Archive of SID

همایش علمی منطقه ای معماری کویر
دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان
فروردین ۸۵

راهکارهای حفاظت از بناهای تاریخی در برابر زمین لرزه

Seismic Protection Methods For Historical Buildings

امید زریبافیان
Omid Zaribafian

کارشناس ارشد مهندسی زلزله
عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان

MS of Earthquake Engineering
Department of Civil Engineering , Azad Islamic University of ARDESTAN

اسفند ماه 84
February 2006

www.SID.ir

Archive of SID

همایش علمی منطقه ای معماری کویر
دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان
فروردین ۸۵

راهکارهای حفاظت از بناهای تاریخی در برابر زمین لرزه

امید زریبافیان *

چکیده

بنا های تاریخی ایران ساختمان هایی است که عموما از مصالحی نظیر خشت ، گل ، سنگ و چوب ساخته شده است . سه ویژگی عمده آسیب پنیری اینگونه بناها را در برابر حوادث طبیعی نظیر زمین لرزه بالا می برد که عبارتند از : فرسودگی مصالح ، مقاوم نبودن مصالح و سنگین بودن سازه . بر این اساس راهکارهای حفاظت این بنا ها در برابر زمین لرزه باید متضمن رفع این نواقص باشد . در این مقاله سعی شده است راهکارهای مختلف نظیر مقاوم سازی بناها به وسیله جایگزینی مصالح جدید ، ایجاد سازه های نگهبان ، جداسازی لرزه ای پایه در قسمت های مختلف بنا ، سبک سازی بنا ، مورد بررسی قرار گیرد و محدوده کاربرد هر یک از این روش ها برای بناهای مختلف تاریخی در ایران تعیین گردد .

کلمات کلیدی : بناهای تاریخی ، حفاظت لرزه ای ، مقاوم سازی ، جداسازی لرزه ای پایه

* کارشناس ارشد مهندسی زلزله ، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان ، email : zaribafian@gmail.com

1- مقدمه :

ایران کشوری است که در منطقه ای کهن و تمدن خیز از جهان واقع شده است ، از طرفی به دلیل شرایط جغرافیایی دارای مناطق مختلف آب هوایی می باشد . از این رو در نقاط مختلف این سرزمین و در دوره های مختلف تاریخی تمدن های متعدد و به تبع آن اجتماعات انسانی ، شهرها و بناهای متعدد شکل گرفته است که برخی از آنها به طور کامل باقی مانده و از برخی نیز آثار و بقایای اندکی بجا مانده است که هر یک اهمیت ویژه ای در پیشینه تاریخی و فرهنگ و تمدن ما دارد . از این رو حفظ این آثار اهمیت ویژه ای دارد .

از طرفی ایران در منطقه زلزله خیزی از جهان واقع شده است وچون بناهای تاریخی نیز هم به لحاظ ضعف مصالح مصرفی و هم به دلیل فرسودگی و آسیب دیدگه در دوره های مختلف تاریخی و احیانا مشکلات سازه ای و ... در وضعیت نامناسبی از ایمنی لرزه ای قرار دارند ، شناخت راهکارهای مناسبی که در این راستا بکار گرفته شود اهمیت ویژه ای دارد .

در بقیه کشورها که مشخصات مشابه ایران را چه از نظر لرزه خیزی و چه از نظر بناهای تاریخی دارند ، در این زمینه کارهای متعددی انجام داده اند که در مراجع [2] و [3] به آنها اشاره شده است . در ایران برای بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود دستورالعمل مبسوطی تهیه شده است ولی در مرد بناهای تاریخی هنوز مرجع مدونی وجود ندارد که به نوبه خود یکی از نیاز های مهم کشور می باشد .

2 ــ ویژگیهاي سازه اي بناهاي تاريخي

ـــ خواص بناهاي تاريخي را بايد حول سه محور در نظر داشت : الف ــ انواع و خواص مكانيكي مصالح، ب ــ انواع المانها و فرم‌هاي سازه اي و ج ــ ويژگيهاي ديناميكي و رفتار بناهاي تاريخي در برابر زمين لرزه.

2ـ1ـخواص مكانيكي مصالح

خشت، گل، آجر، سنگ، چوب و ملات، مصالح تشكيل دهنده بناهاي تاريخي در ايران است كه البته بسته به مكان و زمان احداث بنا، تركيبات مختلفي از مصالح فوق مورد استفاده بوده است. صرفاً براي مقايسه خواص مكانيكي اين مصالح با مصالحي نظير بتن و فولاد كه در

www.SID.ir

Archive of SID

حال حاضر براي ساخت انواع سازه‌ها بكار مي‌رود، جدول 1 اطلاعات مفيدي در اختيار مي‌گذارد.

جدول 1 ــ خواص مكانيكي مصالح

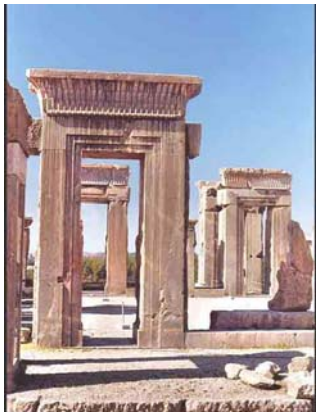
نام مصالح	مدول الاستيسيته (Gpa)	جرم حجمي (kg/m3)	مقاومت فشاري (Mpa)
فولاد نرمه	200	7800	400
بتن معمولی	25	2300	28
سنگ گرانيت	70	2600	240
آجر فشاری	8/5	1700	8
خشت	4/5	2000	1/2
چوب صنوبر	9	600	37

همانطور كه مشاهده مي‌شود مشخصات مكانيكي مصالح سنتي بسيار نازل تر از مصالحي مانند بتن و فولاد است. به عنوان مثال مقاومت فشاري يك بتن معمولي حدود 23 برابر خشت مي‌باشد. به همين دليل اولين نقطه ضعف بناهاي تاريخي در برابر زلزله، پائين بودن مقاومت مصالح تشكيل دهنده آنها است. ثانياً بايد اثر فرسودگي و خسارات وارد بر مصالح و اجزاء سازه اي آنها را نيز در نظر داشت كه در اين صورت ميزان مقاومت مصالح در اينگونه بناها از آنچه در جدول 1 نيز آمده است بسيار كمتر خواهد بود. سومين نقطه ضعف مصالح در بناهاي تاريخي آن است كه تقريباً همة مصالح سنتي داراي گسيختگي ترد بر اثر اعمال بار می باشند و اين نكته باعث آسيب پذيري بيشتر اين مصالح در برابر زلزله خواهد بود.

2-2ـ انواع المانها و فرمهاي سازه اي

ايران، به دليل پيشينه تاريخي كهن و گستردگي سرزمين، در جاي جاي خود طي قرون و اعصار، بناهاي باشكوه متعدد و متنوعي به لحاظ فرم معماري و سيستم سازه اي به خود ديده است. از آن جمله مي‌توان به موارد زير اشاره كرد:

الف ــ بناهاي سنگي: نظير مجموعه كاخهاي تخت جمشيد كه سيستم سازه اي تير و ستون سنگي در آن به وضوح قابل مشاهده است (شكل 1). يا پلهاي سنگي با دهانه‌هاي قوسي كه بر روي رودخانه‌هاي متعددي قابل مشاهده است ويژگي مهم بناهاي سنگي كه يكي از نقاط ضعف مهم آنها در برابر زلزله نيز مي‌باشد، سنگين بودن سازه مي‌باشد كه به همين دليل در زلزله ها متناسب با وزن آنها نيروي جانبي بيشتري نيز بر آنها وارد مي‌شود.



شكل (1) – تير و ستون های سنگی تخت جمشيد

ب ــ بناهاي خشتي : در كاوشهاي باستان شناسي كه در تپه‌هاي سيلك كاشان انجام شده است كاربرد خشت خام، از هزاره سوم قبل از ميلاد در بناهاي مسكوني آن مشاهده شده است ساخت بناهاي خشتي در هر دوره مورد توجه بوده است، زيرا به راحتي از خاك محل، خشت تهيه كرده و در بناها به مصرف مي‌رسانده اند. به طور كلي بناهاي خشتي قسمت قابل توجهي از بناهاي ايران را چه در روستاها و چه در شهرك‌ها و يا شهرهاي بزرگ تشكيل

www.SID.ir

Archive of SID

مي‌داده است، چه بصورت بناهاي عظيم منفرد مانند كاروانسراها، مساجد و كاخها، چه به صورت مجموعه‌هايي نظير بازارها و بناهاي مسكوني[1].

از ميان مجموعه‌هاي به جا مانده از بناهاي خشتي مي‌توان به ارگ بم اشاره كرد. كه متأسفانه اين مجموعه در زلزله دي ماه 1382 در بم، دچار آسيبهاي بسيار شديدي شد. اين بناي عظيم داراي حصارهاي متعدد و دژهاي مستحكم بود. بناهاي مسكوني آن يك و دو طبقه و اين مجموعه شامل واحدهاي مسكوني عام نشين، حاكم نشين و سربازخانه‌ها بوده است(شكل2).

شكل (2) – ارگ بم

سيستم سازه اي غالب در بناهاي خشتي، عبارت است از ديوار باربر و انواع سقفهاي قوسي و گنبدي كه در بعضي از موارد نيز از سقفهاي تخت تير پوش با تير چوبي استفاده شده است. نقطه ضعف اساسي بناهاي خشتي در برابر زلزله، مقاومت بسيار پائين خشت و همچنين عدم انسجام بين المانهاي سازه اي است.

ج ــ بناهاي آجري : پيدايش ساختمانهاي آجري در ايران را مي‌توان از 1250 سال قبل از ميلاد در بناي چغازنبيل دانست. علاوه بر اسكلت سازي اين بناي آجري در سردابهاي اين معبد، آجر در ديوار سازي و طاقهاي سهمي به دهانه 4 متر و ارتفاع 3/8 متر كاربرد داشته كه تا به امروز به يادگار مانده است. نمونه ديگر طاق كسري يا همان كاخ تيسفون است كه تلفيقي از آجر، خشت و سنگ مي‌باشد. در پلها و سدهائي كه از دوران ساسانيان به جا مانده است از آجر بسيار استفاده شده و قوسهاي مدور باربر با آجرهاي مقاوم پوشش شده است. در بناهاي دوران اسلامي نظير مسجد جامع اصفهان، طاق پوشهاي مقاوم آجري همراه با اسكلت سازي بنا و ستونهاي باربر و پي سازي آجري بوجود آمده است. شاهكارهاي دوران صفوي در اصفهان نظير ميدان نقش جهان نيز از جمله ساختمانهاي آجري است ساختمانهاي آجري علي رغم آنكه مقاومت بيشتري نسبت به ساختمانهاي خشتي و حتي سنگي در برابر زلزله دارند، ولي كماكان داراي همان نقطه ضعفها مي‌باشند. فقط نكته مثبتي كه در برخي از بناهاي تاريخي آجري متأخر (مانند برخي از بناهاي دوره صفوي) بيشتر ديده مي‌شود استفاده از كلاف بنديها و المانهاي كششي در اينگونه بناها است كه انسجام آنها را در برابر بارهاي ديناميكي افزايش مي‌دهد.

شكل (3) – عمارت عالی قاپو در ميدان نقش جهان

www.SID.ir

Archive of SID

3.2ـ ویژگیهاي دینامیکي و رفتار بناهاي تاریخي در برابر زمین لرزه

بنابر مشاهدات زلزله‌هاي گذشته علل فرو ریختگي بناهاي تاریخي خصوصاً بناهاي خشتي و آجري در برابر زلزله را در سه عامل مي‌توان جستجو کرد. الف ــ خشت و آجر مصالح شکننده اي هستند، مقاومت کششي و شکل پذیري آنها بسیار پائین است. ب ــ اتصال بین قطعات آجر یا خشت بسیار ضعیف است به طوري که پس از چند سیکل ارتعاش در یك زلزله قوي، همبستگي بین اجزاء چه به صورت موضعي و چه به صورت کلي در المانهاي سازه اي از بین مي‌رود. ج ــ جرم زیاد اینگونه بناها باعث مي‌شود نیروهاي اینرسي بزرگي در اثر زلزله بر سازه وارد شود [2].

مودهاي گسیختگي در اینگونه بناها عموماً عبارتند از : جدائي دیوارها، خمش خارج از صفحه، ترك در گوشه بازشوها، ترك در گنبدها خصوصاً در ناحیه تکیه گاهي

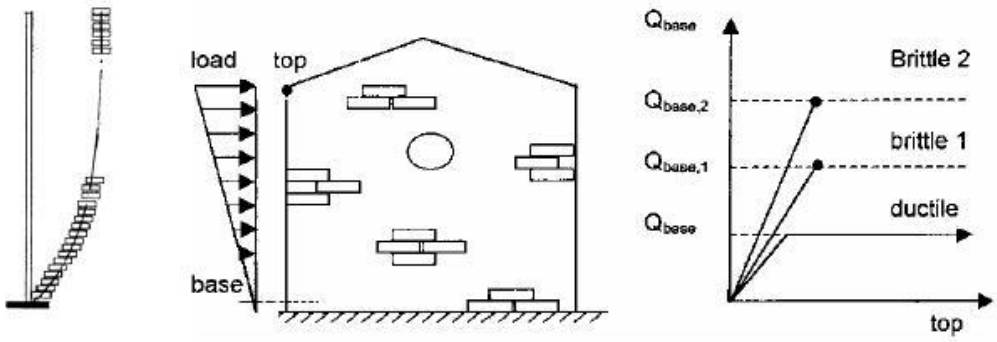
خصوصیات دینامیکي بناهاي تاریخي از دیدگاه طراحي لرزه اي بسیار نامطلوب است که به اختصار به موارد مهم آن اشاره مي‌شود:

1 ــ پریود اصلي ارتعاشي بناهاي تاریخي (خصوصاً بناهاي یك یا دو طبقه) در محدوده 0/1 تا 0/3 ثانیه قرار دارد به این معني که سختي اولیه اینگونه سازه‌ها نسبتاً زیاد است و به همین دلیل اینگونه سازه‌ها به امواج لرزه اي پالس شکل که غالباً در زمین لرزه‌هاي میدان نزدیك اتفاق مي‌افتند بسیار حساسند [2].

2 ــ اینگونه بناها به دلیل داشتن دیوارهاي باربر با ضخامت زیاد (حداقل 60 سانتیمتر) داراي جرم زیادي هستند به همین دلیل طبق قانون دوم نیوتن، نیروي اینرسي بیشتري ناشي از شتاب ایجاد شده در اثر زلزله، بر آنها وارد مي‌شود در نتیجه بر اینگونه سازه‌ها نیروي جانبي بیشتري نسبت به سازه‌هاي متعارف با ابعاد هندسي مشابه وارد مي‌شود.

3 ــ مصالحي که در ساخت بناهاي تاریخي بکار رفته است به دلیل غیر همگن بودن و پائین بودن مقاومت کششي در آنها شکل پذیر نیستند و تاب تحمل تغییر شکل‌هاي غیر الاستیك را ندارند به همین دلیل رفتار اینگونه بناها در برابر بارهاي دینامیکي غیر شکل پذیر است و مودهاي گسیختگي آنها، شکستهاي ترد را نشان مي‌دهد. اتلاف انرژي دینامیکي در اینگونه بناها چندان معنائي ندارد و منحني‌هاي هیسترزیس اینگونه بناها در برابر بارهاي رفت و برگشتي کاملاً لاغر و با دامنه محدود مي‌باشد.

شکل (4) رفتار بار ــ تغییر شکل براي یك سازه شکل پذیر و یك سازه ترد را با هم مقایسه کرده است. همانطور که در شکل (4) دیده مي‌شود رفتار بناهاي تاریخي در برابر بارهاي جانبي عموماً یك رفتار برشي مي‌باشد. یکي از راهکارهاي حفاظتي ، افزایش سختي و مقاومت بناهاي غیر شکل پذیر است (شکل 4 ــ ب)



(الف) (ب)

شکل (4) – الف : مدل رفتار برشي بناهاي تاریخي در برابر بار جانبي ; ب : منحني برش پایه – تغییر مکان بام تحت اثر بار جانبي استاتیکي فزاینده .

www.SID.ir

Archive of SID

4 ــ در برخي از بناهاي تاريخي به دليل نامنظمي در توزيع جرم و سختي در سيستم سازه اي بنا، مركز سختي و مركز جرم اين بناها فاصله قابل توجهي دارند كه باعث ميشود، مودهاي پيچشي در رفتار ديناميكي آنها غالب گردد. اين مسئله ميتواند بسيار ويرانگر باشد. نمونه چنين مسئله اي را ميتوان در بناهايي كه داراي قطعات يا فضاهاي الحاقي به بدنه اصلي بنا است مشاهده كرد مثلاً در كاخ چهلستون اصفهان يا عمارت عالي قاپو كه داراي ايوانهاي وسيع با ستونهاي چوبي هستند، اين مسئله كاملاً مشهود است.

3ـ گامهاي اصلي در تهيه طرح بهسازي لرزه اي يك بناي تاريخي

تهيه يك طرح بهسازي لرزه اي براي يك بناي تاريخي مستلزم فعاليتهاي گوناگوني است كه به طور كلي ميتوان در سه حوضه متفاوت تقسيم بندي كرد : 1 ــ تعيين مشخصات بنا و وضعيت موجود آن، 2 ــ تجزيه و تحليل اطلاعات، 3 ــ ارائه راهكارها و روشهاي بهسازي لرزه اي، كه در ادامه به شرح مختصري از هر يك ميپردازيم. فقط ذكر اين نكته ضروري است كه انتخاب هر يك از روشها و نحوة اجراي آنها بسته به اهميت و ويژگيهاي بناهاي مختلف، ميتواند متغير باشد.

3 ــ 1 ــ تعيين مشخصات بنا و وضعيت موجود آن

اولين گام در تهيه يك طرح بهسازي لرزه اي شناخت دقيق از ويژگيهاي بنا و مشخصات محيطي آن است كه از اهميت ويژه اي برخوردار است زيرا مراحل بعدي بر نتايج اين مرحله استوار است. در اين مرحله به موارد زير ميتوان اشاره كرد :

1 ــ ارزيابي محيطي و شرايط ساختگاهي بنا : در اين قسمت ويژگيهاي محيطي كه بنا در آن واقع شده و اثر مستقيم بر بهسازي لرزه اي آن دارد مورد بررسي قرار ميگيرد، از جمله: مطالعات ژئوتكنيك، تحليل خطر لرزه اي و ريز پهنه بندي لرزه اي .

2 ــ برداشت دقيق از موقعيت و وضعيت ظاهري بنا : تعيين ابعاد و اندازه ها و هندسه المانهاي مختلف نكته مهمي است كه در مراحل بعدي، خصوصاً تهيه مدل رياضي از سازه مورد نظر از اهميت ويژه اي برخوردار است. چنانچه در ديوارها يا ساير المانها ترك و يا هر گونه تغيير ديگري رخ داده است بايد الگوي تركها و ... بطور دقيق برداشت و ذكر شود.

3 ــ تعيين مشخصات مكانيكي مصالح و بافت اجزاء : پارامترهائي نظير مقاومت فشاري، مقاومت كششي، چگالي، مدول الاستيسيته، ضريب پواسون و ... از جمله مشخصاتي است كه بايد براي مصالح تشكيل دهنده اجزاء مختلف بنا تعيين گردد از طرفي مشخصات المانهاي بنا نظير شكل مقطع ديوارها، جزئيات فونداسيون و ... و اجزاء تشكيل دهنده آنها و شيوه پيوند اجزا بايد كاملاً مشخص باشد. اين اطلاعات خصوصاً در مدل سازي بنا بسيار اهميت دارند. براي تعيين پارامترهاي فوق از انواع آزمايشهاي مخرب و غير مخرب، چه در محل بنا و چه در آزمايشگاه ميتوان بهره جست.

4 ــ تعيين مشخصات ديناميكي سازه : پريودهاي ارتعاشي و مودهاي ارتعاشي سازه از جمله پارامترهايي است كه هم براي تهيه مدل رياضي سازه و هم براي پيش بيني رفتار سازه در برابر بارهاي ديناميكي و هم براي ارزيابي وضعيت موجود بنا، بكار ميآيد براي تعيين اين مشخصات ميتوان از آزمايشهاي ارتعاش آزاد يا ارتعاش اجباري در محل سازه يا ثبت فركانسهاي ارتعاشي در محل بنا در اثر عوامل محيطي مثل وزش باد و ...، بهره جست.

3 ــ 2ـ تجزيه و تحليل اطلاعات

در اين قسمت بر اساس اطلاعات بدست آمده از وضعيت موجود بنا و شرايط محيطي آن، ميزان آسيب پذيري لرزه اي بنا و نقاط ضعف سازه مورد بررسي قرار ميگيرد. كه مهمترين ابزار براي اينكار تهيه مدل سازه مورد نظر ميباشد اين مدل ميتواند به صورت مدلهاي فيزيكي با مقياسهاي كوچكتر از سازه در آزمايشگاه تهيه شود و يا از مدلهاي تحليلي به كمك نرم افزارهاي رايانه اي ساخته شود. مدل فيزيكي بسته به بودجه اي كه براي پروژه مورد نظر در نظر گرفته ميشود ممكن است ساخته شود و يا از آن صرفنظر گردد ولي تهيه

www.SID.ir

Archive of SID

مدل تحليلي از ضروريترين قسمتهاي پروژه مي‌باشد. خصوصاً تهيه مدل ساختمانهاي با مصالح بنائي پيچيدگي‌هاي خاص خود را دارد [3].

مؤثرترين روش براي مدل سازي و تحليل ديناميكي و لرزه اي بناهاي تاريخي، روش اجزاء محدود (FEM) مي‌باشد. در اين روش علاوه بر آنكه تمام المانهاي سازه اي اينگونه بناها نظير ديوارها، ستونها، تيرها، گنبدها، قوسها و... را مي‌توان با دقت بالائي مدل سازي كرد، انواع ترك‌ها در مصالح را مي‌توان به روشهاي مختلف مدل سازي نمود : يك روش استفاده از گره‌هاي غير متصل در دو وجه ترك براي المانهاي متناظر، روش ديگر استفاده از المانهاي ارتوتروپ كه خواص مكانيكي آنها به موازات ترك و عمود بر آن با هم متفاوت است، يا استفاده از المانهاي (GAP) كه در برخي از نرم افزارها نظير ANSYS قابل استفاده است [2].

در مورد تحليل ديناميكي اينگونه بناها در برابر بارهاي لرزه اي بايد به اين نكته توجه داشت كه روشهاي آناليز مودال فقط در صورتي معتبر است كه رفتار مصالح در محدوده الاستيك خطي باشد ولي از آنجا كه هميشه مي‌خواهيم در مورد اينگونه بناها وضعيت بنا را در حالت شكست نهائي المانها و نيروهاي بحراني بررسي كنيم، استفاده از روش تحليل تاريخچه زماني غير خطي براي اينگونه بناهاي با ارزش قابل توجيه و توصيه مي‌باشد.

3 ـ 3ـ راهكارهاي اجرائي

اصول و راهكارهاي بهسازي لرزه اي بناهاي تاريخي چندان تفاوتي با ساير ساختمانها ندارد، فقط ارزش فرهنگي و تاريخي اينگونه بناها از يك طرف، فرسودگي و آسيب ديدگي بسياري از عناصر سازه اي از طرف ديگر و مهمتر از همه حفظ كليت بنا و نماهاي بيروني و دروني بدون دست خوردگي بيش از حد، عوامل محدود كننده اي است كه لازم مي‌دارد روشهاي بهسازي تا حد امكان ايمن، غير مخرب، مؤثر و غير آشكار باشند. به همين دليل استفاده از انواع فن آوري‌هاي نوين هر چند با هزينه‌هاي بالا براي اينگونه ساختمانها قابل توجيه است.

مهمترين راهكارها براى بهسازى لرزه اى بناهاى تاريخى عبارتند از : افزايش ظرفيت باربرى اجزاء سازه اى ،ايجاد پيكر بندي منسجم و متناسب، كاهش بارهاي قائم وارد بر سازه، بكار گيري سيستم جدا ساز لرزه اي، بكار گيري سيستم‌هاي جاذب انرژي، استفاده از سيستم كنترل فعال.

راهكارهائي كه در بالا اشاره شد، هر يك مي‌تواند شامل روشهاي متنوع و متفاوتي باشد كه بسته به شرايط و مقتضيات هر بنا انتخاب مي‌شود. در بخش بعدي جزئيات هر يك تشريح خواهد شد.

4 ـ راهكارها و روشهاي بهسازي لرزه اي بناهاي تاريخي

4 ـ 1ـ افزايش ظرفيت باربري و تغيير شكل اجزاء سازه اي

همانطور كه در بخش دوم بيان شد مصالح و اجزائي كه در ساخت بناهاي تاريخي بكار رفته عموماً داراي ظرفيت باربري (فشاري، كششي، برشي و خمشي) پائيني هستند از طرفي اين مصالح معمولاً مصالحي ترد و شكننده هستند و ظرفيت تغيير شكل بالائي ندارند به همين دليل نمي‌توانند در استهلاك انرژي ديناميكي چندان مؤثر باشند. از اين رو يكي از راهكارهاي مقاوم سازي اينگونه بناها افزايش ظرفيت باربري و ظرفيت تغيير شكل اجزاء سازه اي تشكيل دهنده آنهاست كه در اينجا به برخي از اين روشها اشاره مي‌شود :

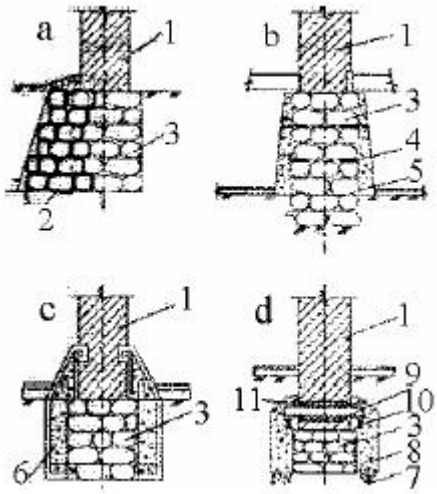
1 ـ افزايش ابعاد مقطع

يكي از المانهايي كه به خوبي مي‌توان از اين روش براي مقاوم سازي آن استفاده كرد، پي ساختمان است. در شكل (5) روشهاي مختلفي نشان داده شده است. اين روشها به منظور كاهش ميزان تنش در سطح تماس پي با خاك زير آن است. در حالت (a) سطح پي بوسيلة مصالح سنگي جديد افزايش يافته است. براي اتصال بهتر مصالح جديد و مصالح قديمي مي توان از ميلگردهاي فولادي AIII به قطرهاي 12 تا 16 ميليمتر در فواصل 50 تا 60 سانتيمتر استفاده كرد. در حالت (b) از پوشش بتني در جداره هاي پي سنگي استفاده شده كه در

www.SID.ir

Archive of SID

اینجا نیز برای اتصال بهتر بتن و مصالح سنگی میتوان میلگردهایی را به صورت افقی از میان درزهای سنگی در مقطع پی عبور داد و انتهای آنها را در پوشش بتنی مهار کرد. در حالت (c) مشابه حالت (b) از پوشش بتنی استفاده شده است با این تفاوت که در اینجا از بتن مسلح با میلگردهای افقی و عمودی استفاده شده است. در حالت (d) برای افزایش ظرفیت باربری بیشتر از پوشش بتنی به همراه تیرهای فولادی به فواصل 1/5 تا 2 متر استفاده شده است. در این حالت تیرهای فولادی عمود بر امتداد طولی پی در سوراخهائی به ابعاد حدود 50cm در محل اتصال دیوار و پی، کار گذاشته میشوند و با بتن ریزی اطراف آنها در محل خود محکم میشوند پس از آن تیرهای فولادی طولی که نقش تکیه گاه برای تیرهای عرضی را دارند و در قسمت زیرین تیرهای عرضی واقع شده و با بتن محصور کننده اطراف پی ، یکپارچه میشوند [2].



1. مصالح بنایی
2. مصالح بنایی جدید
3. مصالح بنایی قدیمی
4. میل مهار
5. پوشش بتنی
6. پوشش بتنی مسلح
7. ماسه
8. بتن الحاقی
9. تیر حمال
10. تیر طولی
11. بتن رویی

شکل (5) – روش های مقاوم سازی پی

2 ــ مسلح کردن اجزاء

یکي از نقاط ضعف بسیار مهم مصالح بنائي مقاومت ناچیز آنها در برابر تنشهاي کششي است به همین دلیل است که این مصالح رفتاري ترد و شکننده دارند و پتانسیل ایجاد ترك در آنها بسیار بالا است. از این رو یکي از روشهاي مقاوم سازي بناهاي تاریخي و به طور کلي ساختمانهاي با مصالح بنائي بکارگیري مصالح کمکي است که بتوانند این نقطه ضعف مصالح بنائي را جبران نمایند و در جائي که تنشهاي کششي احتمال وقوع مییابند، بتوانند این تنشها را تحمل نمایند. بسته به شرایط مصالحي که میتوانند تنشهاي کششي را تحمل کنند عبارتند از چوب، فولاد و برخي از انواع پلیمرها خصوصاً پلیمرهاي مسلح به الیاف. استفاده از چوب در بناهاي تاریخي به عنوان عناصر کششي در بنا از همان ابتدا مرسوم بوده است و نقص عمده آن پائین بودن عمر مفید چوب و آسیب پذیري در برابر پوسیدگي، موریانه، آتش سوزي و ... است.

پس از پیدایش فولاد تا کنون از این مصالح در شکلهاي مختلف آن نظیر پروفیلها، کابلها و تاندونها و مهمتر از همه مشهاي فولادي براي مقاوم سازي بناهاي تاریخي استفاده شده است. هنوز هم استفاده از مشهاي فولادي براي دور گیري (Confinement) مصالح بنائي بیشترین استفاده را دارد. فقط دو نقص مهم در استفاده از فولاد وجود دارد یکي خطر خوردگي و زنگ زدگي و دیگري چگالي بالاي فولاد است که در صورت استفاده زیاد در بنا باعث افزایش جرم سازه میشود که خود منجر به افزایش بارهاي لرزه اي وارد بر سازه میشود .

مصالح جدیدي که تحولي بنیادین در مقاوم سازي ساختمانها بوجود آورده است، پلیمرهاي مسلح به الیاف (FRP) است . FRP ها متشکل از الیاف با مقاومت بالا هستند که در یك ماتریس رزینی قرار میگیرند. این الیاف میتوانند از جنس کربن (CFRP) ، شیشه

www.SID.ir

Archive of SID

(GFRP) یا آرامید (AFRP) باشند. مقاومت کششي این الیاف در راستاي طولي، چندین برابر فولاد است [4].

FRPها علاوه بر آنکه داراي مقاومتهاي کششي بالائي هستند، دو مزیت دیگر نیز دارند که عبارت است از سبکي و دوام بالا در شرایط محیطي مختلف که باعث میشود در مقاوم سازي ساختمانهاي موجود از جمله بناهاي تاریخي قابلیت استفاده گسترده اي داشته باشند. FRPها را میتوان در شکلهاي مختلف از جمله صفحه اي، نواري، میلگرد، کابل یا تاندون و مش (شبکه) تولید کرد [4].

یکي از روشهاي بسیار مؤثر و ساده استفاده از شبکه (مش) هاي FRP است که در سطوح خارجي المانهاي سازه اي از جمله دیوارها و ... بکار میرود. همانطور که در شکل (6) دیده میشود سهولت و انعطاف پذیري کاربرد این شبکه‌ها باعث میشود بتوان از آنها در سطوح مختلف اجزاء و بازشوها بهره جست. اثر دور گیري (Confinement) که کاربرد این شبکه‌ها در اجزاء مختلف و نواحي اتصال اجزاء مثل اتصال دیوارها و ... دارد باعث میشود ظرفیت باربري و ظرفیت تغییر شکل بناهاي با مصالح بنائي به نحو چشمگیري افزایش یابد [3].

شکل (6) – تسلیح یک ساختمان آجری با سبکه های پلیمری

3 ــ پیش تنیدگي

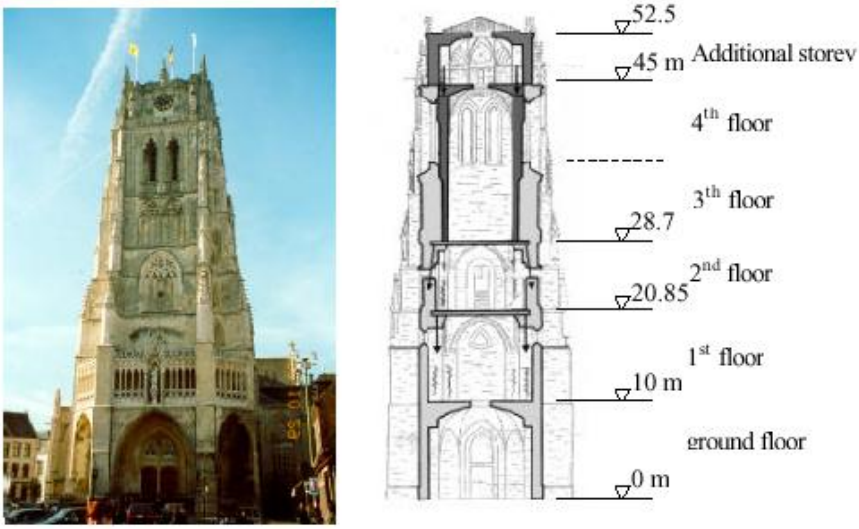
روش پیش تنیدگي به روش پس کشیده از جمله روشهائي است که میتوان براي ترمیم و مقاوم سازي سازه‌هاي آسیب دیده خصوصاً در نواحي که تنشهاي کششي باعث ایجاد ترك در مصالح واجزاء ساختمان شده اند، بهره جست. در این روش با قرار دادن تاندونهائي در نواحي مورد نظر (چه در داخل المانها و چه به صورت خارجي) و مهار کردن دو سر آنها با اعمال کشش در دو سر تاندونها باعث ایجاد تنشهاي فشاري در المانهاي سازه اي میشود که به این طریق میتوان میزان بازشدگي بسیاري از ترکها را کنترل کرد و یا تنشهاي کششي را در قسمتهاي مورد نظر حذف نمود که به این طریق ظرفیت باربري اجزاء سازه اي افزایش مییابد [5].

4 ــ تزریق

یکي از روشهاي ترمیم و مقاوم سازي اجزاء مصالح بنائي ترك خورده و یا پر کردن شکافها و حفره‌ها بین اجزاء مختلف استفاده از تزریق ملات (نظیر سیمانهاي منبسط شونده grout) و یا رزینهاي مختلف است. در این حالت ماده تزریقي، حفره‌ها و خلل و فرج بین مصالح بنائي را پر میکند و باعث توزیع یکنواخت تر تنشها بین اجزاء مختلف میگردد که خود باعث افزایش ظرفیت باربري خواهد شد. البته استفاده از این روش در ترکیب با تکنیکهاي دیگر نظیر مسلح نمودن مصالح میتواند نتایج مؤثرتري داشته باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (7) – برج کلیسای سنت ماری در تانگرین

همانطور که در شکل (7) دیده میشود براي ترميم برج کليساي سنت ماري در تانگيرين از دو مرحله تزريق در طبقات اول و دوم در ديوارها استفاده شده است. در مرحلة اول با استفاده از گروت با پايه سيماني حفره‌ها پر شده و در مرحله دوم با تزريق رزين اپوکسي چسبندگي داخلي ملات و همچنين چسبندگي آن به مصالح قديمي تقويت شده است [6].

4 ـ 2 ـ ايجاد پيکر بندي منسجم و متناسب

رفتار مطلوب يك سازه در برابر بارهاي لرزه‌اي و ديناميکي تابع ويژگيهايي متعددي است از جمله منظم بودن سازه در پلان و ارتفاع، تناسبات هندسي اجزاء سازه‌اي و انسجام بين اجزاء مختلف سازه. در بسياري از بناهاي تاريخي با توجه به علوم مهندسي امروز نظير ديناميك سازه‌ها، بسياري از موارد فوق نقض شده است. به منظور رفع اين نواقص ميتوان از روشهاي زير بهره جست.

1ـ رفع يا کاهش نامنظمي در بنا

موارد نامنظمي در بناهاي مختلف ميتوانند به گونه‌هاي متفاوت ظاهر شود. به عنوان نمونه عدم تطابق فاحش مرکز جرم و مرکز سختي ميتوانند باعث بوجود آمدن مودهاي پيچشي در رفتار ديناميکي سازه گردد که در مورد بناهاي تاريخي ميتواند بسيار ويرانگر باشد. در اين مورد همانگونه که قبلاً نيز بيان شد در بناهائي نظير عمارت عالي قاپو که داراي ايوانهاي وسيع ميباشند اين مسئله به وضوح ديده ميشود در اين حالت ميتوان با تغيير سختي و نحوة توزيع آن در سازه به کمك اضافه کردن مهار بندهاي پنهان اين مسئله را تا حدودي برطرف کرد.

به عنوان نمونه ديگر بناهائي که از الحاق قسمتهاي مختلف با پريودهاي ارتعاشي کاملاً متفاوت ساخته شده اند نمونه ديگري از نامنظمي ميباشند به عنوان مثال مساجدي که از الحاق مناره‌هاي خيلي بلند به بدنه نسبتاً کوتاه صحن مسجد بوجود آمده اند داراي رفتار کاملاً نامناسب لرزه‌اي ميباشند به اين منظور يکي از راههاي مقابله با اين وضعيت ايجاد درز انقطاع بين دو قسمت متفاوت سازه است که البته با مطالعات فراوان و ايجاد تمهيدات ايمني قابل انجام است.

2 ـ اصلاح تناسبات هندسي اجزاء

در برخي از بناها ابعاد نامتناسب بازشوها مثل طول يا ارتفاع زياد و يا ابعاد نامتناسب ديوارها ميتوانند باعث ايجاد رفتار لرزه‌اي نامطلوب شود که ميتوان به کمك يکي از روشهاي بخش (4ـ1) آنها را اصلاح نمود.

www.SID.ir

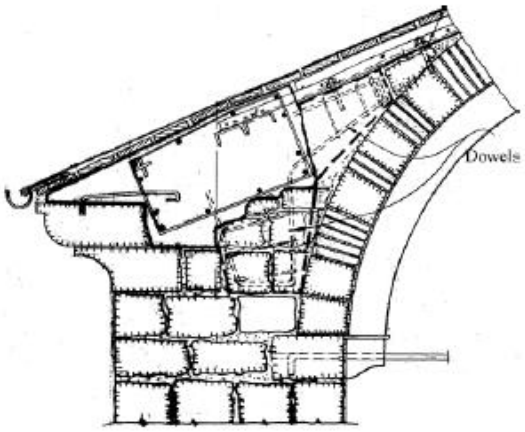
Archive of SID

4 ـ 3 ـ ایجاد سازه‌هاي نگهبان

در بسياري از موارد چنانچه خود المانها توانائي تحمل يا انتقال بارهاي وارده را نداشته باشند مي‌توان با ايجاد المانهاي جديد يا سيستم‌هاي سازه اي كمكي، بناي تاريخي را به لحاظ باربري و ظرفيت تحمل تغيير شكل ارتقاء داد.

يكي از مرسوم‌ترين اين روشها كلاف بندي اجزاء مختلف بنا به كمك المانهاي كششي است. از كلاف بندي مي‌توان در تراز پي براي بهم بستن پي‌هاي سازه و هم در تراز سقف و نواحي اتصال ديوارها و يا ساير اجزاء استفاده كرد.

به عنوان نمونه ديگر همانطور كه در شكل (8) ديده مي‌شود قوس بتن مسلحي كه در روي قوس موجود ساخته شده و قوس قديمي به آن متصل شده، نقش سازه محافظ براي قوس موجود را دارد زيرا علاوه برآنكه بارهاي قائم و حتي افقي وارد بر قوس را تحمل مي‌كند بلكه وزن مرده خود قوس را نيز تحمل مي‌نمايد [2].



شكل (8) – قوس بتنی مسلح بر روی قوس قديمی

4 ـ 4 ـ كاهش بارهاي قائم وارد بر سازه

افزايش بارهاي قائم علاوه بر اينكه ممكن است به بسياري از المانهاي سازه اي در بناهاي تاريخي آسيب وارد نمايد باعث افزايش جرم سازه شده و در نتيجه نيروهاي اينرسي ناشي از زمين لرزه را افزايش مي‌دهد. از اين رو سبك سازي و كاهش جرم ساختمان يكي از راهكارهاي مؤثري است كه مي‌توان ايمني بنا را در برابر بارهاي لرزه اي افزايش داد. اينكار مي‌تواند به شيوه‌هاي مختلف صورت گيرد. يك روش كاهش جرم ساختمان بوسيله كاهش جرم اجزاء آن خصوصاً سقف است، در بسياري از بناهاي تاريخ سقف بنا بدون جهت داراي وزن زيادي است مثلاً با انباشته شدن لايه‌هاي مختلف كاهگل در دوره‌هاي مختلف، وزن سقف بي‌جهت سنگين شده است كه با برداشت لايه‌هاي اضافي و ايزولاسيون مناسب سقف مي‌توان وزن سقف را به ميزان قابل توجهي كاهش داد [1].

روش دوم كه بيشتر يك روش مديريتي است، كاهش سربارهاي وارد بر طبقات مختلف بنا است. به عنوان نمونه اشياء يا قطعات سنگيني كه در طبقات فوقاني يك بنا وجود دارد و الزام خاصي در وجود آنها در طبقات فوقاتي بنا وجود ندارد مي‌توان به طبقه همكف و يا مكان مناسبي انتقال داد. يا نمونه ديگر كنترل سربار بوسيله كاهش بازديدكنندگان و يا عدم ورود آنها به طبقات فوقاني بنا است. در همين مورد مي‌توان به پل‌هاي تاريخي شهر اصفهان اشاره كرد. تا حدود سي سال پيش عبور اتومبيل‌هاي سواري از روي سي و سه پل اصفهان كاملاً مرسوم بود ولي با جلوگيري از عبور وسايل نقليه سنگين كمك بسيار بزرگي براي كاهش صدمات وارد بر بنا به عمل آمد.

به عنوان روشي ديگر در اين زمينه مي‌توان به حذف باربرف بر روي بام بناهاي تاريخي اشاره كرد. يكي از روشها آنست كه با تعبيه تأسيسات حرارتي روي بام ساختمان از انباشت برف بر روي بام جلوگيري كرد.

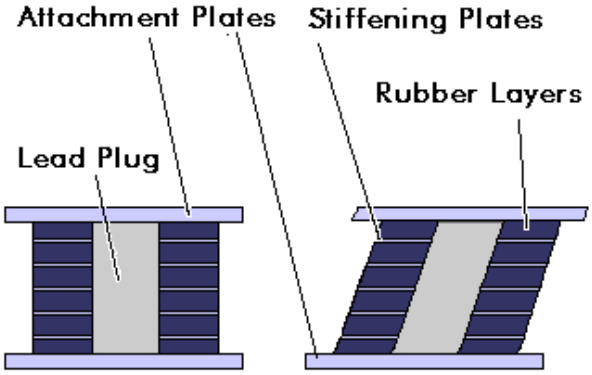
www.SID.ir

Archive of SID

4 ــ 5 ــ جدا سازي لرزه اي

مفهوم جدا سازي لرزه اي در دو دهة گذشته پيشرفت گسترده اي داشته و امروزه تبديل به روش تكامل يافته اي براي حفاظت لرزه اي ساختمانهاي مختلف از جمله بناهاي تاريخي شده است. ايده اصلي اين روش بر اساس كاهش انتقال انرژي ديناميكي ناشي از زمين لرزه به ساختمان مورد نظر استوار است به اين ترتيب كه با افزايش قابل ملاحظه پريود ارتعاشي غالب سازه، اختلاف آن را با پريود ارتعاشي غالب زمين لرزه افزايش مي‌دهد در اين صورت انرژي انتقال يافته به سازه به نحو چشمگيري كاهش مي‌يابد. اين كار بوسيله جدا ساز (Isolator) هائي كه داراي سختي افقي خيلي كم و ميرائي مناسبي هستند، صورت مي‌گيرد. اين جدا سازها معمولاً از جنس الاستومرهائي هستند كه با صفحات فولادي براي افزايش باربري قائم تقويت شده اند. چنانچه از اين جداسازها در تراز پايه ساختمان استفاده شود به آنها جداساز پايه مي‌گويند. البته از جدا سازها مي‌توان در تراز سقف براي جداسازي سقف و يا يك جزء منفرد استفاده كرد [7].

از اين روش در بسياري از سازه‌ها، پل‌ها، نيروگاههاي هسته اي استفاده شده است ولي استفاده از آن براي بناهاي تاريخي پيچيده‌تر است. زيرا اولاً خصوصيات ديناميكي بناهاي مختلف معمولاً متفاوت و تا حدودي ناشناخته است از اين رو در مورد هر بناي تاريخي بايد سيستم مناسب انتخاب و بكار گرفته شود، ثانياً براي كاربرد جداسازي پايه معمولاً نياز به يك پي گسترده زير كل بنا مي‌باشد كه ساخت آن براي بناي موجود خود يك پروژه بسيار پيچيده و حساس است. يك نمونه از كاربرد اين روش براي يك ساختمان قديمي، سالن اجتماعات شهر سانفراسيسكو در كاليفرنياي ايالات متحده است كه در زلزله 1989 لوماپريتا دچار خسارتهائي شده بود [7]. شكل (9) يك نمونه جدا ساز لرزه اي را نشان مي‌دهد.



شكل (9) – جداساز لرزه اي

4 ــ 6 ــ سيستم‌هاي اتلاف انرژي غير فعال

مطالعات و تجربيات اخير نشان داده است كه استفاده از سيستم‌هاي اتلاف انرژي غير فعال قابليت زيادي در كاهش خسارات لرزه اي در انواع سازه‌ها داشته اند. اين سيستم‌ها انواع مختلفي نظير: سيستم‌هاي ويسكوز، الاستوپلاستيك، ويسكوالاستيك و الكترومغناطيس دارند. سيستم‌هاي اتلاف انرژي، بخش اعظم انرژي ديناميكي را در خود مستهلك مي‌نمايند و از آسيب رساندن به اجزاء سازه اي جلوگيري مي‌كنند. يكي از انواع سيستم‌هاي جاذب انرژي با استفاده از آلياژهاي حافظه دار شكلي (SMA) عمل مي‌نمايد [7].

آلياژهاي حافظه دار شكلي (SMA) فلزاتي هستند كه دو خاصيت منحصر به فرد از خود نشان مي‌دهند: 1 ــ انعطاف پذيري اين مواد تقريباً مشابه با انعطاف پذيري يك قطعه لاستيك است. 2 ــ اين مواد چنانچه پس از اعمال تغيير شكلهاي زياد در آنها، حرارت داده شوند، كاملاً به حالت اوليه خود باز مي‌گردند. يكي از آلياژهايي كه در برابر خوردگي نيز مقاوم است آلياژ نيكل و تيتانيوم (NiTi) مي‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در بهسازي و ترميم كليساي سن فرانسيس (شكل 10) در محل اتصال سقف جناح كليسا از اين سيستم اتلاف انرژي استفاده شده است [7].

شكل (10) – ترميم كليساى سن فرانسيس

4 ــ سيستم كنترل فعال

سيستم كنترل فعال، متشكل از دستگاههاي محركي است كه به طور همزمان در تعامل با حسگرها (Sensor) و كنترل كننده‌ها در سازه تعبيه شده و به وسيله يك پردازشگر مركزي راهبري مي‌شود. چنين سيستمي همزمان با اعمال تحريكات محيطي به سازه در اثر باد، زلزله و ... به كمك حسگرها و سيستم پردازشگر مركزي، اطلاعات مربوط به ميزان نيروها و تغيير شكلهاي تحميلي به سازه را دريافت و پردازش كرده و به وسيله سيستم‌هاي محرك خود نيروها و تغيير شكلهاي متضادي را در زمان بسيار كوتاهي در سازه ايجاد مي‌كند، به طوري كه اثر تحريكات محيطي را خنثي نموده و در نتيجه، سازه عملاً تغيير شكلها و نيروهاي بسيار كمتري را در طول زمان تحريكات محيطي تجربه مي‌كند.

ساختمانهاي متعددي با اين روش در برابر زلزله در آمريكا، ژاپن و چين، حفاظت شده‌اند ولي در مورد بناهاي تاريخي هنوز در حد كارهاي پژوهشي قرار دارد ولي در ايتاليا يك پروژه تحقيقاتي ملي براي حفاظت بناهاي تاريخي در برابر زلزله در اين مورد انجام شده است [3] .

5- نتيجه گيرى

بناهای تاریخی به لحاظ ارزش فرهنگی از یک طرف ، فرسودگی و آسیب دیدگی بسیاری از عناصر سازه ای آنها از طرف دیگر و مهمتر از همه حفظ کلیت بنا و نماهای بیرونی و درونی بدون دست خوردگی بیش از حد ، عوامل محدود کننده ایست که لازم می دارد روش های بهسازی لرزه ای برای اینگونه بناها تا حد امکان ایمن ، غیر مخرب موثر و غیر آشکار باشند . به همین دلیل استفاده از انواع فناوریهای نوین نظیر کنترل فعال ، میراگرهای انرژی ، جداسازهای لرزه ای در کنار روش های مرسوم ، هر چند با هزینه های بالا برای اینگونه ساختمانها قابل توجیه است .

6- مراجع

[1] زمرشیدی،حسین، 1380، معماری ایران-اجرای ساختمان با مصالح سنتی، انتشارات زمرد ، 1380

[2] C.T. Christov, etal, ' State of Art of Technologies for Safeguarding Historic Strctures in Bulgaria ' , VTU, Sofia, Bulgaria - 2002

[3] A.Nappi, 'State og the Art on New Technologies for Safeguarding Cultural Heritage : A short Report and some Personal Points of view from italy 'Department of Civil Engineering - University of Trieste – Italy - 2002

[4] Shrive,N.G,'Use of Fiber Reinforced Polymersto improve Seismic Resistance of Masonary' , 6th congresso Nacional de sismologia e Engenharia Sismica, SISMICA 2004.

[5] Ganz,H.R,'Post-Tensioned Masonary stractures',VSL Report Series , Berne , Switzerland

[6] Gemert,D.V, etal, ' Structural Consolation and Strengthening of Masonary : Historical Oerview and Evolution', K.U. Leuven , Belgium - 2004

www.SID.ir

Archive of SID

[7] Clemente, P. , etal , ' Seismic Preservation of the Collective Memory' , International Conference ' choices and strategies for Preservation of the Clollective Memory' , Dobbiaco , 2002

Seismic Protection Methods For Historical Building

Omid zaribafian

Abstract

Historical buildings in Iran are buildings constructed of adobe , brick , mud stone and wood .Three important properties increase seismic vulnerability of historical building which are : material deterioration , unresistant material , structure's heaviness .According to that , seismic protection methods used for these buildings must include ways to reduce these problems . This paper includes different methods of historical building's seismic protection , such as : strengthening building by replacing new materials , create auxiliary structure , seismic base isolation and lightening .

Key word : Historical building , Seismic protection , Strengthening , Seismic base isolation

www.SID.ir