

## طراحی و ساخت سیستم تعیین مرز تداخل مواد نامحلول در مخازن فرآیندی با استفاده از پرتو گاما

رضا قلی پور پیوندی<sup>۱</sup>

سجاد رحمن زاده توت کله<sup>۲</sup>

مجتبی عسکری له داربنی<sup>۱</sup>

علی عظیم بگی راد<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۵/۱۳

تاریخ تصویب: ۹۱/۱۱/۹

### چکیده

تعیین مرز تداخل بین مواد در صنایع پالایشگاهی، شیمیایی، گاز و پتروشیمی برای تحلیل فرآیند از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به عدم مشاهده مرز جداسازی مواد در درون مخازن، روش های 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 می گردد. در این روش به کمک سازه

<sup>۱</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران.

<sup>۲</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران؛ Sajjad.Rahmanzadeh@gmail.com

مکانیکی، چشمه گسیلنده گاما و آشکارساز 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 دست آمده نشان‌دهنده‌ی مرز جداکننده بین مواد می‌باشد. همچنین نتایج تجربی ارائه شده در صنعت شیمیایی نشان می‌دهد که این فناوری از کارایی قابل قبولی برخوردار است. در این مقاله برای شناسایی بهتر مرز بین مواد، از روشی مبتنی بر انحراف معیار داده‌های ثبت شده استفاده شده است.

## واژه‌های کلیدی: آشکارساز پرتوهای گاما، جداسازی مواد،

تداخل سنج، صنایع شیمیایی.

### مقدمه

با توجه به اهمیت جداسازی مواد در صنایع شیمیایی، پتروشیمی، گاز، نفت و غیره، روش‌های مختلفی برای شناسایی مرز تداخل مواد شیمیایی ارائه داده شده است. در همین راستا با توجه به ماهیت 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 اطلاعات فرآیندی در مورد نحوه توزیع مواد نامحلول در داخل مخازن به دست آورد. همچنین در این روش می‌توان میزان امولوسیون<sup>۱</sup> مواد با یکدیگر را شناسایی نمود. در زمینه 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 مایع درون مخزن می‌باشد که معمولاً برای قطع و وصل کردن جریان مایع درون یک مخزن استفاده می‌شوند. بدین ترتیب اگر سطح مایع از حد مشخصی پایین‌تر بیاید، شناور با سطح مایع پایین آمده کلیدی

<sup>۱</sup>emulsion

را وصل می کند که منجر به ورود مایع درون مخزن می شود. پس از رسیدن سطح مایع به مقدار مورد نظر، کلید قطع شده و ورود مایع به درون مخزن متوقف می شود. این روش به دلیل محدودیت در قرار دادن کلید مکانیکی و یا الکترونیکی تنها در صنایع خاصی کاربرد دارد. روش دیگری که در صنعت برای سنجش ارتفاع مواد کاربرد دارد، استفاده از روش لیزر می باشد. در این روش یک گسیلنده لیزر در بالای مخزن، پالس کوتاهی بر روی سطح ماده مورد نظر می تاباند و بازتابش این پالس توسط گیرنده دریافت می شود. اختلاف زمان میان پرتو گسیل شده و دریافت شده توسط یک مدار زمانی اندازه گیری می شود و مسافت محاسبه می گردد. این روش به دلیل هدر رفتن نور در اثر پراکندگی و همچنین آلوده شدن لنز لیزر و عدم ایجاد ساختار روزنه در بدنه مخازن در صنایع شیمیایی کاربردی ندارد [۴]-

{۳} که در آن برای مهار فشار بالای خط و همچنین جلوگیری از اثر سمی مواد از مخازن فلزی بسته استفاده می شود. همچنین روش هایی نظیر روش مبتنی بر فشار [۵]، منشور نوری [۶-۷]، خازن [۸] و مغناطیس [۹] نیز در همین زمینه کاربرد دارد. در این روش ها محدودیت کاربرد در محیط های زلال و شفاف و دقت کم در محیط های متشکل از چندین ماده جداشونده، عدم کاربرد در محیط های اسیدی و همچنین عدم کارایی برای مخازن با ضخامت بدنه بالا، از جمله محدودیت های استفاده از این دستگاه ها می باشد.

یمورا در مقاله خود آزمایش هایی در زمینه پراکندگی پرتوهای گاما و رابطه آن با چگالی موارد را مورد بررسی قرار می دهد [۱۰]. همچنین هندرسون و همکارش در تحقیق خود به مدل سازی پس پراکندگی پرتوهای گاما در دستگاه های چگالی سنج می پردازند. آن ها در تحقیقات خود پارامترهای مورد نیاز برای طراحی و ساخت سیستم آشکارسازی و محفظه چشمه را مورد ارزیابی قرار می دهند [۱۱]. در روش پرتو گاما، دستگاه آشکارساز گاما به همراه چشمه رادیواکتیو در طول ارتفاع مخزن حرکت کرده و یک پروفایل از چگالی ماده درون مخزن ارائه می نماید. با بررسی پروفایل اندازه گیری شده، مرز تداخل مواد که به صورت تغییر در چگالی نشان داده می شود، محاسبه می گردد. یکی از کاربردهای این دستگاه برای تعیین مرز جدایی ماده هیدروفلوریک اسید<sup>۱</sup> از یک

<sup>۱</sup> Hydrofluoric acid (HF)

ماده آلی کربن دار می باشد. در این مخزن می توان به کمک روش پرتو گاما مرز جدا بین دو ماده را تعیین نموده فرآیند جداسازی آن ها را با اطلاعات دقیق تری ادامه داد.

## تئوری

روش پرتو گاما در بسیاری از مخازن تحت فشار و همچنین مخازنی که در آن ها به علت خوردگی و اشتعال زایی مواد، امکان به کارگیری روش های اندازه گیری غیرهسته ای وجود ندارد، کاربرد دارد. در این مخازن یک لوله ارتباطی برای حرکت آشکارساز و ماده رادیواکتیو قرار داده می شود و تعیین مرز تداخل مواد با حرکت همزمان آشکارساز و ماده رادیواکتیو از کف مخزن تا سر آن صورت می گیرد. برهمکنش پرتوی گاما با ماده عمدتاً به سه طریق فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و تولید زوج اتفاق می افتد. در پراکندگی کامپتون هم انرژی و هم جهت پرتوی گاما تغییر می کند. در برهمکنش کامپتون داریم:

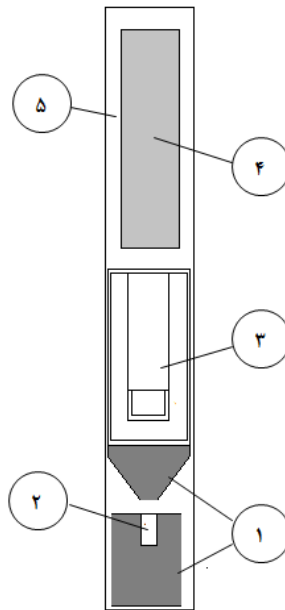
$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{1 - \cos \theta}{m_0 c^2} E_\gamma} \quad (1)$$

که در آن  $E_\gamma$  و  $E'_\gamma$  به ترتیب انرژی پرتوهای گامای فرودی و پراکنده شده،  $\theta$  زاویه پراکندگی و  $m_0 c^2$  جرم سکون الکترون می باشند. احتمال رخ داد پراکندگی کامپتون در واحد طول مسیر پرتو از رابطه زیر به دست می آید: [۱۲]

$$\sigma \approx \rho \frac{N_A}{A} f(E_\gamma) \quad (2)$$

که در آن  $\rho$  چگالی ماده ای است که پرتو گاما به آن تابانده می شود،  $N_A$  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 می شود که با افزایش چگالی، احتمال پراکندگی پرتوهای گاما در ماده بیشتر می شود. اگر پراکندگی در زاویه ای بیشتر از ۹۰ درجه صورت گیرد در اصطلاح پس پراکندگی اتفاق می افتد. وقتی پرتوهای گاما وارد هوا می شود به دلیل رقیق بودن هوا و با توجه به رابطه (۲) و تناسب مستقیم پراکندگی با چگالی ماده هوا نمی تواند پرتوهای ماده رادیواکتیو را برگرداند.

برای استفاده از پرتوهای گاما در سیستم‌های تداخل سنج هسته‌ای می‌توان 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 روش پس پراکندگی پرتوهای چشمه و آشکارساز در داخل مخزن در امتداد یکدیگر قرار می‌گیرند. شکل ۱ نمایی از قرارگیری مادهٔ رادیواکتیو و آشکارساز را نشان می‌دهد.

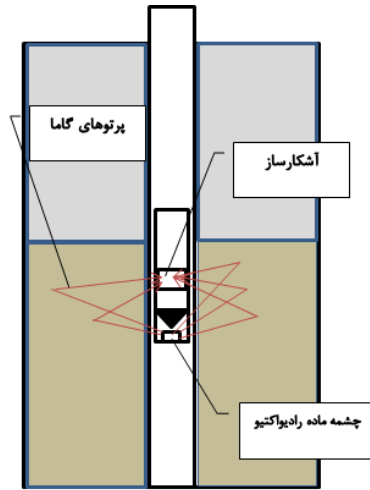


شکل ۱. کلیت طرح ارائه شده؛

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

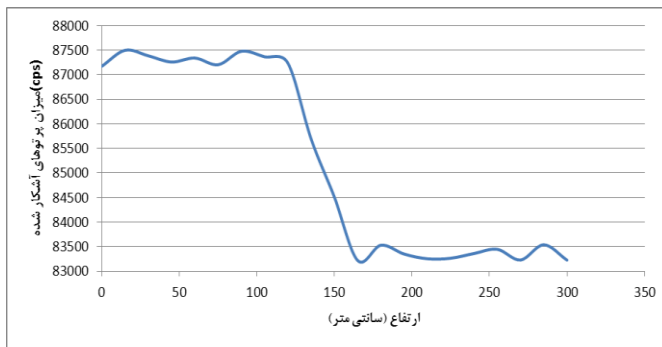
## روش کار

روش کار بدین صورت است که ماده رادیواکتیو، فوتون‌هایی را در همه جهات گسیل می‌نماید و به علت این که قطعه سربی (به عنوان حفاظ) حایل بین ماده رادیواکتیو و آشکارساز می‌باشد، هیچ گونه پرتویی به طور مستقیم توسط آشکارساز شناسایی نمی‌شود. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است پرتوها به طور غیرمستقیم ابتدا به مادهٔ درون مخزن برخورد می‌کند و سپس تغییر مسیر داده توسط آشکارساز شناسایی می‌شوند.



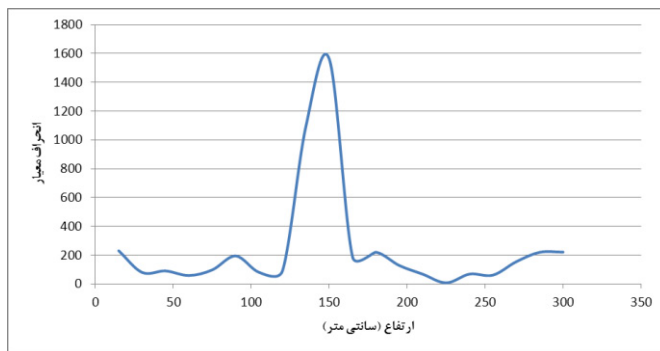
شکل ۲. ساختار عملکرد دستگاه تداخل سنج هسته‌ای

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



شکل ۳. نحوه تغییر تعداد پرتوهای آشکار شده در مرز جدایی دو ماده

در این نمودار مشاهده می‌شود که با تغییر ماده درون مخزن، میزان پرتوهای آشکار شده با افت شدیدی همراه می‌شود. چنانچه در شکل ۳ نشان داده شده، ابتدا دستگاه آشکارساز در ماده اول قرار دارد و پس از آن که دستگاه در ارتفاع حدود ۱۵۰ سانتی‌متر وارد ماده دوم شده و تعداد پرتوهای دریافت شده افت می‌کند. ناحیه‌ای را که 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 تغییرات ناگهانی انحراف معیار نشان داده شده است.



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

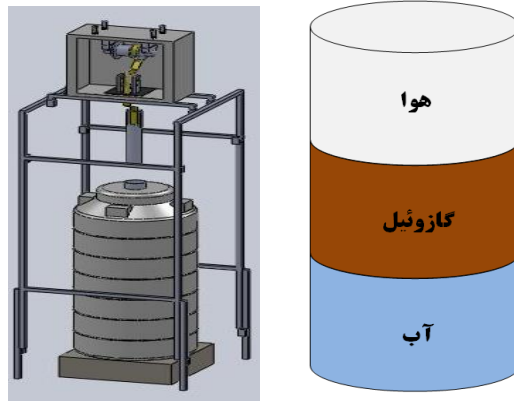
پس از ثبت داده‌های اندازه‌گیری شده، به کمک انحراف معیارهای به دست آمده، مرز جدایی مواد شناسایی شده می‌توان اقدامات لازم را برای جداسازی مواد با توجه به میزان آن‌ها در مخزن را اعمال نمود.

### نتایج به دست آمده

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

۵۲ / طراحی و ساخت سیستم تعیین مرز تداخل مواد نامحلول در مخزن فرآیندی با استفاده از پرتو گاما

ماده با چگالی‌های نزدیک به هیدروفلوریک اسید و ماده کربن دار تهیه گردید. مواد انتخاب شده به ترتیب آب و گازوئیل 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 تداخل سنج هسته‌ای را نشان می‌دهد.



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

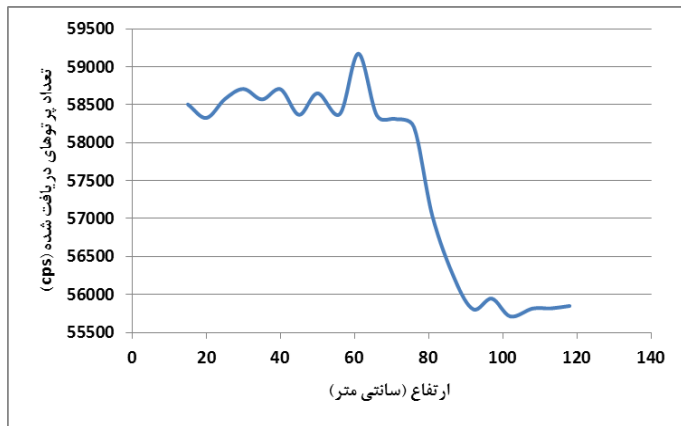
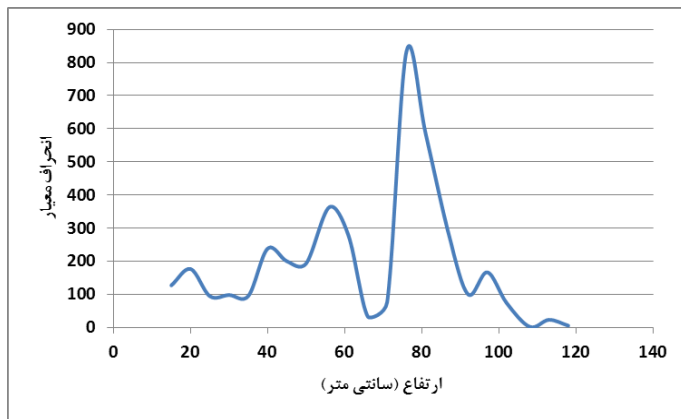
برای بررسی نتایج روش هسته‌ای، مجموعه آزمایش‌هایی در ارتفاع‌های مختلف مواد درون مخازن انجام گردید و نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

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

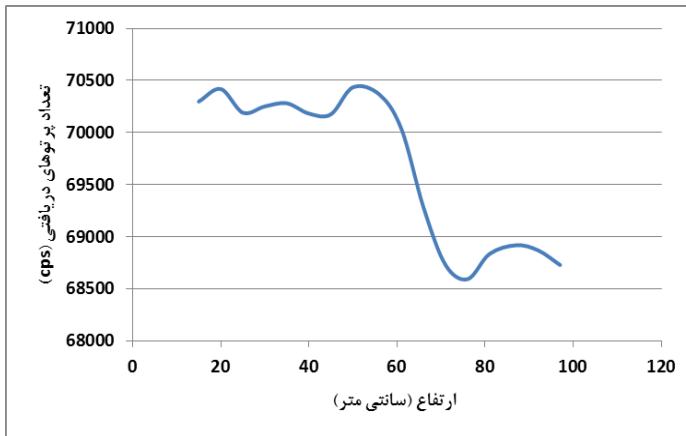
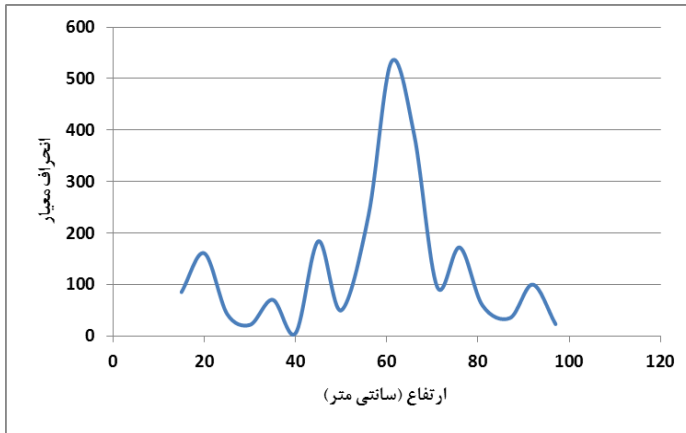
ارتفاع ماده ۲		ارتفاع ماده ۱		شماره آزمایش
مقدار ارتفاع بدست آمده از دستگاه	مقدار واقعی	مقدار ارتفاع بدست آمده از دستگاه	مقدار واقعی	
۵۱	۵۰	۹۲	۹۰	۱
۶۲	۶۰	۷۸	۸۰	۲
۴۰	۴۰	۷۰	۷۰	۳
۸۱	۸۰	۶۱	۶۰	۴
۵۰	۵۰	۴۹	۵۰	۵



در این سری از آزمایشات، میزان ارتفاع دو ماده در مخزن تغییر داده شد و ارتفاع واقعی با ارتفاع به دست آمده از دستگاه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در بدترین حالت میزان خطای دستگاه حدود  $\pm 2$  سانتی متر می باشد که در مقایسه با ارتفاع مخزن، این دقت مورد قبول است. همچنین در شکل های ۶ تا ۸ تعداد پرتوهای دریافتی و انحراف معیار بر حسب ارتفاع در ۳ نمونه آزمایش نشان داده شده است.

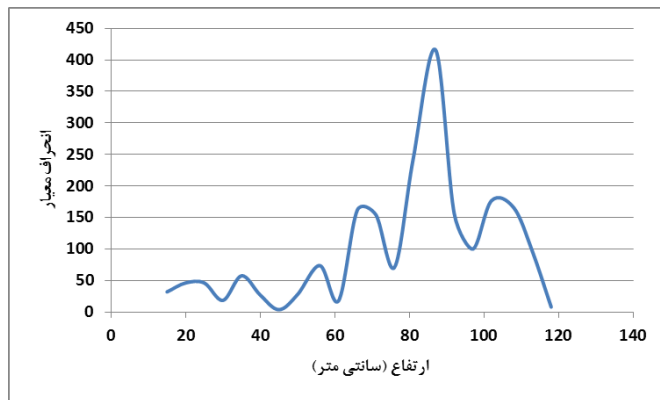
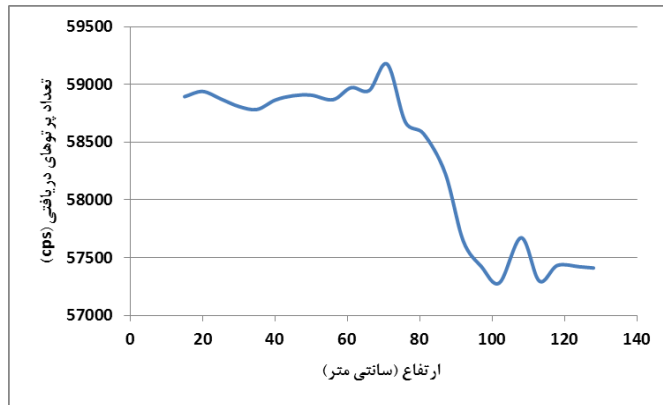


شکل ۶. نمودار تعداد پرتوهای دریافتی و انحراف معیار به دست آمده در مخزنی با ارتفاع ۸۰ سانتی متر از ماده ۱ و ۴۰ سانتی متر از ماده ۲



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

یک تغییر انحراف معیار ناگهانی در محل سطح جدایی دو ماده مشاهده می‌گردد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که با تغییر چگالی مواد موجود در مخزن میزان پس‌پراکنی هسته‌ای مواد تغییر می‌کند که این عمل خود را به صورت تغییر در تعداد پرتوهای دریافت شده نشان می‌دهد.



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

### نتیجه گیری

با توجه به اهمیت تعیین سطح جدایی مواد در صنایع شیمیایی کشور، دستگاه‌های مختلفی برای تعیین مرز مواد غیرهمگن توسعه یافته است. بدین منظور با توجه به ویژگی برخی مواد شیمیایی مبنی بر سمی بودن و قابل اشتعال بودن مواد، امکان سنجش ارتفاع 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 چشمه رادیواکتیو، سیستم درون لوله‌ای مجزا، از کف

مخزن تا بالای آن حرکت کرده میزان پرتوهای آشکارشده را ثبت می کند. تحلیل داده های ثبت شده، تغییرات در چگالی مواد درون مخزن را به صورت خیلی واضح نشان می دهد. همچنین در این روش نواحی امولسیون مواد نیز کاملاً مشخص می گردد.

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