



مطالعه‌ای بر آثار جوشهای ترکیبی طولی و عرضی در رفتار فراکمانشی پانلهای تقویت‌شده آلومینیومی

عباس بیات‌فر^۱، محمدرضا خدمتی^۲

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی کشتی‌سازی و صنایع دریایی

a_bayatfar@yahoo.com

چکیده

نواحی حرارت‌دیده ناشی از جوشکاری آلیاژهای آلومینیومی دارای ضعف استحکام مکانیکی قابل ملاحظه‌ای بوده‌اند. در مقایسه با پانلهای تقویت‌شده فولادی، رفتار فراکمانشی پانلهای تقویت‌شده آلومینیومی نه تنها به تنش‌های پس‌ماند و تغییرشکل‌های اولیه بلکه به مورد مزبور نیز حساس می‌باشد. از آنجا که تکنولوژی جوشکاری و اثرات آن بر روی رفتار سازه‌ای پانلهای تقویت‌شده آلومینیومی، به قدر کافی و به طور مناسب در دستورالعمل‌ها و کدهای طراحی لحاظ نگردیده لذا مقاله حاضر در راستای تأمین ضروریات و نیازمندیهای موجود جهت درک و شناخت دقیق رفتار این جزء سازه‌ای ارائه گردیده است. در پانلهای تقویت‌شده مدنظر که در معرض بارگذاری فشاری درون‌صفحه‌ای طولی بوده، ترکیبی از جوشهای طولی و عرضی بکار گرفته شده است. با توجه به کاربرد گسترده روش اجزاء محدود در آنالیز سازه‌ای، انجام کار بر این اساس و به صورت تحلیل غیرخطی می‌باشد.

کلمات کلیدی: نواحی حرارت‌دیده- رفتار فراکمانشی- پانلهای تقویت‌شده آلومینیومی- فشار محوری

۱- کارشناس ارشد مکانیک (سازه‌های دریایی)

۲- استادیار دانشکده مهندسی کشتی‌سازی و صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر



۱. مقدمه

جوشکاری در مراحل ساخت و نصب سازه‌های آلومینیومی بکارگرفته شده در صنایع دریایی و از آن جمله پانلهای تقویت‌شده آلومینیومی، مورد استفاده قرارگرفته که بسته به شرایط کاری می‌تواند به صورت ترکیبی از خطوط جوش طولی و عرضی باشد. جوشکاری نیمه اتوماتیک MIG¹ از معمولترین روشهای موجود در سوارکردن سازه‌های آلومینیومی دریایی بوده که سالهای زیادی در حال بکارگیری است و در طی این مدت خود را به عنوان تکنیک قابل اعتمادی معرفی نموده و تا جایگزینی روشهای اصلاحی و بهبود یافته، قابل بکارگیری خواهد بود. ویژگی هدایت حرارتی بالای آلومینیوم در مقایسه با فولاد باعث گردیده که در حین عملیات جوشکاری، ناحیه حرارت‌دیده² در آلومینیوم وسیع‌تر بوده و بسته به نوع آلیاژ، دما، فرآیندها و پارامترهای جوشکاری، نرم‌شدگی³ و افت استحکامی را به همراه داشته باشد. این ضعف⁴ استحکام مکانیکی به نحوی است که در مقایسه با پانلهای تقویت‌شده فولادی، رفتار فراکمانشی پانلهای تقویت‌شده آلومینیومی نه تنها به تنش‌های پس‌ماند و تغییرشکل‌های اولیه بلکه به مورد مزبور نیز حساس می‌باشد. روند رو به رشد در بکارگیری پانلهای تقویت‌شده آلومینیومی در صنایع دریایی به همراه تجربیات محدود در این زمینه نظیر عدم لحاظ مناسب تکنولوژی جوشکاری و اثرات آن بر روی رفتار این جزء سازه‌ای در دستورالعمل‌ها و کدهای طراحی، موجب مدنظر قرارگرفتن زمینه کاری در این راستا شده که در مراحل اولیه آن بررسی حاضر انجام گردیده است. از جمله فعالیت‌های اخیر در این زمینه می‌توان به کارهای انجام‌شده توسط آقایان آلبرگ (Aalberg)[1]، زا (Zha)[2]، ریگو (Rigo)[3]، پیک (Paik)[4] و همکارانشان اشاره داشت.

1- Metal Inert Gas

2 - Heat Affected Zone

3- Softening

4- Deterioration



۲. مدلسازی المان محدود

- هندسه و گستره مدل

گستره مدل به صورت یک پانل تقویت شده سه دهانه در نظر گرفته شده که تشریح هندسه آن در شکل (۱) آمده است. پانل مزبور نمونه‌ای از پانلهای بکار گرفته شده در کاتامارانها بوده که شامل تقویت کننده‌های طولی نبشی و فریم‌های عرضی می‌باشد.

- خواص مواد

مواد به صورت ایزوتروپیک، دارای ضریب پواسانی معادل 0.3 و مدول کشسانی برابر 70475 مگاپاسکال می‌باشد. آلیاژ آن AA6082-T6 بوده که به دلیل اعمال دمای بالا در طول فرآیند جوشکاری، دارای افت استحکام قابل ملاحظه‌ای در نواحی حرارت دیده می‌باشد. منحنی‌های تنش- کرنش مواد موجود در نواحی اصلی و نواحی حرارت دیده ناشی از جوشکاری، براساس نتایج تجربی آلبرگ [۱] بوده که در شکل (۲) نشان داده شده است.

- مش بندی

به منظور بکارگیری المانهایی با قابلیت رفتار غیرخطی مناسب و نیز جابجائیهای بالا، از المان Shell43 استفاده گردیده است. المان مذکور که شماتیکی از آن در شکل (۳) آورده شده، دارای چهارگره بوده و در هر گره خود دارای سه جابجایی u ، v و w (در راستای x ، y و z) و همچنین سه چرخش R_x ، R_y و R_z (حول محورهای x ، y و z) می‌باشد. در این راستا، تعداد ۹۴۲۰ المان با هدف تأمین همگرایی و کسب نتایج مناسب در نظر گرفته شده است.



- شرایط مرزی

شرایط مرزی پانلهای تقویت شده مورد مطالعه، در امتداد لبه‌های طولی به صورت تکیه‌گاههای ساده غلطکی در نظر گرفته شده، به نحویکه در صفحه خودشان به یک اندازه و به سمت داخل دارای جابجایی می‌باشند. در فریمهای عرضی T1 و T4 که در واقع لبه‌های بارگذاری بوده، یک لبه ثابت و لبه دیگر دارای جابجایی مناسب می‌باشد. محل تقاطع فریمهای عرضی با ورق اصلی در راستای v مقید بوده، همچنین در این محل و بر روی محور تقارن مدل، قیودی در راستای u لحاظ گردیده است. شرایط مرزی مزبور را می‌توان در شکل (۴) مشاهده نمود.

- نواحی حرارت دیده ناشی از جوشکاری

در پانلهای تقویت شده مدنظر، بررسی حالت‌هایی با پروفیل‌های آلومینیومی اکستروود و غیراکستروود شده انجام گرفته که برای ساخت و مونتاژ آنها از روش معمول جوشکاری MIG استفاده گردیده است. با توجه به اثر قابل ملاحظه جوش‌های عرضی بر روی رفتار سازه‌ای و مقدار ظرفیت باربری پانلهای تقویت شده، ترکیبی از خطوط جوش طولی و عرضی مطابق شکل (۵) در نظر گرفته شده است. بر مبنای جوشکاری معمول MIG، گستره ناحیه مزبور در هر طرف خط جوش ۲۵ میلیمتر بوده که شماتیک آن را می‌توان در شکل (۶) دید.

- تغییر شکل اولیه

مدل نمودن تغییرشکلهای اولیه براساس تجربیات موجود بوده که در آن فشار جانبی یکنواختی بر روی کل سازه اعمال می‌گردد. این فشار به منظور باقی ماندن در محدوده الاستیک، کم در نظر گرفته شده به نحویکه خیز الاستیک خطی معادل ۲ میلیمتر (در راستای Y) در نقطه مرکزی پانل میانی ایجاد گردد. پس از این مرحله، جابجائیها در هر گره گرفته شده و جهت ایجاد شکل اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۷).



- بارگذاری

اگرچه در عمل اثر متقابل دیگر بارگذاریهای موجود را نیز می‌توان دید ولی در این مرحله از مطالعه مدنظر، تنها بارگذاری فشاری درون صفحه‌ای تک محوری لحاظ گردیده است. بارگذاری به صورت اعمال جابجایی مناسب بر گره‌های موجود در فریم عرضی T4 صورت گرفته، که می‌توان آن را در شکل (۴) مشاهده نمود.

۳. آنالیز المان محدود

با آنالیز انجام گرفته از طریق نرم‌افزار ANSYS، به بررسی اثرات جوشکاری در رفتار فراکمانشی پانلهای تقویت‌شده پرداخته شده است. در آنالیز، بار به صورت تدریجی اعمال گردیده و به منظور تسریع و تسهیل در همگرایی از خطی‌کردن معادلات استفاده شده است. معادلات حاصله با استفاده از روش نیوتن-رافسون (Newton-Raphson) حل گردیده است. منحنی‌های بی‌بعد تنش متوسط- کرنش متوسط و همچنین رفتار سازه در وقوع کماتش، شروع تسلیم‌شدگی و ماکزیمم ظرفیت باربری در اشکال (۸) و (۹) آورده شده که در آنها از معیار تسلیم ون مایزز (Von Mises) استفاده شده است.

۴. نتیجه‌گیری

پیچیدگیهای موجود در رفتار پانلهای تقویت‌شده ناشی از تأثیر پارامترهای زیاد و همچنین وابستگی و ارتباط متقابل آنها، موجب شده که در این سطح از فعالیت انجام گرفته تنها به نتایج کلی زیر بسنده گردد. مواردی که می‌تواند در معیارها و دستورالعمل‌های طراحی و همچنین ارائه فرمولهائی در این زمینه، مدنظر قرار گیرد.

وجود و موقعیت‌های مختلف جوش تأثیری در وقوع کماتش نداشته (شکل ۱۰) و در $\sigma / \sigma_y = 0.46$ و $\varepsilon / \varepsilon_y = 0.297$ مدلهای مختلف از پانلهای تقویت‌شده با تغییرشکل‌های



موضعی ورق و پیچشی تقویت کننده‌ها (که به طور همزمان در سه دهانه رخ داده) مواجه می‌گردند (اشکال ۸-الف و ۹-الف).

◀ در حین وقوع کمانش و پس از آن، هندسه و تعداد نیم‌موجها بخصوص در دهانه میانی پانلهای تقویت شده، متأثر از وجود و موقعیت‌های مختلف جوش می‌باشد (اشکال ۸ و ۹).

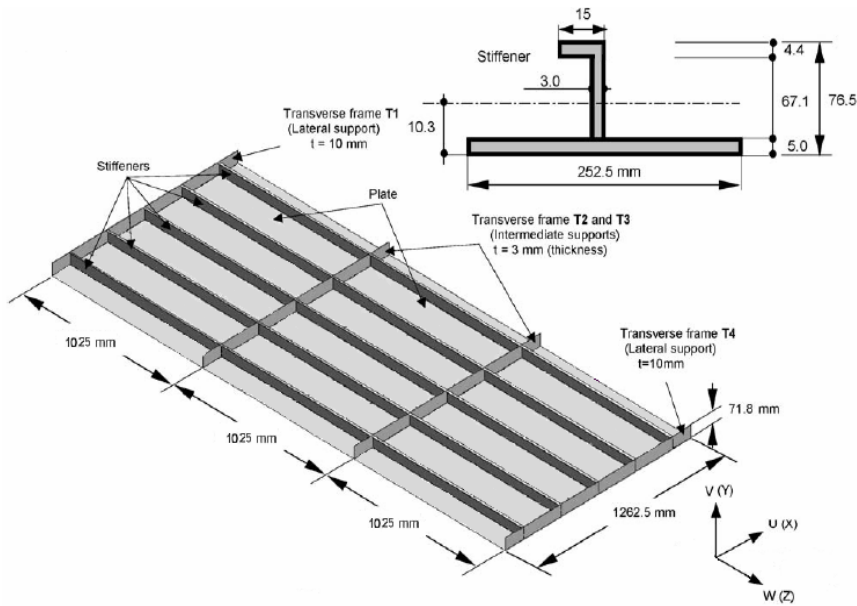
◀ تسلیم‌شدگی پس از وقوع کمانش اتفاق افتاده که وجود نواحی حرارت دیده ناشی از جوش منجر به شروع آن از این نواحی می‌گردد. موقعیت محلهای مربوط به آغاز تسلیم‌شدگی نیز متأثر از موقعیت‌های مختلف جوش بوده طوریکه برای مدل A+C در بخشی از خطوط جوش عرضی و برای مدل B+C در بخشی از خطوط جوش طولی مجاور به خطوط جوش عرضی می‌باشد (اشکال ۸-ب و ۹-ب).

◀ زمان شروع تسلیم‌شدگی در بارگذاری فشاری محوری تحت تأثیر محل قرارگیری نواحی جوش می‌باشد. به نحویکه تسلیم‌شدگی مدل B+C در $\varepsilon / \varepsilon_y = 0.31$ در حالیکه تسلیم‌شدگی مدل A+C در $\varepsilon / \varepsilon_y = 0.33$ رخ می‌دهد (شکل ۱۱).

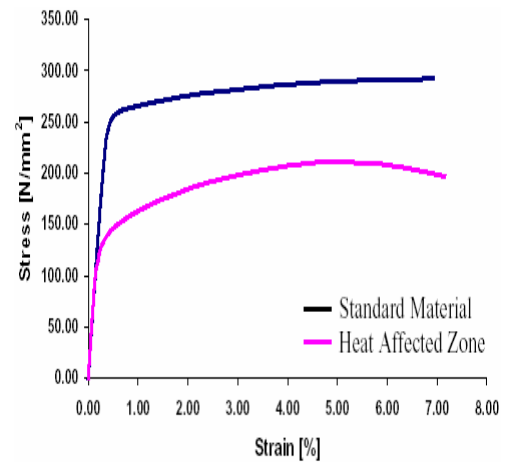
◀ رفتار پانلهای تقویت شده در ماکزیمم ظرفیت باربری بسته به موقعیت قرارگیری نواحی جوش متفاوت بوده (اشکال ۸-ج و ۹-ج) و مدل با پروفیل‌های اکستروود شده B+C در سطح بالاتری از باربری نسبت به مدل با پروفیل‌های غیراکستروود شده A+C قرار می‌گیرد. مقادیر مزبور در مقایسه با مدل بدون جوش (مدل مرجع) که دارای ظرفیت باربری برابر ۱۶۶/۶ مگاپاسکال بوده به ترتیب دارای افت‌هایی معادل ۱۲/۵۷٪ و ۱۹٪ می‌باشد (شکل ۱۲).

مراجع

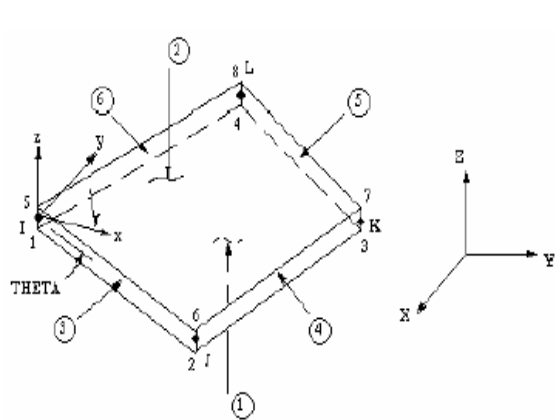
- [1] Aalberg A. ,et al. ,“Stiffened aluminium panels subjected to axial compression”, Thin-Walled Struct 2001;39:861–85.
- [2] ZhaY. ,et al.,“Experimental and numerical prediction of collapse of flatbar stiffeners in aluminium panels”, J Struct Eng 2003; 129 (2):160–8.
- [3] Rigo P. ,et al. ,“Sensitivity analysis on ultimate strength of aluminium stiffened panels”, Thin-Walled Struct 2003;16:437–468.
- [4] Paik J.K. ,Duran A.,“Ultimate strength of aluminum plates and stiffened panels for marine applications”, J. of Marine tech., 2004;Vol.41: No. 3, pp.108-121.



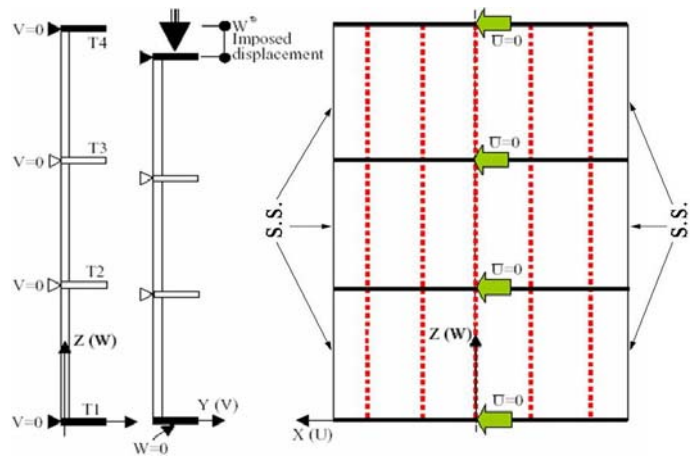
شکل ۱. پانلهای تقویت شده سه دهانه آلومینیومی



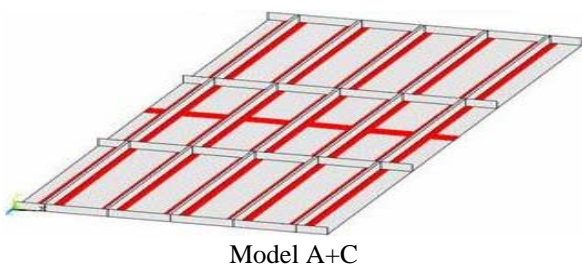
شکل ۲. نمودار تنش - کرنش مواد



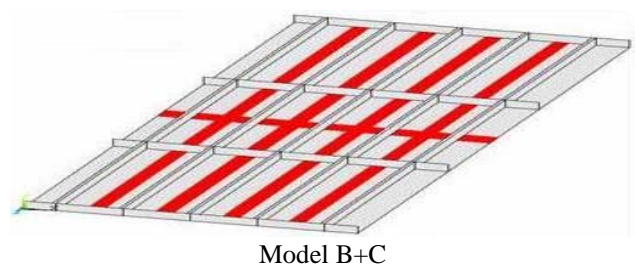
شکل ۳. المان 43 shell



شکل ۴. شرایط مرزی پانلهای تقویت شده

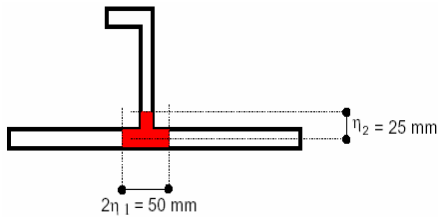


Model A+C

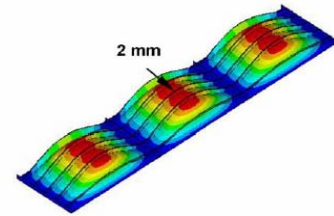
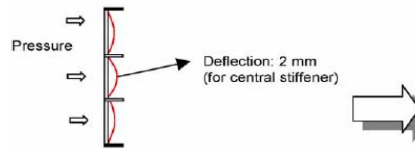


Model B+C

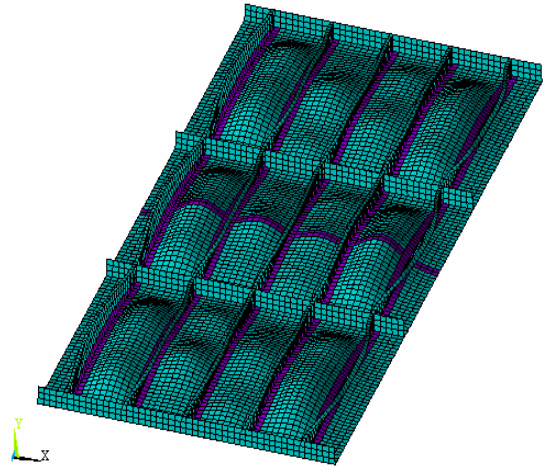
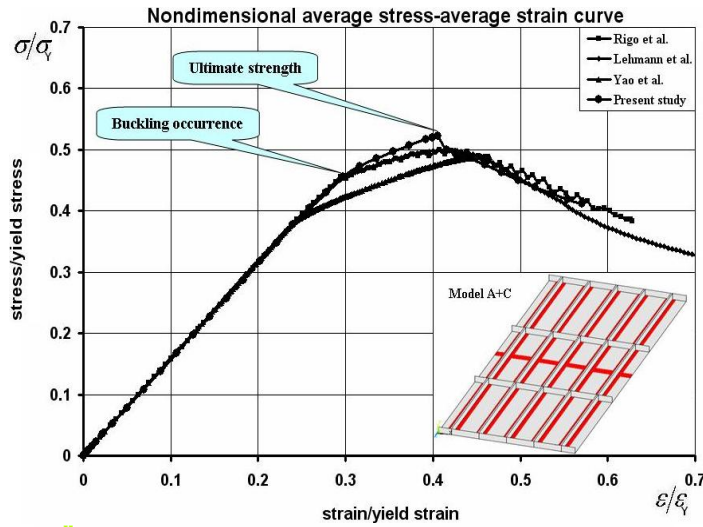
شکل ۵. موقعیت های خطوط جوش طولی و عرضی در پانلهای تقویت شده



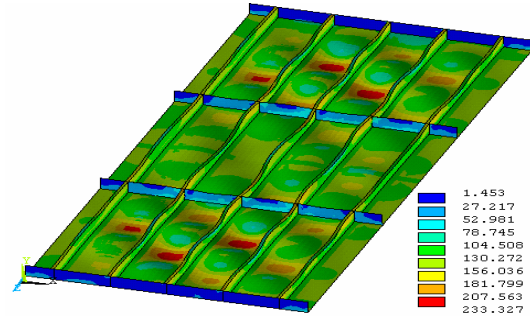
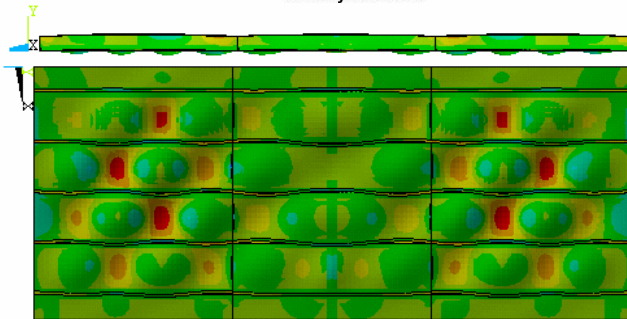
شکل ۶. گستره نواحی حرارت دیده



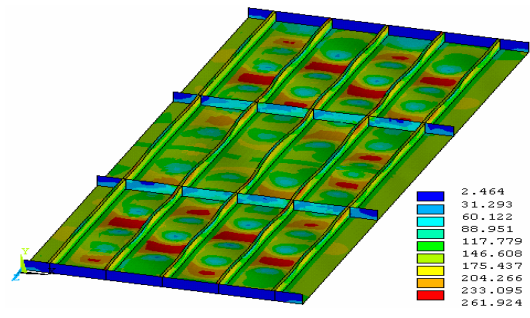
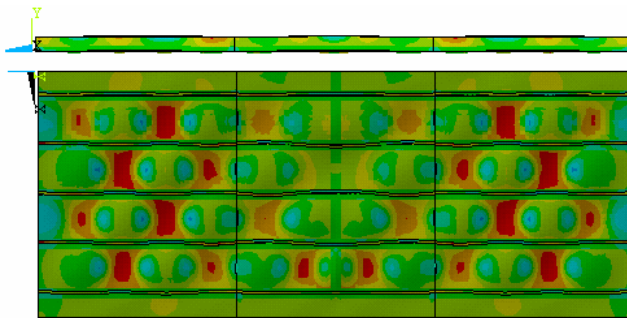
شکل ۷. روش ایجاد تغییر شکلهای اولیه



الف) مود تغییر شکل در وقوع کمانش

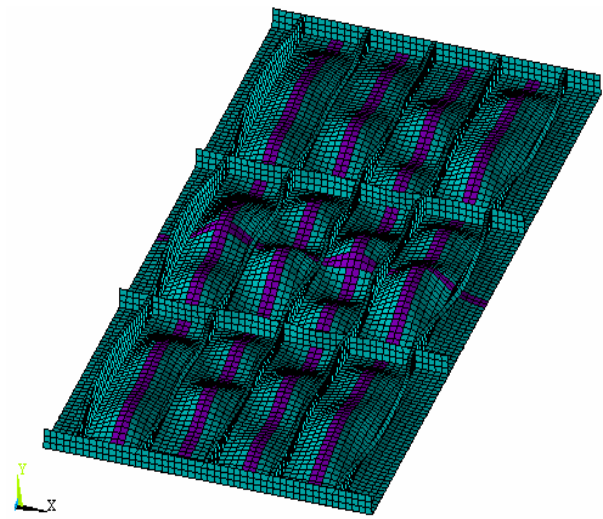
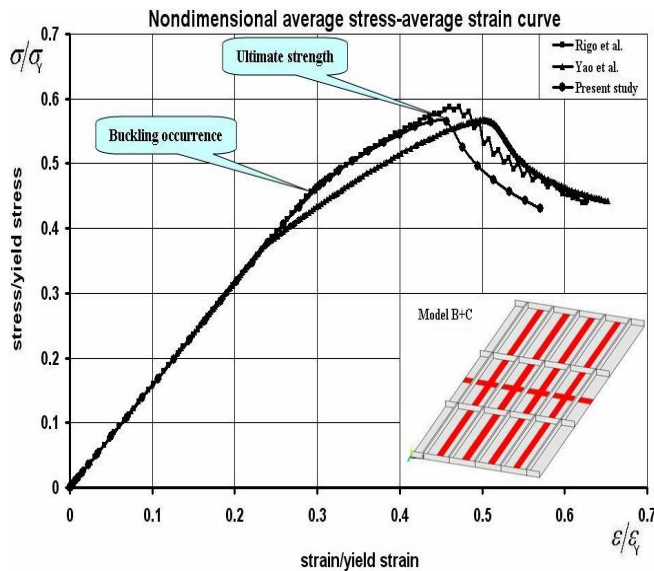


ب) مود تغییر شکل و وسعت تسلیم‌شدگی در شروع تسلیم‌شدگی ($\epsilon / \epsilon_y = 0.33, \sigma / \sigma_y = 0.49$)

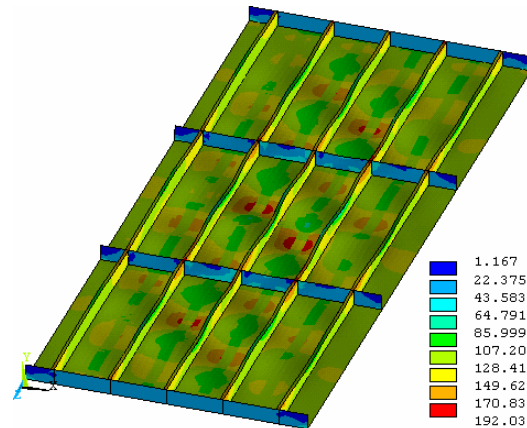
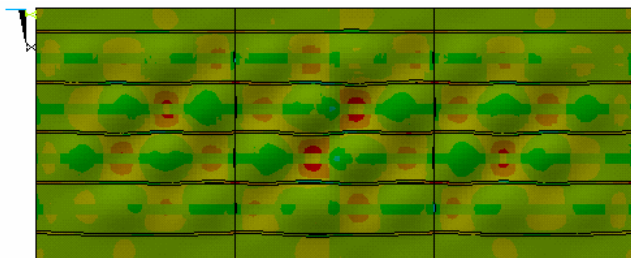
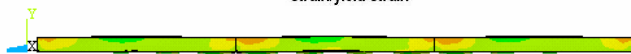


ج) مود تغییر شکل و وسعت تسلیم‌شدگی در استحکام نهایی

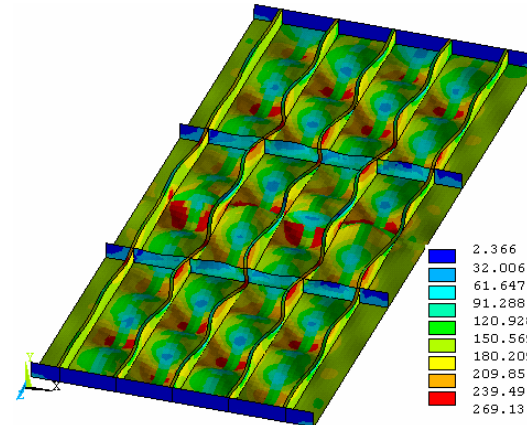
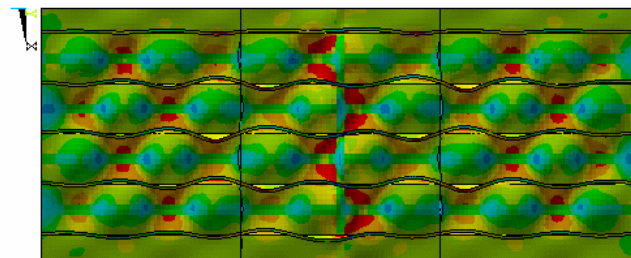
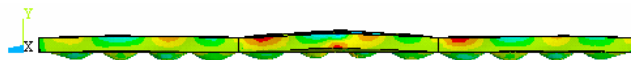
شکل ۸. نتایج تحلیل در مدل A+C



الف) مدل تغییرشکل در وقوع کمانش

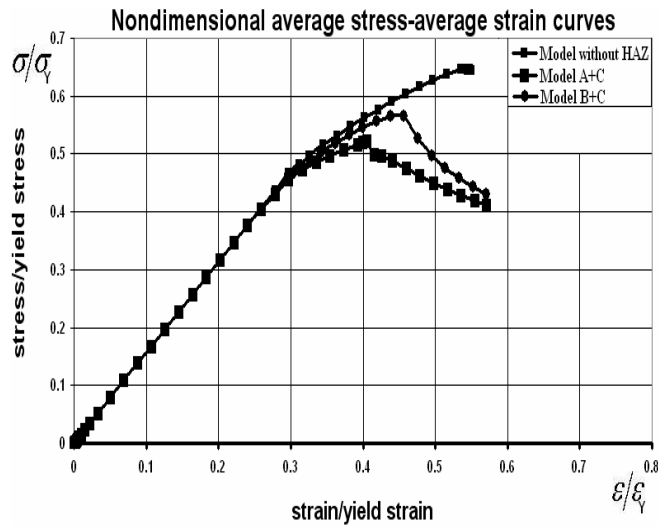


ب) مدل تغییرشکل و وسعت تسلیم‌شدگی در شروع تسلیم‌شدگی ($\epsilon / \epsilon_y = 0.31, \sigma / \sigma_y = 0.48$)

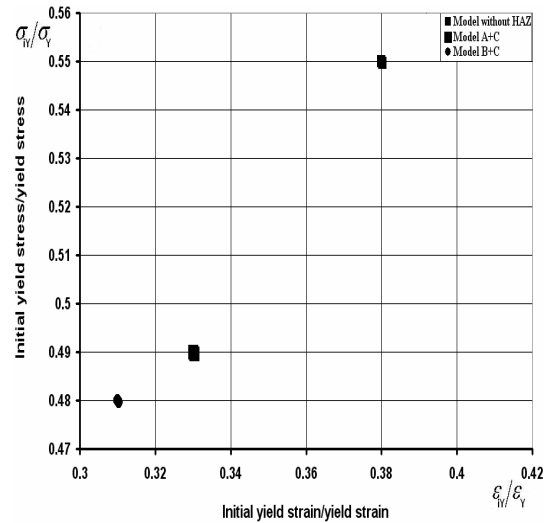


ج) مدل تغییرشکل و وسعت تسلیم‌شدگی در استحکام نهایی

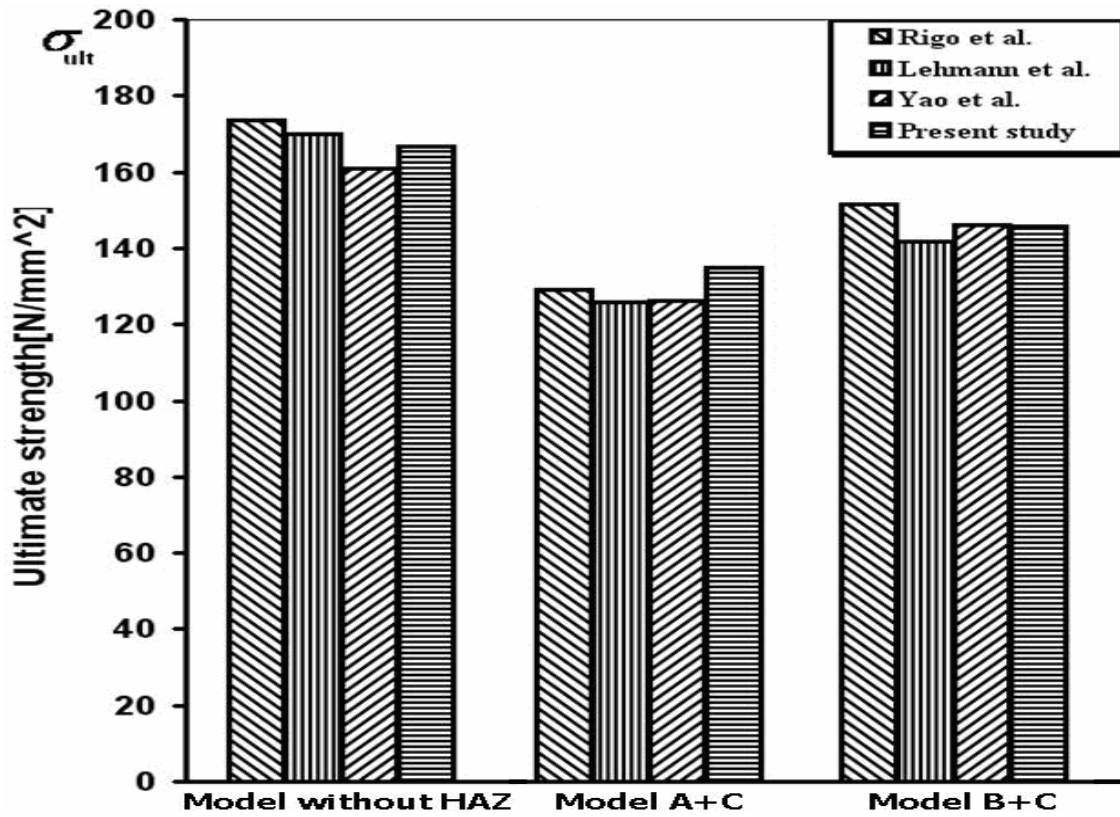
شکل ۹. نتایج تحلیل در مدل B+C



شکل ۱۰. منحنی‌های بی بعد تنش متوسط - کرنش متوسط



شکل ۱۱. ترتیب تسلیم‌شدگی در مدل‌های مدنظر



شکل ۱۲. مقایسه مقادیر استحکام نهایی بررسی حاضر با مراجع موجود