

## امکان سنجی و ساخت نمونه آزمایشی صفحات اتصال عایق ریل از جنس مواد کامپوزیتی

اتصالات عایق یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده خطوط ریلی هستند که واماندگی آن‌ها، سالانه زیان مالی قابل توجهی برای کشور به وجود می‌آورد. معمولاً این اتصال‌ها تحت بارگذاری‌های دینامیکی و شبه استاتیکی به صورت ممان خمش و نیروی کششی قرار دارند. در این پژوهش طراحی و ساخت اتصالات عایق ریل از جنس مواد کامپوزیتی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، بر اساس معایب موجود در اتصال‌های سنتی، کامپوزیت زمینه پلیمری اپوکسی/الیاف شیشه انتخاب شده است. جهت ارزیابی خواص مکانیکی ماده کامپوزیت انتخاب شده، نمونه‌های استاندارد تحت آزمایشات تجربی، شامل آزمایش‌های کشش ساده، خمش سه نقطه و سختی، قرار گرفتند. نتایج بدست آمده، بهبود خواص مکانیکی ماده کامپوزیتی جدید نسبت به نمونه‌هایی از جنس مواد فلزی و سنتی را نشان همچنین هزینه ساخت نمونه‌های کامپوزیتی مذکور در مقایسه با نمونه‌های با کیفیت اروپایی، حدود ۴۰ درصد کمتر برآورد شده است.

آلکس عیسی‌قلیان<sup>۱</sup>

کارشناسی ارشد

مجید توکلیان<sup>۲</sup>

استادیار

واژه‌های راهنما: اتصال‌های عایق ریل<sup>۳</sup>، وصله کامپوزیتی<sup>۴</sup>، خواص مکانیکی، آزمایش‌های تجربی

### ۱- مقدمه

اتصال‌های عایق جهت اتصال دو قطعه ریل فلزی هم راستا مورد استفاده قرار می‌گیرند. ریل‌های راه‌آهن همانند تیرهای ساختمانی در ابعاد استاندارد تولید و به فروش می‌رسند. در هنگام راه‌اندازی خط آهن، ریل‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند تا به خط آهنی یکپارچه تبدیل شوند و قطار به راحتی بر روی آن هدایت شود. روش اول جهت اتصال ریل‌ها به یکدیگر، استفاده از فرایند جوشکاری است. اجرای این روش در موقعیت‌های متعددی به دلیل مسائل ایمنی امکان‌پذیر نیست؛ زیرا در طول مسیر سرعت و موقعیت قطار به صورت مکرر و مجزا در قسمت‌های مختلف و مستقل از ریل باید کنترل شود، تا به تصادف و یا خروج از ریل منجر نشود. لذا استفاده از اتصال عایق ریل موجب جدا سازی سیگنال‌های کنترلی ارسالی از ریل در قسمت‌های مختلف آن می‌گردد، شکل (۱).

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، مهندسی خودرو، دانشکده خودرو، واحد سازه و بدنه، دانشگاه علم و صنعت ایران

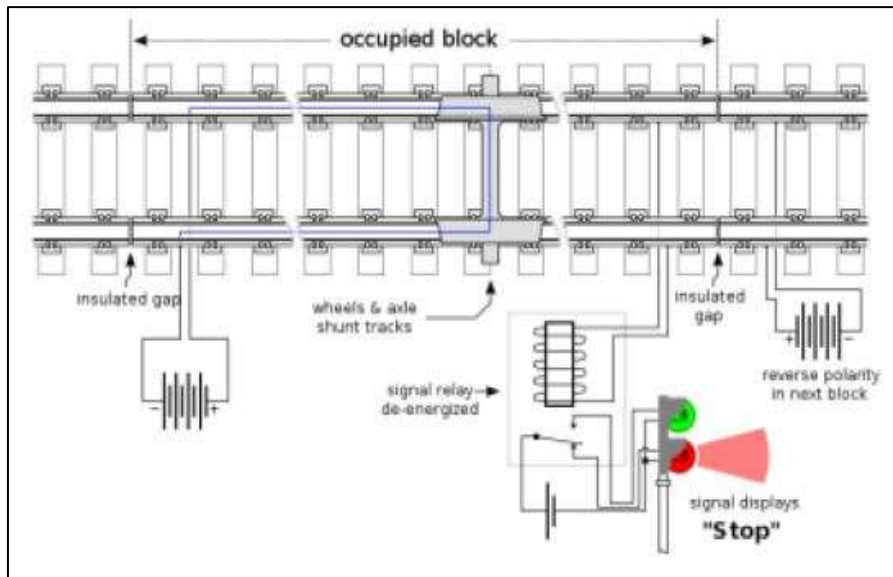
<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، استادیار، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی

tavakolian.m@wtiau.ac.ir

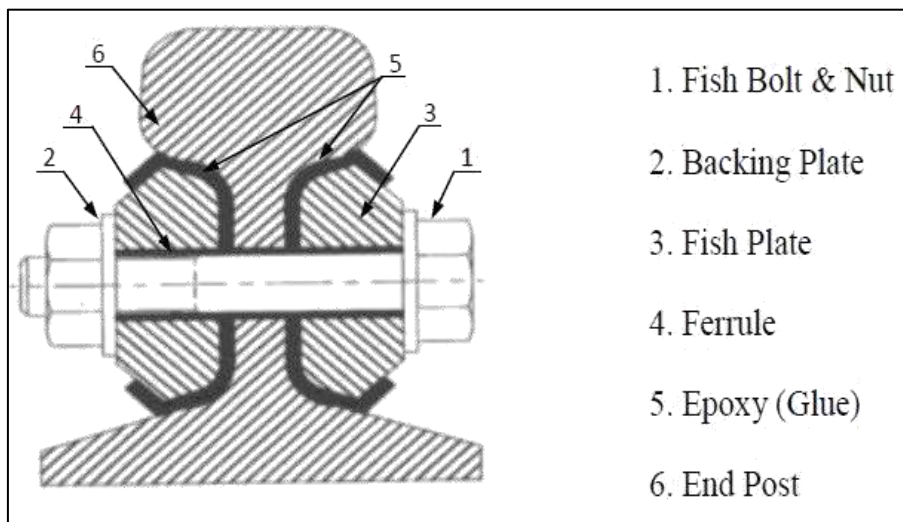
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳

<sup>۳</sup> Insulated Rail Joints (IRJs)

<sup>۴</sup> Composite Fish Plate



شکل ۱- سیستم عایق‌بندی خطوط آهن



شکل ۲- اجزای اتصال عایق [۱]

اتصال‌های عایق از لحاظ شکل قرارگیری به سه نوع مرسوم "پاشنه‌دار ممتد، معمولی بین دو تراورس<sup>۱</sup> و معمولی روی تراورس" تقسیم می‌شوند، که امروزه نوع بین تراورسی آن متداول می‌باشد، شکل (۲).  
 اتصال‌های عایق سنتی مورد استفاده در خطوط ریلی شامل یک وصله<sup>۲</sup> فلزی به همراه یک قطعه پلیمری به منظور عایق کردن اتصال می‌باشد. از جمله مشکلات رایج این اتصال‌ها، ضعیف بودن قطعه پلیمری در مقابل بارهای دینامیکی، وزن بالای اتصال ناشی از وصله فلزی و خوردگی بخش فلزی است.

<sup>1</sup> Traverse

<sup>2</sup> Fishplate



شکل ۳- نمونه اتصال چسبی

با توجه به این مشکلات، اتصال‌های چسبی در دو دهه اخیر به عنوان توسعه‌ای در صنایع ریلی معرفی شدند. در این اتصال‌ها به جای استفاده از قطعه پلیمری، مطابق شکل (۳) از نوعی چسب جهت چسباندن قطعات فلزی استفاده شده است که به عنوان عایق جریان الکتریکی نیز عمل می‌کند.

تحقیقات بسیاری در خصوص اتصال‌های عایق متداول سنتی و چسبی، در طی سال‌های گذشته انجام شده است. به عنوان نمونه در سال (۱۹۹۹)، Arnold D. Kerr به همراه همکارانش، خیز اتصال عایق چسبی را با اعمال بار عمودی به صورت تحلیلی به دست آورد [۱]. همچنین در سال (۲۰۰۶) R.H. Plaut و همکارانش، عمر اتصال‌های چسبی را مورد تحلیل عددی و محاسباتی قرار دادند [۲]. در این تحقیق چسب مورد استفاده در اتصال‌ها، اپوکسی حاوی الیاف شیشه و کولار بوده است. برای تحلیل دو نوع اتصال گوه‌ای و معمولی در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که حالت گوه‌ای شرایط بهتری از لحاظ استحکام مکانیکی دارد، با این وجود هزینه بیشتر نسبت به نوع دیگر دارد. C.Rathod و D.Wexler به بررسی مشخصات ریزساختاری وصله‌ها پرداختند [۳]. دو نوع وصله یکی با فلز ریل سخت کاری شده در حالت کریستالی و دیگری سخت کاری شده با روکش لیزری از فلز ضد زنگ مارتنزیتی بررسی شد. عایق کردن فلز وصله معمولاً با روکش دار کردن و یا استفاده از رزین فنولیک و لایه‌های پلاستیکی و همچنین چسب اپوکسی است. بر اساس نتایج بدست آمده، حالت روکش دار لیزری به دلیل روکش ضد زنگ مارتنزیتی عملکرد بهتری داشته است. همچنین ذکر شده که درز عایق مایل با زوایای ۱۵ و ۷۵ درجه باعث کاهش Lipping ریل می‌شود. در سال (۲۰۱۳) توسط Amir H.Iranmanesh و همکارانش، به طراحی اتصال‌های عایق ریل با نرم‌افزار عددی و ساخت مدل یک چهارم آن از جنس پلی کربنات برای آزمایش تجربی پرداخته شد [۴]. در نتیجه این مقاله ذکر شد که با وجود ترکی در وصله، امکان رشد و بزرگ شدن آن تحت بارهای دینامیکی وجود دارد، نسبت به ابعاد ترک از ۰ تا ۱/۲ اینچ، چرخه عمر از یک میلیون تا ده قابل تغییر است. تحلیل عددی روی

مقوله سازه‌ای اتصال‌های عایق ریل ۴ یا ۶ سوراخه در حالت‌های supplied و suspended، توسط Michael E. Carolan و همکارانش، در سال (۲۰۱۴) انجام شده است [۵]. در نتیجه این تحلیل حالت supplied تنش کمتری به پیچ‌ها وارد کرده است و همچنین ۴ یا ۶ سوراخه بودن وصله‌ها تأثیری روی وضعیت تنش‌ها نداشته است. بررسی تجربی درز ریل‌ها، در تحقیقی در سال (۲۰۱۶) توسط Fathi Elshukri انجام شده است [۶]. در این پژوهش سایش پنج ماده برای درز ریل آزمایش شد. این مواد عبارت بودند از نایلون‌های N12، N66، N66a، کامپوزیت اپوکسی/شیشه و فنولیک. این آزمایش با دو صفحه چرخان که روی یکدیگر با سرعت‌ها و فشارهای مختلف می‌چرخند و درون یکی از این صفحات مواد اولیه موردنظر تعبیه شده است، انجام شد. ابعاد صفحات با ضخامت ۱۰ و قطر ۴۲ میلی‌متر و ابعاد نمونه‌ها ۳۲ در ۵ در ۵ میلی‌متر هستند. حداکثر نیرو در این آزمایش ۵۰ نیوتون و در سرعت‌های ۱/۵ تا ۷/۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. در نتیجه اپوکسی/الیاف شیشه در زمان یک ساعتی آزمایش بهتر از سایرین با از دست دادن حدود ۱ میلی‌متر مکعب حجم و نمایان شدن موضعی رشته‌های شیشه به دلیل افزایش حرارت عمل کرد. این آزمون در دو محیط خشک و مرطوب انجام شد که در حالت دوم به علت حرارت کمتر عملکرد بهتری نیز ایجاد شد. شبیه‌سازی عددی اتصال عایق ریل در سال (۲۰۱۸) توسط H.M.El-sayed و همکارانش انجام شده است [۷]. در این مقاله به بررسی آسیب‌های وارده بر اساس بارگذاری‌های مکانیکی و الکتریکی پرداخته شده است. همچنین اثر بار مکانیکی وارد از چرخ قطار، ضریب اصطکاک و شکل هندسی اتصال به صورت پارامتری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این پژوهش تطابق خوبی با نتایج تجربی موجود در مقالات دیگر داشته است.

یکی از مشکلات اتصال‌های چسبی، ضعیف شدن چسب به علت شرایط محیطی از جمله حرارت و رطوبت، و تنش‌های مکانیکی مانند ضربه، خستگی و ... در طول زمان است. این اتفاق در نهایت منجر به جدایش چسب به علت به وجود آمدن تمرکز تنش در اطراف قسمت ضعیف شده می‌باشد [۸]. بعد از تحقیقات گسترده در این زمینه مشخص شد که جدایش چسب در حساس‌ترین و پرتنش‌ترین ناحیه بین وصله و ریل، به عبارتی، قسمت میانی و در لبه‌های بالایی و پایینی آن‌ها شروع شده و به صورت پروفیل U شکل در طول وصله از هر دو سمت ادامه می‌یابد. این پدیده به صورت عددی نیز تحلیل شده است که با اعمال تنش ثابت به اتصال، با از بین رفتن مقطعی چسب، کرنش درون وصله افزایش می‌یابد و باعث ایجاد انواع تنش‌های متمرکز حول سوراخ‌ها و لبه‌ها می‌شود و اتصال را به مرور از بین می‌برد و وامانده می‌کند [۹]. همچنین اتصال‌های چسبی مشکلات عدیده‌ای در زمان اجرا دارند. بعلاوه بازرسی اتصال‌های چسبی بسیار سخت‌تر از حالات دیگر است و نمی‌توان ضعف، جدایش و همچنین ترک‌های ریز درون چسب و ما بین وصله و ریل را مشاهده کرد [۱۰]. موارد مذکور دلایلی بر ضعف اتصالات چسبی است و امروزه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان به اتصالات پیشرفته‌تری روی آورده‌اند. مطابق شکل (۴)، وصله‌های فلزی همراه با روکش پلیمری، نوع دیگری از اتصالات مدرن می‌باشند. روش ساخت آن‌ها با استفاده از دستگاه تزریق پلاستیک است. در نتیجه‌ی این امر روکشی از پلیمر تزریق شده، سطح فلز را می‌پوشاند و آن را عایق الکتریسیته می‌کند. همچنین اتصال جدید را در برابر عوامل آب و هوایی و محیطی در امان نگه می‌دارد. از معایب این روش می‌توان به پارگی روکش، مقاوم نبودن در برابر اجسام نوک تیز و عدم یکپارچگی با فلز را اشاره کرد.



شکل ۴- نمونه وصله با مغزی فلزی و روکش پلیمری



شکل ۵- وصله کامپوزیتی

وصله کامپوزیتی جدیدترین تکنولوژی در این حوزه می‌باشد؛ به صورتی که چند شرکت اروپایی و روسی در این زمینه اقدام به تولید محصول و ارائه به بازار نموده‌اند. از مزایای وصله کامپوزیتی می‌توان به خواص مکانیکی مناسب، نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت به خوردگی، عایق الکتریکی و نصب آسان و سریع اشاره نمود. در شکل (۵) نمونه‌ای از وصله کامپوزیتی قابل مشاهده است. مطالعات جامع و کاربردی در زمینه اتصال‌های کامپوزیتی و فلزی روکش‌دار وجود ندارد و بر اساس تحقیقات ارائه شده، استفاده از اتصال‌های چسبی به عنوان اتصال عایق ریل مناسب نیست. اطلاعات مناسبی هم در مورد اتصال عایق ریل کامپوزیتی استاندارد و مقاوم وجود ندارد. در نتیجه در این مقاله به بررسی طراحی و ساخت اتصال عایق ریل از جنس مواد کامپوزیتی پرداخته شده است. همچنین با توجه به عدم وجود نمونه کامپوزیتی اتصال عایق در کشور و

استقبال روزافزون آن در دنیا، در این پژوهش، مطالعاتی بر روی انواع مواد کامپوزیتی قابل استفاده در وصله‌ها و خواص مکانیکی آن‌ها انجام شده است و در نهایت با استفاده از آزمایشات تجربی، خواص مکانیکی ماده کامپوزیتی مناسب جهت تحمل بارهای متنوع اتصال عایق ریلی به دست آمده است.

## ۲- آزمایشات تجربی

### ۲-۱- انتخاب رزین و الیاف

رزین‌های متداول جهت استفاده در قطعات کامپوزیتی شامل اپوکسی، فنولیک، پلی اورتان، پلی آمید و... می‌باشند. رزین اپوکسی نسبت به دیگر رزین‌های مورد استفاده در صنعت، دارای خواص بهتری است و با توجه به نوع بارگذاری‌ها و شرایط محیطی مورد نظر، انتخاب بهتری جهت استفاده در اتصال عایق است. از جمله خواص اپوکسی می‌توان به عایق الکتریسیته، مقاومت بسیار خوب در برابر مواد شیمیایی، آب و رطوبت، اعوجاج حجمی پایین، تحمل درجه حرارت بالاتر و تحمل بهتر و بهینه‌تر انواع تنش‌های مکانیکی و حرارتی اشاره نمود. همچنین الیاف شیشه به دلیل عایق الکتریسیته، در دسترس بودن و قیمت مناسب‌تر، مقاومت خوردگی بالا، استحکام کششی و خمشی مناسب و یکپارچه شدن بهتر با رزین جهت آغشته شدن با اپوکسی، در ساخت کامپوزیت مورد نظر انتخاب شده است [۱۰].

### ۲-۲- روش ساخت کامپوزیت

از آنجایی که اتصالات عایق ریل تحت بارگذاری خمشی هستند و بیشترین تنش‌ها ناشی از این نوع بارگذاری است؛ لذا جهت مقابله با نیروی خمشی، بهترین چیدمان الیاف برای کامپوزیت به صورت الیاف بلند تک جهته و در راستای طول وصله می‌باشد. با توجه به استاندارد بین‌المللی تست مواد مورد استفاده در ریل [۱۱] و مشخصات ارائه شده توسط شرکت‌های داخلی و خارجی و همچنین بارگذاری‌های ذکر شده، استانداردهای کشش ASTM D3039 و خمش ASTM D790 جهت بررسی خواص مکانیکی وصله‌های کامپوزیتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق دستورالعمل استانداردها، دو ورق، به ضخامت ۱ میلی‌متر و ۳ میلی‌متر از جنس اپوکسی/الیاف شیشه تهیه می‌شود. روش ساخت این ورق‌ها نیز تزریق در خلأ (Vacuum infusion) انتخاب شده است. این روش در مقایسه با روش لایه چینی دستی از دقت و کیفیت بسیار بیشتری برخوردار است. از دیگر برتری‌های روش تزریق در خلأ، اعمال درصد حجمی الیاف بیشتر حدود ۷۰٪، مصرف رزین کمتر و به اندازه، اعمال فشار افزوده توسط خلأ روی سطح قطعه هنگام پخت در محیط خلأ، تخلخل بسیار کمتر قطعه، استحکام بالاتر، مخلوط شدن بهتر رزین و الیاف در مسیر مکش رزین به سمت الیاف، کیفیت سطح و شکل ظاهری بسیاری مطلوب‌تر می‌باشد. در روش مذکور ابتدا الیاف به ابعاد و تعداد لایه‌های مورد نظر بریده می‌شوند. برای ورق ۳ میلی‌متر، ۱۲ لایه الیاف شیشه با ضخامت ۰/۲۵ میلی‌متر و برای ورق ۱ میلی‌متر، ۴ لایه الیاف شیشه با ضخامت ۰/۲۵ میلی‌متر مورد نیاز است.



شکل ۶- بستن کیسه خلأ بر روی الیاف‌های چیده شده

پس از برش، الیاف بین دو پارچه داکرون، بر روی یک شیشه قرار داده می‌شوند. وظیفه این پارچه زبر کردن سطح کار جهت سهولت انجام تست کشش و فشار و همچنین نجسبیدن الیاف و رزین به شیشه و باقی اجزای کار هنگام پخت است. قابل ذکر است که رزین قابلیت نفوذ از این پارچه را دارا است. پارچه دیگری به نام پارچه مش روی پارچه داکرون قرار می‌گیرد. وظایف این پارچه، سرعت بخشیدن به روند انتقال رزین از یک سمت به سمت دیگر توسط خلأ و پخش و یکنواخت کردن رزین توسط حفره‌های نسبتاً بزرگ این پارچه است. در نهایت مجموعه توسط یک کیسه خلا محصور و جهت انتقال رزین، لوله‌های مناسب در آن تعبیه می‌شوند، شکل (۶). سپس کیسه خلأ توسط خمیر آبندی روی بستر شیشه‌ای چسبانده می‌شود و پمپ شروع به کار می‌کند. در این مرحله خلأ اولیه صورت می‌گیرد و مرز اطراف الیاف بسته و مسیر حرکت رزین به صورت دقیق تر مشخص می‌شود. بعد از مراحل خلأ کردن کیسه، مدتی برای آزمودن آب بندی مناسب و نداشتن نشتی هوا، کیسه خلأ را در محیط کار قرار داده و بدون انجام عملیاتی، آن را بازبینی می‌کنیم. همزمان با بازبینی و اطمینان از خلأ کامل کیسه، اقدام به مخلوط کردن رزین با هاردنر<sup>۱</sup> مختص خود می‌کنیم. در این مرحله هاردنر با درصد وزنی مشخص، تا زمانی که رنگی یک دست و شفاف و بدون رده به خود گیرد با رزین مخلوط می‌شود، شکل (۷).

پس از حباب زدایی، رزین آماده فرآیند تزریق در کیسه خلأ می‌باشد. لوله ورودی را در ظرف دارای مخلوط رزین فرو می‌کنیم و لوله خروجی نیز به ظرف دیگری که پمپ خلأ به آن متصل است می‌چسبانیم. پس از روشن کردن پمپ فرآیند تزریق شروع می‌شود، شکل (۸). مطابق شکل (۹) در حین تزریق خلأ، از رزین اضافی برای ساخت نمونه‌های آزمون کشش و فشار رزین مجزا، استفاده می‌شود. در این مرحله رزین درون قالب سیلیکون مخصوص ریخته می‌شود تا در دمای محیط پخته شود. هر دو نمونه ورق‌های کامپوزیتی و رزینی پس از گذشت ۳ روز از پخت در محیط، به درون کوره منتقل شده و به مدت ۲ ساعت در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  حرارت دیدند تا استحکام میان آن‌ها افزایش یابد، شکل (۱۰).

<sup>۱</sup> خشک کن رزین





شکل ۷- اختلاط اجزاء رزین و شکل گیری رزین



شکل ۸- مراحل تزریق رزین توسط خلأ



شکل ۹- ریختن رزین در قالب سیلیکون





شکل ۱۰- پخت ورق‌های کامپوزیتی و نمونه‌های رزین خالص در کوره

جدول ۱- ابعاد نمونه‌ها

ابعاد (mm)	نام استاندارد	مشخصه استاندارد
۲۵۰×۱۵×۱	کشش	ASTM D3039
۱۳۰×۱۳×۳	خمش	ASTM D790
۳۰×۳۰×۳	سختی	ASTM D2240
۱۰۰×۲۵×۳	عایق الکتریکی	ASTM D202

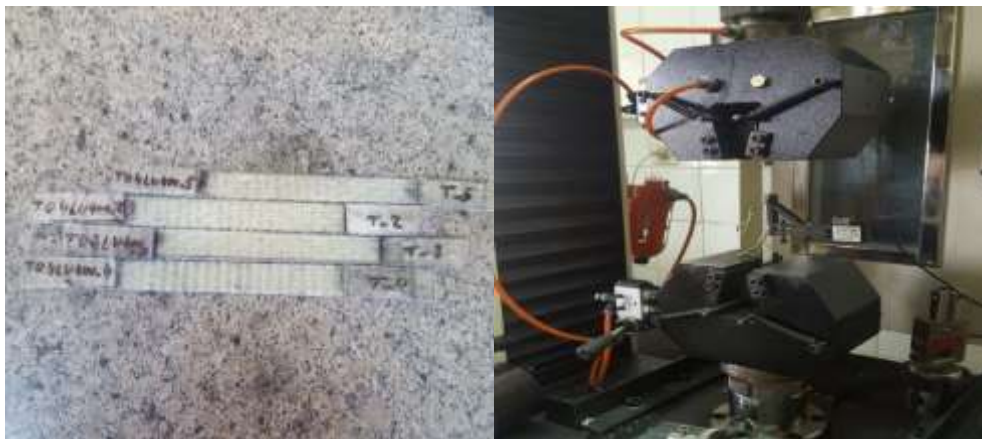


شکل ۱۱- برش ورق‌ها و آماده شدن نمونه‌ها

با توجه به نوع بارگذاری روی اتصال عایق و بر اساس دستورالعمل‌های مورد اشاره در استاندارد بین‌المللی AS1085.12 [۱۲] مربوط به طراحی وصله (Fishplate)، ابعاد نمونه‌های موردنیاز برای آزمایشات کشش، خمش، سختی و عایق الکتریکی، مطابق جدول (۱)، با استفاده از آره گیوتینی برش داده می‌شوند، شکل (۱۱).

### ۲-۳- انجام آزمایشات

آزمون کشش جهت بدست آوردن خواص مکانیکی ورق کامپوزیتی و رزین خالص به ترتیب، مطابق با استاندارد ASTM D3039 و ASTM D638 [۱۳و۱۴] انجام می‌شود. هندسه نمونه‌های آزمون کششی کامپوزیت باید یک مستطیل بلند همراه با زائده‌هایی در قسمت انتهایی و در دو وجه مستطیل می‌باشد. نقش این زائده‌ها کمک به گیرش فک دستگاه و جلوگیری از لغزش است، شکل (۱۲). دستگاه آزمون از شرکت سنتام مدل STM150 می‌باشد، که قابلیت انجام آزمایش‌های متفاوت را دارد و با آن علاوه بر آزمون کشش، آزمایش‌های خمش و فشار نیز انجام می‌شوند. دستگاه قبل از آزمون به شکل استاندارد کالیبره شده است. آزمون خمش منطبق با استاندارد ASTM D790 [۱۵] که مربوط به خمش سه نقطه پلیمرها و کامپوزیت‌ها است، انجام می‌شود. مطابق شکل (۱۳)، با تنظیم کردن فاصله بین تکیه‌گاه‌ها، نمونه را وسط و زیر سنبه قرار می‌دهیم. سنبه را در حدی که مماس بر سطح بالایی نمونه باشد، پایین می‌آوریم. سپس با نرخ کرنش استاندارد و جابجایی اعمال شده، آزمون انجام می‌شود. مطابق با استاندارد، اعمال بار را تا جایی ادامه می‌دهیم که لایه زیرین نمونه وامانده شود. سپس نتایج و نمودار نیرو جابجایی ثبت می‌شود.



شکل ۱۲- نمونه‌ها و آزمون کشش



شکل ۱۳- نمونه‌ها و آزمون خمش سه نقطه

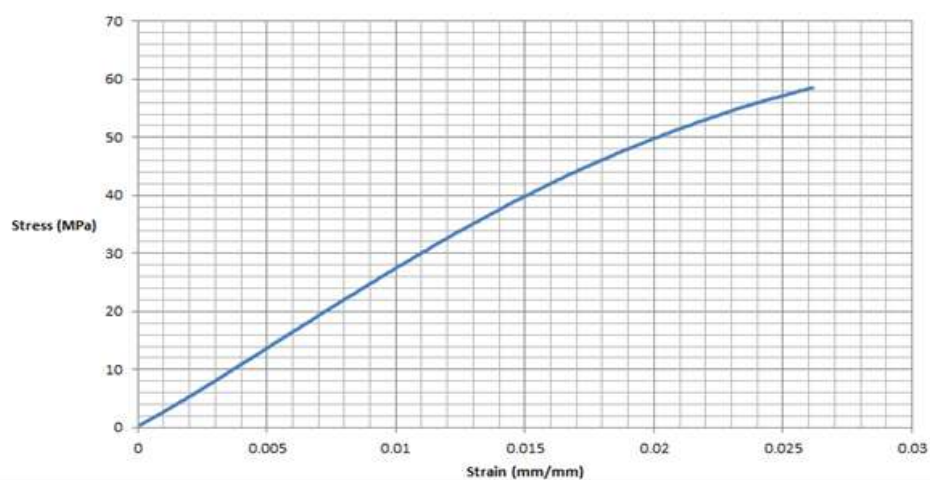


شکل ۱۴- آزمون Shore D سمت راست و آزمون Rockwell سمت چپ

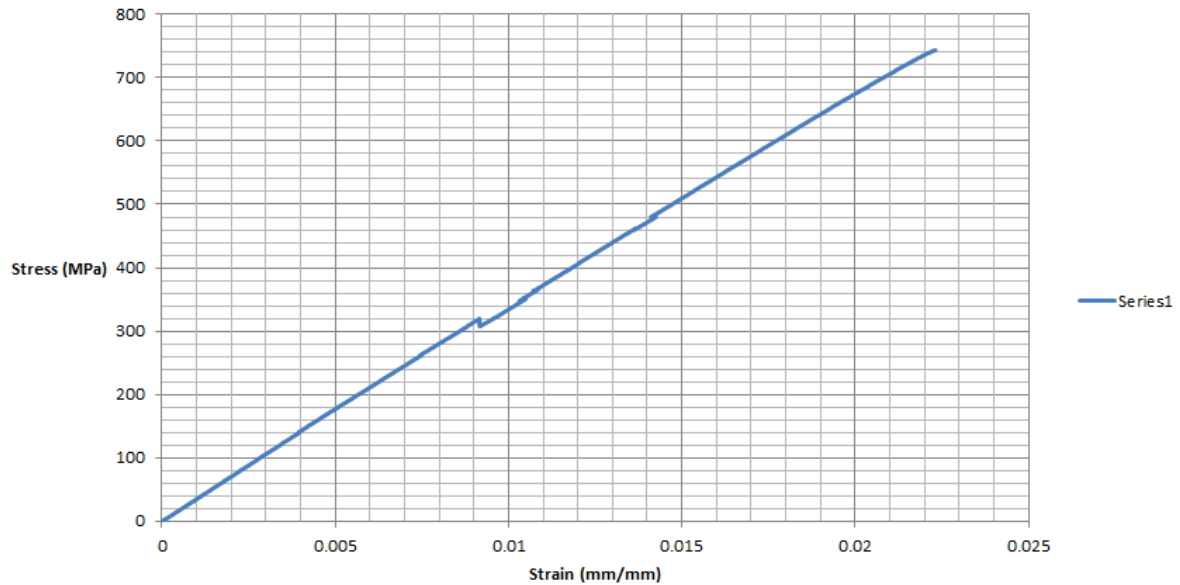
آزمون‌های اندازه‌گیری سختی Shore D و Rockwell به ترتیب بر مبنای استاندارد ASTM D2240 و ASTM D785 انجام می‌شوند [۱۶ و ۱۷]. با استفاده از دستگاه‌های مخصوص، میزان سختی Shore D و Rockwell نمونه‌ها در نقاط مختلف اندازه‌گیری می‌شوند، شکل (۱۴).

### ۳- نتایج

بر اساس نمودار تنش-کرنش حاصل از آزمایش کشش رزین اپوکسی خالص، مطابق با استاندارد ASTM D638 [۱۴]، مدول کششی، استحکام کششی و کرنش کششی به ترتیب 3.5GPa، 58.9MPa و 1.9% می‌باشند، نمودار (۱). نتایج حاصل از آزمایش کشش نمونه‌های کامپوزیتی مطابق استاندارد ASTM D3039 [۱۳]، به صورت نمودار تنش-کرنش در نمودار (۲) نشان داده شده است. میزان مدول کششی، استحکام کششی و کرنش کششی به ترتیب 35.4GPa، 743.46MPa و 2.2% می‌باشند. همچنین در شکل (۱۵) نمونه‌های وامانده بعد از آزمایش قابل مشاهده است.



نمودار ۱- تنش-کرنش رزین اپوکسی خالص



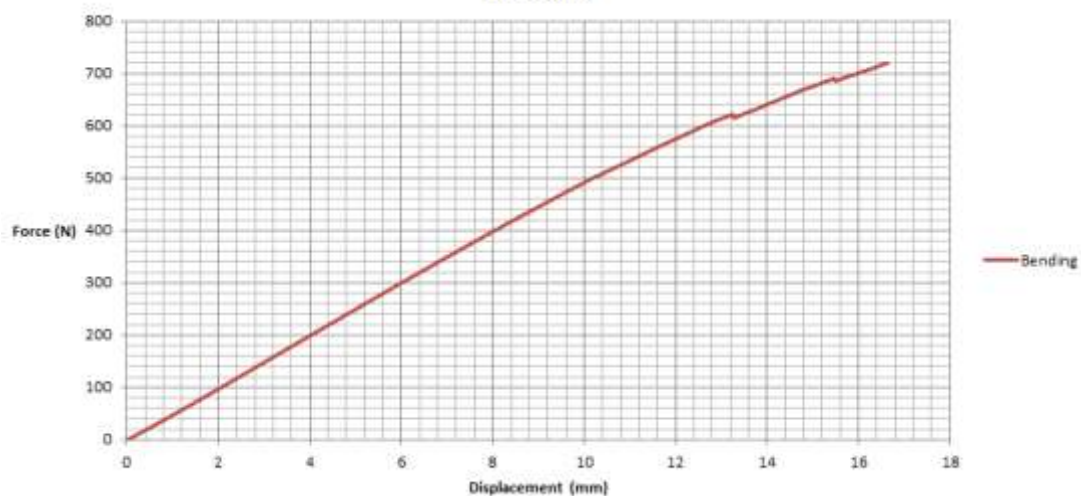
نمودار ۲- تنش- کرنش آزمون کشش کامپوزیت



شکل ۱۵- نمونه کامپوزیتی بعد از آزمون کشش

نمودار نیرو- جابجایی مربوط به آزمایش خمش سه نقطه نمونه کامپوزیتی، مطابق با استاندارد ASTM D790 [۱۵]، در نمودار (۳) نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات استخراج شده از نمودار میزان بیشترین نیرو و جابجایی به ترتیب 719.8 N و 16.6 mm می‌باشد. همچنین با استفاده از روابط موجود در استاندارد، مدول خمشی، استحکام خمشی و کرنش خمشی به ترتیب 30.7 GPa، 835.8 MPa و 2.7% می‌باشند. در شکل (۱۶) نمونه‌های وامانده بعد از آزمایش نمایش داده شده‌اند.

### Bending



نمودار ۳- نیرو - جابجایی آزمون خمش کامپوزیت



شکل ۱۶- نمونه‌های آزمون خمش

جدول ۲- مقایسه خواص مکانیکی ماده کامپوزیتی با نمونه خارجی و استاندارد ملی راه آهن

مقاومت الکتریکی	سختی Shore D	استحکام کششی	سختی Brinell	استحکام خمشی	نمونه
۲۶۰ Kohm	۸۳/۲	۶۶۵/۳۵MPa	۱۶۵	۷۸۶/۷MPa	نمونه آزمایش شده
۱ Kohm	-	-	-	۷۰۰ Mpa	نمونه خارجی
-	-	۴۵۰-۵۷۰	۱۲۰	-	استاندارد ملی

میزان سختی راکول و Shore D نمونه کامپوزیتی، مطابق با استانداردهای ASTM D2240 [۱۶] و ASTM D785 [۱۷] به ترتیب 85.9 و 83.2 بدست آمده است. جهت مقایسه و ارزیابی سختی کامپوزیت، سختی Brinell معادل Rockwell، حدود 165 بدست می‌آید.

#### ۴- نتیجه‌گیری

پس از تحلیل نتایج کلیه‌ی آزمون‌ها، با مقایسه ماده کامپوزیتی طراحی شده با نمونه خارجی شرکت Stekloplastic و همچنین مقادیر توصیه شده توسط استاندارد ملی صنعت راه آهن، در می‌یابیم که ماده کامپوزیتی آزمایش شده دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به نمونه‌های فلزی داخلی و همچنین مشابه خارجی می‌باشد. استحکام خمشی نمونه کامپوزیتی خارجی مربوط به شرکت اوکراینی Stekloplastic، 700MPa گزارش شده است؛ در حالی که نمونه کامپوزیتی طراحی شده تحت آزمایش‌های استاندارد، دارای استحکام خمشی 835.8MPa می‌باشد. همچنین استحکام کششی نمونه کامپوزیتی ساخته شده 743.46MPa است که بیشتر از استحکام کششی مواد فلزی سنتی با مشخصه St53 با مقدار 500MPa می‌باشد. سختی برینل نمونه ساخته شده 165 است که بیشتر از مقدار 120 مرتبط با وصله فلزی رایج است، جدول (۲). همچنین برای تولید انبوه این ماده کامپوزیتی، دو روش RTM<sup>۱</sup> و Pultrusion پیشنهاد می‌شود. استفاده از روش RTM، باعث استحکام بالاتر در نواحی سوراخ‌های وصله عایق می‌شود و مزایایی نظیر امکان ساخت قالب‌ها و قطعات با تلورانس ابعادی دقیق، کیفیت مناسب دو سطح قطعه، امکان چینش الیاف با زوایای دلخواه، امکان تعبیه الحاقات فلزی و غیره درون قالب، پایین بودن نسبی قیمت تجهیزات، پایین بودن فشار تزریق، کاهش انتشار مواد فرار، کاهش اتلاف مواد، قابلیت ساخت قطعات پیچیده و توخالی، امکان

<sup>۱</sup>Resin Transfer Molding



اتوماسیون و بالابردن سرعت تولید، کاهش حباب در قطعه و امکان ساخت قطعات با ضخامت یک دهم تا نود میلی‌متر را داراست. روش pultrusion در سویی دیگر باعث استحکام خمشی بالاتر می‌گردد. از مزایای این روش که یکی از با صرفه‌ترین روش‌های تولید کامپوزیت به حساب می‌آید، دارا بودن درصد الیاف به مراتب بیشتر می‌باشد و با توجه به چیدمان طولی الیاف، محصول دارای استحکام کششی و فشاری بسیار زیادی می‌باشد. از مزایای روش پالترژن می‌توان به تولید بالا، کنترل آسان مشخصه‌های فرآیند، کیفیت عالی سطوح محصولات، دقیق بودن ابعاد و توزیع یکنواخت و حجم زیاد الیاف در کامپوزیت اشاره کرد. امکان اعمال سوراخ در قالب‌سازی با این روش وجود ندارد و باید بعد از ساخت قطعه، آن را از طریق عملیات ماشینکاری سوراخ کرد، که باعث کاهش استحکام در نواحی سوراخ‌ها می‌شود. همچنین از یک قالب با مقطع خروجی ثابت در این روش استفاده می‌شود و امکان تولید قطعاتی با مقاطع متفاوت وجود ندارد. پایین بودن مقاومت برشی محصولات تولیدی، از دیگر نقاط ضعف این روش محسوب می‌شوند. همچنین این محصولات در مقابل سوراخ‌کاری ضعیف می‌باشند. بنابراین به طور کلی روش RTM نسبت به Pultrusion ارجحیت دارد. در پایان در خصوص هزینه تولید نمونه‌های کامپوزیتی اتصال عایق ریل، با تخمینی حدودی و با توجه به عدم تولید این قطعات در کشور، قابل ذکر است که هزینه تولید آن‌ها نسبت به نمونه‌های مشابه اروپایی در حدود ۴۰ درصد کمتر می‌باشد؛ که علاوه بر ایجاد ارزش افزوده مناسب و رونق صنعت، موجب کاهش هزینه سرمایه‌گذاری می‌شود.

## مراجع

- [1] Kerr, A. D., and Cox, J. E., "Analysis and Tests of Bonded Insulated Rail Joints Subjected to Vertical Wheel Loads", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 41, No. 10, pp. 1253-1272, (1999).
- [2] Plaut, R. H., Lohse-Busch, H., Eckstein, A., Lambrecht, S., and Dillard, D. A., "Analysis of Tapered, Adhesively Bonded, Insulated Rail Joints", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 221, No. 2, pp. 195-204, (2007).
- [3] Rathod, C., Wexler, D, Chandra, T, and Li, H., "Microstructural Characterisation of Railhead Damage in Insulated Rail Joints", Materials Science, Vol. 706-709, pp. 2937-2942, (2012).
- [4] Iranmanesh, R.L.W., Amir, H., and Ahmadian, M., "Insulated Railroad Joint Design Evaluation by Coordinated Test and Finite Element Analysis", Proceedings of the ASME 2013 Rail Transportation Division Fall Technical Conference RTDF, October 15-17, Altoona, Pennsylvania, USA (2013).
- [5] Michael, E., D.Y.J., Carolan, and A Benjamin Perlman, "Engineering Studies on Joint Bar Integrity, Part II: Finite Element Analyses", Proceedings of the 2014 Joint Rail Conference JRC, April 2-4, Colorado Springs, CO, USA (2014).



- [6] Elshukri, F.A., "An Experimental Investigation and Improvement of Insulated Rail Joints (IRJs) End Post Performance", Sheffield, Vol. 38, No. 1, pp. 121-126, (2016).
- [7] El-sayed, H.M., Lotfy, M., El-din Zohny, H.N., and Riad, H.S., "A Three Dimensional Finite Element Analysis of Insulated Rail Joints Deterioration", Engineering Failure Analysis, Science and Transport Progress, Vol. 91, pp. 60-76, (2018).
- [8] Németh A., Major, Z., and Fischer, S.Z., "FEM Modelling Possibilities of Glued Insulated Rail Joints for CWR Tracks", Acta Technica Jaurinesis, Vol. 13, No. 1, pp. 42-84, (2020).
- [9] Peltier, D. C., "Measuring and Evaluating Progressive Epoxy Debonding in Bonded Insulated Rail Joints", Doctoral Dissertation, Thesis Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign. (2008).
- [10] Peltier, D., Barkan, C. P., Downing, S., and Socie, D., "Measuring Degradation of Bonded Insulated Rail Joints", Proceedings of University of Illinois Urbana, Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2117, pp. 85-92, (2004).
- [11] Plaut, R. H., Lohse-Busch, H., Eckstein, A., Lambrecht, S., and Dillard, D. A., "Analysis of Tapered, Adhesively Bonded, Insulated Rail Joints", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 221, No. 2, pp. 195-204, (2007).
- [12] "Railway Track Material, Insulated Joint Assemblies", Standard Australian, AS 1085.12. (2013).
- [13] ASTM, D., "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", ASTM, D3039, (2005).
- [14] ASTM, D., "Standard Test Method Tensile Properties of Plastics", ASTM, D638, (2005).
- [15] ASTM, I., "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", ASTM D790-07, (2007).
- [16] ASTM, D., "Standard Test Method for Rubber Property", International ASTM, D2240, (2016).
- [17] ASTM, D., "Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials", ASTM, D785, (2015).

**Abstract**

Insulated rail joints are one of the most important components of the railroad and their failure, deals a massive financial loss for our country. Usually, these joints are bearing different dynamic and quasi-static loads such as tensile load and bending moment. In this research, design and construction of insulated rail joints from composite material was examined. The composite epoxy/glass fiber was chosen for insulated rail joints based on the failures accrued for conventional joints. To evaluate the mechanical properties of composite samples, the tension, 3 point bending and hardness experiments were carried out based on ASTM standards. The results showed that the improvement of mechanical and flexural strength of composite joints in comparison with conventional joints. In addition, the estimated cost of composite sample was decreased by 40 percent to European companies.