بسم الله الرحمن الرحيم

١٢٦٦٢

دانشگاه صنعتی اصفهان

ترمیم و تقویت
سازه های آسیب دیده از زلزله

پروژه کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی سازه

توسط

علی اصغر محمودی

زیر نظر

دکتر حسن علیجانی مقدم

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
اهدایی مدارک
۱۳۷۲ ۱۷۲۳

دانشکدهٔ عمران

۱۳۷۱

۴۸

قدردانی

برخود لازم می‌بینم که مراتب سپاس وتشکر خود را از جناب آقای دکتر حسن علیجانی مقدم، استاد راهنمای پروژه که در اتمام این پروژه از هرگونه راهنمایی ومساعدت دریغ نفرموده‌اند ابراز نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر میرطلایی، استاد مشاور پروژه صمیمانه تشکر وسپاسگزاری می‌نمایم.

از مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن که با تمامی امکانات اینجانب را در انجام پروژه یاری رسانده است کمال تشکر و قدردانی را دارم.

علی اصغر محمودی

بهمن ماه ۱۳۷۱

فهرست مطالب | شماره صفحه

چکیده نه

۱ – فصل اول – کلیاتی در مورد قابهای مرکب ۱

۱–۱ مقدمه ۱

۱–۲ اندر کنش قاب و دیوار ۳

۱–۳ تعریف دو پارامتر ۵

۱–۴ توزیع تنش درون میانقاب ۶

۱–۵ نیروهای القائی در قاب ۱۲

۱–۶ تغییر شکل قاب ۱۶

۱–۷ توزیع تنش ، مابین قاب و میانقاب ۱۷

۱–۸ حالتهای شکست قاب مرکب ۱۹

۱–۹ مقاومت قاب مرکب ۲۶

۱–۹–۱ سطوح مقاومت ۲۶

۱–۹–۲ عوامل موثر برروی مقاومت قاب مرکب ۲۶

۱–۹–۲–۱ سختی نسبی میانقاب به قاب ۲۶

۱–۹–۲–۲ نسبت ارتفاع به طول میانقاب ۲۷

۱–۹–۲–۳ مقاومت خمشی اعضاء قاب ۲۸

۱–۹–۲–۴ صلبیت و مقاومت گره های قاب ۲۸

۱–۹–۲–۵ سختی نسبی تیر – ستون ۲۹

۱–۹–۲–۶ مقاومت ملات ۲۹

۱–۹–۲–۷ مقاومت فشاری آجر کاری ۲۹

۱–۹–۲–۸ انواع مختلف قطعات آجری ۳۱

۱–۹–۲–۹ تاثیر اتصالات برشی بین قاب و دیوار ۳۱

۱–۹–۲–۱۰ شکاف بین قاب و میانقاب ۳۱

فهرست مطالب | شماره صفحه

۱-۹-۲-۱۱ بازشوها ۳۲
۱-۹-۲-۱۲ اثر دهانه های مجاور ۳۶
۱-۹-۲-۱۳ تاثیر بارمحوری ستونها ۳۶
۱-۱۰ سختی قاب مرکب ۳۸
۱-۱۰-۱ تعریف سختی ۳۸
۱-۱۰-۲ عوامل موثر برروی سختی قاب مرکب ۳۹
۱-۱۰-۲-۱ سختی نسبی میانقاب به قاب ۴۰
۱-۱۰-۲-۲ نسبت ارتفاع به طول میانقاب ۴۱
۱-۱۰-۲-۳ مقاومت خمشی اعضاء قاب ۴۱
۱-۱۰-۲-۴ صلبیت گره های قاب ۴۲
۱-۱۰-۲-۵ سختی نسبی تیر - ستون ۴۲
۱-۱۰-۲-۶ مقاومت ملات ۴۲
۱-۱۰-۲-۷ چسبندگی و اتصالات برشی بین قاب و میانقاب ۴۳
۱-۱۰-۲-۸ شکاف بین قاب و میانقاب ۴۳
۱-۱۰-۲-۹ بازشوها ۴۵
۱-۱۰-۲-۱۰ تاثیر بار محوری ستونها ۴۶
۱-۱۱ محاسبه سختی قاب مرکب ۴۷
۱-۱۲ محاسبه مقاومت قاب مرکب ۵۴
۱-۱۲-۱ مقاومت ترک خوردگی ۵۴
۱-۱۲-۲ مقاومت خردشدگی کنج ۵۷
۱-۱۳ نرمی ۶۴
۱-۱۴ خواص حلقوی ۶۶
۱ - ۱۵ ترمیم و تقویت قابهای مرکب ۶۹
۱-۱۵-۱ تقویت قابهای مرکب ۶۹

فهرست مطالب | شماره صفحه

۱-۱۵-۲ ترمیم قابهای مرکب ۶۹

۲ - فصل دوم - تحلیل کشسان قاب مرکب به روش اجزاء محدود ۷۲

۲-۱ کلیات روش اجزاء محدود ۷۲

۲ -۲استفاده از روش اجزاء محدود در این پروژه ۷۷

۲-۳ تغییرات سختی قاب مرکب بر حسب ضریب کشسان میانقاب ۸۰

۲-۴ تحلیل کشسان قاب مرکب ۸۲

۲-۵ بررسی سطوح شکست میانقابهای آجری ۹۹

۲-۶ تحلیل قاب مرکب با گوشه های تقویت شده ۱۰۸

۲-۷ تحلیل قاب مرکب با تیر بتنی تقویتی میانی ۱۱۸

۳ - فصل سوم - مطالعات آزمایشگاهی ۱۳۲

۳-۱ مقدمه ۱۳۲

۳-۲ دستگاه آزمایش ۱۳۴

۳-۳ وسائل اعمال نیرو و اندازه گیری نیرو و تغییر مکان ۱۴۰

۳-۴ مقاومت قاب خالی ۱۴۴

۳-۵ آزمایش نمونه شماره ۱ ۱۴۵

۳-۵-۱ نحوه آزمایش ، مشاهدات و نتایج آزمایش ۱۴۶

۳-۶ آزمایش نمونه شماره ۲ ۱۵۶

۳-۶-۱ مشاهدات و نتایج آزمایش ۱۵۶

۳-۷ آزمایش نمونه شماره ۳ ۱۶۱

۳-۷-۱ مشاهدات و نتایج آزمایش ۱۶۱

۳-۸ آزمایش نمونه شماره ۴ ۱۷۴

فهرست مطالب | شماره صفحه

۳-۸-۱ مشاهدات و نتایج آزمایش ۱۷۴

۳-۹ آزمایش نمونه شماره ۵ ۱۸۲

۳-۹-۱ مشاهدات و نتایج آزمایش ۱۸۲

۴- فصل چهارم - خلاصه نتایج ۲۱۳

ضمیمه ۲۱۶

فهرست منابع ۳۳۳

چکیده

تاثیر تعیین کننده میانقابها بر روی خواص سازه ای قابهای خالی منجمله مقاومت، سختی، نرمی، پریود و.... مسئله ای است که از مدتها پیش توسط محققین مختلف مورد بررسی واقع شده است علاوه بر تحقیقات آزمایشگاهی و تحقیقات نظری، در زلزله های مختلف این تاثیر بوضوح مشاهده گردیده است.

در بعضی از سازه ها (بخصوص در ایران) تنها عناصری که در هنگام وقوع زلزله در مقابل نیروهای مخرب آن مقاومت می‌کنند، میانقابها هستند، که در یک رفتار مرکب با قاب پیرامون خود این عمل را انجام می‌دهند. بعد از هر زلزله تعدادی از این عناصر بکلی منهدم می‌شوند، تعدادی ترک خورده و تعداد اندکی نیز سالم باقی می‌مانند.

سئوالی که همواره بعد از هر زلزله مطرح می‌شود این است که با میانقابها (که در ایران عمدتاً دیوارهای آجری هستند) چه باید کرد؟ و جوابهائی که داده می‌شود متفاوت است. بعضی را اعتقاد بر این است که با مشاهدهٔ ترک در دیوار باید آن را خراب کرده و دوباره ساخت و بعضی دیگر معتقدند که با ترمیم میانقابها می‌توان مقاومت آنها را بازیابی کرد، بطوریکه در زلزله های آتی بتوانند نیروهای ناشی از زلزله را تحمل کرده و از خرابی سازه جلوگیری کنند علاوه بر این راههای تقویت ساختمانهای موجود در مقابل زلزله همواره در مد نظر قرار داشته است که یکی از راههای تقویت می‌تواند تقویت میانقابها (بعنوان عناصر مقاوم در مقابل نیروهای افقی) باشد.

این پروژه بوسیلهٔ تحقیقات نظری و تحقیقات آزمایشگاهی در پی آن است که تاثیر چند نوع ترمیم و تقویت رابر روی رفتار قابهای مرکب آسیب دیده، مورد بررسی قرار دهد. علاوه بر این در پروژه حاضر تاثیر میانقابها بر روی رفتار قابهای خالی مورد توجه واقع می‌شود.

در بخش تحقیقات آزمایشگاهی تاثیر میانقابها بر روی مشخصات مکانیکی، منجمله مقاومت و سختی قابهای خالی بررسی شده و همچنین با ترمیم قابهای مرکبی که تاحد نهائی بارگذاری شده اند تاثیر انواع ترمیم بررسی می‌گردد. همچنین یک نمونهٔ تقویت شده نیز مورد آزمایش قرار گرفته و با نمونه عادی (بدون تقویت) مقایسه می‌گردد.

در بخش تحقیقات نظری نیز بوسیلهٔ تحلیل اجزاء محدود علاوه بر بررسی تاثیر میانقابها بر روی رفتار سازه ای قابهای خالی و چگونگی توزیع تنش درون قاب و میانقاب، تاثیر ۲ روش تقویت میانقابها، بر روی توزیع تنش درون قاب و میانقاب بررسی می‌شود. در این بخش محتمل ترین سطح شکست درون میانقاب نیز بوسیلهٔ روش فوق مورد بررسی واقع می‌شود.

نتایج بدست آمده از تحقیقات آزمایشگاهی و تحقیقات نظری، همخوانی خوبی با یکدیگر دارند.

فصل اول

کلیاتی در مورد قابهای مرکب

فصل اول -کلیاتی در مورد قابهای مرکب

۱ - ۱ - مقدمه

کشور ایران یکی از زلزله‌خیزترین کشورهای جهان بوده و بر روی کمر بند زلزلهٔ آلپ - هیمالیا قرار دارد، در گذشته زلزله تلفات جانی و مالی زیادی به جای گذاشته است که آخرین آن زلزلهٔ سال ۱۳۶۹ منجیل بوده و مطمئناً آخرین زلزلهٔ مخرب نیز نخواهد بود. آنچه که باید بدان توجه شود این نکته است که کنترل وقوع زلزله از دست ما خارج است و به فعل و انفعالات درون زمین مربوط می‌باشد. اما مسأله مهم برای مهندسین کاهش اثرات مخرب زلزله در سازه‌ها است، مهمترین مسئله در این زمینه این است که بدانیم زلزله چگونه بریك سازه اثر می‌کند و اجزاء مختلف یك سازه و خود سازه بعنوان یك جسم یکپارچه چگونه در مقابل زلزله عکس‌العمل نشان می‌دهد و در نهایت بدانیم که در طراحی لرزه‌ای یك سازه می‌باید چه اجزائی را جهت عکس‌العمل مناسب در مقابل زلزله طراحی کنیم و در حقیقت اجزاء سیستم‌های لرزه‌گیر ما کدامند و چگونه عمل کرده و طراحی شوند.

عموماً جهت مقابله با زلزله سیستم‌های کلاسیکی همچون قاب خمشی، بادبندها، دیوار برشی بتنی و ... در نظر گرفته شده و فرض می‌شود که سیستم‌های فوق تمامی نیروهای زلزله را جذب کرده و در مقابل زلزله مقاومت می‌نمایند و تأثیر کلیه اجزاء موجود در سازه در خواص لرزه‌ای سازه نادیده گرفته می‌شود و فرضی می‌گردد که این عمل در جهت ضریب اطمینان است.

اجزائی که به وفور در ساختمان موجود بود، و از تأثیر آنها صرفنظر می‌شود دیوارهای آجری است که درون قابهای فلزی و یا قابهای بتنی به کار برده می‌شود. سئوال مهم در اینجا این است که نقش دیوارهای فوق

در عملکرد لرزه‌ای سازه چگونه است و آیا می‌توان از نقش این دیوارها در جهت ضریب اطمینان صرفنظر کرد یا نه. عملکرد این ساختمانها که متشکل از قابهای میانپر[۱] و یا قابهای مرکب[۲] است. در زلزله‌های مختلف همچون زلزله منجیل نشان می‌دهد که این دیوارها بعنوان یك عنصر لرزه‌گیر در سیستم ساختمان دارای نقش اساسی بوده و قطعاً باید مورد توجه واقع شوند. بعنوان مثال سیستم‌هائی که از دیدگاه نظری دارای اتصالات مفصلی بوده و در مقابل نیروی جانبی ناشی از زلزله می‌باید سریعاً فرو ریزند نه تنها فرو نریخته‌اند بلکه دقیقاً بدلیل وجود پرکننده‌ها[۳] در جای خود باقی مانده و سرپا ایستاده‌اند. و این در حالیست که سیستم‌های کلاسیك موجود خسارات بیشتری دیده و بعضاً فرو ریخته‌اند (برای بررسی عملکرد قابهای مرکب در زلزله منجیل به مراجع شماره ۱ و ۲ مراجعه شود).

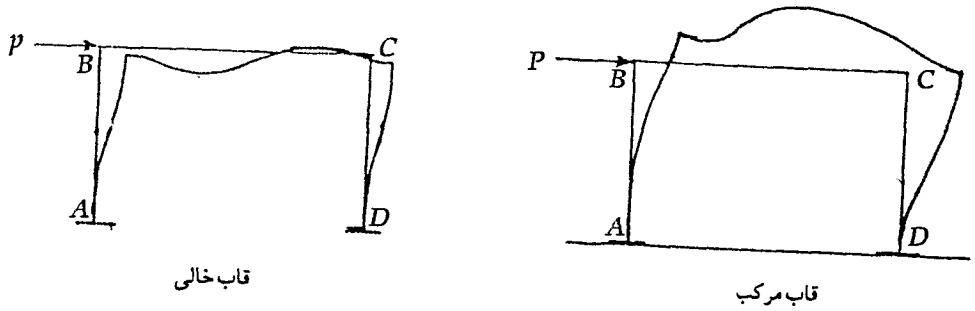
مشاهدات فوق در زلزله‌های مختلف محققین را برآن داشته است تا تأثیر پرکننده‌ها در مقابل بارهای جانبی را در مد نظر قرار داده و مورد تتبع و تحقیق قرار دهند بطور خلاصه نتایج تحقیقات فوق نشان می‌دهد که حضور پرکننده‌ها درون قاب، رفتار قاب را بکلی تغییر می‌دهد بطوریکه در مقایسهٔ یك قاب مرکب با یك قاب خالی که بصورت کلاسیك در مقابل زلزله طراحی می‌گردد، سختی و مقاومت قاب مرکب بمراتب افزایش یافته و مشخصاتی مانند پریود، نرمی و... تحت تأثیر واقع می‌شوند (که در مباحث آتی مورد بررسی قرار می‌گیرند) و این تغییر بصورتی است که نمی‌توان از نقش پرکننده در جهت اطمینان صرفنظر کرد بعنوان مثال پرکننده‌ها سختی ساختمان را افزایش می‌دهند و در نتیجه پریود اصلی ساختمان را کاهش داده و باعث جذب بیشتر نیروی زلزله می‌گردند و یا مورد دیگر اینکه در هنگام تقسیم نیروی زلزله در یك طبقه ساختمان این نیرو به نسبت سختی هرقاب، به آن قاب اثر می‌کند و مثلاً در قابهای کناری ساختمان که معمولاً دارای ستونهای ضعیف‌تری هم هستند بار جانبی کمتر و یا مساوی قابهای دیگر تعلق می‌گیرد در حالیکه با در نظر گرفتن میانقابها مطلب فوق کاملاً برعکس خواهد بود زیرا معمولاً در قابهای کناری درون تمام قابها دیوارهای پرکننده قرار گرفته‌اند و سختی آنها بمراتب بیش از سختی قابهای میانی است که دارای دیوارهای کمتری هستند و در نتیجه قابهای کناری سهم بیشتری از نیروی زلزله طلب می‌کنند و یا مسئله دیگر اینکه توزیع نامتقارن دیوارهای آجری باعث ایجاد پیچش در ساختمان می‌شود در حالیکه این پیچش اضافی در محاسبات وارد نشده است. بنابراین بدون در نظر گرفتن سختی پرکننده‌ها، در تخمین نیروی زلزله و همچنین توزیع آن بین اجزاء لرزه‌گیر دچار خطا می‌شویم و در نظر گرفتن این تاثیر، بسیار مهم است. در این فصل به بررسی تأثیر پرکننده‌ها برروی خواص سازه‌ای قاب‌های خالی خواهیم پرداخت.

---

1) *Infilled Frame*
2) *Composite Frame*
3) *Infills*

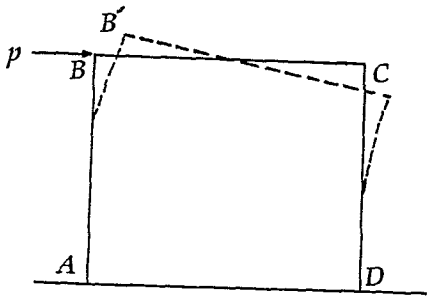
۱-۲ -اندرکنش قاب و دیوار

برای بررسی بهتر رفتار مرکب قاب و دیوار در قابهای مرکب ابتدا رفتار یك قاب خالی و یك دیوار مجزا را مورد بررسی قرار می‌دهیم هرگاه یك قاب تحت بارجانبی p قرار گیرد اجزاء تیر و ستون با عکس‌العملهای خمشی در مقابل این بار مقاومت می‌نمایند بطوریکه نیروی حاکم در اعضا خمش است . در قاب $ABCD$ تحت نیروی جانبی p نقاط B و D به هم نزدیك و نقاط A و C از یکدیگر دور می‌شوند.



دیاگرام بار- تغییر مکان قاب خالی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

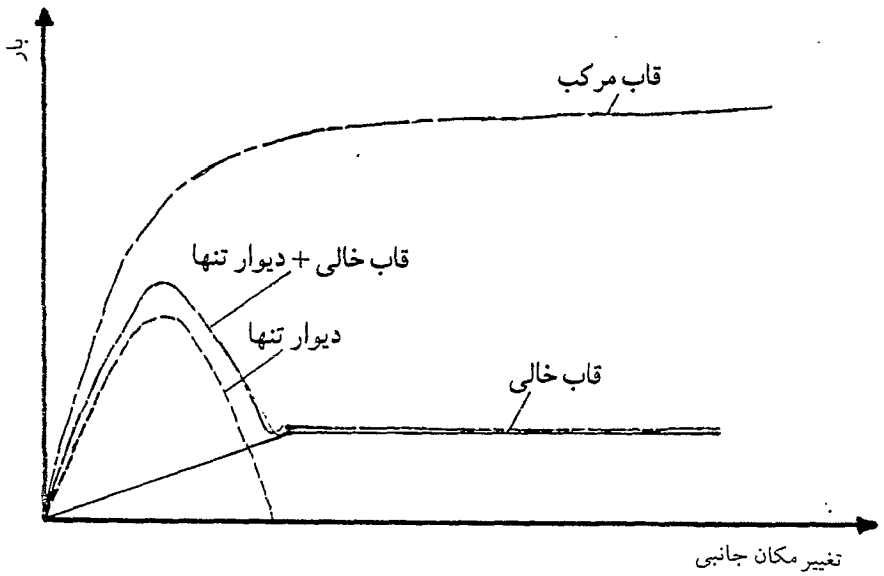
از طرفی دیگر رفتار یك دیوار تنها در مقابل بار جانبی P بصورت زیر است:



همانگونه که در شکل دیده می‌شود دیوار بمانند یك تیر طره عمل کرده و ضلع AB تمایل به ازدیاد طول دارد $[A'B']$ و بدلیل همین تمایل در نقطهٔ A کشش بوجود آمده و دیوار ترك می‌خورد. دیاگرام بار- تغییر مکان دیوار تنها در شکل (۱-۱) آمده است.

در یك قاب مرکب رفتار دیوار و قاب بکلی فرق می‌کند بطوریکه وقتی که نقاط B و D قاب می‌خواهند به یکدیگر نزدیك شوند دیوار مانع می‌شود و در نتیجه المانها به خمش نمی‌افتند (درنتیجه خود دیوار به مانند یك قطر فشاری عمل خواهد کرد) از طرف دیگر وقتی که ضلع AB دیوار می‌خواهد ازدیاد طول دهد قاب مانع می‌شود و در نتیجه در ستون AB کشش ایجاد می‌شود و به گره B نیروی روبه بالا اثر می‌کند و به طور کلی توزیع تنشها در قاب و دیوار به کلی متفاوت می‌گردد.

تأثیر متقابل دیوار و قاب باعث ایجاد محدودیت در تغییر شکل هر دو عضو شده و در حقیقت قاب مرکب یك سیستم نامعین سازه‌ای را تشکیل می‌دهد و این سیستم نامعین سازه‌ای در مقابل بارجانبی، رفتاری بمراتب بهتر نشان می‌دهد. همانطوریکه در شکل (۱-۱) دیده می‌شود رفتار یك قاب مرکب از جمع رفتار قاب و دیوار بدست نیامده و بهتر از جمع این دو عمل می‌کند و به دلیل همین رفتار است که این سازها قاب مرکب نام گرفته‌اند. [۳]



شکل (۱-۱) مقایسهٔ رفتار قاب مرکب، قاب خالی و دیوار تنها در مقابل بار جانبی

۱-۳ - تعریف دو پارامتر

قبل از شروع بحث لازم است ۲ پارامتر اساسی در رابطه با قابهای مرکب تعریف شوند

الف- طول تماس

مدتی بعد از اعمال بار به قاب مرکب زمانی فرا می‌رسد که بین قاب و میانقاب فاصله ایجاد می‌شود و تنها در کنج فشاری قاب و دیوار با یکدیگر در تماسند. طول تماس ستون با میانقاب را αh و طول تماس تیر با ستون را αl می‌نامند. معمولاً هر گاه این ۲ پارامتر را یکسان فرض کنند هر دو را، طول تماس α می‌نامند.

ب - سختی نسبی میانقاب به قاب

پارامتر سختی نسبی میانقاب می‌تواند هم نسبت به ستون قاب و هم نسبت به تیر قاب تعریف شود که به این ترتیب به عنوان $\lambda_h h$ و $\lambda_l l$ (و به اختصار λh و λL) نمایش داده شده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda h = h \sqrt[4]{\frac{E_j . t . \sin 2\theta}{4 E . I_h . h}} \qquad (۱-۱)$$

$$\lambda L = L \sqrt[4]{\frac{E_j . t . \sin 2\theta}{4 E . I_l . L}} \qquad (۱-۲)$$

در روابط فوق، پارامترها به شرح زیرند:

L, h, t, Ei = به ترتیب مدول الاستیسیته، ضخامت، ارتفاع و طول میانقاب

θ = زاویهٔ قطر میانقاب با افق

I_h ، I_l = به ترتیب ممان اینرسی ستون و تیرقاب

۱-۴ -توزیع تنش درون میانقاب

پولیاکف در سال ۱۹۵۶ طی آزمایشهائی که انجام داد توزیع تنش را برروی ۲ قطر کششی و فشاری پرکننده اندازه گرفت. بعضی از نتایج او در شکل (۲-۱) دیده می‌شود. او نتیجه گرفت که:

۱) در طول قطر کششی تنشهای کششی در مرکز از همه بیشتر است و هر چه به سمت گوشه‌ها پیش می‌رویم تنش کششی به صفر نزدیك می‌شود.

۲) کل کشیدگی قطر کششی تقریباً ۱۰-۸ برابر کمتر از کوتاه شدگی قطر فشاری است.

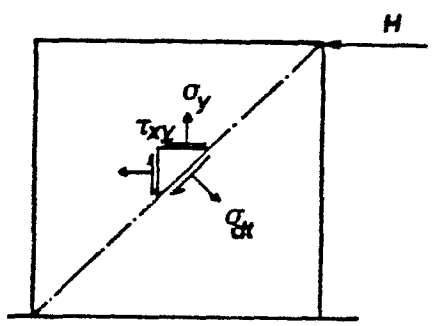
استافورد- اسمیت [۱۱] برای قاب مرکب بدون اصطکاك بین‌السطوح و با فرض طول محل تماس $\frac{\alpha}{L} = \frac{۳}{۸}$ و توزیع مثلثی نیرو برای طول محل تماس قاب و پرکننده و در ناحیهٔ رفتار خطی قاب مرکب توسط روش تفاضلهای محدود[1] کانتورهای تنش اصلی را درون میانقاب رسم کرد شکل (۳-۱) همانگونه که در شکل دیده می‌شود تنش‌های فشاری در گوشه‌های قطر فشاری از همه بیشتر بوده و هر چه به سمت مرکز پانل پیش می‌رویم تنش‌ها کاهش می‌یابد. او برای α/l های مختلف این توزیع را بدست آورد (شکل ۴-۱) و نتیجه گرفت که برای α/l های مختلف (در نتیجه λ L های مختلف) تنش در مرکز میانقاب فرقی نمی‌کند ولی همزمان با کاهش α/l تنش در گوشه‌های قطر فشاری افزایش می‌یابد.

استافورد - اسمیت و ردینگتون [۱۰] بمنظور تحلیل ۳ نوع قاب (پانل منفرد مستطیلی و مربعی، پانلهای مربعی سه طبقه و یك دهانه و پانلهای یك طبقه و سه دهانه) در محدودهٔ رفتار خطی از روش اجزاء محدود استفاده کردند و نتیجه گرفتند که تنش در مرکز پرکننده به ابعاد هندسی قاب مرکب بستگی داشته و به پارامترهای سختی نسبی و... وابسته نیست و براین اساس روابط تجربی زیر را ارائه کردند.

$$\tau_{xy} = \frac{۱/۲۳H}{\ell . t} \qquad (۱-۳)$$

$$\sigma_{dt} = \frac{۰/۵۸H}{\ell . t} \qquad (۱-۴)$$

$$\sigma_y = -\frac{(۰/۸\ h/\ell - ۰/۲)H}{\ell . t} \qquad (۱-۵)$$



آنها همچنین تأثیر پارامترهای مختلف را بر روی توزیع تنش در قاب و میانقاب مورد مطالعه قرار داده

---

1) *Finite Difference*