

بررسی روابط تجربی تعیین سختی میانقاب‌های محصور بر اساس ضخامت

مهدی محقق پورمطلق^{۱*}، سید علیرضا کازرونیان^۲، یحیی رحیمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران، Mehdi.mohagheghpur@gmail.com

۲- مربی، گروه عمران، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران، Alirezakazerounian@yahoo.com

۳- مربی، گروه عمران، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران، Rahimi.yahya@gmail.com

چکیده

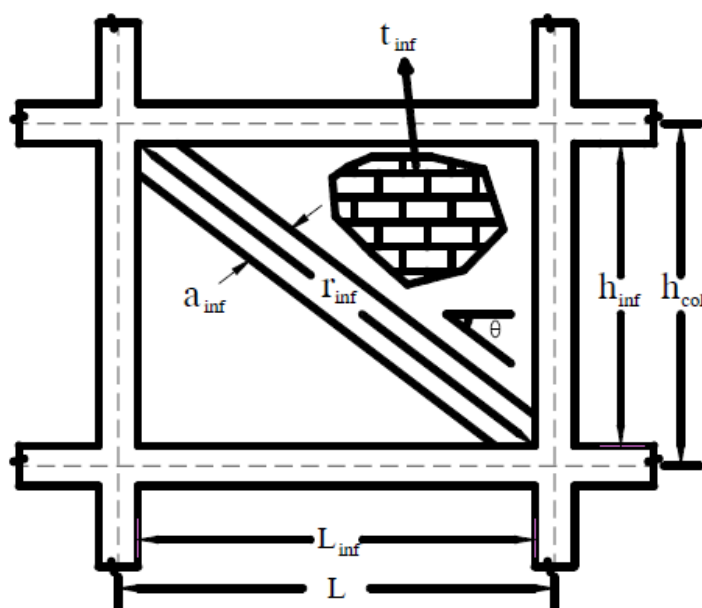
میانقاب‌های بنایی رفتار جانبی قاب‌های بتن‌آرمه را دستخوش تغییر قرار می‌دهند. این اعضا عموماً در طی مراحل تحلیل و طراحی سازه نادیده گرفته می‌شوند. مشاهدات تجربی در زلزله‌های گذشته نشان دهنده این واقعیت است که وجود میانقاب‌ها باعث افزایش سختی جانبی شده و در نتیجه سازه دارای پاسخ متفاوتی به تحریکات زمین خواهد داشت. با توجه به اینکه بررسی رفتار قاب‌های مرکب از طریق نتایج آزمایشگاهی، مستلزم پرداخت هزینه‌های زیادی می‌باشند می‌توان با جایگزین کردن روش‌های تحلیل المان محدود، که دقت بسیار بالایی دارند استفاده نمود. بنابراین با استفاده از نرم افزار آباکوس یک قاب یک طبقه و یک دهانه که قبلاً مورد آزمایش قرار گرفته شده مدلسازی و آنالیز گردید. مقایسه نمودارهای حاصل از کار آزمایشگاهی و مدلسازی عددی نشان دهنده تقریب خوب و مناسب استفاده از این نرم افزار برای مدلسازی در خصوص میانقاب‌های محصور می‌باشد. استافورد اسمیت و مین‌استون با مدلسازی میانقاب‌ها به عنوان یک قید فشاری معادل، روابط تجربی برای محاسبه سختی میانقاب‌ها بدست آوردند. با توجه به اینکه روابط حاصل از مطالعات تجربی و آزمایشگاهی با روابط حاصل از آنالیز اجزاء محدود متفاوت می‌باشد سختی میانقاب‌های محصور شده در قاب بتن مسلح توسط نرم افزار آباکوس، با سختی قید فشاری معادل بدست آمده از روابط تجربی استافورد-اسمیت و مین-استون مقایسه شد و ضرایب اصلاحی برای اصلاح روابط تجربی استخراج گردید. پارامتر مورد مطالعه در مقاله حاضر که باعث تغییر در سختی میانقاب‌های محصور می‌شود، ضخامت میانقاب می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش پارامتر مذکور، سختی اولیه افزایش می‌یابد. ضریب اصلاح سختی با توجه به مدل‌های مختلف در محدوده بین ۰/۶۵ تا ۲/۴۹ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ضریب اصلاح، سختی، روابط تجربی، میانقاب محصور، ضخامت میانقاب.

۱- مقدمه

کشور پهناور و کهنسال ایران در طول تاریخ شاهد نابودی شهرها و حتی بعضی از تمدن‌های خود در اثر وقوع زلزله بوده است. ابعاد فاجعه بار اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و ... یک زلزله کوتاه مدت چند ثانیه‌ای می‌تواند بر سرنوشت چند نسل تأثیر بگذارد. با تحلیل گزارشات خسارات جانی و مالی ناشی از زلزله می‌توان به این قضیه پی برد که اجرا و ساخت سازه‌های مقاوم در برابر زلزله امری الزامی می‌باشد. در اغلب ساختمان‌های موجود در ایران، قاب‌ها توسط دیوارهایی با مصالح بنایی پر می‌شوند. با پر شدن یک قاب، خواص دینامیکی آن از جمله سختی بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر پیدا می‌کند. بنابراین رفتار سازه در اثر زلزله با وجود میانقاب‌ها دارای عملکرد متفاوتی می‌باشد. به نظر می‌رسد چشم‌پوشی از وجود میانقاب‌ها به اطمینان سازه کمک می‌کند چرا که این دیوارها با ایجاد مقاومت اضافی در تحمل نیروی زلزله و در نتیجه پایداری کلی سازه تأثیر مثبتی دارند. ولی اینگونه نتیجه‌گیری درست نمی‌باشد و چشم‌پوشی از میانقاب‌ها همیشه در جهت اطمینان نمی‌باشد. به این ترتیب که میانقاب به قاب پیرامونی خود، سختی اضافی وارد می‌کند و در نتیجه باعث می‌شود در هنگام وقوع زلزله آن قاب سهم بیشتری را از نیروی زلزله نسبت به مقداری که در طراحی‌ها در نظر گرفته می‌شود جذب کند در واقع با وجود آنکه میانقاب نیروی زیادی تحمل می‌کند ولی این نیروی زیاد بعد از سیکل‌های اولیه بارگذاری باعث شکست ترد میانقاب‌ها شده و باعث انتقال نیرو به ستون‌ها می‌شود. این انتقال ناگهانی نیرو باعث شکست ستون‌ها و فروپاشی قاب خواهد شد زیرا قاب توخالی سختی کمتری داشته در نتیجه برای نیروی کمتری طراحی شده است.

در دهه ۱۹۵۰ میلادی پولیاکوف^۱ اولین کسی بود که آزمایشاتی را بر روی قاب‌های مرکب فولادی و بتنی تحت بارگذاری جانبی انجام داد. در این مطالعه وی مشاهده کرد که مجموعه قاب و میانقاب تا لحظه ایجاد ترک‌های در پیرامون دیوار، به صورت یکپارچه عمل می‌کنند. سپس با ایجاد شکست‌های پله‌ای مانند در امتداد قطر فشاری از میان درزهای افقی و قائم دیوار، قطر فشاری میانقاب کوتاه‌تر و قطر کششی آن بلندتر می‌شود. پولیاکوف با مشاهده تکیه قاب به میانقاب، ایده دستک قطری معادل را که هم اکنون در آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌ها توصیه شده است، شکل ۱، برای مدلسازی میانقاب‌ها در قاب‌های مرکب جهت انجام تحلیل‌های سازه‌ای پیشنهاد نمود.



شکل ۱: دستک قطری معادل پولیاکوف

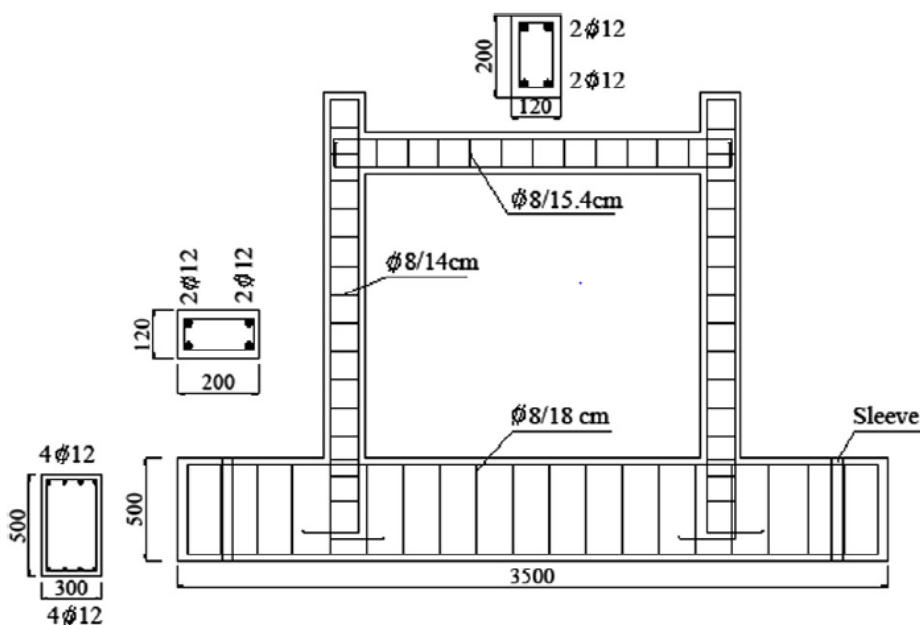
^۱ Polyakov

پس از پولیاکوف روسی، استافورد اسمیت^۱ در سال ۱۹۶۲ با بررسی‌هایی که بر روی قاب‌های مرکب فولادی انجام داد با پذیرش ایده قید قطری معادل به تکمیل این نظریه پرداخته و مفهوم عرض مؤثر را به عنوان عرض قید قطری معادل پیشنهاد نمود و نشان داد که عرض مؤثر هم به طول تماس قاب و میانقاب و هم به نسبت سختی قاب به میانقاب بستگی دارد. مین‌استون^۲ در سال ۱۹۷۱ با پیروی از استافورد اسمیت و با استفاده از آزمایشات مختلف بر روی قاب‌های مرکب با میانقاب‌های آجری، یک رابطه نیمه تجربی برای محاسبه عرض قید فشاری معادل پیشنهاد نمود. الداخنی^۳ از سال ۲۰۰۰ به بعد تحقیقاتی را در زمینه بارهای جانبی که منجر به انهدام میانقاب‌ها می‌شوند با استفاده از نرم افزار انسیس^۴ انجام داد.

برخی روابط تجربی در مطالعات گذشته وجود دارند که خواص دینامیکی قاب‌ها را با در نظر گرفتن اثر میانقاب محاسبه می‌کنند ولی این روابط در جهت اطمینان نمی‌باشند. هدف از این تحقیق اصلاح روابط تجربی تعیین سختی میانقاب‌های محصور تحت تاثیر پارامتر ضخامت میانقاب می‌باشد که در این راستا با استفاده از مدل اجزاء محدود ضریب اصلاح برای سختی روابط تجربی استخراج می‌گردد.

۲- مدلسازی

در این مقاله، یک میانقاب محصور که در سال ۲۰۱۴ توسط عسا^۵ و همکاران تحت آزمایش قرار گرفته شده، جهت مدلسازی انتخاب گردید که جزئیات قاب و میانقاب انتخابی و همچنین سیستم بارگذاری در جدول ۱ و شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. میانقاب محصور مورد آزمایش در نرم افزار آباکوس مدلسازی گردید و نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد که در قسمت‌های بعد نحوه مدلسازی و مقایسه نتایج نشان داده خواهد شد.



شکل ۲: خصوصیات هندسی مدل آزمایشگاهی عسا و همکاران ۲۰۱۴

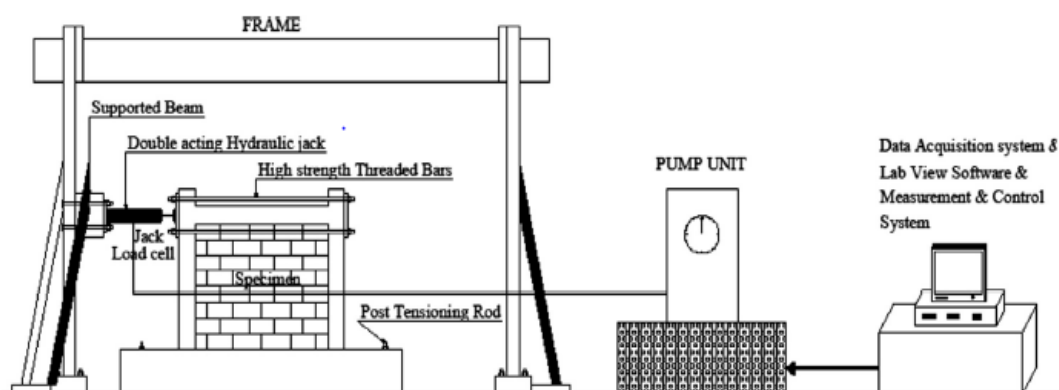
^۱ Stafford-Smith

^۲ Mainstone

^۳ ELDakhakmi

^۴ ANSYS

^۵ Essa



شکل ۳: سیستم بارگذاری مدل آزمایشگاهی

جدول ۱: خصوصیات قاب توپر نمونه آزمایشگاهی

مقاومت فشاری بتن پی <i>MPa</i>	مقاومت فشاری بتن تیر و ستون <i>MPa</i>	مقاومت آجر <i>MPa</i>	ضخامت دیوار <i>mm</i>
۳۰	۶۵	۱/۹۵	۱۲۰

۲-۱- مدلسازی قاب پیرامونی

برای بتن قاب پیرامونی، از بتن با مقاومت فشاری بالا استفاده شده است. همچنین برای مدلسازی قاب پیرامونی در نرم‌افزار آباکوس، المان از نوع *Solid C3D8R* در نظر گرفته شده که تعداد کل المان‌ها برابر ۱۰۶ می‌باشد. در جدول ۲ مشخصات رفتار الاستیک و پلاستیک بتن قاب پیرامونی بیان شده است. برای تعریف مدل رفتاری کششی و فشاری و خسارت بتن قاب پیرامونی، از مراجع [۶ و ۷] که به مطالعه عددی با نرم افزارهای المان محدود پرداخته‌اند استفاده شده و مدل‌های رفتاری آنها استخراج گردیده‌اند.

جدول ۲: مشخصات الاستیک و پلاستیک بتن قاب پیرامونی مورد استفاده در مدلسازی

<i>Dilation Angle</i>	<i>Eccentricity</i>	f_b/f_c	<i>K</i>	<i>Viscosity Parameter</i>	f_m <i>MPa</i>	ν	<i>E</i> <i>MPa</i>	ρ t/mm^3
55	0.1	1.16	0.67	0.001	65	0.2	47000	2.4e-9

۲-۲- مدلسازی پی

برای بتن پی، از بتن با مقاومت فشاری معمولی استفاده شده است. همچنین برای مدلسازی پی در نرم‌افزار آباکوس، المان از نوع *Solid C3D8R* در نظر گرفته شده که تعداد کل المان‌ها برابر ۵۲۵ می‌باشد. در جدول ۳ مشخصات رفتار الاستیک و پلاستیک بتن پی بیان شده است. برای تعریف مدل رفتاری کششی و فشاری و خسارت بتن پی، از مراجع [۶ و ۷] که به مطالعه عددی با نرم افزارهای المان محدود پرداخته‌اند استفاده شده و مدل‌های رفتاری آنها استخراج گردیده‌اند.

جدول ۳: مشخصات الاستیک و پلاستیک بتن پی مورد استفاده در مدل‌سازی

<i>Dilation Angle</i>	<i>Eccentricity</i>	$fb0/fc0$	K	<i>Viscosity Parameter</i>	f_m MPa	ν	E MPa	ρ t/mm ³
30	0.1	1.16	0.67	0.001	30	0.2	23500	2.4e-9

۳-۲- مدل‌سازی آجر و ملات بین آن

برای مدل‌سازی آجر در نرم‌افزار آباکوس، المان از نوع *Solid C3D8R* در نظر گرفته شده که تعداد کل المان‌ها برابر ۴۶۲ می‌باشد. در جدول ۴ مشخصات رفتار الاستیک و پلاستیک آجر بیان شده است. برای تعریف مدل رفتاری کششی و فشاری آجر، از مراجع [۶ و ۷] که به مطالعه عددی با نرم‌افزارهای المان محدود پرداخته‌اند استفاده شده و مدل‌های رفتاری آنها استخراج گردیده‌اند.

جدول ۴: مشخصات الاستیک و پلاستیک آجر مورد استفاده در مدل‌سازی

<i>Dilation Angle</i>	<i>Eccentricity</i>	$fb0/fc0$	K	<i>Viscosity Parameter</i>	f_m MPa	ν	E MPa	ρ t/mm ³
15	0.1	1.16	0.67	0.001	1.95	0.2	5000	1.85e-9

در این مقاله برای تحلیل نمونه‌های مورد نظر، از روش میکرو مدل ساده‌سازی شده استفاده شده است. از آنجا که آنالیز دیوارهای مصالح بنایی حتی با قوی‌ترین سیستم‌های سخت‌افزاری موجود در بازار زمان قابل توجهی را طلب می‌کند، اصرار بر کاهش زمان آنالیز حتی با ساده‌سازی‌هایی قابل توجه می‌باشد. به این ترتیب نیازی به مدل‌سازی ملات بصورت بخش‌های مجزا نمی‌باشد. بنابراین برای در نظر گرفتن وجود ملات در درزها لازم است به ارتفاع و طول آجر به میزان نیمی از ضخامت ملات در هر طرف افزوده گردد. در روش میکرو ساده‌سازی شده ملات بصورت مستقیم مدل‌سازی نمی‌شود، اما باید اثرات آن در قالب اندرکنش بین آجرها شبیه‌سازی گردد.

۴-۲- مدل‌سازی آرماتور

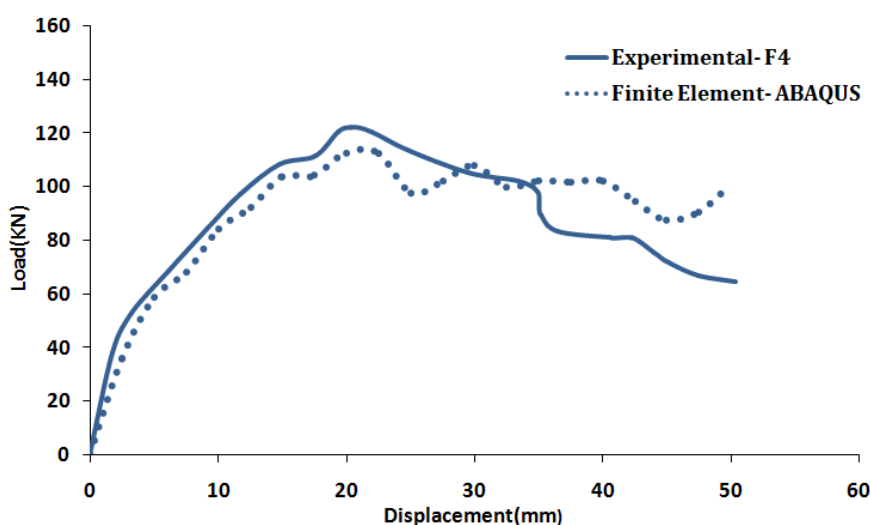
آرماتورهای مورد استفاده در این تحقیق بصورت آرماتورهای طولی و برشی در نظر گرفته شده‌اند. برای مدل‌سازی آرماتور در نرم‌افزار آباکوس، از نوع المان *Truss T3D2* استفاده شده که تعداد کل المان‌ها برابر ۱۱۱۰ می‌باشد. خصوصیات تعلق گرفته به آرماتورها در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۵: مشخصات آرماتورهای طولی و عرضی مورد استفاده در مدل‌سازی

f_y MPa	ν	E MPa	ρ t/mm ³
400	0.3	210000	7.85e-9

۲-۵- صحت‌سنجی نتایج

روش مدل‌سازی مورد استفاده در این مقاله، روش تحلیلی دینامیکی صریح با بارگذاری شبه استاتیکی می‌باشد. مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل‌سازی عددی در نمودار ۱ نشان داده شده است. آنچه مشهود است نرم افزار آباکوس میزان مقاومت نهایی و سختی اولیه به اندازه‌ای قابل قبول و با ۱۰٪ اختلاف تعیین نموده است. مقایسه نمودارهای حاصل از کار آزمایشگاهی و مدل‌سازی با نرم‌افزار آباکوس نشان دهنده تقریب خوب و مناسب استفاده از این نرم‌افزار برای مدل‌سازی در خصوص میانقاب‌های محصور می‌باشد. از این رو در این مقاله برای بررسی مدل‌های عددی، از این نرم‌افزار برای بسط مدل‌های عددی تحقیق استفاده خواهد شد.



نمودار ۱: مقایسه نتایج نمودار نیرو و تغییر مکان در مدل عددی و نمونه آزمایشگاهی

۳- معرفی قاب‌های مرکب مورد مطالعه

پس از تایید صحت مدل‌سازی با نتایج آزمایشگاهی، به مدل‌سازی مدل‌های مختلف در نرم‌افزار آباکوس می‌پردازیم. از این رو برای بررسی تاثیر پارامتر ضخامت میانقاب در ضریب اصلاح سختی روابط تجربی، ضخامت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌اند. همچنین برای بررسی بیشتر مشاهده اثر ضخامت میانقاب با ممان اینرسی‌های مختلف قاب پیرامونی و نسبت ابعادی‌های مختلف، قاب‌های پیرامونی با سه ابعاد مقطع قاب ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ میلی‌متر و چهار طول دهانه ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌متر انتخاب شده که جمعاً ۳۶ مدل مورد مطالعه و بررسی قرار خواهند گرفت. در ضمن ارتفاع میانقاب در کلیه مدل‌ها ۳۰۰ میلی‌متر لحاظ شده است.

سیستم نامگذاری مدل‌ها با این الگو انجام شده که با علامت W که مخفف $Wall$ می‌باشد شروع شده و در ادامه به ترتیب ضخامت میانقاب با علامت t ، ابعاد مقطع قاب پیرامونی با علامت D و نسبت ابعادی میانقاب با علامت A مشخص می‌گردند. نسبت ابعادی میانقاب به مفهوم طول میانقاب (L) تقسیم بر ارتفاع میانقاب (h) می‌باشد. بنابراین A_1 به مفهوم نسبت ابعادی قاب با طول ۲۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر، A_2 طول ۳۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر و A_3 طول ۴۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر، A_4 طول ۵۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌اند. همچنین مقدار ممان اینرسی قاب پیرامونی برای سه ابعاد ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ میلی‌متر در جدول ۶ نشان داده شده است. به عنوان مثال نماد $W-t150-D450.450-A_2$ نشان دهنده این است که قاب مرکب مورد نظر به ضخامت میانقاب ۱۵۰ میلی‌متر و ابعاد مقطع قاب پیرامونی ۴۵۰×۴۵۰ میلی‌متر و نسبت ابعادی ۱ در نظر گرفته شده‌اند. همچنین علامت K_A نشان دهنده سختی اولیه

بدست آمده از نرم افزار آباکوس، $K_{S.M}$ سختی اولیه بدست آمده از روابط تجربی و R ضریب اصلاح سختی روابط تجربی که برابر است با نسبت سختی حاصل از تحلیل اجزاء محدود به سختی حاصل از روابط تجربی.

جدول ۶: ممان اینرسی قاب پیرامونی

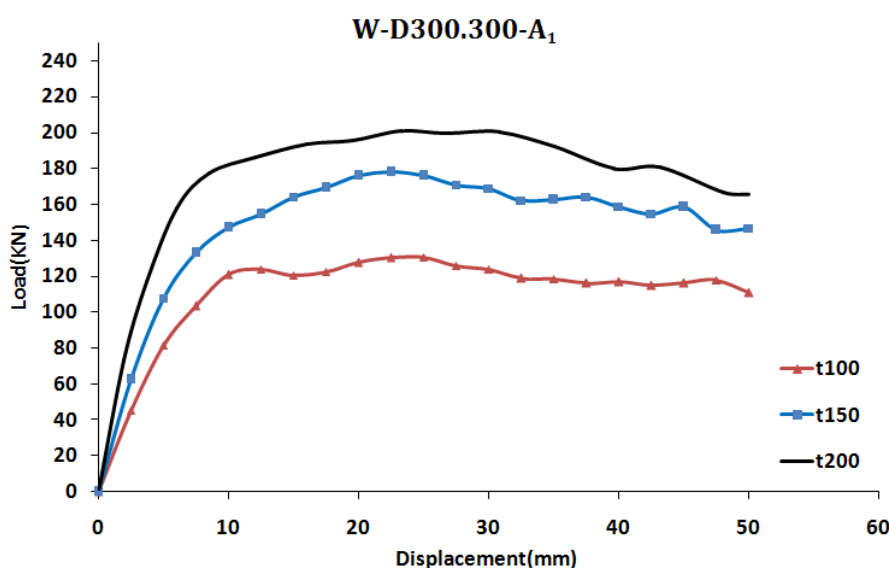
ابعاد مقطع قاب پیرامونی mm	ممان اینرسی قاب پیرامونی mm^4
۳۰۰×۳۰۰	$۶/۷۵ \times ۱۰^۸$
۳۵۰×۴۵۰	$۱۲/۵ \times ۱۰^۸$
۴۵۰×۴۵۰	$۳۴/۱۷ \times ۱۰^۸$

۴- تعیین ضریب اصلاح سختی

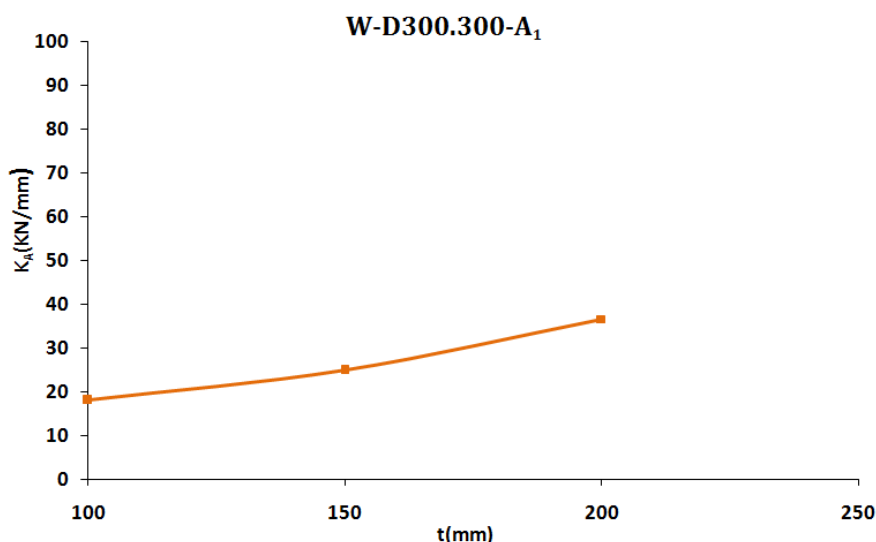
برای بدست آوردن ضریب اصلاح سختی روابط تجربی " R "، ابتدا نمودار نیرو-تغییر مکان در مدل‌های عددی استخراج می‌گردد که با توجه به شیب اولیه این نمودارها سختی اولیه مدل‌های عددی " K_A " بدست می‌آید. در ادامه با استفاده از روابط تجربی، سختی اولیه مدل‌های تجربی " $K_{S.M}$ " تعیین می‌شود. در نهایت با در دست داشتن سختی اولیه بدست آمده از تحلیل عددی و سختی روابط تجربی، ضریب اصلاح سختی روابط تجربی بصورت نسبت سختی حاصل از تحلیل عددی به سختی حاصل از روابط تجربی حاصل می‌گردد. در زیر سه مدل $W-t100-D300.300-A_1$ ، $W-t150-D300.300-A_1$ و $W-t200-D300.300-A_1$ مورد بررسی قرار می‌گیرند.

• تعیین سختی در مدل‌های عددی

پس از تحلیل مدل‌های $W-D300.300-A_1$ در نرم افزار آباکوس مقادیر منحنی نیرو-جابجایی مدل‌ها از طریق نرم افزار آباکوس استخراج گردیده که نتایج آن در نمودار ۲ نشان داده شده است. آنچه مشهود است با افزایش ضخامت میانقاب، شیب اولیه این نمودارها بیشتر شده و سختی اولیه افزایش پیدا می‌کند. با توجه به تعریف کلی سختی اولیه که معادل مقدار نیروی لازم جهت جابجایی واحد در مرحله الاستیک، می‌توان دریافت نیروی وارد شده برای ضخامت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر به ازای تغییر مکان واحد به ترتیب برابر ۱۸/۰۹۶، ۲۴/۶۹۴ و ۳۶/۶۴۵ کیلونیوتن بر میلی‌متر بدست آمده است که در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲: منحنی نیرو-تغییر مکان برای مدل $W-D300.300-A_1$



نمودار ۳: نمودار تغییرات سختی اولیه بدست آمده در آباکوس بر حسب ضخامت برای W-D300.300-A₁

- تعیین سختی مدل‌ها با استفاده از روابط تجربی
- روابط تجربی که در این مقاله برای تعیین سختی اولیه استفاده می‌گردد روابط تجربی استافورد اسمیت و مین‌استون می‌باشد. استافورد اسمیت جهت مدلسازی، پارامتر سختی قاب به میانقاب بصورت رابطه زیر پیشنهاد نمود.

$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_i \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4E_f \cdot I_h \cdot h}} \quad (1)$$

که در آن E_i مدول الاستیسیته میانقاب؛ t ضخامت میانقاب؛ θ زاویه تمایل قطر میانقاب نسبت به افق؛ E_f مدول الاستیسیته قاب؛ I_h ممان اینرسی ستون و h ارتفاع میانقاب می‌باشد.

مین‌استون با پیروی از استافورد اسمیت و با استفاده از آزمایشات مختلف بر روی قاب‌های مرکب با میانقاب‌های آجری، یک رابطه نیمه تجربی برای محاسبه عرض قید فشاری معادل بر حسب پارامتر بی‌بعد $\lambda_h \cdot h$ به صورت زیر پیشنهاد نمود:

$$\frac{w}{d} = 0.16(\lambda_h \cdot h)^{-0.3} \sin 2\theta \quad (2)$$

که در این رابطه w عرض دستک فشاری؛ d اندازه قطر فشاری می‌باشد.

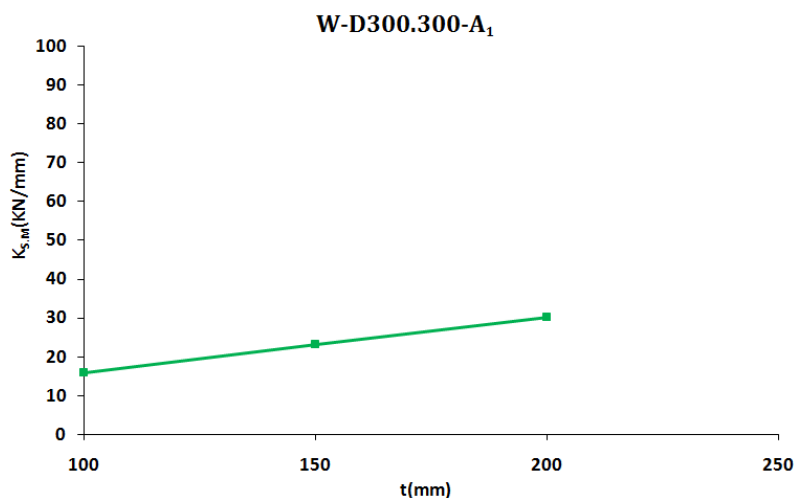
بنابراین برای محاسبه سختی قاب مرکب با داشتن عرض دستک فشاری، می‌توان میانقاب را با یک قید فشاری معادل جایگزین کرد که مساحت آن برابر است با:

$$A_e = w \cdot t \quad (3)$$

و سختی اولیه قاب مرکب برابر است با:

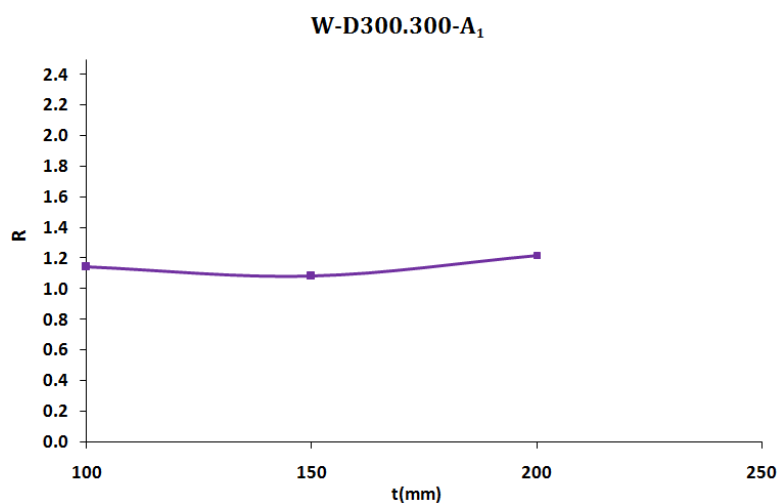
$$K = \frac{w}{d} t \cdot E_i \cdot \cos^2 \theta \quad (4)$$

با توجه به روابط فوق سختی اولیه تجربی برای مدل‌های W-t150-D300.300-A₁، W-t100-D300.300-A₁ و W-t200-D300.300-A₁ به ترتیب برابر است با ۱۵۸۲۲، ۲۳۱۰۲۲ و ۳۰۱۰۴۱ کیلونیوتن بر میلیمتر حاصل شده که در نمودار ۴ نشان داده شده است.



نمودار ۴: نمودار تغییرات سختی اولیه بدست آمده از روابط تجربی بر حسب ضخامت برای $W-D300.300-A_1$

در نهایت با در دست داشتن سختی اولیه بدست آمده از تحلیل عددی و روابط تجربی و تقسیم آنها بر هم ضریب اصلاح سختی روابط تجربی بدست می‌آید. ضرایب اصلاح این سه مدل، برای ضخامت میانقاب ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ میلیمتر به ترتیب برابر ۱/۱۴، ۱/۰۸ و ۱/۲۲ بدست آمده که در نمودار ۵ نشان داده شده است.



نمودار ۵: ضریب اصلاح سختی بر حسب ضخامت برای $W-D300.300-A_1$

در جدول ۷ خلاصه نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی و روابط تجربی و ضریب اصلاح سختی برای کلیه مدل‌ها نشان داده شده است.

جدول ۷: ضریب اصلاح سختی کلیه مدل‌ها تحت تاثیر ضخامت میانقاب

مدل	K_A (KN/mm)	$K_{s,m}$ (KN/mm)	R
$W-t100-D300.300-A_1$	18.096	15.822	1.14
$W-t150-D300.300-A_1$	24.946	23.022	1.08
$W-t200-D300.300-A_1$	36.645	30.041	1.22
$W-t100-D350.350-A_1$	25.779	16.571	1.56

$W-t150-D350.350-A_1$	30.385	24.112	1.26
$W-t200-D350.350-A_1$	44.808	31.463	1.42
$W-t100-D450.450-A_1$	44.438	17.868	2.49
$W-t150-D450.450-A_1$	51.741	26.000	1.99
$W-t200-D450.450-A_1$	67.596	33.927	1.99
$W-t100-D300.300-A_2$	20.919	27.685	0.76
$W-t150-D300.300-A_2$	26.138	40.284	0.65
$W-t200-D300.300-A_2$	46.856	52.566	0.89
$W-t100-D350.350-A_2$	31.998	28.995	1.10
$W-t150-DD350.350-A_2$	36.529	42.191	0.87
$W-t200-D350.350-A_2$	61.347	55.054	1.11
$W-t100-D450.450-A_2$	48.326	31.266	1.55
$W-t150-D450.450-A_2$	59.763	45.495	1.31
$W-t200-D450.450-A_2$	74.313	59.365	1.25
$W-t100-D300.300-A_3$	24.080	34.129	0.71
$W-t150-D300.300-A_3$	32.821	49.661	0.66
$W-t200-D300.300-A_3$	52.746	64.801	0.81
$W-t100-D350.350-A_3$	35.019	35.745	0.98
$W-t150-D350.350-A_3$	46.737	52.012	0.90
$W-t200-D350.350-A_3$	66.932	67.869	0.99
$W-t100-D450.450-A_3$	56.112	38.544	1.46
$W-t150-D450.450-A_3$	69.475	56.085	1.24
$W-t200-D450.450-A_3$	83.497	73.183	1.14
$W-t100-D300.300-A_4$	26.621	36.263	0.73
$W-t150-D300.300-A_4$	35.623	52.765	0.68
$W-t200-D300.300-A_4$	58.574	68.852	0.85
$W-t100-D350.350-A_4$	43.264	37.979	1.14
$W-t150-D350.350-A_4$	49.374	55.263	0.89
$W-t200-D350.350-A_4$	75.200	72.111	1.04
$W-t100-D450.450-A_4$	66.721	40.953	1.63
$W-t150-D450.450-A_4$	75.656	59.590	1.27
$W-t200-D450.450-A_4$	90.571	77.758	1.16

۵- نتیجه گیری

در مقاله حاضر ۳۶ مدل قاب مرکب با ضخامت‌های مختلف میانقاب، مورد تحلیل قرار گرفتند تا بر اساس نتایج عددی و تجربی، ضریب اصلاح سختی روابط تجربی تعیین شود. در تمام مدل‌های مورد بررسی افزایش ضخامت میانقاب باعث افزایش سختی اولیه سازه گردید. ضریب اصلاح سختی با توجه به مدل‌های مختلف مورد بررسی در محدوده بین ۰/۶۵ تا ۲/۴۹ بدست



آمد مثلا برای مدل‌های $W-D300.300-A_1$ ضریب اصلاح سختی برای ضخامت ۱۰۰ میلیمتر برابر ۱/۱۴ که ۱۴٪ افزایش، برای ضخامت ۱۵۰ میلیمتر برابر ۱/۰۸ که ۸٪ افزایش و برای ضخامت ۲۰۰ میلیمتر برابر ۱/۲۲ که ۲۲٪ افزایش یافته است.

مراجع

- [1] Polyakov, S. V. *Masonry in framed buildings*. National Lending Library for Science and Technology. Boston Spa, Yorkshire, U.K, 1956.
- [2] Stafford-Smith, B. *Lateral stiffness of infilled frames*. *J. Struct. Div, ASCE*, 88(6): 183-199, 1962.
- [3] Mainstone, R. J. *On the stiffness and strengths of infilled frames*. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Supplement IV*, pp. 57-90, 1971.
- [4] El-Dakhkhni, W., Elgaaly, M., & Hamid, A. *Three-strut model for concrete masonry-infilled steel frames*. *J. Struct. Eng. ASCE*, 129(2), 177-185, 2003.
- [5] Essa, A., Badr, M., & El-Zanaty, A. *Effect of infill wall on the ductility and behavior of high strength reinforced concrete frames*. *HBRC Journal*, 258-264, 2014.
- [6] Park, R., & Paulay, T. *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley and sone, 1975.
- [۷] شهبازی، ر.، یکرنگنیا، م. راهنمای کاربردی *Abaqus* به همراه مسائل مهندسی عمران سازه و ژئوتکنیک، تهران، نشر علم عمران، ۱۳۹۳.