



فاصله سنجی دیواره های فلزی در تجهیزات دو جداره با پدیده کامپتون

ساسانپور، محمد تقان*^(۱) - شریف زاده، محسن^(۱) - طاهری، علی^(۱) - عسکری، مجتبی^(۱)

^(۱) سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

*msasanpour@aeoi.org.ir

چکیده:

انجام تست بر روی دیواره تجهیزات دو جداره فلزی یکی از مشکلات مهم صنعتی است، به خصوص اگر بخواهیم بدانیم که جداره زیرین که غیر قابل رویت هم هست در چه وضعیتی قرار دارد. در این مقاله از پراکنش کامپتون پرتوهای گاما برای گرفتن چنین اطلاعاتی استفاده شده است. برتری این روش، سادگی، ایمن بودن کار با توجه به استفاده از چشمه گاما با اکتیویته پایین و زمان کم برای اندازه گیری می باشد. برای انجام آزمایش از چشمه کبالت - 60 و صفحه های فولادی 2 mm، 6 mm و 10 mm استفاده شده است. جهت فاصله سنجی عواملی چون ضخامت صفحه ها و تقدم قرار گیری آنها در برابر چشمه پرتوزا مورد توجه قرار گرفته اند. علاوه بر آن، تاثیر این عوامل بر دقت اندازه گیری نیز آنالیز و بررسی شدند.

کلمات کلیدی: چشمه گاما، پراکنش کامپتون، دیواره دو جداره فلزی، صفحه فولادی، فاصله سنجی

مقدمه:

امروزه تجهیزات دو جداره دارای جایگاه ویژه ای در صنایع انتقالی همانند نفت، گاز و پتروشیمی و غیره می باشند. یکی از مشکلات اساسی در استفاده از این تجهیزات، تشخیص خرابی ایجاد شده در جداره داخلی آنهاست [۱-۳]. تنها روشی که تا کنون توانسته فاصله بین دو جداره فلزی را اندازه گیری کند، روش التراسونیک بوده است [۴]. اما این روش نیز با توجه به پیچیدگی و سختی کار مشکلات خاص خود را دارد. در این مقاله روشی بر مبنای استفاده از پس پراکنش پرتوهای گاما از صفحه های فلزی برای تعیین فاصله بین آنها ارائه خواهد شد که در مقایسه با روش التراسونیک از لحاظ اجرا بسیار راحتتر و سریع تر می باشد. همچنین با توجه به این که چشمه پرتوزا که در این روش به کار می رود دارای اکتیویته پایینی می باشد، عملاً "خطر پرتوگیری چندانی ندارد و انجام کار برای کاربر بسیار ساده می باشد.

روش کار:

در روش پیشنهادی، برهمکنش غالب پراکندگی کامپتون پرتوهای گاما از صفحات فلزی خواهد بود. به این صورت که چشمه و آشکارساز در یک طرف صفحات فلزی قرار داده می شوند (مطابق شکل ۱).

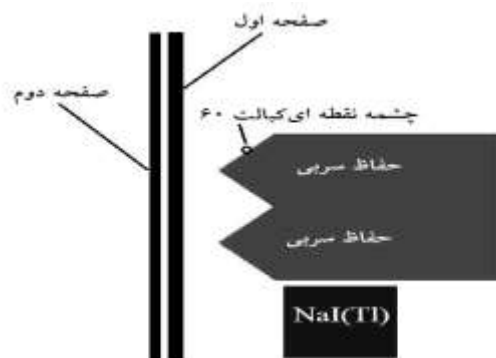
پرتوهای گاما از چشمه به سمت صفحات ساطع شده و در اثر پراکندگی، بخشی از آن مجدداً به سمت آشکارساز بر می گردد. در این چرخش تغییرات در فاصله بین صفحات باعث کاهش یا افزایش شمارش ثبت شده به وسیله آشکارساز خواهد شد. بر اساس مرجع [۵]، متغیرها و پارامترهای زیادی در محاسبه شدت پرتوهای پس پراکنده از یک جسم

موثرند. لذا تئوری مربوط به محاسبه شدت پرتوهای پس پراکنده از دو صفحه به صورت ساده سازی شده در معادله های (۱) و (۲) آورده می شود. در این معادلات فرض شده که پرتوی فرودی به صورت عمودی به صفحات برخورد کرده و در جهت عکس به سمت آشکارساز پراکنده می شوند. طبق این معادلات، I_b و I'_b به ترتیب شدت پرتوهای پس پراکنده شده از صفحات اول و دوم (شکل ۱) به صورت زیر قابل محاسبه هستند:

$$I_b = \frac{\mu_{c1} I_0 r_D^2}{4} \int_0^T \frac{\exp[-(\mu_1 + \mu_2)x]}{(x+d)^2} dx \quad (1)$$

$$I'_b = \frac{\mu_{c1} I_0 r_D^2}{4} \exp[-(\mu_1 + \mu_2)T] \int_0^{T'} \frac{\exp[-(\mu'_1 + \mu'_2)x]}{(x+d+T)^2} dx \quad (2)$$

در اینجا، μ_{c1} ضریب تضعیف خطی مربوط به پرتو کامپتون پراکنده شده صفحات اول و دوم، I_0 شدت پرتو رسیده به صفحه اول، ID شعاع سطح مقطع آشکارساز استوانه ای، T و T' به ترتیب ضخامت های صفحات اول و دوم، μ_1 و μ_2 به ترتیب ضرایب تضعیف خطی پرتوهای ورودی و برگشتی مربوط به صفحه اول، μ'_1 و μ'_2 به ترتیب ضرایب تضعیف خطی پرتوهای ورودی و برگشتی مربوط به صفحه دوم می باشند.



شکل (۱) نمایی از فاصله سنجی با آشکارسازی پرتوهای پس پراکنشی کامپتون

در این تحقیق از دو حفاظ سربی به ضخامت ۵ سانتیمتر، آشکارساز سو سوزن یدور سدیم $2'' \times 2'' \times 2''$ استوانه ای Eberline، تحلیل گر چندکاناله Novin Teyf استفاده شده است. نمونه های آزمون صفحه های فولادی به ضخامت های ۲، ۶، و ۱۰ میلیمتر با سطح $20 \times 14 \text{ cm}^2$ می باشند. در این آزمایش همانطور که در شکل (۲) دیده می شود، پرتو چشمه کبالت - ۶۰ با اکتیویته $15 \mu\text{Ci}$ ، به دو صفحه موازی برخورد کرده و پرتوهای حاصل از پس پراکنش کامپتون به آشکارساز بر می گردند. از طرفی حفاظ سربی مانع از ورود پرتوهای چشمه به آشکارساز می شوند. پرتوهای رسیده به آشکارساز پس از تبدیل شدن به پالس الکترونیکی توسط PMT جهت تقویت، شمارش و طیف نگاری به دستگاه MCA وارد می شود. زمان شمارش طیف برابر ۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.

در این آزمایش شمارش کل پرتوهای کامپتون در آشکارساز ملاک بررسی بوده است. به همین علت لازم بود تا پرتوهای مزاحم رسیده به آشکارساز حذف شوند. بنابراین شمارش پرتوهای زمینه و پرتوهای گذرنده از



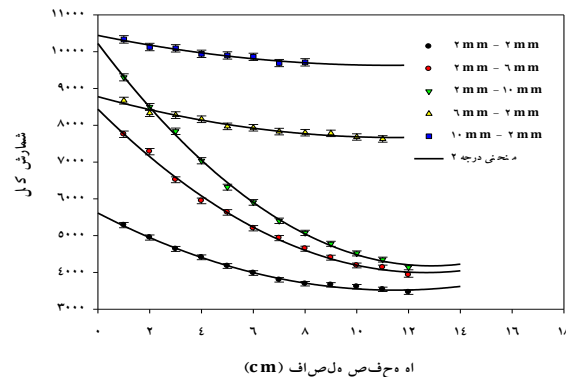
شکل (۲). چیدمان تجهیزات و صفحه‌های تحت آزمون پس پراکنش حاصل از پدیده کامپتون

حفاظ سربی در حالتی که صفحه فولادی وجود نداشته به مدت ۵۰ ثانیه انجام شد که مقدار شمارش برابر ۹۵۸۱ به دست آمد. دقت اندازه‌گیری یکی از موارد مهمی که در سیستم‌های فاصله‌سنجی باید به دست آورده شود. دقت اندازه‌گیری فاصله بستگی به جنس، ضخامت و فاصله صفحه‌ها از هم دارد. در این مقاله جهت تعیین دقت اندازه‌گیری فاصله، به ازای هر فاصله مشخص از دو صفحه، شمارش در بازه زمانی ۵۰ ثانیه ۱۵ بار تکرار و شمارش‌ها ثبت شدند. با توجه به رفتار آماری پرتو، مقدار شمارش کل برای هر بار شمارش با دفعات قبل متفاوت خواهد بود. از آنجایی که معمولاً رفتار آماری این داده‌ها به صورت منحنی گاوسی است [۶ و ۷]، بنابراین یک منحنی گاوسی بر این داده‌ها برازش شد. برای بررسی امکان تشخیص این منحنی‌ها از هم، از قانون تفکیک‌پذیری رایلی استفاده خواهد شد [۸]. بر طبق این قانون، تفکیک‌پذیری با استفاده از تعیین کمیتی به نام پهنای کامل در نیمه حداکثری (FWHM) قابل تعیین است. FWHM برابر با حداقل فاصله ایست که دو خط (یا دو نقطه) را باید در فضا به هم متصل کند تا به صورت جداگانه در تصویر ثبت شده ظاهر شوند. برای جدایی دو منحنی گاوسی میانگین FWHM دو منحنی باید کمتر از فاصله میانه (X) آن دو منحنی باشند.

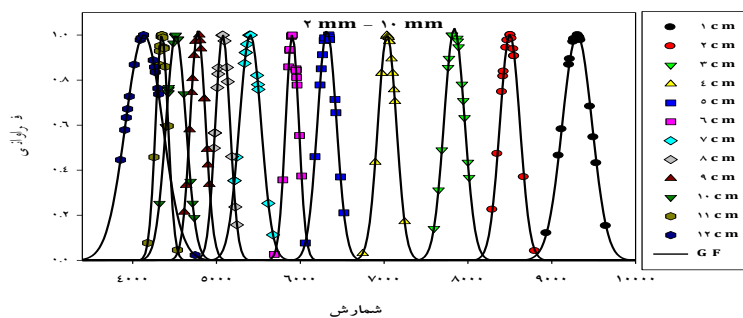
نتایج :

در این آزمایش، شمارش پرتوهای پس پراکنش شده برای حالت‌های مختلفی که در آنها صفحه اول ۲ mm و صفحه دوم ۲، ۶، و ۱۰ میلی‌متر هستند در شکل (۳) نشان داده شده است (سه منحنی پایینی). برای مقایسه جای صفحه اول و دوم نیز که در آنها صفحه اول ۶ و ۱۰ میلی‌متر و صفحه دوم ۲ mm است نیز در این شکل نشان داده شده اند (دو منحنی بالایی). همانطور که در شکل (۳) دیده می‌شود هنگامی که صفحه اول نازک است و صفحه دوم ضخیم است

(منحنی ۲ mm - ۱۰ mm) تعیین فاصله بین دو صفحه قابل تشخیص تر از حالتی است که صفحه اول ضخیم و صفحه دوم نازک است (منحنی ۲ mm - ۱۰ mm).
در این تحقیق برای تعیین دقت اندازه‌گیری به ازای هر یک سانتیمتر به تعداد ۱۵ شمارش انجام داده شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده و منحنی گاوسی برازش شده در شکل (۴) مشاهده می‌شود.
این شکل نشان می‌دهد که دقت اندازه‌گیری با افزایش فاصله بین صفحه اول و دوم، کاهش می‌یابد. بطوری که دقت اندازه‌گیری در فاصله ۱ الی ۲ سانتیمتری کمتر از ۱ cm است در صورتی که این دقت در فاصله ۱۰ الی ۱۱ سانتیمتری بیشتر از ۱ cm خواهد بود.



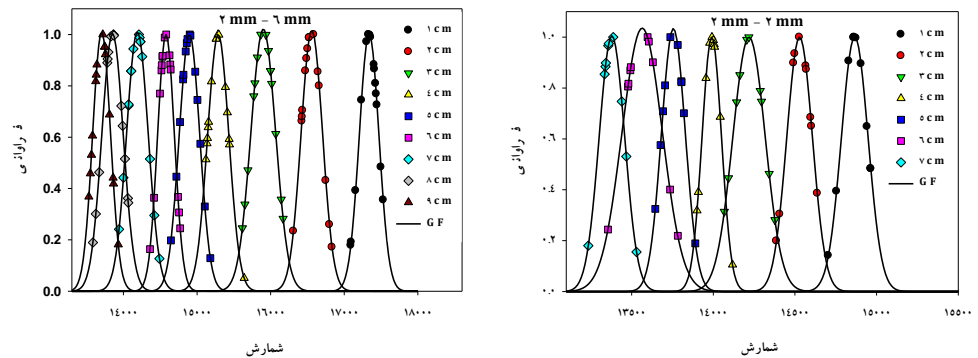
شکل (۳). منحنی شمارش کل پرتوها بر حسب فاصله صفحه‌هایی با ضخامت‌های مختلف



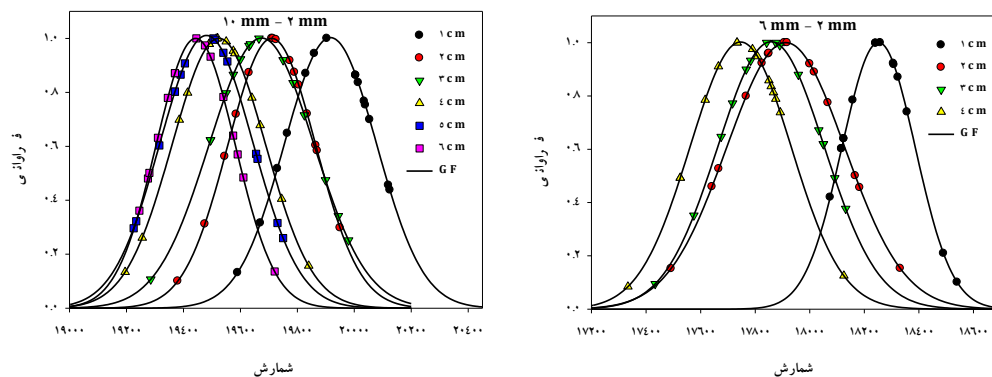
شکل (۴). منحنی دقت اندازه‌گیری فاصله‌های ۲mm-۱۰mm بر اساس روش رایلی

همانطور که در نتایج آزمایشات مشخص گردید، فاصله سنجی بین دو صفحه فولادی در حالت‌های مختلف می‌تواند انجام شود. اما باید شرایط اندازه‌گیری فاصله بین دو صفحه نیز در نظر گرفته شوند. این شرایط به حدی مهم است که حتی می‌تواند صحت اندازه‌گیری را زیر سوال ببرد. بنابراین در کنار منحنی اندازه‌گیری فاصله بین دو صفحه فولادی باید میزان صحت اندازه‌گیری را نیز مد نظر داشت.

بهتر است مبنای مقایسه‌ها و بحث‌ها را بر شکل (۳) قرار دهیم. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود. ضخامت صفحه دوم تاثیر بسزایی در اندازه گیری فاصله دو صفحه دارد. بطوری که وقتی ضخامت صفحه دوم ۱۰ mm (بیشترین ضخامت) باشد آنگاه فاصله سنجی با دقت بیشتری انجام می‌شود. این موضوع را با مقایسه منحنی های دقت مربوط به شکل های (۴) و (۵) می‌توان دریافت. طبق شکل های (۴) و (۵) بر اساس معیار رایلی وقتی صفحه دوم ۲، ۶ و ۱۰ میلیمترند دقت اندازه گیری به ترتیب تا ۵، ۸ و ۱۰ سانتیمتر کمتر از ۱ cm خواهد بود. حال اگر جای دو صفحه را با هم عوض کنیم آنگاه مشاهده می‌شود که دقت اندازه گیری قابل مقایسه با حالت قبل از جابجایی نیست. بطوری که با مقایسه شکل های (۴) و (۵) با شکل (۶) به راحتی آشکار است که دقت اندازه گیری بین فاصله ۱ و ۲ سانتیمتری اساساً کمتر از ۱ سانتیمتر نبوده و خیلی بیشتر از ۱ سانتیمتر می‌گردد. علاوه بر آن در هم روی منحنی های گاوسی زیاد است. بنابراین نمی‌توان با اطمینان دقت اندازه گیری را نیز مشخص کرد. اما در این حالت طبق شکل (۳) میزان شمارش پرتوها بیشترند.



شکل (۵). منحنی دقت اندازه گیری فاصله صفحات ۲mm-۶mm و ۲mm-۲mm



شکل (۶). منحنی دقت اندازه گیری فاصله برای صفحه های ۱۰mm-۲mm و ۶mm-۲mm



علت اصلی در پرتوهای بازتابیده از صفحه دوم نهفته است. پرتو کامپتون پس پراکنده شده در هنگامی که صفحه اول نازک است، کمتر از زمانی است که صفحه اول ضخیم است. بنابراین بیشتر پرتوها از صفحه اول عبور می‌کنند. حال اگر صفحه دوم هم نازک باشد، پرتوهای پس پراکنده کمی از آن بدست می‌آید. این پرتو در هنگام عبور از صفحه اول نیز تضعیف می‌شود. بنابراین پرتو حاصل از صفحه دوم به هر حال کمتر از صفحه اول می‌شوند. حال اگر صفحه دوم به اندازه کافی ضخیم باشد، پرتوهای پس پراکنده شده از صفحه دوم بیشتر از صفحه اول شده و به علت نازک بودن صفحه اول تضعیف آن نیز کمتر خواهد بود. بدین ترتیب ایده آل‌ترین حالت برای فاصله سنجی نازک بودن صفحه اول و ضخیم بودن صفحه دوم است. اگر حالتی را در نظر بگیرید که صفحه اول ضخیم باشد. آنگاه بیشتر پرتوها از صفحه اول پس پراکنش می‌شوند. به همین علت هم در شکل (۳) میزان شمارش در آشکارساز زیاد می‌شود. پس پرتو کمتری به صفحه دوم می‌رسد. حال اگر صفحه دوم نازک باشد، آنگاه بیشتر پرتوها از آن عبور می‌کنند و مقدار کمی پرتو پس پراکنده خواهیم داشت. تصور کنید این پرتو ضعیف در مسیر خود به سوی آشکارساز تحت تضعیف شدید صفحه اول هم قرار گیرد. یعنی عملاً از صفحه دوم پرتوی به آشکارساز نخواهد رسید. به همین علت در شکل (۳) با وجود شمارش بالا دقت اندازه‌گیری کم خواهد بود. چون عملاً از صفحه دوم اطلاعاتی به آشکارساز نمی‌رسد.

بحث و نتیجه‌گیری:

در این مقاله یک روش جدید به منظور اندازه‌گیری فاصله بین دو صفحه فلزی با استفاده از پس پراکنش پرتوهای گاما پیشنهاد گردید. در این روش از یک چشمه کبالت ۶۰ به همراه یک آشکارساز سوسوزن یدور سدیم دو اینچی که به یک سیستم تحلیل گر چند کاناله متصل بود، استفاده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که روش پیشنهاد کارایی بسیار خوبی در زمینه تعیین فاصله بین صفحات دارد. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که حداقل و حداکثر فاصله قابل اندازه‌گیری به وسیله این روش به ترتیب برابر با $1 \text{ cm} <$ و 10 cm است. البته ذکر این نکته ضروری است که با توجه به اینکه اساس روش پیشنهادی استفاده از فقط شمارش گامای پس پراکنشی برای تعیین فاصله بین دو صفحه می‌باشد، لازم است تا برخی پارامترهای مجهول از قبیل جنس و ضخامت صفحات پیش از انجام تست، برای کاربر مشخص باشند تا بتوان از منحنی‌هایی شبیه به شکل ۳ در اجرای این روش استفاده کرد.

مراجع:

- [1] S. Chidambaram, Failure of Double Wall Jacketed Piping in Refineries: Causes and Prevention, Journal Chemical Engineering World, pp. 34-36, 2017.
- [2] L. Cadwallader, T. Pinna, Reliability estimation for double containment piping, of Fusion Science and Technology, 64, 351-356, 2013.
- [3] Standard for Dual Wall Underground Steel Storage Tanks, STI 700-50-2010, Steel Tank Institute, Lake Zurich, Illinois, USA (2006).



- [4] A. Karpelson, Ultrasonic Measurement of Air Gap Between Metal Walls Using Bending Waves, e- Journal of Nondestructive Testing (NDT), 2007.
- [۵] طاهری علی، ساسانپور محمد تقان. تعیین کسر فازی مولفه های جریان چندفازی در لوله های انتقال نفت و گاز با استفاده از چینش پس پراکنش پرتوهای گاما، ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، دوره ۱۶۳، ۶۶-۶۸، ۱۳۹۷.
- [6] M. T. Sasanpour, A. Taheri; Determination of Probabilistic Distribution Function of Background and Defect Optical Densities for X-Ray Radiography Images of a Steel Plate; *J. Nondestruct. Eval.* 35:61, 2016.
- [7] M. T. Sasanpour, et al, Mathematical behavior of optical density of γ -Ray radiography images of steel pipes, was accepted Oct 19, 2018 in Russian journal of Nondestructive Testing and will be published in 2019.
- [8] J. L. Prince, J. M. Links; "Medical Imaging Signals and Systems"; Copyright 2015, 2006 by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, 1 Lake Street, Upper Saddle River, NJ 07458. 538 pages.