مقاله

تشخیص خوردگی در کف مخازن نفتی با استفاده از امواج آکوستیـــک امیشن

احسان هدائی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک
دانشگاه آزاد، واحد تهران جنوب
ehodaei@gmail.com

مهرداد جوادی*
استادیار گروه مهندسی مکاترونیک
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
mjavadi@azad.ac.ir

علی برومندنیا
استادیار گروه مهندسی مکاترونیک
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
broumandnia@azad.ac.ir

حامد صادقی
دانشجوی دکتری
شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران
hamed.sadeghi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۳۰

چکیده

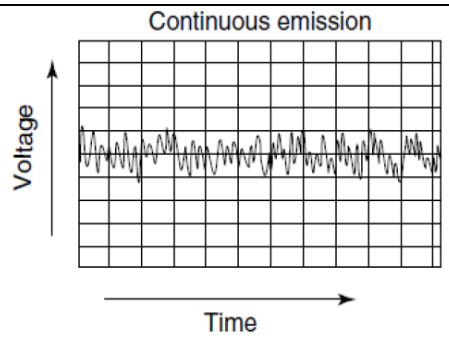
در این مقاله میزان و محل خوردگی در کف یک مخزن نفتی بررسی شده است. چون پایش کف یک مخزن نفتی از سایر قسمت‌های آن دشوارتر است، این مقاله بر این قسمت تمرکز کرده است. با قراردادن تعدادی حسگر پیرامون یک مخزن مملو از فرآورده‌های نفتی، داده‌های آکوستیک امیشن جمع‌آوری شده است. روش به‌کار رفته جهت مکان‌یابی نقاط خوردگی روش مثلثی می‌باشد. با استفاده از نتایج آزمون آکوستیک امیشن، وجود خوردگی در برخی از صفحات موجود در کف این مخزن مشهود است. مقایسهٔ نتایج حاصل با سایر روش‌های غیرمخرب ازمون مخزن، حاکی از همخوانی خوب ازمون آکوستیک امیشن در مخزن مورد مطالعه می‌باشد.

واژگان کلیدی: کف مخازن نفتی، آکوستیک امیشن، خوردگی، مکان‌یابی

۱. مقدمه

زلزله زمانی اتفاق می‌افتد که انرژی ذخیره‌شده در پوستهٔ زمین ناگهان به‌صورت یک انرژی الاستیک آزاد می‌شود. این انرژی آزادشده از منبع زلزله، خود را به‌صورت لرزش در سطح زمین نشان می‌دهد. به‌طور مشابه، مواد تشکیل‌دهنده یک سازه زمانی که در زیر بار قرار می‌گیرند باعث آزادسازی انرژی الاستیک در مقیاسی متفاوت می‌شوند که به آن پدیدهٔ آکوستیک امیشن گفته می‌شود [۱]. در واقع امواج آکوستیک امیشن امواجی ناشی از تنش هستند که به‌خاطر تغییر شکل ماده به‌وجود می‌آیند. از منابع متداول امواج آکوستیک امیشن در مواد می‌توان به رشد ترک، در هم ریختگی ماده، سایش سطوحی که با هم تماس دارند، نشتی و خوردگی اشاره کرد. به‌طور کلی می‌توان امواج آکوستیک امیشن را به دو نوع انفجاری و پیوسته طبقه بندی کرد: امواج انفجاری و امواج پیوسته.

امواج انفجاری یک توصیف کیفی از سیگنال‌های منتشر شده می‌باشد و به‌صورت یک سیگنال مستقل که از یک واقعهٔ آکوستیک امیشن مستقل به‌وجود می‌آید مشاهده می‌شود و گاهی ممکن است این سیگنال در زمینه‌ای از سیگنال‌های پیوسته و یا نویزها باشد (شکل ۱). حال آنکه اگر نرخ وقوع زیاد باشد، سیگنال‌های انفجاری مستقل با هم ترکیب شده، به‌صورت پیوسته درمی‌آیند (شکل ۲) [۲].

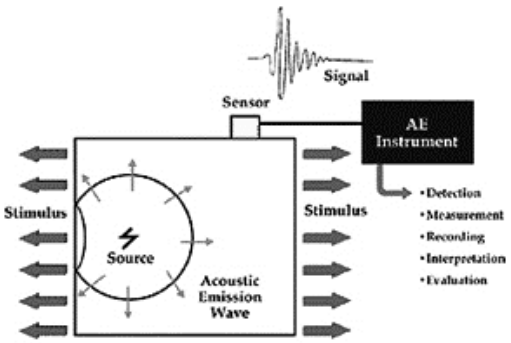


شکل ۱. سیگنال آکوستیک امیشن نوع انفجاری [۵]

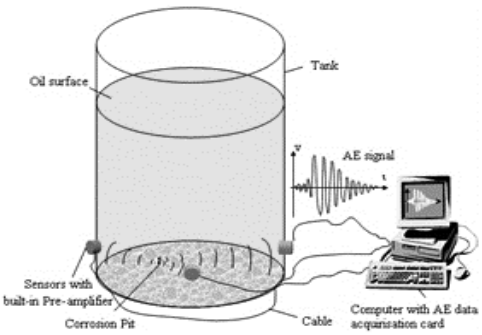
شکل ۲. سیگنال آکوستیک امیشن نوع پیوسته [۵]

براساس اینکه سیگنال آکوستیک امیشن از نوع انفجاری باشد یا پیوسته، می‌توان به نوع عیبی که در جسم ایجاد می‌شود پی‌برد. نوع انفجاری ناشی از رشد ترک و سایش سطح ترک می‌باشد، در حالی‌که نوع پیوسته از نشتی و تغییر شکل پلاستیک در ماده به‌وجود می‌آید [۳].

جهت پایش وضعیت انواع سازه‌ها، از جمله سازهٔ مخازن نفتی، می‌توان از این دو نوع سیگنال با استفاده از تجهیزات آکوستیک امیشن برای تشخیص خوردگی و یا نشتی استفاده کرد. تجهیزات آکوستیک امیشن مشتمل بر تعدادی حسگر است که بر سطح سازهٔ مورد آزمون نصب می‌شوند. یک تقویت‌کننده که سیگنال دریافتی از حسگرها را تقویت می‌کند. سیستم اکتساب داده و یک سیستم تشخیص الگو است که قادر به تشخیص سیگنال‌های آکوستیک امیشن از منابع مختلف و نویز می‌باشد (شکل ۳) [۴]. برای پایش وضعیت در یک مخزن مملو از فرآورده‌های نفتی، حسگرها پیرامون پوستهٔ بیرونی مخزن در فواصل مساوی نصب می‌شوند تا وقایع آکوستیک امیشن در کف مخزن را دریافت کنند. تعداد حسگرها تابعی از ظرفیت مخزن است؛ به‌گونه‌ای‌که برای مخازن با حجم ۲۰۰۰۰ متر مکعب بین ۸ تا ۱۲ حسگر و برای مخازن با ظرفیتی بین ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ متر مکعب بین ۵ تا ۸ حسگر لازم است [۷]. شکل ۴ نمای کلی یک مخزن نفتی به‌همراه حسگرهای آکوستیک امیشن و سیستم اکتساب داده مربوطه را نمایش می‌دهد.



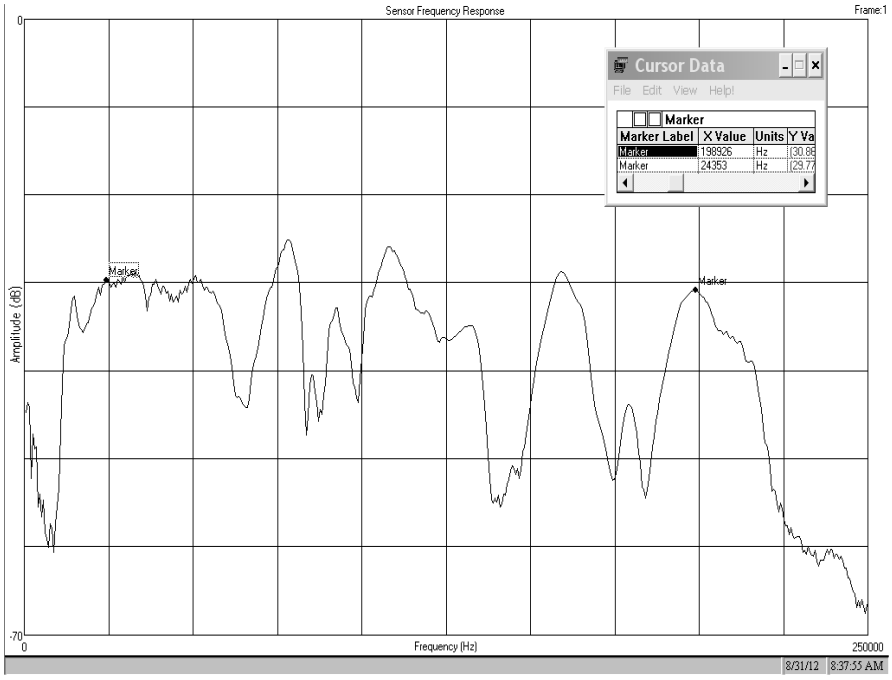
شکل ۳. سیستم پایش وضعیت آکوستیک امیشن [۶]



شکل ٤. نمایی از مخزن نفتی با تجهیزات آزمون آکوستیک امیشن [۸]

۲. مشخصات مخزن مورد آزمون

در این مقاله جهت آزمون آکوستیک امیشن یک مخزن که ۷۰ درصد از ارتفاع آن از گازوئیل پر شده بود، توسط امواج آکوستیک امیشن مورد بررسی قرار گرفت. این مخزن به‌شکل استوانه با قطر ۹/۱۴۴ متر، ارتفاع ۷/۶ متر و ظرفیت ۴۰۰۰ بشکه می‌باشد. سقف این مخزن از نوع ثابت است. جهت انجام آزمون ۵ حسگر پیرامون پوستهٔ بیرونی مخزن در فواصل مساوی و در ارتفاع ۱/۵ متری از زمین نصب شد. حسگر نصب‌شده با فرکانس رزونانس ۲۴ کیلوهرتز و با حساسیت ۱۲۰ دسی‌بل می‌باشد. از این جهت با فرکانس خوردگی در مخزن که بین ۲۵ تا ۳۰ کیلوهرتز می‌باشد موافقت دارد. محدودهٔ فرکانسی که این حسگر می‌تواند دریافت کند، بین ۱۱ تا ۲۵۰ کیلوهرتز می‌باشد. این حسگر دارای پیش‌تقویت‌کنندهٔ داخلی، فیلتر بالاگذر ۱۰ کیلوهرتز و از جنس فولاد ضدزنگ می‌باشد. بهرهٔ این حسگر ۴۰ دسی‌بل در حالت نامی است. شکل ۵ پاسخ فرکانسی این حسگر را نشان می‌دهد.



شکل ۵. پاسخ فرکانسی حسگر به‌کار رفته در آزمون مخزن (متعلق به شرکت کی. آر. آن. سرویسز[۱])

اکتساب داده در این آزمون با استفاده از دستگاه MICRO-SAMOS-32 II انجام شده است. این دستگاه یک سیستم اکتساب دادهٔ ۳۲ کاناله است که مجهز به یک کامپیوتر، ماوس، صفحه کلید و نمایشگر می‌باشد (شکل۶).

۳. روش مثلثی برای مکان‌یابی نقاط خوردگی

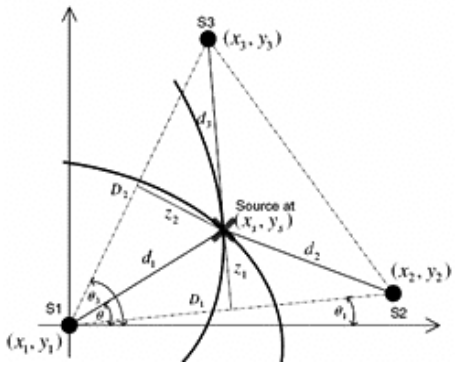
روش مثلثی یا روش زمان ورود یک روش متداول در تعیین مکان منبع امواج آکوستیک امیشن می‌باشد. در این روش تعدادی حسگر در سازهٔ مورد نظر قرار داده می‌شود و مکان واقعی منبع موج با مقایسه زمان ورود سیگنال‌ها به حسگرها تعیین می‌شود. مطابق شکل ۷ جهت مکان‌یابی دوبعدی با سه حسگر می‌توان فاصلهٔ بین منبع و حسگرهای S_1 و S_2 را از راوابط ۱ و ۲ به‌دست آورد:

$$d_{11}=\frac{D_1^2-\sigma_1^2}{2\left(\sigma_1+D_1\cos(\theta-\theta_1)\right)} \qquad (۱)$$

$$d_{12}=\frac{D_2^2-\sigma_2^2}{2\left(\sigma_2+D_2\cos(\theta_3-\theta)\right)} \qquad (۲)$$

شکل ٦. دستگاه MICRO-II SAMOS-32
جهت اکتساب داده‌های آکوستیک امیشن

به‌طوری‌که در این روابط D_1 و D_2 به‌ترتیب فواصل بین جفت حسگرهای S1-S2 و S1-S3 می‌باشند. مقادیر θ نیز معرف زوایا مطابق شکل ۷ می‌باشد.



شکل ۷. مکان‌یابی دوبعدی با استفاده از روش زمان‌های ورود [۹]

همچنین در این روابط مقادیر σ_1 و σ_2 از روابط ۳ و ۴ حاصل می‌شوند:

$$\sigma_1 = d_2 - d_1 = c(t_2 - t_1) \qquad (۴)$$

$$\sigma_2 = d_3 - d_1 = c(t_3 - t_1) \qquad (۵)$$

به‌طوری‌که در این روابط c سرعت انتشار موج آکوستیک امیشن در مادهٔ مورد آزمون؛ t_1 ، t_2 و t_3 به‌ترتیب زمان‌های ورود امواج به حسگرهای S_1 ، S_2 و S_3 می‌باشند. Δt_1 و Δt_2 اختلاف زمانی را نشان می‌دهند.

مکان منبع سیگنال آکوستیک امیشن از روابط ۵ و ۶ به‌دست می‌آید:

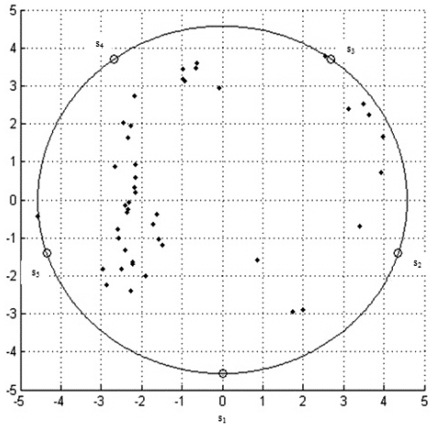
$$x_{S1} = x_1 + d_{11}\cos\theta \qquad (۵)$$
$$y_{S1} = y_1 + d_{11}\sin\theta$$

$$x_{S2} = x_1 + d_{12}\cos\theta \qquad (۶)$$
$$y_{S2} = y_1 + d_{12}\sin\theta$$

همان‌طور که از روابط ۵ و ۶ مشهود است، مکان منبع به اولین حسگر دریافت‌کننده مربوط است. مکان بهینه را می‌توان با تغییر θ از این روابط تعیین کرد [۹].

۴. نتیجهٔ حاصل ازبازرسی آکوستیک امیشن مخزن

مخزن مورد آزمون به‌مدت یک ساعت تحت آزمون آکوستیک امیشن قرار گرفت. داده‌های جمع‌آوری شده تعیین‌کنندهٔ نقاط خوردگی واقعی در کف مخزن است. به این ترتیب که وجود خوردگی یا نشتی سیگنال آکوستیک امیشن به‌وجود می‌آورد و این سیگنال در طی این زمان توسط حسگرهای ۱ تا ۵ دریافت می‌شود. هرچه شدت خوردگی بیشتر باشد، روند تولید این امواج سریع‌تر بوده، متعاقباً این حسگرها داده‌های بیشتری را در دورهٔ زمانی آزمون ثبت می‌کنند. همچنین هرچه انرژی و دامنهٔ سیگنال تولیدی بیشتر باشد، تعداد حسگرهای دریافت‌کنندهٔ رخداد بیشتر خواهد بود، بنابراین عملیات مکان‌یابی به‌روش مثلثی، که حداقل به سه حسگر جهت تخمین مکان منبع آکوستیک امیشن نیاز دارد، دقیق‌تر خواهد بود (شکل۷).



شکل ۸ نتیجهٔ حاصل از آزمون آکوستیک امیشن مخزن در مدت یک ساعت

شکل ۸ نتایج حاصل از آزمون یک‌ساعتهٔ آکوستیک امیشن را نشان می‌دهد. در این شکل دایرهٔ بزرگ بیانگر کف مخزن از نمای بالا می‌باشد. پنج دایرهٔ کوچک روی این دایره حسگرهای ۱ تا ۵ را نشان می‌دهند. نقاط مشکی نشان‌دهندهٔ خوردگی می‌باشند. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود، ناحیهٔ بین حسگرهای ۴ و ۵ دارای بیشترین میزان خوردگی است. وضعیت کف مخازن می‌توانند براساس مشخصه‌های منبع آکوستیک امیشن، رخدادهای آکوستیک امیشن، تعداد و نرخ انرژی آزادشده از سیگنال‌های آکوستیک امیشن ارزیابی شوند. سطح خوردگی کف مخزن می‌تواند در پنج کلاس A، B، C، D و E همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، طبقه‌بندی شود.

جدول ۱. ارزیابی وضعیت خوردگی در کف مخازن [۱۰]

پنج	چهار	سه	دو	یک	درجه
E	D	C	B	A	خوردگی
E	E	D	C	B	ترک
E	E	E	E	E	نشتی

این کلاس‌ها شاخصی مهم برای میزان خوردگی، ترک یا نشتی است و می‌توان آنها را به این ترتیب تفسیر کرد:

کلاس A: خوردگی در کف مخزن ناچیز و وضعیت مخزن بسیار خوب است. توصیه می‌شود مخزن بعد از پنج سال مجدداً توسط آزمون آکوستیک امیشن بررسی شود.

کلاس B: عیب خوردگی و رشد ترک کم و وضعیت مخزن خوب است. توصیه می‌شود مخزن مجدداً بعد از سه سال توسط آزمون آکوستیک امیشن بررسی شود.

کلاس C: وضعیت مخزن خیلی خوب نیست. عملیات تعمیر باید زود انجام شود (در کمتر از یک سال).

کلاس D: عیب در کف مخزن فعال و وضعیت مخزن بد است. عملیات تعمیر باید در کمتر از ۶ ماه انجام شود.

کلاس E: عیب در کف مخزن در فرایند دینامیکی بالایی است. نشتی به‌وجود آمده است. مخزن باید به‌سرعت از سرویس خارج و تعمیر آغاز شود [۱۰].

جدول ۲ اقدامات لازم با توجه به طبقهٔ مخزن را پس از آزمون آکوستیک امیشن به نسبت قواعد زمانی معین نشان می‌دهد.

جدول ۲. طبقه‌بندی خوردگی در کف
با استفاده از روش آکوستیک امیشن [۸]

کار لازم	قاعدهٔ زمانی	اقدام	فعالیت	طبقه (کلاس)
	پنج سال	آزمون مجدد	بسیار کم	A
	سه سال	آزمون مجدد	کم	B
	کمتر از یک سال	آزمون مجدد	متوسط	C
بازرسی داخلی	کمتر از شش ماه	تخلیه	زیاد	D
بازرسی داخلی	به سرعت	تخلیه	بسیار زیاد	E

آنالیز داده‌های آکوستیک امیشن حاصل از آزمون یک‌ساعتهٔ مخزن سیگنال‌های نوع پیوسته را نشان نمی‌دهد پس می‌توان نتیجه گرفت که مخزن مورد آزمون نشتی ندارد. با توجه به جدول ۱ این مخزن در کلاس B قرار می‌گیرد؛ زیرا اگرچه با توجه به نتیجه حاصله در شکل ۸ نقاطی از مخزن دارای خوردگی است، اما تعداد این نقاط نسبت به مساحت کف مخزن زیاد نمی‌باشد؛ لذا می‌توان وضعیت مخزن را خوب ارزیابی کرد. بنابراین توصیه می‌شود مطابق با قاعدهٔ زمانی جدول ۲ بعد از سه سال، این مخزن مجدداً تحت بازرسی آکوستیک امیشن قرار گیرد.

۵. نتیجه‌گیری

سالانه هزینه‌های فراوانی برای آزمون مخازن نفتی به روش‌هایی که نیاز به ورود مخزن دارند انجام می‌شود که در آنها مخازن باید متوقف و تخلیه شوند. به‌غیر از هزینه‌های اعمالی در این روش‌ها نیروی کار زیادی درگیر می‌شوند که خطرات جانی برای آنها هم وجود دارد. زمان زیادی تلف می‌شود و این امکان وجود دارد که مخزن تخلیه‌شده سالم یا در شرایطی از عیب باشد که نیازی به تعمیر نداشته باشد. از این‌رو در این مقاله روش آزمون غیرمخرب آکوستیک امیشن مورد بررسی قرار گرفت که مشکلات مذکور را ندارد. در میان روش‌های مختلف مکان‌یابی عیب به روش آکوستیک امیشن روش مکان‌یابی با استفاده از اختلاف در زمان ورود یا همان روش مثلثی مورد استفاده قرار گرفت. نتیجهٔ حاصل وجود نقاط خوردگی در برخی از نواحی کف مخزن مخصوصاً بین حسگرهای ۴ و ۵ می‌باشد. این نتیجه می‌تواند دلیلی بر عمق خوردگی بیشتر در این ناحیه نیز باشد؛ با این‌وجود نشتی مشاهده نشد و با توجه به کمی نقاط خوردگی می‌توان وضعیت ورقه‌های کف مخزن را با درصد خوردگی کم ارزیابی کرد. پس فعلاً نیازی به عملیات تعمیر نیست و فقط مخزن باید پس از سه سال از نظر میزان افزایش خوردگی آزمون شود.

۶. قدردانی

نویسندگان از شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران برای حمایت از این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از شرکت دانش‌بنیان تحقیق و توسعهٔ ایرانیان به‌سبب فراهم‌آوری داده‌های مورد نیاز این پژوهش صمیمانه تشکر می‌کنند.

۷. مآخذ

[1] Carpinteri, Alberto, Giuseppe Lacidogna, *Acoustic Emission and Critical Phenomena: From Structural Mechanics to Geophysics*, Leiden: CRC Press/Blackman, 2008.

[۲] حسین، حیدری. "بررسی خوردگی تحت تنش به‌کمک سیگنال آکوستیک امیشن"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تابستان ۱۳۸۶.

[3] Khairi Bin Ghazali, Muhammad. "A Study of Pipe Leak Source Location Using Single Channel Acoustic Emission System", Bachelor diss., University Malaysia Pahang, 2010.

[4] LTP / SVE, Non Destructive Testing and Inspection Manual, Denmark: Rambøll Denmark A/S, 2006.

[5] Manindra, Kaphle, "Analysis of Acoustic Emission Data For Accurate Damage Assessment For Structural Health Monitoring Applications", PhD diss., Queensland University of Technology, 2012.

[6] Reginald Hardy, H., Jr. Acoustic Emission / Micro seismic Activity, Pennsylvania: A.A. Blackman Publishers, 2005, Vol. 1, p. 108.

[7] Sun Liying, Li Yibo. "Investigation on Sensor Array in Large Vertical Storage Tank Bottom Inspection Using AE Methods", *Control and Decision Conference (CCDC)*, Mianyang, China, 2838 - 2842, 23-25 May, 2011.

[8] Sun Liying, Li Yibo. “Review of On-line Defects Detection Technique for Above Ground Storage Tank Floor Monitoring”, *Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Jinan, China, July 6-9, 2010.

[9] Nivesrangsan, P., Steel, J.A. Reuben, R.L. "Source location of acoustic emission in diesel engines", *Proceedings of the 21st Mechanical Systems and Signal Processing*، 1103-1114, 2007.

[10] Sun Liying, Li Yibo “Large Vertical Storage Tank Bottom Evaluation via Acoustic Emission Signal Analysis”, *Proceedings of the 23rd Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Mianyang, China, May 2011.

پی‌نوشت

1. KRN Services