

بررسی تئوری پلاستیسیته در محاسبه ظرفیت نهایی میانقاب‌ها

مجید محمدی

استادیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
m.mohammadi@iiees.ac.ir

سید امیرحسین مویدی

دانشجو، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
a.moayedi@iiees.ac.ir

کلیدواژه‌ها: میانقاب، ظرفیت نهایی، تئوری پلاستیسیته، رابطه لیا، ضریب تصحیح

چکیده

میانقاب‌ها دیوارهای ساخته‌شده در داخل قاب می‌باشند که یک ساختمان را در مقابل بارهای جانبی زلزله تقویت کرده و باعث بالا رفتن میزان جذب انرژی ساختمان به هنگام وقوع زمین‌لرزه می‌شوند. یکی از پارامترهای مهم در میانقاب‌ها مقدار ظرفیت نهایی آن‌هاست که نظریه‌های متفاوتی برای محاسبه آن توسط افرادی چون وود، لیاو و مین استون ارائه شده است. با توجه به اینکه وقوع ظرفیت نهایی میانقاب همزمان با بروز رفتارهای پلاستیک در قاب‌ها و میانقاب است در این تحقیق فرمول لیاو که بر مبنای تئوری پلاستیسیته بنا شده است مورد بررسی قرار گرفته است در این راستا با استخراج ۴۳ نمونه‌ی یک طبقه و یک دهانه آزمایشگاهی که فاقد بارشو می‌باشند ابتدا به بررسی و مقایسه‌ی ظرفیت نهایی این نمونه‌ها با ظرفیت نهایی تحلیلی حاصل از فرمول لیاو پرداخته شده و سپس با ارائه ضرایب ثابت به جای ضریب تصحیح لیاو به بهبود این نظریه در محاسبه ظرفیت نهایی میانقاب‌ها پرداخته شده است. در این مطالعه با بررسی ۴ حالت مختلف و محاسبه میانگین و انحراف معیار از نسبت ظرفیت تحلیلی به آزمایشگاهی رابطه لیاو بهبود داده شده است.

مقدمه

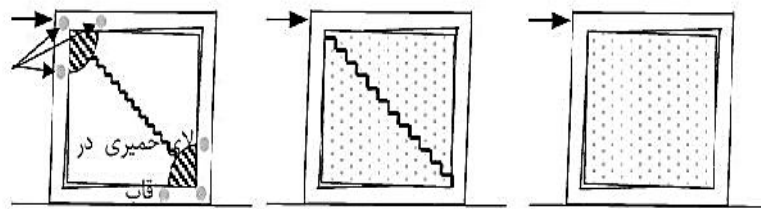
میانقاب دیوار ساخته‌شده در داخل قاب می‌باشد که تحقیق بر روی رفتار و اثرات آن از سال ۱۹۵۰ میلادی آغاز و تاکنون ادامه دارد. وجود میانقاب‌ها در سیستم سازه‌ای یک ساختمان آن را در مقابل بارهای جانبی زلزله تقویت کرده (Jung and Aref (2005) و باعث بالا رفتن میزان جذب انرژی ساختمان به هنگام وقوع زمین‌لرزه می‌شوند (Decanini et al, 2002) طی تحقیقات مختلف نشان داده شده است که این اعضا تأثیر بسزایی بر روی ساختمان‌ها داشته و لذا تأثیر آن‌ها در رفتار لرزه‌ای ساختمان باید به هنگام تحلیل و طراحی لحاظ گردد (Razik et al, 2006) اما به‌رغم تأثیر فراوان، اثر آن‌ها عموماً در تحلیل و طراحی در نظر گرفته نمی‌شود و آیین‌نامه‌ها تنها تأثیر میانقاب‌ها را در زمان تناوب سازه می‌بینند و الزامی برای در نظرگیری سایر اثرات آن در سازه برای مهندسين فراهم نمی‌سازند که این امر علاوه بر رفتار پیچیده میانقاب به ضعف آیین‌نامه‌ها نیز بازمی‌گردد (محمدی ۱۳۹۰). یکی از پارامترهای مهم در تحلیل میانقاب‌ها محاسبه‌ی مقاومت نهایی آن‌هاست که روش محاسبه‌ی آن از اهمیت زیادی برخوردار است. زمانی که میانقاب تحت بارگذاری قرار می‌گیرد سه حالت شکست تا رسیدن به حالت نهایی شکست برای آن رخ خواهد داد که در زیر این سه حالت به تفصیل توضیح داده می‌شود:

حالت‌های شکست

تحت بار جانبی ابتدا قاب و میانقاب به‌صورت یکپارچه عمل می‌کند و میانقاب در کنج‌های فشاری و کششی، تحت فشار و کشش قرار می‌گیرد. به دلیل تغییر جهت نیروی زلزله، کلیه کنج‌ها به‌نوبت تحت کشش قرار گرفته و در نهایت دورتادور میانقاب ترک می‌خورد و باعث جدا شدن قاب از میانقاب می‌شود. (شکل ۱-الف) با افزایش نیرو نهیاً ترک‌ها شکل ضربدری به خود می‌گیرند. با وقوع این ترک‌ها ناحیه غیر ارتجاعی شروع می‌شود. (شکل ۱-ب) با افزایش فشار وارده نیرو به حدی می‌رسد که تنش‌ها در کنج فشاری، میانقاب را خرد می‌کنند. همچنین به دلیل محصور بودن اجزا در کنج‌ها، این شکست دیرتر اتفاق می‌افتد و مقاومت قاب در



این مرحله می‌تواند بسیار بیشتر از ترک قطری باشد. با ادامه بارگذاری ترک‌های دیگر به موازات قطر ظاهر شده و نقاط دورتر کنج خرد می‌گردند. (شکل ۱- پ) (مقدم و محمدی ۱۳۸۹)



الف. بروز ترک مرزی ب. بروز ترک قطری پ. بروز شکست کنج و تشکیل لولاهای خمیری

شکل ۱: حالت‌های شکست میانقاب‌ها (مقدم و محمدی ۱۳۸۹)

یکی از کمیت‌های مهم در رفتار قاب‌های میان‌پر، مقدار مقاومت حداکثر یا اصطلاحاً ظرفیت نهایی آن است که با بروز رفتار غیرخطی در قاب و دیواررو می‌دهد. فرمول لیاو جزء معدود فرمول‌هایی است که بر پایه ظرفیت پلاستیک قاب و دیوار بنا شده است. در تحقیق محمدی (۱۳۹۳) نشان داده شده است که این رابطه پس از رابطه مینستون (ASCE (2007) بیشترین دقت را در تخمین مقاومت نهایی دارد. در این مطالعه با مقایسه‌ی مقاومت نهایی نمونه‌های آزمایشگاهی و مقاومت نهایی تحلیلی حاصل از فرمول لیاو به بررسی فرمول لیاو و بهبود آن در محاسبه ظرفیت نهایی میانقاب‌ها پرداخته شده است.

روش تحلیلی

تاکنون تحقیقات زیادی برای تخمین مقاومت نهایی میانقاب‌ها انجام شده است و از تأثیر دو عامل مقاومت قاب و مقاومت فشاری میانقاب بر مقاومت نهایی میانقاب‌ها صحبت به میان آمده است. وود نخستین کسی بود که از تئوری پلاستیسیته برای تخمین مقاومت نهایی میانقاب استفاده کرد. او در سال ۱۹۷۸ تئوری پلاستیسیته را برای چهار مد مختلف شکست که از مشاهدات آزمایشگاهی به دست آمده بود به شرح زیر پیشنهاد کرد: Liauw and Kwan (1983)

- ۱- مد برشی مرکب (قاب قوی، دیوار ضعیف) ۱
- ۲- مد چرخشی برشی (مقاومت دیوار متوسط) ۲
- ۳- مد فشاری قطری (پانل قوی، قاب ضعیف) ۳
- ۴- مد شکست کنج (پانل خیلی قوی، قاب ضعیف) ۴

او یک ضریب تصحیح برای اختلاف بین پیشنهادهای تئوری و نتایج آزمایشگاهی در نظر گرفت که در مقاومت فشاری مصالح میانقاب ضرب می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، آقای لیاو با استفاده از تئوری پلاستیسیته روش وود را بهبود بخشید و سه مد شکست را برای برآورد مقاومت نهایی میانقاب‌ها فرض نمود. در واقع او سه مد شکست پیشنهادی خود را با نتایج آزمایشگاهی باروا، مالیک، مین استون و کدیر مقایسه کرد که این مقایسه سازگاری نتایج آزمایشگاهی با پیشنهادهای تئوری را تایید می‌کرد. مدهای شکست و مقاومت متناظر آن‌ها که توسط او پیشنهاد شده بود به شرح زیر می‌باشد (Liauw and Kwan (1983):

الف) خردشدگی گوشه به همراه پلاستیک شدگی در ستون (ستون از تیر ضعیف‌تر و میانقاب قوی است): در این مد شکست، گوشه‌های میانقاب خرد و به علت ضعیف بودن ستون‌ها از تیرها، در ستون‌ها مفصل پلاستیک تشکیل می‌گردد. (شکل ۲- الف)

ب) خردشدگی گوشه به همراه پلاستیک شدگی در تیر (تیر از ستون ضعیف‌تر و میانقاب قوی است): در این مد شکست، گوشه‌های میانقاب خرد و به علت ضعیف بودن تیرها از ستون‌ها، در تیرها مفصل پلاستیک تشکیل می‌گردد. (شکل ۲- ب)

ج) خردشدگی قطری (میانقاب ضعیف است): در این مد شکست، میانقاب ضعیف‌تر از قاب است و مقاومت این مد با توجه به نسبت بعدی میانقاب محاسبه می‌شود. (شکل ۲- ج) بدیهی است مقاومت حاصل از مقدار حاصل از سه حالت بالا را باید به عنوان مقاومت نهایی قاب میان‌پر در نظر گرفت. مقاومت حاصل از این روابط در مقایسه با مقادیر حاصل از نتایج آزمایش نشان داد که فرمول‌ها مقاومت را بیشتر از واقع تخمین می‌زنند لذا لیاو یک ضریب کاهش نیز به روابط افزود و در نتیجه روابط زیر را برای میانقاب‌های با واحد بتنی ارائه نمود: anejjad and Hobbs (1995)

¹ Composite shear mode (strong frame , weak wall)

² shear rotation mode (medium strength wall)

³ diagonal compression (mode strong panel weak frame)

⁴ corner crushing mode (very strong panel and weak frame)



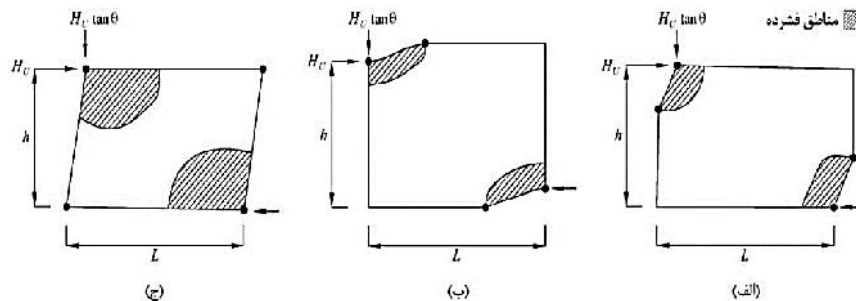
$$H_{ult} = x_p \times f'_m \times t \times h \times \min \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{2(M_{pj} + M_{pc})}{x_p \times f'_m \times t \times h^2}} \\ \frac{1}{\tan \alpha} \times \sqrt{\frac{2(M_{pj} + M_{pb})}{x_p \times f'_m \times t \times h^2}} \\ \frac{4M_{pj}}{x_p \times f'_m \times t \times h^2} + \frac{1}{6 \times \max(1, \tan^2 \alpha)} \end{array} \right. \quad (1)$$

در روابط بالا M_{pj} لنگر پلاستیک اتصال است که برای اتصالات مفصلی برابر صفر و برای اتصالات گیردار برابر کمترین مقدار لنگر پلاستیک تیر (M_{pb}) و لنگر پلاستیک ستون (M_{pb}) می‌باشد. h و t نیز به ترتیب ضخامت، ارتفاع و طول میانقاب و σ_c مقاومت فشاری مصالح میانقاب و α زاویه قطر میانقاب با افق می‌باشد. همچنین f'_m مقاومت فشاری مصالح x_p ضریب تصحیح است که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\gamma_p = 2.633m^3 - 1.37m + 0.406 \leq 0.45 \quad (2)$$

m کمیته وابسته به مقاومت خمشی پلاستیک اتصالات قاب می‌باشد:

$$m = \frac{8M_{pj}}{f'_m \times t \times L^2} \quad (3)$$



شکل ۲: مدهای شکست میانقاب (Liauw and Kwan 1983)

سه مد مفروض در روابط لیاو در شکل (۲) نشان داده شده است. در حالت "الف" و "ب" با ادامه بارگذاری منطقه موردنظر خورد شده گسترش می‌یابد تا در ستون یا تیر مفصل‌های پلاستیک ایجاد شود اما در حالت "ج" قاب به اندازه‌ای قوی است که ناحیه بزرگ‌تری از میانقاب بدون آنکه قاب تسلیم شود خرد خواهد شد. امتیاز قابل توجه فرمول لیاو نسبت به سایر روابط ارائه شده این است که در این رابطه برحسب ظرفیت پلاستیک مقاطع تیر و ستون است در حالی که در سایر روابط تنها لنگر اینرسی و مدول الاستیسیته آن‌ها در نظر گرفته شده است ضمن اینکه مدهای شکست مفروض در این روابط بسیار با آنچه در آزمایش مشاهده می‌شود هماهنگی دارد در نتیجه کلیات روش لیاو صحیح است و تنها ساده‌سازی‌هایی که در آن صورت گرفته نیاز به استفاده از یک ضریب اصلاح دارد از جمله اینکه در حالت نهایی در نقاطی در اعضای قاب مفاصل خمشی تشکیل می‌شود که طول این مفصل‌ها در فرمول‌ها در نظر گرفته نشده است. از آنجایی که ضریب تصحیح پیشنهادی لیاو بر پایه چند آزمایش محدود بود در این تحقیق سعی می‌شود ضمن حفظ اصول حاکم بر این روابط، ضریب تصحیح به گونه‌ای اصلاح شود تا موجب افزایش دقت روابط گردد در این راستا از نتایج ۴۳ نمونه‌ی آزمایشگاهی که در ادبیات فنی موجود بوده استفاده شده است.



مطالعات آزمایشگاهی (مشخصات نمونه‌ها : مصالح، ابعاد و پیکربندی)

تاکنون مطالعات زیادی با موضوعات مختلف بر روی میانقاب‌ها انجام گرفته که در تعدادی از آن‌ها با ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی به اندازه‌گیری ظرفیت نهایی میانقاب‌ها به صورت عملی پرداخته شده است. در زیر به بررسی تعدادی از این مقالات و استخراج نمونه‌های موردنظر پرداخته شده و خلاصه آن‌ها در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول ۱: مشخصات هندسی و مقاومت نهایی نمونه‌های آزمایشگاهی

شماره	مرجع	مصالح قاب	مصالح میانقاب	ضخامت		طول متر	مقاومت فشاری مگا پاسکال	ظرفیت نهایی آزمایشگاهی (کیلو نیوتن)		
				میلی‌متر	متر			جهت مثبت	جهت منفی	بیشترین
۱	۱۰	concrete	concrete brick	۱۴۰	۲/۰۵	۳/۲۵	۶/۰۴	۱۲۴	۱۰۹	۱۲۴
۲	۱۰	concrete	concrete brick	۱۴۰	۲/۰۵	۳/۲۵	۶/۰۴	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰
۳	۱۰	concrete	Hollow clay brick	۱۴۰	۲	۳/۲۰	۶/۸۹	۱۷۲	۱۵۲	۱۷۲
۴	۱۰	concrete	Hollow clay brick	۱۴۰	۲	۳/۲۰	۶/۸۹	۱۹۹	۱۸۳	۱۹۹
۵	۱۱	concrete	Weak Hollow brick	۶۰	۰/۸۰	۱/۲۰	۵/۱۱	۸۱/۴۶	-	۸۱/۴۶
۶	۱۱	concrete	Strong Hollow brick	۵۲	۰/۸۰	۱/۲۰	۱۷/۶۸	۷۲/۹۲	-	۷۲/۹۲
۷	۱۲	Steel	clay brick	۱۱۰	۱/۸۰	۲/۲۶	۷/۴	۲۰/۱۵	۲۱۲/۱	۲۱۲/۱
۸	۱۳	Steel	Unretrofitted solid wall	۱۵۰	۲/۷۴	۳/۰۸	۱۳/۴	۴۲۸	-	۴۲۸
۹	۱۳	Steel	Retrofitted both sides solid wall	۱۵۲/۶	۲/۷۴	۳/۰۸	۱۸/۲۲	۶۲۰	-	۶۲۰
۱۰	۱۳	Steel	Retrofitted one side solid wall	۱۵۱/۳	۲/۷۴	۳/۰۸	۲۲/۹۶	۴۵۰	-	۴۵۰
۱۱	۱۴	concrete	clay brick or concrete block	۱۲۰	۲	۱/۹۰	۲/۲	۸۰/۴	۷۶/۵	۸۰/۴
۱۲	۱۴	concrete	clay brick or concrete block	۱۲۰	۲	۱/۹۰	۱/۸	۷۱/۶	۸۲/۴	۸۲/۴
۱۳	۱۴	concrete	clay brick or concrete block	۱۲۰	۲	۱/۹۰	۱/۵	۷۴/۵	۶۰/۸	۷۴/۵
۱۴	۱۴	concrete	clay brick or concrete block	۱۲۰	۲	۱/۹۰	۱/۵	۵۸/۸	۵۷/۹	۵۸/۸
۱۵	۱۵	Steel	clay tile	۲۰۰	۲/۲۱	۲	۳	۱۲۲	۱۶۵	۱۶۵
۱۶	۱۵	Steel	clay tile	۲۰۰	۲/۲۱	۱/۹۸	۳	۱۶۶	۱۸۳	۱۸۳
۱۷	۱۵	Steel	clay tile	۲۰۰	۲/۲۱	۱/۹۹	۳	۱۸۳	۱۶۹	۱۸۳
۱۸	۱۵	Steel	clay tile	۳۳۰	۲/۱۴	۱/۸۵	۳	۲۳۱	۱۵۳	۲۳۱
۱۹	۱۵	Steel	clay tile	۳۳۰	۲/۱۴	۱/۸۴	۳	۱۹۵	۱۶۹	۱۹۵
۲۰	۱۵	Steel	clay tile	۲۰۰	۲/۲۱	۱/۹۸	۳	۱۴۰	۱۲۹	۱۴۰
۲۱	۱۵	Steel	clay tile	۲۰۰	۲/۲۱	۱/۹۸	۳	۲۲۱	۲۰۹	۲۲۱
۲۲	۱۵	Steel	clay tile	۲۰۰	۲/۲۱	۳/۲۰	۳	۲۱۴	۲۰۸	۲۱۴
۲۳	۱۵	Steel	clay tile	۲۰۰	۲/۲۱	۲/۵۹	۳	۱۸۰	۲۰۶	۲۰۶
۲۴	۱۶	Steel	clay brick or Masonary	۱۰۰	۲	۲/۸۶	۴/۹	۱۴۷/۱۶	-	۱۴۷/۱۶
۲۵	۱۶	Steel	concrete brick or concrete	۱۰۰	۲	۲/۸۶	۲۲/۱۷	۳۷۳/۴	-	۳۷۳/۴
۲۶	۱۶	Steel	concrete & brick or Multilayer	۲۷۵	۲	۲/۸۶	۷/۱	۴۴۴/۱۱	-	۴۴۴/۱۱
۲۷	۱۶	Steel	concrete & brick or Multilayer	۲۵۰	۲	۲/۸۶	۵/۲۶	۳۶۷/۷۳	-	۳۶۷/۷۳
۲۸	۱۶	Steel	concrete & brick or Multilayer	۱۵۰	۲	۲/۸۶	۵/۵	۳۷۹/۴	-	۳۷۹/۴
۲۹	۱۷	concrete	Weak-Hollow concrete	۹۲	۱/۴۲	۲/۱۲	۱۰/۶۱	۱۶۲/۴۳	۱۵۳/۵۳	۱۶۲/۴۳
۳۰	۱۷	concrete	Weak-Solid concrete	۹۲/۰۸	۱/۴۲	۲/۱۲	۱۳/۸۵	۲۶۷	۲۳۲/۲۹	۲۶۷
۳۱	۱۷	concrete	Strong-Hollow concrete	۹۲/۰۸	۱/۴۲	۲/۱۲	۱۰/۱۳	۱۸۸/۲۴	۲۰۷/۳۷	۲۰۷/۳۷
۳۲	۱۷	concrete	Strong-Solid concrete	۹۲/۰۸	۱/۴۲	۲/۱۲	۱۳/۵۷	۴۴۵	۴۸۹/۵	۴۸۹/۵
۳۳	۱۷	concrete	weak-hollow concrete	۹۲/۰۸	۱/۴۲	۲/۹۵	۱۰/۶۱	۱۸۹/۵۷	۱۵۶/۲	۱۸۹/۵۷
۳۴	۱۷	concrete	Weak-Solid concrete	۹۲/۰۸	۱/۴۲	۲/۹۵	۱۱/۴۴	۲۹۲/۸۱	۲۷۵/۹	۲۹۲/۸۱
۳۵	۱۷	concrete	weak-repaired concrete	۹۲/۰۸	۱/۴۲	۲/۹۵	۱۳/۵۷	۳۶۲/۶۸	۳۵۵/۵۶	۳۶۲/۶۸
۳۶	۱۸	Steel	clay tile	۱۹۵	۱/۹۲	۱/۷۴	۳	۱۲۲	۱۶۵	۱۶۵
۳۷	۱۸	Steel	clay tile	۱۹۵	۱/۹۲	۱/۷۱	۳	۱۶۶	۱۸۳	۱۸۳
۳۸	۱۸	Steel	clay tile	۱۹۵	۱/۹۲	۱/۷۲	۳	۱۵۸	۱۶۸	۱۶۸
۳۹	۱۸	Steel	clay tile	۱۹۵	۱/۹۲	۲/۳۱	۳	۱۸۰	۲۰۳	۲۰۳
۴۰	۱۸	Steel	clay tile	۱۹۵	۱/۹۲	۲/۹۲	۳	۲۱۲	۲۰۶	۲۱۲
۴۱	۱۸	Steel	clay tile	۳۳۰	۱/۷۸	۱/۴۴	۲/۶	۲۲۸	۱۴۹	۲۲۸
۴۲	۱۸	Steel	clay tile	۳۳۰	۱/۷۸	۱/۴۲	۲/۶	۱۹۱	۱۶۸	۱۹۱
۴۳	۱۸	Steel	clay tile	۳۳۰	۵/۸۲	۶/۸۲	۲/۶	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰

یانز وهمکاران (Yáñez1 et al,2004) ۱۶ نمونه بتنی یک طبقه را باهدف بررسی اثر بازشوها تحت آزمایش قراردادند. در این مقاله تمامی نمونه‌ها در مقیاس واقعی بوده و از میان آن‌ها ۸ نمونه، از بلوک‌های بتنی و ۸ نمونه از بلوک‌های آجری مجوف ساخته شده‌اند. در تحقیق دیگر که توسط کاکالتسیز و همکارش (Kakaletsis and Karayannis (2008) انجام شده است به بررسی مقاومت مصالح بازشوها در میانقاب‌های بتنی تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداخته شده است. در این مطالعه ۷ نمونه در مقیاس یک سوم به صورت یک طبقه و تک دهانه با استفاده از دو نوع مصالح قوی وضعیت با مقاومت فشاری مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در تحقیق تسنیمی و همکارش (Tasnimi and Mohebkah (2011) نتایج ۶ نمونه‌ی یک دهانه و یک طبقه که در مقیاس واقعی ساخته شده‌اند در حالت آزمایشگاهی و تحلیلی ارائه شده است که ۴ نمونه از آن‌ها دارای بازشو می‌باشند. در مطالعه‌ی دیگر که توسط داخنی و همکاران (El-Dakhkhni et al, 2004) انجام شده است با آزمایش روی ۶ نمونه با مقیاس واقعی، یک طبقه، یک دهانه با قاب فولادی نمونه‌ها تحت بارگذاری رفت و برگشتی قرار گرفته و با توجه به چندلایه بودن مصالح، مقاومت فشاری کل با میانگین وزنی گرفتن از مقاومت فشاری وضخامت بلوک و فیبر محاسبه شده است. در مطالعه تنا کلونگا و همکاران (Tena-Colunga et al,2009) قاب‌های بتنی شامل مصالح ترکیبی شامل بلوک‌های بتنی و آجرهای رسی می‌باشند که به صورت یک طبقه و یک دهانه ساخته شده‌اند. فلنگان و همکارش (Flanagan and Bennett(1993) به بررسی رفتار قاب‌های ساخته شده از مصالح آجری (رسی) در مقیاس واقعی پرداخته‌اند. محمدی (Mohammadi M (2007) با استفاده از ۱۵ قاب فولادی دارای میانقاب ساخته شده از مصالح بتنی، بنایی و چندلایه‌ای به اثرگذاری تک یا چندلایه بودن میانقاب‌ها بر مقاومت نهایی پرداخته شده است. محرابی و همکارش (Mehrabi and Scullar(1996) با طراحی دو نوع قاب میانپر یک طبقه و یک دهانه با استفاده از آیین‌نامه‌های رایج برای بار باد و زلزله با مقیاس یک دوم به ارزیابی رفتار این قاب‌ها پرداخته‌اند. فلنگان و همکاران (Flanagan and Bennett(1999) نیز به بررسی رفتار قاب‌های فولادی با مصالح آجری (رسی) در مقیاس واقعی پرداخته‌اند. در نهایت از میان نمونه‌های موجود در مقالات تنها نمونه‌هایی که یک طبقه، فاقد هرگونه درز و شکاف در دیوارها و بازشو می‌باشند انتخاب شده است. با بررسی مقالات و با توجه به ویژگی‌های اشاره شده، ۴۳ نمونه انتخاب و مشخصات آن‌ها در جدول (۱) آورده شده است. در این جدول مشخصات نمونه‌ها و ظرفیت نهایی آن‌ها که از نتایج آزمایشگاهی به دست آمده به تفکیک قرار داده شده و همچنین شماره مرجع هر یک از نمونه‌ها در ستون دوم جدول قرار دارد. این نکته نیز قابل ذکر است که با توجه به بارگذاری رفت و برگشتی اعمال شده به نمونه‌ها، مقادیر ظرفیت نهایی آن‌ها در حالت آزمایشگاهی در تعدادی از مقالات در هر دو جهت مثبت و منفی محاسبه شده که هر دو مقدار آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است

بررسی دقت فرمول لیاو برای برآورد مقاومت نهایی آزمایشگاهی و بهبود آن (صحت سنجی فرمول لیاو توسط نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی)

در این قسمت ظرفیت نهایی تحلیلی نمونه‌ها بر پایه رابطه پیشنهادی لیاو در ۴ حالت زیر محاسبه و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شود:

حالت اول: نظریه لیاو به همان صورتی که قبلاً پیشنهاد شده بود.

حالت دوم: نظریه لیاو با در نظرگیری X_p برابر واحد

حالت سوم: استفاده از ضریب تصحیح ثابت برای تمامی مدها (استفاده از ضریب ۰/۶۹۹۱) به جای استفاده از X_p لیاو

حالت چهارم: استفاده از دو ضریب تصحیح متفاوت برای مدهای مؤثر اول و سوم

در حالت اول با توجه به مشخصات نمونه‌های استخراج شده از مقالات، ظرفیت نهایی نمونه‌ها با استفاده از فرمول لیاو محاسبه شده و با مقایسه با نتایج آزمایشگاهی به بررسی دقت این نظریه پرداخته شده است. در حالت بعد با در نظر گرفتن مقدار واحد برای ضریب تصحیح و محاسبه نسبت ظرفیت تحلیلی بر ظرفیت آزمایشگاهی تأثیر این ضریب بر روی مقاومت نهایی بررسی می‌شود. در ادامه با میانگین‌گیری از نسبت مقاومت محاسبه شده به مقاومت حاصل از آزمایش برای تمامی نمونه‌ها عدد ۱/۴۳۰۴ حاصل می‌شود که نشان از دست بالا بودن ظرفیت تحلیلی تا حدود ۴۳ درصد خواهد بود سپس در حالت سوم با تقسیم ظرفیت نهایی تحلیلی بر این عدد و مقایسه آن با مقادیر آزمایشگاهی ضریب ثابتی به جای X_p برای تمامی نمونه‌ها در نظر گرفته می‌شود. در حالت چهارم نیز با بررسی مدهای شکست که توسط لیاو پیشنهاد شده بود به مؤثر بودن مدهای اول و سوم بر ظرفیت نهایی محاسبه شده نمونه‌ها در حالت دوم پی برده شد. در این حالت با تفکیک و میانگین‌گیری از نسبت ظرفیت تحلیلی به آزمایشگاهی برای دو مد اول و سوم به ترتیب دو مقدار ۱/۳۲ و ۱/۴۹ برای این مدها حاصل شد و با استفاده از این ضرایب نسبت ظرفیت نهایی تحلیلی به آزمایشگاهی محاسبه و دو ضریب ثابت برای مدهای اول و سوم پیشنهاد شد که با توجه به دقت محاسبات تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی، میتوان این ضرایب را برای محاسبه ظرفیت نهایی تحلیل نمونه به جای ضریب تصحیح لیاو مورد استفاده قرار داد. در جدول زیر با محاسبه نسبت ظرفیت تحلیلی به ظرفیت آزمایشگاهی به صحت سنجی حالت‌های ارائه شده پرداخته شده است.



جدول ۲: نتایج ۴ حالت بررسی شده

شماره	نام نمونه	حالت اول		حالت دوم		حالت سوم		حالت چهارم				
		X_p	نسبت	X_p	نسبت ۱	ضریب (۱/۱.۴۳)	نسبت	مد موثر	نسبت	نسبت	ضریب‌های پیشنهادی	نسبت
۱	Specimen1	۰.۳۹	۱/۰.۹	۱	۱/۹۷	۰.۷	۱/۳۷	۱	۱/۹۷	-	۰.۷۵	۱/۴۹
۲	Specimen2	۰.۳۹	۱/۰.۴	۱	۱/۸۷	۰.۷	۱/۳۱	۱	۱/۸۷	-	۰.۷۵	۱/۴۲
۳	Specimen1	۰.۳۹	۰.۸۶	۱	۱/۵۱	۰.۷	۱/۰.۶	۱	۱/۵۱	-	۰.۷۵	۱/۱۵
۴	Specimen2	۰.۳۹	۰.۷۵	۱	۱/۳۱	۰.۷	۹۱	۱	۱/۳۱	-	۰.۷۵	۰/۹۹
۵	S	۰.۱۰۴	۰.۳۷	۱	۱/۷۱	۰.۷	۱/۲۰	۳	-	۱/۷۱	۰.۶۷	۱/۱۵
۶	IS	۰.۲۵	۱/۷۷	۱	۳/۰.۳	۰.۷	۲/۱۲	۳	-	۳/۰.۳	۰.۶۷	۲/۰.۳
۷	SW	۰.۲۳	۰.۶۸	۱	۱/۴۲	۰.۷	۰/۹۹	۱	۱/۴۲	-	۰.۷۵	۱/۰.۸
۸	SP-2	۰.۳۸	۰.۸۰	۱	۱/۲۹	۰.۷	۰/۹۰	۱	۱/۲۹	-	۰.۷۵	۰/۹۸
۹	SP-4	۰.۳۹	۰.۶۵	۱	۱/۰.۵	۰.۷	۰/۷۳	۱	۱/۰.۵	-	۰.۷۵	۰/۷۹
۱۰	SP-6	۰.۳۹	۱/۰.۱	۱	۱/۶۱	۰.۷	۱/۱۳	۱	۱/۶۱	-	۷۰	۱/۲۲
۱۱	MCC-1	۰.۳۰	۰.۵۳	۱	۱/۲۳	۰.۷	۰.۸۶	۳	-	۱/۲۳	۰.۶۷	۰.۸۲
۱۲	MCC-2	۰.۲۷	۰.۴۵	۱	۱/۰.۲	۰.۷	۰/۷۱	۳	-	۱/۰.۲	۰.۶۷	۰/۶۹
۱۳	MCC-3	۰.۲۵	۰.۴۴	۱	۰/۹۸	۰.۷	۰/۶۹	۳	-	۰/۹۸	۰.۶۷	۰/۶۶
۱۴	MCC-4	۰.۲۵	۰.۵۶	۱	۱/۲۵	۰.۷	۰.۸۷	۳	-	۱/۲۵	۰.۶۷	۰.۸۴
۱۵	1	۰.۳۷	۰.۴۸	۱	۰/۷۹	۰.۷	۰/۵۵	۱	۰/۷۹	-	۰.۷۵	۰/۶
۱۶	2	۰.۲۴	۰.۵۹	۱	۱/۳۳	۰.۷	۰/۹۳	۳	-	۱/۳۳	۰.۶۷	۰.۸۹
۱۷	3	۰.۱۰۸	۰.۷۰	۱	۱/۸۰	۰.۷	۱/۲۶	۳	-	۱/۸۰	۰.۶۷	۱/۲
۱۸	4	۰.۳۳	۰.۵۶	۱	۱/۲۹	۰.۷	۰/۹۰	۱	۱/۲۹	-	۰.۷۵	۰/۹۸
۱۹	5	۰.۲۴	۰.۸۲	۱	۱/۸۴	۰.۷	۱/۲۹	۳	-	۱/۸۴	۰.۶۷	۱/۲۳
۲۰	7	۰.۲۴	۰.۷۸	۱	۱/۷۴	۰.۷	۱/۲۲	۳	-	۱/۷۴	۰.۶۷	۱/۱۷
۲۱	9	۰.۱۰۶	۰.۶۴	۱	۲/۰.۳	۰.۷	۱/۴۲	۳	-	۲/۰.۳	۰.۶۷	۱/۳۶
۲۲	17	۰.۳۴	۰.۶۶	۱	۱/۳۴	۰.۷	۱/۹۴	۳	-	۱/۳۴	۰.۶۷	۰/۹
۲۳	21	۰.۳۱	۰.۶۵	۱	۱/۹۶	۰.۷	۱/۳۷	۳	-	۱/۹۶	۰.۶۷	۱/۳۱
۲۴	MM. Brick masonry infill	۰.۳۴	۰.۷۱	۱	۱/۴۵	۰.۷	۱/۰.۱	۳	-	۱/۴۵	۰.۶۷	۰/۹۷
۲۵	RC. Reinforced concrete infill	۰.۳۹	۰.۷۹	۱	۱/۲۶	۰.۷	۰.۸۸	۱	۱/۲۶	-	۰.۷۵	۰/۹۶
۲۶	10B-7.5C-10B. Three-layer infill	۰.۳۹	۰.۶۲	۱	۱	۰.۷	۰/۷۰	۱	۱	-	۰.۷۵	۰/۷۵
۲۷	10B-5C-10B. Three-layer infill	۰.۳۸	۰.۵۹	۱	۰/۹۹	۰.۷	۰/۶۹	۱	۰/۹۹	-	۰.۷۵	۰/۷۵
۲۸	2.5C-10B-2.5CThree-layer infil	۰.۳۷	۰.۴۰	۱	۰/۷۶	۰.۷	۰/۵۳	۱	۰/۷۶	-	۰.۷۵	۰/۵۷
۲۹	4	۰.۳۴	۰/۹۷	۱	۱/۹۲	۰.۷	۱/۳۴	۳	-	۱/۹۲	۰.۶۷	۱/۲۹
۳۰	5	۰.۳۵	۰/۶۹	۱	۱/۴۳	۰.۷	۱	۳	-	۱/۴۳	۰.۶۷	۰/۹۶
۳۱	6	۰.۳۳	۰/۷۴	۱	۱/۴۵	۰.۷	۱/۰.۱	۳	-	۱/۴۵	۰.۶۷	۰/۹۷
۳۲	7	۰.۳۵	۰/۳۸	۱	۰/۷۸	۰.۷	۰/۵۴	۳	-	۰/۷۸	۰.۶۷	۰/۵۲
۳۳	10	۰.۳۷	۰.۸۷	۱	۱/۶۴	۰.۷	۱/۱۵	۳	-	۱/۶۴	۰.۶۷	۱/۱
۳۴	11	۰.۳۷	۰/۵۹	۱	۱/۱۲	۰.۷	۰/۷۹	۳	-	۱/۱۲	۰.۶۷	۰/۷۵
۳۵	12	۰.۳۸	۰/۵۳	۱	۱/۰.۴	۰.۷	۰/۷۳	۳	-	۱/۰.۴	۰.۶۷	۰/۷
۳۶	1	۰.۳۶	۰/۴۲	۱	۰/۷۷	۰.۷	۰/۵۴	۱	۰/۷۷	-	۰.۷۵	۰/۵۸
۳۷	2	۰/۱۹	۰/۵۵	۱	۱/۲۱	۰.۷	۰.۸۴	۳	-	۱/۲۱	۰.۶۷	۰.۸۱
۳۸	3	۰/۰.۳	۰/۴۸	۱	۱/۸۸	۰.۷	۱/۳۲	۳	-	۱/۸۸	۰.۶۷	۱/۲۶
۳۹	21	۰/۲۸	۰/۶۲	۱	۱/۲۸	۰.۷	۰/۹۰	۳	-	۱/۲۸	۰.۶۷	۰.۸۶
۴۰	17	۰.۳۳	۰/۶۴	۱	۱/۲۳	۰.۷	۰.۸۶	۳	-	۱/۲۳	۰.۶۷	۰.۸۲
۴۱	4	۰/۲۹	۰/۴۶	۱	۱/۰.۶	۰.۷	۰/۷۴	۳	-	۱/۰.۶	۰.۶۷	۰/۷۱
۴۲	5	۰/۱۵	۰/۷۴	۱	۱/۵۷	۰.۷	۱/۱۰	۳	-	۱/۵۷	۰.۶۷	۱/۰.۵
۴۳	H	۰.۳۹	۱/۴۶	۱	۲/۳۳	۰.۷	۱/۶۳	۱	۲/۳۳	-	۰.۷۵	۱/۷۶
میانگین نسبت‌ها		-	۰/۷۰	-	۱/۴۳	-	۱	-	۱/۳۳	۱/۴۹	-	۱

منظور از نسبت، نسبت مقاومت نهایی حاصل از رابطه به مقاومت به دست آمده از آزمایش است. از ۴۳ نمونه مورد نظر ۱۷ نمونه دارای قاب بتنی و ۲۶ نمونه دارای قاب فولادی هستند که در جدول زیر با محاسبه میانگین و انحراف معیار از نسبت ظرفیت تحلیلی به ظرفیت آزمایشگاهی در ۴ حالت مورد نظر به بررسی حالت‌های ارائه شده پرداخته شده است.

جدول ۳: محاسبه میانگین و انحراف معیار نسبت ظرفیت نهایی تحلیلی به ظرفیت نهایی نتایج آزمایشگاهی

	حالت اول		حالت دوم		حالت سوم		حالت چهارم	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بتنی	۰/۷۴	۰/۳۵	۱/۴۹	۰/۵۳	۱/۰۴	۰/۳۷	۱/۰۳	۰/۳۷
فولادی	۰/۶۷	۰/۲۱	۱/۳۹	۰/۴۱	۰/۹۸	۰/۲۹	۰/۹۸	۰/۲۸
کل	۰/۷	۰/۲۷	۱/۴۳	۰/۴۶	۱/۰۰	۰/۳۲	۱/۰۰	۰/۳۲

در بررسی میزان دقت نظریه لیاو که در حالت اول مورد بررسی قرار گرفت می‌توان گفت فرمول لیاو ظرفیت نهایی را ۳۰ درصد دست پایین محاسبه می‌کند. اما وقتی X_p در حالت دوم برابر واحد در نظر گرفته می‌شود مقادیر ظرفیت نهایی ۴۳ درصد دست بالا محاسبه می‌شود. انحراف معیار نیز در حالت دوم نسبت به حالت اول حدود ۱۸ درصد افزایش می‌یابد که این نشان از افزایش پراکندگی‌ها در ظرفیت نهایی تحلیلی نمونه‌ها خواهد بود. در حالت سوم با استفاده از ضریب ۱/۴۳۰۴ و استفاده از آن برای تمامی نمونه‌ها مقادیر میانگین نسبت ظرفیت‌ها، محاسبه شده و مقدار آن به ۱ رسیده است همچنین مقادیر انحراف معیار نیز در این حالت نسبت به حالت دوم کاهش یافته است که این نشان دهنده مناسب بودن ضرایب ارائه شده در این حالت می‌باشد. در حالت چهارم نیز با تفکیک مدهای موثر در هر نمونه آزمایشگاهی و ارائه دو ضریب جداگانه برای دو مد اول و سوم انحراف معیار نمونه فولادی مقداری کاهش یافته که می‌تواند این حالت را نسبت به حالت قبل دقیق تر ارائه دهد. بنابراین می‌توان گفت برای بهبود فرمول لیاو به منظور دقت بیشتر در تخمین مقاومت نهایی میانقاب حالت های سوم و چهارم پاسخ های مطلوبی را ارائه می دهند و حالت چهارم دقیق ترین مقادیر را ارائه خواهد داد و می توان ضرایب حالت چهارم به جای ضریب تصحیح لیاو به صورت زیر استفاده کرد: روابط زیر (که همان حالت مفروض در این تحقیق است) پیشنهاد می‌شود:

- در نظر گیری ضریب ۱/۳۲ برای مد موثر اول به جای ضریب تصحیح لیاو
- در نظر گیری ضریب ۱/۴۹ برای مد موثر سوم به جای ضریب تصحیح لیاو

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت ظرفیت نهایی میانقاب ها و ارائه نظریه‌های متفاوت برای محاسبه‌ی آن توسط افراد مختلفی چون وود، لیاو و مین استون در این مطالعه با بررسی چند مقاله و استخراج ۴۳ نمونه آزمایشگاهی به بررسی فرمول لیاو و بهبود آن در محاسبه ظرفیت نهایی میانقاب‌ها پرداخته شده است. در این مطالعه با محاسبه نسبت ظرفیت نهایی تحلیلی به آزمایشگاهی و محاسبه میانگین و انحراف معیار از این نسبت نتایج زیر حاصل شده است:

در حالت اول به مقایسه‌ی نظریه لیاو با نتایج آزمایشگاهی پرداخته شد و نتایج، دست پایین بودن نظریه لیاو را تا حدود ۳۰ درصد در مقایسه با مقادیر واقعی نشان داد. در حالت دوم با واحد در نظر گرفتن ضریب تصحیح لیاو میانگین نسبت‌ها ۴۰ درصد بیشتر از مقادیر آزمایشگاهی حاصل شد و انحراف معیار نسبت به حالت اول حدود ۱۸ درصد افزایش یافت. در حالت سوم با پیشنهاد یک ضریب ثابت برای تمامی مدها میانگین نسبت ظرفیت تحلیلی به آزمایشگاهی به مقدار واحد رسیده که این نشان از مناسب بودن این ضریب به جای استفاده از ضریب تصحیح لیاو برای محاسبه ظرفیت نهایی تحلیلی نمونه‌ها می‌باشد. در حالت چهارم با پیشنهاد دو ضریب ثابت برای مدهای اول و سوم علاوه بر تامین نتیجه حالت سوم مقدار انحراف معیار نیز کاهش یافت.

باتوجه به تحقیق انجام شده بر روی تعداد ۴۳ نمونه ی آزمایشگاهی و مقایسه آن با مقادیر تحلیلی توصیه می‌شود که استفاده از روابط ارائه شده در حالت چهارم با توجه به مدموثر نمونه‌ها نسبت به ضریب لیاو می‌تواند به پاسخ‌های دقیق تری منجر شود که استفاده از آنها برای محاسبه ظرفیت نهایی میانقاب‌ها توصیه می‌شود.

مراجع

- محمدی م (۱۳۹۳) اثر میانقاب بر ساختمان، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

- محمدی م (۱۳۹۰) میانقاب و اثر آن بر سازه، نشر فدک ایساتیس، تهران، ایران



- مقدم ح و محمدی م (۱۳۸۹) بررسی کارایی میانقاب مرکب برای تقویت ساختمان، نشر مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران

American Society of Civil Engineering (2007) seismic rehabilitation of Existing Building .ASCE/SEI41-06.Washington DC

Decanini LD, Liberatore L and Mollaioli F (2002) Response of bare and infilled RC frames under the effect of horizontal and vertical seismic excitation, *12th European conference on earthquake engineering*.

El-Dakhkhni W, Hamid A and Elgaaly M (2004) Seismic Retrofit of Concrete-Masonry-Infilled Steel Frames with Glass Fiber-Reinforced Polymer Laminates, *JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING © ASCE*

Flanagan RD and Bennett RM (1999) In-plane behavior of structural clay tile infilled frames. *J. of Structural Engineering, Vol. 125, No. 6, 590-599.*

Flanagan RD and Bennett RM (1993) Large-Scale Testing of Structural Clay Tile Infilled Frames, *For Presentation at the 1993 Annual Conference of the Canadian Society of Civil Engineers Fredericton, N.B*

Jung WY and Aref AJ (2005) Analytical and numerical studies of polymer matrix composite sandwich infill panels, *Journal of Composite Structures*, pp 359-370

Kakaletsis DJ and Karayannis CG (2008) Influence of Masonry Strength and Openings on Infilled R/C Frames Under Cycling Loading , *Journal of Earthquake Engineering, 12:197–221, Copyright © A.S. Elnashai & N.N. Ambraseys ISSN: 1363-2469*

Liauw TC and Kwan KH (1983) Plastic theory of non-integral infilled frames, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers (London), Part 2, 75, pp. 379- 396.*

Mohammadi Ghazimahalleh M (2007) Stiffness and Damping of Infilled Steel Frames, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings 160 April 2007 Issue SB2 Pages 105–118*

Mehrabi AB and Scullar MP (1996) Experimental Evaluation Of Master-Infilled R.C Frames, *Journal of structure Engineering*

Razik M, Asran A and Abdel Hafiz A (2006) Effect of Infill Walls on the Performance of Multi-Storey Building during Earthquakes, *1st International Structural Specialty Conference, Calgary, Alberta, Canada, May 23-26, 2006.*

Saneinejad A, B and Hobbs (1995) Inelastic Design of Infilled Frames, *Journal of Structural Engineering (ASCE) 121(4), 634 – 650.*

Tasnimi AA and Mohebkah A (2011) Investigation on the behavior of brick-infilled steel frames with openings, experimental and ana-lytical approaches, *Engineering Structures, vol. 33, no. 3, pp. 968-980,.*

Tena-Colunga A, Juárez-Ángeles A, Víctor H (2009) Cyclic behavior of combined and confined masonry walls, *Engineering Structures 31 - 240_259*

Yáñez1 F.Astroza M, Holmberg A and Ogaz O (2004) BEHAVIOR OF CONFINED MASONRY SHEAR WALLS WITH LARGE OPENINGS , *13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada Paper No. 3438*

