

## Original Research Paper

# Evaluation of Different Welding Processes for Bonding Tethered Balloon Fabric

Maedeh Sadat Zoei<sup>✉\*</sup>, Mohammad Reza Pakmanesh<sup>✉</sup>, and Saeed Asghari<sup>✉</sup>

Institute of Materials and Energy, Iranian Space Research Center, Isfahan, Iran

**ARTICLE INFO****Article History:**

Receive 18 May 2025

Revise 17 September 2025

Accept 21 September 2025

Available Online 29 September 2025

**Keywords:**

Tethered balloon

Welding process

Bond strength

Helium permeability

PVC-coated polyester fabric

**ABSTRACT**

Nowadays, the use of tethered balloons in telecommunication applications has increased significantly. Due to their large dimensions and area, the tethered balloon structure hull is made of several sections that are bonded to each other by various joining processes. In this study, the application of various welding processes for the hull fabric of a tethered telecommunication balloon according to mission requirements was investigated. For this purpose, laboratory samples of polyester substrate fabric with double-sided PU+PVC coating, polyester substrate fabric with single-sided PVC coating, and polyester substrate fabric and TPU laminate were prepared and the fabric joining in these samples was carried out by high-frequency welding equipment, ultrasonic stitching, and thermal welding. Then, the tensile strength and helium permeability of the joining samples were measured. The results showed that the application of the welding process by ultrasonic sewing equipment and high-frequency spot welding resulted in a significant reduction in the strength of the joint seam compared to the unbonded fabric for all three types of fabrics. However, in the hot air thermal welding process of PVC-coated polyester fabric, the tensile strength and helium permeability at the joint seam under the condition of using the welding tape are respectively equal to 1.465 N and 0.06 L/m<sup>2</sup>/day, which is in accordance with the relevant requirement (500 N and 0.5 L/m<sup>2</sup>/day) and close to the similar values in the unbonded fabric (6.473 N and 0.05 L/m<sup>2</sup>/day). Therefore, the hot air thermal welding process is an appropriate process for bonding PVC-coated polyester fabric applied in this research.

\* Corresponding Author's E-mail: [m.zoei@isrc.ac.ir](mailto:m.zoei@isrc.ac.ir)**How to Cite this Article:**M. S. Zoei, M. R. Pakmanesh, and S. Asghari, "Evaluation of different welding processes for bonding tethered balloon fabric," *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 18, No. 3, pp. 28-37, 2025, (in Persian), <https://doi.org/10.22034/jsst.2025.524369.1547>.**COPYRIGHTS**© 2025 by the authors. Published by ARI This article is an open access article distributed under the terms and conditions of [The Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## ارزیابی فرایندهای مختلف جوشکاری برای اتصال پارچه بالن مقید

مأنده السادات ضوئی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا پاکمنش<sup>۲</sup>، و سعید اصغری<sup>۳</sup>

۱-۲-استادیار، پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، اصفهان، ایران  
۳-دانشیار، پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، اصفهان، ایران

### چکیده

امروزه استفاده از بالن‌های مقید در کاربردهای مخابراتی افزایش قابل توجهی داشته است. بدنه سازه بالن مقید به دلیل ابعاد و مساحت بزرگ، از چندین قطاع ساخته می‌شود که توسط فرایندهای مختلف اتصال به یکدیگر متصل می‌شوند. فرایند اتصال به اندازه توسعه مواد دارای اهمیت است. در این مطالعه به بررسی کاربرد فرایندهای مختلف جوشکاری برای پارچه بدنه بالن مقید مخابراتی منطبق بر الزامات ماموریتی پرداخته شده است. بدین منظور نمونه‌های آزمایشگاهی از پارچه زیرلایه پلی‌استر با پوشش دو طرفه PU+PVC، پارچه زیرلایه پلی‌استر با پوشش یک طرفه PVC و پارچه زیرلایه پلی‌استر و لمینت TPU آماده گردید و اتصال پارچه در این نمونه‌ها توسط تجهیز جوشکاری فرکانس بالا با هد نقطه‌ای، دوخت اولتراسونیک و جوشکاری حرارتی صورت گرفت. سپس استحکام کششی و نفوذپذیری هلیوم نمونه‌های اتصال اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد کاربرد فرایند جوشکاری توسط تجهیز دوخت اولتراسونیک و جوشکاری فرکانس بالا با هد نقطه‌ای برای هر سه نوع پارچه به کار رفته، موجب کاهش قابل توجه استحکام درز اتصال در مقایسه با پارچه بدون اتصال می‌شود. اما در فرایند جوشکاری حرارتی هوای داغ پارچه پلی‌استر با پوشش PVC، مقدار استحکام کششی و نفوذپذیری پارچه در برابر هلیوم در درز اتصال در شرایط کاربرد نوار جوش به ترتیب برابر با  $465/1 \text{ N}$  و  $0/06 \text{ L/m}^2/\text{day}$  است که مطابق با الزام مربوطه ( $500 \text{ N}$  و  $0/5 \text{ L/m}^2/\text{day}$ ) و نزدیک به مقادیر مشابه در پارچه اولیه بدون اتصال ( $473/6 \text{ N}$  و  $0/05 \text{ L/m}^2/\text{day}$ ) است. بنابراین فرایند اتصال جوشکاری حرارتی با هوای داغ، فرایندی مناسب برای اتصال پارچه پلی‌استر با پوشش PVC کاربردی در این تحقیق می‌باشد.

### اطلاعات مقاله

#### تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۴  
بازنگری ۲۶ شهریور ۱۴۰۴  
پذیرش ۳۰ شهریور ۱۴۰۴  
اولین انتشار ۰۷ مهر ۱۴۰۴

#### واژه‌های کلیدی:

بالن مقید  
فرایند جوشکاری  
استحکام اتصال  
نفوذپذیری هلیوم  
پارچه پلی‌استر با پوشش PVC

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [m.zoei@isrc.ac.ir](mailto:m.zoei@isrc.ac.ir)

#### How to Cite this Article:

M. S. Zoei, M. R. Pakmanesh, and S. Asghari, "Evaluation of different welding processes for bonding tethered balloon fabric," *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 18, No. 3, pp. 28-37, 2025, (in Persian), <https://doi.org/10.22034/jsst.2025.524369.1547>.



#### COPYRIGHTS

© 2025 by the authors. Published by ARI This article is an open access article distributed under the terms and conditions of [The Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



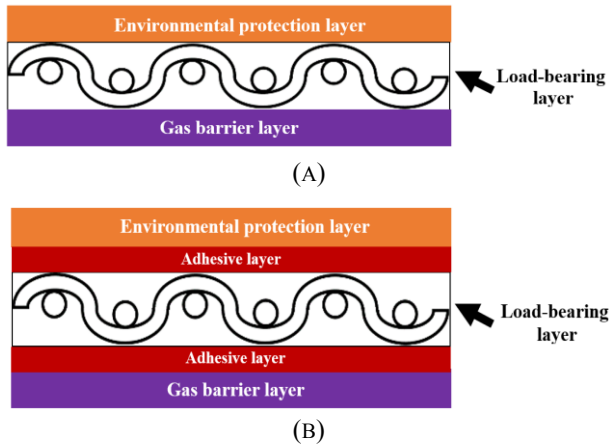
## مقدمه

طراحی و توسعه سیستم اتصال (طراحی درز و تکنولوژی اتصال)، یک چالش اصلی برای مواد LTA مخصوصاً مواد با استحکام بالا است [۱]. اتصال در ساخت بدنه LTA توسط سه فرایند اصلی دوخت مکانیکی، تکنولوژی اتصال چسبی و تکنولوژی جوشکاری انجام می‌شود [۲]. در فرایند دوخت مکانیکی چالش خروج گاز بالابر از محل آثار دوخت و نیاز به نوارهای برش در محل دوخت وجود داشته و در فرایند اتصال چسبی، امکان تخریب و تغییر خواص چسب با تغییر شرایط محیطی وجود دارد. بنابراین فرایند جوشکاری به عنوان فرایندی مطلوب در اتصال پارچه بالن مقید در نظر گرفته می‌شود. در فرایند جوشکاری پارچه، اتصال توسط کاربرد انرژی حرارتی ناشی از فرایند جوشکاری حاصل می‌شود. در اتصال پارچه‌ها، فرایند جوشکاری به‌کار رفته بر اساس منبع انرژی حرارتی به جوشکاری اولتراسونیک، جوشکاری فرکانس رادیویی (RF) و جوشکاری حرارتی طبقه‌بندی می‌شود [۷].

جوزنیک و همکارانش [۸] به مطالعه و بررسی تأثیر پارامترهای جوشکاری اولتراسونیک بر استحکام اتصال، ضخامت و سفتی درز و همچنین نفوذپذیری آب پارچه لمینت پلی‌استر/ پلی‌اورتان/ پلی‌آمید پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که نوع درز و ترکیب لایه‌های پارچه‌های متصل شده، تأثیر مهمی بر استحکام اتصال و ضخامت دارد. در این مطالعه فرکانس و سرعت جوشکاری اولتراسونیک منجر به تغییر در استحکام اتصال شده، اما تأثیر قابل توجهی ندارد. همچنین افزایش سرعت و فرکانس جوش موجب افزایش سفتی درزهای جوش و آسیب به پارچه و عدم مقاومت در برابر نفوذ آب شده‌است. زو و همکارانش [۹] رابطه ریاضی استحکام پارچه پلی‌استر با پوشش PVC و استحکام اتصال جوش در دمای بالا را ارائه دادند که توانایی پیش‌بینی استحکام در جهت تار، استحکام در جهت پود و استحکام خارج از راستای تار و پود در دمای بالا بر اساس استحکام کششی تک محوری در دمای اتاق دارد. نتایج اندازه‌گیری استحکام نمونه‌های جوش داده شده نشان داده‌است که استحکام اتصال جوش کمتر از استحکام پارچه بدون اتصال است و نسبت به تغییر دما حساسیت بیشتری دارد. کانتونگ [۱۰] به تجزیه و تحلیل بار گسیختگی و بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری هوای داغ پارچه‌های پلی‌استر پوشش داده شده با پوشش PVC-آکریلیک، توسط روش تاگوچی و آنالیز واریانس (ANOVA) پرداخت و مقادیر بهینه پارامترهای فاصله بین دمنده و قطعه کار، دمای هوای داغ، گشتاور و سرعت هوای داغ تعیین کرد. کانتونگ و همکارانش [۱۱] در مطالعه‌ای دیگر به بهینه‌سازی پارامترهای جوشکاری فرکانس بالای پارچه پلی‌استر با پوشش PVC پرداختند. در این مطالعه، مقادیر بهینه پهنای اتصال و

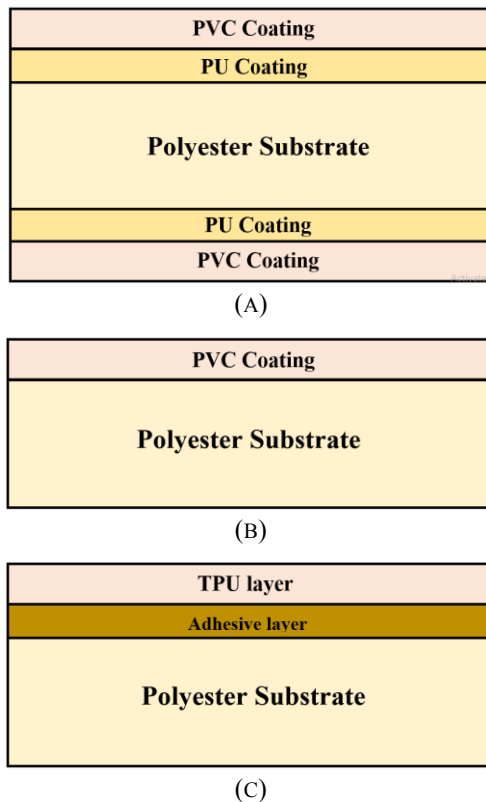
در سال‌های اخیر، تمایل به کاربرد سیستم‌های سبک‌تر از هوا (LTA) به‌منظور پایش و کنترل، حمل رله‌های مخابراتی، پیش‌بینی آب و هوا و دیده‌بانی، مکان‌یابی و ردیابی، پخش برنامه و تبلیغات افزایش یافته‌است [۱]. سیستم‌های سبک‌تر از هوا (LTA)، سازه آیرودینامیکی غیرصلب و انعطاف‌پذیر بوده که به دو نوع سیستم نامقید (بدون اتصال) (کشتی هوایی) [۲] و سیستم مقید (با اتصال) (بالن مقید) [۳] تقسیم‌بندی می‌شوند. برخلاف هواپیما، سفینه فضایی و ماهواره، نیروی بالابری سیستم LTA به‌جای سوخت توسط ترکیب آیرودینامیک و گاز بالابر همچون هلیوم یا هیدروژن فراهم می‌شود [۲]. سازه بالن مقید شامل سه قسمت مجزای بدنه، باله و بالونت است. بدنه حاوی گاز هلیوم بوده و شکل بدنه به‌عنوان عامل مهم و تعیین‌کننده تنش خالص وارد بر سازه، بر ظرفیت حمل بار و راندمان سیستم مؤثر است [۳]. به‌منظور افزایش راندمان، بدنه از موادی ساخته شده است که وزن بسیار سبک، نسبت استحکام به وزن بالا، قابلیت حفظ بالای گاز و انعطاف‌پذیری خوبی دارند [۴]. تا به امروز انواع مختلفی از مواد بدنه مانند پارچه تک لایه، پارچه پوشش‌دهی شده و پارچه لمینت شده از دو یا چند پارچه، در سیستم‌های LTA استفاده شده‌است. مطالعات و بررسی‌ها [۲] نشان داده‌است که پارچه یا فیلم تک لایه نمی‌تواند تمام الزامات پارچه سیستم‌های LTA را برآورده سازد. بنابراین در مسیر توسعه این سیستم‌ها، از پارچه‌های چند لایه لمینت یا پوشش‌دهی شده استفاده شد که هر لایه عملکرد مخصوص داشته و کل ساختار تمامی الزامات پارچه بدنه سیستم LTA را برآورده می‌سازند [۴].

بدنه سیستم بالن مقید به دلیل ابعاد بزرگ و مساحت قابل توجهی که دارد توسط چندین قطاع متعدد ساخته می‌شود که توسط فرایند اتصال به یکدیگر متصل می‌شوند [۵]. بنابراین در فرایند ساخت سازه سیستم‌های سبک‌تر از هوا، پارچه نهایی سازه پاکت به تعدادی بخش کوچک‌تر در الگوی خاصی برش داده می‌شود و این قسمت‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند تا سازه سیستم LTA تشکیل شود [۲]. به دلیل این که در حین بارگذاری، ماده سازه بارها را تحمل می‌کند، محل اتصال یا درز باید بتواند این بارها را از یک قسمت ماده پایه به قسمت دیگر منتقل کند که موجب ایجاد نیروهای کششی و برشی بر روی محل اتصال می‌شود. در نتیجه لازم است خواص کششی درز نهایی برابر یا بیشتر از استحکام ماده پایه باشد تا از یکپارچگی کل سازه بدنه و حداکثر راندمان سازه اطمینان حاصل شود [۶]. بنابراین تکنولوژی اتصال به اندازه توسعه مواد سازه دارای اهمیت بوده و



شکل ۱- لایه‌های مختلف ساختارهای چند لایه (الف) پوشش داده شده و (ب) لمینت برای سیستم‌های LTA.

Fig. 1. Different layers of multilayer structures (a) coated and (b) laminated for LTA systems.



شکل ۲- نمایش شماتیک پارچه‌های نمونه‌های آزمایشگاهی اتصال: (الف) پلی‌استر با پوشش دو طرفه PU+PVC، (ب) پلی‌استر با پوشش یک طرفه PVC و (ج) پلی‌استر با لمینت TPU.

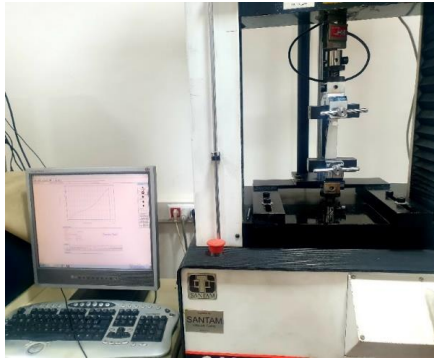
Fig. 2. Schematic representation of bonded fabric laboratory samples: (a) polyester with double-sided PU+PVC coating, (b) polyester with single-sided PVC coating, and (c) polyester with TPU laminate.

زمان جوش به‌منظور دستیابی به پهنای درز و زمان جوش برای دستیابی به بهره‌وری با بالاترین خواص عملکردی توسط روش تاگوچی، ANOVA و تحلیل رگرسیون در مقایسه با مطالعه پیشین نویسنده با کاربرد جوشکاری با هوای داغ [۱۰]، تعیین شده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد عرض اتصال جوش تأثیر بیشتری بر بار گسیختگی نسبت به زمان جوشکاری داشته و استحکام اتصال در جوشکاری با هوای داغ در مقایسه با جوشکاری فرکانس بالا، بیشتر است. کن و همکارانش [۱۲] به بهینه‌سازی پارامترهای فرایند جوشکاری با فرکانس بالا شامل شدت جریان، فشار نگهدارنده و زمان جوشکاری پارچه‌های پلی اتیلن با پوشش PVC پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که کمترین نیروی کشش در کمترین زمان جوشکاری حاصل شده و تأثیرگذارترین پارامتر بر تابع هدف، زمان جوشکاری است. علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی، ساخت بدنه برای اتصال قطعات‌های برش خورده بدنه و باله از جنس PVC توسط تجهیز اتصال فرکانس رادیویی [۱۳]، اتصال قطعات‌های یک نمونه کشتی هوایی آزمایشی از پارچه PVC توسط فرایند جوشکاری فرکانس رادیویی [۱۴]، کاربرد فرایند جوشکاری (بدون اشاره به نوع فرایند و پارامترهای آن) برای اتصال قطعات‌های بالن از جنس پارچه نایلون با پوشش PU [۱۵] نیز مطرح بوده‌است.

با توجه به اینکه پارچه به‌کار رفته در بدنه بالن مقید پارامتر موثر بر قابلیت کاربرد فرایند جوشکاری و تعیین پارامترهای جوشکاری دارد، بررسی قابلیت اتصال هر محصول خاص نساجی ضروری است. در این مطالعه به امکان‌سنجی کاربرد فرایند اتصال جوشکاری پارچه بالن به منظور کاربرد در بدنه بالن مقید در ارتفاع پروازی ۱۲۰۰ m از سطح دریا، مداومت پروازی ۱۴۴ ساعت در حداکثر سرعت باد ۷۰ km/h پرداخته شده‌است. شرایط کاربردی مذکور مربوط به پروژه توسعه پارچه بالن مقید پژوهشگاه فضایی ایران با کاربرد مخابراتی است و سه الزام مربوط به این شرایط شامل وزن، استحکام کششی و نفوذپذیری پارچه در برابر هلیوم است.

## مواد و روش تحقیق

به‌دلیل ضرورت تأمین خواص مختلف از پارچه به‌کار رفته در سیستم‌های LTA، ساختارهای چند لایه پوشش‌دهی شده (شکل ۱- الف) و پارچه‌های لمینت (شکل ۱- ب) در سازه بدنه این سیستم‌ها به‌کار برده می‌شوند. بر همین اساس در این بررسی سه نمونه پارچه شامل پارچه زیرلایه پلی‌استر با پوشش دو طرفه PU+PVC (شکل ۲- الف)، پارچه زیرلایه پلی‌استر با پوشش یک طرفه PVC (شکل ۲- ب) و پارچه زیرلایه پلی‌استر با لمینت TPU (شکل ۲- ج) برای نمونه‌های آزمایشگاهی اتصال به‌کار برده شد.



شکل ۳- تجهیز آزمون کشش در پژوهشکده مواد و انرژی و ستاپ آزمون مورد استفاده.

Fig. 3. Tensile testing equipment at the Institute of Materials and Energy and the test setup used.

جدول ۱- خواص پارچه‌های نمونه‌های آزمایشگاهی اتصال.

Table 1. Fabric properties of laboratory bonding samples.

Sample	Fabric type	Weight (gr/m <sup>2</sup> )	Tensile force (N)
1	Polyester with double-sided PU+PVC coating	214.1	558.69
2	Polyester with double-sided PU+PVC coating	220.1	597.14
3	Polyester with single-sided PVC coating	222.5	581.5
4	Polyester with TPU laminate	170.1	752.23
5	Polyester with double-sided PU+PVC coating	228.4	465.6
6	Polyester with single-sided PVC coating	192.4	473.6
7	Polyester with TPU laminate	170.1	752.23
8	Polyester with single-sided PVC coating	192.4	473.6
9	Polyester with TPU laminate	170.1	752.23

پارچه زیرلایه پلی‌استر با پوشش دو طرفه PU+PVC به رنگ سفید دارای زیرلایه پلی‌استر سبک با وزن  $105/2 \text{ gr/m}^2$  و استحکام  $267/12 \text{ N}$  است. پوشش‌دهی پارچه در شرکت کیهان پوشش به صورت اعمال یک لایه PU و سپس اعمال یک لایه PVC در هر دو طرف پارچه انجام شده است. پوشش PU از شرکت ایتالیایی IMA به صورت خالص و پوشش PVC از شرکت کیهان پوشش سپاهان به همراه DOP (Dioctyl Phthalate) با نسبت ۵۰ به ۵۰، به روش پوشش‌دهی تیغه‌ای بر زیرلایه اعمال شد. پارچه زیرلایه پلی‌استر با پوشش یک طرفه PVC با رنگ سفید، توسط اعمال پوشش PVC بر یک طرف پارچه، در سرعت حرکت برابر با  $12 \text{ m/min}$  در کل خط تولید توسط پوشش‌دهی تیغه‌ای در شرکت مجیر اسپادانا حاصل شده است. پارچه زیرلایه پلی‌استر با لمینت TPU به رنگ سفید، پارچه شرکت چینی است. در این مطالعه سه الزام وزن، استحکام کششی و نفوذپذیری پارچه در برابر گاز هلیوم اندازه‌گیری شد که با توجه به طراحی بدنه بالن مقید مطابق شرایط کاربردی مورد نظر تعیین شده‌اند.

به منظور اندازه‌گیری وزن نمونه‌های آزمایشگاهی پارچه‌ها، از ترازوی دیجیتال با دقت ۱ میلی‌گرم استفاده گردید و آماده‌سازی نمونه‌ها مطابق استانداردهای DIN EN 12127 [۱۶] و ISO 2286 و 2 [۱۷] با ابعاد  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$  انجام شد. همچنین هر اندازه‌گیری وزن با سه تکرار بوده و به صورت جرم واحد سطح ( $\text{gr/m}^2$ ) بیان شد. آزمون کشش به منظور تعیین استحکام کششی مواد بدنه و اتصالات مطابق با استاندارد ASTM D5035-11 [۱۸]، توسط تجهیز سننام با فک‌های مخصوص پارچه در پژوهشکده مواد و انرژی انجام گردید (شکل ۳). وزن و استحکام پارچه‌های به کار رفته در نمونه‌سازی اتصال در جدول ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه با توجه به اینکه الزام استحکام کششی برای پارچه بدنه برابر با  $200 \text{ N/cm}$  تعریف شده و عرض نمونه در آزمون استاندارد کشش برابر با  $2/5 \text{ cm}$  است، بنابراین حداقل نیروی کششی قابل تحمل توسط پارچه معادل  $500 \text{ N}$  است که به عنوان معیار الزام نیروی کششی پارچه و اتصالات در نظر گرفته شده است. استحکام کششی و به عبارتی دیگر نیروی کششی برای تمامی بررسی‌ها با سه تکرار در دمای اتاق و رطوبت محیط اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری پارچه در برابر گاز هلیوم توسط تجهیز نفوذپذیری پارچه در برابر گاز هلیوم در پژوهشکده مواد و انرژی، مطابق شکل ۴ و طبق استاندارد ISO 7229-2015 [۱۹] صورت پذیرفت. نمونه‌های آزمایشگاهی در این آزمون به صورت نمونه‌های دایره‌ای شکل، منطبق با ابعاد تجهیز ساخته شده آماده شد.



شکل ۶- نمونه‌های اتصال توسط تجهیز جوشکاری فرکانس بالا با هد نقطه‌ای توسط تجهیز شرکت آتیه‌سازان فرهود.

Fig. 6. Bonded samples using high-frequency welding equipment with a spot head by Atieh Sazan Farhoud Company.



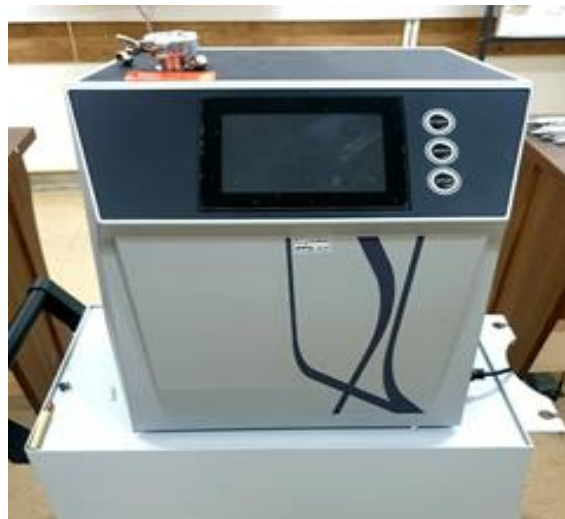
شکل ۷- اتصال پارچه توسط تجهیز جوشکاری حرارتی هوای داغ.

Fig. 7. Fabric joining by hot air thermal welding equipment.

## نتایج و بحث

### استحکام نمونه‌های آزمایشگاهی اتصال

در ابتدا مطابق پارچه‌ها و فرایندهای جوشکاری انتخابی، اتصال نمونه‌ها توسط تجهیزات جوشکاری انجام گرفت. در این مرحله برای برخی از نمونه‌ها، اتصال پارچه توسط جوشکاری حاصل نشد و در محل اتصال عیوبی همچون سوختگی و پارگی پارچه به وجود آمد. در مرحله بعدی نمونه‌های اتصال یافته بدون عیب ظاهری برای انجام آزمون‌های الزامات آماده‌سازی شدند. در همین راستا، نمونه‌های آزمون کشش مطابق شکل ۸ آماده شده و آزمون کشش به منظور تعیین استحکام کششی اتصالات انجام گردید. نتایج آزمون کشش به صورت میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در سه تکرار در جدول ۲ و به صورت نمودار در شکل ۹ نشان داده شده‌است.



شکل ۴- تجهیز آزمون نفوذپذیری پارچه در برابر هلیوم.

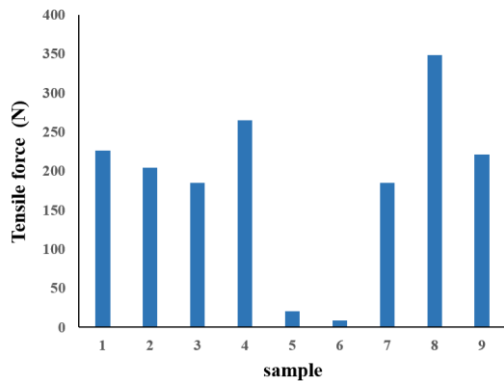
Fig. 4. Fabric helium permeability testing equipment.

پس از انتخاب سه نوع پارچه و اندازه‌گیری خواص اولیه قبل از فرایند جوشکاری، سه نوع فرایند جوشکاری شامل جوشکاری توسط تجهیز دستگاه دوخت اولتراسونیک مدل Bellsonic (شکل ۵)، جوشکاری فرکانس بالا با هد نقطه‌ای توسط تجهیز شرکت بهنومند و شرکت آتیه‌سازان فرهود با نمونه‌های نشان داده در شکل ۶ و جوشکاری حرارتی هوای داغ توسط تجهیز مدل LST1600S از شرکت Lesite مطابق شکل ۷ انجام گرفت. تمامی نمونه‌های فوق دارای طرح اتصال رویهم با عرض جوش ۳۰ mm بودند.



شکل ۵- دستگاه دوخت اولتراسونیک مورد استفاده.

Fig. 5. Used ultrasonic sewing machine.

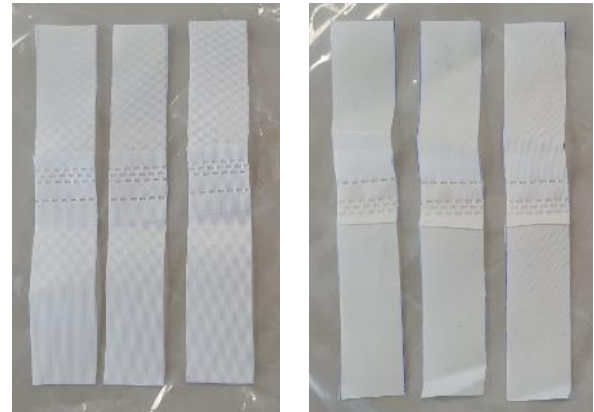


شکل ۹- نتایج آزمون استحکام نمونه‌های اتصال.

Fig. 9. Tensile specimens from joining by ultrasonic sewing machine.

با مقایسه جدول ۱ و جدول ۲ مشخص می‌شود که کاربرد فرایند جوشکاری اولتراسونیک توسط تجهیز دوخت آلتراسونیک موجب کاهش استحکام درز در حدود ۶۵ درصد نسبت به استحکام پارچه بدون اتصال، برای هر دو نمونه پارچه با پوشش ترکیبی PU+PVC با خواص اولیه متفاوت شده‌است. این نتایج می‌تواند ناشی از آسیب به الیاف زیرلایه و پوشش ناشی از حرارت فرایند جوشکاری باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد اتصال پارچه توسط تجهیز جوشکاری فرکانس بالا با هد نقطه‌ای، درز جوش بسیار ضعیف ایجاد می‌کند. هر چند دستیابی به اعداد استحکام بالاتر توسط کنترل نقاط جوش با همپوشانی حاصل می‌گردد، اما کاهش ۷۰ درصدی استحکام و عدم امکان کنترل فرایند در مترهای بالا، موجب رد کاربرد این فرایند در اتصال پارچه بالن می‌شود.

مقایسه مقادیر استحکام نمونه‌های جوشکاری حرارتی با پارچه‌های بدون اتصال نشان می‌دهد که استحکام درز جوش در پارچه با زیرلایه پلی‌استر با پوشش PVC، ۲۶ درصد و در پارچه زیرلایه پلی‌استر با لمینت TPU، ۷۰ درصد کاهش یافته‌است. بنابراین برای اتصال پارچه با ترکیب زیرلایه پلی‌استر و پوشش PVC، فرایند جوشکاری حرارتی مناسب است. به‌منظور افزایش استحکام درز و با توجه به پارگی نمونه‌ها از محل اتصال در طرح اتصال اولیه (شکل ۱۰- الف)، اضافه نمودن لایه اضافی پارچه در لبه‌های اتصال به‌صورت نوار جوش از جنس خود نمونه پارچه اتصالی مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین طراحی اتصالی مطابق (شکل ۱۰- ب)، انجام شد. فرایند اتصال جوشکاری کاملاً منطبق با شرایط قبلی بر محل‌های اتصال پارچه اعمال و استحکام درز جوش نمونه‌های اتصالی جدید اندازه‌گیری گردید. عدد اندازه‌گیری شده برابر با  $465/1$  N و پارگی نمونه در محل پارچه اتفاق افتاد. این نتیجه نشان می‌دهد که افزودن نوار جوش موجب افزایش استحکام درز جوش به مقدار ۳۳ درصد نسبت به استحکام در اتصال بدون نوار جوش شده



شکل ۸- نمونه‌های کشش از اتصال توسط دستگاه دوخت اولتراسونیک.

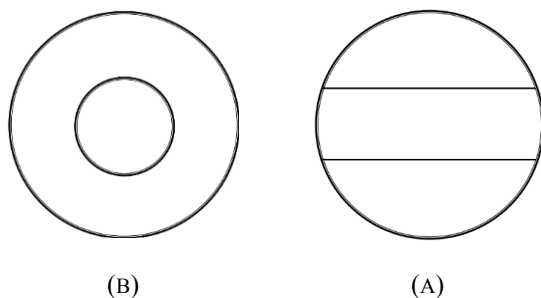
Fig. 8. Tensile specimens from joining by ultrasonic sewing machine.

جدول ۲- نتایج آزمون استحکام نمونه‌های اتصال

Table 2. Strength test results of bonded samples.

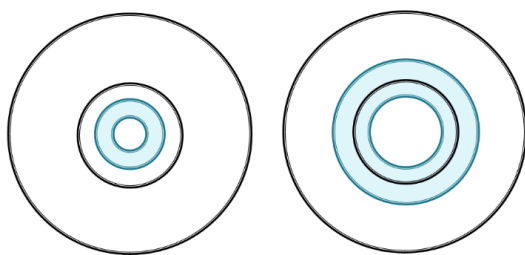
Sample	Welding process	Tensile force (N)
1	Ultrasonic sewing machine	226.52
2	Ultrasonic sewing machine	204.11
3	High frequency welding with spot head by Bahnumand Company	184.7
4	High frequency welding with spot head by Bahnumand Company	265
5	High-frequency welding with spot head by Atieh Sazan Farhoud Company	20.6
6	High-frequency welding with spot head by Atieh Sazan Farhoud Company	8.5
7	High-frequency welding with spot head by Atieh Sazan Farhoud Company	185.2
8	Hot air thermal welding	348.5
9	Hot air thermal welding	221.4

به صورت عدم وجود محل اتصال در محل تماس آزمون نفوذپذیری مطابق شکل ۱۱- ب به عنوان طرح جایگزینی مورد بررسی قرار گرفت. در اولین بررسی آزمون نفوذپذیری هلیوم با هندسه دایره‌ای بدون نوار جوش بر روی محل‌های اتصال انجام شد. نتایج نشان داد که طرح هندسی دایره‌ای در محل تماس موجب عدم نشتی هلیوم از اطراف تجهیز می‌شود، اما مقدار نفوذپذیری هلیوم در محل اتصال برابر با  $L/m^2/day$  است که در مقایسه با عدد نفوذپذیری پارچه بدون اتصال ( $L/m^2/day$ )  $0/05$  بسیار بالاتر می‌باشد. در نتیجه به منظور جلوگیری از نفوذپذیری بالای اتصال، از نوار جوش‌های دایره‌ای بر روی محل‌های اتصال استفاده شد (شکل ۱۲) و مجدداً آزمون نفوذپذیری انجام گردید. در این شرایط عدد نفوذپذیری هلیوم برابر با  $0/06 L/m^2/day$  حاصل شد که مقدار تفاوت نتیجه با عدد نفوذپذیری هلیوم پارچه بدون اتصال، قابل قبول بوده و همچنین در محدوده الزام پارچه بالن مقید هدف است.



شکل ۱۱- هندسه اتصال به صورت (الف) خط افقی و (ب) دایره‌ای.

Fig. 11. The bonding geometry (a) horizontal line and (b) circle.



شکل ۱۲- هندسه محل اتصال به صورت دایره‌ای با کاربرد دو نوار جوش دایره‌ای شکل در دو طرف محل اتصال.

Fig. 12. Circular bonding geometry with the use of two circular welding tapes on both sides of the joint.

### نتیجه گیری

در این تحقیق، اتصال نمونه‌های آزمایشگاهی پارچه‌های کاربردی در بدنه بالن مقید توسط روش‌های مختلف فرایند جوشکاری شامل فرایند جوشکاری فرکانس بالا با هد نقطه‌ای، دوخت اولتراسونیک و جوشکاری

و در این شرایط، پارچه ضعیف‌تر از درز جوش است. اختلاف عدد نیروی کشش این نمونه با پارچه بدون اتصال جزئی بوده و می‌تواند ناشی از منطقه متأثر از حرارت و یا عدم یکنواختی پوشش دهی در پارچه و تفاوت جزئی خواص پارچه در نقاط مختلف باشد.



(A)



(B)

شکل ۱۰- نمونه‌سازی به منظور اتصال با تجهیز جوشکاری حرارتی در دو طرح اتصال: (الف) بدون نوار جوش و (ب) با نوار جوش.

Fig. 10. Samples for joining with thermal welding equipment in two joining designs: (a) without welding tape and (b) with welding tape.

### نفوذپذیری هلیوم نمونه‌های آزمایشگاهی اتصال

پس از دستیابی به نتایج استحکام قابل قبول در نمونه‌های اتصالی به روش فرایند جوشکاری حرارتی، نفوذپذیری در محل اتصال در برابر گاز هلیوم فقط برای این نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری نفوذپذیری هلیوم در نمونه‌های اتصال، هندسه محل اتصال در نمونه آزمون دارای اهمیت است. زیرا وجود درز اتصال در محل نامناسب، موجب نفوذ هلیوم از محلی به جز پارچه می‌شود. بنابراین در این مرحله، هندسه محل اتصال تغییر داده شد تا شرایط بدون نشتی از تجهیز حاصل گردد. در ابتدا آزمون نفوذ با خط افقی مطابق شکل ۱۱- (الف) انجام شد که نشتی اطراف تجهیز بسیار بالا بود. در مراحل بعدی به منظور رفع مشکل این نوع نشتی، چندین طراحی و روش شامل اعمال چسب آب‌بندی، کاربرد نواری از پارچه در قسمت‌های بدون اتصال و برش قسمت محل اتصال استفاده گردید که در تمامی حالت‌های مذکور همچنان نشتی اطراف تجهیز بسیار بالا بود. بنابراین طرح دایره‌ای

- [6] S. Maekawa, "Some basic properties of envelope materials for a small airship," in *11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference*, Virginia Beach, VA, 2011, Paper AIAA 2011-6873, <https://doi.org/10.2514/6.2011-6873>.
- [7] F. Wang, Y. Chen, W. Xu, Z. Song, and G. Fu, "Experimental study on uniaxial tensile and welding performance of a new coated fabric for airship envelopes," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 46, no. 7, pp. 1474-1497, 2016, <https://doi.org/10.1177/1528083715627164>.
- [8] S. Jevšnik *et al.*, "Seam properties of ultrasonic welded multilayered textile materials," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 46, no. 5, pp. 1193-1211, 2015, <https://doi.org/10.1177/1528083715613632>.
- [9] S. Xue, F. Yan, and G. Sun, "Mechanical properties of coated fabric membranes at high temperature," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 17, 2022, <https://doi.org/10.1177/15589250221101387>.
- [10] K. Khaothong, "Analysis of failing load and optimization of hot air welding parameters on PVC-acrylic coated polyester fabric by Taguchi and ANOVA technique," *Engineering Journal*, vol. 23, no. 6, pp. 331-344, 2019, <https://doi.org/10.4186/ej.2019.23.6.331>.
- [11] K. Khaothong, J. Priyadumkol, W. Chaiworapuek, and T. Kaisinburasak, "Optimization of high frequency welding parameters of PVC coating on polyester fabric," *Trends Sciences*, vol. 19, no. 8, 2022, Art. no. 3463, <https://doi.org/10.48048/tis.2022.3463>.
- [12] L. Kun, A. C. Murariu, A. V. Bîrdeanu, and K. N. Kun, "Development of an experimental program for optimizing of process parameters used in high frequency welding of PVC coated PE fabrics," *Welding & Material Testing Science*, vol. 3, no. 3, pp. 3-8, 2014.
- [13] A. A. Raina, A. C. Gawale, and R. S. Pant, "Design, fabrication and field testing of an aerostat system," in *National Seminar on Strategic Applications of Lighter-Than-Air (LTA) Vehicles at Higher Altitudes, Snow and Avalanche Study Establishment*, Manali, India, pp. 12-13, 2007.
- [14] R. S. Pant, "Design, fabrication and flight demonstration of a remotely controlled airship for snow scientists," *Journal of Aerospace Technology and Management*, vol. 6, no. 1, pp. 19-27, 2014, <https://doi.org/10.5028/jatm.v6i1.313>.
- [15] A. Kumar, S. C. Sati, and A. K. Ghosh, "Design, testing, and realisation of a medium size aerostat envelope," *Defence Science Journal*, vol. 66, no. 2, pp. 93-99, 2016, <https://doi.org/10.14429/dsj.66.9291>.
- [16] *Textile Fabrics- Determination of Mass Per unit Area Using Small Samples*, BS EN 12127, British Standard, 1997.

حرارتی انجام گرفت. نتایج نشان داد که درزهای اتصالی حاصل از جوشکاری فرکانس بالا با هد نقطه‌ای و دوخت اولتراسونیک، برای هر سه نوع پارچه به‌کار رفته در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی اتصال نامطلوب بوده و کاربردی نمی‌باشند. نتایج جوشکاری حرارتی پارچه با ترکیب زیرلایه پلی‌استر و پوشش PVC، نشان داد که مقدار استحکام کششی و نفوذپذیری پارچه در برابر هلیوم در درز اتصال در شرایط کاربرد نوار جوش به‌ترتیب برابر با  $465/1$  N و  $0/06$  L/m<sup>2</sup>/day بوده که مطابق با الزام مربوطه ( $500$  N و  $0/5$  L/m<sup>2</sup>/day) و نزدیک به مقادیر مشابه در پارچه اولیه بدون اتصال ( $473/6$  N و  $0/05$  L/m<sup>2</sup>/day) است. در نتیجه با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص می‌شود برای اتصال پارچه پلی‌استر با پوشش PVC فرایند جوشکاری فرکانس بالا با هد نقطه‌ای و دوخت اولتراسونیک با شرایط عدم امکان تغییرات پارمترهای فرایند، نامطلوب و غیر قابل کاربرد است. بنابراین از میان فرایندهای متداول اتصال پارچه بالن مقید، فرایند جوشکاری حرارتی با هوای داغ، روشی مناسب برای پارچه مورد مطالعه خواهد بود.

## تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده‌است.

## مراجع

- [1] H. Zhai and A. Euler, "Material challenges for lighter-than-air systems in high altitude applications," in *AIAA 5th ATIO and 16th Lighter-Than-Air Sys Tech. and Balloon Systems Conferences*, Arlington, Virginia, 2005, Paper AIAA 2005-7488, <https://doi.org/10.2514/6.2005-7488>.
- [2] B. Dasaradhan, B. Ranjan Das, M. Kumar Sinh, K. Kumar, B. Kishore, and N. Eswara Pra, "A brief review of technology and materials for aerostat application," *Asian Journal of Textile*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, 2018, <https://doi.org/10.3923/ajt.2018.1.12>.
- [3] B. S. Sonawane, M. Fernandes, V. Pant, M. Tandale, and R. Pant, "Material characterization of envelope fabrics for lighter-than-air systems," in *International Colloquium on Materials, Manufacturing and Metrology, ICMMM*, Chennai, India, 2014.
- [4] B. Adak and M. Joshi, "Coated or laminated textiles for aerostat and stratospheric airship," in *Advanced Textile Engineering Materials*, 1<sup>st</sup> ed. Sh. ul-Islam and B. S. Butola, Eds. Wiley-Scrivener, 2018, <https://doi.org/10.1002/9781119488101.ch7>.
- [5] T. Shi *et al.*, "Investigation of mechanical behavior of weld seams of composite envelopes in airship structures," *Composite Structures*, vol. 201, pp. 1-12, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.06.019>.

- [18] *Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method)*, ASTM D5035\_6, 2008.
- [19] *Rubber-or Plastics-Coated Fabrics-Measurement of Gas Permeability*, ISO 7229, 2015.
- [17] *Rubber- or Plastics-Coated Fabrics – Determination of Roll Characteristics– Part 2: Methods for Determination of Total Mass Per unit Area, Mass Per unit Area of Coating and Mass Per unit Area of Substrate*, ISO 2286-2:2016, 2<sup>nd</sup> ed. 2016.