

تعیین دقت اندازه‌گیری ضخامت فولاد بر اساس ضخامت‌سنجی با پدیده کامپتون

محمدتقان ساسان‌پور، محسن شریف‌زاده* و علی طاهری

پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

*تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، کدپستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳

پست الکترونیکی: mssharifzadeh@aeoi.org.ir

چکیده

وقتی تنها از یک طرف با سازه در ارتباط هستیم، یکی از روش‌های ضخامت‌سنجی سازه‌های فولادی به‌کارگیری روش پراکنش کامپتون می‌باشد. در این مقاله به علت رفتار آماری شمارش پرتوهای پراکنده شده، به بحث و بررسی دقت اندازه‌گیری ضخامت فولاد پرداخته شده است. با به‌کارگیری روش آزمایشی و مقایسه آن با شبیه‌سازی MCNP این دقت تا کم‌تر از ۰/۲ میلی‌متر بدست آمده است.

کلیدواژگان: ضخامت‌سنجی، پراکندگی کامپتون، فولاد، دقت اندازه‌گیری ضخامت، شبیه‌سازی MCNP.

۱. مقدمه

ممکن خواهد بود. لذا روش مقرون‌به‌صرفه و نسبتاً ساده، بکارگیری روش رادیوگرافی بر اساس پراکنش کامپتون خواهد بود.

اولین بار پدیده کامپتون توسط دانشمند آمریکایی به نام کامپتون مشاهده و رفتار آن توجیح شد که منجر به دریافت جایزه نوبل در سال ۱۹۲۷ گردید [۱]. با کشف این پدیده کاربردهای صنعتی آن نیز به مرور زمان آشکار شد [۲-۵]. این کاربرد شامل ضخامت‌سنجی نیز می‌شد، [۶] و [۷].

همان‌طور که رفتار انتشار پرتوهای هسته‌ای توسط چشمه‌های رادیواکتیو بصورت تصادفی بوده و از اصول احتمالی پیروی می‌کند، طیف پرتو گامای مربوط به چشمه‌های گاما نیز از همین قانون تبعیت خواهد کرد و اعداد حاصل از شمارش این

در ضخامت‌سنجی مواردی پیش می‌آید که تنها از یک‌سو با سازه‌ای مانند فولاد در ارتباط هستیم. بنابراین باید از ابزار سنجشی استفاده شود که بتواند از یک‌سو ضخامت‌سنجی را انجام دهد. تصور کنید مخزنی پر از مواد داغ وجود دارد. همچنین در طرفی که ضخامت‌سنجی باید انجام شود، عایق‌بندی صورت گرفته و امکان باز کردن عایق آن نیز وجود ندارد، امکان تماس بین پروب دستگاه التراسونیک با پوششی مانند فولاد وجود نخواهد داشت. بنابراین امکان بکارگیری ضخامت‌سنجی التراسونیک نیز امکان‌پذیر نخواهد بود. علاوه‌بر آن اگر مخزن فولادی ضخامتی بیش از ۵ میلی‌متر داشته باشد، ضخامت‌سنجی با بکارگیری روش‌های دیگر از تست‌های غیر مخرب مانند جریان گردابی و مغناطیسی نیز غیر

می شود که هیچ داده پرتی وجود ندارد. طبق رابطه:

$$G = \frac{\max |x_i - \mu|}{\sigma} \quad (1)$$

که در رابطه بالا x_i داده‌ها و G آماره آزمون گراب می‌باشد و در آن فرض صفر وقتی رد می‌شود که:

$$G > \frac{n-1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{t^2(\frac{\alpha}{2n, n-2})}{n-2 + t^2(\frac{\alpha}{2n, n-2})}} \quad (2)$$

باشد. در این رابطه n تعداد نمونه‌ها، مقدار بحرانی آماره توزیع t استیودنت با درجه آزادی $n-2$ و سطح معناداری $\frac{\alpha}{2n}$ می‌باشد. در آزمون دیکسون نیز مقدار Q_{exp} طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \quad (3)$$

که در آن x_n میزان داده حد، x_{n-1} میزان داده قبل از مقادیر حدی، و x_1 کم‌ترین مقدار طبقه‌بندی شده در داده‌هاست. توجه داشته باشید که در روش‌های تعیین اعداد پرت گراب و دیکسون حتماً تعداد داده‌ها باید کم‌تر از ۱۰۰ داده باشند.

۳. تجهیزات و نحوه انجام ضخامت‌سنجی

در این تحقیق از صفحات فولادی با ضخامت‌های ۰/۱ میلی‌متر الی ۱۰ میلی‌متر جهت تعیین ضخامت استفاده شده است. طبق شکل ۱ چشمه کبالت-۶۰ با اکتیویته ۱۴/۶ میکروکوری صفحه فولادی را تحت تابش پرتو گاما قرار می‌دهد. پرتو پراکنده شده توسط آشکارساز NaI(Tl) استوانه‌ای با ارتفاع و قطر یکسان ۵ سانتی‌متر دریافت می‌شود. البته جهت جلوگیری از آشکارسازی پرتوهای اصلی چشمه کبالت-۶۰ (۱۱۷۳ و ۱۲۲۳ کیلوکلوکرون ولت) از بلوک‌های سربی به ضخامت ۵ سانتی‌متر و طول و عرض ۱۰ سانتی‌متر به عنوان حفاظ و حذف‌کننده پرتوهای اصلی استفاده شده است.

پرتو دارای اعداد پرت نیز خواهند بود [۸]. بنابراین طیف حاصل از پدیده کامپتون نیز دارای اعداد پرت خواهد بود. در این مقاله روی دقت ضخامت‌سنجی فولاد با بکارگیری چشمه کبالت-۶۰ بحث و بررسی انجام می‌گیرد.

۲. تئوری

مبنای بکارگیری روش‌های تعیین اعداد پرت بر رعایت اصول ذیل استوار خواهد بود:

الف. توزیع آماری که داده‌های عددی از آن پیروی می‌کنند، توزیع گاوسی می‌باشد.

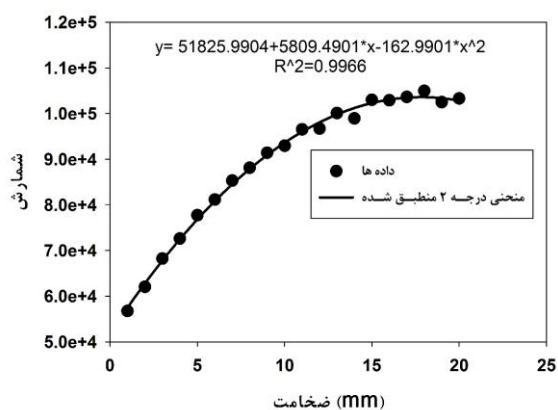
ب. تعداد داده‌ها کم خواهند بود. به طوری که این روش‌ها برای تعداد تا ۱۰ داده هم می‌تواند به کار رود.

ج. زمان شمارش نیز زیاد نخواهد بود.

در توضیح موارد فوق باید گفت که مورد الف، موردی است که معمولاً برای توزیع آماری پرتوها در نظر گرفته می‌شود. این توزیع کاربرد فراوانی دارد. به طوری که با دقت قابل قبولی در تمام علوم بکار می‌رود. مورد ب و ج نیز ایده‌آل کارهای عملی ما محسوب می‌شود. چون در کارهای صنعتی بهتر است تا کالیبراسیون دستگاه در کم‌ترین زمان ممکن انجام گیرد.

آزمون‌های مورد استفاده برای تعیین اعداد پرت در این مقاله عبارتند از: چبی چف، نمودار جعبه‌ای، گراب و دیکسون [۹-۱۱]. مطابق قضیه چبی چف همه مشاهدات تقریباً در حدود $99/8\%$ از مجموعه داده‌های نمودار گاوسی یعنی در فاصله $\pm 3\sigma$ قرار دارد. در این رابطه σ انحراف معیار نمونه و μ میانگین داده‌ها می‌باشند. برای تعیین اعداد پرت بر اساس رسم نمودار جعبه‌ای، اگر فرض کنیم داده‌ها دارای چارک اول Q_1 و چارک سوم Q_3 با دامنه میان چارکی $IQR = Q_3 - Q_1$ باشند. مشاهدات باید بین $Q_1 - 1/5 IQR$ و $Q_3 + 1/5 IQR$ قرار گیرند. در آزمون گراب نیز از فرض صفر استفاده می‌شود. یعنی فرض

نحوه انجام تست بدین ترتیب است که در ابتدا محدوده ضخامت سنجی با بکارگیری این چشمه مشخص می شود. شکل ۳ تغییرات شمارش کل طیف بر حسب ضخامت فولاد را نشان می دهد. شمارش های انجام شده در یک محدوده زمانی ۳۰۰ ثانیه برای هر ضخامت انجام شده است.



شکل (۳): منحنی رفتار ضخامت فولاد (محور افقی) به ازای شمارش کل پرتوهای کامپتون پراکنده شده (محور عمودی).

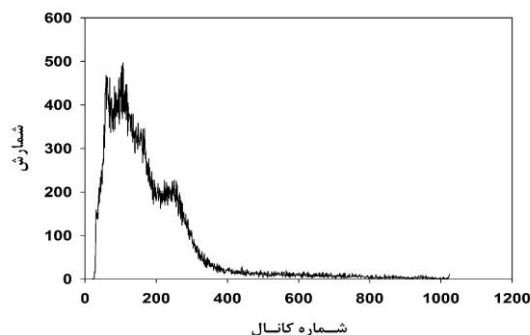
همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود. منحنی سه ناحیه دارد. در ناحیه اول تعداد شمارش نسبت به ضخامت رفتاری نسبتاً خطی دارد. در ناحیه دوم این رفتار دارای تغییرات غیر خطی است. در ناحیه سوم نیز تقریباً تغییراتی نداریم. بنابراین ناحیه اول برای بررسی دقت اندازه گیری ضخامت دستگاه ضخامت سنج کامپتونی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب ضخامت ۶ میلی متر به عنوان ضخامت مطلوب انتخاب شد.

جهت تعیین دقت اندازه گیری ضخامت ۶، ۶/۱، و ۶/۲ میلی متر مورد بررسی قرار گرفتند. به علت رفتار آماری تعداد شمارش های کل طیف حاصل از پدیده کامپتون، در ضخامت های گفته شده در مدت زمان شمارش ۶۰ ثانیه به تعداد ۲۰ بار شمارش تکرار انجام گرفت. جدول ۱ شمارش های ضخامت های فوق را نشان می دهد.



شکل (۱): چگونگی قرارگیری تجهیزات ضخامت سنج صفحه فولادی.

خروجی preamp آشکارساز وارد دستگاه الکترونیکی NOVIN TEYF مدل NT-124 می شود. این دستگاه الکترونیکی شامل HV, Amplifier و MCA می باشد. ولتاژ HV روی ۶۸۰ ولت تنظیم شده است. نهایتاً سیگنال نهایی به نرم افزار کامپیوتری وارد و طیف به صورت تعداد شمارش ها بر حسب انرژی رسم می شود. شکل ۲ طیف مربوط به ضخامت ۶ میلی متر را نشان می دهد.



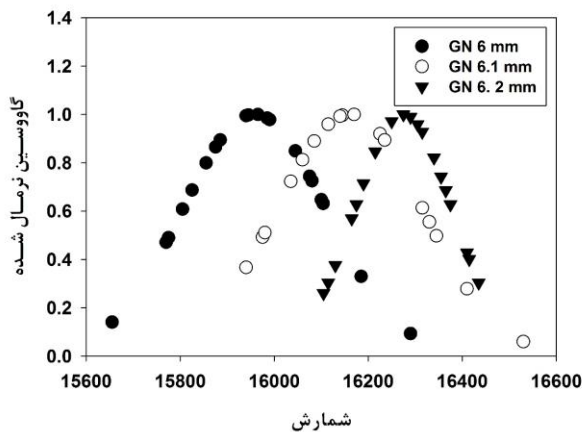
شکل (۲): طیف حاصل از پراکنش کامپتون مربوط به صفحه فولادی به ضخامت ۶ میلی متر.

داده‌ها اعداد پرت هم وجود خواهند داشت. این اعداد حتما بر دقت اندازه‌گیری تاثیر خواهند گذاشت. به همین علت از چند روش برای تشخیص دادن صحت داده‌ها استفاده شد. در جدول ۲ چهار روش برای تعیین اعداد پرت موجود در داده‌ها ارائه شده است:

جدول (۲): تعیین امکان وجود داده‌های پرت در داده‌های آزمایشگاهی.

ضخامت (م)	عدد پرت چپی چف	عدد پرت گراب	عدد پرت نمودار جعبه‌ای	عدد پرت دیکسون
۶	-	-	-	-
۶/۱	-	-	-	-
۶/۲	۱۶۷۰۵	۱۶۷۰۵	۱۶۷۰۵	-

بنابراین طبق جدول ۲ بدون در نظر گرفتن شمارش سوم مربوط به ضخامت ۶/۲ میلی‌متر منحنی گاوسی سه ضخامت به صورت شکل ۴ می‌باشد.



شکل (۴): توزیع گاوسی داده‌های ضخامت‌های ۶، ۶/۱ و ۶/۲ میلی‌متر. (در شکل بالا منحنی گاوسی به ماکزیمم داده‌ها نرمالیزه شده است.)

بدین ترتیب طبق جدول ۳ براساس فرمول تفکیک‌پذیری رالی برای حالت تجربی و براساس نتایج MCNP دقت اندازه‌گیری کمی بیش‌تر از ۰/۱ میلی‌متر خواهد بود. یعنی با تقریب خوبی می‌توان گفت دقت اندازه‌گیری کم‌تر از ۰/۲ میلی‌متر است.

جدول (۱): شمارش‌های انجام شده در مدت زمان ۶۰ ثانیه و به تعداد ۲۰ بار تکرار شمارش.

تعداد شمارش	۶ مم	۶/۱ مم	۶/۲ مم
۱	۱۵۷۷۵	۱۶۱۴۵	۱۶۲۷۵
۲	۱۵۹۴۰	۱۶۰۶۰	۱۶۳۵۵
۳	۱۶۰۷۵	۱۶۰۸۵	۱۶۷۰۵
۴	۱۶۱۰۴	۱۶۵۳۰	۱۶۳۶۵
۵	۱۶۰۸۰	۱۶۳۳۰	۱۶۴۱۵
۶	۱۵۹۸۵	۱۵۹۸۰	۱۶۳۱۵
۷	۱۶۱۸۵	۱۶۱۱۵	۱۶۲۵۰
۸	۱۵۸۷۵	۱۶۳۱۵	۱۶۴۳۵
۹	۱۵۹۹۰	۱۶۲۲۵	۱۶۱۶۵
۱۰	۱۵۶۵۵	۱۶۴۱۰	۱۶۲۱۵
۱۱	۱۵۸۰۵	۱۵۹۷۵	۱۶۳۴۰
۱۲	۱۵۸۸۵	۱۶۱۷۰	۱۶۲۹۰
۱۳	۱۶۲۹۰	۱۶۳۴۵	۱۶۱۹۰
۱۴	۱۵۹۴۵	۱۶۰۳۵	۱۶۳۷۵
۱۵	۱۶۰۴۵	۱۶۰۸۵	۱۶۱۷۵
۱۶	۱۵۸۲۵	۱۵۹۴۰	۱۶۱۰۵
۱۷	۱۶۱۰۰	۱۶۱۴۰	۱۶۴۱۰
۱۸	۱۵۷۷۰	۱۶۲۳۵	۱۶۳۰۵
۱۹	۱۵۹۶۵	۱۵۹۸۰	۱۶۱۱۵
۲۰	۱۵۸۵۵	۱۶۱۱۵	۱۶۱۳۰

همان‌طور که قبلاً بحث شد، توزیع آماری داده‌ها را به صورت توزیع گاوسی در نظر گرفتیم. برای تشخیص قدرت تفکیک دو داده از معیار رالی استفاده شد. در این راستا جهت مقایسه نتایج با معیار مناسبی، از نتایج حاصل از شبیه‌سازی MCNP استفاده شد.

۴. نتایج و بحث روی داده‌ها

با توجه به رفتار آماری شمارش پرتوها، معمولاً داده‌ها در هر بار شمارش مقدار متفاوتی خواهند داشت. بنابراین بین این

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق مشخص شد که دقت اندازه گیری ضخامت فولاد براساس پراکنش پرتو گاما می تواند کم تر از ۰/۲ میلی متر باشد. که محاسبات حاصل از شبیه سازی MCNP نیز این میزان دقت را تایید می نماید. دوم به بعد در هر عنوان با فرورفتگی به اندازه ۵ میلی متر از شروع سطر و بدون فاصله پس یا پیش از پاراگراف است. اما بخش جدید با یک سطر فاصله آغاز می شود.

جدول (۳): دقت اندازه گیری برای مقادیر تجربی و مقایسه آن با مقادیر بدست آمده از نرم افزار MCNP. μ میانگین شمارش و σ انحراف معیار.

ضخامت (مم)		۶	۶/۱	۶/۲
MCNP	μ	۵/۴۵۵e-۴	۵/۵۰۵e-۴	۵/۵۵۵e-۴
	σ	۲/۳۳e-۶	۲/۳۵e-۶	۲/۳۶e-۶
	$\mu(۶/۲)-\mu(۶)$	< ۱/۰۰e-۵	$(\sigma(۶/۲)-\sigma(۶))/۲$	$۲/۳۵ \times (\sigma(۶/۲)-\sigma(۶))/۲$
	$\mu(۶/۲)+\mu(۶)$	> ۵/۰۶e-۶	$(\sigma(۶/۱)-\sigma(۶))/۲$	$۲/۳۵ \times (\sigma(۶/۱)-\sigma(۶))/۲$
تجربی	μ	۱۵۹۵۷/۴۵	۱۶۱۶۰/۷۵	۱۶۲۷۵
	σ	۱۵۲/۶۸۱	۱۵۵/۷۹۹	۱۰۳/۶۰۶
	$\mu(۶/۲)-\mu(۶)$	< ۳۱۷/۵۵	$(\sigma(۶/۲)-\sigma(۶))/۲$	$۲/۳۵ \times (\sigma(۶/۲)-\sigma(۶))/۲$
	$\mu(۶/۲)+\mu(۶)$	> ۲۰۳/۳۰	$(\sigma(۶/۱)-\sigma(۶))/۲$	$۲/۳۵ \times (\sigma(۶/۱)-\sigma(۶))/۲$

۶. مراجع

- [1] A. H. Compton. X-rays as a branch of optics. Nobel Lecture, December 12 (1927).
- [2] M. B. Holstad. Gamma-ray scatter methods applied to industrial measurement systems. Thesis of Doctor Scientarium at the Department of Physics and Technology University of Bergen Norway, September (2004).
- [3] R. C. Rnyuoros. Estimation of mass absorption coefficients by Compton scattering: Improvements and extensions of the method. *The American Mineralogist*, Vol. 52, September-October (1967) 1493-1502.
- [4] J. Wang. Analytic reconstruction of Compton scattering tomography. *Journal of Applied Physics*, Vol. 86, No. 3, Aug. (1999) 1693-1698.
- [5] A. J. Ball, C. J. Solomon, J. C. Zarnecki. The response of gamma backscatter density gauges to spatial inhomogeneity. An extension of the single scattering model. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 140 (1998) 449-462.
- [6] B. S. Moon et al. A design of the thickness gauge using the Compton gamma-ray backscattering. *Journal of the Korean Nuclear Society*, V. 32, No. 5, Oct. (2000) 457-464,.
- [7] C. Udagani. Study of Gamma Backscattering and Saturation Thickness Estimation for Granite and Glass. *International Journal of Engineering Science Invention* ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726 www.ijesi.org Volume 2 Issue 6 | June. (2013) 86-89.
- [8] V. B. Lortie, C. Bellinger, N. Japkowicz. Smoothing gamma ray spectra to improve outlier detection. School of Electrical Engineering and Computer Science, University of Ottawa, Canada K1N 6N5.
- [۹] نوحه گر، احمد و همکاران. استفاده از روشهای تکمتریه و چندمتغیره بهم منظور شناسایی دادههای پرت در منشأیابی رسوبات، مطالعه موردی :حوزه آبخیز تنگ بستانک. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۴ (۹)، (۱۳۹۶) ۳۹۸-۴۱۲.
- [۱۰] بابایی، غلامرضا و همکاران. روش های تعیین داده های پرت در مطالعات پزشکی. مجله دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دوره ۶۵، شماره ۷ (۱۳۸۶) ۲۷-۲۴.