

بررسی تاثیر ترتیب جوشکاری بر روی تغییر شکل های حاصل از فرایند جوشکاری در سازه عرشه کشتی

نوید آزاد^۱، مهدی ایرانمنش^۲، آرمین رحمتی دروازی^۳

Imehdi@aut.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان

چکیده

در این مقاله تاثیر ترتیب جوشکاری بر روی مقدار و چگونگی تغییر شکل های حاصل از جوشکاری قوسی با گاز محافظ (GAMW) در سازه عرشه کشتیبه روش المان محدود به صورت عددی مدل و شبیه سازی شده است. بدین منظور ابتدا یک مدل حرارتی سه بعدی به کمک نرم افزار المان محدود Ansys ایجاد کرده و مورد بررسی قرار گرفته است. برای اعمال حرارت منبع حرارتی در حین جوشکاری یک کد ماکرو بر اساس مدل گلداک در محیط نرم افزار برنامه نویسی شده است. سپس بوسیله تحلیل مکانیکی در محیط نرم افزار تغییر شکل ها بدست می آید. شرایط مدل سازی بصورت سه بعدی، گذرا و غیر خطی می باشد. برای اضافه نمودن فلز جوش در حین جوشکاری از تکنیک تولد و مرگ المان ها استفاده شده است. به علت گرادیان دمایی بالا در ناحیه جوش، خواص حرارتی و مکانیکی ماده به صورت متغیر با دما لحاظ گردیده است. در ادامه به منظور بررسی دقیق تر مقدار و چگونگی تغییر شکل های حاصل شده، تاثیر ترتیب های مختلف جوشکاری در خطوطیبر روی مدل مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت مشخص شده است که ترتیب های مختلف جوشکاری با توزیع حرارت گوناگون روی سازه باعث بوجود آمدن تغییر شکل های متفاوت می شوند. این تغییر شکل ها نه تنها مقادیر مختلفی دارد، بلکه فرم آن ها نیز با یکدیگر متفاوت است.

واژگان کلیدی: ترتیب جوشکاری، شبیه سازی حرارتی، تغییر شکل ها، المان محدود، سازه عرشه کشتی.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۶/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۷/۰۲/۱۹

¹ Gas Metal Arc Welding

۱- مقدمه

تا به امروز یکی از متداولترین روشهای اتصال فلزات به یکدیگر فرایند جوشکاری می باشد. سرعت بالا، هزینه پایین، وزن کم و استحکام بالا از مزایای فرایند جوشکاری است. از اینرو از جوشکاری به طور گسترده‌ای در ساخت سازه‌های بزرگ مانند ساختمان‌ها، کشتی‌ها، سکوهای حفاری نفت، خطوط لوله انتقال، سفینه‌های فضایی، راکتورهای هسته‌ای و مخازن فشار بالا استفاده می‌شود [۱]. در بررسی‌هایی که بر روی جوشکاری انجام می‌شود، گرادیان‌های دمایی از اهمیت فراوانی برخوردار است. زیرا با بالا رفتن دما و توزیع غیر یکنواخت دما، احتمال بوجود آمدن اعوجاج در ورق‌ها افزایش می‌یابد و آثار اصلی اعوجاج از بین رفتن تفرانس در اجزاء اتصال جوشی و تغییر شکل اجزاء سازه است که موجب کاهش راندمان سازه‌ای، بار قابل تحمل توسط سازه و افزایش هزینه‌ها می‌گردد [۲].

اعوجاج در قطعه جوشکاری به چندین عامل به هم پیوسته بستگی دارد، از جمله: سیکل حرارتی، خواص مواد، قیدهای سازه، شرایط جوشکاری و هندسه [۳]. از بین این پارامترها، سیکل حرارتی تأثیر زیادی روی بارهای حرارتی در سازه‌های جوشی دارد. در عین حال توزیع دما تابعی از پارامترهایی نظیر: ترتیب جوشکاری، سرعت جوشکاری، انرژی منبع جوش و شرایط محیطی می‌باشد. بنابراین برای اینکه بتوان از تمام هندسه و استحکام سازه استفاده کرد باید تنش‌های پسماند و اعوجاج را در حد ممکن کاهش داد. روشهایی که بیشترین کاربرد را برای کاهش تنش‌های پسماند و اعوجاج دارا می‌باشند عبارتند از: تعیین ترتیب مناسب جوشکاری، مشخص نمودن مقدار بهینه پارامترهای فرایند جوشکاری، تدوین دستورالعمل مطلوب جوشکاری، بکارگیری قیدهای مناسب و تعریف عملیات بعد از جوشکاری [۱].

یکی از روش‌های پرکاربرد در صنعت برای توزیع یکنواخت حرارت و کاهش مقدار اعوجاج در سازه‌های جوشی، انتخاب ترتیب مناسب جوشکاری است. ترتیب مناسب جوشکاری می‌تواند با توزیع یکنواخت حرارت، اعوجاج را به کمترین مقدار خود برساند و روی توزیع تنش‌های پسماند تأثیر

مثبتی بگذارد. همچنین استفاده از این روش برخلاف روش‌های دیگر نیاز به تجهیزات و تخصص ویژه‌ای ندارد و در عین حال ضمن بالا بردن سرعت انجام کار، هزینه ساخت را کاهش می‌دهد [۲].

تسای^۱ و همکارانش در سال ۱۹۹۹ بر روی تأثیر ترتیب جوشکاری روی اعوجاج در پانل‌های آلومینیومی تقویت شده تحقیقاتی انجام داده‌اند. آنان در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده‌اند که برای کاهش اعوجاج در ورق ابتدا باید مسیرهای داخلی را جوشکاری نمود [۴]. در سال ۱۹۹۹ میشلاریز^۲ و دیبکاری^۳ تکنیک‌های عددی و تحلیلی اعوجاج ناشی از جوشکاری در سازه‌های پیچیده بزرگ را بطور گسترده مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها در این پژوهش، نتوانستند برای سازه‌های پیچیده نتایج دقیقی بدست آورند [۵]. وچکو^۴ به اتفاق همکارانش در سال ۲۰۰۵ بر روی تأثیر ترتیب جوشکاری روی اعوجاج و تنش‌های پس ماند تحقیق و بررسی انجام داده‌اند. آن‌ها با انجام شبیه‌سازی و آزمایش توانستند نتایج نسبتاً خوبی را بدست آورند [۶]. در سال ۲۰۰۷ از کاتالباس^۵ و همکارانش بر روی تأثیر ترتیب جوشکاری روی اعوجاج در یک شبکه تیر بوسیله آزمایشات متعددی تحقیق انجام داده است. آن‌ها در انتهای این تحقیق به این نتیجه رسیدند که اگر از وسط تیر به سمت دو انتهای تیر جوشکاری نمایند و همچنین اگر مسیریایی که جوشکاری می‌شوند با فاصله از یکدیگر باشند اعوجاج در شبکه تیر کاهش می‌یابد [۷]. در سال ۲۰۰۹ ایساک هراندز^۶ بر روی تحلیل ترتیب‌های مختلف جوشکاری بر روی سازه‌های مختلف و تأثیر آن‌ها بر روی اعوجاج و تنش‌های پسماند آزمایشاتی را انجام داده که بوسیله شبیه‌سازی با نرم افزار ANSYS درستی نتایج بدست آمده را صحت سنجی نموده است. او در تحقیقات گسترده خود نشان داد که ترتیب‌های مختلف جوشکاری تأثیر زیادی روی توزیع یکنواخت حرارت در سازه‌ها دارد [۸].

در سال ۲۰۱۰ دنگ دین^۷ بر روی کاربرد تغییر شکل ذاتی و وجه مشترک المان برای پیش بینی اعوجاج جوشکاری بررسی‌هایی را انجام داده است. بر آن اساس، برای سر هم کردن اجزای مختلف جوشی، رعایت ترتیب جوشکاری

^۵ Ozcatalbas^۶ Isaac Hernandez Arriaga^۷ Deng Dean^۱ Tsai^۲ Michaleris^۳ De Biccari^۴ Voutchkov

شکل با استفاده از المان پوسته^۷ و نتایج آزمایشگاهی را به خوبی تطابق دهند. ترتیب جوشکاری تاثیر به سزایی روی مقدار تغییر شکل حاصل از جوشکاری گذاشته است. در نهایت می توان گفت یک روش روشن و عملی برای بهبود تغییر شکل حاصل از جوشکاری بهینه کردن ترتیب های جوشکاری است [۱۵]. در تحقیقات گذشته که توسط نویدآزاد و همکاران انجام شده است مشخص گردیده است که ترتیب های مختلف جوشکاری در توزیع دما تاثیر زیادی دارند اما در مقدار دمای ماکزیمم تاثیر چندانی ندارند، از اینرو ترتیب های مختلف جوشکاری بر روی مقدار اعوجاج تاثیر بیشتری نسبت به تنش پسماند دارد [۱۶-۲۰].

۲- بیان مسئله

جوشکاری یکی از مهمترین تکنیک های اجرای اتصالات در سازه های فلزی بزرگ به ویژه سازه های دریایی مانند بدنه انواع شناورها است. به دلیل انعطاف پذیری بالا، این تکنولوژی در غالب انواع اتصالات سازه ای فلزی دریایی به عنوان یک گزینه اصلی مطرح است. استفاده از جوشکاری در کنار مزایای بسیار زیاد خود، عیوبی نیز بر جای می گذارد. سیکل حرارتی که جوشکاری به سازه تحمیل می کند، از جمله عوامل تعیین کننده در ایجاد عیوبی مانند تغییر شکل های ناخواسته است. از آنجا که نحوه اجرای فرایند جوشکاری در توزیع اعمال بارهای حرارتی و در نتیجه تغییر شکل های حاصل به شدت موثر است، لذا استفاده از ترتیب مناسب جوشکاری می تواند موثرترین روش در کنترل و کاهش تغییر شکل های حاصل از فرایند جوشکاری باشد. در این مقاله تلاش بر آن بوده است تا تاثیر ترتیب های مختلف جوشکاری بر روی مقدار و چگونگی تغییر شکل های حاصل از جوشکاری در سازه عرشه کشتی به روش المان محدود به صورت عددی مدل و بررسی شود. از مزایای این روش این است که می توان با استفاده از آن می توان در سازه های بزرگ و پیچیده مانند عرشه کشتی بدون نیاز به تخصص و تجهیزات خاص، تغییر شکل های حاصل از فرایند جوشکاری را کاهش داد.

بسیار حایز اهمیت است [۹]. در سال ۲۰۱۰ لیام گنون^۱ بر روی تاثیر ترتیب جوشکاری روی اعوجاج و تنش پسماند در یک ورق T شکل تحقیقاتی انجام داده است که بوسیله نرم افزار ANSYS شبیه سازی نموده و با انجام آزمایشات درستی این شبیه سازی ها را مورد تایید قرار داده است. گنون در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده است که ترتیب های مختلف جوشکاری به نسبت تنش های پسماند تاثیر بیشتری روی اعوجاج دارد [۱۰]. در سال ۲۰۱۱ توبیاس شنک^۲ بر روی تاثیر ترتیب جوشکاری و استفاده از قیود مختلف بر روی اعوجاج حاصل در ورق تحقیقاتی انجام داده است. او در تحقیقات خود نشان داده است که استفاده از مسیرهای کوتاه تر در جوشکاری باعث کاهش اعوجاج می شود. همچنین استفاده از ترتیب های مختلف جوشکاری باعث دوباره گرم شدن نقاط مختلف سازه می شود که این عمل مانند روش آنیل کردن می باشد و می تواند تا حدود چشمگیری اعوجاج در سازه را کاهش دهد [۱۱].

پانکاج بیسواس و همکاران^۳ بر روی تاثیر ترتیب جوشکاری روی تغییر شکل های ورق های تقویت شده بزرگ برای دو مورد متفاوت مطالعاتی انجام دادند که به نتایج مناسبی رسیدند. نتایج عددی و آزمایشگاهی حدود ۵ تا ۱۵ درصد با یکدیگر تفاوت دارند. نتایج تغییرشکل ها برای مدل استفاده شده می تواند برای ورق های تقویتی با تیرچه های عمودبرهم دیگر نیز قابل تعمیم است [۱۲]. بای چن و همکاران^۴ در این مقاله توزیع دما، تغییرشکل های جوشکاری و تنش پسماند را در یک ورق تقویت شده به صورت تجربی و عددی بررسی کرده اند. ترتیب های مختلف جوشکاری توزیع دما را در سازه های جوشکاری شده تغییر می دهد [۱۳].

مک فرسن و همکاران^۵ با تحقیقات خود بر روی بررسی عوامل ایجاد تغییرشکل های حاصل از جوشکاری در ورق های با ضخامت ۶،۵ میلی متر، مربوط به شناور کلاس ناوشکن Type 45 به این نتیجه دست یافتن که اگر از ترتیب مناسب جوشکاری استفاده نشود متوسط تغییرشکل ها تا ۳۰۰ درصد افزایش می یابد [۱۴]. ژن چن و همکاران^۶ توانستند نتایج اعوجاج حاصل از جوشکاری در اتصال T

⁵ N A Mcpherson, A M Galloway, W McGhie

⁶ Zhen Chen et al.

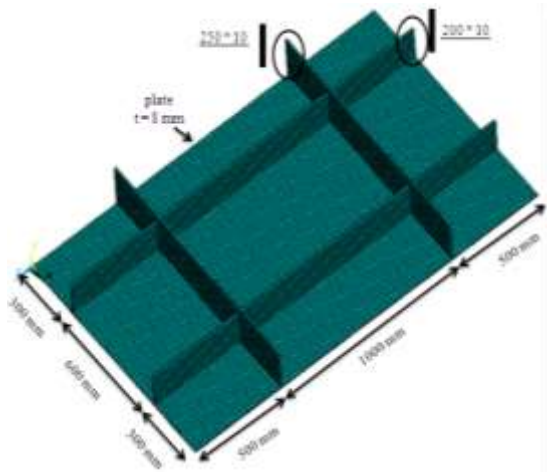
⁷ Shell

¹ Liam Gannon

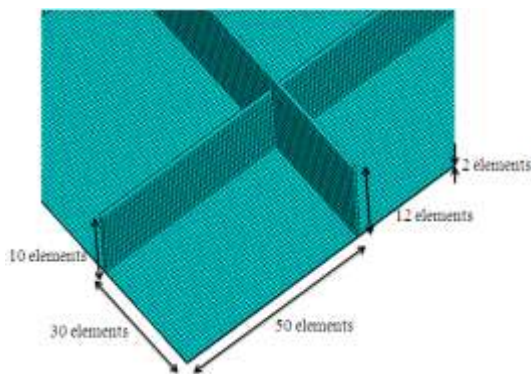
² Tobias Schenk

³ Pankaj Biswas

⁴ Bai-Qiao Chen et. Al.



شکل (۲) مشخصات هندسی مدل.



شکل (۳) نحوه شبکه بندی سازه عرشه کشتی.

۳-۱- شبیه سازی حرارتی

همانطور که گفته شد، در این تحقیق از نرم افزار ANSYS جهت شبیه سازی فرایند جوشکاری استفاده شده است. این شبیه سازی را می توان به دو صورت دو بعدی و یا سه بعدی انجام داد. مسلماً انجام شبیه سازی به صورت دو بعدی کمتر از حالت سه بعدی زمان بر است اما در حالت سه بعدی جواب های بدست آمده از دقت بالاتری برخوردارند.

در این تحقیق شبیه سازی به صورت سه بعدی انجام شده است. المان مورد استفاده در این تحلیل حرارتی Solid70 است. شرایط انتقال گرما نیز روی سطوح بیرونی مدل اعمال شده است. به منظور شبیه سازی حرارتی در محیط نرم افزار ANSYS، لازم است تا خواص حرارتی ماده بکار برده شده را بر اساس تغییرات دمایی به نرم افزار داده شود. در جدول (۱) تغییرات این خواص بر اساس دما آورده شده است. همچنین پارامترهای جوشکاری در جدول (۲) آمده است.

۳- شبیه سازی

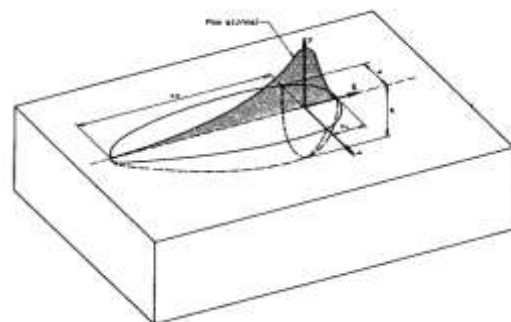
معمولاً برای پیش بینی توزیع حرارتی از روش های حل عددی مانند روش المان محدود (FEM)^۱ استفاده می شود. با کمک این روش می توان بسیاری از پدیده های فیزیکی مرتبط با جوشکاری را شبیه سازی کرده و اثر پارامترهای مختلف جوشکاری را بر این پدیده ها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار داد. این روش در زمان و هزینه صرفه جویی بسیاری را به دنبال دارد. در این زمینه از نرم افزارهای متفاوتی می توان استفاده کرد. در این تحقیق از نرم افزار Ansys جهت شبیه سازی استفاده شده است. مهمترین مساله در شبیه سازی فرایند جوشکاری فلزات انتخاب نوع منبع حرارتی و شبیه سازی آن است. در این تحقیق از منبع حرارتی گلدک [۱۵] جهت شبیه سازی توزیع شار حرارتی ورودی در محل جوشکاری استفاده شده است که به صورت شکل (۱) می باشد و توزیع حرارت ورودی طبق رابطه زیر تعریف می گردد:

$$q(x, y, \xi) = \quad (1)$$

$$\frac{6\sqrt{3}Q}{abc\pi\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3x^2}{a^2}\right) \exp\left(-\frac{3y^2}{b^2}\right) \exp\left(-\frac{3\xi^2}{c^2}\right)$$

تحلیل حرارتی بوسیله نرم افزار Ansys انجام شده است. که در آن با حرکت یک منبع حرارتی روی خط جوش توزیع حرارت بدست آمده است. مدل مورد استفاده در این مقاله سازه عرشه شناور است که مشخصات هندسی آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

بعد از مدل سازی، نوبت به شبکه بندی می رسد که در این مقاله برای بدست آمدن نتایج مطلوب سعی شده تا از یک شبکه بندی مناسب استفاده شود تا بتوان به یک سری جواب های همگرا رسید. در شکل (۳) نحوه شبکه بندی دیده می شود که به صورت دستی انجام شده است.

شکل (۱) منبع حرارتی دو بیضوی به همراه تابع توزیع حرارت در امتداد محور ξ [۲۱].

^۱ Finite Element Method

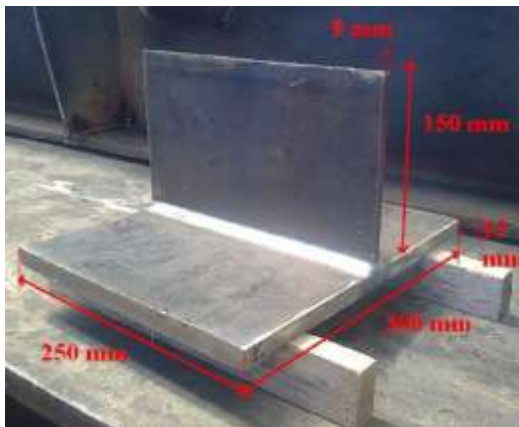
جدول (۱) تغییرات خواص حرارتی و مکانیکی مواد با دما.

| T [°C] | C [J/Kg°C] | K [W/m°C] | α [$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$] | σ_y [MPa] | E [GPa] |
|-----------|---------------|------------------|--|---------------------|------------|
| 20 | 450 | 51 | 11.2 | 380 | 210 |
| 100 | 475 | 50 | 11.8 | 340 | 195 |
| 210 | 530 | 49 | 12.4 | 320 | 195 |
| 330 | 560 | 46 | 13.1 | 262 | 185 |
| 420 | 630 | 41 | 13.6 | 190 | 168 |
| 540 | 720 | 38 | 14.1 | 145 | 118 |
| 660 | 830 | 34 | 14.6 | 75 | 52 |
| 780 | 910 | 28 | 14.6 | 40 | 12 |
| 985 | 1055 | 25 | 14.6 | 38 | 11.8 |
| 1320 | 2000 | 32 | 14.6 | 28 | 10.4 |
| 1420 | 2100 | 42 | 14.6 | 25 | 10.2 |
| 1500 | 2150 | 42 | 14.6 | 20 | 10 |

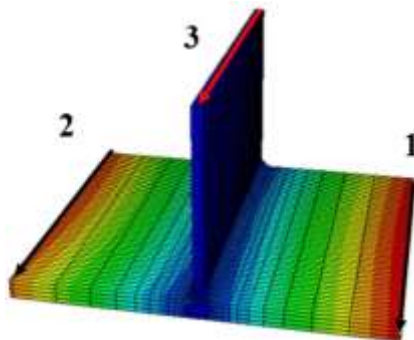
۵- انتخاب ترتیب‌های مختلف جوشکاری و خطوط

مورد بررسی روی سازه عرشه شناور

همانطور که قبلاً گفته شد یکی از مناسب‌ترین و موثرترین راه‌هایی که می‌توان توزیع حرارت را بصورت یکنواخت در قطعه پراکنده کرد و تغییر شکل‌ها را کاهش داد، انتخاب ترتیب مناسب جوشکاری است. روش‌های دیگر، هزینه ساخت و زمان انجام پروژه را بالا می‌برند.



شکل (۴) هندسه ورق T شکل [۲۲].



شکل (۵) خطوط انتخاب شده بر روی مدل [۲۲].

جدول (۲) مقادیر پارامترهای جوشکاری.

| سرعت جوشکاری (میلیمتر/دقیقه) | ولتاژ (ولت) | جریان (آمپر) |
|---------------------------------|----------------|-----------------|
| 400 | 29 | 270 |

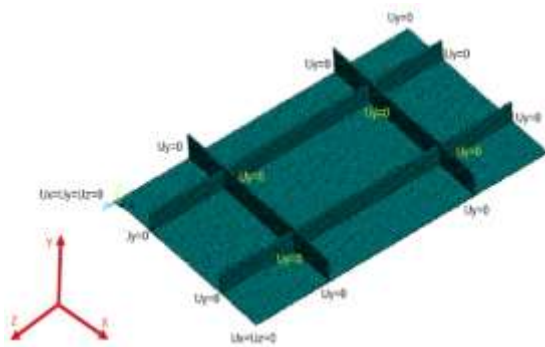
۳-۲- شبیه‌سازی مکانیکی

همانند شبیه‌سازی حرارتی به منظور شبیه‌سازی مکانیکی نیز توسط یک کد ماکرو انجام می‌گردد. نتایج تحلیل حرارتی به عنوان ورودی برای تحلیل مکانیکی استفاده می‌شود. از این رو تمام مراحل تحلیل حرارتی در تحلیل مکانیکی فراخوانی و اعمال می‌شوند. المان بکار رفته شده solid 185 است که یک المان ۸ گره‌ای است. خواص مکانیکی ماده بکار برده شده نیز همانند خواص حرارتی بر اساس تغییرات دمایی مطابق با جدول (۱) به نرم افزار داده می‌شود. به منظور اعمال شرایط مرزی برخی از گره‌ها مانند شکل (۷) محدود شده است.

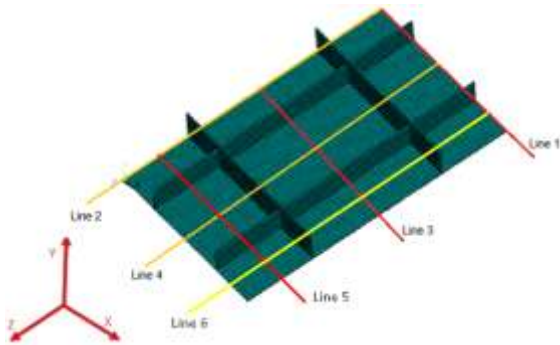
۴- صحت سنجی روش پیشنهادی

مدل المان محدود با مقایسه نتایج تست تجربی پیش‌بینی اعوجاج زاویه‌ای حاصل از فرایند جوشکاری صحت سنجی شده است. هندسه ورق تی‌شکل که در این تست استفاده شده است مطابق شکل (۴) است.

مقایسه اعوجاج زاویه‌ای ورق بر روی خط ۱ و ۲ نشان داده شده در شکل (۵)، در نمودارهای شکل (۶) نمایش داده شده است. با توجه به نتایج ثابت می‌شود مطابقت خوبی بین تغییرشکل‌های اندازه‌گیری شده در تست تجربی و روش المان محدود وجود دارد، زیرا نتایج کمتر از ۱۵ درصد با یکدیگر اختلاف دارند.

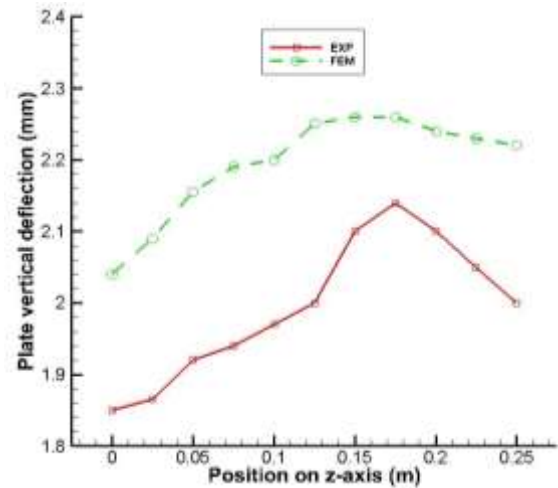


شکل (۷) شرایط مرزی اعمال شده

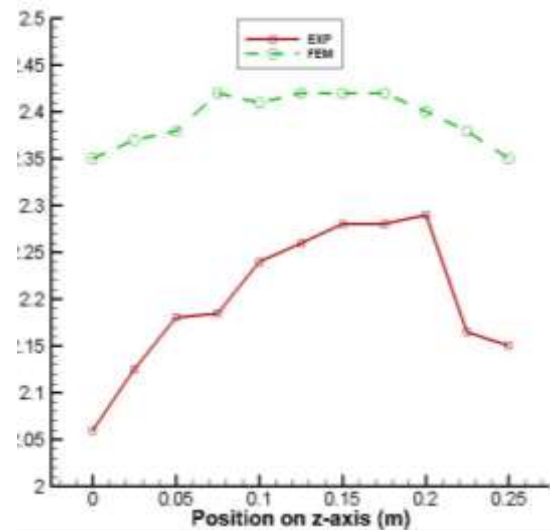


شکل (۸) انتخاب شش خط روی مدل.

اما انتخاب ترتیب مناسب جوشکاری یک روش کم هزینه می‌باشد، زیرا مستقیماً روی دمای سازه جوشکاری و همینطور بر روی تغییر شکل‌ها تأثیر می‌گذارد. بنابراین تحلیل ترتیب مناسب جوشکاری برای کنترل تغییر شکل‌ها در سازه‌های جوشکاری از مسائل اساسی و بنیادی است. در این مقاله چهار ترتیب مختلف جوشکاری مطابق شکل (۹) مورد بررسی قرار گرفته است.

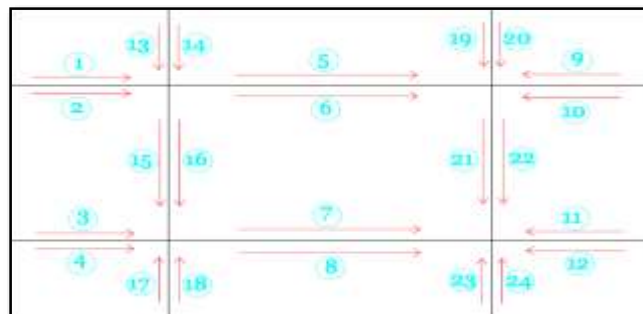


(الف)



(ب)

شکل (۶) جابجایی عمودی ورق بر روی (الف) خط ۱ و (ب) خط ۲



| مسیرهای جوشکاری | ترتیب جوشکاری |
|--|---------------|
| 6-7-16-21-5-8-15-22-2-10-3-11-1-9-4-12-14-18-19-23-13-17-20-24 | ترتیب اول |
| 6-5-7-8-16-15-21-22-2-1-3-4-10-9-11-12-13-14-17-18-19-20-23-24 | ترتیب دوم |
| 16-15-21-22-6-5-7-8-14-13-18-17-19-20-23-24-2-1-10-9-3-4-11-12 | ترتیب سوم |
| 16-21-15-22-14-18-19-23-13-17-20-24-6-7-10-2-11-3-5-8-9-1-12-4 | ترتیب چهارم |

شکل (۹) ترتیب‌های جوشکاری استفاده شده..

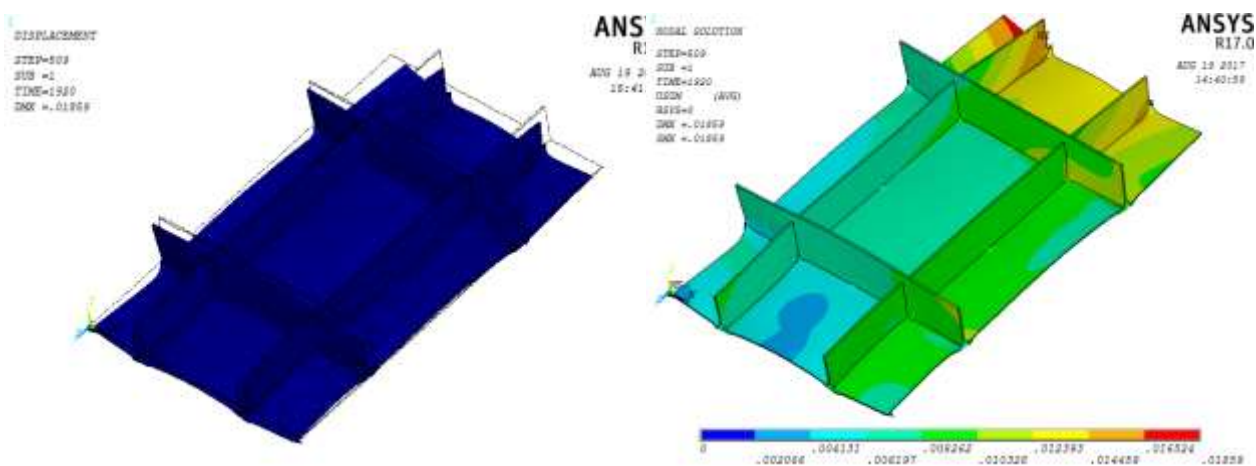
نتیجه می‌توان گفت ترتیب‌های مختلف جوشکاری باعث پیدایش تغییر شکل‌های متفاوت در سازه می‌گردد.

۷- مقایسه تغییر شکل‌های جوشکاری روی شش خط برای ترتیب‌های مختلف جوشکاری

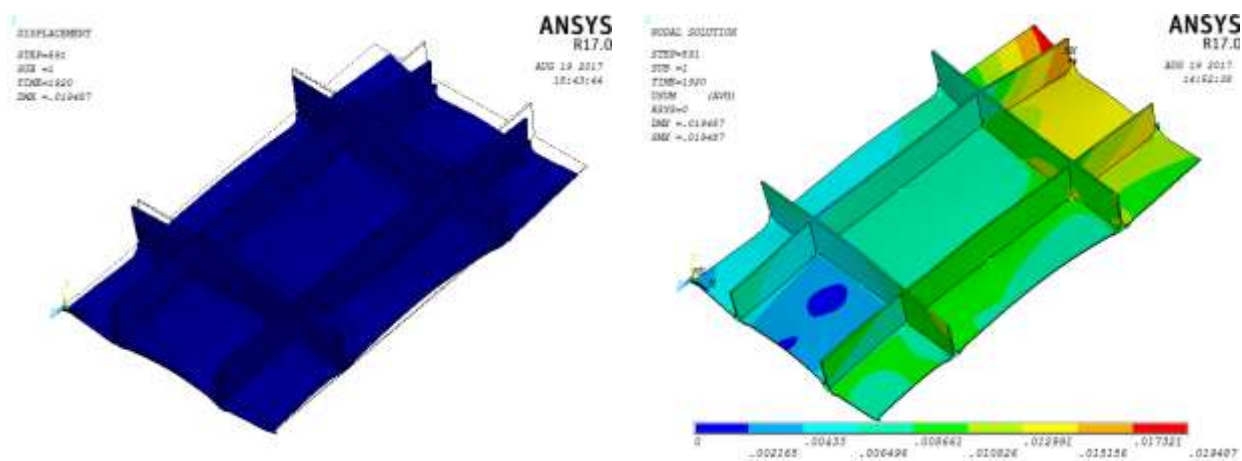
در ادامه به منظور بررسی دقیق‌تر تاثیر ترتیب‌های مختلف جوشکاری بر روی تغییر شکل‌ها در سازه عرشه شناور، نمودارهای مربوط به جابجایی کل شکل‌های (۱۴) تا (۱۹) برای ترتیب‌های مختلف جوشکاری بر روی شش خط نشان داده شده در شکل (۸) ترسیم شده است.

۶- تاثیر ترتیب‌های مختلف جوشکاری روی چگونگی فرم و مقادیر تغییر شکل‌های جوشکاری

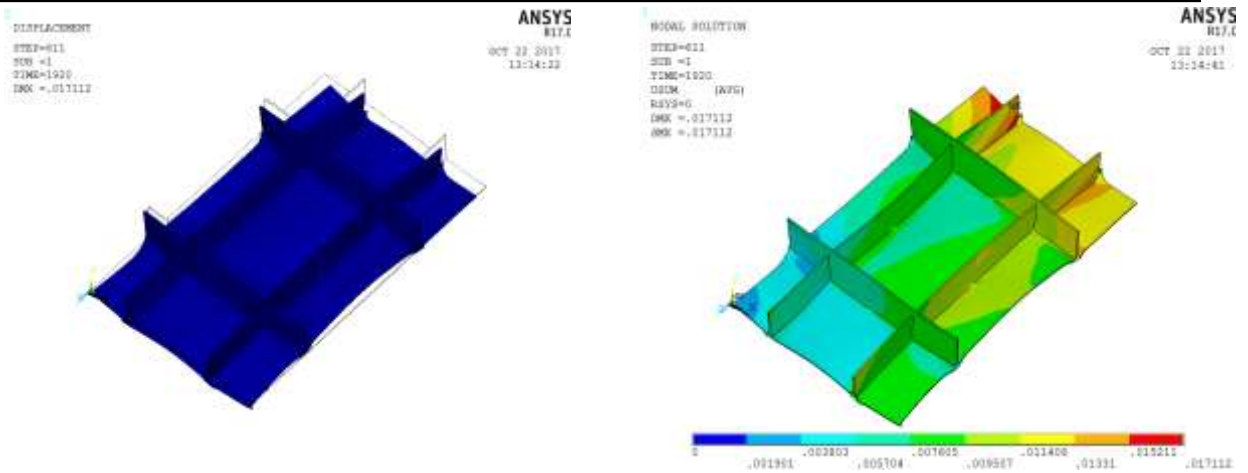
به منظور بررسی نتایج تغییر شکل‌های حاصل از ترتیب‌های مختلف جوشکاری، چگونگی فرم و مقادیر این تغییر شکل‌های بدست آمده از تحلیل مکانیکی مطابق شکل (۱۰) تا (۱۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این تصاویر ویژگی‌های مهمی از تغییر شکل‌های بوجود آمده در سازه عرشه شناور را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها مشخص می‌گردد که ترتیب‌های مختلف جوشکاری نه تنها بر روی چگونگی فرم تغییر شکل‌های جوشکاری موثر است بلکه بر روی مقادیر این تغییر شکل‌ها نیز اثر می‌گذارد. در



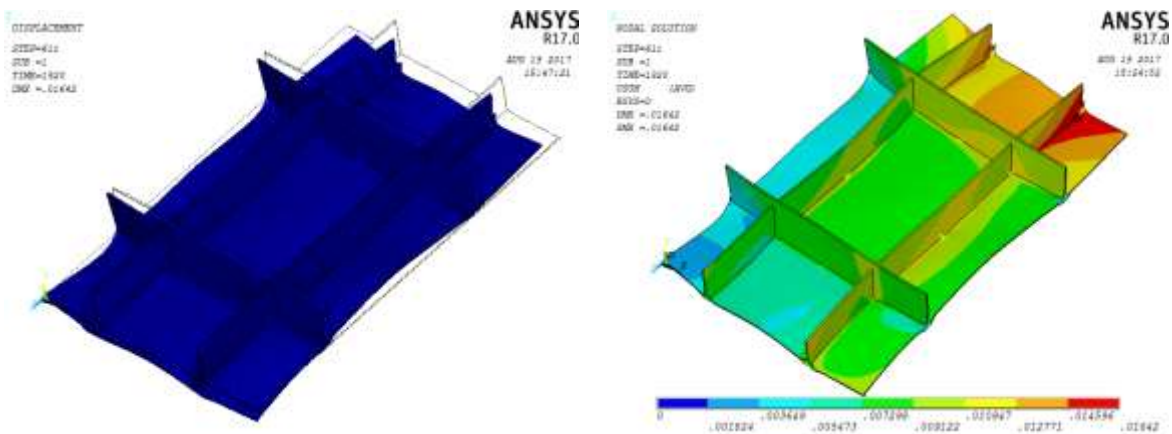
شکل (۱۰) تغییر شکل‌های جوشکاری برای ترتیب اول.



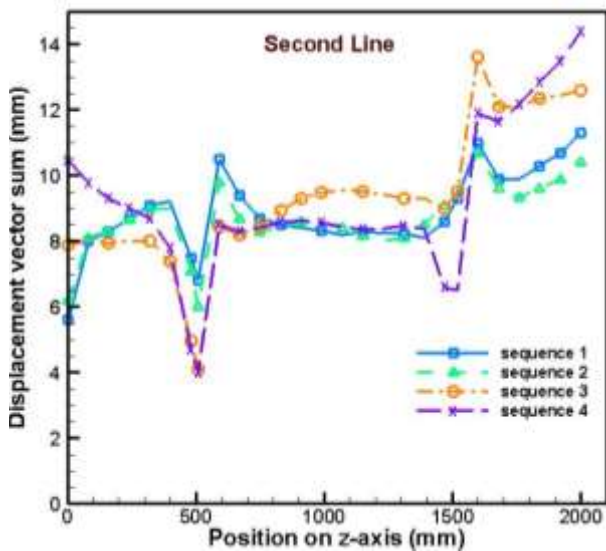
شکل (۱۱) تغییر شکل‌های جوشکاری برای ترتیب دوم.



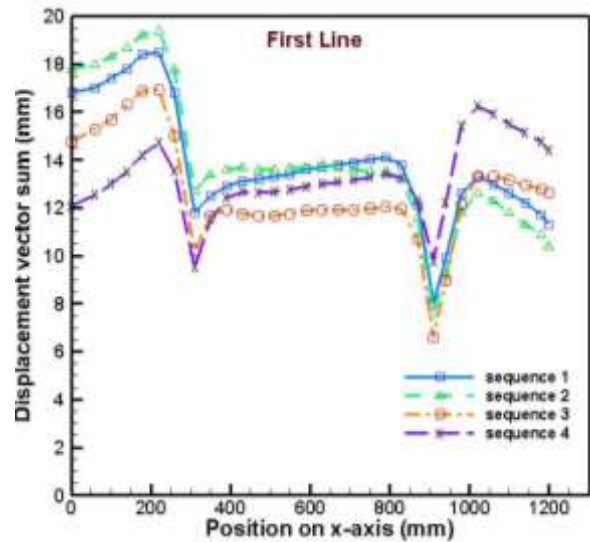
شکل (۱۲) تغییر شکل های جوشکاری برای ترتیب سوم.



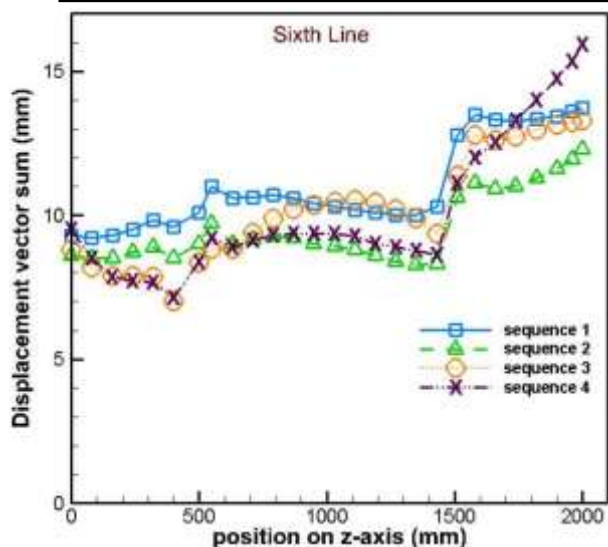
شکل (۱۳) تغییر شکل های جوشکاری برای ترتیب چهارم.



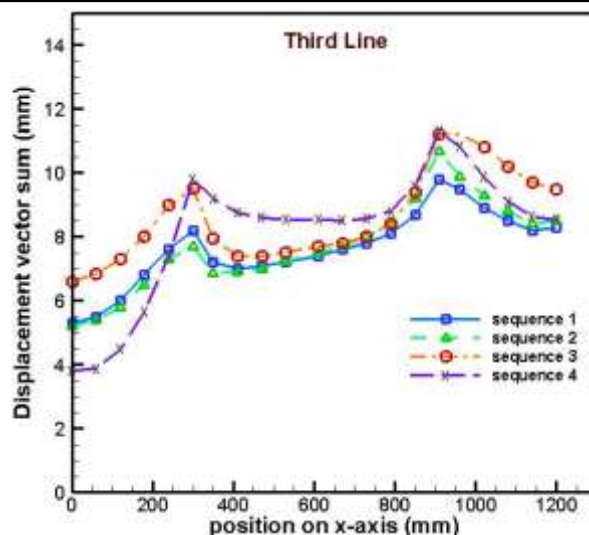
شکل (۱۵) جابجایی ها روی خط دوم.



شکل (۱۴) جابجایی ها روی خط اول.



شکل (۱۹) جابجایی‌ها روی خط ششم.



شکل (۱۶) جابجایی‌ها روی خط سوم.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل المان محدود، جهت بررسی تأثیر ترتیب جوشکاری روی اعوجاج توسعه داده شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده نتایج زیر حاصل شده است:

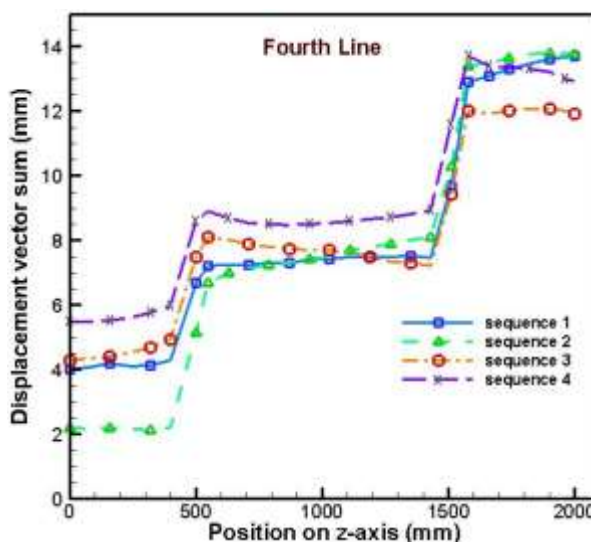
۱. با استفاده از ترتیب مناسب جوشکاری می‌توان تغییرشکل‌های حاصل از فرایند جوشکاری را بدون نیاز به تجهیزات خاص و با حداقل هزینه کاهش داد.
 ۲. با کمک نرم‌افزار المان محدود می‌توان تغییرشکل‌های جوشکاری را در سازه‌های بزرگ و پیچیده کشتی محاسبه نمود.

۳. با توجه به اینکه ترتیب جوشکاری تأثیر بیشتری روی توزیع دما دارد نسبت به دمای ماکزیمم، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ترتیب جوشکاری روی میزان تغییرشکل‌ها تأثیر بیشتری نسبت به تنش‌های پسماند دارد.

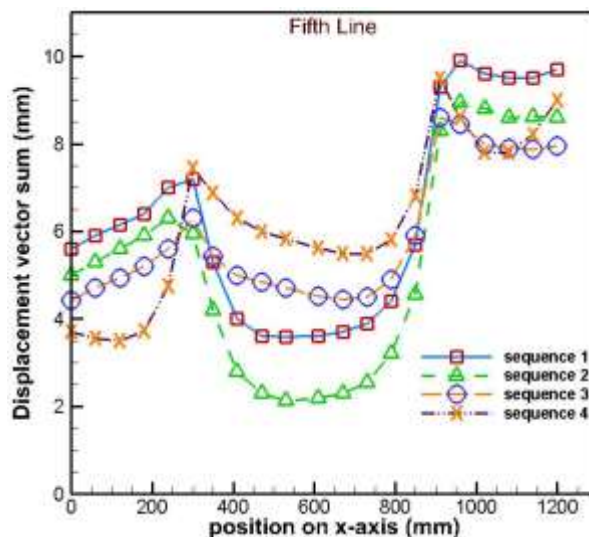
۴. ترتیب‌های مختلف جوشکاری نه تنها بر روی چگونگی فرم تغییرشکل‌ها تأثیر می‌گذارد بلکه مقادیر این تغییرشکل‌ها نیز متفاوت است.

۵. با توجه به نمودارهای ترسیم شده می‌توان دریافت که مقادیر تغییرشکل‌ها برای ترتیب‌های مختلف جوشکاری در لبه‌های ورق تأثیر بیشتری نسبت به وسط ورق دارد.

۶. انتخاب ترتیب بهینه جوشکاری، می‌تواند نیازهای طراحی سازه‌های پیچیده و بزرگ مانند بدنه شناورها را با کمترین مقدار تغییرشکل‌ها تأمین نماید.



شکل (۱۷) جابجایی‌ها روی خط چهارم.



شکل (۱۸) جابجایی‌ها روی خط پنجم.

۸- منابع

- [14] McPherson, N. A., Galloway, A. M., McGhie, W., "Thin Plate Buckling Mitigation and Reduction Challenges for Naval Ships", *Journal of Marine Engineering & Technology*, Vol.12, No.2, pp.3-10, 2013.
- [15] Chen, Zh., Chen, Zh., Shenoi, R.A., "Influence of Welding Sequence on Welding Deformation and Residual Stress of a Stiffened Plate Structure", *Ocean Engineering*, Vol.106, pp.271-280, 2015.
- [۱۶] ایرانمنش، مهدی، آزاد، نوید، "بررسی تأثیر ترتیب جوشکاری روی کاهش اعوجاج و تنش پسماند در سازه کشتی"، چهارمین همایش ملی صنایع فراساحل، ۱۳۹۰.
- [۱۷] ایرانمنش، مهدی، آزاد، نوید، "شبیه سازی عددی نحوه توزیع دما در جوشکاری و تأثیر ترتیب جوشکاری در توزیع حرارت و مقدار اعوجاج" سیزدهمین همایش صنایع دریایی، ۱۳۹۰.
- [۱۸] ایرانمنش، مهدی، آزاد، نوید، ذبیح پور، محمود "تدوین الگوریتم نوین جوشکاری بر اساس شبیه سازی حرارتی با هدف حصول به اعوجاج کمینه در ورق های T شکل بدنه شناورها" چهاردهمین همایش صنایع دریایی، ۱۳۹۱.
- [۱۹] ایرانمنش، مهدی، آزاد، نوید، "مطالعه و بررسی تاثیر ترتیب جوشکاری روی تغییر شکل ها و تنش پسماند سازه کشتی بر مبنای آنالیز عددی"، هجدهمین همایش صنایع دریایی، ۱۳۹۵.
- [20] Iranmanesh, M., Azad, N., Zabihpoor, M., "A New Algorithm on Welding Process of T-Shaped Plates in Ship Hull Structure to Minimize Distortion based on Thermal Simulation", *Taylor & Francis, Ships and Offshore Structure*, Vol.9, No.5, pp.489-497, 2014.
- [21] Goldak, J., Chakaravarti, A. and Bibby, M., "A New Finite Element Model for Welding Heat Sources", *Metallurgical Transactions B*, Vol. 15, pp.299-305, 1984.
- [22] Keivani, R., Jahazi, M., Pham, T., Khodabandeh, A., and Afshar, M., "Predicting Residual Stresses and Distortion During Multisequence Welding of Large Size Structures using FEM", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.73, No.(1-4), pp.409-419, 2014.
- [1] Zhili, F. "Processes and Mechanisms of Welding Residual Stress and Distortion", CRC Press., 2005.
- [2] Messler, Jr R.W., "Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy", John Wiley & Sons, 2008.
- [3] Brust, F.W., Wilkowski, G., Shim, D.J., Zhang, T. and Kurth, E., "Weld Distortion Control Methods and Applications of Weld Modeling", *ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Conference*, American Society of Mechanical Engineers, pp.587-595, 2009.
- [4] Tsai, C.L., Park, S.C. and Cheng, W.T. "Welding Distortion of a Thin-Plate Panel Structure" *Welding Research Supplement*, Vol.87, p.156s, 1999.
- [5] Michaleris, P. and DeBiccari, A., "Prediction of Welding Distortion", *Welding Journal-Including Welding Research Supplement*, Vol.76, No.4, p.176s, 1999.
- [6] Voutchkov, I., Keane, A.J., Bhaskar, A. and Olsen, T.M., "Weld Sequence Optimization: the Use of Surrogate Models For Solving Sequential Combinatorial Problems", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* Vol.194, No.(30-33), pp.3535-3551., 2005.
- [7] Ozcatalbas, Y. and Vural, H.I., "Determination of Optimum Welding Sequence and Distortion Forces in Steel Lattice Beams", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.209, No.1, pp.599-604, 2009.
- [8] Isaac Hernandez Arriaga, "Welding Sequence Analysis", PHD. Thesis, 2009.
- [9] Deng D, Murakawa H, Ma N, and Serizawa H., "Application of Inherent Deformation and Interface Element to Prediction of Welding Distortion During Assembly Process", Vol.39, No.2, pp.109-111, 2010.
- [10] Gannon, L., Liu, Y., Pegg, N. and Smith, M., "Effect of Welding Sequence on Residual Stress and Distortion in Flat-bar Stiffened Plates". *Marine Structures*, Vol.23, No.3, pp.385-404. 2010.
- [11] Schenk, T., *Modelling of Welding Distortion; the Influence of Clamping and Sequencing*, 2011.
- [12] Biswas, P., Anil Kumar, D., Mandal, N. R., and Mahapatra M. M., "A Study on the Effect of Welding Sequence in Fabrication of Large Stiffened Plate Panels", *Journal of Marine Science and Application*, Vol.10, No.4, pp.429-436, 2011.
- [13] Chen, B.Q. and Soares, C.G., "Effect of Welding Sequence on Temperature Distribution, Distortions, and Residual Stress on Stiffened Plates", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.86, No.(9-12), pp.3145-3156, 2016.