بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

گروه زلزله

موضوع پایان نامه:

بررسی عملکرد فابهای فلزی پرشده تحت اثر زلزله در دو جهت

دانشجو: مهرانگیز محمدزاده (۸۶۰۱۸۷۴)

استاد راهنما: آقای دکتر سید بهرام بهشتی اول

بهار ۸۹

چکیده

در ترکیب سازه ها در اوایل قرن بیستم غالباً از دیوار آجری غیر مسلح برای پر کردن داخل قابها، به منظور محافظت ساختمان از شرایط جوی، زیبایی خارجی ساختمان و تقسیم بندی فضاها جهت بر طرف نمودن نیازهای معماری، استفاده می شد. معمولاً در طراحی سازه های قابی تحت بارهای جانبی از اثر میانقاب ها روی سختی سازه صرفنظر شده و همواره فرض می شود که بااین کار یک حاشیه اطمینان اضافی را درعملکرد ساختمان تحت بارهای جانبی خواهیم داشت، در حالیکه تجربیات حاصل از زلزله های گذشته حاکی از تغییر رفتار قاب های شامل میانقاب در زلزله و آسیب پذیری این نوع سازه ها می باشد.

در پایان نامهٔ حاضر به بررسی رفتار لرزه ای قاب فلزی پرشده با مصالح بنایی پرداخته شده است. تمامی مدلها در این تحقیق به روش اجزای محدود در نرم افزار ABAQUS مدلسازی شده است. پس از مقایسهٔ نتایج مدلسازی کامپیوتری و نتایج آزمایشگاهی سازهٔ مذکور و حصول اطمینان از مدلسازی انجام شده، مواردی نظیر تأثیر نوع اتصال تیر به ستون، اثر ضخامت های متفاوت میانقاب، مقایسه رفتار قاب و دیوار تک با رفتار قاب مرکب، تأثیر اعمال رکورد در دو جهت و مقایسه نتایج با حالتی که تنها رکورد در یک جهت به سازه اعمال گردد، آنالیز مدل ساخته شده با دستک معادل و اعمال رکورد در یک و دو جهت به مدل مذکور و در پایان تفاوتهای میان نتایج حاصل از آنالیزهای استاتیکی رانشی و دینامیکی افزایشی بررسی شده است. نتایج حاصل از این تحقیق تأثیر غیر قابل چشم پوشیِ میانقابها در پاسخ دینامیکی سازه ها را به خوبی نشان داده و نیز بیان کنندهٔ وجود برخی اشکالات در روشهای طراحی کنونی و روابط آیین نامه ای می باشد.

فصل اول:

مقدمه

۱-۱) ضرورت توجه به نقش میانقابها

زلزله به عنوان یکی از مخربترین بلایای طبیعی است که بشر همواره در طول دوران حیات خود با آن مواجه بوده است. نگاهی به آمار و ارقام تلفات و خسارات ایجاد شده ناشی از بلایای طبیعی سهم عمده این اثر مخرب را در کل خرابی ها و تلفات جانی نمایان می سازد.

در این میان نگاهی به سابقه لرزه خیزی کشور مشخص می سازد که اکثر مناطق آن همواره در معرض خطرات ناشی از زلزله های مخرب قرارداشته و در نتیجه تلفات و خسارات سنگین و غیرقابل جبرانی را به بار آورده است، در سال های اخیر زلزله های طبس (۱۳۵۷) و منجیل (۱۳۶۹) شاهد این مدعا می باشند. باتوجه به اینکه جدای از تلفات وارده توسط زمین لرزه ها عمدتاً خسارات اقتصادی آنها توسط گروه آسیب دیده قابل جبران نمی باشد. از اینرو امروزه بررسی رفتار سازه های مختلف تحت بار زلزله به منظور کاهش تلفات و خسارات مالی جبران ناپذیر، به مسئله ای بسیار مهم در طراحی سازه تبدیل شده است.

ایران به دلایل مختلف از جمله آب و هوا، بومی بودن مصالح ساخت و ساز و ... دارای سبکهای گوناگون ساختمان سازی است. ساختمان با قاب مرکب نیز یک نوع از این ساختمانها محسوب می شود. این نوع میانقاب ها نه تنها برای محافظت ساختمان از شرایط جوی استفاده می گردد، بلکه برای تقسیم بندی فضاها جهت بر طرف نمودن نیازهای معماری نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

در طراحی سازه های قابی تحت بارهای جانبی از اثر میانقابها روی سختی سازه صرفنظر شده و همواره فرض می شود که با این کار یک حاشیه اطمینان اضافی را در عملکرد ساختمان تحت بارهای جانبی خواهیم داشت درصورتیکه با توجه به تعداد میانقابها درسازه های مختلف و مطالعاتی که روی سازه های تحت نیروی زلزله انجام شده مشاهده می شود که اثر میانقابها روی سازه بسیار مهمتر ازچیزی است که تاکنون تصور می شده است. هنگامی که داخل قابی را با دیوار پر کنیم خواص مکانیکی آن نظیر

سختی، مقاومت و شکل پذیری و در کل مشخصات دینامیکی آن بطور چشمگیری تغییر می کند؛ به گونه ای که نمی توان با جمع ساده خواص قاب و دیوار تنها به این خواص دست یافت.[۱]

میانقاب ها معمولاً بسیار سنگین و سخت بوده و باعث می شوند که نیروی اینرسی زلزله وارد بـه سـازه افزایش چشمگیری یابد. از آنجا که کاربرد آنها در جدا نمودن فضاها اجتناب ناپذیر اسـت و کـاربرد درز نیز که به توصیه آیین نامه ها برای بی اثر ساختن سختی آنها در قاب اجرا می شود، تحـت زلزلـه هـای بزرگ ممکن است مانع اثر آن بر تغییر سختی قاب اصلی نشود، لذا منطقی است که اثر مخـرب آنهـا را کاهش داده و تا حد امکان از آنها استفاده مفیدی جهت تحمل نیروی جانبی به نحـو مطلـوب بـه عمـل آید. بر اساس روال فعلی آیین نامه های زلزله، اثر میانقابها در مدلسازی محاسـباتی منظـور نمـی گـردد ولی در عمل بعلت سختی زیادشان علاوه بر کاهش پریود، به علت چیدمان غیر متقارن باعث می شـوند که مرکز سختی طبقه با آنچه در طراحـی فـرض شـده اسـت بسـیار متفـاوت بـوده و در نتیجـه عمـلاً ساختمان مستعد پیچش غیر منتظره شود.

از طرفی وجود میانقاب در یک یا چند دهانه و خالی ماندن بقیه دهانه ها توزیـع سـختی را چنـان نامتقارن می کند که عمده نیرو های زلزله جذب دهانه های پر می شود به صورتی که مابقی دهانـه هـا در جذب این نیرو ها بی اثر می مانند که این حالت باعث عکس العمل شـدید میانقـاب در برابـر قـاب و آسیب ستون در محل اتصال خواهد شد.

آیین نامه های کنونی ساخت ساختمان های جدید دسـتورالعمل هـای انـدکی بـرای طراحـی میانقابهـا دارند، اما تحقیقات اخیر که در ارتباط با مقاوم سازی لـرزه ای سـاختمانها صـورت گرفتـه ، روش هـای جدیدی را برای تعیین مقاومت میانقابها و تغییر مکانهای آنها در برابر نیروهای جانبی زلزله (مـوازی یـا عمود بر صفحه میانقابها) ارائه می دهند، که متأسفانه این روشها به دفاتر طراحـی و مهندسـین مشـاور راه نیافته است و طرح سازه ها بی توجه به اندرکنش قاب و میانقاب و صرفاً بر پایه مقاومـت و سـختی قاب خالی انجام می شود[۲].

۱- ۲) کاهش صدمات ناشی از میانقابها

کاربرد میانقاب ها باید با در نظر گرفتن وضعیت سازه ، محاسبات طراحی و شرایط اقتصادی به گونه ای باشد که حاشیه اطمینان معقولی در سازه وجود داشته باشد و در نتیجه صدمات ناشی از میانقاب ها به حداقل ممکن رسانده شود. در جهت نیل به اهداف فوق یکی از راه حل های موجود، استفاده از میانقاب هایی با مصالح ویژه همچون فایبرگلاس، ترکیبات پلیمری، پانل های سبک چوبی و گچی و .... میباشد که راه کارهای نسبتاً پرهزینه ای محسوب می گردند. از راه کارهای دیگر در ارتباط با نوسازی و یا مقاوم سازی میانقاب ها عبارتند از : پوشش های بتنی و فلزی (surface coatings) (جهت محصور شدن)، بتن پاشی مسلح (reinforced shotcrete) (ترجیحا دوطرفه) ، ایجاد هسته های عمودی مسلح یا پیش تنیده (reinforced or prestressed vertical cores) ، شبکه های پلیمری (polymeric nets) فیبرهای مسلح پلیمری (fiber reinforced polymers) به انضمام چسب های اپوکسی .

در تمامی روش های فوق مقاوم نمودن پی سازه در کنار این مقاوم سازی ها لازم و ضروری می باشند، که در غیر اینصورت به دلیل تغییر سختی و وزن سازه امکان بروز پیچش های ناشی از عدم تقارن ثانویه، ایجاد پدیده واژگونی در سازه و در عین حال نشست نامتقارن پی دور از انتظار نخواهد بود . [۳]

۱-۳)کلیات موضوع تحقیق

هدف از انجام این پایان نامه بررسی تاثیر میانقابها در رفتار لرزه ای قابهای فولادی می باشد که درمطالعات انجام شده سعی شده چگونگی پاسخ دینامیکی سازه های فولادی تحت اثر زلزله در یک و دو جهت، رفتار مدل های ساخته شده با دستک معادل به جای میانقاب، همچنین نحوه ترک خوردگی میانقابها، نوع اتصال تیر به ستون، اندرکنش قاب و میانقاب، تاثیر ضخامت میانقاب و... بررسی شود.

بدین منظور درفصل دوم به مطالعه تجارب خرابی میانقابها در زلزله های گذشته می پردازیم و چگونگی خسارتهای ایجاد شده دراعضای سازه ای و غیر سازه ای را بررسی می کنیم که این امر دید کلی از چگونگی خرابی ها در اعضای مختلف سازه ها را تاحدی روشن می سازد.

درفصل سوم به مرور مطالعات گذشته در مورد اثـر درز میـان میانقـاب و قـاب، اثـر مقاومـت مصـالح و میانقاب، اثر مسلح سازی میانقاب و...و نیز تحقیقات انجام شده در مورد مدلسازی میانقاب هـا پرداختـه شده است.

درادامه درفصل چهارم به بررسی نقش میانقابها در رفتار قابهای فولادی و رفتار میانقاب ها حـین زلزلـه پرداخته شده است و تلاش شده ضمن معرفی قابهای مرکب مباحثی نظیر انـدرکنش قـاب و میانقـاب، تأثیر درز بین قاب و میانقاب ، تأثیر خـواص مصـالح آجـری در رفتـار لـرزه ای قابهـای مرکـب ، رفتـار میانقابها تحت تأثیر بارهای درون صفحه و ... بررسی شود.

در فصل پنجم نکات خاص میانقابها با توجه به آیین نامه های موجود نظیر UBC، NEHRP، FEMA و استاندارد ۲۸۰۰ ایران بررسی شده است.

در فصل ششم به معرفی نرم افزار عددی پرداخته شده است. در این بخـش علـل اسـتفاده از نـرم افـزار ABAQUS در این پایان نامه، علل رفتار غیر خطی در سیستم ها، تحلیـل غیـر خطـی در ABAQUS، معیارهای گسیختگی و همگرایی جهت آنالیز و توضیح مدل دراکرپراگر در نرم افزار بیان شده است.

فصل هفتم به مدلسازی در نرم افزار و بررسی صحت مدل های کامپیوتری ساخته شده اختصـاص دارد. در این فصل روش و نحوه مدلسازی، پارامترهای موثر در مدلسازی و خصوصـیات مصـالح و روش آنـالیز مورد استفاده، بیان می‌گردد. بطور کلی در این پایان نامه مدلسازی ها به دو روش مدلسازی کلی و ریـز انجام شده است. در مدلسازی ریز یک قاب یک طبقه و یک دهانه با مشخصاتی مشابه مدل آزمایشگاهی مدلسازی شده و سپس حصول اطمینان از صحت مدلسازی، از طریق مقایسـه نتـایج مدلسـازی و مـدل آزمایشگاهی صورت گرفته است. در مدلسازی کلی نیز یک قاب یک طبقه و یک دهانه مدلسازی شـده، سپس برای اطمینان از صحت مدلسازی، نتایج با مدل آزمایشگاهی و نیز مدل ریـز کـامپیوتری سـاخته شده، مقایسه گردیده است.

پس از اطمینان از صحت مدلسازی ها، در فصل هشتم برای مدل کامپیوتری ریز مواردی نظیر نوع اتصال تیر به ستون، اثر ضخامت های متفاوت میانقاب، مقایسه رفتار قاب و دیوار تک با رفتار قاب مرکب، تأثیر اعمال رکورد در دو جهت و مقایسه نتایج با حالتی که تنها رکورد در یک جهت به سازه اعمال گردد، آنالیز مدل ساخته شده با دستک معادل و اعمال رکورد در یک و دو جهت به مدل مذکور و در پایان تفاوت های میان نتایج حاصل از آنالیزهای استاتیکی رانشی و دینامیکی افزایشی بررسی شده است.

در مدلسازی کلی نیز نخست مدل قاب یک طبقه و یک دهانه مدلسازی شده در فصل هفتم، به یک قاب دو بعدی سه طبقهٔ سه دهانه که در دهانه میانی میانقاب دارد، تعمیم داده شده است و مقایسه ای میان نتایج آنالیز این مدل با مدل قاب بدون میانقاب صورت گرفته است. در نهایت یک سازه سه بعدی سه طبقه که در هر دو جهت سه دهانه دارد و در یک جهت در دهانه میانی میانقاب دارد، تحت اثر رکورد در یک و دو جهت بررسی شده و سپس مدلی با مشخصات فوق با این تفاوت که به جای مدل میانقاب از دستک معادل استفاده شده، ساخته شده است و نتایج حاصل از آنالیز مدل با دستک معادل با نتایج حاصل از مدل قبل مقایسه شده است. در پایان در مدل سه طبقهٔ پر شده با میانقاب نتایج بدست آمده از آنالیز استاتیکی رانشی با نتایج حاصل از آنالیز دینامیکی افزایشی مقایسه گردیده و میزان دقت آنالیز رانشی بررسی گردیده است.

فصل دوم:

تجارب خرابی میانقابها در زلزله های گذشته

در بسیاری از زلزلـه ها دیده شده که خسارتهای زیادی به المانهای غیـر سـازه ای نظیـر: (۱) بخشـهای معماری که شامل دیوارهای جدا کننده، نـازک کـاری، در و پنجـره، گـچ بـری هـا و...مـی باشـند، (۲) تجهیزات و وسایل مستقر در ساختمان، (۳) تاسیسات مکانیکی و برقی ، وارد می شود.

میانقاب ها نیز از بخشهایی هستند که در زلزله آسیب می‌بینند و باعث آسـیب دیـدن قابهـا مـی‌شـوند چون اغلب اثر افزایشی آنها در سختی قاب در نظر گرفته نمـی‌شـود در هنگـام وقـوع زلزلـه، ایـن قابهـا نیرویی بیشتر از مقدار طراحی می‌گیرند و در نتیجه میانقاب های غیرمسلح بشـدت آسـیب مـی بیننـد (شکل ۲- ۱). تخریب این دیوارها به صورت شکست المان قطری فشاری یا لغزش افقـی پانـل خواهـد بود که با ایجاد شوک به قاب خمشی آسیب می رساند. اما باید توجه داشت که مقاومت و ظرفیت اتلاف انرژی در یک قاب توأم با میانقاب بسیار بیشتر از یک قاب خالی است. و لذا در یـک قـاب حـاوی دیـوار داخلی علیرغم افزایش نیروها بعلت افزایش سختی، پایداری در مقابل زلزلـه بیشتر است [۶ - ۴].

شکل ۲-۱ : تخریب میانقابهای محیطی ساختمانی در زلزله ۲۰۰۳ ترکیه

همچنین فرو ریختن دست انداز بام و قسمت‌هایی از نما از قبیل سنگ نما، قسمت های پیش ساخته یا زینتی نما، درو پنجره و بویژه شکسته شدن شیشه پنجره ها، می توانند علاوه بر خسارات مالی، جان افراد را به خطر اندازند. خرابی نازک کاری و گاهی شکستن کاشی ها خساراتی هستند که حتی در زلزلـه های خفیف رخ می دهند. ولی این خسارات به آسانی قابل تعمیر بوده و خسارات جانی به بار نمی آورند (شکل ۲-۲).

شکل ۲-۲ : خسارت به دیوار خارجی ساختمان، چنانکه ملاحظه می‌شود بی توجهی به ایمنی دیوارهای غیر سازه‌ای می تواند منبع تولید خسارت باشد (زلزلهٔ لس آنجلس).

۲-۱) خسارات ناشی از خرابی میانقابها

با توجه به الگوهای ساخت وساز در بیشتر کشورها، دیوارهای آجری بعنوان میانقاب در ساختمانها بکار میروند. با توجه به اینکه عموماً طراحی میانقابها بر اساس بارهای زلزله نمی باشد، به هنگام وقوع زمینلرزه خسارتهای عمده ای به آنها وارد میشود که باعث خرابی و یا واژگونی آنها می شود. خرابی ناشی از میانقابها میتواند باعث از بین رفتن تاسیسات داخل ساختمان شود ویا خطری جدی برای عابرینی باشد که در اثر پرتاب میانقابها به خیابان صدمه خواهند دید (شکل۲-۳).

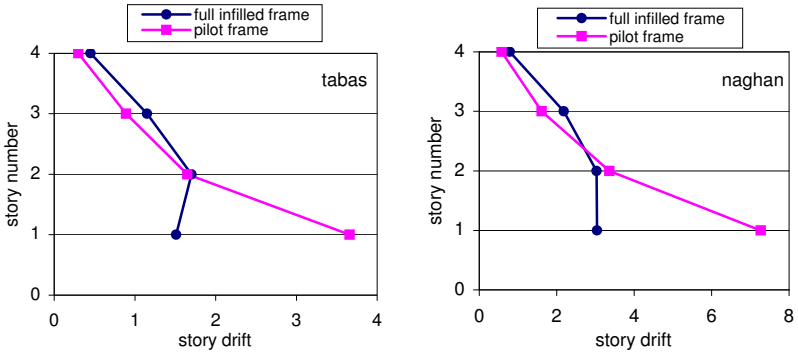
شکل ۲- ۳ : خسارات ناشی از خرابی دیوارهای آجری.

۲-۲) خرابی ناشی از حذف میانقابها

یکی از مسائلی که باید در طراحی سازه ها در نظر گرفته شود ایجاد تقارن در ارتفاع ساختمان می باشد. در برخی از سازه ها معمولاً برای ایجاد پارکینگ در طبقه اول یا ایجاد فضای باز برای ورودی مغازه ها میانقاب های آجری با مصالح بنایی در طبقه اول اجرا نمی شود. این مسأله باعث توزیع نامتناسب سختی در ارتفاع سازه می شود و به هنگام زلزله تشکیل مکانیزم نرم در طبقه اول را تسریع می بخشد.[۷]

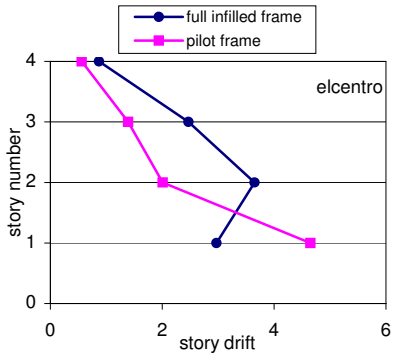
برای مقایسه رفتار چنین قابهایی در یک تحقیق، دو حالت مورد تحلیل قرار گرفته است. در حالت اول میانقابها در تمامی طبقات قاب بتن آرمه قرار می گیرند و درحالت دوم میانقابها در تمامی طبقات بالائی ادامه یافته و در طبقه اول حذف شده است (شکلهای ۲- ۵ تا ۲-۷) .

شکل ۲-۴ : بیمارستان الیوویو که به دلیل مساله طبقهٔ نرم آسیب دید.



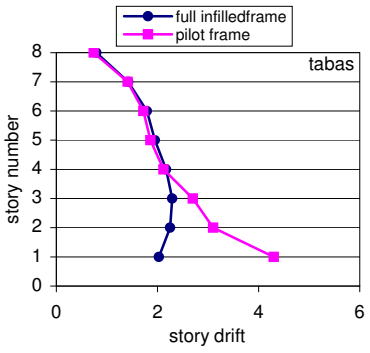
(ب)

(الف)

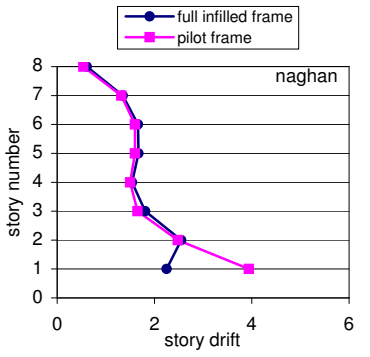


(ج)

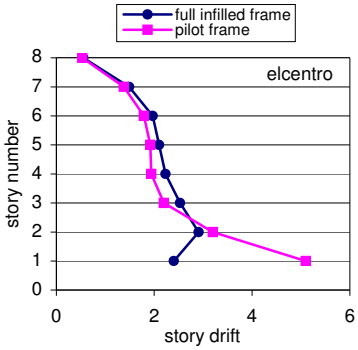
شکل ۲- ۵ : مقایسه بیشینه تغییر مکان نسبی طبقات در قابهای چهار طبقه میانقابدار وقابهای شامل بازشو درطبقه اول در محدوده غیر خطی تحت رکوردهای : الف) طبس؛ ب) ناغان ؛ ج) السنترو [۷]



(ب)

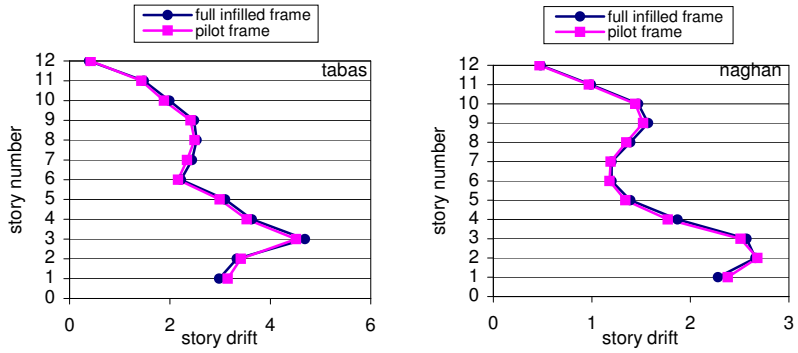


(الف)

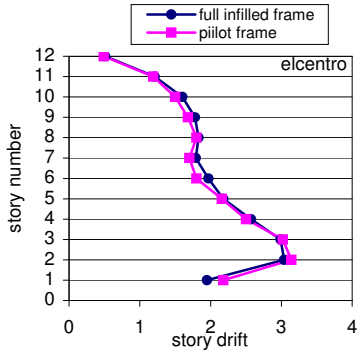


(ج)

شکل ۲- ۶ : مقایسه بیشینه تغییر مکان نسبی طبقات در قابهای هشت طبقه میانقابدار و قابهای شامل بازشو در طبقه اول در محدوده غیر خطی تحت رکوردهای : الف) طبس؛ ب) ناغان ؛ ج) السنترو [۷]



(ب) (الف)



(ج)

شکل ۲- ۷ : مقایسه بیشینه تغییر مکان نسبی طبقات در قابهای دوازده طبقه میانقابدار و قابهای شامل بازشو در طبقه اول در محدوده غیر خطی تحت رکوردهای : الف) طبس؛ ب) ناغان ؛ ج) السنترو [۷]

تحلیل های دینامیکی غیرخطی بیانگر این موضوع می باشد که وجود بازشوها در ساختمانهای چهار طبقه و هشت طبقه باعث تمرکز خسارت در طبقه اول و ایجاد مکانیزم در طبقه اول می شود (اشکال ۲-۵ و ۲-۶). بطوریکه تغییر مکان نسبی در طبقه اول بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.

در مورد ساختمانهای دوازده طبقه با توجه به تحلیلهای انجام شده چنین به نظر می رسد که ایجاد بازشوها در توزیع تغییر مکان نسبی تأثیر کمی داشته است (شکل ۲-۷). این امر احتمالاً به علت سختی زیاد قابها در طبقات اول قاب بتنی دوازده طبقه می باشد. از این رو چنانکه در زلزله های گذشته نیز مشاهده شده است ایجاد بازشوها بدون نظر گرفتن تمهیدات لازم در طراحی ستونهای طبقه اول در مورد ساختمانهای کوتاه می تواند بسیار خطرناک باشد.

۲-۳) شکست برشی ستونها به علت حضور میانقابها

یکی از متداولترین مودهای گسیختگی در سازه های بتنی شکست برشی ستون ها است که در اثر عمل متقابل دیوارهای محیطی کوتاه شده اند. به این مود گسیختگی اصطلاحاً شکست در ستون کوتاه گفته می شود در این حالت ستون به دلیل کوتاه بودن و نسبتی که بین نیروهای برشی و لنگر خمشی و ابعاد عضو وجود دارد به صورت برشی تغییر شکل داده و بجای اینکه رفتار خمشی از خود نشان دهد بصورت برشی رفتار می‌نماید و چون در طراحی غالباً به این موضوع اهمیت داده نمی‌شود و ستون برای اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری طرح می‌شود، لذا هنگام زلزله دچار شکست برشی می شود، در شکل (۲- ۸) شکست برشی ستون که وجود دیوار میانقاب طول آن را کوتاه کرده، نشان داده شده است.

شکل ۲- ۸ : شکست برشی ستون به دلیل وجود دیوار میانقاب.

این نوع شکست را به وضوع در اتصالهای ساختمان بتنی ادارهٔ دارایی رشت براثر زلزله منجیل (۱۳۶۹) می توان دید.

فصل سوم:

مروری بر مطالعات گذشته در مورد میانقابها و نحوه مدلسازی آنها

بطور کلی مطالعات انجام یافته بر روی اثر میانقاب ها در تغییر رفتار لرزه ای قابها را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

۳-۱) مطالعه درمورد اثر بار برروی تیرها و ستونها

ـ استافورد اسمیت [۷] در سال ۱۹۶۸ اثر بار گسترده یکنواخت قائم را که روی تیر بالایی یک قاب فولادی یک دهانه و یک طبقه اعمال شده بود از نظر سختی جانبی و مقاومت جانبی قاب مرکب تحت آزمایش قرارداد. او افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت جانبی قاب مرکب برحسب نسبت ابعادی میانقابها مشاهده نمود. این افزایش در مقاومت جانبی برای بارهای قائمی که ۴۰ تا ۶۰ درصد بیشتر از مقاومت فشاری قائم میانقاب نبود مشاهده شد. برای بارهای بالاتر، پارامتر کنترل کننده، مقاومت فشاری میانقاب می باشد و لذا مقاومت جانبی قاب مرکب کاهش می یابد.

ـ تیروونگادام [۸] با شبیه سازی قاب های مرکب متوجه شد که حضور بارهای قائم روی تیر موجب افزایش طول تماس بین قاب و میانقاب شده و در نتیجه میانقاب سهم بیشتری در مقاومت و سختی کلی سیستم ایفا می کند، لذا با افزایش طول تماس سختی و مقاومت سیستم افزایش پیدا می کند.

ـ همچنین والیاسیس واستایلند، درباره نتایج خود روی قابهای بتن مسلح پرشده از میانقاب با مصالح بنایی آجریی گزارش نمودند که یکی از پارامترهای مورد بررسی آنها وجود بار محوری فشاری در ستونهای قاب بود. نیروی محوری درستون در دو حالت صفر و یا ۸۰ کیلو نیوتن انتخاب شده بودند. آنها متوجه شدند که وجود فشار محوری در ستونها همواره باعث افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت جانبی قاب مرکب به میزان ۱۰۰ درصد می گردد.

۳-۲) مطالعه درمورد اثر درز بین قاب ومیانقاب

ـ مانیستون [۷] اثر فاصله بین قاب و میانقاب را بررسی نمود. او کاهش قابل ملاحظه ای را در سختی قاب مرکب زمانی که درز افقی ۱.۵ میلیمتری بین تیر بالایی قاب و میانقاب وجود داشت، مشاهده نمود.

ـــ برخلاف مانیستون ، پردوسی ومزی درسال۱۹۸۰ هیچگونه اثر قابل ملاحظه ای را برای وجود فاصله قائم بین میانقاب وستون قاب درسختی قاب مرکب مشاهده نکرد. آنها در نمونه آزمایشگاهی خویش از چهار لچکی در چهارگوشه (اتصال قاب و میانقاب) که بطورکامل قادر به انتقال نیروها از قاب به میانقاب بودند، استفاده نمودند.

آنها هیچگونه تغییرشکل آزادی را برای قاب با سختی پایین قبل از آنکه قاب با میانقاب تماس حاصل نماید، در مدلسازی اجازه ندادند.

ـــ مقدم و داولینگ [۷] درسال ۱۹۸۹ که آزمایش هایی برروی قابهای فولادی مرکب با فاصله کناری ۱۰۰ میلیمتری بین قاب ومیانقاب انجام دادند مشاهده کردندکه سختی قاب مرکب ۴۰ درصدکاهش یافت، درآزمایش آنها فاصله فوق تنها تا زیرگوشه بارگذاری شده ادامه داشت. در نمونه ای دیگر آنها تنها فاصله ۳ میلیمتری را درگوشه بارگذاری شده (بین میانقاب ، تیر وستون) فراهم نمودند، این امر موجب کاهش ۴۴ درصد در سختی و کاهش بسیار اندک (در حدود ۱۰ درصد) در مقاومت ترک قطری شد و نیز وجود درز ۵۰ میلیمتری بین میانقاب و ستونها و چسباندن میانقاب به قاب درکنج، موجب کاهش سختی به میزان ۴۳ درصد، کاهش مقاومت ترک قطری در حدود ۵۰ درصد و کاهش مقاومت نهایی به میزان ۴۴ درصد شد.

۳-۳) مطالعه درمورداثر بازشوها

ـــ مالیک و گارژ [۹] در سال ۱۹۷۱ اثر بازشوها را در نمونه های آزمایشگاهی بر روی سختی و مقاومت آزمایش نمودند. آن ها مشاهده نمودند که با وجود اتصالات برشی و قرارگیری بازشو در نزدیکی گوشه-های بارگذاری شده ، سختی سیستم بمقدار قابل ملاحظه ای کاسته می شود. همچنین درصورت وجود بازشو درکنج فشاری قاب مرکب تحت باگذاری جانبی، کاهشی بمیزان ۸۵ درصد در سختی و کاهشی درحدود ۷۵ درصد درمقاومت مجموعه بوجود می آید. هرقدر بازشو به کنج فشاری نزدیکتر باشد،