

بررسی اثر میانقاب مصالح بنایی بر پاسخ لرزه‌ای یک قاب بتن مسلح چهار طبقه

محسن آزادبخت، مصطفی برقی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

mohsen_azadbakht@sina.kntu.ac.ir
barghi@kntu.ac.ir

خلاصه

میانقابهای مصالح بنایی به دلایل معماری و همچنین سازه‌ای به صورت گسترده‌ای در ساختمانها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمانها نیازمند ارزیابی دقیق نقش میانقابها در پاسخ سازه نسبت به بارگذاری وارده می‌باشد. قابهای بتن مسلح همراه با میانقاب مصالح بنایی یک سیستم سازه ای معمول در نقاط مختلفی از جهان می باشند. چنانچه میانقابها به صورت صحیح در بین قابها توزیع شوند و در طراحی به صورت معقول در نظر گرفته شوند، می توانند تأثیر مفیدی بر پاسخ لرزه ای سازه داشته باشند. در این تحقیق به بررسی اثر میانقاب مصالح بنایی بر پاسخ لرزه‌ای یک قاب بتن مسلح چهار طبقه پرداخته شده است. در این تحقیق زمان تناوب طبیعی یک قاب بتن مسلح چهار طبقه با و بدون در نظر گرفتن تأثیر میانقابها محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که وجود میانقاب مصالح بنایی باعث افزایش سختی چشمگیر قاب بتنی شده و زمان تناوب طبیعی آن را به شدت کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی سازه‌ای، میانقاب، زمان تناوب طبیعی سازه، قاب بتن مسلح، تحلیل مودال

۱. مقدمه

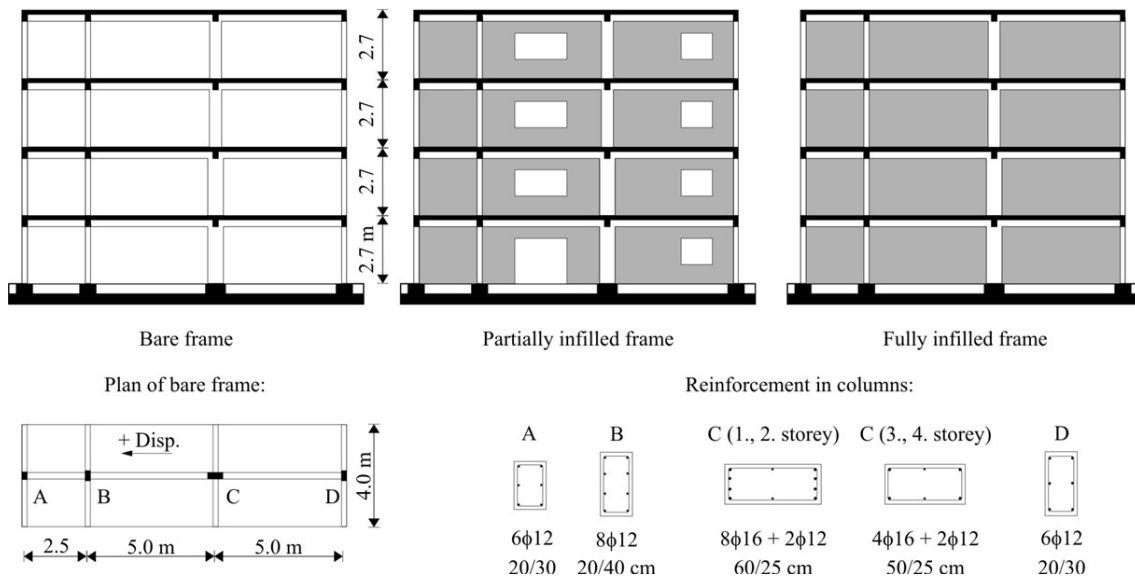
برای تحلیل یک سازه معمولاً شکل ایده‌آلی از سازه به عنوان مدل محاسباتی در نظر گرفته می‌شود، که بدون شک با مدل واقعی آن تفاوت‌هایی دارد. مدل واقعی سازه دارای تفاوت‌هایی با مدل محاسباتی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به نقص در مقطع اعضاء، در جنس مصالح و وجود دیوارهای پرکننده در بین قابها و خروج از مرکزیت بارها در محل اتصالات و غیره اشاره کرد، که در تحلیل و طراحی سازه از اثر آنها صرف‌نظر می‌شود. از آن جمله اثر دیوارهای پرکننده در بین قابها است که به آن میانقاب یا پرکننده گفته می‌شود و به مجموع قاب و پرکننده، قاب مرکب گفته می‌شود، چون نه دارای خواص قاب تنها و نه خود پرکننده می‌باشد. سالانه در کشور ما حجم قابل توجهی از مصالح ساختمانی (دیوار آجری و بلوک سفالی و بتنی) به عنوان پرکننده در قابهای ساختمانی بکار می‌رود که درصد بالائی از وزن ساختمان را به خود اختصاص می‌دهد. از میانقابها به عنوان المانهای معماری برای پوشش ساختمان و نیز محافظت افراد ساکن در برابر سرما، گرما، و عوامل صوتی استفاده می‌شود [۱]. توزیع این عناصر و همچنین میزان تأثیر آنها بر سختی و مقاومت جانبی ساختمانها عموماً در طول فرآیند طراحی نادیده گرفته می‌شود. بهبود عملکرد لرزه ای ساختمانها نیازمند ارزیابی دقیق نقش میانقابها در پاسخ سازه نسبت به بارگذاری وارده می‌باشد. اگرچه پانل‌های میانقاب اساساً باعث افزایش سختی و مقاومت قاب می‌شوند، اما اثرات آنها در عملکرد سازه به دلیل کمبود اطلاعات لازم در زمینه رفتار مرکب قاب و میانقاب، نادیده گرفته می‌شود [۲]. قابهای بتن مسلح همراه با میانقاب مصالح بنایی یک سیستم سازه ای معمول در نقاط مختلفی از جهان می باشند. چنانچه میانقابها به صورت صحیح در بین قابها توزیع شوند و در طراحی به صورت معقول در نظر گرفته شوند، می‌توانند تأثیر مفیدی بر پاسخ لرزه ای سازه داشته باشند. از طرف دیگر تأثیر منفی این عناصر با جایگذاری نامنظم آنها در پلان و همچنین در ارتفاع سازه بروز می‌کند. هر روشی جهت تحلیل و طراحی قابهای مرکب باید رفتار غیرخطی این گونه سازه‌ها را تحت زلزله های شدید در نظر بگیرد. یک بررسی کامل جهت طراحی قابهای مرکب توسط Kaushik ارائه شده است [۳]. یک مطالعه جامع درباره مدل‌سازی تحلیلی سازه‌های با قاب مرکب توسط Moghaddam و Dowling [۴] و به تازگی توسط Carr و Park [۹] صورت گرفته است. روش معمول در مدل‌سازی میانقابها استفاده از المان قطری فشاری معادل تک و یا دوپل می‌باشد. در این بررسی اثرات میانقاب مصالح بنایی بر پاسخ لرزه ای یک قاب بتن مسلح چهار طبقه مورد مطالعه قرار گرفته است. در یک حالت، میانقاب بدون بازشو و در حالت دیگر میانقاب دارای بازشو جهت قرارگیری در و پنجره مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج با حالت قاب خالی مقایسه شده است. قاب مرکب دارای بازشو و قاب خالی در مقیاس واقعی قبلاً در آزمایشگاه ELSA در ISPRA تحت آزمایش شبه دینامیکی قرار گرفته بودند. در فرآیند تحلیل، میانقاب مصالح بنایی بوسیله دو المان قطری معادل که فقط قابلیت تحمل فشار را دارند مدل شده است. رفتار خمشی تیرها و ستونها بوسیله المانهای پلاستیک یک جزئی شامل یک

تیر الاستیک و دو مفصل غیر الاستیک (تعریف شده با رابطه لنگر-دوران) مدل شده است. مدل ریاضی بوسیله مقایسه نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی با نتایج آزمایشگاهی تأیید شده است. برنامه OpenSees جهت انجام مراحل مختلف تحلیل استفاده شده است [۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰].

۲. بررسی مدلسازی و تحلیل صورت گرفته

۱.۲. شرح ویژگیهای قاب خالی و قابهای مرکب

سازه‌هایی که در این قسمت تحت بررسی قرار گرفته اند یک قاب بتن مسلح مسطح، یک قاب بتن مسلح مسطح با میانقاب دارای بازشو و یک قاب بتن مسلح مسطح با میانقاب بدون بازشو می باشند. این سازه ها، سازه هایی معمول در طراحی های ساختمانها در کشورهای اروپایی و مدیترانه‌ای در حد فاصل ۴۰ تا ۵۰ سال گذشته بوده است. اگرچه هنوز هم ساخت و طراحی اینگونه سازه ها معمول می باشد اما تمهیدات کنونی مانند جزئیات فعلی و کاربرد اصول طراحی بر اساس ظرفیت (به خصوص مفهوم ستون قوی-تیر ضعیف) در گذشته در نظر گرفته نمی‌شده است. ارتفاع، پلان و جزئیات آرماتوربندی ستونها در شکل (۱) ارائه شده است. سه نوع بازشدگی در سازه با میانقاب دارای بازشو در نظر گرفته شده است. بازشوی در به ابعاد $1/75 * 2/0$ متر و دو نوع بازشوی پنجره به ابعاد $1/0 * 2/0$ و $1/0 * 1/2$ متر در نظر گرفته شده است. تمام تیرها دارای $0/25$ متر عرض و $0/5$ متر عمق هستند. دال ها دارای ضخامت $0/15$ متر می باشند. آرماتوربندی جهت ستونهای طبقات ۳ و ۴ نسبت به طبقات ۱ و ۲ کاهش یافته است. مقاومت متوسط بتن 16 MPa و مقاومت تسلیم فولاد $343/4 \text{ MPa}$ می باشد. میانقابهای مصالح بنایی شامل بلوک های توخالی سفالی به ضخامت ۱۲ سانتیمتر و $1/5$ سانتیمتر پوشش پلاستر در طرفین می باشد. مقاومت متوسط بدست آمده از آزمایش قطری $0/575 \text{ MPa}$ و مدول برشی $1/171 \text{ GPa}$ می باشد. مقدار جرم سازه در هر کدام از طبقات ۱، ۲، ۳ و ۴ تن و در طبقه چهارم ۴۰ تن می باشد و در مجموع جرم سازه چه برای قاب خالی و چه برای قابهای مرکب ۱۷۸ تن در نظر گرفته شده است.

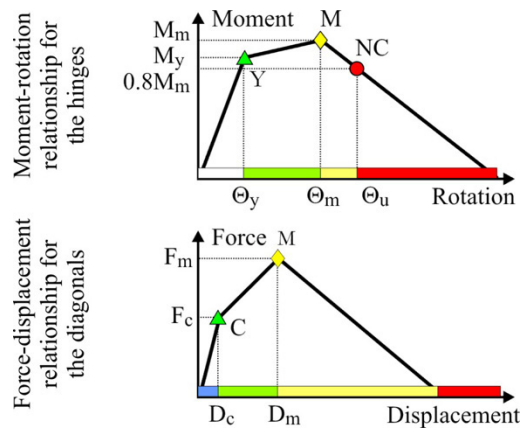


شکل (۱): ارتفاع، پلان و جزئیات آرماتوربندی ستونها در سازه های تحت بررسی

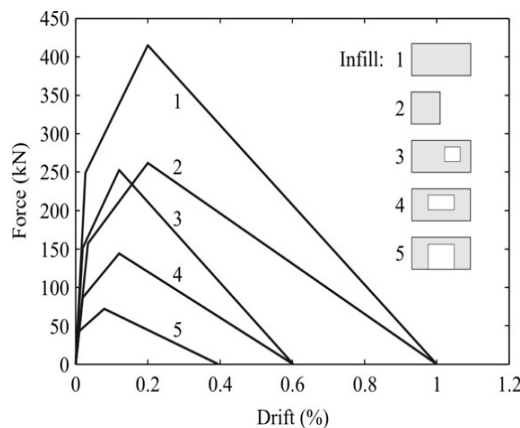
۲.۲. مدلسازی سازه‌ای

نتایجی که در این تحقیق به عنوان نتایج مرجع به آنها استناد شده است با استفاده از روشی موسوم به N2 بدست آمده‌اند [۳]. در ابتدا خلاصه‌ای از این روش و مراحل محاسبات سازه‌ای صورت گرفته ارائه می‌شود. روش N2 [۱۴، ۳] در ابتدا در دانشگاه Ljubljana ارائه شده و در آئین نامه Eurocode 8 [۱۵] تکمیل شده است. این روش به تازگی جهت مطالعه قابهای مرکب بسط داده شده است. در این تحقیق خلاصه روش N2 جهت مطالعه سازه های مسطح با قابهای مرکب ارائه شده است. روش ترکیبی از تحلیل پوش آور یک مدل با چند درجه آزادی (MDOF) و تحلیل طیف بازتاب مدل یک درجه آزادی معادل (SDOF) می باشد. جهت المانهای قاب بتن مسلح، المانهای پلاستیک یک جزیی شامل یک تیر الاستیک و دو مفصل غیرالاستیک دورانی (تعریف شده با رابطه لنگر-دوران) استفاده شده است. حلقه های لنگر-دوران مفصلهای غیرالاستیک دورانی در شکل (۲) نشان داده شده اند. روابط نیرو-تغییرمکان المانهای قطری معادل (در فشار) اندازه گیری شده در جهت افقی در شکل (۳) نشان داده شده اند. لنگر تسلیم و لنگر ماکزیمم با در نظر گرفتن نیروهای محوری ناشی از بارگذاری قائم روی قاب محاسبه شده اند. بارگذاری قائم مشابه جهت قابهای مرکب و قاب خالی به ترتیب برابر $9/1 \text{ KN/m}^2$ و $8/0 \text{ KN/m}^2$ برای سه طبقه پایین و طبقه فوقانی در نظر گرفته شده است. کاهش مقاومت (لنگر) ناشی از

طول مهارى ناکافی در میلگردهای مسلح کننده در حلقه های لنگر-دوران در نظر نگرفته شده است. پانل های میانقاب بوسیله دو المان قطری معادل که فقط قابلیت تحمل فشار را دارند مدل شده اند. این المانها بین محل های تقاطع تیر و ستون قرار می گیرند. مشکل اصلی تعیین مشخصات این المانها یعنی حلقه های نیرو-تغییرمکان و رفتار هیستریزیس آنها می باشد. علاوه بر این وجود بازشو در پانل میانقاب باعث افزایش این مشکلات می شود.



شکل (۲): رابطه لنگر-دوران مفصل پلاستیک در ستوها و تیرها و رابطه نیرو-تغییرمکان المان قطری معادل میانقاب

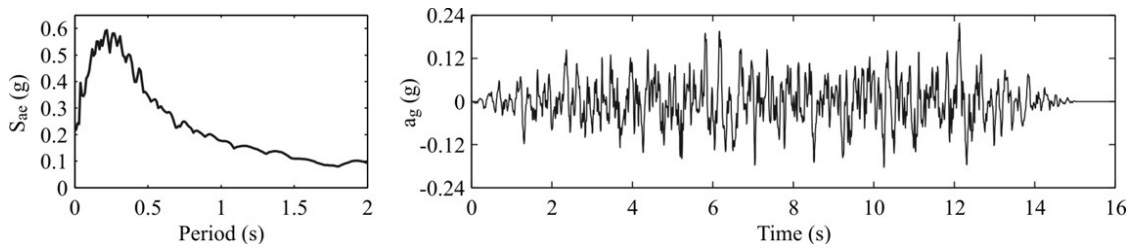


شکل (۳): روابط نیرو-تغییرمکان المانهای قطری معادل (در فشار) اندازه گیری شده در جهت افقی

۳.۲. ارزیابی اعتبار مدل ریاضی

اعتبار مدل ریاضی با مقایسه نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی با نتایج آزمایشگاهی حاصل از آزمایش شبه دینامیکی ارزیابی شده است. آزمایشات مختلفی بر روی قاب خالی و قاب مرکب دارای بازشو در حالت عادی و ترمیم شده صورت گرفته است. تحرکات ناشی از زلزله با توجه به طرح ارائه شده برای مناطق اروپایی با خطر لرزه خیزی بالا در نظر گرفته شده است. اولین آزمایش ها بر روی قاب خالی (BF 475) و قاب مرکب دارای بازشو (PI 475) با توجه به شتاب اوج زمین $0.22g$ که مطابق با زلزله ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال است صورت گرفته است. زلزله با دوره بازگشت ۹۷۵ سال ($0.29g$) نیز برای قاب خالی (BF 975) و قاب مرکب دارای بازشو (PI 975) در نظر گرفته شده است. زلزله با دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال ($0.38g$) نیز برای قاب مرکب دارای بازشو (PI 2000) در نظر گرفته شده است. طیف الاستیک و شتاب برای زلزله ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال در شکل (۴) ارائه شده است. شتاب برای زلزله ای با دوره بازگشت ۹۷۵ و ۲۰۰۰ سال با توجه به مقیاسی از شتاب ارائه شده در شکل (۴) قابل محاسبه است. تحلیل دینامیکی در مرحله اول برای حرکت زمین با شدت پایین و سپس برای حرکت زمین با شدت بالا صورت گرفته است. میزان میرایی صفر در نظر گرفته شده است. بیشترین جابه جایی طبقه در قاب خالی در طبقه سوم رخ داده است که به دلیل کاهش مقاومت در ستون در دو طبقه فوقانی می باشد. این میزان جابه جایی به ترتیب ۰/۸ درصد و ۰/۲۴ درصد برای (BF 475) و (BF 975) محاسبه شده است. میزان تغییرشکل مشاهده شده در قاب مرکب دارای بازشو بسیار پایین تر از نمونه قاب خالی می باشد. ماکزیمم جابه جایی برای زلزله ای با دوره بازگشت ۹۷۵ سال در طبقه اول بدست آمد. این مقدار بیش از ۴ برابر کمتر از مقدار بدست آمده در طبقه سوم قاب خالی می باشد. حتی در مورد زلزله ای با دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال، ماکزیمم جابه جایی طبقه در قاب مرکب کمتر از قاب خالی در حالت زلزله ای با دوره بازگشت ۹۷۵ سال می باشد. رابطه های برش طبقه

نسبت به جابه جایی طبقه تعیین شده است و با نتایج آزمایشگاهی حاصل از قاب خالی و قاب مرکب دارای باز شو مقایسه شده است. مقادیر پارامترهای به کار برده شده در مراحل مختلف تحلیل در جدول (۱) ارائه شده است [۳].



شکل (۴): طیف الاستیک و شتاب برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال

جدول (۱): مشخصات سیستم ایده آل سازی شده

Parameter	Bare frame	Partially infilled frame	Fully infilled frame
F_y (kN)	220	745	1277
D_y (cm)	3.4	0.81	0.87
F_{NC} (kN)	196	257	257
D_{NC} (cm)	12.1	8.1	8.1
m^* (t)	112.5	111.2	109.6
T (s)	0.83	0.22	0.17
Γ	1.29	1.32	1.34
F_y/W	0.126	0.427	0.731
S_{ay} (g)	0.155	0.513	0.890

۳. بررسی زمان تناوب اصلی سازه با و بدون در نظر گرفتن تأثیر میانقابها

در این قسمت مدل بررسی شده که شرح کامل جزئیات و کار صورت گرفته ارائه شد، مورد مطالعه قرار گرفته است. مدل بررسی شده شامل سه سازه مجزا می باشد. سازه اول یک قاب بتن مسلح مسطح می باشد. سازه دوم یک قاب بتن مسلح مسطح همراه با میانقاب مصالح بنایی بازشودار می باشد و سازه سوم یک قاب بتن مسلح مسطح همراه با میانقاب مصالح بنایی بدون باز شو می باشد. جزئیات مربوط به پلان، ارتفاع و آرماتوربندی ستونها در سازه های تحت بررسی در شکل (۱) آمده است. همانطور که با توجه به جدول (۱) مشخص است، پس از تحلیل های صورت گرفته بر روی این سازه ها و مقایسه نتایج حاصل از آن با کار آزمایشگاهی، زمان تناوب طبیعی هر سه سازه ارائه شده است. مقادیر مربوط به زمان تناوب طبیعی قاب خالی، قاب مرکب بازشودار و قاب مرکب بدون باز شو به ترتیب برابر 0.17 ، 0.22 و 0.83 ثانیه می باشد. هر سه سازه ذکر شده در نرم افزار SAP 2000 مدلسازی شده است و در ادامه مراحل و انواع مختلف تحلیل های صورت گرفته و نتایج بدست آمده ارائه می شود. انواع مختلف تحلیل های صورت گرفته روی هر سه سازه به شرح زیر می باشد:

۱.۳ قاب خالی

این سازه در دو حالت مورد تحلیل قرار گرفته است. در حالت اول تحلیل مودال و در حالت دوم تحلیل دینامیکی طیفی صورت گرفته است. در این حالات تحلیل رفتار مصالح میانقاب خطی فرض شده است.

۲.۳ قابهای مرکب بازشودار و بدون باز شو

در این دو مورد حالات مختلفی از تحلیل صورت گرفته است. تحلیل های صورت گرفته در این بخش را می توان به دو قسمت تقسیم بندی کرد:

➤ در حالت اول تماس بین میانقاب مصالح بنایی با قاب محیطی آن به صورت کامل در نظر گرفته شده است. به گونه ای که انتقال تمام نیروها از میانقاب به قاب و برعکس امکان پذیر است. فرضیات مربوط به مدلسازی میانقاب به گونه ای است که فقط سختی صفحه ای (غشایی) میانقاب در نظر گرفته شده است و سختی خمشی میانقاب برابر صفر در نظر گرفته شده است. در این حالت تحلیل مودال و تحلیل دینامیکی طیفی صورت گرفته است. همانطور که از جدول (۲) مشخص است نتایج مربوط به تحلیل مودال و تحلیل دینامیکی طیفی کاملاً

برابر است. علت این امر، الگوریتم های در نظر گرفته شده برای این دو نوع تحلیل می باشد. به گونه ای که در مراحل مختلف تحلیل دینامیکی طیفی مودهای ارتعاشی سازه از نتایج حاصل از تحلیل مودال گرفته می شود و سپس جهت محاسبه در مراحل مختلف تحلیل دینامیکی طیفی به کار گرفته می شود.

در حالت دوم تماس بین میانقاب مصالح بنایی با قاب محیطی آن بوسیله یک سری فنر (GAP ELEMENT) مدلسازی شده است. به گونه ای که فاصله میانقاب مصالح بنایی با قاب محیطی از چهار طرف به میزان یک سانتیمتر در نظر گرفته شده است و به فاصله هر نیم متر طول، یک فنر قرار گرفته است. این فنرها در دو حالت مدلسازی شده اند. در حالت اول که فرض رفتار خطی فنرها می باشد رفتار انتقالی خطی برای فنرها در نظر گرفته شده است. به این ترتیب که این فنرها فقط در نیروهای محوری کششی و فشاری عمل می کنند و نیروهای حاصل از برش و لنگرها را انتقال نمی دهند. در حالت دوم رفتار فنرها به صورت غیرخطی مدل شده است. به گونه ای که فنرها فقط در حالت انتقالی تحت نیروی محوری فشاری عمل می کنند و در سایر حالات اعمال نیرو فنر به صورت خود به خود توسط نرم افزار حذف می گردد. با توجه به دو نوع رفتار در نظر گرفته شده برای فنرها، تحلیل مودال و تحلیل دینامیکی طیفی صورت گرفته است. در مرحله اول تحلیل مودال با توجه به رفتار خطی فنرها و در مرحله دوم تحلیل مودال با توجه به رفتار غیرخطی فنرها صورت گرفته است. با توجه به این اصل که در تحلیل مودال هیچ جایی برای اعمال حالات غیرخطی وجود ندارد جهت تحلیل ابتدا با توجه به بارگذاری وارده و میزان ضریب برش پایه زلزله ذکر شده ابتدا یک حالت تحلیل استاتیکی غیر خطی صورت گرفته است. سپس تحلیل مودال با در نظر گرفتن سایر فنرهای باقیمانده صورت پذیرفته است. همانگونه که قبلاً ذکر شد برابر بودن جواب های بدست آمده از تحلیل مودال و تحلیل دینامیکی طیفی کاملاً قابل پیش بینی بود، که این امر نیز به خاطر فرضیات در نظر گرفته شده در الگوریتم های تحلیل مودال و تحلیل دینامیکی طیفی می باشد.

نتایج مربوط به تحلیل های صورت گرفته در جدول (۲) آورده شده است. شکل های (۵) و (۶) به ترتیب شکل مود اول قاب مرکب بدون بازشو (با فرض تماس کامل میانقاب و قاب) و شکل مود اول قاب مرکب بازشودار (با فرض تماس کامل میانقاب و قاب) نشان می دهند. شکل های (۷) و (۸) میزان تمرکز تنش فشاری را در پانل میانقاب نشان می دهند. همانگونه که از این شکل ها مشخص است، عملکرد میانقاب به صورت یک المان قطری معادل کاملاً مشخص است.

۴. دلایل عدم دقت جوابهای بدست آمده در حالات تحلیل غیرخطی

همانگونه که در مطالب گفته شده اشاره شد، با توجه به ماهیت تحلیل مودال امکان اعمال حالات غیرخطی در مراحل تحلیل وجود ندارد لذا قبل از آن تحلیل استاتیکی غیرخطی صورت گرفته است و تعدادی از فنرهای اتصالی با توجه به موقعیت قرارگیری در سازه به کشش افتاده اند و سختی آنها از ماتریس سختی کل سازه حذف گردیده است. تحلیل مودال در این حالت با توجه به سختی سایر اعضاء باقیمانده صورت گرفته است. بدیهی است حالات مودی سازه با حالات سازه تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی ناشی از بار مرده و ضریب برش پایه زلزله متفاوت می باشد، بنابراین در مدل غیرخطی آن تعدادی از فنرهای اتصالی که به کشش افتاده اند و حذف شده اند ممکن است در حالات مودی ناشی از تحلیل مودال تحت فشار باشند و سختی آنها لحاظ شود. به همین خاطر نتایج حاصل از تحلیل در حالت فنرهای خطی به نتایج حاصل از تحلیل مودال نزدیکتر می باشد.

- حالت a: با فرض تماس کامل میانقاب و قاب
- حالت b: با فرض فنرهای اتصالی خطی
- حالت c: با فرض فنرهای اتصالی غیرخطی

جدول (۲): نتایج حاصل از تحلیل سازه های تحت بررسی

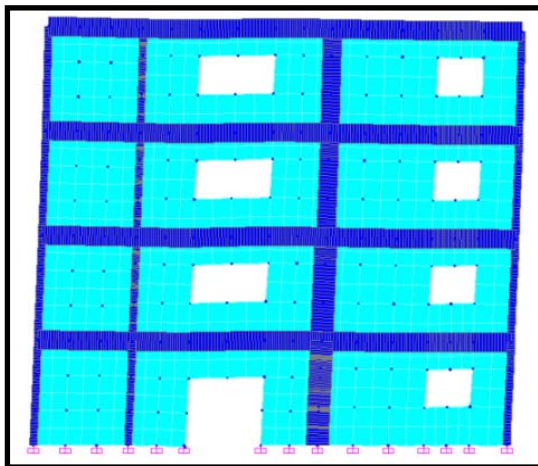
قاب مرکب بدون بازشو (FI)			قاب مرکب بازشودار (PI)			قاب خالی (BF)	تحلیل مودال
c	b	a	c	b	a		
۰/۳۷۳۹	۰/۲۶۳۲	۰/۱۷۴۳	۰/۴۱۷۱	۰/۲۹۶۱	۰/۲۱۰۴	۰/۷۹۲۰	
۰/۳۷۳۹	۰/۲۶۳۲	۰/۱۷۴۳	۰/۴۱۷۱	۰/۲۹۶۱	۰/۲۱۰۴	۰/۷۹۲۰	تحلیل دینامیکی طیفی

۵. دلایل دقت بالای جوابهای بدست آمده از تحلیل مودال در حالت خطی

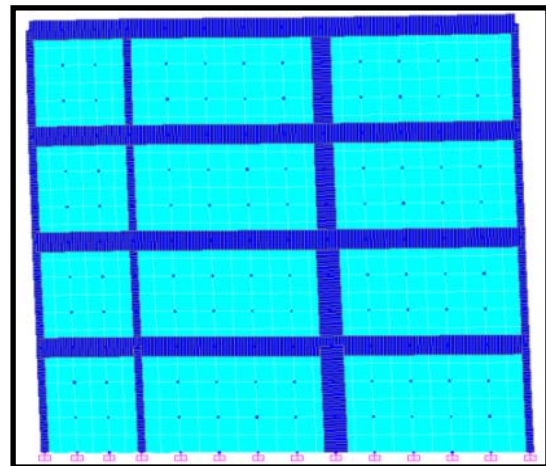
در ابتدا لازم است مقدمه ای در مورد نحوه فرکانس و زمان تناوب طبیعی یک سازه در حالت آزمایشگاهی ذکر گردد. در این رابطه از آزمایشی موسوم به ارتعاش محیطی^۱ استفاده می شود. توضیحات مربوط به این آزمایش در ادامه ارائه می گردد [۱۶].

❖ روش آزمایش ارتعاش محیطی، روشی مناسب و عملی برای تعیین خواص دینامیکی سازه ها می باشد و با استفاده از این روش می توان خواص دینامیکی سازه ها شامل فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی سازه و نیز ضرایب میرایی مربوط به هر مود را به دست آورد. عوامل محیطی مانند لرزه های خفیف زمین، وزش باد و ترافیک وسایط نقلیه باعث می گردد که سازه در مودهای مختلف آن به ارتعاش درآید. با اندازه گیری عکس العمل سازه در برابر این ارتعاشات با لرزه سنج های بسیار حساس و تحلیل آنها می توان خواص دینامیکی سازه را بدون اینکه به لرزاننده های بزرگ و قوی نیاز باشد بدست آورد لیکن با توجه به خفیف بودن ارتعاشات سازه، بدست آوردن فرکانس ها و شکل مودهای بالاتر سازه مخصوصاً برای ساختمانهای کوتاه که سختی جانبی زیادی دارند و در نتیجه دامنه ارتعاشات محیطی آنها در مقایسه با ساختمانهای بلند اندک است با مشکل مواجه گردد. ارتعاشات محیطی طبیعی تصادفی دارند و دارای فرکانس خاصی نیستند بلکه گستره نسبتاً وسیعی از فرکانس ها را می پوشانند. واکنش سازه در برابر این فرکانس ها بدین صورت است که سازه فرکانس های نزدیک به فرکانس طبیعی خود را تشدید و دیگر فرکانس ها را تضعیف می کند و در حقیقت به صورت یک فیلتر در برابر این فرکانس ها عمل می کند. با تحلیل واکنش سازه در برابر عوامل محیطی می توان فرکانس های غالب که همان فرکانس های طبیعی سازه است را به دست آورد. لازم به ذکر است که در این آزمایش بر خلاف آزمایش اجباری از دستگاههای لرزاننده برای اعمال نیرو استفاده نمی شود و صرفاً واکنش سازه در برابر عوامل طبیعی ثبت می گردد و در نتیجه نسبت به آزمایش ارتعاش اجباری احتیاج به تجهیزات کمتری است.

همانگونه که از مطالب گفته شده بر می آید میزان تنش در این نوع تحلیل (مودال) بسیار پایین تر از حالات اعمال بار و یا جابه جایی و شتاب به سازه می باشد و می توان رفتار سازه را با توجه به میزان کم تنش های وارد بر سازه خطی در نظر گرفت. پر واضح است در صورت وجود تنش های بسیار کمتر از تنش تسلیم مصالح میانقاب، می توان رفتار میانقاب مصالح بنایی را در کشش و فشار مشابه در نظر گرفت. نکته دیگر بحث تماس بین میانقاب مصالح بنایی و قاب محیطی آن می باشد. دلیل اصلی در به کار بردن المانهای قطری معادل در مطالعات صورت گرفته، جدا شدن پانل میانقاب در گوشه های کششی و تمرکز بیشتر تنش ها در راستای قطر فشاری می باشد. در صورتی که هنگام تحلیل مودال میزان تنش های برشی و کششی در محل تماس بین میانقاب مصالح بنایی و قاب محیطی آن تحت هیچ شرایطی با مقادیر مشابه در حالات تحلیل در اثر بارگذاری وارده و یا اعمال شتاب به پایه ساختمان، قابل مقایسه نمی باشد. زیرا در غیر اینصورت می بایستی سازه در حالت معمول خود مانند تردد ساکنین ساختمان و یا عبور وسایط نقلیه از مجاور ساختمان دچار تنش های برشی و کششی زیادی در محل تماس بین میانقاب مصالح بنایی و قاب محیطی آن گردد و دیوار از قاب جدا گردد. در ضمن تطابق بسیار خوب نتایج بدست آمده از تحلیل مودال در حالت خطی با نتایج آزمایشگاهی خود مؤید صحت فرضیات در نظر گرفته شده می باشد.

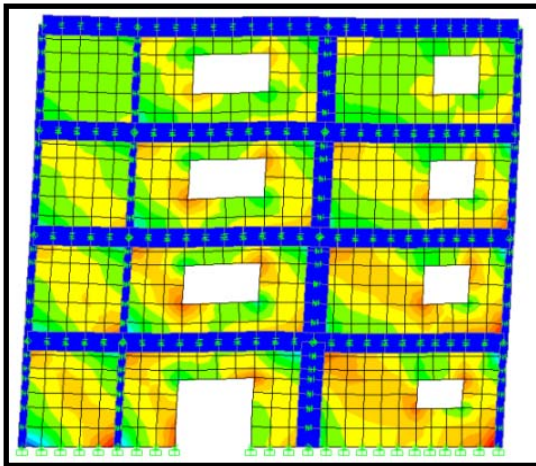


شکل (۶): شکل مود اول قاب مرکب بازشودار ($T=0/2104$)

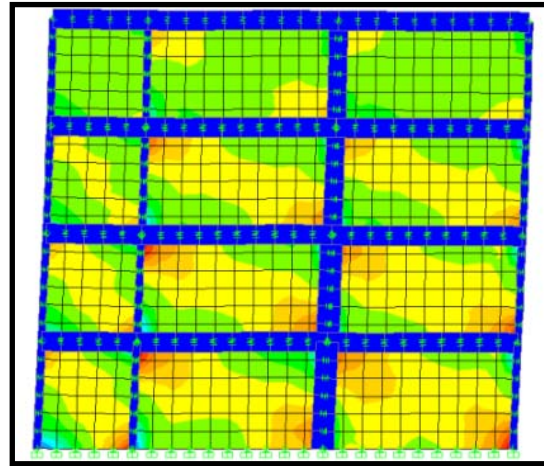


شکل (۵): شکل مود اول قاب مرکب بدون بازشو ($T=0/1743$)

¹ Ambient vibration



شکل (۸) : نمودار تنش فشاری قاب مرکب بازشودار در اثر تحلیل استاتیکی خطی بار زلزله



شکل (۷) : نمودار تنش فشاری قاب مرکب بدون بازشو در اثر تحلیل استاتیکی خطی بار زلزله

۶. نتیجه گیری:

بهبود عملکرد لرزه ای ساختمانها نیازمند ارزیابی دقیق نقش میانقابها در پاسخ سازه نسبت به بارگذاری وارده می باشد. اگر چه پانل های میانقاب اساساً باعث افزایش سختی و مقاومت قاب می شوند، اما اثرات آنها در عملکرد سازه به دلیل کمبود اطلاعات لازم در زمینه رفتار مرکب قاب و میانقاب، نادیده گرفته می شود. در این تحقیق جهت بررسی اثر میانقابها بر پاسخ لرزه ای یک قاب بتن مسلح دارای میانقاب مصالح بنایی و به خصوص میزان تناوب طبیعی سازه، تحلیل های مختلفی صورت گرفته است. سازه هایی که در این قسمت تحت بررسی قرار گرفته اند یک قاب بتن مسلح مسطح بدون میانقاب، با میانقاب دارای بازشو و با میانقاب بدون بازشو می باشند. پس از تحلیل های صورت گرفته بر روی این سازه ها و مقایسه نتایج حاصل از آن با کار آزمایشگاهی، زمان تناوب طبیعی هر سه سازه ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان فهمید که وجود میانقابها باعث افزایش شدید سختی سازه و در نتیجه کاهش چشمگیر میزان زمان تناوب طبیعی سازه می گردد. نتایج نشان می دهد وجود میانقاب مصالح بنایی باعث کاهش یک چهارمی میزان زمان تناوب طبیعی سازه شده است. میزان این کاهش زمان تناوب برای هر دو مورد قاب بتن مسلح با میانقاب دارای بازشو و بدون بازشو تقریباً برابر است.

منابع و مراجع :

- [۱] محسن آزادبخت، سمینار کارشناسی ارشد سازه، بررسی تأثیر میانقابها بر رفتار قابهای بتن آرمه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۶
- [2] H.A. Moghadam, M.Gh. Mohammadi, M. Ghaemian, Experimental and analytical investigation into crack strength determination of infilled steel frames. *Journal of Constructional Steel Research* 62 (2006) 1341–1352
- [3] Matjaž Dolšek, Peter Fajfar, The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete frame—a deterministic assessment. *Journal of Engineering Structures*. In press. (2008)
- [4] Fardis MN. Seismic design issues for masonry-infilled RC frames. In: *Proceedings of the first European conference on earthquake engineering and seismology*. 2006. Paper 313.
- [5] Negro P, Colombo A. Irregularities induced by nonstructural masonry panels in framed buildings. *Engineering Structures* 1997;19:576–85.
- [6] Dolšek M, Fajfar P. Soft storey effects in uniformly infilled reinforced concrete frames. *Journal of Earthquake Engineering* 2001;5:1–12.
- [7] Kaushik HB, Rai DC, Jain SK. Code approaches to seismic design of masonry-infilled reinforced concrete frames: A state of the art review. *Earthquake Spectra* 2006;22:961–83.
- [8] Moghaddam HA, Dowling PJ. The state of the art in infilled frames. ECEE research report no. 87-2. London: Civil Engineering Department, Imperial College of Science and Technology; 1987.

- [9] Crisafulli FJ, Carr AJ, Park R. Analytical modelling of infilled frames structures — a general review. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* 2000;33:30–47.
- [10] Dolšek M, Fajfar P. Simplified non-linear seismic analysis of infilled reinforced concrete frames. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2005;34:49–66.
- [11] Carvalho EC, Coelho E, editors. Seismic assessment, strengthening and repair of structures. ECOEST2-ICONS report no. 2, European Commission — Training and Mobility of Researchers Programme; 2001.
- [12] PEER. Open system for earthquake engineering simulation (OpenSees). Version 1.6.2. Berkeley: Pacific Earthquake Eng. Research Center, Univ. of California; 2005. <http://opensees.berkeley.edu/>.
- [13] Dolšek M, Fajfar P. The effect of masonry infills on the seismic response of a four storey reinforced concrete frame — a probabilistic approach. *Engineering Structures*; 2007 [submitted for publication].
- [14] Fajfar P. A nonlinear analysis method for performance-based seismic design. *Earthquake Spectra* 2000;16:573–92
- [15] CEN. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic action and rules for buildings. Brussels; 2004.

[۱۶] علی‌اکبر آفاکوچک، علی‌محمد معماری. آزمایشات لرزه‌ای بر روی ساختمانهای واقعی. جلد ۱ و ۲. مؤسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. چاپ اول تهران ۱۳۷۲