

## بررسی روشهای مختلف مدلسازی میانقاب جهت محاسبات سازه‌ای

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](mailto:mohsen_azadbakht@sina.kntu.ac.ir)  
[barghi@kntu.ac.ir](mailto:barghi@kntu.ac.ir)

### خلاصه

میانقابهای مصالح بنایی به دلایل معماری و همچنین سازه‌ای به صورت گسترده‌ای در ساختمانها مورد استفاده قرار می‌گیرند. توزیع این عناصر و همچنین میزان تأثیر آنها بر سختی و مقاومت جانبی ساختمانها عموماً در طول فرآیند طراحی نادیده گرفته می‌شود. بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمانها نیازمند ارزیابی دقیق نقش میانقابها در پاسخ سازه نسبت به بارگذاری وارده می‌باشد. در تحقیقات صورت گرفته توسط محققان مختلف، فرضیات و تئوری‌های متنوعی جهت مدلسازی رفتار میانقابها در نظر گرفته شده است. به همین نسبت مدل‌های مختلفی نیز جهت مدلسازی سازه‌ای میانقاب ارائه شده است. روابط مختلفی نیز جهت مدلسازی رفتار میانقابها به صورت یک المان قطری معادل معرفی شده است. در این روابط عموماً المان قطری معادل میانقاب به صورت یک عضو دو سر مفصل در نظر گرفته شده است. در این تحقیق روشهای مختلف مدلسازی میانقاب جهت محاسبات سازه‌ای بررسی و به توضیح زمینه‌های کاربرد هر کدام از این روشها پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: مدلسازی سازه‌ای، میانقاب، میکرو مدل‌ها، ماکرو مدل‌ها، المان قطری معادل

### مقدمه

برای تحلیل یک سازه معمولاً شکل ایده آلی 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 اعضا، 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 بالایی 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 لرزه‌ای 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]. در تحقیقات صورت گرفته توسط محققان مختلف، فرضیات و تئوری‌های متنوعی جهت مدلسازی رفتار میانقابها در نظر گرفته شده است و به همین نسبت مدل‌های مختلفی نیز جهت مدلسازی سازه‌ای میانقاب ارائه شده است. روابط مختلفی نیز جهت مدلسازی رفتار میانقابها به صورت یک المان قطری معادل ارائه شده است. در این روابط عموماً المان قطری معادل میانقاب به صورت یک عضو دو سر مفصل در نظر گرفته شده است. تفاوت عمده این روابط در تعیین عرض مؤثر این المان می‌باشد [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷].

### نحوه مدلسازی و بررسی رفتار میانقابها

جهت بررسی و تعیین رفتار میانقابها در اثر بارگذاری‌های متفاوت مدل‌های گوناگونی توسط محققان مختلف به کار گرفته شده است. این مدلها بسته به شرایط هندسی مدل تحت بررسی و پارامترهایی که مورد بررسی قرار خواهند گرفت، در نظر گرفته می‌شوند. اصولاً جهت مدلسازی و بررسی رفتار میانقابها و تأثیرات آنها بر رفتار سازه‌ها دو نوع مدل به کار می‌رود:

❖ مدل‌های واقعی

علت بکار بردن این نام برای این دسته از مدلها این است که در اینگونه مدلسازی، پانل میانقاب به صورت یک عضو کامل صفحه‌ای شکل با و یا بدون در نظر گرفتن جزئیات مربوط به واحدهای تشکیل دهنده دیوار مانند واحدهای بنایی (بلوکها، آجرها) و درزهای ملاتی مدل می‌شود و عضو معادلی برای بیان عملکرد میانقاب به کار گرفته نمی‌شود.

مدل های واقعی خود شامل دو دسته می شوند:

دسته اول که اصطلاحاً میکرو مدل‌ها نامیده می‌شوند و جهت بررسی رفتار مدل‌های کوچکی مانند یک پانل یک طبقه و یک دهانه به کار می‌روند. دسته دوم ماکرو مدل‌ها نامیده می‌شوند. کاربرد این نوع مدلسازی در بررسی رفتار مدل‌های بزرگ مانند کل یک ساختمان می‌باشد.

#### ❖ مدل‌های المان قطری معادل

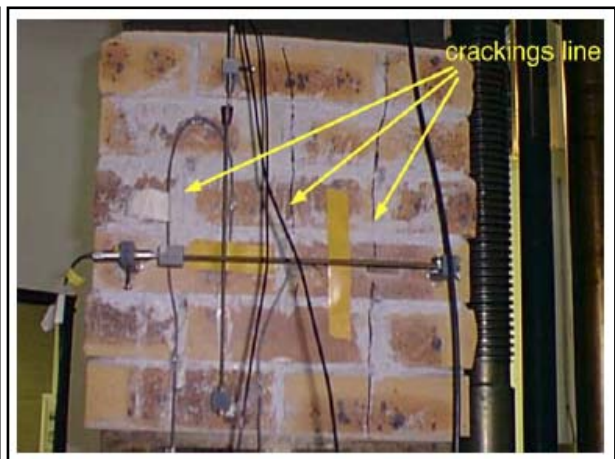
روابط مختلفی نیز جهت مدلسازی رفتار میانقاپها به صورت یک المان قطری معادل ارائه شده است. در این روابط عموماً المان قطری معادل میانقاب به صورت یک عضو دو سر مفصل در نظر گرفته شده است. تفاوت عمده این روابط در تعیین عرض مؤثر این المان می‌باشد. در زیر به بررسی روشهای گفته شده در مورد مدلسازی و بررسی رفتار میانقاپها پرداخته می‌شود.

#### میکرو مدل‌ها ( Micro Model )

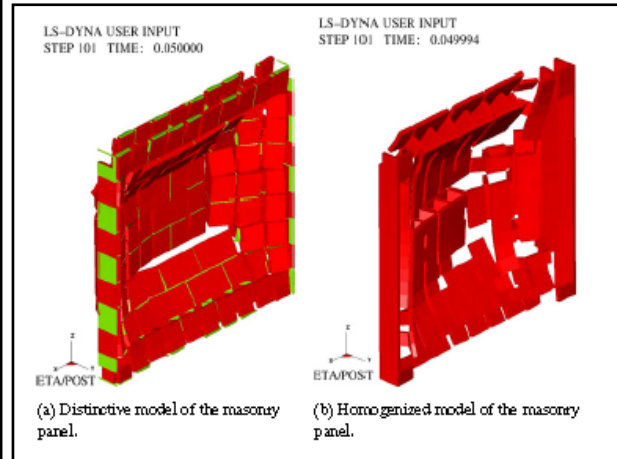
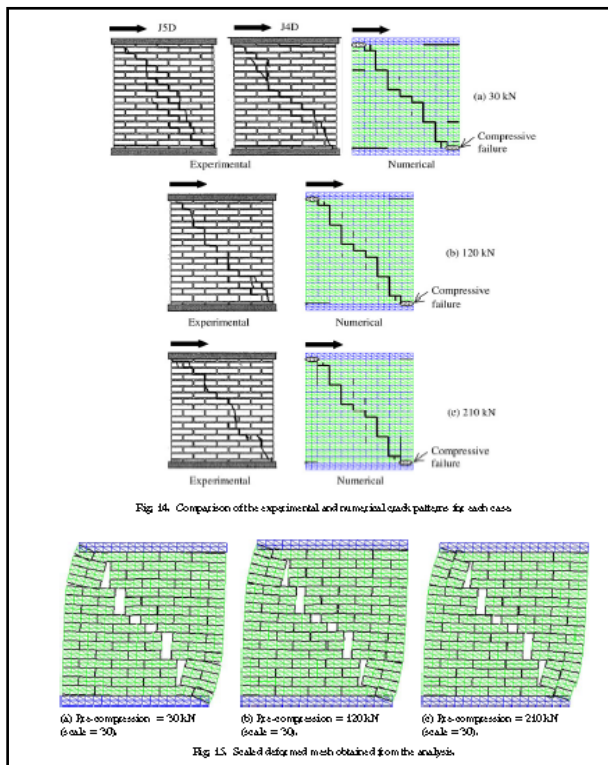
این نوع مدلسازی بیشتر جهت بررسی رفتار مدل‌های کوچکی مانند یک پانل یک طبقه و یک دهانه به کار می‌روند. در این نوع مدلسازی تمام جزئیات مربوط به یک دیوار از جمله آجرهای بنایی، بلوک‌های سفالی و بتنی و همچنین درزهای ملاتی مدلسازی می‌گردد. کاربرد این نوع مدلسازی در بررسی رفتار یک دیوار به تنهایی و یا همراه با قاب محیطی می‌باشد. در این نوع مدلسازی ویژگیهایی مانند سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب، حالات شکست برشی میانقاپها در اثر ضعف درزهای ملاتی، حالات شکست و خرابی میانقاب تحت بارهای یکنواخت و چرخه ای، نحوه شکلگیری ترکهای مرزی و برشی و همچنین خرابی های کنج، روشهای ترمیم و بهبود عملکرد قابهای مرکب مانند استفاده از اتصالات برشی بررسی می‌گردد. از دیگر ویژگیهای قابل بررسی می‌توان تأثیر بازشدگی بر سختی و مقاومت میانقاپها، بررسی نسبت سختی بین اجزای قاب محیطی و دیوار در الگوهای شکست میانقاب و نحوه شکست و خرابی میانقاب تحت بارهای خارج از صفحه را نام برد [۵،۴،۳،۲]. قابل ذکر است که در این نوع مدلسازی تمام حالات غیر خطی از جمله غیرخطی بودن رفتار مصالح تشکیل دهنده مانند آجرها، بلوکها و درز ملاتی و همچنین حالات غیرخطی هندسی مانند تغییر شکلهای بزرگ و تغییر مکانهای بزرگ قابل اعمال می‌باشد. در تصاویر زیر نمونه‌هایی از کارهای آزمایشگاهی و همچنین مدلسازی اجزاء محدود آنها چه با استفاده از برنامه نویسی و چه با استفاده از نرم افزارهای اجزاء محدود موجود آورده شده است. شکل شماره (۱) کار آزمایشگاهی صورت گرفته توسط Gabor و همکاران را جهت مطالعه حالات ترک خوردگی پانل میانقاب و بررسی سختی و مقاومت فشاری پانل میانقاب را نشان می‌دهد. در این مطالعه جهت ساخت دیوار میانقاب از بلوکهای سفالی به همراه درزهای ملاتی ساخته شده از سیمان استفاده شده است [۳]. شکل شماره (۲) کار آزمایشگاهی صورت گرفته توسط Moghadam و همکاران را جهت مطالعه حالات ترک خوردگی و میزان مقاومت نهایی قاب مرکب فولادی در بارهای یکنواخت و چرخه‌ای را نشان می‌دهد [۲]. شکل شماره (۳) مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط Chengqing Wu و همکاران جهت مطالعه نحوه شکست و خرابی میانقاب تحت بارهای خارج از صفحه را نشان می‌دهد [۴]. شکل شماره (۴) مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط Krit Chaimoon و همکاران را جهت مطالعه حالات ترک خوردگی قطری و برشی در پانل میانقاب تحت بارگذاری یکنواخت افقی را نشان می‌دهد [۵].



شکل (۲): بررسی آزمایشگاهی صورت گرفته توسط Moghadam و همکاران [۲]



شکل (۱): بررسی آزمایشگاهی صورت گرفته توسط Gabor و همکاران [۳]



شکل (۴) : مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط

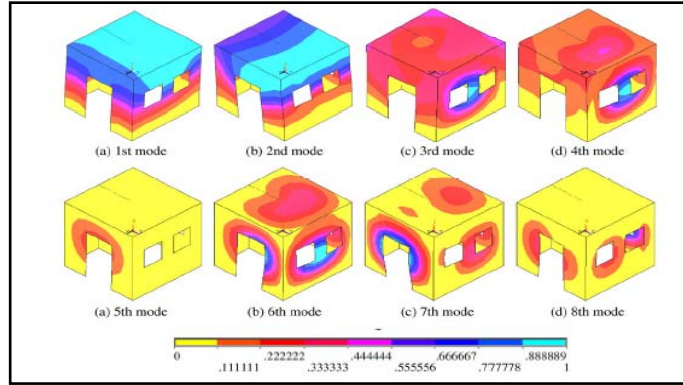
Krit Chaimoon و همکاران [۵]

شکل (۳) : مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط

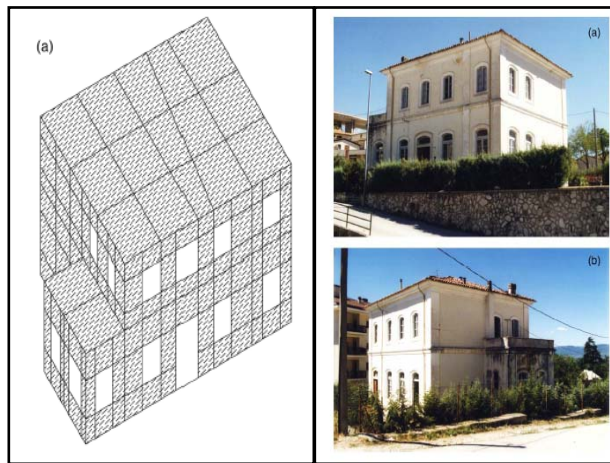
Chengqing Wu و همکاران [۴]

### ماکرو مدل‌ها ( Macro Model )

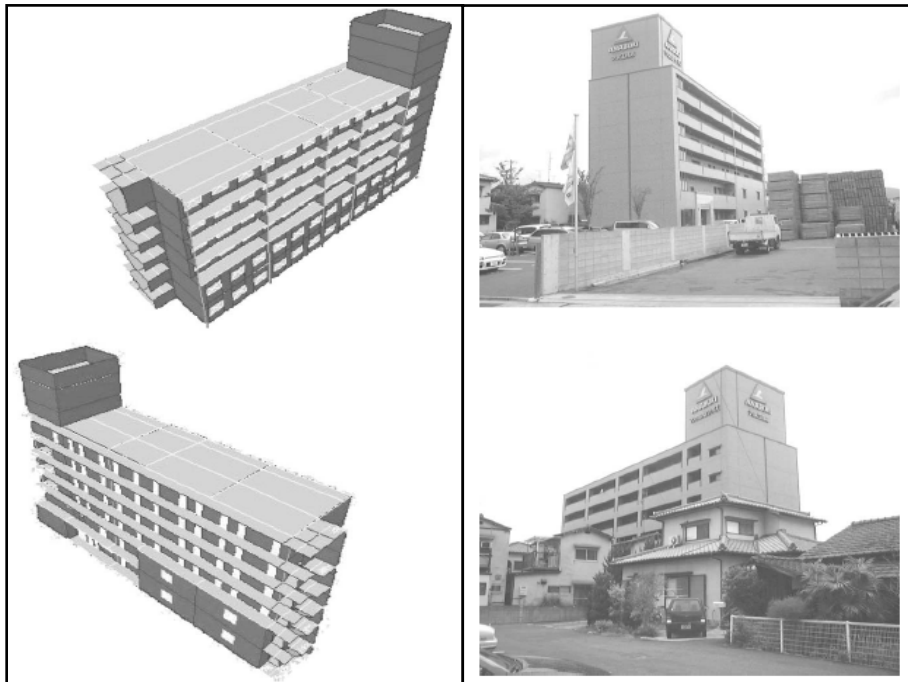
کاربرد این نوع مدلسازی در بررسی رفتار مدل‌های بزرگ مانند کل یک ساختمان می باشد. در این نوع مدلسازی کل دیوار میانقاب صرفنظر از واحدهای تشکیل دهنده آن مانند آجرهای بنایی، بلوک های سفالی و بتنی و همچنین درز های ملاتی مدلسازی می گردد. در این حالت کل دیوار به صورت یک جزء دارای رفتار مشخص و ثابت در تمام نقاط آن بررسی می گردد. کاربرد این نوع مدلسازی بررسی تأثیر عملکرد میانقابها بر کل ساختمان به خصوص تأثیر میانقابها بر عملکرد لرزه ای ساختمان می باشد [۸،۷،۶]. در این نوع مدلسازی ویژگیهایی مانند تأثیر میانقابها بر پاسخ ساختمان به شتاب ناشی از زلزله های مختلف، تأثیر میانقابها بر ویژگیهای دینامیکی سازه از جمله پریودهای ارتعاشی ساختمان و شکلهای مودهای ارتعاشی ساختمان قابل بررسی می باشد. بدیهی است که از این نوع مدلسازی نیز می توان برای بررسی مدل‌های کوچک نیز استفاده کرد و ویژگیهایی که در قسمت مربوط به میکرو مدل‌ها گفته شد را نیز بررسی کرد. در تصاویر زیر نمونه‌هایی از کارهای آزمایشگاهی و همچنین مدلسازی اجزاء محدود آنها چه با استفاده از برنامه نویسی و چه با استفاده از نرم افزارهای اجزاء محدود موجود آورده شده است. شکل شماره (۵) مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط Omid Rezaifar و همکاران جهت مطالعه ویژگیهای دینامیکی و عملکرد لرزه‌ای یک قاب سه بعدی یک دهانه-یک طبقه با در نظر گرفتن بازشو در میانقاب را تحت بارگذاری دینامیکی نشان می‌دهد. از جمله پارامترهای بررسی شده در این تحقیق ویژگیهای خطی و غیر خطی سازه، قابلیت شکل پذیری، کاهش سختی و مکانیسم شکست می باشد. در این مورد جهت بررسی صحت نتایج بدست آمده از مدل تحلیلی از نتایج یک آزمایش با مقیاس واقعی با استفاده از میز لرزان استفاده شده است [۶]. شکل شماره (۶) ساختمان مصالح بنایی و مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط A. De Sortis و همکاران جهت مطالعه ویژگیهای دینامیکی آن با در نظر گرفتن تأثیرات میانقابها را نشان می‌دهد. در این مطالعه جهت محاسبه ویژگیهای دینامیکی یک ساختمان مصالح بنایی از آزمایش ارتعاش اجباری استفاده شده است. در تحقیق صورت گرفته نتایج حاصل از آزمایش ارتعاش اجباری با نتایج بدست آمده از مدل اجزاء محدود در نظر گرفته شده مقایسه شده است [۷]. شکل شماره (۷) ساختمان واقعی و مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط C.E. Ventura و همکاران جهت مطالعه ویژگیهای دینامیکی آن با در نظر گرفتن تأثیرات میانقابها را نشان می‌دهد. در این مورد جهت محاسبه فرکانس‌های طبیعی، شکلهای مودی و نسبت‌های میرایی در میزان بسیار پایینی از سطح ارتعاشات و تحریکات یک ساختمان واقع در تاکاماتسو ژاپن از آزمایش ارتعاش محیطی استفاده شده است. مدل اجزاء محدود در نظر گرفته شده بوسیله نتایج حاصل از آزمایش ارتعاش محیطی صورت گرفته کالیبره شده است [۸].



شکل (۵): مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط Omid Rezaifar و همکاران [۶]



شکل (۶): ساختمان مصالح بنایی و مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط A. De Sortis و همکاران [۷]

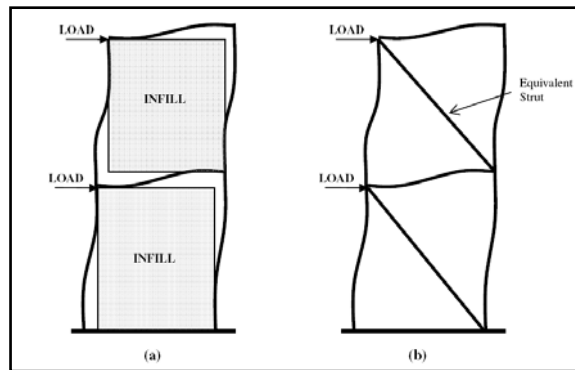


شکل (۷): ساختمان واقعی و مدل تحلیلی در نظر گرفته شده توسط C.E. Ventura و همکاران [۸]

مدلهای المان قطری معادل ( Equivalent Diagonal Strut )

روابط متعددی جهت بیان عملکرد میانقاب به عنوان یک قید قطری معادل وجود دارد که توسط محققان مختلفی صحت روابط گفته شده مورد بررسی قرار گرفته است. کاربرد این نوع مدلسازی در بررسی تأثیرات میانقابها بر عملکرد کل سازه می باشد به گونه‌ای که هم برای مدل‌های کوچک و هم مدل‌های بزرگ قابل استفاده است. در این حالت مدلسازی بسته به نوع تحلیل در نظر گرفته شده، حالات مختلف جهت رفتار غیرخطی مصالح و غیرخطی هندسی قابل استفاده است. در این قسمت به بررسی دو رابطه ارائه شده جهت مدلسازی میانقابها به صورت المان قطری معادل پرداخته می‌شود. رابطه اول مربوط به روش ارائه شده توسط Smith & Carter و دومین رابطه روش ارائه شده توسط آئین نامه FEMA 273 می‌باشد [۱۲،۱۱،۱۰،۹،۱].

هنگامی که یک سازه شامل قاب و میانقاب تحت بارگذاری جانبی قرار گیرد و هیچ گونه اتصال و یا مهارى بین قاب و میانقاب وجود نداشته باشد، در اثر بارگذاری وارده میانقاب ممکن است در طول زیادی از کناره‌های خود از قاب محیطی جدا شود. در این حالت فقط گوشه‌های تحت بارگذاری جانبی چسبیده به قاب باقی می‌مانند که در مجموع این نوع عملکرد میانقاب توسط یک المان قطری معادل قابل نشان دادن است. در شکل زیر قاب مرکب تحت بارگذاری جانبی و قاب معادل همراه با المان قطری معادل نشان داده شده است [۱۲،۱۱].



شکل (۸) a : قاب مرکب تحت بارگذاری جانبی ، b : قاب معادل همراه با المان قطری معادل [۱۲]

رفتار یک قاب همراه با میانقاب تحت بارگذاری جانبی توسط Smith & Carter مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی از این بررسی به دست آوردن اطلاعاتی در مورد سختی و مقاومت قابهای مرکب تحت بارگذاری جانبی بوده است. آنها همچنین سعی بر ارائه روشی جهت طراحی سازه، با در نظر گرفتن مفهوم المان قطری معادل داشته‌اند.

FEMA 273 دو حالت مختلف جهت تعیین مشخصات المان قطری معادل با توجه به شرایط قاب و میانقاب محصور در آن، در نظر گرفته است. در صورتی که قاب و میانقاب تحت اثر بارگذاری جانبی بدون ترک باقی بمانند، روش تحلیل بر اساس رفتار الاستیک خطی و مصالح سازه جهت محاسبه سختی المان قطری معادل همگن متوسط در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر قاب و میانقاب محصور در آن به صورت یک سیستم یکپارچه جهت تحمل بارگذاری وارده عمل می‌کنند. اما در صورتی که قاب در اثر بارگذاری وارده ترک بردارد، رفتار قاب بتنی ترک خورده و میانقاب محصور در آن باید به صورت یک قاب با مهاربندی قطری مورد بررسی قرار گیرد که در آن ستون‌ها اعضاء عمودی، تیرها به صورت قید‌های افقی و میانقاب به صورت یا المان قطری فشاری معادل مدل می‌شود. جهت محاسبه سختی و مقاومت المان قطری معادل، ابتدا باید ویژگی مصالح مورد استفاده مشخص گردد. با توجه به خواص مصالح مورد استفاده، مقادیر ارائه شده توسط FEMA 273 جهت تعیین  $f_{me}$  (مقاومت فشاری) و  $E_{me}$  (مدول الاستیسیته) در جدول (۱) آمده است. که مقدار مدول الاستیسیته مصالح ۵۵۰ برابر مقدار در نظر گرفته شده برای مقاومت فشاری می‌باشد [۹].

جدول (۱) مقادیر ارائه شده توسط FEMA 273 جهت تعیین مقاومت فشاری مصالح میانقاب

نوع مصالح	$f_{me}$ (Mpa)
مصالح با ویژگی‌های خوب	6
مصالح با ویژگی‌های متوسط	4
مصالح با ویژگی‌های ضعیف	2

## روش Smith &amp; Carter

تعیین عرض المان قطری معادل، عامل تعیین کننده در محاسبه سختی میانقاب مربوطه می باشد. با تعیین این عرض، میزان سختی و مقاومت جانبی میانقاب تحت بارگذاری وارده مشخص می شود. عوامل مختلفی بر میزان عرض المان قطری معادل تأثیر گذارند. اولین عامل مؤثر هندسه میانقاب می باشد. مود های شکست با توجه به میزان سختی قاب محیطی و میزان سختی نسبی قاب نسبت به میانقاب متغیر می باشد. علاوه بر این، سختی و مقاومت پانل میانقاب بستگی به طول تماس بین قاب محیطی و میانقاب محصور در آن دارد [۱۲،۱۱].

طول تماس  $\alpha$  از رابطه (۱) قابل محاسبه است :

$$\frac{\alpha}{h_{col}} = \frac{\pi}{2\lambda h_{col}} \quad (1)$$

که :

ارتفاع ستون :  $h_{col}$ طول تماس :  $\alpha$ 

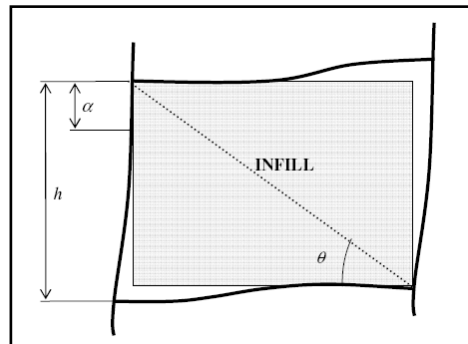
پارامتر بدون بعد  $\lambda h_{col}$  در رابطه فوق بیانگر سختی نسبی قاب به میانقاب می باشد. مقدار  $\lambda$  از رابطه (۲) بدست می آید:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{inf} \cdot t_{inf} \cdot \sin(2\theta)}{4 \cdot E_{COL} \cdot I_{COL} \cdot h_{inf}}} \quad (2)$$

که :

مدول الاستیسیته مصالح میانقاب :  $E_{inf}$ ضخامت پانل میانقاب :  $t_{inf}$ ارتفاع پانل میانقاب :  $h_{col}$ مدول الاستیسیته مصالح ستون :  $E_{COL}$ لنگر اینرسی ستون :  $I_{COL}$ 

$\theta$  : زاویه ای که تانژانت آن برابر ضریب تناسب پانل (نسبت ارتفاع به طول) می باشد

شکل (۹) : طول تماس  $\alpha$  [۱۲]

با توجه به رابطه فوق می توان فهمید که سختی المان قطری معادل فقط به سختی ستون ربط داده شده است. علت این امر این است که نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که میزان اثر تغییرات سختی تیر، تأثیرات ناچیزی روی رفتار سازه دارد. سختی تیر هر چقدر باشد، میزان طول تماس بین تیر و میانقاب تقریباً برابر با نصف دهانه می باشد. با توجه به آنکه مدول الاستیسیته بتن و مصالح بنایی ثابت نمی باشد و با افزایش تنش کاهش می یابد، بنابراین سختی قطری میانقاب با افزایش میزان نیرو به نحو چشمگیری کاهش می یابد. وقتی که یک قاب مرکب در راستای افق تحت بارگذاری جانبی قرار می گیرد، دامنه تنش گسترده ای در راستای قطر فشاری به وجود می آید و تنش در گوشه های فشاری تحت بارگذاری به مراتب بیشتر از مرکز پانل می باشد. جهت تعیین عرض المان قطری معادل، کرنش ها باید با استفاده از مقادیر متناسب مدول الاستیسیته برای یک تنش مخصوص به آن،

محاسبه شوند. نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که تراز بارگذاری جانبی (ارتفاع محل اثر نیرو از سطح زمین) یکی از مهمترین عوامل در تعیین رفتار قابهای مرکب می باشد. عرض مؤثر بدست آمده ثابت نمی باشد و با افزایش بارگذاری کاهش می یابد. در مرحله اولیه، عرض المان قطری معادل با این فرض که مدول الاستیسیته مصالح میانقاب برابر با مدول الاستیسیته اولیه می باشد، محاسبه می شود. با افزایش میزان نیرو، میزان تنش در میانقاب افزایش می یابد. میزان بار بحرانی برابر با مقداری است که تنش در گوشه های بارگذاری شده پانل میانقاب، به حد مقاومت نهایی مصالح می رسد. در مرحله نهایی، عرض المان قطری معادل با فرض اینکه میزان کرنش در گوشه های فشاری بارگذاری شده به حد کرنش فشاری گسیختگی رسیده است، قابل محاسبه است [۱۲،۱۱].

### روش FEMA 273

روش ارائه شده در این قسمت برای تمام انواع میانقابها از جمله میانقابهای موجود در ساختمان، پانل های میانقاب تقویت شده برای بهسازی لرزه ای و همچنین پانل های میانقاب جدید اضافه شده به قابهای ساختمانی قابل استفاده است. تمام این میانقابها به عنوان جزئی از سیستم مقاوم جانبی در نظر گرفته می شوند. توزیع سختی این میانقابهای مصالح بنایی با توجه به معادلسازی آنها با یک المان قطری فشاری بدست می آید. مدول الاستیسیته و ضخامت المان قطری معادل، برابر با مدول الاستیسیته و ضخامت پانل میانقاب می باشد. عرض مؤثر المان قطری معادل از رابطه زیر (۳) محاسبه می شود [۹]:

$$a = 0.175(\lambda_1 \cdot h_{COL})^{-0.4} \cdot r_{inf} \quad (3)$$

که:

$$\lambda_1 = \left[ \frac{E_{me} \cdot t_{inf} \cdot \sin(2\theta)}{4 \cdot E_{fe} \cdot I_{COL} \cdot h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

که:

$h_{col}$ : ارتفاع ستون (مرکز تا مرکز تیر)،  $h_{inf}$ : ارتفاع پانل میانقاب،  $E_{fe}$ : مدول الاستیسیته مصالح قاب،  
 $E_{me}$ : مدول الاستیسیته مصالح میانقاب،  $I_{COL}$ : لنگر اینرسی ستون،  $r_{inf}$ : طول قطر پانل میانقاب،  
 $t_{inf}$ : ضخامت پانل میانقاب و المان قطری معادل،  $\theta$ : زاویه ای که تانژانت آن برابر نسبت ارتفاع به طول پانل میانقاب می باشد (بر حسب رادیان)

نتیجه گیری:

روشهای گوناگونی جهت مدلسازی میانقاب به عنوان یک عضو سازه ای وجود دارد. هر کدام از این روشها بر اساس نوع مسئله تحت بررسی، شرایط محیطی حاکم بر مسئله و پارامترهایی که قرار است به عنوان پارامترهای مؤثر بر رفتار سازه تحت بررسی قرار گیرند، انتخاب می شوند. اصولاً جهت مدلسازی و بررسی رفتار میانقابها و تأثیرات آنها بر رفتار سازه ها دو نوع مدل به کار می رود. در مدل های واقعی، پانل میانقاب به صورت یک عضو کامل صفحه ای شکل با و یا بدون در نظر گرفتن جزئیات مربوط به واحدهای تشکیل دهنده دیوار مانند واحدهای بنایی (بلوکها، آجرها) و درزهای ملاتی مدل می شود و عضو معادلی برای بیان عملکرد میانقاب به کار گرفته نمی شود. این نوع مدلسازی خود شامل دو دسته می باشد: دسته اول اصطلاحاً میکرو مدل ها نامیده می شوند و عموماً جهت بررسی رفتار مدل های کوچکی مانند یک پانل یک طبقه و یک دهانه به کار می روند. در این نوع مدلسازی ویژگیهایی مانند سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب، حالات شکست برشی میانقابها در اثر ضعف درزهای ملاتی، حالات شکست و خرابی میانقاب تحت بارهای یکنواخت و چرخه ای، نحوه شکلگیری ترکهای مرزی و برشی و همچنین خرابی های کنج، روشهای ترمیم و بهبود عملکرد قابهای مرکب مانند استفاده از اتصالات برشی بررسی می گردد. دسته دوم ماکرو مدل ها نامیده می شوند. کاربرد این نوع مدلسازی بررسی تأثیر عملکرد میانقابها بر کل ساختمان به خصوص تأثیر میانقابها بر عملکرد لرزه ای ساختمان می باشد. در این نوع مدلسازی ویژگیهایی مانند تأثیر میانقابها بر پاسخ ساختمان به شتاب ناشی از زلزله های مختلف، تأثیر میانقابها بر ویژگیهای دینامیکی سازه از جمله پریودهای ارتعاشی ساختمان و شکلهای مودهای ارتعاشی ساختمان قابل بررسی می باشد. نوع دیگر مدل های به کار گرفته شده مدل های المان قطری معادل می باشند. روابط مختلفی جهت مدلسازی رفتار میانقابها به صورت یک المان قطری معادل ارائه شده است. در این روابط عموماً المان قطری معادل میانقاب به صورت یک عضو دو سر مفصل در نظر گرفته شده است. تفاوت عمده این روابط در تعیین عرض مؤثر این المان می باشد. کاربرد این نوع مدلسازی در بررسی تأثیرات میانقابها بر عملکرد کل سازه می باشد به گونه ای که هم برای مدل های کوچک و هم مدل های بزرگ قابل استفاده 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] A. Gabor, E. Ferrier, E. Jacquelin, P. Hamelin, Analysis and modelling of the in-plane shear behavior of hollow brick masonry panels. *Journal of Construction and Building Materials* 20 (2006) 308–321
- [4] Chengqing Wu, Hong Hao, Numerical derivation of averaged material properties of hollow concrete block masonry. *Journal of Engineering Structures* 30 (2008) 870–883
- [5] Krit Chaimoon, Mario M. Attard, Modeling of unreinforced masonry walls under shear and compression. *Journal of Engineering Structures* 29 (2007) 2056–2068
- [6] Omid Rezaifar, M.Z. Kabir, M. Taribakhsh, A. Tehranian, Dynamic behaviour of 3D-panel single-storey system using shaking table testing, *Journal of Engineering Structures* 30 (2008) 318–337
- [7] A. De Sortis, E. Antonacci, F. Vestroni, Dynamic identification of a masonry building using forced vibration tests. *Journal of Engineering Structures* 27 (2005) 155–165
- [8] C.E. Ventura, W.D. Liam Finn, J.F. Lord, N. Fujita, Dynamic characteristics of a base isolated building from ambient vibration measurements and low level earthquake shaking, *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 23 (2003) 313–322
- [9] Applied Technology Council, “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings” (ATC33), Federal Emergency Management Agency Report FEMA 273, Washington 1997.
- [10] Khan Mahmud Amanat, Ekramul Hoque, A rationale for determining the natural period of RC building frames having infill. *Journal of Engineering Structures* 28 (2006) 495–502
- [11] Mehmet Selim ÖZTÜRK, Effects of masonry infill walls on the seismic performance of buildings, M.S. thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2005
- [12] Smith, B.S. and Carter, C., “A Method of Analysis for Infilled Frames”, *Proc. ICE*, Vol. 44, pp.31-48, September 1969.