نشت‌یابی لوله‌های نفت و گاز به‌کمک آشکارسازهای آکوستیکی

علی محمد احمدی[۱]، احمد امجدی[۲]، علیرضا بهرامپور[۲]

تهران، خیابان ازادی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکد فیزیک، آزمایشگاه آکوستیک

آدرس پست الکترونیک نویسنده اول (ahmadi@physics.sharif.ir)

۱- چکیده

مکان‌یابی به‌موقع نشتی در لوله‌های انتقال نفت و گاز در حین کار، در حفظ منابع و ایمنی ابزار و محیط زیست، اهمیت بسیار بالایی را دارست. محل نشت، منبع تولید مداوم امواج اکوستیکی است. با تجزیه و تحلیل این امواج آکوستیکی، به‌روش-های مختلفی می‌توان مکان نشت را آشکار نمود. از جمله این روش‌ها محاسبه زمان تاخیر موج اکوستیکی حاصل از نشت در لوله، نسبت به دو میکروفون نصب شده در دو مکان متفاوت، می باشد. با محاسبه این زمان تاخیر و لحاظ نمودن سرعت صوت در محیط انتشار امواج ،مکان نشت قابل محاسبه است. بدین منظور ابتدا در آزمایشگاه به طراحی سیستم نشتی شامل یک لوله ۳ متری که در نزدیک دو انتهای آن دو عدد میکروفن، نصب شده، پرداختیم. و با ایجاد روزنه در مکان‌های مختلف لوله پر شده از گازهای متفاوت در فشارهای مختلف، آزمایش به‌عمل آمد. در نتیجه برهمکنش امواج منتشر شده از محل نشت با دو میکروفن، دو سری زمانی که یکی تاخیر یافته دیگری است، خواهیم داشت. برای محاسبه این تاخیر زمانی علاوه بر روش همستگی از چندین روش دیگر نیز استفاده و نتایج مقایسه گردید. افزایش دقت مکان‌یابی، به میزان حذف نویزهای محیطی و تقویت سیگنال نشتی بستگی زیادی دارد. در این مقاله، با تجزیه و تحلیل نتایج دو روش ارجح برای کاهش نویز ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: نشت‌یابی غیر مخرب، روش نشر اکوستیکی، تخمین زمان تاخیر، تقویت سیگنال به نویز

۱- دانشجوی دکتری فیزیک دانشگاه شریف

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

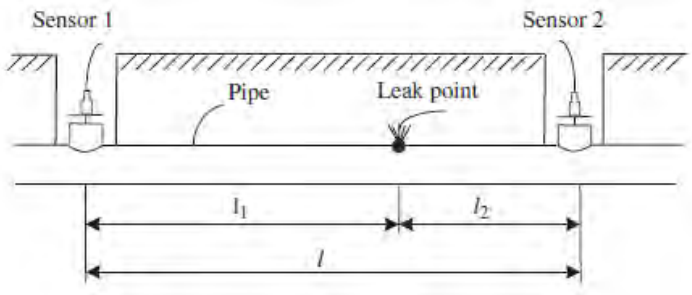
۱- مقدمه

نیاز به منابع مادی زمین، ما را به انتقال مواد ضروری از سرچشمه‌های اصلی این مواد تا محل مصرف آن، وادار نموده است. منابع مایع و گاز به خوبی، با کنترل اختلاف فشار توسط لوله‌های انتقال، قابل هدایت هستند. امروزه میلیاردها کیلومتر خط انتقال لوله در جهان نقش انتقال منابع آب. نفت و گاز را به عهده دارند. لوله های انتقال و مخازن با گذر زمان با پدیده فرسودگی و توسط مواد خورنده یا سیالات ساینده با پدیده خوردگی رو برو هستند. نشتی عوامل محیطی دیگر نیز مانند سرما، یخبندان، گرما در بروز نشتی موثرند. برای جلوگیری از تداوم نشت که هزینه‌های اقتصادی و مخاطرات زیست محیطی متعددی، در بر دارد، نشت یابی و رفع به‌موقع آن ، کار بسیار لازم و حساسی می باشد. علاوه بر اینکه از هدر رفتن بخشی از محصولات و یا مواد اولیه جلوگیری می‌کند،آلودگی‌های زیست محیطی که با ایجاد مسمومیت در انسان و دیگر موجودات زنده، انفجار، افزایش هزینه‌های تعمیر و تعویض خط لوله افزایش اتلاف وقت و جرایم احتمالی قانونی همراه هستند، نیز، ما را نجات می‌دهد.

امروزه سیستم های نشت یابی بسیار متنوعی ارائه شده است که هر کدام با استفاده از تکنیکی خاص سعی در یافتن دقیق و سریع این پدیده دارند. بسیاری از این سیستم ها بسیار ساده و برخی هم سیستم های پیچیده ای هستند. اما هنوز هیچ کدام از این سیستم ها نتوانسته اند به طور کامل همه ی انتظارات را برآورده کنند. این سیستم ها عبارتند از :مشاهده ی اثراتی که مواد شیمیایی درپیرامون خود دارند یا سیستم هایی که با اضافه کردن مواد معطر کار نشت یابی راانجام می دهند یا سیستم های موازنه ی جریان، سیستم های صوتی، نصب سنسورهای پیزو الکتریک، سیستم های نمایش بخار، سیستم های نمایش کابلی، سیستم های لوله کشی دو جداره و ... اما هیچ کدام از روش های فوق نمی توانند به صورت کاملاً دقیق ودر ادامه برخی از مشخصات الگوی مدل هایی که برای نشت یابی لوله ارائه می شود، عموما بر پایه میرایی و تضعیف فشار و خصوصیات شیمیایی و دمای و غیره گاز درون لوله می‌باشند که با روش‌هایی نظیر عکس برداری با لیزر و روش شار مغناطیسی و روش تحلیل موج آلتراسونیک و روش تابع پاسخ مشخصه و شار مغناطیسی و .. است. سنسورهای فیبر نوری هم به این مهم بسیار کاربردی بوده اند.

۲- مدل محاسبه تاخیر زمانی جهت نشت یابی

اساس سیستم‌های نشت‌یابی آکوستیکی، بر انتشار امواج آکوستیکی از محل نشت، طبق حرکت موج در محیط‌های خطی می‌باشد. از آنجایی که سیگنال نشتی تک فرکانس نیست بلکه یک سیگنال پیوسته با پهنای باند وسیعی است(که بیشتر انرژی آن در فرکانس‌های پایین از تر دو کیلو هرتز توزیع شده است، باید تغییر فاز در هر فرکانس در اثر نشر، مطابق با سرعت حرکت در آن بسامد بوده و هرگز در اثر نشر فرکانسی به فرکانس‌های دیگر تبدیل نشود. و از آنجایی که در محدوده کار ما سرعت نشر، مستقل از بسامد می‌باشد، می‌توانیم فرض نماییم که موج رسیده به دو سنسور آکوستیکی(میکروفن‌هایَA,B) تاخیر یافته موج نشتی تولید شده در محل نشت بوده و مقدار این تاخیر فقط متناسب با فاصله نشتی تا آشکارسازهاست(شکل۱.). البته همواره نویزهای محیطی در اثر عواملی نظیر..وجود دارد.



شکل ۱. مدلی ساده از روش نشت‌یابی آکوستیکی

هم سطح لوله و هم سیال داخل لوله می‌تواند نقش موجبر را ایفا نماید. که البته سرعت صوت در جامدات چندین برابر سرعت صوت در مایعات بوده واز طرفی به‌علت میرایی کمتر، برد آن نیز بیشتر می‌باشد l_1 فاصله ی محل نشتی تا سنسور۱وفاصله ی بین دو سنسور l می‌باشد برای محاسبه l_1طبق فرمول زیر رفتار می‌نماییم.

$$l_1 = l/2 - V \times DeleyTime/2 = (l - V \times \tau / Fs)/2 \quad (1$$

در رابطه داده شده Fs نرخ نمونه برداری است و V سرعت انتشار امواج است.

۳- روش‌های محاسبه تاخیر زمانی

روش‌های بسیار متنوعی جهت محاسبه تاخیر زمانی لحظه رسیدن سیگنال نشتی به دو آشکارساز آکوستیکی، وجود دارد .با توجه به منفی و مثبت شدن داده‌های دو میکروفن و با در نظر گرفتن اختلاف فازی که امواج نشت رسیده به دو میکروفن دارند، هر عملیات نظیر جمع و یا ضرب این داده‌ها با شیفت خاصی که دقیقا برابر اختلاف زمان رسیدن امواج به دو میکروفن است، به‌ازای آن زمان بیشینه میشود. روش همبستگی بر مبای ضرب داده‌هاست.

(2

$$R(\tau) = \sum_t X(t) Y(t+\tau)$$

$X(t)$ و $Y(t+\tau)$ اطلاعات زمانی دو میکروفن می باشد و بدیهی است که در این رابطه برای میکروفن دورتر تاخیر τ را لحاظ می‌کنیم. با تقسیم ماکزیمم تابع همبستگی بر نرخ نمونه‌برداری، تاخیر زمانی بر حسب ثانیه بدست می‌آید. که با ضرب نمودن آن در سرعت ا نتشار به محاسبه مکان نشت قادر خواهیم شد. همچنین اگر این دو سری زمانی را با هم جمع نماییم، مطابق این فرمول جمع نماییم به‌ازای تاخیر زمانی بهینه اندازه آن ماکزیمم می‌شود.

(3

$$S(\tau) = \sum_t \left(X(t) + Y(t+\tau)\right)^2$$

۴- روش‌های مختلف کاهش نویز

از آنجایی که اساس روش مکان‌یابی با محاسبه تاخیر زمانی، بر نشر اطلاعات از چشمه موج بنا شده است، هر نوع عامل دیگر تحریک که ناشی از نویزهای محیطی بوده، می‌تواند باعث خطا در محل ماکزیمم تابع همبستگی شود و به همین دلیل مکان‌یابی دقیق وابسته به میزان حذف نویزهای محیطی و حفظ سیگنالهای نشتی می‌باشد. در واقع با تقویت سیگنال به نویز

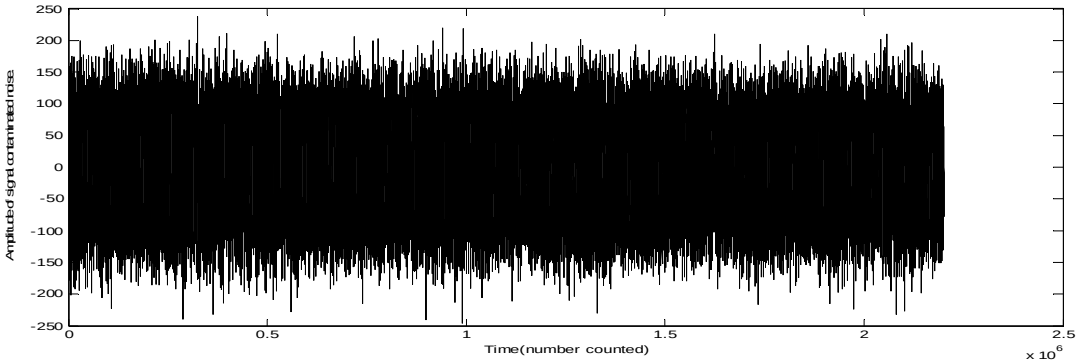
در این مقاله به دو روش مختلف کاهش نویز انجام شد. این روش نیز بر روی طیف سیگنال و بصورت فریم به فریم عمل می کند. در این روش سیگنال آلوده $y(n)$ را مرتبا و بطور بازگشتی از فیلتر وینر عبور می دهیم و در واقع هر مرتبه یک گام به سیگنال تمیز نزدیکتر می شویم. در این روش فیلتر وینر یک تخمین با حداقل خطای میانگین مربعی (MMSE) از سیگنال تمیز ارایه می دهد. در این روش ما نیاز داریم که از قبل اطلاعاتی در مورد سیگنال و نویز داشته باشیم، همچنین باید توانایی دنبال کردن تغییرات مشخصات نویز و سیگنال را داشته باشیم. در روش تک کاناله که تنها یک میکروفن داریم اطلاعات نویز از نواحی سکوت بدست می آید و برای بدست آوردن و تخمین سیگنال تمیز از اطلاعات سیگنال آلوده استفاده می کنیم.

۵- ازمایش‌ها و نتایج

این پروژه شامل طراحی و ساخت یک ست آپ آزمایشگاهی است که کل دستگاه در آزمایشگاه آکوستیک در دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف مستقر است. ست آپ شامل یک لوله فلزی به طول ۳ متر و قطر ۲.۵ سانتی متر، دو سنسور آکوستیکی (میکروفن عدسی) و کپسول گاز است. شکل (۳-۱) در انتهای لوله به همراه عایق های صوتی نصب می شود، تا در حد امکان و قسمت اعظمی از موج آکوستیکی دیواره لوله حذف و موج سیال داخل لوله آشکار شود. گاز داخل لوله نقش یک موجبر را ایفا می کند که در شکل ۲ ترسیم شده است.

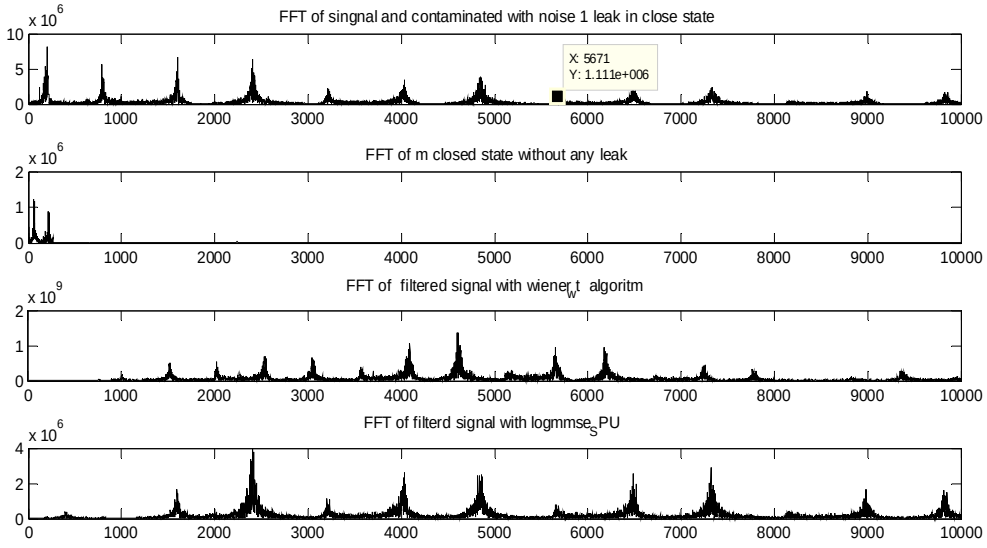
شکل ۲. دستگاه شبیه ساز نشت یاب آکوستیکی

کپسول گاز به لوله متصل است و دو سر لوله کاملا بسته شده اند و سنسورها در دو سر لوله قرار دارند. با باز و بسته کردن شیر کپسول، مقداری گاز در فضای لوله و در فشار ۳.۵ اتمسفر محبوس می شود. در این زمان با ایجاد نشتی در یک نقطه از لوله، گاز موجود در آن تخلیه می شود و در اثر عبور گاز از سوراخ نشتی، سیگنال آکوستیکی تولید می شود که به سنسورها می رسد.



شکل ۳. سیگنال و نویز نشتی بر حسب زمان

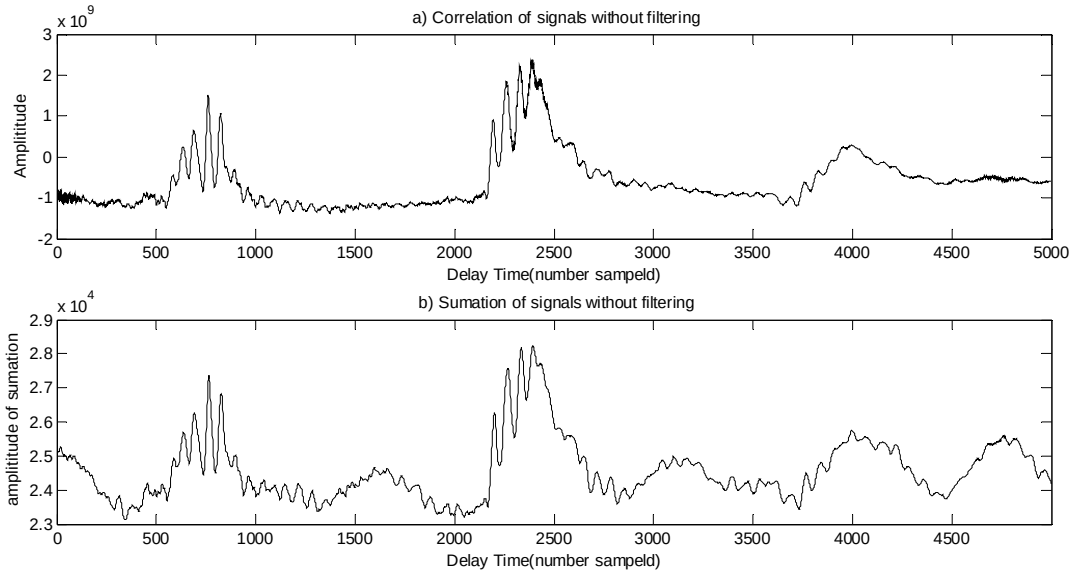
در شکل تبدیل فوریه اطلاعات بعد از فیلترشدن بدست آمده است. که مشاهده می‌شود، شدت نویز یکدهم سیگنال است اما سیستم مانند یک لوله صوتی عمل نموده و باعث شده است که طیف نویز سفید نباشد و فرکانس‌های خاصی شدت بالاتری داشته باشند و این یعنی نویزها هم همبسته هستند



شکل۴. اثر فیلترهای مختلف بر طیف فوریه نویزها

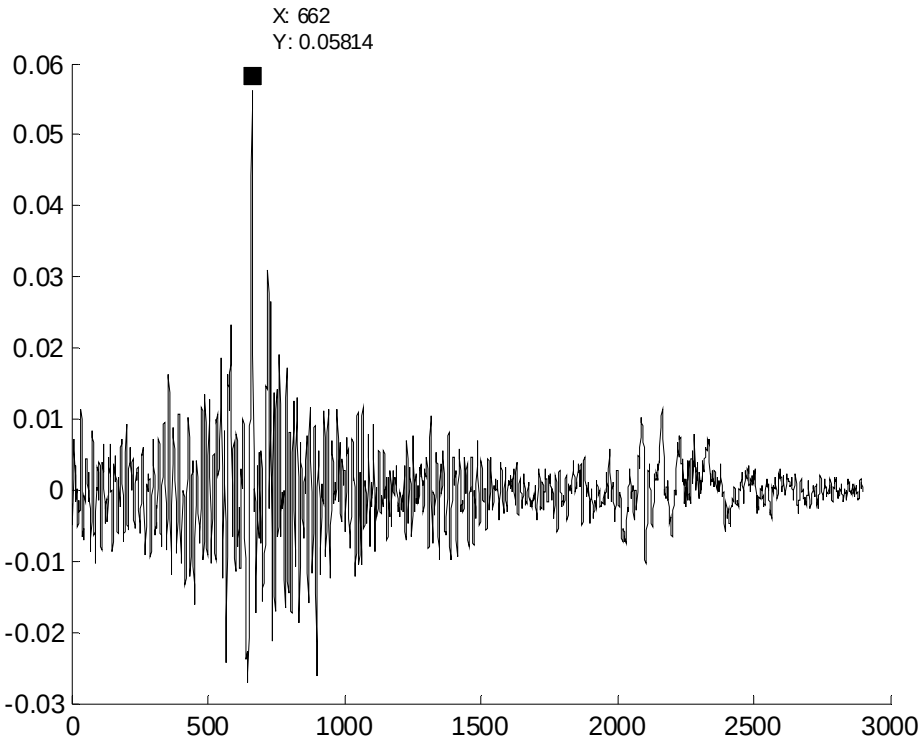
۵- نتایج محاسبه تاخیر زمانی به دو روش همبستگی و برهمنهی

در این قسمت روابط بخش ۳ توضیح داده شده را بر روی داده‌های تجربی انجام دادیم، که نتایج بدین صورت است. همانطور که می دانیم نتایج دو روش بسیار به هم نزدیک هستند، فقط اختلاف‌های جزئی مشاهده می‌شود.

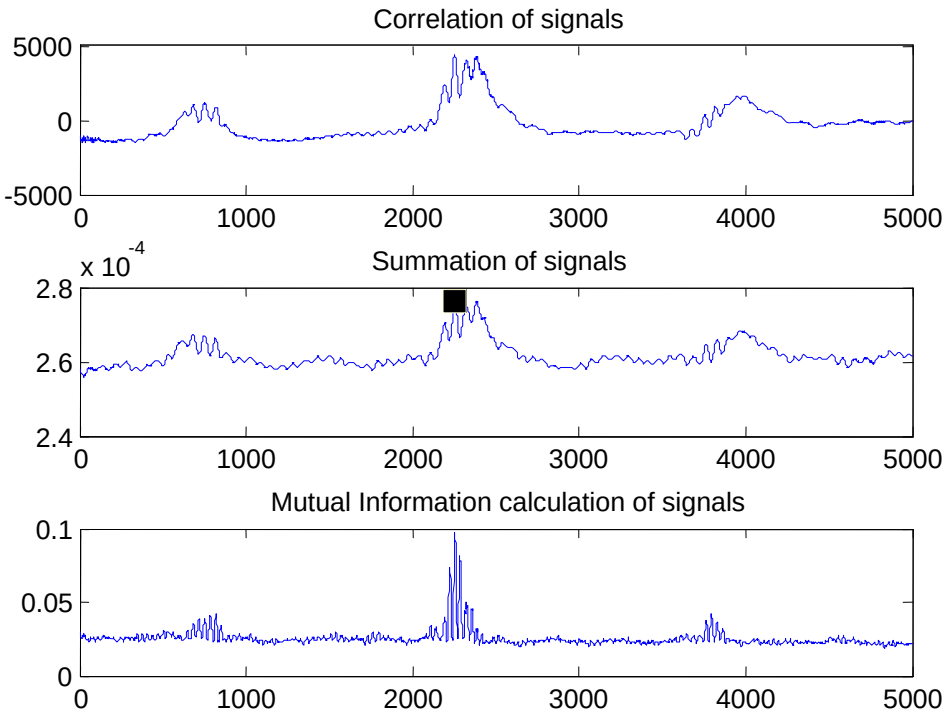


شکل۵.روش مختلف محاسبه زمان تاخیر دو موج

در این شکل دو روش مختلف محاسبه زمان تاخیر دو موج ارائه شده است که از روی نقطه ماکزیمم و فرمول ۱ مکان نشت محاسبه می‌شود. که نتایج در جدول آمده است.



شکل۶ . اثر فیلتر ویلت db3 بر تفکیک پذیری نقطه ماکزیمم.



۶.مقاسیه روش‌های همبستگی و جمع المانها و اطلاعات دوگانه

۱- نتایج نهایی محاسبه مکان نشتی بعد از اعمال فیلترهای مختلف

نتایج و اطلاعات نشت یابی در جدول زیر آمده است.

جدول ۱. نتایج و اطلاعات نشت‌یابی به روش‌های مختلف

Kind	Lengh	Lengthl2l1	Lengthl2l3	Spead l1,l2	Speadl2,l3	L3	L2	L1
wiener_as	1.4492	1.4688	1.2576	375.0100	321.0997	3993	2247	752
Wiener_wt	1.4492	1.4688	1.2576	375.0100	321.0997	3993	2247	752
Mmse	1.4415	1.4571	1.2510	374.0093	321.0997	3993	2247	748
logmmse_SPU	1.4415	1.4571	1.2510	374.0093	321.0997	3993	2247	748
logmmse	1.4492	1.4688	1.2576	375.0100	321.0997	3993	2247	752
Audionoise	1.4415	1.4571	1.2878	374.0093	330.5660	3993	2247	748
Frequency intensety filted		3.0344	1.4818	372.2709	355.2852	4649	3071	1565
M close 1 leak	1.4492	1.4688	1.2576	375.0100	321.0997	3993	2247	752

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج اراده شده در جدول ما میتوانیم با دقت ۲۰ سانتی متر مکان نشت را در لوله ۳ متری تعیین کنیم که اساسا این روش با توجه به اینکه به طور آنلاین قادر به این امر است از اهمیت ویژه ای برخوردارست. روش اطلاعات دوگانه در مقایسه با دو روش دیگر از دقت تفکیک پذیری بلاتری برخوردار است. نتایج فیلتر تاثیر فیلتر موجک و فیلتر وینر را نشان می‌دهد.

مراجع

1]. H. Prashanth Reddy[a],Leak detection in gas pipeline networks using an efficient state estimator. Part II, Computers and Chemical Engineering 35 (2011) 662–670

2] Lingya Meng,,Experimental study on leak detection and location for gas pipeline based on acoustic method, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 25 (2011) 90e102
specialized sensors that can detect trace concentrations of specific hydrocarbon compounds

3] Jinqiu Hu*, Laibin Zhan, Detection of small leakage from long transportation pipeline with complex noise, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 24 (2011) 449e457

4] Zhao Yang*,A new method of leak location for the natural gas pipeline based on wavelet analysis, Energy 35 (2010) 3814e3820

5] Majid Ahadi,Leak detection in water-filled plastic pipes through the application of tuned wavelet transforms to Acoustic Emission signals