابر بارهای ثقلی دارند اما در برابر بارگذاری لرزه ای بسیار آسیب پذیرند.

#### مراجع

۱. پورامینیان، مجید، (۱۳۸۷)، " بررسی رفتار لرزه ای بناهای تاریخی " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم آذربایجان، تبریز.
- ۲- شاه پسند زاده ، مجید: بررسی مقدماتی لرزه خیزی، لرزه زمینساخت و خطر زمین لرزه گسلش در پهنه استان آذربایجان شرقی؛ مهدی زارع، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ایران / تهران، شهریور ۱۳۷۴، ۷/۲ - ۹۵ - ۷۴.
- ۳-ذکاء، یحیی: زمین لرزه های تبریز؛ ایران / تهران ؛ کتاب سرا، چاپ اول، زمستان ۱۳۶۸.
- 4 Bani- Han, Khaldon: Analytical evaluation of repair and strengthening measures of Qasr al – Bint historical monument – Petra, Jordan: samer Barakat; Journal of Engineering Structures; 2006, 28, 1355-1366
- 5 Blasi. C: the Fractures of the French pantheon: Survey and Structural analysis; Coisson .E; Iori. I; Engineering Fracture mechanics; Article in press 2007
- 6.Moon , Franklin L.: Rocommendations for Seismic Evaluation and Retrofit of Low – Rise URM Structures; Tianyi Yi; Roberto T. Leon ; Lawrence F. kahn ; Journal of Structural Engineering @ ASCE ; 2006,132,5 , 663-672.
- 7 [Ansys \(2004\) http://www.ansys.com](http://www.ansys.com) FE software, SAS IP Inc.
- 8 Oliveira, D.V: Experimental and numerical analysis of blocky masonry structures under cyclic loading, Ph.D Thesis, Portugal, guimaraes, University of Minho, Department of civil Engineering, Jan 2003.
- 9.Boothby, Thomas E.: Manual for the Assessment of Load-Bearing Unreinforced Masonry Structures; Huriy Sezar Atamturkur, Ece Erdogmus; USA/ Pensylvania; University Park, 5May 2006
- 10Lourenco. P.B: Assessment, diagnosis and strengthening of Outeiro church, Portugal; Con build mat; 2005, 19, 634-645.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.