برخورد ساختمانها حین زلزله و مطالعه روشهای بهسازی آن از طریق آزمایشات میز لرزان

آرش رضاوندی
کارشناسی ارشد
مهندسی عمران، زلزله

عبدالرضا سروقدمقدم
استادیار
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
(عمران)

چکیده

برخورد ساختمانهای مجاور به یکدیگر حین زلزله، از خطرات لرزه‌ای قابل توجه می‌باشد. لرزه‌خیز بودن ایران و گسترش ساخت و ساز در آن نیاز به بررسی روشهای کاهش و یا در صورت امکان حذف آن را در ساختمانها از جمله سازه‌های فولادی الزامی می‌نماید. این امر در مراحل طراحی سازه‌های جدید و یا مقاوم‌سازی ساختمانهای ساخته شده در گذشته بصورت بررسی عوامل گوناگون موثر بر ضربه صورت می‌پذیرد.

در مقاله حاضر ابتدا اثرات ضربه بطور کلی بررسی شده و سپس نتایج آزمایشات بر دومدل سازه فولادی قاب خمشی روی میز لرزان با تحریک اجباری و نیز تحریک لرزه‌ای ارائه شده است. در نهایت، تعدادی از روشهای کاهش اثر ضربه از جمله افزایش فاصله بین دو سازه، استفاده از یک نوع ماده جاذب ضربه و همچنین روش اتصال دو سازه در مدلهای فلزی ساخته شده مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمایشات، نمایانگر اهمیت توجه بیشتر به انتخاب فواصل بین ساختمانهای همجوار بر اساس مشخصات دینامیکی آنها، تاثیر قابل ملاحظه ماده ضربه‌گیر در کاهش پاسخ شتاب در هنگام برخورد سازه‌ها و مؤثر بودن روش اتصال دو سازه برای حذف اثر ضربه البته درخصوص پاسخ شتاب وجابجایی می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند برای مقاوم‌سازی ساختمانهای فولادی و طراحی و ساخت ساختمانهای جدید مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی

ضربه، میز لرزان.

Buildings Pounding During Earthquake and Studying of Its Retrofitting Methods Using Shaking Table Tests

A. Rezavandi
M.Sc.
Earthquake Engineer

A. S. Moghadam
Assistant professor
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

Abstract

Colliding of adjacent buildings with each other during earthquake is one of the major seismic damages. Because of seismicity of IRAN and the expansion of construction, it is necessary to consider a means to decrease or if possible, eliminate the pounding effect in buildings. This is feasible with studying of different factors, which affect pounding in the design stages of new structures or in the strengthening of old buildings.

In this article, pounding effects has been studied and then experimental results regarding two models of moment resistance steel structures on shaking table with force vibration and seismic exciting is presented. Ultimately few methods for decreasing pounding effects such as increasing of interval between two structures,

the use of an impact absorbing material and connecting the two structures to each other are considered. Test results show the importance of frequency content in pounding. It is also shown that connecting of two adjacent structures at the top level of short structure may be useful and the use of dissipating materials can reduce induced acceleration when pounding occurred. Results of this investigation can be used for steel structures strengthening, design and construction of new buildings.

Key words
pounding, shaking table

مقدمه

اثـرات فاجعـه آمـیز ضـربه ساختمانها در هنگام زلزله و روشهای کاهش آن خصوصاً بعد از زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی مورد توجـه محققـان قـرار گرفـته اسـت. از طـرف دیگـر، قرار گرفتن ایران در کمربند فعال لرزه‌ای از یک سو و از سوی دیگر وجود عواملـی از قبـیل افزایش قابل توجه ساخت و ساز در سه دهه اخیر، عدم وجود قوانین و مقررات لازم لرزه‌ای در گذشته، کمبود دانش فنی کافی و فقدان دقت مناسب در طیف گسترده‌ای از ساخت و سازها، تغییرات ضوابط طراحی لرزه‌ای در سطح جهان و نـیاز بـه پیشرفت در تحقیقات با توجه به روند توسعه ایران، همه وهمه عواملی موثر هستند که مسائل مرتبط با کاهش صدمات لرزه‌ای در ساختمانها را در اولویت زمینه‌های تحقیقاتی قرار می‌دهند.وفور سازه‌های فولادی در ایران و ساختمانهای فولادی که در گذشـته بـدون رعایـت الزامات لرزه‌ای مناسب احداث شده‌اند باعث گردیده که احتمال صدمات جانی ومالی در صورت وقوع زلزله در این گونه ساختمانها افزایش پیدا کند که یکی از عوامل آن ضربه ساختمانهای مجاور به یکدیگر در طی زلزلـــــــــه (POUNDING) مـی‌باشـد. اگرچه آیین نامه‌های جدید طراحی از جمله آیین نامه ایران شامل الزاماتی جهت جداسازی لرزه‌ای برای ساختمانهای مجاور هستند، قسمتهای وسیعی از شهرها واقع شده در مناطق فعال لرزه‌ای قبل از ایجاد این الزامات ساخته شده‌اند. بنابراین تقریبا در هر شهری، ساختمانهای بسیاری پیدا میشوند که با احتمال برخورد به یکدیگر ساخته شده‌اندو لذا به شـدت مسـتعد آسـیب ناشی ازضربه می‌باشند. همچنین در کلان شهرها به علت قیمت بالای زمین دیدگاههای مخالف قوی در مـورد اجـرای فاصله بین ساختمانها خصوصا در میان افراد ذینفع در ساخت و ساز و صاحبان ساختمان به عنوان کار فرما وجود دارد.

از دلایـل دیگر برای مخالفت، نحوه تمیز نگاه داشتن و رفع رطوبت در حد فاصل بین دو ساختمان می باشد.[۲] به هر حال بـاید بـه یاد داشت که حتی در زلزله‌های خفیف خصوصا در سازه‌های قدیمی، اثرضربه موثر بوده و باعث آسیب گشته است.[۷] بنابرایـن بـرای اجتـناب از خسـارت مابیـن دو ساختمان مجاور،تحقیقات برای حل مسئله برخورد در مقاوم‌سازی ساختمانهای موجـود کـه فاصـله کافی ندارند لازم است. [۳] البته تحقیق در خصوص آسیبهای ناشی از ضربه ساختمانها به یکدیگر در زلزله نشـان داده کـه عمومـا فاصله حداقل در نظر گرفته شده در آیین نامه ها برای اجتناب از آسیب شدید کافی است به شرطی که طراحی صحیح ، ساخت و اجرای دقیق و نگهداری مناسب از ساختمان به عمل آمده باشد.[۳]

اثـرات ضـربه زدن سـاختمانها بـه یکدیگـر در بسـیاری از زلزله‌ها به صورت جزئی و درپاره‌ای از موارد به صورت خطرناک مشـاهده گردیده است. به عنوان مثال در زلزله‌های ۱۹۶۸ توکاچی اوکی ژاپن [۱] زلزله ناگوا در سال ۱۹۷۲ [۹،۱] زلزله ۱۹۶۴ آلاسکا [۹] زلزله ۱۹۷۶ گواتمالا و ۱۹۷۶ فریولی ایتالیا [۱] زلزله ۱۹۷۷ رومانی [۱] . در زلزله‌های ۱۹۷۸، ۱۹۸۱ و۱۹۸۶ یونان آسـیبهای کـم و متوسـطی گـزارش گردید. [۱] در زلزله ۱۹۸۵ لوماپریتا آمریکا [۱]و در زلزله‌های ۱۹۹۴ نوتریج و۱۹۹۵ کوبه ژاپن نیز مواردی از خسارات ناشی از ضربه گزارش شده است.[۱۰]

اما گستردگی خسارات ناشی از ضربه ساختمانها به یکدیگر در زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی باعث شد که این مسئله به عنوان یـک مشـکل بـزرگ خودنمایی کند.[۹] در این زلزله در حدود ۴۰٪ از ساختمانها مشکل ضربه را داشتند و ۱۵٪ از کل تخریبها ناشی از اثر ضربه بود [۹و۶و۱]. البته در گزارش دیگری اعلام شد که احتمالا فقط ۲۰تا۳۰٪ از حالتهای آسیب سازه‌ای ناشی از اثـرات ضربه می‌باشد. [۱] از طرفی در تحقیقات صورت گرفته در این زلزله مشخص شد که بسیاری از ساختمانها در امان مانده از اثـر ضربه، با ساختمانهای مجاور خود به صورت متصل احداث شده بودند و بنابراین تمام بلوکهای ساختمانی مانند یک واحد عمـل کـردند و لـذا از یک ساختمان مجزا قویتر بودند . به عنوان مدرکی در این مورد، مطالعات مکزیکها نشان میدهد که ۴۲٪ سـاختمانهایی کـه بـه سختی آسیب دیده‌اند سازه‌های واقع در گوشه‌ها بودند که توسط ساختمانهای مجاور حمایت نمی‌شدند.

این یافته‌ها نیاز به تحقیقات جدی روی موضوعاتی از قبیل ضربه‌گیر و طرح و اجرای ساختمانهای متصل به هم را مطرح می‌کند.[۹] ازجمله تحقیقات صورت پذیرفته در این مورد می‌توان به استفاده از شبیه‌سازی دینامیکی جرم و فنر و میراگر، استفاده از تحلیل غیر خطی [۱] اشاره نمود. به طور کلی مدلسازی برخورد معمولاً با استفاده از المانهای تنظیم فاصله (GAP ELEMENTS) متمرکز گشته و بر آورد عواملی همچون سختی المان تنظیم فاصله، به خاطر تاثیر عمده بر پاسخ مهم است. همچنین روشهایی بر مبنای اصل بقای انرژی و حرکت برای تحلیل اثر ضربه در ساختمان ابداع شده است[۴]. علاوه بر این ضربه ساختمانها باعث القای شتاب و در نتیجه آسیب به تجهیزات الکتریکی و مکانیکی، اقلام سازه‌ای و معماری و غیره در ساختمان می‌گردد که اثرات آن در زلزله لوماپریتای آمریکا مشخص گشت. مطالعات تحلیلی نشان داد که اثر ضربه باعث افزایشی حتی تا ۱۰ برابر در شتاب اوج اقلام فوق در مقایسه با حالت عدم ضربه می‌گردد[۵]. بطور کلی در اکثر آیین نامه‌های ساختمانی برای کاهش و یا حذف اثر ضربه به عامل فاصله بین دو سازه توجه شده است. علاوه بر آن در آیین نامه‌های یونان و EC8 اروپا استفاده از دیوار ضربه‌گیر نیز به عنوان یک عامل موثر ذکر گردیده است که عملکردی شبیه دیوار برشی دارد [۱].

با توجه به عوامل فوق در پژهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ایران، دو سازه به صورت قابهای یک دهانه با ابعاد حدود یک دهم سازه واقعی، یکی سه طبقه و دیگری شش طبقه مدلسازی گردید. برای بررسی روشهای کاهش اثر ضربه حالات مختلفی درنظر گرفته شد از جمله فاصله بین دو سازه به میزان ۱/۰ و ۰/۵ سانتیمتر تنظیم گردید و در موردی دو سازه در ترازهای اول و سوم به یکدیگر متصل گردیدند و در مدلی دیگر دو سازه در تراز سوم به یکدیگر متصل شدند. همچنین در مدلی دیگر از ماده ضربه گیر پلی استیرن نصب شده در تراز سوم سازه شش طبقه مدل، بهره گرفته شد. تحریک لرزه‌ای با سه رکورد مختلف زلزله و نیز تحریک سینوسی اجباری با دامنه ثابت برای فرکانسها و دامنه‌های مختلف توسط میز لرزان پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله به مدلها اعمال گردید و شتاب و جابجایی مدلها با توجه به امکانات موجود در ترازهای مهم برداشت گردیدند و اثرات روشهای مختلف ذکر شده مورد مطالعه قرار گرفت.

۱ـ مدل و مشخصات آن

قابهای مدل از نوع خمشی فولادی بوده و با مقیاس حدود یک دهم ساختمانهای واقعی، یکی سه طبقه و دیگری شش طبقه هردو تک دهانه ، ساخته شده است. قابها با روش آنالیز استاتیکی تحلیل و طراحی گشته و در آزمایش و تحلیل دو بعدی فرض گردیده است. ارتفاع سازه ۶ طبقه ۱/۸ متر و ارتفاع سازه ۳ طبقه ۰/۹ متر با ارتفاع طبقات ۰/۳ متر می‌باشد مقاطع تیرها و ستونها از ورق با ابعاد به ترتیب ۳×۵۰ و ۴×۵۰ میلیمتر می‌باشد. اتصالات از نبشی ۵×۵۰×۵۰ به طول ۷۰ سانتیمتر است که از جوش گوشه به بعد۳ میلیمتر جهت تامین اتصالات کاملا گیردار استفاده گردیده است. اتصال پای ستون با همان نبشی فوق و به ورق ۱۰×۴۰×۶۰ انجام گرفته است. شکلهای (۱)و(۲) به ترتیب نمایی از دو سازه و نبشی و اتصال پای ستون را نشان می‌دهند.

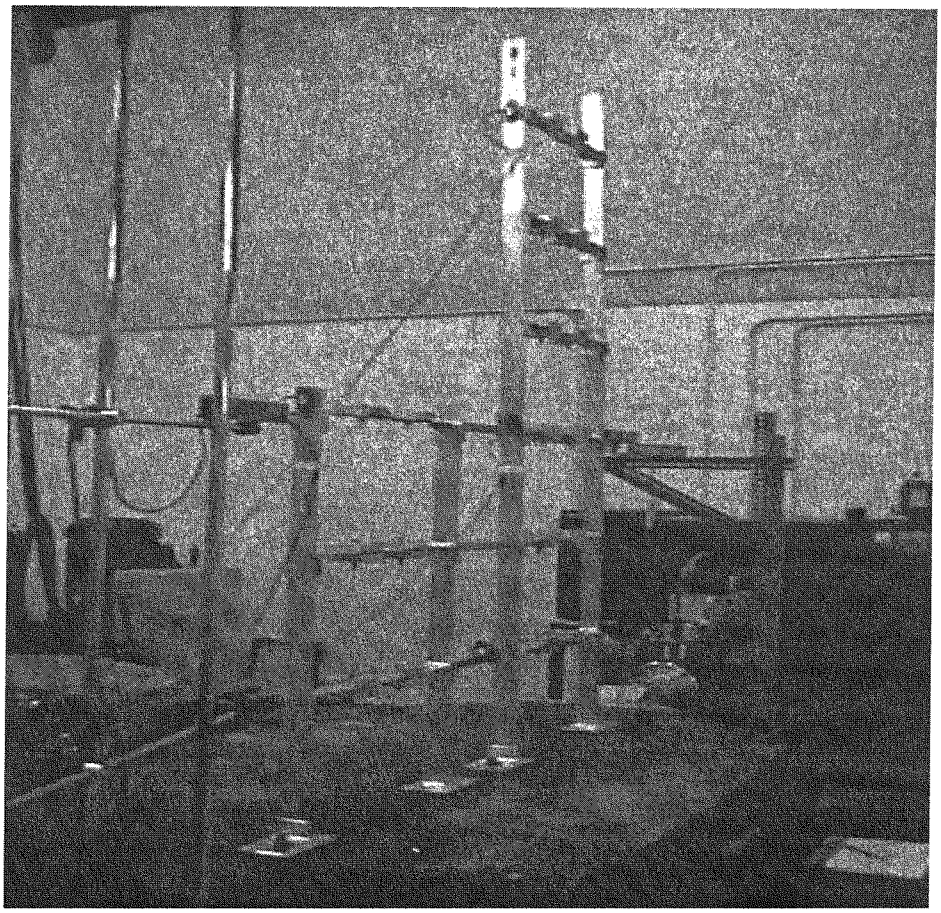
جهت مدلسازی جرمها در هر طبقه از قطعات مکعب شکل سربی به وزن تقریبی در حدود ۷۰۰ الی ۷۵۰ گرم استفاده گردید که ۲عدد در تراز بام و ۴ عدد در هر یک از طبقات قرار گرفته و به صورت جرم متمرکز مدل شده‌اند. (شکل ۳)

المان ضربه‌زن بر روی هر سه طبقه نصب گردید ولی در این تحقیق فقط از المان نصب شده در تراز سوم استفاده گردیده است. هر المان ضربه‌زن که برای تنظیم فاصله دو سازه نیز استفاده گشته از دو قسمت بدنه که قوطی ۲۰×۲۰ با ضخامت ۳/۳۷ میلیمتر و طول ۲۴۰ میلیمتر می‌باشد و المان تنظیم فاصله و عامل ضربه‌زن که از پیچ نمره ۸ به طول ۶۰ میلیمتر است، تشکیل شده است. برای اتصال دو سازه از نبشی ۴×۴۰×۴۰ استفاده گردید که توسط پیچ به المان بدنه ضربه‌زن و از سمت دیگر به ستون سازه شش طبقه مجاور متصل گردید. در شکل(۶) قسمت سمت چپ دو المان ضربه‌زن و پیچ تنظیم فاصله دیده می‌شوند.

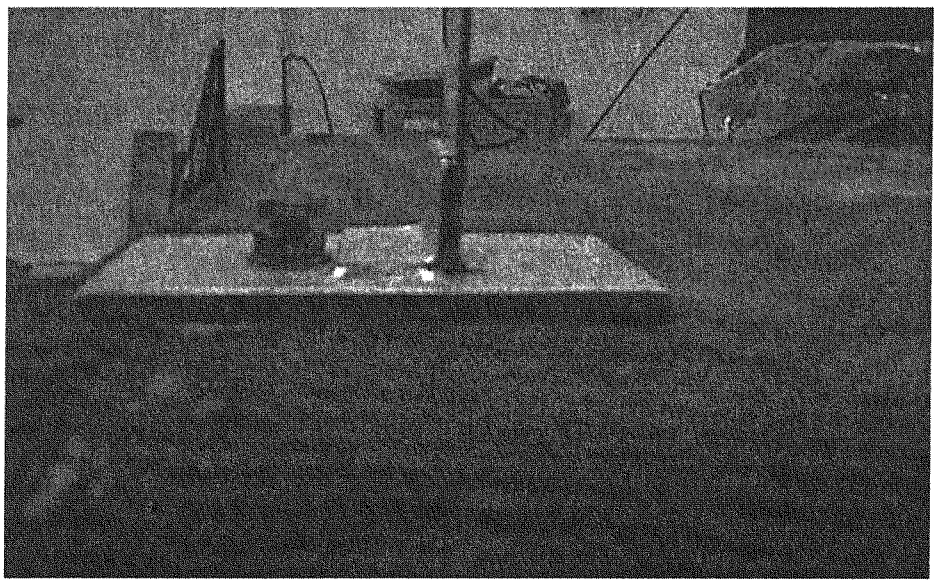
۲ـ میز لرزان و تجهیزات جمع آوری اطلاعات

میز لرزان مورد استفاده متعلق به پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ایران و ساخت کارخانه SERVOTEST به ابعاد ۱۲۰×۱۳۰ سانتیمتر و یک جهته می‌باشد. توسط این میز تاریخچه شتاب، سرعت و یا تغییر مکان از

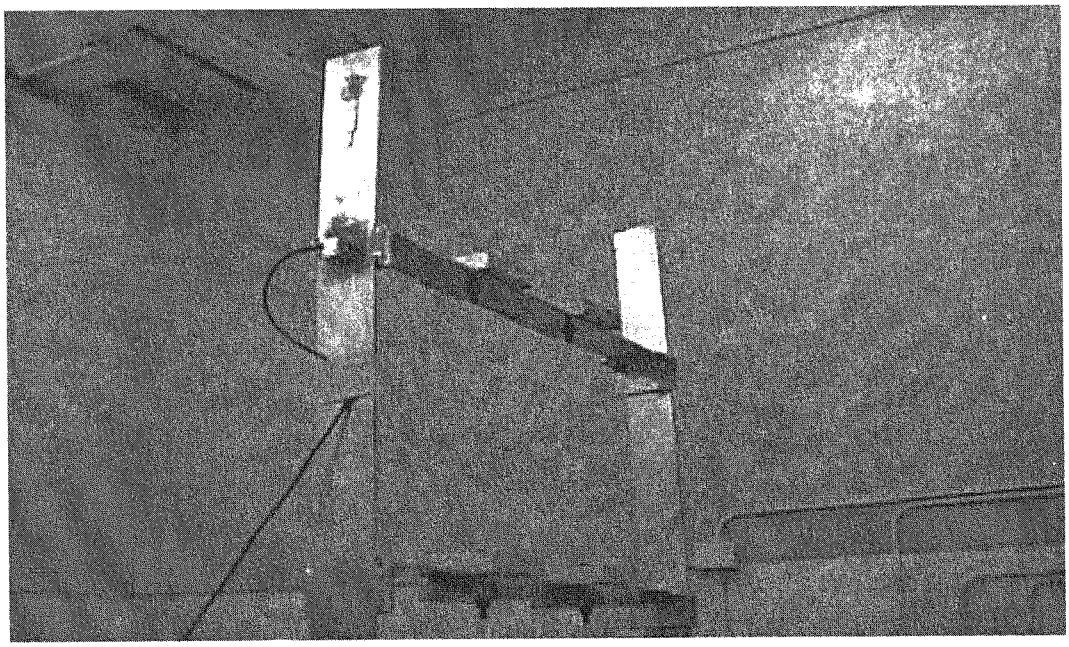
طـریق کامپـیوتر و نـرم افـزار مناسب به ضربه‌زن هیدرولیکی میز(Actuator) و از آنجا به صفحه سخت میز لرزان برای القاء به سـازه قابل اعمال است. قطر ضربه‌زن هیدرولیکی میز لرزان ۱۵۰ میلیمتر می‌باشد. سیستم کنترل میز لرزان DCS –2000 و از نـوع پـردازش و کنـترل همزمان داده است. سیستم کنترل و اعمال فرمان میز، از قابلیت کنترل همزمان داده و کنترل عملکرد توابعی که در اعمال فرمان بحرانی می‌باشند مانند حدود آزمایش و کنترل ضربه‌زن برخوردار است.



شکل (۱) نمای دو سازه بر روی میز لرزان.



شکل (۲) نبشی و اتصال پای ستون.



شکل (۳) جرمها در تراز آخر و پنجم سازه مدل شش طبقه و سنسور شتاب.

با توجه به کمبود اطلاعات و در دسترس نبودن نرم افزارهای مناسب در زمان آزمایشات، ورودی اطلاعات زلزله به میزلرزان به صورت رکورد تغییر مکان زمین بود. لذا با استفاده از قاعده ذوزنقه رکوردهای شتاب زلزله به جابجایی تبدیل گشتند و با توجه به محدودیتها عملکرد میز لرزان با اعمال ضریب وزنی ۴۰٪ با فرکانس ۵۰۰ هرتز به میز لرزان اعمال شدند. دستگاه پردازش و برداشت داده DMC PLUS است که دارای ۸ کانال خروجی STRAINGAGE بوده و با استفاده از نرم افزار CAT MAN قابلیت ذخیره و پردازش و فیلتر نمودن داده‌ها را دارا می‌باشد. شتاب نگارهای مورد استفاده از نوع AR-F ساخت شرکتTML ژاپن بودند که به تعداد ۴عدد یکی برروی میز لرزان و سه عدد برروی دو سازه نصب گشتند. محل نصب این سنسورها دقیقاً در محل اتصال تیر و ستون قرار دارد تا شتاب طبقه را به صورت درست نشان دهد. شکل (۳) یکی از سنسورهای نصب شده را نشان می‌دهد. برداشت جابجایی توسط دو نوع سنسور SPD 100C و CDP 50 به تعداد ۴ عدد که یکی برروی میز لرزان و سه عدد دیگر آنها برروی ترازهای اول و سوم سازه سه طبقه و تراز سوم سازه شش طبقه مدل نصب شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۴) سنسور جایجایی سنج SDP 100 C را نشان می‌دهد.

۳ـ انواع آزمایشات انجام پذیرفته

آزمایشات اصلی شامل موارد زیر بودند:

۱ـ ارتعاش مدلها بدون تصادم

۲ـ ارتعاش مدلها همراه با تصادم و فواصل جدا سازی ۰/۵و۱/۰ سانتیمتر

۳ـ ارتعاش مدل همراه با ضربه و نصب پلی استیرن در روی تراز سوم سازه ۶ طبقه

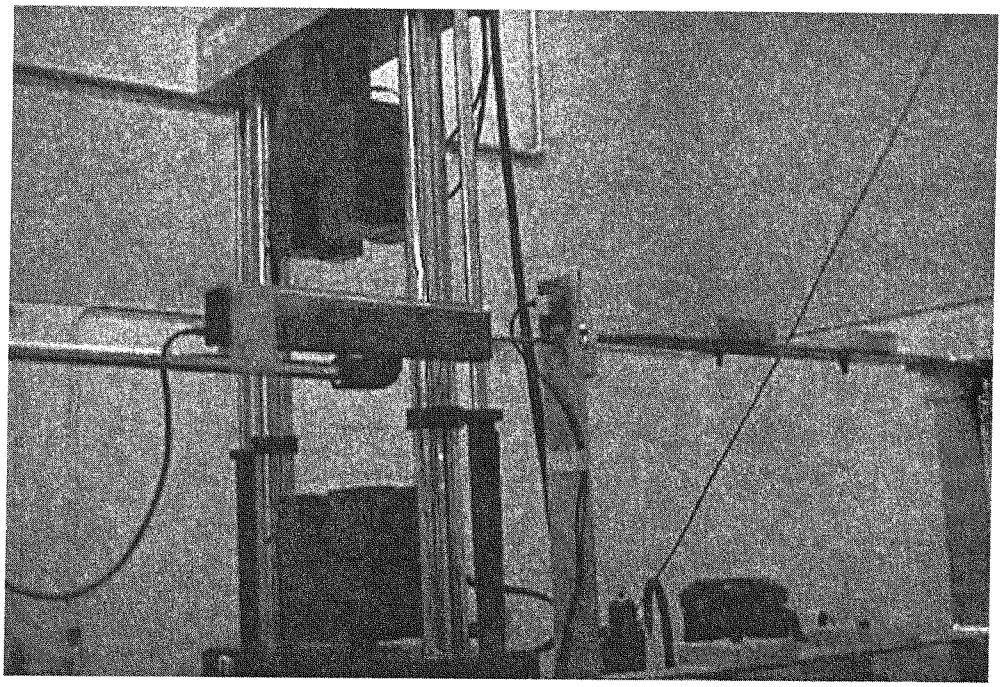
۴ـ ارتعاش مدل با بستن دو سازه در تراز سوم آنها به یکدیگر

۵ـ آزمایش ارتعاش مدل با اتصال دو سازه در ترازهای اول و سوم آنها به یکدیگر.

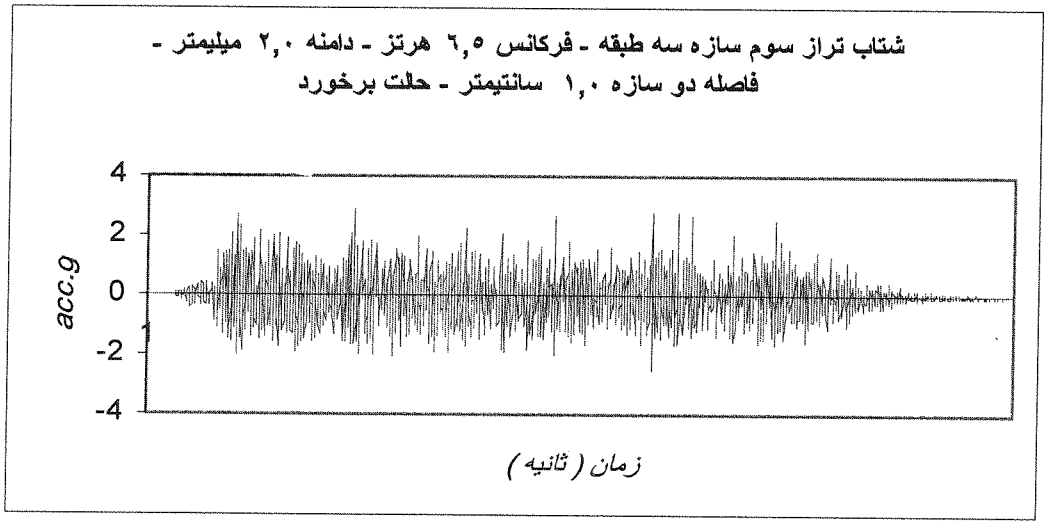
لازم به ذکر است که فرکانسهای مورد آزمایش با توجه به آزمایشات مقدماتی و پوشش مدهای احتمالی اولیه اصلی و نیز تنظیم فواصل با توجه به احتمال تصادم آنها انتخاب گردید. برای کنترل مقادیر ورودی انتخاب شده سنسورهای جابجایی سنج و شتاب برروی میز لرزان نصب شده بود که مقایسه بین نتایج برداشت شده از روی میز و ارقام اعمال شده تفاوت عمده‌ای نشان نداد که نمایانگر دقت بسیار خوب میز لرزان در این آزمایشات بود. مدت زمان اعمال ارتعاش سینوسی در اکثر موارد ۲۵ ثانیه بود ولیکن برای کنترل آزمایش و نیز دیده شدن پاسخ ارتعاش آزاد زمان برداشت ۳۵ ثانیه در نظر گرفته شد.

در آزمایش تحریک اجباری سینوسی، با فاصله جدا ساز ۱/۰سانتیمتر و دامنه تحریک ۰ /۱ میلیمتر، هیچ گونه ضربه‌ای مشاهده نگردید. در دامنه تحریک ۲ میلیمتر نیز به ازای فرکانسهای ۱و۱/۵ هرتز برخورد بین دو سازه رخ نداد. در حالت فاصله ۰/۵ سانتیمتر، از اعمال تحریک با دامنه ۲ میلیمتر صرفنظر گردید چرا که شدت شتابهای القاء شده خارج از حد مجاز تحمل سنسورها بود. در بقیه حالات ضربه در محدوده مجاز تحمل سنسورها رخ داد و برداشت گردید.(شکل۵)

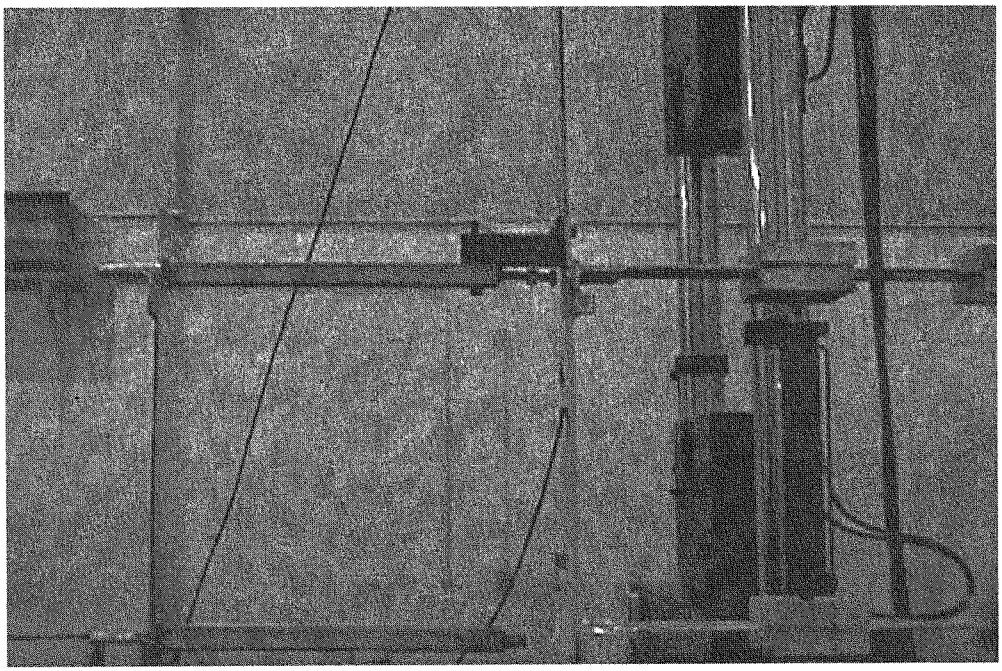
امتحان پلی استیرن به عنوان یک ماده مناسب ضربه گیر مرحله بعدی آزمایش بود. پلی استیرن در تراز سوم سازه شش طبقه که محل محتمل به برخورد بین دو سازه بوده و عملا در آزمایشات نیز ضربه در آن محل مشاهده گردیده بود نصب شد. به علت رفتار غیرخطی این ماده و عدم وجود امکانات مناسب برای بررسی رفتار آن، فقط تاثیر آن بر ضربه در مقام مقایسه با حالت برخورد و دیگر حالات مطالعه گردید. در گذشته، اتصال دو سازه به یکدیگر به صورت تحلیلی بررسی شده است، [۸] که برای مقاوم سازی یا درحالت احداث دو سازه مجاور به صورت همزمان و غیره می‌تواند موثر باشد لذا این روش نیز مورد آزمایش قرار گرفت.(شکل۶)



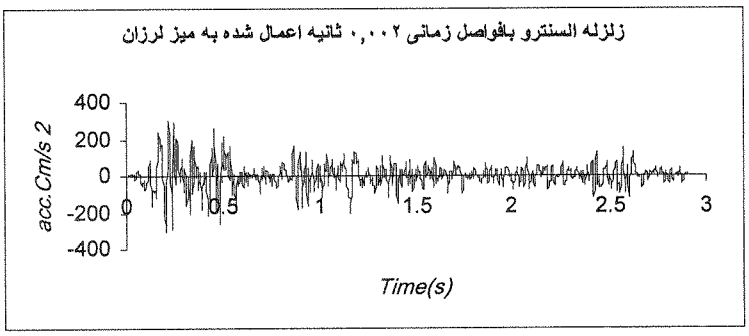
شکا , (٤) جابجایی سنج SDP 100 C

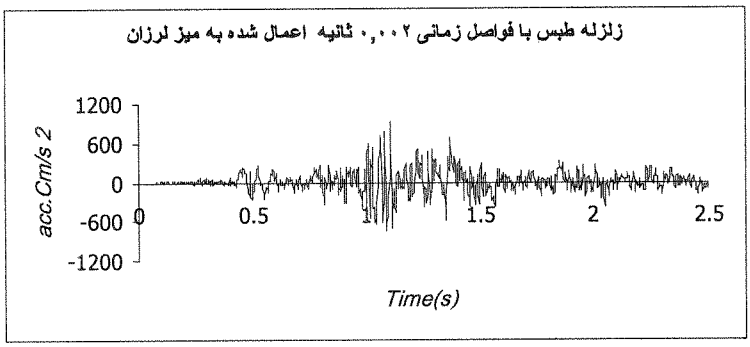


شکل (۵).



شکل (٦) اتصال دو سازه در ترازسوم و المانهای ضربه‌زن.





شکل (۷) زلزله‌های تبدیلی اعمالی به میز لرزان.

برای آزمایش تحریک لرزه‌ای، سه زلزله مختلف: طبس با شتاب حداکثر ۹۲۵/۳ سانتیمتر بر مجذور ثانیه، ناغان با شتاب حداکثر ۸۴۹/۲ سانتیمتر بر مجذور ثانیه و السنترو با شتاب حداکثر ۳۰۸ سانتیمتر بر مجذور ثانیه انتخاب گردید. همانطور که ذکر شد، با توجه به محدودیت نرم افزاری اثر زلزله فقط به صورت جابجایی قابل اعمال بود که با دوبار انتگرال گیری به روش ذوزنقه از شتابنگاشتهای آنها رکورد به جابجایی تبدیل شد و نیز با توجه به شرایط آزمایشها فواصل داده‌های زلزله‌های فوق الذکر از ۰/۰۲ ثانیه به ۰/۰۰۲ تبدیل گشت. با توجه به تغییرات صورت پذیرفته، این زلزله‌ها در ادامه بحث به نام زلزله‌های تبدیلی نام‌گذاری شدند. این سه زلزله در شکل (۷) نشان داده شده است.

آزمایشات لرزه‌ای صورت پذیرفته به شرح زیر می‌باشند:

۱ـ آزمایش برخورد دو سازه با فاصله جداسازی ۱/۰ سانتیمتر؛

۲ـ آزمایش برخورد دو سازه با فاصله جداسازی ۰/۵ سانتیمتر؛

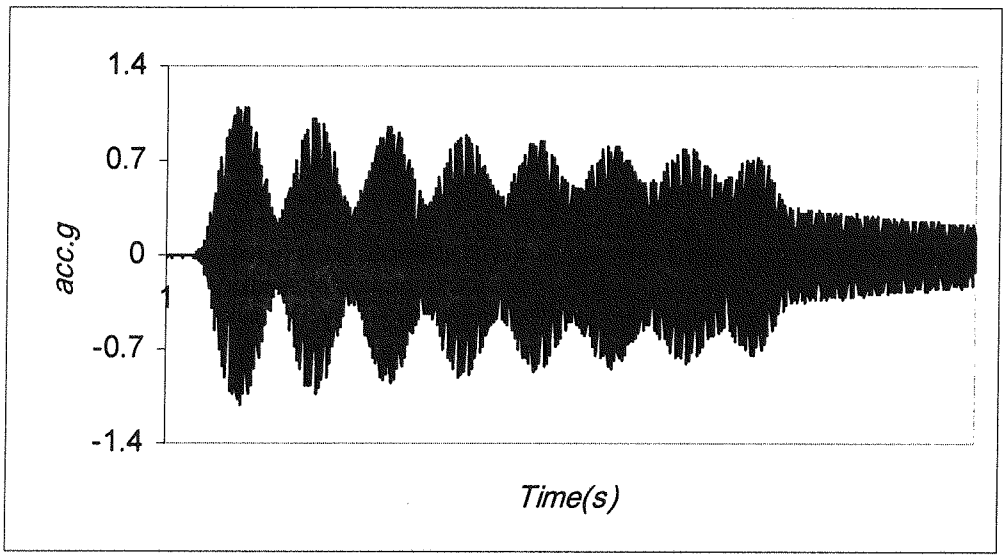
۳ـ بستن دو سازه در تراز سوم به یکدیگر؛

۴ـ بستن دو سازه در تراز سوم و نیز تراز اول آنها به یکدیگر.

کلاً آزمایشات اصلی انجام پذیرفته اعم از تحریک لرزه‌ای و یا آزمایش تحریک سینوسی با دامنه ثابت شامل ۶۸ نوع مختلف بودند، که با توجه به فرکانسهای مختلف و دامنه‌های گوناگون و نیز نحوه رفتار مدلها با یکدیگر تقسیم بندی شده‌اند.

٤ـ نتایج حاصل از آزمایشات

در حالت ارتعاش سینوسی بدون ضربه پاسخ شتاب و جابجایی تراز سوم سازه شش طبقه برای هر یک از مقادیر فرکانس و دامنه مورد آزمایش دارای تغییرات بیشتری بودند. در این حالت به ازای فرکانس ۶/۵ هرتز، شتاب تراز سوم سازه شش طبقه حالت ضربان را نشان داد. (شکل ۸) پس از تحلیل آن به روش FFT (تبدیل سریع فوریه)، مشخص گردید فرکانس ۶/۲ هرتز در سازه تحریک گردیده است که احتمالاً یکی از فرکانسهای اصلی سازه می‌باشد. در حالت برخورد دو سازه، پاسخ بزرگتر در فرکانس ۴/۵ هرتز رخ داد که در شکل (۹) این حالت دیده می‌شود.



شکل (۸) حالت ضربان در فرکانس ٦/٥ هرتزدر تراز سوم سازه شش طبقه.

قابل توجه اینکه، با وجود کاهش فاصله دو سازه به میزان ۰/۵ سانتیمتر، شدت شتابها با کاهش دامنه کم شده است و افزایش فاصله در شتاب اثر معکوس بر جا گذاشته است که این امر در تغییر دامنه ارتعاش از ۲ میلیمتر به ۰/۶ میلیمتر نیز دیده می‌شود. لذا می‌توان فرض نمود که اولاً کاهش دامنه اعمالی اثر بیشتری در کاهش پاسخ شتاب نسبت به موقعیتی که فاصله دو سازه افزایش یافته دارد و در ثانی می‌توان گفت که افزایش فاصله در صورتی که برای جلوگیری از برخورد کافی نباشد بر عکس می‌تواند به علت افزایش سرعت اولیه سازه‌ها باعث افزایش پاسخ شتاب گردد. در حالت نصب پلی‌استیرن

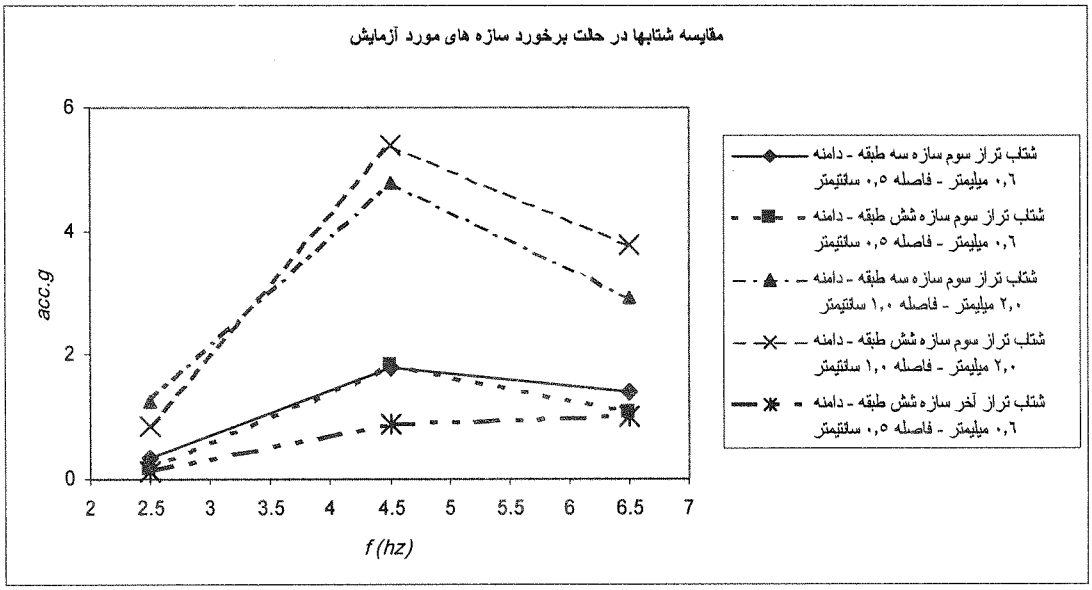
همانگونـه کـه در شکل (۱۰) دیده می شود، اثر کاهندگی در شتاب القایی کاملا واضح می‌باشد. این تاثیر در تراز محل برخورد دو سازه وضوح بیشتری دارد.

علاوه بر کاهش شتاب، نصب پلی‌استیرن باعث کاهش جابجایی حداکثر نیز شده است و اثر آن در شکل (۱۱) دیده می‌شود هر چند که در این حالت نیز دامنه اعمال شده، اثر زیادی بر پاسخ دارد.

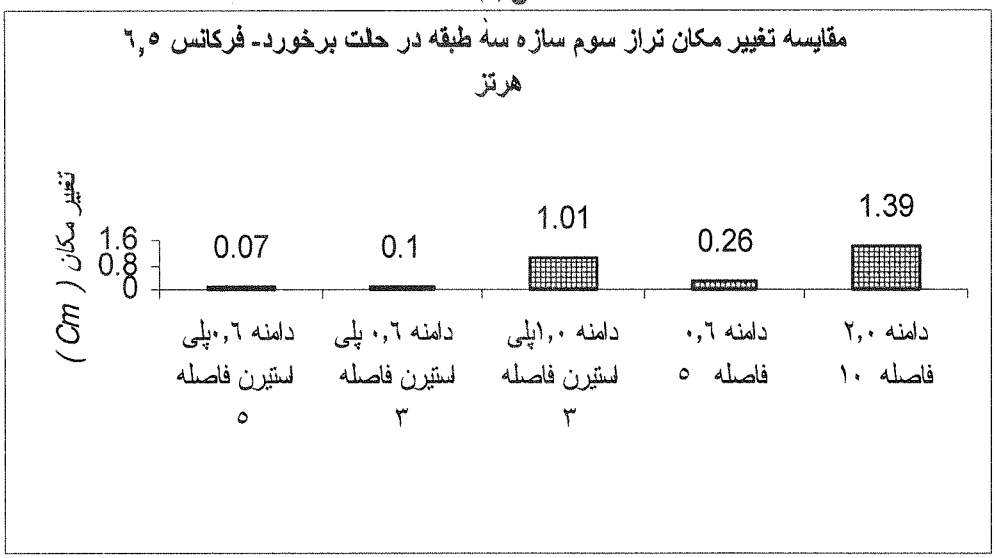
در حالـت اتصـال دو سـازه، پاسـخ حداکـثر در حالـت فرکانس ۲/۵ هرتز رخ داد که می‌تواند به علت سخت‌تر شدن سازه و تبدیل رفتار از حالت دو سازه به صورت یک سازه باشد. شکل (۱۲) پاسخ جابجایی را نشان می‌دهد.

بـه طـور کلـی ، اتصـال دو سـازه باعث کاهش کلی پاسخ گشته است که مقایسه این حالت با دو حالت نصب پلی استیرن و ضربه با فاصله ۰/۵ سانتیمتر در شکل (۱۳) دیده می‌شود.

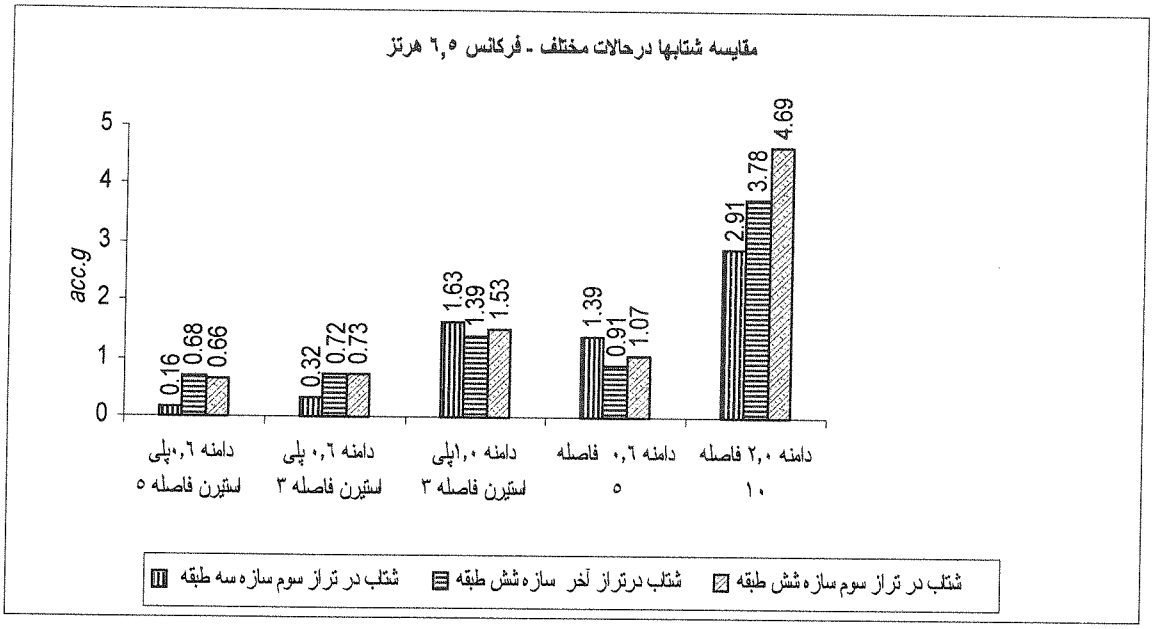
در خصـوص تحـریک لرزه‌ای، نتایج کلی مشابه تحریک سینوسی با دامنه ثابت بودند. همانطور که در شکل (۱۴) به عنوان نمونـه دیـده مـی‌شـود، در ایـن حالـت نـیز با وجود کاهش فاصله بین دو سازه، پاسخ شتاب یا کاهش یافته و یا تفاوت چندانی نـنموده است که تایید کننده اثر معکوس فاصله ناکافی زیاد بر پاسخ می‌باشد و در سایر زلزله‌ها نیز رفتاری کمابیش شبیه زلزله تبدیلـی نمـایش داده شـده دیـده مـی‌شود. همچنین اثر اتصال دو سازه در تراز سوم بر کاهش شتاب واضح بوده و جالب توجه اینکه اتصال در دو تراز نسبت به اتصال در یک تراز اثر کاهندگی زیادی بر پاسخ نشان نداده است.



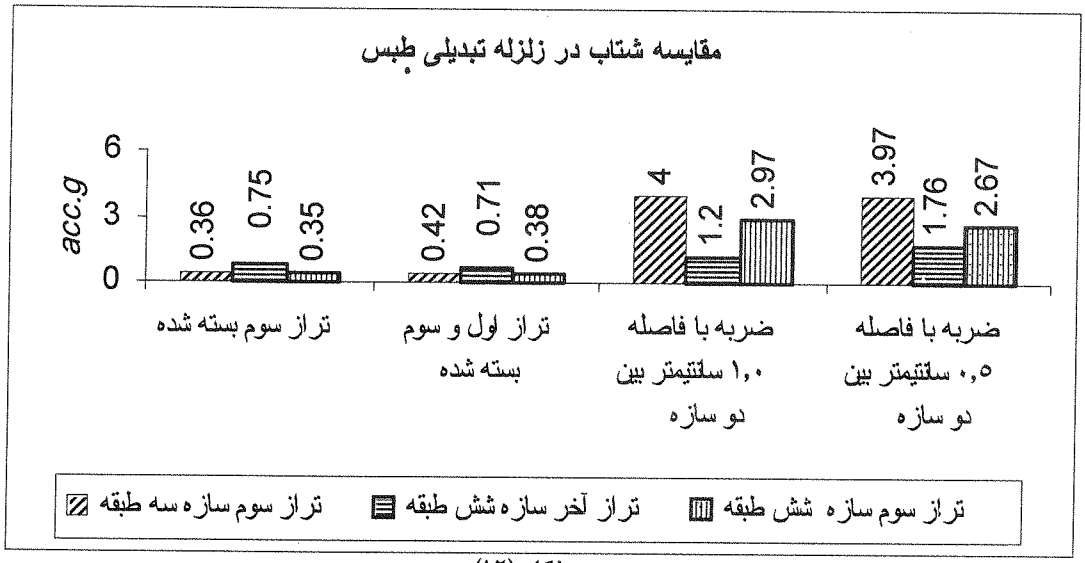
شکل (۹).



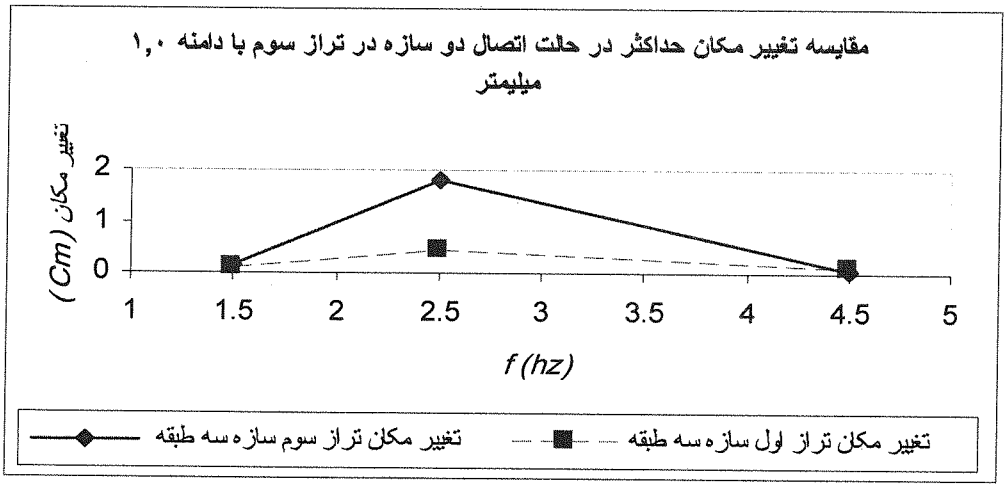
شکل (۱۰).



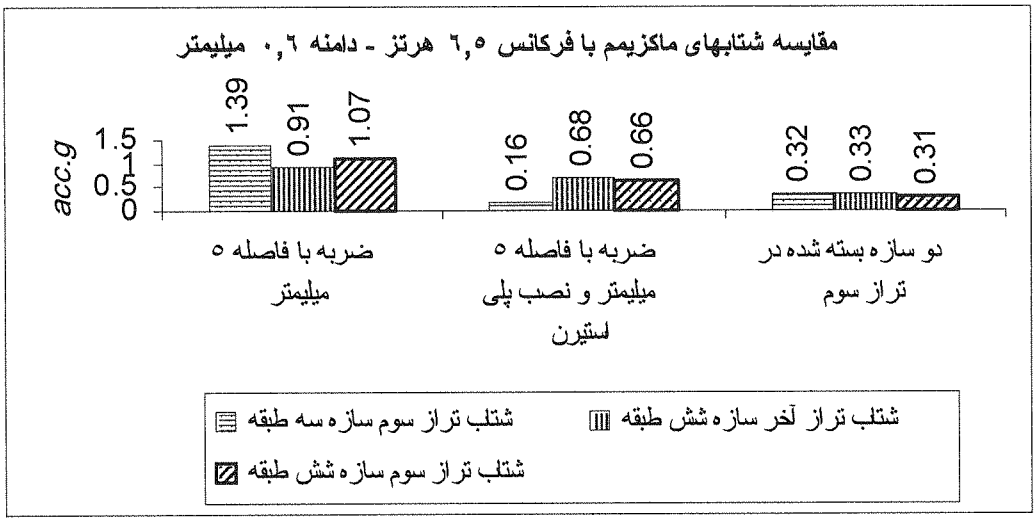
شکل (۱۱).



شکل (۱۲).

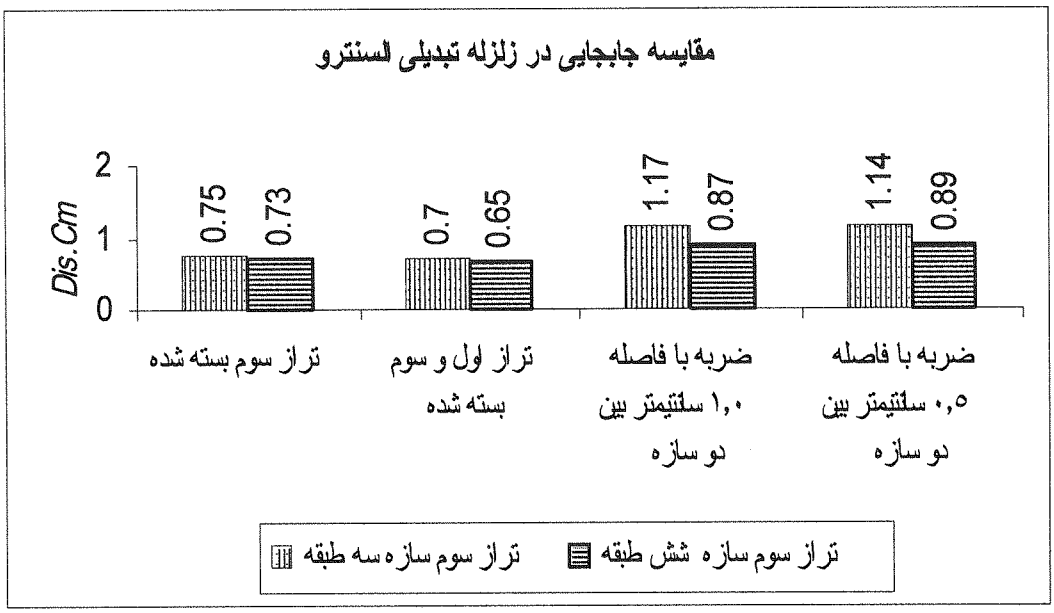


شکل (۱۳).



شکل (۱٤).

همچنین تغییر مکان ضبط شده در هنگام برخورد دو سازه با افزایش فاصله، بر عکس شتاب، کاهش پیدا کرده که به عنوان مثال در شکل (۱۵) مقایسه مذکور برای زلزله السنترو دیده می‌شود.



شکل (۱۵).

کلاً موارد محتمل ایجاد خطا در این آزمایشات را به صورت زیر می‌توان فهرست نمود:

احتمال ورود سازه در هنگام ضربه به حالت غیر خطی و یا هنگام اتصال دو سازه، خطای برداشت داده‌ها، ضعف تجهیزات مورد استفاده، جابجا شدن تجهیزات خصوصاً سنسورهای برداشت جابجایی، محدودیت تحمل سنسورها، تفاوت در ارتعاش القایی خواسته شده و اعمال شده، خطاهای حاصل از محاسبات ریاضی، مشخصات هندسی اتصالات و مشخصات هندسی سطح المان ضربه‌زن، تغییرات سرعت در حین ضربه، عدم وضوح مشخصات مواد تحت حالت ضربه، امکان تحریک سایر مودها و عدم گیرداری کامل اتصالات در حالت واقعی.

نتایج کلی این مطالعه را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱- استفاده از ضربه‌گیر باعث کاهش شتاب حداکثر در هر دو سازه مدل شده است که میتواند برای اقلام غیر سازه‌ای و تجهیزات الکتریکی و مکانیکی و اجزاء معماری که در آنها شتاب زیادی القاء می‌شود مهم باشد.

۲- اتصال در دو تراز نسبت به اتصال در یک تراز، تفاوت زیادی در مقادیر حداکثر پاسخ جابجایی و شتاب در آزمایش و تحلیل

نشان نداد.

۳- اتصال در یک تراز باعث کاهش پاسخ جابجایی می‌شود.

۴- در صورت ناکافی بودن فاصله دو سازه، افزایش این فاصله ناکافی می‌تواند اثر معکوس بر پاسخ دو سازه بر جا گذارد.

۵- اتصال دو سازه، مشخصات دینامیکی سازه‌های متصل شده را به میزان زیادی تغییر می‌دهد.

البته لازم به ذکر نمی باشد که طبعاً نتایج ارائه شده بر اساس رفتار مدلهای فولادی بکار رفته در این تحقیق بدست آمده‌اند و تعمیم این نتایج به سازه‌های واقعی و یا ساخته شده از مصالح دیگر در حالت عمومی نیاز به مطالعات و آزمایشات بیشتری دارد.

مراجع

[1] Anagnostopoulos. S.A, Earthquake induced pounding: State of the art, 10th European Conf. On Eathquake Eng, 897-905 (1995).

[2] Anagnostopolos. S.A.and Spiliopouls. K.V, An investigation of Earthquake induced pounding between adjacent Building. Earthquake Engineering and Structural Dynamics: Vol. 21,289-302 (1992)

[3] Bertero.V.V, Implications of observed pounding of Buildings on Seismic Cod Regulations. 11th World Conf. On Earthquake Eng. Paper no.2102, (1996).

[4] Conoscente. J.P.and Hamburger. R.O.and Jonson.J.J, Dynamic analysis of impacting Structural. systems, 10th World Conf.on Earthquake Engineering, Page 3899-3903 ,(1992)

[5] Kasai Kand Jeng.Vand Maison B.F, The significant Effects of pounding induced Accelerations on Building Appurtenances, ATC-29, 155-166

[6] Kasai.K.and Maison.B.F,Building pounding damage during the1989 Lomaprieta earthquake,Engineering stuctures,Vol 19.NO.3,195-297 (1997).

[7] Sortis. A.D and Pasquale. G. D and Orsini. Gand Biondi. S and Nyti .C and Vanzi.L.Hospitals, Behavior During the September 1997 Earthquake in Umbria and Marche (Italy), 12 WCEE, 2514 (2000).

[8] Westermo. B.D, The Dynamics of interstructural connection to prevent pounding, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, VOL. 18,687-699, (1989).

[۹] نعیم .فرزاد ، ترجمه: اوشک سرایی. رضا، کتاب مرجع طرح سازه‌ها در برابر زلزله، جلد اول، انتشارات دانشگاه گیلان .۱۳۷۴.

[۱۰] معبودیان. ایده، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران ـ سازه، استفاده از میز لرزان در بررسی اثر برخورد ساختمانها حین زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی ، دانشکده تحصیلات تکمیلی، واحد جنوب تهران.۱۳۸۰