

بنام خدا

## ارزیابی سنسورهای روبوتیک درون خطی جهت یافتن نقایص و نشستی خطوط لوله

علیرضا اسکانیان

شرکت گاز استان مرکزی

eskanian.a@gmail.com

عباس خسروبیگی

شرکت گاز استان مرکزی

khosrobaigy@gmail.com

### چکیده

هنگام آزمایش وضعیت خط لوله، بازرسی درون خطی با استفاده از تست های غیر مخرب یک ابزار اساسی و فاکتور مهم در برقراری برنامه مدیریت کیفیت که ایمنی و کاهش هزینه ها را تضمین میکند، می باشد. بحث روباتیک و یا روبات های درون خطی در هنگام ساخت روباتی که قابلیت هایی بیش از پیگهای هوشمند دارا باشند مطرح شد. این وسیله قابلیت حرکت در خم های تند لوله، عبور از موانع و تغییراتی که در قطر لوله وجود دارد و مقاطعی از لوله که به سبب نقص دارای شکل غیر مدور میباشند، را داراست. می توان از شیرهای موجود جهت ارسال و دریافت این وسیله استفاده کرد و ضمناً این وسیله می تواند مورد نیاز خود را نیز از جریان عبوری گاز تامین کند و تداخلی با عبور جریان گاز نداشته باشد. به علت اینکه این وسیله می تواند در لوله توقف کند، امکان استفاده از تکنولوژی تست های غیر مخربی که تا کنون توسط پیگهای هوشمند انجام نشده - جهت اطلاع بهتر از نقایص لوله ، خوردگی و صدمات وارده - را دارد. در این مقاله سازگاری و تطبیق روشهای تست های غیر مخربی که در پیگهای هوشمند کنونی جهت بازرسی از خطوط لوله مورد استفاده قرار نگرفته اند، در معماری روباتیک درون خطی شرح داده می شود و ارزیابی اینکه آیا این سنسورها قابلیت مطابقت و سازگاری جهت کمک و بهبود بازرسی درون خطی را دارند یا خیر؟ همچنین تکنولوژیهای سنسورهای رایج و سنسورهای پیشرفته و درحال ترقی مورد ارزیابی قرار می گیرند که آیا می توانند در تکنولوژی روباتیک کاربردی باشند یا خیر؟ و ضمناً استفاده از تکنولوژیهای حسگرهای موجود و قابلیت تطبیق و مینیاتوری کردن آنها جهت روباتیک مورد ارزیابی قرار میگیرد.

### کلمات کلیدی

روباتیک - بازرسی - تعمیر - خط لوله - گاز - پیگ - نشستی

## مقدمه

در این مقاله که بر اساس گزارشها و تحقیقات لابراتوارهای NETL و SANDIA انجام شده سعی بر اینست که تکنولوژیهای NDT که قابلیت کاربرد برای بازرسی نقایص دارند و دارای امکان تطبیق با بازرسی درون خط لوله می باشند، بررسی شوند.

## معرفی فرآیندها

هنگام بررسی و آزمایش وضعیت خط لوله، بازرسی داخلی با بکارگیری انواع روشهای مختلف آزمونهای غیر مخرب (NDT) یک ابزار اساسی و فاکتور مهم در حصول اطمینان از ایمنی و هزینه‌بری کم و موثر عملیات می باشد. در آزمونهای خطوط لوله هیچ تکنولوژی و یا روش NDT موثر و مشترکی در سراسر جهان بکار گرفته نمی شود. بنابراین سازمانها و شرکتهای بهره بردار از خطوط لوله و شرکتهای ارائه سرویس بازرسی مشترکاً و با کمک یکدیگر تکنولوژی مناسب برای وضعیت‌ها و شرایط کاری خاص را انتخاب می کنند. سطح و مقدار عیوب و نقایصی که نیاز است تشخیص داده شود، با کارایی تجهیزات بازرسی تطبیق داده می شود. استفاده‌ها و کاربردهایی که از سیستمهای روباتیک بدون کابل واسط، دارای کنترل مستقل و سرخود روبات و دارای منبع نیرو و قابلیت تحرک برای پایش و آزمایش تجهیزات در محیط‌های مختلف انجام گرفته است، منجر به توسعه سیستمهای روباتیک کاوشگر درون خطی شده و از این توانایی‌ها و تخصص‌ها برای توسعه مفاهیم سیستمهای بازرسی روباتیک درون خطوط لوله گاز طبیعی استفاده شده است. یک سیستم روباتیک درون خطی این توانایی را دارد که از پیچ و خمهای تند لوله، موانع داخل لوله، تغییرات قطر لوله‌ها و مقاطعی از لوله که از حالت استوانه و دایره‌ای خارج شده عبور کند. در این سیستم روباتیک برای لانچ و رسیو کردن روبات به درون خط از شیرهای موجود استفاده می شود و می تواند توان مورد نیاز خود را از حرکت گاز تامین نموده و تداخلی با جریان گاز نداشته باشد.

روبات کاوشگر دارای سرعت تنظیم شده‌ای است که مستقل از سرعت جریان گاز می باشد و می‌تواند برای بررسی دقیق در نزدیکی نقایص و یا محلهای مشکوک لوله توقف کند یا حرکت بر عکس داشته باشد. با توجه به اینکه این وسیله می‌تواند با سرعتی کمتر از سرعت جریان گاز حرکت کند، و یا توقف کند، تکنولوژی تستهای غیر مخرب که قبلاً استفاده نشده را می‌تواند برای پایش بهتر و بدست آوردن اطلاعات دقیقتر نقایص خطوط لوله، خوردگی یا صدمات وارده بکار گیرد. علاوه بر آن تکنولوژیهای NDT دائماً در حال بهبود و توسعه بوده و روشهای جدیدی ابداع و پیاده‌سازی می‌شوند و کوشش می‌شود که همگام با توسعه مواد جدید مانند کامپوزیتها و کاربردهای دیگر توسعه داده شوند. پیشرفتهایی که در استفاده از لیزرها و تکنولوژیهای تصویرسازی شامل ویدئو و حرارت نگاری شده، تکنولوژیهای NDT بدون تماس را توسعه داده و آنرا مناسب و سازگار با وضعیت‌های مختلف نموده است.

در اینجا تکنیکهای مختلف NDT که توسط آزمایشگاههای مختلف برای سیستمهای روبات درون خطی جهت کاوشها و بازرسی دقیق، مناسب ارزیابی و توصیه شده اند، بررسی می‌شوند. تکنولوژیهای توصیه شده شامل تست اولتراسونیک UT، جریان Eddy (EC)، ترانسدیوسرهای الکترومغناطیس صوتی (EMAT) و سنسورهای خازنی می باشد. هر یک از این روشها جداگانه بررسی شده و برای توانایی کاوش و کشف ترک ها و خرابی ها در محیط خطوط لوله گاز مورد تحقیق قرار گرفته است. قابلیت کار و توسعه، قابلیت تطبیق و سازگاری و نقاط ضعف و قوت این تکنیکها ارزیابی شده است. در اینجا قابلیت‌های سازگاری روشهای NDT که عموماً در صنعت بازرسی خطوط لوله استفاده نشده اند بر اساس کاربرد در روباتیک و ارزیابی اینکه آیا این سنسورها می توانند برای ارتقای بازرسی درون خطی سازگار شوند یا نه بررسی و شرح داده میشوند. استفاده از تکنولوژیهای مختلف سنسورهای موجود و یا آنهایی که جدیداً مورد استفاده قرار گرفته اند و قابلیت تطبیق و مینیاتور سازی آنها برای نصب در سیستم روباتیک ارزیابی می شوند. به صورت کلی تعیین و ارزیابی می شود که چه می توانیم ببینیم؟ احتمال آشکارسازی چه چیزی وجود دارد و چگونه می توانیم آنرا مناسب روباتیک کنیم؟

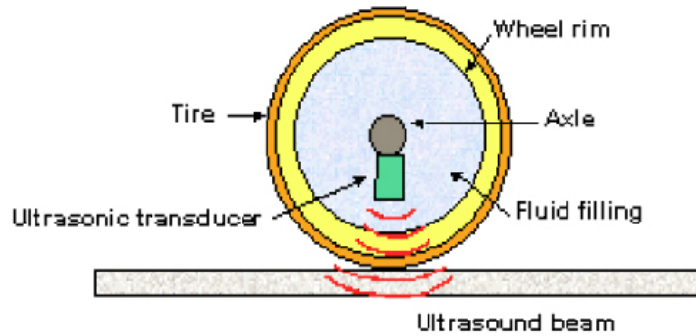
### ارزیابی تکنولوژی NDT برای بازرسی درون خطی روباتیک

همانطور که در مقدمه گفته شد، چند تکنولوژی NDT که برای کاربرد در روباتیک درون خطی مناسب و قابل تطبیق ارزیابی شده اند، شرح داده میشود:

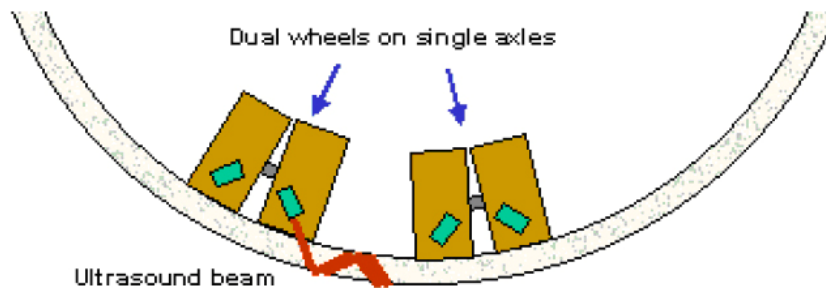
#### تست اولتراسونیک

در آزمون اولتراسونیک نیاز به یک اتصال دهنده مایع یا نیمه مایع (کوپلنت) برای انجام تست لازم می باشد. پیگهای اولتراسونیک هم اکنون فقط در لوله های پر شده با مایع یا با مایع کوپلنتی که اطراف پیگ را احاطه کرده مورد استفاده قرار میگیرند. پیشرفتهایی که در روش ابداع شده جدید اولتراسونیک بنام "ماده واسط غلتان" یا (کوپلنت غلتان) شده در این جهت نیست که این تست را با کنار گذاشتن کامل کوپلنت انجام دهیم. با بکارگیری روش ماده واسط غلتان مقدار زیادی از حساسیت تکنولوژی در واسطه دیواره لوله به ترانسدیوسر برای آشکارسازی اندازه ترک و شکافها گم شده و کم می شود. علاوه بر آن به علت سایز نسبتاً کوچک قطعات روبات حمل یک منبع کافی کوپلنت توسط روبات امکان پذیر نیست. با توجه به دلایلی که ذکر شد، روباتیک درون خطی نمی تواند برای مقاطع زیاد لوله خشک استفاده شود. مشکل کوچکتری که وجود دارد اینست که روبات در نزدیکی محلی که نیاز به بررسی دقیق تر دارد، متوقف شده و به سمت آن رفته و سپس مقدار کمی کوپلنت را منتشر کرده و آزمایش اولتراسونیک را انجام میدهد. اما تست اولتراسونیک هنوز برای انجام کامل ۱۰۰٪ خط لوله گاز با روبات درون خطی در این زمان قابل ادامه و کار نیست. همانگونه که در شکل‌های پایین دیده میشود، بکارگیری ترانسدیوسر با پیکربندی دوگانه یا تک (یگانه) به سمت جلو می تواند بازرسی کامل سطح مورد پوشش را تامین کند. پیش بینی می شود که ۲ یا ۳ کانال جمع آوری اطلاعات در هر سگمنت

روبات با آرایش منفرد و پراب غلتان بتوان تعبیه نمود. استفاده از اولتراسونیک با آرایش دوگانه همانگونه که در شکل دیده میشود با توجه به ساخت و وجود داشتن پراب های غلتان انعکاس پالس مورد نیاز نیست.



شکل ۱ - مقطع اولتراسونیک یگانه



شکل ۲ - مقطع اولتراسونیک دوپل (دوگانه)

مطالعات هم اکنون در این راستا پیش میرود که از ترانسدیوسرهای با کوپل هوایی استفاده شود. اگر این مورد تحقق یابد نیاز به کوپلنت حذف می شود تراندیوسرهای بدون تماس یا کوپل هوایی می توانند به هر جهتی که نیاز است جهت گیری شوند. این تکنولوژی پیشرفته فرسایش کار توان مورد نیاز و شاسی و ساختمان مورد نیاز روبات را به مقدار زیادی کاهش میدهد.

### جریان ادی

سنسورهای جریان ادی (EC) می توانند به صورت یگانه و تنها استفاده شوند و یا به صورت چسبیده شده به یک سرو موتور و متصل شده به سنسور خازنی. پیکربندی مجزا به مراتب ساده تر و از نظر مکانیکی دارای قابلیت اطمینان بیشتری بوده و نیاز به انرژی کمتری دارد. توصیه می شود که از بازوهای فنری که به آنها سنسورها متصل شده اند استفاده شود. این عمل تمام فضای داخلی هر سگمنت روبات EC را برای تولید سیگنال و ذخیره داده ها و آنالیز آنها خالی می کند. به این ترتیب کانالهای بیشتری برای هر سگمنت می توان استفاده کرد. دسترسی به دقت خوب یا عمق کافی نفوذ در

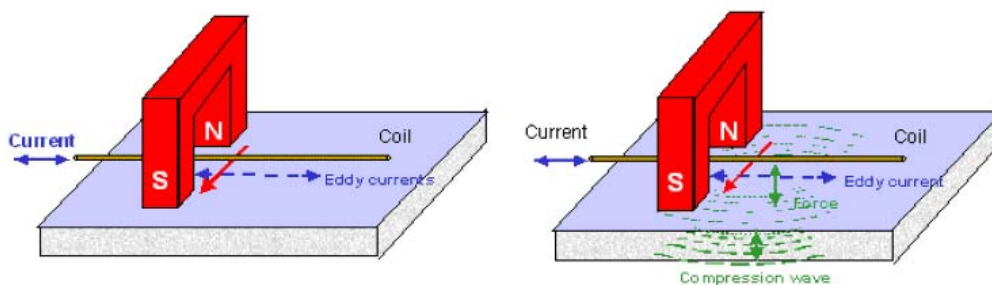
سرعت اسکن یک تا ۲ متر بر ثانیه مسئله ای مشکل است. همچنین انجام این عمل با تغییرات حرکتی که در سنسورها به واسطه بلند شدن از سطح لوله رخ میدهد مشکل بوده و حساسیت را کاهش میدهد. بنابراین بکارگیری تکنیکهای EC - NDT در یک وسیله متحرک حتی یک ربات متحرک با سرعت حرکت نسبتاً پایین می تواند حساسیت و کیفیت داده ها را دچار مشکل کند.

### سنسورهای خازنی

سنسورهای خازنی توانایی مشخص کردن ترک های جزئی و نشانه گذاری آنها را ندارند. این سنسورها می توانند جهت تعیین صدمات عمده بکار گرفته شوند. بنابراین ابزار بازرسی رباتیک می تواند مانند یک سیستم پیگ ضخامت سنج عمل کند. سنسورهای خازنی به دلیلی که ذکر شد نمی توانند کارآیی مهمی در سیستم بازرسی درون خطی رباتیک داشته باشند.

### ترانسدویسرهای موج آکوستیک الکترومغناطیس

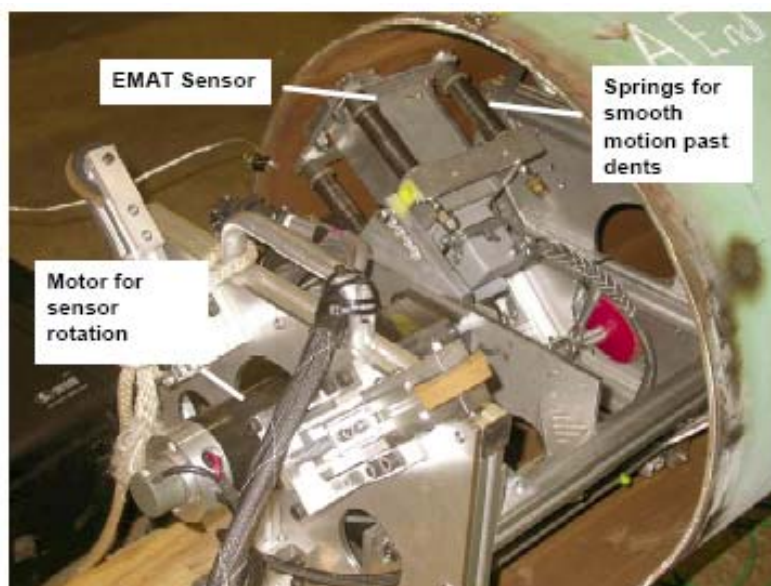
سنسورهای EMAT همواره مطالعه و بهبود داده شده اند. در گذشته به این دلیل که سیستمهای EMAT توان زیادی را مصرف میکردند، در بازرسی خطوط لوله بکار گرفته نشده اند. و نیز حساسیت سیستمها در گذشته دارای نقص بوده است. ولی با وجود این اگر سیستمهای EMAT بتوانند برای کار در محیط خطوط لوله با سیستم رباتیک بازرسی درون خطی ساخته شوند، پتانسیل بسیار زیادی برای این نوع سنسور وجود دارد. مثلاً EMAT ها می توانند سیگنالهای منتج هر دو نوع UT و EC را شبیه سازی کنند و محدودیتی مانند استفاده از مایع کوپلنت یا مشکلات دیگر سنسورها را ندارند. در شکل زیر طرز کار تکنولوژی EMAT مشاهده می شود.



شکل ۳ - طرز کار سنسورهای EMAT

- برقراری میدان مغناطیسی در دیواره لوله
- یک سیم پیچ جریان AC را با زاویه ۹۰ درجه نسبت به میدان مغناطیسی حمل میکند
- آیینه جریان ادی شروع به جریان در دیواره لوله میکند
- یک نیروی نرمال از جریان ادی به دیواره لوله اعمال میشود
- این نیرو تولید اولتراسونیک متحرک در دیواره لوله میکند

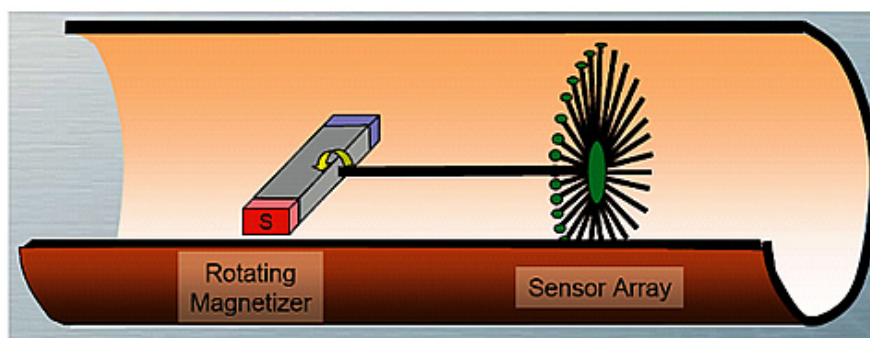
مطالعات بسیار زیادی توسط گروه‌های صنعتی مختلف بر روی این تکنولوژی و آشکارسازی نقایص با این تکنولوژی انجام شده اما بدلیل اختصاصی بودن مالکیت این تکنولوژی امکان توسعه زیاد آن در حال حاضر وجود ندارد.

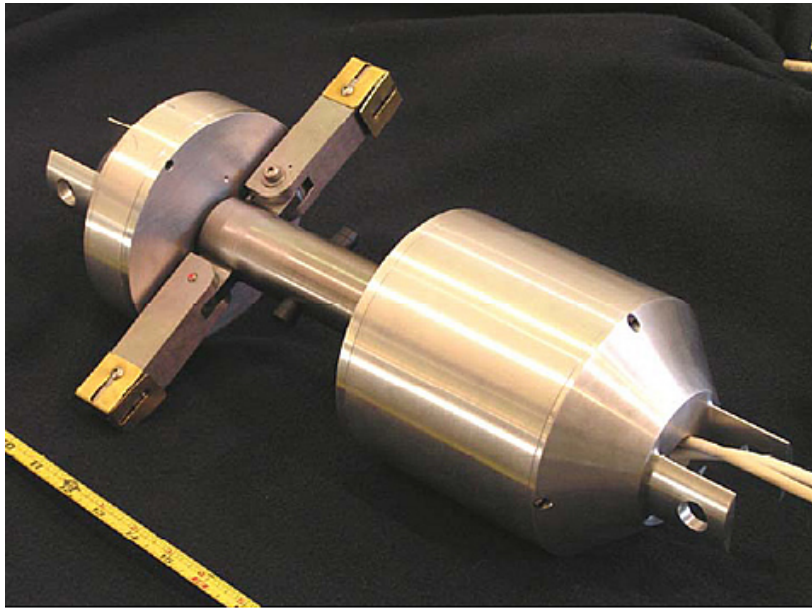
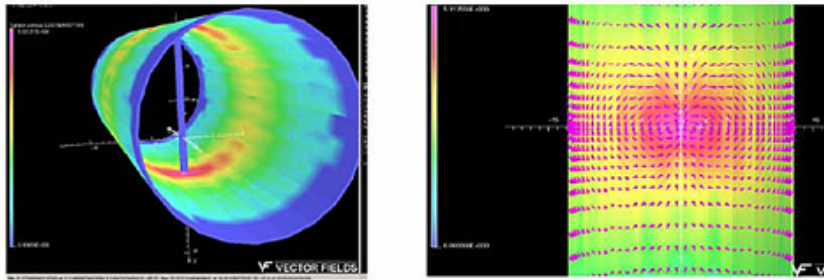


شکل ۴ - نمونه پیاده سازی سنسور EMAT

#### سنسورهای تکنولوژی مغناطیس چرخان

در شکل‌های زیر یکی دیگر از روشهایی که جدیداً ابداع شده و دارای قابلیت زیادی جهت استفاده از تکنولوژی برای رباتیک می‌باشد، نشان داده شده است. این روش توانایی زیادی برای تشخیص نقایص دارد. اساس کار وجود یک آهنربای دائم متحرک در داخل لوله می‌باشد. این آهنربا تولید موج مغناطیسی با سرعت متناسب با حرکت خود میکند. توسط سنسورهای تعبیه شده در فاصله مناسب از این آهنربا امواج دریافت میشوند. در صورتی که در لوله مشکلی وجود نداشته باشد، این امواج به صورت منظم و همگون دریافت میشوند. اما اگر لوله دارای خرابی باشد، سیگنالهای دریافتی توسط سنسورها تغییر کرده و از این تغییرات نقایص آشکارسازی می‌شوند.

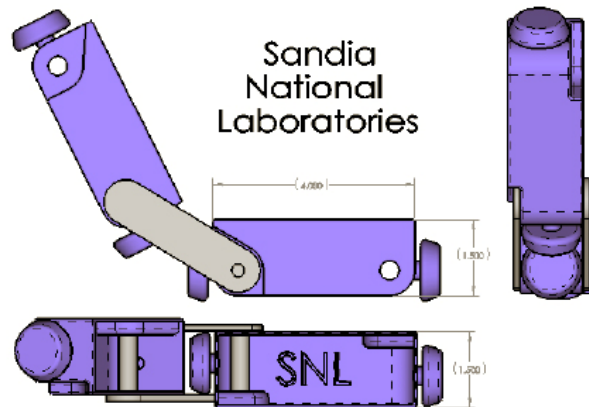




شکل ۵ - روش کار سنسور مغناطیس چرخان

### سازگاری طراحی سنسور با یک روبات

نصب تکنولوژی های جدید مانند سنسورهای EMAT و یا پروبهای چرخ اولتراسونیک (علیرغم محدودیت‌هایشان) و یا تکنولوژیهای قدیمی و تجهیزات الکترونیک آنها در یک روبات برای بازرسی داخلی و علاوه بر آن تامین مقدار زیادی قدرت کار مشکلی می باشد و باید بر آن غلبه کرد. در رابطه با تهیه یک روبات بازرسی داخلی قابل استفاده و ماندگار که بتواند این تکنولوژیهای حسگر را پشتیبانی کند، اطلاعات سیستمی دیگری مورد نیاز است که ارزیابی و توسعه سیستم را انجام دهیم. در طراحی سیستم علیرغم کل تجهیزات سنسور باید پیکربندی، فضا، وزن و توان مورد نیاز در نظر گرفته شود.



شکل ۶ - مقطع روبات طراحی شده توسط لابراتوار sandia

یکی از مفاهیم طراحی روباتیک همانگونه که در شکل ۴ دیده میشود یک روبات خزنده در لوله است که دارای مقاطع متصل شده به یکدیگر است. به علت اینکه بخشها با مفصل و به صورت مجزا به یکدیگر متصل شده اند روبات قادر است خود را با تغییر قطر لوله در اثر سایزینگ لوله ها تطبیق دهد. شکل و سایز ایده آل بخشها هنوز تعیین نشده و جعبه هایی که در شکل مشاهده می شود فضای جایگذاری و نصب سنسورها قطعات الکترونیکی باطریها و غیره می باشد. چرخهای نشان داده شده در هر بخش حرکت روبات در طول لوله را تامین میکند.

این مفهوم عمومی با ملاحظه تغییرات بهینه سازی و ارتقاء بر اساس ارزیابی تکنولوژیهای NDT که قبلاً شرح داده شد انجام گرفته است. مدل بهبود داده شده و ارتقاء یافته در شکل های بعد نشان داده شده. اول از همه مقاطع به صورت اثرگذار بر جریان هوا شکل داده شده اند. این به ما اجازه می دهد که مزیت عبور جریان سریع گاز از راههای مختلف را بدست آوریم. یک فشار به سمت خارج بوجود می آید که هر بخش روبات را به سمت مخالف دیواره های لوله فشار میدهد. نتیجه باعث کنش بهتر و انقباض روبات به سمت مرکز لوله شده و باعث قرائت بهتر سنسورها در کل محیط لوله می شود و نیز باعث افزایش قابلیت مانور در داخل لوله می گردد. مقطع هوایی روبات که در شکل دیده می شود، باعث افزایش نیروی کشش روبات در طول لوله میشود. با تغییر شکل آن به آیرودینامیک کشش مذکور کم میشود. اما زمانی این عمل کارآیی دارد که روبات بخواهد در لوله توقف کند یا به سمت عقب برگردد تا نگاهی نزدیکتر به مقاطع مختلف لوله داشته باشد. حجم کلی موجود برای نصب سنسورها، موتورها و برد پردازش سیگنال برای این نوع طراحی به خوبی افزایش یافته است. زمانی که سنسورهای مختلف نصب می شود و بخشها ی مختلف آنها وظایف مختلف و متعددی را انجام می دهند یک چیز ثابت می ماند و آن اینست که هر نوع سیستم و سنسور مورد ارزیابی و تجهیزات الکترونیک آنها به دلیل طراحی انجام شده قابل نصب در این نوع طراحی می باشد. مثلاً هنگام طراحی یک سیستم که شامل یک UT کوپل مایع چرخدار است با توجه به اینکه این سیستم فضای زیادی را می خواهد، فضای این روبات جوابگوی آن می باشد. سنسورهای دیگر نسبتاً فضای کمتری را اشغال



می کنند. EMAT احتمالاً فضای بیشتری را اشغال می کند در صورتی که EC فضای خیلی کمتری را اشغال میکند. برخی تکنیک ها که فضای کمتری را اشغال میکنند، باعث میشود هر بخش روبات با کانالهای چندگانه دریافت اطلاعات کار کند.

### تشخیص داده ها و ارزیابی و تخمین خرابی ها

بررسی و پردازش سیگنال جهت عملی کردن ذخیره اطلاعات و برخی عملیات دیگر باید در مورد روبات انجام شود. علاوه بر آن اگر اطلاعات به جای ارسال به صورت آنالیز و Real time در فواصل زمانی منظم ارسال شود نیاز به گسترش و افزایش برنامه ریزی روبات دارد. تا زمانی که روبات در حین حرکت خود متوقف شده و به سمت عقب بر میگردد که از نقاط مورد سوال و مشکوک اسکنهای بیشتر و دقیقتری بردارد، اسکن ها در دسترس قرار گیرد. انتخاب دیگر برای تخمین و ارزیابی خرابیها به جای بکارگیری روش بالا اینست که بعد از روبات اول روبات دیگری از داخل خط لوله عبور کرده و آنالیز داده ها را در نقاط مشخص شده توسط روبات قبلی انجام دهد.

### ملاحظات جانبی

#### وزن

سنگینی و وزن یک سیستم روباتیک باید به گونه ای باشد که کنترل کافی در محیط خط لوله را داشته باشد. اگر خیلی سبک باشد با جریان گاز به اطراف پرتاب میشود و اگر خیلی سنگین باشد روبات نمیتواند موانع را رد کند و مقدار حرکت خود را تحت قدرت محدود خود حفظ نماید. نیروی پیش رانی که روبات را قادر میکند به سمت جلو و عقب حرکت کند و یا با سرعت کمتر از سرعت حرکت گاز حرکت کند استفاده از چرخهای پیش راننده مغناطیسی می باشد. وزن یک روبات بازرسی سیستم گرچه خیلی کمتر از پیگهای بازرسی معمول می باشد اما باید به گونه ای باشد که با توجه به نوع و تعداد سنسورهای نصب شده جهت بازرسی کنترل مناسب بر روبات اعمال شود. در طراحی این انتظار می رود که سنسورهای شرح داده شده و قابل استفاده با توجه به تنوعشان در نوع و وزن، نتوانند بر وزن موثر کل سیستم اثر بگذارند. مثلاً وزن سیم پیچهای جریان ادی کمتر از چند گرم است. در حالی که وزن UT با پروبهای غلتان به ۲۵۰ گرم می رسد. و با قطعات و تجهیزات الکترونیکی مشابه در مورد، وزن سیستمهای مختلف سنسور تغییر زیادی نمیکند.

#### توان

توان مورد نیاز برای انواع مختلف سنسورها مورد ارزیابی عملاً یکسان است. اما تا زمانی که تجهیزات اصلی برای سیستمهای الکترونیکی مانند تعداد ترانزیستورها، فرکانس تکرار پالسها، فرکانس کار، توسعه پردازش و آنالیز داخلی و تعداد تجهیزات ذخیره اطلاعات مشخص نیستند تخمین خوب مشکل می باشد. تخمین زده می شود که هر کانال ترانزیستور نیاز به ۰,۲ تا ۱ وات قدرت داشته باشد

که این به مراتب کمتر از توان ارزیابی و تخمین زده شده برای حرکت روبات، ارزیابی داده ها، تجهیزات مخابره داده ها می باشد. بنابراین توان مورد نیاز سیستم سنسورها بخش زیادی از توان سیستم روبات را مصرف نمی کند.

### مشکلات موجود

- ۱- عدم وجود مرکزی در شرکت ملی گاز ایران برای ایجاد تمرکز در فعالیت های تحقیق و توسعه در این زمینه
- ۲- عدم بکارگیری متخصصان امر
- ۳- عدم استقبال شایسته در شرکتهای خصوصی به دلیل عدم اعلام نیاز شرکت ملی گاز ایران
- ۴- عدم اختصاص بودجه های کافی برای امر تحقیق در این زمینه و مشکل جذب بودجه
- ۵- استقبال مدیران از ورود تکنولوژیهای آماده و عدم استفاده از متخصصین داخلی
- ۶- روشهای تعریف شده جهت انجام تحقیقات و پژوهش در شرکت ملی گاز ایران مناسب نیست.

### پیشنهادهات

- ۱- استفاده بیشتر از نظرات کارشناسان خبره چه در زمینه توسعه تحقیقات روباتیک
- ۲- ایجاد مرکزی برای اجرائی نمودن پیشنهادهات مطرح شده در مقالات
- ۳- اختصاص بودجه کافی
- ۴- ساخت آزمایشی روبات با سنسورهای موجود
- ۵- تحقیق و بررسی روی روشهای ممکن دیگر و ابداع روشهای جدید

## نتیجه گیری

با در نظر گرفتن موارد مطروحه در این مقاله، سنسورهای EMAT بسیار مناسب می باشند و نیز تکنولوژی سنسور مغناطیس چرخان - که به تازگی مراحل طراحی و تست را پشت سر گذاشته - قابل استفاده و توسعه می باشد. با توجه به وجود امکانات سخت افزاری، نرم افزاری، ارتباطی و نیروی انسانی مناسب و متخصص در کشور امکان ساخت و بهینه سازی روبات ها و سنسورهای تشخیص نقایص در لوله های گازدار وجود دارد. حداقل میتوان طرحهای موجود را به صورت پایلوت در شرکتهای گاز استانی پیشرو و علاقمند دنبال نمود و از نتایج طرحهای پایلوت برای عملیاتی نمودن طرحها و ایجاد خط تولید فوق تخصصی روباتیک - بعنوان یک بخش سازمانی در شرکت ملی گاز ایران و سپس در سایر شرکتهای مرتبط با نفت و گاز- استفاده نمود.

## مراجع

- 1- Bickerstaff, B., Vaughn, M., Stoker, G, Hassard, M., and Garrett, M., "Review of Sensor Technologies for In-line Inspection of Natural Gas Pipelines", Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, December 2002.
- 2- Bickerstaff, B., Vaughn, M., Garrett, M., "Sensor Development for Robotic Vehicles for In-line Inspection of Gas Pipelines", Quarterly Report, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, February, 2002.
- 3- Stoker, G. and Hassard, M., "Sensor Development for Robotic Vehicles for In-line Inspection of Gas Pipelines", Quarterly Report, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, May 2002.
- 4- "NDT Systems and Services - Automated Inspection Systems", [http://www.offshore-technology.com/contractors/pipeline\\_inspec/ndt-systems/](http://www.offshore-technology.com/contractors/pipeline_inspec/ndt-systems/) {online}
- 5- NETL, "Innovative Sensors for Pipeline Crawlers to Assess Pipeline Defects and Conditions", <http://www.netl.doe.gov/technologies/index.html> {online}