

نقش اعضای پیرامونی در رفتار پانلهای برشی خمیده

سهیلا پیروی

دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

صالح امین یاوری

دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران

محمدتقی مهدوی*

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران

tmfmahdavi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۱/۱۹

چکیده:

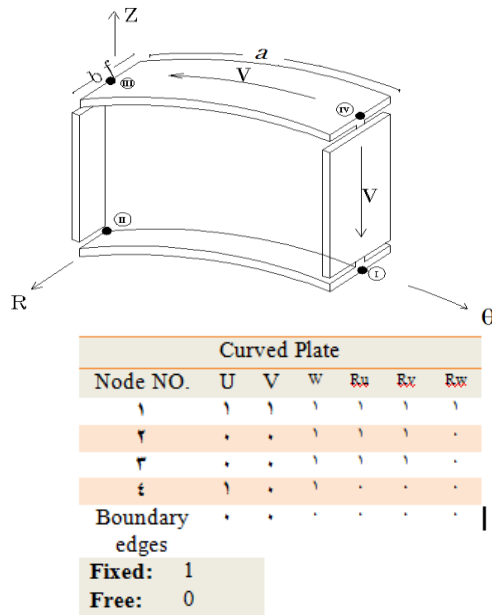
در سالهای گذشته مطالعه ورقهای جدار نازک مسطح و انواع مسائل مربوط به آن مورد توجه بوده و این در حالیست که مطالعات منسجمی در رابطه با فرمولبندی رفتار ورقهای خمیده وجود ندارد. بنابراین با توجه به رشد روزافزون استفاده از پانلهای خمیده در زمینههای مختلف، در این تحقیق، اثر سختی پیچشی، خمشی و محوری اعضای پیرامونی بر روی رفتار کمانش برشی و پس کمانشی پانلهای فولادی برشی خمیده با استفاده از نرم افزار ABAQUS و روش Riks بررسی شده است. بر طبق نتایج بدست آمده، سختی خمشی و محوری تأثیری بر افزایش مقاومت کمانشی پانلها ندارند درحالیکه سختی پیچشی بر مقاومت کمانشی الاستیک پانلها موثر است. رفتار غیرخطی پانلها تابع نسبت سختی اعضای پیرامونی به سختی پانل است. سختی اعضای پیرامونی بر ظرفیت پس از کمانش و روند گسترش تنش های اصلی پانلها تأثیر ندارند.

کلید واژگان: پانلهای خمیده، کمانش برشی، اعضای پیرامونی، ظرفیت پس از کمانش.

۱- مقدمه

۳- هندسه مدل، بارگذاری و شرایط پیرامونی

در این تحقیق تحلیل عددی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود [10] ABAQUS v6.10 و روش Riks انجام شده است. اغلب به دست آوردن راه حل‌های غیرخطی تعادل استاتیکی برای مسایل ناپایدار که در آنها پاسخ جا به جایی-بار می‌تواند غیر خطی و پیچیده باشد، ضروری است (یعنی در طول دوره پاسخ، بار و/یا جا به جایی ممکن است در حین حل کاهش یابد). روش اصلاح شده Riks الگوریتمی در آباکوس است که اجازه می‌دهد تا راه حل موثر برای این موارد شکل بگیرد. شکل کلی پانل‌های تحلیل شده در شکل ۱ مشاهده می‌شود. از آنجایی که المان‌ها مورد استفاده در پانل S4RShell هستند، لذا به عنوان بار دلخواه به گره‌های میانی بار واحد و به 4 گره گوشه‌ای باری معادل 0.5 واحد به صورت برشی اعمال می‌شود. در طول لبه‌های پانل، اعضای پیرامونی عمود بر لبه پانل تعبیه شده است. برای بررسی اثر سختی اعضای پیرامونی بر رفتار پانل‌ها، یک پارامتر متغیر و پارامترهای دیگر ثابت نگه داشته می‌شود. با توجه به اینکه برای مدل‌سازی اعضای پیرامونی با المان Shell لازم است ضخامت (t_f) و ارتفاع (h) اعضا مشخص شوند، نمی‌توان به راحتی تنها یک پارامتر را بدون تغییر سایر پارامترها تغییر داد. بنابراین برای آنکه بتوان فقط یکی از پارامترها را تغییر داد، از المان Beam استفاده می‌گردد. سپس برای ادامه تحقیق، صحت نتایج تحلیل با در نظر گرفتن اعضای پیرامونی مستطیلی به ارتفاع $h=200$ میلی‌متر بررسی شده است.

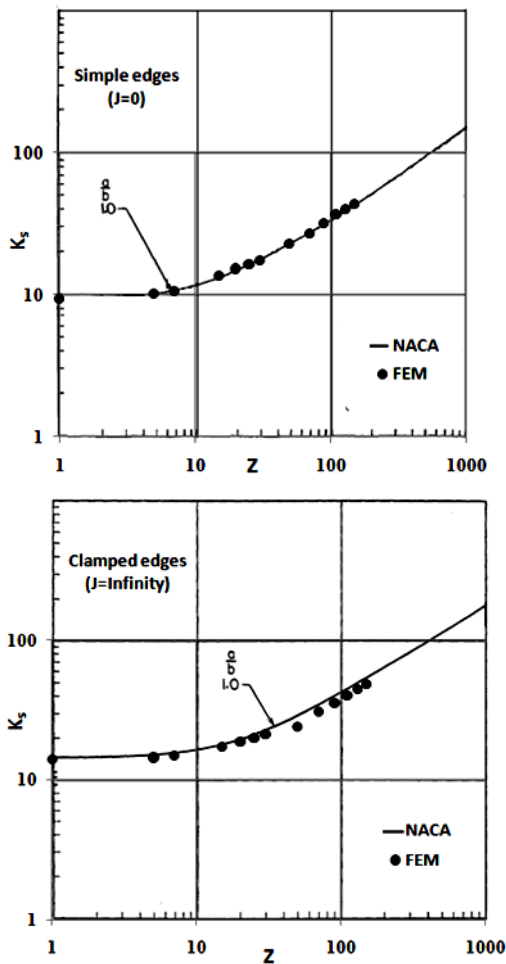


شکل ۱- نحوه تعریف شرایط پیرامونی برای برش خالص

ورق‌های دارای خمیدگی در افق، کاربردهای متعددی در پل‌های ساخته شده از تیر ورق، ساختمان‌ها و سازه‌های هوافضایی و نیز دریایی دارند. در ورق‌های فولادی اگر تنش فشاری به مقدار بحرانی خود برسد کمانش می‌کنند. این امر به پارامترهای مختلفی از جمله ابعاد و شرایط مرزی ورق بستگی دارد. معمولاً ورق‌ها به عنوان اجزای تشکیل دهنده یک سازه به کار می‌روند و نحوه اتصال آن‌ها به اعضای مجاور و سختی مجموعه اعضای متصل به آنها تعیین کننده شرایط مرزی ورق‌ها می‌باشد. این امر با شرایط تکیه‌گاهی ساده که معمولاً در طراحی در نظر گرفته می‌شود در تضاد است. بنابراین با توجه به رشد روزافزون استفاده از پانل‌های خمیده در زمینه‌های مختلف و توجه به این امر که شرایط مرزی این پانل‌ها در سازه‌های مختلف با توجه به شرایط متفاوت است، در این تحقیق به بررسی اثر سختی پیچشی، خمشی و محوری اعضای پیرامونی بر روی رفتار کمانش برشی و پس‌کمانشی پانل‌های فولادی برشی خمیده با انحنا و ابعاد هندسی مختلف پرداخته شده است.

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

۱۵۰ سال پیش [1] Fairban با انگیزه‌ی طراحی پل‌هایی با مقطع لوله‌ای مطالعه‌ی کمانش ورق‌های خمیده را آغاز کرد. [2] Badtrotf و سپس Stein [3] و هم‌کارانش موفق شدند که تابع تغییرشکل پانل‌های برشی خمیده در افق را هنگامی که هر چهار لبه‌ی آن دارای شرایط تکیه‌گاهی ساده باشد، بدست آورند. [4] Legget کمانش برشی در پانل‌های خمیده را مورد بررسی قرار داد و راه حلی را برای نوارهای بلند با انحنا کم تحت بار محوری و با شرایط تکیه‌گاهی ساده یا را با استفاده از معادلات دیفرانسیل Dean بیان کرد. [5] Kromm این راه حل را برای بازه بزرگ‌تری از انحناها با شرایط تکیه‌گاهی ساده گسترش داد. تطابق خوبی بین این تحقیق و کار [6] Batdorf و همکارانش وجود دارد. همچنین Kuhn و Levin [7]، بر مبنای آزمایش‌هایی که انجام دادند روابطی را برای تعیین تنش برشی بحرانی ورق‌های خمیده بدست آوردند و [8] Chiarito آزمایش‌هایی را برای تعیین مقاومت برشی ورق‌های خمیده‌ی تقویت شده انجام داد. همچنین در سال‌های اخیر [9] Edlund مطالعه‌ی رفتار پانل‌های خمیده استوانه‌ای کوتاه با تکیه‌گاه ساده را بررسی کردند. C. Bisagni و همکاران [12] فرمول تحلیلی برای کمانش موضعی و تجزیه و تحلیل پس‌کمانش پانل‌ها دادند. F. Tornabene و همکاران [13] تجزیه و تحلیل استاتیکی پانل‌های کامپوزیت چند لایه خمیده و تقویت شده توسط الیاف خمیده ارائه کردند.



شکل ۲: مقایسه‌ی ضرایب تنش برشی عددی و تئوریک تنش برشی بحرانی پانل‌ها با پارامتر خمیدگی مختلف (نمودار قسمت بالا برای شرایط تکیه گاهی ساده و قسمت پایین گیردار)

۵- اثر سختی اعضای پیرامونی بر رفتار کمانش برشی پانل

های خمیده

در اشکال ۳ تا ۵ اثر سختی‌های مختلف بر میزان افزایش مقاومت کمانشی بین دو حالت حدی (0→سختی) و (بینهایت→سختی) را نشان می‌دهد. درصد افزایش ضریب بار کمانشی با ξ نشان داده شده است که K_{min} ضریب بار کمانشی پانل با سختی مینیمم اعضای پیرامونی و K_{max} ضریب بار کمانشی پانل با سختی ماکزیمم اعضای پیرامونی است.

$$\xi = \frac{K_{max} - K_{min}}{K_{min}} \times 100 \quad (5)$$

همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش سختی محوری، در پارامترهای خمیدگی کم ضریب بار بحرانی کمانشی 2% افزایش می‌یابد و با افزایش پارامتر خمیدگی این میزان به 8% می‌رسد.

رفتار فولاد به صورت الاستیک-کاملاً پلاستیک با خواص مکانیکی تنش جاری شدن $F_y=345$ Mpa، ضریب پواسون $\nu=0.3$ و ضریب ارتجاعی مصالح $E=200$ Gpa در نظر گرفته شده است. ارتفاع و ضخامت پانل‌ها در تمام نمونه‌ها ثابت و برابر $b=1000$ و $t_w=3$ میلیمتر است. در این تحقیق پانل‌هایی با پارامتر خمیدگی $Z=1$ تا $Z=150$ و با نسبت جانبی $\beta = \frac{a}{b}$ ، 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 در نظر گرفته شده است. پارامتر خمیدگی (Z) پانل‌های خمیده با شعاع r ، برای در نظر گرفتن تأثیر انحنای افقی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Z = \frac{b^2}{rt_w} \sqrt{1-\nu^2} \quad (1)$$

ابعاد مش باید به اندازه‌ای باشد که منجر به نتایج قابل قبول گردد و زمان انجام آنالیز نیز معقول باشد. آنالیز حساسیت بر روی یک پانل مربعی خمیده در افق به ابعاد $1000 \times 1000 \times 3$ میلیمتر و $Z=50$ انجام شده و مش بندی با ابعاد هر جز معادل 20×20 میلی‌متر بدست آمده است.

برای بررسی اثر سختی خمشی، پیچشی و محوری اعضای پیرامونی، پارامترهای زیر که نسبت سختی اعضای پیرامونی به سختی پانل هستند در نظر گرفته شده است.

$$\alpha = \frac{GJ}{\frac{Et_w^3}{12(1-\nu^2)}} \quad (2)$$

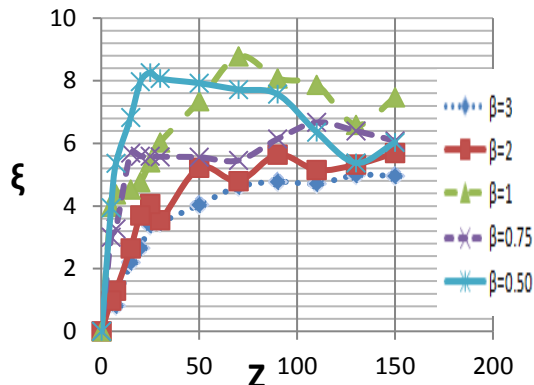
$$\beta = \frac{EI}{\frac{Et_w^3}{12(1-\nu^2)}} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{EA}{\frac{Et_w^3}{12(1-\nu^2)}} \quad (4)$$

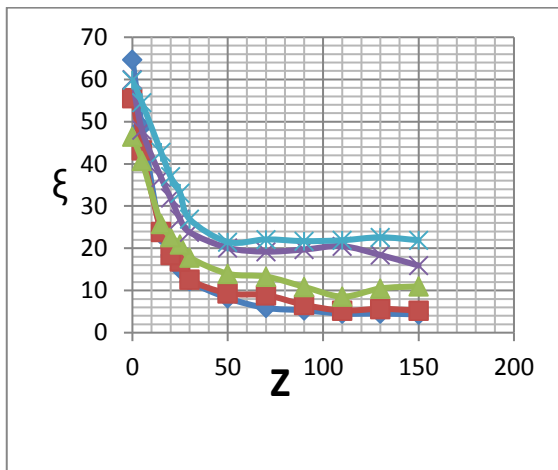
که در آن α ، β و λ به ترتیب بیانگر نسبت سختی پیچشی (GJ)، خمشی (EI) و محوری اعضای پیرامونی به سختی صفحه (D) هستند.

۴- بررسی صحت مدل‌ها و نتایج بدست آمده

سازمان NACA [2]، نمودارهایی را برای ضریب بار بحرانی کمانش برشی پانل‌های خمیده با شرایط تکیه‌گاهی ساده و گیردار (K_s) در مقابل پارامتر خمیدگی رسم نموده است. در شکل ۲ ضرایب تنش برشی بحرانی که از آنالیز عددی بدست آمده‌اند با ضرایب تئوریک ارائه شده توسط NACA مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود تطابق بسیار خوبی بین این دو دیده می‌شود و به این ترتیب صحت مدل‌ها تایید می‌شود.



شکل ۴ - میزان افزایش ضریب بار کمانشی با افزایش سختی خمشی



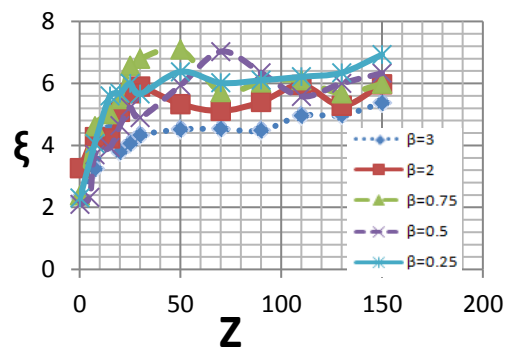
شکل ۵ - میزان افزایش ضریب بار کمانشی با افزایش سختی پیچشی

۶ - اثر سختی اعضای پیرامونی بر رفتار پس از کمانش

برشی پانل‌های خمیده

در پانل‌هایی با پارامتر خمیدگی زیاد، ناپایداری رفتار پانل‌ها و کاهش بار پس از کمانش در حدی است که حداکثر باربری پانل برابر با مقاومت کمانشی آن می‌باشد. این پانل‌ها حتی هنگامی که اعضای پیرامونی بیشترین سختی را دارند، یا از خود مقاومت پس از کمانش نشان نمی‌دهند یا مقاومت پس از کمانش بسیار ناچیزی دارند.

بنابراین، اگرچه با افزایش سختی محوری مقدار ξ پانل‌ها افزایش می‌یابد، اما این افزایش ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که در پارامترهای خمیدگی کم، تاثیر سختی خمشی به سمت صفر میل می‌کند و با افزایش پارامترهای خمیدگی این مقدار به حداکثر ۹٪ می‌رسد. به عبارتی افزایش سختی خمشی، تاثیری بر افزایش مقاومت کمانشی پانل‌ها ندارد. در شکل ۵ اثر سختی پیچشی مورد بررسی قرار گرفته است. همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار ξ پانل‌ها بستگی به نسبت جانبی آن‌ها دارد. بطور مثال در حالت $Z=1$ میزان ξ برای نسبت‌های جانبی ۰.۵، ۱، ۳ به ترتیب ۶۰، ۴۵، ۶۵ درصد می‌باشد. همچنین با افزایش پارامتر خمیدگی، اثر سختی پیچشی بر ξ پانل‌ها کاهش می‌یابد. این کاهش در ξ با افزایش نسبت جانبی با سرعت بیشتری تغییر می‌کند به طوری که در حالت پانل با نسبت جانبی ۰.۵ و ۳ به ترتیب به $\frac{1}{3}$ و $\frac{1}{14}$ کاهش می‌یابد و در پانل‌ها $Z \geq 50$ با نسبت جانبی بزرگتر از یک، می‌توان از مقدار ξ پانل‌ها صرف‌نظر کرد. همچنین نتایج حاکی از این است که در پانل‌ها با $Z \geq 50$ در یک نسبت جانبی ثابت، ξ تقریباً ثابت باقی می‌ماند. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سختی پیچشی اعضای پیرامونی بر مقاومت کمانشی پانل‌ها موثر است و این افزایش حداکثر ۶۵ درصد می‌باشد. بنابراین صرفاً افزایش سختی پیچشی اعضای پیرامونی برای افزایش مقاومت کمانشی معقول نیست و باید از راهکارهای دیگر مانند استفاده از سخت‌کننده‌های عرضی و طولی مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۳ - میزان افزایش ضریب بار کمانشی با افزایش سختی

جدول ۱ - اثر سختی اعضای پیرامونی روی قابلیت باربری پانل با $Z=5$

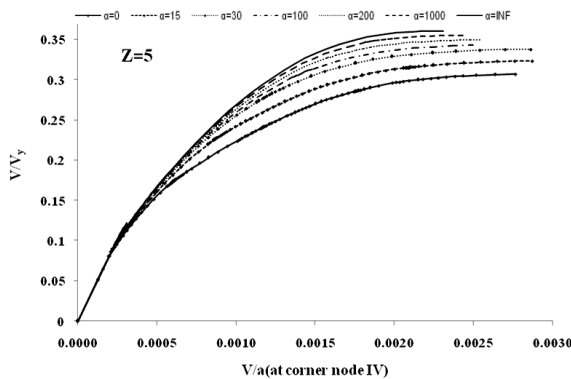
پارامتر خمیدگی $Z=5$	نسبت جانبی نسبت سختی اعضای پیرامونی به سختی صفحه	$\beta=1$										
		$\alpha=0$	$\alpha=5$	$\alpha=50$	$\alpha=1000$	$\alpha=3000$	$\alpha=10000$	$\alpha=INF$	$\lambda=0$	$\lambda=INF$	$\omega=0$	$\omega=INF$
	مقاومت کماتشی	49.55	59.625	61.36	64.67	66.75	70.18	70.86	67.785	70.33	68.57	71.04
	مقاومت پس کماتشی	124.55	123.85	130.3	130.10	131.80	131.49	133.80	123.69	130.203	134.56	143.19
	مقاومت نهایی	1741	183.47	191.70	194.80	198.50	201.67	204.70	191.48	200.533	203.13	214.23

تمام واحدها بر حسب کیلو نیوتن و متر میباشد

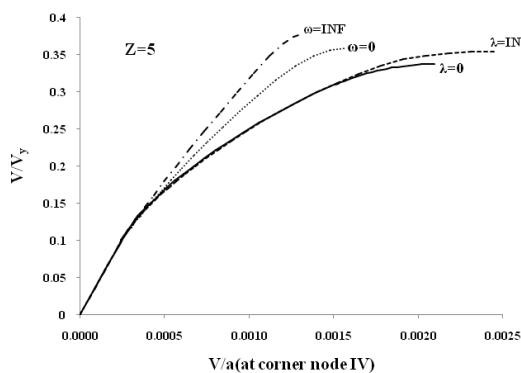
جدول ۲ - اثر اعضای پیرامونی روی قابلیت باربری پانل‌های خمیده

Z	β	T_b/t_w	*	۳	۶	۹	۱۵
		α	*	۲۸	۲۲۴	۷۵۶	۳۵۰۰
1	1	مقاومت کماتشی	۴۵,۶۱	۴۷,۹۶	۵۵,۸۸	۵۹,۴۳	۶۰,۰۶
		مقاومت پس کماتشی	۱۰۶,۹۹	۱۱۸,۰۴	۱۱۷,۶۱	۱۱۴,۷۶	۱۱۵,۱۸
		مقاومت نهایی	۱۵۲,۶۰	۱۶۶,۰۰	۱۷۳,۴۸	۱۷۴,۱۹	۱۷۵,۲۴
1	2	مقاومت کماتشی	۳۲,۱۶	۳۵,۵۴	۴۲,۹۵	۴۷,۳۲	۴۹,۰۲
		مقاومت پس کماتشی	۸۴,۹۱	۹۱,۰۰	۹۸,۹۲	۹۵,۴۱	۹۴,۲۱
		مقاومت نهایی	۱۱۷,۰۷	۱۲۶,۵۴	۱۴۱,۸۷	۱۴۲,۷۳	۱۴۳,۲۳
5	1	مقاومت کماتشی	۴۵,۶۰	۴۹,۳۶	۵۷,۲۱	۵۹,۲۵	۶۰,۳۷
		مقاومت پس کماتشی	۱۰۴,۲۸	۱۰۸,۲۱	۱۱۰,۹۵	۱۱۱,۰۲	۱۱۰,۹۱
		مقاومت نهایی	۱۴۹,۸۸	۱۵۷,۵۷	۱۶۸,۱۶	۱۷۰,۲۷	۱۷۱,۲۷
7	3	مقاومت کماتشی	۳۹,۰۵	۴۳,۶۶	۵۰,۰۳	۵۲,۶۸	۵۴,۳۴
		مقاومت پس کماتشی	۸۴,۸۹	۸۷,۵۷	۹۳,۳۵	۹۵,۹۴	۹۴,۸۲
		مقاومت نهایی	۱۲۳,۹۴	۱۳۱,۲۳	۱۴۳,۳۸	۱۴۸,۶۲	۱۴۹,۱۶
15	1	مقاومت کماتشی	۵۴,۰۶	۵۸,۲۸	۶۶,۸۱	۶۸,۷۳	۷۰,۸۲
		مقاومت پس کماتشی	۸۷,۶۵	۹۲,۱۱	۹۳,۲۲	۹۴,۲۱	۹۳,۶۹
		مقاومت نهایی	۱۴۱,۷۱	۱۵۰,۳۹	۱۶۰,۰۳	۱۶۲,۹۴	۱۶۴,۵۱
15	2	مقاومت کماتشی	۴۱,۰۲	۴۸,۶۷	۵۶,۸۶	۵۷,۷۳	۶۰,۴۹
		مقاومت پس کماتشی	۵۵,۷۹	۵۵,۲۲	۵۹,۳۳	۶۳,۵۱	۶۲,۵۵
		مقاومت نهایی	۹۶,۸۱	۱۰۳,۸۹	۱۱۶,۱۸	۱۲۱,۲۴	۱۲۳,۰۴
20	0.75	مقاومت کماتشی	۸۶,۱۳	۹۰,۸۹	۹۵,۱۷	۹۶,۴۸	۹۷,۲۰
		مقاومت پس کماتشی	۶۹,۶۲	۷۰,۳۴	۷۲,۸۶	۷۳,۲۲	۷۳,۶۰
		مقاومت نهایی	۱۵۵,۷۵	۱۶۱,۲۳	۱۶۸,۰۳	۱۶۹,۶۹	۱۷۰,۷۹
25	1	مقاومت کماتشی	۶۸,۰۶	۷۵,۷۰	۸۰,۹۰	۸۲,۹۶	۸۴,۱۱
		مقاومت پس کماتشی	۶۵,۶۷	۶۵,۷۸	۶۹,۹۳	۶۹,۸۸	۷۰,۵۰
		مقاومت نهایی	۱۳۳,۷۳	۱۴۱,۴۸	۱۵۰,۸۳	۱۵۲,۸۴	۱۵۴,۶۱

تمام واحدها بر حسب کیلو نیوتن و متر هستند



شکل ۶- منحنی نیرو تغییر مکان جانبی پانل با نسبت جانبی یک و سختی پیچشی مختلف



شکل ۷- منحنی نیرو تغییر مکان جانبی پانل با نسبت جانبی یک و سختی خمشی و محوری مختلف

۷- اثر اعضای پیرامونی رفتار پس از تسلیم مصالح پانل های خمیده

در شکل ۸ نسبت بار اولین نقطه‌ی تسلیم مصالح به بار نهایی پانل های خمیده با نسبت جانبی یک، در مقابل پارامتر خمیدگی رسم شده است. هنگامی که ضخامت اعضای پیرامونی از دو برابر ضخامت پانل کوچکتر است، این نسبت با افزایش اندازه ابعاد پیرامونی کاهش می‌یابد. به عبارتی نقاط تسلیم شده در پانل‌ها با اعضای مرزی کوچکتر با سرعت بیشتری گسترش می‌یابد.

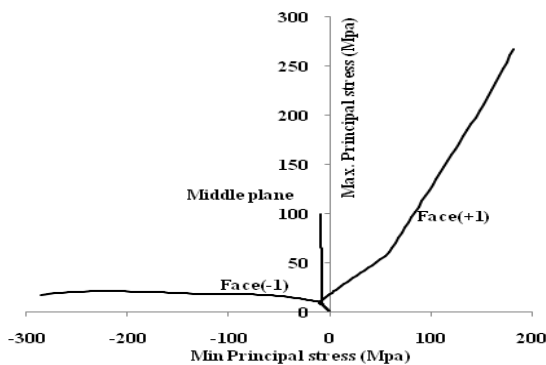
هنگامی که ضخامت اعضای پیرامونی از دو برابر ضخامت پانل بزرگتر است، این نسبت با افزایش اندازه ابعاد پیرامونی افزایش می‌یابد. به عبارتی نقاط تسلیم شده در پانل‌ها با اعضای مرزی بزرگتر با سرعت بیشتری گسترش می‌یابد. به عبارتی رفتار غیرخطی پانل‌ها تابع نسبت سختی اعضای پیرامونی به سختی پانل است.

منحنی نیرو در مقابل تغییر مکان جانبی گره IV پانل‌ها پس از انجام تحلیل غیرخطی و استخراج نتایج برای پارامترهای خمیدگی و سختی‌های مختلف در اشکال ۶ و ۷ رسم شده و در جدول ۱ نتایج حاصل آورده شده است. از آنجا که تحلیل پانل‌ها با نسبت جانبی مختلف نتایج یکسانی را بدست می‌دهد، برای اختصار نتایج مربوط به پانل‌های با نسبت جانبی یک و $Z=5$ به عنوان نمونه آورده شده است. در منحنی‌ها V نیروی برشی وارده و V_y نیروی برشی حد جاری شدن می‌باشد. نیروی برشی حد جاری شدن به تنش حد جاری شدن مصالح و ابعاد هندسی پانل بستگی دارد و به شکل زیر قابل بیان است.

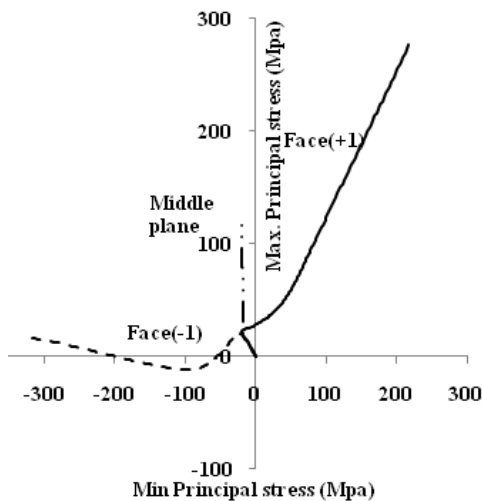
$$V_y = at\tau_y \quad (۶)$$

τ_y ، تنش برشی حد جاری شدن می‌باشد که از تقسیم تنش جاری شدن مصالح بر $\sqrt{3}$ بدست می‌آید. اشکال ۶ و ۷ نشان می‌دهد که تا قبل از رسیدن به سطح بار کماتش پاسخ‌ها خطی است و سختی همه پانل‌ها یکسان است. به عبارتی سختی خمشی، پیچشی و محوری اعضای پیرامونی تأثیری در سختی پانل‌های خمیده قبل از کماتش ندارند.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، با افزایش سختی پیچشی اعضای پیرامونی، منحنی‌ها با موازات منحنی مربوط به ضعیف‌ترین حالت بوده و کل نمودار در بخش پس از کماتش، به اندازه افزایش ایجاد شده در بار کماتشی صفحه به سمت بالا حرکت کرده است و در نتیجه مقاومت پس از کماتش پانل‌ها با سخت تر شدن اعضای پیرامونی، تغییر چندانی نمی‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سختی خمشی و محوری اعضای پیرامونی نیز مقاومت پس از کماتش پانل‌ها تغییر چندانی نمی‌کند. تغییر مختصری هم که با سخت تر شدن اعضای پیرامونی در مقاومت پس از کماتش مشاهده می‌شود به علت آن است که اعضای پیرامونی در مرحله پس از کماتش و به علت تغییر شکل زیاد جانبی صفحه در اطراف صفحه ایجاد خرابی و ویراندل می‌کنند. در نتیجه اعضای پیرامونی ضعیف مانند اعضای پیرامونی قوی قادر به گسترش مقاومت پس از کماتش هستند و پانل‌ها برای گسترش مقاومت پس از کماتش نیاز به اعضای پیرامونی ندارند. در جدول ۲ صحت نتایج تحلیل با در نظر گرفتن اعضای پیرامونی مستطیلی به ارتفاع $h=200$ میلی‌متر بررسی شده است.



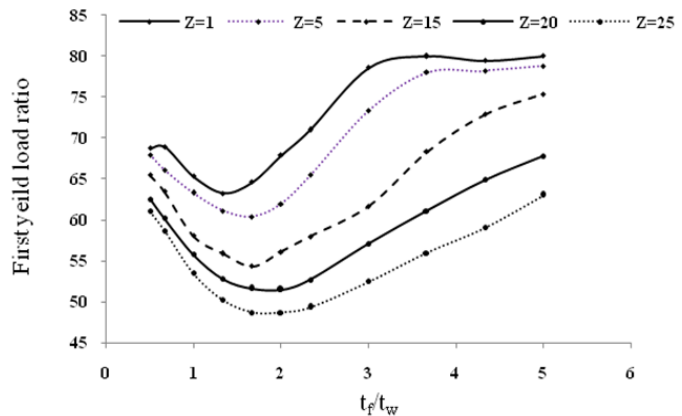
شکل ۹- بررسی تاریخچه تنش‌های اصلی در پانل، $Z=1$, $\beta=3$, $t_f=1.5\text{mm}$



شکل ۱۰- بررسی تاریخچه تنش‌های اصلی در پانل، $Z=5$, $\beta=1$, $t_f=15\text{mm}$

۹- نتیجه‌گیری

رفتار کماتشی و پس کماتشی پانل‌های برشی خمیده با در نظر گرفتن اعضای پیرامونی بررسی شد. بر طبق نتایج بدست آمده، تغییر سختی اعضای پیرامونی اثری بر سختی اولیه پانل‌ها قبل از کماتش ندارند. افزایش سختی خمشی و محوری تأثیری بر افزایش مقاومت کماتشی پانل‌ها ندارد درحالی‌که افزایش سختی پیچشی اعضای پیرامونی بر مقاومت کماتشی الاستیک پانل‌ها موثر است. همچنین افزایش مقاومت پس از کماتش ناشی از افزایش سختی اعضای پیرامونی قابل صرف نظر کردن است. همچنین رفتار غیرخطی پانل‌ها تابع نسبت سختی اعضای پیرامونی به سختی پانل است در حالی‌که نسبت سختی اعضای پیرامونی به سختی پانل تأثیری در روند گسترش تنش‌های اصلی پانل‌های خمیده ندارد.



شکل ۸- اثر اعضای پیرامونی بر نسبت بار اولین نقطه‌ی تسلیم مصالح به بار نهایی پانل‌ها با نسبت جانبی یک و پارامتر خمیدگی مختلف

۸- اثر اعضای پیرامونی در روند گسترش تنش‌های اصلی پانل‌های خمیده

در شکل ۹ و ۱۰ تاریخچه تنش‌های اصلی کششی و فشاری در نقطه میانی پانل، در مراحل مختلف بارگذاری نشان داده شده است. وجهی که به سمت انحنای قرار دارد Face(-1) و وجه دیگر Face(+1) نامیده شده است. تا قبل از وقوع کماتش برشی، زاویه تنش‌های اصلی نسبت به افق در تمام نقاط ۴۵ درجه می‌باشد و پس از کماتش، زاویه بین تنش‌ها افزایش می‌یابد. تنش اصلی فشاری Face(-1) تقریباً ثابت است و تنش‌های اصلی وجه Face(+1) ماهیت کششی دارد. در صفحه میانی ضخامت پانل نیز تنش‌های اصلی فشاری ثابت است و فقط تنش‌های اصلی کششی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اندازه و جهت تنش‌های اصلی تغییر می‌کند و زاویه بین آن‌ها برای رسیدن به تعادل کاهش می‌یابد. بنابراین پانل‌ها برای گسترش مقاومت پس از کماتش نیاز به اعضای پیرامونی ندارند. این روند در پانل‌های با ضخامت اعضای پیرامونی مختلف یکسان است و فقط اندازه تنش‌های اصلی با افزایش ضخامت اعضای پیرامونی افزایش می‌یابد. به عبارتی نسبت سختی اعضای پیرامونی به سختی پانل تأثیری در روند گسترش تنش‌های اصلی پانل‌های خمیده ندارد.

۱۰- مراجع

1. Athiannan, K., Palaninathan, R. (2004), "Buckling of cylindrical shells under transverse shear", *Thin-Walled Structures*, 42, 1307-1328.
2. Batdorf, S.B., Stein, M., Schildcrout, M. (1947), "Critical Shear Stresses of Long Plates with Transverse Curvature," NACA TN No. 1346.
3. Karman, Th. Von, Tsein, H. S. (1939), "The Buckling of Spherical Shells by External Pressure," *J. Aero. Sci.*, 43-50.
4. Leggett, D. M. A. (1937), "The Elastic Stability of a Long and Slightly Bent Plate under Uniform Shear," In: *Proceedings of the Royal Society*, A162, 62-83.
5. Kromm, A. (1939), "The Limit Stability of Curved Plate Strip under Shear and Axial Stresses," NACA TN No. 898.
6. Batdorf, S. B. (1947), "Simplified Method of Elastic-Stability Analysis for Thin cylindrical Shells," NACA TN No. 1342.
7. Kuhn, Paul, and Levin, L. Ross, (1944), "An Empirical Formula for the Critical Shear Stress of Curved Sheets," NACA WR L-58.
8. Chiarito, Patrick T., (1944), "Some Strength tests of Stiffened Curved Sheets Loaded in Shear," NACA WR L-259.
9. Edlund, B.L.O., (2007), "Buckling of metallic shells: buckling and postbuckling behavior of isotropic shells, especially cylinders," *Struct. Control Health Monit.*, 14, 693-713.
10. ABAQUS 6.10.1 reference manual, ABAQUS Inc.
11. J.P. Martins , L. Simões da Silva , A. Reis, (2014) "Ultimate load of cylindrically curved panels under in-plane compression and bending—Extension of rules from EN 1993-1-5", *Thin-Walled Structures* 77 (2014) 36-47.
12. C. Bisagni R. Vescovini (2009) "Analytical formulation for local buckling and post-buckling analysis of stiffened laminated panels" *Thin-Walled Structures* 47 (2009) 318-334
13. F. Tornabene, N. Fantuzzi, M. Baccocchi, (2016) "Higher-order structural theories for the static analysis of doubly curved laminated composite panels reinforced by curvilinear fibers", *Thin-Walled Structures* 102 (2016) 222-245

The Role of Peripheral Members in the Performance of Curved Shear Panels

Sohyla Peyrovi

Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Salehamin Yavari

CHALUS branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran.

Taghi Mahdavi

Maragheh branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran.

Abstract:

In recent years, we have witnessed a considerable increase in the study of thin flat sheet and various issues related to it. However, comprehensive studies on the formulation of curved plates are rare. Due to the growing use of curved panels in various fields, in this study, the effects of torsional stiffness, bending stiffness and axial stiffness of the peripheral members on shear buckling and post buckling behavior of curved steel panels were investigated. To do this, ABAQUS software and Riks method were used. The findings revealed that flexural stiffness and axial stiffness do not increase buckling resistance of panels while the torsional stiffness on elastic buckling resistance of panels was found to be effective. The nonlinear behavior of panels is the function of stiffness ratio of peripheral members to stiffness of panels. Stiffness of peripheral members on capacity after buckling and development of principal stresses of panels were not affected.

Keywords: Curved Panels, Shear Buckling, Peripheral Members, Capacity after Buckling