بررسی عملکرد قابهای فلزی پر شده با مصالح بنایی تحت اثر زلزله در دو جهت

سید بهرام بهشتی اول[۱]، مهرانگیز محمدزاده[۲]

۱- استادیار دانشگا ه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگا ه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

beheshti@kntu.ac.ir
mehrangiz_mohamadzade@yahoo.com

خلاصه

قابهای فولادی پر شده با دیوارهای بنایی یکی از رایج ترین نوع سازه در ایران محسوب می شود. علیرغم تأثیر میانقابها بر سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی ، این دیوارهای آجری به عنوان مؤلفه های سازه ای طراحی نمی شوند. خسارات این نوع سازه ها در زلزله های گذشته نشان می دهد که بررسی اثر میانقابها بر رفتار قاب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله، رفتار لرزه ای سازه یک طبقه با قاب فلزی پر شده با دیوار آجری با استفاده از نرم افزار ABAQUS مورد مطالعه قرار می گیرد. برای اطمینان از مدلسازی صحیح توسط نرم افزار ،از یک مدل آزمایشگاهی برای کالیبره نمودن مدل عددی استفاده شده است.پس از اطمینان از صحت مدلسازی رفتار قاب فلزی حاوی میانقاب، مدل اجزای محدود ابتدا تحت بارگذاری درون صفحه، سپس بارگذاری خارج صفحه و نهایتاً تحت بارگذاری درون و برون صفحه تواماً قرار گرفته و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: میان قاب های آجری، بارگذاری زلزله، تحلیل غیر خطی، ABAQUS.

۱. مقدمه

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. میانقابها 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. درطراحی سازه های قابی تحت بارهای جانبی از اثر میانقابها روی سختی سازه صرفنظر شده وهمواره فرض می شود که بااین کار یک حاشیه اطمینان اضافی را درعملکرد ساختمان تحت بارهای جانبی خواهیم داشت درصورتیکه باتوجه به 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 خواصی مکانیکی آن نظیر سختی، مقاومت و شکل پذیری و در کل مشخصات دینامیکی آن بطور چشمگیری تغییر می کند که البته نمی توان با جمع ساده خواص قاب و دیوار تنها به خواص قاب مرکب دست یافت. زلزله های اخیر نظیر بم در ایران یا ایزمیت در ترکیه اهمیت بررسی رفتار این نوع سازه ها را هم برای ساختمانهای موجود و هم برای ساختمانهایی که در آینده ساخته خواهند شد، نشان می دهد. آیین نامه های کنونی ساخت ساختمان های جدید دستورالعمل های اندکی برای طراحی میانقابها دارند، اما تحقیقات اخیر که در ارتباط با مقاوم سازی لرزه ای ساختمانها صورت گرفته ، روش های جدیدی را برای تعیین مقاومت میانقابها و تغییر مکانهای آنها در برابر نیروهای جانبی زلزله (موازی یا عمود بر صفحه میانقابها) ارائه می دهند، که متأسفانه این روشها به دفاتر طراحی و مهندسین مشاور راه نیافته است وطرح سازه ها بی توجه به اندرکنش قاب و میانقاب و صرفاً بر پایه مقاومت و سختی قاب خالی انجام می شود. میانقابهای آجری باید طوری طراحی شوند که هم در برابر نیروهای داخل صفحه و هم در برابر نیروهای خارج صفحه مقاوم باشند. تاکنون بررسی های گسترده ای بر روی رفتار داخل صفحه میانقابها صورت گرفته است، اما بررسی خارج صفحه میانقابها نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در آزمایشات استاتیکی و دینامیکی انجام شده ملاحظه گردیده است که مکانیسم مقاوم غالب خارج صفحه میانقابها، مکانیسم قوسی می باشد. معمولاً اثر نیروهای داخل و خارج صفحه بصورت جداگانه بررسی می گردد، اما در این مقاله سعی بر آن است که تأثیر این دو نیرو به طور همزمان بر سازه بررسی گردد.

در مقاله حاضر، مدل المان محدود قاب فلزی یک طبقه و یک دهانهٔ پرشده با میانقاب مصالح بنایی در نرم افزار ABAQUS مدلسازی شده است. در ابتدا، ارزیابی صحت مدلسازی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی صورت گرفته است، سپس در قاب مرکب مدل شده اثر نحوه اتصال تیر به ستون در رفتار سازه بررسی شده است. در نهایت سازه تحت بارگذاری زلزله در دو جهت به طور همزمان، بررسی گردیده و نتایج آن با حالتی که بار داخل یا خارج صفحه به تنهایی به سازه اعمال گردد، مقایسه شده است.

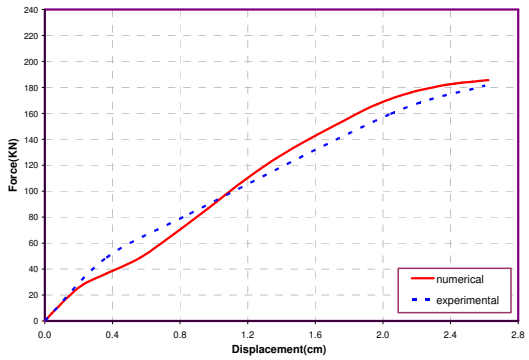
۲. ساخت مدل عددی

به منظور حصول اطمینان از صحت مدلسازی‌های کامپیوتری، مدل قاب فولادی یک طبقه حاوی میانقاب مصالح بنایی که به صورت آزمایشگاهی توسط Flanagan &Bennet [۱] مورد بررسی قرار گرفته، به عنوان مرجع انتخاب شده است. مدل آزمایشگاهی مذکور یک قاب فولادی حاوی میانقابی به ابعاد ۲۱۰×۲۱۰ سانتیمتر میباشد. میانقاب از سفال هایی با ابعاد حدودی ۳۰۰×۳۰۰×۲۰۰ mm ساخته شده است. مقاطع تیر و ستون قاب به ترتیب W۳۱۰×۵۲ و W۲۵۰×۴۵ می باشد و اتصال تیر و ستون به صورت گیردار می باشد.

در نرم افزار ABAQUS، برای مدلسازی قاب از المانهای Shell و برای مدلسازی سفالها از المانهای Solid استفاده گردیده است. المان‌های ملات حذف شده و خصوصیات مکانیکی آن به عنوان المان‌های تماس به تمام سطوح آجرها اختصاص داده شده است که مشخصات این المانها بر اساس مشخصات ملات در مقالات مرجع تعریف شده است. در این مقاله از معیار سخت‌شدگی دراکر پراگر، جهت تعیین رفتار میانقاب استفاده گردیده است. در شکل ۱ نمایی از هندسه مدل عددی و مدل آزمایشگاهی ارائه شده است.

شکل ۱ – قاب مرکب مدل شده در نرم افزار و مدل آزمایشگاهی

در شکل ۲ نتایج آنالیز مدل ساخته شده در نرم افزار با نتایج مدل آزمایشگاهی مقایسه گردیده است. با توجه به شکل ملاحظه می گردد که تطابق بسیار خوبی میان مقاومت و سختی اولیه مدل عددی با مدل آزمایشگاهی وجود دارد. مشخصات مصالح استفاده شده در مدل آزمایشگاهی در جدول ۱ ارائه گردیده است.



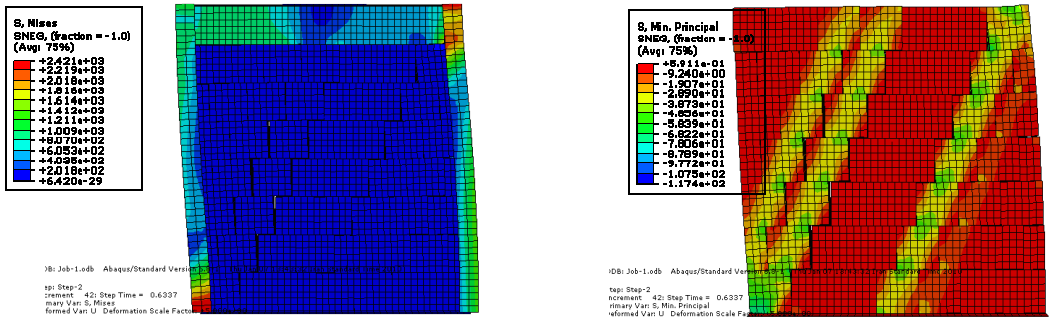
شکل ۲ – مقایسه منحنی برش پایه-تغییرمکان مدل آزمایشگاهی با مدل عددی

جدول ۱- خصوصیات مصالح استفاده شده در مدل آزمایشگاهی [۲]

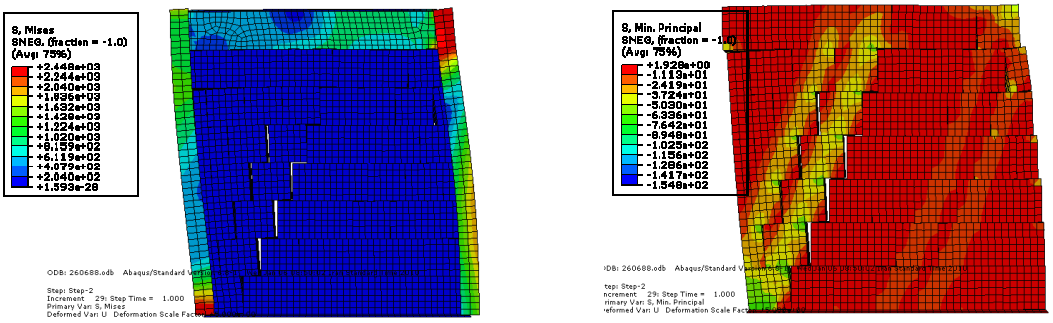
	پارامتر	مقدار
مقاومت فشاری منشور مصالح بنایی	f'_p	۵.٦ Mpa
مدول الاستیسیته مصالح بنایی در جهت x	E_x	۵۳۹۰ Mpa
مدول الاستیسیته مصالح بنایی در جهت y	E_y	۲۱٦۰ Mpa
وزن مخصوص مصالح بنایی	γ	۸۱۷ Kg/m^3

۳. بررسی اثر اتصال تیر به ستون بر رفتار قاب مرکب

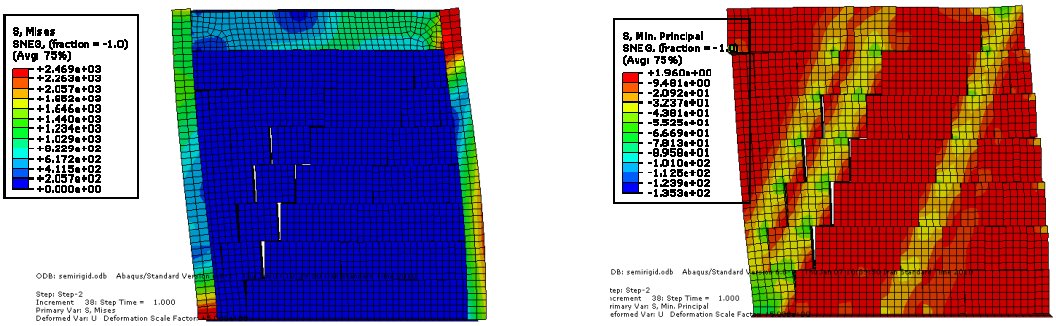
در این بخش سه نوع اتصال تیر به ستون گیردار ،مفصلی و نیمه صلب مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل مربوط به اتصال گیردار مقطع تیر کاملاً به جان ستون وصل شده است، در مدل مربوط به اتصال مفصلی تنها جان تیر به جان ستون وصل شده و در مدل مربوط به اتصال نیمه صلب بال و در حدود ۳۰ درصد از جان تیر به جان ستون وصل شده است. وضعیت ترک خوردگی و توزیع تنش مربوط به مدلهای هر سه نوع اتصال در تغییر مکان ۲.۵ سانتیمتر در شکلهای ۳ تا ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳ – وضعیت تنش و ترک‌های ایجاد شده در میانقاب مربوط به قاب مرکب با اتصال صلب



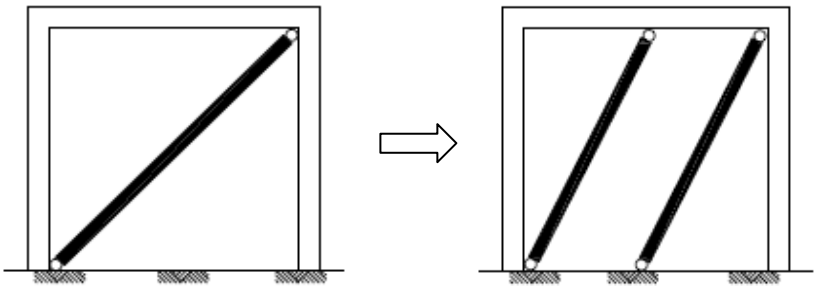
شکل ۴ – وضعیت تنش و ترک‌های ایجاد شده در میانقاب مربوط به قاب مرکب با اتصال مفصلی



شکل ۵ – وضعیت تنش و ترک‌های ایجاد شده در میانقاب مربوط به قاب مرکب با اتصال نیمه صلب

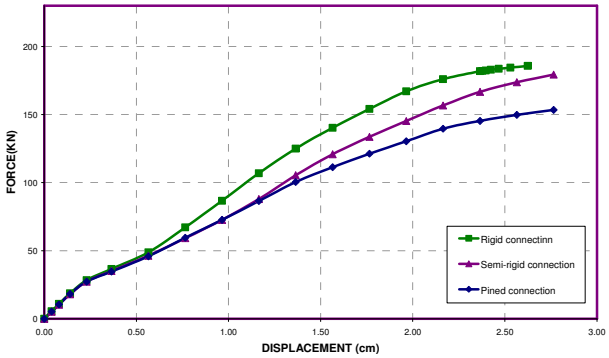
با افزایش تغییر مکان اعمال شده به قاب، بتدریج ترک و جداشدگی در طول سفالهای ردیف فوقانی میانقاب بوجود آمده، سپس ترکهای قطری در میانقاب بوجود می آیند که بتدریج میزان جداشدگی در ترکها افزایش می آید. در نهایت خرابی در سفالهای کنج های فشاری میانقاب رخ می دهد. همانطور که در شکلها ملاحظه می گردد، در مدل مربوط به اتصال مفصلی عرض ترکها بیشتر از دو مدل دیگر است و در گوشه میانقاب همین مدل جدایش سریعتر اتفاق افتاده است. بعلاوه در مدلهای مربوط به اتصال مفصلی و نیمه صلب، ستون در گوشه فشاری به حد تسلیم رسیده است.

با توجه به نحوه توزیع تنشهای فشاری ملاحظه می گردد که استفاده ازیک دستک معادل در راستای قطر قاب روش صحیحی برای جایگزینی میانقاب نخواهد بود و باید به جای یک دستک در راستای قطر از دو دستک مطابق آنچه در شکل ۶ نمایش داده شده استفاده گردد. عرض دستکها نیز باید برابر عرض محدوده تنشهای فشاری در اشکال فوق در نظر گرفته شود.



شکل ۶ – استفاده از دو دستک معادل به جای یک دستک جهت جایگزین نمودن میانقاب

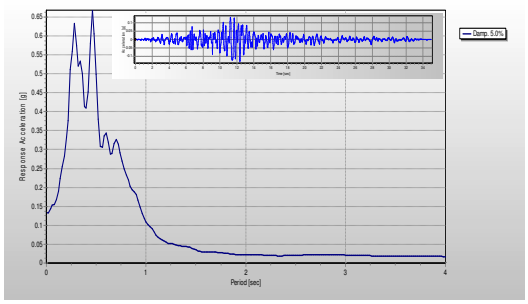
مقایسه نمودار نیرو تغییر مکان مدل در سه حالت اتصال گیردار ،مفصلی و نیمه صلب در شکل ۷ نشان داده شده است.



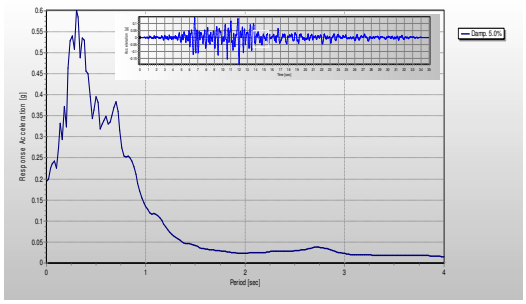
شکل ۷ – مقایسه نمودار نیرو-جابجایی قاب مرکب با اتصال تیر به ستون متفاوت

۴. بررسی رفتار قاب مرکب تحت بارگذاری زلزله در یک جهت و یا در دو جهت بطور همزمان

در این مقاله جهت آنالیز قاب مرکب تحت بار زلزله از روش مدلسازی المان محدود صریح استفاده شده است. این روش نیازی به تکرار در تولید ماتریس سختی ندارد، به همین دلیل در روش اجزای محدود صریح در تحلیل‌های دینامیکی، در هر بازه زمانی محاسبات کمتری انجام می‌شود و سرعت محاسبات نسبت به روش ضمنی بیشتر است. در ادامه مدل قاب مرکب تحت رکورد زلزله نورتریج در دو جهت به طور همزمان و نیز در یک راستا مورد بررسی قرار گرفته است. شتابنگاشتها و طیفهای شتاب مربوطه در دو راستای عمود بر هم در شکل ۸ نشان داده شده است.



(a) N-S component

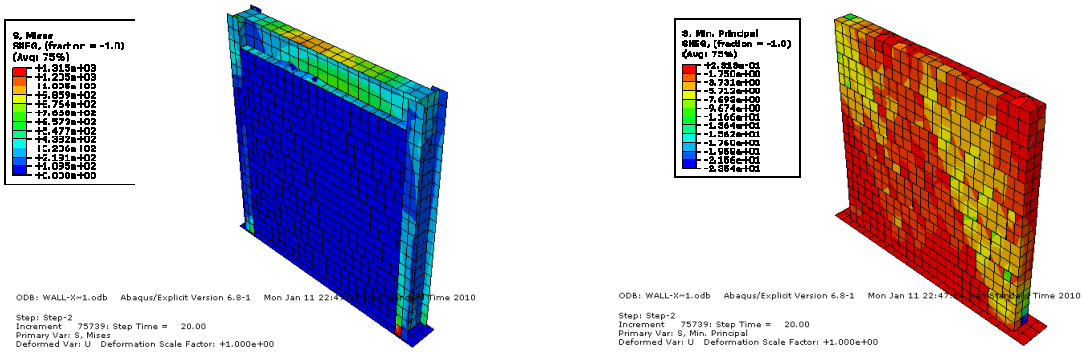


(b) E-W component

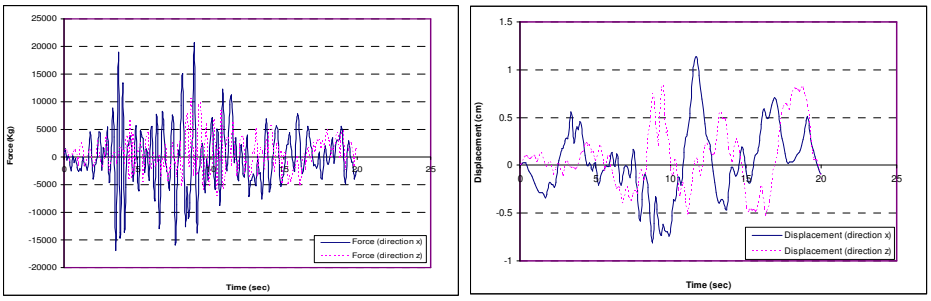
شکل ۸ – طیف شتاب نورتریج مربوط به شتابنگاشت در دو راستای عمود بر هم

۱.۴. اعمال همزمان رکورد زلزله در دو جهت

با استفاده از روابط آیین نامه، پریود قاب مرکب در راستای صفحه برابر ۰.۱۲ ثانیه خواهد شد. از نمودار طیف رکورد با مقادیر بزرگتر ، مقدار شتاب متناظر با پریود ۰.۱۲ ثانیه، برابر (g) ۰.۲۷۶خواهد شد. از سوی دیگر مقدار شتاب طراحی طبق آیین نامه لرزه ای ایران و با توجه به اینکه فرض شده سازه در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد قرار دارد برابر (g) ۰.۸۷ خواهد بود. به این ترتیب فاکتور مقیاس رکوردها که برابر نسبت شتاب طراحی به شتاب بدست آمده از طیف رکورد می باشد، معادل ۳.۱۷ خواهد شد. با ضرب این فاکتور در هر دو رکورد، اکنون رکوردها آماده اعمال به سازه می باشند.رکورد بزرگتر در راستای صفحه میانقاب و رکورد دیگر در راستای عمود بر صفحه میانقاب به قاب مرکب اعمال می شوند. در این مدل اتصال تیر به ستونها و نیز اتصال پای ستونها به زمین گیردار می باشد. وضعیت تنشها در قاب مرکب و میانقاب در شکل ۹ ارائه شده است. در شکل ۱۰ مقادیر تغییر مکان در جهات X و Z و نیز مقادیر نیروها در این دو جهت مقایسه شده اند .



شکل ۹ – وضعیت تنشها در قاب مرکب و میانقاب تحت اعمال همزمان رکورد زلزله در دو جهت

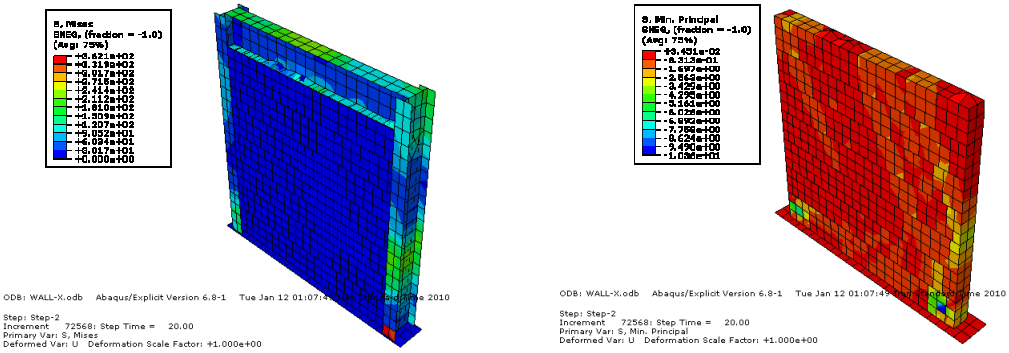


شکل ۱۰ – مقایسه مقادیر نیرو و تغییر مکان سازه در دو جهت x و z (سازه تحت رکورد در دو جهت)

همانطور که در شکل ۱۰ ملاحظه می گردد، تغییرمکان جانبی حداکثر در جهات X و Z به ترتیب برابر ۰.۵۲ درصد و ۰.۳۸ درصد می باشد. با توجه به این مسئله که رکورد قویتر در جهت X به سازه اعمال شده و نیز با توجه به نحوه قرارگیری ستون مقدار تغییر مکان در جهت X کمی بیشتر از تغییر مکان در جهت Z گردیده است. که البته با توجه به دو مورد فوق (رکورد و جهت ستون)، تفاوت بیشتری میان این دو تغییر مکان مورد انتظار بود ولی به علت حضور میانقاب در راستای X و افزایش سختی در این راستا، مقدار تغییر مکان در جهت X تا حدود تغییر مکان در جهت Z کاهش یافته است. در مدل تحت رکورد زلزله در دو جهت، نخست ترکخوردگی و جدایش در محل اتصال میانقاب به تیر رخ داده و سپس ترکهایی به صورت قطری در میانقاب ایجاد می شود، از سوی دیگر تنشهای فشاری قابل توجهی در سفالهای ردیف نخست که در تماس با زمین قرار دارند ایجاد می گردد و این پدیده بدین دلیل رخ می دهد که نیروهای ایجاد شده در راستای قطر میانقاب به جای آنکه به ستونها منتقل شوند، مستقیماً به زمین وارد می شوند که این مسئله باعث ایجاد تنشهای فشاری در المانهای متصل به زمین می گردد، از طرف دیگر عملکرد قوسی میانقاب در مقابل رکورد عمود بر صفحه میانقاب نیز فشارهای عمودی بزرگی بوجود می آورد.

۴. ۲. اعمال رکورد زلزله در جهات x یا z

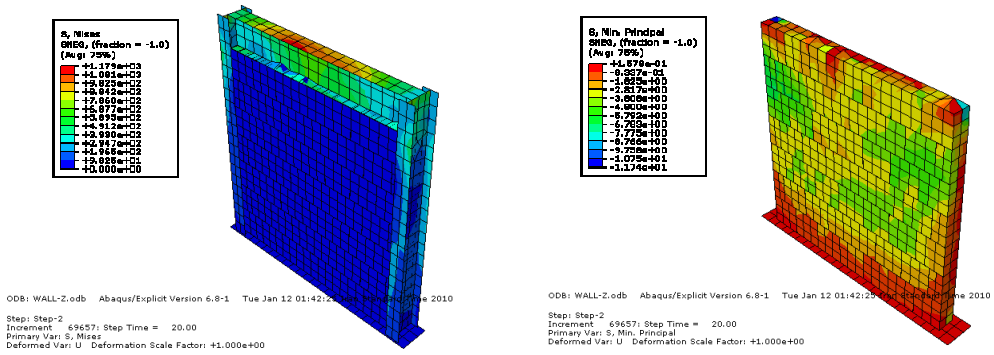
در این قسمت رکورد تنها در راستای X به سازه اعمال شده است. وضعیت تنشها در قاب مرکب و میانقاب در این حالت در شکل ۱۱ ارائه شده است.



شکل ۱۱ – وضعیت تنشها در قاب مرکب و میانقاب تحت اعمال رکورد زلزله در جهت x

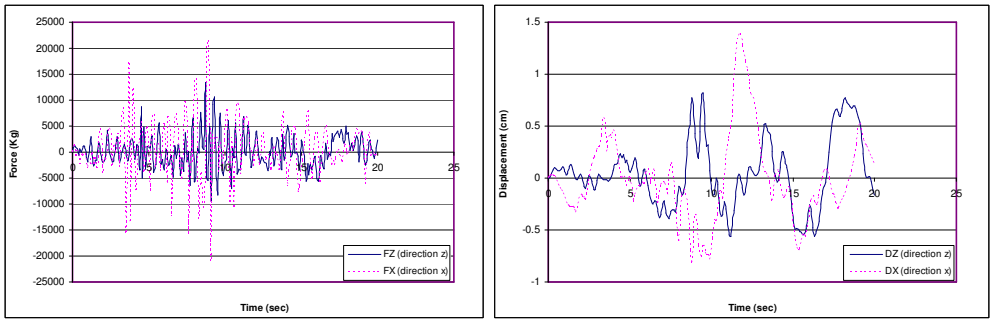
حداکثر مقدار برش پایه که در تغییر مکان جانبی ۰.۳ درصد رخ می دهد برابر ۲۲۰ کیلونیوتن می باشد و حداکثر تغییرمکان جانبی برابر ۰.۶۵ درصد می باشد. در این حالت بارگذاری بخشی از قسمت فوقانی میانقاب از تیر جدا شده و ترکهای قطری در میانقاب بوجود آمده است. در دو سفال متصل به پای ستونها نیز تنش قابل توجهی بوجود آمده که این مسئله آسیب پذیری میانقاب در این نقاط را نشان می دهد.

اکنون رکورد تنها در راستای Z به سازه اعمال گردیده است. وضعیت تنشها در قاب مرکب و میانقاب در این حالت از بارگذاری در شکل۱۲ ارائه شده است. مقایسه مقادیر برش پایه و تغییر مکان در حالتی که بار فقط در راستای X یا راستای Z به سازه اعمال گردیده در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۲ – وضعیت تنشها در قاب مرکب و میانقاب تحت اعمال رکورد زلزله در جهتz

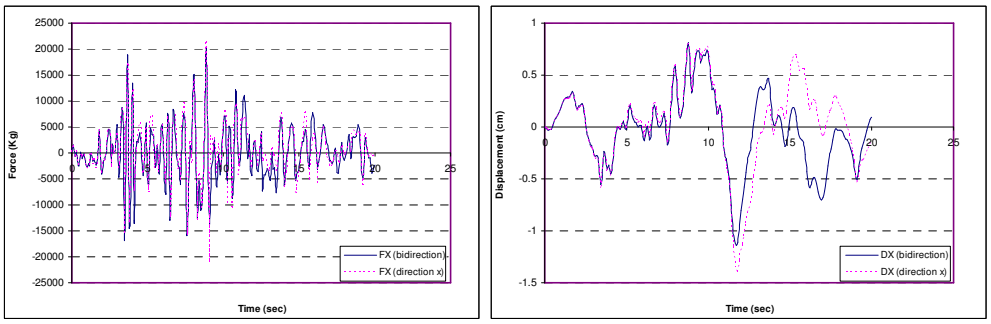
زمانی که رکورد تنها در جهت Z به سازه اعمال گردد، مقدار حداکثر برش پایه برابر ۱۴۰ کیلونیوتن بوده که در تغییرمکان جانبی ۰.۲۶ درصد بوجود آمده است. در این حالت از بارگذاری، در میانقاب ترکهای افقی در راستای محل اتصال با زمین و نیز در نزدیکی وسط ارتفاع میانقاب کاملاً مشهود می باشد و همچنین ترکهای عمودی کوچکی در نیمه بالایی میانقاب به چشم می خورد. یک ترک افقی نیز در راستای محل اتصال میانقاب به تیر در بیشتر نقاط ایجاد گردیده است. قابل ملاحظه است که پانل میانقاب به دلیل عملکرد قوسی از پایداری قابل توجهی در مقابل نیروهای عمود بر صفحه میانقاب برخوردار است که قابل چشم پوشی نمی باشد.



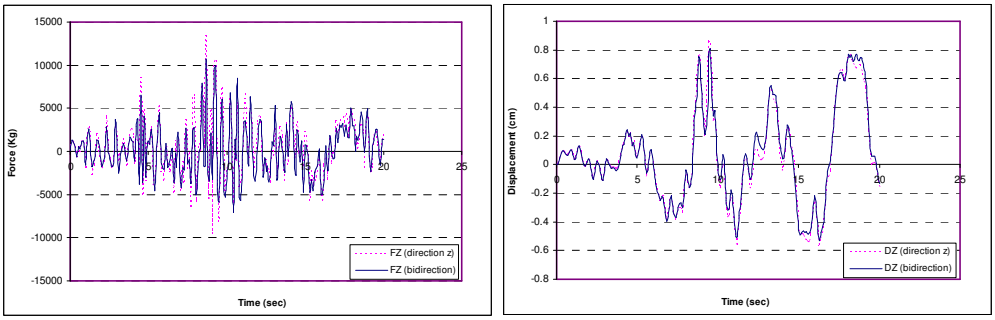
شکل ۱۳ – مقایسه مقادیر نیرو و تغییر مکان سازه در دو جهت X و Z (سازه تحت رکورد در جهتX یا Z)

۳.۴. مقایسه نتایج آنالیز مدل در حالت اعمال رکورد زلزله در یک جهت با حالت اعمال رکورد در دو جهت به طور همزمان

به منظور مقایسه نتایج در این دو حالت، مقادیر برش پایه و تغییرمکان در جهات X و Z در اشکال ۱۴ و ۱۵ در حالات بارگذاری یک و دو جهته ارائه گردیده است.



شکل ۱۴ – مقایسه نیرو و تغییر مکان در جهت x در دو حالت:۱- اعمال رکورد در جهت x، ۲- اعمال رکورد در دو جهت به طور همزمان



شکل ۱۵ – مقایسه نیرو و تغییر مکان در جهت z در دو حالت:۱- اعمال رکورد در جهت z، ۲- اعمال رکورد در دو جهت به طور همزمان

بطور کلی رفتار سازه تحت بارگذاری دو جهته ترکیبی از رفتار قاب مرکب تحت بار در هر یک از جهات به تنهایی می باشد. در حالتی که سازه تحت بارهای دو جهته قرار می گیرد، لنگرهای خمشی بوجود آمده در قاب دومحوره خواهد بود و قاب مرکب زودتر به حالت تسلیم می رسد در نتیجه سطح باربری در این دو حالت بارگذاری با یکدیگر متفاوت خواهد بود.

با مقایسه منحنیهای ارائه شده در این بخش ملاحظه می گردد که مقادیر مربوط به بارگذاری در یک جهت به تنهایی، بویژه مقادیر برش پایه، بیشتر از مقادیر مربوط به بارگذاری در دو راستا به طور همزمان می باشد و البته همانطور که در بخشهای قبل ملاحظه گردید نحوه ترکخوردگی و توزیع تنش نیز در این دو حالت بارگذاری کاملاً با یکدیگر متفاوت می باشند.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله اثر نحوه اتصال تیر به ستون در سه حالت صلب،نیمه صلب، مفصلی بررسی گردید و در هر سه مدل ترک و جدایش در بالای میانقاب رخ داده است. ترکهای قطری در هر سه مدل به وجود آمد که عرض ترکها در مدل اتصال مفصلی بیشتر از دو مدل دیگر بود و جدایش در این مدل سریعتر اتفاق افتاده است. با استفاده از الگوی تنشها نشان داده شد که جایگزینی میانقاب با یک دستک فشاری روش دقیقی نخواهد بود و بهتر است که از دو دستک فشاری در دو سوی قطر میانقاب استفاده شود.

در مقایسه رفتار قاب مرکب تحت بار در دو جهت به طور همزمان با زمانی که بار تنها در یک جهت به مدل اعمال گردیده ملاحظه گردید که در حالت بارگذاری نخست نحوه ترک خوردگی میانقاب و مکانیسم شکست سازه در واقع ترکیبی از زمانی است که هر یک از بارها به تنهایی به سازه اعمال می شوند، بعبارت دیگر بارگذاری خارج صفحه، نیروهای رانشی در محیط میانقاب ایجاد کرده و بارگذاری داخل صفحه سبب ایجاد نیروهای دستکی در راستای قطر میانقاب می شود که ترکیب این دو باعث بوجود آمدن تنشهای فشاری در نزدیکی کف میانقاب می گردد. برش پایه و تغییر مکان (بخصوص مقادیر برش پایه) در هر جهت در حالت اعمال بار در دو جهت به طور همزمان، نسبت به زمانی که بار تنها در یک جهت به سازه اعمال می شود، از مقادیر کمتری برخوردار می باشند. در حال حاضر معمولاً برای بررسی رفتار قاب مرکب تحت بار زلزله بارگذاری در یک جهت به تنهایی انجام می شود و تأثیر بارهای درون و برون صفحه به صورت جداگانه بررسی می شود. اما در این تحقیق نشان داده شد که بدلیل اندرکنش میان بارهای درون و برون صفحه این روش چندان صحیح نمی باشد و بهتر است که در بررسی رفتار لرزه ای قابهای مرکب نیروهای درون و برون صفحه به طور همزمان به سازه اعمال شوند، که در این حالت نتایج مدلسازی عددی شباهت بیشتری با رفتار واقعی چنین سازه هایی در مقابل زلزله خواهد داشت.

۶. مراجع

۱. Flanagan, R.D. and Bennett, R.M., (۱۹۹۹), “Bidirectional Behavior of Structural Clay Tile Infilled Frames,” Journal of Structural Engineering, ۱۲۵ (۳),pp ۲۳٦-۲٤۳.

۲. Bennett, R.M., Boyd, K.A. and Flanagan, R.D., (۱۹۹۷), ”Compressive Properties of Structural Clay Tile Prisms,” Journa of Structural Engineering, ۱۲۳ (۷), pp ۹۲۰-۹۲٦.