

بررسی رفتار کلی قابهای میان پر تحت اثر نیروهای جانبی

چکیده:

قاب میان پر عبارتست از قابی که درون آن با مصالح بنائی پر شده باشد، وجود همین میانقاب باعث تغییر رفتار سازه تحت اثر بارهای جانبی می‌گردد. افزایش سختی و مقاومت در این نوع قابها بسیار حائز اهمیت بوده و بدین لحاظ در دهه‌های اخیر تحقیقات فراوانی در زمینه های مختلف اثر میانقابها بر رفتار سازه‌ها انجام شده است. اثرات مطلوب و یا نامطلوب میانقابها در زلزله‌ها و تاثیر این تغییرات بر رفتار کل سازه حداقل عاملی است که آشنائی با رفتار قابهای میان پر را ملزم می‌سازد.

در این مقاله سعی شده است چکیده‌ای از تحقیقات انجام شده پیرامون نحوه رفتار قابهای میان پر و عوامل مؤثر بر سختی و مقاومت آنها، نحوه توزیع تنش در میانقابها، و حالت‌های شکست بصورت اجمالی بیان شود.

مقاله این هدف را دنبال می‌کند که مهندسان، طراحان و دانشجویان بتوانند با دید بازتری نسبت به تاثیر وجود میانقابها در سازه‌ها نگاه کنند و از رفتار واقعی قابهای میان پر بر اثر بارهای جانبی آگاه شوند.

کلمات کلیدی:

میانقاب، قاب میان پر، رفتار سازه، حالت‌های شکست

مقدمه:

به قابهای ساختمانی که درون آنها با دیوارهای بنائی پر شده باشد قاب میان پر گفته می‌شود مصالح پرکننده ممکن است از نوع آجری و یا بتنی باشند که به آنها میانقاب نیز گفته می‌شود. به عبارت دیگر معمولاً در هر ساختمان دیوارهایی وجود دارد که برای جدا کردن فضاها از همدیگر (فضابندی) مورد استفاده قرار می‌گیرند. چنانچه این دیوارها در درون یک قاب واقع شوند در این صورت به آنها جداگرهای میانقابی اطلاق می‌شود.

هنگامیکه درون قابی با دیوار پر شود خواص مکانیکی آن در برابر نیروهای جانبی نظیر سختی، مقاومت، نرمی و شکل پذیری و ... به طور چشمگیری تغییر می‌کند به گونه‌ای که نمی‌توان با جمع ساده خواص قاب لخت و دیوار تنها به این خواص دست یافت تفاوت رفتار قابهای میان پر با قابهای لخت خود باعث تغییر رفتار سازه می‌گردد. به طوریکه وجود میانقابها به نحویکه در زلزله‌ها مشاهده شده، ممکن است اثرات مطلوب و یا نامطلوبی بر روی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها داشته باشد.

دلایل اهمیت میانقابها:

اثر میانقابها بر رفتار سازهها تحت اثر بارهای جانبی (لرزه‌ای) از دیدگاههای مختلف حائز اهمیت است در حقیقت وجود این اثرات، ضرورت شناخت رفتار قابهای میان پر را ملزم می‌سازد، بطور کلی می‌توان عوامل زیر را در این زمینه مورد توجه قرار داد:

۱- تحلیل نادرست ناشی از تخمین نادرست پریود سازه: روش‌های معمول تحلیل لرزه‌ای به یک تخمین خوب از پریود سازه بستگی دارد. از طرفی برای محاسبه پریود به سختی سازه احتیاج داریم نتایج به‌دست آمده توسط پژوهشگران نشان می‌دهد که سختی سازه‌های دارای میانقاب، تفاوت چشمگیری با سختی سازه‌های بدون میانقاب دارد به‌طوریکه پولیاکف با در نظر گرفتن اثر باد بر روی یک ساختمان ۱۴ طبقه دارای میانقاب و همچنین بر اثر مشاهدات انجام شده بر روی ساختمانهای بلند در مسکو، سختی واقعی این ساختمانها را بین ۱۰ تا ۲۰ برابر سختی آنها بدون در نظر گرفتن میانقابها گزارش نموده است. در تحقیق دیگری که توسط چوپرا بر روی یک ساختمان واقعی انجام شد نتایج زیر برای پریود اصلی این ساختمان به‌دست آمد [M1]

جدول ۱- مقایسه پریود اصلی ساختمان Kajme International Building

جهت ارتعاش	X	Y
پریود به روش تحلیلی و بدون در نظر گرفتن میانقاب (ثانیه)	3.19	3.31
پریود از آزمایش پیش از زلزله سن فرناندو (ثانیه)	1.88	1.32
پریود مشاهده شده در هنگام زلزله سن فرناندو (ثانیه)	2.77	2.48

لذا، در صورت عدم توجه به تغییرات سختی ناشی از وجود میانقابها در حقیقت نمی‌توان تحلیل لرزه‌ای درستی ارائه نمود و در نتیجه، طراحی براساس این نتایج غیر واقعی، نادرست خواهد بود.

۲- اصلی اساسی در کار طراحی لرزه‌ای وجود دارد و آن این است که حتی المقدور از عناصری که وزنشان به سازه تحمیل شده است برای بالا بردن مقاومت استفاده شود به‌طوریکه نسبت مقاومت به وزن سازه هر قدر ممکن است بیشتر شود دلیل این امر روشن است زیرا عناصری که وزن قابل توجه دارند به همان میزان نیروی زلزله را افزایش می‌دهند و در مقابل اگر نقشی در باربری لرزه‌ای نداشته باشند سازه را در مقابل زلزله تضعیف خواهند کرد. لذا با توجه به وزن زیاد میانقابها از یکسو و نقش چشمگیر آنها در افزایش مقاومت جانبی سازه از سوی دیگر کاملاً منطقی می‌نماید که در طراحی لرزه‌ای به کار گرفته شوند. [م۱]

۳- با توجه به افزایش شدید سختی ناشی از میانقابها، ممکن است مرکز سختی یک طبقه ساختمان فاصله زیادی با مرکز جرم پیدا کند. (به علت نحوه آرایش نامتقارن میانقابها در پلان) در این حال ساختمانی را که به هنگام طراحی (براساس سختی قابهای خالی) متقارن و فارغ از پیچش فرض شده است با پیچش‌های مخربی مواجه می‌شود لذا اگر قرار است از مقاومت حاصل از میانقابها صرف نظر شود لاقلاً باید تأثیر آنها را در سختی منظور کرد تا از پیچش‌های ناخواسته جلوگیری شود. [م۱]

۴- اگر در سازه‌های دارای میانقاب، برخی از طبقات فاقد میانقاب، و یا نسبت به طبقات مجاور دارای میانقاب کمتری باشند (آرایش غیر یکنواخت میانقابها در ارتفاع) در اینصورت طبقه‌های به اصطلاح نرم در سازه بوجود آمده و رفتار جانبی سازه بشدت تغییر خواهد نمود. [F1]

۵- چنانچه در سازه‌ای تعدادی از قابها میان پر بوده و سایر دهانه‌ها بدون میانقاب باشند به علت سختی زیاد قابهای پر شده، عمده نیروی زلزله، جذب این دهانه‌ها شده و بقیه دهانه‌ها تقریباً بی‌اثر می‌شوند این در حالی است که در طراحی این مسئله مورد توجه قرار نگرفته است و باعث اثرات نامطلوبی خواهد شد در قابهای بتنی این نیروی

تمرکز یافته، موجب عکس العمل شدید میانقاب در برابر قاب شده، ستون بتنی را در محل اتصال خرد می‌کند. در حالیکه در صورت آگاهی طراح از اثر میانقاب، ستون با گذاشتن تنگ‌های اضافی در محل اتصال تقویت می‌شد. [۱م]

۶- با توجه به توسعه روش‌های تحلیل و در نظر گرفتن اثرات $P-\Delta$ در تحلیل‌های غیر خطی، امروزه نقش میانقاب‌ها بیش از گذشته در سازه‌ها مورد توجه می‌باشد زیرا میانقاب‌ها باعث تغییر در سختی سازه و در نتیجه سبب تغییر در مقدار جابجایی آن می‌شود لذا در صورت عدم توجه به تأثیر میانقاب‌ها بر رفتار سازه، نتایج تحلیل‌های غیر خطی دور از واقعیت خواهد بود. [S3]

۷- افزون بر دلائل کلی که در بالا بیان شد میانقاب‌ها در معماری ایران تأثیر مضاعف دارند زیرا تیپ غالب ساختمانهای شهری، عبارتست از یک اسکلت فولادی با اتصالات خورجینی که قابلیت انتقال لنگر آنها نامشخص می‌باشد مدل سازه‌ای این نوع ساختمانها فاقد ظرفیت باربری افقی است بنابراین در مقابل زلزله ناپایدار تلقی می‌شوند اما با توجه به اینکه این قاب‌ها به وسیله دیوار پر می‌شوند، لذا مقاومت جانبی قاب از صفر به رقم قابل توجهی تبدیل می‌شود و میانقاب‌ها در مقابل نیروهای زلزله رأساً مقاومت می‌کنند. به‌طوریکه در زلزله سال ۱۳۶۹ منجیل عملکرد ساختمانهای معمولی شهر رشت که اکثراً فاقد سیستم‌های کلاسیک لرزه بر نظیر بادبند، اتصالات صلب و دیوار برشی بتن مسلح بودند نشان داد که میانقاب‌ها بار اصلی مقاومت را به دوش داشته و با ترکها و خرد شدن آنها انرژی زلزله را جذب کرده‌اند. [۱م]

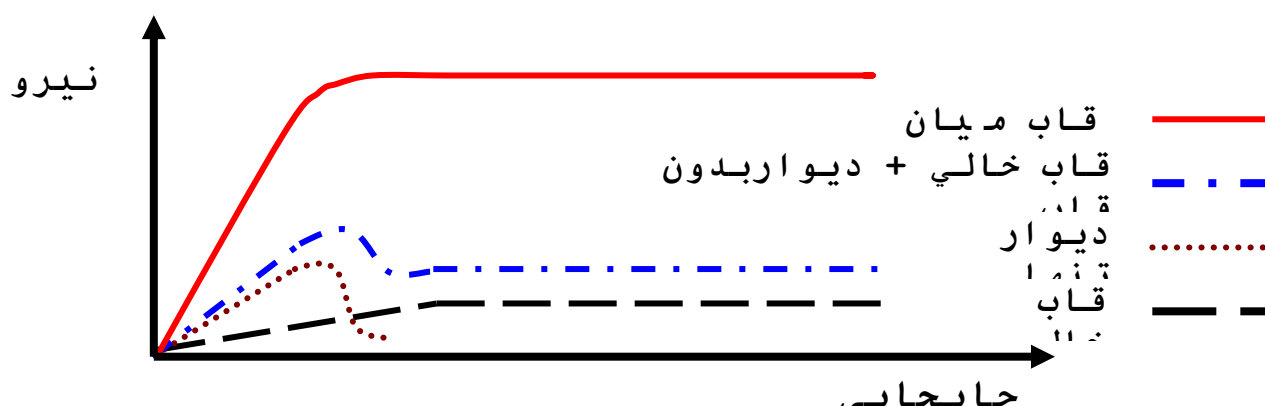
نگاهی به ضوابط آئین‌نامه ایران در مورد میانقاب‌ها:

با توجه به اهمیت وجود میانقاب‌ها در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها آئین‌نامه ۲۸۰۰ در قسمتهای مختلف پیشنهادهای مختلفی ارائه نموده که خلاصه آنها را بصورت زیر می‌توان بر شمرد:

- ۱- این آئین‌نامه با کاهش ۲۰٪ درصدی زمان تناوب اصلی سازه، برای ساختمانهایی که دارای میانقاب می‌باشند، در حقیقت سختی قاب‌های میان پر و در نتیجه نیروی زلزله بیشتر وارد بر آنها را، مد نظر قرار داده است.
- ۲- سیاست کلی آئین‌نامه مخصوصاً برای ساختمانهای با اهمیت زیاد که دارای میانقاب هستند آن است که: باید با جداسازی قاب از میانقاب، مانع ایجاد محدودیت میانقاب برای حرکت جانبی قاب شد. در غیر اینصورت باید اثرات اندرکنشی قاب و میانقاب، و سختی دیوارها در تحلیل سازه برای نیروهای جانبی مد نظر قرار گیرند.

اندرکنش قاب و میانقاب:

قاب میان پر را می‌توان جمع دو عنصر قاب و دیوار دانست. اگر نمودارهای نیرو - جابه‌جایی را برای قاب خالی و دیوار بدون قاب در یک دستگاه مختصات رسم کرده، و با هم جمع کنیم نمودار حاصل به هیچ وجه بر نمودار مربوط به قاب میان پر منطبق نیست. بلکه نمودار مربوط به قاب پر شده رفتار متفاوتی نسبت به مجموع رفتار قاب و دیوار دارد. خاصیت فوق نشانگر این مطلب است که بین قاب و دیوار اندرکنش وجود دارد و رفتار قاب میان پر یک رفتار مرکب بین قاب و دیوار می‌باشد. همانند رفتار بتن مسلح که خواصش از جمع خواص فولاد و بتن به دست نمی‌آید. بلکه به صورت محیطی مرکب مورد مطالعه قرار می‌گیرد. [۱م]



تبدیل رفتار خمشی به رفتار خریائی

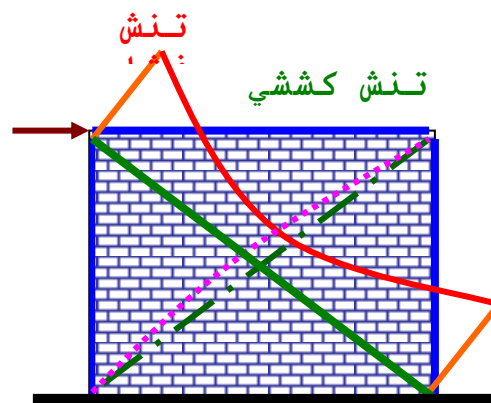
رفتار یک قاب صلب در برابر نیروهای جانبی بصورت کنش خمشی، و رفتار یک دیوار بدون قاب تحت بار جانبی همانند یک تیر طره‌ای می‌باشد. این در حالی است که رفتار قاب میان پر که شامل قاب و میانقاب است بطور کلی با رفتار هر کدام از قاب و دیوار تفاوت دارد و بصورت کنش خریائی در مقابل نیروهای جانبی مقاومت می‌نماید. حاصل این امر سختی و مقاومت بسیار بیشتر، و تغییر مکان و انعطاف پذیری کمتر، قاب میان پر در مقایسه با قاب خالی می‌باشد. بدین ترتیب شاید ساده‌ترین توضیحی که برای رفتار قابهای میان پر بتوان یافت تبدیل کنش خمشی به کنش خریائی می‌باشد.

تنش و کرنش در میانقاب تحت اثر بار جانبی

به خاطر وجود بارهای جانبی، بین قاب و میانقاب اندرکنش ایجاد می‌شود و نیروهای اندرکنشی که بر روی محیط دیوار ایجاد شده‌اند موجب ایجاد تنش‌های صفحه‌ای درون دیوار می‌شوند. لازم به ذکر است که نیروهای اعمالی به میانقاب که در سطوح تماس قاب و میانقاب وارد می‌شوند به عواملی همچون مقدار نیروی خارجی، سختی نسبی قاب و میانقاب و نحوه اتصال آن دو، بستگی دارد.

با توجه به آزمایش‌های که بر روی قابهای میان پر انجام شده نتایج زیر را در مورد نحوه توزیع تنش و کرنش در میانقاب به دست آورد. [M1, S1]

- ۱- تنش کششی روی قطر کششی در دو انتها صفر و در وسط به اوج می‌رسد
- ۲- تنش فشاری روی قطر فشاری در دو انتها بیشترین مقدار و در وسط کمترین مقدار را داراست.
- ۳- بیشینه تنش کششی حدود یک سوم کمینه تنش فشاری بر روی قطر ها می‌باشد.
- ۴- مقدار کاهش طول قطر فشاری ۸ تا ۱۰ برابر میزان افزایش طول قطر کششی می‌باشد.
- ۵- میزان کرنش متوسط در قطر فشاری تابعی است از مربع شدت بار جانبی



شکل ۲ - نحوه توزیع تنشها بر روی

حالت‌های شکست در قاب‌های میان‌پر:

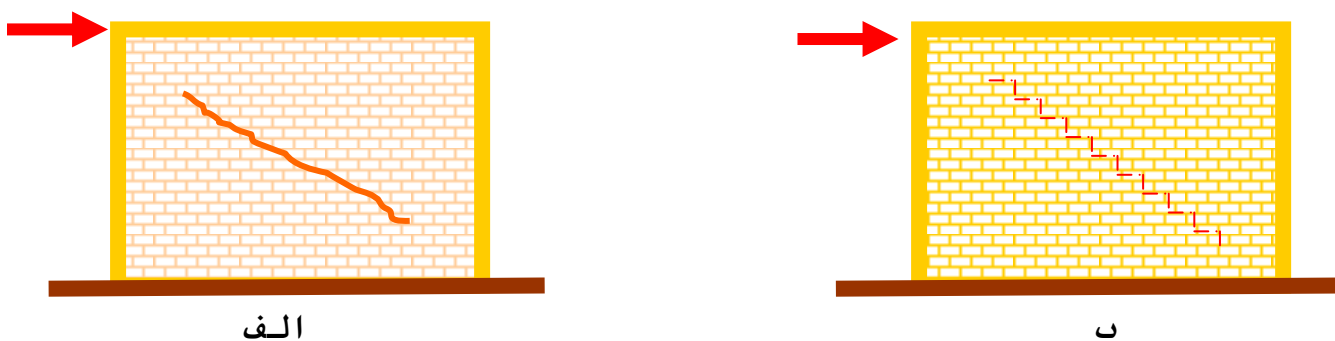
تعداد زیادی از پژوهشگران در زمینه چگونگی شکست در قاب‌های میان‌پر بر اثر بار جانبی تحقیق نموده‌اند. برای این منظور آزمایشهای زیادی در مقیاس‌های مختلف و حتی در مقیاس کامل با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر شکست، نظیر نوع قاب، نوع میانقاب، ابعاد میانقاب، وجود بازشوها مورد بررسی قرار گرفته شده است. حالت‌های شکست را می‌توان در دو دسته عمده جای داد. دسته اول شکست‌هایی که در میانقاب رخ می‌دهد و دسته دیگر شکست‌هایی که بر روی قاب بواسطه وجود میانقاب اتفاق می‌افتد که آنها را می‌توان حالت‌های خاص شکست نامید. در ادامه بطور مختصر این شکست‌ها توضیح داده می‌شوند.

ترک‌های مرزی:

تحت اثر نیروی جانبی در صفحه، نخست قاب و میانقاب به‌صورت هماهنگ عمل می‌کنند و میانقاب در کنج‌های فشاری تحت فشار و در کنج‌های کششی تحت کشش قرار می‌گیرد اما با افزایش نیرو، بین قاب و میانقاب در کنج‌های کششی جدائی اتفاق می‌افتد و ترک ایجاد می‌گردد. که مرز قاب و میانقاب را مشخص می‌نماید. وجود ترک مرزی اثر چندانی بر مقاومت ندارد و فقط اندکی از سختی اولیه می‌کاهد. اما رفتار پس از این ترک باز هم خطی است.

ترک‌های قطری:

در مرحله بعدی با افزایش بار جانبی در امتداد قطر فشاری ترک ایجاد شده و به سمت گوشه‌های فشاری گسترش می‌یابد البته به‌خاطر تغییر جهت بار گذاری ترک دیگری در جهت قطر دیگر هم ظاهر می‌شود و ترک‌های قطری به‌صورت ضربدر دیده می‌شوند. عامل اصلی ایجاد ترک قطری وجود کشش در راستای عمود بر قطر فشاری می‌باشد که با توجه به تنش‌های ایجاد شده در مرکز جزء و عواملی چون جنس میانقاب و نسبت ابعاد میانقاب سه حالت برای شکست قطری وجود دارد که عبارتند از: شکست کششی، شکست برشی افقی و شکست برشی قائم، در ادامه علت به‌وجود آمدن هریک از این شکست‌ها بیان می‌گردد. [۱]



الف

ب

الف: شکست شکل ۳ - ترک قطری الف: حاصل از شکست کششی میانقاب ،

برای ب: حاصل از شکست برشی قاب

بای آجرچینی

شده در صورتی‌ده با ملات قوی اجرا شده باشند ده مانع از عبور ترک قائم و افقی از درز آجرچینی شوند شکست کششی رخ می‌دهد (شکل ۳)

ب: شکست برشی افقی و قائم:

در میانقاب‌های آجری با ملات‌های معمولی چون آجرها بسیار قویتر از ملات عمل می‌کنند شکست به‌صورت لغزش افقی و یا قائم در ملات بخاطر وجود تنش‌های برشی رخ خواهد داد. زیرا پیش از آنکه مقدار تنش کششی در امتداد مایل به حدی برسد که شکست کششی ایجاد شود، تنش برشی از مقاومت برشی ملات فراتر رفته و شکست از نوع برشی خواهد بود. می‌دانیم که شکست برشی مصالح فشاری از معیار کولن پیروی می‌کند. (شکل ۳) که:

$$\tau_f = \tau_0 + \mu \sigma_n \quad (۱)$$

τ_0 چسبندگی ملات

μ ضریب اصطکاک

σ_n تنش عمود بر سطح برش

شکست کنج:

در کنجهای بارگذاری شده (فشاری) تنش‌ها به‌صورت متمرکز وجود دارند. و همواره بیشترین تنش فشاری را دارا هستند. با افزایش بار جانبی، تنش‌ها در این کنجها به مقدار نهائی خود رسیده و باعث خرد شدن میانقاب در این قسمت می‌گردند در کنجها جزءها محصور شده می‌باشند لذا مقاومت بالائی از خود نشان می‌دهند. ناحیه شکست به طول تماس قاب و میانقاب که مرتبط با سختی نسبی آنها می‌باشد، بستگی دارد به‌طوری‌که هرچه قاب قوی‌تر باشد طول تماس بیشتر و ناحیه شکست بزرگتر و در نتیجه مقاومت کنج بالاتری خواهد داشت. [م ۱] در ضمن رفتار قاب میان‌پر قبل و بعد از شکست کنج غیر خطی است.

حالت نهایی شکست:

پس از شکست کنج، سختی به شدت کاهش می‌یابد اما صفر نمی‌شود و هنوز مقاومت قاب میان‌پر به حالت حدی نرسیده است. به تدریج که بارگذاری افزایش می‌یابد ترکهای دیگری به موازات ترک قطری ایجاد می‌شوند. نقاط دورتر از کنج نیز شروع به خرد شدن می‌کنند و علاوه بر این معمولاً لولاهای مومسان نیز در قاب ایجاد می‌شود و در اینجا است که سختی صفر شده، مقاومت به مقدار حدی می‌رسد و به ازای جابجایی بیشتر تغییر نمی‌کند. پس از رسیدن به مقاومت حدی، اعمال هر مقدار جابجایی صرفاً موجب خرد شدن میانقاب و گسترش ترکها می‌شود بدون آنکه مقاومت را افزایش دهد. در این حوزه که می‌توان آن را ناحیه کاملاً مومسان نامید، قاب میان‌پر می‌تواند، جابجاییهای بسیار بزرگی را تحمل کند بدون آنکه از مقاومتش کاسته شود. [م ۱]

پرتاب برون صفحه‌ای میانقاب:

بر اثر نیروی عمود بر صفحه میانقاب که به‌خاطر جهت نیروی زلزله بر سازه اعمال می‌گردد ممکن است میانقاب به بیرون از صفحه خود پرتاب شود. میانقاب تحت نیروی عرضی رفتاری همچون یک دال تحت از خود نشان می‌دهد و مهمترین عامل ایستائی میانقاب در مقابل نیروهای عرضی ایجاد کنش قوسی در میانقاب به‌خاطر حصار محیطی یعنی قاب می‌باشد. بر اثر لنگرهای خمشی ایجاد شده ترکهای همچون خطوط سیلان در دالهای تحت ایجاد می‌گردد. نکته قابل توجه در این قسمت آن است که بین حالت‌های شکست میانقاب تحت نیروهای صفحه‌ای و عرضی، اندرکنش وجود دارد در زلزله‌های قوی، مولفه طولی موجب ترک خوردگی و خرد شدگی میانقاب می‌شود و به همین خاطر قابلیت کنش قوسی میانقاب به شدت کاهش می‌یابد لذا تمایل میانقاب به پرتاب عرضی افزایش خواهد یافت بنابراین باید جابجایی‌های قاب میان‌پر محدود شود تا مقاومت عرضی لازم برای ایستادگی در برابر زلزله تأمین گردد. وگرنه میانقاب از قاب به بیرون پرتاب می‌شود و سازه با تغییرات شدید مقاومت و سختی مواجه خواهد شد و ایستایی لرزه‌ای آن به خطر می‌افتد. [م ۱]

حالت‌های خاص شکست: [م ۱]

الف: شکست برشی ستون بتنی:

یکی از حالت‌های خاص شکست که به‌خاطر وجود میانقاب‌ها اتفاق می‌افتد شکست در ستون بتنی است زیرا در طراحی بدون در نظر گرفتن میانقاب‌ها، نیروی جانبی بین همه قاب‌ها تقسیم می‌گردد در حالیکه وجود میانقاب در داخل بعضی از قاب‌ها تقریباً تمام نیروی زلزله را متوجه این چند قاب می‌سازد. علاوه بر این نیروی زلزله وارد بر یک قاب میان‌پر، به مراتب بزرگتر از نیروی وارد به قاب خالی است در این حال ستون که برای چنین نیروی برشی زیادی طراحی نشده دچار شکست برشی می‌شود در ضمن کاهش نیروی فشاری در ستون در هنگام زلزله، شکست برشی را آسانتر می‌کند.

ب: شکست ستون کوتاه:

گاهی اوقات به‌علت وجود بازشوها در میانقاب‌ها، داخل قاب کاملاً پر نمی‌شود و بین تیر فوقانی و میانقاب فاصله‌ای باز می‌ماند. در این حالت طول ستون‌های کناری کوتاه می‌شود. و به‌خاطر آنکه سختی هر قاب تقریباً با مکعب طول ستون نسبت معکوس دارد بنابراین سختی این قاب‌ها نسبت به قاب‌های لخت به شدت افزایش یافته و بخش زیادی از نیروی زلزله را جذب می‌کنند. در ضمن به‌خاطر کاهش طول ستون، قابلیت تغییر شکل‌های خمشی آن نیز کاهش می‌یابد در این حال به‌خاطر نیروهای برشی، ستون در حالت برشی می‌شکند که در مقایسه با شکست خمشی، از نوع ترد است.

ج: گسستن اتصالهای فولادی:

در قاب‌های میان‌پر وجود قاب در پیرامون دیوار، مانع تغییر شکل خمشی دیوار می‌شود و بر همین اساس مقاومت دیوار قاب گرفته از مقاومت دیوار بدون قاب بیشتر است. و شرط اساسی برای این رفتار آن است که اتصال‌های قاب از هم نگسلد در غیر اینصورت دیگر عاملی رفتار خمشی دیوار را مهار نکرده و دیوار بسیار زود می‌شکند. لذا در مورد اتصالات در سازه‌های فولادی در محاسبه و اجرا باید نیروهای اعمالی به اتصال را مد نظر داشت. وگرنه با گسیخته شدن اتصال، شکست به‌وجود خواهد آمد.

تأثیر میانقاب‌ها بر سختی و مقاومت جانبی سازه‌ها

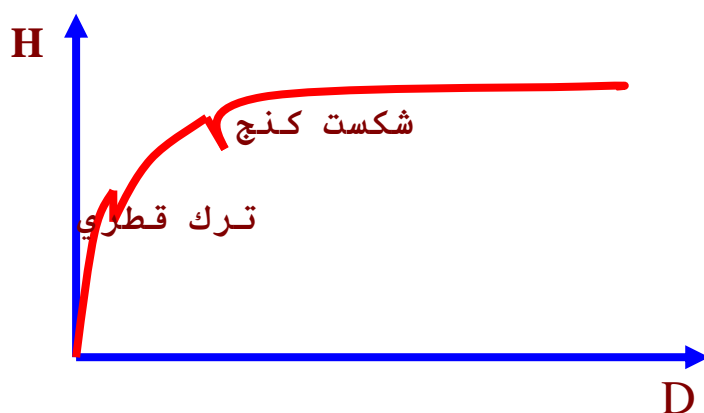
اثر میانقاب‌ها بر مقاومت و سختی جانبی قاب‌ها را شاید مهمترین عاملی دانست که سبب شده پژوهشگران بسیاری در این زمینه به تحقیق بپردازند. پولیاکف با انجام آزمایش‌هایی بر روی ساختمانهای بلند در مسکو دریافت که سختی قاب‌های میان‌پر نسبت به قاب خالی تا ۲۰ برابر افزایش نشان می‌دهد. برترو و بروکن [B1] نیز افزایش سختی جانبی در قاب‌های میان‌پر سه طبقه که در مقیاس مورد آزمایش قرار داده شدند را نسبت به قاب خالی، بین ۵ تا ۱۱ برابر گزارش دادند. همچنین افزایش مقاومت جانبی در قاب‌های میان‌پر نسبت به قاب‌های خالی بسیار حائز اهمیت می‌باشد رد [R1] با آزمایش بر روی یک نمونه واقعی از یک قاپ نرمال میان‌پر به ابعاد تقریبی ۴۰ ft × ۴۰ ft افزایش مقاومت و سختی جانبی را در مقایسه با قاب میانی به ترتیب حدود ۶ و ۲۰ برابر گزارش نمود بدیهی است که میزان تغییر سختی و مقاومت در قاب‌های میان‌پر بستگی به عوامل مختلفی دارد که در این بخش به تأثیر این عوامل بر سختی و مقاومت پرداخته خواهد شد. [M1] اما به‌رحال صرف نظر از تأثیر عوامل مختلف مؤثر بر تعیین مقاومت و سختی باید

در نظر داشت که صرف وجود میانقاب که مانع از تغییر شکل آزادانه قاب تحت اثر بارهای جانبی می شود باعث افزایش سختی و مقاومت نسبت به یک قاب خالی خواهد شد.

به عنوان مثال چنانچه یک قاب فولادی با آجر بدون ملات پر شود به طوریکه بین آجرها و ستون فاصله بوده و تنها مابین آجرها و تیر دوغاب ضعیفی ریخته شود، چنین قابی تحت بار جانبی نسبت به قاب خالی، افزایش ۳۰۰ درصدی در سختی و ۲۰۰ درصدی در مقاومت از خود نشان می دهد

شناخت سطوح مقاومت

در طی دوره بارگذاری جانبی یک قاب میان پر، همانطوریکه در نمودار (شکل ۴) مشاهده می شود چند مرحله مشخص و مجزا اتفاق خواهد افتاد در این نمودار که در آن مقدار بار در برابر میزان تغییر مکان جانبی به ارتفاع قاب نمایش داده می شود هریک از مقادیر H که باعث ایجاد یک نوع ترک یا شکست شود مقاومت مربوط به آن حالت می نامند. به عنوان مثال نیرویی که باعث ایجاد ترک قطری در میانقاب می شود مقاومت ترک قطری می نامند. [M1]



شکل ۴- نمایش سطوح مقاومت در نمودار نیرو - جابجایی قاب میان پر

سختی قابهای میان پر:

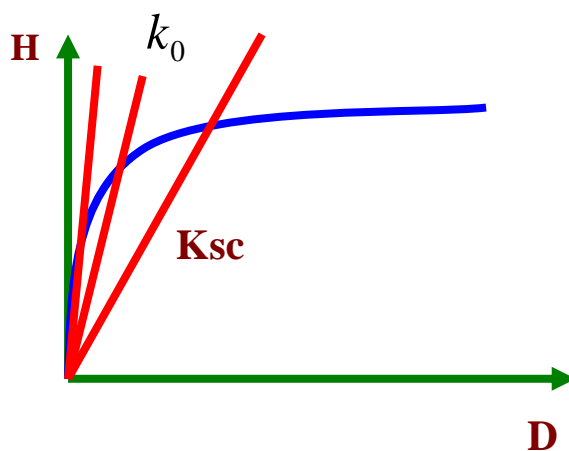
قابهای میان پر در ابتدای بارگذاری جانبی، سختی بسیار بالایی دارند. اما با ادامه بارگذاری به زودی با ایجاد شدن ترکهای مرزی، سختی مماسی اولیه کمی کاهش می یابد اما تا پیش از به وجود آمدن ترک قطری، مقدار این سختی تقریباً ثابت باقی می ماند که نشان دهنده رفتار خطی سازه می باشد با ظهور ترکهای قطری تغییر مکانها به سرعت افزایش می یابند و سختی کاهش قابل توجهی، می یابد و از این مرحله، رفتار سازه وارد حیطه غیر خطی می شود. طبق نتایج تحقیقات تجربی، نرخ کاهش سختی در قابهای میان پر فولادی سریعتر از قابهای میان پر بتنی می باشد در مقابل انعطاف پذیری و مقاومت نهائی در قابهای بتنی به طور چشمگیری کمتر از قابهای فولادی است. [M1]

تعریف سختی:

طبق آنچه در قسمت قبلی گفته شد می توان مراحل متمایز زیر را در مورد سختی بیان نمود.

- ۱- سختی در زمان وقوع ترک مرزی (K_t)
- ۲- سختی پس از وقوع ترک مرزی و در هنگام وقوع ترک قطری (K_0)
- ۳- سختی پس از وقوع ترک قطری هنگامیکه مقاومت نهائی رخ می دهد. (K_{sc})

در شکل (۵) مراحل فوق نمایش داده شده است لازم به ذکر است که سختی‌های بیان شده مربوط به اولین دوره بارگذاری می‌باشد. [M1]



شکل ۵ - مراحل سختی در قاب میان‌پر در بارگذاری اولیه

عوامل مؤثر بر تعیین مقاومت و سختی:

عوامل زیادی بر مقاومت قابهای میان پر تأثیر گذارند این عوامل را می توان به دو گروه زیر تقسیم نمود. دسته اول: آنهاییکه می توان به آسانی آنها را تعیین نمود و تعمیم داد از جمله این عوامل می توان به: هندسه و مقاومت میانقاب، ابعاد میانقاب، نسبت سختی میانقاب به قاب، مقدار لنگر خمیری قاب، مقاومت و صلبیت اتصالات قاب، سختی نسبی تیر به ستون، میزان مسلح بودن میانقاب، موقعیت بازشوها و ابعاد آنها، اثر دهانه های مجاور، پیش تنیدگی، مقیاس آزمایش و نوع قاب و میانقاب اشاره نمود.

دسته دوم: عواملی که تعیین میزان تأثیر، کمیت و تعمیم دادن آنها به سختی میسر است. از جمله این عوامل می توان نوع و ابعاد آجرها، نحوه اتصال در سطوح تماس قاب و میانقاب، وجود درز و شکاف بین قاب و میانقاب، اثر وجود تیرهای بالای بازشوها، پیوستگی ملات و آجر، نحوه ساخت و طرز آجرکاری نام برد. برای تعیین میزان تأثیر عوامل یاد شده محققان بسیاری به انجام تحقیقات تجربی و تحلیلی پرداخته اند. در ادامه به بیان برخی از این عوامل پرداخته می شود.

سختی نسبی میانقاب و قاب، λh :

استافورد اسمیت (۱۹۶۶) پارامتر λh را به صورت رابطه (۲) بیان نمود که بیان کننده نسبت سختی میانقاب به قاب نیز می باشد [S2]

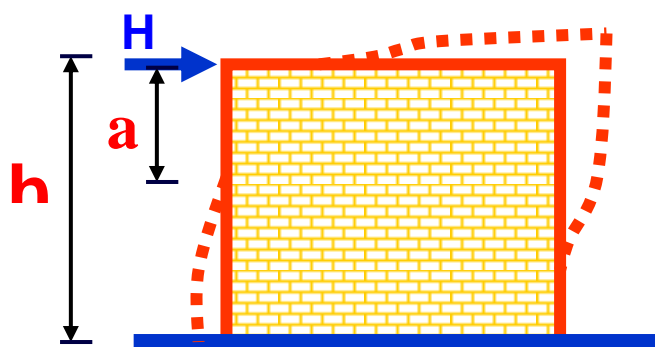
$$\lambda h = h \sqrt[4]{\frac{E_i t}{4E_f I_f h}} \quad (2)$$

که در آن: h طول دهانه مربع شکل (ارتفاع)، E_i و E_f به ترتیب مدول الاستیته میانقاب و قاب، I_f ممان اینرسی قاب و t ضخامت میانقاب است.

برای تخمین تقریبی طول لهیدگی و اتکای ستون به دیوار، می توان از تئوری تیر بر بستر ارتجاعی استفاده نمود طول لهیدگی ستون α را می توان از روابط زیر به دست آورد [ح ۱]

$$\alpha = \frac{\pi}{2\lambda} \quad (3)$$

که λ معرف نسبت سختی لهیدگی پر کننده به صلبیت خمشی ستون است.



شکل ۶ - نمایش طول تماس

بدیهی است هرچه قاب نسبت به میانقاب سخت تر باشد پارامتر λh هم کمتر خواهد شد و طول تماس بیشتر می گردد در زمینه تأثیر پارامتر λh بر سختی و مقاومت تحقیقات زیادی انجام شده که نتایج آنها به صورت خلاصه بیان می گردد. [م ۱ و م ۱]

۱- شکست کنج متأثر از این عامل است به طوریکه با افزایش λh ، مقاومت کنج کاهش می یابد.

۲- باری که باعث ایجاد ترک قطری می شود چندان تحت تأثیر λh نمی باشد.

نسبت بعدی ارتفاع به طول ($\frac{h}{l}$ ، h ثابت و L متغیر)

نسبت $\frac{h}{l}$ بیانگر نسبت بعدی قاب میان پر می باشد تأثیر این پارامتر بر مقاومت و سختی براساس آزمایشها توسط محققان بررسی شده است

افزایش نسبت ارتفاع به طول باعث کاهش میزان مقاومت در سطوح مختلف می شود. از روابط زیر مقاومت قطری و

نهائی را برای نسبت های بعدی مختلف بر حسب مقاومت در نسبت بعدی $\frac{h}{l} = 1$ (مربع) به دست آورد: [M1]

$$H_c = H_{lc} \left[1 + \beta_c \left(1 - \frac{h}{l} \right) \right] , \quad \beta_c = \begin{cases} 1.8 & \frac{h}{l} \leq 1 \\ .4 & \frac{h}{l} > 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$H_u = H_{lu} \left[1 + \beta_u \left(1 - \frac{h}{l} \right) \right] , \quad \beta_u = \begin{cases} 1 & \frac{h}{l} \leq 1 \\ .4 & \frac{h}{l} > 1 \end{cases} \quad (5)$$

خلاصه نتایج تأثیر نسبت بعدی بر مقاومت و سختی جانبی یک قاب میان پر را می توان به صورت زیر بیان نمود:

۱- مقاومت ترک خوردگی قطری و نهائی در نسبت های بعدی کوچکتر از ۱ به شدت تحت تأثیر عامل $\frac{h}{l}$ می باشند به طوریکه با افزایش آن مقدار این مقاومت ها کاهش می یابد.

۲- اثر نسبت بعدی $\frac{h}{l}$ بر مقاومت ترک خوردگی بیش از اثر آن بر مقاومت نهائی است.

۳- براساس مشاهدات انجام شده مقاومت کنج بستگی به نسبت $\frac{h}{l}$ ندارد.

۴- نسبت های بعدی $\frac{h}{l}$ کوچکتر از ۰/۵، سختی مستقل از این پارامتر می باشد.

۵- با افزایش مقدار $\frac{h}{l}$ سختی کاهش می یابد.

تأثیر بازشوها

وجود قسمت های پرنشده در میان قاب ها به واسطه وجود پنجره و یا در، و به عبارت دیگر وجود بازشوها از دیگر عوامل مؤثر بر سختی و مقاومت قاب های میان پر می باشد پژوهشگران با انجام آزمایش روی نمونه هایی با مقیاس های کوچک و واقعی و نیز تحلیل با بکارگیری روش اجزاء محدود کوشیده اند تا میزان تأثیر بازشوها را روشن سازند. نتایج نشان می دهد که بیش از هر چیز اندازه و محل استقرار بازشو به سختی و مقاومت قاب میان پر مؤثر است بطوریکه در مورد تأثیر بازشوها بر مقاومت و سختی نتایج کلی زیر را می توان بیان نمود.

۱- موقعیت استقرار بازشو از تأثیر بسزائی برخوردار است به طوری که در کنج فشاری بیشترین و در کنج کششی کمترین تأثیر را داراست.

۲- به دلیل متناوب بودن نیروهای زلزله بهتر است در صورت امکان بازشو در وسط قرار گیرد

۳- هر قدر سطح بازشو بزرگتر باشد تأثیر آن بیشتر است.

۴- اگر بازشو در کنج باشد تأثیرش بر سختی بیش از مقاومت است اما اگر در وسط میانقاب باشد بر سختی تأثیر چندانی ندارد و بیشترین کاهش در مقاومت ترک قطری رخ می‌دهد و مقاومت نهایی به میزان کمتری تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

۵- وجود اتصالات برشی بین قاب و میانقاب می‌تواند از شدت تأثیر کاهندگی بازشو بکاهد.

۶- تأثیر بازشو بر کاهش مقاومت ترک قطری بیش از تأثیر آن بر کاهش مقاومت نهایی می‌باشد

۷- بازشو تأثیر چندانی بر سختی ندارد مگر آنکه در کنج‌های بار گذاری شده واقع گردد.

تأثیر درز بین قاب و میانقاب بر مقاومت سختی

گاهی اوقات بین میانقاب و قاب فاصله و درزی واقع می‌شود که در صورتیکه مابین میانقاب و ستون باشد درز قائم و در صورتیکه بین میانقاب و تیر شکافی باشد که معمولاً توسط گچ یا آجرهای اریب پر می‌شود به آن درز افقی گویند. نتایج کلی زیر در مورد اثر وجود درز و شکاف بر مقاومت و سختی حائز اهمیت می‌باشد.

۱- وجود درز تأثیر مهمی بر کاهش سختی مخصوصاً هنگامیکه درز در کنج بارگذاری شده قرار داشته باشد دارد.

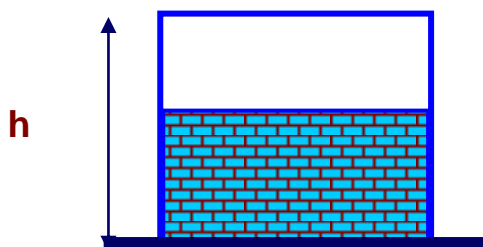
۲- وجود شکاف کوچک در کناره‌ها و یا در بالای میانقاب تأثیر چندانی بر مقاومت نهایی ندارد اما باعث کاهش مقاومت ترک قطری می‌گردد.

۳- در صورت ناگزیر بودن از وجود درزهای افقی و قائم بهتر است برای کاهش تأثیر کاهندگی، میانقاب‌ها در کنج‌ها به خوبی به قاب بچسبند.

تأثیر دهانه‌های نیمه پر

گاهی اوقات داخل یک قاب بطور کامل پر نمی‌شود و بین سطح بالائی میانقاب و تیر فوقانی، خالی می‌ماند (این حالت با حالت وجود بازشو تفاوت دارد زیرا که بازشو معمولاً به سطح تقریباً کوچکی اطلاق می‌گردد) در چنین حالتی رفتار قاب نه بصورت رفتار یک قاب خالی و نه بصورت یک قاب کاملاً پر شده است در نتیجه مقاومت و سختی، و همچنین رفتار سازه متفاوت از حالت‌های پیشین خواهد بود. بوجود آمدن پدیده ستون کوتاه و در نتیجه شکستن ستونهای بتنی از آثار نامطلوب، وجود دهانه‌های نیمه پر می‌باشد.

گولکان [G1] به بررسی نحوه رفتار دهانه‌های نیمه پر با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده توسط دیگر پژوهشگران پرداخت وی نتایج جالبی از تأثیر درصد پرشدگی قاب بر روی سختی و برش ایجاد شده در ستون با استفاده از روش اجزاء محدود بر روی یک نمونه قاب نیمه پر بدست آورد. مطابق شکل نسبت پرشدگی دهانه (α) برابر ارتفاع قسمت پر شده به کل ارتفاع می‌باشد. نتایج بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:



شکل ۷ - قاب نیمه پر مورد

۱- با افزایش میران پرشدگی قاب، سختی قاب نسبت به حالت لخت نیز افزایش می‌یابد اما افزایش قابل ملاحظه در نسبت پرشدگی $h/4 \cdot 0$ (ارتفاع) به بالا اتفاق می‌افتد

۲- در حالت قاب لخت، نیروی برشی ستون در سمت بارگذاری، نصف مقدار بار جانبی است اما در دهانه‌های نیمه پر نیروی برشی این ستون بیش از این مقدار است تا جائیکه در $\alpha = 0.8$ ، نیروی برشی ستون حدود ۵۰٪ نسبت به حالت بدون میانقاب افزایش نشان می‌دهد. لذا در دهانه‌های نیمه پر باید به وجود این مسئله (ستون کوتاه) توجه داشت تا از بروز شکست برشی در ستون جلوگیری شود.

۳- برخلاف دهانه‌های نیمه پر که باعث افزایش نیروی برشی در ستون سمت بارگذاری می‌شوند، در قاب کاملاً پر، نیروی برشی در ستون، نسبت به قالب خالی، کمتر می‌باشد.

شرایط پیوستگی سطوح تماس:

پیوستگی برشی سطوح تماس باعث افزایش سختی می‌شود همچنین موجب افزایش مقاومت شکست کنج فشاری می‌گردد و در حالتیکه این شکست، شکست نهائی باشد باعث افزایش مقاومت نهائی می‌گردد. در ضمن وجود اتصالات برشی در سطوح تماس سبب افزایش سختی می‌شوند.

نوع میانقاب:

نوع میانقاب که در حقیقت بیان کننده جنس و طرز ساخت آن می‌باشد با توجه به آنکه مقدار مقاومت کششی و فشاری و برشی آن در تعیین حالت‌های شکست و دیگر مشخصات فیزیکی و مکانیکی میانقاب بر طرز رفتار قاب میان پر تأثیر می‌گذارد بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

مقاومت ملات:

این عامل تأثیر مهمی بر افزایش مقاومت ترک خوردگی و نهائی و همچنین سختی قاب‌های میان پر آجری دارد (در مورد میانقاب‌های بتنی مقاومت بستگی به مقاومت بتن دارد) میزان تأثیر این عامل به نوع آجرها بستگی دارد و در مورد آجرهای سوراخ دار بیش از آجرهای توپر می‌باشد.

مدلسازی و عامل مقیاس λ :

منظور از مدلسازی همان انجام آزمایش‌ها در مقیاس می‌باشد براساس تحقیقات، در مقیاس‌های کوچک مقاومت بیشتری نسبت به نمونه واقعی به دست می‌آید. در حالیکه سختی‌های مماسی اولیه بر روی مدل‌های کوچک کمتر از سختی متناظر نمونه‌های واقعی می‌باشد. لذا برای نسبت‌های $\frac{h}{l}$ ثابت اما در مقیاس‌های مختلف نتایج لزوماً یکسان نخواهند بود و در مدلسازی‌ها باید بر آن دقت داشت.

اثر دهانه‌های کناری:

به‌طور کلی قاب‌های مجاور می‌تواند باعث افزایش مقاومت شوند. در ضمن سختی یک قاب چند دهانه میان پر بسیار بیشتر از مجموع سختی هریک از قاب‌های میان پر می‌باشد.

نوع و اندازه آجرها:

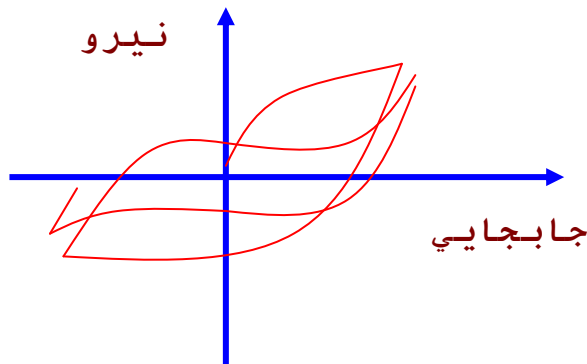
آزمایش‌ها نشان داده‌اند که آجرهای توپر در مقایسه با آجرهای توخالی دارای استحکام بیشتر و در کاهش مقاومت در طی دوره‌های بارگذاری حساسیت کمتری دارا هستند ضمن آنکه اندازه آجرها تأثیر چندانی بر مقاومت ندارد. اما با کاهش یافتن اندازه آجرها، سختی نیز کاهش می‌یابد.

رفتار لرزه‌ای قابهای میان پر و تأثیر آن بر مقاومت و سختی

از آنجائیکه در رفتار لرزه‌ای یک سازه جرم، سختی، میرایی و شتاب وارد شده از سوی زمین به سازه تعیین کننده نحوه رفتار آن می‌باشند، لذا در بررسی رفتار قابهای میان پر باید به تغییرات به وجود آمده در این عوامل در مقایسه با قابهای خالی توجه نمود تا بتوان رفتار دینامیکی و لرزه‌ای واقعی سازه در اثر وجود میانقاب را مشخص نمود. تحقیقات تجربی و تحلیلی مختلفی برای تعیین اثر میانقابها بر رفتار لرزه‌ای قابها صورت پذیرفته است این پژوهشها شامل تعیین ماتریسهای سختی و جرم، تعیین پریود طبیعی و مدهای ارتعاش، کاهش سختی و مقاومت در طی سیکل‌های بارگذاری، اثر میرایی، تأثیر عواملی چون بازشوها و اتصالات برشی بر رفتار لرزه‌ای و ... بوده است. به‌طور کلی رفتار لرزه‌ای قابهای میان پر را می‌توان براساس سختی و مقاومت آنها بررسی نمود، اما نکته قابل توجه آن است که گرچه سختی و مقاومت قابهای میان پر بیشتر از قابهای خالی می‌باشد اما این سختی و مقاومت در طی بارگذاری لرزه‌ای دستخوش تغییرات می‌گردد به‌طوری‌که در دوره‌های بارگذاری مختلف سختی کاهش می‌یابد. بدین سبب پژوهشگران برای شناخت رفتار لرزه‌ای قابهای میان پر به بررسی تغییرات مقاومت و سختی طی دوره‌های بارگذاری پرداخته‌اند در ادامه به تأثیر دوره‌های بارگذاری بر رفتار میانقابها پرداخته می‌شود.

چرخه‌های هیستریزیس در قابهای میان پر

شناخت چرخه‌های هیستریزیس (نمودار نیرو - تغییر مکان در سیکلهای بارگذاری) برای تعیین نحوه رفتار سازه در بارهای لرزه‌ای بسیار حائز اهمیت است. طبق آزمایش‌های انجام شده بر روی قابهای میان پر $[A1, B1, K1, M5, B3, V1]$ ، مشخص گردید که رفتار این قابها به‌صورت چرخه ای کاهنده است یعنی در طی دوره‌های بارگذاری، سختی و مقاومت کاهش می‌یابند. برای درک رفتار پسماندی قابهای میان پر می‌توان آنها را در سه مرحله مطالعه نمود: دور اول بارگذاری، دور دوم بارگذاری و دوره‌های بعدی بارگذاری در شکل (۸) چرخه‌های هیستریزیس را برای یک قاب میان پر با جابجائی ثابت می‌توان مشاهده نمود. در دور اول بارگذاری، قاب میان پر از ناحیه خطی به غیر خطی و سپس به تسلیم می‌رسد در دور اول رفتار قاب میان پر بسیار شبیه سازه‌های کشسان - مومسان است و ترکها و خرد شدگیها گرچه موجب افت موقت مقاومت می‌شوند اثر آنها بسیار زود ناپدید می‌شود. در دور دوم بارگذاری تفاوت قاب میان پر با سازه کشسان - مومسان آشکار می‌شود زیرا سازه به‌خاطر ترکها و خرد شدگیهای دور اول، سختی خود را از دست داده، اندازه حلقه کوچک می‌شود. در دوره‌های بعدی بارگذاری شکل حلقه چندان تغییری نمی‌یابد و فقط بر اثر ترکها و خرد شدگیهای مختصری که رخ می‌دهد، اندازه آن تا حدودی کوچک می‌شود و معمولاً از دور پنجم به بعد دیگر کاهشی در مقاومت و اندازه حلقه مشاهده نمی‌شود.



شکل ۸ - رفتار قاب میان پر در دوره‌های متوالی بارگذاری

بنابر آنچه ذکر گردید به طور کلی قابهای میان پر دارای رفتار کاهنده می باشند که موجب تضعیف آنها در مقابل زلزله می شود. آزمایش های مقدم نشان می دهد که اگر قاب مرکب با جابجایی ثابت، در معرض دوره های متوالی بارگذاری قرار دهیم حداکثر تا دور پنجم مقاومت به اندازه لازم افت کرده، پس از آن ثابت می ماند. این مقاومت نسبت به مقاومت اولیه ۳۰٪ افت نشان می دهد. [۱م]

نتیجه گیری :

باتوجه به مطالب بیان شده رفتار قابهای میان پر تحت اثر بارهای جانبی را می توان از سه دیدگاه کلی زیر حائز اهمیت دانست.

- ۱- با توجه به نحوه عملکرد قاب و میانقاب با در نظر گرفتن رفتار واقعی سازه و اثرات مطلوب میانقابها، می توان از میانقابها بعنوان مهاربند در برابر نیروهای جانبی سود جست.
- ۲- با بررسی نحوه تأثیر میانقابها بر سختی سازه از رفتار نامطلوب احتمالی در سازه جلوگیری نمود. این اثرات ممکن است بصورت های پیچش ناخواسته، ایجاد طبقه نرم و شکست های قاب و یا میانقاب بوجود آید.
- ۳- با در نظر گرفتن اثرات وجود میانقاب در سازه، بتوان تحلیل درستی از رفتار واقعی سازه (تحلیل تحت اثر بارهای جانبی و یا در نظر گرفتن اثرات $P-\Delta$) به عمل آورد. در اینصورت باید عوامل مؤثر بر سختی و مقاومت میانقابها را مد نظر داشت تا بتوان با کنترل این عوامل از وجود میانقاب بطور بهینه در تغییر رفتار سازه استفاده کرد. همچنین در تحلیلهای لرزه ای باید رفتار هیستریزیسی کاهنده این نوع قابها را منظور نمود.

مراجع :

- [۱ آ] آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ - ویرایش دوم - آذر ۱۳۷۸. کمیته دائمی بازنگری آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله - مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- [ح ۱] استافورد اسمیت برایان، کول. الکس، آنالیز و طراحی سازه های بلند، ترجمه حسن حاجی کاظمی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۵.
- [م ۱] مقدم، حسن، ۱۳۷۳، طرح لرزه ای ساختمانهای آجری، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
- [م ۲] مقدم، ح.، بهرامی، ا.، ۱۳۶۹، توزیع تنش و مقاومت میانقابها تحت بارهای جانبی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، جلد سوم، ص ۱۲۷-۱۱۷.

- [B1] Bertero, V. V., Brokken, S. T., 1983, Infills in seismic resistant buildings, ASCE, Vol. 109, ST 6 (June), pp 1337-1361.
- [F1] Fardis, M.N., Negro, P., Bousias, S.N. & Colombo, A. 1999a. "Seismic Design of Open-story Infilled RC Buildings". J. Earthq. Engrng, Imperial College Press, 3(1):173-198.
- [G1] Gulkan, P., Tanvir Wasti, S., 1991, Frame – Infill interaction under horizontal load, Proc. Frist. International Conference on Seismology and Earthquake Engineering IRAN, pp. 291-300.
- [K1] Klingner, R. E, Bertero, V. V., 1976, Infilled Frames in Earthquake – Resistant Construction, Report No. EERC 76-32 – (December), Earthquake Engineering Research Center, University of California. Berkeley.
- [M1] Moghaddam, H. A., Dowling . P. J., 1987, the state of the Art in infilled frames, ESEE report No 87-2, Civil Eng Dept, Imperial College, London.
- [M2] Mehrabi, A. B, Shing, P. B, Schuller, M. P, Noland, J. L, 1996, Experimental evaluation of masonry infilled RC frames, J. Structural Engineering, Vol. 122, No. 3 (March), pp 228-237.
- [R1] Read. J. B., 1965, Testing to destruction of Full – Size portal Frames, Technical Report, Cement and Concrete association, London, August 1965.
- [S1] Stafford – Smith, B. S., 1962, Lateral stiffness of infilled frames, ASCE, Vol. 88, No. ST6. (DEC), pp 183-199.
- [S2] Stafford-Smith, B. S., 1966, Behaviour of square infilled frames, ASCE, 92, ST1 (Feb), pp 381-403.
- [V1] Valles, R.E , Reinhorn , A.m , Kunnath , S.K , Li , c , Madan , A. 1996 , IDARC2D Version 4: A Computer peogram for the Inelastic Damage Analysis of Buildings , Technical Report NCEER-96-0010 , National center for Earthquake Engineering Research , state university of New York at Buffalo.