

تحلیل استحکام صفحات آلومینیومی جوشکاری شده به روش تیگ قابل کاربرد در ترمیم باند فرودگاه

احسان براتی^{۱*}، محسن کلاته^۲، محمد رشتباریان^۳

۱- استادیار، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، ایران

۲ و ۳- کارشناس ارشد، صنایع شهید کلاهدزو، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹)

چکیده

چنانچه باند فرودگاه دچار آسیب شود، یکی از سریع‌ترین راه‌های ترمیم باند، استفاده از صفحات ترمیم‌کننده باند می‌باشد. چنانچه امکان ساخت این صفحات به صورت یکپارچه وجود نداشته باشد، می‌توان صفحات را به صورت دوتکه ساخت و سپس آنها را به یکدیگر جوش داد. در این تحقیق، تحلیل استحکام صفحات AM-2 مدنظر است که دارای یک جوش سرتاسری به روش تیگ می‌باشد. نیروی وارده از طرف هواپیمای ترابری C-130 بر روی صفحات در نظر گرفته شده و مقادیر مختلفی برای شاخص خاک (CBR) مدنظر قرار گرفته است. طرح اتصال دو قسمت صفحات به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که در قسمت جوش، تقویت صورت گیرد. نتایج نشان داده است که برای استفاده از نمونه جوشکاری شده به روش تیگ، مقدار شاخص خاک حداقل باید مساوی ۱۵ باشد. با انجام تست شبیه‌سازی با کامیون، تطابق خوبی بین نتایج تحلیل نرم‌افزاری و نتایج تجربی مشاهده شده است.

واژه‌های کلیدی: صفحه ترمیم، هواپیمای ترابری، شاخص خاک، جوشکاری تیگ.

Strength analysis of aluminum matting plates welded by TIG welding process for airfield repair

Ehsan Barati, Mohsen Kalateh, Mohammad Rashtbarian

Abstract

One of the fastest ways to repair a damaged airfield, is using the matting plates. These plates are manufactured with various size and materials. If there is no way to continuously manufacture the plates, one can produce two separately parts of them and weld to each other. In this paper, the strength of a matting plate namely AM-2 welded by TIG welding process has been analyzed. For determination of the landing loads, Hercules C-130 aircraft has been considered. Various values of subgrade CBR have been studied. The joining plan of plates has been considered in such a way that the strength in the weld region be greater than before. The results showed that by using the matting plate welded by TIG welding process, the value of the subgrade CBR should be at least 15. Simulating test with crane has been carried out in this paper and good agreement was found in the results obtained by experimental tests and that evaluated by numerical analyses.

Key words: matting plate, transport aircraft, CBR, TIG welding.

مقدمه

در شرایطی که نیاز به ترمیم اضطراری و سریع باند فرودگاه باشد، به جای زیرسازی و عملیات آسفالت (که زمان زیادی را می‌طلبد) از صفحات ترمیم‌کننده باند فرودگاه^۱ استفاده می‌شود. این صفحات اگرچه در ابتدا برای ترمیم باند آسیب‌دیده در شرایط اضطراری مورد استفاده قرار گرفت، اما بعداً برای احداث باندهای موقتی و سریع نیز به کار برده شد. از این صفحات برای احداث و یا ترمیم کلیه قسمت‌های یک باند، از جمله مسیر اصلی، مسیر تاکسی، آشیانه و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. کشورهای بسیاری از این صفحات به‌منظور احداث و ترمیم باند فرودگاه استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به کشورهای آمریکا، فرانسه، انگلیس، و آلمان اشاره نمود که بیشترین استفاده را از صفحات داشته‌اند.

اولین بار این صفحات توسط ارتش آمریکا برای ایجاد یک فرودگاه اضطراری برای هواپیما در دهه ۱۹۴۰ مورد استفاده قرار گرفت. توانایی ساخت و توسعه سریع باند فرودگاه برای اعزام نیروهای هوایی از ویژگی مهم صفحات ترمیم‌کننده باند فرودگاه می‌باشد. یکی از انواع این صفحات ترمیم‌کننده، صفحاتی از جنس آلیاژ آلومینیوم 6061-T6 هستند که اصطلاحاً AM-2 نامیده می‌شوند.

اولین تحقیق در خصوص سیستم‌های صفحات ترمیم‌کننده و کاربردهای آن توسط راشین و هوارد انجام شده است. آنها بر روی طراحی سیستم صفحات ترمیم‌کننده برای فرودگاه هواپیمایی ارتش آمریکا بین سال‌های ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ میلادی تحقیق کردند [۱]. پس از آن پیکت رفتار مناطق فرودگاهی که با صفحات ترمیم‌کننده ایجاد شده بودند تحت بار وارده از هواپیما برای صفحات ترمیم‌کننده را توصیف کرد [۲]. هار و روسنر با انجام تحلیل‌های پیشرفته، راندمان و کارایی محل اتصال صفحات ترمیم‌کننده را محاسبه کردند [۳]. گارتزل در سال ۲۰۰۷ یک تحقیق در مقیاس کامل روی صفحات ترمیم‌کننده باند فرودگاه انجام داد. وی نشان داد که اگر نیاز به پاسخ مفصل در اتصالات باشد، استفاده از مفهوم اجزاء محدود سه‌بعدی مناسب‌ترین روش است [۴]. گارتزل و همکاران در سال ۲۰۰۹، پنج سیستم صفحات ترمیم‌کننده منحصر به فرد را در تعداد عبور و مرورهای مختلف هواپیما در مقادیر مختلف شاخص خاک^۲ بستر مورد ارزیابی قرار دادند. آنان تغییر شکل‌های ایجاد شده در صفحات ترمیم‌کننده و بستر خاک

را تحت تعداد عبور و مرور هواپیما به صورت تجربی به دست آوردند [۵]. گنزالز و راشینگ در سال ۲۰۱۰ با استفاده از داده‌های تست مقیاس کامل و محاسبه مقادیر مدول‌های الاستیسیته برای سیستم‌های صفحات ترمیم‌کننده، یک مدل مکانیزم تجربی را با استفاده از تئوری الاستیک لایه‌ها بسط دادند [۶]. دوویل و همکاران در سال ۲۰۱۴ با بهره‌گیری و توسعه مدل گارتزل که در سال ۲۰۰۷ انجام شده بود، تخمین‌های بهتری را با استفاده از یک مدل سه‌بعدی به دست آوردند. این مفهوم با استفاده از داده‌های چهار نقطه خمشی برای دیفرانسیل‌گیری مقادیر مدول‌های قسمت درونی صفحات ترمیم‌کننده و مدول‌های طولی و عرضی اتصالات به کار گرفته شد [۷]. گارسیا و هوارد در سال ۲۰۱۶ یک تحقیق تجربی در شش نوع صفحات ترمیم‌کننده از جمله صفحات آلومینیومی 6061-T6 ترمیم‌کننده باند فرودگاه را روی بستر خاک با شاخص خاک برابر ۶، تحت شبیه‌سازی بارگذاری‌های هواپیما انجام دادند [۸].

در خصوص تحقیقات صورت گرفته در زمینه جوشکاری تیگ مقالات و مراجع متعددی وجود دارد که تنها به چند مورد اشاره می‌شود. میشر/ و همکاران [۹] استحکام کششی جوشکاری تیگ و میگ را برای فولاد کربنی و فولاد ضدزنگ با یکدیگر مقایسه کردند. محرمی و علی‌نژاد [۱۰] متغیرهای جوشکاری تعمیر تیگ غیرهمجنس ورق فولاد کربنی A516 درجه ۶ و فولاد ضدزنگ SS316 را بهینه‌سازی کردند. آنها این کار را به روش تاگوچی و روش‌های آماری انجام دادند. شاخصی و همکاران [۱۱] توزیع دما و تنش‌های پسماند ناشی از جوشکاری تیگ را در یک پوسته کروی از جنس آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V به روش المان محدود به دست آوردند. احمدی و ابراهیمی [۱۲] روش اکتیو تیگ را با روش مرسوم تیگ در جوشکاری فولاد زنگ‌نزن 316L مقایسه نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که عمق نفوذ جوش در روش اکتیو تیگ بدون آن‌که بر روی خواص مکانیکی و خوردگی قطعه جوش تأثیر منفی به جا بگذارد، افزایش می‌یابد. نظریپور و همکاران [۱۳] تأثیر تغییر جریان در جوشکاری تیگ پالسی بر خواص مکانیکی و متالورژیکی آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳ را بررسی نمودند. یکی از صفحاتی که برای ترمیم باند به کار می‌رود صفحه‌ای از جنس آلیاژ آلومینیوم 6061-T6 می‌باشد که به AM-2 مشهور است. نمونه اصلی این صفحه در ابعاد



شکل ۱- نمایی از صفحات AM-2 ترمیم‌کننده باند فرودگاه



شکل ۲- سطح مقطع صفحات AM-2

این صفحات برای ترمیم و احداث باند فرودگاه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که قابلیت فرود هواپیمای ترابری C-130 را دارند [۱۴].

اصول جوشکاری به روش تیگ

جوشکاری تیگ^۲ یا همان جوشکاری قوس تنگستن تحت پوشش گاز محافظ، یکی از مهم‌ترین روش‌های جوشکاری در صنایع مختلف کوچک و بزرگ پتروشیمی، نظامی، دریایی، هوایی، نیروگاه‌های برق و ... می‌باشد. در ایران بیشتر با نام اختصاری و متداول جوش آرگون شناخته می‌شود. از فرایند جوشکاری تیگ می‌توان برای جوشکاری فلزات سخت و غیرسخت، آهنی و غیرآهنی در تمام ضخامت‌ها استفاده کرد. با استفاده از این نوع جوشکاری می‌توان جوشکاری صفحات نازک و ظریف (به‌عنوان مثال آلومینیومی) تا لوله‌های تحت فشار را انجام داد. در این روش قوس و حوضچه مذاب کاملاً آشکار و قابل مشاهده می‌باشد. در این فرایند عمل جوشکاری توسط حرارت ناشی از قوس الکتریکی مابین یک الکترود مصرف‌نشده از جنس تنگستن (یا آلیاژ آن) و قطعه کار صورت می‌پذیرد. الکترود، قوس الکتریکی و منطقه حوضچه مذاب توسط یک گاز محافظ (آرگون، هلیوم، مخلوط هر دو گاز و یا مخلوط هر یک از دو گاز با گاز هیدروژن) برابر اتمسفر محافظت می‌شود. استفاده از گازهای آرگون و هلیوم به علت خاصیت خنثی بودن این گازها می‌باشد.

۶۳ در ۳۶۰ سانتیمتر و ضخامت حدود ۴ سانتیمتر می‌باشد. به دلیل این‌که فرآیند ساخت این صفحه با این ابعاد دشوار و نیاز به دستگاه‌های پیشرفته دارد، تصمیم بر آن شده است که دو صفحه در ابعاد ۳۱/۵ در ۳۶۰ سانتیمتر ساخته شده و سپس به وسیله جوشکاری تیگ به یکدیگر جوش گردند. نکته حائز اهمیت این است که صفحه اصلی قابلیت استفاده برای فرود هواپیمای ترابری C-130 را دارد و صفحه جوشکاری شده نیز باید بتواند نیروهای ناشی از فرود این هواپیما را تحمل کند. بنابراین تحلیل استحکام این صفحات جوشکاری شده در برابر نیروهای وارده از طرف هواپیمای ترابری C-130 هدف اصلی این تحقیق می‌باشد. برای این کار دو حالت نیرویی در نظر گرفته شده است. حالت اول این‌که نیروی ناشی از تایر هواپیمای ترابری C-130 در وسط صفحات ترمیم‌کننده باند قرار گیرد. حالت دوم این‌که این نیرو در مرز بین دو صفحه قرار گیرد. برای هر دو حالت، تحلیل‌ها برای مقادیر مختلف شاخص خاک مساوی ۶، ۱۰ و ۱۵ انجام شده و نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از تحلیل نمونه فاقد جوشکاری مقایسه شده است.

مبانی علمی تحقیق

صفحات ترمیم‌کننده باند

صفحات مختلفی برای ترمیم باند مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر کدام خصوصیات و کارایی خاص خود را دارند. برخی از این صفحات فقط برای آشیانه هواپیما و برخی صرفاً برای حرکت تاکسی هواپیما بر روی باند مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما برخی دیگر نیز وجود دارند که برای فرود، حرکت تاکسی و سکون هواپیما مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از این صفحات، صفحه‌ای با ابعاد ۶۳ در ۳۶۰ سانتیمتر از جنس آلیاژ آلومینیوم 6061-T6 می‌باشد که به صفحه AM-2 مشهور است. این صفحات در کشور آمریکا طراحی و ساخته شده است. اما کشورهای بسیاری تاکنون از آن استفاده نموده‌اند. وزن یک ورق کامل آن حدود ۶۵ کیلوگرم است و توسط سربازان در کنار یکدیگر قفل شده و مسیر یکپارچه‌ای برای فرود، برخاست و حرکت تاکسی هواپیماهای ترابری و جنگنده ایجاد می‌نماید. نمونه‌ای از این صفحه در شکل ۱ نشان داده شده است. سطح مقطع این صفحه نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.

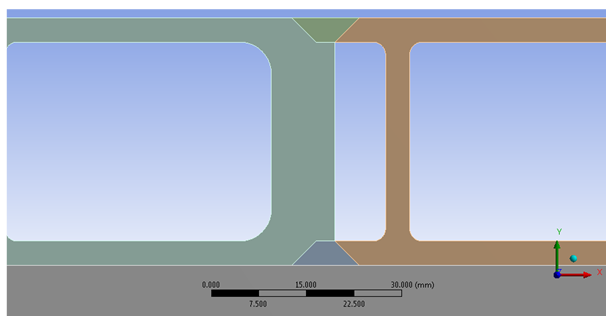
مشخصات هواپیمای ترابری C-130

امر باعث می‌شود که تنش‌های حاصل از خمش بیشتر شوند. به همین دلیل میزان تنش در صفحات بالا می‌رود. بنابراین از نقطه نظر استحکام صفحات، هرچه میزان شاخص خاک بیشتر باشد، صفحه قادر است نیروهای بزرگتری را تحمل کند. اما از طرف دیگر، بالاتر رفتن مقدار شاخص خاک، امکان احداث و اصلاح باند را سخت‌تر و پیچیده‌تر می‌کند. بنابراین باید مصالحه‌ای بین میزان تنش در صفحات و مقدار شاخص خاک ایجاد نمود.

مدل سازی در نرم افزار المان محدود

یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که در هنگام تحلیل استحکام صفحات می‌بایست مورد توجه قرار گیرد، هندسه طرح اتصال دو قسمت صفحه است. برای این که بتوان جوشکاری را بر روی صفحه انجام داد، لازم است که تغییراتی در هندسه مقطع ایجاد شود. همچنین به دلیل این که فرآیند جوشکاری منجر به ایجاد ریزترک‌هایی در قسمت جوش شده و استحکام را کاهش می‌دهد، نیاز است که در قسمت جوش، هندسه در راستای ضخامت تقویت شود. بنابراین هندسه شکل ۲ (که در آن فاصله بین ریب‌ها یکسان است) تغییر کرده و به صورت آن چه در شکل ۳ آورده شده است نهایی گردیده است.

همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، مقطع‌های دوزنقه‌ای شکل برای ایجاد جوشکاری تیگ در نظر گرفته شده است. همچنین فاصله ریب‌ها در مقطع جوش به یکدیگر نزدیک شده و ضخامت یک ریب نیز افزایش یافته است. لازم به ذکر است که برای رسیدن به این طرح اتصال، تحلیل‌های مختلفی انجام شده است که بیان جزئیات آن خارج از اهداف این تحقیق می‌باشد و به همین دلیل از ذکر جزئیات صرف نظر می‌شود.



شکل ۳ - هندسه سطح مقطع صفحات و جوشکاری تیگ

همان‌طور که ذکر شد، صفحات ترمیم‌کننده باند می‌بایست برای فرود هواپیمای ترابری C-130 استحکام لازم را از خود نشان دهند. این هواپیما دارای یک ارابه فرود اصلی و یک ارابه فرود دماغه می‌باشد. ارابه فرود اصلی دارای ۴ تایر می‌باشد. بیش از ۹۰ درصد وزن هواپیما توسط ارابه فرود اصلی^۴ تحمل می‌شود. ارابه فرود دماغه^۵ که دارای یک یا دو تایر است بیشتر نقش تعادل را در هواپیما بازی می‌کند و نقش تحمل نیروی ناچیزی دارد. مطابق مراجع به دست آمده، به هر تایر ارابه فرود اصلی هواپیمای C-130 نیرویی معادل ۱۳/۶ تن (حدود ۱۳۶ کیلو نیوتن) وارد می‌شود. این نیرو در بدترین شرایط بار کامل هواپیما به دست آمده است و معیار بسیار مهمی برای تحلیل‌ها می‌باشد [۴].

عرض تایر هواپیمای C-130 حدود ۴۳۲ میلی‌متر و سطح مقطع تایر با پلیت در لحظه سکون معادل ۳۱۰۷ سانتیمتر مربع می‌باشد. سرعت افقی هواپیما در لحظه نشست معادل ۴۲ متر بر ثانیه و سرعت عمودی در لحظه برخورد تایر با زمین یا پلیت حدود ۱/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. مدت زمان برخورد نیز ۰/۱ ثانیه می‌باشد. به عبارت دیگر شتاب عمودی در لحظه برخورد مساوی ۱۵ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد [۴].

تأثیر شاخص خاک بر استحکام صفحات

میزان سفتی و نرمی خاک بستر با پارامتری به نام شاخص خاک مشخص می‌شود. این شاخص، عددی بین صفر تا ۱۰۰ است. هرچه میزان این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهنده میزان سفتی بیشتر خاک می‌باشد. بنابراین عدد صفر نشان‌دهنده خاک بسیار نرم و عدد ۱۰۰ نشان‌دهنده خاک بسیار سفت می‌باشد.

در هنگام استفاده از صفحات اصلاح باند، به دلیل شرایط اضطراری و لزوم احداث و اصلاح باند در حداقل زمان ممکن، برای حداقل میزان شاخص خاک مورد نیاز اعداد کمتری ذکر شده است. عموماً در مراجع و مستندات کارهای تحقیقاتی انجام شده در این خصوص، اعداد ۶، ۱۰ و ۱۵ ذکر شده است [۴].

هر چه میزان شاخص خاک کمتر باشد، در اثر اعمال نیروی وارده، تغییر مکان بیشتری از خود نشان می‌دهد. این تغییر مکان، منجر به تغییر مکان بیشتر در صفحات می‌شود. این

برای کاهش خواص مکانیکی در جوشکاری تیگ، مراجع مختلف مقادیر مختلفی را ذکر کرده‌اند. در مرجع [۱۶] حداکثر ۲۴ درصد کاهش در مقادیر استحکام تسلیم گزارش شده است. اما در مرجع [۱۷] کاهش ۳۵ تا ۴۹ درصدی گزارش شده است. در این مقاله، تعیین پارامترهای جوشکاری تیگ، به منظور دستیابی به بهترین خواص برای جوش مدنظر نبوده، بلکه تعیین هندسه مناسب در سطح مقطع پلیت به منظور دستیابی به استحکام پلیت جوشکاری شده حداقل برابر با پلیت فاقد جوشکاری می‌باشد. بنابراین کمترین خواص استحکام مکانیکی جوشکاری تیگ (کاهش استحکام تسلیم به نصف) که در مراجع ذکر شده است، به عنوان خواص استحکام مکانیکی جوش پلیت در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر چنانچه خواص استحکام مکانیکی جوش انجام شده بر روی پلیت AM-2 کمتر از مقادیر ذکر شده در جدول ۱ باشد، جوشکاری رد شده تلقی می‌گردد. البته همان‌طور که در بالا ذکر شد، این خواص استحکام مکانیکی، کمترین خواص استحکام مکانیکی مندرج در مراجع است و در عمل با استفاده از تجربه جوشکاران، خواص بالاتر از خواص ذکر شده در جدول ۱ حاصل شده است.

جدول ۱- خواص استحکام مکانیکی فلز پایه پلیت و جوش تیگ [۱۷]

نوع نمونه	استحکام تسلیم MPa	استحکام نهایی MPa	ازدیاد طول %	انرژی ضربه (J)
فلز پایه	۲۱۲	۳۱۰	۱۲	۱۴
جوش	۱۰۶	۲۰۴	۶	۶

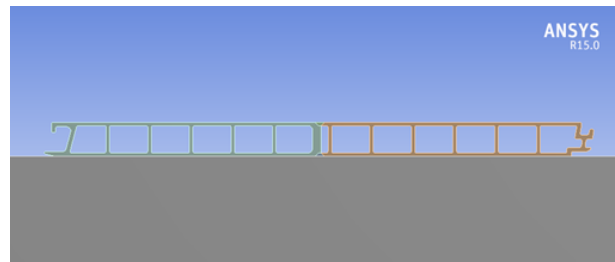
باتوجه به این که هر تاپر هواپیمای تراپری C-130 مقدار ۱۳۶ کیلونیوتن به صفحه وارد می‌کند و نظریه این که سطح مقطع تاپر ۳۱۰۷ سانتیمتر مربع می‌باشد، بنابراین فشار متوسط ۴۳۸ کیلوپاسکال به صفحات وارد می‌شود. باتوجه به این که فشار در وسط بیشتر و در انتها کمتر می‌باشد، برای در نظر گرفتن تغییرات فشار می‌بایست فشار ماکزیمم را مساوی ۱/۵۷ برابر فشار متوسط در نظر گرفت [۱۵]. بنابراین یک فشار متغیر با ماکزیمم ۶۸۷ کیلوپاسکال در وسط تا فشار صفر در انتها (به گونه‌ای که همان نیروی ۱۳۶ کیلونیوتن را نتیجه دهد) در نظر گرفته شد.

دو حالت برای اعمال نیرو در نظر گرفته شد (شکل ۶). حالت اول این که تاپر هواپیما دقیقاً در وسط صفحه (در راستای

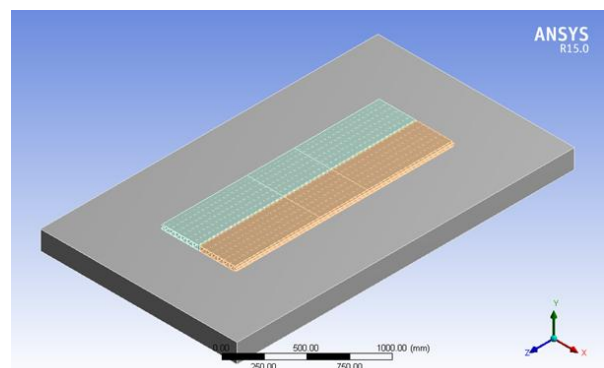
هندسه دو بخش صفحه AM-2 و جوش تیگ به صورت آن چه در شکل ۴ نشان داده شده است مدل سازی گردید. همچنین خاک بستر نیز مدل شد و خصوصیات مکانیکی صفحه، جوش و خاک بستر تعریف گردید.

خاک بستر علاوه بر این که کل زیر صفحه را پوشش می‌دهد از هر طرف به اندازه ۵۰۰ میلیمتر امتداد دارد. همچنین بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته مشخص شده است که ضخامت ۳۰۰ میلیمتر برای خاک بستر مناسب بوده و ضخامت‌های بیشتر از این مقدار، تنها منجر به افزایش حجم محاسبات خواهد شد. نمونه‌ای از مدل سازی صورت گرفته در شکل ۵ نشان داده شده است.

مدول الاستیسیته و ضریب پواسون صفحات و جوش تیگ به ترتیب ۷۰ گیگاپاسکال و ۰/۳ در نظر گرفته شدند. مدول الاستیسیته خاک بستر نیز از ضرب مقدار شاخص خاک در عدد ۱۱ (بر حسب مگاپاسکال) به دست می‌آید [۱۵]. با توجه به این که مقادیر مختلف شاخص خاک مساوی ۶، ۱۰ و ۱۵ مورد بررسی قرار گرفتند، بنابراین سه مدل مختلف با مدول الاستیسیته مساوی ۶۶، ۱۱۰ و ۱۶۵ مگاپاسکال برای خاک در نظر گرفته شد. سایر خواص استحکام مکانیکی صفحه و جوش تیگ در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۴- مدل سازی صفحه، جوش تیگ و خاک بستر



شکل ۵- مدل سازی نهایی در نرم افزار انسیس

تحلیل نتایج اعمال نیرو در وسط

همان طور که در بخش قبل ذکر شد، سه مقدار مختلف برای شاخص خاک (مساوی ۶ و ۱۰ و ۱۵) در نظر گرفته شد. همچنین دو حالت نیروی (اعمال نیرو در وسط صفحه و اعمال نیرو در مرز بین دو صفحه) برای در نظر گرفتن حالت های مختلف قرارگیری تایر هواپیمای ترابری C-130 بر روی صفحات ترمیم کننده باند در نظر گرفته شد. اکنون نتایج به دست آمده تشریح می گردد.

مطابق تحلیل ها و نتایج به دست آمده، مشخص شده است که به دلیل قرارگیری صفحه بر روی یک بستر الاستیک، نواحی دورتر از محل اعمال نیرو از نیروی اعمالی تأثیر نمی پذیرند. به عبارت دیگر نیازی به در نظر گرفتن کل طول ۳۶۰ سانتیمتری صفحه نمی باشد. بلکه صرفاً کافی است که ۱۰۰ سانتیمتر از صفحه مدل شود. لازم به ذکر است که در نظر گرفتن طول کل صفحه اشکالی به حل وارد نمی کند و فقط زمان اجرای حل را طولانی تر می کند.

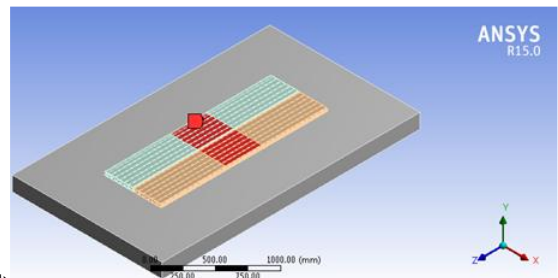
برای شاخص خاک مساوی ۶ توزیع تنش در صفحه، جوش، و بستر خاک به صورت شکل ۸ به دست آمده است.

ماکزیمم تنش در صفحه مساوی ۴۵ مگاپاسکال به دست آمده است. در وسط خط جوش نیز تنش به ماکزیمم مقدار خود (در محل جوش) و مساوی ۱۹ مگاپاسکال رسیده است. البته لازم به ذکر است که تنش در قسمت بسیار کوچکی از پلیت به مقدار ماکزیمم ذکر شده در بالا رسیده است و در عمده مناطق در حدود ۲۰ مگاپاسکال می باشد. بنابراین با در نظر گرفتن استحکام ذکر شده در جدول ۱، ضریب اطمینان در محل جوش مساوی ۵/۶ و در محل فلز پایه مساوی ۴/۷ به دست می آید.

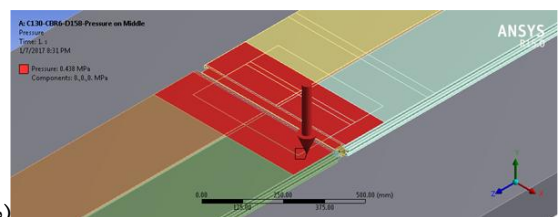
برای مقدار شاخص خاک مساوی ۱۰ و ۱۵ نیز تحلیل های مشابهی انجام شده است و توزیع های دیگری مانند آنچه در شکل ۸ آورده شده است به دست آمده است. برای شاخص خاک مساوی ۱۰ مقدار ماکزیمم تنش در فلز پایه و محل جوش تیگ به ترتیب مساوی ۴۰ و ۱۴ مگاپاسکال و برای شاخص خاک مساوی ۱۵ مقدار ماکزیمم تنش به ترتیب مساوی ۳۹ و ۱۱ مگاپاسکال به دست آمده است. عمده قسمت های فلز پایه در مقدار شاخص خاک مساوی ۱۰ و ۱۵ به ترتیب در حدود ۱۳ و ۱۲ مگاپاسکال می باشند و فقط در مناطق بسیار محدودی از آن به مقادیر ماکزیمم ذکر شده فوق می رسد.

طولی قرار گیرد و حالت دوم این که تایر هواپیما در مرز بین دو صفحه (در راستای طولی) قرار گیرد.

صفحه ترمیم کننده باند با المان پوسته و خاک بستر و جوش تیگ با المان جامد مش بندی گردید. دیواره ها و همچنین انتهای بستر خاک در تمام راستاها اعم از محور X و Y و Z و راستاهای چرخش مقید شدند. صفحات ترمیم کننده باند فرودگاه به وسیله قید تای ۶ به بستر رویی خاک متصل گردید. برای دستیابی به اندازه بهینه برای مش بندی، آنالیز حساسیت مش انجام شده است که نمودار آن در شکل ۷ آورده شده است. همان طور که ملاحظه می شود، با ریزتر کردن المان ها، تنش به مقدار حدود ۴۵ مگاپاسکال همگرا شده است. این نتایج برای تحلیل تنش صفحه با اعمال نیرو در وسط است که به تفصیل در بخش بعد مورد بررسی قرار می گیرد.

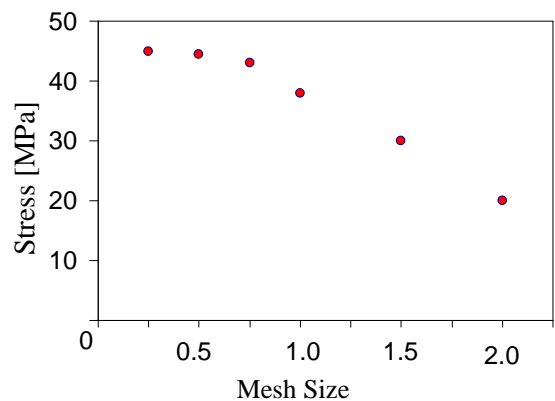


(الف)



(ب)

شکل ۶- نیروی اعمالی به صفحات؛ (الف) به وسط صفحه، (ب) به مرز بین دو صفحه

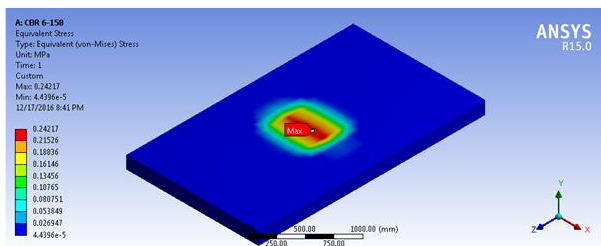


شکل ۷- آنالیز حساسیت مش

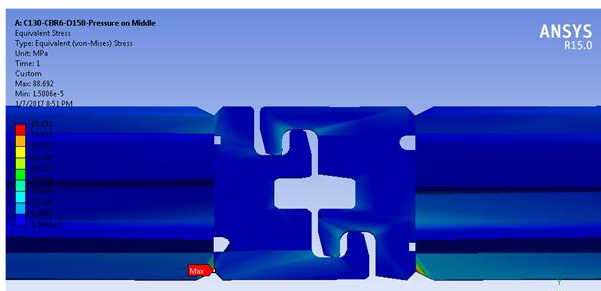
و مقادیر تنش‌ها به تدریج با دور شدن از محل اعمال نیرو به حدود ۷۰ مگاپاسکال رسیده و با دور شدن بیشتر، به کمتر از ۲۰ مگاپاسکال می‌رسد.

برای شاخص خاک مساوی ۱۰، مقدار تنش در فلز پایه مساوی ۷۶ مگاپاسکال و برای جوش تیگ مساوی ۷۲ مگاپاسکال به دست آمده است که نشان می‌دهد ضریب اطمینان برای فلز پایه و جوش تیگ به ترتیب مساوی ۲/۸ و ۱/۴۷ شده است. مقادیر تنش برای فلز پایه و جوش برای شاخص خاک مساوی ۱۵ به ترتیب مساوی ۶۷ و ۶۴ مگاپاسکال و ضریب اطمینان نیز به ترتیب مساوی ۳/۲ و ۱/۶۶ شده است.

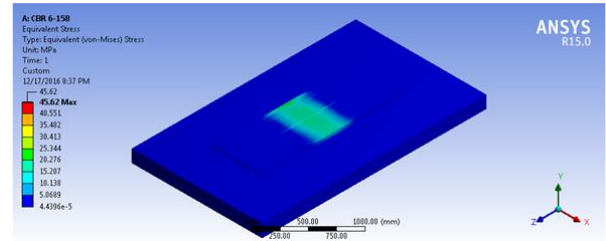
با توجه به مقادیر بالا ملاحظه می‌شود که اگرچه افزایش مقدار شاخص خاک باعث کاهش تنش می‌شود اما کاهش تنش در محل جوش تیگ محسوس تر است. به گونه‌ای که اگرچه در مقدار شاخص خاک مساوی ۶، مقدار تنش در محل جوش بیشتر از فلز پایه است، اما در شاخص خاک مساوی ۱۵، مقدار تنش در محل جوش کمتر از مقدار تنش در فلز پایه شده است. شکل ۱۰ موقعیت ماکزیمم تنش در فلز پایه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، این موقعیت در نزدیکی انتهای صفحه و در زیر نیروی اعمالی می‌باشد.



شکل ۹- توزیع تنش در خاک بستر



شکل ۱۰- موقعیت ماکزیمم تنش در صفحه ترمیم‌کننده باند در حالت اعمال نیرو در مرز بین دو صفحه



شکل ۸- توزیع تنش در صفحه، جوش، و بستر خاک در شاخص خاص مساوی ۶ نیرو در وسط صفحه

همان‌طور که در مقادیر بالا ملاحظه می‌شود، مقدار تنش در فلز پایه در کلیه مقادیر شاخص خاک بزرگتر از مقدار تنش در محل جوش می‌باشد. اما از طرف دیگر استحکام در محل جوش کمتر از استحکام در فلز پایه است. به علاوه ملاحظه می‌شود که با افزایش مقدار شاخص خاک، مقادیر تنش کاهش یافته است. البته با افزایش مقدار شاخص خاک از ۱۰ به ۱۵، مقدار تنش در فلز پایه صفحه ترمیم‌کننده باند از ۴۰ به ۳۹ کاهش یافته که این کاهش قابل اغماض می‌باشد. اما در موارد دیگر کاهش تنش قابل ملاحظه است.

مقدار تنش در خاک بسیار کم و حدود ۰/۲ مگاپاسکال به دست آمده است. این به دلیل مقدار کم مدول الاستیسیته خاک و انعطاف‌پذیری آن و عدم تحمل تنش توسط خاک می‌باشد. در شکل ۹ توزیع تنش در خاک نشان داده شده است. مقادیر این تنش‌ها (به دلیل کم بودن) قابل توجه نمی‌باشد. بلکه اهمیت این شکل در آن است که نشان داده شده است که خاک حضور نیرو بر روی صفحه را حس کرده است.

تحلیل نتایج اعمال نیرو در مرز بین دو صفحه

چنانچه نیرو در مرز بین دو صفحه (در راستای طولی) اعمال شود، تنش‌ها بسیار متفاوت از حالت قبل خواهد شد. به گونه‌ای که برای شاخص خاک مساوی ۶، تنش در محل فلز پایه مساوی ۸۹ مگاپاسکال و در محل جوش تیگ مساوی ۱۰۳ مگاپاسکال خواهد شد. به این ترتیب، ضریب اطمینان در محل فلز پایه مساوی ۲/۴ و در محل جوش تیگ مساوی ۱/۰۳ خواهد شد. این نشان می‌دهد که مقدار شاخص خاک مساوی ۶ برای محل جوش تیگ بسیار خطرناک می‌باشد و می‌بایست از مقادیر بزرگتری برای شاخص خاک استفاده نمود تا مقدار تنش کاهش یابد. در این حالت، برخلاف حالت بارگذاری در وسط پلیت، ماکزیمم تنش در محدوده نسبتاً بزرگی از آن رخ می‌دهد

جدول ۳- مقایسه نتایج صفحه جوشکاری شده و جوش نشده در حالت اعمال نیرو در مرز بین دو صفحه

شاخص خاک	مکان بررسی	تنش MPa		ضریب اطمینان
		جوش نشده	جوش شده	
۶	جوش	—	۱۰۳	۱/۰۳
	فلز پایه	۴۹	۸۹	۲/۴
۱۰	جوش	—	۷۲	۱/۴۷
	فلز پایه	۳۹	۷۶	۲/۸
۱۵	جوش	—	۶۴	۱/۶۶
	فلز پایه	۳۴	۶۷	۳/۲

اما جدول ۳ نشان می‌دهد که ضریب اطمینان برای نمونه فاقد جوشکاری حداقل مقدار ۴/۳ (برای شاخص خاک مساوی ۶) می‌باشد. در صورتی که در نمونه جوشکاری شده این ضریب برای شاخص خاک مساوی ۶ مساوی ۲/۴ برای فلز پایه به دست آمده است. ضریب اطمینان در این حالت برای جوش تیگ مساوی ۱/۰۳ به دست آمده است که همان طور که قبلاً نیز ذکر شد این ضریب اطمینان بسیار پایین بوده و عملاً نمی‌توان از شاخص خاک مساوی ۶ برای این موضوع استفاده نمود.

دقت در نتایج دیگر برای شاخص خاک مساوی ۱۰ و ۱۵ نیز نشان می‌دهد که ضریب اطمینان نمونه جوشکاری شده کمتر از ضریب اطمینان نمونه فاقد جوشکاری می‌باشد. بنابراین در حالت کلی نمونه جوشکاری شده از نمونه فاقد جوشکاری ضعیف‌تر است. اما با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب مساوی ۱/۵ ملاحظه می‌شود که در نمونه جوشکاری شده، برای شاخص خاک مساوی ۱۵، ضریب اطمینان هم در قسمت جوشکاری تیگ و هم در قسمت فلز پایه بالاتر از ۱/۵ به دست آمده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نمونه جوشکاری شده را برای شاخص خاک مساوی ۱۵ (و یا بالاتر) می‌توان به کار گرفت و نمی‌توان برای شاخص خاک کمتر از ۱۵ استفاده نمود.

لازم به ذکر است که می‌توان با افزایش ضخامت ریب‌ها در قسمت نواحی جوش، مقدار تنش‌های به وجود آمده را کمتر کرد. اما این مسئله منجر به افزایش وزن در صفحات شده و بررسی‌ها نیز نشان داده است که افزایش ضخامت بیش از مقدار در نظر گرفته شده فعلی، کاهش اندکی در میزان تنش ایجاد خواهد نمود. بنابراین با مصالحه بین افزایش وزن و کاهش تنش در

با توجه به نتایج به دست آمده ملاحظه می‌شود که مقدار شاخص خاک مساوی ۶ برای صفحه جوشکاری شده به روش تیگ مناسب نبوده و می‌بایست از شاخص‌های بزرگتری مانند ۱۰ و ۱۵ استفاده شود.

مقایسه نتایج با صفحه فاقد جوشکاری

اگرچه با توجه به نتایج ارائه شده در بخش قبل می‌توان نتیجه گرفت که صفحه جوشکاری شده به روش تیگ قابلیت تحمل نیروهای وارده از طرف هواپیمای ترابری C-130 را به شرط استفاده از شاخص خاک مساوی ۱۰ و ۱۵ دارا می‌باشد، اما به منظور مقایسه بهتر، می‌بایست وضعیت استحکام صفحه جوشکاری شده را با صفحه اصلی (جوشکاری نشده) مقایسه نمود. بدین منظور نمونه جوشکاری نشده در نرم افزار المان محدود/نسیس تحلیل شد و نتایج استخراج گردید. این نتایج به همراه نتایج حاصل از نمونه جوشکاری شده (به منظور مقایسه) در کنار هم لیست شده‌اند. جدول ۲ نتایج را برای نیروی اعمالی در وسط و جدول ۳ نتایج را برای نیروی اعمالی در مرز بین دو صفحه نشان می‌دهد.

با دقت در نتایج ارائه شده در جدول ۲ مشخص می‌شود که تنش به وجود آمده در نمونه اصلی و فاقد جوشکاری از تنش ایجاد شده در فلز پایه نمونه جوشکاری شده در حالت شاخص خاک مساوی ۶ و ۱۰ بیشتر بوده و ضریب اطمینان آن کمتر است. اما در شاخص خاک مساوی ۱۵ این روند برعکس شده و ضریب اطمینان نمونه فاقد جوشکاری بیشتر از نمونه جوشکاری می‌باشد. البته چون ضرایب اطمینان در این حالت بسیار بزرگ هستند می‌توان از هر مقداری برای شاخص خاک استفاده نمود.

جدول ۲- مقایسه نتایج صفحه جوشکاری شده و جوش نشده در حالت اعمال نیرو در وسط صفحه

شاخص خاک	مکان بررسی	تنش MPa		ضریب اطمینان
		جوش نشده	جوشکاری شده	
۶	جوش	—	۱۹	۵/۶
	فلز پایه	۶۰	۴۵	۴/۷
۱۰	جوش	—	۱۴	۷/۶
	فلز پایه	۴۳	۴۰	۵/۳
۱۵	جوش	—	۱۱	۹/۶
	فلز پایه	۳۲	۳۹	۵/۴



شکل ۱۱- کامیون مورد استفاده برای شبیه‌سازی نیروی اعمال و بارگیری بر روی محور عقب

آزمایش بر روی صفحات فاقد جوشکاری و جوشکاری شده به‌روش تیگ انجام شد و مقدار تغییرمکان طولی و عرضی صفحات اندازه‌گیری شد. این مقادیر با مقادیر به‌دست آمده از تحلیل نرم‌افزاری مقایسه شد. با توجه به این‌که مقدار تغییرمکان در صفحات در تحلیل نرم‌افزاری مساوی ۰/۱۳۵ میلیمتر و در تست تجربی حدود ۰/۱۴۵ میلیمتر به‌دست آمد، ملاحظه می‌شود که تطابق خوبی بین نتایج نرم‌افزار با نتایج تست تجربی وجود دارد. نمونه‌هایی از تست‌های صورت گرفته در شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- اعمال نیرو توسط تایر کامیون در وسط صفحات

نتیجه افزایش ضخامت ریب‌ها، این طرح به‌عنوان طرح نهایی در نظر گرفته شده است.

مقایسه با نتایج تجربی

به‌منظور صحت‌سنجی نتایج، لازم است تا نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از تست تجربی مقایسه شود. با توجه به تحقیقات قبلی صورت گرفته [۴ و ۱۵]، تست تجربی با نیروی شبیه‌سازی شده با تایر کامیون انجام می‌شود. با توجه به این‌که عامل اصلی ایجاد تنش و شکست در صفحات ترمیم‌کننده باند فشار وارده از طرف تایر هواپیما بر صفحات می‌باشد، این فشار می‌بایست با تایر کامیون شبیه‌سازی شود. سطح مقطع تایر کامیون بسیار کمتر از سطح مقطع تایر هواپیمای ترابری C-130 می‌باشد. بنابراین می‌توان با نیروی بسیار کمتری، این فشار را ایجاد نمود.

برای این منظور کامیونی انتخاب شده است که دارای دو محور است. یک محور در جلو دارای دو تایر و یک محور در عقب دارای ۴ تایر می‌باشد. با توجه به موقعیت محورها نسبت به مرکز ثقل کامیون و نظریه این‌که سطح مقطع تایر کامیون با صفحات ترمیم‌کننده باند حدود ۴۰۰ سانتیمتر مربع است، براساس محاسبات مشخص شده است که چنان‌چه ۶۳ وزنه ۵۰ کیلوگرمی دقیقاً بر روی محور عقب کامیون بارگیری شود، فشار وارده از طرف تایرهای عقب کامیون دقیقاً برابر فشار وارده از طرف تایر هواپیمای ترابری C-130 می‌باشد. بدین منظور از ۶۳ کیسه ۵۰ کیلوگرم سیمان استفاده شد. در شکل ۱۱ کامیون موردنظر و بارگیری کیسه‌های ۵۰ کیلوگرمی بر روی محور عقب کامیون نشان داده شده است.

با توجه به این‌که شاخص خاک مساوی ۱۵ به‌عنوان حداقل شاخص خاک قابل استفاده در نتایج تحلیل‌های نرم‌افزاری به‌دست آمد، بستری از خاک با شاخص خاک مساوی ۱۵ تولید شد. برای این منظور ابتدا فرآیند کوبش خاک با استفاده از غلتک طی شد و پس از آن مقدار شاخص خاک با آزمایش خاک‌شناسی تعیین گردید. فرآیند کوبش آنقدر تکرار گردید تا شاخص مساوی ۱۵ به‌دست آید.

جوشکاری شده نیز (به شرط استفاده از شاخص خاک مساوی ۱۵) استفاده نمود. مقایسه نتایج تجربی با نتایج حاصل از نرم افزار المان محدود نیز تطابق خوبی را نشان داد.

پی نوشت ها

- ۱ Matting plate
- ۲ California Bearing Ratio (CBR)
- ۳ Tungsten Inert Gas (TIG)
- ۴ Main Landing Gear
- ۵ Nose Landing Gear
- ۶ tie

منابع و مراجع

- [1] Rushing, T. W., Howard, I. L., "Prediction of soil deformation beneath temporary airfield matting systems based on full-scale testing", Journal of Terramechanics, Vol. 58, No. 1, pp. 1-9, 2015
- [2] Pickett, G., "Analytical studies of landing mats for forward airfields", MSc. Thesis, Final reports on Corporations of Engineers, U.S. Army Waterways Experiment Station, 1951
- [3] Harr, M. E., Rosner, J. C., "A theoretical study of landing mat behavior", Contract Report. S-69-7, U.S. Army Waterways Experiment Station, 1969
- [4] Gartrell, C. A., "Full-scale instrumented testing and analysis of matting systems for airfield parking ramps and taxiways", Technical Report ERDC/GSL TR-07-33, U.S. Army ERDC, 2007
- [5] Gartrell, C. A., Newman, J. K., Anderton, G. L., "Performance measurements of pavement matting systems by full-scale testing over differing soil strengths", Journal of Materials of Civil Engineering, Vol. 21, No. 10, pp. 12-19, 2009
- [6] Gonzales, C. R., Rushing, T. W., "Development of a new design methodology for structural airfield mats", International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 102-109, 2010
- [7] Doyle, J. D., Howard, I. L., Gartrell, C. A., Anderton, G. L., Newman, J. K., Berney, E. S., "Full-scale instrumented testing and three-dimensional modeling of airfield matting systems", International Journal of Geomechanics, Vol. 14, No. 2, pp. 78-89, 2014
- [8] Garcia, L., Howard, L., "Full-scale instrumented testing of multiple airfield matting systems on soft soil to characterize permanent



شکل ۱۳- اعمال نیرو توسط تایر کامیون در مرز بین دو صفحه



شکل ۱۴- نمونه‌ای از اندازه‌گیری تغییر شکل صفحه با استفاده از خط‌کش تراز

نتیجه‌گیری

در این مقاله، تحلیل استحکام صفحات ترمیم‌کننده باند که به روش تیگ جوشکاری شده‌اند در برابر بارهای وارده از طرف هواپیمای ترابری C-130 صورت گرفت. نتایج نشان داد در حالت اعمال نیرو در وسط صفحات ترمیم‌کننده باند، مقدار ضریب اطمینان در کلیه مقادیر مختلف شاخص خاک بسیار مناسب به دست می‌آید و می‌توان در این حالت از هر خاکی استفاده نمود. اما در حالت اعمال نیرو در مرز بین دو صفحه، می‌بایست از حداقل شاخص خاک مساوی ۱۵ استفاده نمود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش مقدار شاخص خاک، میزان تنش در فلز پایه و محل جوش کاهش می‌یابد. به علاوه چنانچه نیرو در مرز بین دو پلیت وارد شود، مقادیر تنش عموماً بزرگتر از حالتی است که نیرو در وسط یک پلیت وارد شود. همچنین مقایسه نتایج به دست آمده برای نمونه جوشکاری شده به روش تیگ و نمونه فاقد جوشکاری نشان داد که اگرچه ضریب اطمینان در نمونه جوشکاری شده کوچکتر از ضریب اطمینان در نمونه فاقد جوشکاری است، اما با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب مساوی ۱/۵، می‌توان از نمونه

- زنگ نزن 316L"، یازدهمین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید ایران، تبریز، ۱۳۸۹.
- [۱۳] نظریور، وحید، سلطانی‌پور، عبدالرضا، فرمنش، خسرو، "تأثیر تغییر جریان در جوشکاری تیگ پالسی بر خواص مکانیکی و متالورژیکی آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳"، نشریه علم مواد، سال ۲، شماره ۱، صفحات ۵۴-۶۷، ۱۳۸۹.
- [13] Foster, D. C., "Decks for rapid runway mat application", Airforce Research Laboratory, AFRL-ML-WP-TP-2007-444, 2007.
- [14] Johnson, L. D., "Design and construction of mat foundations", Army Corps Engineers, GL-89-27, 1989
- [15] He, Z., Peng, Y.Y., Yin, Z., Lei, X., "Comparison of FSW and TIG welded joints in Al-Mg-Mn-Sc-Zr alloy plates", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 21, pp: 1685-1691, 2011
- [16] Cabello, A., Ruckert, G., Huneau, B., Sauvage X., Marya, S., "Comparison of TIG welded and friction stir welded Al-4.5Mg-0.26Sc alloy", Journal of Materials Processing and Technology, Vol. 197, pp: 337-343, 2008

- deformation". Defense Technical Report, No. AD1012038, 2006
- [9] Mishra, R. R., Tiwari, V. K., Rajesh, S., "A study of tensile strength of MIG and TIG welded dissimilar joints of mild steel and stainless steel", International Journal of Advances in Materials Science and Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 23-32, 2014.
- [۱۰] محرمی، رسول، علی‌نژاد، بهمن، "بهینه‌سازی متغیرهای جوشکاری تعمیری TIG غیرهمجنس ورق فولاد کربنی A516 Grade 60 و فولاد ضدزنگ SS316 به روش تاگوچی و روش‌های آماری"، مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، سال ۴۷، شماره ۲، صفحات ۳۴۳-۳۵۰، ۱۳۹۵.
- [۱۱] شاخصی، سعید، نظری، یاسین، حاتمی، احمد، نوقابی، محمد، "بررسی المان محدود توزیع دما و تنش‌های پسماند ناشی از جوشکاری تیگ پوسته‌کروی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V"، مجله مکانیک مدرس، سال ۱۶، شماره ۱۱، صفحات ۱۴۳-۱۵۳، ۱۳۹۵.
- [۱۲] احمدی، احسان، ابراهیمی، علیرضا، "بررسی مقایسه‌ای روش اکتیو تیگ با روش تیگ مرسوم در جوشکاری فولاد