

# بررسی تحلیلی فناوریهای کامپوزیت در زمینه تعمیرات و تقویت مکانیکی لوله و سازه های فلزی صنایع نفت ، گاز و پتروشیمی

حسین غلام زاده<sup>۱</sup>، کامبیز عالمپور<sup>۲</sup>

۱- شیراز - فرهنگشهر - دفتر مرکزی - کارخانه شرکت پیشتاز صنعت پارس خرم

۲- شیراز - فرهنگشهر - دفتر مرکزی - کارخانه شرکت پیشتاز صنعت پارس خرم

alempour@yahoo.com

## چکیده

کاربرد گسترده انواع کامپوزیت و استفاده از فایبرگلاس در تعمیرات و نگهداری صنایع نفت و گاز به یکی از مهمترین بخشهای این صنعت تبدیل شده است. خواص بالای مکانیکی و مقاومت در برابر خوردگی و سایش و عمر بالا از مهمترین دلایل بکارگیری کامپوزیت در بخشهای تعمیراتی صنایع نفت و گاز و پتروشیمی می باشند. تاکنون روشهای مختلفی در زمینه تعمیرات صنعت نفت و گاز پیشنهاد گردیده و این روشها به جهات مختلف دارای مزایا و معایب خاص خود می باشند. در این مقاله استفاده از فناوری های مختلف کامپوزیت ( شامل روشهای پخت لایه در کارخانه ، روش لایه گذاری در محل تعمیر و روش پیش آغشته ) در زمینه تعمیرات و تقویت مکانیکی لوله و سازه های فلزی صنایع نفت و پتروشیمی مورد بررسی و تحلیل قرار میگیرد و این روشهای تعمیراتی از جنبه های مختلف مورد ارزیابی مهندسی قرار میگیرند. هر یک از این روشها دارای مزایا و ویژگیهای ساختاری و اجرایی خاص خود می باشند و بر این اساس لازم است تا در خصوص تعمیرات لوله ها و تجهیزات صنایع نفتی تحلیل منطقی از این روشهای تعمیراتی صورت پذیرد. نتایج این مقاله در خصوص بکارگیری روشهای تعمیراتی کامپوزیتی از ویژگیهای خاص خود برخوردار می باشد. این تحقیق به جهت اهمیت در خصوص روشهای تعمیراتی کامپوزیت و مقایسه آنها در صنایع نفت و گاز حائز اهمیت می باشد.

واژه های کلیدی: تعمیرات کامپوزیت ، صنایع نفت و گاز ، روشهای تعمیراتی سریع ، پوشش های کامپوزیتی composite Wrap

## مقدمه

استفاده از کامپوزیت در زمینه تعمیرات لوله و بخشهای فرسوده نفت و گاز امری متداول و رایج در این صنایع می باشد. در کشور ما نیز به دلیل عمر بالای خطوط لوله و خصوصا شرایط نامناسب خوردگی و محدودیتهای اقلیمی ( خصوصا در منطقه نوار شمالی خلیج فارس) استفاده از فناوری کامپوزیت در بخشهایی از این صنایع مورد استفاده قرار گرفته و گزارشات سالیانه نشان دهنده افزایش روند رو به رشد این فناوری تعمیراتی در ساختار خطوط لوله نفت و گاز کشور می باشد [۱]. امروزه با توجه به حجم بالای فعالیت های نفت، گاز و پتروشیمی در جهان و نیاز شدید به تعمیرات خطوط لوله انتقال با در نظر گرفتن اهمیت های اقتصادی محصولات مذکور، تعمیرات خطوط لوله انتقال نفت و گاز یکی از دغدغه های صنایع بزرگ و شرکت های بین المللی نفتی در جهان است [۲].

۱- کارشناس ارشد کنترل - مدیرعامل و رییس هیات مدیره شرکت پیشتاز صنعت پارس خرم ۰۹۱۲۰۱۹۷۵۴۰

۲- کارشناس ارشد مکانیک - مدیر تحقیق و توسعه شرکت پیشتاز صنعت پارس خرم ۰۹۱۷۲۵۷۵۴۹۷

اولین روش ها در تعمیر خطوط لوله انتقال نفت و گاز، روش های مکانیکی و سنتی قدیمی مانند جایگزینی خطوط لوله (Pipeline Replacement) و بعدها روش جوشکاری آستین های فلزی (Welding metal Steel) نیز بدلیل هزینه های بالا و عملیات نصب بسیار مشکل، در کنار خطرات جانی و مالی ناشی از انفجار در حین تعمیرات، از ریسک بسیار بالایی برخوردار هستند. لازم به ذکر است صنعت انتقال نفت کشور، در شبکه ای به گستردگی ۱۴ هزار کیلومتر با پشتیبانی عملیاتی پیشرفته ترین شبکه مخابرات صنعتی منطقه، به عنوان یکی از بزرگترین مجموعه های انتقال مواد نفتی ضامن تداوم جریان انرژی و انتقال کلان، پایدار و ایمن نفت خام و فرآورده های نفتی است (شکل ۱). جایجایی ۱۲۳ میلیارد لیتر مواد نفتی در سال، تأمین خوراک ۷ پالایشگاه داخلی و چندین واحد پتروشیمی، سوخت رسانی به چندین نیروگاه و انتقال روزانه ۴۰۰ میلیون لیتر فرآورده نفتی از مهمترین ویژگی های این شبکه بزرگ خطوط لوله کشور می باشند. [۳]. از عمده ترین دلایل تخریب خطوط لوله میتوان به شکست در اثر ترک خوردگی تنشی، ترک خوردگی ناشی از القای هیدروژن، خستگی خوردگی و غیره اشاره کرد. راهکارهای مختلفی برای جلوگیری از شکست خطوط لوله اتخاذ شده است اما در اکثر مواقع این روش ها به اندازه کافی موثر نیستند. خوردگی یکی از مشکلات عمده در صنعت نفت می باشد که هزینه های فراوانی صرف این مقوله می شود و باید به منظور بستر سازی لازم در جهت توسعه این بخش تمام سعی و تلاش را انجام داد.

فناوری کامپوزیت و قابلیت های کاربردی آن

گر چه در سالهای اخیر کاربرد اصلی لوله های GRP در انتقال آب بین شهرها و جمع آوری فاضلاب شهری بوده است اما با نگرش مثبت کارشناسان صنعتی کشور جهت انتقال سیالات در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و صنایع شیمیایی جایگاه قابل مناسبی پیدا نموده اند. مزیت مناسب لوله های رزین اپوکسی و ونیل، تحمل در مقابل دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد و فشارهای کاری بیشتر از ۴۰ اتمسفر است که عمدتاً در صنعت نفت بکار می رود. البته این مزیت با استفاده از لوله های GRE (Glass Reinforced Epoxy Pipe) که از رزین اپوکسی به جای رزین پلیاستر استفاده می شود بدست می آید. در این صورت این لوله ها می توانند فشارهای بسیار بالا را نیز تحمل نمایند. لوله های کامپوزیت در موارد مختلف در صنعت نفت و گاز به کار می روند:

- عملیات های بالادستی (لوله های نفتی (OTCG))

- عملیات های میانی (انتقال و توزیع سیالات مانند نفت، گاز، بخار، اسیدها، دوغابها)

- عملیات های پایین دستی (لوله های فرایندی برای تصفیه نفت و گاز در محصولات مشتق شده)

- کاربردهای لوله های خط انتقال آب شور و آب در زمینه تأسیسات

- کاربرد در زمینه پشتیبانی خطوط اصلی و تزریق مواد و سیالات مورد نیاز خطوط

رزین های اپوکسی که امروزه کارایی بسیار بالایی در تقویت، ترمیم و مقاوم سازی انواع سازه ها به خصوص در تولید محصولات کامپوزیتی متشکل از دو جزء رزین اپوکسی و سخت شونده ی هاردنر می باشند. این مواد که در ساخت قالب های مستحکم نیز استفاده می شوند، با خاصیت چسبندگی بسیار خوب به بسترهای مختلف، مقاومت شیمیایی بالا (به ویژه در محیط های شدید اسیدی و قلیایی) و استحکام کششی، فشاری و خمشی مطلوب استفاده گسترده ای در صنعت ساخت و ساز دارند. همچنین از رزین در تولید انواع قطعات الکتریکی به دلیل عایق بودن و در صنعت هوافضا و هواپیما سازی و خودروسازی برای اتصالات داخلی و خارجی نیز استفاده می شود. اما با این وجود بیشترین کاربرد رزین اپوکسی را می توان در ساخت کامپوزیت های FRP مشاهده نمود.

### بررسی روشهای تعمیراتی و بکارگیری فناوری کامپوزیت در تعمیر لوله ها

به جهت اقدامات مرتبط با تعمیرات لوله های فلزی سه روش تعمیراتی بررسی استفاده از فناوری کامپوزیت در زمینه تعمیرات و تقویت مکانیکی لوله و سازه های فلزی صنایع نفت و پتروشیمی پیشنهاد گردیده است. روش های اولیه در تعمیر خطوط لوله انتقال نفت و گاز، روش های مکانیکی و سنتی قدیمی مانند جایگزینی خطوط لوله (Pipeline Replacement) و بعدها روش

جوشکاری آستین های فلزی (Welding metal Steel) بوده که بدلیل هزینه های بالا و عملیات نصب بسیار مشکل، در کنار خطرات جانی و مالی ناشی از انفجار در حین تعمیرات، از ریسک بسیار بالایی برخوردار هستند. از اینرو تعمیر خطوط لوله با استفاده از فناوری پوششهای کامپوزیتی (Pipeline Repair Composite wrap) جایگزین روش های مکانیکی و سنتی شده است. در حال حاضر سه روش مرسوم تعمیراتی در زمینه ترمیم موضعی لوله های فلزی ارائه گردیده است. این سه روش در بخشهای مختلف کاربردی بوده و هر یک از آنها دارای جایگاه و توجیه مهندسی در ساختار تعمیراتی لوله ها می باشند. این سه روش به صورت کلی عبارتند از:

- روش استفاده از قطعات کامپوزیتی آماده
- روش پخت و لایه گذاری در محل تعمیر لوله ها
- روش پیش آغشته ( روش میانی)

در روش تعمیراتی استفاده از قطعات کامپوزیتی آماده، کلیه قطعات به صورت کامل از محل تولید به خط لوله یا سازه مورد نظر منتقل میشوند و صرفا عملیات نصب آنها بر روی لوله ها صورت می پذیرد (شکل ۲). این فناوری ها که با استفاده از پوشش های کامپوزیتی صورت می پذیرد، بدلیل آنکه نیاز به از سرویس خارج نمودن خط لوله ندارد با استقبال بسیار زیادی در صنایع نفت و گاز همراه بوده است. این روش تعمیراتی در خصوص خطوط لوله و سازه های یونیک (Unic Structure) که دارای تغییرات ابعادی زیادی در ساختار و ابعاد نمی باشیم، از سرعت و دقت بالایی برخوردار می باشد. اما در خصوص تعمیرات لوله های با سایز متغیر و احجام با ابعاد متغیر علاوه بر بالا بردن ریسک نصب در زمان نصب نیز با مشکلات جدی مواجه خواهیم شد. روش لایه گذاری دستی از روشهای معمول و زمانبر در تعمیر لوله و سازه های فلزی می باشد که به صورت معمول و مرسوم به شکل گسترده در بخشهای مختلف صنعتی مورد استفاده می باشد (شکل ۳). این روش به علت عدم استفاده از فناوری های جدید زمانبر بوده و در بسیاری از موارد با اتلاف قابل توجه مواد و ضایعات زیاد همراه می باشد. در این زمینه بسیاری از شرکتهای معتبر روشهای مرسوم تعمیرات لایه گذاری دستی را بهبود بخشیده و دستورالعمل های خاص خود را ارائه نموده اند [۴]. در فرآیند پیش آغشته که با دستگاه هایی با طراحی ویژه صورت می گیرد، الیاف تقویت کننده با رزین آغشته می شود (شکل ۴). شرکت clock spring یکی از پیشگامان تولید کامپوزیتهای تعمیراتی با فناوری پیش آغشته در دنیا می باشد [۵]. ولی با اعمال شرایط پخت مشخصی، رزین به میزان جزئی پخت گردیده که تشکیل فرم کامپوزیت پارچه ای غیر فرمی شکل بدلیل عدم پخت کامل رزین، را منجر می شود. جداره کامپوزیتی پیش آغشته تا زمان سرویس دهی خود می تواند در بسته بندی های مشخصی قرار گیرد و در موقع نیاز این جداره کامپوزیتی به راحتی در معرض رطوبت، پخت کامل شده و سخت می شود و جداره کامپوزیتی با خواص مکانیکی همانند جداره های دیگر حاصل خواهد شد. از اینرو تعمیر خطوط لوله با استفاده از جداره های کامپوزیتی که عمدتاً از طریق لایه گذاری دستی در محل لوله ها و یا پخت کامل جداره های کامپوزیتی (fiberglass with pre-impregnated resin) مورد توجه کارشناسان بخشهای فنی و مهندسی صنعت نفت می باشد. در این روش با فرارگیری جداره کامپوزیتی در معرض رطوبت یا نور UV، جداره کامپوزیتی در مدت بسیار کوتاهی پخت می شود و همچنین این روش تنها روش قالبگیری کامپوزیت هاست که توانایی استفاده همزمان در محیط های آبی و خشکی را دارد [۶]. نکته قابل ذکر در این پوشش ها، بهره گیری از فناوری به منظور بهبود خواص فیزیکی، مکانیکی کامپوزیت حاصل با هدف کاهش وزن محصول و کنترل مدت زمان و میزان ژل شدگی پیش آغشته صورت می پذیرد. این روش ها نیز در هنگام نصب جداره مشکلاتی را از قبیل عدم چسبندگی مناسب، کثیفی محل و غیره به همراه دارد. از طرف دیگر بدلیل تنوع آب و هوایی محل عبور خطوط لوله های انتقال نفت و گاز، اهمیت ساخت پوشش های کامپوزیتی با قابلیت های کاربرد همزمان در محیط های مختلف و نصب سریع و آسان آنها را افزایش داده است.

در جدول شماره ۱ کلیه مزایا و معایب هر سه روش اجرایی به تفکیک بیان شده است. باید توجه داشت که علی رغم شرح مختصر هر یک از این روشها نمیتوان به صورت کامل و قطعی در خصوص بهتر بودن هر یک از این روشها اظهار نظر قطعی

نمود . لازم به ذکر است که از میان روشهای مذکور روش لایه گذاری دستی و پخت در محل یکی از کاربردی ترین روشهای تعمیراتی در سطح کشور می باشد .

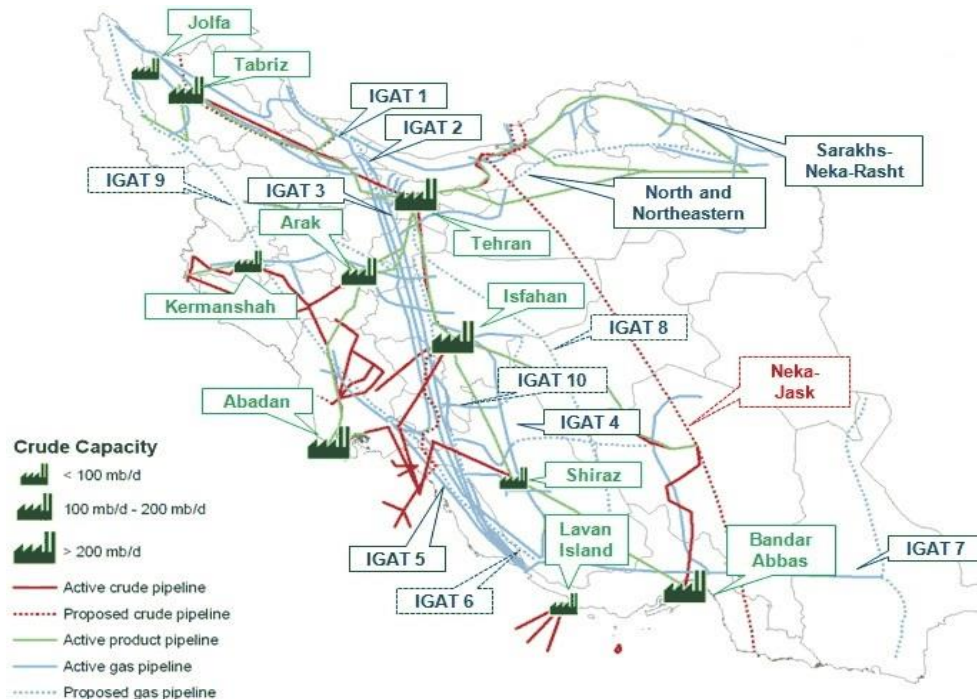
**جدول ۱- مقایسه روشهای تعمیراتی کامپوزیت ( مزایا و معایب )**

معایب	مزایا	روش تعمیراتی
<ul style="list-style-type: none"> <li>- قابلیت انعطاف نصب در سازه های پیچیده</li> <li>- رعایت دقیق اندازه گیری مشخصات</li> <li>- فقدان کارایی در خصوص بخشهای متغییر و ضخامتهای متفاوت</li> <li>- هزینه بالای اندازه گیری دقیق بخشهای تعمیراتی</li> <li>- ریسک بالای اجرا</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- کنترل دقیق و سریع تولید مطابق مشخصات</li> <li>- پرداخت مناسب سطح و لایه ها</li> <li>- لایه گذاری مناسب و دقیق</li> <li>- هزینه تولید بسیار پایین</li> <li>- قابلیت کنترل کلیه مراحل تولید</li> <li>- حذف عوامل الاینده کاهش دهنده خواص مکانیکی</li> <li>- کوتاه بودن فرایند تعمیرات</li> </ul>	روش استفاده از قطعات آماده کامپوزیتی
<ul style="list-style-type: none"> <li>- بالا بودن زمان اجرا و تاخیر به دلیل شرایط بد آب و هوایی خصوصا غبار و رطوبت محیطی</li> <li>- کثیف بودن محیط و شرایط بد اجرا و هزینه های ناخواسته تحمیلی</li> <li>- عدم دقت کارگران محلی به نسبت دقیق رزین و الیاف</li> <li>- فقدان شیوه های کنترل کیفیت مناسب</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ریسک پایین در خصوص اجرای لایه گذاری</li> <li>- قابلیت اجرا بر روی تمامی سازه ها و لوله ها</li> <li>- امکان تعیین و تغییر مقدار و طول پوشش کامپوزیتی در محل</li> <li>- امکان تعمیر لوله هایی با اشکال غیر منتظم، لوله های تی شکل ، اتصالات، فلنج ها و شیرها</li> <li>- عدم نیازمندی به اندازه گیری های دقیق قبل از اعمال پوشش</li> </ul>	روش لایه گذاری در محل تعمیر
<ul style="list-style-type: none"> <li>- دانش فنی ویژه خصوصا شرایط پخت رزین</li> <li>- نیازمندی به دستگاههای خاص پخت رزین</li> <li>- نیازمندی به شرایط نگهداری ویژه به منظور جلوگیری از پخت شدن زودرس</li> <li>- هزینه بالاتر فناوری به نسبت دو روش دیگر</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- کنترل ضخامت لایه ها</li> <li>- کم کردن هزینه های نصب و بهبود شرایط لایه گذاری</li> <li>- تمیز بودن فرآیند به جهت لایه گذاری دستی</li> <li>- کیفیت بالاتر</li> <li>- انعطاف پذیری بالاتر در مقایسه با روش تولید کامل</li> <li>- در کارخانه نیازمندی</li> </ul>	روش پیش آغشته

### نتیجه گیری:

در این مقاله سه نمونه مختلف از روشهای مرسوم عمیراتی خطوط لوله و سازه های فلزی با استفاده از فناوری کامپوزیت به صورت مختصر ارزیابی گردیدند و مزایا و معایب هریک از این روشها در جدول مقایسه ای ارائه گردید . با توجه به مفاهیم ارائه شده در روشهای تعمیراتی به نظر میرسد که استفاده از روش تعمیراتی استفاده از قطعات آماده کامپوزیتی دارای مزایای بسیار زیادی می باشد اما بزرگترین مشکل این فناوری محدودیت در ساختار تعمیراتی و نحوه به کار گیری آن می باشد و در حقیقت از این فناوری نمی توان در بسیاری از نیازمندیهای تعمیراتی استفاده نمود و این روش تنها در خصوص برخی لوله های کامپوزیتی و ساختارهای سازه ای با شکل ساده و یکنواخت دارای کاربری بیشتری می باشد . در این روش کلیه معایب تعمیر در محل به کمترین میزان ممکن کاهش می یابد . استفاده از روش پیش آغشته و لایه گذاری دستی دارای قابلیتهای بیشتری نسبت به روش تعمیراتی استفاده از قطعات آماده کامپوزیتی می باشند . بر اساس گزارشات کارشناسی لایه گذاری دستی

پرباربردترین حالت تعمیراتی لوله های کامپوزیتی می باشد و بیشترین میزان تعمیرات مخازن و لوله های فلزی با استفاده از این روش انجام میشود. این روش به نسبت روشهای دیگر از قابلیت اجرایی بالایی برخوردار می باشد. تاثیر شرایط محیطی و کاهش نظارت بر فرایند تعمیراتی و عدم دقت در فرآیند اجرا از بزرگترین مشکلات این حالات تعمیراتی می باشد. متأسفانه عدم کنترل شرایط محیطی و خصوصاً بالا بودن میزان رطوبت هوا و گرد و خاک محلی به شدت بر این روش تعمیراتی اثر گذار می باشد. در این روش افزایش میزان ضایعات و خصوصاً استفاده بیش از حد در مواد کامپوزیتی از بزرگترین مشکلات اجرایی این روش می باشد. روش تعمیراتی پیش آغشته از روشهای مدرن و کارآمد در زمینه تعمیرات سازه های فلزی و کامپوزیتی می باشد اگر چه این روش به صورت کامل در بخشهای گسترده ای از صنایع امریکای شمالی و اروپا مورد استفاده می باشد اما در ایران همچنان ناشناخته باقی مانده است. عدم وجود متخصصین کافی و فقدان تجهیزات کامل تعمیراتی از مهمترین چالشهای این روش تعمیراتی می باشد. روش پیش آغشته روشی علمی و مبتنی بر حفظ حداکثری خواص مکانیکی در زمان لایه گذاری بوده و می بایست به صورت گسترده تری در ساختارهای تعمیراتی مورد استفاده قرار بگیرد. ارائه این مقاله در آشنایی کارشناسان با روشهای تعمیراتی موثر بوده و از نتایج این تحقیق می توان در زمینه تعمیرات لوله ها و سازه های کامپوزیتی استفاده نمود.



شکل ۱- نقشه شماتیک خطوط لوله گاز کشور و گستردگی خطوط لوله از خلیج فارس تا مناطق شمالی کشور



شکل ۲- تعمیرات لوله با استفاده از فناوری قطعات تولید شده در کارخانه



شکل ۳- تعمیرات لوله با استفاده از فناوری لایه گذاری دستی



شکل ۴- تعمیرات لوله با استفاده از فناوری پیش آغشته

مراجع :

- ۱- میری علی، احمدی پور زهرا، مستجابی سرهنگی حمید. تحلیل فضایی- امنیتی خطوط انتقال انرژی در ایران (خطوط لوله نفت و گاز). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳۹۳؛
- ۲- ابوالقاسم بشیری، لیلا فاتح‌نژاد - اصول طراحی و بهره‌برداری از خطوط لوله انتقال نفت و گاز- ششمین همایش ملی دانشجویی مهندسی شیمی و پنجمین همایش ملی دانشجویی مهندسی نفت- ۱۳۹۵
- ۳- ستاری‌خواه، علی؛ افتخاری قوشه‌کند، علی‌اکبر- نقش پدافند غیرعامل در ارتقای امنیت خطوط لوله انتقال گاز کشور- مجله پدافند غیر عامل و امنیت - زمستان ۱۳۹۲، سال دوم - شماره ۷ ISC

4-TECHNOBELL user manual / production line CFW 300-2600 Continuous/ Special Issue for Pars khoram Industrial pioneer engineering Co/ repair manual edition 12/ 2010

5-clock spring / technical manual of composite warp repair technolgy/020 ClockSpring|NRI. All Rights Reserved [www.cs-nri.com](http://www.cs-nri.com)

6- Dr Sue Halliwell, NetComposites -Repair of Fibre Reinforced Polymer (FRP) Structures, National Composites Network Best Practice Guide -2017