

اثر پره های مقاومتی در مقاومت خمشی و پیچشی سازه پرس

دکتر ناصر سلطانی

عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

مهر داد لقاء

کارشناس شرکت پرس ایران

چکیده

در این مقاله اثر پره های مقاومتی (صفحات تقویت کننده)^۱ در مقاومت خمشی و پیچشی سازه های جعبه ای شکل مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که خیز در طراحی بدنه ماشین آلات از اهمیت ویژه ای برخوردار است، به دست آوردن اطلاعاتی از چگونگی تغییر ضریب سختی بدنه ماشین در صورت بکارگیری انواع گوناگون پره های مقاومتی ضروری است.

بدنه پرسهای سنگین (بالتر از ۴۰۰ تن) به صورت دروازه ای ساخته می شود. با توجه به مشکلات حمل و نقل و جابجایی، این بدنه ها را معمولاً به صورت چهار تکه شامل بستر، دو ستون و تاج که توسط میل مهارها به یکدیگر متصل شده است، می سازند. این تکه ها جعبه ای شکل است که برای تقویت آنها صفحاتی در داخل آنها نصب می شود. در مواردی سوراخهایی، بنا به ضرورت، در این جعبه ها ایجاد می شود.

بنابراین برای بررسی اثر این صفحات در مقاومت سازه ها، نمونه ای جعبه ای شکل به عنوان نمونه مینا، ساخته شده از ورق، در نظر گرفته شده و با نصب انواع گوناگون پره های مقاومتی در این نمونه، نمونه های مختلفی به دست آمده است. پس از اعمال دو نوع بارگذاری (دو نیروی هم جهت به عنوان بار خمشی و یک زوج نیرو به عنوان بار پیچشی) و با لحاظ کردن شرایط مرزی مناسب، نمونه ها توسط روش اجزاء محدود تحلیل شده است. بدین ترتیب تغییر مکان نقاط مختلف نمونه ها به دست آمده است. برای مشخص شدن اثر پره های مقاومتی تغییر مکان نقاط خاصی (نقاط سنجش) از نمونه های ایجاد شده با تغییر مکان همان نقاط در نمونه مینا از طریق رسم نمودارهای مناسب مقایسه شده است. ضمناً تغییر شکل نمونه ها به صورت ترسیمی نشان داده شده است. از نتایج این تحقیق می توان به عنوان راهنمایی در طراحی سازه ماشین آلات، خصوصاً پرس، استفاده کرد.

مقدمه

و سایر قطعات مارک زنی استفاده می شوند که پس از جوش دادن این قطعات به یکدیگر بعنوان مثال اتا فک تراکتور و کامیون، اتاق اتومبیل، باک بنزین، مخزن روغن و غیره بدست می آید. تجهیزات پرسکاری همچنین برای تولید قطعات توپر و یکپارچه که در موتور، جعبه دنده و سیستم انتقال نیرو به کار می روند، مثل میل لنگ، میل بادامک، چرخنده ها و شاتون مورد استفاده قرار می گیرد.

یکی از عمده ترین بخشهای صنعت که از محصولات تولید شده توسط روشهای شکل دادن

کار بر روی فلزات با دو روش عمده براده برداری و شکل دادن انجام می شود. بخش شکل دادن فلزات شامل روشهای نورد، ریخته گری، آهنگری، اکستروژن و شکل دهی ورقهای فلزی است. تولیدات بخش شکل دادن فلزات توسط شرکتهای اتومبیل سازی، لوازم خانگی، راه آهن، مهندسی عمومی و صنایع ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرد. پرسهای ورقکاری جهت تولید پانل

۱ - در این مقاله از این دو ترکیب به عنوان ترجمه کلمه Ribs استفاده شده است.

شایان توجهی به طراحان در زمینه تحلیل سازه‌ها کرده است. یکی از موارد استفاده از این روش تحلیل استاتیکی سازه است که طراح می‌تواند پس از تکمیل طراحی، نقاط مختلف سازه را از لحاظ میزان جابجائی و مقادیر تنش کنترل کند. اما نکته قابل توجه این است که استفاده از این روش پس از تکمیل طراحی سازه میسر است. بنابراین در شروع یک طراحی جدید نمی‌تواند کمکی برای طراح باشد مگر آنکه طرح‌های زیادی قبلاً تحلیل شده و نتایج آنها مورد بررسی قرار گرفته باشد و طراح با ایده گرفتن از آن نتایج به طراحی جدید اقدام کند.

هدفی که در این مقاله مد نظر بوده، در همین نکته نهفته است. یعنی هدف به دست آوردن رهنمودهایی است که ایده‌های اولیه برای طراحی بدنه پرس را به طراح ارائه کند. بدین ترتیب در زمان لازم برای طراحی صرفه‌جویی و از تکرار زیاد مراحل طراحی و تحلیل برای رسیدن به طرح مطلوب پرهیز می‌شود.

در پرس برای به دست آوردن صلیبیت مناسب و افزایش مقاومت سازه در مقابل تغییر شکل با توجه به هندسه سازه از پره‌های مقاومتی (صفحات تقویت‌کننده) استفاده می‌شود. در مواردی به دلایلی طراح مجبور به ایجاد سوراخهائی در بدنه پرس است که باز هم استفاده صحیح از این پره‌ها می‌تواند ضعف ایجاد شده را جبران کند. با توجه به پیچیده شدن شکل سازه در صورت استفاده از صفحات تقویت‌کننده، روش‌های نظری موجود که بدنه پرس را به صورت یک قاب ساده فرض می‌کند جوابگوی مسئله نیست. بنابراین در صورتی که بتوان با انجام تحقیقات، اطلاعاتی از چگونگی اثر این صفحات تقویت‌کننده به دست آورد، نتایج حاصله کمک مؤثری به طراحان در انتخاب مناسب آنها خواهد بود.

بدنه پرس‌های سنگین به صورت دروازه‌ای ساخته می‌شود. به دلیل مشکلاتی که در حمل و نقل و جابجایی بدنه این پرس‌ها وجود دارد معمولاً بدنه‌ها را به صورت چهارتکه می‌سازند (بستر، دو ستون و تاج که توسط میل‌مهارها به یکدیگر متصل شده‌اند). هر

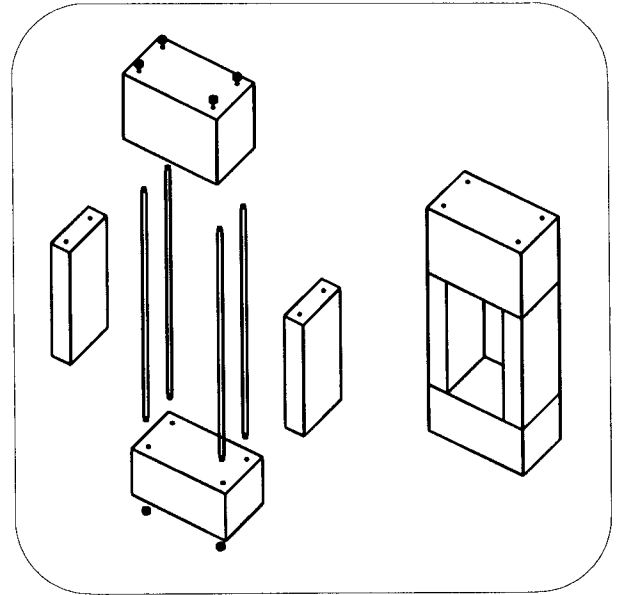
استفاده می‌کند بخش تولید خودرو است. بررسی آماری نشان می‌دهد میزان تولید انواع خودرو در ایران در سال ۹۱ تنها حدود $\frac{1}{3}$ ظرفیت بوده است. با توجه به این آمار ظرفیت تولید پروژه‌های جدید ظرفیت کل را تا سال ۱۹۹۵ به بیش از $\frac{1}{1}$ میلیون دستگاه در سال افزایش خواهد داد که دو برابر ظرفیت فعلی می‌باشد. مطالعات انجام شده با توجه به موافقت اصولی‌های صادره از طرف وزارت صنایع سنگین در رابطه با صنایع خودرو نشان می‌دهد هر سال حدود $\frac{12}{5}$ میلیون قطعه بزرگ و متوسط (اجزاء بدنه اتومبیل مانند درب‌ها، کاپوت جلو، درب صندوق عقب،...) برای پنج سال آینده مورد نیاز است که این رقم برای سال‌های بعد افزایش خواهد یافت [۱].

ماشین ابزار اصلی مورد استفاده در این بخش پرس است. آمار گرفته شده از شرکتهای ثبت شده توسط وزارت صنایع سنگین که بیش از ۱۰ کارگر دارند نشان می‌دهد که در حال حاضر تقریباً ۲۳۰۰ پرس با ظرفیت اسمی بالای ۱۰۰ تن در کشور وجود دارد. اطلاعات جمع‌آوری شده نشانگر آن است که تقاضا برای انواع پرس‌های سنگین در بازار ایران برای ده سال آینده حدوداً ۴۰۰ دستگاه است [۲].

با ملاحظه اطلاعات ارائه شده در فوق ضرورت رشد در این شاخه از صنعت یعنی تولید پرس در کشور به اثبات می‌رسد. بدین ترتیب برای کسب اطلاعات فنی مورد نیاز، انجام کارهای مطالعاتی و تحقیقاتی در این زمینه کاملاً ضروری است. در این مقاله مرتفع کردن قسمتی از این نیاز یعنی انجام تحقیقات در زمینه طراحی بدنه پرس مورد توجه بوده است. در طراحی اجزائی مثل محور، چرخنده و غیره روند انجام کار تا حد زیادی مشخص شده است و روابط مناسبی برای رسیدن به نتایج مطلوب وجود دارد. در حالیکه در طراحی سازه‌هائی مثل بدنه پرس که شکل ساده‌ای ندارد، روابط نظری و قواعد مدونی که جوابگوی مسئله باشد وجود ندارد. البته در سال‌های اخیر روش اجزاء محدود و نرم‌افزارهای گوناگون ارائه شده برای بکارگیری این روش کمک‌های

[۸] مدلی برای بررسی ستون ماشین های ابزار ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته و نمودارهای مربوط به مقاومت خمشی و پیچشی ترسیم گردیده است. نتیجه گرفته شده از این آزمایشات از این قرار است که در حالت بارگذاری پیچشی تمام انواع صفحات تقویتی در مقایسه با مدل بدون این صفحات تغییر شکل سطح مقطع را کاهش و در نتیجه ضریب سختی را افزایش می دهد. برای ستونی که تحت بارهای توأم پیچشی و خمشی قرار دارد از صفحات سراسری که به صورت قطری در ستون تعبیه شده بهترین نتیجه به دست آمده است. در [۹] برای تحلیل بدنه ماشین های ابزار نتایج حاصل از استفاده اجزای صفحه ای چهار ضلعی با لبه های انحنادار، با درجه آزادی کاهش یافته، مطرح شده است. برای نشان دادن این مطلب که جزء در نظر گرفته شده و دو نوع جزء دیگر ارائه شده توسط نویسنده، اجزای مناسبی است، روش اجزای محدود با این اجزای در مورد یک صفحه نازک مدور، یک صفحه نازک مربعی تحت خمش که برای آنها حل دقیق موجود است و همچنین برای یک ستون جعبه ای شکل تحت خمش و پیچش که تحلیل هایی تجربی برای آن وجود دارد، به کار برده شده است.

در [۱۰] نتایج بدست آمده از محاسبات تغییر شکلهای سازه های ستونی شکل که شکل جعبه مانند دارند و دارای دیواره های نازک می باشند ارائه شده است. این ستونها در معرض بارگذاری پیچشی و خمشی قرار داده شده اند. نتایج محاسبه شده که از روش اجزای محدود بدست آمده با نتایج بدست آمده از آزمایشات و روابط تحلیلی مقایسه شده است. در [۱۱] نتایج بدست آمده از محاسبه تغییر شکلهای ستون ماشین ابزار با دیواره های نازک هنگامی که در معرض بارهای پیچشی قرار می گیرد ارائه شده است. بعضی از ستونهای تحلیل شده دارای پره های مقاومتی قطری، ۷ شکل و لوزی شکل است. ستونهای با تقسیم بندیهای افقی و تو خالی نیز مورد مطالعه قرار گرفته و ضریب سختی پیچشی آنها با ضریب سختی پیچشی ستونهایی با دیواره دو لایه (سطح



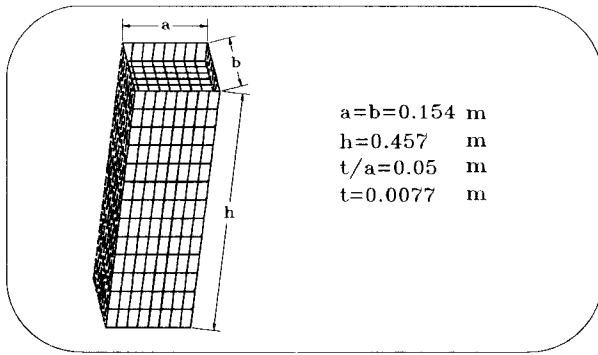
شکل ۱- بدنه پرس چهار تکه

کدام از این تکه ها به صورت ساده مکعب مستطیل (جعبه ای) شکل است. شکل (۱) نمایی از یک بدنه چهار تکه را نشان می دهد. بنابراین، برای به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز مطرح شده در فوق در این مقاله جعبه ای که با انواع گوناگون پره های مقاومتی تقویت شده مورد بررسی قرار گرفته است.

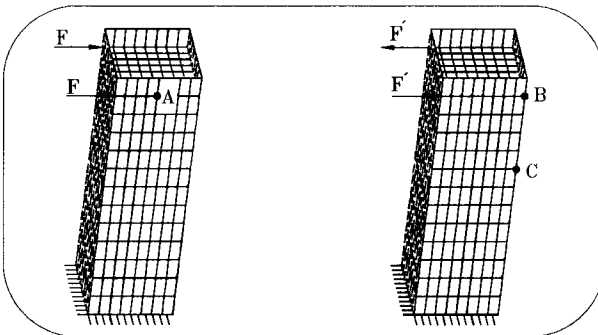
مطالعات انجام شده، در زمینه های مشابه به قرار زیر است:

در [۲] با استفاده از [۴] و در [۵] با استفاده از [۶] بدنه پرس به صورت یک قاب ساده در نظر گرفته شده است. در اینجا فرضیاتی مثل مسطح بودن قاب و نقطه ای بودن نیروها مطرح است. با استفاده از روابط انرژی مدلهای تحلیل و تغییر فرمها محاسبه می شود.

در [۷] کارآیی دو روش تحلیل به کمک کامپیوتر (روش تیر و روش اجزای محدود) جهت تعیین تغییر شکل یک ستون جعبه شکل مقایسه و این نتایج گرفته شده است: ۱- برای اشکال ساده هندسی روش تیر با تعداد المان کم جوابهای نسبتاً خوبی می دهد. ۲- در خمش، نتایج دو روش تقریباً یکسان است. ۳- روش تیر برای بررسی پیچش ستونها روش مناسبی نیست. ۴- شکل هندسی عامل انتخاب روش است. در



شکل ۲- نمونه مینا و ابعاد آن



شکل ۳- بارگذاری و شرایط مرزی نمونه مینا

فولادی به عنوان نمونه مینا مورد بررسی قرار گرفته است. چون روش تحلیل نمونه‌ها در این مقاله روش اجزاء محدود است، از لحاظ انتخاب اندازه ابعاد نمونه محدودیت خاصی وجود ندارد. ابعاد مناسب برای نمونه به صورت نمایش داده شده در شکل (۲) در نظر گرفته شده است. در این بررسی کلیه نمونه‌ها به صورت یک سردرگیر فرض شده است. چون هدف مقایسه بین نمونه‌ها است، بنابراین تنها کافی است که به همه نمونه‌ها شرط مرزی مشخصی اعمال شود. دو نوع بارگذاری بر روی نمونه‌ها اعمال شده است (شکل (۳)). بارگذاری اول بارگذاری خمشی است که دو نیروی مساوی به دو نقطه انتهائی اعمال شده است و بارگذاری دوم بارگذاری پیچشی است که همان نقاط تحت اثر یک زوج نیرو قرار گرفته است. مقادیر نیروها از این قرار است:

$$F=1500\text{N} \quad F'=2000\text{N}$$

انتخاب شبکه بندی

برای انجام تحلیل اجزاء محدود روی هر نمونه

مقطع ستون داخلی مربعی فرض شده) مقایسه شده است. تحلیلها با روش اجزاء محدود انجام شده است.

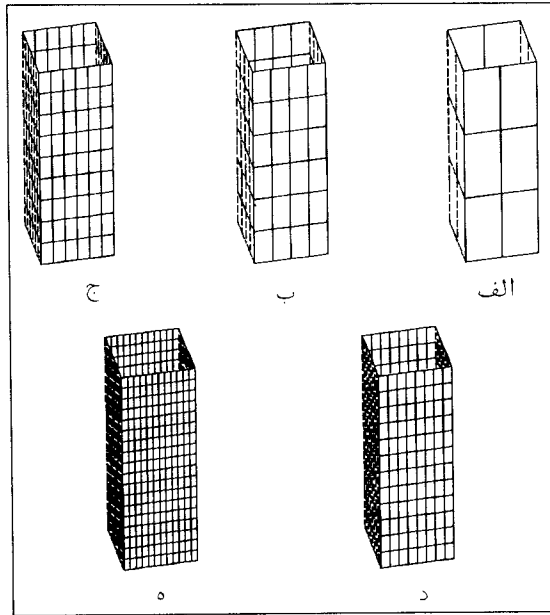
در [۱۲] مشخصه‌های دینامیکی سازه ماشین فرز با استفاده از روش کامپیوتری و روش تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. در اینجا بازوی عرضی یکپارچه با بازوی عرضی توخالی که شامل پنج پره تقویتی عرضی در سه موقعیت مختلف است، جایگزین شده است. در [۱۲] روش طراحی پیچیده‌ای برای مقاطع جعبه‌ای یک قاب پرس که شامل دو ستون و دو تیر عرضی است ارائه شده است. در اینجا هم قاب و هم سطح مقطع‌ها دارای تقارن دوگانه و بار مورد ملاحظه بار متمرکز است. اندازه‌های مجهول مقاطع با برخوردی اصولی با شرایط مربوطه بدست آمده است. در [۱۴] برای محاسبه ستونها و محور خارج از مرکز پرسهای مکانیکی که در آنها محور ستونها با میزان لقی اختیاری، اثر متقابل ناشی از تماس برهم دارد، از روش عددی استفاده شده که مبنای این روش برنامه و الگوریتم اجزاء محدود است. در [۱۵] برای تعیین پارامترهای طرح بهینه پرسهای دو ستونه با استفاده روش اجزاء محدود مطالعاتی روی سه نوع پرس انجام شده است. مطالعات مورد نظر روی پارامترهای طراحی بوده که اثرات اساسی بر مشخصه صلبیت سازه ماشین داشته است.

در [۱۶] نواحی تنش در قاب بسته پرس مکانیکی ۳ MN با استفاده از روش اجزاء محدود مورد مطالعه قرار گرفته است. در اینجا هم یک قاب ساده و هم یک قاب با پره‌های مقاومتی مورد بررسی بوده و نتایج با نتایج حاصله از یک تحقیق قبلی با روش فتوالاستیسیته مقایسه شده است.

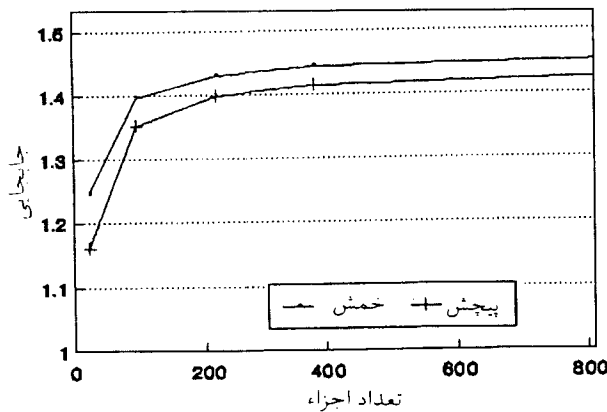
نمونه‌سازی و تحلیل

نمونه مینا

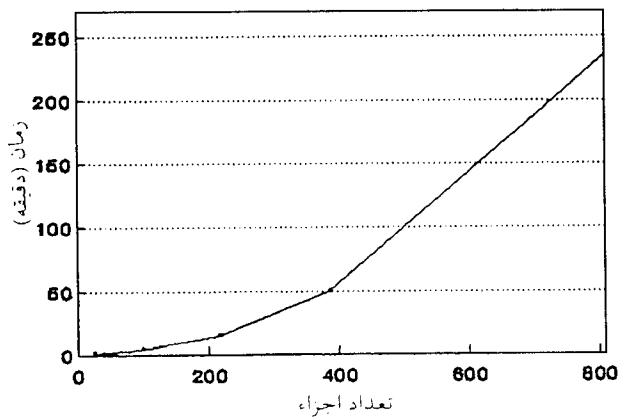
برای بررسی اثر پره‌های مقاومتی در ضریب سختی، نمونه‌ای به شکل مکعب مستطیل در نظر گرفته شده است. در واقع جعبه‌ای ساخته شده از ورق



شکل ۴- پنج شبکه بندی متفاوت مورد بررسی

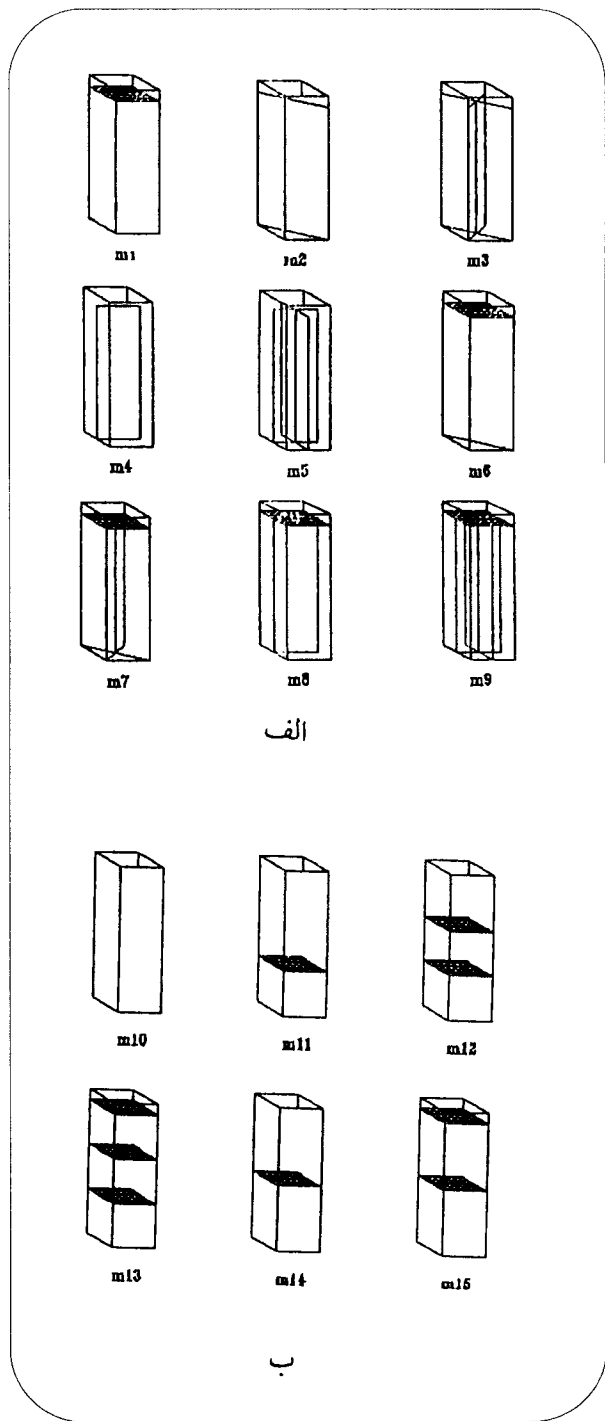
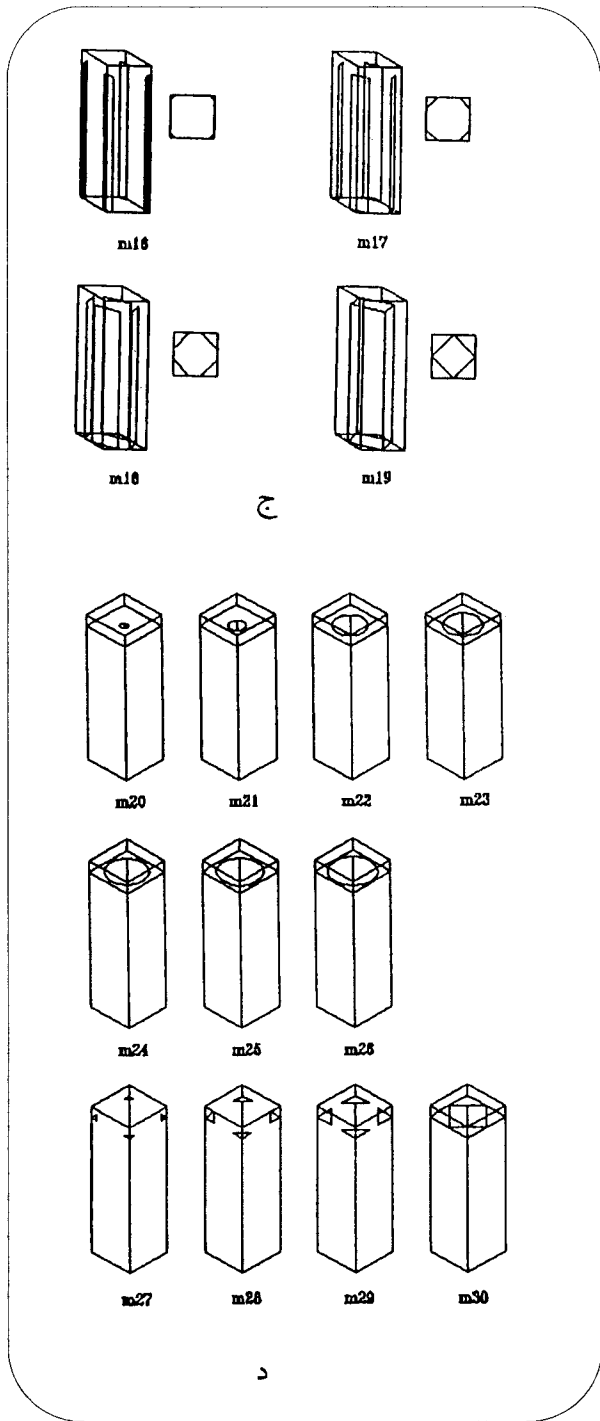


شکل ۵- مقایسه تغییر مکان نقاط سنجش در نمونه ها با شبکه بندی های متفاوت



شکل ۶- رابطه زمان اجرایی برنامه کامپیوتری، باریز شدن شبکه بندی نمونه ها

ابتدا لازم است آنرا شبکه بندی کرد. برای انتخاب شبکه بندی مناسب باید به دو نکته دقت تغییر مکانهای بدست آمده و زمان اجرای برنامه مربوط به هر نمونه، توجه کرد. برای این منظور پنج شبکه بندی متفاوت انتخاب (شکل ۴) و نمونه ها تحلیل شده است. سپس نتایج مربوط به تغییر مکان نقاط مشخصی از نمونه ها (نقطه A برای بارگذاری خمشی و نقطه B برای بارگذاری پیچشی در شکل (۳)) و زمان اجرای برنامه هر نمونه توسط یک کامپیوتر مشخص با یکدیگر مقایسه شده است. برای کاهش اثرات موضعی اعمال نیرو به دو نقطه انتهائی نمونه ها در تمام نمونه های مورد بررسی در این مقاله یک ردیف المان در جهت ارتفاع به نمونه مبنا اضافه شده است. در شکل (۵) منحنی تغییر مکانهای مربوط به دو نقطه سنجش برای بارگذاری خمشی و برای بارگذاری پیچشی با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که انتظار می رود با ریز شدن شبکه بندی دو منحنی نشان داده شده به حدود مشخصی نزدیک می شود. در شکل (۶) که منحنی زمان اجرای برنامه مربوط به هر نمونه در آن مشخص شده چگونگی افزایش زمان اجرا با ریز شدن شبکه بندی نشان داده شده است. با مورد توجه قرار دادن تغییر مکانها و زمان اجرای برنامه مربوط به دو نمونه چهارم (شکل ۴-د) و پنجم (شکل ۴-ه) مشاهده می شود که تغییر مکانهای نمونه پنجم نسبت به نمونه چهارم تنها ۶ درصد تغییر کرده در حالیکه زمان اجرای برنامه مربوط به نمونه پنجم چند برابر زمان اجرای برنامه مربوط به نمونه چهارم است. بدین ترتیب شبکه بندی چهارم بعنوان شبکه بندی مناسب برگزیده شده است. شبکه بندی پره های مقاومتی به کار رفته در سایر نمونه ها نیز متناسب با این شبکه بندی در نظر گرفته شده است. با مشخص شدن نمونه مبنا برای ایجاد نمونه های مورد نظر، صفحات تقویت کننده به صورتهای گوناگون به نمونه مبنا اضافه شده و نمونه های مختلف به دست آمده است.

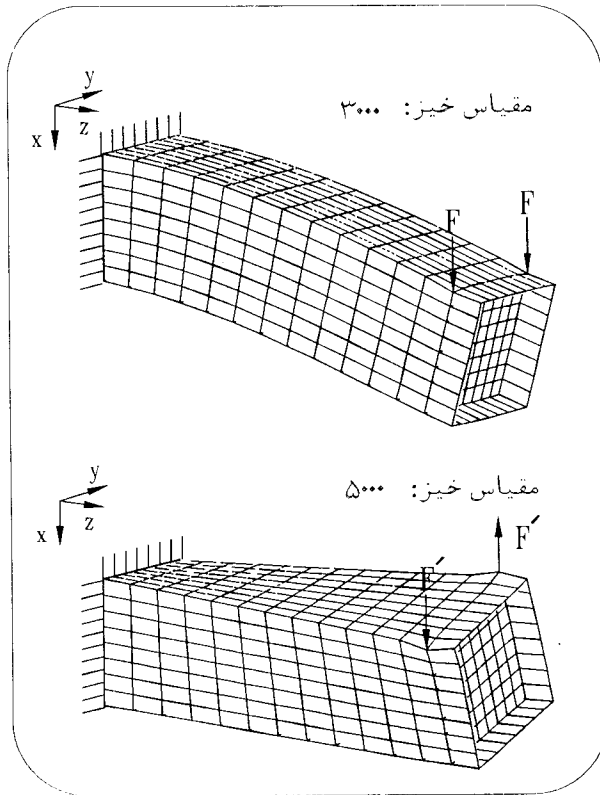


شکل ۷- نمونه‌های مورد بررسی: الف- گروه اول ب- گروه دوم ج- گروه سوم د- گروه چهارم

نمونه‌های مورد بررسی

صفحات تقویت کننده مورد توجه در این مقاله را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد:
گروه اول: ساده‌ترین روشی که در اولین برخورد برای تقویت یک سازه جعبه‌ای شکل به نظر می‌رسد

استفاده از صفحات قائمی است که به صورت‌های کوناگون در داخل جعبه نصب شده است. شکل (۷-الف) نمونه‌های ایجاد شده با این روش (m2 تا m9) را نشان می‌دهد. m1 نمونه مبنا است. **گروه دوم:** در این گروه صفحات تقویت کننده به



شکل ۸- نمونه m1 تحت خمش و پیچش

صورت افقی (قائم بر دیواره های جعبه) تعبیه و اثرات ناشی از وجود آنها در سازه مورد توجه قرار داده شده است. شکل (۷-ب) این نمونه ها را (m10 تا m15) نمایش می دهد.

گروه سوم: ایده اولیه برای بررسی این گروه با ملاحظه نقشه های مربوط به بدنه یک پرس هیدرولیک ۴۰۰ تن بدست آمده و نمونه های مشابهی در نظر گرفته شده است. شکل (۷-ج) این را گروه از نمونه ها (m16 تا m19) نشان می دهد.

گروه چهارم: با توجه به این مطلب که در تاج پرسهای مکانیکی سوراخهایی برای نصب محور یا محورهای ایجاد می شود، برای بررسی اثر وجود سوراخ و اثر قطر آن بر مقاومت در مقابل زوج نیرو این گروه از نمونه ها (m20 تا m26) ایجاد شده است (شکل ۷-د). قسمتی از نمونه های این گروه نمونه هایی است که به جای صفحه انتهایی در آنها از چهار لچکی استفاده شده است (m27 تا m30). اثر اندازه این لچکی ها بر مقاومت سازه مورد بررسی قرار گرفته است.

تحلیل نمونه ها

با اجرای برنامه مربوط به هر نمونه نتایج مربوط به تغییر مکان کلیه نقاط روی نمونه به دست می آید. نتایج به دو صورت حاصل شده است: (الف) - به صورت مقادیر عددی جابجایی گره ها (ب) - به صورت ترسیمی. از نتایج عددی در رسم نمودارهای ستونی برای مقایسه ضرایب سختی نمونه ها استفاده شده است. نتایج ترسیمی برای بررسی و مقایسه تغییر شکلها مورد استفاده قرار گرفته است. چون مبنای مقایسه ها نمونه مینا (m1) است، ابتدا نتایج تحلیل این نمونه آورده می شود. شکل (۸) تغییر مکان نقاط مختلف نمونه مینا را در اثر بار خمشی و پیچشی نشان می دهد. برای مقایسه اثر اضافه کردن صفحات تقویت کننده به نمونه مینا در مقاومت این نمونه ها در مقابل دو نوع بارگذاری مطرح شده، تعاریف زیر برای ضریب سختی خمشی و ضریب سختی پیچشی هر

نمونه در نظر گرفته شده است (نقاط A و B در شکل (۳) مشخص شده است):

$$K_b = F / \delta_A \quad (1)$$

$$K_t = F' / \delta_B \quad (2)$$

که چون نمونه m1 مبنای مقایسه است، روابط لازم برای مقایسه ضرایب سختی نمونه ها با نمونه m1 چنین در نظر گرفته شده است:

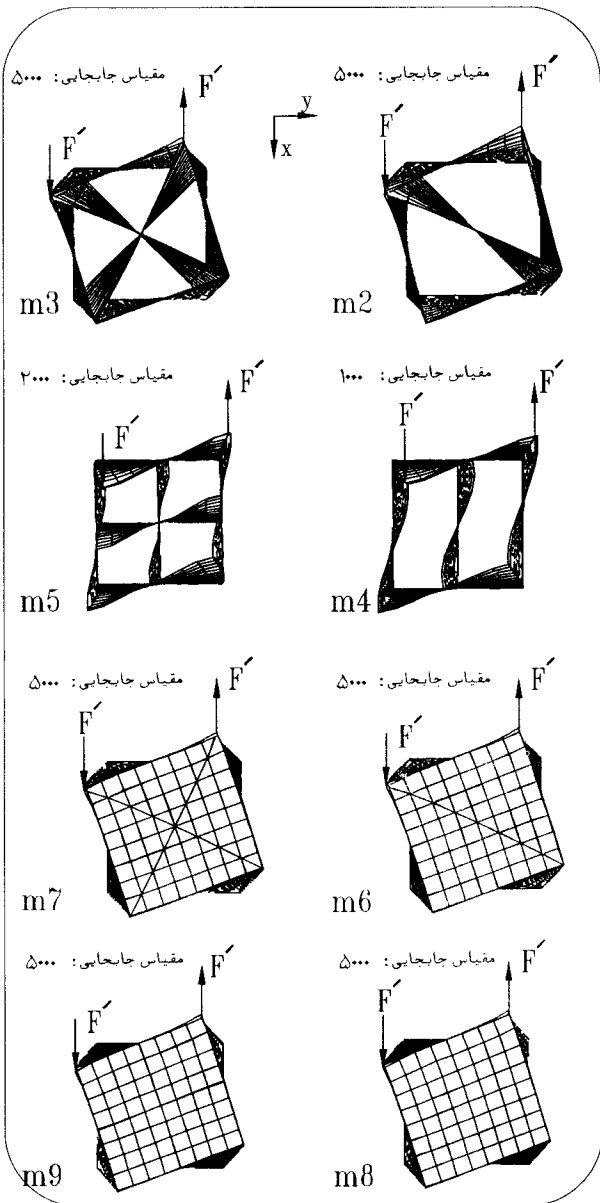
$$\frac{k_t(mx)}{k_t(m\lambda)} = \frac{\frac{F}{\delta_B(mx)}}{\frac{F}{\delta_B(m\lambda)}} \times 1000 = \frac{\delta_B(m\lambda)}{\delta_B(mx)} \times 1000 \quad (3)$$

mx نشانگر نمونه های m2 تا m30 است

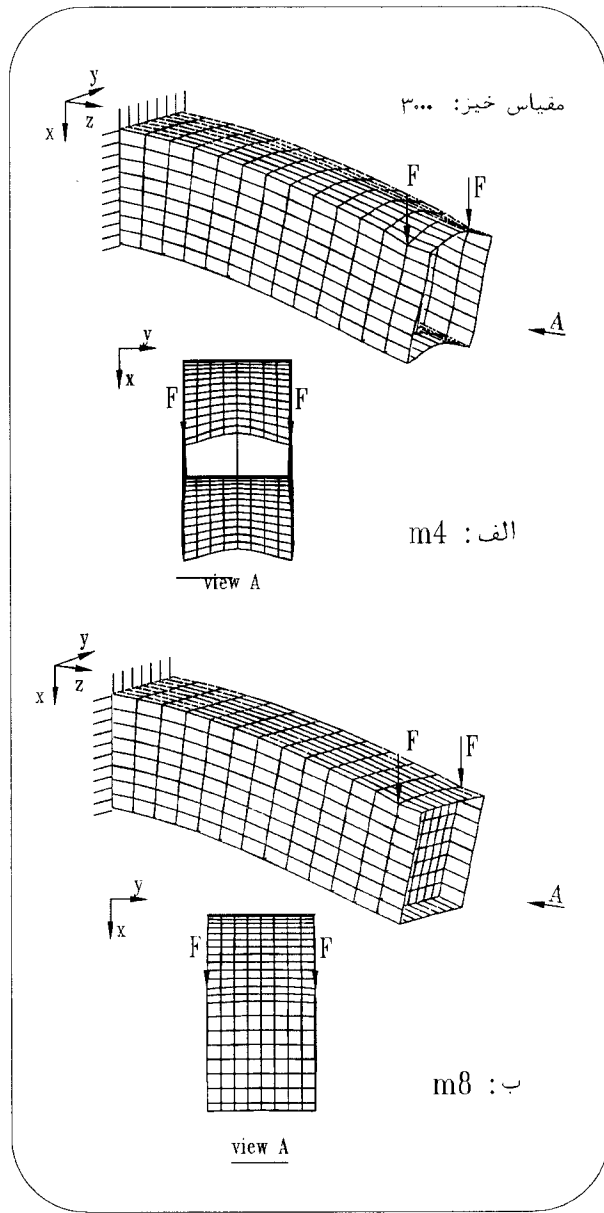
$$\frac{k_b(mx)}{k_b(m\lambda)} = \frac{\frac{F}{\delta_A(mx)}}{\frac{F}{\delta_A(m\lambda)}} \times 1000 = \frac{\delta_A(m\lambda)}{\delta_A(mx)} \times 1000 \quad (4)$$

تحلیل نمونه های گروه اول

شکل (۹) تغییر مکان نقاط مختلف نمونه های m4 و



شکل ۱۰- سطح مقطع نمونه‌ها تحت پیچش



شکل ۹- نمونه m4 و m8 تحت خمش

وزن نمونه‌ها و درصد تاثیر اضافه کردن صفحات تقویت کننده به نمونه مینا مشخص شده است. با ملاحظه این نمودارها نکات زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

-درخمش

۱- بالاترین میزان تاثیر را اضافه کردن صفحات تقویت کننده به شکل نمونه m3 دارد که البته درصد افزایش وزن این نمونه قابل ملاحظه است و یک نکته منفی بشمار می‌رود. کمترین مقدار مربوط به

m8 از این گروه را در اثر بار خمشی نشان می‌دهد. مقیاس بزرگنمایی جابجایی‌ها در هر شکل مشخص شده است. شکل (۱۰) سطح مقطع نمونه‌ها را تحت تاثیر بارگذاری پیچشی نشان می‌دهد.

با ملاحظه این اشکال می‌توان به چگونگی تغییر شکل هر نمونه و اثری که صفحات تقویت کننده در این تغییر شکلها دارد، پی برد. اشکال (۱۱) و (۱۲) نمودارهای ستونی را نشان می‌دهد که با محاسبه این مقادیر رسم شده است. در این نمودارها درصد تغییر

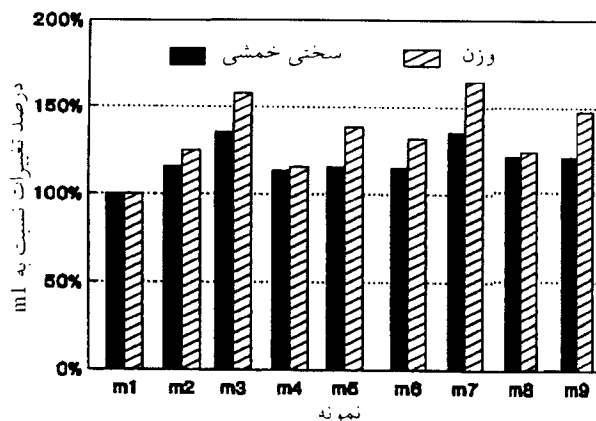
مربوط به نمونه‌های $m4$ و $m5$ است، به نظر می‌رسد استثنایی برای نکته دو وجود دارد. اما نکته مسئله با ملاحظه شکل (۹-الف) و مقایسه آن با شکل (۹-ب) مشخص می‌شود: بار به صورت نقطه‌ای به دو گوشه انتهایی نمونه اعمال می‌شود. بنابراین اگر صفحه انتهایی حذف شود، صفحه تقویت کننده طولی مشابه با صفحات موازی خود (دیواره‌های نمونه، در صفحه xz) تغییر شکل نمی‌دهد. علت این پدیده همانطور که از اشکال مذکور مشخص است، خمش عرضی نمونه (حول محور z) است. بدین ترتیب تغییر مکان نقطه A (شکل (۳)) که مبنای مقایسه است کمی بیشتر از حالتی می‌شود که صفحه انتهایی وجود دارد. وجود صفحه انتهایی، صفحه تقویت کننده را وادار می‌کند تا مشابه با صفحات دیواره تغییر شکل دهد و بنابراین اثر مقاومتی آن در مقابل خمش طولی به طور کامل ظاهر می‌شود. در نتیجه انتظار می‌رود اگر نیرو کل وارد به نمونه $m4$ و $m5$ به سه قسمت مساوی تقسیم شود و دو قسمت مشابه وضعیت فعلی اعمال نیرو و قسمت سوم در وسط دو نیرو یعنی روی صفحه تقویت کننده طولی قرار داده شود، مقدار بدست آمده برای تغییر مکان نقطه سنجش مشابه با این مقدار در نمونه $m8$ و $m9$ باشد.

د- در پیش

۱- بین نمونه‌های بدون صفحه انتهایی نمونه $m3$ بالاترین مقاومت را از خود نشان می‌دهد. کمترین مقاومت را نمونه $m4$ دارد که حدود ۲۲ درصد نمونه مبنا است.

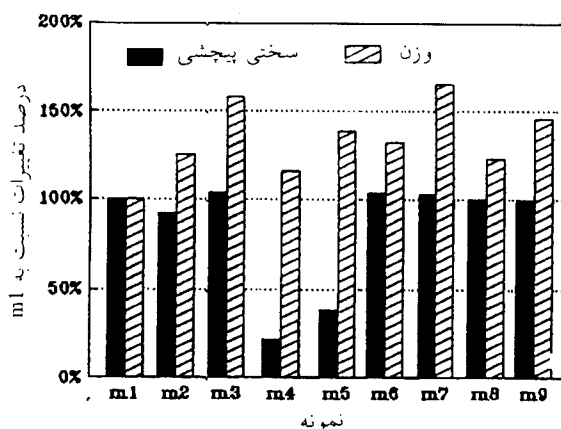
۲- صفحات تقویت کننده که گوشه‌ها را به هم متصل می‌کند (نمونه‌های $m2$ و $m3$) نسبت به صفحات تقویت کننده نصب شده به موازات اضلاع، بسیار مؤثرتر است. این نکته با دقت در اشکال مربوط به تغییر شکل سطح مقطع نمونه‌ها نیز مشخص است.

۳- وجود یا عدم وجود صفحه انتهایی اثر اساسی دارد. مقاومت نمونه $m7$ که درصد افزایش وزن زیادی دارد تنها کمی از مقاومت نمونه مبنا که دارای صفحه انتهایی است بیشتر است. نمونه‌هایی که دارای صفحه



شکل ۱۱- نمودار ستونی مقایسه ضریب سختی خمشی نمونه‌های

$m2$ تا $m9$ با ضریب سختی خمشی نمونه مبنا ($m1$)



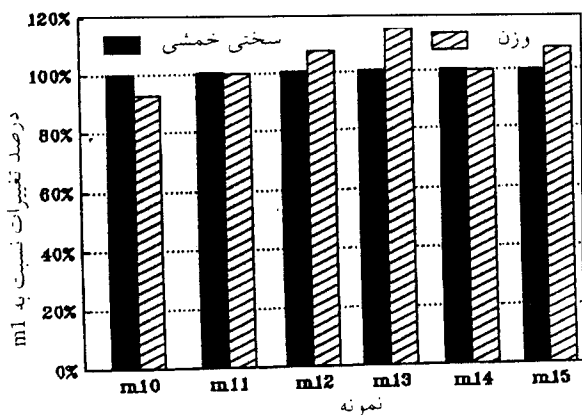
شکل ۱۲- نمودار ستونی مقایسه ضریب سختی پیچشی نمونه‌های

$m2$ تا $m9$ با ضریب سختی پیچشی نمونه مبنا ($m1$)

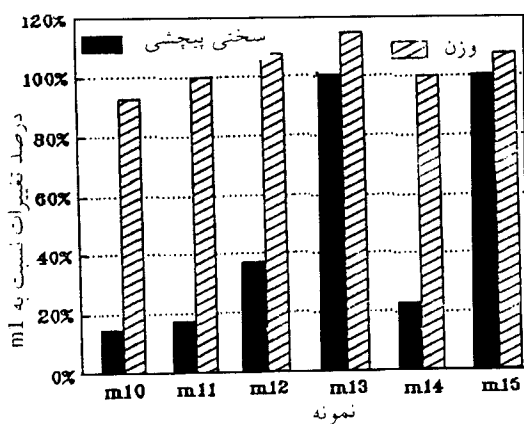
تقویت کننده به شکل نمونه $m3$ دارد که البته درصد افزایش وزن این نمونه قابل ملاحظه است و یک نکته منفی بشمار می‌رود. کمترین مقدار مربوط به نمونه مبنا یعنی $m1$ است. همانطور که انتظار می‌رود اضافه کردن چنین صفحاتی همواره در مقاومت سازه در مقابل خمش اثر مثبت دارد. از روابط تئوریک نیز این نکته مشهود است که اضافه شدن لنگر سطح، مقاومت بیشتری در مقابل خمش ایجاد می‌کند.

۲- وجود یا عدم وجود صفحه انتهایی اثر قابل ملاحظه‌ای در مقاومت خمشی ندارد.

۳- چون در نمونه‌های $m8$ و $m9$ که همان نمونه‌های $m4$ و $m5$ با صفحه انتهایی است، عدد به دست آمده برای ضریب سختی خمشی نسبی، بزرگتر از عدد



شکل ۱۳- نمودار ستونی مقایسه ضریب سختی خمشی نمونه‌های m10 تا m15 با ضریب سختی خمشی نمونه مبنا (m1)



شکل ۱۴- نمودار ستونی مقایسه ضریب سختی پیچشی نمونه‌های m10 تا m15 با ضریب سختی پیچشی نمونه مبنا (m1)

جای این نقطه که در انتهای آزاد نمونه قرار دارد نقطه‌ای دیگر، به عنوان مثال نقطه C در شکل (۳) که در $\frac{1}{3}$ طول نمونه واقع شده، مبنا قرار می‌گرفت، نمودار دیگری بدست می‌آمد که در شکل (۱۵) مشخص شده است. این نمودار با نمودار شکل (۱۴) از لحاظ مقادیر درصدها برای بعضی نمونه‌ها متفاوت است. جستجوی علت این مسئله با ملاحظه تغییر شکل نمونه‌ها، به عنوان مثال شکل (۱۶) و با رسم منحنی‌های مشخص شده در شکل (۱۷) صورت گرفته و تغییر مکان نقاط مختلف در طول نمونه‌های این گروه در آنها نشان داده شده است. در واقع هر منحنی نشانگر تغییر مکان نقاط مختلف در طول نمونه (از انتهای درگیر تا انتهای آزاد) است.

انتهایی است، تفاوت زیادی از لحاظ مقاومت در مقابل زوج نیرو ندارد. با دقت در اشکال مربوط به تغییر شکل این نمونه‌ها تحت بارگذاری مذکور مشاهده شده است که وجود یک صفحه عرضی در محل اعمال زوج نیرو (صفحه انتهایی) از لوزی شدن مقطع نمونه جلوگیری می‌کند و این نکته است که مقاومت زیادی در مقابل این نوع بارگذاری ایجاد می‌کند. در نمونه‌های بدون صفحه انتهایی هر نوع از صفحات تقویت کننده که چنین اثری (جلوگیری از لوزی شدن) دارد مقاومتی نزدیک به مقاومت نمونه مبنا که دارای صفحه انتهایی است از خود نشان می‌دهد.

تحلیل نمونه‌های گروه دوم

همانطور که ذکر شد در این گروه اثر صفحات عرضی مورد بررسی قرار گرفته است. محاسبه مقادیر نسبی مقاومت خمشی و مقاومت پیچشی این گروه در مقایسه با نمونه مبنا نیز با استفاده از روابط (۲) و (۴) صورت گرفته است و بدین ترتیب نمودارهای نشان داده شده در اشکال (۱۲) و (۱۴) برای مقایسه ضریب سختی خمشی و ضریب سختی پیچشی آنها به دست آمده است.

نکات قابل توجه در نمودارها به قرار زیر است:

در خمش وجود و یا عدم وجود صفحات عرضی اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد و محل قرار گیری صفحات عرضی و تعداد آنها نیز تأثیری در این نکته نمی‌گذارد. همانطور که مشاهده می‌شود مقاومت تمام نمونه‌ها در مقابل خمش تقریباً یکسان است.

در پیچش

۱- نمونه‌های m13 و m15 که مشابه با نمونه مبنا دارای صفحه انتهایی است مقاومتی تقریباً برابر نمونه مبنا از خود نشان می‌دهد. کمترین میزان مقاومت مربوط به نمونه m10 است که هیچ صفحه تقویت کننده‌ای در آن وجود ندارد.

۲- در بررسی این گروه از نمونه‌ها مشابه با گروه قبلی نقطه B مبنای مقایسه است. در صورتی که به

انتهایی ندارد. این نمونه ها از انتهای درگیر تا محل قرار گرفتن آخرین صفحه عرضی رفتاری مشابه با نمونه مبنا و از آن به بعد رفتاری مشابه با نمونه m10 از خود نشان می دهند. این مطلب قابل مشاهده است که نمونه m10 که دارای هیچگونه صفحه تقویت کننده نیست، از انتهای درگیر تا انتهای آزاد خود شرایطی متفاوت با دیگر نمونه ها دارد و تغییر مکان نقاط آن کاملاً بیشتر از بقیه است. با مشاهده این منحنی و توضیحات فوق روشن می شود که چرا وقتی مبنای مقایسه نقطه ای دیگر واقع در طول نمونه ها در نظر گرفته شده، ضریب سختی نسبی برای نمونه های m10، m11، m12 و m14 متفاوت از حالتی که مبنای مقایسه نقطه B است، به دست آمده است.

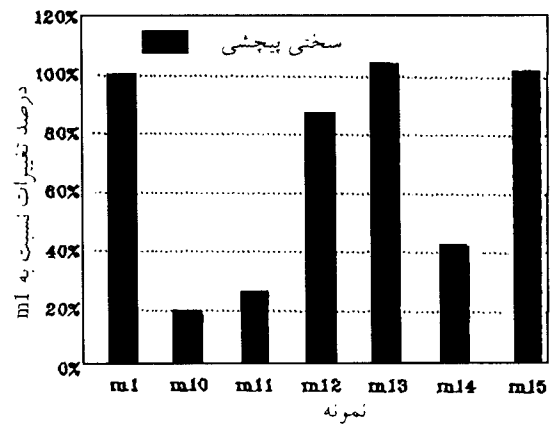
تحلیل نمونه های گروه سوم

گروه سوم نمونه ها که شامل چهار نمونه است، مشابه گروه های قبل مورد بررسی قرار گرفته است. در این گروه به شکل مشابهی صفحات تقویت کننده مورد استفاده واقع شده است. تفاوت بین نمونه ها تنها در اندازه این صفحات است. در اینجا هم از روابط (۳) و (۴) استفاده و نمودارهای ستونی اشکال (۱۸) و (۱۹) برای نشان دادن اثر این نوع صفحات تقویت کننده رسم شده است. از بررسی نمودارهای مقایسه ای نکات زیر مشخص شده است:

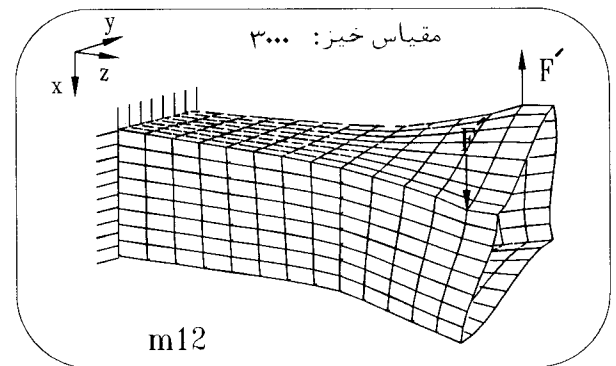
در خمش

۱- نمونه m19 نه تنها در این گروه بلکه در تمام نمونه های بررسی شده بالاترین میزان مقاومت در مقابل بار خمشی را دارا است و بالاترین درصد افزایش ضریب سختی خمشی یعنی ۱۳۸ درصد برای آن به دست آمده است. بقیه نمونه ها نیز مقاومت مناسبی از خود نشان می دهد. کمترین مقدار را نمونه m16 دارد که ۱۱۹ درصد است. با توجه به درصد کم افزایش وزن آن نسبت به نمونه مبنا (۱۰۹ درصد)، این مقاومت مورد توجه قرار گرفته است.

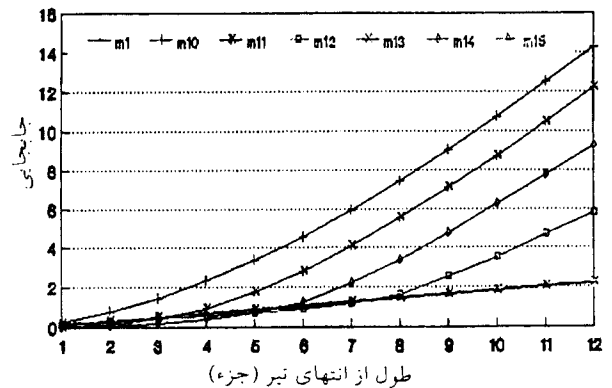
۲- تغییر ابعاد صفحات تقویت کننده از لحاظ وزن



شکل ۱۵- نمودار ستونی مقایسه ضریب سختی پیچشی نمونه های m10 تا m15 با ضریب سختی پیچشی نمونه مبنا (m1) وقتی که نقطه C (شکل ۳) مبنای مقایسه است

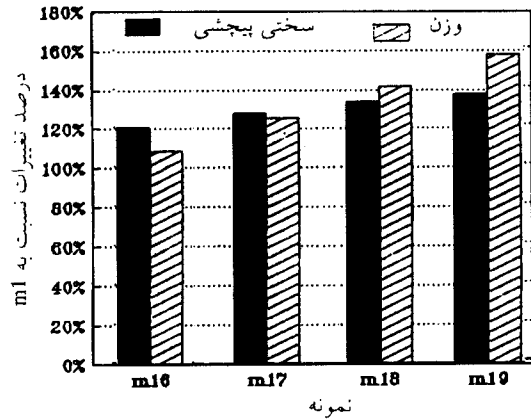
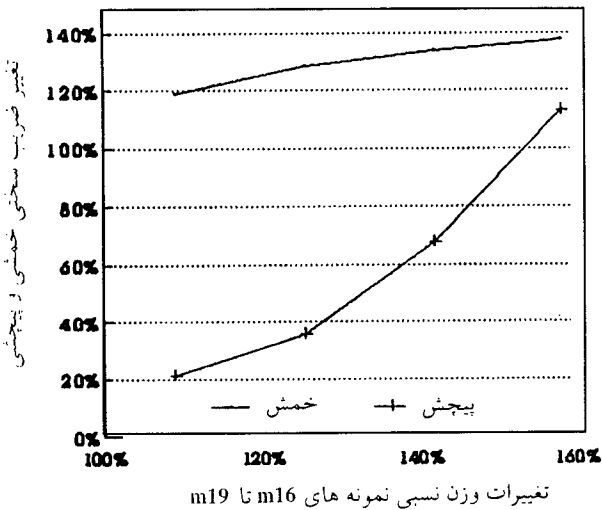


شکل ۱۶- یکی از نمونه های گروه دوم تحت پیچش



شکل ۱۷- چگونگی تغییر مکان نقاط مختلف در طول نمونه های گروه دوم تحت اعمال زوج نیرو

بدین ترتیب مشخص شده که تغییر مکان نقاط مختلف نمونه ها با صفحه انتهای (m1، m13 و m15) تقریباً مشابه یکدیگر است. نمونه های m11، m12 و m14 دارای صفحات تقویت کننده عرضی هستند و صفحه



شکل ۱۸- نمودار ستونی مقایسه ضریب سختی خمشی نمونه های m16 تا m19 با ضریب سختی خمشی نمونه مبنا (m1)

شکل ۲۰- منحنی تغییر ضریب سختی خمشی و پیچشی نسبی نمونه های m16 تا m19 در مقابل تغییر وزن نسبی این نمونه ها

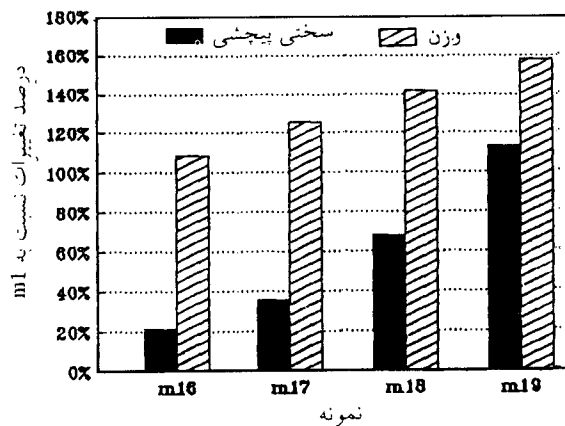
که هدف افزایش مقاومت خمشی باشد، استفاده از این صفحات تقویت کننده با اندازه کوچکتر روش مناسبی است.

-در پیچش

۱- در اینجا هم نمونه m19 بالاترین درصد مقاومت را دارا است و مجدداً میزان این مقاومت نسبی در مقایسه با کلیه نمونه های بررسی شده تا کنون حداکثر است. اما در مقابل نمونه m16 مقاومت ناچیز حدود ۲۲ درصد را از خود نشان می دهد.

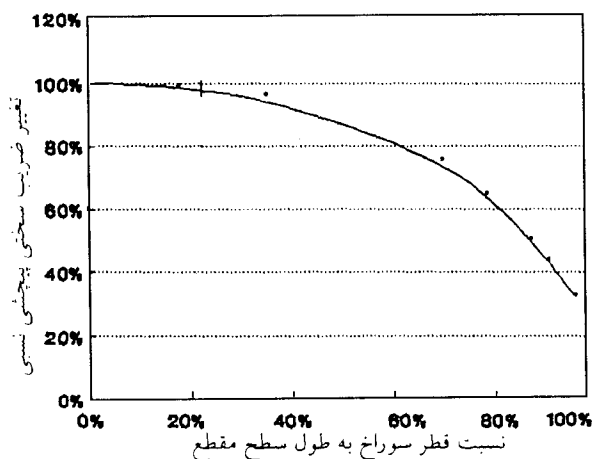
۲- در این گروه تغییر ابعاد صفحات اثر زیادی بر مقاومت نمونه ها در مقابل پیچش دارد. برای بررسی این اثر منحنی دیگری در شکل (۲۰) رسم شده است. این منحنی مقاومت نسبی پیچشی نمونه ها را در مقابل افزایش وزن نسبی آنها در مقایسه با نمونه مبنا نشان می دهد. شیب زیاد منحنی نشانگر آن است که افزایش وزن نمونه یا به عبارتی زیاد کردن اندازه صفحات تقویت کننده برای رسیدن به مقادیر مناسب ضریب سختی پیچش لازم است.

با رجوع به اشکال مربوط به نمونه های تغییر شکل یافته تحت اثر زوج نیرو (شکل ۲۱) رفتار این چهار نمونه مشخص می شود. روشن است که ابعاد صفحات تقویت کننده حداکثر می تواند مشابه وضعیت

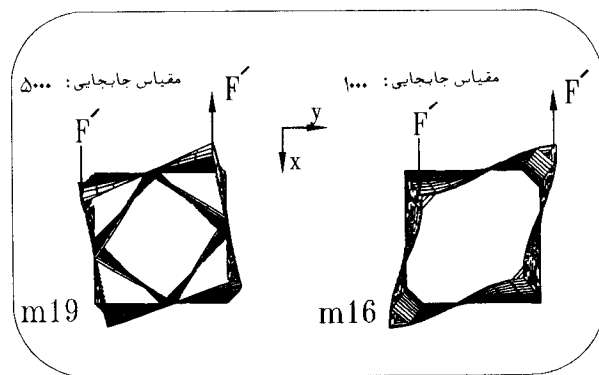


شکل ۱۹- نمودار ستونی مقایسه ضریب سختی پیچشی نمونه های m16 تا m19 با ضریب سختی پیچشی نمونه مبنا (m1)

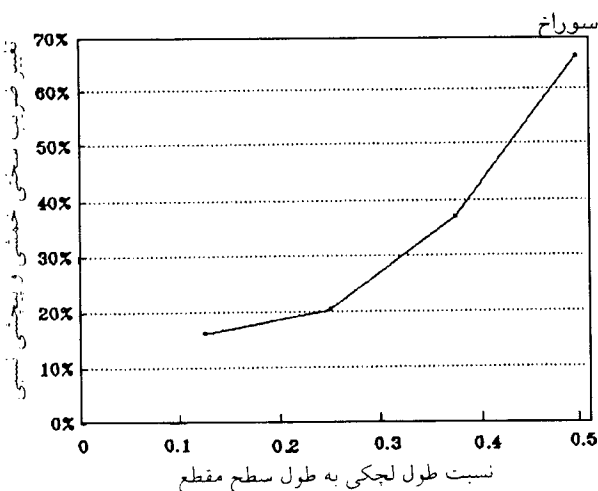
اختلاف قابل ملاحظه ای بین نمونه ها ایجاد می کند (نمونه m19 تقریباً ۱/۵ برابر نمونه m16 وزن دارد)، ولی از لحاظ مقاومت اختلاف بین آنها تا این حد نیست. برای مشخص شدن کامل وضعیت نسبی وزن نمونه ها و وضعیت نسبی مقاومت خمشی آنها منحنی نشان داده شده در شکل (۲۰) رسم شده است. در این منحنی محور افقی وزن نسبی نمونه ها در مقایسه با نمونه مبنا و محور قائم مقاومت نسبی آنها در مقایسه با نمونه مبنا است. از شکل منحنی مشخص است که هر چه عرض صفحات تقویت کننده و در نتیجه وزن نمونه زیاد می شود، شیب منحنی کاهش می یابد. یعنی از میزان افزایش مقاومت یا به عبارتی از اثر صفحات تقویت کننده کاسته می شود. پس در صورتی



شکل ۲۱- دو نمونه از گروه سوم نمونه ها تحت پیچش



شکل ۲۲- منحنی تغییر ضریب سختی پیچشی نسبی نمونه، با صفحه انتهایی سوراخدار (m20 تا m26) در مقابل تغییر قطر



شکل ۲۲- منحنی تغییر ضریب سختی خمشی و پیچشی نسبی نمونه های بالچکی (m27 تا m30) در مقابل تغییر اندازه نسبی لچکی ها

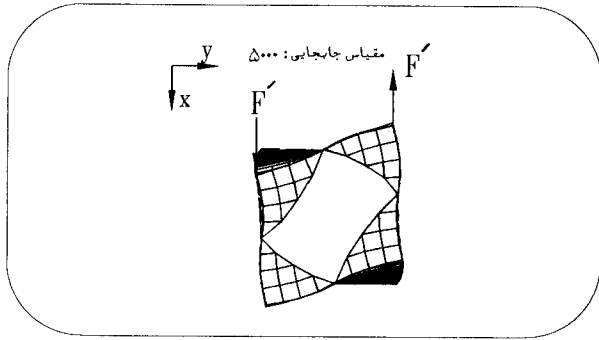
رسم شده است. منحنی اول (شکل ۲۲) تغییر ضریب سختی را در ازای افزایش مقدار نسبی قطر سوراخ و منحنی دوم (شکل ۲۳) تغییر ضریب سختی را در ازای افزایش اندازه ضلع لچکی ها نشان می دهد. همانطور که در شکل (۲۲) ملاحظه می شود سوراخهای با قطر تا حدود ۳۵ درصد ضلع صفحه انتهایی اثر زیادی ایجاد نمی کند (ضریب سختی حدود چهار درصد کاهش پیدا کرده است)، اما برای درصدهای بالاتر میزان تغییرات زیاد می شود و واقع مقاومت موجود به سرعت کاهش می یابد. در نمونه ای که نسبت قطر سوراخ به ضلع صفحه انتهایی

در نظر گرفته شده در نمونه m19 باشد. در این نمونه حالت لوزی شدن مقطع مشاهده نمی شود و در واقع به همین دلیل است که درصد بالاتری از مقاومت نسبی برای آن به دست آمده است. حالت لوزی شدن در نمونه m16 کاملاً مشهود است، که بیانگر مقاومت ناچیز آن در مقایسه با نمونه مبنا است. دو نمونه m17 و m18 در وضعیت بینابینی قرار گرفته است.

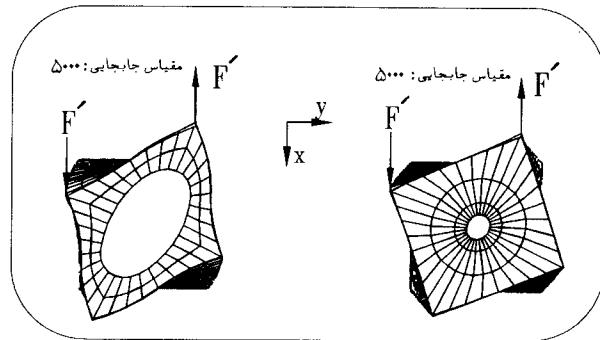
تحلیل نمونه های گروه چهارم

این گروه با ایجاد سوراخی در صفحه انتهایی نمونه مبنا به دست آمده و در نمونه های مختلف قطر سوراخ تغییر داده شده است. البته در قسمتی از نمونه های بررسی شده در این گروه به جای صفحه انتهایی چهار لچکی نصب شده است که نمونه های مختلف با بزرگ و کوچک کردن لچکی ها به دست آمده است. پس در واقع دو زیر گروه بررسی شده است: زیر گروه اول شامل صفحه انتهایی با سوراخی در وسط آن و زیر گروه دوم نمونه هایی با چهار لچکی بجای صفحه انتهایی.

همانطور که قبلاً اشاره شد وجود یا عدم وجود صفحه انتهایی اثر قابل ملاحظه ای در ضریب سختی خمشی ندارد. بنابراین سوراخ کردن این صفحه هم بی اثر است. خمش این نمونه ها مورد بررسی قرار نگرفته است. در بررسی مقاومت پیچشی برای دو زیر گروه به جای رسم نمودار ستونی دو منحنی



شکل ۲۵- نمونه m30 تحت پیچش



شکل ۲۴- دو نمونه با صفحه انتهایی سوراخدار تحت بارگذاری پیچشی

۱- بالاترین مقاومت خمشی در مقایسه با نمونه مینا (m1) را نمونه m19 دارد. پس از این نمونه، نمونه m3 مقاومت خمشی زیادی از خود نشان می‌دهد. برای به دست آوردن مقاومت خمشی بالا با توجه به شرایط هندسی سازه مورد نظر می‌توان هر یک از دو روش اضافه کردن پره‌های مقاومتی را مورد استفاده قرار داد. لازم است به افزایش وزن این دو نمونه در مقایسه با نمونه مینا که حدود ۱/۵ برابر است، توجه شود.

۲- نمونه m16 با وجود افزایش وزن کم نسبت به نمونه مینا، مقاومت خمشی مناسبی دارد. بنابراین روش مناسب افزایش مقاومت خمشی استفاده از پره‌های مقاومتی به شکل استفاده شده در گروه سوم نمونه‌ها و با اندازه کوچک است.

۳- پره‌های مقاومتی افقی اثر قابل ملاحظه‌ای در مقاومت خمشی سازه ندارد. بنابراین سوراخ کردن صفحه انتهایی نمونه مینا در مقاومت خمشی آن بی‌تأثیر است.

۴- استفاده از صفحات افقی در یک سازه جعبه‌ای شکل به منظور توزیع مناسب نیروهای اعمالی بر سازه مطرح است. این نکته در مقایسه تغییر شکل سطح مقطع نمونه‌های m4 و m5 با نمونه‌های m8 و m9 مشخص می‌شود. در این نمونه‌ها با حذف صفحه انتهایی تغییر شکل ناخواسته‌ای در جهت عرضی در نمونه ایجاد می‌شود و در واقع نقشی که این صفحه افقی دارد، توزیع مناسب نیرو بر سازه است.

آن حدود ۹۵ درصد است، ضریب سختی پیچشی حدود ۳۳ درصد نمونه مینا است.

شکل (۲۴) دو نمونه دارای صفحه انتهایی سوراخدار تحت بارگذاری پیچشی را نشان می‌دهد. حالت تغییر شکل سطح مقطع نمونه‌ها در این شکل دیده می‌شود.

در گروه دوم با توجه به شکل (۲۳) مشخص می‌شود که وجود لچکی‌ها به جای صفحه انتهایی با ضلع $\frac{1}{4}$ ضلع این صفحه تقریباً بی‌تأثیر است و مقاومت پیچشی این سازه با مقاومت پیچشی جعبه بدون صفحه انتهایی فرق قابل ملاحظه‌ای ندارد. در نمونه‌ای که از لچکی‌ها با بزرگترین اندازه ممکن، یعنی $\frac{1}{4}$ اندازه صفحه انتهایی استفاده شده است، بالاترین مقاومت پیچشی نسبی در چهار نمونه بررسی شده یعنی ۶۶ درصد به دست آمده است. این مقدار تقریباً با مقاومت پیچشی صفحه انتهایی با سوراخ به قطر ۷۸ درصد ضلع آن صفحه برابر است. شکل (۲۵) تغییر شکل نمونه m30 از این گروه را نمایش می‌دهد.

نتیجه گیری

پس از تحلیل ۳۰ نمونه ایجاد شده در چهار گروه مورد بررسی، برای استفاده مناسب از پره‌های مقاومتی در سازه‌های جعبه‌ای شکل، نتایج زیر را می‌توان گرفت:

به عنوان پره مقاومتی استفاده شده است، رفتار سازه تا محل نصب آخرین صفحه افقی مشابه نمونه m1 و از آن نقطه تا انتهای آزاد سازه مشابه با نمونه m10 است.

۱۰- سوراخ کردن صفحه انتهایی باعث کاهش مقاومت پیچشی می‌شود. با زیاد شدن قطر سوراخ میزان این کاهش مقاومت، مطابق با منحنی ارائه شده در شکل (۲۲)، افزایش می‌یابد. بنابراین در صورتی که اجبار در سوراخ کردن صفحه انتهایی وجود داشته باشد، لازم است با استفاده از منحنی مذکور میزان کاهش مقاومت پیچشی را مشخص کرد.

۱۱- استفاده از لچکی به جای صفحه انتهایی روش مناسبی نیست. البته اضافه کردن لچکی‌ها به نمونه m10 مقاومت پیچشی این نمونه را افزایش می‌دهد. برای به دست آوردن مقاومت مناسب لازم است حتی‌الامکان از لچکی‌های با ابعاد بزرگتر استفاده کرد.

۵- در بین ۲۰ نمونه بررسی شده، m19 بالاترین مقاومت پیچشی را دارا است. کمترین مقاومت مربوط به نمونه m10 است که هیچ پره مقاومتی در آن به کار گرفته نشده است.

۶- با توجه به وزن نمونه‌ها مناسب‌ترین نمونه از لحاظ مقاومت پیچشی نمونه مبنا (m1) است.

۷- وجود یا عدم وجود صفحه انتهایی اثر مشخصی در مقاومت پیچشی سازه دارد. این اثر با ملاحظه تغییر شکل سطح مقطع دو نمونه m1 و m10 به وضوح دیده می‌شود. در واقع صفحه انتهایی از لوزی شکل شدن سطح مقطع جلوگیری می‌کند. باید توجه کرد که این صفحه در محل اعمال زوج نیرو واقع شده است.

۸- هر نوع از پره‌های مقاومتی که از لوزی شکل شدن سطح مقطع جلوگیری کند، مقاومت پیچشی سازه را افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهد داد. در واقع عملکرد این نوع پره‌های مقاومتی در سازه جعبه‌ای شکل مشابه عملکرد صفحه انتهایی است.

۹- در نمونه‌های گروه دوم که در آنها از صفحات افقی

مراجع

- 1 - Verson Wilkins Ltd. and Press Iran Co. (Address in Ref No.13) Conf. "mechanical press design" Tehran 12th Jul 1992
- 2 - P.E. International "strategic study report, summary" metal forming machinery, manufacturing project, Press Iran Co. (Tehran, Apadana, Nobakht, 8th Alley No.2) 1992
- 3 - Mäkelt, Heinrich translated by Hardbottle "mechanical presses" Edward Arnold (Publishers) Ltd. 1968
- 4 - Mäkelt, H. "Calculation of statically indeterminate closed press frames", Werkst. Bert, V93(2), 1960, pp 91-93
- 5 - Oehler, Gerhard "hydraulic presses" Edward Arnold (publishers) Ltd. 1968
- 6 - "Rupture of column of Hydraulic Presses" Mashinenschaden, V32(5,6), 1952, pp90-92
- 7 - Bahl, R.C. Pandey, P.C. "a comparative study of computer aided methods for the design of machine tool structures" Mech Eng Bull V8 n1-2 Mar-Jun 1977 P33-38
- 8 - Weck, Manfred "handbook of machine tool. Vol2: construction and mathematical analysis" Wiley Heyden Ltd. 1984
- 9 - Patterson, C (univ of sheffield, Engl) "computationally efficient plate elements for machine tool structures" Proc of the Int mach tool Des and Rec Conf 18th London England, Macmillan press Ltd. Engl and New York, NY 1978 p545-551

- 10 - Hinduja,S Cowley,A "*the finite element method applied to the deformation analysis of thin-walled columns*" proceedings of the 12th machine tool development and research conference , macmillan. 1971 p455-47
 - 11 - Hinduja,S Nakra,B.C. "*study of the torsional stiffness of machine tool columns with different forms of ribbing*" Proc of the Int Conf on prod Eng 27th, New Delhi, India, Aug27-Sep4 1977 published by Inst of Eng (India), Calcutta 1977 V1 8p
 - 12 - Ram,Sohan Dube,J.N. (dep of mech eng Banaras Hindu Univ, Varanasi, India) "*analysis of a milling machine structure for ribbing of the cross-arm*" Computers and Structures V30 n6 1988 p1355-1358
 - 13 - Farkas,J. "*structural synthesis of press frames having columns and cross beams of welded box cross-section*" Acta technica (Budapest) V79 n1-2 1974 p191-201
 - 14 - Golnic,E.R. Radichenco,I.G. Bobryashov,A.V. "*finite element research on the eccentric shaft and columns of a crank press as contacting three dimensional parts with the design clearances*" Soviet forging and sheet metal stamping technology n1 1989 p31-37
 - 15 - Haft,Fred "*application of finite element method computation in the design of two column presses*" Thyssen Technische Berichte V13 n2 1981 p112-117
 - 16 - Geraci,D. (univ di palermo, 1st di costr di macch, Italy) Manasa,B. Rizza,I. Virzi,Mariotti "*application of the finite element method to the study of the press field in the frame of a mechanical press*" G. tec Ital V43 n1 Jan-Feb 1987 p17-24
-