

توسعه تجربی طرح پچینگ پیکره سامانه بالن مقید تاکتیکی

سعید سرخیل^{۱*}، علی جعفریان^۲، ابوالفضل جنگی^۲^۱استادیار، پژوهشکده سامانه‌های حمل و نقل فضایی، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران^۲کارشناس محقق، پژوهشکده سامانه‌های حمل و نقل فضایی، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

s.sarkheil@isrc.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

چکیده

در سامانه هوا ایست اتصال پیکره بالن به زمین از طریق یک طناب به نام افسار است که افسار از طریق چند پچینگ به بدنه بالن متصل می‌شود. پچینگ نقش بسزایی در تحمل بار و انتقال آن به پیکره بالن دارد. با توجه به پیچیدگی بسیار زیاد تحلیل تنش پچینگ، در پژوهش حاضر توسعه طراحی آن از طریق آزمون و تحلیل نتایج آن انجام گرفته است. در مرحله اول به منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه، نمونه‌هایی در ابعاد کوچک آماده شد. با اعمال تغییرات در نحوه اتصال طناب‌ها، نوع پارچه و چیدمان پچینگ، در نهایت طرح اولیه پچینگ در ابعاد کوچک بدست آمد. با اطمینان از طرح حاصل شده در ابعاد کوچک، در مرحله دوم پچینگ با ابعاد واقعی ساخته شده و اثر عوامل مختلف روی استحکام آن بررسی شد. سپس با تغییر در نحوه اتصال پارچه پچینگ به پارچه زمینه و دستیابی به استحکام مناسب طرح پچینگ نهایی شده و مرحله آخر با پارچه واقعی مورد استفاده در بدنه بالن مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون انجام شده در مرحله آخر نشان داد پچینگ طراحی شده قابلیت تحمل باری بیش از ۸۲۰۰ نیوتن را داراست و بار وارده بر پچینگ را با ضریب اطمینان مناسبی تحمل می‌کند.

واژگان کلیدی: بالن مقید، پچینگ، پارچه، سامانه هوا ایست، استحکام کششی.

Experimental Development of Tactical Aerostat Patching Scheme

Saeed Sarkheil^{1*}, Ali Jafarian², Abolfazl Jangi²¹Assistant Professor, Space Transportation Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran²Researcher, Space Transportation Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran

s.sarkheil@isrc.ac.ir

Abstract

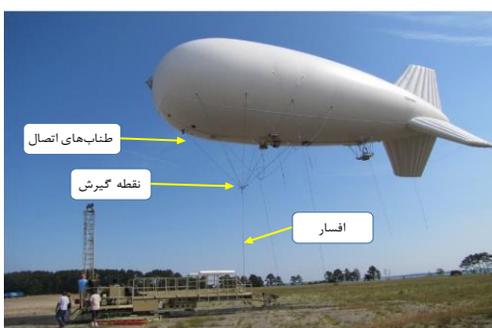
In an aerostat, the connection of the balloon to the ground is made through a rope called a tether, which is connected to the balloon body through several patchings. Patching plays a significant role in load-bearing and transferring the load to the balloon's hull. Due to the high complexity stress analysis on patching, this study focuses on the development of its design through testing and analyzing of the results. In the first phase, to save time and cost, small-sized samples were prepared. By making changes to the way the ropes were connected, the type of fabric used, and the arrangement of patching, the initial design of the patching was ultimately achieved. After confirming the design in small samples, in the second phase, the patching was constructed in the actual size, and the effects of various factors on its strength were investigated. Then, by changing the way the patching fabric was connected to the base fabric and achieving an appropriate strength, the final patching design was completed. The last phase was evaluated using the actual fabric used in the balloon's body. The tests performed in the final phase showed that the designed patching has the capability to withstand loads exceeding 8200 N and can bear the applied load with appropriate safety factor.

Keywords: Tethered balloon, Patching, Fabric, Aerostat, Tensile strength.

۱- مقدمه

پیکره پروازی یا بالن بخشی از سامانه است که در آسمان قرار می‌گیرد. نیروی بالابردگی بالن با استفاده از گاز سبک‌تر از هوای محبوس در بالن (معمولاً هلیوم یا هیدروژن) تأمین می‌شود.

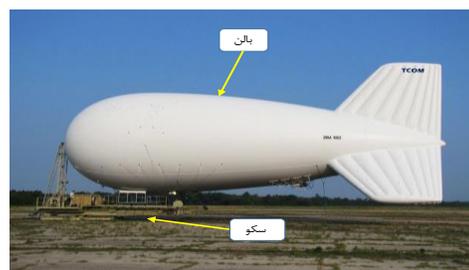
پیکره بالن از پارچه ساخته می‌شود. پارچه مورد استفاده در ساخت بالن ویژگی‌های متعددی دارد که از جمله آنها می‌توان به وزن پایین، استحکام بالا، مقاومت در برابر نفوذ^۴ گاز هلیوم و مقاومت در برابر شرایط محیطی اشاره کرد. بالن با استفاده از یک طناب که به افسار موسوم است به سکو مقید است. این افسار مطابق شکل ۲ در نزدیکی بالن و در نقطه‌ای به نام نقطه گیرش^۵ به تعدادی طناب (معمولاً ۸ یا بیشتر) تقسیم شده و این طناب‌ها به بالن متصل می‌شوند. بار اعمالی به بالن (در اثر نیروی آیرودینامیک ناشی از باد و بویانسی) در نقطه اتصال این طناب‌ها به بالن، به طناب منتقل می‌شود.



شکل ۲: افسار، نقطه گیرش و طناب‌های اتصال در پیکره بالن

مقید [۵]

سامانه‌های هوا ایست که یک نمونه از آن در شکل ۱ نشان داده شده است سامانه‌های هوایی هستند که برای عملیات‌هایی نظیر پایش مداوم [۱]، ارتباطات رادیویی و اینترنتی [۲] و مدیریت بحران [۳] مناسب هستند. این سامانه‌ها با توجه به ابعاد، جرم محموله، ارتفاع و مداومت پروازی به سه دسته هوا ایست استراتژیک^۱، عملیاتی^۲ و تاکتیکی^۳ تقسیم‌بندی می‌شوند. در مواردی که عملیات‌های هوایی با مداومت حدود یک هفته، جرم محموله حدود ۵۰ کیلوگرم و ارتفاع پروازی در حدود ۵۰۰ متر از سطح زمین نیاز باشد از هوا ایست‌های تاکتیکی استفاده می‌شود. سامانه نشان داده شده در شکل ۱ از نوع سامانه‌های هوا ایست تاکتیکی محسوب می‌شود.



شکل ۱: سامانه هوا ایست تاکتیکی [۴]

سامانه هوا ایست از چند زیرسامانه تشکیل شده است که مهم‌ترین آنها عبارتند از بالن و سکو. سکو روی زمین قرار می‌گیرد و وظیفه آن نگهداری از بالن در روی زمین، انجام عملیات صعود و فرود بالن و جمع‌آوری داده‌های بالن است.

⁴ Permeability

⁵ Confluence Point

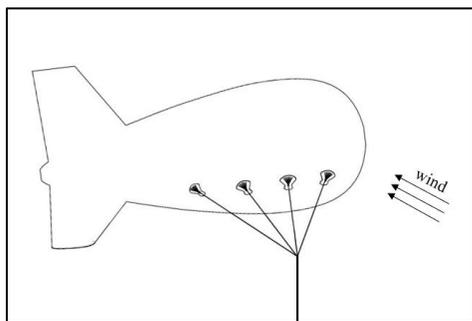
¹ Strategic

² Operational

³ Tactical

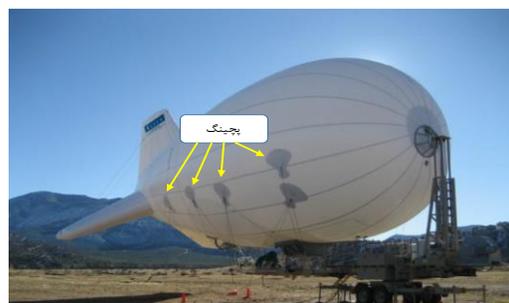
تحميل بالن در برابر سرعت جریان باد است. به عبارت دیگر برای هر بالن یک سرعت باد مطرح است که بالن می‌توان در آن سرعت به عملیات خود ادامه دهد. در اثر جریان باد روی بالن، یک نیروی آیرودینامیک به آن وارد می‌شود. این نیرو به عوامل مختلفی بستگی دارد که عبارتند از: سرعت باد، زاویه بین جریان باد و محور بالن، اندازه بالن و هندسه بالن.

در بالن طراحی شده طبق محاسبات آیرودینامیکی و مکانیکی انجام شده، حداکثر بار وارد بر بالن در حدود ۸۰۰۰ نیوتن است. با توجه به تحلیل تنش انجام شده (با در نظر داشتن تعداد پچینگ‌ها، محل نصب آنها و زاویه آنها با محور بالن مطابق شکل ۴)، بار بیشینه وارده بر پچینگ‌ها در حدود ۱۷۰۰ نیوتن است. مطابق استاندارد EASA CS-31TGB [۷]، ضریب اطمینان در نظر گرفته شده برای اجزای غیرفلزی بالن می‌بایست ۳/۵ در نظر گرفته شود. لذا پچینگ مورد استفاده در این بالن باید برای تحمل ۶۰۰۰ نیوتن طراحی شود.



شکل ۴: طرح شماتیک بالن از محل نصب پچینگ‌ها

به این ترتیب بار اعمالی از طرف طناب‌ها به بدنه بالن به صورت نقطه‌ای است. با توجه به بالا بودن این نیرو در مواقع بحرانی (از قبیل باد شدید) و اینکه جنس بالن از پارچه است، تحمل نیرو به صورت نقطه‌ای امکان‌پذیر نیست و در این حالت قطعا بدنه بالن دچار پارگی خواهد شد. به منظور توزیع نیروی طناب در محل اتصال به بدنه بالن از پچینگ استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، وظیفه‌ی پچینگ تبدیل بار نقطه‌ای (در محل اتصال طناب به پیکره) به بار سطحی و در نتیجه جلوگیری از ایجاد تمرکز تنش است. البته طراحی پچینگ و ساخت آن باید به گونه‌ای باشد که سایر الزامات موجود در زمینه بالن همچنان برقرار باشد. به عنوان نمونه میزان نشت هلیوم از بالن در محل نصب پچینگ می‌بایست تفاوتی با نشت هلیوم از پارچه بالن در نقاط دیگر نداشته باشد. یک نمونه از پچینگ‌های نصب شده روی پیکره بالن در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: پچینگ نصب شده روی پیکره بالن مقید [۶]

در انتهای این بخش لازم است توضیحاتی در خصوص میزان استحکام مورد نیاز پچینگ بالن ارائه شود. در طراحی پیکره بالن موارد بسیار زیادی موثر هستند. یکی از این موارد

۲- مروری بر مقالات

در زمینه‌ی طراحی، تحلیل و ساخت سامانه‌های هوا ایست فعالیت‌های زیادی در دهه‌های گذشته انجام شده است. با توجه به پیشرفت‌های انجام شده در زمینه‌های نساجی، پلیمر و فناوری‌های پوشش‌دهی^۱ و لمینیت^۲، پارچه‌هایی با کیفیت بسیار بالا برای این سامانه‌ها ارائه شده است. پارچه‌های مورد استفاده باید دارای وزن کم، استحکام بالا، نفوذپذیری هلیوم پایین، مقاومت در برابر شرایط محیطی و آب‌گریزی باشند [۸-۱۰]. به عنوان مثال می‌توان پارچه‌های وکتران، زایلون، داکرون و غیره را نام برد که با استفاده از پوشش‌هایی مانند مایلار^۳، تدار^۴، پلی‌اورتان^۵ و پی‌وی‌سی^۶ پوشش‌دهی می‌شوند [۱۱-۱۳].

در خصوص فعالیت‌های صورت گرفته در زمینه آزمون کشش پارچه مورد استفاده در ساخت پیکره بالن نیز می‌توان به فعالیت‌های متعددی اشاره کرد. چن و چن [۱۴] روی تجزیه و تحلیل پارگی پارچه بدنه کشتی هوایی متمرکز شدند. آنها آزمایش‌های پارگی تک محوره و دو محوره را انجام دادند و در مورد تأثیر پارامترهای شکاف بر رفتارهای پارگی بحث کردند. به منظور تعیین استحکام دو محوره پارچه، رینهارد [۱۵] در سال ۱۹۷۶ نمونه‌ای صلیبی شکل را ارائه داد که ماده در دو جهت عمود بر آن دارای تنش بود. در ادامه منگ و همکاران [۱۶] و ژانگ و همکاران [۱۷] آزمایشات کشش دو

محوره را توسعه داده، مکانیزم پارگی را تحلیل کرده و معیار استحکام جدیدی برای پارچه ارائه کردند. فعالیت‌های متعددی در خصوص خواص پارچه‌هایی که قابلیت استفاده در ساخت پیکره بالن دارند انجام شده است. مزروعی و خدای در سال ۲۰۱۳ به بررسی ویژگی ابرآبگریزی^۷ در منسوجات، روش تهیه و خواص آنها پرداختند [۱۸]. طبق پژوهش انجام شده توسط این محققان برای ایجاد خاصیت ابرآبگریزی افزون بر استفاده از پوشش‌های آبریز از تغییر فیزیکی ساختار سطح به صورتی که زبری‌هایی در ابعاد میکرو-نانو ایجاد شود استفاده می‌شود. فراهانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به مطالعه نفوذپذیری هوا در پارچه‌های تاری-پودی پرداختند [۱۹]. آنها نشان دادند که امکان شبیه‌سازی نفوذپذیری هوا در این نوع از پارچه‌ها با روش عددی وجود دارد و حداقل و حداکثر خطای پیش‌بینی عددی (در مقایسه با روش تجربی) به ترتیب ۳/۴۱ و ۲۰/۹ است. ترابی و همکاران در سال ۲۰۲۳ به ارزیابی کرنش و تغییر شکل سطحی پارچه‌های تاری پودی با استفاده از روش همبستگی تصویری^۸ پرداختند [۲۰]. آنها با مقایسه میزان همبستگی تصاویر قبل و بعد از ازدیاد طول به پارچه نشان دادند این روش می‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی کرنش و تغییر شکل سطحی پارچه‌های تاری پودی باشد.

^۵ Polyurethane^۶ PVC^۷ Superhydrophobicity^۸ Image correlation^۱ Coat^۲ Laminated^۳ Mylar^۴ Tedlar

سرعت‌های باد بالا، تنش غالب ناشی از بار آیرودینامیک و خمش بدنه است.

با وجود فعالیت‌های گسترده‌ای که در زمینه طراحی پیکره بالن و تحلیل تنش آن انجام شده است، فعالیت مشخص و منتشرشده‌ای در خصوص تحلیل تنش پچینگ بالن انجام نشده است که از جمله دلایل آن می‌توان به پیچیدگی بالای آن اشاره کرد. در خصوص دلایل این پیچیدگی می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱. پارچه مورد استفاده در بالن دارای پوشش پلیمری است و تحلیل تنش ماده تشکیل شده از به هم پیوستن پارچه و پوشش دارای پیچیدگی است.

۲. پارچه پچینگ با استفاده از چسب به پارچه زمینه (پیکره بالن) متصل می‌شود. اضافه شدن چسب و تحلیل نوع انتقال نیرو و جداشدگی چسب باعث پیچیده‌تر شدن تحلیل می‌شود.

۳. طناب‌های پچینگ با استفاده از دوخت به پارچه پچینگ متصل می‌شوند. تحلیل دوخت و اثر آن روی استحکام پچینگ از جمله پیچیدگی‌های تحلیل به شمار می‌شود.

۴. پچینگ پس از اعمال بار دچار چروکیدگی می‌شود و تحلیل رفتار پچینگ پس از چروکیدگی باعث پیچیده‌تر شدن تحلیل می‌شود.

با توجه به پیچیدگی تحلیل تنش در پچینگ و طراحی مبتنی بر آن، در پژوهش حاضر سعی شد طراحی پچینگ مبتنی بر

در زمینه‌ی روند طراحی بالن نیز فعالیت‌های زیادی صورت گرفته است. به عنوان نمونه در سال ۱۹۷۱ مایر و وراچک گزارش مبسوطی از روند طراحی بالن با دم‌های مختلف ارائه کردند [۲۱]. همچنین، باجوریا و همکاران با استفاده از چرخه‌ی طراحی ارائه شده در مقاله‌ی خود طراحی یک بالن با طول ۱۹ متر را انجام دادند [۲۲]. جعفریان و همکاران در سال ۲۰۲۲ ضرایب آیرودینامیک استاتیک طولی یک بالن مقید را استخراج کرده و تغییرات خطوط جریان در زاویه حمله‌های مختلف را بررسی نمودند [۲۳]. باگاری و همکاران در سال ۲۰۲۱ چرخه‌ی طراحی برای تعیین اندازه بالن‌های ابعاد کوچک ارائه دادند [۲۴]. جعفریان و همکاران نیز در سال ۲۰۲۳ الگوریتم طراحی پیکره هوا ایست تاکتیکی در فاز طراحی مفهومی را توسعه دادند [۲۵].

در زمینه تحلیل تنش پیکره بالن نیز فعالیت‌هایی صورت گرفته است. هانت در سال ۱۹۸۲ با استفاده از روش المان محدود، تنش، جابجایی و کمانش پیکره بالن را در پیکربندی و بارهای مختلف بررسی کرده و به این ترتیب میزان بهینه برای استحکام پارچه و فضای داخلی بالن را استخراج کرد. وی نشان داد تنش ماکزیمم در بخش‌هایی از بالن که دارای قطر ماکزیمم است و همچنین در پچینگ‌ها اتفاق می‌افتد [۲۶]. کومار و همکاران نیز در سال ۲۰۱۶ با استفاده از دو روش تحلیل تقریبی و المان محدود، به بررسی تنش در پیکره بالن پرداختند [۲۷]. در روش تحلیلی آنها مشخص شد که در سرعت‌های باد کم، تنش غالب ناشی از فشار داخلی و در

با بدست آمدن طرح اولیه و برای بهبود پارامترهای استحکامی، طرح با ابعاد اصلی تهیه شده و آزمون‌ها بر روی آن انجام شود.

پارچه‌های مورد استفاده

علاوه بر ابعاد پچینگ‌ها، پارچه مورد استفاده در پچینگ‌ها نیز در گام‌های مختلف تغییر داده شده است. جدول ۱ پارچه‌های مورد استفاده در پچینگ‌های مختلف، خواص وزنی و مکانیکی و نیز جنس آنها را نشان می‌دهد. آزمون‌های کشش پارچه‌ها در دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شده و در انجام آنها از استاندارد DIN EN ISO 2062:1995-05 استفاده شده است. همانطور که از داده‌های موجود در این جدول مشخص است، پارچه MFab-1 ضعیف‌ترین پارچه مورد استفاده در فرآیند توسعه پچینگ است. پارچه MFab-2 مشخصات استحکامی مناسب‌تری دارد و پارچه MFab-3 نیز دارای بیشترین استحکام در بین پارچه‌های مورد استفاده در این پژوهش است. نمودارهای مرتبط با آزمون کشش این سه پارچه در راستای تار و پود در پیوست مقاله آورده شده است (شکل پ.۱ تا شکل پ.۶). شایان ذکر است در ادامه مقاله پارچه‌های مورد استفاده با کد پارچه اشاره شده در جدول ۱ ذکر خواهند شد.

انجام آزمون و تحلیل نتایج حاصل از آن انجام شود. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصاویر موجود از بالن‌های استاندارد ساخته شده توسط شرکت‌های معتبر، طرح اولیه پچینگ استخراج شد. در ادامه با انجام آزمون و بررسی نتایج، طرح پچینگ بهبود پیدا کرد تا به طرح نهایی منتج شد.

۳- طرح، مواد و روش‌های مورد استفاده در تولید

و آزمون پچینگ‌ها

مقدمه

در این بخش مواد، طرح‌ها و دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است. این بخش به گونه‌ای تدوین شده است که در ادامه گزارش و در هنگام توضیح هر گام از روند طراحی پچینگ در پژوهش بتوان به ماده، روش و سایر توضیحات مورد نیاز در خصوص آن گام به این بخش ارجاع داده شود.

در ابتدای شروع فرآیند طراحی و آزمون پچینگ‌ها، سابقه طراحی آن در گروه طراحی وجود نداشت و تنها بر اساس شکل‌ها و طرح‌های موجود بر روی هوا ایست‌های خارجی یک طرح ابتدایی استخراج شده بود. بنابراین تصمیم گرفته شد که اولین نمونه‌های طراحی شده در ابعاد کوچک تهیه شود و برخی از پارامترهای ابتدایی بر روی آن‌ها بررسی شود. سپس

جدول ۱: برخی مشخصات پارچه‌های مورد استفاده در ساخت پچینگ

MFab-3		MFab-2		MFab-1		نمونه مشخصه	
پود	تار	پود	تار	پود	تار		
305	411	124	228	36.1	177	میانگین	نیروی کششی (N)
20.4	12.3	2.29	15.2	4.64	10.0	انحراف معیار	
6.66	2.98	1.85	6.65	12.9	5.67	ضریب تغییرات	
27.1	34.4	52.3	29.0	28.6	26.6	میانگین	ازدیاد طول (%)
1.05	1.37	1.57	4.44	3.90	4.39	انحراف معیار	
3.86	3.98	3.01	15.28	13.6	16.5	ضریب تغییرات	
172		198		181		چگالی سطحی (g/m ²)	
پلی‌استر با دو پوشش PU و PVC		پلی‌استر با دو پوشش PU و PVC		پلی‌استر با پوشش PVC		جنس پارچه	

دستگاه آزمون مورد استفاده

برای انجام آزمون‌های کشش برای هر کدام از پچینگ‌ها ۳ نمونه آماده شد و آزمون با سرعت کشش ۳۰۰ mm/min انجام شد. در آزمون‌های انجام شده در این پژوهش بسته به میزان نیروی مورد نیاز و ابعاد پچینگ مورد آزمون از دو نوع دستگاه آزمون کشش استفاده شد.

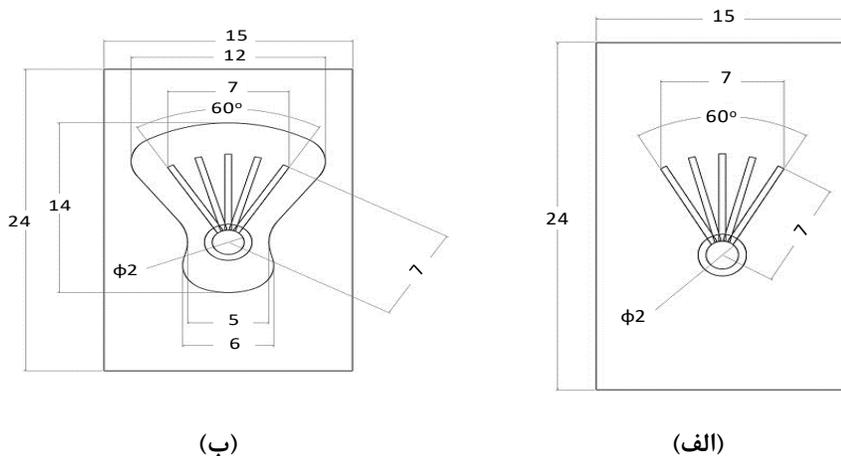
دستگاه اول، دستگاه کشش مدل اینسپک ۱۵۰ ساخت شرکت هگوالد اند پشکه^۲ است. این دستگاه قابلیت انجام آزمون کششی، خمشی (سه نقطه‌ای) و فشاری بر روی نمونه‌های لاستیکی و پلاستیکی را دارد. دستگاه مورد اشاره مجهز به اکستنسیومتر بوده و محفظه حرارتی از دمای ۵۰- تا ۲۵۰+ درجه سانتی‌گراد دارد. همچنین مجهز به لودسل‌هایی با ظرفیت ۵ و ۵۰ کیلونیوتن است.

دستگاه دوم مورد استفاده که ظرفیت بالاتری دارد دستگاه کشش مدل کواسار ۳۶۰۰ ساخت شرکت گالدابینی^۴ است. این دستگاه دارای مکانیزم بال اسکرو^۵ بوده و ظرفیت ۶۰۰ کیلونیوتن در حالت کشش و فشار را دارد. همچنین قابلیت انجام آزمون‌های انواع مقاطع میلگرد، پیچ و سیم‌بکسل را دارد.

طرح پچینگ و ابعاد آن

شکل ۵ و شکل ۶ طرح‌های مورد استفاده در گام‌های مختلف طراحی که در این مقاله ارائه شده است را نشان می‌دهد. شکل ۵ طرحواره پچینگ‌ها در ابعاد کوچک به همراه جزئیات ابعاد و اندازه را نشان می‌دهد و شکل ۶ طرح پچینگ‌های بزرگ و ابعاد واقعی را که آزمون‌ها بر روی آنها در گام‌های مختلف انجام شده است را نشان می‌دهد.

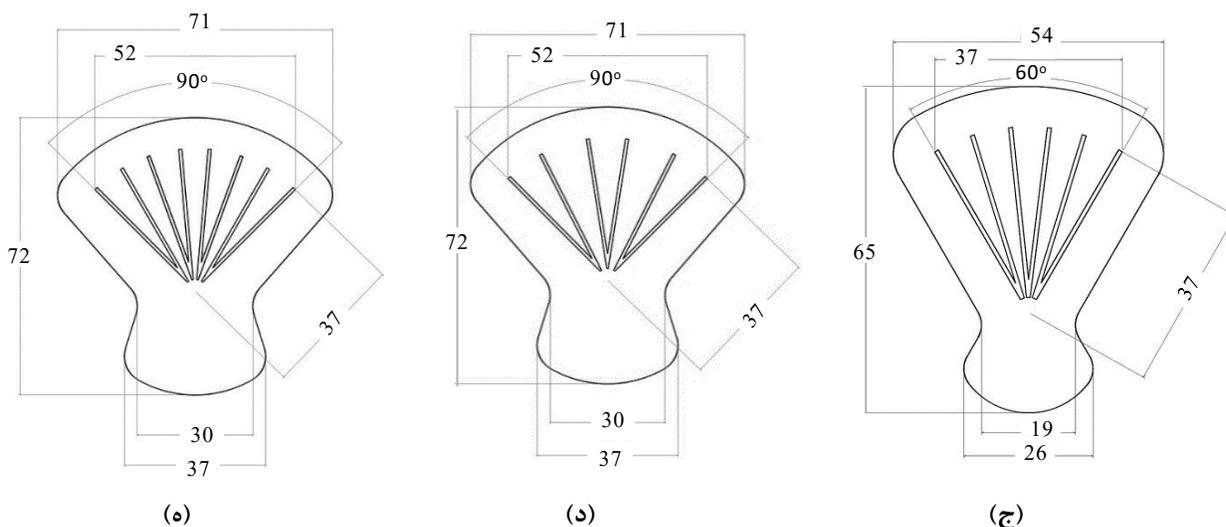
^۴ GALDABINI^۵ Ball Screw^۱ INSPEK 50^۲ Hegewald & Peshke^۳ QUASAR 600



(ب)

(الف)

شکل ۵: طرحواره پچینگ‌های ابعاد کوچک (ابعاد به سانتی‌متر)



(ه)

(د)

(ج)

شکل ۶: طرحواره پچینگ‌های با ابعاد بزرگ (ابعاد به سانتی‌متر)

شمای کلی پچینگ‌های بررسی شده

در جدول ۲ نوع پچینگ، ابعاد آن، نوع پارچه و نحوه اتصال پچینگ در هر گام از فرآیند طراحی ارائه شده است. در ادامه‌ی مقاله هر یک از گام‌های ذکر شده در جدول ذیل تشریح خواهد شد.

چسب مورد استفاده

در ساخت برخی از پچینگ‌های مورد استفاده از چسب استفاده شده است. در اکثر نمونه‌ها از چسب‌های تجاری موسوم به پی‌وی‌سی که به سادگی در بازار یافت می‌شود استفاده شد. در چند نمونه به منظور بررسی اثر چسب از چسب پی‌وی‌سی تارگت (که این چسب هم از چسب‌های تجاری و مورد استفاده عموم است) استفاده شد.

جدول ۲: اطلاعات نوع پچینگ و پارچه مورد استفاده در هر گام

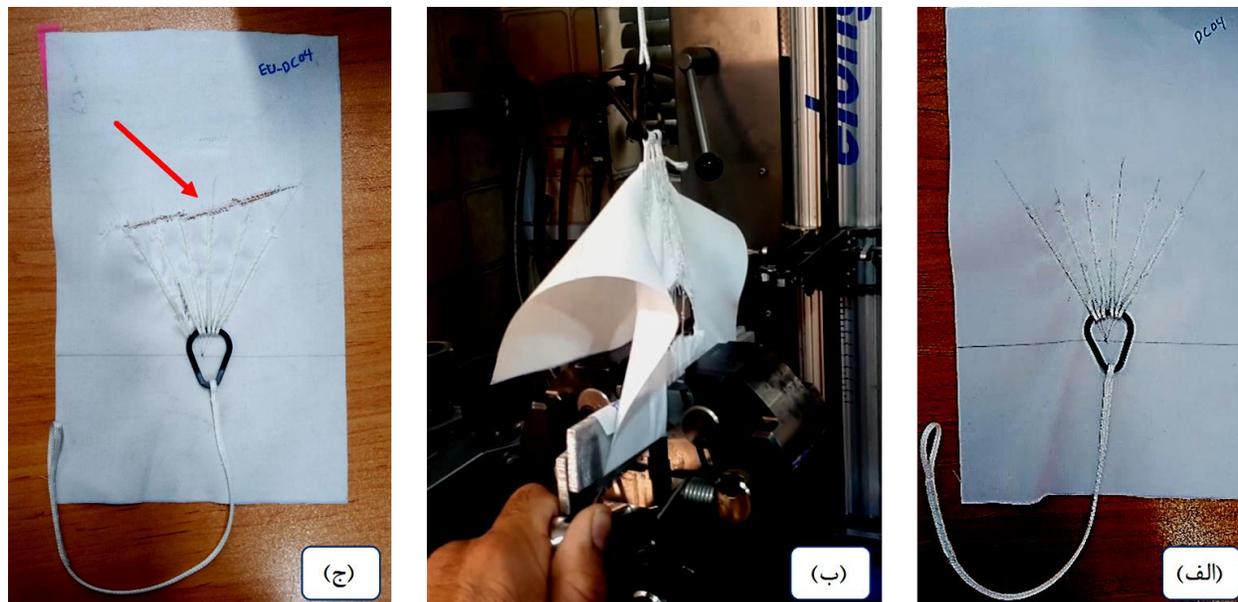
مرحله	ابعاد پچینگ	طرح پچینگ	کد پارچه	نوع چسب	توضیحات
گام اول	کوچک	الف	MFab-1	---	دوخت مستقیم طناب به پارچه اصلی (استفاده از ۶ طناب)
گام دوم	کوچک	الف	MFab-1	---	دوخت مستقیم طناب به پارچه اصلی (استفاده از ۳ طناب به صورت ۷)
گام سوم	کوچک	الف	MFab-2	---	دوخت مستقیم طناب به پارچه اصلی (استفاده از ۳ طناب به صورت ۷)
گام چهارم	کوچک	ب	MFab-2	---	دوخت طناب به پارچه پچینگ و دوخت آن به پارچه زمینه
گام پنجم	بزرگ	ج	MFab-2	PVC	اتصال چسبی پچینگ به پارچه زمینه و دوخت طناب به هر دو پارچه
گام ششم	بزرگ	ج	MFab-2	PVC	گام پنجم + تقویت قسمت بالای پچینگ با یک لایه پارچه اضافی
گام هفتم	بزرگ	ج	MFab-2	PVC تارگت	گام پنجم + اتصال کامل چسبی قسمت انتهایی پچینگ
گام هشتم	بزرگ	ج	MFab-2	PVC تارگت	گام پنجم + اتصال کامل چسبی قسمت انتهایی پچینگ
گام نهم	بزرگ	ج	MFab-2	PVC	دوخت طناب به پارچه پچینگ و اتصال صرفا چسبی پچینگ به پارچه زمینه
گام دهم	بزرگ	د	MFab-3	PVC	گام نهم + تغییر زاویه از ۶۰ به ۹۰ درجه
گام یازدهم	بزرگ	ه	MFab-3	PVC	گام دهم + افزایش تعداد طنابها از ۳ به ۴

۴- مراحل طراحی و آزمون پچینگ

گام اول:

مطابق با جدول ۲ در این گام پچینگ در ابعاد کوچک و طرح الف و با استفاده از پارچه MFab-1 ساخته شده است. تصویر پچینگ ساخته شده در این گام در شکل ۷ (الف) نشان داده شده است. در ساخت این پچینگ از ۶ طناب استفاده شد. طنابها به صورت مستقیم به پارچه دوخته شدند. نحوه دوخت طنابها به این پارچه بدین صورت بود که قسمتی از شش طناب موجود در بالای حلقه به پارچه دوخته شده، سپس ادامه‌ی طنابها از داخل حلقه مشکی‌رنگ رد شده و دوباره روی همان محل قبلی دوخته شدند. شایان ذکر است در این طرح محور تقارن پچینگ در راستای تار پارچه است.

در این بخش مراحل مختلف طراحی و آزمون پچینگ بالن مقید در قالب یازده گام مختلف مطابق با جدول ۲ ارائه شده است. به منظور معرفی دقیق‌تر، ۱۱ گام اشاره شده در جدول ۲ قابل طبقه‌بندی به سه مرحله‌ی اصلی خواهد بود. مرحله اول که شامل ۴ گام ابتدایی است در واقع مرحله مطالعه ابتدایی رفتار و الگوی پچینگ است، ۵ گام بعدی که از گام پنجم تا نهم را شامل می‌شود بیشتر به مطالعه پارامتری و نحوه ساخت پچینگ بالن در مقیاس اصلی پرداخته شده است و ۲ گام آخر نیز نهایی‌سازی طرح و روش ساخت پچینگ بالن می‌باشد. در ادامه این بخش، فعالیتها و آزمون‌های انجام شده به صورت گام به گام بر روی پچینگها ارائه شده است.



شکل ۷: پچینگ گام اول: (الف) پچینگ ساخته شده، (ب) لحظه ایجاد پارگی در آزمون، (ج) بعد از آزمون کشش.

بررسی دقیق تر نشان داد پارچه استفاده شده در این پچینگ به صورت کاملاً صاف در راستای تار یا پود پارچه، بریده نشده و به صورت زاویه دار بریده شده است. به عبارت دیگر خط تقارن پچینگ دوخته شده در راستای تار نبوده و مقداری نسبت به آن زاویه داشته است و علت پارگی پچینگ به صورت زاویه دار نیز همین موضوع بوده است (پارگی در راستای پود پارچه گسترش نیافته است). با پی بردن به وجود اشتباه در نحوه ی بریدن پارچه و دوخت پچینگ، این مورد در گام های بعدی رفع گردید.

گام دوم

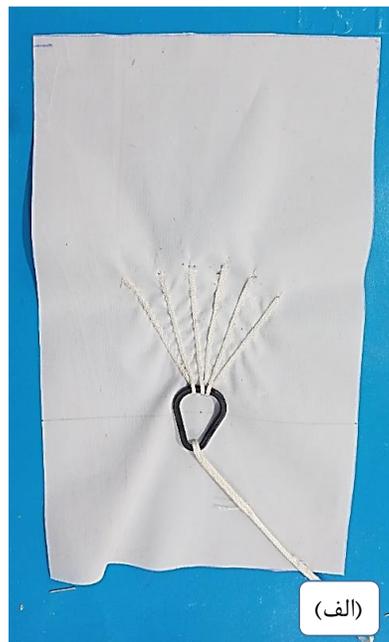
مطابق با جدول ۲ در گام دوم نیز مشابه با گام اول، پچینگ در ابعاد کوچک و طرح الف و با استفاده از پارچه MFab-1 ساخته شد. با توجه به تجربه ای که در گام اول بدست آمده بود، در این گام پارچه ی پچینگ با دقت در راستای تار و پود

به منظور اندازه گیری میزان استحکام پچینگ ساخته شده، مطابق شکل ۷ (ب) با استفاده از دستگاه آزمون کشش اینسپیک ۵۰، آزمون کشش روی این پچینگ انجام شد. در این آزمون پارچه ی پچینگ توسط فک پایین دستگاه ثابت نگه داشته شد و سپس طناب موجود در سمت مقابل آن به سمت بالا کشیده شد. پارگی در کششی معادل ۶۶۰ نیوتن اتفاق افتاد. شکل ۷ (ب) لحظه وقوع پارگی در این پچینگ را نشان می دهد.

با بررسی محل وقوع پارگی در پچینگ، مشاهده شد که نقطه ی شروع پارگی محل اتصال اولین طناب به پارچه است، اما زمانی که این پارگی ادامه پیدا می کند از محل اتصال سایر طناب ها به پارچه نمی گذرد و پارگی به صورت زاویه دار حرکت کرده و خود پارچه پاره می شود. شکل ۷ (ج) پچینگ گام اول را بعد از انجام آزمون نشان می دهد.

محل دیگری از پارچه دوخته شدند تا در نهایت به شکل V در بیایند. در این حالت می توان استحکام بالاتری را از طناب استفاده شده دریافت کرد. شکل ۸(الف) نمایی از پچینگ گام دوم را نشان می دهد. آزمون کشش این پچینگ نیز با استفاده از دستگاه آزمون کشش اینسپیک ۵۰ انجام شد.

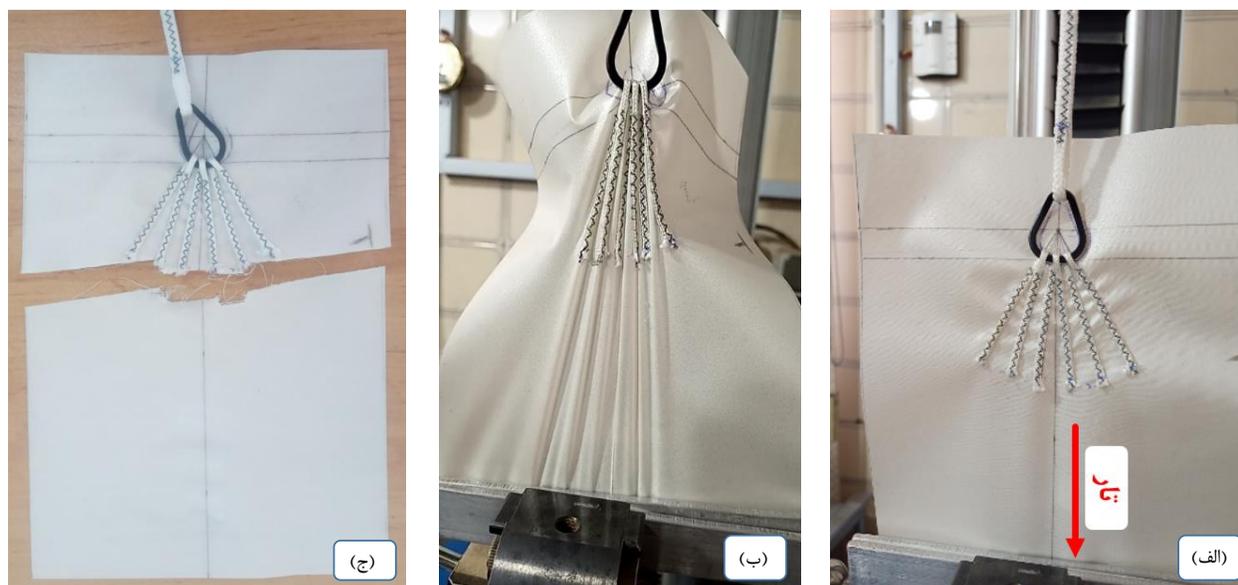
بریده شد. تفاوت دیگر و مهم پچینگ گام دوم نسبت به گام قبل مربوط به نحوه ی اتصال طنابها به پارچه بود. در این پچینگ بر خلاف گام اول (که از شش طناب استفاده شده بود) از سه طناب استفاده شد. هر کدام از این طنابها ابتدا به پارچه دوخته شده، سپس از حلقه رد شده و این بار در



شکل ۸: پچینگ گام دوم: (الف) پچینگ ساخته شده، (ب) پس از انجام آزمون کشش.

گام سوم در این گام از پارچه MFab-2 برای ساخت پچینگ استفاده شد و مطابق با جدول ۲، پچینگ در ابعاد کوچک و طرح الف تهیه شد. لازم به ذکر است که پچینگ مورد نظر در راستای تار دوخته شد و مطابق گامهای قبل طنابها مستقیماً به خود پارچه دوخته شدند. شکل ۹(الف) پچینگ ساخته شده در گام سوم را نشان می دهد.

در طرح جدید به دلیل رفع نواقص موجود در گام قبل نتایج بهتری به دست آمد و مقدار نیروی پارگی پارچه به ۸۳۰ نیوتن افزایش یافت. شکل ۸(ب) پچینگ گام دوم را بعد از انجام آزمون کشش نشان می دهد. پارگی موجود در پارچه در راستای نقاط اتصال طنابهای میانی به پارچه است و این امر نشان می دهد که پارچه به درستی در راستای تار و پود بریده شده و طنابها نیز به درستی (و به صورت متقارن) به پارچه دوخته شده اند.



شکل ۹: پچینگ گام سوم: (الف) پچینگ ساخته شده، (ب) آزمون کشش، (ج) پس از آزمون کشش.

به صورت مجزا آماده شده و در نهایت به پارچه‌ی بدنه‌ی بالن متصل می‌شوند. بنابراین در این گام به منظور شبیه شدن به مدل اصلی که بر روی بالن استفاده می‌شود، طناب‌ها ابتدا بر روی یک پارچه دوخته شده و سپس آن پارچه، بر روی پارچه‌ی زمینه دوخته شد.

در این طرح پارچه‌ای که طناب‌ها بر روی آن دوخته شده‌اند (پارچه پچینگ) در راستای تار بریده شده است، اما این پارچه به گونه‌ای روی پارچه زمینه نصب می‌شود که خط تقارن پچینگ در راستای پود پارچه زمینه باشد. علت انجام این کار این است که پارچه‌هایی که برای ساخت بدنه بالن به کار می‌روند در راستای تار بریده می‌شوند و همچنین در امتداد طول بالن نصب می‌شوند، اما پچینگ‌ها در راستای عمود بر این پارچه‌ها نصب می‌شوند (شکل ۳). در نتیجه در مدل اصلی

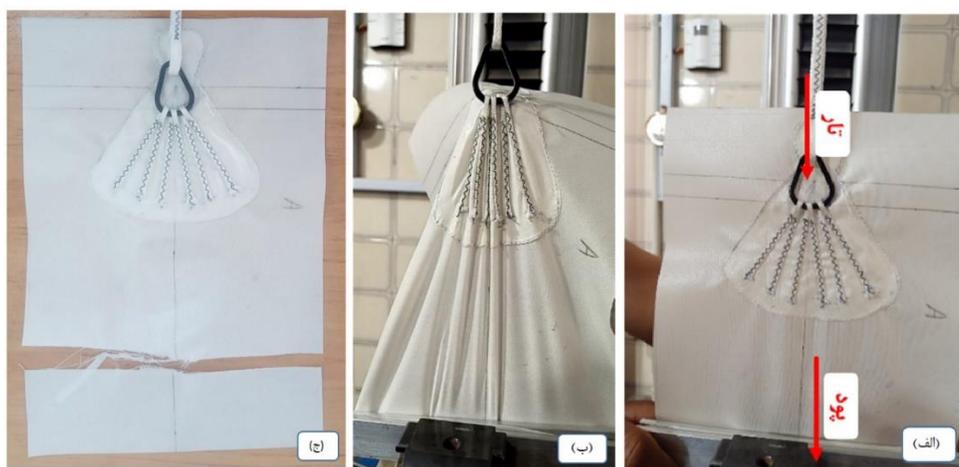
همانند گام‌های قبلی این پچینگ (با استفاده از دستگاه آزمون کشش اینسپیک ۵۰) تحت آزمون کشش قرار گرفت تا مشخص شود استحکام آن چه میزانی است. نیروی پارگی این پچینگ برابر با ۹۷۰ نیوتن بود. در شکل ۹ (ب) فرآیند آزمون پچینگ و در شکل ۹ (ج) پچینگ بعد از انجام آزمون نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است پارگی از انتهای محل اتصال طناب به پارچه شروع شده و ادامه یافته است.

گام چهارم

در گام چهارم، مطابق با جدول ۲، پچینگ در ابعاد کوچک و طرح ب و پارچه MFab-2 استفاده شد. این گام یک تفاوت عمده نسبت به گام‌های قبل داشت و آن تغییر طرح پچینگ بود. بررسی انجام شده روی بالن‌های مختلف نشان داد که عموماً طناب‌های پچینگ به صورت مستقیم بر روی پارچه‌ی اصلی بالن دوخته نمی‌شوند. به نظر می‌آید که ابتدا پچینگ‌ها

پچینگ بعد از اتمام آزمون و پاره شدن نشان داده شده است. نیروی پارگی این پچینگ در حدود ۱۰۶۰ نیوتن بود. شکل ۱۰ (ج) نشان می‌دهد که پارگی در محل اتصال پارچه به فک اتفاق افتاده است و خود پچینگ دچار پارگی نشده است. پارگی در این محل به دلیل تمرکز تنش است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استحکام پچینگ در این حالت بالاتر از ۱۰۶۰ نیوتن است.

بالن، پچینگ در راستای پود پارچه زمینه به پیکره متصل می‌شود. شکل ۱۰ (الف) پچینگ ساخته شده در گام چهارم را نشان می‌دهد. در این تصویر جهت تار و پود پارچه‌ی پچینگ و پارچه‌ی زمینه نیز نمایش داده شده است. در شکل ۱۰ (ب) این پچینگ در هنگام انجام آزمون کشش (با استفاده از دستگاه آزمون کشش اینسپیک ۵۰) و در شکل ۱۰ (ج)،



شکل ۱۰: پچینگ گام چهارم: (الف) پچینگ ساخته شده، (ب) پچینگ تحت آزمون کشش، (ج) پچینگ بعد از آزمون.

مورد استفاده در بالن مقید ساخته شدند. در گام پنجم مطابق با جدول ۲، پچینگ در ابعاد بزرگ و طرح ج و از پارچه MFab-2 ساخته شد. در این گام به علت ابعاد بزرگ پچینگ امکان مهار کردن پارچه در داخل فک وجود نداشت، از این رو در قسمت بالایی پچینگ و بر روی پارچه زمینه یک قسمت به صورت کانال دوخته شده و یک لوله در داخل آن قرار داده شد. بر روی قسمت میانی لوله نیز یک زائده طراحی شد که به صورت پیچ بعد از قرارگیری لوله در داخل کانال، بر روی لوله پیچ شده و این زائده در داخل فک دستگاه آزمون کشش

با توجه به اینکه استحکام مناسبی از این پچینگ بدست آمد و ظاهر آن نیز شباهت زیادی به ظاهر پچینگ‌های مورد استفاده در بالن‌های استاندارد داشت، این طرح به عنوان طرح اولیه پچینگ پذیرفته شده و در مراحل بعد، پچینگ در ابعاد واقعی ساخته شد تا آزمون‌ها روی ابعاد واقعی پچینگ انجام شود. گام پنجم

در گام چهارم عملاً طرح کلی پچینگ تعیین شد و برای بررسی دقیق‌تر، در گام‌های بعد پچینگ‌ها در مقیاس اصلی

چسب پی‌وی‌سی به پارچه زمینه چسبانده شد. در مرحله بعد طناب‌ها در موقعیت خود روی پارچه پچینگ تثبیت شدند و سپس به صورت همزمان به هر دو پارچه دوخته شدند.

قرار می‌گیرد. شکل ۱۱ نحوه قرارگیری لوله و پچینگ در دستگاه آزمون کشش اینسپک ۵۰ را نشان می‌دهد. به منظور ساخت پچینگ ابتدا پارچه پچینگ با استفاده از



شکل ۱۱: پچینگ ساخته شده در گام پنجم (الف) نحوه قرارگیری پچینگ در دستگاه کشش قبل از انجام آزمون، (ب) نمونه در حین آزمون.

در این لحظه اتفاق می‌افتد. گزارش آزمون (شامل نمودار تنش - کرنش) مربوط به یکی از نمونه‌های مورد آزمون از این گام در پیوست آورده شده است (شکل پ.۷).

در توجیح رفتار مشاهده شده موارد زیر را باید مد نظر قرار داد. اولاً باید در نظر داشت که درصد ازدیاد طول پارچه پچینگ و پارچه زمینه با یکدیگر متفاوت است. زیرا نیروی وارد بر پارچه پچینگ در راستای تار و نیروی وارد بر پارچه زمینه در راستای پود است. مطابق جدول ۲ درصد ازدیاد طول در راستای تار ۲۹ درصد و در راستای پود ۵۲ درصد است. از طرف دیگر باید نحوه جریان نیرو بین اجزای مختلف را نیز در نظر گرفت. باید توجه داشت که نیرو به طناب اعمال شده و محل تکیه‌گاه در پارچه زیرین است. اگر اختلاف بین درصد ازدیاد طول بین دو پارچه وجود نداشت و پارچه‌ها نیز رفتار صلب از خود نشان می‌دادند، کل مساحت طناب‌ها محل

میزان تحمل بار این پچینگ ۳۰۸۰ نیوتن بود. تصویر پچینگ پس از پارگی در شکل ۱۲ (الف) نشان داده شده است. الگوی گسترش آسیب تا پارگی پچینگ را می‌توان مطابق شکل ۱۲ (ب) توضیح داد. با افزایش نیروی وارده بر پچینگ ابتدا پارچه پچینگ از قسمت انتهایی خود از پارچه زمینه جدا می‌شود (مطابق خط شماره ۱ در شکل ۱۲ (ب)). هر چه نیروی وارده بر پچینگ افزایش پیدا می‌کند، خط جدایش پیشروی کرده و مقدار بیشتری از پارچه پچینگ از پارچه زمینه جدا می‌شود (مطابق خطوط ۲ و ۳). این روند ادامه پیدا می‌کند تا زمانی که خط جدایش به انتهای قسمتی که طناب‌ها دوخته شده‌اند می‌رسد. در این حالت نیروی وارده از طرف طناب‌ها به قسمتی وارد می‌شود که دارای تمرکز تنش و ضعف (به دلیل اثر دوخت) است. لذا پارچه زمینه دیگر قادر به تحمل بار اعمالی نخواهد بود و پارگی پارچه زمینه (شکل ۱۲ (الف))

جریان نیرو از محل اعمال نیرو به تکیه‌گاه بودند.



شکل ۱۲: (الف) پچینگ گام پنجم پس از پارگی. (ب) الگوی گسترش آسیب.

گام ششم

با توجه به نوع گسترش آسیب در پچینگ گام پنجم، در گام ششم تصمیم گرفته شد تا تمامی پارامترها مشابه با گام پنجم باشد و تنها قسمت بالای پچینگ (فضای بین انتهای طناب‌ها و آخرین نقطه پچینگ) با یک لایه پارچه اضافی تقویت شود. پچینگ توسعه داده شده در گام ششم در شکل ۱۳ (الف) نشان داده شده است که ناحیه تقویت شده آن در محدوده نشان داده شده در شکل ۱۳ (ب) است. به عبارت دیگر در ناحیه تقویت شده سه لایه پارچه وجود دارد (پارچه پچینگ، پارچه زمینه و لایه تقویتی).

اما باید توجه داشت که طناب‌ها در اثر اعمال نیرو، مقدار کمی از محل دوخت خود به پارچه دچار جابجایی می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود به جای اینکه کل سطح طناب‌ها محل انتقال نیرو باشد، بخش زیادی از نیرو به انتهای طناب‌ها منتقل شود.

به این ترتیب بخش زیادی از نیرو از طریق قسمت انتهایی پارچه پچینگ که با چسب به پارچه زمینه متصل شده است به پارچه زیرین منتقل می‌شود. همین عامل باعث می‌شود در اثر اعمال نیرو این قسمت رفته رفته دچار آسیب (جدایش پارچه پچینگ از پارچه زمینه) و گسترش آن شده و نهایتاً هنگامی که سطح جدا شده به انتهای طناب‌ها می‌رسد پارگی اتفاق بیفتد.



شکل ۱۳: (الف) پچینگ گام ششم. (ب) ناحیه تقویت شده.

زمینه، لایه تقویتی نیز به پارچه پچینگ چسبیده بود و پس از رسیدن ناحیه گسترش به انتهای طناب‌ها، مشابه حالت قبل تنها پارچه زمینه بار را تحمل می‌کرد. به همین دلیل لایه تقویتی کمکی به افزایش استحکام پچینگ نکرده است. نمودار تنش- کرنش مربوط به یکی از نمونه‌های مورد آزمون از این گام در پیوست آورده شده است (شکل پ.۸).

این آزمون نیز با استفاده از دستگاه آزمون کشش اینسپیک ۵۰ انجام شد. حد تحمل این پچینگ ۲۶۸۰ نیوتن بود و به عبارت دیگر تقویت انجام شده کمکی به افزایش استحکام پچینگ نکرد. بررسی انجام شده روی نمونه پس از آزمون و پارگی نشان داد لایه تقویت شده به پارچه پچینگ چسبیده بود. به عبارت دیگر در هنگام گسترش جدایش پچینگ از پارچه



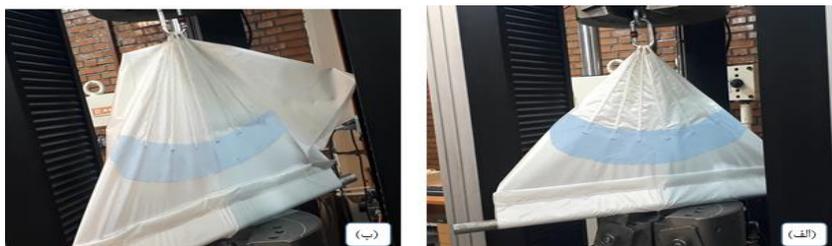
شکل ۱۴: (الف) پچینگ گام ششم پس از پارگی، (ب) محل پارگی.

مورد استفاده تغییر داده شود. به این منظور از چسب موسوم به چسب پی‌وی‌سی تارگت استفاده شد. همچنین با توجه به اینکه پارگی‌ها عمدتاً از قسمت بالای پچینگ شروع می‌شود،

گام‌های هفتم و هشتم مطابق با جدول ۲ پچینگ آماده شده در این دو گام مشابه با گام قبل تهیه شد. در این گام تصمیم گرفته شد نوع چسب

چندانی در تقویت پچینگ نداشته است، در گام هفتم (و هشتم) صرفاً از چسب بیشتری در این قسمت استفاده شد. تصویر پچینگ‌های گام هفتم و هشتم در هنگام آزمون (با استفاده از دستگاه آزمون کشش گالدابینی) که در آنها قسمت چسب زده شده به صورت آبی رنگ مشخص شده در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.

تصمیم گرفته شد محدوده بالای پچینگ با چسب به صورت کامل پوشانده شود. در گام هفتم این محدوده به گونه‌ای است که از انتهای طناب‌ها به اندازه سه سانتی‌متر پایین‌تر است (همین طرح با اندازه یک سانتی‌متر در گام هشتم اجرا شد). از آنجا که در گام ششم از یک لایه اضافه برای تقویت قسمت بالای پچینگ استفاده شد که نتیجه آزمون نشان داد تأثیر



شکل ۱۵: قرارگیری پچینگ در دستگاه آزمون. (الف) گام هفتم، (ب) گام هشتم.

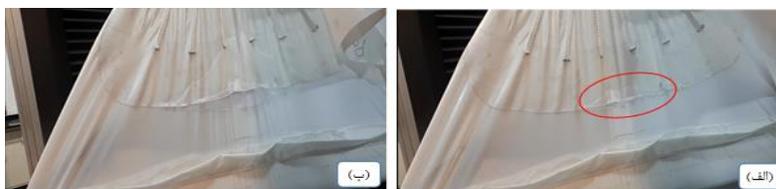
لحظات پایانی آزمون (قبل از پارگی پارچه زمینه) در شکل ۱۶ (ب) نشان داده شده است.

استحکام پچینگ گام هفتم ۲۷۷۰ نیوتن بود. لحظات اولیه جدایش پارچه پچینگ از پارچه زمینه در شکل ۱۶ (الف) و



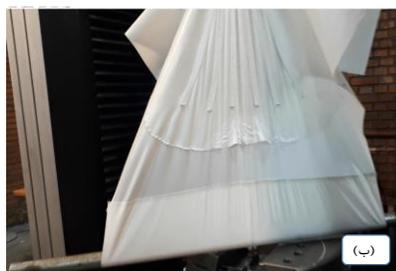
شکل ۱۶: آزمون پچینگ گام هفتم. (الف) لحظات اولیه آسیب، (ب) قبل از پارگی نهایی.

استحکام پچینگ گام هشتم ۲۹۱۰ نیوتن بود. لحظات اولیه جدایش پارچه پچینگ از پارچه زمینه در شکل ۱۷ (الف) و لحظات پایانی آزمون (قبل از پارگی پارچه زمینه) در شکل ۱۷ (ب) نشان داده شده است.



شکل ۱۷: آزمون پچینگ گام هشتم. (الف) لحظات اولیه آسیب، (ب) قبل از پارگی نهایی.

پارچه پچینگ دوخته شوند و پارچه پچینگ به صورت کامل با استفاده از چسب پی‌وی‌سی به پارچه زمینه متصل شود. شکل و اندازه این پچینگ و نحوه قرارگیری طناب‌ها بر روی آن مشابه گام‌های قبل بود (جدول ۲). تصویر مربوط به لحظات اولیه جدایش پچینگ از پارچه زمینه و لحظات پایانی آزمون (قبل از پارگی پارچه زمینه) در شکل ۱۸ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است این آزمون نیز با استفاده از دستگاه آزمون کشش گالدابینی انجام شد.



شکل ۱۸: آزمون کشش پچینگ گام نهم. (الف) لحظات اولیه جدایش پچینگ از پارچه زمینه، (ب) قبل از پارگی.

منظور افزایش استحکام، زاویه قرارگیری طناب‌ها به پچینگ نیز از ۶۰ درجه به ۹۰ درجه افزایش داده شد (شکل ۶ د و ه). علاوه بر آن در گام یازدهم تعداد طناب‌ها نیز از ۳ سری به ۴ سری افزایش یافت تا اثر آن نیز مورد بررسی قرار گیرد. تصویری از بستر آزمایش دو طرح ساخته شده (در دستگاه آزمون کشش گالدابینی) در شکل ۱۹ نشان داده شده است. از آنجا که این دو طرح، طرح نهایی هستند نتیجه آزمون انجام شده روی تمامی نمونه‌های آزمون شده در جدول ۳ آورده شده است. گزارش آزمایشگاه از نتایج آزمون کشش این دو طرح در پیوست (شکل پ.۹ و شکل پ.۱۰) آورده شده است.

به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت، تغییر نوع چسب و همچنین تقویت قسمت بالای پچینگ (از طریق اعمال چسب بیشتر) نیز تأثیر محسوسی روی استحکام پچینگ ندارد. گام نهم در این گام تغییر مهمی در نحوه اتصال دو پارچه به یکدیگر و همچنین طناب‌ها به آن ایجاد شد. در گام‌های قبل طناب‌ها به صورت همزمان به پارچه پچینگ و پارچه زمینه دوخته می‌شدند. در گام نهم تصمیم بر آن شد که طناب‌ها صرفاً به

پس از انجام آزمون بر روی این نمونه، مشخص گردید که استحکام این پچینگ ۵۴۱۰ نیوتن می‌باشد. ملاحظه می‌شود که در طرح جدید میزان استحکام پچینگ افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است.

گام‌های دهم و یازدهم

با توجه به اینکه استحکام پچینگ گام نهم در مرحله قبل، مقدار نسبتاً بالایی بود، مشخص شد که طرح قابل قبولی برای پچینگ بدست آمده و طرح پچینگ به گام‌های نهایی نزدیک شده است. به این ترتیب در مرحله سوم از پارچه MFab-3 که پارچه‌ای با استحکام بالاتر است استفاده شد. همچنین به



شکل ۱۹: بستر آزمایش. (الف) گام دهم با سه تسمه، (ب) گام یازدهم با چهار تسمه.

جدول ۳: میزان استحکام پچینگ در گام‌های دهم و یازدهم

استحکام طرح گام دهم (نیوتن)	استحکام طرح گام یازدهم (نیوتن)
نمونه شماره ۱	نمونه شماره ۱
7747 ⁺ (پارگی از محل گیرش)	8715* (اتمام کورس دستگاه)
نمونه شماره ۲	نمونه شماره ۲
8389 ⁺ (پارگی از محل گیرش)	8209* (اتمام کورس دستگاه)
نمونه شماره ۳	نمونه شماره ۳
6855* (اتمام کورس دستگاه)	8726 ⁺ (پارگی از محل گیرش)

در جدول ۳: میزان استحکام پچینگ در گام‌های دهم و یازدهم

واضح است که در این حالت نیز استحکام پچینگ از عدد بدست آمده بالاتر است. تصویر نمونه شماره ۲ از گام دهم و نمونه شماره ۳ از گام یازدهم که در آنها پارگی از محل دوخت مربوط به محل تکیه گاه اتفاق افتاده در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

، اعدادی که با نشان بالانویس * مشخص شده‌اند مربوط به حالتی است که به دلیل تمام شدن کورس دستگاه، آزمون به پایان نرسیده است. به عبارت دیگر میزان استحکام پچینگ بالاتر از مقدار مندرج در جدول است. اعدادی که با نشان + وارد شده‌اند نیز مربوط به حالتی است که پچینگ از محل دوخت مربوط به محل تکیه‌گاه خود دچار پارگی شده است.



شکل ۲۰: تصویر نمونه‌هایی که از محل دوخت مربوط به تکیه‌گاه پاره شده‌اند.

قسمتی از شش طناب موجود در بالای حلقه به پارچه دوخته شده، سپس ادامه‌ی طناب‌ها از داخل حلقه رد شده و دوباره روی همان محل قبلی دوخته شدند. پارگی این پچینگ در کششی معادل ۶۶۰ نیوتن اتفاق افتاد.

بررسی دقیق‌تر پچینگ گام اول نشان داد پچینگ کاملاً در راستای تار و پود نبوده است. در گام دوم با اصلاح این مطلب و همچنین تغییر نوع دوخت طناب‌ها به دوخت حالت ۷ شکل، میزان استحکام به ۸۳۰ نیوتن افزایش یافت. در گام سوم از پارچه‌ای با استحکام بالاتر (پارچه MFab-2) استفاده شد که باعث شد میزان استحکام به ۹۷۰ نیوتن افزایش پیدا کند. در گام چهارم یک تغییر عمده ایجاد شد و آن هم استفاده از دو پارچه (یک پارچه پچینگ و یک پارچه زمینه) به منظور شبیه شدن نمونه آزمون به نمونه‌های عملیاتی بود. به این ترتیب میزان استحکام پچینگ افزایش یافته و ۱۰۶۰ نیوتن شد. با توجه به اینکه استحکام مناسبی از پچینگ گام چهارم بدست آمد، این طرح به عنوان طرح اولیه پچینگ پذیرفته شده و در مراحل بعد، پچینگ در ابعاد واقعی ساخته شد تا آزمون‌ها روی ابعاد واقعی پچینگ انجام شود.

در گام‌های بعد پچینگ در ابعاد واقعی ساخته شد. میزان استحکام پچینگ گام پنجم ۳۰۸۰ نیوتن بود. تقویت قسمت انتهایی طناب‌ها با استفاده از یک لایه پارچه اضافی (گام ششم) و تغییر نوع چسب و میزان اعمال آن (گام‌های هفتم و هشتم) کمکی به افزایش میزان استحکام پچینگ نکرد. اما

بررسی آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهد که در تمامی آزمون‌ها یا کورس دستگاه به پایان رسیده یا پارگی از محلی غیر از خود پچینگ اتفاق افتاده و این مطلب نشان‌گر آن است که استحکام پچینگ از اعداد بدست آمده در جدول ۳ بالاتر است.

لذا با توجه به نتایج آزمون و استحکام فوق‌العاده پچینگ طراحی شده، می‌توان به این جمع‌بندی رسید که هر دو طرح نهایی برای استفاده در بالن مورد تأیید هستند.

۵- جمع بندی

با توجه به اینکه تحلیل تنش پچینگ و استخراج الگوی تغییر شکل و بار پارگی آن بسیار پیچیده است، در پژوهش حاضر سعی شد طراحی پچینگ مبتنی بر انجام آزمون و تحلیل نتایج حاصل از آن انجام شود. ابتدا با استفاده از تصاویر موجود از بالن‌های استاندارد ساخته شده توسط شرکت‌های معتبر، طرح اولیه پچینگ استخراج شد. در ادامه با انجام آزمون و بررسی نتایج، طرح پچینگ بهبود پیدا کرد تا به طرح نهایی منتج شد.

در اولین مرحله، به منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه، آزمون‌های ابتدایی روی نمونه‌هایی با ابعاد کوچک انجام شد. در ساخت گام اول از پارچه MFab-1 استفاده شده و همچنین از ۶ طناب به صورت شعاعی در ساخت پچینگ استفاده شد که این طناب‌ها به صورت مستقیم بر روی پارچه زمینه دوخته شد. نحوه‌ی دوخت طناب‌ها به این پارچه بدین صورت بود که

طناب‌ها، زاویه آنها به ۹۰ درجه افزایش یافت. در این مرحله دو طرح (سه طناب و چهار طناب) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون‌های انجام شده نشان داد میزان استحکام هر دو طرح بسیار بالا بوده و پچینگ‌های ساخته شده قابلیت استفاده در پیکره بالن را دارند.

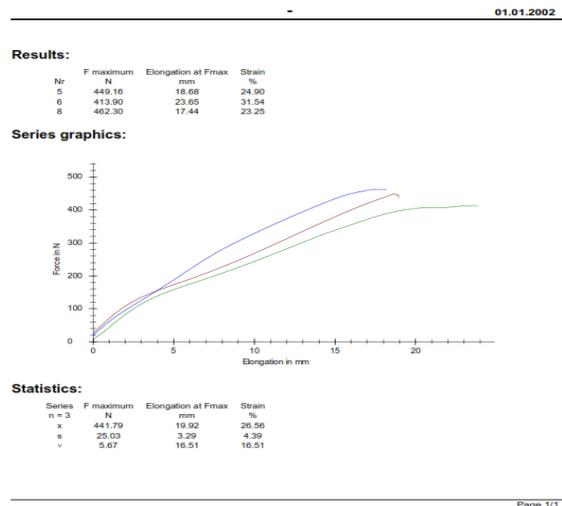
۶- مراجع

- [1] Sharma, N., Sehgal, R., Pant, R. S., Design fabrication and deployment of a tethered aerostat system for aerial surveillance, National Level Conference on Advances in Aerial/Road Vehicle and its Application, 2014.
- [2] Bilaye, P., Gawande, V., Desai, U., Low cost wireless internet access for rural areas using tethered aerostats, Third international Conference on Industrial and Information Systems, 2008.
- [3] Dusane, C. R., Wani, A. V., Pant, R. S., An elevated balloon-kite hybrid platform for surveillance, 23rd AIAA Lighter-Than-Air Systems Technology Conference, 2017.
- [4] tcomlp.com/image-tcom-operational-class-aerostat-systems-28m/
- [5] Krausman, J. A., Petersen, S. T., The 22M class aerostat: increased capabilities for the small tethered aerostat surveillance system, 11th AIAA aviation technology, integration, and operation (ATIO) conference, 2011.
- [6] revijahak.hr/2022/07/08/amerika-ima-novo-oruzje-za-rusiju-i-kinu-u-pripremi-su-baloni-koje-lete-na-velikim-visinama/
- [7] European Aviation Safety Agency, Easy Access Rules for Tethered Gas Balloons (CS-31TGB) – 2018.
- [8] Grant, E. C., Leland, M., Fundamentals of Aircraft and Airship Design. AIAA education series, 2013.

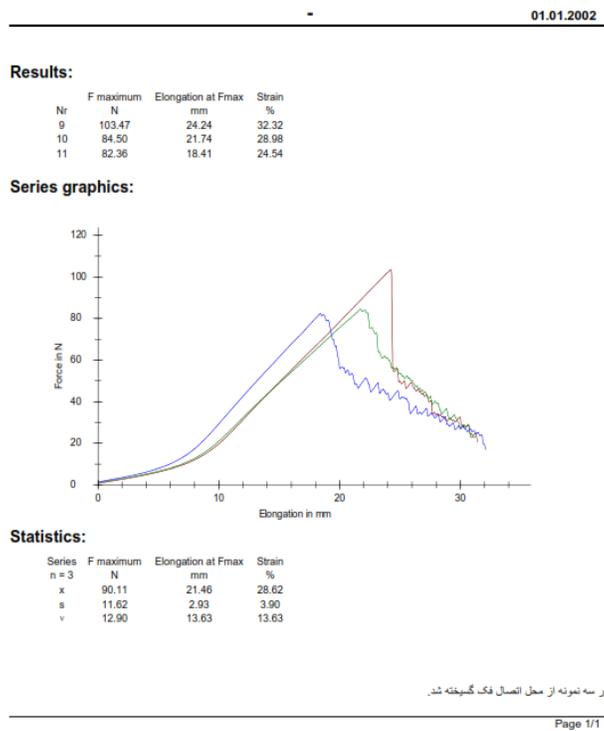
- تغییر در نوع اتصال دو پارچه به یکدیگر و استفاده از چسب به این منظور (در گام نهم) باعث افزایش در میزان استحکام پچینگ شده و این استحکام تا ۵۴۱۰ نیوتن افزایش یافت.
- در آخرین گام‌های پژوهش، از پارچه واقعی مورد استفاده در ساخت پیکره بالن استفاده شد. همچنین ضمن حفظ طول
- [9] Khoury, G. A., Gillett, J. D., Airship technology, Cambridge university press, 2012.
- [10] Sarkheil, S., Jangi, A., Jafarian, A., Haghightat, V., Abbasi, A., Design, fabrication and operation of aerostat fabric permeability test device, The 30th annual international conference of Iranian society of mechanical engineers, ISME, 2022.
- [11] Singha, K., A review on coating & lamination in textiles: processes and applications. *American Journal of Polymer Science.*, 2, 39-49, 2012.
- [12] Zhai, H., Euler, A., Material challenges for lighter-than-air systems in high altitude applications, AIAA 5th ATIO and 16th Lighter-Than-Air Sys Tech. and Balloon Systems Conferences, 2005.
- [13] Jangi, A., Sarkheil, S., Haghightat, V., Jafarian, A., Preparation and development of composite multi-layer fabric for airship/ aerostat, 13th national textile engineering conference, 2023.
- [14] Chen, J., Chen, W., Central crack tearing testing of laminated fabric Uretex3216LV under uniaxial and biaxial static tensile loads. *Journal of Materials in Civil Engineering.*, 28, 1-14, 2016.
- [15] Reinhardt, H.W., On the biaxial testing and strength of coated fabrics. *Experimental Mechanics.*, 16, 71-74, 1976.
- [16] Meng, J., Lv, M., Qu, Z. and Li, P., Mechanical properties and strength criteria of fabric membrane for the stratospheric airship envelope. *Applied Composite Materials.*, 24, 77-95, 2017.

- [17] Yingying, Z., Xiaoguang, S., Qilin, Z., Henglin, L.V., Fracture failure analysis and strength criterion for PTFE-coated woven fabrics. *Journal of Composite Materials.*, 49, 1409-1421, 2015.
- [18] Mazrouei, Z., Khoddami, A., A review on superhydrophobicity: a characteristic property of textiles. *Journal of Textile Science and Technology.*, 3, 23-38, 2013.
- [19] Keshe Farahani, M., Moghassem, A. R., Gohari, S. Z., Numerical simulation in plain woven fabrics. *Journal of Textile Science and Technology.*, 3, 61-68, 2013.
- [20] Torabi, P., Abghari, M. J., Bidoki, S. M., Owlia, E., Evaluation of strain and deformation of the surface of woven fabrics using image correlation method. *Journal of Textile Science and Technology.*, 11, 26-40, 2023.
- [21] Myers, P. F., Vorachek, J. J., Definition of Tethered Balloon Systems. Goodyear Aerospace Corp Akron Oh, 1971.
- [22] Bajoria, A., Mahto, N. K., Boppana, C. K., Design of a tethered aerostat system for animal and bird hazard mitigation, First International Conference on Recent Advances in Aerospace Engineering (ICRAAE), 2017.
- [23] Jafarian, A., Sarkheil, S., Haghghat, V., Aerodynamic simulation of a tactical aerostat and evaluating the longitudinal static coefficients, *Journal of space science, technology & applications.*, 2, 73-83, 2022.
- [24] Bagare, S. V., Joshi, A., Pant, R. S., A Methodology for Sizing of a Mini-Aerostat System, AIAA AVIATION 2021 FORUM, 2021.
- [25] Jafarian, A., Sarkheil, S., Haghghat, V., Development of the conceptual design algorithm for tactical aerostats, *Journal of solids and fluid mechanics.*, 13, 103-120, 2023.
- [26] Hunt, J. D., Structural Analysis of Aerostat Flexible Structure by the Finite-Element Method. *Journal of Aircraft.*, 19, 674-678, 1982.
- [27] Kumar, A., Sati, S. C., Ghosh, A. K., Design, Testing and Realization of a Medium Size Aerostat Envelope., *Defense Science Journal.*, 66, 93-99, 2016.

۷- پیوست



شکل پ.۱: نمودار نیرو- ازدیاد طول در راستای تار پارچه MFab-1



شکل پ.۲: نمودار نیرو- ازدیاد طول در راستای پود پارچه MFab-1

01.01.2002

DIN EN ISO 2062, 05/1995 Simple tensile test on yarns and threads

Parameter table:

Tester	:	Load cell	:
material	:	Extensometer (path)	:
Manufacture/Batch	:	Specimen holders	:
Pre-treatment	:	Number of jaw breaks	:
Test machine	:	Determination of the fineness	:

Test speed : 50 mm/min

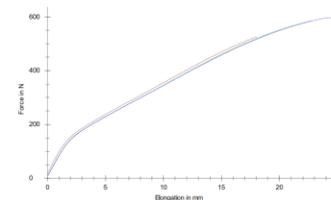
Results:

Nr	F maximum	Elongation at Fmax	Strain
	N	mm	%
1	527.23	18.06	24.08
2	586.46	22.80	30.40
3	598.01	24.47	32.63

Statistics:

Series	F maximum	Elongation at Fmax	Strain
	N	mm	%
n = 3			
x	570.57	21.77	29.03
s	37.97	3.33	4.44
v	6.65	15.28	15.28

Series graphics:



Page 2/1

شکل پ.۳: نمودار نیرو- ازدیاد طول در راستای تار پارچه MFab-2

01.01.2002

DIN EN ISO 2062, 05/1995 Simple tensile test on yarns and threads

Parameter table:

Tester	:	Load cell	:
material	:	Extensometer (path)	:
Manufacture/Batch	:	Specimen holders	:
Pre-treatment	:	Number of jaw breaks	:
Test machine	:	Determination of the fineness	:

Test speed : 110 mm/min

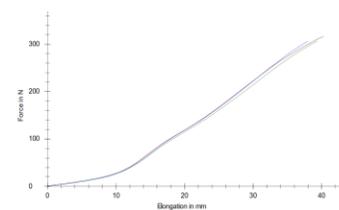
Results:

Nr	F maximum	Elongation at Fmax	Strain
	N	mm	%
1	316.12	40.27	53.70
2	306.58	39.41	52.55
3	305.87	37.94	50.58

Statistics:

Series	F maximum	Elongation at Fmax	Strain
	N	mm	%
n = 3			
x	309.52	39.21	52.28
s	5.73	1.16	1.57
v	1.85	3.01	3.01

Series graphics:



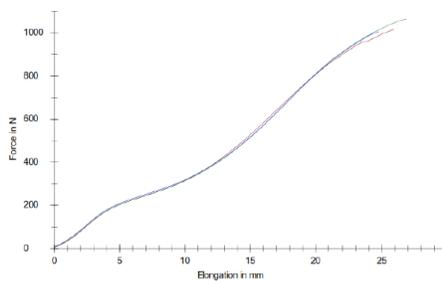
Page 2/1

شکل پ.۴: نمودار نیرو- ازدیاد طول در راستای پود پارچه MFab-2

Results:

Nr	F maximum N	Elongation at Fmax mm	Strain %
1	1016.68	25.00	34.53
2	1064.26	26.62	35.76
3	1006.91	24.77	33.02

Series graphics:



Statistics:

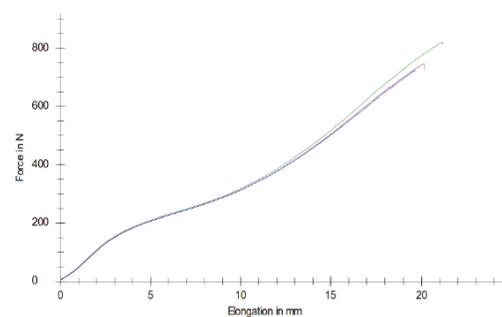
Series n = 3	F maximum N	Elongation at Fmax mm	Strain %
x	1029.29	25.83	34.44
s	30.68	1.03	1.37
v	2.99	3.99	3.98

شکل پ.۵: نمودار نیرو- ازدیاد طول در راستای تار پارچه MFab-3

Results:

Nr	F maximum N	Elongation at Fmax mm	Strain %
1	747.57	20.13	26.84
2	821.30	21.17	28.23
3	723.65	19.64	26.18

Series graphics:



Statistics:

Series n = 3	F maximum N	Elongation at Fmax mm	Strain %
x	764.18	20.31	27.08
s	50.90	0.78	1.05
v	6.66	3.86	3.86

شکل پ.۶: نمودار نیرو- ازدیاد طول در راستای بود پارچه MFab-3

type of machine: Table 50kN
load cell : 50000 N
test speed : down 0 s 300 mm/min

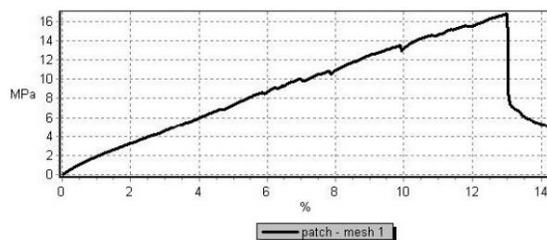
So = calculated area
E = Modulus of elasticity
Fm = Max.force
Rm = Tensile strength
Agt = Total elongation at Fm
At = Total elongation at fracture

results 1400 - 7189:

name	So [mm ²]	E [MPa]	Fm [kN]	Rm [MPa]	Agt [%]	At [%]
patch - mesh 1	184,0	206,61	3,08	16,7	13,003	14,231

Statistics 1400 - 7189:

MW	So [mm ²]	E [MPa]	Fm [kN]	Rm [MPa]	Agt [%]	At [%]
s						



کد سند F145(00)	رئیس آزمایشگاه مرجان شاهمیر	نمونه‌های آزمون و باقیمانده آنها حداکثر به مدت یک ماه نگهداری می‌شوند. تنها اصل گزارش با برجست هولوگرام مورد تأیید است. مسئولیت تطابق نام نمونه و قطعه ارسالی به عهده آزمایشگاه نیست. نمونه‌گیری توسط مشترک انجام شده است. نتایج فوق تنها برای نمونه‌های مورد آزمون قابل استناد است.
--------------------	--------------------------------	--

شکل پ.۷: نمودار تنش کرنش یکی از نمونه‌های مرتبط با گام پنجم

type of machine: Table 50kN
load cell : 50000 N
test speed : down 0 s 300 mm/min

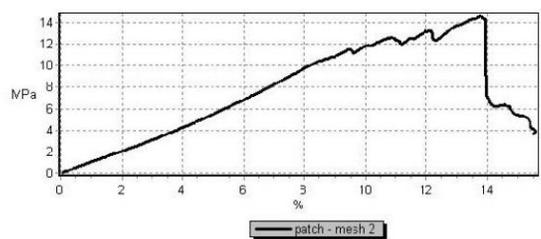
So = calculated area
E = Modulus of elasticity
Fm = Max.force
Rm = Tensile strength
Agt = Total elongation at Fm
At = Total elongation at fracture

results 1400 - 7189:

name	So [mm ²]	E [MPa]	Fm [kN]	Rm [MPa]	Agt [%]	At [%]
patch - mesh 2	184,0	115,44	2,68	14,6	13,782	15,543

Statistics 1400 - 7189:

MW	So [mm ²]	E [MPa]	Fm [kN]	Rm [MPa]	Agt [%]	At [%]
s						



کد سند F145(00)	رئیس آزمایشگاه مرجان شاهمیر	نمونه‌های آزمون و باقیمانده آنها حداکثر به مدت یک ماه نگهداری می‌شوند. تنها اصل گزارش با برجست هولوگرام مورد تأیید است. مسئولیت تطابق نام نمونه و قطعه ارسالی به عهده آزمایشگاه نیست. نمونه‌گیری توسط مشترک انجام شده است. نتایج فوق تنها برای نمونه‌های مورد آزمون قابل استناد است.
--------------------	--------------------------------	--

شکل پ.۸: نمودار تنش کرنش یکی از نمونه‌های مرتبط با گام ششم

آزمایشگاه متالورژی: تهران، کیلومتر ۱۶ بزرگراه فتح(جاده قدیم کرج)، روبروی مگاموتور، خیابان سولیران، خیابان اسکان کارگری، پژوهشکده سامانه‌های حمل و نقل فضایی. تلفن: ۶۶۲۸۲۲۷۳ فکس: ۶۶۲۸۳۶۹۳		 <p>پژوهشگاه فضایی ایران پژوهشکده سامانه‌های حمل و نقل فضایی مدیریت آزمایشگاهها</p>							
آدرس: پژوهشکده مهندسی سامانه‌های حمل و نقل فضایی، گروه پژوهشی سامانه‌های فضایی-سامانه‌های بازگشت پذیر		نام نمونه: پچینگ یارچه چین 90 درجه سه تایی کد نمونه: patch-90-china-3							
سفرش	تاریخ سفارش	شماره ویرایش	پیوست	تاریخ دریافت نمونه	تاریخ شروع آزمون	تاریخ نامه مشتری	شماره نامه مشتری	دهای آزمون	رطوبت آزمون
۱۴۰۱-۸۷۰۷	۱۴۰۱/۱۲/۲۱	۰	-	۱۴۰۱/۱۲/۲۱	۱۴۰۲/۰۱/۲۲	۱۴۰۱/۱۲/۲۱	۰۱/۶۹۷۸۹	-	-

MECHANICAL TEST REPORT

Tensile Test						
Code	thickness*width(mm)	Ultimate Load (N)	U.T.S(N/mm ²)	Y.S.0.2%(N/mm ²)	El.40(%)	Temp.(°C)
1	-	7747	-	-	-	+25
2	-	8389	-	-	-	+25
3	-	6855 ¹	-	-	-	+25
-	-	-	-	-	-	-

نکته: 1-به دلیل به انتها رسیدن کورس دستگاه تست متوقف شد.

کد سند	رئیس آزمایشگاه مهدی بهجتی	نمونه‌های آزمون و باقیمانده آنها حداکثر به مدت یک ماه نگهداری می‌شوند تنها اصل گزارش با برجسب هولوگرام مورد تأیید است. مسئولیت تطابق نام نمونه و قطعه ارسالی به عهده آزمایشگاه نیست. نمونه‌گیری توسط مشتری انجام شده است. نتایج فوق تنها برای نمونه‌های مورد آزمون قابل استناد است.
--------	------------------------------	---

شکل پ.۹: گزارش آزمایشگاه از آزمون کشش پچینگ گام دهم

آزمایشگاه متالورژی: تهران، کیلومتر ۱۶ بزرگراه فتح(جاده قدیم کرج)، روبروی مگاموتور، خیابان سولیران، خیابان اسکان کارگری، پژوهشکده سامانه‌های حمل و نقل فضایی. تلفن: ۶۶۲۸۲۲۷۳ فکس: ۶۶۲۸۳۶۹۳		 <p>پژوهشگاه فضایی ایران پژوهشکده سامانه‌های حمل و نقل فضایی مدیریت آزمایشگاهها</p>							
آدرس: پژوهشکده مهندسی سامانه‌های حمل و نقل فضایی، گروه پژوهشی سامانه‌های فضایی-سامانه‌های بازگشت پذیر		نام نمونه: پچینگ یارچه چین 90 درجه چهار تایی کد نمونه: patch-90-china-4							
سفرش	تاریخ سفارش	شماره ویرایش	پیوست	تاریخ دریافت نمونه	تاریخ شروع آزمون	تاریخ نامه مشتری	شماره نامه مشتری	دهای آزمون	رطوبت آزمون
۱۴۰۱-۸۷۰۷	۱۴۰۱/۱۲/۲۱	۰	-	۱۴۰۱/۱۲/۲۱	۱۴۰۲/۰۱/۲۲	۱۴۰۱/۱۲/۲۱	۰۱/۶۹۷۸۹	-	-

MECHANICAL TEST REPORT

Tensile Test						
Code	thickness*width(mm)	Ultimate Load (N)	U.T.S(N/mm ²)	Y.S.0.2%(N/mm ²)	El.40(%)	Temp.(°C)
1	-	8715 ¹	-	-	-	+25
2	-	8209 ¹	-	-	-	+25
3	-	8726	-	-	-	+25
-	-	-	-	-	-	-

نکته: 1-به دلیل به انتها رسیدن کورس دستگاه تست متوقف شد.

کد سند ۶۶۷-۳(۰۰)	رئیس آزمایشگاه مهدی بهجتی	نمونه‌های آزمون و باقیمانده آنها حداکثر به مدت یک ماه نگهداری می‌شوند تنها اصل گزارش با برجسب هولوگرام مورد تأیید است. مسئولیت تطابق نام نمونه و قطعه ارسالی به عهده آزمایشگاه نیست. نمونه‌گیری توسط مشتری انجام شده است. نتایج فوق تنها برای نمونه‌های مورد آزمون قابل استناد است.
---------------------	------------------------------	---

شکل پ.۱۰: گزارش آزمایشگاه از آزمون کشش پچینگ گام یازدهم