



طراحی و ساخت استواره آیوزیپسکیو اصلاح شده به منظور تعیین خواص بین لایه‌ای کامپوزیت‌ها

محمد رضا وزیری سرشک^{1*}، علیرضا آرائی¹، احمد رضا فرخی²، نبی مهری خوانساری³

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
 2- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
 3- کارشناسی ارشد، مهندسی هوا فضا، دانشگاه تهران، تهران
 * تهران، صندوق پستی 011155-4563، m.vaziri@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
 دریافت: 26 مهر 1393
 پذیرش: 15 آذر 1393
 ارائه در سایت: 04 بهمن 1393
 کلید واژگان:
 استواره آزمایش برشی
 مود II
 کامپوزیت
 بین لایه‌ای
 انحراف معیار

در این مقاله اصلاح طراحی و ساخت استواره آیوزیپسکیو مورد ارزیابی قرار گرفت. این استواره می‌تواند با اعمال بار برش درون لایه‌ای بر روی نمونه کامپوزیتی، خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها را در مد شکست II پیش‌بینی کند. در این تحقیق، ابتدا، استواره متداول قبلی مطابق استاندارد ساخته شد. سپس، با انجام آزمایش بر کامپوزیت‌های پایه پلیمری (کربن-اپوکسی) و چوب (به عنوان کامپوزیت طبیعی)، اشکالات موجود در این استواره مشخص شد. در نهایت با انجام 6 اصلاح اساسی در ساختار استواره، طرح جدید ارائه گردید. همچنین، مشخص شد که با اعمال این اصلاحات، میزان تمرکز نیروی برشی (در ناحیه‌ی برش) و همچنین میزان دقت آزمایش، افزایش می‌یابد. بر این اساس، پس از ساخت استواره جدید و انجام آزمایش بر روی مواد چوب و کامپوزیت‌های پایه پلیمری و با استفاده از روابط انحراف معیار موجود در استاندارد، میزان انحراف معیار دو استواره به ترتیب به 82/7% و 48% در مورد چوب و کامپوزیت پایه پلیمری، کاهش یافت که این خود حاکی از افزایش دقت فیکسچر می‌باشد. بعلاوه نوسان‌های موجود در نمودار حاصل از استواره طرح جدید نیز به مقدار قابل توجهی کاهش یافت.

Design and manufacturing of modified Iosipesque shear test fixture to determine the in layered composite properties

Mohammad Reza Vaziri Sereshk^{1*}, Alireza Araee¹, Ahmad Reza Farrokhi², Nabi Mehri Khansari³

1- Department of Mechanical Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
 2- Department of Aerospace, University of Tehran, Tehran, Iran
 * P.O.B. 011155-4563, Tehran, Iran, m.vaziri@ut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
 Received 18 October 2014
 Accepted 06 December 2014
 Available Online 24 January 2015

Keywords:
 Shear test fixture
 Shear failure mode
 Composite
 in layers
 Standard deviation

ABSTRACT

In this paper the design and manufacturing of Iosipesque shear test fixture modification was evaluated. This shear test fixture by applying the shear load in layers of composites specimens can predict the mechanical properties of composite materials in mode II of fracture. In this paper, first, a common traditional Iosipesque shear test fixture was manufactured according to the standard. Then, by applying shear load on polymer-based composites (carbon-epoxy) and wood (a natural composite) specimens, bugs of the traditional fixture were found. Finally, by 6 fundamental modifications of the fixture structure, a new design was proposed. It was also found that by applying these reforms, both concentrating the shear force (in the shear zone) and test accuracy have been increased. Accordingly, after the construction and testing of new fixture on wood and polymer based composite specimens and by applying the standard deviation's equations, the standard deviation of the modified fixture for wood and polymer based composite has been reduced 82.7% and 48% respectively, suggesting the accuracy of the fixture. In addition, fluctuations of the fixtures diagram of the new design are also significantly reduced.

1- مقدمه

هستند که در هیچ یک از اجزاء آن، به تنهایی مشاهده نمی‌شود [1]. به عنوان مثال می‌توان از کامپوزیت‌های پلیمری نام برد که نقش مهمی را در صنعت هوا فضا ایفا می‌کنند و در بسیاری از کاربردهای نظامی هوا و فضا، جهت استفاده به عنوان مواد عایق حرارتی با خواص ضد سایشی مورد توجه قرار گرفته‌است. البته کاهش هدایت حرارتی کامپوزیت‌ها در این گونه کاربردها بسیار مهمتر از بهبود خواص مکانیکی آن‌ها می‌باشد [2]. یکی از مسائل

در حدود نیم قرن پیش، درخواست برای موادی با استحکام و سفتی بالا و همچنین وزن کم در اغلب صنایع افزایش یافت و با توجه به این که هیچ ماده‌ی تک جزئی قادر به پاسخگویی به این نیازها نبود، مواد کامپوزیتی به بازار عرضه شد. مزیت کامپوزیت‌ها را می‌توان این گونه بیان کرد که بهترین خصوصیات اجزاء تشکیل دهنده‌ی خود را نشان می‌دهد و دارای ویژگی‌هایی

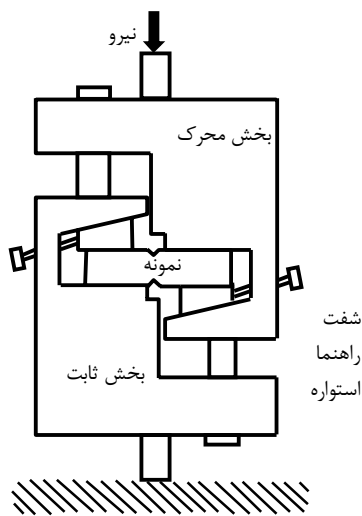
پژوهش انجام شده توسط آدام و همکاران [12]، عکس‌العمل متقابل بین نمونه آزمایش و استواره آزمایش برشی آیوزیپسکیو در سه سطح مورد مطالعه قرار گرفت. یکی از این سطوح تاثیر دوران نمودن گیره بالایی، که در شکل 3 به عنوان نیمه متحرک با مقدار زاویه θ معرفی شده است، بر روی مدول برشی مشاهده شد. این عیب در محل اعمال نیرو باعث در یک راستا نبودن بار اعمال شده بر روی نمونه آزمایش می‌باشد که در نهایت، مقادیر مدول برشی قابل توجهی را به همراه داشت. در ادامه، طراحی متناوب استواره توسط پیرون [13] انجام گرفت. در این میان جن وای لیو و همکاران [14] طراحی استواره آزمایش برشی و هندسه نمونه آزمایش را بررسی کردند.

در این استواره، چهار عدد شفت برای کنترل دو نیمه استواره، بکار رفته اند و شفت‌ها در درون بوش راهنما حرکت کرده موجب محدود کردن اختلاف بین دو نیمه استواره می‌شوند به این ترتیب در حین آزمایش از حرکت غیرخطی در صفحه بارگذاری جلوگیری می‌نماید. هر چند محاسبات نیکلاس و همکاران [15] نشان می‌دهد که عرض شکاف، تحت برش خالص بوده و گشتاور خمشی صفر است؛ با این حال، یک نقص این استواره، تغییر شکل برشی نامساوی بین جلو و عقب نمونه است که این امر به دلیل پیچشی است که در زمان اعمال بار اتفاق می‌افتد. پیچش به دلایل زیر می‌تواند رخ دهد؛ خارج از تفرانس بودن استواره، ناپایداری (بی‌ثباتی) نمونه‌ها (نمونه‌های خیلی نازک)، نصب نادرست نمونه آزمایش در استواره، خارج از تفرانس بودن شرایط به خاطر ضعیف بودن آماده‌سازی نمونه، یا پیکربندی مواد با یک تفرانس خیلی پایین برای پیچش. به منظور حذف این اثر عرضی، نمونه آزمایش توسط پیچ محدود شده و دو بلوک فولادی بین پیچ‌ها و سطح نمونه تعبیه

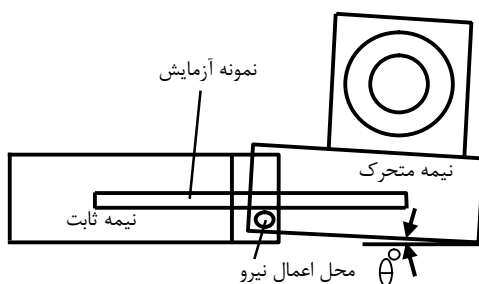
ضروری و حیاتی در مهندسی، تعیین دقیق خواص الاستیک و مکانیکی مواد می‌باشد. در این میان یکی از روش‌های تعیین خواص الاستیک و مکانیکی مطابق با استاندارد ASTM-D 5379 از طریق آزمایش برشی آیوزیپسکیو می‌باشد [3]. استواره آزمایش برشی اولیه آیوزیپسکیو برای اندازه‌گیری استحکام برشی میله‌های فلزی گسترش پیدا کرد و ظرف مدت 30 سال گذشته، توسط انجمن توسعه کامپوزیت به طور گسترده مطالعه شد [4]. این فعالیت‌ها با تحقیقات والراس و آدامز [5] در اوایل دهه‌ی هشتاد آغاز شد که به طور گسترده در آزمایشگاه‌های تخصصی کامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار گرفت و مدل مشاهده شده در شکل 1، در استاندارد پذیرفته شد.

برای آزمایش برشی مواد کامپوزیتی چندین روش آزمایش، ارائه شده است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان موارد زیر را نام برد؛ آزمون‌هایی برای پیچش یک میله‌ی برشی مدور، آزمون برشی دو شیاره، آزمون برشی دو ریله، آزمون برشی منشور مستطیل القاعده در زاویه‌ی 45 درجه، آزمایش پیچش یک میله‌ی مستقیم، آزمایش پیچش یک لوله با دیواره نازک، آزمایش پیچش صفحات مربعی و آزمایش برشی آیوزیپسکیو [6]. در این میان آزمایش برشی آیوزیپسکیو به دلیل مزایایی که نسبت به روش‌های دیگر دارد، انتخاب بهتری است. اولاً این روش می‌تواند علاوه بر استحکام برشی، مدول برشی مواد همگن و ناهمگن را نیز اندازه‌گیری کند.

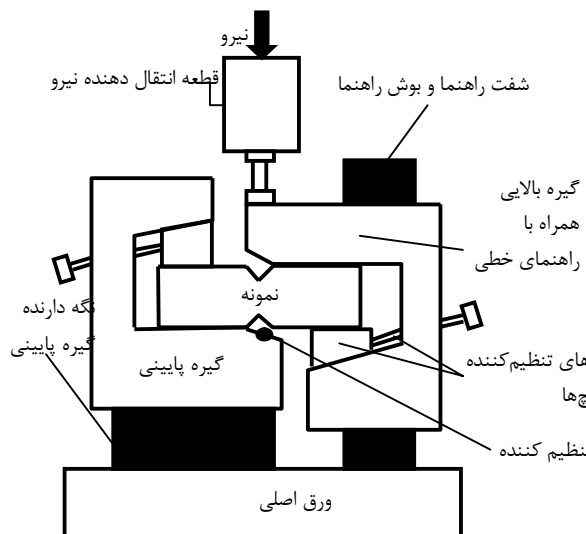
ثانیاً حالت برش یافتن نمونه با این روش ایده‌آل‌تر است. همچنین، نمونه‌ها شکل ساده‌ای دارند و در فرآیند ساخت ساده‌ای تهیه می‌شوند که این امر سبب انجام آزمایش با هزینه‌ی کمتری می‌شود [7]. همان‌طور که از نام استواره و تصویر آن در شکل 1 پیداست، تعیین خواص مربوط به مود دوم (برش) توسط این استواره امکان‌پذیر می‌باشد. در حین انجام آزمایش بارها به صورت دو نیروی مختلف‌الجهت ولی موازی به دو سوی شکاف اعمال می‌شوند که باعث ایجاد کوپل بر روی قطعه نمونه آزمایش می‌شود [9,8]. کنانت و آدام [10] بی‌ثباتی جانبی نمونه آزمایش را به عنوان یک اثر نامطلوب در استواره آزمایش برشی وایومینگ پیدا کردند. سپس توسط ایداهو [11] استواره آزمایش برشی جدیدی مطابق با شکل 2 طراحی شد که نامتقارن بودن دو قسمت استواره را ترمیم کرد. به عنوان اصلاح بعدی برای این که استواره در یک راستا حرکت کند دو عدد شفت راهنما در استواره تعبیه کرد. در دیگر



شکل 2 استواره طراحی شده توسط ایداهو [11]



شکل 3 دوران گیره بالایی در نمای بالا [12]



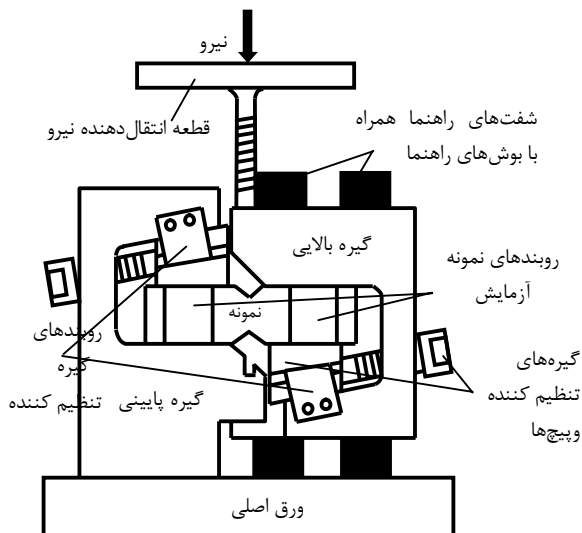
شکل 1 استواره استاندارد آزمایش برشی آیوزیپسکیو [3]

گردید تا تنش تماسی را کاهش دهد. در این حالت، تغییر شکل پیچشی می‌تواند به طور چشم‌گیری کاهش یابد. همچنین، تغییر شکل برشی بر روی جلو و عقب نمونه آزمایش می‌تواند اندازه‌گیری شود.

مشکل تکرارپذیری در اندازه‌گیری مدول برشی و مقاومت برشی مواد کامپوزیتی (مصنوعی) در اکثر کارهای انجام شده با استواره آزمایش آیوژیسیکیو مشهود است به گونه‌ای که این عدد در هر بار آزمایش، مقدار جدیدی بدست آمده است. در بررسی انجام شده توسط خابیر و همکاران [16] به این نکته اشاره شد که استفاده کردن از قطعه تنظیم‌کننده در هنگام آزمایش جهت افزایش احتمال تکرارپذیری آزمایش بسیار ضروری و مهم می‌باشد بگونه‌ای که عدم استفاده از این قطعه در هنگام آزمایش باعث عدم تمرکز نیرو در ناحیه‌ی بین دو شکاف شده و در نتیجه منجر به ایجاد ترک در محلی دلخواه در کناره شکاف می‌شود. پاتریک و همکاران [17] تأثیر فرآیند ماشین‌کاری کامپوزیت اپکسی/کربن و اپکسی/شیشه بر عملکرد مکانیکی آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. ایشان فرآیند ماشین‌کاری نمونه کامپوزیتی را تشریح کرده و با اندازه‌گیری زبری سطح و مشاهدات میکروسکوپی ارزیابی خود را به کمک آزمایش برشی آیوژیسیکیو و آزمایش کششی حلقه، انجام داده‌اند. نتیجه‌ی اصلی این مطالعه نشان داد که فرآیند ماشین‌کاری اثر معنی‌دار و مهمی بر مقاومت کامپوزیت‌ها دارد اما اطلاعات سطح (زبری، مشاهدات میکروسکوپی) کافی نیستند تا آن‌ها را توضیح دهند. به نظر می‌رسد تحقیقات جدیدی در این زمینه لازم است تا معیار مناسبی از کیفیت سطح ماشین‌کاری برای توصیف عملکرد مکانیکی معرفی شود. در مطالعه‌ی انجام شده توسط کارمن و همکاران [18] که با استفاده از آنالیز المان محدود، توسط نرم‌افزار آباکوس انجام شد این نکته مشاهده گردید که در بین زوایای مختلفی که مورد آزمایش قرار گرفت، زاویه‌ی شکاف 110° تنش برشی یکنواختی را در ناحیه‌ی بین دو شکاف ایجاد می‌کند و شکاف عمیق‌تر اثر تنش متمرکز شونده را کاهش می‌دهد. در این مطالعه نوع ماده‌ی به کار رفته اهمیت چندانی ندارد بلکه توزیع تنش در ناحیه‌ی بین دو شکاف مهم می‌باشد.

2-1- پیش‌بینی‌های ساخت

بعد از بررسی جزئیات و نقشه‌ی قطعات، مجموعه‌ای از ملاحظات قبل از ساخت،



شکل 4 استواره آزمایش برشی طراحی جدید

همان‌طور که در این تحقیقات مشاهده شد، می‌توان با استفاده از اصول مونتاژ جهت یکپارچه‌سازی ساختار استواره و کم شدن قطعات آن از لغزش-های کوچک¹ بین قطعات متصل شده جلوگیری کرد. این امر منجر به انسجام بهتر استواره می‌شود. البته لازم به ذکر است، باید شیوه ساخت استواره کاملاً بررسی شود. همچنین می‌توان تغییراتی را در گیره بالایی اعمال کرد. با توجه به تحقیق انجام شده توسط آدام و همکاران [12] جهت جلوگیری از دوران گیره بالایی، می‌توان با استفاده از دو عدد شفت راهنما، از این دوران جلوگیری کرد. همین‌طور با قراردادن روپندهایی² بر روی نمونه آزمایش، درجات آزادی نمونه آزمایش محدود می‌شود، که با این عمل نمونه آزمایش کاملاً مقید می‌گردد. در این تحقیق با اعمال این تغییرات که با ارزیابی نحوه عملکرد و دقت نتایج آزمایش استواره برشی استاندارد (طرح قدیم) پیشنهاد شده و طراحی و ساخت استواره‌ی جدید، نشان داده شده است که چنین روندی در طراحی تکمیلی استواره‌ها موجب افزایش دقت و تکرارپذیری داده‌های آزمایش خواهد شد.

2- شناخت اجزای استواره طرح قدیم و جدید

اجزای استواره طرح قدیم در شکل 1 نشان داده شده است. در ابتدا نقشه‌های

3-Bearing post
4-Ball Bushing
5-Low Carbon Steel
6-Tomson Solid 60(Class L)
7-Linear Bearing

1-Micro Sliding
2-Tabes

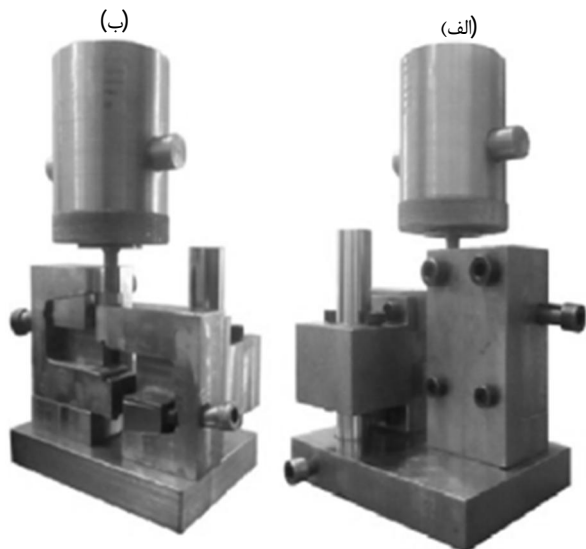
2-2- ساخت استواره آزمایش برشی طرح اولیه (طرح قدیم)

همان‌طور که اشاره شد مطابق با نقشه‌های استاندارد، بعد از مدل‌سازی و مشاهده استواره به صورت مجازی، مراحل ساخت با رعایت تolerانس‌ها انجام گرفت. لازم به ذکر است در ساخت استواره از عملیات ماشین‌کاری، تراش‌کاری و همچنین سوراخ‌کاری، استفاده شد. شکل 7 نشان‌دهنده استواره آزمایش برشی استاندارد (طرح قدیم) می‌باشد.

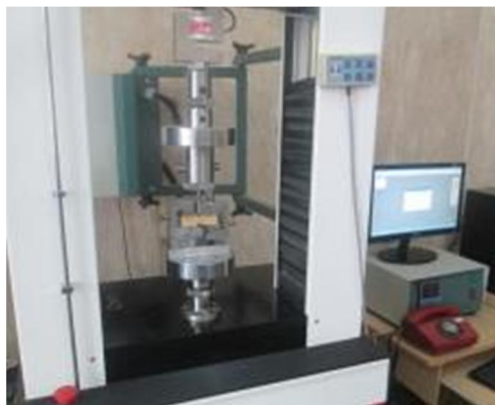
3- استواره طرح قدیم و انجام آزمایش

3-1- آزمایش‌های انجام شده توسط استواره طرح قدیم

پس از ساخت استواره طرح قدیم، با استفاده از دستگاه آزمایش فشار الکترومکانیکی سنتام¹ شکل 8 با نرخ 2 میلی‌متر بر دقیقه، مطابق با استاندارد آزمایش‌ها انجام گرفت. سه نمونه کامپوزیت الیاف کربنی- فوم و سه نمونه چوب کاج مطابق با شکل 9 آزمایش شد. لازم به ذکر است که زاویه ناچ² مطابق با استاندارد 90° می‌باشد. پس از مشاهده نقص‌های موجود، اصلاحاتی بر روی آن صورت پذیرفت که شامل 6 تغییر اساسی در ساختار استواره می‌باشد که در ادامه به بررسی این تغییرات اعمالی پرداخته می‌شود.

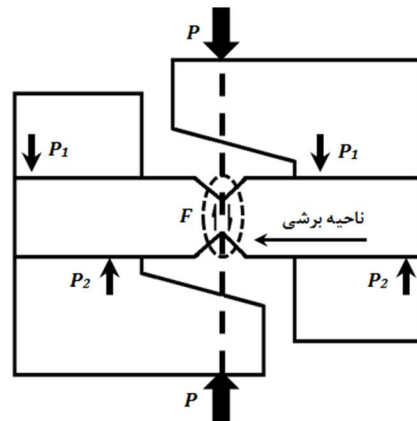


شکل 7 (الف) نمای عقب از استواره طرح قدیم
(ب) نمای جلو از استواره طرح قدیم

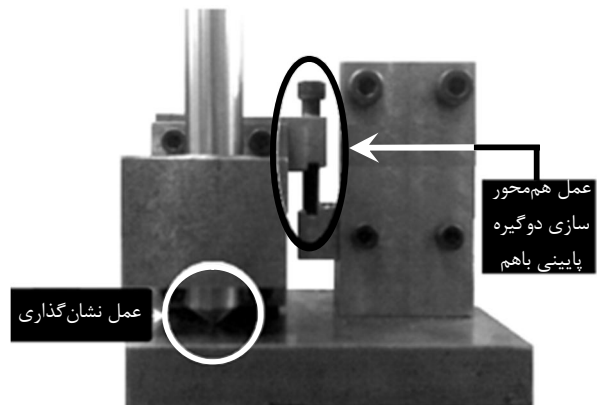


شکل 8 دستگاه آزمایش فشار الکترونیکی سنتام

مدنظر قرار گرفت. مطابق با روش استاندارد، انجام آزمایش نیروهای برشی مختلف‌الجهت ولی موازی، مطابق با شکل 5 که به دو سوی شکاف اعمال می‌شوند، باید در یک راستا باشند که این امر موجب اعمال گسیختگی فقط تحت برش خالص می‌باشد [21,20]. با این تدبیر میزان گشتاور خمشی اعمالی صفر خواهد بود و در نتیجه خمش هیچ گونه تأثیری در گسیختگی نمونه نخواهد داشت. همان‌طور که در شکل 5 ملاحظه می‌شود محل اعمال نیرو باید به گونه‌ای باشد که دقیقاً از ناحیه برشی عبور کند. با توجه به این نکته، پیش‌بینی‌های لازم جهت هم‌راستا کردن گیره‌های بالایی و پایینی در محل اعمال نیرو صورت گرفت؛ جهت محقق شدن این امر مطابق با شکل 6 یک پیچ بلند، در سوراخ‌های رزوه شده‌ی گیره پایینی و بالایی که به ترتیب جایگاه قطعه تنظیم کننده و قطعه اعمال کننده نیرو می‌باشد، قرار داده شد؛ این کار، هم‌مرکز و هم‌محور بودن دو سوراخ را تضمین می‌کند. پس از تحقق یافتن مرحله‌ی ذکر شده در گام بعدی باید ناحیه سوراخ‌کاری شفت راهنما، بر روی ورق پایه مشخص شود. لازم به ذکر است، جهت سهولت در عمل نشان‌گذاری و بالا بردن دقت قرارگیری شفت راهنما، انتهای شفت به صورت مخروطی شکل (سنه‌نشان)، تراش‌کاری شد و سپس عمل نشان‌گذاری توسط همان شفت راهنما انجام گرفت. پس از عملیات سوراخ‌کاری ورق پایه، که با دقت تolerانس $19.04 \pm 0.00 \text{ mm}$ انجام پذیرفت، شفت راهنما به صورت فشاری (توسط نیروی هیدرولیک) در سوراخ مستقر شد. لازم به ذکر است در مراحل ساخت استواره طرح جدید، عمل هم‌محوری و نشان‌گذاری شفت راهنما مطابق با روش ذکر شده، انجام گرفت.



شکل 5 بار اعمال شده در راستای یک محور [20]



شکل 6 عمل هم‌محوری و نشان‌گذاری شفت راهنما بر روی ورق اصلی

1-SANTAM-STM-150

2-Notch

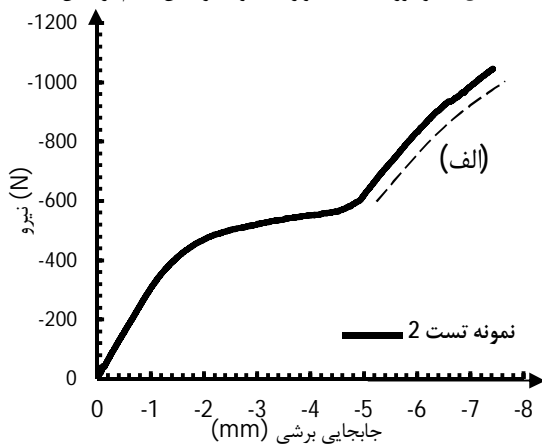
در طراحی جدید در عوض زاویه 10° از زاویه 40° استفاده شد.

3-4- تغییر در ارتفاع گیره پایینی

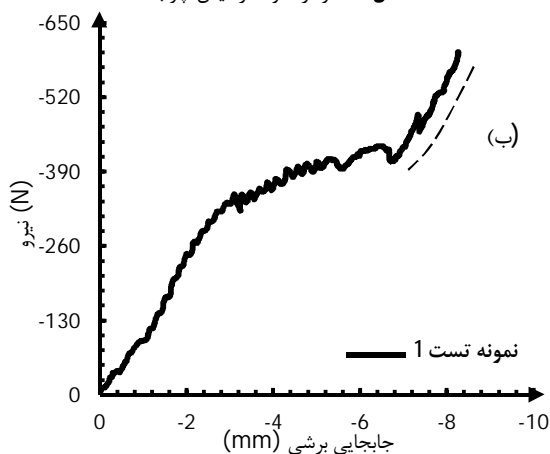
از دیگر اشکالاتی که در حین انجام آزمایش بر روی این نوع کامپوزیت مشاهده شد این است که مقدار کرنش این نوع کامپوزیت در راستای نیروی اعمالی به اندازه‌ای بود که گیره بالایی پس از طی کردن مسیر با ورق اصلی تماس برقرار کرده در نتیجه محدوده جابجایی در راستای شفت‌های راهنما به اندازه کافی نمی‌باشد. بخشی از منحنی که در قسمت (ب) از شکل 12 مشخص شده مربوط به این مشکل می‌باشد، که باعث افزایش نیروی فشاری از 400 تا 600 نیوتون می‌شود. در نتیجه جهت رفع این نقیصه ارتفاع گیره پایینی از 96 میلی‌متر به 110 میلی‌متر تغییر پیدا کرد. لازم به ذکر است پس از انجام مدل‌سازی، مقدار حداکثر ارتفاع برابر با 110 میلی‌متر تنظیم شد؛ اگر بیشتر از این مقدار لحاظ شود باعث برخورد بین دهانه گیره بالایی و پایینی می‌گردد.



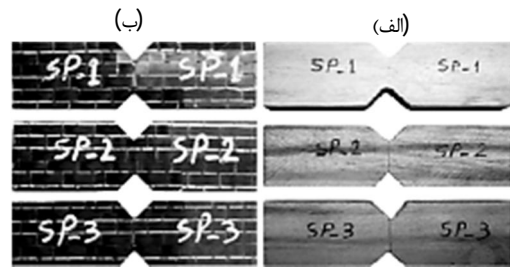
شکل 10 برخورد دهانه استواره با نمونه در حین انجام آزمایش



شکل 11 نمودار نمونه آزمایش چوب 1



شکل 12 نمودار نمونه آزمایش چوب 3



شکل 9 (الف) 3 نمونه آزمایش چوب با زاویه ناچ 90° درجه
(ب) 3 نمونه آزمایش کامپوزیت الیاف کربنی-فوم با زاویه ناچ 90° درجه

3-2- کاهش تعداد قطعات استواره

تعداد قطعات تشکیل دهنده‌ی استواره طرح قدیم، 35 قطعه می‌باشد. با در نظر گرفتن موقعیت قطعات در مونتاژ و امکان ترکیب آن‌ها با هدف کاهش تعداد قطعات و دستیابی به طراحی بهینه مطابق با مرجع [22]، تعداد قطعات از 35 قطعه به 27 قطعه کاهش یافت. در استواره طرح جدید شکل 7، از تعداد پیچ‌ها به میزان قابل توجهی کاسته شد و استواره، قالب منسجم‌تر و یکنواخت‌تری به خود گرفت. با توجه به این اصلاح، در هنگام انجام آزمایش، لغزش‌های موجود در استواره کاهش یافت، که این امر باعث افزایش تمرکز نیرو، در ناحیه برشی نمونه آزمایش می‌شود و همچنین باعث رسیدن به حالت مطلوب‌تری از نظر کاهش انحراف معیار داده‌های خروجی می‌گردد. بعلاوه این تغییر، بر نوسان‌های موجود در حین آزمایش توسط استواره طرح قدیم اثرگذار خواهد بود.

برای محاسبه راندمان مونتاژ دستی رابطه (1) به صورت زیر ارائه شده است:

$$E_{ma} = \frac{N_{min} \times t_a}{t_{max}} \quad (1)$$

که N_{min} نشان‌دهنده تعداد تئوری قطعات و t_{max} بیانگر زمان کل و t_a عدد ثابت بوده، که مقدار آن برابر با 3 می‌باشد. بنابراین باید محاسبه مقدار بازده مونتاژ در دو حالت انجام پذیرد که ابتدا با تعداد 35 قطعه و سپس با تعداد 27 قطعه بررسی شود؛ در ابتدا با توجه به این که در محاسبه راندمان مونتاژ دستی، نیاز به محاسبه زمان‌های برداشتن قطعه و قراردادن قطعه می‌باشد و با توجه به حجم زیاد محاسبات و جداول، ترجیحاً از پرداختن به توضیحات آن صرف نظر شد. نحوه استخراج کدها و زمان‌ها در مرجع [22] به طور کامل تشریح شده است. در نهایت راندمان مونتاژ محاسبه شده برای استواره طرح قدیم 19% و برای استواره طرح جدید 29/8% محاسبه شد که از تفاضل آنها، به میزان تقریبی 11% بهبود راندمان مونتاژ در استواره طرح جدید حاصل می‌شود. لازم به ذکر است که مرجع مذکور یادآور شده از اصول مونتاژ علاوه بر استفاده در تولید انبوه، به جهت تک‌سازی و نمونه سازی نیز می‌توان استفاده کرد.

3-3- تغییر در زاویه هر دو گیره بالایی و پایینی

ابتدا آزمایش، بر روی سه نمونه چوب انجام شد. یکی از مشکلات، برخورد بین لبه انتهایی دهانه استواره با نمونه آزمایش می‌باشد این مشکل که در شکل 10 نشان داده شده است نتایج نهایی آزمایش را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. همان‌طور که در نمودار آزمایش چوب 2 مطابق با شکل 11 ملاحظه می‌شود پس از برخورد، در (قسمت الف) افزایش شیب نمودار را در پی خواهد داشت و نیرو در ناحیه‌ای که برخورد ایجاد می‌شود متمرکز می‌گردد. جهت رفع این مشکل با توجه به پیشنهاد یانگ‌لیو و همکاران [23]،

اما با توجه به این که ضخامت گیره نگهدارنده بیشتر شد، در نتیجه وزن آن هم افزایش یافت بگونه‌ای که پس از قرار گرفتن این قطعه در گیره پایینی به سمت پایین و در جهت عرضی آزادانه حرکت می‌کرد. برای رفع این مشکل دو عدد روپند بر روی گیره تنظیم کننده قرار داده شد.

4- استواره طرح جدید و انجام آزمایش

4-1- مدل‌سازی و ساخت استواره طرح جدید

پس از انجام آزمایش بر روی استواره طرح قدیم و مشخص شدن اشکالات آن تغییرات توسط نرم افزار کتیا بار دیگر اعمال شد و مدل‌سازی انجام گرفت. در نهایت مطابق با مراحل ساخت استواره طرح قدیم، استواره طرح جدید نیز ساخته شد (شکل 15).

4-2- آزمایش‌های انجام شده توسط استواره طرح جدید

با توجه به اصلاحات صورت گرفته شده در استواره طرح قدیم بار دیگر آزمایش بر روی سه نمونه ماده کامپوزیت الیاف کربنی - فوم و سه نمونه چوب درخت کاج تحت زاویه ناچ 110° با استفاده از دستگاه آزمایش فشار الکترومکانیکی سنتام¹ انجام شد. لازم به ذکر است، مطابق با مراجع [18,15] زاویه ناچ 110° در نظر گرفته شد زیرا باعث متمرکز شدن بیشتر نیرو در ناحیه برشی می‌شود و همچنین دقت آزمایش افزایش می‌یابد.

5- اعتبار سنجی

با استفاده از روابط (2) و (3) که در استاندارد ASTM E-691 موجود می‌باشد، به ترتیب مقدار میانگین منحنی‌ها و انحراف معیار در 9 نقطه از جابجایی برشی برای سه نمودار حاصله از آزمایش توسط استواره طرح قدیم و جدید (شکل‌های 16 و 17) برای کامپوزیت الیاف کربنی - فوم محاسبه شد، و در نهایت مقدار میانگین انحراف معیار بدست آمد.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} \quad (3)$$

(ب)



(الف)



شکل 15 (الف) نمای عقب از استواره طرح جدید (ب) نمای جلو از استواره طرح جدید

1- SANTAM- STM- 50

3-5- تعبیه کردن دو عدد شفت راهنما و روپندها

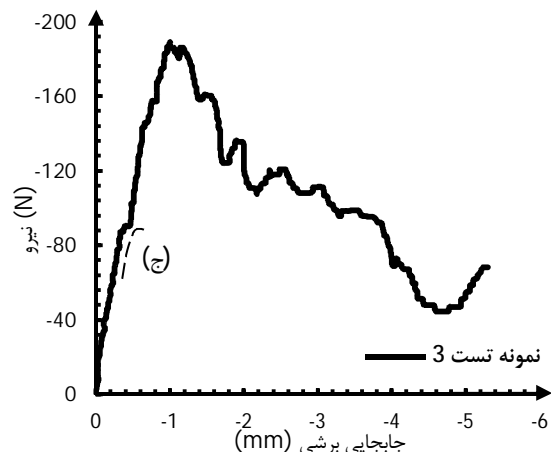
همان‌طور که در شکل 13 ملاحظه می‌شود از جمله اشکالاتی که در حین انجام آزمایش روی سه نمونه کامپوزیتی الیاف کربنی - فوم مشاهده شد دوران کردن گیره بالایی حول محور Z (به سمت بیرون) می‌باشد. آدام و همکاران [12] نشان دادند که این خطا باعث اعمال نیروی عمودی بر دیواره نمونه آزمایش می‌شود، در صورتی که نیرو باید در راستای شیار بر نمونه اعمال شود. در مطالعه انجام شده توسط جن وای لیو [14] نیز به این ضرورت اشاره شده است. این نقص باعث ایجاد خطا در نتایج نهایی می‌شود. با استفاده از دو شفت راهنما در گیره بالایی این دوران را می‌توان حذف نمود و مقدار تمرکز نیروی اعمال شده در راستای بارگذاری در ناحیه برشی را نیز افزایش داد. از دیگر مشکلاتی که در هنگام اجراء آزمایش وجود داشت دوران قطعه نمونه آزمایش حول محور X می‌باشد، که این مشکل باعث افت در نمودار می‌شود که در شکل 14 (قسمت ج) این افت ملاحظه می‌گردد. جهت جلوگیری از این امر لازم است دو عدد روپند بر روی نمونه آزمایش استفاده شود. با قرارگیری این روپندها بر روی نمونه آزمایش و پس از محکم کردن گیره تنظیم کننده، روپندها ثابت شده و درجات آزادی آن کاملاً محدود می‌شود و از دوران نمونه آزمایش جلوگیری می‌شود.

3-6- تغییر در ابعاد گیره‌های تنظیم کننده

در استواره طرح قدیم حداکثر ضخامت نمونه آزمایش 13 میلی‌متر می‌باشد که بعد از کاهش قطعات، این ضخامت در طراحی استواره طرح جدید افزایش یافت؛



شکل 13 نمایش دوران گیره بالایی و نمونه آزمایش



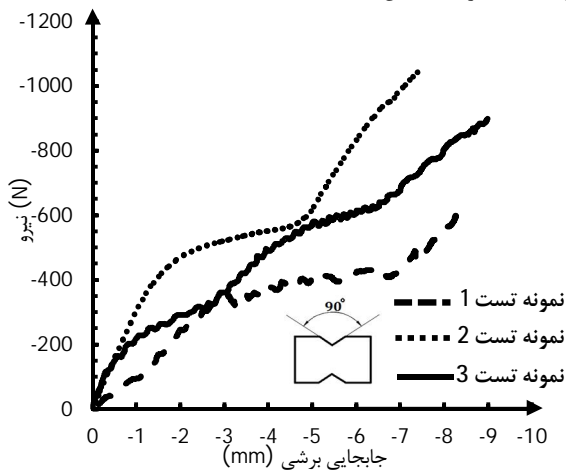
شکل 14 نمودار نمونه آزمایش کامپوزیت الیاف کربنی - فوم 3

جدول 2 بررسی انحراف معیار کامپوزیت الیاف کربنی - فوم با زاویه ناچ 110 درجه

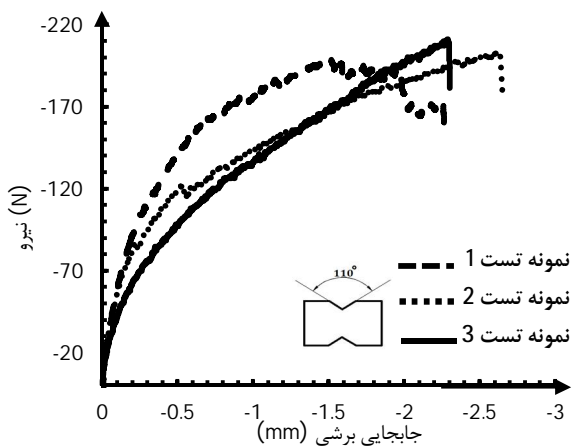
تعداد نقاط	جابجایی برشی (mm)	مقدار x_1	مقدار x_2	مقدار x_3	میانگین منحنی‌ها	انحراف معیار
1	0/3	79/5	70	50	66/5	15/06
2	0/6	170	130	105	135	32/79
3	0/9	208	189	170	189	19
4	1/2	205	215	194	204/67	10/5
5	1/5	190	210	205	201/67	10/41
6	1/8	151	201	199	183/67	28/31
7	2/1	151	201	183	178/33	25/32
8	2/4	151	195	171	172/33	22/03
9	2/8	151	181	160	164	15/39
19/87	میانگین انحراف معیار					

$$\text{درصد انحراف معیار} = 1 - \frac{19.87}{38.24} = 48\%$$

به جهت عمومیت بخشیدن به نتایج تحقیق، نمونه های چوبی هم با دو استواره مورد تست قرار گرفت. بار دیگر مقدار میانگین منحنی‌ها و انحراف معیار در 8 نقطه از جابجایی برشی برای هر سه نمودار (شکل‌های 18 و 19) محاسبه شد و در نهایت پس از مقایسه، مقدار میانگین انحراف معیار به میزان 82/7% درصد کاهش یافت.

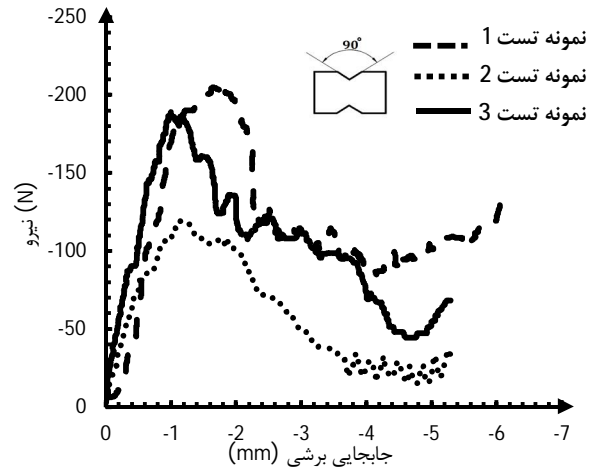


شکل 16 نمودارهای آزمایش کامپوزیت الیاف کربنی - فوم توسط استواره طرح قدیم

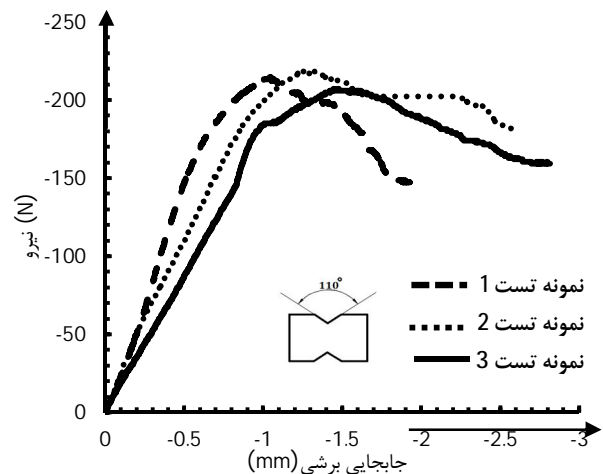


شکل 17 نمودارهای آزمایش چوب توسط استواره طرح جدید

پس از محاسبه میانگین منحنی‌ها و انحراف معیارها در 9 نقطه در دو نمودار، مقدار انحراف معیار به میزان 48% درصد در استواره طرح جدید کاهش یافت که نتیجه اصلاحات انجام شده در این استواره و حاکی از افزایش دقت و تکرارپذیری داده‌ها است. خلاصه نتایج محاسبات در جداول 1 و 2 ارائه شده است.



شکل 18 نمودارهای آزمایش کامپوزیت الیاف کربنی - فوم توسط استواره طرح قدیم



شکل 19 نمودارهای آزمایش کامپوزیت الیاف کربنی - فوم توسط استواره طرح جدید

جدول 1 بررسی انحراف معیار کامپوزیت الیاف کربنی - فوم با زاویه ناچ 90 درجه

تعداد نقاط	جابجایی برشی (mm)	مقدار x_1	مقدار x_2	مقدار x_3	میانگین منحنی‌ها	انحراف معیار
1	0/7	110	85	146	113/67	30/66
2	1/4	192	109	160	153/67	41/86
3	2/1	185	95	111	130/33	48/01
4	2/8	114	60	109	94/33	29/84
5	3/5	112	39	100	83/67	39/15
6	4/2	88	19	69	58/67	35/64
7	4/9	92	21	49	54	35/76
8	5/3	110	32	69	70/33	39/02
9	6	120	32	69	73/67	44/19
38/24	میانگین انحراف معیار					

(*) این مقدار اشاره به، مقدار نیروی خوانده شده از روی نمودار دارد.

به میزان 9/2% درصد اغتشاش در نمودار محاسبه شد که در مقایسه با نمودارهای حاصل از تست با استواره جدید این اغتشاش‌ها حذف شده‌اند و این موضوع بیانگر دقت بالای استواره طرح جدید می‌باشد.

6- در حین انجام آزمایش بر روی چوب، برخورد قسمت کناری زاویه ناچ 90 درجه نمونه آزمایش با لبه گیره نگهدارنده بالایی و پایینی موجب نوساناتی در نتایج آزمایش شد که پس از تغییر در زاویه لبه گیره نگهدارنده از 10 درجه به 40 درجه، مقدار فضای اطراف این ناحیه آزادتر شده و این برخورد در استواره طرح جدید حذف گردید.

7- فهرست علائم

E_{ma}	بازدهی مونتاژ
F	نیروی (N)
L_0	مقدار انحراف تا مبداء نمودار
L_1	مقدار انحراف از نمودار بدون اغتشاش
n	تعداد آزمایشات
N_{min}	تعداد تئوری
S	میانگین انحراف معیار
t_a	عدد ثابت
t_{max}	زمان کل (s)
x	مقدار نیروی خوانده شده در نمودار
\bar{x}	میانگین منحنی‌ها
علائم یونانی	
α	تقارن در جهت ألفا
β	تقارن در جهت بتا

8- تقدیر و تشکر

با تشکر از همکاری صمیمانه و بیدریغ جناب آقای دکتر مجید صفراآبادی فراهانی که هماهنگی‌های لازم را در جهت ساخت نمونه کامپوزیتی انجام دادند؛ و کمک شایان توجه و پدراغه جناب آقای محمد مهدی زمان پور، در ساخت دستگاه را، قدردانی می‌کنم. همچنین از همراهی‌های جناب آقای محمود فرخی در این مسیر قدردانی می‌کنم.

9- مراجع

- [1] J. Taghizade, M. A. Najaf Abadi, Classification of acoustic emission signals the separation layer in composites glass/polyester mixed with a main component analysis method and fuzzy method, *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, Vol. 22, No. 2, pp. 1-12, 2011. (In Persian)
- [2] J. Zamanifar, A. Shekohfar, P. Pasbakhsh, Effect of reinforcing on the thermal properties, wear and microstructure of phenolic matrix composites, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 8, No. 32, pp. 47-58, 2008. (In Persian)
- [3] ASTM Standard, Test Method for Shear Properties of Composite Material by the V-Notched Beam Method D 5379/D 5379M, Vol. 15.03, pp. 1-12, 2004.
- [4] N. Iosipescu, New accurate procedure for single shear testing of metals, *Journal of Materials*, Vol. 2 (3), No. 3, pp. 537-566, 1967.
- [5] D. E. Walrath, D. F. Adams, The Iosipescu shear test as applied to composite materials, *Experimental Mechanics*, Vol. 23 (1), pp. 105-110, 1983.
- [6] S. Lee, M. Munro, Evaluation of In-plane Shear Test Methods for Advance Composite Materials by the Decision Analysis Technique, *Composites*, Vol. 17, No. 1, pp. 13-22, 1986.
- [7] D. F. Adams, D. E. Walrath, Further Development of the Iosipescu Shear

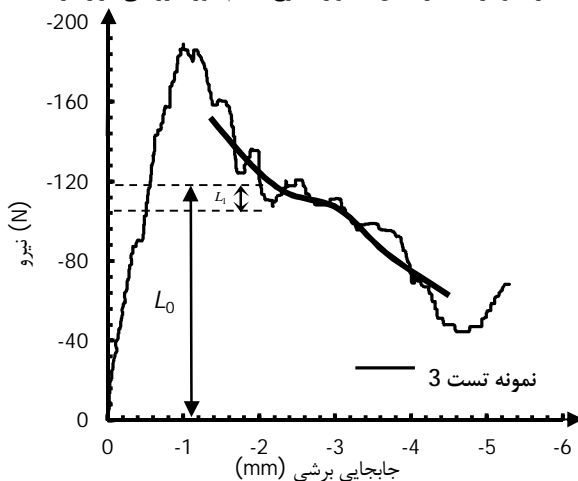
از طرف دیگر همان‌طور که در شکل 20 ملاحظه می‌شود درصد اغتشاش با استفاده از رابطه (4) برابر با 9/2% محاسبه شد. در مقایسه، در نتایج حاصل از تست با استواره جدید این اغتشاشات کاملاً حذف شده است.

$$(4) \quad \text{درصد اغتشاش} = \frac{L_1}{L_0} \times 100$$

6- نتیجه گیری

با ایجاد 6 تغییر اساسی در استواره آزمایش برشی آویزپسکیو، عملکرد استواره ارتقا یافت، به طوری که:

- 1- با کاهش تعداد قطعات استواره از 35 قطعه به 27 قطعه، میزان راندمان مونتاژ به مقدار تقریبی 11% افزایش یافت. همچنین، کاهش تعداد قطعات استواره منجر به افزایش دقت آزمایش شد.
- 2- برای جلوگیری از دوران گیره نگهدارنده بالایی با تعبیه کردن دو عدد شفت راهنما، از وارد شدن نیرو به سطح جانبی نمونه آزمایش کاملاً جلوگیری شد که در نتایج حاصل شده نوسان‌های نمودار حذف شد و منجر به یکنواخت شدن نمودار گردید.
- 3- در استواره طرح قدیم پس از آزمایش بر روی چوب مشاهده شد که مقدار جابجایی در این نوع ماده کامپوزیتی در راستای محور Z بالا می‌باشد و منجر به اصابت گیره نگهدارنده بالایی به صفحه اصلی شده و دقت نتایج از بین خواهد رفت. با افزودن ارتفاع گیره نگهدارنده پایینی، این مشکل رفع گردید.
- 4- در استواره طرح جدید میزان ضخامت نمونه آزمایش از 13 میلی‌متر به 20 میلی‌متر افزایش یافت و گیره‌های تنظیم کننده از نظر ابعادی نیز تغییر کرد. با توجه به این که در جهت عرضی، گیره‌های تنظیم کننده دارای حرکت می‌باشند، با استفاده از رویندهای لبه‌دار این حرکت عرضی حذف شد. با این تغییر بستن نمونه آزمایش با دقت بالایی صورت گرفت، و همچنین از حرکت‌های اضافی این قطعه در حین آزمایش نیز جلوگیری شد.
- 5- با قرارگیری رویندها بر روی نمونه آزمایش از دوران نمودن نمونه در حین انجام آزمایش، حول محور X کاملاً جلوگیری شد که منجر به حذف کامل غیر یکنواختی‌های موجود در نمودارهای حاصل از استواره طرح قدیم شد؛ به عنوان مثال در شکل 20 یکی از نمودارهای آزمایش استواره طرح قدیم مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل 20 نمودار محاسبه درصد اغتشاش

- [16] J. C. Xavier, N. M. Garridob, M. Oliveirab, J. L. Moraisa, P. P. Camanhoc, F. Pierron, A Comparison between the Iosipescu and Off-axis Shear Test Methods for the Characterization of Pinus Pinaster Ait, *composites part A applied since and manufacturing*, Vol.35, pp. 827-839, 2004.
- [17] P. Ghidossi, M. E. Mansori, F. Pierron, Edge Machining Effects on the Failure of Polymer Matrix Composite Coupons, *composites part A applied since and manufacturing*, Vol. 35, pp. 989-993, 2004.
- [18] F. C. Ciornei, S. Alaci, S. P. Ciceu, D. A. Cerlinca, L. Irimescu, The Effect of Notch Geometry Upon Shear Stress State In A Beam, *Mechanical Testing and Diagnosis*, Vol. 2, pp. 68-76, 2012.
- [19] Iosipescu Shear Test Fixture (ASTM D 5379)
http://www.wyomingtestfixtures.com/products/a1.html., 3 July 2014.
- [20] J. Y. Liu, Shear Test Fixture Design for Orthotropic Materials, *Seventh International Conference on Composites Engineering*, pp. 553-554, 2000.
- [21] H. Daiyan, E. Andreassen, F. Grytten, H. Osnes, R. H. Gaarder, Shear Testing of Polypropylene Materials Analysed by Digital Image Correlation and Numerical Simulations, *Experimental Mechanics*, pp. 1-14, 2012.
- [22] G. Boothroyd, *Assembly Automation Product Design*, Second ed., pp. 238-274, 2005.
- [23] Y. Liu, J. Zhu, Z. Chen, Y. Jiang, B. Li, L. Lin, T. Guana, X. Cong, C. Li, Mechanical behavior of 2.5D (shallow bend-joint) and 3D orthogonalquartz/silica composites by silicasol-infiltration-sintering, *Materials Science and Engineering A*, pp. 230-235, 2012.
- Test Method, *Experimental Mechanics*, Vol. 27, pp. 113-119, 1987.
- [8] L. C. Bank, Shear Properties of Pultruded Glass FRP Materials, *Proceeding of the First Materials Engineering Congress*, pp. 834-843, 1990a.
- [9] J. S. Dietsche, Development of Material Specifications for FRP Structural Elements for the Reinforcing of a Concrete Bridge Deck, *University of Wisconsin-Madison*, 2002.
- [10] N. R. Conant, E. M. Odom, An improved Iosipescu shear test fixture, *Journal Composite Technology*, Res, 17(1), pp.50-55, 1995.
- [11] H. Yoshihara, H. Ohsaki, Y. Kubojima, J. Ohta, *Wood Science Material*, 45(1), pp. 24-29, 1999.
- [12] E. M. Odom, D. M. Blacketter, B.R. Suratno, Experimental and Analytical Investigation of the Modified Wyoming Shear-test Fixture, *Experimental Mechanics*, pp.10-15, 1993.
- [13] F. Pierron, New Iosipescu fixture for the measurement of the in-plane shear modulus of laminated composites design and experimental procedure, *Journal of Composite Materials*, Vol. 32, No. 940125, pp. 1986-2015, 1998.
- [14] J.Y. Liu, D. Flach Dwight, J. Ross Robert, J. Lichtenberg Gary, An Improved Shear Test Fixture Using The Iosipescu Specimen, *Mechanics of Cellulosic Materials*, Vol. 85, pp.139-147, 1999.
- [15] L. N. Melin, J. M. Neumeister, Measuring Constitutive Shear Behavior of Orthotropic Composites and Evaluation of the Modified Iosipescu test, *Composite Structures*, Vol. 76, pp. 106-114, 2006.