

## بررسی اثر میزان هم‌ترازی چشمه و آشکارساز بر روی عملکرد سیستم اسکن گامای برج تقطیر

محمد تقان ساسانپور\*، علی طاهری، علی الفته، مجتبی عسکری، محسن شریف‌زاده، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

### چکیده

امروزه با اسکن برج تقطیر توسط پرتو گاما، اطلاعات مفیدی از وضعیت مکانیکی درون برج تقطیر و متعلقات آن از جمله سینی‌های برج می‌توان کسب کرد. در واقع با اسکن برج تقطیر می‌توان به مشاهدات عینی برج و اطلاع کامل از وضعیت آن دست یافت. با استفاده از این تکنیک، پایش عملکرد هر نوع برج تقطیر با هر ابعادی و در هر موقعیتی میسر می‌باشد؛ در حین عملیات (با اطمینان از مسائل ایمنی در سایت پالایشگاه یا پتروشیمی) و همچنین در شرایط تعمیرات یا مواقعی که از سرویس عملیاتی خارج است. از موارد حائز اهمیت در مدت زمان اسکن برج، هم‌ترازی چشمه و آشکارساز در تمام طول مسیر اسکن می‌باشد. معمولاً ارتفاع برج‌های تقطیر صنعتی چند ده متر است. بنابراین هم‌ترازی چشمه و آشکارساز بسیار مهم و عدم هم‌ترازی آنها می‌تواند منشاء خطاهای بزرگی در طیف حاصل از اسکن برج تقطیر و نتایج حاصل از آن باشد. به همین دلیل، در این پژوهش سعی شده است هم‌ترازی چشمه و آشکارساز به‌عنوان یکی از عوامل موثر در اسکن برج‌های تقطیر تمیز (یعنی بدون هیچگونه ماده شیمیایی)، مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گیرد. لذا جهت بررسی موضوع یک سیستم آزمایشگاهی برج تقطیر حاوی سینی‌هایی با ابعاد، ضخامت و همچنین فواصل مختلف طراحی و ساخته شد. در این سیستم اثرات انحراف هم‌ترازی چشمه و آشکارساز پس از طی طول مسیر اسکن، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین تجهیزات الکتریکی، کنترلی و مکانیکی به‌منظور هم‌ترازی چشمه و آشکارساز بهینه‌سازی شده‌اند که در این مقاله ضمن معرفی شرایط شبیه‌سازی موضوع در آزمایشگاه، به بررسی نتایج حاصل نیز خواهیم پرداخت.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۳/۲۴

تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۴/۲۴

### واژگان کلیدی:

اسکن با گاما، برج تقطیر، بهینه‌سازی، طیف گاما

### مقدمه

معمولاً در سیستم‌های اسکن برج به دلیل وجود محدودیت‌هایی از قبیل قطر و ارتفاع زیاد مخازنی که نیاز به اسکن دارند، هماهنگ‌سازی حرکت چشمه رادیواکتیو و آشکارساز با دو سیستم الکتریکی-مکانیکی مجزا انجام می‌پذیرد. این مسئله به این معنی است که چشمه و آشکارساز می‌توانند بعد از طی مسافتی معین دچار ناهم‌ترازی در راستای اسکن شوند. این ناهم‌ترازی می‌تواند ایجاد خطا در تعیین موقعیت سینی‌های موجود درون برج و یا حتی تعیین ضخامت آنها را سبب گردد. در پژوهش حاضر به روش آزمایشگاهی حداکثر میزان ناهم‌ترازی بین چشمه و آشکارساز که می‌تواند نتایج قابل‌قبولی در اختیار بگذارد مشخص گردیده است. همچنین پارامترهای لازم به‌منظور کاهش این ناهم‌ترازی مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفته است.

فرآیند تقطیر عبارت است از جداسازی فیزیکی برش‌های نفتی براساس اختلاف نقطه جوش هیدروکربن‌های مختلف موجود در آن [۱]. دستگاهی که عمل تقطیر در آن انجام می‌شود، برج یا ستون تقطیر نام دارد که به دو صورت سینی‌دار و آکنده طراحی و ساخته می‌شوند. در صنایع به دلایل فنی و صرفه اقتصادی، معمولاً از برج‌های سینی‌دار برای عمل تقطیر استفاده می‌شود [۲]. فناوری گاما اسکن یک تکنیک سریع، موثر و روشی اقتصادی برای درک بهتر دینامیک فرایندها و جزئیات داخلی برج‌های تقطیر است که برای برج‌های صنعتی به کار می‌رود. این تکنیک غیرتهاجمی ارائه‌دهنده نمودار دقیقی از چگالی فرایند در حال انجام است که برای رفع عیوب، انسدادها، نگهداری، تعمیرات، و بهینه‌سازی فرایند کاربرد دارد [۳-۶]. از نظر تاریخی، مطالعه و بررسی عملکرد برج‌های تقطیر توسط اسکن تابشی به اوایل سال ۱۹۶۰ برمی‌گردد که توسط انگلیسی‌ها انجام گرفت. در آن زمان این روش، کارایی کافی نداشت اما از آن زمان تاکنون این روش تحولات و پیشرفت‌های زیادی داشته است. این پیشرفت‌ها بیشتر حاصل اختراع کامپیوتر و پیشرفت در پردازشگرهای کنترلی و الکترونیکی می‌باشد [۷].

**۱- تجهیزات مورد نیاز در بررسی آزمایشگاهی اسکن برج تقطیر**  
در این پژوهش برج تقطیر ساده‌ای در سیستم آزمایشگاهی ساخته شد که جزئیات آن در شکل ۱- نشان داده شده است.

پالس‌های الکترونیکی حاصل از آشکارساز به سیستم کامپیوتری ارسال و توسط نرم افزار کامپیوتری طیف پالس‌های شمارش شده بر حسب زمان اسکن برج رسم می‌شود. چشمه و آشکارساز توسط سیم بکسل فولادی حمل و توسط موتورهای جریان متناوب به‌طور کنترل شده به طرف بالا و پایین جابه‌جا می‌شوند. حرکت موتورها توسط سیستم کنترل الکترونیکی و همچنین نرم‌افزار کامپیوتری می‌تواند کنترل شود. فیدبک حرکت موتور توسط اینکودر انجام می‌گیرد. بدین ترتیب که تعداد پالس‌های الکترونیکی ایجاد شده در اینکودر متناسب با جابه‌جایی دو سیستم آشکارساز و چشمه بوده و در نتیجه، میزان پیمایش ریسمان فولادی را نشان می‌دهد. بنابراین پالس‌های الکترونیکی می‌تواند به مدار کنترلی ارسال و جهت انجام تصمیمات لازم توسط نرم‌افزار کنترلی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، نرم‌افزار کامپیوتری قادر است تا تنظیمات اولیه و ثبت طیف حاصل از اسکن برج را انجام دهد.

## ۲- روش انجام آزمایش‌ها

### ۲-۱- سیستم‌هایی که باید تحت بررسی قرار گیرند

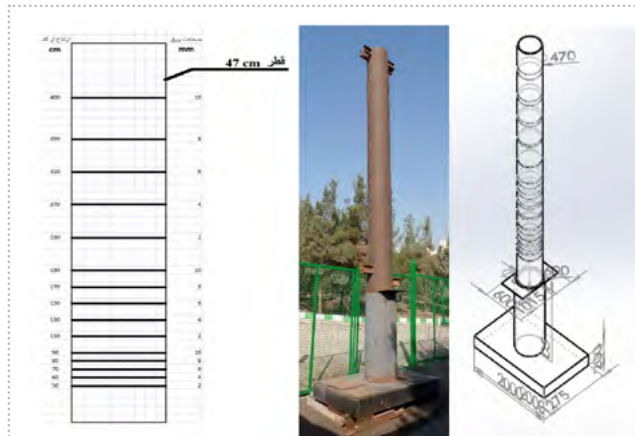
سیستم‌هایی که جهت بهینه‌سازی اسکن برج تقطیر مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از:

**الف- سیستم موتورهای الکتریکی:** این سیستم وظیفه جابه‌جایی آشکارساز و چشمه و همچنین برقراری کشش کافی برای کابل حامل آشکارساز و چشمه را بر عهده دارد و باید به گونه‌ای عمل کند تا همواره آشکارساز و چشمه در یک راستا و هم‌تراز نسبت به هم قرار گیرند.

**ب- سیستم کابلی:** این سیستم، هدایت و جابه‌جایی آشکارساز و چشمه را بر عهده دارد. کابل‌ها و تجهیزات جانبی آنها باید به گونه‌ای باشند تا جابه‌جایی ایمن چشمه و آشکارساز در شرایط ایمن و مستقل از تأثیر عوامل محیطی قرار گیرند. حرکت کابل در اثر جابه‌جایی آشکارساز یا چشمه باعث می‌شود تا فاصله عمودی و افقی بین آشکارساز و چشمه تغییر نماید. این عوامل به‌خصوص در رابطه با برج‌هایی با ارتفاع زیاد (برج‌های صنعتی و پالایشگاهی) از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، سینی‌های برج دارای ضخامت‌های مختلف بوده و همچنین در فواصل متفاوتی از یکدیگر قرار گرفته‌اند.

تجهیزات به‌کار برده شده در این تحقیق، چشمه نقطه‌ای کبالت-۶۰ با اکتیویته ۱ mCi و ۵ mCi، با کولیماتورهای سریبی استوانه‌ای شکل می‌باشد. آشکارساز از نوع سوسونز NaI است. این آشکارساز وظیفه شمارش تعداد پرتوهای رسیده به آن را بر عهده دارد. آشکارساز درون محفظه‌ای فلزی قرار دارد.



شکل ۱ | نمونه آزمایشگاهی برج تقطیر با نمای داخلی، سینی‌ها و ابعاد آن.



شکل ۲ | موتورهای AC مربوط به سیستم آشکارسازی که باعث چرخش استوانه حامل سیم بسکل شده و آن را جمع یا باز می‌کنند (موتورهای قرار گرفته در سمت راست سینی‌ها). موتورهای DC که ردیف‌سازی سیم بکس‌ها را بر روی استوانه حامل سیم بکسل بر عهده دارند (موتورهای قلمی شکل قرار گرفته در سمت چپ سینی‌ها).

شکل ۳ | موقعیت هر مبدل فشار و ترموکوپل از نقاط احتراق

نوع موتور	A1	A2	B2	B1
AC (م/s) بطرف بالا	۸۷۰	۸۲	۷۰۰	۷۰
DC (m/s) بطرف پایین	۸۰۰	۶۰۰	۵۵۰	۷۰۰

نیست. بنابراین از پارامتر زمان که متناسب با مسافت طی شده است، استفاده گردید. دستگاہی که این وظیفه را بر عهده دارد، اینکودر نامیده می‌شود. به‌ازای چرخش اینکودر توسط قرقره متصل به آن، اینکودر پالس الکترونیکی به قسمت

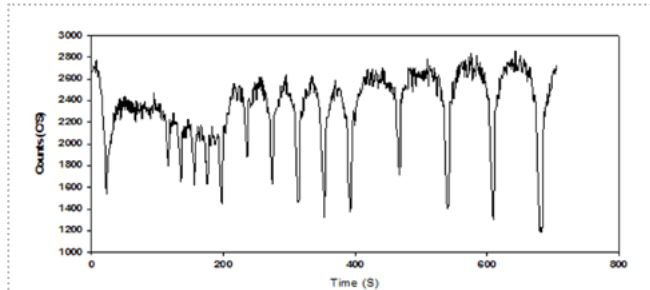
ج- سیستم زمانی: این سیستم مسائل مربوط به تأخیرات زمانی و همچنین رفتار جابه‌جایی هم‌زمان آشکارساز و چشمه را تحت کنترل قرار می‌دهد. در واقع این سیستم در طول مسیر اسکن برج، وظیفه هم‌تراز نگه‌داشتن آشکارساز و چشمه را بر عهده دارد.

### ۲-۲- تنظیم سرعت موتورها

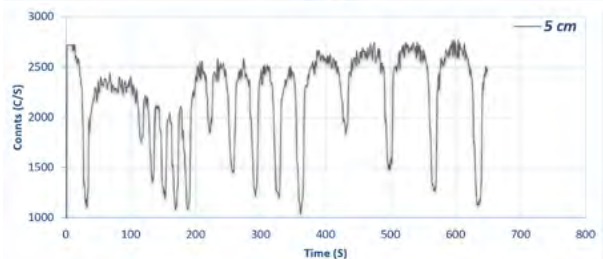
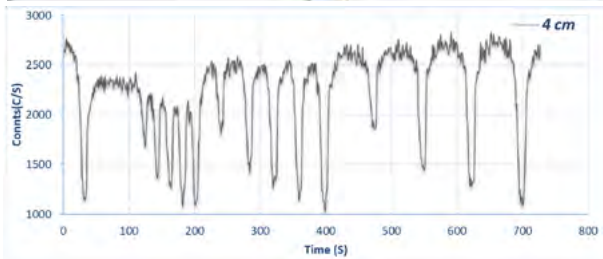
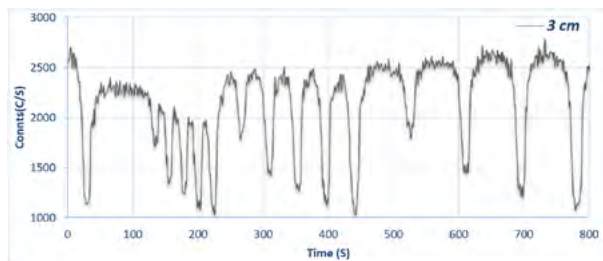
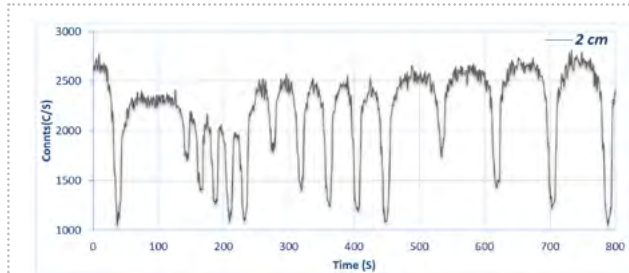
در این پروژه از دو نوع موتور، یکی جریان متناوب جهت بالا و پایین بردن آشکارساز و چشمه و دیگری جریان ثابت جهت جمع‌آوری منظم کابل‌ها استفاده شده است (شکل ۲). عملاً موتورهای جریان متناوب وظیفه اصلی را بر عهده دارند. در جدول ۱- مقادیر بهینه دور موتورها نشان داده شده‌اند. A1 و A2 صفحات فولادی هستند که تجهیزات مکانیکی، الکتریکی و کنترلی مربوط به چشمه بر روی آنها نصب شده‌اند و B1 و B2 صفحات فولادی هستند که تجهیزات مکانیکی، الکتریکی و کنترلی مربوط به آشکارساز بر روی آنها نصب شده‌اند: بدین ترتیب طیف پیوسته حاصل از اسکن برج مطابق با شکل ۳- به‌دست می‌آید.

### ۳-۲- تعیین مسافت طی شده توسط یک پالس اینکودر

طیف حاصل از اسکن برج به‌صورت تعداد شمارش‌ها بر حسب مسافت طی شده در راستای محور استوانه برج رسم می‌شود. تعیین مسافت طی شده به‌صورت مستقیم امکان‌پذیر



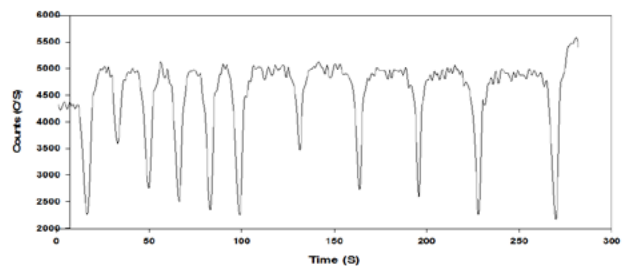
شکل ۴ | در طیف سیستم شمارش ناپیوسته (بدون در نظر گرفتن قله اول) از چپ به راست، سری سینی‌ها با فاصله ۱۰ cm، ۲۰ cm و ۴۰ cm مشاهده می‌شوند.



شکل ۵ | اسکن برج با فواصل پایش ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتیمتری

شکل ۶ | تغییرات جابه‌جایی آشکارساز-چشمه نسبت به سطح تراز

فاصله آشکارساز تا سطح تراز (cm)	۳۱	۳۵	۳۸	۵۰	۱۰۰	۴۰۰
فاصله چشمه تا سطح تراز (cm)	۳۲	۳۶	۳۹	۵۳	۱۰۵	۴۰۸



شکل ۳ | قسمتی از طیف مربوط به اسکن برج؛ از چپ به راست: آخرین قله سینی ۱۰ cm مربوط به سینی‌های با فاصله ۱۰ cm و در ادامه قله‌های ۲ الی ۱۰ میلیمتری مربوط به سینی‌های با فاصله ۲۰ cm و ۴۰ cm و ۵۰ cm (قله انتهای)

شده را زودتر به اتمام برساند، سیستم کنترل بلافاصله فرمان ایست به موتورهای مربوط به قسمت آشکارساز می‌دهد، اما حرکت چشمه تا زمان اتمام شمارش اینکودر مربوط به آن ادامه می‌یابد. بدین ترتیب سیستم شمارش از حالت پیوسته به حالت منقطع تغییر می‌یابد. طیف حاصل از سیستم شمارش ناپیوسته در شکل ۴- نشان داده شده است.

ایجاد سیستم تصحیح سطح تراز چشمه آشکارساز با وجود محاسن زیاد، خودبه‌خود مشکلات جدیدی را به وجود می‌آورد. با مقایسه شکل‌های ۳- و ۴ مشاهده می‌شود که همخوانی بین دو حالت پیوسته و ناپیوسته در برخی قله‌ها وجود ندارد. به‌عنوان نمونه، قله مربوط

کنترل و نرم‌افزار کامپیوتری ارسال می‌کند. تعداد پالس‌ها بر حسب زمان طی شده، متناسب با چرخش اینکودر و در نتیجه متناسب با طول سیم بکسل جابه‌جا شده خواهد بود. بنابراین باید جابه‌جایی سیم بکسل به‌ازای یک پالس اینکودر تعیین گردد. جهت تعیین این مسافت، سیستم آشکارساز - چشمه ۲۰ سانتیمتر جابه‌جا و پالس شمارش شده توسط اینکودر ثبت شد. زمان این جابه‌جایی نیز اندازه‌گیری گردید. این عمل ۱۰ بار تکرار و زمان متوسط این جابه‌جایی بر حسب ثانیه محاسبه شد. مسافت ثبت شده در نرم‌افزار کامپیوتری هم‌خوانی بسیار خوبی با جابه‌جایی واقعی سیستم آشکارساز - چشمه نشان می‌داد. بنابراین مسافت طی شده توسط اینکودر تعیین گردید.

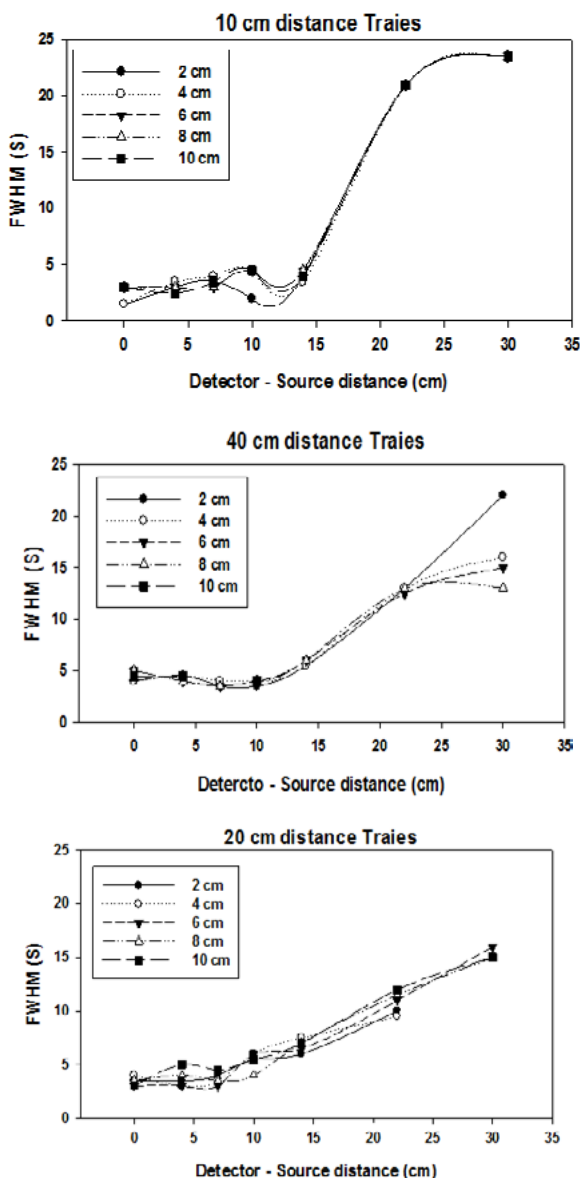
#### ۲-۴- نا هم تراز ی سیستم آشکارساز - چشمه

با وجود هم‌تراز کردن چشمه و آشکارساز در شروع اسکن، اختلاف سطح تراز بین این دو در انتهای مسیر اسکن به وجود می‌آید. به همین دلیل، جابه‌جایی سطح تراز مطابق جدول ۲- در مسافت‌های مختلف طی شده توسط آشکارساز و چشمه، مورد بررسی قرار گرفتند.

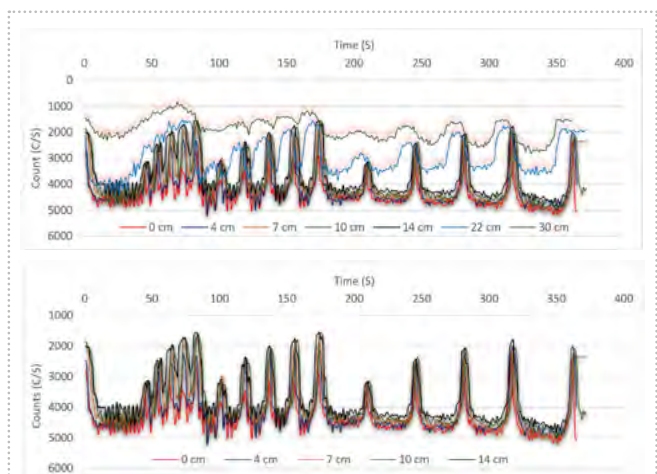
با مقایسه مقادیر فوق در می‌یابیم که با افزایش زمان آزمایش و هم‌ارز آن افزایش مسافت طی شده توسط آشکارساز و چشمه، اختلاف سطح آشکارساز با چشمه افزایش می‌یابد. این مشکل برای اسکن برج‌های واقعی که ارتفاع چند ده متری دارند، اهمیت زیادی خواهد داشت.

برای رفع این مشکل، با شمارش مقدار مشخص و از پیش تعیین شده توسط اینکودر، باید فرمان توقف به جزئی از سیستم داده شود که در مکانی بالاتر از جزء دیگر قرار گرفته است.

به‌عنوان مثال هرگاه اینکودر آشکارساز میزان شمارش تعیین



شکل ۷ | FWHM مربوط به اختلاف سطح بین آشکارساز و چشمه برای سینی‌های با فواصل مختلف و ضخامت‌های مختلف



شکل ۶ | طیف اسکن برج برای جابه‌جایی‌های مختلف



مختلف در اختلاف سطح ۴cm را نشان می‌دهد.

## ۲-۴-۱- تعیین حداکثر ناهم‌ترازی قابل قبول برای سیستم چشمه-آشکارساز

اثر جابه‌جایی چشمه و آشکارساز نسبت به سطح تراز و میزان اطمینان از طیف به‌دست آمده، یکی از عوامل مهم در تفسیر طیف حاصل از اسکن برج است. برای تعیین میزان انحراف قابل قبول از سطح تراز بین چشمه و آشکارساز، اختلاف سطح‌های مختلفی ایجاد گردید و طیف‌های اسکن برج مربوطه مطابق با شکل ۶- به‌دست آمدند.

با توجه به شکل ۶- با افزایش فاصله بین چشمه و آشکارساز، میزان جذب پرتوهای گامای چشمه در آشکارساز نیز افزایش می‌یابد به طوری که ارتفاع طیف مربوط به سینی‌ها بیشتر و در نتیجه تشخیص سینی‌ها بهتر می‌شود. این موضوع حتی با افزایش ضخامت سینی‌ها نیز بهتر می‌شود. دلیل این مسئله زاویه فضایی حاصل از انتشار پرتو از چشمه نقطه‌ای و نحوه قرارگیری آشکارساز غیرنقطه‌ای نسبت به این زاویه فضایی است. در حالتی که چشمه و آشکارساز دقیقاً روبه‌روی هم قرار می‌گیرند، به‌علت غیرنقطه‌ای بودن آشکارساز، پرتوهای بیشتری به آشکارساز خواهند رسید. در صورتی که وقتی چشمه و آشکارساز نسبت به سطح تراز از هم فاصله می‌گیرند (یعنی اختلاف سطح پیدا می‌کنند)، در این زاویه‌ی فضایی، پرتوهای کمتری به آشکارساز خواهند رسید. در اثر اختلاف سطح بین آشکارساز و چشمه، مسیر عبوری فوتون‌ها در درون جسم فولادی طولانی‌تر و در نتیجه فوتون‌های بیشتری جذب می‌شوند. بدین ترتیب سطح مقطع سینی که در برابر فوتون‌ها قرار می‌گیرند نیز افزایش می‌یابد. این سطح با حرکت سیستم چشمه - آشکارساز باز هم افزایش می‌یابد و در نتیجه، باز هم پرتوهای بیشتری جذب خواهند شد. این فرآیند جذب تا زمانی که سطح سینی مقابل چشمه باشد، ادامه خواهد یافت. بدین ترتیب با بیشینه شدن سطح جاذب، قله طیف نیز به حداکثر مقدار خود خواهد رسید. پس از این مقدار بیشینه، با کاهش سطح دید (یا زاویه فضایی) چشمه، دوباره میزان پرتوهای رسیده به آشکارساز نیز افزایش می‌یابد. حال اگر اختلاف سطح چشمه و آشکارساز افزایش یابد، به‌علت بیشتر شدن سطح سینی فولادی، پهنای قله‌های طیف نیز بیشتر خواهند شد. اما پس از اینکه فاصله بین چشمه و آشکارساز از یک مقدار خاص بیشتر شود، پهنای قله‌ها غیرقابل قبول خواهند شد. بنابراین بلندتر شدن قله‌های طیف خود دارای محدودیتی است. عامل دیگری که بر این محدودیت تأثیر می‌گذارد، فاصله بین سینی‌های متوالی می‌باشد. در صورتی که فاصله بین چشمه و آشکارساز بیش از

به سینی با ضخامت ۸ mm از سری سینی‌های با فاصله ۱۰ cm و قله سینی با ضخامت ۱۰ mm از سری سینی‌های با فاصله ۲۰ cm با تغییرات شمارش نشان داده شده در طیف پیوسته همخوانی نداشته و در نتیجه، دقت طیف دریافتی پایین می‌باشد.

برای رفع این مشکل دو پارامتر مهم برای حالت‌های مختلف مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند؛ پارامتر اول، تعیین محل دقیق آشکارساز نسبت به چشمه و پارامتر دوم، تعیین بهینه مدت زمان پایش می‌باشد.

در این راستا با جابه‌جایی چشمه و آشکارساز اختلاف سطحی بین آنها به وجود آورده و طیف مربوطه ثبت گردید. علت اینکه بین چشمه و آشکارساز اختلاف سطح به وجود آورده شده، در بخش ۲-۴-۱ توضیح داده شده است. با تغییر دو پارامتر فوق، حداکثر اختلاف سطح برای داشتن نتیجه‌ای قابل قبول برابر ۴cm به دست آمد. اما بهینه‌ترین زمان پایش در این اختلاف سطح (بین آشکارساز و چشمه) زمان پیمایش فاصله‌ای برابر با ۳ cm توسط سیستم کنترلی است. شکل ۵- زمان‌های پایش



شکل ۸ | تغییر حالت سیستم آشکارساز-چشمه از حالت یک سیم بکسلی (شکل‌های بالایی) به سه سیم بکسلی (شکل‌های پایینی)

حرکت باد از خود نشان می دهند.

### نتیجه گیری

حرکت پیوسته چشمه و آشکارساز در پیمایش مسافت‌های زیاد برج‌های تقطیر، به علت عدم کنترل رازی چشمه و آشکارساز باعث ایجاد خطای زیاد در تشکیل طیف حاصل از اسکن برج می شود. لذا کنترل و رفع حالت غیرهم‌ترازی چشمه و آشکارساز، دقت کار اسکن را تا حد زیادی بالا می برد.

طولانی بودن مسیر اسکن به هر حال اختلاف سطحی بین چشمه و آشکارساز در مسیر اسکن به وجود می آورد. بنابراین لازم است تا اختلاف سطح قابل قبول بین چشمه و آشکارساز تعیین گردد. حداکثر میزان قابل قبول این اختلاف سطح برای برج طراحی شده در این تحقیق، برابر با حداقل فاصله بین دو سینی متوالی یعنی ۱۰ cm به دست آمد. لذا در رابطه با برج‌های واقعی، فاصله حداقلی بین سینی‌ها با در نظر گرفتن قطر برج، می تواند ملاک مناسبی برای اطمینان از مناسب بودن حداقل اختلاف سطح تراز چشمه و آشکارساز باشد. به هر حال این موضوع باید برای برج‌های واقعی بررسی دقیق تر شود.

حرکت ناپیوسته سیستم آشکارساز-چشمه طیف اسکن را دچار مشکل می کند. برای داشتن طیف مناسب، نا هم‌ترازی بین آشکارساز و چشمه برابر با ۴ cm به دست آمد. همچنین سیستم اسکن برج به صورت ناپیوسته نسبت به سیستم اسکن پیوسته مشکلات جدیدی را ایجاد نمود که منجر به انجام تنظیمات و بهینه‌سازی‌های جدید مانند تعیین زمان پایش بهینه گردید. نهایتاً زمان پایش مناسب برابر ۳ cm به دست آمد.

فاصله دو سینی متوالی شود، امکان همپوشانی قله‌های متوالی افزایش خواهد یافت. این موضوع می تواند با بررسی FWMH هر یک از قله‌های طیف بهتر مشخص شود.

همانطور که در شکل ۷- نشان داده شده است، برای فواصل مختلف بین سینی‌های متوالی، مقادیر اختلاف سطح تا حدود ۱۵ cm طیف قابل قبولی را از اسکن برج به دست می دهد. بنابراین تا اختلاف سطح ۱۴ سانتیمتری آشکارساز و چشمه، می توان سینی‌های برج را از هم تشخیص داد. اما اختلاف سطح ۱۰ سانتیمتر مقدار ایده‌آل و بهینه‌ای خواهد بود.

### ۲-۵- کاهش انحرافات سیم بکسل‌های حامل چشمه و آشکارساز

در اسکن برج تقطیر اگر از یک سیم بکسل استفاده شود، امکان جابه‌جایی آشکارساز و چشمه در جهات مختلف وجود دارد. این مسئله برای برج‌های واقعی که بیش از ۴۰ m ارتفاع دارند، مسئله غیرقابل‌انکاری است. حرکت کردن این تجهیزات در جهات مختلف تا حدی قابل قبول خواهد بود. اما جلوگیری از پیچ و تاب آنها تأثیر به‌سزایی بر کاهش خطای طیف حاصل از اسکن برج خواهد گذاشت. در این راستا جهت رفع این مشکل، از کابل‌های پشتیبان استفاده شد.

شکل ۸- ردیف بالایی سیستم تک کابلی را نشان می دهد که در اثر جریان باد به راحتی پیچ و تاب می خورد. اما در ردیف پایینی این شکل مشاهده می شود که هم آشکارساز و هم چشمه توسط سه کابل حفظ می شوند، به طوری که دو کابل پشتیبان دو طرف آشکارساز و چشمه حرکت پیچ و تابی کمتری را در اثر

### منابع

- [1] I. J. Halvorsen, S. Skogestad; "Distillation Theory"; Norwegian University of Science and Technology Department of Chemical Engineering 7491 Trondheim, Norway, Aug. 2000.
- [2] A. Jaya; "Distillation Tray Hydraulic (ENGINEERING DESIGN GUIDELINE)"; KLM Technology Group #03-12 Block Aronia, Riverria Condovilla, Taman Tampoi Utama-Jalan Sri Perkasa 2, 81200 Johor Bahru Malaysia; Rev: 01, Feb 2011, 45 pages.
- [3] O. Zahran, H. Kasban, F. E. Abd El-Samie; "Utilization of Gamma Rays for Troubleshooting in Distillation Columns of Petrochemical Industry"; The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering (OJEEE), Vol. (2) - No. (3), Reference Number: W10-0004, p. 279-283.
- [4] M. E. Hammad et al; "Distillation Column Malfunctions Identification using Higher Order Statistics "; International Journal of Computer Applications (0975 - 8887) Volume 108 - No. 1, Dec. 2014.
- [5] M. I. Haraguchi et al; "Industrial Equipment Troubleshooting with Imaging Technique Improved Gamma-Ray Absorption Scans"; Journal of Physical Science and Application 2 (9) (2012) 359-371.
- [6] B. Xiaojun et al; "Troubleshooting distillation column by gamma ray scanning technique"; Chinese J. Chem. Eng., 10 (1) (2002) 52-55.
- [7] S. Mike; "Gamma scanning seeks an inside edge"; J-Global 70(5), 32-35, 2007.