



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزی
دانشکده فنی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: سازه

عنوان:

مدل سازی قاب میانپُر مصالح بتایی به روش تحلیل تغییر شکل های گسسته

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم زاده

استاد مشاور:

دکتر علی مزروعی

پروفسور:

امین الله خداداد نژاد

زمستان ۱۳۸۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیرم به:

پدر و مادر عزیزم، به یاد مهربانیه‌ها و فداکاری‌هایشان،

برادر و خواهرانم،

و همه شهیدانِ راه آزادی میهن

تشکر و قدردانی:

سپاس و ستایش پروردگار بر همتایر که همواره در تمام طول زندگی، این بنده حقیر را مورد لطف و مهربانی خود قرار داده است. نگارنده از جناب آقا دکتر حسن قاسم زاده که با راهنمایی‌ها و تشویق‌ها خود اینجانب را در انجام این پایان نامه هدایت نمودند بسیار قدردانی مینماید. همچنین از آقای دکتر علیرزوی و دکتر فرزین کلانتری به خاطر حضور در جلسه دفاعیه و نظرات تکمیلی ایشان، تشکر مینماید.

چکیده پایان نامه (شامل خلاصه، اهداف، روش‌های اجرا و نتایج به دست آمده) :

پس از یک مقدمه کوتاه در فصل اول، فصل دوم این پژوهش، شامل خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده قبلی موجود در ادبیات فنی در مورد قاب‌های مرکب و همچنین معرفی روش‌های تحلیل سازه‌های مصالح بنایی بطور اعم و میانقاب‌های مصالح بنایی بطور اخص می‌باشد. فصل سوم نیز شامل مقدمه‌ای بر روش‌های اجزاء مجزا می‌باشد و در آن توضیحات مختصری درباره مبانی دو روش **DEM** و **DDA** آورده شده است. در فصل چهارم نیز مسائلی به منظور اعتبارسنجی این روش‌ها در حل مسائل گوناگون مورد تحلیل قرار گرفت و با نتایج تئوری و آزمایشگاهی مقایسه گردید. در ادامه فصل نیز مدل اجزاء مجزا توسعه داده شده برای تحلیل قاب میاثر مصالح بنایی به کار گرفته شد. معلوم شد که با استفاده از روش **DEM** توسعه داده شده در نرم افزار **UDEC** می‌توان به خوبی ظرفیت برشی و الگوی گسیختگی دیوارهای برشی و قاب‌های میاثر را تخمین زد. همچنین نتایج تحلیل به روش **DDA** نشان داد که این روش دارای کفایت کافی برای تحلیل محیط‌های پیوسته نمی‌باشد و نیاز به اصلاحاتی دارد.

فهرست مطالب

فصل ۱: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مسئله	۲
۳-۱- هدف و ضرورت تحقیق	۳
۴-۱- روش تحقیق	۳
۵-۱- فصول پایان نامه	۴
فصل ۲: مروری بر رفتار و تحقیقات گذشته درباره قاب‌های مرکب	۵
۱-۲- مقدمه	۶
۲-۲- رفتار قاب‌های مرکب	۶
۱-۲-۲- مودهای گسیختگی قاب‌های مرکب	۷
۲-۲-۲- محاسبه بارهای گسیختگی قاب‌های مرکب	۹
۳-۲-۲- محاسبه سختی قاب‌های مرکب	۱۳
۴-۲-۲- محاسبه سختی و مقاومت قاب‌های مرکب دارای بازشو	۱۴
۵-۲-۲- مدل‌سازی و تحلیل سازه‌های مصالح بنایی و میانقاب‌ها	۱۷
۶-۲-۲- رفتار مصالح بنایی تحت تنش دوجوره	۱۷
۳-۲-۲- تکنیک‌های مدل‌سازی سازه‌های مصالح بنایی	۲۳
۱-۳-۲- کلیات	۲۳
۲-۳-۲- مدل‌سازی به روش قاب یا خرپای معادل	۲۵
۳-۳-۲- مدل‌سازی به روش اجزاء محدود پیوسته	۲۷
۴-۳-۲- مدل‌سازی به روش اجزاء محدود ناپیوسته	۲۹
۵-۳-۲- مدل‌سازی به روش اجزاء مجزا	۳۰
۴-۲-۲- تحقیقات انجام گرفته در خصوص قاب‌های مرکب	۳۲
۵-۲- نتیجه‌گیری	۴۷
فصل ۳: مقدمه‌ای بر روش‌های اجزاء مجزا	۴۸
۱-۳- مقدمه	۴۹
۲-۳- روش اجزا مشخصه	۴۹
۱-۲-۳- مقدمه	۴۹
۲-۲-۳- توصیف تغییر شکل بلوک‌ها	۵۰
۳-۲-۳- توصیف برخورد و اندرکنش بین بلوک‌ها	۵۱
۴-۲-۳- شناسایی نقاط تماسی و به روز نمودن آن‌ها	۵۴
۵-۲-۳- روش تحلیل سازه	۵۵
۳-۳- روش تحلیل تغییر شکل‌های گسسته	۶۱
۱-۳-۳- مقدمه	۶۱
۲-۳-۳- مبانی روش تحلیل تغییر شکل‌های گسسته	۶۲

فصل ۴: نتایج و تفسیر آن‌ها.....	۶۵
۴-۱- مقدمه.....	۶۶
۴-۲- مسئله تیر طره.....	۶۶
۴-۲-۱- بیان مسئله.....	۶۶
۴-۲-۲- حل به روش DEM.....	۶۸
۴-۲-۳- حل به روش DDA.....	۷۰
۴-۲-۴- تفسیر و مقایسه نتایج.....	۷۱
۴-۳- دیوارهای برشی.....	۷۲
۴-۳-۱- بیان مسئله.....	۷۲
۴-۳-۲- حل به روش DEM.....	۷۴
۴-۴- تحلیل قاب فلزی با میانقاب مصالح بنایی.....	۷۵
۴-۴-۱- بیان مسئله.....	۷۵
۴-۴-۲- حل به روش DEM.....	۷۸
۴-۵- بررسی عوامل موثر بر رفتار قاب میانپُر.....	۸۰
۴-۵-۱- مقدمه.....	۸۰
۴-۵-۲- تأثیر بارثقلی در رفتار قاب‌های میانپُر.....	۸۰
۴-۵-۳- تأثیر بازشو در رفتار قاب‌های میانپُر.....	۸۱
۴-۵-۴- تأثیر خواص ملات در رفتار قاب‌های میانپُر.....	۸۲
۴-۵-۵- تأثیر خواص بلوک در رفتار قاب‌های میانپُر.....	۸۴
۴-۵-۶- تأثیر درز مابین تیر و میانقاب در رفتار قاب‌های میانپُر.....	۸۴
۴-۶- مدل‌سازی سه‌بعدی قاب‌های میانپُر.....	۸۶
۴-۶-۱- مقدمه.....	۸۶
۴-۶-۲- مدل سه‌بعدی و تحلیل‌های انجام گرفته.....	۸۶
۴-۶-۳- اعمال بارهای خارج از صفحه به قاب میانپُر.....	۸۸
فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادها.....	۹۱
۵-۱- خلاصه.....	۹۲
۵-۲- نتایج.....	۹۳
۵-۳- پیشنهادها.....	۹۳
مراجع.....	۹۴

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) مودهای گسیختگی قاب‌های مرکب: (الف) مود شکست برشی لغزشی؛ (ب) مود شکست گوشه؛ (ج) مود ترک قطری؛ (د) مود شکست فشاری قطری؛ (ه) مود گسیختگی قاب ۸
- شکل (۲-۲) تنشها در مرکز میانقاب به ضخامت t ۱۰
- شکل (۳-۲) مدل با مهاربند زانویی برای میانقاب‌هایی که در حالت شکست برشی لغزشی گسیخته می‌شوند ۱۱
- شکل (۴-۲) قید قطری معادل ۱۴
- شکل (۵-۲) قیدهای فشاری ممکن برای تحلیل میانقاب‌های دارای بازشو ۱۶
- شکل (۶-۲) المان مصالح بنایی تحت تنش دو محوره ۱۸
- شکل (۷-۲) پوش گسیختگی مصالح بنایی تحت تنش دو محوره طبق تئوری حمید و درایسدل [۱۰] ۱۹
- شکل (۸-۲) معیار گسیختگی گانز برای مصالح بنایی غیرمسلح تحت تنش دو محوره [۱۲] ۲۱
- شکل (۹-۲) مقاومت فشاری مصالح بنایی غیرمسلح بصورت تابعی از زاویه (α) ۲۲
- شکل (۱۰-۲) تکنیک‌های مدل‌سازی سازه‌های مصالح بنایی؛ (ا) نمونه مصالح بنایی؛ (ب) مدل‌سازی میکروی دقیق؛ (س) مدل‌سازی میکروی ساده شده؛ (د) مدل‌سازی ماکرو [۱۳] ۲۳
- شکل (۱۱-۲) دسته‌بندی مدل‌سازی سازه‌های مصالح بنایی بسته به روش و شیوه‌های مورد استفاده ۲۵
- شکل (۱۲-۲) هندسه و توزیع نیروهای داخلی یک جرز مصالح بنایی و مدل خرابایی نظیر آن ۲۶
- شکل (۱۳-۲) مدل خرابایی پیشنهادی روکا برای تحلیل دیوارهای مصالح بنایی [۱۸] ۲۷
- شکل (۱۴-۲) مدل اجزاء محدود پیوسته یک دیوار مصالح بنایی ۲۸
- شکل (۱۵-۲) مدل اجزاء محدود پیوسته یک میانقاب مصالح بنایی ۲۸
- شکل (۱۶-۲) تحلیل یک دیوار مصالح بنایی به روش اجزاء محدود ناپیوسته ۳۰
- شکل (۱۷-۲) تحلیل یک میانقاب مصالح بنایی به روش اجزاء محدود ناپیوسته ۳۰
- شکل (۱۸-۲) مدل تحلیلی یک سازه بنایی تاریخی در نرم افزار UDEC ۳۱
- شکل (۱۹-۲) مدل هیستریزیس پیشنهادی توسط مسلم و همکاران [۴۰] ۳۷
- شکل (۲۰-۲) تغییرات عرض قید قطری معادل در قاب‌های مرکب ۳۷
- شکل (۲۱-۲) الف- منحنی هیستریزیس ب- منحنی پوش مقاومت پیشنهادی توسط کریسوستومو [۴۶] ۴۰
- شکل (۲۲-۲) مدل سه قیدی کریسوستومو و همکاران برای تحلیل دینامیکی قاب‌های مرکب [۴۶] ۴۱
- شکل (۲۳-۲) مدل اجزاء محدود الداخنی و همکاران برای تحلیل قاب‌های مرکب [۲۴] ۴۲
- شکل (۲۴-۲) مدل سه قیدی الداخنی برای تحلیل استاتیکی غیرخطی قاب‌های مرکب [۲۴] ۴۳
- شکل (۲۵-۲) مشخصه قید فشاری مورد استفاده در مدل الداخنی [۲۴] ۴۴
- شکل (۱-۳) نحوه تماس بین دو بلوک صلب ۵۲
- شکل (۲-۳) نحوه تماس بین دو بلوک تغییرشکل‌پذیر ۵۳
- شکل (۳-۳) نحوه تعریف گوشه‌های گرد در برنامه UDEC ۵۳
- شکل (۴-۳) قوانین ساختاری رفتار نرمال و برشی درزه‌ها ۵۶
- شکل (۵-۳) چرخه محاسبات در روش اجزاء مشخصه ۵۹
- شکل (۶-۳) پیکربندی شماتیک بلوک ۶۲
- شکل (۱-۴) تیر طره در معرض یک بار سهمی شکل در انتهای آزاد آن ۶۷

- شکل (۲-۴) نتایج تحلیل تیر طره درنرم افزار UDEC: الف) تغییر شکل هندسی؛ ب) کانتورهای جابجایی در راستای x ؛ ج) کانتورهای جابجایی در راستای y ؛ د) کانتورهای تنش S_{xx} ؛ ه) کانتورهای تنش S_{yy} ؛ و) کانتورهای تنش S_{xy} . ۶۹
- شکل (۳-۴) نمودار مقایسه حل تحلیلی با حل DEM برای تیر طره. ۷۰
- شکل (۴-۴) نمودار مقایسه حل تحلیلی با حل DDA برای تیر طره. ۷۰
- شکل (۵-۴) نمودار مقایسه حل تحلیلی با حل DEM و DDA برای تیر طره. ۷۱
- شکل (۶-۴) سامانه آزمایش لورنسو و همکاران [۲۵]. ۷۲
- شکل (۷-۴) مودهای گسیختگی مشاهده شده دیوارهای SW.30 [۲۵]. ۷۳
- شکل (۸-۴) نمودار نیرو-جابجایی برای دیوارهای SW.30 [۲۵]. ۷۳
- شکل (۹-۴) نتایج تحلیل دیوار SW.30 درنرم افزار UDEC: الف) مدل ساخته شده؛ ب) بردارهای جابجایی؛ ج) کانتورهای جابجایی در راستای x ؛ د) کانتورهای جابجایی در راستای y . ۷۴
- شکل (۱۰-۴) نمودار مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیل DEM دیوارهای SW.30. ۷۵
- شکل (۱۱-۴) سامانه آزمایش و ابعاد عمومی قاب‌های مرکب داو و سیا [۵۴]. ۷۶
- شکل (۱۲-۴) مدل‌سازی میکروی مصالح بنایی، الف) مدل‌سازی میکروی دقیق، ب) مدل‌سازی میکروی ساده شده. ۷۷
- شکل (۱۳-۴) نتایج تحلیل قاب میانپیر WC7 درنرم افزار UDEC: الف) تغییر شکل هندسی؛ ب) بردارهای جابجایی؛ ج) کانتورهای جابجایی در راستای x ؛ د) نقاط گسیخته شده. ۷۹
- شکل (۱۴-۴) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیل DEM قاب WC7. ۷۹
- شکل (۱۵-۴) نمودار نیرو-جابجایی قاب WC7 برای حالات مختلف اعمال نیروی ثقلی. ۸۱
- شکل (۱۶-۴) تغییر شکل مدل ساخته شده بازشودار در نرم افزار UDEC. ۸۲
- شکل (۱۷-۴) نمودار نیرو-جابجایی قاب WC7 برای ابعاد مختلف بازشو. ۸۲
- شکل (۱۸-۴) نمودار اثر ملات بر رفتار قاب میانپیر WC7. ۸۳
- شکل (۱۹-۴) گسترش نقاط گسیختگی در مجاورت ستون‌ها در نمونه با ملات بدون چسبندگی. ۸۳
- شکل (۲۰-۴) نمودار اثر بلوک بر رفتار قاب میانپیر WC7. ۸۴
- شکل (۲۱-۴) نمودار اثر درز مابین تیر و میانقاب بر رفتار قاب میانپیر WC7. ۸۵
- شکل (۲۲-۴) نتایج تحلیل قاب میانپیر WC7 درنرم افزار 3DEC: الف) مدل ساخته شده؛ ب) تغییر شکل هندسی؛ ج) بردارهای جابجایی. ۸۷
- شکل (۲۳-۴) نمودار نیرو-جابجایی قاب WC7: الف) اثر بار ثقلی؛ ب) اثر خواص ملات؛ ج) اثر خواص بلوک. ۸۸
- شکل (۲۴-۴) قاب میانپیر تحت بارهای متمرکز عمود بر صفحه آن. ۸۹
- شکل (۲۵-۴) قاب میانپیر تحت بارهای استاتیکی وارد بر بلوک‌ها در جهت عمود بر صفحه قاب. ۸۹
- شکل (۲۶-۴) قاب میانپیر تحت بارهای استاتیکی ناشی از دیوار عمود بر صفحه قاب. ۹۰

فهرست جداول

جدول (۱-۴) خصوصیات مکانیکی مصالح سنگی دیوارهای لورنسو و همکاران [۲۵].....	۷۲
جدول (۲-۴) خصوصیات مکانیکی دیوارهای SW.30 لورنسو و همکاران [۲۵].....	۷۳
جدول (۳-۴) خصوصیات مکانیکی بلوک‌های قاب‌های میانپُر داو و سیا [۵۴].....	۷۸
جدول (۴-۴) خصوصیات مکانیکی درزه‌های ملات بین بلوک‌های قاب‌های میانپُر داو و سیا [۵۴].....	۷۸

فصل ۱:

کلیات

۱-۱- مقدمه

برای تحلیل یک سازه معمولاً شکل ایده‌آلی از آن به عنوان مدل محاسباتی در نظر گرفته می‌شود، که بدون شک با مدل واقعی آن تفاوت‌هایی دارد. از جمله این تفاوت‌ها می‌توان به نقص در مقطع اعضا، جنس مصالح و خروج از مرکزیت بارها در محل اتصالات و غیره اشاره کرد، که در تحلیل و طراحی سازه از اثر آن‌ها صرف‌نظر می‌شود. یک نمونه دیگر از این تفاوت‌ها اثر دیوارهای پرکننده و یا میانقاب در بین قاب‌ها است که به دلیل ساده‌سازی از اثر آن‌ها صرف‌نظر می‌شود.

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. 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. 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 لرزه‌ای سازه داشته باشند.

۱-۲- بیان مسئله

همانطور که بیان شد، قاب‌های ساختمانی در نواحی میانی یا پیرامونی ساختمان با دیوارهای مصالح بنایی به عنوان پارتیشن‌ها یا عایق‌های صوتی و حرارتی پر می‌شوند که باعث می‌گردند، رفتار آن‌ها با قاب خالی متمایز گردد. به این نوع دیوارها، میانقاب و به سیستم حاصل از قاب و میانقاب، قاب مرکب یا قاب میاثیر اطلاق می‌شود. جهت بررسی و تعیین رفتار میانقاب‌ها در اثر بارگذاری‌های

متفاوت مدل‌های گوناگونی توسط محققان مختلف به کار گرفته شده است. اصولاً جهت مدل‌سازی و بررسی رفتار میانقاب‌ها و تأثیرات آن‌ها بر رفتار سازه‌ها دو نوع مدل به کار می‌رود: 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 و کاربرد این نوع مدل‌سازی در بررسی رفتار مدل‌های بزرگ مانند کل یک ساختمان می‌باشد. 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.

۱-۳- هدف و ضرورت تحقیق

دراکثر مطالعات گذشته از مدل‌های اجزای محدود برای تحلیل عملکرد میانقاب استفاده گردیده است. در این مدل‌ها، مصالح بنایی به صورت یک محیط پیوسته و همگن در نظر گرفته می‌شود که با واقعیت تفاوت دارد. مدلی که بتواند واحدهای تشکیل دهنده دیوار مانند واحدهای بنایی (بلوک‌ها، آجرها) و درزه‌های ملاتی را مدل نماید، می‌تواند به صورت واقع بینانه‌تری ویژگی‌هایی مانند سختی و مقاومت نهایی قاب مرکب، حالات شکست برشی میانقاب‌ها در اثر ضعف درزه‌های ملاتی، حالات شکست و خرابی میانقاب تحت بارهای یکنواخت و چرخه‌ای، نحوه شکل‌گیری ترک‌های مرزی و برشی و همچنین خرابی‌های کنج را مورد تحلیل قرار دهد.

۱-۴- روش تحقیق

روش‌های اجزاء مجزا که برای تحلیل محیط‌های ناپیوسته، درزه‌دار و سیستم‌های بلوکی به کار گرفته می‌شوند، می‌توانند برای مدل‌سازی این گونه مسائل به کار گرفته شوند. در این پژوهش، هدف

استفاده از روش‌های DDA^۱ و DEM^۲ برای میکرو مدل‌سازی قاب مرکب مصالح بنایی می‌باشد. روش DEM برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ توسط کاندال [۲۹] برای مدل‌سازی توده‌های سنگی درزه‌دار تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی پیشنهاد شد. روش DDA، روشی است که در سال‌های اخیر توسعه یافته است. این روش برای اولین بار توسط آقایان شی و گودمن [۱] در سال ۱۹۸۸ برای محاسبه کرنش‌ها و جابجایی‌های سیستم‌های بلوکی پیشنهاد شده است. در این روش جابجایی‌ها و تغییر شکل‌های بزرگ تحت بارگذاری‌های استاتیکی و دینامیکی بررسی می‌شوند.

۱-۵- فصول پایان نامه

فصل دوم این پایان نامه، شامل خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده قبلی موجود در ادبیات فنی راجع به قاب‌های مرکب و همچنین معرفی روش‌های تحلیل سازه‌های مصالح بنایی بطور اعم و میانقاب‌های مصالح بنایی بطور اخص می‌باشد. فصل سوم نیز شامل مقدمه‌ای بر روش‌های اجزاء مجزا می‌باشد و در آن توضیحات مختصری درباره مبانی دو روش DEM و DDA آورده شده است. در فصل چهارم نیز مسائلی به منظور اعتبارسنجی این روش‌ها در حل مسائل گوناگون مورد تحلیل قرار می‌گیرد و با نتایج تئوری و آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد. در ادامه فصل نیز مدل اجزاء مجزا توسعه داده شده برای تحلیل قاب میانپُر مصالح بنایی به کار گرفته می‌شود. در نهایت نیز چند عامل موثر بر ظرفیت قاب‌های میانپُر مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در فصل پنجم نیز نتایج تحقیق، و پیشنهاداتی برای کارهای آینده ارائه شده است.

¹ - Discontinuous Deformation Analysis

² -Distinct Element Method

فصل ۲:

مروری بر رفتار و تحقیقات گذشته درباره

قاب‌های مرکب

۲-۱- مقدمه

سابقه توجه محققین به قاب‌های مرکب و تلاش در جهت شناسایی رفتار سازه‌ای آن‌ها به اواسط دهه ۵۰ میلادی باز می‌گردد. محققین از همان ابتدا با مشاهده رفتار قاب‌های مرکب در زلزله‌های مختلف و آزمایش‌های انجام گرفته در این خصوص، به مودهای گسیختگی و رفتار خرابی گونه میانقاب‌ها پی بردند و نخستین مدل پیشنهادی را برای تحلیل آن‌ها تحت عنوان "مدل خربایی معادل" ارائه نمودند. سپس، محققین بسیاری با الهام از این مدل و در راستای تکمیل و تدقیق نتایج این مدل در مقایسه با نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی قاب‌های واقعی، دست به مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی گسترده‌ای زده‌اند که هنوز با سپری شدن نیم قرن از آغاز آن در حال انجام است.

۲-۲- رفتار قاب‌های مرکب

قاب مرکب مجموعه‌ای است از قاب و دیوار بین آن که از جمع زدن خواص تک تک آن‌ها نمی‌توان به خواص قاب مرکب رسید. چرا که رفتار قاب بصورت خمشی و رفتار دیوار بصورت برشی است. مجموعه قاب و میانقاب به ازای بارهای جانبی کم بصورت یک سیستم یکپارچه عمل می‌نماید درحالی‌که با افزایش مقدار بارهای جانبی، قاب پیرامونی در انتهای قطر کششی از میانقاب جدا شده و برعکس در انتهای قطر فشاری به میانقاب تکیه می‌کند. به عبارت دیگر، میانقاب با جلوگیری از حرکت آزاد قاب، موجب می‌شود که در اثر اندرکنش بین آن‌ها انتقال نیرو از روش انتقال خمشی در قاب خالی به روش انتقال خربایی در قاب مرکب تبدیل شود. انتقال نیرو به روش خربایی باعث افزایش نیروهای محوری و در عوض کاهش لنگرهای خمشی و نیروهای برشی در ستون‌ها می‌گردد. میانقاب‌ها بطور کلی دو اثر عمده بر روی ساختمان‌ها دارند. اول اینکه میانقاب‌ها به علت وزن زیاد، مقاومت و سختی بالایی که دارند موجب افزایش نیروی زلزله وارد بر ساختمان می‌گردند؛ چرا که همواره نیروی ناشی از زلزله معادل مقاومت سازه است. دوم اینکه توزیع نامتقارن آن‌ها در پلان منجر به جابجایی مرکز سختی و تولید یک لنگر پیچشی مخرب در ساختمان می‌شود. لذا، توجه به حضور

میان قاب‌ها و تاثیر آن‌ها در رفتار سازه‌ای قاب‌های مرکب کاملاً ضروری و لازم است. در اثر اعمال نیروی جانبی به قاب مرکب، در داخل میانقاب تنشهای صفحه‌ای فشاری و کششی ایجاد می‌شود. بدین ترتیب که تنش کششی حداکثر در راستای قطر کششی و در مرکز میانقاب و تنش فشاری نیز در راستای قطر فشاری در کنج قاب اتفاق می‌افتد. هر قدر سختی قاب نسبت به سختی میانقاب بیشتر باشد، قاب در طول بیشتری به میانقاب تکیه می‌کند و طول تماس بین آن‌ها افزایش می‌یابد، در نتیجه تنش وارد بر میانقاب در گوشه‌ها کمتر می‌شود. از اینرو، می‌توان گفت که شدت تنش فشاری گوشه به سختی قاب فولادی محیطی بستگی دارد. همچنین بر اساس تحقیقات انجام شده توسط مقدم [۲] و استفورد-اسمیت [۳] مشخص گردیده است که تنش‌های ایجاد شده در مرکز میانقاب تقریباً مستقل از سختی قاب بوده و فقط به نسبت ابعادی میانقاب بستگی دارند.

۲-۲-۱- مودهای گسیختگی قاب‌های مرکب

بر اساس اطلاعات بدست آمده از مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی انجام شده بر روی قاب‌های مرکب در طی نیم قرن گذشته، مودهای مختلف گسیختگی قاب‌های مرکب را می‌توان بصورت ذیل به پنج نوع تقسیم بندی نمود:

۱- مود شکست گوشه^۱: در این حالت، حداقل یکی از گوشه‌های تحت فشار میانقاب خرد

می‌شود (مود CC). این نوع گسیختگی معمولاً در قاب‌های مرکب دارای اتصالات ضعیف،

اعضای قوی و واحدهای مصالح بنایی ضعیف با ملات قوی اتفاق می‌افتد.

۲- مود شکست برشی لغزشی^۲: در این حالت، شکست برشی لغزشی در بین درزهای افقی

مصالح بنایی میانقاب ایجاد می‌شود (مود SS). این نوع گسیختگی معمولاً در قاب‌های قوی

با ملات ضعیف در بین درزها اتفاق می‌افتد.

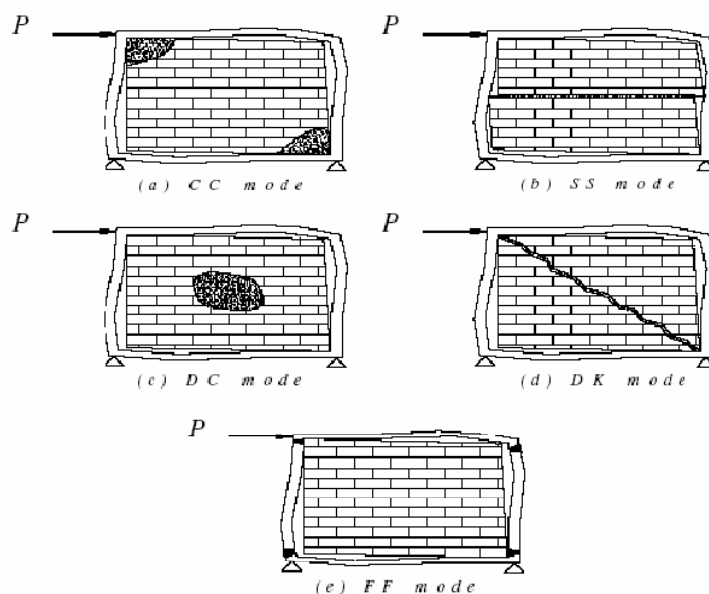
¹-Corner crushing mode

²-Sliding shear mode

۳- مود شکست فشاری قطری^۱: در این حالت، میانقاب در ناحیه مرکزی خود خرد می‌شود (مود DC). این نوع گسیختگی معمولاً در قاب‌های مرکب دارای میانقاب‌های لاغر در اثر کماتش خارج از صفحه آن‌ها اتفاق می‌افتد.

۴- مود ترک قطری (کشش قطری)^۲: در این حالت، یک ترک قطری در امتداد خط واصل گوشه‌های تحت فشار میانقاب ایجاد می‌شود (مود DK). این نوع گسیختگی معمولاً در قاب‌های ضعیف، یا قاب‌های دارای اتصالات ضعیف با اعضای قوی و میانقاب با ملات نسبتاً قوی اتفاق می‌افتد.

۵- مود گسیختگی قاب^۳: در این حالت، در ستون‌ها یا اتصالات تیر به ستون مفاصل خمیری ایجاد می‌شود (مود FF). این نوع گسیختگی نیز معمولاً در قاب‌های ضعیف یا قاب‌های دارای اتصالات ضعیف با اعضای قوی و میانقاب نسبتاً قوی اتفاق می‌افتد.



شکل (۱-۲) مودهای گسیختگی قاب‌های مرکب: (الف) مود شکست برشی لغزشی؛ (ب) مود شکست گوشه؛ (ج)

مود ترک قطری؛ (د) مود شکست فشاری قطری؛ (ه) مود گسیختگی قاب

¹-Diagonal compression mode

²-Diagonal cracking mode

³-Frame failure mode

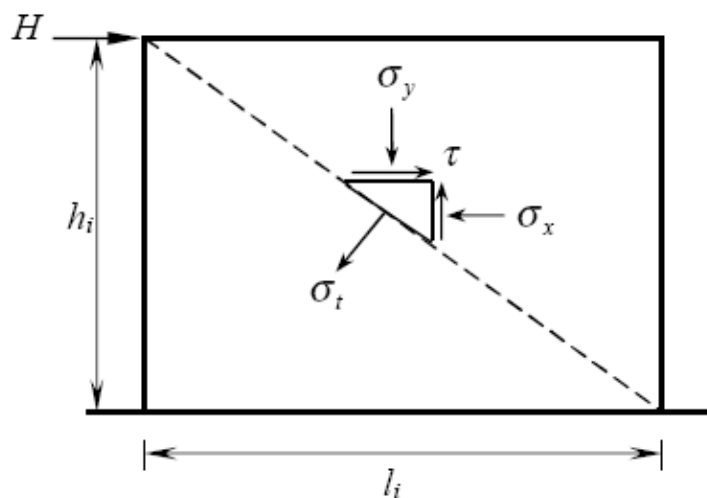
البته شایان ذکر است که از بین مودهای گسیختگی فوق تنها دو مود اول CC و SS از اهمیت عملی برخوردار هستند مود DC به ندرت اتفاق می‌افتد چرا که کمانش خارج از صفحه میانقاب نسبت لاغری بالایی را می‌طلبد که با توجه به ابعاد پانل‌ها در عمل و ضخامت بالای آن‌ها، این نسبت ارضاء نمی‌شود. مود DK را نباید به عنوان یک مود گسیختگی در نظر گرفت، چونکه میانقاب پس از ایجاد این ترک هنوز قادر به تحمل بارهای بیشتری است. مود FF بیشتر در قاب‌های مرکب بتنی ضعیف اتفاق می‌افتد.

۲-۲-۲- محاسبه بارهای گسیختگی قاب‌های مرکب:

□ مقاومت ترک قطری:

پیش بینی دقیق مقاومت ترک قطری برای هر دیوار بسیار مشکل و شاید غیر ممکن است؛ زیرا بدست آوردن ضرایب مقاومت برشی هر دیوار به نحوه چیدن دیوار، نوع ملات و آجر، عمل آوردن ملات و عوامل دیگر بستگی دارد که می‌توانند از یک دیوار به دیوار دیگر تغییر کنند. مقاومت و سختی قاب تاثیر چندانی بر مقاومت ترک قطری ندارد. بلکه این مقاومت تنها به نسبت ابعادی قاب و نوع مصالح مصرفی در میانقاب بستگی دارد. با استفاده از تحلیل و بررسی نحوه توزیع تنشها در صفحه پانل میانقاب به روش اجزاء محدود [۴]، مقادیر بحرانی تنشهای برشی، قائم و کششی قطری در مرکز میانقاب (شکل (۲-۲)) از طریق روابط ذیل محاسبه می‌گردند:

$$\tau = \frac{1.43H}{l_i t} \quad \sigma_y = \frac{(0.8h_i/l_i - 0.2)H}{l_i t} \quad \sigma_t = \frac{0.58H}{l_i t}$$



شکل (۲-۲) تنشها در مرکز میانقاب به ضخامت t

با در نظر گرفتن معیار گسیختگی کولمب، به منظور به دست آوردن مقاومت ترک قطری می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned}\tau &= \tau_0 + \mu \sigma_y \\ \frac{1.43H}{l_i t} &= \tau_0 + \frac{\mu H}{l_i t} (0.8 h_i / l_i - 0.2) \\ \therefore H_{DK} &= \frac{\tau_0 l_i t}{1.43 - \mu \left(\frac{0.8 h_i}{l_i} - 0.2 \right)} \quad (۱-۲)\end{aligned}$$

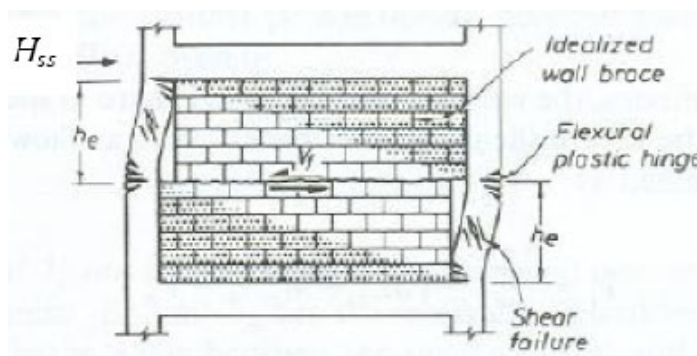
که در رابطه بالا μ و τ_0 به ترتیب مقاومت چسبندگی برشی و ضریب اصطکاک درز ملات می‌باشند.

□ مقاومت برش لغزشی:

در صورت وقوع حالت گسیختگی برشی لغزشی در میانقاب، مکانیزم معادل سازه‌ای قاب مرکب، از قاب مهاربندی شده توسط قیدهای قطری معادل به قاب با مهاربند زانویی^۱ مطابق با شکل (۳-۲) تغییر

^۱-Knee-braced frame

می‌یابد. در این حالت، مهارای ایجاد شده توسط پانل مصالح بنایی موجب تشکیل مفاصل خمیری در میانه و بالا یا پایین ارتفاع ستون‌ها شده و یا اینکه منجر به شکست برشی ستون (در مورد قاب‌های مرکب بتنی) می‌گردد. در ابتدا، کلیه برش وارد بر قاب‌های مرکب توسط میانقاب‌ها تحمل می‌گردد، اما به محض وقوع گسیختگی برشی لغزشی، درصد زیادی از این برش به ستون‌ها منتقل شده و باعث ایجاد لنگرها و برشهای اضافی در ستون می‌شود.



شکل (۳-۲) مدل با مهاربند زانویی برای میانقاب‌هایی که در حالت شکست برشی لغزشی گسیخته می‌شوند.

نیروی فشاری قید قطری معادل، R_s ، مورد نیاز برای ایجاد لغزش برشی افقی به تنش اصطکاک برشی τ_f و نسبت ابعادی پانل (زاویه θ در شکل (۳-۲)) بستگی دارد. لذا، حداکثر نیروی برشی تحمل شده توسط پانل بصورت ذیل محاسبه می‌گردد [۵]:

$$H_{ss} = \tau_0 l_i t + \mu R_s \sin \theta$$

همچنین با توجه به شکل (۳-۲) داریم:

$$H_{ss} = R_s \cos \theta = (l_i / d) R_s$$

و چون $h_i / l_i \approx h / l$ لذا:

$$R_s = \frac{\tau_0}{1 - \mu(h/l)} d.t \quad (۲-۲)$$

با جایگذاری مقادیر پیشنهادی $\tau_0 = 0.03 f'_m$ و $\mu = 0.3$ ، طبق رابطه بالا داریم:

$$R_s = \frac{0.03 f'_m}{1 - 0.3(h/l)} d.t$$

بنابراین، نیروی برشی پایه مورد نیاز جهت ایجاد لغزش در قاب‌های چند دهانه (n دهانه) بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$V_b = \sum_{i=1}^n (R_{si} \cos \theta_i) \quad (3-2)$$

بعد از وقوع لغزش، ستون‌ها و پانل توأم در تحمل نیروی برشی مشارکت می‌نمایند. از اینرو، با توجه به شکل (3-2) می‌توان نیروی گسیختگی برشی پانل‌ها را بصورت ذیل محاسبه نمود:

$$V_i = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{2}{h_e} (M_{ct} + M_{cc})_i + V_b \quad (4-2)$$

که در آن M_{cc} و M_{ct} به ترتیب مقاومت خمشی ایده‌آل ستون‌های کششی و فشاری با در نظر گرفتن اثر نیروهای محوری ناشی از بارهای ثقلی و لنگرهای واژگونی می‌باشند. مقدار h_e بطور تقریبی برابر $h/2$ با فرض می‌شود.

□ مقاومت شکست گوشه:

برای محاسبه شکست گوشه، سه حالت را می‌توان در نظر گرفت [۲]:

الف) ستون از تیر ضعیفتر و میانقاب قوی باشد:

در این حالت، مفصل خمیری در ستون تشکیل شده و مقاومت شکست گوشه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$H_{cc} = m \cdot f'_m \cdot t_i \cdot h_i \quad (5-2)$$

که در آن:

$$m = \sqrt{\frac{2(M_{pj} + M_{pc})}{f'_m \cdot t_i \cdot h_i^2}} \quad (6-2)$$

M_{pj} = لنگر پلاستیک اتصال

M_{pc} = لنگر پلاستیک ستون

f'_m = مقاومت فشاری مصالح بنایی میانقاب

ب) تیر از ستون ضعیفتر و میانقاب قوی باشد:

در این حالت، مفصل خمیری در تیر تشکیل شده و مقاومت شکست گوشه از رابطه (۲-۵) با عبارت

زیر برای m محاسبه می‌گردد:

$$m = \frac{1}{\tan \theta} \sqrt{\frac{2(M_{pj} + M_{pb})}{f'_m t_i h_i^2}} \quad (۷-۲)$$

که در آن:

$$\tan \theta = \frac{h_i}{l_i}$$

M_{pb} = لنگر پلاستیک تیر

ج) میانقاب ضعیف باشد:

در این حالت، مفصل خمیری فقط در گره‌ها تشکیل شده و مقاومت شکست گوشه از رابطه (۲-۵) با

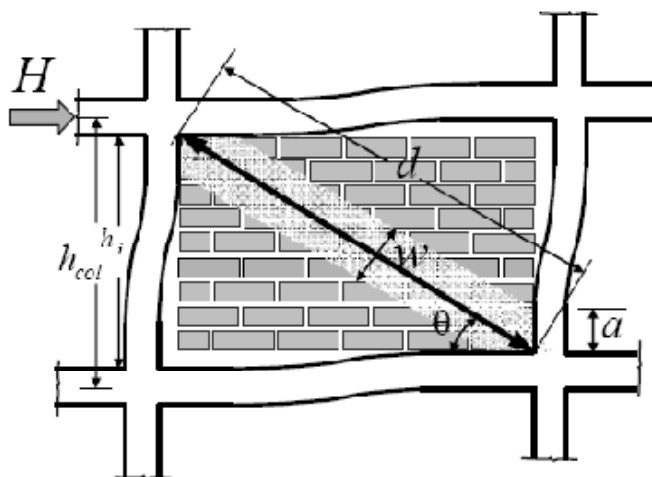
عبارت زیر برای m محاسبه می‌گردد:

$$m = \frac{4M_{pj}}{f'_m t_i h_i^2} + \frac{1}{6} \quad (۸-۲)$$

۲-۲-۳- محاسبه سختی قاب‌های مرکب:

تاکنون تلاش‌های زیادی به منظور درک بهتر و تخمین رفتار مختلط قاب‌های مرکب بصورت تحلیلی و آزمایشگاهی انجام شده است. محققینی مانند پولیاکوف [۶]، استفورد -اسمیت [۷]، مینستون [۸]، پایه‌های اساسی پیش‌بینی و درک رفتار درون صفحه‌ای قاب‌های مرکب را بنا نهاده‌اند. آزمایش‌های انجام شده توسط آن‌ها بر روی قاب‌های مرکب تحت بارهای جانبی، فرم تغییرشکلی را مشابه با

شکل (۴-۲) نشان داده است. این نوع رفتار برای اولین بار توسط پولیاکوف مشاهده شد که در نهایت منجر به ساده‌سازی تحلیل قاب‌های مرکب از طریق جایگزینی میانقاب مصالح بنایی با یک قید قطری معادل فشاری مطابق شکل (۴-۲) گردید. این قید قطری با خواص مکانیکی و ضخامتی مشابه با میانقاب و بصورت دو سر مفصل در نظر گرفته می‌شود. با محاسبه سختی محوری قید قطری معادل می‌توان سختی ارتجاعی قاب مرکب را تعیین نمود.



شکل (۴-۲) قید قطری معادل

۴-۲-۲- محاسبه سختی و مقاومت قاب‌های مرکب دارای بازشو:

در بعضی مواقع به منظور تعبیه محل پنجره و درب، در میانقاب‌ها بازشوهایی ایجاد می‌گردد. از آزمایش‌های انجام گرفته بر روی این نوع میانقاب‌ها می‌توان نتیجه گرفت که وجود بازشو باعث کاهش مقاومت و سختی قاب مرکب می‌گردد. بطوریکه استقرار بازشو در کنج فشاری، مقاومت را تقریباً ۷۵ درصد و سختی را ۸۵ الی ۹۰ درصد کاهش می‌دهد [۹]. هر چه محل بازشو از کنج فشاری دورتر شود تاثیر کاهنده آن کمتر می‌شود، بطوری که بازشوهایی کنج کششی تاثیر چندانی بر سختی و مقاومت ندارند. وجود بازشو در وسط میانقاب بسته به سطح نسبی بازشو تا حدود ۵۰ درصد موجب

کاهش مقاومت می‌شود ولی تاثیر آن بر سختی اولیه ناچیز است. برای تخمین مقاومت و سختی میانقاب‌های دارای بازشو می‌توان از دو روش زیر استفاده نمود:

□ روش مقدم [۲]:

مقدم در سال ۱۹۹۱ با استفاده از نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی قاب‌های مرکب دارای میانقاب‌های دارای بازشو، روابط تجربی - تقریبی زیر را برای محاسبه مقاومت (H_0) و سختی (K_0) بازشودر دو حالت استقرار بازشو ارائه نمود:

الف) استقرار بازشو در مرکز میانقاب:

$$H_0 = (1 - C)H \quad (۹-۲)$$

$$K_0 = K \quad (۱۰-۲)$$

در این روابط H و K ، به ترتیب مقاومت و سختی قاب‌های مرکب توپر هستند.

ب) استقرار بازشو در گوشه میانقاب:

$$H_0 = (1 - C)H/2 \quad (۱۱-۲)$$

$$K_0 = (1 - C)K/2 \quad (۱۲-۲)$$

در تمامی روابط فوق، مقدار پارامتر C از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \sqrt[4]{A_0/A_p} \quad (۱۳-۲)$$

A_0 = مساحت بازشو

A_p = مساحت میانقاب