

## بررسی وابستگی GVF به درصد شوری آب در جریان های چند فازي با استفاده از چشمه Am در لوله های نفتی به کمک کد مونت کارلو و مقایسه آن با داده های تجربی

حبيب صفي قلي<sup>1\*</sup>، رضا فقيهي<sup>1,2</sup>، سيد محسن حسيني<sup>1</sup>

۱- بخش مهندسی هسته ای دانشگاه شیراز

۲- مرکز تحقیقات تابش دانشگاه شیراز

### چکیده:

جریان چند فازي به جريانی از سیال گفته می شود که در آن به طور همزمان سیال در دو یا چند فاز مختلف مواد مانند گاز، مایع و جامد وجود داشته باشند. در صنعت بیشتر جریان های سه فازي معمولاً ترکیبی از دو فاز مایع و یک فاز گاز (آب، نفت و گاز) هستند. در حالت های چند فازي در لوله های حاوی مواد نفتی تعیین درصد حجمی هر فاز و به خصوص کسر حجمی گاز<sup>۳۳</sup> به حجم کل (GVF) مد نظر است، زیرا که دقت متد اندازه گیری، در انتقال هر فاز از لحاظ مالی، صرفه اقتصادی قابل توجهی دارد. در این تحقیق چگونگی و دقت اندازه گیری جریان های چند فازي در لوله های نفت با به کارگیری اشعه گامای چشمه Am-241 به کمک کد MCNP بررسی شده است. همچنین درصد تغییرات GVF بر حسب تابعی از شوری آب جریان های موجود به دست آمده است و با داده های عملی و شبیه سازی شده توسط کد TART2000 اجرا شده در دانشگاه Bergen آلمان مقایسه شده است. **کلید واژه ها:** جریان چند فازي-درصد حجمی گاز، GVF- شبیه سازی مونت کارلو- پراکندگی کامپتون.

### مقدمه:

رژیم جریان در لوله ها تابعی از هندسه سطح مقطع و قطر لوله ها، وضعیت قرارگیری لوله، زمان، نرخ شار هر فاز، سرعت هر فاز، چگالی فازها، میزان ناخالصی ها در هر فاز و تابعی از دما و حرارت است. [۱] اندازه گیری درصد حجمی هر فاز در یک جریان چند فازي با ایده تضعیف گاما اولین بار توسط Kendall و Abouelwafa در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد شد، این تکنیک با روشهای متفاوتی برای اندازه گیری به کار رفت. تضعیف اشعه گاما در صورتی که از ضخامت d عبور کند توسط رابطه (۱) به دست می آید. [۲]

$$I(E) = I_0(E) Be^{-\mu(E)d} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، I(E) شدت عبوری از ضخامت d، I<sub>0</sub>(E) شدت بیم اولیه تا بشی بدون حضور ماده در ضخامت d، μ(E) ضریب تضعیف خطی ناشی از تضعیف در ضخامت d و انرژی E و B ضریب افزا یشی<sup>۲۴</sup> است. در جریان های دو فازي (گاز- مایع) ضریب تضعیف خطی ترکیبی از دو فاز متفاوت است و از رابطه (۲) به دست می آید.

$$\mu_{mix} = \mu_g \alpha_g + \mu_l \alpha_l \quad (2)$$

در رابطه (۲)، μ<sub>g</sub> و μ<sub>l</sub> به ترتیب ضریب تضعیف خطی گاز و مایع هستند و α<sub>g</sub> و α<sub>l</sub> نیز درصد حجمی گاز و مایع می باشند. از طرفی مجموع درصد های فاز گاز و مایع برابر با یک است.

$$\alpha_g + \alpha_l = 1 \quad (3)$$

با ترکیب روابط (۲) و (۳) می توان α<sub>g</sub> را به دست آورد.

$$\mu_{mix} = \mu_g \alpha_g + \mu_l \alpha_l = \mu_l + \alpha_g (\mu_g - \mu_l) \quad (4)$$

در حالت کالیبراسیون در دو حالتی که لوله یک بار فقط پر از فاز مایع و بار دیگر فقط شامل فاز گاز باشد

<sup>1</sup>-Gas Volume Fraction(GVF)

<sup>24</sup>- Build up factor

شدت جریان های عبوری از لوله به دست آمده است. با این اندازه گیری ها ضریب تضعیف فاز گاز و مایع به دست می آید .

$$(5) \quad I(E)_l = I_0(E) B_l e^{-\mu_l(E)d} \Rightarrow \mu_l(E) = \frac{-1}{d} \ln \left( \frac{I(E)_l}{I_0(E) * B_l} \right)$$

و برای فاز گاز رابطه به صورت زیر به دست می آید .

$$(6) \Rightarrow \mu_g(E) = \frac{-1}{d} \ln \left( \frac{I(E)_g}{B_g * I_0(E)} \right) \quad I(E)_g = I_0(E) B_g e^{-\mu_g(E)d}$$

که در رابطه های بالا d قطر لوله و Io(E) شدت اشعه عبوری از لوله خالی است. در حالتی که ترکیبی از دو فاز در داخل لوله باشد در حالت اندازه گیری عملی رابطه (۷) به دست می آید .

$$(7) \Rightarrow \mu(E)_{mix} = \frac{-1}{d} \ln \left( \frac{I(E)_{mix}}{B_{mix} * I_0(E)} \right) \quad I(E)_{mix} = I_0(E) B_{mix} e^{-\mu_{mix}(E)d}$$

با ترکیب معادلات (۶) و (۷) ، با فرض واحد بودن ضریب افزایشی، کسر حجمی گاز به حجم کل GVF از معادله زیر به دست می آید. [۲]

$$(8) \quad GVF = \alpha_g = \ln \left( \frac{I_{mix}}{I_l} \right) / \ln \left( \frac{I_{gas}}{I_l} \right)$$

پس از ارائه تئوری kendel و همکارانش، تحقیقات زیر صورت گرفت.

Abro و Johansen در سال ۱۹۹۹ درصد کسر حفره را، با استفاده از تضعیف اشعه گامای چند بیمی تعیین کردند. پس از آن در سال ۲۰۰۱ خصوصیات جریان های چند فازی در لوله های عمودی با استفاده از اشعه X دو انرژی توسط Grassler و Writh بررسی شد. در سال ۲۰۰۴ نیز درصد کسر حفره در جریان های دو فازی (مایع و گاز) با استفاده از چگالی سنجی اشعه گامای تک انرژی توسط Stahl و Venrohr به دست آمد [۳].

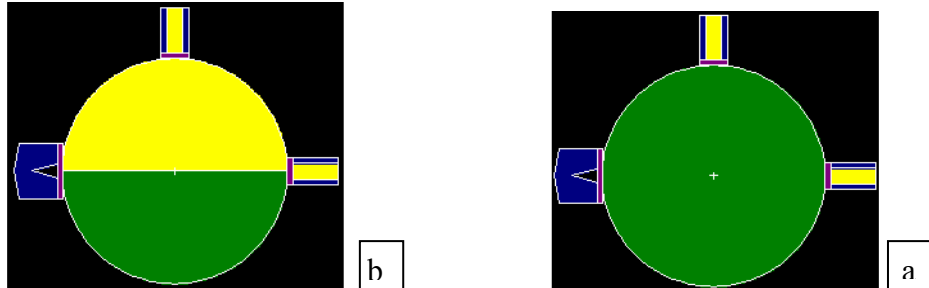
اکثر میدان های نفتی در آبهای شور واقع شده اند که درصد شوری آنها، گاه به ۲۰٪ نیز می رسد، این امر سبب وابستگی GVF، به ضریب تضعیف شوری آب می شود که خود سبب کاهش دقت اندازه گیری کسرهای فازی می شود، یک راه حل برای کاهش اثر وابستگی ضریب تضعیف به شوری آب این است که، شوری آب را اندازه گرفته و داده های آن را به صورت فیدبک به ورودی سیستم فلومتر داده تا داده های خروجی اصلاح شود، این روش از لحاظ تغییرات آبی ناشی از شوری آب و خط تولید مناسب نمی باشد. راه حل دیگر، استفاده از ترکیب پرتوهای پراکنده و عبوری می باشد که در این مقاله بررسی شده است [۲].

### ابزار و روش کار:

**کد MCNP4C:** کد مونت کارلو<sup>۲۵</sup> MCNP در سال ۱۹۷۷ میلادی در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس تهیه گردید. با استفاده از این کد می توان محاسبات ترابرد نوترون و فوتون و الکترون را در محیط های مختلف بررسی کرد. اصول کلی شبیه سازی، بر اساس مدل کردن مسیر حرکت تاریخچه تک تک ذرات و ماهیت آماری برخورد ذرات با محیط است. بر این اساس، ذرات مسیری تصادفی را طی می کنند تا اینکه در محیط ، انحراف مسیر داده و محیط را ترک کنند و یا اینکه در محیط، جذب شو ند. [۴] از کد MCNP4C در این شبیه سازی استفاده شده است، داده های به دست آمده با مدل شبیه سازی شده همین هندسه توسط کد

<sup>25</sup> -Monte Carlo Photon Neutron (MCNP)

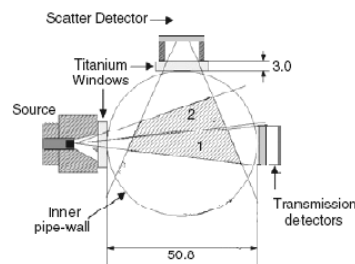
مونت کارلو TART2000 اجرا شده در دانشگاه برگن مقایسه شده است [۵]. هندسه مدل شبیه سازی شده برای لوله با قطر ۲ اینچ توسط کد MCNP4C در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱: هندسه مدل شبیه سازی شده با کد MCNP4C (شکل a، فانتوم آب کل حجم لوله را پوشانده است. شکل b، ۵۰٪ لوله را آب و ۵۰٪ بقیه را هوا تشکیل داده است).

### مدل حجمی پرتوهای پراکنده در شار لوله ها :

در این روش، مدلی ریاضی برای پیش بینی ترکیب پرتوهای پراکنده و عبوری در نظر گرفته شده است، پرتو های عبوری به آسانی مدل می شوند اما مدل کردن پرتوهای پراکنده از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. برای این منظور از چشمه رادیو ایزوتوپی،  $Am-241$  در انرژی ۵۹/۵ کیلو الکترون ولت استفاده شده است. در مقابل چشمه کولیماته شده توسط کولیماتور آهنی بر روی بدنه لوله، یک آشکارساز برای شمارش پرتوهای عبوری قرار داده شده و با ۹۰ درجه اختلاف نسبت به چشمه و یا آشکارساز، یک آشکارساز دیگر برای آشکارسازی پرتوهای پراکنده قرار گرفته است. مدل شبیه سازی شده پرتوهای پراکنده براساس مدل تک پراکندگی  $^{236}$  پرتو های گاما است. هندسه اندازه گیری و شبیه سازی شده در شکل (۲) نشان داده شده است. در این طرح قطر لوله دو اینچ می باشد. در این شکل بیم به دو قسمت تقسیم شده است که هدف از ناحیه ۱ آشکارسازی فوتون های عبوری و هدف از ناحیه ۲، افزایش تولید پرتوهای پراکنده است.



شکل (۲): هندسه اندازه گیری و شبیه سازی شده به روش مونت کارلو (ابعاد برحسب میلیمتر می باشند)

### مدل تحلیلی و ریاضی پرتوهای پراکنده :

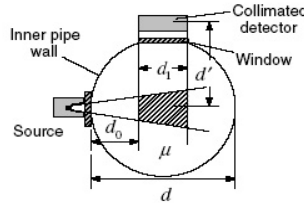
شدت پرتوهای پراکنده تولید شده هندسه بیم پهن از رابطه (۹) به دست می آید [۵].

$$I_s = I_0 \frac{\mu_{\sigma}}{\mu} (1 - e^{-\mu x}) \quad (9)$$

در رابطه (۹)  $\mu_{\sigma}$  ضریب تضعیف خطی پراکندگی کامپتون و  $\mu$  ضریب تضعیف خطی کل در انرژی چشمه برای فانتوم سیال مورد نظر و  $x$  نیز طولی از شار است که توسط اشعه طی می شود. ناحیه پرتوهای پراکنده، به حجم های کوچکی تقسیم شده است و فانتوم به کار رفته نیز معادل ترکیب همگن گاز و آب شور است. شدت پرتوهای پراکنده بر اساس تحلیل ریاضی، از رابطه (۱۰) به دست می آید [۶].

پارامترهای مدل تحلیلی در شکل (۳) نشان داده شده است.

$$(10) \quad I_s \approx c I_0 \frac{\mu \sigma}{\dots} (1 - e^{-\mu(1-\alpha)d_1}) * e^{-\mu(1-\alpha)d_0} * e^{-\mu'(1-\alpha)d'}$$

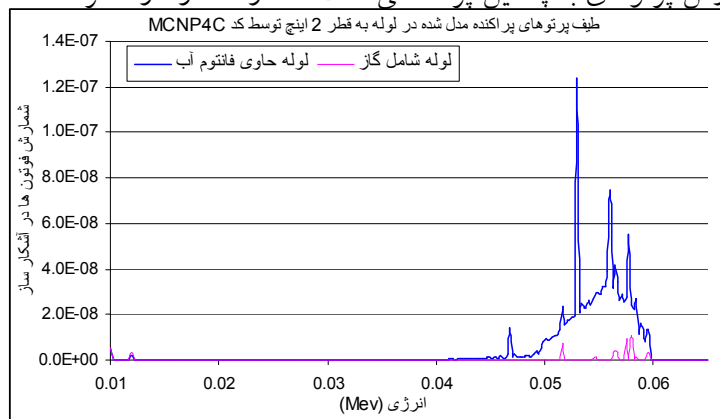


شکل (۳): هندسه مدل، در تحلیل ریاضی مسئله مدل شبیه سازی شده [۶]

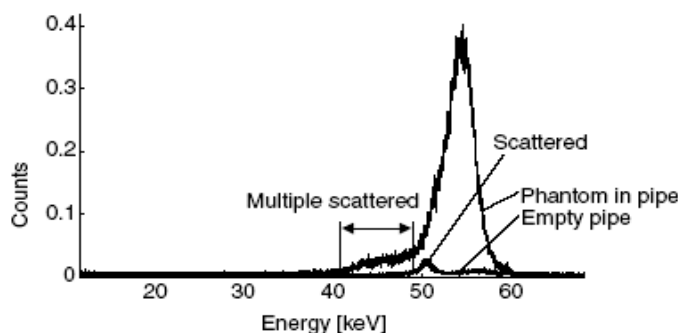
در رابطه فوق؛  $\alpha$ ، کسر حجمی فاز گاز (GVF) و  $\mu$  ضریب تضعیف خطی کل شوری آب در انرژی است که پرتو به فانتوم برخورد می کند.  $\mu'$  نیز ضریب پرتوهای پراکنده، در حجمی از فانتوم است که پرتوها در آن پراکنده می شوند. پارامتر C نیز در رابطه (۱۰) تاثیر فاکتور افزایشی از چشمه به حجم اندازه گیری و همچنین از حجم اندازه گیری به آشکار ساز می باشد.  $d'$  نیز میانگین مسیری طی شده توسط پرتوهای پراکنده از حجم اندازه گیری به آشکار ساز است. در این فرآیند اثر تضعیف پرتوها توسط پنجره چشمه و آشکار ساز که از جنس تیتانیوم است در نظر گرفته نشده است.

### نتایج:

در شبیه سازی از تالی F4 برای تعیین فلاکس متوسط ذرات در سلول هایی که به عنوان آشکار ساز در نظر گرفته شده اند استفاده شده است. در حقیقت پاسخ آشکار ساز با انتگرال گیری روی مسیر حرکت ذرات در حجمی از آشکار ساز که فوتون ها به آن حجم وارد می شوند به دست می آید. برای به دست آوردن دقت مناسب، تعداد تاریخچه فوتون ها  $10^7$  در نظر گرفته شده است، شبیه سازی بر حسب درصد، GVF ۱۰۰٪-۱۰٪ انجام شده است. زمان شبیه سازی با یک PC، RAM ۲/۸ GB، ۵۱۲، مگابایت محدود هشت ساعت است. توزیع فوتون ها در آشکار ساز فوتون های پراکنده برای لوله حاوی فانتوم و لوله حاوی گاز در نمودار شکل (۴) نشان شده است، این فوتونها در آشکار سازی که نسبت به چشمه AM-241 زاویه ۹۰ درجه دارند شمرده شده اند. در این فرآیند، تضعیف اصلی پرتوها در اثر جذب فوتو الکتریک و پراکندگی کامپتون است. در لوله خالی تعدادی پیک انرژی مشاهده می شود و در لوله حاوی آب ماکزیمم تعداد شمارش در انرژی ۵۲/۹ کیلو الکترون ولت است که نشانگر پراکندگی کامپتون فوتون ها در زاویه حدود ۹۰ درجه است. دامنه فوتون های شمارش شده از ۴۰ تا حدود ۵۰ کیلو الکترون ولت نیز نشانگر شمارش پرتوهای با چندین پراکندگی است که در آشکار ساز شمرده شده اند.

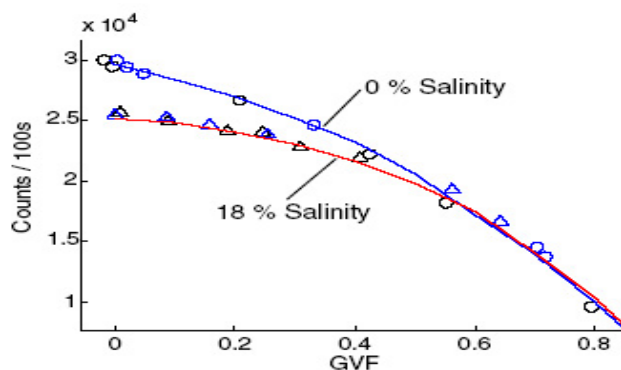


شکل (۴): طیف توزیع فوتون‌ها در آشکارساز فوتون‌های پراکنده برای لوله حاوی گاز و فانتوم آب. طیف پرتوهای پراکنده برای لوله خالی و با فانتوم پلی پروپیلن توسط چشمه امرسیوم و با همین مشخصات هندسی توسط کد مونت کارلو TART2000 در دانشگاه Bergen به دست آمده است، این طیف در نمودار شکل (۵) نشان داده شده است. در این طیف، انرژی پرتوهای تک پراکنده کامپتون در بازه ۴۸-۶۰ Kev ظاهر شده است. برای لوله خالی در انرژی ۵۱ Kev یک پیک انرژی ظاهر شده است که به دلیل برخورد پرتوهای ناشی از بیم (۲) به لوله و آشکار شدن این پراکندگی در آشکارساز است.



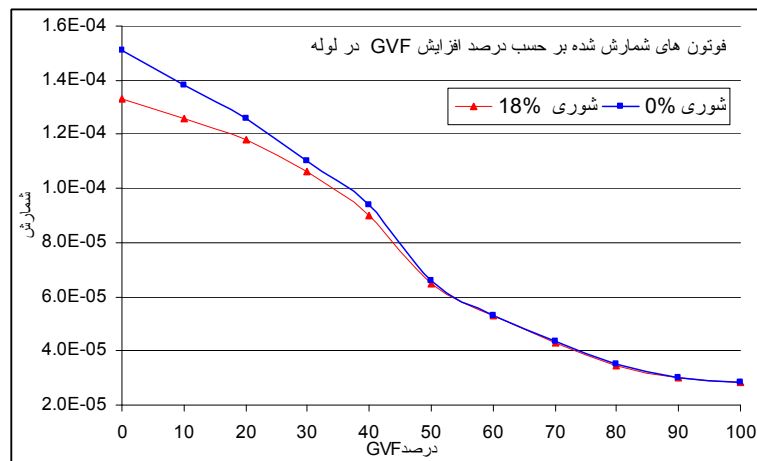
شکل (۵): طیف انرژی پرتوهای پراکنده در هندسه لوله با قطر ۲ اینچ توسط Johansen.

همچنین در نمودار به دست آمده در شکل (۶) تغییرات GVF بر حسب تغییر درصد شوری آب به دست آمده است. در این نمودار با افزایش درصد شوری آب، میزان شمارش پرتوهای پراکنده پایین تر است و این به دلیل چگال تر بودن آن است. در مقادیر GVF بالاتر از ۰.۵۰٪، چون تضعیف، بیشتر ناشی از فاز گاز است و مقدار آن ناچیز است، میزان شمارش برای درصد شوری های صفر و هیجده درصد تفاوت چندانی ندارد.



شکل (۶): شمارش فوتون‌های اندازه گیری و شبیه سازی شده توسط کد TART2000 بر حسب GVF و شوری آب [۵].

توسط کد مونت کارلو MCNP4C، شمارش فوتون‌های رسیده به آشکارساز پرتوهای پراکنده بر حسب افزایش GVF و برای درصد شوری آب ۰٪ و ۱۸٪ در نمودار شکل (۷) رسم شده است. در این شمارش‌ها GVF در هر مرحله ۱۰٪ افزایش یافته تا اینکه حجم کل لوله را گاز فرا گیرد. تغییرات به دست آمده توسط کد MCNP بر حسب شوری آب، مشابه نمودار به دست آمده در نمودار (۶) از مرجع [۵] است. نتایج در این تحقیق با خطای ۲٪ برای مسئله شوری آب به دست آمده است.



شکل (۷): شمارش فوتون های به دست آمده در لوله با تغییر سطح فانتوم آب تا ۱۰۰٪ گاز توسط کد MCNP4C

### بحث و نتیجه گیری :

در عمل با چگالی سنجی اشعه گاما می توان رفتار جریان های چند فازی را در لوله های نفتی که ترکیبی از فازهای متفاوت هستند بررسی کرد. روش تضعیف اشعه گاما نسبت به دیگر روش ها از دقت بالاتری برخوردار است. مشکلی که در این روش وجود دارد این است که املاح موجود در آب مثل نمک، دقت اندازه گیری کسرهای فازی را پایین می آورد. یکی از بهترین روش ها برای حل این مشکل استفاده از ترکیب پرتوهای پراکنده و عبوری برای اصلاح تأثیر نامطلوب شوری آب بر شمارش آشکار ساز است. در این روش از مدل حجمی برای شبیه سازی ناحیه اندازه گیری پرتوهای پراکنده استفاده شده است. این ایده در دانشگاه برگن توسط کد TART2000 شبیه سازی شده است که با نتایج حاصل از شبیه سازی انجام شده در این تحقیق توسط کد MCNP مطابقت دارد. شکل توزیع فوتون های به دست آمده توسط MCNP با مرجع ذکر شده مشابه است و تفاوت آنها در محدوده فوتون های پراکنده آشکار شده است. با افزایش GVF تا ۵۰٪، تفاوت شوری آب تأثیر زیادی در شمارش فوتون ها دارد و وقتی که درصد GVF از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ می رسد، شمارش حساسیت ناچیزی به شوری آب نشان می دهد.

### مراجع:

- [1] G. A. Johansen, S. A. Tjugum "Multiphase flow regime identification by multibeam gamma-ray densitometry", Meas. Sci. Technol. 13:1319-1326, (2002).
- [2] G. A. Johansen, P. Jackson, "Radioisotope Gauges for Industrial Process Measurements" copyright ,England, ( 2004).
- [3] LI Zhi-biao , WU Ying-xiang "Study on absorption coefficients of dual-energy Gamma-rays in determining phase fractions of multiphase flows", J Zhejiang Univ, SCI 6A(12): 1416-1419 (2005).
- [4] J.K. Shultis, R. E. Faw "AN MCNP PRIMER" Dept. of Mechanical and nuclear Engineering Kansas State university Manhattan, KS 66506, Copyright (2006).
- [5] G. A. Johansen and M. B. Holstad "A multiple voxel model for scattered gamma radiation in pipe flow". Meas. Sci. Technol. 14: 1777-1782, (2003).
- [6] G. A. Johansen and Jackson "Salinity independent measurement of gas volume fraction in oil/gas/water pipe flow" Appl. Radiat Isot. 53: 595-601, ( 2000).