



# بهبودی لرزه‌های سازه‌ها

## گزارشی از یک سمینار

مهندس غلامحسین هوشمندسرستانی

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان

### مقدمه:

حصول حاشیه اطمینان از عملکرد مناسب بسیاری از سازه‌های موجود در زمان وقوع زلزله و نیز امکان تداوم بهره‌برداری (پس از وقوع زلزله) از این سازه‌ها که به منزله سرمایه ملی جامعه محسوب می‌گردند، به علل مختلفی صرفاً در گرو بهسازی لرزه‌ای این سازه‌ها نهفته است. سازه‌های موجود اعم از سازه‌های ساختمانی یا غیر ساختمانی به علل مختلفی مشمول ضرورت بهسازی لرزه‌ای می‌باشند که از اهم این علل موارد زیر را می‌توان ذکر نمود:

- ضعف در طراحی اولیه

- ضعف در اجرا و نظارت

- ضعف در سطح بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری

- ارتقاء سطح طراحی لرزه‌ای در آیین‌نامه‌های جدید

- ارتقاء سطح انتظارات از عملکرد سازه در حین زلزله

در همین راستا و تنها به عنوان یک نمونه شاخص و بارز از سازه‌های ساختمانی در سطح کشور که قبل از ورود به دوره بهره‌برداری و حتی قبل از اتمام عملیات اجرایی، مورد بهسازی قرار گرفته است، ساختمان مسکونی موسوم به برج ۵۶ طبقه تهران را می‌توان ذکر نمود. سازه این ساختمان با تشخیص و تعمق هوشمندانه و احساس مسئولیت قابل ستایش دست‌اندرکاران مربوطه، در حین اجرا مورد ارزیابی قرار گرفته و پس از قطعی شدن ضرورت بهسازی لرزه‌ای با صرف هزینه نسبتاً قابل

بهسازی لرزه‌ای، بازسازی و مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی بودند از آقای مهندس معین‌فر نیز با حضور ایشان تجلیل به عمل آمده و نقش ایشان در پیشبرد دانش مهندسی زلزله در سطح کشور مورد تأکید و تجلیل قرار گرفت. ایشان نیز در بخشی از اظهاراتشان ضمن تأکید بر ضرورت تقدیر و حق‌شناسی از متقدمان و پیشکسوتان از زحمات استاد خود آقای دکتر محمدامین (استاد اسبق دانشگاه صنعتی شریف) به نیکی یاد کردند. از جمله تأثیرات آقای مهندس معین‌فر در دانش مهندسی زلزله در سطح کشور، دوستی ایشان با محقق یونانی «امبرسز» بود که این دوستی و اصرارها و تشویق‌های آقای مهندس معین‌فر منجر به تدوین کتاب "تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران" توسط امبرسز و ملویل گردید.

و اما نکات منتخب از سخنرانی سخنرانان سمینار:



### سخنرانی اول: "مفاهیم و مقدمات ارزیابی بهسازی لرزه‌ای"،

#### دکتر بهرخ هاشمی حسینی استاد پژوهشگاه زلزله

اهم نکات مطرح شده در سخنرانی ایشان عبارت بود از:

- ۱- تأکید بر لزوم تدوین «دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای» با توجه به نیازهای کشوری و نیاز به بهسازی بسیاری از سازه‌های موجود که نهایتاً منجر به تدوین نشریه ۳۶۰ «بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود» (توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی) گردیده است.

- ۲- تأکید بر ضرورت توجه به فلسفه طراحی بر اساس عملکرد (PBD) به عنوان مبنای تهیه دستورالعمل‌های بهسازی لرزه‌ای.

- ۳- تفاوت‌های ریشه‌ای بین فلسفه طراحی بر اساس عملکرد و فلسفه طراحی بر اساس نیرو و ظرفیت

- ۴- مقایسه روند توسعه نسل‌های سه‌گانه آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای

توجهی مورد بهسازی قرار گرفته است. شایان ذکر است که به منظور انتقال اطلاعات و تجارب حاصل از این پروژه بهسازی در سال ۱۳۸۶ سمینار یک‌روزه‌ای در تهران از سوی مسئولین پروژه (شامل کارفرما، مشاوران، پیمانکاران) برگزار گردید که طی آن سمینار، جمع‌کثیری از دانشجویان و علاقه‌مندان در سطح کشور مستقیماً از جزئیات و مراحل پروژه مطلع گردیدند.

در حال حاضر علاوه بر ضرورت بهسازی سازه‌های موجود قبل از وقوع زلزله، سازه‌های زیادی نیز در حین زلزله‌های متوسط و شدید دچار آسیب‌های نسبی گردیده و "استقامت" آن‌ها جهت مقابله با زلزله‌های بعدی کاهش می‌یابد که این‌گونه سازه‌ها نیز می‌بایست به نحو مناسبی مقاوم‌سازی شوند. علی‌احوال بهسازی سازه‌های موجود و یا مقاوم‌سازی سازه‌های آسیب‌دیده فرآیندی است که طی آن و برحسب مورد، و به منظور افزایش استقامت سازه یک یا چند ویژگی لرزه‌ای این ساختمان‌ها تغییر داده می‌شود. اهم این ویژگی‌ها عبارتند از:

- جرم سازه
- مقاومت سازه
- شکل‌پذیری سازه
- میرایی سازه

- رفتار پس‌ماند (رفتار هسترزیس)

در فرآیند فوق انتخاب شیوه عمل و انتخاب ویژگی لرزه‌ای مورد اصلاح، تنها پس از ارزیابی کارشناسانه از وضعیت موجود و نیازهای آتی امکان‌پذیر خواهد بود. مقدمه فوق بهانه‌ای است برای ارائه گزارشی مختصر از سمینار یک‌روزه‌ای که تحت عنوان «بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها» در تاریخ ۸۶/۷/۲۶ در تالار شهید چمران دانشکده عمران دانشگاه تهران برگزار گردید. با این امید و با این هدف که از این طریق نکات مهم

منتخب و شنیدنی از این گردهمایی به همکاران محترم و علاقه‌مندان به امر بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها، انتقال یابد. لازم به ذکر است که به دلیل تنوع موضوعات مطروحه، و به دلیل رعایت اختصار، برداشت‌های شخصی اینجانب از سخنرانی‌های هر یک از سخنرانان سمینار مذکور همراه با ذکر نام سخنران در قالب موارد تفکیک شده بصورت مختصر و مجزا تقدیم می‌گردد.

سمینار مذکور مشترکاً توسط دو تشکل علمی پژوهشی زیر برگزار گردید:

- ۱- "قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها"، وابسته به دانشکده عمران دانشگاه تهران. (تأسیس ۱۳۸۴)

- ۲- دپارتمان سازه و زلزله "موسسه عمران و پژوهش آسیا" (ACRI) (تأسیس ۱۳۸۵)

قبل از ورود به مباحث فنی شایان ذکر است که در بخشی از این سمینار علاوه بر گرامیداشت یاد شادروان دکتر مهدی قالیبافان که از بنیانگذاران و فعالان موضوع بهسازی و نیز

ویژگی نسل اول آئین‌نامه‌ها:

- اعلام نیروی برش پایه طراحی به صورت درصد ثابتی از وزن ساختمان
- عدم توجه به کنترل تغییر شکل‌های سازه در طراحی
- عدم تفاوت طراحی ساختمان‌ها از نظر سطح اهمیت
- ویژگی نسل دوم آئین‌نامه‌ها:
- قائل شدن تفاوت بین ساختمان‌های معمولی و ضروری از نظر عملکرد موردانتظار (از طریق اعمال ضریب اهمیت)
- عدم کنترل ظرفیت تغییر شکل‌های غیرارتجاعی
- توجه به رفتار غیرخطی سازه‌ها از طریق اعمال ضریب رفتار متناسب با رفتار هر سیستم سازه‌ای
- ارائه ضوابط شکل‌پذیری در کنار ضوابط مقاومت (اشاره به زنجیر پائولی)

ویژگی نسل سوم آئین‌نامه‌ها و طراحی بر اساس عملکرد: - ساختمان در مقابل هر سطح خطر، عملکرد مورد انتظار



را از خود نشان می‌دهد.

- نیازهای هر سطح عملکرد شامل سختی، مقاومت و شکل‌پذیری مطابق همان سطح خواهد بود.
- وجود تفاوت بین حالت‌هایی از رفتار که در آن مقاومت کنترل‌کننده است و نه تغییر شکل و یا تغییر شکل کنترل‌کننده است و نه مقاومت.

### **سخنرانی دوم: «بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها» دکتر حسن مقدم، استاد دانشگاه صنعتی شریف.**

اهم نکات منتخب از سخنرانی ایشان به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- می‌توان گفت در قرن اخیر به طور متوسط تقریباً هر ده سال، یک زلزله قوی و ویرانگر در گوشه‌ای از کشورمان رخ داده و موجب تلفات جانی و مالی فراوان شده است.
- ۲- با فرض ادامه روند لرزه‌خیزی فوق و با توجه به افزایش

جمعیت و وسعت شهرها، در صورت عدم توجه جدی به کیفیت سازه‌ها و ساخت‌وسازها، گسترده شدن ابعاد تلفات و خسارات فاجعه‌آمیز در زلزله‌های آینده دور از انتظار نمی‌باشد.

۳- طی زلزله‌های قوی گذشته بناهای سنتی تاریخی نسبت به ساختمان‌های معمولی در بافت قدیمی شهرها، مقاومت چشمگیری در مقابل زلزله داشته‌اند که این امر نشان از درک صحیح سازندگان این بناها از ساز و کار توزیع نیروی زلزله و در نظر گرفتن نکات فنی در طراحی سیستم‌های سازه‌ای آنها داشته است و اهمیت این موضوع در طراحی سازه‌ای جدید نیز بدیهی می‌باشد.

۴- شیوه‌های مختلف بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم نمود:

الف- شیوه‌های مختلف «افزایش استقامت» سازه.

ب- شیوه‌های مختلف «کاهش تحریک» منتقله به سازه  
۵- فرم‌های مختلف بهسازی لرزه‌ای بر اساس عوامل زیر قابل بررسی و مقایسه می‌باشد:

الف- ایده‌های جدید (مثلاً جداسازی و یا تعبیه میراگرها)

ب- تکنولوژی‌های جدید (انواع تکنولوژی‌های جداسازی یا انواع میراگرها)

ج- مصالح جدید (مثلاً FRP و...)

۶- شیوه‌های مختلف فرآیند "افزایش استقامت سازه"، شامل یک یا چند شیوه زیر خواهد بود:

الف- افزایش مقاومت سازه

ب- افزایش سختی سازه

ج- افزایش ظرفیت تغییر شکل‌پذیری سازه

د- بهبود رفتار پس‌ماند سازه

ه- افزایش میرایی سازه.

و- کاهش جرم سازه

۷- با توجه به شیوه‌های مختلف افزایش استقامت

سازه، شناخت مهندس «بهساز» از نیازهای بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها، به یکی از صورت‌های فوق، بسیار حائز اهمیت خواهد بود. به عنوان مثال ممکن است در مواردی سازه نیاز به افزایش شکل‌پذیری داشته باشد و نیازی به افزایش مقاومت نداشته باشد.

۸- فلسفه تسلیم حلقه‌های نرم (زنجیر پائولی) در طراحی

سیستم‌های سازه‌ای شامل دو مبنای زیر است:

الف- حفاظت از اعضای ترد به شیوه ثابت نگهداشتن تراز نیروی القایی بر این اعضا. زیرا در صورت تجاوز نیروی این اعضا از حد معین، بدون تحمل تغییر شکل گسیخته خواهند شد.

ب- تأمین شکل‌پذیری در اعضای نرم که با حفظ سطح

نیروی القایی تغییر شکل قابل توجه از خود نشان می‌دهند.

**سخنرانی سوم: «ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای پل‌ها»**

**دکتر شاهرخ مالک، استاد دانشکده عمران دانشگاه تهران.**

بیانات ایشان حاوی مطالب ارزنده مختلف از جمله موارد زیر بود:

۱- با توجه به جایگاه حیاتی پل‌ها در صنعت حمل و نقل و اقتصاد کشور و به خصوص جایگاه این سازه‌ها در امر امداد رسانی در هنگام وقوع زلزله‌های مخرب و حتی پس از آن در دوران بازسازی مناطق زلزله‌زده می‌توان گفت بحران مدیریت پل‌ها و موضوع بهسازی لرزه‌ای پل‌ها، از جایگاه «ملی» برخوردار است.

۲- با توجه به مشکلات فعلی مبتلا به پل‌های کشور، اهمیت توجه به بهسازی وضع موجود پل‌ها، نمایان می‌گردد. نمونه‌هایی از این مشکلات که در تعداد قابل توجهی از پل‌ها قابل مشاهده است عبارتند از:

- پل‌های تک‌پایه بدون مقاومت لرزه‌ای مناسب (۷ پل در محور فیروزکوه)

- خوردگی شدید دال بتنی پل از سطح زیرین

- ضعف فنس‌ها و حایل‌های جانبی پل‌ها

- خوردگی کامل مجموعه پل (پایه، تیر، دال)

- اشکالات ناشی از عدم برنامه تعمیر و نگهداری رایج: آب‌بندی، یخ‌زدگی.

- عدم کفایت ارتفاع زیرگذرها و برخورد کامیون‌های بلند

عبوری

- تجمع آب در کف پل‌های زیرگذر

- اختلاف نشست پایه‌ها

- آب‌شستگی پایه‌ها

- درزهای انبساطی ناکارآمد.

۳- علاوه بر مشکلات فعلی پل‌های کشور که در حالت عادی (قبل از وقوع زلزله) گریبانگیر این سازه‌های حیاتی است، نمونه‌هایی از آسیب‌های لرزه‌ای پل‌ها در هنگام زلزله را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- فروافتادن عرشه پل‌ها

- وقوع روانگرایی در زمین پایه پل‌ها

- شکست برشی ستون‌های پل‌ها

- شکست برشی- خمشی (توأم) ستون‌های پل‌ها

- برخورد قطعات پل‌ها به یکدیگر در محل درزها

- کماتش دیافراگم‌های عرضی کف‌ها

- واژگونی کلی مجموعه پل.

۴- از مشکلات اساسی مدیریت پل‌ها در سطح کشور و همچنین در مورد بسیاری از سازه‌های عمومی و خصوصی و حتی ساختمان‌های مسکونی، ضعف شدید بایگانی فنی و مستندسازی مدارک فنی پروژه‌هاست که متأسفانه بهای این ضعف در مواردی با قیمت خیلی سنگین پرداخته می‌شود.

به نظر اینجانب (نگارنده) ساختمان‌های مسکونی خصوصاً در دست طراحی و ساخت نیز به علت عدم اطلاع مالکین از اهمیت بایگانی مدارک فنی و نیز به دلیل عدم مدیریت سازمان‌های ذیربط در بخش مستندسازی در وضعیت نابسامانی از این نظر قرار دارند.

۵- کتاب «ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای پل‌های کشور» به عنوان آیین‌نامه و کتاب راهنما توسط آقای دکتر



شاهرخ مالک تألیف گردیده است.

## سخنرانی چهارم: «بهسازی لرزه‌ای مخازن مایعات»، دکتر

### ساسان عشقی، استاد پژوهشگاه زلزله

خلاصه موضوعات سخنرانی ایشان به شرح زیر می‌باشد:  
۱- در حال حاضر فعالیت‌های بهسازی لرزه‌ای انواع سازه‌ها در داخل کشور بازار نسبتاً پررونق و در عین حال آشفته‌ای پیدا کرده است که با توجه به عدم نظارت متمرکز بر این فعالیت‌ها انحراف‌های احتمالی قابل پیش‌بینی و قریب‌الوقوع می‌باشد.

۲- آیین‌نامه (American Petroleum Institute) API 640 تا سال ۱۹۶۴ نیز برای طراحی مخازن فاقد ضوابط طراحی در خصوص اثرات زلزله بود.

۳- علل نیاز به بهسازی لرزه‌ای مخازن موجود را می‌توان موارد زیر ذکر نمود:

الف- ضعف شدید در نگهداری مخازن

ب- عدم طراحی لرزه‌ای بسیاری از مخازن از ابتدای طراحی و اجرا

ج- تغییر و ارتقای آئین‌نامه‌های لرزه‌ای در طول زمان

د- مخاطره‌آمیز بودن هر نوع آسیب وارده به مخازن حاوی مایعات خطرناک- سطح اهمیت لرزه‌ای مخازن.

۴- جالب توجه این که عمر بسیاری از تاسیسات شیمیایی خطرناک در کشور از ۴۰ سال تجاوز نموده، این در حالی است که در بسیاری از استانداردهای معتبر عمر مفید این گونه تاسیسات فقط ۲۰ سال تعیین گردیده است.

۵- از جمله در زلزله سال ۱۳۶۹ منجیل در شهر رشت مخزنی ۱۵۰۰ مترمکعبی به ارتفاع ۴۶ متر تخریب شد. سن این مخزن در هنگام زلزله ۲۰ سال بود. میلگردهای استفاده شده در ساخت این مخزن از نوع ساده (بدون آج) بوده و تنها معیار طراحی لرزه‌ای این مخزن، ضوابط فصل ۸ استاندارد ۵۱۹ بود که ضوابطی بسیار مقدماتی و ساده بوده است.

۶- یکی از معضلات مخازن هوایی فولادی استفاده از بست‌های قورباغه‌ای غیراستاندارد در مجموعه پایه‌های این مخازن است. در یک مقطع زمانی، تقریباً ۸ نوع محصولات مختلف از بست‌های قورباغه‌ای موجود در بازار کشور توسط سخنران و همکاران مورد آزمایش قرار گرفته که هیچکدام حائز مشخصات استاندارد نبودند.

۷- در رفتار دینامیکی مخازن هوایی مود پیچش از مودهای غالب ارتعاش می‌باشد و از پدیده‌های حائز اهمیت در رفتار دینامیکی این سازه‌ها، اندرکنش مایع-سازه و همچنین اندرکنش سازه-فونداسیون می‌باشد.

۸- آسیب‌های لرزه‌ای مخازن نیز در هنگام وقوع زلزله عبارتند از:

- کماتش دیواره‌ها

- بلندشدگی مخازن

- رفتار غیرخطی (هندسه، مصالح) مخازن فولادی

## سخنرانی پنجم: «بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بتنی»، دکتر

### سرود مقدم استاد پژوهشگاه زلزله

موارد منتخب از سخنان ایشان به شرح زیر است:

۱- ارزیابی لرزه‌ای وضعیت موجود ساختمان‌های بتنی از پیچیدگی خاص خود برخوردار است و از جمله علل این امر را می‌توان مشکلات و دشواری‌های شناسایی وضعیت آرماتورها شامل تعیین تعداد، مشخصات، محل استقرار، طول وصله و همپوشانی و موقعیت قلاب‌های آرماتورها و همچنین شناسایی مواردی از قبیل مقاومت بتن‌ها، پراکندگی کیفیت بتن و... ذکر کرد.

۲- آیین‌نامه‌های لرزه‌ای را می‌توان به سه گروه زیر تقسیم نمود.

- آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای سازه‌های جدید. (طراحی مقاوم)

- آیین‌نامه‌های بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود (بهسازی)

- آیین‌نامه بهسازی سازه‌های صدمه‌دیده در زلزله‌ها (مقاوم‌سازی)

بدیهی است هریک از این آیین‌نامه‌ها از نظر مبانی و فلسفه طراحی تفاوت‌های اساسی با یکدیگر دارند.

۳- مقایسه کلی آیین‌نامه‌های بهسازی لرزه‌ای با آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای

- آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای نسبتاً ساده و محافظه‌کارانه می‌باشند.

- آیین‌نامه‌های بهسازی پیچیده و بدون منظور نمودن حاشیه اطمینان اضافی می‌باشند.

۴- مراحل کلی روند بهسازی لرزه‌ای یک سازه شامل موارد زیر است:

- بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختمان موجود

- انتخاب هدف بهسازی

- ارزیابی وضع موجود

- انتخاب طرح بهسازی

- ارزیابی طرح بهسازی

- اجرای طرح بهسازی

۵- برخی عوامل موثر در آسیب‌های لرزه‌ای سازه‌های بتنی:

- نامناسب بودن وصله میلگردها

- عدم محصورشدگی بتن

- عدم کفایت آرماتور برشی

- وجود "ستون کوتاه‌شده" در سیستم باربر جانبی

- عدم امتداد آرماتورهای مثبت در محل اتصال تیر به

ستون

- فاصله زیاد خاموت‌ها

- محل نامناسب وصله میلگردها

- نسبت نامناسب ابعاد تیر و ستون

۶- معرفی نشریه شماره ۳۴۵ سازمان مدیریت و

برنامه‌ریزی در خصوص استفاده از FRP برای بهسازی ساختمان‌های بتنی  
۷- امکان مراجعه به سایت اینترنتی [www.fema.gov](http://www.fema.gov)  
برای دانلود کردن تکنیک‌های بهسازی.

### **سخنرانی ششم: "بهسازی لرزه‌ای سازه‌های فولادی با قطعات میراگر"، دکتر سیدمهدی زهرایی، استاد دانشکده عمران دانشگاه تهران.**

خلاصه سخنان ایشان بشرح زیر است:

۱- متأسفانه خیل عظیمی از ساختمان‌های در حال ساخت در سطح کشور نیز در آینده‌ای نه چندان دور نیاز به بهسازی و صرف هزینه‌های مالی سنگینی خواهند داشت. علل این امر مجموعه ضعف‌های ناشی از طراحی، نظارت، اجرا و بهره‌برداری می‌باشد.

۲- از علل عمده آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌های فولادی موارد زیر را می‌توان ذکر نمود:

- وجود طبقه نرم در سیستم باربر جانبی سازه
- کماتش موضعی اجزای مقطع
- کماتش کلی اعضای سازه

- کمبود مقاومت اعضای باربر (تیرها، ستونها، مهاربندها

و...)

- اثرات پیچشی زیاد در سیستم باربر جانبی سازه

- سختی بیش از حد نیاز سازه.

- مشکلات اتصالات و از جمله جوش‌های ناقص و ناکافی

و غیرقابل قبول.

۳- از روش‌های رایج بهسازی لرزه‌ای سازه‌های فولادی موارد زیر را می‌توان ذکر نمود:

الف- تقویت پوششی اعضا، مثلاً با بتن یا پوشش‌های پلیمری FRP و....

از ویژگیهای پوشش‌های پلیمری، وزن کم، حجم کم، دوام زیاد، ضریب الاستیسیته پایین، تغییر شکل‌پذیری زیاد می‌باشد.

ب- تعبیه میراگرها در سازه: انواع میراگرهای ویسکو الاستیک، میراگرهای ویسکوز مایع و... می‌باشد. شایان ذکر است میراگرها اصولاً بایستی در اعضای تعبیه شوند که میزان مؤلفه جابجایی در حین زلزله در آن نقاط قابل توجه باشد که نمونه‌ای از این اعضا مهاربندها می‌باشند.

ج- تعبیه مهاربندهای فولادی: از ویژگی‌های این شیوه بهسازی لرزه‌ای عبارتند از: افزایش مقاومت همراه با افزایش سختی، اجرای سریع و آسان، امکان اجرای مهاربندی از بیرون ساختمان.

د- تعبیه دیوارهای برشی فولادی

ه- تعبیه مهاربندهای زانویی (Knee Brace)

و- سایر روش‌ها

۴- نیروی زلزله وارد به ساختمان از قبل مقدار مشخصی ندارد زیرا طراح می‌تواند با تغییر خصوصیات ساختمان در

میزان نیروی منتقله به ساختمان دخالت نموده و این دخالت منجر به افزایش یا کاهش نیروی زلزله وارده به ساختمان گردد. این خصوصیات شامل مشخصات دینامیکی سازه از قبیل جرم، سختی، میزان شکل‌پذیری، میرایی، مقاومت و... می‌باشد.

۵- برخی اثرات جداگرهای لرزه‌ای در رفتار ساختمان‌ها:

- کاهش جابجایی نسبی طبقات

- کاهش فرکانس ارتعاشی سازه

- تغییر مود ارتعاشی سازه به مود درجا

- کاهش نیاز لرزه‌ای سازه.

البته با تعبیه جداگرهای لرزه‌ای لازم است امکان جابجاشدن سازه بر روی زمین در امتداد افقی تأمین شده باشد. به عنوان مثال لوله‌ها و انشعابات تأسیساتی می‌بایست قابلیت انعطاف کافی داشته باشد.

در پایان این گزارش چکیده سخنرانی آقای دکتر سیدمهدی زهرایی که طی بروشور سمینار به شرکت‌کنندگان ارائه گردیده بود، جهت استحضار همکاران محترم عیناً درج می‌گردد.

### **چکیده سخنرانی:**

«بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی موجود به کمک قطعات فلزی میراگر»، دکتر سیدمهدی زهرایی، عضو هیأت علمی دانشکده عمران دانشگاه تهران

زلزله‌های گذشته در ایران و جهان تلفات و خسارات فراوانی به بار آورده‌اند. بسیاری از ساختمان‌های فولادی موجود از استحکام کافی در برابر زلزله برخوردار نمی‌باشند و در صورت وقوع زلزله فاجعه به بار خواهند آورد. برای جلوگیری از چنین تلفات و خساراتی به روش‌های کارآمد جهت مقاوم‌سازی این ساختمان‌ها نیاز می‌باشد. از جمله روش‌های موثر برای بهسازی لرزه‌ای، روش‌های کنترل غیرفعال می‌باشند. این روش‌ها با کاهش نیاز لرزه‌ای و افزایش شکل‌پذیری، میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها را در برابر زلزله کاهش می‌دهند. یکی از مناسب‌ترین روش‌های کنترل غیر فعال کاربرد قطعات فلزی میراگر به اشکال مختلف "تیر پیوند قائم" یا "پانل برشی"، بین گره رأس دو مهاربند شون و بال پایینی تیر بالا نصب می‌شوند. طراحی این سیستم بگونه‌ای صورت می‌گیرد که ابتدا قطعات پانل برشی جاری می‌شوند و بدین ترتیب انرژی زلزله را مستهلک می‌نمایند و سایر عناصر سازه الاستیک باقی می‌مانند. در قاب‌های مهاربندی شده زانویی نیز یک انتهای مهاربند قطری به جای اتصال به گره اتصال تیر و ستون به عضو مورب زانویی متصل می‌شود. بخش عمده سختی جانبی توسط مهاربندی قطری تأمین می‌شود. در حالی که تسلیم برشی (یا خمشی) عضو زانویی فراهم‌کننده شکل‌پذیری موردنیاز برای قاب می‌باشد. در واقع عضو مورب زانویی شکل به عنوان یک میراگر هیستریزیس طوری طراحی و جزئیات‌بندی می‌شود که همانند یک فیوز سازه‌ای عمل کرده و با پذیرش تغییر شکل‌های غیر الاستیک کنترل شده، ضمن



شکل پذیری قاب به  $5/4$  و زاویه تغییر شکل برشی جان به  $0/086$  و متوسط میرایی ویسکوز معادل در آن‌ها به  $16/8$  تا  $18/6$  درصد رسید. در مجموع استفاده از قطعات فلزی میراگر به عنوان روشی کارآمد برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی موجود در کشور که دارای حداقل مقاومت لازم باشند، توصیه می‌شود و باید هرچه سریع‌تر در آیین‌نامه‌های معمول ساختمان‌های فولادی در کشور ترویج شود.

#### عناوین نشریات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در زمینه بهسازی لرزه‌ای:

- نشریه شماره ۲۵۱- فهرست خدمات مطالعات بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود
- نشریه شماره ۳۴۵- راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمانهای بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP
- نشریه شماره ۳۶۰- دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود
- نشریه شماره ۳۶۵- فهرست خدمات مطالعات بهسازی لرزه‌ای سامانه‌های آبرسانی شهری موجود
- نشریه شماره ۳۷۱- مجموعه مقالات همایش آشنایی با تکنولوژیهای نوین بهسازی لرزه‌ای
- نشریه شماره ۳۷۶- دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای بنایی غیر مسلح موجود
- نشریه شماره ۳۹۰- راهنمای انجام مطالعات خدمات جنبی در پروژه‌های بهسازی لرزه‌ای

استهلاک انرژی لرزه‌ای مانع از ورود سایر اعضا و اتصالات به محدوده غیر ارتجاعی شود. با این عملکرد خسارت‌های ناشی از زلزله در این عضو متمرکز می‌شود. در این سیستم برخلاف مهاربندهای واگرا، EBF این قطعات در داخل سازه قرار نداشته و لذا بهسازی به سادگی صورت می‌گیرد و پس از زلزله به راحتی و با هزینه کم قابل تعویض می‌باشند. هدف از این مقاله، بررسی عددی و آزمایشگاهی کاربرد قطعات فلزی میراگر برای کنترل غیرفعال ساختمان‌های فولادی متعارف می‌باشد.

جهت تأیید نتایج عددی، پنج آزمایش بر روی نمونه قاب‌های فولادی یک طبقه یک دهانه متشکل از پانل‌های برشی با طول و مقاطع مختلف درسیستم مهاربندی آن‌ها صورت گرفت. نتایج آزمایش بیانگر عملکرد مناسب این قطعات بودند. در تمام نمونه‌ها زاویه چرخش برش جان پانل برشی پیش از گسیختگی به  $0/128$  تا  $0/156$  رادیان رسید. هم‌چنین این قاب‌ها رفتار چرخه‌ای مطلوب بدون ایجاد لاغرشدگی در چرخه‌های هسیترزیس از خود نشان داده و بدون کاهش قابل ملاحظه سختی و مقاومت بخش قابل توجهی از انرژی زلزله را مستهلک نمودند. ضمن اینکه سایر عناصر قاب مانند تیر، ستون و مهاربند الاستیک باقی ماندند. متوسط نسبت میرایی ویسکوز معادل در سیکل‌های ارتجاعی به  $26/7$  تا  $30/6$  درصد رسید. با استفاده از پانل برشی، ضریب رفتار نمونه‌ها بین  $8/97$  تا  $10/65$  به دست آمد. دو نمونه آزمایشگاهی قاب بادبندی زانویی نیز در ادامه آزمایش شد که