Design and construction of interface gauging system for insoluble materials in processing vessels using gamma ray

R. Gholipour Peyvandi[1]
S. Rahmanzadeh Tootkaleh[2]
M. askari Ledarboni[1]
A. Azimbagirad[1]

Received: 2012.8.3
Accepted: 2013.1.28

Abstract
Determination of insoluble materials interface is very important in refinery, chemical, gas, and petrochemical industries for process analyzing. According to the invisibility of material separation in the vessels, various methods for detection of insoluble materials interface and density profile have been proposed. In this paper, to determine has been the materials separation interface, a mechanism based on the gamma ray detection is proposed. Also, the height of insoluble materials and the emulsion area in process vessel can be obtained by a mechanical structure and gamma emitter source and gamma ray detector. The output of this method presents a density profile in which the significantly change in the acquired density shows the materials interfaces. Furthermore, the practical results in the chemical industry show a good fitness of this technique. In this paper, a technique based on standard deviation approach has been developed to determine the insoluble materials interface more accurate.

Keywords: Gamma ray detection, material separation, Interface gauge, chemical industries

[1] Nuclear science and technology research institute, AEOI, Tehran
[2] Nuclear science and technology research institute, AEOI, Tehran; Sajjad.Rahmanzadeh@gmail.com

مجلهٔ فیزیک کاربردی دانشگاه الزهرا (س)
شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲

طراحی و ساختِ سیستمِ تعیینِ مرزِ تداخلِ موادِ نامحلول در مخازنِ فرآیندی با استفاده از پرتو گاما

رضا قلی‌پور پیوندی[۱]
سجاد رحمن‌زاده توت‌کله[۲]
مجتبی عسکری‌له‌داربنی[۱]
علی عظیم‌بگی راد[۱]

تاریخ دریافت :۹۱/۵/۱۳
تاریخ تصویب: ۹۱/۱۱/۹

چکیده

تعیینِ مرزِ تداخل بین مّواد در صنایع پالایشگاهی، شیمیایی، گاز و پتروشیمی برای تحلیل فرآیند از اهمّیتِ بالایی برخوردار است. با توّجه به عدمِ مشاهدهٔ مرز جداسازی مواد در درون مخازن، روش‌های مختلفی برای تعیین این مرز و پروفایل چگالی آن‌ها ارائه شده است. در این مقاله مکانیزمی برای تعیین مرز جداسازی مواد به وسیله پرتوهای گاما بیان می‌گردد. در این روش به کمک سازه

[۱] پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران.
[۲] پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران؛ Sajjad.Rahmanzadeh@gmail.com

مکانیکی، چشمه گسیلنده گاما و آشکارسازِ پرتو گاما میزان ارتفاع مواد مختلف و نواحی امولوسیون درون مخازن تعیین می‌گردد. خروجی این روش به صورت پروفایلی براساس چگالی مواد ارائه می‌شود که در آن تغییر در چگالی به د ست‌آمده نشان‌دهنده‌ی مرز جدا کننده بین مواد می‌باشد. همچنین نتایجِ تجربی ارائه شده در صنعت شیمیایی نشان می‌دهد که این فناوری از کارایی قابل قبولی برخوردار است. در این مقاله برای شناسایی بهترِ مرزِ بین مواد، از روشی مبتنی بر انحرافِ معیارِ دادهای ثبت شده استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: آشکارساز پرتوهای گاما، جداسازی مواد، تداخل‌سنج، صنایع شیمیایی.

مقدمه

با توجّه به اهمیت جداسازی مواد در صنایع شیمیایی، پتروشیمی، گاز، نفت و غیره، روش‌های مختلفی برای شناسایی مرزِ تداخل مواد شیمیایی ارا ئه داده شده است. در همین راستا با توجّه به ماهیّتِ پرتوهای گاما در نفوذپذیری از ضخامت‌های فلزی مخزن، در این مقاله روشی برای سنجش مرز تداخل مواد درون مخازن ارائه می‌گردد. پس از تعیین مرز جداکننده مواد می‌توان اطّلاعاتِ فرآیندی در مورد نحوهٔ توزیعِ موّاد نامحلول در داخل مخازن به د ست آورد. همچنین در این روش می‌توان میزان امولوسیون[1] مواد با یکدیگر را شناسایی نمود. در زمینهٔ سنجش مرز تداخل بین مواد، شناور یکی از ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌هایی است که هنوز در بسیاری صنایع کاربرد دارد [۲- ۱] اصول کارکرد شناورها، شناور شدن یک جسم با چگالی کمتر نسبت به مایعِ درونِ مخزن می‌باشد که معمولاً برای قطع و وصل کردن جریان مایع درون یک مخزن استفاده می‌شوند. بدین ترتیب اگر سطحِ مایع از حدِ مشخّصی پایین‌تر بیاید، شناور با سطح مایع پایین آمده کلیدی

[1] emulsion

را وصل می‌کند که منجر به ورود مایع درون مخزن می‌شود. پس از رسیدن سطح مایع به مقدار مورد نظر، کلید قطع شده ورود مایع به درون مخزن متوقف می‌شود. این روش به دلیل محدودیت در قرار دادن کلید مکانیکی و یا الکترونیکی تنها در صنایعِ خاصّی کاربرد دارد. روش دیگری که در صنعت برای سنجش ارتفاع مواد کاربرد دارد، استفاده از روش لیزر می‌باشد. در این روش یک گسیلندهٔ لیزر در بالای مخزن، پالس کوتاهی بر روی سطح ماده مورد نظر می‌تاباند و بازتابش این پالس توسّط گیرنده دریافت می‌شود. اختلافِ زمان میانِ پرتو گسیل شده و دریافت شده توسّط یک مدارِ زمانی اندازه‌گیری می‌شود و مسافت محاسبه می‌گردد. این روش به دلیل هدر رفتن نور در اثرِ پراکندگی و همچنین آلوده شدن لنزِ لیزر و عدمِ ایجادِ ساختارِ روزنه در بدنه مخازن در صنایع شیمیایی کاربردی ندارد {۴-۳} که در آن برای مهارِ فشارِ بالای خط و همچنین جلوگیری از اثر سمّی مواد از مخازنِ فلزی بسته استفاده می‌شود. همچنین روش‌هایی نظیر روشِ مبتنی بر فشار [۵]، منشورِ نوری [۷-۶]، خازن [۸] و مغناطیس [۹] نیز در همین زمینه کاربرد دارد. در این روش‌ها محدودیت کاربرد در محیط‌های زلال و شفّاف و دقّتِ کم در محیط‌های متشکل از چندین ماده جداشونده، عدم کاربرد در محیط‌های اسیدی و همچنین عدم کارایی برای مخازن با ضخامت بدنه بالا، از جمله محدودیت‌های استفاده از این دستگاه‌ها می‌باشد.

یمورا در مقاله خود آزمایش هایی در زمینهٔ پراکندگی پرتوهای گاما و رابطهٔ آن با چگالی موارد را مورد بررسی قرار می‌دهد [۱۰]. همچنین هندرسون و همکارش در تحقیقِ خود به مدل‌سازی پس‌پراکندگی پرتوهای گاما در دستگاه‌های چگالی سنج می‌پردازند. آن ها در تحقیقات خود پارامترهای مورد نیاز برای طّراحی و ساختِ سیستم آشکارسازی و محفظهٔ چشمه را مورد ارزیابی قرار می‌دهند [۱۱]. در روش پرتو گاما، دستگاه آشکارسازِ گاما به همراه چشمه رادیواکتیو در طول ارتفاع مخزن حرکت کرده و یک پروفایل از چگالی مادهٔ درون مخزن ارائه می‌نماید. با بررسی پروفایل اندازه‌گیری شده، مرز تداخل مواد که به صورتِ تغییر در چگالی نشان داده می‌شود، محاسبه می‌گردد. یکی از کاربردهای این دستگاه برای تعیین مرز جدایی مادّه هیدروفلوریک اسید[1] از یک

[1] Hydrofluoric acid (HF)

مادۀ آلی کربن‌دار می‌باشد. در این مخزن می‌توان به کمک روش پرتو گاما مرز جدا بین دو ماده را تعیین نموده فرآیند جداسازی آن ها را با اطّلاعات دقیق‌تری ادامه داد.

تئوری

روشِ پرتو گاما در بسیاری از مخازنِ تحت فشار و همچنین مخازنی که در آن ها به علّتِ خورندگی و اشتعال‌زایی مواد، امکان به کارگیری روش‌های اندازه‌گیری غیرهسته‌ای وجود ندارد، کاربرد دارد. در این مخازن یک لوله ارتباطی برای حرکت آشکارساز و ماده رادیواکتیو قرار داده می‌شود و تعیین مرز تداخل مواد با حرکت همزمان آشکارساز و ماده رادیواکتیو از کف مخزن تا سر آن صورت می‌گیرد. برهمکنش پرتوی گاما با ماده عمدتا به سه طریق فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و تولید زوج اتفاق می‌افتد. در پراکندگی کامپتون هم انرژی و هم جهت پرتوی گاما تغییر می‌کند. در برهمکنش کامپتون داریم :

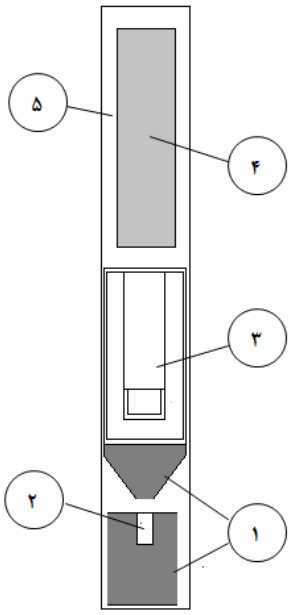
$$E_{\gamma}^{'} = \frac{E_{\gamma}}{1+\frac{1-\cos\theta}{m_0c^2}E_{\gamma}} \qquad (۱)$$

که در آن $E\gamma$ و $E'\gamma$ به ترتیب انرژی پرتوهای گامای فرودی و پراکنده شده، θ زاویۀ پراکندگی و m_0c^2 جرم سکون الکترون می‌باشند. احتمال رخ داد پراکندگی کامپتون در واحد طول مسیر پرتو از رابطه زیر به دست می‌آید: [۱۲]

$$\sigma \approx \rho \frac{N_A}{A} f(E_\gamma) \qquad (۲)$$

که در آن ρ چگالی ماده‌ای است که پرتو گاما به آن تابانده می‌شود، N_A عدد آووگادرو، A عدد جرمی ماده، Z عدد اتمی ماده مورد نظر و $f(E\gamma)$ تابعی بر حسب انرژی است. با توجه به رابطه (۲) مشاهده می‌شود که با افزایشِ چگالی، احتمال پراکندگی پرتوهای گاما در ماده بیشتر می‌شود. اگر پراکندگی در زاویه ای بیشتر از ۹۰ درجه صورت گیرد در اصطلاح پس پراکندگی اتفاق می‌افتد. وقتی پرتوهای گاما وارد هوا می‌شود به دلیل رقیق بودن هوا و با توجّه به رابطه (۲) و تناسبِ مستقیمِ پراکندگی با چگالی ماده هوا نمی‌تواند پرتوهای ماده رادیواکتیو را برگرداند.

برای استفاده از پرتوهای گاما در سیستم‌های تداخل سنج هسته‌ای می توان از روش جذب یا پس پراکندگی پرتوهای گاما استفاده کرد. در روش جذب، چشمه پرتوزا باید در داخل مخزن و آشکارساز پرتو گاما در مقابل آن قرار گیرد. در روشِ پس پراکندگی پرتوهای چشمه وآشکار ساز در داخلِ مخزن در امتداد یکدیگر قرار می‌گیرند. شکل ۱ نمایی از قرارگیری مادّهٔ رادیواکتیو و آشکارساز را نشان می‌دهد.

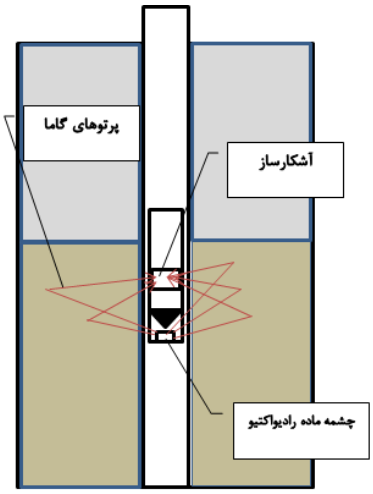


شکل ۱. کلیّت طرح ارائه شده؛

۱: حفاظ سربی، ۲: چشمه، ۳: آشکارساز، ۴: مدار الکترونیک، ۵: قابِ فولادی

روش کار

روش کار بدین صورت است که ماده رادیواکتیو، فوتون‌هایی را در همه جهات گسیل می‌نماید و به علّت این که قطعه سربی (به عنوان حفاظ) حایل بین ماده رادیو اکتیو و آشکارساز می‌باشد، هیچ‌گونه پرتویی به طور مستقیم توسّط آشکارساز شناسایی نمی‌شود. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است پرتوها به طورِ غیرمستقیم ابتدا به مادّهٔ درون مخزن برخورد می‌کند و سپس تغییرِ مسیر داده توسّط آشکارساز شناسایی می‌شوند.

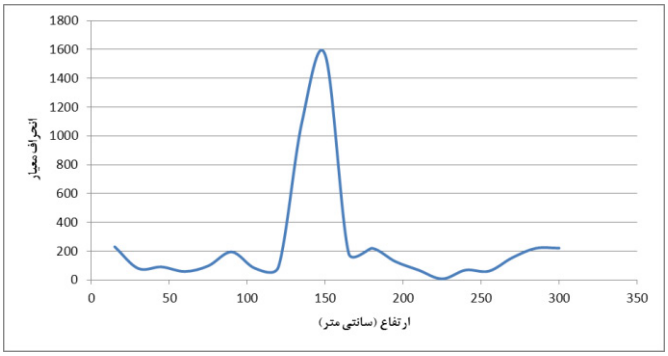


شکل ۲. ساختار عملکرد دستگاه تداخل‌سنج هسته‌ای

هرقدر مادهٔ موجود در مخزن چگال‌تر باشد، میزان پرتوهایی که به سمت آشکارساز منعکس می‌شوند بیشتر می‌شود. در نتیجه پس از طی یک حرکت آشکارساز و مادهٔ رادیواکتیو از کف مخزن تا بالا، میزان پرتوهای آشکارسازی شده ثبت می‌گردد. پس از رسیدن سیستم چشمه و آشکارساز به مرز جداکنندهٔ مواد میزان پرتوهای شمارش شده به صورت قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. به طور کلی برای یک مخزن با دو مادهٔ غیرقابل ترکیب، نمودارِ میزانِ پرتوهای آشکارکشف شده برچسب ارتفاع به صورت می‌باشد.

شکل ۳. نحوهٔ تغییر تعداد پرتوهای آشکار شده در مرز جدایی دو مادّه

در این نمودار مشاهده می‌شود که با تغییرِ مادّه درون مخزن، میزان پرتوهای آشکارشده با افت شدیدی همراه می‌شود. چنانچه در شکل ۳ نشان داده شده، ابتدا دستگاه آشکارساز در مادّهٔ اوّل قرار دارد و پس از آن‌که دستگاه در ارتفاعِ حدودِ ۱۵۰ سانتی‌متر وارد مادّهٔ دوّم شده و تعداد پرتوهای دریافت شده افت می‌کند. ناحیه‌ای راکه نمودار با افت شدیدی همراه است، ناحیه امولوسیون نامیده می‌شود. یکی از روش‌هایی که برای شناسایی مرز جداسازی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از انحراف معیار پرتوهای ثبت شده می‌باشد. برای این منظور، میزان انحراف معیار داده‌های پشت سر هم را رسم می‌کنند. مشاهده می‌شود که در سطح جدایش مواد از یکدیگر میزان انحراف معیار به صورت ناگهانی افزایش می‌یابد. در شکل ۴ تغییراتِ ناگهانیِ انحراف معیار نشان داده شده است.



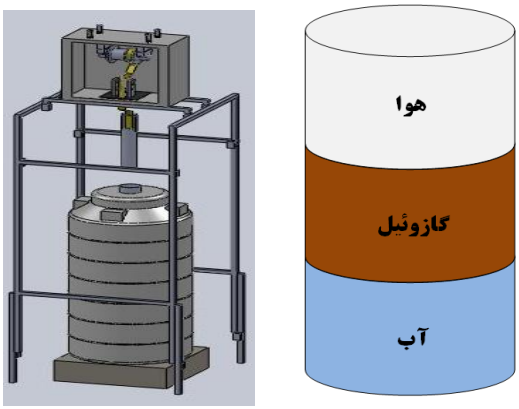
شکل ۴. تغییرات ناگهانی انحراف معیار در مرز جدایش دو ماده

پس از ثبت داده‌های اندازه‌گیری شده، به کمک انحراف معیارهای به دست آمده، مرز جدایی موّاد شناسایی شده می‌توان اقدامات لازم را برای جداسازی مواد با توّجه به میزانِ آن‌ها در مخزن را اعمال نمود.

نتایج به دست آمده

همانطورکه پیش‌تر نیز اشاره شد در صنایع شیمیایی مخازنی برای جداسازی ماده هیدروفلوریک اسید و مادهٔ آلی کربن‌دار وجود دارد. برای آزمون روش هسته‌ای، در آزمایشگاه مخزنی به ارتفاع ۲ متر تهیه شد و برای شبیه‌سازی مخازنِ صنایع شیمیایی دو

ماده با چگالی‌های نزدیک به هیدروفلوریک اسید و ماده کربن‌دار تهیه گردید. مواد انتخاب شده به ترتیب آب و گازو ئیل با چگالی ۱ و ۰,۸۵ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده که خاصیت نامحلولیت در یکدیگر را دارا می‌باشند. در شکل ۵ نمایی از این مخزن به همراه دستگاه تداخل‌سنج هسته‌ا ی را نشان می دهد .



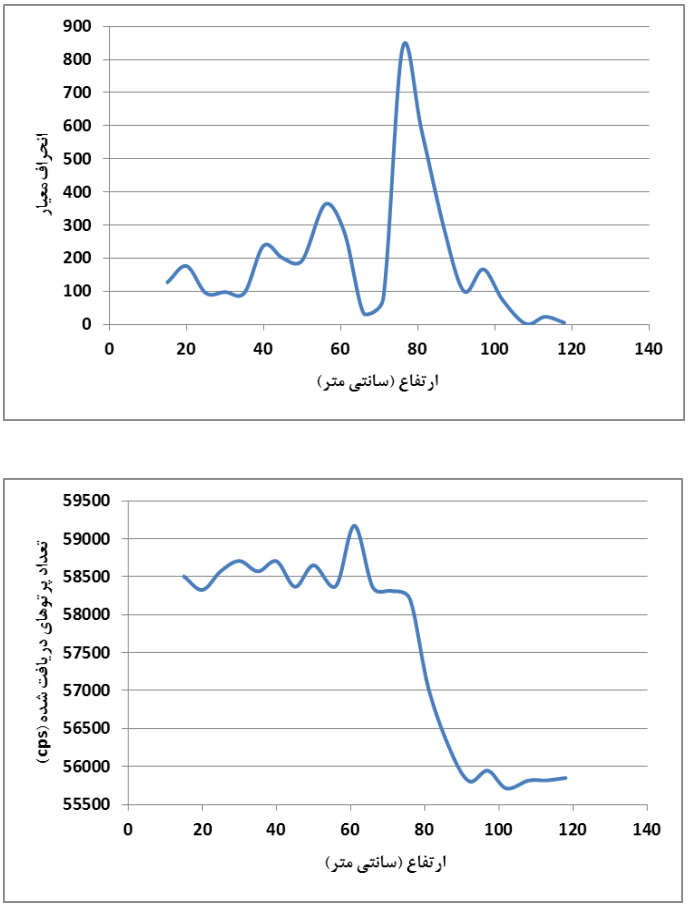
شکل ۵. نمایی از دستگاه تداخل سنج هسته‌ای و مواد موجود در مخزن مورد آزمایش

برای بررسی نتایج روش هسته‌ای، مجموعه آزمایش‌هایی در ارتفاع‌های مختلف مواد درون مخازن انجام گردید و نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

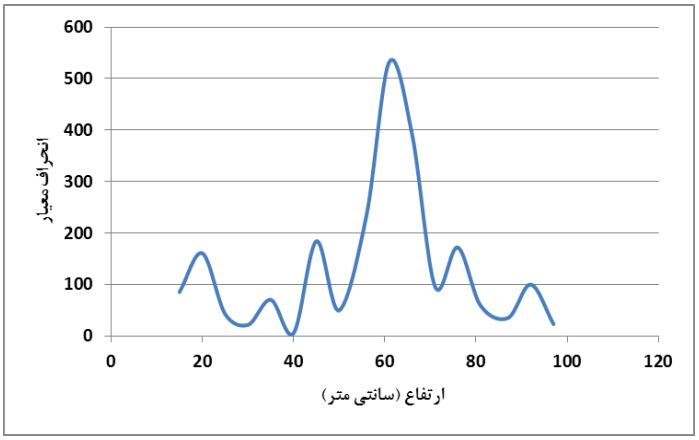
جدول ۱. نتایج به دست آمده از دستگاه در ارتفاع‌های مختلف مواد

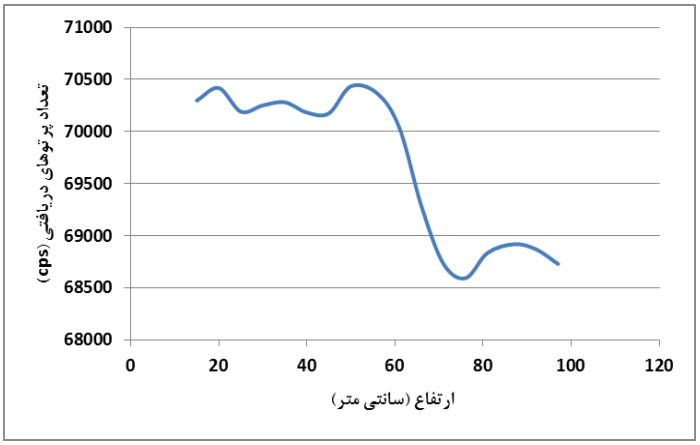
شماره آزمایش	ارتفاع ماده ۱		ارتفاع ماده ۲	
	مقدار واقعی	مقدار ارتفاع بدست آمده از دستگاه	مقدار واقعی	مقدار ارتفاع بدست آمده از دستگاه
۱	۹۰	۹۲	۵۰	۵۱
۲	۸۰	۷۸	۶۰	۶۲
۳	۷۰	۷۰	۴۰	۴۰
۴	۶۰	۶۱	۸۰	۸۱
۵	۵۰	۴۹	۵۰	۵۰

در این سری از آزمایشات، میزانِ ارتفاعِ دو مادّه در مخزن تغییر داده شد و ارتفاع واقعی با ارتفاع به دست آمده از دستگاه مقایسه گردیدنتایج نشان داد که در بدترین حالت میزان خطای دستگاه حدود ۲± سانتی‌متر می‌باشد که در مقایسه با ارتفاع مخزن، این دقت مورد قبول است. همچنین در شکل‌های ۶ تا ۸ تعداد پرتوهای دریافتی و انحراف معیار بر حسب ارتفاع در ۳ نمونه آزمایش نشان داده شده است.



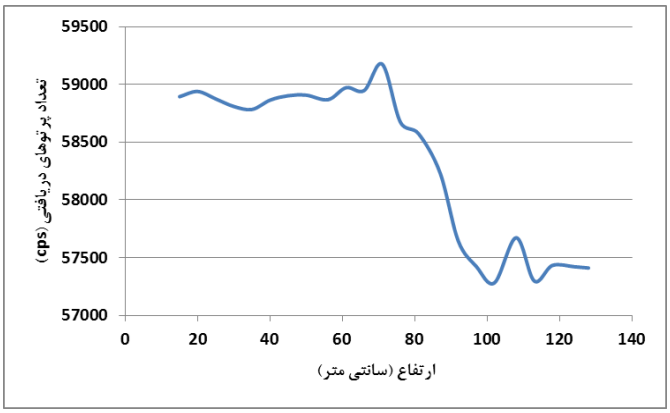
شکل ۶. نمودارِ تعدادِ پرتوهای دریافتی و انحراف معیار به دست آمده در مخزنی با ارتفاع ۸۰ سانتی متر از مادهٔ ۱ و ۴۰ سانتی‌متر از مادهٔ ۲

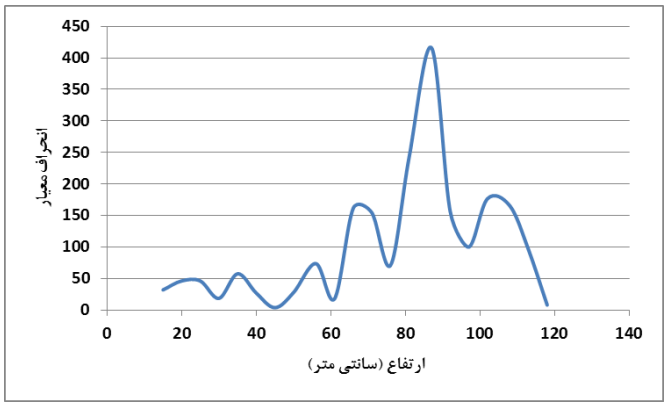




شکل ۷. نمودارِ تعداد پرتوهای دریافتی و انحراف معیار به دست آمده در مخزنی با ارتفاع ۶۰ سانتی متر از ماده ۱ و ۴۰ سانتی‌متر از ماده ۲

یک تغییر انحرافِ معیارِ ناگهانی در محل سطح جدایی دو ماده مشاهده می‌گردد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که با تغییرِ چگالی موّادِ موجود در مخزن میزانِ پس‌پراکنی هسته‌ای موّاد تغییر می‌کند که این عمل خود را به صورتِ تغییر در تعداد پرتوهای دریافت‌شده نشان می‌دهد.





شکل ۸. نمودارِ تعداد پرتوهای دریافتی و انحراف معیار به دست آمده در مخزنی با ارتفاع ۸۵ سانتی متر از مادهٔ ۱ و ۳۵ سانتی‌متر از مادهٔ ۲

نتیجه‌گیری

با توّجه به اهمّیت تعیین سطح جدایی مواد در صنایع شیمیایی کشور، دستگاه‌های مختلفی برای تعیین مرز مواد غیرهمگن توسعه یافته است. بدین منظور با توجّه به ویژگی برخی موّاد شیمیایی مبنی بر سمّی بودن و قابل اشتعال بودنِ مواد، امکانِ سنجشِ ارتفاعِ مواد درون مخازن برای بسیاری از سیستم‌های اندازه‌گیری وجود ندارد. در این مقاله استفاده از روش پس‌پراکنی هسته‌ای برای تعیین سطح جدایی مواد ،در صورتی که تماس با مواد درون مخزن به هیچ‌وجه امکان پذیر نباشد، ارائه شد. در این روش به کمک یک آشکارساز پرتوهای گاما و یک چشمهٔ رادیواکتیو، سیستم درون لوله‌ای مجزا، از کف

مخزن تا بالای آن حرکت کرده میزان پرتوهای آشکارشده را ثبت می‌کند. تحلیل داده‌های ثبت شده، تغییرات در چگالی مواد درون مخزن را به صورت خیلی واضح نشان می‌دهد. همچنین در این روش نواحی امولوسیون مواد نیز کاملاً مشخص می‌گردد.

منابع

[1] P. Lupoli. and D. Mattis; “Float switch construction for monitoring liquid level”; *Environment International* **14** (1998) IX.

[2] D. Ordolff; “Investigations on the design of floats to control milk meters”; *Journal of Agricultural Engineering Research* **43** (1989) 113–123.

[3] V. E. Sakharo, S. A. Kuznetsov, B. D. Zaitsev, I. E. Kuznetsova, and S. G. Joshi; “Liquid level sensor using ultrasonic Lamb waves”; *Ultrasonics* **41** (2003) 319–322.

[4] E. Vargas, R. Ceres, J. M. Marti´n, and L.Caldero´n; “Ultrasonic sensor for liquid-level inspection in bottles”; *Sensors and Actuators A: Physical* **61** (1997) 256–259.

[5] T. Kabor and R. Werthschützky; “Wafer Level Processing of Overload-Resistant Pressure Sensors”; *Procedia Engineering* **47** (2012) 615–618.

[6] H. Golnabi; “Design and operation of a fiber optic sensor for liquid level detection”; *Optics and Lasers in Engineering* **41** (2004) 801–812.

[7] C. Yang, S. Chen, and G. Yang; “Fiber optical liquid level sensor under cryogenic environment”; *Sensors and Actuators A: Physical* **94** (2001) 69–75.

[8] A. Jaworek and A. Krupa; “Phase-shift detection for capacitance sensor measuring void fraction in two-phase flow”; *Sensors and Actuators A: Physical* **160** (2010) 78–86.

[9] F. Lucklum and B. Jakoby; “Novel magnetic–acoustic resonator sensors for remote liquid phase measurement and mass detection”; *Sensors and Actuators A: Physical* **145-146** (2008) 44–51.

[10] T. Uemura; “Observations of Backscattered Gamma-Rays in a Surface Density Gauge”; *Japanese Journal of Applied Physics* **4** (1965) 667.

[11] I. A. Henderson and J. McGhee; “Modelling gamma-source backscatter density gauge”; *IEE Proceedings* **133** (1986) 611-617.

[۱۲] عباس‌آباد عربی، طاهره؛ توکلی عنبران، حسین؛ "محاسبه رطوبت خاک با استفاده از پس پراکندگی پرتوهای گاما، با روش مونت کارلو"، کنفرانس فیزیک ایران، ارومیه ۱۳۹۰.