

دانش فنی پیگ‌های هوشمند در صنعت نفت، مشکلات و راه‌کارها

محسن دادفرنیا

دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشگاه Illinois آمریکا

چکیده

با توجه به حیاتی بودن جریان مداوم نفت در کشور، اهمیت ساخت و تسلط بر تکنولوژی سیستمی که موجب تضمین جریان این مایع حیاتی در کشور گردد بر کسی پوشیده نیست. سیستم عیب‌یاب هوشمند، سیستمی است که با استفاده از جریان نفت در داخل لوله‌ها حرکت کرده و با استفاده از سنسورهای مناسبی که در آن تعبیه شده است، وجود و موقعیت نقاط خوردگی و نقاطی که دارای هندسه متفاوتی نسبت به حالت اولیه می‌باشند و همچنین خم‌های موجود در طول لوله را آشکار می‌کند. استفاده از این سیستم با اعلام موقعیت نقاط معیوب در طول خط و ایجاد امکان ترمیم این قسمت‌ها، نه تنها باعث برقراری جریان نفت مصرفی و صادراتی شده بلکه با پیشگیری از شکست لوله‌های نفت، مانع از هدر رفتن مقدار زیادی نفت و آلودگی محیط‌زیست می‌گردد. همچنین ساخت این سیستم از خروج مقدار زیادی ارز جلوگیری کرده و ضمن بالا رفتن توان تکنولوژیک داخلی، باعث عدم وابستگی کشور در این زمینه می‌گردد.

۱. مقدمه

همانطور که می‌دانید سالانه خسارات جبران ناپذیری به واسطه پدیده خوردگی در تجهیزات صنایع مختلف به وجود می‌آید. از آنجا که تجهیزات نفت و گاز، به خصوص لوله‌های انتقال این مواد، در ارتباط مستقیم با عوامل خوردنده محیطی و داخلی نفت و گاز می‌باشند، لذا برای جلوگیری از بروز خسارات، لازم است تا این سیستم‌ها به نوعی تحت حفاظت و بازرسی قرار گیرند. روش‌های مختلفی نظیر حفاظت کاتدی، آندی و ... برای مبارزه با خوردگی تأسیسات انتقال نفت و گاز به کار گرفته می‌شود، لیکن به هر حال این سیستم‌ها در اثر عدم رسیدگی به موقع و عوامل دیگر متحمل خساراتی شده و به نوعی معیوب می‌شوند که تشخیص به موقع این عیوب و رسیدگی به آنها می‌تواند از خسارات بعدی جلوگیری کند. یکی از کارهایی که برای تشخیص و رسیدگی به این عیوب صورت می‌گیرد استفاده از پیگ و به عبارت دیگر پیگ رانی در خطوط لوله می‌باشد.

برای مقاصد متفاوت، پیگ‌های مختلفی استفاده می‌شوند که بعضی از آنها عبارتند از:

Sphere Pig , Bi- Directional Pig , Batching Pig , Cleaning Pig , Intelligent Pig , ...
پیگ‌های هوشمند که در این مقاله در مورد آنها صحبت می‌کنیم از پیشرفته‌ترین نوع پیگ‌ها به حساب می‌آیند که با استفاده از جریان سیال در داخل لوله‌ها حرکت کرده و با استفاده از سنسورهای مناسبی که در آن تعبیه شده است، وجود و موقعیت نقاط خوردگی را در طول لوله آشکار می‌نمایند، به طوری که با استفاده از اطلاعات خروجی آن بتوان موقعیت نقاط بحرانی را در طول مسیر لوله معین کرد و به رفع مشکلات موجود پرداخت (شکل ۱).



شکل ۱

۲. اهمیت دستیابی به تکنولوژی ساخت پیگ‌های هوشمند

همان‌طور که می‌دانید ایران دارای ذخایر عظیم نفت و گاز جهان بوده که نقش تعیین‌کننده‌ای در اقتصاد کشور ما دارد. همچنین به دلیل حجم گسترده خطوط انتقال نفت و گاز در کشور، کار و تحقیق در زمینه‌ای که باعث حفظ و نگهداری خطوط انتقال شده و موجب تضمین جریان مداوم نفت و گاز در کشور گردد اهمیت غیر قابل انکاری خواهد داشت. دستیابی به تکنولوژی ساخت پیگ‌های هوشمند دارای مزایای بسیار دیگری می‌باشد که در ذیل به چند نمونه از آنها اشاره می‌کنیم:

۱- با توجه به آمارهای اعلام شده از سوی شرکت پشتیبانی ساخت و تهیه کالای نفت تهران، از مجموع ۷۰ هزار کیلومتر طول لوله‌های نفت و گاز در ایران (با احتساب طرح‌های در دست اجرا) سالانه حدود ۱۰ هزار کیلومتر پیگ رانی می‌گردد که با توجه به قطر و طول خطوط لوله، هزینه‌ای بالغ بر ۲۰ تا ۶۰ میلیون دلار مورد نیاز می‌باشد که با دستیابی به تکنولوژی ساخت پیگ‌های هوشمند در داخل کشور، از خروج مقدار زیادی ارز جلوگیری می‌گردد.

۲- با کمک این سیستم می‌توان موقعیت نقاط معیوب را در طول لوله مشخص کرد و با ترمیم این نقاط باعث برقرار ماندن جریان نفت مصرفی و صادراتی گردید.

۳- اعلام دقیق موقعیت نقاط معیوب، باعث تسریع در ترمیم خطوط لوله شده و در هزینه‌های مربوط به ترمیم خطوط لوله صرفه‌جویی می‌گردد.

۴- با استفاده از پیگ هوشمند می‌توان موقعیت نقاط معیوب را شناسایی کرد و با اعلام موقعیت این نقاط و ترمیم آنها، از شکسته شدن خطوط لوله و هدر رفتن مقدار زیادی نفت جلوگیری کرد.

۵- با اعلام موقعیت نقاط معیوب و انجام اقدامات پیشگیرانه بعدی، از آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از شکستن لوله‌ها و نشت نفت و گاز جلوگیری به عمل خواهد آمد.

۶- دستیابی به تکنولوژی ساخت و سرویس دهی پیگ‌های هوشمند و آرایه سرویس‌های مربوط به آن، باعث بالا رفتن توان تکنولوژیک داخلی شده و همچنین عدم وابستگی کشور به این فن‌آوری را موجب می‌شود.

۷- با توجه به نفت خیز بودن ایران و کشورهای همسایه به ویژه کشورهای حاشیه خلیج فارس، دستیابی به این تکنولوژی نه تنها باعث خودکفایی داخلی در این بخش می‌شود بلکه امکان حضور توان داخلی در دیگر بازارها را نیز فراهم می‌آورد.

۳. روش‌های مختلف کشف خوردگی در لوله‌های نفت

برای کشف خوردگی در لوله‌های نفت روشهای مختلفی وجود دارد که به تعدادی از آنها اشاره می‌کنیم:

۱- روش مغناطیسی:

در این روش برای کشف خوردگی در لوله از شار نشتی مغناطیسی استفاده می‌شود، به این ترتیب که ابتدا به کمک آهن‌رباهای قوی دیواره لوله را تا حد اشباع مغناطیس کرده و چون در نواحی خوردگی مقداری شار نشتی داریم با تشخیص این شارهای نشتی (استفاده از سنسورهای مناسب) به وجود خوردگی در لوله‌های نفت پی می‌بریم.

۲- روش جریان گردابی:

در این روش از بارگذاری یک سیم‌پیچ حامل جریان RF برای کشف فاصله دیواره تا سنسور استفاده می‌شود که جریان گردابی ایجاد شده در بدنه لوله به عنوان یک بار نسبت به سیم‌پیچ حامل جریان عمل می‌کند.

۳- روش اولتراسوند:

روش اولتراسوند یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای کشف خوردگی در لوله‌های نفت و گاز می‌باشد. در این روش، مبدل اولتراسوند با یک پالس الکتریکی تحریک شده و ضربه‌ای مکانیکی را به محیط سیال ارسال می‌نماید. این پالس بعد از برخورد با دیواره داخلی لوله منعکس شده، بخشی از آن به سمت مبدل برگشته و با تأخیر t_1 نسبت به زمان تحریک به مبدل می‌رسد و بخش دیگر وارد لوله شده و پس از برخورد با دیواره خارجی لوله منعکس شده و با تأخیر t_2 وارد مبدل می‌شود. در صورت خوردگی داخلی، زمان t_1 افزایش داشته و در صورتی که خوردگی خارجی باشد زمان t_1 ثابت بوده و زمان t_2 کاهش خواهد یافت. بنابراین با توجه به تغییر زمان‌های t_1 و t_2 در طول مسیر می‌توان به عمق خوردگی داخلی و خارجی و به عبارت دیگر به ضخامت دیواره لوله پی برد.

۴. طرز کار پیگ هوشمند اولتراسونیک

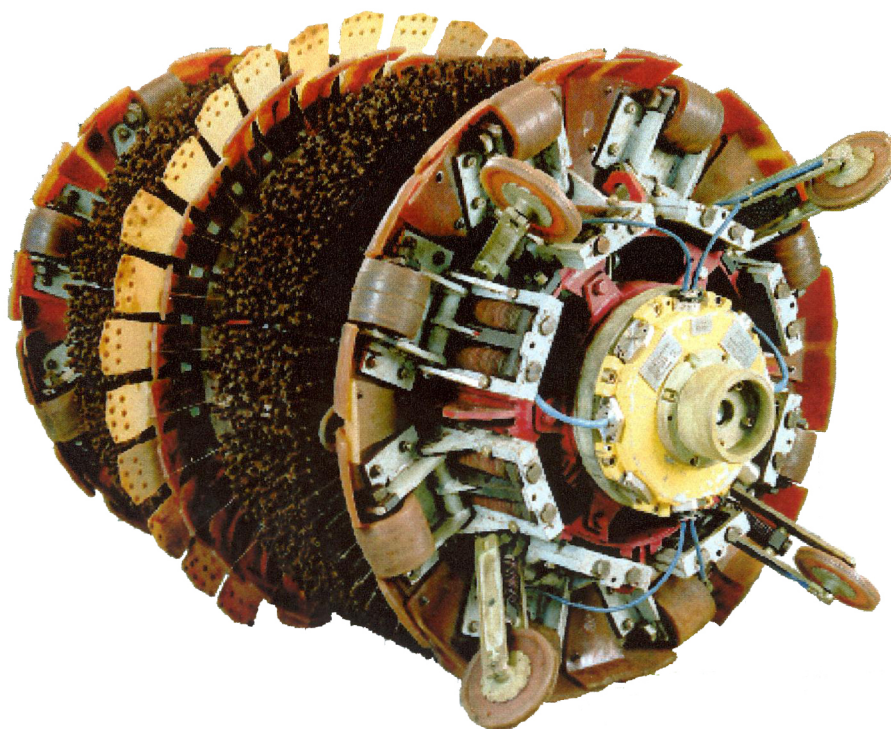
پیگ در داخل لوله با کمک فشار سیال حرکت کرده و لوله را طی می‌کند. با استفاده از سیستم اندازه‌گیری فاصله (odometer) و به کمک قسمت‌های الکترونیکی سیستم، هر چند سانتی‌متر پالسی تولید می‌شود که طی شدن فاصله فوق توسط سیستم را اعلام می‌نماید. هنگامی که سیستم پالس‌های فوق را دریافت کرد، با استفاده از سنسورهای اولتراسوند به اندازه‌گیری قطر لوله در جهات مختلف می‌پردازد. اگر قطر لوله در همه جهات مساوی بود، لوله از نظر فرورفتگی و بیضوی شدن سالم و در

غیر این صورت ناسالم تلقی می‌شود. موقعیت نقاط ناسالم و جزئیات اندازه‌گیری‌های انجام شده، در حافظه داخلی سیستم ضبط می‌شوند. سیستم ادومتر دارای خطای لغزشی معینی است که در فواصل کوتاه قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد، ولی در فواصل طولانی خطای ادومتر هر چقدر هم که کوچک باشد در تعیین موقعیت اعلام شده برای نقطه معیوب می‌تواند خطای قابل ملاحظه‌ای را موجب شود که برای رهایی از این معضل و بالا بردن دقت تعیین موقعیت نقاط معیوب و آسان کردن مساله تشخیص موقعیت این نقاط از روی زمین، موقعیت نقاط جوش و موقعیت نقاط marker نیز در حافظه داخلی ضبط می‌گردند. برای کشف نقاط جوش و ثبت موقعیت آنها از سنسورهای جریان گردابی استفاده می‌کنیم. مجموعه این سنسورها در عبور از نقاط جوش، پالسی را تولید می‌کنند که موجب کشف نقطه جوش توسط پردازشگر مرکزی و ثبت موقعیت آن می‌شود. ثبت موقعیت نقاط جوش از این جهت دارای اهمیت است که به ما این امکان را می‌دهد تا موقعیت نقاط معیوب را نسبت به موقعیت نقاط جوش بیابیم و چون فاصله نقطه معیوب تا نقطه جوش مجاورش کم می‌باشد، خطای لغزشی ادومتر موجب خطای فاحشی در تعیین موقعیت نقطه معیوب نشده و با کشف نقاط جوش، تعیین نقطه معیوب به سهولت انجام می‌گیرد. برای کم کردن اثر خطای لغزشی ادومتر و سهولت تعیین موقعیت نقاط معیوب از روی زمین، علاوه بر نقاط جوش، موقعیت نقاط خاصی از روی زمین (marker) نیز در حافظه داخلی سیستم ثبت می‌شوند. همچنین در داخل پیگ فرستنده‌ای قرار دارد که در صورت گیر کردن پیگ در داخل لوله، فعال شده و امکان ردیابی آن را از سطح زمین فراهم می‌کند. به علاوه برای کشف خمها و استخراج نقشه مسیر، از سیستم ناوبری اینرسی (INS) استفاده می‌گردد که با استفاده از آن می‌توانیم نقشه موجود خطوط لوله را با نقشه اولیه مقایسه کنیم. در این سیستم دو ژيروسکوپ و سه شتاب‌سنج وجود دارد. شتاب‌سنج‌ها سه مؤلفه شتاب پیگ را در سه جهت عمود بر هم تعیین کرده و با انتگرال‌گیری از این شتاب‌ها سرعت و مسیر طی شده بدست می‌آید. همچنین به کمک ژيروسکوپ‌ها می‌توان چرخش پیگ و در نتیجه چرخش لوله را در فضای اینرسی بدست آورد.

۵. توضیح اجمالی قسمت‌های مختلف پیگ هوشمند

سیستم عیب‌یاب هوشمند دارای بخش‌های مختلفی است که توسط اتصالاتی به هم مرتبط می‌باشند. اتصالات به گونه‌ای هستند که انعطاف لازم برای عبور پیگ از خمهای لوله و چرخش پیگ در دو جهت متعامد را فراهم می‌کنند. در عیب‌یاب هوشمند تعدادی باتری تامین انرژی مورد نیاز سیستم را بر عهده دارند. همچنین سیستم دارای حافظه‌ای می‌باشد که اطلاعات مربوط به موقعیت نقاط معیوب، موقعیت نقاط جوش و اطلاعات دریافتی از مارکرها و ... در این بخش ضبط و نگهداری می‌شوند. در سیستم عیب‌یاب هوشمند، دیسک‌هایی از جنس پلی‌یورتان وجود دارند که وظیفه نگهداری پیگ در لوله و ایجاد نیروی رانش لازم برای جلو بردن پیگ در داخل لوله را بر عهده دارند.

مواد پلی یورتان که در ساخت این دیسک‌ها به کار می‌روند، ضمن انعطاف پذیری بالا، در برابر خوردگی شیمیایی مقاوم بوده و قابلیت تحمل فشارهای بالا را نیز دارا می‌باشند. همچنین تعدادی سنسور اولتراسوند در سیستم وجود دارند که توسط بخشی از جنس پلی یورتان حمل می‌شوند. قسمت حامل این سنسورها به گونه‌ای است که فاصله سنسورها تا دیواره لوله تا حد امکان ثابت باقی بماند. همچنین پردازشگری در سیستم وجود دارد که وظیفه پردازش اطلاعات داخلی را بر عهده دارد. قسمت دیگری به نام ادومتر در عیب‌یاب هوشمند وجود دارد که برای اندازه‌گیری فاصله طی شده در طول حرکت و فاصله بین هر دو نقطه مورد نظر استفاده می‌شود. این وسیله دارای چرخ‌هایی است که به دیواره لوله تکیه داشته و همراه پیگ در روی دیواره به حرکت درمی‌آیند. چرخش این چرخ‌ها موجب تولید پالس‌هایی می‌شود که توسط سیستم پردازشگر شمرده شده و اندازه‌گیری فاصله با توجه به آن انجام می‌شود. به دلیل چرب بودن دیواره لوله، ادومتر دارای مقداری خطای لغزشی می‌باشد که ما را در اندازه‌گیری فاصله دچار مشکل می‌کند. برای رفع این مشکل به جای یک ادومتر از چند ادومتر استفاده می‌شود و همواره خروجی ادومتر سریع‌تر مبنای محاسبات قرار می‌گیرد (شکل ۲).



شکل ۲

در ضمن برای کم کردن خطا، موقعیت نقاط جوش و نقاط مارکر نیز در حافظه داخلی ثبت می‌شوند. ما برای ترمیم و تعویض خطوط انتقال باید به نقاط مختلف خوردگی از بیرون دسترسی داشته باشیم. برای این منظور تعدادی مارکر خارجی در روی خطوط لوله نصب می‌شوند که پالس‌هایی را ارسال می‌نمایند. سیستم عیب‌یاب هوشمند دارای قسمتی است که این پالس‌ها را دریافت کرده و با ثبت آنها موقعیت مارکرها مشخص می‌شود و با دانستن موقعیت نقطه مورد نظر و داشتن نقشه خطوط لوله، تعیین موقعیت نقطه مورد نظر از روی زمین به راحتی صورت می‌گیرد. همچنین این قسمت دارای فرستنده‌ای است که در مواقعی که عیب‌یاب در خطوط لوله گیر می‌کند علائمی را به سطح زمین ارسال نموده و بدین وسیله اپراتور متوجه این موضوع می‌گردد.

۶. وضعیت کنونی کشور

در حال حاضر دانش فنی ساخت و تولید پیگ‌های غیر هوشمند توسط بخش خصوصی بومی شده و کشور در این زمینه دارای توان خوبی می‌باشد، تا آنجا که برخی شرکت‌های معتبر غربی جهت تهیه این اقلام برای پروژه‌های منطقه خاورمیانه خود، از توان داخلی کشورمان کمک می‌گیرند و این حاکی از توان خوب داخلی در این زمینه است، ولی متأسفانه در زمینه پیگ‌های هوشمند موفقیت‌چندانی حاصل نشده است، هر چند که حرکت‌هایی برای نیل به این مهم صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به قرار داد منعقد شده بین دانشگاه صنعتی شریف، موسسه جهاد تحقیقات و مجموعه‌هایی از نفت اشاره کرد. یکی از راه‌های بومی نمودن این تکنولوژی (ساخت و سرویس‌دهی)، حمایت از شرکت‌های پیگ‌ساز داخلی در مناقصات مربوطه می‌باشد، ولی متأسفانه همچون گذشته مناقصات تنها با حضور شرکت‌های خارجی نظیر ROZEN, PII و... و یا نمایندگان آنها انجام می‌گیرد و به نظر نمی‌رسد تدبیر خاصی در راستای داخلی نمودن این تکنولوژی از رهگذر این مناقصات وجود داشته باشد. همچنین حمایت‌های یک‌جانبه و مفرط برخی مدیران از بعضی مجموعه‌های داخلی، بدون در نظر گرفتن راهکارهای بنیادی، سبب بروز مشکلاتی شده است. در این مقوله می‌توان به حضور موسسه جهاد تحقیقات در پیگ‌رانی یکی از خطوط لوله انتقال نفت و گاز اشاره کرد. کاری که اکنون از عهده این مجموعه داخلی بر نمی‌آید و باعث خدشه دار شدن توان داخلی شده است. به نظر می‌رسد عدم انتخاب صحیح شرکت خارجی به عنوان حامی تکنولوژیکی پروژه، سبب بروز تمامی مشکلات شده باشد. خلاصه اینکه برای دست‌یابی به این تکنولوژی، استراتژی مشخصی در میان مجموعه‌های مرتبط در کشور وجود ندارد.

نکته دیگری که باید به آن توجه کرد این است که اهمیت چگونگی استفاده از پیگ‌های هوشمند در بازرسی خطوط لوله و تفسیر اطلاعات به دست آمده از آنها، کمتر از ساخت این نوع پیگ‌ها نبوده و به همین دلیل ضمن تلاش برای دسترسی به تکنولوژی ساخت، باید در زمینه‌های مرتبط با آن نیز،

سیاست های لازم اتخاذ شود که به نظر می رسد در سال های اخیر، نسبت به این موضوع نیز بی توجهی شده است.

۷. نتیجه گیری

با توجه به سرمایه گذاری های انجام شده در صنعت نفت و طرح های توسعه آتی در این بخش، نیاز به داشتن تکنولوژی ساخت و سرویس دهی پیگ های هوشمند، امری ضروری و اجتناب ناپذیر به نظر می رسد. به علاوه وجود کشور های نفت خیز همسایه و کشور های حاشیه خلیج فارس، اهمیت این موضوع را دوچندان می کند. مرور و تحلیل توان داخلی در این خصوص، از به بیراهه رفتن سرمایه ها و توان کشور حکایت دارد.

نکته مهمی که در سال های گذشته مورد غفلت واقع شده این است که داشتن فن استفاده از پیگ های هوشمند و به عبارتی پیگ رانی و تفسیر اطلاعات حاصل از آن نیز امری بسیار مهم بوده و باید در این زمینه نیز سرمایه گذاری های لازم صورت پذیرد. همچنین ساخت پیگ های هوشمند نیازمند سرمایه گذاری کلان می باشد که به نظر نمی رسد بخش های خصوصی فعال در صنعت پیگ سازی به تنهایی قادر به انجام آن باشند و به همین دلیل مشارکت و حمایت دولت از بخش های خصوصی در این زمینه، امری ضروری به نظر می رسد.

۸. مراجع

[۱] گزارش پروژه مطالعه انجام پذیری سیستم عیب یاب هوشمند، وزارت نفت، ۱۳۷۶

[2] <http://www.piggingassnpps.com>

[3] <http://www.ngksint.com>