بررسی عملکرد سیستم رسوب سنجی پرتو گاما در مدهای عبوری و پس پراکنشی

INC29-1218

مجتبی عسکری [۱*] ، امیرمحمد بیگ‌زاده[۱]، محسن شریف‌زاده [۱*]

۱. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کد پستی ۱۴۳۹۹۵۱۱۱۳، تهران ـ ایران.

چکیده:

اندازه‌گیری ضخامت رسوب درون خطوط لوله جریان یکی از چالش‌های بزرگ در صنعت نفت و گاز است. انباشت رسوب درون خطوط لوله در مدت‌زمانی کوتاه صورت می‌گیرد که کنترل و پیش‌بینی آن درون خطوط لوله قطور جریان هیدروکربن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با وجود روش‌های مختلف و در دسترس استفاده از پرتوهای گاما به‌عنوان روشی غیر مخرب و مرسوم مطرح است. رویکرد لازم در به‌کارگیری این تکنیک چینش بهینه آشکارساز و چشمه حول لوله است به‌گونه‌ای که در مدت‌زمانی کوتاه با بیشینه دقت ممکن بتوان فرایند اندازه‌گیری را انجام داد. ملاحظات هزینه‌ای، قابلیت به‌کارگیری سنجشگر در موقعیت‌های مختلف روی سکو و زیر دریا، و کاهش دز جذبی اپراتور به کمینه قابل حصول از دیگر پارامترهای مهم است که بایستی لحاظ گردد. دو روند عمومی شمارش گاماهای عبوری و پس‌پراکنده به‌عنوان چینش آشکارساز و چشمه حول لوله مورد نظر است. در این مطالعه با استفاده از فرایند داده‌گیری تجربی بر روی لوله ۳۲ اینچی جریان گاز، عملکرد سیستم رسوب‌سنج پرتوی در مدهای عبوری و پس‌پراکنشی مورد بررسی قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: رسوب‌سنجی، رسوب، تکنیک گاما، رادیومتری، مد عبوری، مد پس پراکنشی

Investigating the performance of the gamma-ray sediment measurement system in transmission and backscatter modes

Mojtaba Askari [1], Amir Mohammad Beigzadeh [1], Mohsen Sharifzadeh [1*]

1. Radiations Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.BOX:1439951113, Tehran, Iran.

Abstract:

Measuring the thickness of sediment inside flow pipelines is one of the biggest challenges in the oil and gas industry. Accumulation of sediment inside the pipelines happens in a short period of time, which, the control and prediction of it in the thick hydrocarbon pipelines is of particular importance. Despite the various available techniques, using gamma radiation as a non-destructive and common method is known.

The necessary approach in using this technique is the optimal arrangement of the detector and radioactive source around the pipe in such a way that the measurement process can be carried out with maximum accuracy in a short period of time. Cost considerations, the ability to use the meter in different positions on the platform /under the sea, and reducing the absorption dose of the operator to the minimum obtainable are other important parameters that can be considered.

Two general modes of counting the transmitted and backscattered gammas are considered as the detector and the source arrangement around pipe. In this study, using the experimental data acquisition process on the 32-inch gas flow pipe, the performance of the radiometric sediment measurement system in transmission and backscatter modes was investigated.

Keywords: Sediment measurement, Sediment, Gamma technique, Radiometric, transmission mode, backscattering mode.

۱. مقدمه

تشکیل رسوبات درون خطوط لوله جریان همواره به‌عنوان یکی از مشکلات رایج در صنعت نفت/گاز مطرح بوده است. این رسوبات جامد/معلق در سیال با حرکت درون لوله می‌توانند ته‌نشین شده و به سطح درونی لوله بچسبند [۱]. بر اساس بررسی‌هایی صورت گرفته توسط سازمان انرژی اتمی امریکا رفع مشکلات ناشی از رسوب واکس در عمق ۴۰۰ متری زیر دریا هزینه‌ای برابر ۱ میلیون دلار در هر مایل در بر خواهد داشت[۲]. هزینه کنترل رسوب در میدان وسلیفریک[1] نروژ برابر ۱/۱ میلیارد دلار برآورد شده است[۳]. شرکت نفت لاسمو انگلستان مجبور شد بعد از صرف هزینه بیش از ۱۰۰ میلیون دلار، یکی از سکوهای نفتی خود را به دلیل مشکلات ناشی از تشکیل پرتکرار رسوب پارافین رها کند [۴].

تکنیک گامای عبوری به دلیل استفاده از چشمه رادیواکتیو قابلیت استفاده برای لوله‌های عایق‌بندی شده را دارد و از دقتی بالا در تشخیص و اندازه‌گیری ضخامت رسوب برخوردار است. بیورنستاد و همکاران در سال ۲۰۰۶ با طراحی یک مدل آزمایشگاهی، امکان استفاده از تکنیک گامای عبوری جهت اندازه‌گیری ضخامت رسوب کلسیم‌کربنات در لوله‌های آلومینیومی با قطر کم را تحقیق کردند و در این کار، از چشمه باریم-۱۳۳و یک آشکارساز جهت اسکن لوله استفاده شد. و این نتیجه حاصل شد که استفاده از تکنیک گامای عبوری دارای شرایط لازم جهت اندازه‌گیری ضخامت انباشت رسوب هست و با بهینه‌سازی شرایط آزمایشگاه امکان اندازه‌گیری ضخامت رسوب در حد ۳۰ میکرومتر وجود دارد[۵]. سانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۸ یک نرم‌افزار طراحی کردند که با کمک تکنیک گامای عبوری، ضخامت رسوب قیرمانند ته‌نشین شده در خطوط لوله‌های تولید فولاد را اندازه بگیرند. برای اینکار از سیستم متشکل از چشمه سزیم-۱۳۷ و یک آشکارساز که به دو صورت یکی متحرک برای اسکن کل سطح مقطع لوله‌های بزرگ و دیگری ثابت فقط تغییرات شدت گاماهای عبوری از ناحیه مرکزی لوله‌های با قطر کوچک را ثبت می‌کند استفاده کردند. سیستم اسکنی شکل واقعی‌تر از رسوب انباشته‌شده را نشان می‌دهد. آن‌ها توانسته‌اند نرخ انباشتگی رسوب را در لوله‌ها با اندازه مختلف را با دقت بالای ۹۰٪ اندازه بگیرند[۶]. هارارا در سال ۲۰۰۸ امکان استفاده از رادیوگرافی مماسی جهت اندازه‌گیری ضخامت رسوب با چگالی کم و متوسط برای لوله‌هایی با ضخامت مختلف بررسی کرد. در این کار از چشمه‌های ایریدیوم-۱۹۲ و کبالت-۶۰ و فیلم با سرعت متوسط استفاده کرد. سیستم آزمایش او به این صورت بود که دو لوله فولادی با قطر مختلف را ماشین‌کاری کرد تا ضخامت مختلفی از آن را داشته باشد سپس داخل این لوله‌ها را از قیر و سیمان (قیر معادل رسوب با چگالی کم و سیمان معادل رسوب با چگالی متوسط) به‌صورت حلقوی خارج از مرکز پوشاند تا ضخامت مختلف از رسوب مدل‌سازی شود. سپس با چرخاندن لوله‌های مرجع و رادیوگرافی از آن، توانست منحنی استاندارد از رابطه بین حداقل ضخامت رسوب قابل‌تشخیص و حداقل ضخامت لوله فولادی بدست‌آورد[۷].

پس از مکان‌یابی مناسب آشکارسازهای پرتو حول لوله این امکان فراهم خواهد بود که برخلاف رویه مرسوم اندازه‌گیری ضخامت در یک راستای منفرد داده‌های مربوط به خوانش پرتو عبوری از وترهای مختلف لوله به‌عنوان ورودی یک شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گیرد. متعاقباً شبکه آموزش‌داده‌شده مذکور قادر است علاوه بر اندازه‌گیری ضخامت رسوب در جهات مختلف امکان تشخیص مدل رسوب‌گذاری را نیز برای اپراتور در اتاق کنترل فراهم کند.

۲. روش کار

در این مقاله ضخامت رسوب ایجادشده در یک لوله گاز واقعی پیش روی پرتو گامای گسیلی از موازی‌ساز[2] حاوی چشمه سزیم-۱۳۷ با فعالیت پرتوزایی ۴۰ میلی‌کوری قرار گرفت. آنچه در اینجا مورد نظر بود بررسی عملکرد سیستم رسوب‌سنج هسته‌ای موجود در مدهای دوگانه شمارش گامای عبوری و پس‌پراکنده بود. آشکارساز مورد استفاده در این کار تحقیقاتی

[1] The Veslefrikk field

[2] Collimator

یدور سدیم ۲ اینچی است. طراحی سیستم با این فرض شروع شد که یک برد مرکزی وظیفه جمع‌آوری داده‌های آشکارساز سوسوزن را برعهده‌گرفته و سپس این برد بعد از جمع‌آوری داده‌ها به پنل مرکزی ارسال نماید. در این طراحی از هسته قدرتمند ARM به‌عنوان هسته اصلی پردازش و کنترل آشکارساز استفاده شده است. تغذیه این برد ۹-۳۶ ولت DC می‌باشد که از طریق کابل و توسط پردازنده تأمین می‌شود. این برد قابلیت راه‌اندازی ۳ سوسوزن به‌صورت هم‌زمان را دارا می‌باشد. جهت راه‌اندازی آشکارساز سوسوزن نیاز به ولتاژ ۴۰۰ تا ۵۰۰ ولت می‌باشد که از ماژول‌های High Voltage برای تأمین این ولتاژ استفاده شد. با توجه به اینکه آشکارساز موجود پکیجی از ماژول ولتاژ بالا، بلور سوسوزن و تیوب تکثیرکننده نوری است، خروجی آن ابتدا به بورد فرستنده نصب در انتهای آشکارساز داده شد و سیگنال خروجی به بورد گیرنده مرکزی فوق جهت نمایش و ثبت داده‌ها داده شد. نمایی از سیستم مذکور در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

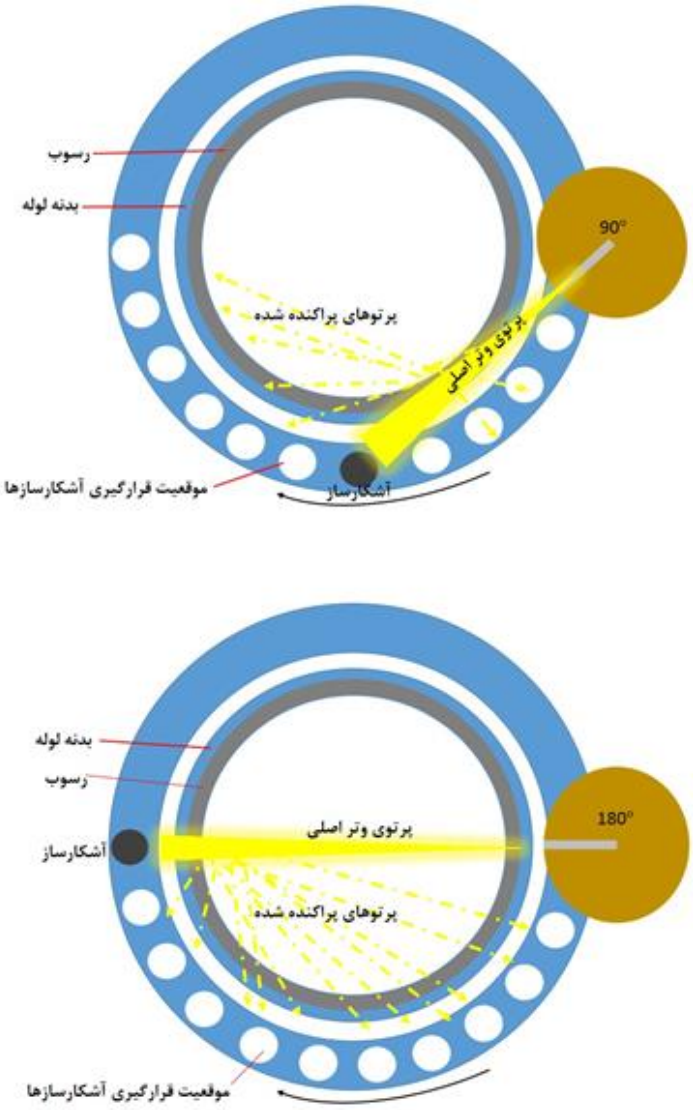
شکل ۱. سیستم رسوب‌سنج هسته‌ای، موازی‌ساز پرتو(۱)، آشکارساز سوسوزن(۲)، محل چینش آشکارسازها(۳)، برشی از خط لوله(۴)، و فانتوم معادل رسوب (۵).

همان‌گونه که از شکل ۱ پیدا ست در این مطالعه با ا ستفاده از ت سمه فلزی حول لوله جریان حاوی سوراخ‌کاری‌های ده‌گانه محل‌های قرارگیری آشکارساز سوسوزن اطراف لوله و در زاویه مشخص نسبت به کولیماتور حاوی چشمه مشخص و تثبیت گردید. جهت قرار دادن معادل ر سوب درون خط لوله جریان و دارای رژیم انبا شت کاملاً حلقوی و به دلیل خطای بالا در ساخت قالب‌های ر سوب بر آن شدیم تا با راهکاری جایگزین در آزمایشگاه این کار انجام و در ادامه تحقیقات نیز بتواند مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، با استفاده از برشکاری CNC بر روی دو ورق از جنس پلی‌اتیلن و در ادامه ثابت نگه‌دا شتن این دو ورق ن سبت به یکدیگر با ا ستفاده از ورق آلومینیوم نازک با ضخامت ۰/۷ میلی‌متر این امکان فراهم گردید تا فضایی خالی بین جداره داخلی لوله و این ورق آلومینیومی جهت پرکردن با ماسه‌بادی به‌عنوان معادلی از رسوب ایجاد شود. اختلاف شعاع ورق پلی‌اتیلن و لوله جریان در واقع شرایط را برای آماده‌سازی معادل رسوبی حلقوی چسبیده به لوله مهیا ساخت.

در ادامه و با استفاده از طراحی نوینی که بر روی موازی‌ساز صورت گرفته است توانستیم با استفاده از چرخش موازی ساز ا ستوانه‌ای حول محور مرکزی موفق شویم باریکه مدادی[3] خروجی از آن را در هربار آزمایش بر روی یکی از محل‌های سوراخ‌کاری شده تنظیم کنیم به‌گونه‌ای که آشکارساز واقع در آن محل مورد نظر شمارش تضعیف‌شده عبوری از رسوب درون لوله را در امتداد وتر موردنظرمان خوانش کند. درعین‌حال این امکان نیز وجود داشت که با قراردادن

[3] Pencil-beam

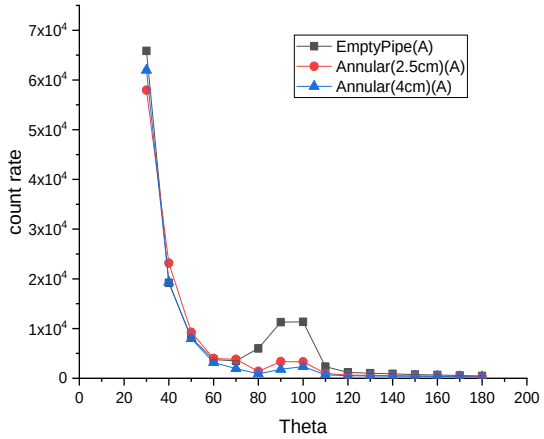
آشکارساز در محل‌های پیرامونی نیز بتوان شمارش گامای پس‌پراکنده را به ازای وتر مورد نظر انجام داد. شمایی از فرایند مذکور در شکل ۲ نشان داده‌شده است.



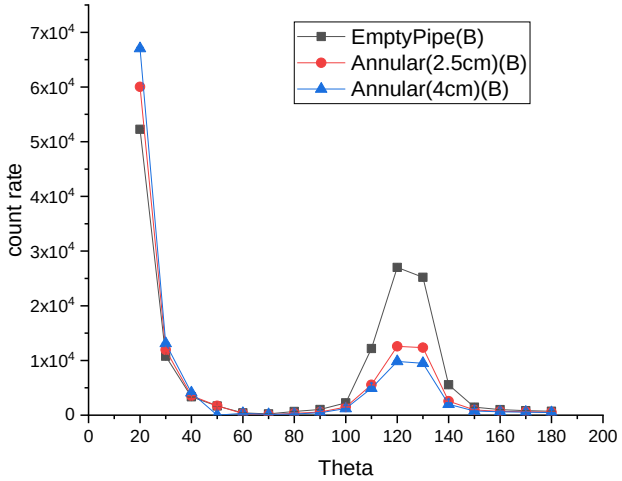
شکل ۲. شمای سیستم داده‌گیری تجربی، محل چینش آشکارسازها و موازی‌ساز حول لوله، موقعیت‌های زاویه‌ای ۹۰ و ۱۸۰ درجه آشکارساز پرتو عبوری نسبت به موازی‌ساز، نحوه چرخش موازی‌ساز، و چگونگی قرارگیری و شمارش پرتوهای پراکنده به ازای هرکدام از دو موقعیت زاویه‌ای فوق.

در این کار تحقیقاتی ۴ زاویه ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه نسبت به محل چشمه درون موازی‌ساز به‌عنوان محل‌های شمارشی گامای عبوری در امتداد وتر لوله مورد نظر قرار گرفت. در کنار شمارش گامای عبوری در هرکدام از این موقعیت‌های چهارگانه به تعداد ۱۶ بار متناظر با زوایای مختلف اطراف وتر مذکور شمارش گامای پس‌پراکنده نیز انجام گرفت. تمام این فرایند در سه وضعیت لوله خالی، لوله حاوی معادل رسوب حلقوی با ۲/۵ سانتیمتر ضخامت چسبیده به لوله و در انتها لوله حاوی معادل رسوب حلقوی با ۴ سانتیمتر ضخامت چسبیده به لوله تکرار و نتایج ثبت گردید.

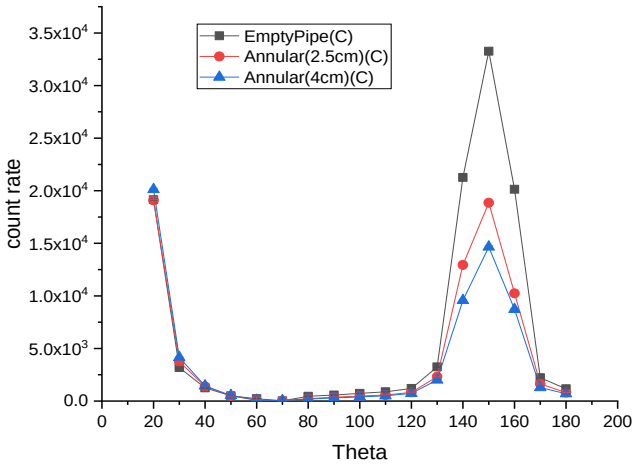
نتایج داده‌گیری تجربی جهت مقایسه و بررسی عملکرد سیستم رسوب‌سنج هسته‌ای در شکل‌های ۳، ۴، ۵، و ۶ نشان داده‌شده‌اند.



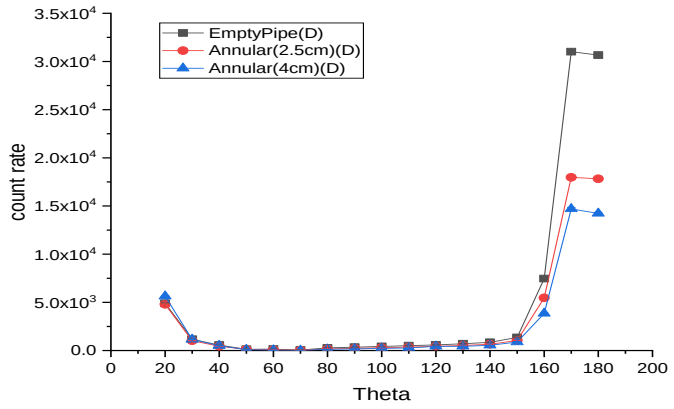
شکل ۳. داده تجربی مربوط به شمارش گامای عبوری و پراکنده حول وتر متناظر با موقعیت زاویه‌ای ۹۰ درجه آشکارساز نسبت به موازی‌ساز به ازای ضخامت‌های ۰، ۲٫۵ و ۴ سانتیمتری رسوب حلقوی.



شکل ۴. داده تجربی مربوط به شمارش گامای عبوری و پراکنده حول وتر متناظر با موقعیت زاویه‌ای ۱۲۰ درجه آشکارساز نسبت به موازی‌ساز به ازای ضخامت‌های ۰، ۲٫۵ و ۴ سانتیمتری رسوب حلقوی.



شکل ۵. داده تجربی مربوط به شمارش گامای عبوری و پراکنده حول وتر متناظر با موقعیت زاویه‌ای ۱۵۰ درجه آشکارساز نسبت به موازی‌ساز به ازای ضخامت‌های ۰، ۲٫۵ و ۴ سانتیمتری رسوب حلقوی.



شکل ۶. داده تجربی مربوط به شمارش گامای عبوری و پراکنده حول وتر متناظر با موقعیت زاویه‌ای ۱۸۰ درجه آشکارساز نسبت به موازی‌ساز به ازای ضخامت‌های ۰، ۲٫۵ و ۴ سانتیمتری رسوب حلقوی.

۳. نتیجه‌گیری

هدف در این کار تحقیقاتی بررسی امکان بهره‌گیری از خوانش وترهای کوچک‌تر از قطر لوله جریان برای ارائه در یک سیستم رسوب‌سنج هسته‌ای است به‌گونه‌ای که به ازای شرایطی که با محدودیت فضای در دسترس مواجهیم بتوان جایگزینی مناسب را فراهم کرد. اگرچه استفاده از روند شمارش گامای پس‌پراکنده به‌جای عبوری به‌عنوان جایگزین در شرایط با محدودیت دسترسی به هر دو سمت لوله مطرح است اما به سبب کاهش زیاد شمارش در این زوایای پراکنده بر آن شدیم تا تلفیق خوانش داده‌های شمارشی عبوری و پراکنده را با رویکردی نوین فراهم آوریم. بدین منظور به ازای قرارگیری آشکارساز در زاویه‌های مختلف نسبت به محل چشمه گامازا، شمارش عبوری از وتر مربوطه و شمارش‌های پراکنده مجاور ثبت و به‌منظور مقایسه و بررسی عملکرد و دقت تفکیک سیستم رسوب‌سنج مورد استفاده قرار گرفت. همان‌گونه که از نتایج به‌دست‌آمده مشهود است توانایی تفکیک ضخامت‌های مختلف رسوب از یکدیگر با افزایش زاویه وتر و به عبارتی تمایل به شمارش گامای عبوری از قطر لوله افزایش می‌یابد. درنتیجه می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که استفاده از مد شمارش گامای عبوری که در واقع ساختار مرسوم در این حوزه نیز هست نه‌تنها دارای بهترین دقت اندازه‌گیری خواهد بود بلکه به لحاظ طراحی و ساخت و نصب حول لوله نیز ساده‌ترین راهکار مورد نظر خواهد بود.

از طرف دیگر مشاهده می‌شود که به ازای وترهای مختلف، بیشترین میزان تفکیک ضخامت رسوب نیز برای آشکارساز عبوری در قیاس با آشکارسازهای پس‌پراکنده پیرامونی خواهد بود.

از نتایج داده‌گیری تجربی مشهود است که با وجود کاهش توانایی تفکیک ضخامت رسوب هم‌زمان با به‌کارگیری وترهای با زوایای کمتر، همچنان دقت‌های قابل‌قبول در این اندازه‌گیری‌ها مشروط به استفاده از چشمه با اکتیویته بالاتر فراهم است. در واقع در مواردی که با عدم امکان نصب آشکارساز روبروی چشمه و در زاویه ۱۸۰ درجه مواجهیم، بخصوص برای لوله‌های کف دریا، می‌توان با افزایش اکتیویته چشمه گامازا به دقت‌های بالا در اندازه‌گیری دست‌یافت.

۶. مراجع

[1] Almutairi, F. H., & Davies, D. R. (2008). *Detection of scale deposition using distributed temperature sensing.* Paper presented at the SPE International Oilfield Scale Conference.

[۲] خوش بزم فریمانی, ص., وفایی- صفتی, م., & مسعودی, ش. (۲۰۱۴). مدل سازی رسوب واکس در خطوط لوله انتقال نفت با توجه به کینتیک رسوب واکس. پژوهش نفت, ۲۴(۷۷), ۸۹-۹۹.

[3] Tjomsland, T., Grotle, M., & Vikane, O. (2001). *Scale control strategy and economical consequences of scale at Veslefrikk.* Paper presented at the International Symposium on Oilfield Scale.

[4] Bertrand, B., Ségéral, G., & Moksnes, P. O. (2001). *Detection and identification of scales using dual energy/venturi subsea or topside multiphase flow meters.* Paper presented at the Offshore Technology Conference.

[5] Bjørnstad, Tor, and Emmanuel Stamatakis. "Scaling studies with gamma transmission technique." (2006).

[6] Song, Won-Joon, Seung-Hee Lee, and Hee-Dong Jeong. "DEVELOPMENT OF DEPOSIT DETECTION SYSTEM IN PIPELINES OF THE STEELWORKS USING CS-137 GAMMA-RAY." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 975. No. 1. American Institute of Physics, 2008.

[7] Harara, W. "Deposit thickness measurement in pipes by tangential radiography using gamma ray sources." *Russian Journal of Nondestructive Testing* 44.11 (2008): 796-802.