

عملکرد بناهای تاریخی در زلزله‌های بزرگ گذشته ایران با نگاه ویژه به ایوان آن‌ها

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸

کد مقاله: ۴۳۶۴۰

نیوشا غنینی^۱، یاسر شهبازی^۲

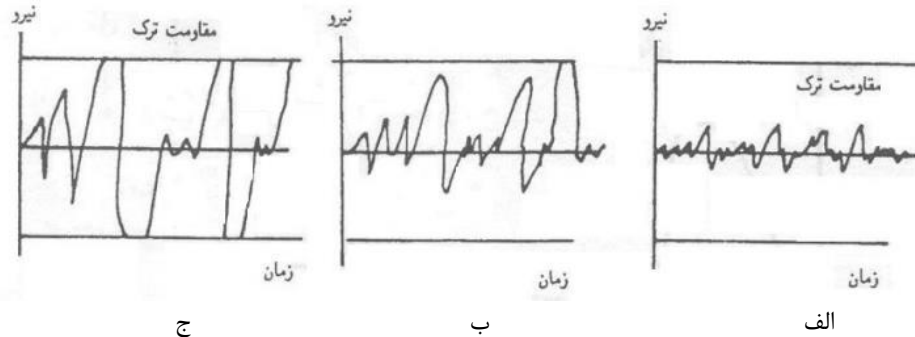
چکیده

در مطالعات مربوط به تاریخ معماری ایران، ایوان از مباحث مهمی است که علی‌رغم کاربرد گسترده و جایگاه ویژه آن در معماری کمتر به آن پرداخته شده است. افزون بر آن با بررسی زلزله‌های بزرگ اتفاق افتاده در ایران میتوان دید کم نیستند بناهایی که تمام عناصر آن‌ها تخریب شدند اما ایوان آن‌ها پابرجا مانده، با توجه به دلایل ذکر شده سوالی مطرح می‌شود که آیا ایوان به عنوان یک عنصر معماری در بنا می‌تواند نقش سازه‌ای هم داشته باشد یا نه. و یا حتی اینکه ایوان علاوه بر پایداری خودش به پایداری کل بنا هم کمک کند. بدین منظور در این پژوهش، با بررسی زلزله‌های مذکور به این نتیجه میرسیم که ایوان میتواند علاوه بر عملکرد زیبایی و اقلیمی و غیره، در کنترل نیروهای جانبی زلزله نیز نقش داشته باشد.

واژگان کلیدی: بناهای تاریخی، ایوان، زلزله، پایداری سازه‌ای

انسان در طول تاریخ همواره ناگزیر به ساخت بناهای مقاوم و ایمن بوده است. او مجبور بوده مواد و مصالح مختلف را به گونه ای شکل دهد تا بتواند آن را در مقابل عوامل و نیروهای مخرب حفظ کرده و نیروهای وارد بر ساختار معماری اش را به گونه ای مطمئن شناسایی و کنترل کند. از طرفی، زمین تأمین کننده همه مواد و مصالح ساختمانی بوده و به دلیل جاذبه، باعث به وجود آمدن نیروهای وزنی میگردد و از سوی دیگر به سبب تأثیرات آب و هوایی و ساختار زمین شناسی، نیروهای جانبی باد و زلزله و انقباض و انبساط را موجب می شود؛ این در حالی است که بشر در ساخت و سازهای خود علاوه بر عملکرد و استحکام، باید عواملی چون مسائل اقتصادی، محیطی، زمان و ... را نیز به عنوان عوامل مؤثر بر معماری در نظر داشته باشد. بنابراین فرم و معماری تحت تأثیر مجموعه ای از عوامل و متغیرها قرار دارند که سازه یا اسکلت بنا از جمله این عوامل اند.

طبق نتایج آزمایشگاهی بدست آمده، توسط محققان مشخص شده است که، ضعف اصلی ساختمانهای بنایی و از جمله ساختمان های آجری، کمبود مقاومت نیست، بلکه کمبود شکل پذیری است و میزان خسارت در سازه های شکل پذیر، تابع شدت زمین لرزه است و در زلزله های بسیار مخرب با بزرگی بیش از ۷ ریشتر در ناحیه مرکزی زلزله بیشترین آسیب مشاهده می شود و شدت تخریب با دور شدن از مرکز کاسته میشود. در حالیکه در مورد ساختمانهای آجری چنین نیست و از منطقه ای که ساختمان ها کاملاً فروریخته است ناگهان به منطقه ای با ساختمان های نسبتاً سرپا میرسیم، علت این خصوصیت عدم شکل پذیری کافی در آنها می باشد.



شکل ۱- رفتار سازه های آجری بر حسب فاصله از مرکز زلزله ماخذ: (مقدم، طرح لرزه ای ساختمان های آجری)

الف) نقاط نسبتاً دور شدت زلزله برای ایجاد ترک کافی نیست

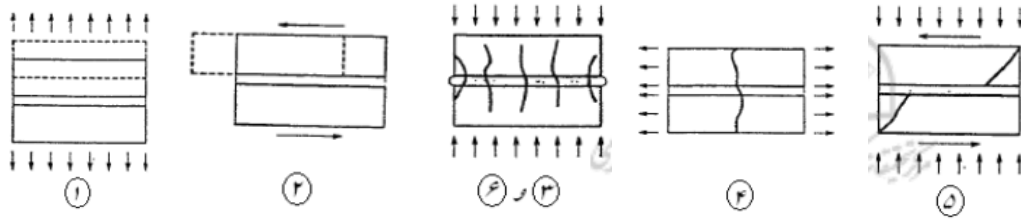
ب) نقاط مجاور ناحیه مرکزی - ترک در لحظات واپسین رخ می دهد

ج) ناحیه مرکزی - ترک در لحظات آغازین رخ داده و خیلی زود سازه فرو می ریزد.

بنابراین رفتار ساختمان های آجری غیرمسلح به صورت زیر قابل بیان است: الف: چنانچه شدت زمین لرزه از مقاومت ساختمان کمتر باشد، سازه سختی اولیه خود را حفظ کرده و در این صورت نیروی زمین لرزه برابر حاصل ضرب جرم در شتاب زمین لرزه می باشد. یعنی ضریب بازتاب ۱ می باشد. مقدار این نیرو برای ایجاد ترک و شکست در سازه کافی نیست. بنابراین ساختمان متحمل خسارت نمی گردد. ب: شدت زمین لرزه در اواخر لرزش، از مقاومت سازه بیشتر می گردد و ترک ها و خردشدگی ها در سازه آغاز می گردد. در این لحظه با کاهش سختی، پریود ارتعاش زیاد شده و ضریب بازتاب از ۱ بیشتر میشود، که این مسأله باعث افزایش نیروی زمین لرزه می گردد. اما چون این تغییرات در لحظات انتهایی زمین لرزه صورت می گیرد، سازه فرو نمی ریزد و تنها مقداری ترک خوردگی و خردشدگی در آن باقی خواهد ماند. ج: شدت زمین لرزه در لحظات ابتدایی زمین لرزه از مقاومت سازه بیشتر می گردد. در نتیجه ی بروز ترک خوردگی ها، کاهش سختی و افزایش پریود ارتعاش سازه، ضریب بازتاب از همان ابتدا زیاد شده و باعث افزایش نیروی زمین لرزه می گردد. این افزایش نیرو باعث ترک خوردگی های بیشتر و تکرار چرخه فوق شده که در انتها به خرابی سازه می انجامد. این حالت در زمین لرزه های با بزرگی بیش از ۶ در مقیاس ریشتر و در نزدیکی مرکز زمین لرزه اتفاق می افتد. در این نواحی ساختمان های بنایی غیرمسلح با خاک یکسان می گردند. با دور شدن از مناطق مرکزی زمین لرزه و کاهش شدت، ناحیه ای جلب توجه می نماید که اصطلاحاً ناحیه ی آستانه ترک نامیده می شود. ناحیه آستانه ترک ناحیه ای است که حالت سازه از (ج) به (ب) تبدیل می گردد. ساختمان هایی که در سمت مرکزی قرار گرفته اند فرو می ریزند و ساختمان هایی که در این سوی ناحیه واقع اند پایدار مانده و تنها محتمل ترک میشوند. (۱۳۷۳، مقدم، افصلی، خسروی)

۱-۱- مودهای گسیختگی در اجزای دیوارهای بنایی

در ادامه به بررسی مودهای گسیختگی امکانپذیر در واحدها و مالته‌ها پرداخته شده است. گسیختگی‌های نوع ۱ و ۲ و ۳ که در زیر بیان میشود مربوط به گسیختگی مالت و نوع ۴ و ۵ و ۶ مربوط به مصالح میباشد.



شکل ۲- ماخذ: (۱۳۸۵، تابش پور)

۱- جدایش واحدها تحت اثر گسیختگی کششی که در مالت ایجاد میشود.

۲- لغزشی واحدهای بنایی بر روی -یکدیگر به علت ناکافی بودن نیروی عمودی جهت تولید اصطکاک برای جلوگیری از

لغزش

۳- گسیختگی فشاری مالت

۴- ترک خوردگی واحدهای مصالح بنایی تحت اثر تنشهای کششی

۵- ترکهای قطری در واحدها در اثر وجود نیروی مقاوم اصطکاکی یا چسبندگی زیاد در وجوه بالا و پایین واحد مصالح بنایی

۶- گسیختگی فشاری یا پکیدگی مصالح تحت اثر نیروهای فشاری زیاد

در این مقاله که مستخرج از پایان نامه بررسی ساختار سازه ای و ارزیابی لرزه ای عنصر ایوان در بناهای تاریخی می باشد، هدف اصلی بررسی ایوان بناها می باشد؛ ایوان فضایی از بنای اصلی است که معمولاً ارتفاعی بلند تر از سازه اصلی دارد، ارتباط دهنده فضای داخلی و خارجی بنا می باشد، از سه جهت بسته است و دیوار دارد و از یک جهت باز است.

۲- روش تحقیق

روش تحقیق در این مقاله بیشتر به صورت کتابخانه ای و در مواردی تحقیقات میدانی بوده است، بررسی موضوع پایان نامه مذکور پس از مطالعات انجام گرفته در خصوص عملکرد بناها پس از زلزله انجام گرفته است، و نیاز است مطالعه بیشتر در خصوص عملکرد عناصر مختلف معماری ایرانی در زلزله انجام گیرد.

۲-۱- عملکرد بناهای تاریخی ایوان دار در زلزله ها گذشته

بدین منظور در ابتدا زلزله های مورد مطالعه را در جدول ۱ آورده ایم.

جدول شماره ۱: زلزله های مورد بررسی (نگارنده)

نام زلزله	بزرگی زلزله	سال زلزله
تبریز	۷/۷	۱۱۵۸
فردوس	۷/۱	۱۳۴۷
طیس	۷/۴	۱۳۵۷
بم	۶/۶	۱۳۸۲
سیالخور	۵/۹	۱۳۸۵
سر پل ذهاب	۷/۳	۱۳۹۶

۲-۱-۱- زلزله تبریز

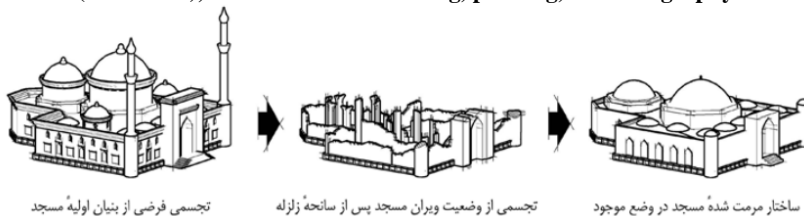
بزرگترین زلزله تاریخی تبریز و احتمالاً مخربترین زلزله شهری ایران در طول تاریخ، در شب جمعه ۱۸ دی ۱۱۵۸ (۸ ژانویه ۱۷۸۰ میلادی) در منطقه تبریز با بزرگای ۷/۷ و مختصات رومرکزی ۳۸°۲'N و ۴۶°E رخ داد. زلزله تبریز را تقریباً به تمامی ویران کرد و حدود ۴۰۰ روستا، از جمله مرند، تسوج و اروئق را درهم کوبید. در خود تبریز، همه ساختمانهای عمده، که در اثر لرزه‌های پیشین سست شده بود و همه خانه‌های شخصی و هم چنین دژ و باروی شهر به تمامی ویران شد. شعاع ویرانی، به طور متفاوت از ۷۲ تا ۱۲۰ کیلومتر از تبریز گزارش شده است.

این زمین‌لرزه مسبب ویرانی همه ساختمان‌های تاریخی در تبریز بود. در میان آن‌هایی که بازسازی شدند و امروزه (به شکلی بسیار دگرگون شده) هنوز موجودند، می‌توان از مسجد جمعه واقع در بازار نام برد که کار بر روی آن بیدرنگ پس از زمین‌لرزه توسط احمدخان دنبلی آغاز شد. ۱۴ سال بعد، مرمت مسجد صاحب الامر در سال ۱۷۹۴ میلادی توسط جعفر خان دنبلی در مجموعه‌ای که بلافاصله در شمال مهران رود جای دارد و مسجد ثقه الاسلام را نیز در بر می‌گیرد، انجام شد. این مجموعه‌ها هر دو، ساختمان‌های دیگری را در بر می‌گیرند که از آن‌ها هم‌چون بناهایی که در اثر زمین‌لرزه به سختی آسیب دیده‌اند، نام برده شده است، برای نمونه مدرسه طالبیه پیوسته به صاحب الامر که در اصل به وسیله اوزون حسن (درگذشته به سال ۱۴۷۸ م.) ساخته شده بود. مدرسه صادقیه، که آن نیز یک بنای دوره صفوی است، هنوز در ناحیه بازار بازمانده است، و بقعه و مدرسه سید حمزه (در گذشته به سال ۱۳۱۴ م.) نیز در محله سرخاب در سوی شمالی شهر است. ویرانه‌های مسجد علیشاه نیز که امروزه به نام ارگ شناخته می‌شود، و مسجد استاد شاگرد و مسجد دال دال نیز تا به امروز بازمانده‌اند. در این زلزله، مسجد کبود تبریز نیز ویران شد. تبریز به تدریج بر همان جایگاه پیشین بار دیگر ساخته شد. خانه‌های تازه را کوتاه، بدون طبقه بالا، و با استفاده بیشتر از چوب ساختند. حتی کاخ فرمانروا نیز با مهاربندی چوبی ساخته شد و شیوه ساختمانی تازه‌ای به نام «تخته پوش» کاربرد گسترده‌ای یافت (امبرسیز . ملویل، ۱۹۸۲)

۲-۱-۲- عملکرد ایوان مسجد کبود تبریز در زلزله



شکل شماره ۲۲ و ۲۳- مسجد کبود پس از زلزله ماخذ: LAURENS, Jules Joseph Augustin (1825-1901), French artist in drawing, painting, and lithography



شکل شماره ۲۴- فرم مسجد کبود در سه دوره تاریخی (ریخت شناسی معماری مسجد کبود تبریز)

جدول شماره ۲- خرابی ایوان مسجد کبود در اثر زلزله تبریز (نگارنده)



دیوار شرقی ایوان
شکست برون صفحه ای



دیوار شرقی ایوان
شکست برون صفحه ای



دیوار غربی ایوان
شکست برون صفحه ای

۲-۱-۳- زلزله فردوس

سال ۱۳۴۷، در ساعت ۲:۱۷ بعدازظهر روز ۹ شهریور ۱۳۴۷ (۳۱ اوت ۱۳۶۸)، زمین‌لرزه فاجعه‌باری با بزرگای $M_w = 7.1$ استان خراسان در شمال خاور ایران را لرزاند و به منطقه شمال باختر قائن آسیب رساند. تمرکز اصلی آسیب‌ها در دره نیم بلوک بود که در آن بیش از ۲۵۰۰ تن، یعنی در حدود یک چهارم شمار کل تلفات که حدود ۱۰۰۰۰ تن برآورد شده است، جان باختند. در دشت بیاض همه خانه‌ها کاملاً فروریخت و از ۱۶۷۰ تن ساکنان آن ۱۲۳۰ تن کشته شدند.

در حدود بیست و یک ساعت پس از زمین‌لرزه ۹ شهریور ۱۳۴۷ دشت بیاض، یعنی در ۱۰ شهریور ۱۳۴۷، زمین‌لرزه شدیدی با بزرگای $M_w = 6.4$ در هفتاد کیلومتری باختر دشت بیاض، شهر فردوس را، که در اثر زلزله دشت بیاض تنها اندکی آسیب دیده بود، تقریباً به کلی ویران کرد و جز تعداد معدودی آثار و ابنیه تاریخی با ارزش، خاطرهای از آن باقی‌نماند. بناهای ایوان دار که باقی ماندند:

جدول شماره ۳- خرابی ایوان چند بنا در اثر زلزله فردوس در شهر کاخک (نگارنده)



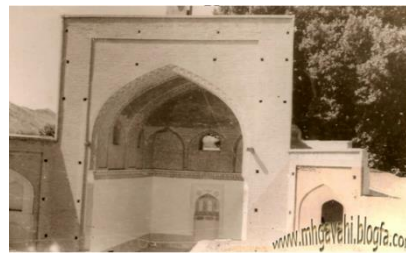
ایوان شرقی امام زاده کاخک
ایجاد ترک های برشی



سر در ورودی امام زاده کاخک
خرابی خارج از صفحه سقف ایوان و ایجاد ترک های برشی



ایوان مسجد جامع بالا کاخک بعد از زلزله
خرابی و شکست کامل به جز تویزه و جرز



ایوان مسجد جامع بالا کاخک قبل از زلزله



ایوان مسجد جامع پایین کاخک بعد از زلزله
خرابی و شکست کامل به جز جرز آن



ایوان مسجد جامع پایین کاخک قبل از زلزله

علاوه بر کاخک/ شهر فردوس نیز در زلزله یازدهم شهریور سال ۱۳۴۷ به شدت ویران شد و جز تعداد معدودی آثار و ابنیه تاریخی با ارزش، خاطرهای از آن باقی‌نماند. بناهای ایوان دار که باقی ماندند:

جدول شماره ۴- خرابی ایوان چند بنا در اثر زلزله فردوس در شهر فردوس (نگارنده)

	<p>بنای اصلی مسجد جامع تون در زلزله اوایل قرن ششم ویران شد. آنچه از مسجد بر جای مانده ایوان قبله و شبستان‌های تابستانی و زمستانی در اضلاع شمالی و جنوبی است. در این مسجد نیروی رانشی توسط ایوانچه‌ها تا حدودی خنثی شده است.</p>	<p>مسجد جامع فردوس (سالم)</p>
	<p>قدمت مسجد کوشک به اوایل اسلام تا تیموری برمی‌گردد. دیوارهای بنا تا حد زیادی تخریب شده ولی ایوان احتمالا به دلیل وجود دیوارخای کناری که مانند پشت بند عمل می‌کنند، ایوان پابرجاست.</p>	<p>مسجد کوشک: (سالم)</p>
	<p>این اثر تاریخی به قدمتی از دوران تیموری است. چهار ایوان دارد که نیروی رانشی آن‌ها توسط ایوانچه‌ها خنثی می‌شود.</p>	<p>مدرسه علمیه علیا (سالم)</p>
	<p>علیرغم گذر زمان و بروز زلزله‌های متعدد هنوز استوار و شکوه خود را حفظ کرده است. ایوان تقریبا هم ارتفاع با دیوارها کناری است.</p>	<p>امامزادگان فردوس: (سالم)</p>

۲-۱-۴- زلزله طبس ۵۷

این زلزله با بزرگای $Mw = 7/4$ در ساعت ۱۹:۰۶ (ساعت ۱۵:۳۵:۵۶ به وقت گرینویچ روز ۱۶ سپتامبر ۱۹۷۸) در هنگام غروب آفتاب با کشته شدن حدود ۴۰ درصد از ساکنان (۱۴۸۰۰ نفر از جمعیت حدود ۳۶۰۰۰ نفری) شهرستان طبس همراه بود. البته در خود شهر طبس در هنگام حادثه حدود ۱۳۰۰۰ نفر ساکن بودند که در زلزله حدود ۹۰۰۰ نفر (۷۰ درصد) کشته شدند. این یکی از بیشترین میزان‌های تلفات در هنگام زلزله - که در نیمه شب هم رخ نداده - در یک شهر است. تلفات بالای انسانی زلزله طبس در شرایطی رخ داد که شهر تاریخی طبس عملا نابود شد و پس از رخداد زلزله، اثری از آن شهر زیبای تاریخی حاشیه کویری مرکزی ایران باقی نماند. در بازسازی طبس، شهر کاملا تغییر چهره داد و امروزه متأسفانه اثری از میراث تاریخی و فرهنگی گذشته طبس جز در عکس‌ها و یادهای مردمان بازمانده از زلزله باقی نمانده است.

بناهای تاریخی شهر طبس به جز آب‌انبارها بر اثر زلزله سال ۱۳۵۷ خراب شدند و اثری از آن‌ها باقی نمانده است. همچنین برخی از بناها در حومه طبس به صورت نیمه ویران درآمدند. برای مشخص کردن چگونگی وضع آن‌ها، بناهای ایوان دار به چهار صورت: سالم - ویران - ویرانی کم - ویرانی زیاد دسته بندی شده است. که این توصیف‌ها تنها در رابطه با زلزله است و بناهایی که به تدریج و به علل دیگر خراب شده اند مورد نظر نیست.

جدول شماره ۵- خرابی ایوان چند بنا در اثر زلزله طبس (نگارنده)

	<p>ویران نبود پشتیبندیا مناره یا دیوار در کنار ایوان. کم عرض بودن عرض جداره ها می تواند دلیلی بر فرو ریختن ایوان باشد</p>	<p>مناره و ایوان قدیمی طبس</p>
	<p>ویران زیاد بودن دهانه ایوان و ارتفاع آن می تواند دلیلی بر خرابی ایوان باشد.</p>	<p>مسجد جامع طبس</p>
	<p>ویران در این بنا نیروی رانشی ایوان توسط ایوانچه ها خنثی شده است، ایوان تقریبا هم سطح با کل بنا است.</p>	<p>مدرسه دو منار:</p>
	<p>سالم وجود گنبد پشت ایوان میتواند موجب خنثی شدن نیروی رانشی شود.</p>	<p>آب انبار طبس</p>
	<p>ویران نیروی رانشی به درستی کنترل شده است، اما دهانه و ارتفاع ایوان تقریبا زیاد است.</p>	<p>مدرسه حسینیه خان</p>
	<p>ویران نیروی رانشی خنثی نشده و ارتفاع ایوان زیاد است.</p>	<p>امامزاده حسین طبس</p>
	<p>سالم ارتفاع ایوان و دهانه کم است.</p>	<p>ایوان ورودی مزار ازمیغان</p>
	<p>سالم ارتفاع ایوان و دهانه کم است. اما نیروی رانشی خنثی نمی شود.</p>	<p>ایوان ورودی حوض محمد قاسم</p>

۲-۱-۵- اصفهک در زلزله طبس با

توجه به تصاویر فوق ایوان این بنا پس از زلزله هم چنان پابرجاست اما با توجه به نبود پشتیبند در طرفین ایوان، احتمالا سالم ماندن ایوان این بنا پس از زلزله به مربوط به هندسه ایوان نمی باشد. ممکن است به مصالح یا جهت زلزله مربوط باشد.



شکل شماره ۲۵ و ۲۶- قبل و بعد از زلزله طَبس سال ۱۳۵۷ (ویدیو زلزله طَبس، سایت آپارات)

۲-۱-۶- زلزله بَم

در بامداد ۵ دی ۱۳۸۲ در ساعت ۵:۲۶:۲۶ به وقت محلی، زمین‌لرزه‌ای قوی و بسیار ویرانگر در شهر تاریخی بَم در استان کرمان با بزرگای گشتاور $M_w=6/5$ به وقوع پیوست. بررسی لرزه‌خیزی تاریخی در بَم نشان می‌دهد که هیچ زمین‌لرزه تاریخی در محدوده این شهر گزارش نشده است، چراکه تا قبل از رخداد زلزله ۵ دی ۱۳۸۲، ارگ بَم با بیش از ۲۰۰۰ سال قدمت تاریخی سالم باقی مانده بود. بنابراین، به نظر می‌رسد که این منطقه با یک نبود لرزه‌ای روبه‌رو بوده است که این نبود لرزه‌ای با رخداد زلزله مخرب ۵ دی ماه در راستای گسل بَم به پایان رسید.

جدول شماره ۶-خرابی ایوان چند بنا در اثر زلزله بَم (نگارنده)

	<p>سالم احتمالاً نیروی رانشی شان توسط یکدیگر خنثی شده علاوه بر آن ابعاد ارتفاع و دهانه کمی هم دارند.</p>	<p>ایوانچه های ارگ بَم (بعد از زلزله)</p>
	<p>تخریب جزز کناری نیروی رانشی ایوان وسط از هر دو طرف کنترل شده ولی نیروی رانشی ایوان کناری و زلزله موجب تخریب جزز ایوان شده است.</p>	<p>ایوان و ایوانچه های ارگ بَم</p>
	<p>سالم احتمالاً دیوار های کناری مانند پشتبند عمل کرده اند.</p>	<p>ایوان ورودی در ارگ بَم</p>

۲-۱-۷- زلزله سیالخور

ساعت چهار و ۴۷ دقیقه بامداد روز جمعه ۱۱ فروردین ۱۳۸۵، زمین لرزه ای به بزرگی $6/2$ ریشتر در بروجرد رخ داد که وقوع این حادثه طبیعی منجر به کشته و مجروح شدن جمعی از مردم این منطقه شد. به گزارش ایرنا، زمین لرزه فروردین ۱۳۸۵ بروجرد، منجر به مرگ ۶۳ نفر و زخمی شدن یک هزار و ۴۲۸ نفر و تخریب بیش از ۴۰ هزار خانه روستایی و شهری در این منطقه شد. مسجد جامع بروجرد نیز بر اثر این زلزله این آسیب دید، از آسیب آن می توان به ترک های به وجود آمده در مناره ها و جداشدگی

نیم گنبد از سردر ایوان اشره کرد. اما در حالت کلی ایوان آن پابرجاست و یکی از دلایل پابرجایی آن وجود مناره در دو سمت ایوان است که هم به صورت پشتیبند عمل می کند و هم موجب بیشتر شدن نیروی ثقلی و قرار گرفتن خط رانش در یک سوم میانی می شود.



شکل شماره ۲۷ و ۲۸ - نمایی از ایوان جنوبی مسجد جامع بروجرد و جدانشدگی نیم گنبد از ایوان (مقاله زلزله سییلاخور)

بناهای تاریخی ایوان دار که ایوان آن ها آسیب دیده است:
طبق مصاحبه با اساتید دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تعدادی از بناهایی که در اثر زلزله یا موارد دیگر تخریب شده اند، نیز در جدول زیر آورده شده است.

جدول شماره ۷- تعدادی از بناهای تاریخی ایوان دار (نگارنده)

	<p>ایوان ایلخانی مسجد جامع ساوه ایوان غربی (ایلخانی) و ایوانچه ها در زلزله ترک برداشته است. طاق و تویزه مربوط به دوره ایلخانی که در دوره بعد به دلیل نداشتن مقاومت کافی در مقابل رانشی به سمت انتهای ایوان تخریب و با نیم گنبد جایگزین شد. در تصویر با خط چین مشخص است. (منبع: آرشیو مونوگرافی دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی)</p>
	<p>ایوان خسرو تخت سلیمان این مکان قسمتی از کاخ خسرو پرویز اول و یا دوم بوده که با گذشت زمان و به دلیل حمله ی دشمنان، و همچنین عوامل طبیعی مثل یخبندان و زلزله های مداوم به طور جدی آسیب دیده است.</p>
	<p>مسجد جامع فریومد با بررسی زلزله های تاریخی بنا و وجود اسناد معتبر مبنی بر زمین لرزه های تاریخی و نیز شواهد فیزیکی موجود در بنا اعم از ترکهای عمیق، انفصال ساختاری اجزا و اعوجاج عناصر باربر عمودی در بخش هایی از بنا می توان تصور نمود که بنا در اندک زمانی پس از ساخت به سبب بروز زمین لرزه ای شدید دچار آسیب های ساختاری و تخریب های متعدد شده است. (فرامرزی پارس - کاوه منصوری)</p>
	<p>ایوان مسجد جامع اردستان اضافه کردن تیرآهن به ایوان احتمالا به دلیل جلوگیری از ایجاد ترک های ناشی از نیروهای رانشی</p>

۴- بحث و نتیجه‌گیری

بسیاری از بناهای تاریخی ایوان دار قدیمی از مصالحی مانند سنگ و آجر ساخته شده‌اند. این مصالح مقاومت خوبی در برابر تنش فشاری دارند ولی در برابر کشش مقاومت کمی دارند. با توجه به مطالعات انجام گرفته میتوان به این نتیجه رسید که وجود ایوان در وجهی از بنا می‌تواند موجب کنترل نیروی جانبی زلزله شود. زیرا ایوان توانسته بسیاری از بار ثقلی را به صورت فشاری ایجاد کند و با قرار گرفتن در میان یک سمت یا حتی چهار سمت ینا به کنترل تنش کششی به وجود آمده کمک کند. یکی از روش‌های کنترل نیروی جانبی توسط اسوان افراشته کردن خیز طاق بوده که با تیز کردن طاق، نیروی رانشی را به حداقل میرسانده‌اند و یا با قطور کردن جرزهای طاق منحنی طنابی ایجاد شده از برآیند نیروی ثقلی و جانبی، نیروی ایجاد شده را بدون خرابی سازه به زمین منتقل می‌کردند. در حالت کلی با نگاه سازه‌ای به عناصر معماری موجود در بنا گاهی میتوان متوجه شد که این عناصر علاوه بر عملکرد معماری و زیبایی در سازه می‌توانند در پایداری سازه ای بنا نیز نقش داشته باشند.

منابع

۱. رضائی‌نیا، عباس و لاله، هایده، ۱۳۹۳، بررسی و تحلیل انتقادی فرضیه‌های خاستگاه ایوان
۲. یعقوب دانشدوست، ۱۳۷۷، طبس شهری که بود بناهای تاریخی طبس، انتشارات میراث فرهنگی کشور
۳. پیرنیا، محمدکریم، ۱۳۸۳، سبک شناسی معماری ایرانی. تدوین غلامحسین معماریان. تهران: معمار.
۴. تاورنیه. ۱۳۳۶، سفرنامه تاورنیه، طرز زندگی و آداب و رسوم درباری و اوضاع اداری و اجتماعی و اقتصادی و صنایع ایران در دوره صفویه. ترجمه ابوتراب نوری (نظم الدوله). با تجدید نظر کلی و تصحیح دکتر حمید شیرانی. اصفهان: به سرمایه کتابفروشی تایی
۵. پاول هرن و هاینریش هوبشمان، ۱۸۹۳، فرهنگ ریشه شناسی فارسی
۶. ذکاء، یحیی. ۱۳۶۸. شهرهای ایران. ج. ۳. تألیف محمدیوسف کیانی. چاپخانه فرهنگ و ارشاد اسلامی با همکاری انتشارات جهاد دانشگاهی.
۷. سلطانزاده، حسین. ۱۳۷۶. تبریز: خشتی استوار در معماری ایران. تهران: دفتر پژوهشهای فرهنگی
۸. ابوالفضل عالی، سیر تحول ایوان در معماری ایران پیش از اسلام و اوایل اسلامی
۹. عاملی، م، ۱۳۷۱. بررسی رفتار سازه های مصالح بنایی. گروه عمران دانشکده فنی دانشکده صنعتی اصفهان
۱۰. اردالن، نادر، بختیار، الله، ۱۳۹۱، حس وحدت، ترجمه شاهرخ، حمید. اصفهان، نشر خاک.
۱۱. شیرین جانی سمیه، صمدی فرد زهرا، شریفیان سیدعلی، ۱۳۹۴؛ بازشناسی مفهوم و عملکرد ایوان در معماری ایرانی با تأکید بر تأثیرگذاری در ساختار معماری
۱۲. زمرشیدی، حسین، ۱۳۷۴، معماری ایران اجزای ساختمان با مصالح بنایی، تهران، نشر زمر
۱۳. احدی چناری، آرمین و محمد جعفری پاسکیابی، ۱۳۹۵، تحلیل هندسی تزیینات مسجد کبود تبریز، سومین کنگره بین المللی