

روش نوری برای بازرسی عیوب سطحی در داخل لوله گاز

پژوهش‌نفت

سال بیست و چهارم

شماره ۷۸

صفحه، ۳۸-۳۲ ۱۳۹۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۱/۳۱

میرسعید صفی‌زاده و تورج عزیززاده*

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

مقدمه

خطوط لوله معمولاً یکی از بزرگ‌ترین زیرساخت‌ها در کشورهای صنعتی است. عمدتاً به دلیل سن بالای لوله‌ها، حدود ۲۰٪ از شبکه‌های لوله‌ای آسیب می‌بینند [۱] و جایگزینی و تعمیر لوله‌ها اغلب ناکافی می‌باشد. بر اساس تحقیق یک کمپانی انگلیسی، تقریباً ۵۰۰۰ تخریب و ۲۰۰۰۰۰ انسداد و گرفتگی در سال در شبکه‌های لوله‌ای روی می‌دهد [۲]. تشخیص اولیه عیوب لوله می‌تواند از خرابی‌های شدید که شامل آسیب زیست محیطی و هزینه‌های اقتصادی بالاست، جلوگیری کند. بخش وسیعی از لوله‌هایی که در شبکه‌های لوله‌ای استفاده می‌شود، به شکل مدور با قطر داخلی ۰/۱ تا ۱ m است. افراد نمی‌توانند این لوله‌ها را مستقیماً بازرسی کنند. بنابراین از ربات‌هایی که با سنسور تجهیز شده‌اند، استفاده می‌شود. در روش بازرسی متداول از یک دوربین مداربسته (CCTV) استفاده می‌شود که روی ربات نصب شده است و داخل لوله، تصاویر را بر روی یک نوار ویدئو ضبط می‌کند. پلت فرم دوربین از طریق یک کابل چند هسته‌ای به یک ایستگاه بازرسی از راه دور با تجهیزات ضبط‌کننده ویدئویی مرتبط می‌شود. در طول بازرسی، اپراتور، سیگنال‌های فیدبک دوربین را برای هدایت کردن ربات به کار می‌برد.

چکیده

در این مقاله یک روش بازرسی غیرمخرب جدید بر اساس تکنیک‌های نوری برای بررسی وضعیت خطوط لوله ارائه شده است. روش‌های متداول بازرسی لوله (براساس سیستم‌های تلویزیونی مدار بسته) عملکرد نسبتاً ضعیفی دارند. در این روش‌ها یک دوربین ویدئویی روی ربات نصب می‌شود و فیلم به دست آمده، توسط متخصص به صورت غیرهمزمان بررسی می‌شود. دو اشکال عمده چنین سیستم‌های بازرسی عبارتند از: (۱) کیفیت پایین تصاویر به دست آمده به دلیل عدم نورپردازی مناسب در داخل لوله و (۲) امکان بروز خطا در طول بازرسی غیرهمزمان که توسط اپراتورهای انسانی انجام می‌شود. در این مقاله، هدف شناسایی و مکان‌یابی خودکار عیوب و ناپیوستگی‌ها در سطح داخلی لوله است. سنسور مورد استفاده مونتاژی از یک دوربین CCD و دیود لیزری است که از این دیود لیزری برای تولید لیزر به شکل رینگ استفاده می‌شود. شناسایی و مکان‌یابی عیب از طریق رسم رویه سطح داخلی لوله بر اساس تکنیک‌های پردازش تصویر، انجام می‌شود. روش پیشنهادی بر روی یک لوله گاز واقعی آزمایش گردیده و نتایج ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: روش نوری، بازرسی عیوب سطحی، لوله

گاز، روش CCTV، تشخیص خوردگی

www.SID.ir

*مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی

t_azizzadeh@ymail.com

ارائه شده است.

توصیف سیستم نوری مبتنی بر CCTV

سیستم نوری پیشنهاد شده از یک دوربین CCD با سرعت فیلم برداری ۲۵ فریم بر ثانیه (fps) و یک دیود لیزری نقطه‌ای ۵ mw با طول موج ۶۳۵ nm تشکیل می‌شود. دوربین و دیود لیزری به یکدیگر متصل می‌شوند تا فاصله بین آنها کاهش یابد، به طوری که دوربین در مرکز لوله قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه دوربین در مرکز لوله قرار می‌گیرد و قابلیت چرخش و حرکت جانبی را ندارد، در تست سطح داخلی لوله از دوربین با قابلیت بزرگ‌نمایی استفاده می‌شود. دوربین با قابلیت بزرگ‌نمایی دارای فاصله کانونی متغیر بوده و به واسطه این فاصله کانونی متغیر، زاویه دید متغیری را در بازه فاصله کانونی دارا می‌باشد. تغییر فاصله کانونی این امکان را می‌دهد که بتوان فاصله کانونی کارا (زاویه دید مناسب) را انتخاب و تنظیم کرد. چیدمان سیستم نوری در شکل ۱ نشان داده شده است.

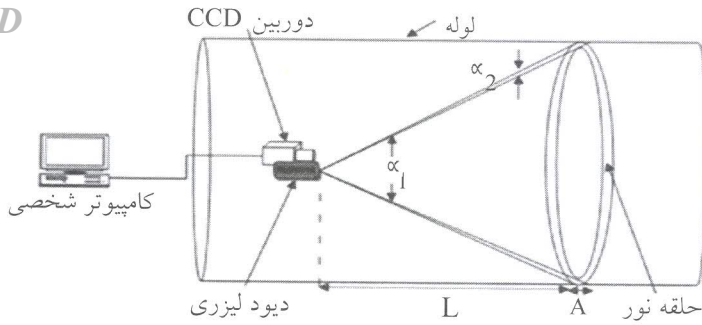
برای تصویر کردن رینگ نوری بر روی سطح داخلی لوله از یک لنز استفاده می‌شود. این لنز از ماده اکریلیک ساخته شده است و از طریق یک پوش رزوه دار (برای هم مرکز کردن نقطه لیزر و لنز) به سر دیود لیزری پیچ می‌شود. عیوب داخل لوله با آنالیز کردن شدت نور رینگ‌های تصویر شده، تشخیص داده می‌شود. در این پژوهش، رینگ‌های نور لیزر بر روی دیواره لوله تصویر شده و انعکاس آنها توسط آشکارگر CCD درون دوربین گرفته می‌شود. در نقاطی که ناپیوستگی‌ها رخ می‌دهد، نور لیزر پراکنده شده و سبب تغییر در سطوح شدت در تصویر دوربین می‌شود. با آنالیز کردن این سطوح شدت، عیوب تشخیص داده شده و مکان آنها تعیین می‌گردد. در این آزمایش از یک ربات طراحی و ساخته شده در این مرکز که قادر است در درون لوله حرکت کرده و دوربین به همراه منبع نور لیزر را همواره در مرکز لوله حرکت دهد، استفاده شده است.

تصاویر ضبط شده، توسط کارشناس به صورت غیرهمزمان بررسی می‌شود. این روش دارای اشکالاتی نظیر کندی، گران بودن و وابسته بودن به خطاهای انسانی می‌باشد. به علاوه مقدار اطلاعاتی که تولید می‌شود (تقریباً ۳۰ ساعت تصاویر ویدئویی برای بازرسی ۱۰ km از خط لوله) زیاد است. زمان مورد نیاز برای بازرسی لوله به تعداد عیوب بستگی دارد. از آنجایی که در هر عیب، اپراتور باید فیلم را متوقف کند و وضعیت لوله را بررسی و ثبت نماید، بازرسی بخش آسیب دیده لوله نسبت به بازرسی بخش نسبتاً سالم، زمان طولانی‌تری را می‌گیرد. بنابراین تخمین زدن زمان و هزینه برای انجام بازرسی‌های CCTV مشکل است [۳]. پژوهشی که در این مقاله گزارش شده است به توسعه روش‌های بازرسی خودکار لوله نایل می‌شود.

برخی کارها درباره بازرسی لوله با دوربین در مؤسسات تحقیقی مختلفی انجام شده است [۴]. ربات KARO [۵] سیستمی را شامل می‌شود که در آن یک دوربین، رینگ‌های نوری که بر روی دیواره داخلی لوله تصویر می‌شوند را تحلیل می‌کند و موانع و تغییر شکل لوله را تشخیص می‌دهد. دپارتمان مهندسی عمران در دانشگاه Wales دوربین CCTV و هد نوری خاصی را به کار می‌برد که قادر به اندازه‌گیری پروفایل‌های لوله و در نتیجه تغییرات در شکل لوله می‌باشد [۶]. همه سیستم‌های ذکر شده در بالا صرفاً قادر به تشخیص تغییر شکل لوله هستند. یک اشکال مهم این روش‌ها این است که در تشخیص خرابی‌های ساختاری نظیر حفره‌ها و خوردگی مشکلاتی دارند. در روش پیشنهاد شده در این مقاله، الگوریتم جدیدی برای غلبه بر این مشکل ارائه می‌شود. در این روش خرابی‌هایی ساختاری با استفاده از توزیع شدت رینگ تصویر شده بر روی سطح داخلی لوله و با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر، شناسایی و مکان‌یابی می‌شود.

در ادامه تست غیرمخرب نوری به کار برده شده و سنسوری که برای به دست آوردن تصاویر مورد استفاده قرار گرفته، توصیف شده است. همچنین نتایج حاصل از تست بر روی لوله‌ای با قطر ۶ اینچ که در سطح داخلی آن خوردگی حفره‌ای (حفره‌هایی با قطرهای متفاوت) ایجاد گردیده،

Archive of SID



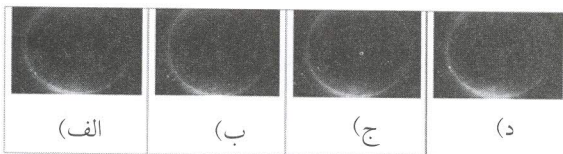
شکل ۱- چیدمان سیستم نوری

فایل avi توسط یک فریم گربر در کامپیوتر شخصی ذخیره می‌شود. بنابراین در ابتدا لازم است فریم‌های تصاویر استخراج شوند. تصاویر رینگ نور با حفره‌های ۲ تا ۵ mm در شکل ۳ نشان داده شده است.

در ابتدا تصاویر پردازش می‌شوند تا کیفیت تصاویر افزایش یابد و لبه‌های رینگ نور که معمولاً بیضی هستند، شناسایی شود. مراحل زیر جهت بهبود سیگنال انجام می‌شود:

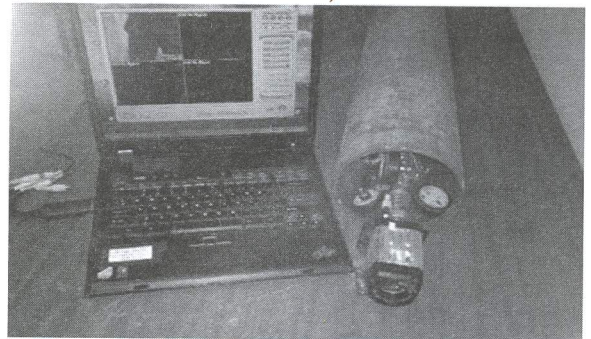
- افزایش کنتراست از طریق تنظیم شدت^۲ [V]
- تضعیف نویز با یک فیلتر میانه^۴ [V]
- آشکارسازی لبه‌های رینگ با استفاده از یک آشکارگر لبه کنی^۵ [V].

در مرحله افزایش کنتراست تصویر، مقادیر شدت همه پیکسل‌های تصویر تنظیم می‌شود تا محدوده شدت کلی (۰ تا ۲۵۰) را پوشش دهند. این روش، تصویر را به میزان قابل ملاحظه‌ای روشن‌تر کرده و قابلیت شناسایی دایره نور را آسان‌تر می‌کند. سپس جهت حذف نویز موجود در تصویر از یک فیلتر میانه استفاده می‌شود.



شکل ۳- تصاویر رینگ نور: (الف) حفره‌ها با قطر ۲mm، (ب) با قطر ۳mm، (ج) با قطر ۴mm و (د) با قطر ۵mm

ویژگی دیگر این ربات، انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری آن با قطر لوله می‌باشد. سیستم دوربین - لیزر بر روی ربات نصب می‌شود و ربات در داخل لوله حرکت می‌کند. لیزری رینگ‌های نور را بر روی دیواره داخلی لوله تصویر می‌نماید و انعکاس آنها توسط دوربین دریافت می‌شود. طی آزمایش در حالی که ربات در امتداد لوله حرکت می‌کند، تصاویر رینگ نور به صورت متوالی توسط دوربین CCD گرفته می‌شود. به وسیله یک فریم گربر، تصاویر دوربین در قالب فایل avi در یک کامپیوتر شخصی برای پردازش بیشتر ذخیره می‌شود. تصویر سیستم آزمایشگاهی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- تصویر سیستم آزمایشگاهی

استخراج داده‌های شدت و تحلیل داده‌ها

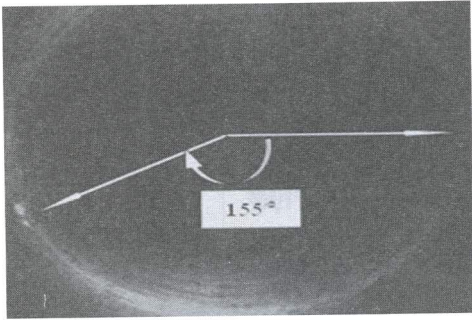
برای بررسی نتایج به دست آمده از تست با استفاده پردازش تصویر^۲ نرم‌افزار MATLAB به تحلیل نتایج می‌پردازیم. تست‌ها روی لوله فولادی به قطر داخلی ۶ اینچ انجام شد. حفره‌ها با قطرهای مختلف از ۲ تا ۵ mm در دیواره لوله برای شبیه‌سازی عیوب خوردگی ایجاد گردید. فاصله حفره‌های ایجاد شده از یکدیگر ۴cm است.

همان‌گونه که قبلاً بیان شد، تصویر داخل لوله در قالب

1. Frame Grabber
2. Image Processing
3. Imadjust
4. Median Filter
5. Canny Edge

Archive of SID

را کاهش می‌دهد. تصویر دایره داخل دوربین اغلب یک بیضی است. همچنین، هرگونه ناهم‌راستایی سیستم نوری نسبت به مرکز لوله سبب می‌شود تصویر رینگ به یک بیضی تغییر کند.



شکل ۴- مکان حفره‌ها بر روی رینگ نور لیزر

زمانی که رینگ نور شناسایی می‌شود، برای استخراج کردن اطلاعات شدت از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$\mu_j = \frac{\sum i}{n \times m} \quad (2)$$

در این معادله μ_j شدت میانگین قسمت j از رینگ نور، i شدت پیکسل‌ها و $n \times m$ اندازه قسمت j بر حسب پیکسل می‌باشد. از آنجایی که پهنای رینگ تصویر شده بزرگ‌تر از یک پیکسل است، شدت میانگین بر روی یک مستطیل که قسمت‌های بیضی را می‌پوشاند، محاسبه می‌شود. برای هر قسمت رینگ نور استخراج شده از تصویر، یک مقدار شدت میانگین با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌شود. مجموعه چنین شدت‌های میانگین μ_j با $j \in [1, 2, \dots, P]$ توزیع شدت در امتداد هر رینگ نور را به دست می‌دهد. تعداد تقسیم‌بندی‌های رینگ نور با توجه به پارامترهای داخلی دوربین CCD و اندازه گامی که در امتداد لوله در نظر گرفته می‌شود، محاسبه می‌گردد. در تست‌های انجام شده این تعداد $P=90$ و اندازه هر قسمت 8×8 پیکسل محاسبه شد. با محاسبات انجام شده برای هر پروفایل، یک نمودار شدت به دست می‌آید. نمودار شدت به دست آمده برای پروفایل معیوب با حفره‌های ۲ mm در شکل ۵ نشان داده شده است. در این نمودار محور x بیان‌گر زاویه چرخش بر روی رینگ نور بر حسب درجه و محور y بیان‌گر سطح شدت^۳ می‌باشد.

ویژگی این فیلتر این است که همزمان با کاهش نویز، لبه‌ها را حفظ می‌کند. نهایتاً یک آشکارگر لبه کنی برای یافتن لبه‌های رینگ نور به کار برده می‌شود. در عملیات لبه‌برداری، ورودی یک تصویر به فرمت^۱ می‌باشد و در خروجی تصویر^۲ داده می‌شود که در تصویر حاصل، مرزهای بیرونی تصویر به صورت ۱ و مرزهای داخل به صورت ۰ نشان داده می‌شود.

پس از پیدا کردن لبه‌ها در یک دایره از تصویر ورودی همه نقاطی را که درون دایره قرار دارند به عنوان مرکز دایره فرض می‌کنیم. فاصله همه این پیکسل‌ها با مختصات (x_0, y_0) را نسبت به همه پیکسل‌های روی لبه‌ها با مختصات (x, y) در نظر می‌گیریم و از معادله ۱ برای محاسبه شعاع دایره استفاده می‌کنیم:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad (1)$$

پس از محاسبه شعاع پیکسل‌های درون دایره، ماتریسی را مقداردهی می‌کنیم که دارای سه بعد است. بعد اول و دوم مربوط به مختصات (x, y) مرکز دایره و بعد سوم مربوط به شعاع‌های مختلف می‌باشد. مقادیری که ماتریس می‌گیرد تعداد پیکسل‌هایی است که مختصات آنها در رابطه بالا صادق است. اگر تعداد این پیکسل‌ها که در روی محیط دایره قرار دارد، از یک مقدار آستانه بیشتر شود، به عنوان یک دایره شناخته می‌شود که مرکز آن پیکسلی با مختصات (x_0, y_0) است. مزیت این روش این است که دایره‌ای با شعاع‌های مختلف را شناسایی می‌کند و به شعاع وابسته نیست.

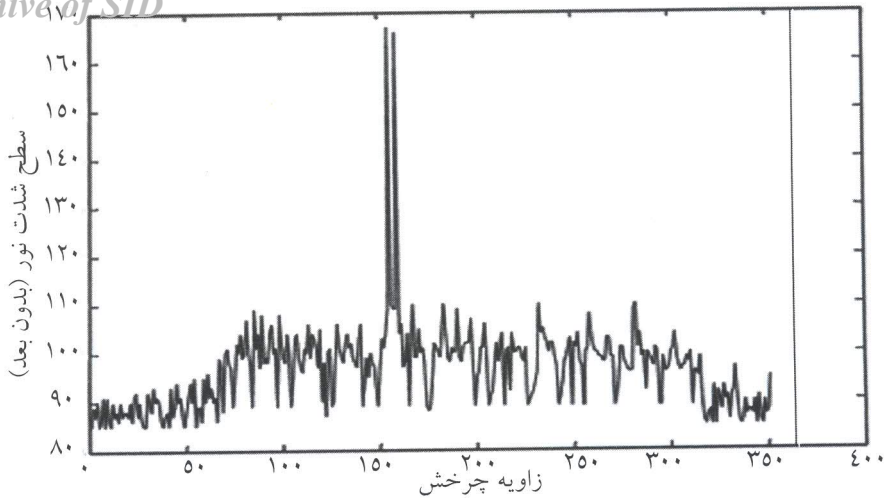
این الگوریتم به تمامی فریم‌های استخراج شده اعمال می‌گردد. بنابراین، رینگ نور به صورت اتوماتیک از پس زمینه تصویر جدا می‌شود. موقعیت زاویه‌ای حفره‌ها بر روی رینگ نور در شکل ۴ نشان داده شده است.

با توجه به این شکل، حفره‌ها در زاویه 155° نسبت به محور افقی رینگ نور لیزر قرار دارند.

پس از استخراج پروفایل رینگ، می‌توان عیوب را در امتداد پروفایل جستجو نمود. این شیوه به جای جستجو کردن کل تصویر برای نواحی معیوب، به میزان قابل ملاحظه‌ای حجم اطلاعاتی که پردازش می‌شوند و در نتیجه زمان محاسبات

1. Intensity level
2. Intensity
3. Binary

Archiva of SID



شکل ۵- نمودار شدت برای پروفایل معیوب (حفره‌ها به قطر 2 mm)

شدت افزایش یافته و درون عیب، شدت کاهش می‌یابد. تغییرات شدت مشاهده شده، به واسطه تغییرات هندسی سطح بازرسی شده می‌باشد که در آن نقصی رخ می‌دهد و خواص نور منعکس شده در آن مکان‌ها هستند. در لبه‌های ناپیوستگی‌ها، سطح معمولاً از حالت افقی به مایل تغییر می‌کند که منجر به تغییر زاویه برخورد نور می‌شود. مقدار نور منعکس شده متناسب با زاویه برخورد است، بنابراین شدت نور منعکس شده تغییر می‌نماید.

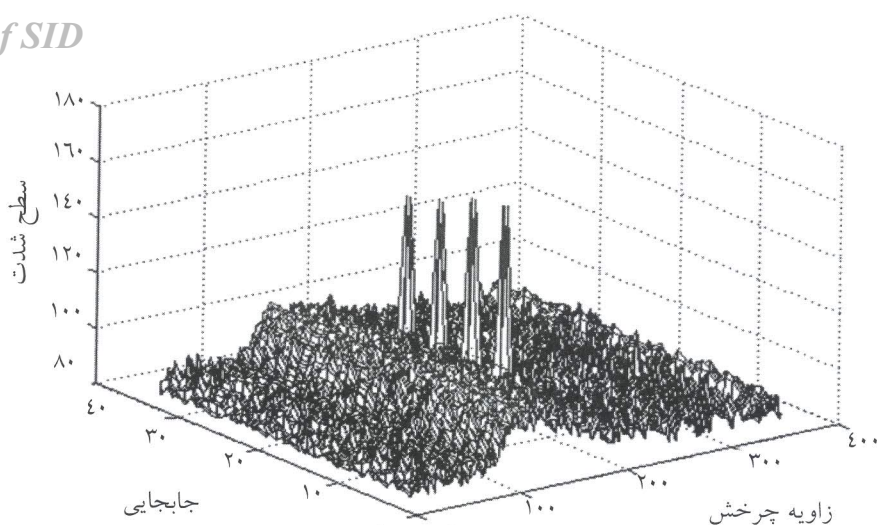
در روشی که در اینجا به کار می‌رود، یک عیب کوچک تشخیص داده خواهد شد، حتی اگر ناحیه عیب به طور واضحی کوچک‌تر از پهنای رینگ تصویر شده باشد. در تست‌های انجام شده، حفره با قطر 2 mm شناسایی شد. زبری سطح و اندازه پیکسل یا حساسیت دوربین CCD کمترین اندازه عیب قابل تشخیص را مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که در نقشه سطح دیواره لوله نرم، وضوح بیشتری وجود دارد و می‌توان عیوب را به آسانی تشخیص داد. نقشه‌های سطح مربوط به دیواره لوله زبر، وضوح پایینی دارد و تشخیص عیب مشکل‌تر است. در مورد سطوح زبر، استفاده از پروفایلر نور با زاویه تصویر کوچک سبب می‌شود تفاوت در شدت منعکس شده از دیواره‌های سالم و معیوب لوله بزرگ‌تر شده و عیوب به راحتی شناسایی شوند. کاهش دادن ایریز اپرچر^۱ در لنز CCD، کنتراست تصویر را افزایش می‌دهد و عیوب راحت‌تر تشخیص داده می‌شوند [۸].

پیک‌های موجود در نمودار شکل ۵ مکان حفره‌ها را بر روی رینگ نور مشخص می‌کند. با توجه به نمودار، حفره‌ها در حوالی زاویه 155° نسبت به محور افقی رینگ نور، قرار دارند. از توزیع شدت متوالی در امتداد رینگ‌ها در حالی که ربات در امتداد لوله حرکت می‌کند، یک نقشه سطح کامل از دیواره لوله به دست می‌آید. رویه سطح دیواره داخلی لوله در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل محور Z بیان‌گر سطح شدت می‌باشد.

در نمودار رویه سطح به دست آمده، گام‌های یک درجه در امتداد رینگ نور و گام‌های 1 سانتی متر در جهت طولی لوله در نظر گرفته شده است. پیک‌های ناگهانی شدت در جهت طولی و شعاعی مکان نقص را مشخص می‌کند. هدف اصلی در اینجا شناسایی نقاطی است که دارای تغییر در سطوح شدت بالا هستند. لازم به ذکر است که لبه‌های حفره با استفاده از این روش مکان‌یابی خواهند می‌شود.

شکل ۶ نشان می‌دهد که عیوب در زاویه 155° از محور افقی لوله و در فواصل 10، 14، 18 و 22 cm از موقعیت اصلی سیستم نوری وجود دارند. با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که در مکان‌هایی که در آن عیوب حفره‌ای رخ می‌دهد، شدت در تصویر دوربین تغییر می‌کند. عیوب می‌توانند سطوح روشن یا تاریک از شدت را تولید کنند. عیوب کوچک معمولاً شدت در تصویر دوربین را افزایش می‌دهد، در حالی که عیوب سطحی بزرگ، باعث افزایش و کاهش شدت می‌شوند، یعنی در لبه‌های عیب،

Archive of SID



شکل ۶- رویه سطح مربوط به دیواره داخلی لوله

شناسایی نمی‌شوند، با این روش تشخیص داده می‌شوند. علاوه بر این، از آنجایی که مشخصات هندسی مخروط نور برای یک پروفایلر معین ثابت است، مکان سطح تحت بررسی نسبت به موقعیت اصلی سیستم نوری تعیین می‌شود، در نتیجه امکان شناسایی و مکان‌یابی ناپیوستگی‌ها وجود دارد. در این روش هیچ نیازی به یک سطح مرجع^۱ شدت یا نورپردازی نیست. روش پیشنهاد شده در اینجا به آسانی می‌تواند با سیستم‌های دوربینی موجود به کار گرفته شود. با توجه به اینکه در داخل لوله قابلیت دید وجود ندارد، استفاده از دیود لیزری به عنوان منبع نوری باعث افزایش کیفیت تصاویر به دست آمده می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک سیستم بازرسی مبتنی بر لیزر جدید برای بازرسی لوله ارائه شده است. این روش بر اساس تصویر کردن رینگ نور لیزری بر روی دیواره‌های داخلی لوله استوار است. مکان حفره‌ها و عیوب در سطح داخلی لوله‌ها با آنالیز کردن شدت نور مربوط به رینگ‌های تصویر شده به دست می‌آید. تست‌ها در لوله فولادی به قطر داخلی ۶ اینچ اجرا شد. حفره‌هایی با قطرهای ۲ تا ۵ mm در دیواره داخلی لوله به منظور شبیه‌سازی عیوب خوردگی ایجاد گردید. مشاهده می‌شود که در مکان ناپیوستگی‌ها نظیر حفره‌ها، شدت رینگ تصویر شده به میزان قابل ملاحظه‌ای

روش پیشنهاد شده در اینجا حساسیت چنانی به رفتار بی‌ثبات ربات در داخل لوله ندارد. در حالت ایده‌آل ولی غیرممکن که دوربین و لیزر روی مکان یکسانی منطبق هستند، تصویر رینگ نور برای هر موقعیت سیستم نوری نسبت به مرکز لوله ثابت خواهد بود. در آزمایش فعلی دوربین و لیزر تا حد ممکن نزدیک به یکدیگرند تا اثرات ناهم‌ترازی حداقل گردد. این روش سریع و کم هزینه بوده و به دلیل اتوماتیک بودن فرآیند، در معرض خطاهای انسانی قرار ندارد. از آن جایی که تشخیص عیوب در این روش به صورت نرم افزاری صورت می‌گیرد، زمان مورد نیاز برای بازرسی لوله به تعداد عیوب بستگی ندارد. بنابراین، در روش پیشنهاد شده در زمان و هزینه مورد نیاز برای بازرسی لوله صرفه جویی می‌گردد. از آنجایی که در سیستم دوربین - لیزر پیشنهاد شده، از ربات تطبیق‌پذیر با قطر استفاده می‌شود، از این سیستم می‌توان برای بازرسی لوله‌هایی با قطر بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر از قطر لوله به کار برده شده در تست، استفاده کرد. مزایای دیگر این سیستم شامل سادگی و جمع و جور بودن سیستم نوری است و برای تولید رینگ نور لیزر هیچ نیازی به مکانیسم‌های چرخان ندارد.

سیستم نوری پیشنهاد شده در مقایسه با روش CCTV متداول^۱ در آن تفهیم کردن تصاویر اغلب دشوار است، مزایای زیر را دارد: ناپیوستگی‌ها و حفره‌ها می‌توانند شناسایی شوند. عیوب کوچکی که با روش CCTV متداول

بهبود عملکرد سیستم استفاده شود، مخصوصاً در حالتی که مقداری سیال در لوله وجود دارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت ملی گاز ایران به خاطر حمایت مالی این پروژه قدردانی می‌کنند.

تغییر می‌کند. پروفایلر لیزر و نیز روش تشخیص عیب پیشنهاد شده به آسانی می‌تواند با سیستم‌های CCTV موجود ترکیب شده و عملکرد آنها را مخصوصاً تحت شرایط قابلیت دید پایین، بهبود بخشد. در این روش هیچ نیازی به سطح شدت یا نورپردازی مرجع نیست. ترکیب این سنسور با سنسور اولتراسونیک می‌تواند به منظور

مراجع

- [1]. H. Roth and K. Schilling, *Navigation and control for pipe inspection and repair robots*, in Proc. Of IFAC World Congress, 1999.
- [2]. Manuals R. and Reports Fd-6, *Existing sewer evaluation and rehabilitation*, No: 62, American Society of Civil Engineers, Reston, 1994.
- [3]. Duran O. , Althoefer K., and Seneviratne L. D., "State of the art in sensor technologies for sewer inspection", IEEE Sensors J., Vol. 2, pp. 73–81, 2002.
- [4]. Kuntze H-B., Schmitd D., Haffner H., and Loh M., *A flexible robot for smart sensor-based sewer inspection*, in Proc. Of International NoDig'95 Conference, Dresden, 1995.
- [5]. Henry R. and Luxmoore A. R., "A pipe-profiling adapter for cctv inspection cameras : development of a pipe-profiling instrument," Measurement Science and Technology, Vol. 7, pp. 495-504, 1996.
- [6]. Klingajay M., and Jitson T., *Real-time laser monitoring based on pipe detective operation*, World Academy of Science, Engineering and Technology 42, 2008.
- [7]. Gonzalez R. C., *Digital image processing*, Reading, MA: Addison Wesley, 1987.
- [8]. Duran O., Student Member, IEEE, Kaspar Althoefer, Member, IEEE, and Lakmal D.seneviratne "Pipe inspection using a laser-based transducer and automated analysis techniques" IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 8, No. 3, September 2003.