

طراحی مفهومی سیستم هسته‌ای بررسی قابلیت توپکرانی در محل انشعابات خط لوله

امیر محمد بیگزاده، مجتبی عسکری* و محسن شریفزاده
پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

چکیده

توپکرانی در صنایع نفت و گاز از فرآیندهای مرسوم است که به منظور حذف رسوبات درون خطوط لوله و نیز انجام برخی آزمون‌های غیرمخرب صورت می‌پذیرد. از طرفی به دلیل انشعابات مختلف در مسیر خط لوله اصلی جریان امکان توقف توپک وجود دارد. راهکار مناسب به کارگیری درپوش‌های مشبکی است که نه تنها مانع از گیر کردن توپک شود بلکه تضمین عبور جریان از کلیه خطوط اصلی و فرعی را نیز شامل شود. بنابر اظهار نظر بازرسان فنی اطلاعات جامعی از حضور/عدم حضور این درپوش‌ها در تعداد زیادی از انشعابات وجود ندارد. دوربین پرتونگاری به دلیل انرژی متوسط پرتو گسیلی و نیز ساختار هندسی آن فاقد توان لازم در تشخیص دو وضعیت حضور و عدم حضور درپوش در شرایط لوله پر است. در این کار تحقیقاتی بر روی طراحی مفهومی سیستم هسته‌ای بررسی قابلیت توپکرانی در محل انشعابات خط لوله در محیط شبیه‌ساز مونت کارلو تمرکز گردید. نتایج گویای این واقعیت است که در وضعیتی که چشمه و آشکارساز عمود بر محور انشعاب اصلی و فرعی و روبروی یکدیگر باشند حساسیت شمارشی و توان نفیکیک بیشینه قابل دستیابی است. اختلاف نسبی شمارش حالات با و بدون حضور شبکه فلزی برای دو وضعیت پرتودگی لوله از هوا و نفت به ترتیب برابر با ۵۳/۸٪ و ۵۷/۱٪ است.

کلمات کلیدی: طراحی مفهومی، توپکرانی، فناوری هسته‌ای، شبیه‌سازی، مونت کارلو.

مقدمه

کلی و با هدف تخلیه رسوبات آلی درون خطوط لوله و نیز کنترل^۱ درون آن صورت می‌پذیرد. برخی مواقع پیش می‌آید که توپک نه تنها وظیفه اصلی خود را انجام نمی‌دهد بلکه به سبب گیر کردن در میانه راه موجب تحمیل خسارت و نیز ممانعت از

یکی از فرآیندهای مکانیکی مهم در صنایع نفت و گاز به منظور حصول اطمینان از عبور آزاد جریان درون خطوط لوله توپکرانی است. این فرآیند در دو دسته

*مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی

moasgari@aeoi.org.ir

شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/pr.2024.5361.3386)

مقادیر مختلف شوری موجود در فاز آبی و رژیم جریان استخراج گردد. از چشمه گامای دوانرزی به همراه آشکارسازهای سوسوزن واقع در دو راستای عبوری و پراکنده و در دو رژیم مورد نظر استفاده شد. نقطه قوت کار در ارائه طرحی است که قادر است با کمک شبکه عصبی و اعمال ضرایب تصحیح تا حدودی اثرات منفی اندازه‌گیری وابسته به شوری و رژیم را حذف کند. از نقاط ضعف این سامانه استفاده از چشمه دوانرزی است که در فاز نظری می‌بایست با اولویت بسیار کم انرژی و پراورزی انتخاب شود که در انرژی پایین همچنان با مشکلات پیشین روبروست. فرید و همکاران یک روش اندازه‌گیری هیبریدی جدید برای اندازه‌گیری چگالی و تفکیک درصد مؤلفه‌های جریان سه‌فازی جامد-مایع-گاز در یک راکتور ستون حباب دوغابی با استفاده از روش‌های چگالی سنجی پرتو گاما و پروب فیبر نوری نقطه‌ای ایجاد و به کار گرفتند [۶]. در تحقیقی دیگر توسط سالگادو و همکارانش انباشت رسوب درون خطوط لوله جریان چندفازی آب-گاز-نفت با استفاده از یک شبکه عصبی آموزش دیده به کمک داده شبیه‌سازی ترابرد پرتوهای گاما در ماده در محیط نرم‌افزار MCNP6 مورد بررسی قرار گرفت [۷]. در مطالعه‌ای که توسط دم و همکارانش انجام شد کسر حجمی سیال چندفازی عبوری از لوله و نیز میزان رسوب انباشته باریم سولفات با بکارگیری دو آشکارساز سوسوزن یدور سدیم برای خوانش پرتوهای گامای عبوری و پراکنده حول لوله اندازه‌گیری شد [۸].

همان‌گونه که مشاهده می‌شود سنجشگرهای گاما نقش مهمی را در صنایع مختلف با هدف اندازه‌گیری و آنالیز پارامترهای مختلف برای کنترل فرآیند، تضمین کیفیت و ایمنی ایفا می‌کنند. فناوری گاما به دلیل توانایی آنها در نفوذ به مواد و ارائه اطلاعات دقیق در مورد ترکیب آنها به طور گسترده در شرایط دشوار عملیاتی و بر روی لوله‌های قطور جریان کاربرد دارند.

انتقال نفت، گاز و یا مشتقات می‌شود. یکی از نقاط کلیدی که امکان گیر افتادن توپک در آن وجود دارد در محل انشعابات روی خط لوله اصلی جریان است. در این شرایط بایستی با تعبیه صفحات مشبک در ورودی انشعاب فرعی مانع از به دام افتادن توپک شد. بنابر اظهار نظر بازرسان فنی اطلاعات جامعی از حضور/عدم حضور این صفحات در تعداد زیادی از انشعابات وجود ندارد. لذا، ضرورت دارد به‌منظور تشخیص انشعابات فاقد صفحه مشبک از مکانیزم‌های اندازه‌گیری غیرمخرب استفاده شود. استفاده از پرتوهای گاما در تست‌های غیرمخرب کاربرد وسیعی دارد. باربوسا و همکاران بر روی توسعه روش غیرتداخلی استفاده از پرتوهای گاما برای اندازه‌گیری غلظت نمک در آب دریا تحقیق کردند که با استفاده از طیف‌نگاری پرتو گامای کم‌انرژی عبوری از نمونه آب دریا مقدار پارامتر ضریب تضعیف جرمی آب شور و در ادامه کسر نمک موجود در آن اندازه‌گیری شد [۱]. در تحقیقی مهم توسط جوهانسون و جکسون بر روی ارائه راهکاری نوین در اندازه‌گیری کسر گاز موجود در یک ترکیب دوفازی مستقل از شوری کار شد. در این مطالعه به‌منظور حذف وابستگی تغییرات گامای شمارشی عبوری از ترکیب به شوری، از دو ساز و کار شمارش گامای عبوری و پراکنده از محتوای داخلی لوله جریان به‌طور همزمان بهره گرفته شد [۲]. مطالعات مشابه دیگری نیز در ادامه توسط هولستاد و همکاران [۳] و ساتره و همکاران [۴] با استفاده از تلفیق فناوری گامای عبوری و پراکنده برای اندازه‌گیری کسر فازی گاز درون مخلوط همگن دوفازی و مستقل از میزان شوری صورت پذیرفت. سالگادو و همکارانش با استفاده از تلفیق شبکه عصبی و پرتو گاما امکان اندازه‌گیری کسر گاز در مخلوط سه‌فازی آب-گاز-نفت را در دو رژیم جریانی حلقوی و لایه‌ای مورد بررسی قرار دادند [۵]. در این روش سعی بر آن شد تا با استفاده از شبکه عصبی الگوی متفاوت موجود در نمودارهای توزیع دیفرانسیلی ارتفاع پالس به‌ازای

استفاده شد. به سبب عدم امکان داده‌گیری تجربی برای تمام شرایط هندسی و ابعادی مورد بررسی در شبیه‌سازی، در یک وضعیت خاص تلاش شد تا فرآیند داده‌گیری تجربی انجام و پس از تأیید همخوانی این نتایج با داده شبیه‌سازی، از نتایج آن در سایر شرایط هندسی و ابعادی بهره برد.

تئوری

در طراحی مفهومی سیستم هسته‌ای بررسی قابلیت توپکرانی در محل انشعابات خط لوله، موقعیت قرارگیری چشمه رادیواکتیو و آشکارساز پرتوی نسبت به یکدیگر و نیز موقعیت زاویه‌ای هر دو حول انشعاب در کنار تعبیه گشودگی بهینه دهانه یکسوساز باریکه خروجی به عنوان پارامترهای تاثیرگذار بر دقت تفکیک محتوای درون لوله از صفحه مشبک مورد بررسی قرار گرفت. در مورد پارامتر نخست، چشمه و آشکارساز در دو وضعیت روبرو و یا کنار یکدیگر جهت شمارش مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالت اول با استفاده از شمارش پرتوهای گامای عبوری از لوله امکان استخراج اطلاعات مهمی از درون آن فراهم می‌گردد و در حالت دوم این کار با استفاده از شمارش پرتوهای پس‌پراکنده از محتوای درون لوله انجام می‌شود. در مورد پارامتر دوم، با توجه به موقعیت زاویه‌ای قرارگیری چشمه و آشکارساز، وضعیت بهینه از حیث آمار شمارش و نیز بیشینه تمایز در شمارش‌های متناظر با حالات مختلف پرشدگی لوله قابل استخراج خواهد بود. در مورد پارامتر سوم و البته نهایی نیز، یکسوساز که نوعی حفاظ ایمنی پرتو محسوب می‌شود این امکان را فراهم می‌کند تا با تنظیم شدت تابش گامای گسیل شده از چشمه به سمت لوله، حالت بهینه از حیث کاهش خطای آماری و نیز تمایز بین حالات مختلف پرشدگی لوله فراهم شود.

مطابق با قانون تضعیف نمایی لامبرت-بیر^۱ شدت خوانش آشکارساز در دو وضعیت متفاوت پرشدگی مخزن به قرار زیر است [۹]:

یکی دیگر از روش‌های مرسوم غیرمخرب در استخراج اطلاعات و تصاویر نقایص به‌کارگیری دوربین پرتونگاری است. از آنجا که دوربین پرتونگاری به دلیل انرژی متوسط پرتو گسیلی و نیز ساختار هندسی آن فاقد توان لازم در تشخیص دو وضعیت حضور و عدم حضور در پوش به‌خصوص در شرایطی است که لوله با سیال نفتی پر شده باشد، هدف در این کار تحقیقاتی طراحی مفهومی سیستم هسته‌ای بررسی قابلیت توپکرانی در محل انشعابات خط لوله در محیط شبیه‌ساز مونت کارلو تعریف گردید. هدف در این کار تحقیقاتی بررسی امکان دستیابی به چیدمانی بهینه از چشمه و آشکارساز حول انشعاب است به گونه‌ای که به دور از هرگونه مخاطرات پرتوی نظیر پرتونگاری صنعتی بتوان با توان تفکیک بالایی دو وضعیت مختلف با و بدون حضور صفحه مشبک فلزی را در محل انشعاب فرعی از یکدیگر تشخیص داد.

روش

روش مورد استفاده در این کار تحقیقاتی استفاده از محیط شبیه‌ساز مونت کارلو و کد محاسباتی MCNPX با هدف بررسی تغییرات شمارش آشکارساز/آشکارسازهای پرتوی گامای گسیلی از چشمه رادیواکتیو گامازای کبالت-۶۰ در حالت‌های چهارگانه لوله خالی-بدون شبکه فلزی، لوله خالی-با شبکه فلزی، لوله پر-بدون شبکه فلزی، و لوله پر-با شبکه فلزی از یکدیگر است. برای حالت خالی از هوا و برای حالت پر از نفت در شبیه‌سازی استفاده شد. به این منظور میزان اختلاف شمارش کل ثبت شده توسط آشکارساز سوسوزن میله‌ای مبنایی برای تعیین توان تشخیص حالات چهارگانه فوق و با هدف کسب اطلاعات در مورد حضور/عدم حضور شبکه فلزی در محل انشعاب فرعی قرار گرفت. برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی مونت کارلو، از مقایسه نمودار تغییرات شمارش برحسب چگالی محلول آب-نمک در محیط شبیه‌سازی و داده‌گیری تجربی

نیاز به ساختن یا آزمایش فیزیکی با آن را ایجاد نمود [۱۱].

در این مطالعه برای مدل‌سازی هندسه لوله گاز از کد مونت کارلوی MCNPX استفاده شد. MCNPX یک کد توسعه یافته مونت کارلو است که به طور گسترده برای شبیه‌سازی ترابرد ذراتی مانند نوترون، فوتون و الکترون از طریق هندسه‌های پیچیده استفاده می‌شود [۱۲]. این کد مبتنی بر روش مونت کارلو است که از نمونه‌گیری تصادفی برای شبیه‌سازی رفتار ذرات در اندرکنش با ماده استفاده می‌کند. این امکان مدل‌سازی دقیق فرآیندهای فیزیکی پیچیده مانند واکنش‌های هسته‌ای، پراکندگی و جذب را فراهم می‌کند. یکی از ویژگی‌های کلیدی این کد توانایی آن در مدل‌سازی هندسه‌های پیچیده و واقعی از جمله دستگاه‌های تصویربرداری و ابزار دقیق پرتوی است.

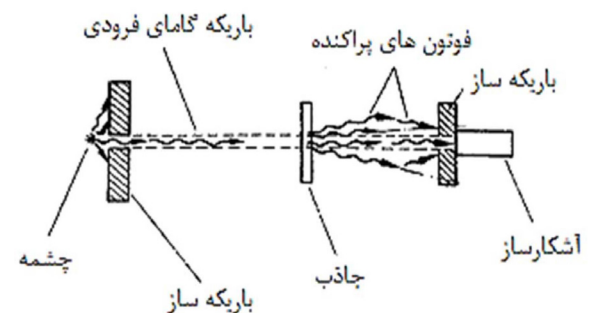
در ابتدا طرح چیدمان مورد نظر به صورت دوبعدی ترسیم گردید و مکان چشمه، آشکارسازها یا آشکارساز و زاویه گسیل ذرات از چشمه تنظیم شد. در ادامه نقشه مورد نظر در فضای مونت کارلو مدل‌سازی گردید. هدف در اینجا بررسی حضور یا عدم حضور شبکه فلزی است که در ابتدای شاخه فرعی انشعاب مستقر است.

از چشمه گاما‌زای کبالت-۶۰ در شبیه‌سازی استفاده گردید. این ایزوتوپ رادیواکتیو به طور گسترده به عنوان منبع پرتو گاما در ابزار دقیق پرتوی به کار می‌رود. این ماده که پس از تابش‌دهی کبالت-۵۹ طبیعی با نوترون در یک راکتور هسته‌ای تولید می‌شود پرتوهای گاما با انرژی میانگین MeV ۱/۲۵ را گسیل می‌کند. گشودگی دهانه یکسوساز به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که بتواند تمامی محل استقرار احتمالی شبکه و از طرفی سطح آشکارساز را پوشش دهد.

آشکارساز مورد استفاده نیز یک سوسوزن پلاستیکی از جنس پلی وینیل تولوئن با سطح مقطع ۲ inch

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

که I_0 و I به ترتیب شدت خوانش به‌ازای شرایط پر شدگی مخزن توسط هوا و ماده چگال می‌باشد و μ ضریب تضعیف خطی ماده جاذب و x طولی است که پرتو یون‌ساز در ماده می‌پیماید تا به آشکارساز برسد. طرحی از اصول اندازه‌گیری یک سامانه هسته‌ای مبتنی بر قانون تضعیف نمایی مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ طراحی کلی اجزای یک سیستم هسته‌ای مبتنی بر قانون تضعیف نمایی لامبرت-بیر [۱۰].

آنچه در ادامه مورد توجه است دستیابی به مقادیر شمارشی قابل قبول به‌منظور تفکیک دو ماده فوق می‌باشد. بدیهی است که به‌کارگیری مواد سوسوزن با محتوای عنصری و چگالی بالا می‌تواند منجر به ثبت بیشینه تابش ورودی به آشکارساز گردد که در شرایط خاص حاکم بر انشعابات در مسیر خطوط لوله جریان و به‌منظور افزایش هرچه بیشتر انعطاف در شکل‌دهی به آشکارساز جهت انطباق با شرایط هندسی و ابعادی از سوسوزن‌های پلاستیکی بهره برده شد. محدودیت آشکارساز مذکور بازدهی نسبتاً پایین آن است که با افزایش حجم ماده سوسوزنی و نیز با افزایش شار گسیلی از چشمه به سمت آشکارساز تا حد زیادی قابل رفع است.

مدل‌سازی

مدل‌سازی و شبیه‌سازی ابزاری حیاتی در مهندسی است که در حوزه‌های مختلف صنعتی اهمیت زیادی دارد. با استفاده از مدل‌سازی می‌توان یک مدل دیجیتالی یا نمایش یک سیستم یا فرآیند برای آنالیز و پیش‌بینی رفتار یا عملکرد آن بدون

و ارتفاع ۵۰ cm در نظر گرفته شد. این آشکارساز از یک ماتریس پلیمری حاوی مواد سوسوزن ساخته شده است که در صورت قرار گرفتن در معرض تابش گاما از خود نور مرئی گسیل می کند. این آشکارسازها دوام و مقاومت بالایی در برابر عوامل محیطی مانند رطوبت و دما دارند.

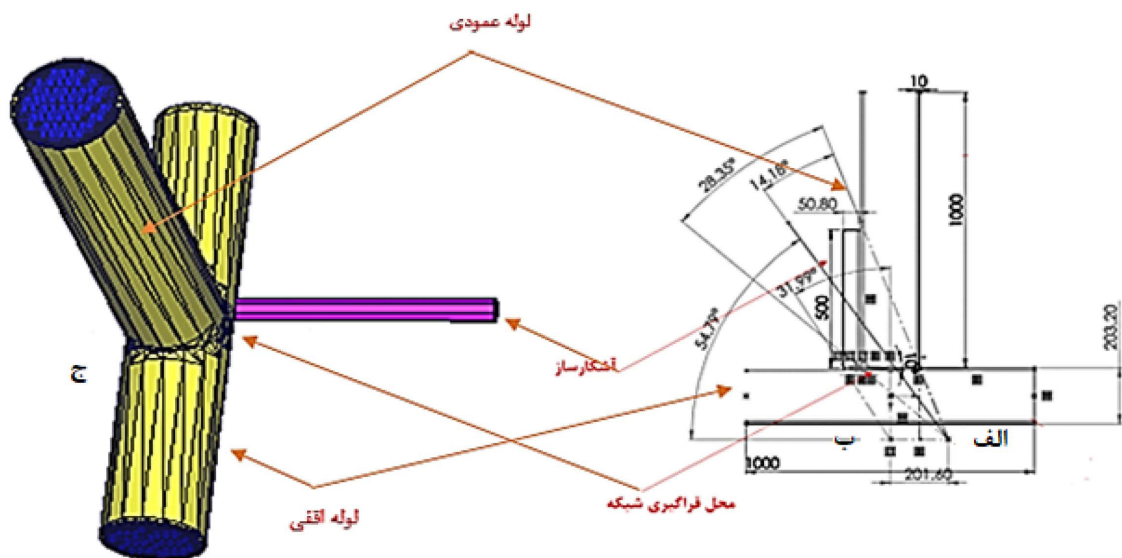
در این کار تحقیقاتی، با توجه به امکان‌های موجود از سه چیدمان مختلف چشمه و آشکارساز حول انشعاب استفاده شد و نتایج شمارشی برای مقایسه عملکرد آنها و در نهایت انتخاب ساختار بهینه با بیشینه قابلیت تشخیص حضور و یا عدم حضور شبکه فلزی مورد استفاده قرار گرفت. شماتیک مربوط به چیدمان‌های مورد نظر در شکل ۲ نشان داده شده است.

چیدمان نخست

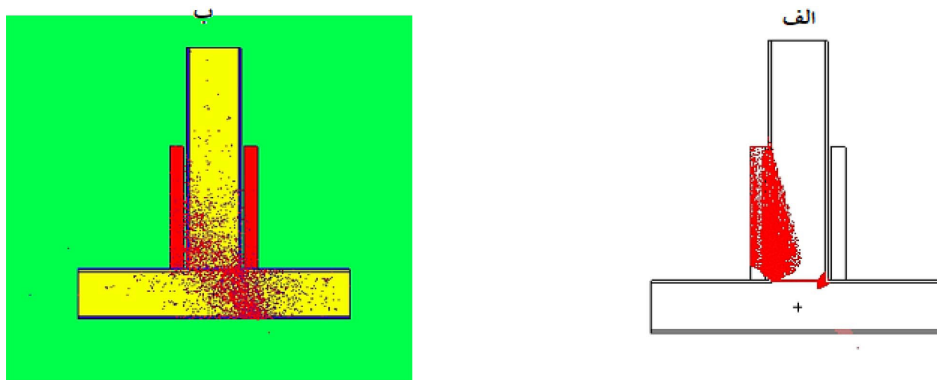
در چیدمان نخست آنگونه که در شکل ۲ نیز مشخص شده است چشمه گسیلنده گاما در مکان الف در فاصله ۲۰/۱ cm از محور اصلی لوله عمودی

در ادامه و برای اینکه تغییرات شمارش و میزان حضور ذرات گسیل شده از چشمه در نواحی مختلف اطراف لوله نشان داده شود دسته‌ای از آشکارسازها در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف پیرامون لوله عمودی قرار داده شدند که با پوشش کل فضای پیرامونی لوله، موقعیت زاویه‌ای بهینه در چیدمان نخست را بتوان تخمین زد. در شکل ۴ نمای سه‌بعدی از این آشکارسازها نشان داده شده است.

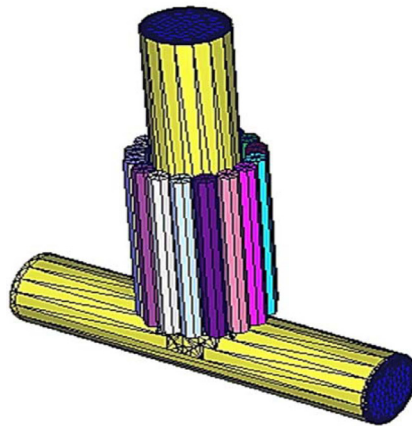
در شکل ۵ چیدمان فوق از نمای بالا در دو حالت با و بدون حضور شبکه فلزی نشان داده شده است.



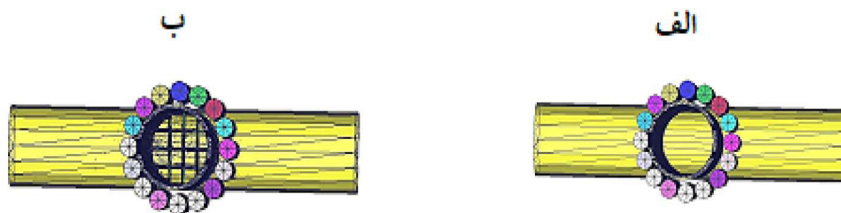
شکل ۲ شماتیک چیدمان سه گانه چشمه-آشکارساز حول انشعاب. الف) چیدمان نخست، چشمه زیر انشعاب اصلی غیرهم‌محور با انشعاب فرعی و آشکارساز در فضای میانی انشعاب اصلی و فرعی روبروی یکدیگر قرار گرفته اند، ب) چیدمان دوم، چشمه زیر انشعاب اصلی هم‌محور با انشعاب فرعی و آشکارساز در فضای میانی انشعاب اصلی و فرعی گرداگرد انشعاب فرعی روبروی یکدیگر قرار گرفته‌اند، و ج) چیدمان سوم، چشمه و آشکارساز عمود بر محور انشعاب اصلی و فرعی روبروی یکدیگر قرار گرفته‌اند.



شکل ۳ گسیل ذرات گاما از چشمه به سمت آشکارسازها در چیدمان نخست، الف) بدون حضور سیال درون لوله و بدون پراکندگی ب) با حضور سیال درون لوله و پراکندگی



شکل ۴ طرح سه بعدی مدل از لوله و آشکارسازهای مستقر در زوایای مختلف پیرامونی در چیدمان نخست.



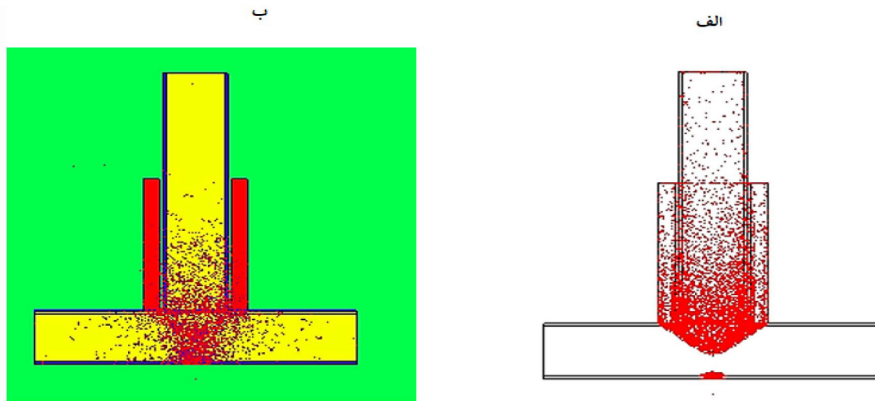
شکل ۵ نمای بالایی چیدمان نخست در دو حالت الف) با و ب) بدون حضور شبکه فلزی. طرح سه بعدی مدل از لوله و آشکارسازهای مستقر در زوایای مختلف پیرامونی.

چیدمان دوم

پرشده‌گی لوله از هوا و یا سیال نفتی آشکارسازی و ثبت کنند. در این چیدمان نیز دقت شده است که زاویه تابش و خروج پرتوها از محل چشمه به سمت لوله به گونه‌ای باشد که تمام ناحیه حضور شبکه و آشکارساز را پوشش دهد.

در شکل ۶ گسیل ذرات از چشمه با و بدون حضور ماده برای این چیدمان نشان داده شده است.

در این چیدمان همانگونه که در شکل ۲ نیز مشخص شده است مکان قرارگیری چشمه تغییر و در موقعیت ب قرار می‌گیرد. در این موقعیت آشکارسازهای پیرامونی لوله قادرند در شرایطی متقارن پرتوهای عبوری از درون لوله را در دو حالت کلی با و بدون حضور شبکه فلزی برای وضعیت‌های مختلف



شکل ۶ گسیل ذرات گاما از چشمه به سمت آشکارسازها در چیدمان دوم، الف) بدون حضور سیال درون لوله و بدون پراکندگی، ب) با حضور سیال درون لوله و پراکندگی

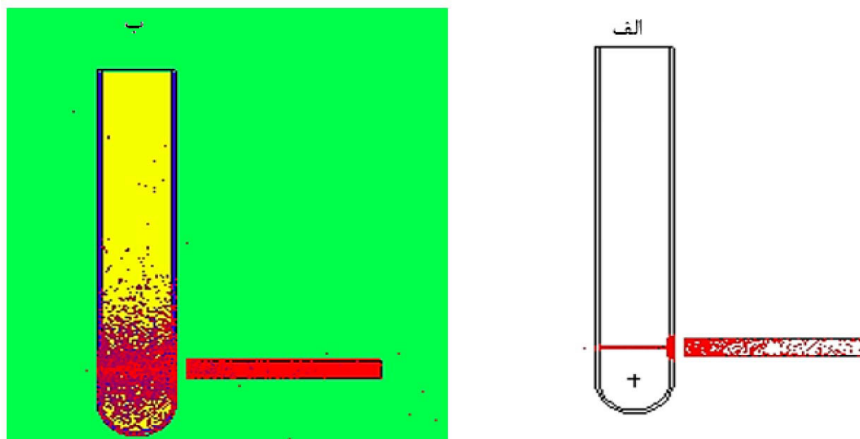
چیدمان سوم

در چیدمان سوم محل قرارگیری چشمه همانگونه که در شکل ۲ مشخص شده است به موقعیت ج تغییر یافت. هدف از این تغییر در واقع حذف لوله افقی از مسیر پرتوهای ورودی به لوله و کمک به افزایش شدت پرتوهای خوانشی توسط آشکارساز روبرو است. با این اقدام انتظار می‌رود که شرایط برای افزایش حساسیت شمارش و در ادامه تمایز دو حالت با و بدون حضور شبکه فلزی در محل انشعاب فرعی فراهم گردد. شکل ۷ نمایی از چیدمان مذکور را در این دو حالت نشان می‌دهد.

اعتبارسنجی

در ارتباط با اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی

مونت کارلو با نتایج داده‌گیری تجربی، به دلیل عدم وجود انعطاف زیاد در ساخت و بهره‌گیری از کلیه طراحی‌های ممکن در یکسوسازهای موجود در آزمایشگاه، با استفاده از مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های تجربی مربوط به یکسوساز مشابه موجود در آزمایشگاه، روند تغییرات شمارش برحسب چگالی محلول آب-نمک به‌عنوان معیار اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. در این فرآیند از چشمه کبالت-۶۰ با فعالیت پرتوزایی ۵ mCi واقع در عمق ۷ cm یکسوساز و با گشودگی دهانه مستطیلی که منجر به تابش پرتوها به‌صورت نازک مدادی شکل به لوله حاوی سیال می‌شود استفاده گردید. نمایی از ساختار تجربی موجود در آزمایشگاه در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷ گسیل ذرات گاما از چشمه به سمت آشکارسازها در چیدمان سوم، الف) بدون حضور سیال درون لوله و بدون پراکندگی، ب) با حضور سیال درون لوله و پراکندگی



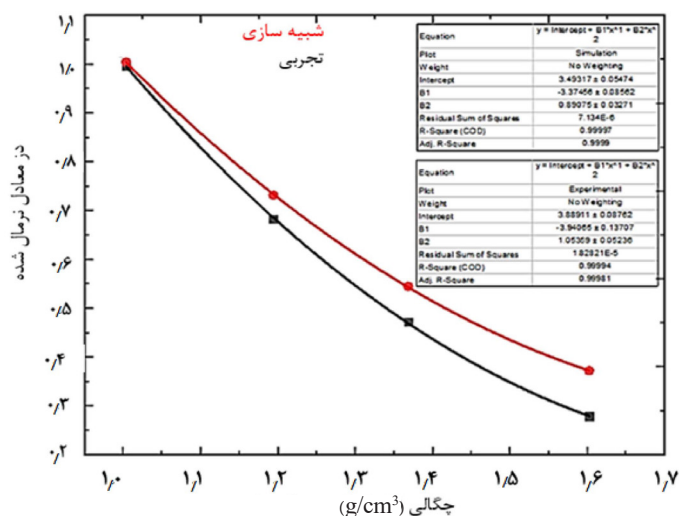
شکل ۸. نمایی از سیستم داده‌گیری تجربی، اندازه‌گیری چگالی محلول آب-نمک موجود در آزمایشگاه. سیستم غلظت‌سنج هسته‌ای مشتمل بر (۱) بدنه حاوی آب شور، (۲) محفظه آشکارسازی، (۳) یکسوساز چشمه، و (۴) جعبه حاوی صفحه نمایشگر.

نتایج

نتایج اعتبارسنجی

چشمه کبالت-۶۰ درون یکسوساز و در عمق ۷ cm و با گشودگی دهانه مستطیلی که منجر به تابش پرتوها به صورت نازک مدادی شکل به لوله حاوی سیال می‌شود، انجام گرفت. تالی مورد استفاده در شبیه‌سازی، F8، جهت محاسبه آهنگ شمارش آشکارساز گایگر-مولر استوانه‌ای با طول ۲۷ cm و قطر ۲/۲۸ cm استفاده گردید. کلیه شبیه‌سازی‌ها با ۱۰۸ ذره و با خطای بیشینه ۱٪ برای مقادیر چگالی بین ۱ و $1/6 \text{ g/cm}^3$ مربوط به آب شور انجام شد. نتایج مقایسه در شکل ۹ نشان داده شده است.

به منظور اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو و با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در ارتباط با ابعاد و هندسه یکسوساز و فعالیت پرتوزایی چشمه در دسترس در آزمایشگاه، روند کلی تغییرات شمارش نرمالیزه شده برحسب چگالی برای دو وضعیت مشابه تجربی و شبیه‌سازی مورد استناد قرار گرفت. همانگونه که پیش از این بیان شد این مقایسه برای قرارگیری



شکل ۹. تغییرات شمارش نرمالیزه برحسب چگالی آب-نمک برای وضعیت چشمه درون یکسوساز با گشودگی مدادی در دو حالت تجربی و شبیه‌سازی.

نتایج مدل‌سازی

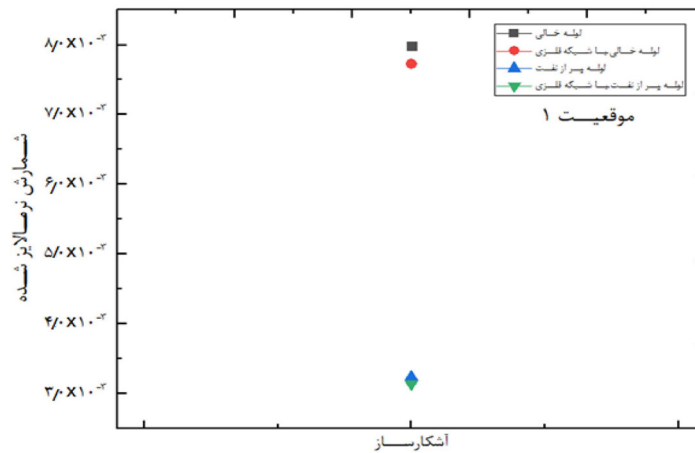
نتایج شبیه‌سازی چیدمان نخست

نتایج مربوط به تغییرات شمارش آشکارسازهای پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان نخست در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج مربوط به تغییرات شمارش مجموع آشکارسازهای پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان نخست در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی در شکل ۱۱ نشان داده شده

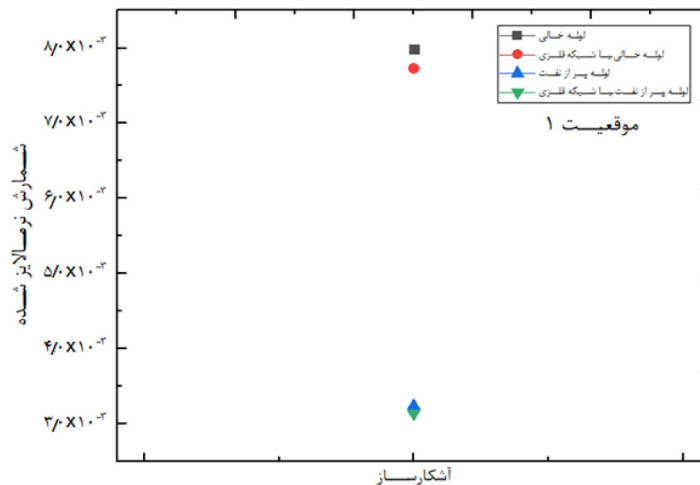
است.

نتایج شبیه‌سازی چیدمان دوم

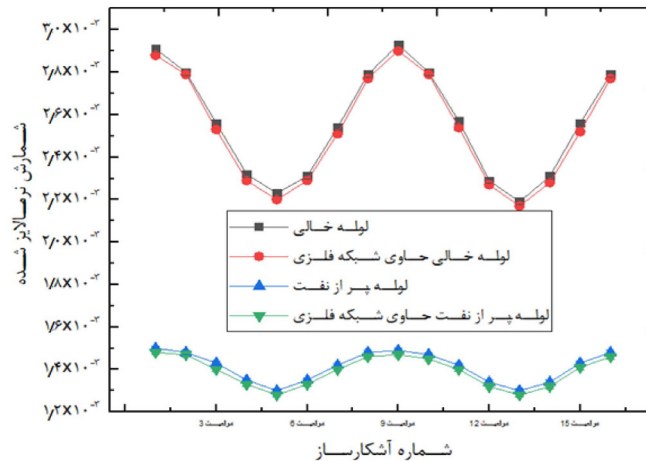
نتایج مربوط به تغییرات شمارش آشکارسازهای پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان دوم در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نتایج مربوط به تغییرات شمارش مجموع آشکارسازهای پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان دوم در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



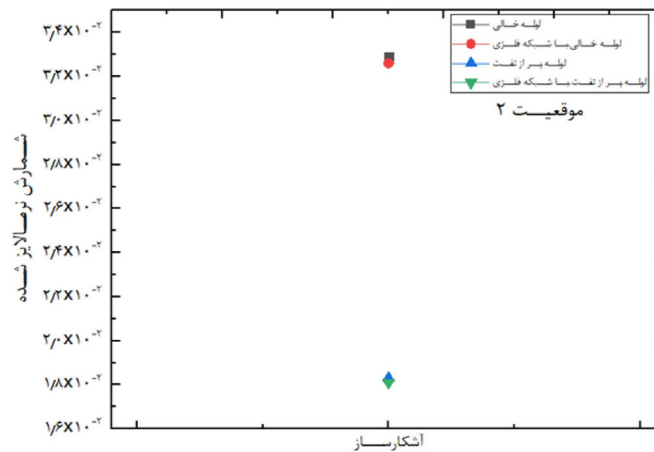
شکل ۱۰ تغییرات شمارش آشکارسازهای پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان نخست در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی.



شکل ۱۱ تغییرات شمارش مجموع آشکارسازهای پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان نخست در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی.

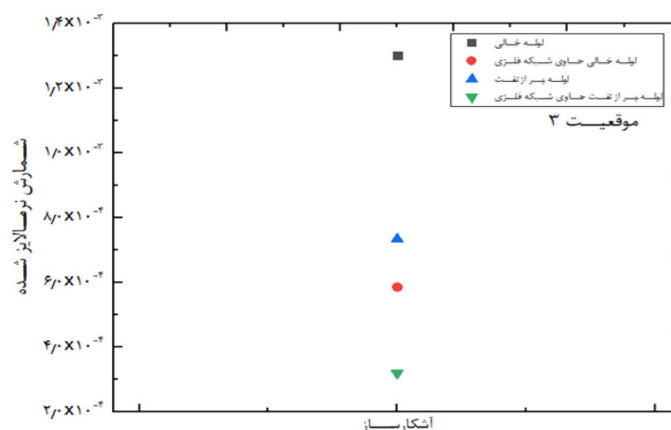


شکل ۱۲ تغییرات شمارش آشکارسازهای پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان دوم در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی.



شکل ۱۳ تغییرات شمارش مجموع آشکارسازهای پیرامون انشعاب فرعی در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی.

نتایج مربوط به تغییرات شمارش آشکارساز پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان سوم در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴ تغییرات شمارش آشکارساز پیرامون انشعاب فرعی در چیدمان سوم در حالات چهارگانه لوله پر از هوا-با شبکه فلزی، لوله پر از نفت-با شبکه فلزی، لوله پر از هوا-بدون شبکه فلزی، لوله پر از نفت-بدون شبکه فلزی.

نتیجه گیری

در ارتباط با اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه سازی مونت کارلو با نتایج داده گیری تجربی، مقایسه روند تغییرات شمارش نرمالیزه شده برحسب چگالی محلول آب-نمک از همخوانی مناسب بین داده تجربی و شبیه سازی حکایت می کند. این دستاورد به عنوان مبنایی برای تایید صحت شبیه سازی در ادامه در نظر گرفته شد.

آنچه معیار تشخیص حضور و یا عدم حضور صفحه مشبک فلزی در ابتدای انشعاب فرعی است در واقع توانایی تمییز شدت های شمارشی آشکارسازهای منفرد و یا مجموع برای حالت های دوگانه پرشدگی لوله توسط هوا و یا نفت است که هرچه اختلاف در شمارش به ازای حضور و عدم حضور صفحه فلزی بیشتر باشد، مشروط به اینکه مطابق با اصل تفکیک رایلی^۱ این اختلاف بزرگتر از نصف حاصل جمع انحراف معیار دو شمارش مورد نظر باشد، توان تمییز دو وضعیت حضور و یا عدم حضور صفحه بیشتر خواهد بود [۱۳]. آنچه از نمودارهای مربوط به چیدمان نخست مشخص می گردد آن است که آشکارسازهای واقع در صفحه تخت فرضی حاوی چشمه عمود بر محور انشعاب فرعی دارای بیشترین توان تفکیک حضور و عدم حضور صفحه مشبک فلزی هستند. البته این قابلیت در حالتی که لوله پر از نفت باشد به سبب تضعیف بیشتر پرتوها در محیط های چگال و کاهش شمارش ثبت شده توسط آشکارساز نسبت به حالت پر از هوا تقلیل می یابد. در مورد آشکارسازهای واقع در صفحه مذکور افزایش شمارش به سبب کاهش ضخامت فولادی لوله در مسیر پرتوهای عبوری اتفاق می افتد. در ادامه و با تجمیع شمارش آشکارسازهای پیرامونی حساسیت خوانش و در نتیجه توان تفکیک ارتقاء می یابد. آنچه از نمودارهای مربوط به چیدمان دوم مشاهده می شود کاهش توان تفکیک حضور و عدم حضور صفحه مشبک فلزی در هر دو وضعیت

پرشدگی لوله با هوا و نفت نسبت به چیدمان نخست است. این کاهش توان تفکیک در هر دو حالت بهره گیری از آشکارسازهای پیرامونی انشعاب فرعی به صورت منفرد و مجموع قابل مشاهده است. در این چیدمان برخلاف مورد نخست و به دلیل تقارن بین موقعیت های زاویه ای مختلف، اختلاف توان تفکیک برای آشکارسازهای واقع در این موقعیت ها کمتر خواهد شد. در حالتی که لوله پر از نفت باشد نیز به مانند چیدمان نخست به سبب تضعیف بیشتر پرتوها در این محیط چگال، کاهش شمارش ثبت شده توسط آشکارساز نسبت به حالت پر از هوا و بالتبع کاهش توان تفکیک مورد انتظار است. در این چیدمان سه آشکارساز واقع در موقعیت های ۱، ۹ و ۱۶ دارای بیشترین مقدار خوانش و بالتبع بیشترین توان تفکیک هستند و دو آشکارساز واقع در موقعیت های ۵ و ۱۳ کمترین مقدار خوانش و بالتبع کمترین توان تفکیک را خواهند داشت. در ادامه و با تجمیع شمارش آشکارسازهای پیرامونی حساسیت خوانش و در نتیجه توان تفکیک ارتقاء خواهد یافت. در مورد نمودارهای مربوط به چیدمان سوم آنچه از نمودار تغییرات شمارش مشخص می شود افزایش چشمگیر قابلیت تفکیک دو حالت با و بدون حضور شبکه فلزی در هر دو وضعیت پرشدگی لوله از هوا و نفت نسبت به چیدمان های اول و دوم است. در واقع با کاستن از مقدار ماده جاذب فلزی مربوط به خط لوله افقی جریان اصلی و بالتبع محتوای سیالاتی آن نه تنها بر حساسیت شمارشی آشکارساز روبرو افزوده شده است بلکه اختلاف زیادی در داده های شمارشی مربوط به حالات با و بدون حضور شبکه فلزی ایجاد گردیده است.

1. Rayleigh's Separation Principle

مراجع

- [1] Barbosa, C.M., Kenup-Hernandes, H.O., Raitz, C., Dam, R.S.D.F., Salgado, W.L., Lima, I.C., Braz, D. and Salgado, C.M., (2021). Development of a non-invasive method for monitoring variations in salt concentrations of seawater using nuclear technique and Monte Carlo simulation. *Applied Radiation and Isotopes*, 174, 109784. doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109784.
- [2] Johansen, G. A., & Jackson, P. (2000). Salinity independent measurement of gas volume fraction in oil/gas/water pipe flows. *Applied Radiation and Isotopes*, 53(4-5), 595-601. doi.org/10.1016/S0969-8043(00)00232-3
- [3] Holstad, M. B. (2004). *Gamma-ray scatter methods applied to industrial measurement systems* (No. NEI-NO--1551). Bergen Univ.(Norway). Dept. of Physics and Technology. ISBN 82-479-0240-9.
- [4] Sætre, C., Johansen, G. A., & Tjugum, S. A. (2010). Salinity and flow regime independent multiphase flow measurements. *Flow Measurement and Instrumentation*, 21(4), 454-461. doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2010.06.002.
- [5] Salgado, C. M., Brandão, L. E., Pereira, C. M., & Salgado, W. L. (2014). Salinity independent volume fraction prediction in annular and stratified (water-gas-oil) multiphase flows using artificial neural networks. *Progress in Nuclear Energy*, 76, 17-23. doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.05.004.
- [6] Farid, O., Qi, B., Uribe, S., & Al-Dahhan, M. (2023). New dual modality technique of gamma-ray densitometry (GRD) and optical fiber probe (OFP) to investigate line-averaged diameter profiles of gas, liquid, and solid holdups along the height of a slurry bubble column. *Chemical Engineering Science*, 281, 119032. doi.org/10.1016/j.ces.2023.119032.
- [7] Salgado, W. L., Dam, R. S. D. F., Teixeira, T. P., Conti, C. C., & Salgado, C. M. (2020). Application of artificial intelligence in scale thickness prediction on offshore petroleum using a gamma-ray densitometer. *Radiation Physics and Chemistry*, 168, 108549. doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108549.
- [8] de Freitas Dam, R. S., Dos Santos, M. C., Salgado, W. L., da Cruz, B. L., Schirru, R., & Salgado, C. M. (2023). Prediction of fluids volume fraction and barium sulfate scale in a multiphase system using gamma radiation and deep neural network. *Applied Radiation and Isotopes*, 201, 111021. doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.111021.
- [9] Swinehart, D. F. (1962). The beer-lambert law. *Journal of Chemical Education*, 39(7), 333. doi.org/10.1021/ed039p333.
- [11] Sinha, R., Paredis, C. J., Liang, V. C., & Khosla, P. K. (2001). Modeling and simulation methods for design of engineering systems. *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, 1(1), 84-91. doi.org/10.1115/1.1344877.
- [12] Waters, L.S., McKinney, G.W., Durkee, J.W., Fensin, M.L., Hendricks, J.S., James, M.R., Johns, R.C. and Pelowitz, D.B., (2007). March. The MCNPX Monte Carlo radiation transport code. In AIP conference Proceedings, 896(1): 81-90. American Institute of Physics. doi.org/10.1063/1.2720459.
- [13] Temple, G. (1928). The theory of Rayleigh's principle as applied to continuous systems. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 119(782), 276-293. doi.org/10.1098/rspa.1928.0098.



Conceptual Design of the Nuclear System for Checking Pigability at Pipeline Branches

AmirMohammad Beigzadeh, Mojtaba Askari* and, Mohsen Sharifzadeh

Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

moasgari@aeoi.org.ir

DOI:10.22078/pr.2024.5361.3386

Received: January/23/2023

Accepted: September/13/2024

Introduction

Ensuring free passage of flow through the pipelines is known as one of the important mechanical processes in the oil and gas industry. This process is carried out in two general categories with the aim of cleaning residual sediments and interior pipe monitoring. Moreover, sometimes it happens that the tube not only fails to perform its main task, but also causes damage by getting stuck in the middle of the road and prevents the transfer of oil, gas, or derivatives.

One of the key points where it is possible for the pig to get stuck is at the branching point on the main flow pipeline. In this situation, it is necessary to prevent the pig from getting trapped by installing mesh plates at the entrance of the sub-branch. According to the opinion of technical inspectors, there is no comprehensive information about the presence/absence of these pages in a large number of branches. Therefore, it is necessary to use non-destructive measurement mechanisms in order to detect the branches without mesh plate.

The purpose of this research work was to design the nuclear system concept to check the pigability at the location of the pipeline branches in the Monte Carlo simulator environment. The results obtained from the examination of the different layouts of the placement of the Gama-ray emitting source and the detector around the pipe branch show the fact that in the optimal geometric structure, this will be possible far from any radiation hazards such as industrial radiography and with a high resolution.

Materials and Methods

Theory

In the conceptual design of the nuclear system

checking the pigability at the location of the pipeline branch, the location of the radioactive source and the radiation detector relative to each other, as well as the angular position of both around the branch, along with the installation of the optimal opening of the collimator as the parameters affecting the accuracy of detecting the metal mesh screen from the content inside the pipe were investigated.

Modelling

Modeling and simulation are vital tools in engineering, as they play a crucial role in various industrial fields [1]. In order to take advantage of modeling and simulation in the nuclear industry, Monte Carlo codes are widely used for various applications. Furthermore, MCNP, which stands for N-Particle Monte Carlo, is a widely used Monte Carlo code in the nuclear industry. It is a powerful and versatile simulation tool that allows accurate modeling of complex radiative transport processes [2].

Initially, the desired arrangement was sketched in two-dimensional form outlining the placement of the source, detectors, and the angle of the gamma beam. Next, the desired map was modeled in the Monte Carlo space. The purpose here is to check the presence or absence of the metal mesh that is located at the beginning of the sub-branch of the branch.

In this research study, three different arrangements of source and detectors around the branch were applied, and the numerical results were used to compare their performance and finally to choose the optimal structure with the maximum ability to detect the presence or absence of the metal network. The schematic related to the intended arrangements is shown in Fig. 1.

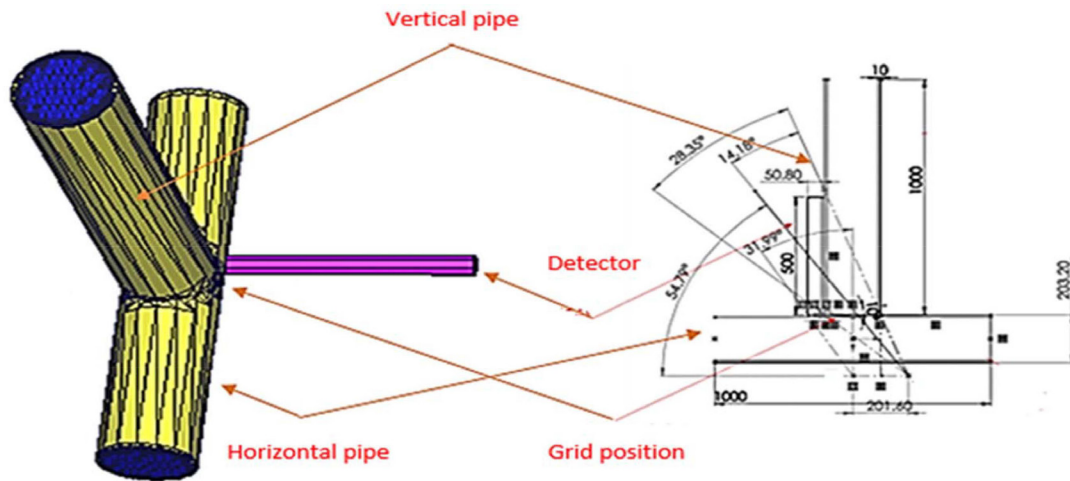


Fig. 1 The schematic related to three intended arrangements of source and detector around pipe branch (A, B, C).

Results and Discussion

The results related to the changes in the number of detectors around the sub-branch in three arrangements is shown in Fig. 2, 3, and 4.

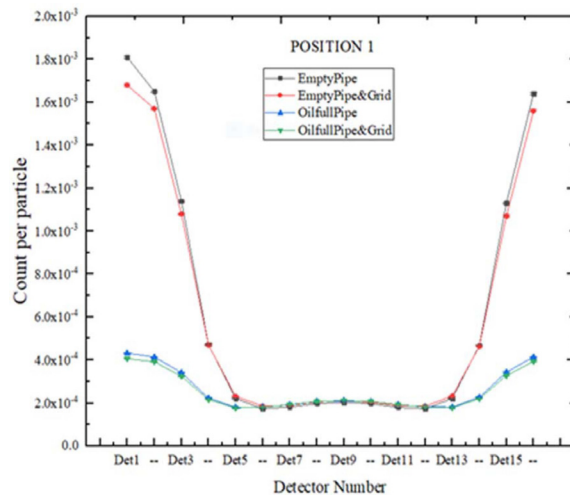


Fig. 2 The detector count vs angular position around the sub-branch in the first arrangement.

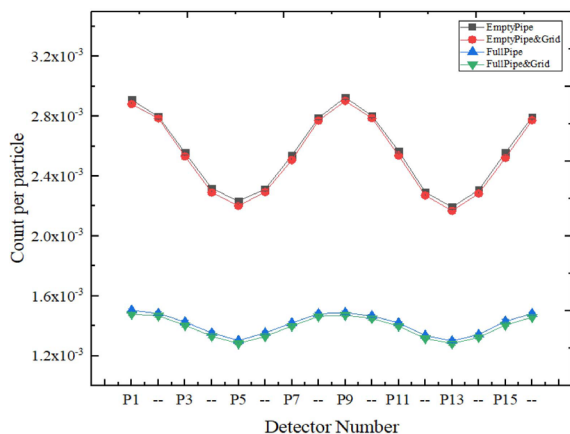


Fig. 3 The detector count vs angular position around the sub-branch in the second arrangement.

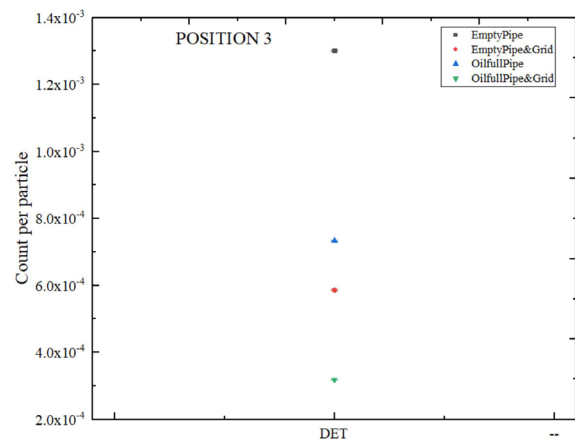


Fig. 4 The detector count vs angular position around the sub-branch in the third arrangement.

Conclusions

What is clear from the diagrams related to different arrangement is that the third one is the optimum choice. In the first and second cases, by summing up all detector counts, it is possible to distinguish mesh grid with the higher accuracy.

Regarding the graphs related to the third arrangement, what is clear from the count change is a significant increase in the ability to distinguish between the two states with and without the presence of the metal grid in both the conditions of the pipe being filled with air and oil compared to the first and second arrangements. In fact, reducing the amount of metal absorbent material in the horizontal pipeline of the main flow, has not only increased the counting sensitivity of the front detector but has also created a significant difference in the counting data between states with and without the presence of the metal grid.

References

1. Sinha, R., Paredis, C. J., Liang, V. C., & Khosla, P. K. (2001). Modeling and simulation methods for design of engineering systems.

- <https://asmedigitalcollection.asme.org/computingengineering>, 1(1), 84-91. doi.org/10.1115/1.1344877.
2. Waters, L.S., McKinney, G.W., Durkee, J.W., Fensin, M.L., Hendricks, J.S., James, M.R., Johns, R.C. and Pelowitz, D.B., (2007). March. The MCNPX Monte Carlo radiation transport code. In AIP conference Proceedings, 896(1): 81-90). American Institute of Physics. doi.org/10.1063/1.2720459.