

## بررسی تأثیر انرژی چشمه بر روی کیفیت پروفایل شمارش بدست آمده از تکنیک اسکن به کمک پرتوهای گاما در عیب‌یابی یک ستون تقطیر سینی‌دار آزمایشگاهی

هادی شهابی نژاد<sup>۱\*</sup> و سید امیرحسین فقهی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

\*تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، کدپستی: ۱۱۴-۱۴۵۶۵

پست الکترونیکی: shahabinejad@energy.sharif.ir

### چکیده

در این مقاله تأثیر انرژی چشمه بر روی کیفیت پروفایل شمارش بدست آمده از تکنیک اسکن به کمک پرتوهای گاما بررسی شده است. برای بررسی تأثیر انرژی چشمه، یک برج تقطیر آزمایشگاهی (با سینی‌های یک‌گذر و قطر ۵۱ سانتی‌متر) همراه با آشکارساز تابشی NaI(Tl) با ابعاد یک اینچ در یک اینچ مورد استفاده قرار گرفت. جهت شبیه‌سازی ستون تقطیر در شرایط عملکردی عادی و عیب‌دار، از کد مونت کارلوی MCNPX استفاده شد. چشمه‌های Co-60 و Cs-137 برای بررسی تأثیر انرژی چشمه مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج شبیه‌سازی اسکن ستون سینی‌دار با نتایج تجربی مورد ارزیابی قرار گرفته و تأیید شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که چشمه Cs-137 منجر به آمار شمارش بهتر برای ستون مورد تحقیق می‌شود و عیب کف روی سینی با این چشمه برای ستون مذکور بهتر تشخیص داده می‌شود.

**کلیدواژگان:** تکنیک اسکن به کمک پرتوهای گاما، برج‌های تقطیر، عیب‌یابی، شبیه‌سازی مونت کارلو، آشکارساز تابشی، چشمه رادیوایزوتوپ.

### ۱. مقدمه

های این ستون‌ها در سریع‌ترین زمان ممکن تشخیص داده شده و جهت رفع آن‌ها اقدامات لازم انجام شود. تنها روش موجود که بتواند در سریع‌ترین زمان ممکن و به صورت برخط (On-line) عیوب را در محل خودشان تشخیص دهد تکنیک اسکن به کمک پرتوهای گاما می‌باشد. این تکنیک همچنین کاملاً غیر مخرب و مقرون به صرفه اقتصادی می‌باشد [۱-۳].

اسکن برج‌های تقطیر از مدت‌ها قبل در سراسر دنیا انجام می‌شود و سابقه ای ۵۰ ساله دارد [۴]. یک مرحله‌ی بسیار مهم

برج‌های تقطیر، عناصری اساسی در پالایشگاه‌های نفتی و تأسیسات گازی، شیمی و پتروشیمی می‌باشند و بازدهی این تأسیسات شدیداً وابسته به این است که برج‌های مذکور طبق روال پیش‌بینی شده کار کنند. در شرایط نامناسب، یک یا چند عیب ممکن است رخ دهد. این عیوب در ستون‌ها علاوه بر ایجاد خطرات آتش‌سوزی و آلودگی‌های محیطی، باعث تلفات مالی و تولیدی بزرگی می‌شوند. بنابراین لازم است که عیب-

سینی دار، شدت تابش عبوری از سینی‌ها بسیار کمتر از قسمت‌های دیگر خواهد بود.

همان‌طور که در قسمت‌های (a) و (b) شکل ۱ نشان داده شده است، ابزار آزمایش تجربی شامل یک برج تقطیر آزمایشگاهی با قطر خارجی ۵۱ سانتی‌متر، با ۶ سینی و ۶ ناودان<sup>۱</sup> به ضخامت ۳ میلی‌متر از جنس استیل و همچنین فضای بخار ۱۸ سانتی‌متر (فضای بین سطح مایع روی سینی و سینی بالای آن)، یک چشمه Cs-137 با اکتیویته ۸ mCi و یک آشکارساز تابش NaI با ابعاد 1inch×1inch می‌باشد. یک پمپ نیز جهت به چرخش درآوردن مایع در برج استفاده شده است. برای شبیه‌سازی ستون در محیط شبیه‌سازی MCNPX از نقشه ستون سینی‌دار استفاده شد. MCNPX یک کد مونت کارلو می‌باشد که به طور گسترده برای مسائل ترابرد نوترون، فوتون، الکترون و یا ترکیبی از آن‌ها استفاده می‌شود [۷]. شرایط عادی و عیب‌دار ستون شبیه‌سازی شده در قسمت‌های (c) و (d) شکل ۱ نشان داده شده‌اند. عیب‌های زیر در ستون تعبیه شده‌اند:

- قراردادن یک فوم با چگالی  $0.17 \text{ g/cm}^3$  روی سینی شماره ۳ جهت مدل کردن کف روی سینی (Foaming).
  - قرار ندادن آب روی سینی ۴ جهت مدل کردن عیب سینی معیوب (Damaged tray).
  - جمع شدن آب تا بالای سینی شماره ۶ جهت مدل کردن طغیان مایع (Flooding).
- محاسبات شبیه‌سازی به ازای هر ذره چشمه و با تالی F8 انجام شده است و خطای محاسبات کمتر از ۵ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه وضوح پروفایل بدست آمده ناشی از شمارش‌های زیر فوتوپیک بیشتر از شمارش‌های کل آشکارساز می‌باشد [۵]، در اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی‌ها از شمارش‌های زیر فوتوپیک استفاده شده است.

در فرآیند اسکن برج‌ها، تحلیل پروفایل‌های چگالی بدست آمده از تکنیک اسکن می‌باشد. هرچه بتوان کیفیت پروفایل‌های چگالی بدست آمده به کمک این روش را بهبود بخشید تحلیل آن‌ها و در نتیجه تشخیص شرایط عملکردی برج راحت‌تر خواهد بود [۵ و ۶]. یکی از عوامل تأثیرگذار در کیفیت پروفایل چگالی، نوع و انرژی چشمه به کار رفته در اسکن ستون تقطیر می‌باشد. از آنجایی که تابش گامای مورد استفاده برای اسکن ستون تقطیر باید توانایی عبور از ضخامت‌های بالا را داشته باشد، به طور معمول چشمه‌های Co-60 و Cs-137 استفاده می‌شوند [۴]. با توجه به این‌که فرآیند اسکن به کمک پرتوهای گاما زمان‌گیر می‌باشد، انتخاب چیدمان بهینه برای اسکن به صورت تجربی معقول نمی‌باشد.

در این مقاله پس از صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو با داده‌های تجربی، تأثیر انرژی چشمه بر کیفیت پروفایل شمارش با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲. مواد و روش‌ها

در اسکن به کمک پرتوهای گاما، یک چشمه مهروموم شده و یک آشکارساز به‌طور هم‌زمان و در گام‌های کوچک و در یک صفحه افقی در راستای برج از بالا تا پایین جابه‌جا می‌شوند. در هر ارتفاع ستون، تابش ثبت شده توسط آشکارساز به چگالی ماده بین چشمه و آشکارساز بستگی دارد. شدت تابش ثبت شده در آشکارساز با رابطه‌ی ۱ بیان می‌شود:

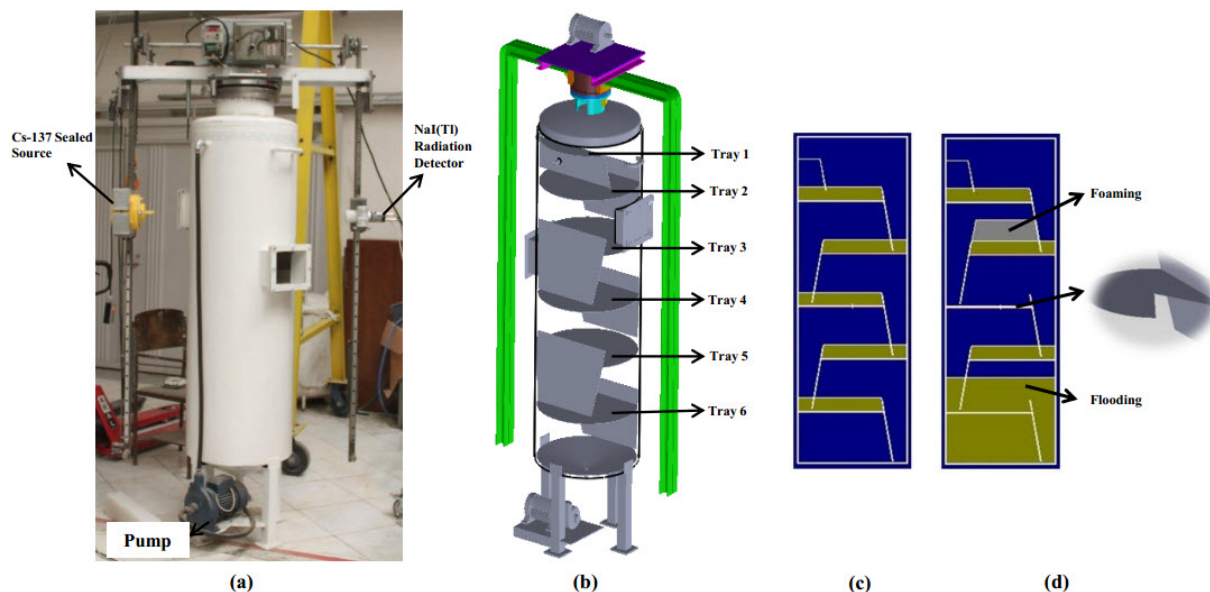
$$I = BI_0 \exp(-\mu_m \rho x) \quad (1)$$

که در آن،  $I$  شدت تابش گامای عبوری از ماده،  $B$  ضریب انباشت،  $I_0$  شدت تابش گامای فرودی،  $x$  طول مسیر تابش،  $\mu_m$  ضریب تضعیف جرمی و  $\rho$  چگالی ماده می‌باشد. همان‌طور که از رابطه ۱ پیدا است، شدت تابش عبوری از ماده با افزایش چگالی به صورت نمایی کاهش می‌یابد. بنابراین در برج‌های

<sup>1</sup>Downcomer

شدند و در هر گام شمارش‌های زیر قله سزیم در ۱۰ ثانیه ثبت شده و نمودار شمارش‌ها بر حسب ارتفاع به دست آمد.

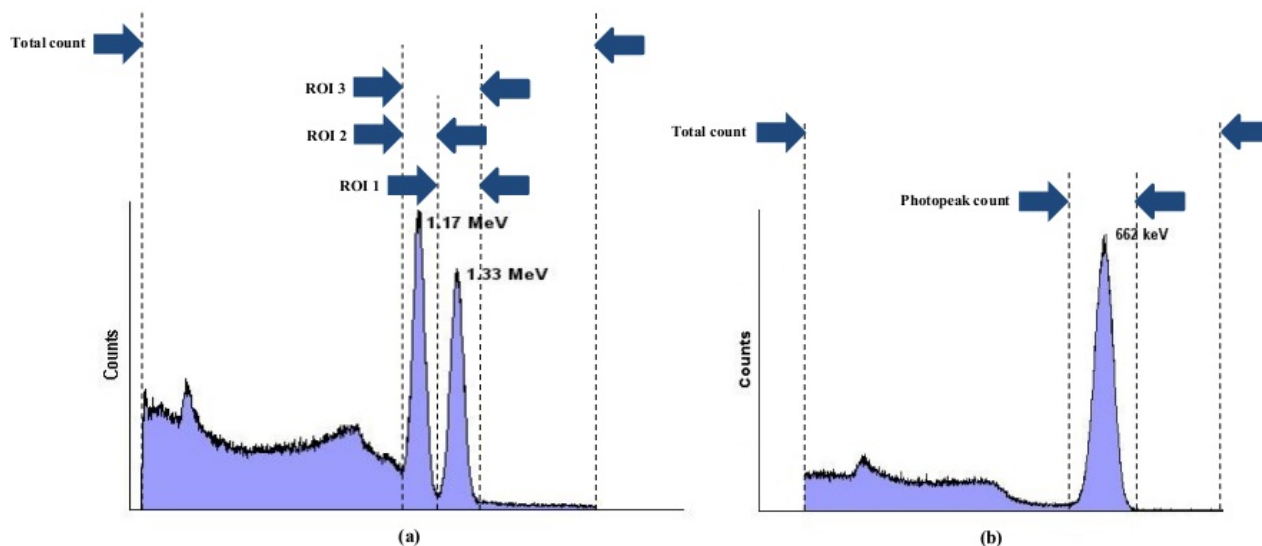
برای صحت‌سنجی داده‌های شبیه‌سازی، چشمه و آشکارساز با گام‌هایی ۵ میلی‌متری رو به روی هم پایین آورده



شکل (۱): چیدمان اسکن ستون تقطیر، (a) و (b) چیدمان تجربی، (c) و (d) شرایط عملکرد عادی و عیب‌دار شبیه‌سازی شده.

گرفتند. محدوده‌های مختلف انرژی (ROI) استفاده شده در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

برای بررسی تأثیر انرژی چشمه روی پروفایل شمارش، شمارش‌های زیر قله و شمارش‌های کل چشمه‌های Co-60 و Cs-137 با استفاده از آشکارساز NaI مورد استفاده قرار



شکل (۲): محدوده‌های انرژی مختلف استفاده شده در شبیه‌سازی: (a)  $ROI1=(1.25-1.45)$  MeV  $ROI2=(1.07-1.25)$  MeV  $ROI3=(1.07-1.45)$  MeV

(b) محدوده فوتوپیک  $(0.55-0.73)$  MeV.

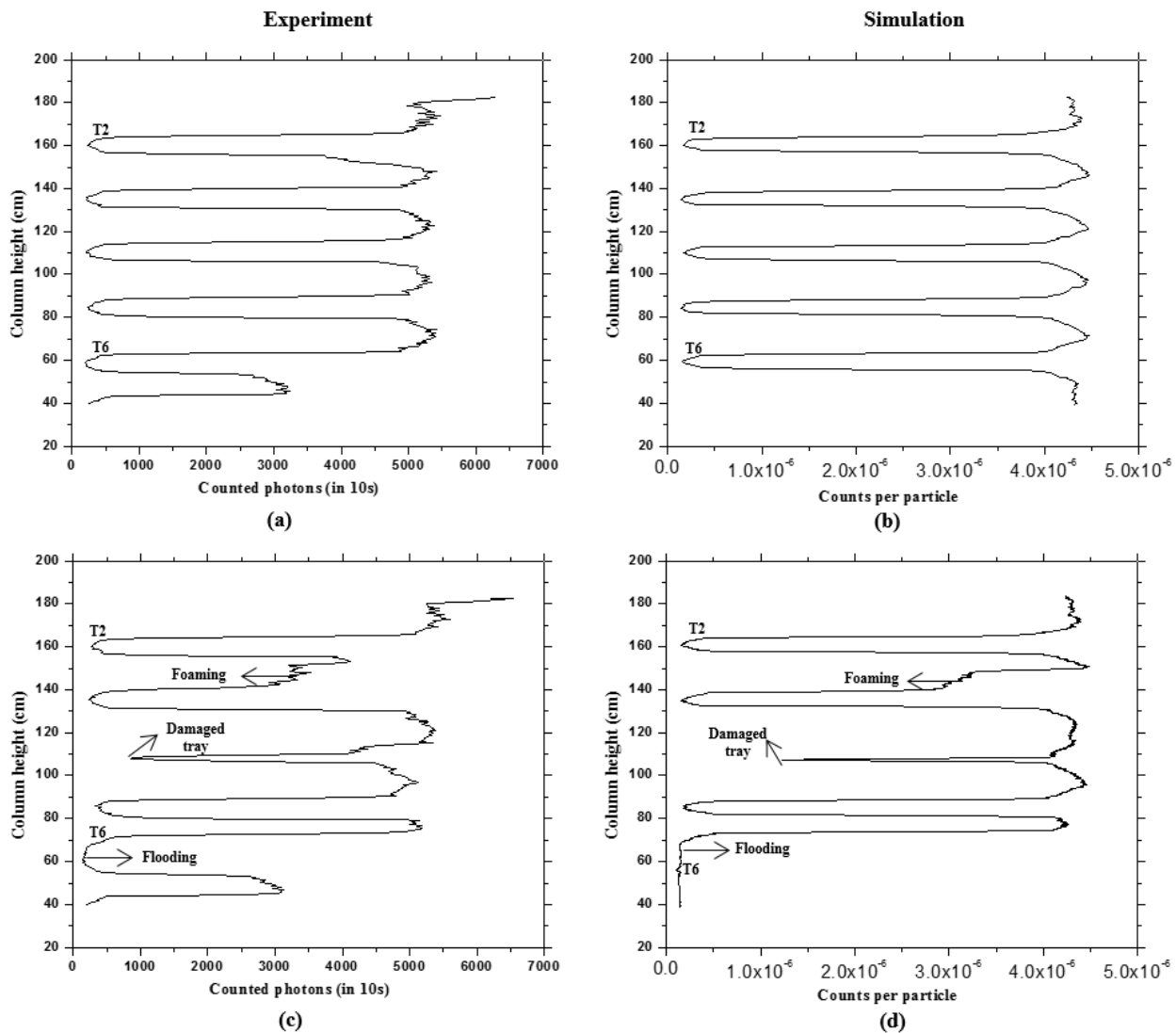
## ۳. نتایج و بحث

در شکل ۳ نتایج شبیه‌سازی و تجربی اسکن ستون تقطیر آزمایشگاهی در شرایط عملکرد عادی و عیب‌دار آورده شده است.

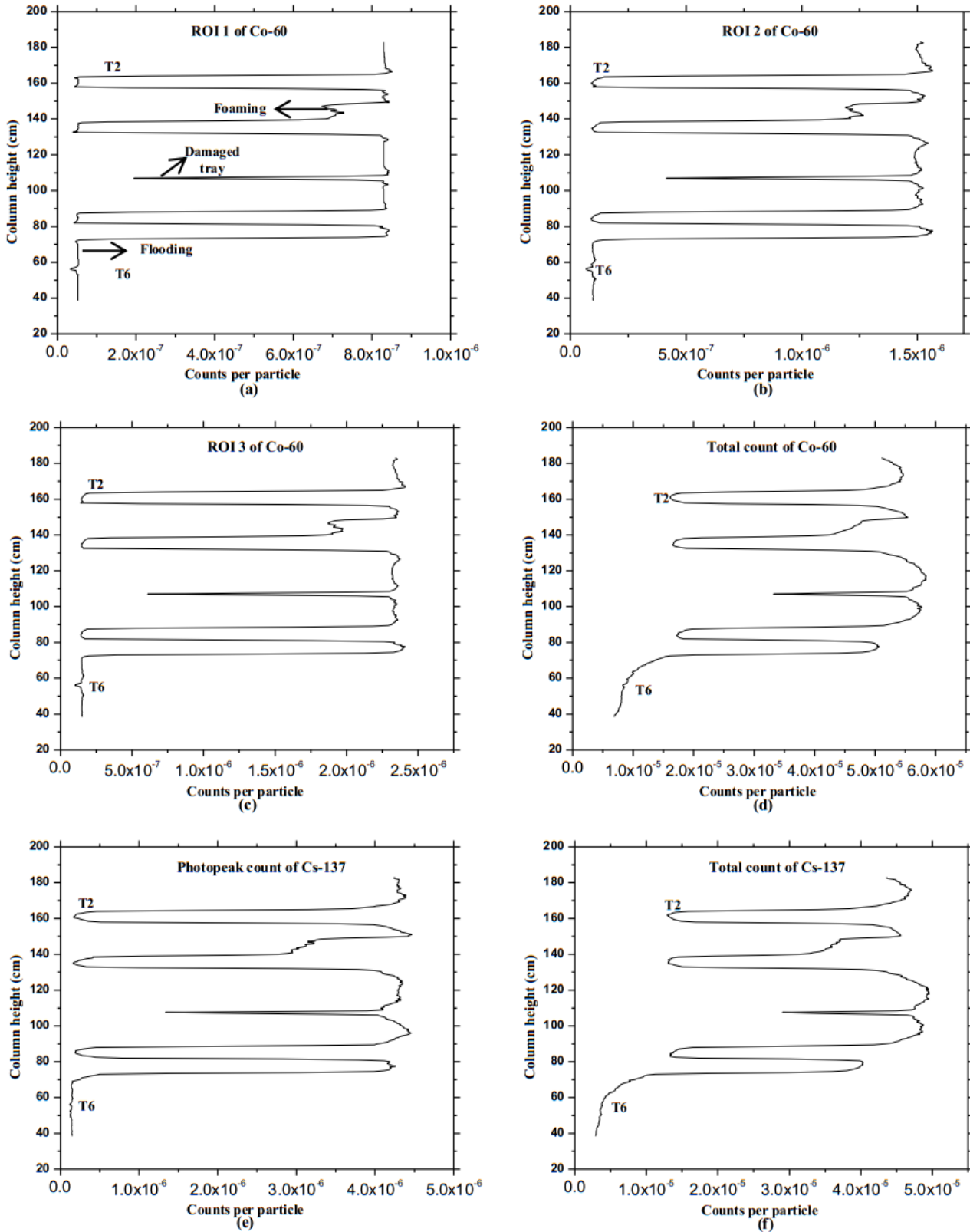
همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، هر دو حالت عملکردی عادی و عیب‌دار ستون تقطیر آزمایشگاهی به درستی تشخیص داده شده‌اند. مکان سینی‌ها به درستی توسط نتایج تجربی و شبیه‌سازی حاصل شده‌است. به این نکته باید توجه کرد که تفاوت در پهنای قله‌ها به دلیل تقریبات به کار گرفته شده در تخمین سطح مایع روی سینی‌ها در شبیه‌سازی می-

باشد. تفاوت نتایج شبیه‌سازی و تجربی در تضعیف زیر سینی ۶ (قسمت‌های (a) و (b) شکل ۳ به دلیل سطح مایع پایه در برج تقطیر آزمایشگاهی می‌باشد که عمداً در نتایج شبیه‌سازی در نظر گرفته نشده است. همچنین تفاوت نتایج تجربی و شبیه‌سازی زیر سینی ۶ در حالت عملکرد عیب‌دار برج به خاطر عیب طغیان شدید در نظر گرفته شده در محاسبات شبیه‌سازی می‌باشد.

تأثیر محدوده‌های انرژی مختلف چشمه‌های Co-60 و Cs-137 بر روی پروفایل شمارش در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل (۳): نتایج تجربی و شبیه‌سازی اسکن ستون تقطیر در شرایط عملکردی عادی ((a) و (b)) و عیب‌دار ((c) و (d)).



شکل (۴): پروفایل‌های شمارش بدست آمده از اسکن ستون تقطیر به ازای ROI های مختلف چشمه های Co-60 و Cs-137.

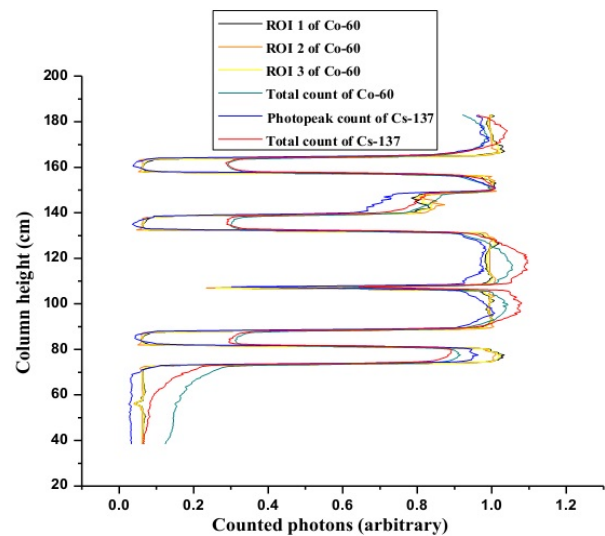
پرتوهای آن آمار شمارش بهتری را موجب شود.

- اگرچه استفاده از شمارش‌های زیر قله منجر به پروفایل‌های شمارش با کیفیت‌تر می‌شود، اما آمار شمارش در آن بدتر می‌شود.
- در استفاده از چشمه Co-60 برای اسکن ستون تقطیر، ROI3 به دلیل کیفیت پروفایل بهتر و آمار شمارش بالاتر توصیه می‌شود.
- عیب کف روی سینی با استفاده از چشمه Cs-137 بهتر تشخیص داده می‌شود که به دلیل اندرکنش بیشتر پرتوهای کم انرژی گامای آن با فوم می‌باشد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این کار تأثیر انرژی چشمه بر کیفیت پروفایل شمارش به دست آمده از تکنیک اسکن به کمک پرتوهای گاما در یک ستون تقطیر آزمایشگاهی با استفاده از شبیه‌سازی با کد مونت کارلوی MCNPX مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، عیب‌ها به درستی در مکان خود با استفاده از هر دو چشمه Co-60 و Cs-137 تشخیص داده شدند. همچنین با استفاده از چشمه Cs-137 آمار شمارش بهتری برای ستون تقطیر مذکور حاصل می‌شود و با این چشمه عیب کف روی سینی بهتر تشخیص داده می‌شود.

برای مقایسه بهتر این پروفایل‌ها، شمارش‌های نرمال شده در شکل ۵ آورده شده است.



شکل (۵): پروفایل‌های شمارش نرمال شده به دست آمده از اسکن ستون تقطیر به ازای ROI های مختلف چشمه‌های Co-60 و Cs-137.

بر اساس نتایج شکل‌های ۴ و ۵، نتایج زیر حاصل می‌شود:

- در همه حالات کف روی سینی، سینی معیوب و طغیان مایع به درستی تشخیص داده شده‌اند.
- با استفاده از چشمه Cs-137 آمار شمارش بهتری نسبت به چشمه Co-60 حاصل می‌شود. این برتری به دلیل بازدهی بالاتر آشکارساز به گاماها کم انرژی چشمه سزیم می‌باشد. برای ستون‌های با قطر و ضخامت بیشتر ممکن است چشمه Co-60 به دلیل عمق نفوذ بیشتر

#### ۵. مراجع

- [1] P. Walinjar, and G. Singh. Dual energy gamma scanning technique to analyze condition of distillation columns, Indian Journal of pure & Applied Physics, 49 (2011) 669-672.
- [2] H. Shahabinejad, S.A.H. Fegghi, M. Khorsandi. Structural Inspection and Troubleshooting Analysis of a Lab-Scale Distillation Column Using Gamma Scanning Technique in Comparison with Monte Carlo Simulations, Measurement, 55 (2014) 375-381.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA), Industrial Process Gamma Tomography, (2008).
- [4] J. Abdullah, Gamma-ray scanning for troubleshooting, optimization and predictive maintenance of distillation columns, Hydrocarbon Asia, (2005) 62-65.
- [5] H. Shahabinejad, S.A.H. Fegghi, and M. Khorsandi. Impact of Measurement Approach on the Quality of Gamma Scanning Density Profile in a Tray Type Lab-Scale Column, Radiation Measurements. 61 (2014) 1-5.
- [6] H. Shahabinejad, S.A.H. Fegghi. Design, optimization and performance of source and detector collimators for gamma-ray scanning of a lab-scale distillation column, Applied Radiation and Isotopes 99 (2015) 25-34.
- [7] H.G. Hughes. MCNPX TMx 2.4.0, User's Manual – Version 2.4.0, Los Alamos National Laboratory, LA-CP-02-408, (2002).