

## معرفی سیستم دینامیکی همگن ساز و کاربرد آن در اندازه گیری درصد حجمی مخلوط دوفازی آب-گازوئیل با استفاده از تکنیک تضعیف باریکه گاما

محسن شریفزاده\*، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای • علی طاهری، محمد تقان ساسان پور، امیر موافقی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای |

### چکیده

مسئله اندازه گیری جریان‌های چندفازی یکی از موضوعات بسیار مهم در صنایع نفت و گاز، از اوایل دهه ۸۰ میلادی بوده است. جریان دوفازی آب-نفت غالباً در لوله‌های جریان خروجی جداساز پس از تفکیک سه فازی آب-نفت-گاز به دوفازی آب-نفت و تک‌فازی گاز، خود را نشان می‌دهد. در اینجا ابتدا لوب طراحی و ساخته شده به‌عنوان یک لوب همگن‌ساز معرفی شده و سپس به کمک شمارش گامای عبوری چشمه رادیواکتیو سزیم-۱۳۷ مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. در ادامه و پس از تأیید صحت عملکرد سیستم دینامیکی فوق، امکان بهره‌گیری از آن در محاسبه درصد‌های حجمی مختلف دوفازی آب-گازوئیل با استفاده از چشمه رادیواکتیو آمرسیم-۲۴۱ مورد تست و بررسی قرار گرفته است. قرابت خوب و قابل قبول نتایج حاصل از اندازه‌گیری تجربی با مقادیر مرجع و از پیش آماده‌سازی شده درصد‌های حجمی، توانایی بهره‌گیری از لوب فوق در تلفیق با چگالی‌سنج گاما را جهت اندازه‌گیری کسر فازی به‌عنوان بخشی مهم در ساختار یک فلومتر چندفازی مورد تأیید قرار می‌دهد.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۴/۱۸  
تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۴/۲۰  
تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۵/۱۲

### واژگان کلیدی:

جریان دوفازی، سیستم دینامیکی همگن‌ساز، جریان دوفازی آب-گازوئیل، لوب TPFFHL، تکنیک گامای عبوری

### مقدمه

استانداردی صورت پذیرد. با برقراری شرایط مشابه میدین واقعی در چنین تاسیساتی، نظیر رژیم‌های مختلف جریان، فشار، دما، هندسه لوله، امکان قرارگیری سنجه اندازه‌گیری جریان در محل مناسب، به‌منظور اندازه‌گیری درصد حجمی، سرعت و در نهایت، دبی حجمی و جرمی جریان چندفازی فراهم خواهد شد. برای نمونه، لوب بسته سه‌فازی موجود در مرکز تحقیقاتی Michelsen جریان سه‌فازی شامل گاز نیتروژن، گازوئیل و آب شور را به گردش در می‌آورد. این لوب دارای دو بخش مجزا با لوله‌هایی به قطر ۶ و ۳ اینچ، یک تانک جداساز ۳۲ متر مکعبی، پمپ‌های سانتریفیوژی و ابزار دقیق متنوعی در اندازه‌گیری درصد فازها، سرعت، فشار و دما می‌باشد [۲]. اخیراً مطالعات اولیه به‌منظور طراحی و ساخت سنجه‌های اندازه‌گیری با مبنای عملکردی تضعیف پرتوهای رادیواکتیو، از جمله جریان‌سنج‌های چندفازی، در پژوهشکده کاربرد پرتوهای پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، آغاز گردیده است که به‌علت رفع تنگناهای موجود ناشی از فقدان لوب‌های تست و کالیبراسیون دستگاه‌های مذکور، طراحی و ساخت لوب همگن‌ساز دوفازی با هدف کاربرد در اندازه‌گیری درصد حجمی گسترده وسیعی از مخلوط‌های دوفازی در دستور کار قرار گرفت.

### ۱- بیان مسئله اندازه‌گیری

مسئله اندازه‌گیری جریان چندفازی به‌صورت اندازه‌گیری هم‌زمان

بهره‌برداری از سیالات هیدروکربنی چند فازی در صنعت نفت و به‌خصوص در اکتشاف محصولات هیدروکربنی در هر دو موقعیت میدین دریا و خشکی کاملاً مشهود است. مشاهده شده است که استفاده از فناوری سنجه‌های چندفازی، یک عامل حیاتی در زمینه استخراج از میدین نفتی و گازی حاشیه ساحل است که علاوه‌بر اینکه سرعت بازگشت سرمایه را افزایش می‌دهد، باعث کاهش هزینه مصرفی کل می‌شود [۱].

آنچه هم‌اکنون به‌منظور اندازه‌گیری جریان چندفازی با دقت زیاد موردنیاز در ارتباط با بخش فروش صورت می‌پذیرد، استفاده از مکانیزم تلفیق جداساز با جریان‌سنج‌های تک‌فازی می‌باشد. در این روش اندازه‌گیری ابتدا جریان چندفازی به جریان‌های تک‌فازی تفکیک شده و در ادامه، سیستم‌های اندازه‌گیری مرسوم تک‌فازی عمل اندازه‌گیری را انجام می‌دهند. پس از اتمام اندازه‌گیری، فازهای تفکیک شده مجدداً وارد خط لوله اصلی جریان خواهند شد. استفاده از سیستم‌های جریان‌سنج چندفازی که بدون نیاز به هرگونه جداسازی اولیه و به‌صورت آنلاین فرایند اندازه‌گیری جریان را انجام دهد، اگرچه در حال حاضر با میزان دقت‌هایی پایین‌تر روبه‌روست اما لاقط در مواردی نظیر مانتورینگ عملکرد چاه‌های نفت و گاز بسیار مورد توجه قرار گرفته است. قبل از اینکه یک جریان‌سنج برای اندازه‌گیری در شرایط خاص مربوط به میدان نفتی و یا گازی استفاده شود، لازم است مراحل تست و کالیبراسیون آن در شرایط

جریان‌های چندفازی، همگن‌سازی جریان با استفاده از یک سنجه چگالی سنج گاما و نیز یک آشکارساز به جای آرایه‌ای از آشکارسازها برای اندازه‌گیری در صد حجمی مولفه‌ها به صورت مستقل از رژیم جریان عبوری می‌باشد. که مکانیسم لوپ TPFHL نیز بر همین اساس استوار است. این مکانیسم در سال‌های اخیر بومی‌سازی شده است. شکل ۱- نماهایی از لوپ ساخته شده نهایی را نشان می‌دهد.

#### ۴- اجزاء سیستم دینامیک

##### ۴-۱- مخزن و همزن همگن‌ساز

در این بخش و با هدف تبدیل سوسپانسیون تحویلی از مخزن آماده‌سازی به یک مخلوط همگن جهت قرار گرفتن در مسیر باریکه گاما، محاسبات دقیق پارامترهایی چون نوع و تعداد پره‌ها، فاصله متوالی پره‌ها، فاصله پره انتهایی از کف مخزن، فاصله تیغه پره تا دیواره داخلی، جهت و سرعت چرخش همزن، ابعاد و هندسه کف مخزن، نوع و تعداد و ابعاد تیغه‌های نصب شده در دیواره مخزن<sup>۲</sup> و محل ورودی و خروجی انجام شد. فاز مطالعاتی جهت طراحی نهایی، با کمک موارد گزارش شده استاندارد موجود در کتب مرجع<sup>۳</sup> مخلوط‌سازی صنعتی آغاز شد [۸]. روش کار بدین صورت است که جهت بالا کشیدن هرچه بیشتر پودر جامد در مخزن همگن‌ساز، از کف مقعر استفاده گردید. ارتفاع این مخزن ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد تا حداقل فضای لازم جهت قرارگیری سنجه چگالی سنج با کمترین تعداد پره‌های همزن فراهم شود. قطر این لوله استوانه‌ای برابر با  $T=10/32\text{cm}$  انتخاب شده تا امکان ارزیابی عملکرد سنجه چگالی سنج و یا سایر سنجه‌ها جهت تست و کالیبره لوپ نهایی میسر باشد و قابلیت اتصال با یکی از قطرهای رایج در خطوط

مولفه‌های سرعت تک‌تک فازها در کنار درصدهای مقطعی و نیز چگالی آنها تعریف می‌شود. دبی جرمی جریان چند فازی به شکل زیر بیان می‌شود [۳]:

$$M = A \cdot \sum_i \alpha_i v_i \rho_i \quad (1)$$

در اینجا  $A$  سطح مقطع لوله عبور جریان و  $v_i$ ،  $\alpha_i$  و  $\rho_i$  به ترتیب مقادیر کسر فازی، سرعت و چگالی تک‌تک مولفه‌های جریان می‌باشند. به منظور کاهش مولفه‌های مجهول در معادله فوق، برخی استراتژی‌های کلیدی مورد استفاده قرار گرفت. در مورد جریان‌های دوفازی و با توجه به اشغال کل سطح مقطع توسط دو فاز سیال، همگن‌سازی به عنوان یکی از استراتژی‌های مفیدی است که سبب می‌شود تا با توزیع مخلوطی همگن در سطح مقطع لوله، امکان اندازه‌گیری کسرفازی مولفه‌ها بدون وابستگی به رژیم جریان عبوری فراهم گردد که تحقیقات بسیاری در این حوزه انجام پذیرفته است (Hewitt و همکاران) [۴]. در این تحقیق از یک مخلوط‌کن دوسلولی به صورت پیوسته و مداوم برای همگن‌سازی جریان دوفازی گاز-مایع، به عنوان پیش شرطی جهت اندازه‌گیری درصدهایی از سطح مقطع عبور جریان استفاده شده است. در سایر تحقیقات (Al-Khamis و همکاران، سال ۲۰۰۸)، (Fossa و همکاران ۲۰۰۹) و (Mehdizadeh و همکاران در سال ۲۰۰۹)، بر روی همگن‌سازی جریان چندفازی با استفاده از نصب اتصال سه‌راهی کور و تغییر مسیر حرکت جریان به سمت بالا، به منظور ایجاد همگن‌سازی مطلوب در خطوط لوله استفاده شده است [۵،۶،۷].

##### ۲- تضعیف پرتو گامای عبوری از ماده

افت شدت پرتو گاما در عبور از یک مخلوط چندفازی و همگن، از قانون تضعیف نمایی Beer-Lambert تبعیت می‌کند:

$$I_{mix} = I_0 \exp(-d \cdot \sum_i \alpha_i \mu_i) \quad (2)$$

ضرایب تضعیف خطی مولفه‌های جریان ( $\mu_i$ ) طی فرایند کالیبراسیون و در حالتی که کل لوله در هر اندازه‌گیری فقط با مولفه جریان موردنظر پُر شده باشد، به دست می‌آیند.  $d$  برابر با قطر داخلی لوله و به عبارتی معادل طول پیموده شده پرتو گاما در درون جریان چندفازی است.  $I_0$  شدت گامای شمارشی بازای لوله خالی و  $I$  شدت شمارش در حضور جریان چندفازی است. در شرایطی که صرفاً یک دوفازی گازوئیل-آب کل سطح مقطع لوله را پر کرده باشد، با اندکی محاسبات ریاضی مقادیر درصدهای حجمی مولفه‌ها به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$\begin{cases} \alpha_{gasoline} = \frac{\ln(I_{water}/I_{mix})}{\ln(I_{water}/I_{oil})} * 100 \\ \alpha_{water} = 100 - \alpha_{gasoline} \end{cases} \quad (3)$$

##### ۳- لوپ TPFHL

یکی از راهکارهای پیشنهادی در تسهیل فرآیند اندازه‌گیری



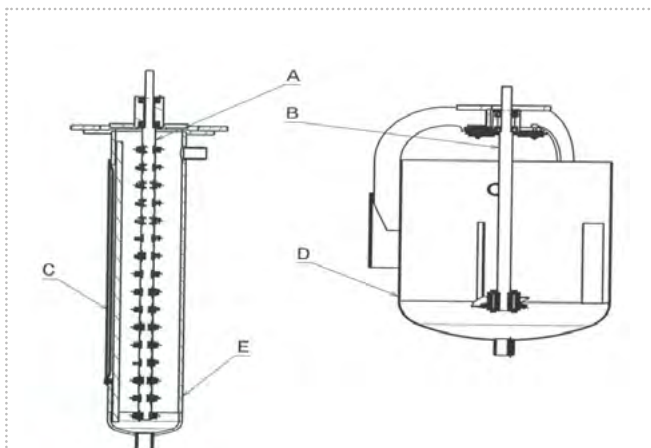
نماهایی از لوپ TPFHL. (A) مخزن آماده‌سازی سوسپانسیون / امولسیون، (B) مخزن همگن‌سازی، (C) آشکارساز سوسوزن، (D) حفاظ سربی چشمه رادیواکتیو گاما، (E) الکتروموتورها، (F) الکترومپ، (G) برد الکترونیکی کنترل دستگاه. با تضمین حضور یک مخلوط دوفازی همگن امکان اندازه‌گیری کسر حجمی فازها با استفاده از تکنیک گامای عبوری فراهم می‌شود.



اثر جریان گردابی ناشی از چرخش همزن در یک برآورد محتاطانه ۴ برابر حجم مخزن همگن ساز در نظر گرفته شد. با تعبیه ۳ ورودی مجزا برای مخزن مذکور، یک ورودی قیف مانند به کمک دریچه قابل تنظیم، امکان اضافه کردن مرحله به مرحله پودر به مخزن را و در نزدیکی محور همزنی با حداکثر اغتشاش فراهم می کند. ورودی دوم برای اضافه نمودن فاز مایع اولیه به لوپ است و سومین ورودی نیز با لوله کشی به خروجی مخزن همگن ساز جهت برقراری یک لوپ بسته متصل گردیده است. قطر این مخزن استوانه‌ای برابر با  $T=30\text{ cm}$  و ارتفاع آن ۳۰ سانتی متر انتخاب شده است. پره‌های همزن توربینی متشکل از ۴ تیغه صاف مربعی با زاویه ۳۰ درجه با نسبت به افق با نام تجاری ۳۰°PBT جهت ایجاد سهم عمده جریان رو به پایین برای داشتن یک سوسپانسیون جدا از کف مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل اینکه نسبت طول دوغاب به قطر این مخزن همواره کوچک تر از واحد است، تنها از یک پره روی محور همزن استفاده شده است. قطر این پره برابر با  $D = \frac{T}{3} = 10\text{ cm}$  و فاصله آن تا کف مخزن  $C = \frac{T}{4} = 7.5\text{ cm}$  در نظر گرفته شده است. پهنای هر تیغه برابر با  $W = \frac{T}{4} = 7.5\text{ cm}$  و ضخامت آن  $t = 0.2\text{ cm}$  در نظر گرفته شده که منجر به داشتن مقدار  $S = 7/2$  می شود. دیواره‌های داخل مخزن با ۴ تیغه عمودی صاف با پهنای  $B = 3\text{ cm}$  و فاصله خالی تا دیواره  $b = \frac{\sqrt{1.5} \cdot T}{10} = 0.45\text{ cm}$  در چینی متقارن و با اختلاف زاویه ۹۰ درجه پوشانده شد. در استدلالی مشابه مخزن همگن ساز، در نهایت حداقل سرعت دورانی برابر با  $25/67$  دور بر ثانیه و در ادامه حداقل توان الکتروموتور برابر با  $0.02$  اسب بخار به دست آمد. در شکل ۲- شماتیکی از مخازن سوسپانسیون و همگن ساز به همراه همزن‌های مربوطه نشان داده شده است.

### ۵- معرفی دستگاه

استفاده از پروفیل آهنی جهت ثابت نگه داشتن مخازن و



شماتیک مخزن همگن ساز (سمت چپ) و مخزن آماده سازی سوسپانسیون (سمت راست). (A) شانزده پره همزنی ۳۰°PBT، (B) یک پره همزنی 30°PBT، (C) پنجره پلکسی گلس تعبیه شده در لوله همگن ساز، (D) مخزن آماده سازی سوسپانسیون و (E) مخزن همگن ساز.

لوله جریان واقعی داشته باشد. پره‌های همزن توربینی متشکل از ۴ تیغه صاف مربعی با زاویه ۴۵ درجه با افق با نام تجاری 45°PBT به عنوان بهترین گزینه جهت ایجاد شرایط مناسب همگن و دستیابی به عملکردی نسبتاً بالا انتخاب گردید. این نوع پره علاوه بر ایجاد تنش برشی مورد نیاز جهت بیشترین اختلاط در مخلوط، با ایجاد جریان محوری مناسب به منظور بالا کشیدن (پایین کشیدن) فاز پخش شده که تمایل به ته نشینی (تعلیق) دارد، شرایط را برای تولید یک مخلوط دوفازی همگن در این مخزن فراهم می کند. مطابق با استانداردهای موجود، قطر این پره‌ها مساوی با فاصله دو پره متوالی نصب شده بر روی محور همزن و برابر با  $3/44\text{ cm}$   $D = S = \frac{T}{3} =$  در نظر گرفته شده است. تعداد پره‌های لازم روی محور همزن استیل با قطر ۱ سانتی متر برابر با ۱۶ عدد است. با وجود چنین فاصله‌ای از کف مخزن، حداکثر تنش برشی ناشی از جریان شعاعی در حداکثر سرعت اغتشاش ناشی از جریان محوری قابل دستیابی است که به ایجاد شرایط مساعد جدا از کف برای فاز پخش شده کمک خواهد کرد. در ادامه، دیواره‌های داخل مخزن با ۴ تیغه عمودی صاف (baffle) با پهنای  $B = 3\text{ cm}$  و فاصله خالی تا دیواره  $b = \frac{\sqrt{1.5} \cdot T}{10} = 0.45\text{ cm}$  به صورت متقارن و با اختلاف زاویه ۹۰ درجه پوشانده شد که در تبدیل جریان گردابی مخلوط دوفازی به یک جریان محوری به منظور ایجاد بیشینه اغتشاش، بسیار مفید و موثر خواهد بود. سپس، حداقل سرعت دورانی جهت تولید یک سوسپانسیون کامل به کمک فرمول ارائه شده توسط Zwietering به دست آمد که با یک ضریب تبدیل، حداقل سرعت دورانی لازم برای ایجاد مخلوط همگن قابل محاسبه است:

$$N_{js} = S \times v_l^{0.1} \times \left[ \frac{g_c \times (\rho_s - \rho_l)}{\rho_l} \right]^{0.45} \times \chi^{0.13} \times d_p^{0.7} \times D^{-0.85} \quad (4)$$

در اینجا  $v_l$  ویسکوزیته جنبشی مایع بر حسب  $\frac{m^2}{sec}$ ،  $g_c$  ثابت گرانش برابر با  $9.81 \frac{m}{sec^2}$ ،  $\rho_s$  و  $\rho_l$  به ترتیب چگالی فاز جامد و مایع بر حسب نسبت وزنی پودر به مایع می باشد،  $d_p$  قطر بزرگترین ذره جامد بر حسب متر (ابعاد مش های غربال)،  $D$  قطر پره همزن بر حسب متر و در نهایت  $S$  ثابت بدون بعد معادله است که به ازای پره های 45°PBT با مقادیر  $\frac{C}{T} = \frac{1}{4}$  و  $\frac{D}{T} = \frac{1}{3}$  مساوی با ۴/۴ است. برای پودر سنگ آهن مورد استفاده در این تحقیق، اندازه دانه‌ها حداکثر ۰/۱ میلی متر و چگالی ۴/۲۲ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر گرفته شد.

### ۴-۲- مخزن و همزن آماده سازی سوسپانسیون

در طراحی این بخش نیز کلیه پارامترهای مهم جهت طراحی مخزن و همزن همگن ساز، مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور و با استدلالی مشابه آنچه در بخش همگن ساز مطرح شد، عمل کردیم با این تفاوت که این بار هدف، تبدیل جریان دوفازی دریافتی به سوسپانسیون جدا از کف مخزن<sup>۶</sup> است. حجم مخزن مورد استفاده در این بخش به منظور جلوگیری از مکش هوا<sup>۷</sup> به درون لوپ در

فراهم گردید. از آنجا که صرفاً با حضور مخلوطی چندفازی با درجه همگنی بالا امکان حصول اندازه‌گیری‌های درصد حجمی در محدوده خطای قابل قبول ( $\pm 5\%$ ) فراهم است، لذا با استفاده از تلفیق سیستم همگن‌ساز با چگالی‌سنج گاما امکان بررسی کمی و البته استاندارد عملکرد همگن‌ساز لپوف فراهم شده است. در اینجا از تضعیف باریکه گامای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته ۱۰ میلی‌کوری استفاده شد. مجموعه چگالی‌سنج گاما شامل چشمه رادیواکتیو و آشکارساز سوسون را بر روی لوله مخزن همگن‌ساز و در محل مناسب تعبیه شده در نگهدارنده (در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری از پایین لوله مخزن) قرار داده شد و در ادامه، باریکه قلمی ایجاد شده توسط موازی‌سازهای سری، از کنار محور همزن و بالتبع دیواره شفاف پلکسی عبور داده شد.

پس از انجام کلیه تنظیمات اولیه فوق مقادیر مختلف درصد حجمی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد پودر سنگ آهن در دوفازی پودر-آب آماده و به لپوف همگن‌ساز خوراندند و فرایند شمارش گامای عبوری به‌ازای هر درصد پودر به مدت ۵ دقیقه و تعداد ۱۰ بار انجام گرفت. مقادیر حاصل از این اندازه‌گیری در جدول ۱- لیست شده‌اند. همانگونه که از نتایج موجود در جدول ۱- پیداست، نتایج مربوط به محاسبه درصد حجمی دوفازی پودر-آب در محدوده خطای حداکثر  $\pm 4/2$  درصد از مطابقت و همخوانی قابل‌قبولی با مقادیر از پیش آماده‌سازی شده برخوردار است که تأییدی بر صحت عملکرد همگن‌ساز لپوف و در ادامه سنجه گاماست.

به‌ازای درصد‌های پایین پودر در مخلوط دوفازی فوق، میزان خطای نسبی در اندازه‌گیری درصد‌های حجمی روندی افزایشی را

الکتروموتورهای مربوطه‌شان در کنار نصب الکتروپمپ و در نهایت ایجاد بستری مناسب جهت قرارگیری سنج چگالی‌سنج حول مخزن همگن‌ساز از نکات مهم ملحوظ شده می‌باشد. به منظور ایجاد یک سیکل بسته بین مخازن، خروجی از کف مخزن سوسپانسیون به ورودی الکتروپمپ، و خروجی الکتروپمپ به ورودی از کف مخزن همگن‌ساز توسط لوله‌های استیل متصل شدند. امکان درگیر شدن تمامی پره‌ها در فرایند همگن‌سازی مخلوط از مزایای این اتصال و پرشدن مخزن همگن‌ساز از کف می‌باشد. خروجی از بالای مخزن همگن‌ساز به ورودی از بالای مخزن سوسپانسیون متصل شد. تعبیه یک شیر کنترل قبل از ورود مخلوط به مخزن همگن‌ساز سبب می‌شود تا پس از گذشت چند دقیقه پس از گردش دوفازی در لپوف، پس از خاموش‌سازی الکتروپمپ و بستن شیر، یک مخلوط همگن در مخزن همگن‌ساز برای انجام آزمایش چگالی‌سنجی داشته باشیم. یک شیر کنترل نیز در خروجی مخزن سوسپانسیون به منظور تنظیم دبی جریان می‌باشد که به گردش درمی‌آید، تعبیه شده است. در خروجی الکتروپمپ نیز یک عدد شیر تخلیه به منظور تخلیه و پاک‌سازی لپوف پس از اتمام آزمایش نصب شده است. پس از بررسی الکتروپمپ‌های صنعتی در گزارش‌های استاندارد موجود در کتب مرجع [۹] و [۱۰] و با ملاحظاتی اقتصادی، پمپ دنده‌ای به عنوان گزینه مناسب انتخاب گردید.

در انتها یک برد الکترونیکی جهت کنترل لپوف به معنی روشن/خاموش کردن الکتروموتورهای همزن‌ها به علاوه الکتروپمپ در کنار کنترل دور آن‌ها طراحی و ساخته شده است. انتخاب الکتروموتورها در کنار استفاده از اینورتورهایی که سرعت‌های چرخش همزنی را تا مقدار بیشینه ایجاد می‌کنند، لپوف ساخته شده را برای گستره وسیعی از مواد دوفازی جامد-مایع و نیز مایع-مایع قابل استفاده می‌کند. در مورد دوفازی گازوئیل-آب به دلیل کاهش اختلاف چگالی دوفاز نسبت به حالت پودر-آب از ضریب تصحیح متفاوتی بر اساس دانسیته گازوئیل استفاده شده است. لذا حداقل دور همزن نسبت به وضعیت پودر-آب برابر با  $0/28$  خواهد شد.

$$\frac{N_{js}(\text{oil} - \text{water})}{N_{js}(\text{powder} - \text{water})} = \left(\frac{2/6}{1}\right)^{0.1} \times \left(\frac{0.15}{3/22}\right)^{0.45} = 0.28 \quad (5)$$

که بدینوسیله میزان همگن‌سازی کامل دوفازی گازوئیل-آب جهت اندازه‌گیری درصد حجمی توسط یک سنج گاما-مورد بررسی قرار می‌گیرد را خواهد داشت.

### ۶- اعتبارسنجی عملکرد لپوف

پیش از استفاده از لپوف فوق جهت اندازه‌گیری درصد‌های حجمی دوفازی، لازم است صحت عملکرد کلی آن و به‌خصوص مکانیزم همگن‌سازی حاصل از آن در یک تست استاندارد بررسی و تأیید شود. این امکان با مقایسه نتایج اندازه‌گیری درصد‌های حجمی مخلوط‌های نامحلول در یکدیگر، با درصد‌های آماده‌سازی شده (به‌طور خاص در مورد پودر سنگ آهن-آب در این تحقیق)

۱ | مقادیر درصد حجمی آماده شده پودر سنگ آهن-آب (PPVF)<sup>۱</sup>، مقادیر شمارش میانگین گامای عبوری (ACR)<sup>۲</sup> به همراه میزان انحراف معیار آنها، مقادیر شمارش اصلاح شده (CCR)<sup>۳</sup>، و مقادیر درصد‌های حجمی محاسبه شده نهایی (CPVF)<sup>۱۱</sup> [۱۲].

CPVF(%)	CCR (counts/sec)	ACR (counts/sec)	PPVF(%)
0 ± 1/2	436 ± 63	5893 ± 85	0
5/4 ± 2/2	3807 ± 122	5145 ± 165	5
10/6 ± 2/7	3349 ± 116	4526 ± 157	10
15/4 ± 3/1	2970 ± 105	4013 ± 142	15
20/5 ± 3/6	2616 ± 101	3535 ± 137	20
25/4 ± 4/0	2316 ± 93	3130 ± 125	25
30 ± 4/2	2066 ± 78	2792 ± 106	30



کم انرژی ۲۴۱-Am و آشکارساز به دست آمد. با بستن پنجره انرژی با مقادیر ولتاژ بالا و پایین به ترتیب برابر با ۶/۵ و ۸ ولت بر روی آنالیزور ارتفاع پالس تک کاناله حذف هر چه بهتر نویز ناشی از ورود پرتوهای پراکنده به درون آشکارساز را خواهیم داشت. عمق و قطر سوراخ حفاظ چشمه به ترتیب برابر با ۲ و ۱ سانتی متر در نظر گرفته شد و برای آشکارساز نیز از حفاظ سربی با عمق و قطری برابر با ۱ سانتی متر استفاده گردید [۱۳].

مقادیر درصدهای حجمی آب از ۵ تا ۵۰ درصد به لوپ همگن ساز تزیق شد. در مرحله کالیبراسیون در حالی که لوپ یک مرتبه کاملاً توسط آب و مرتبه دیگر کاملاً با گازوئیل پُر شده بود، فرایند شمارش صورت گرفت. تمامی شمارش‌ها در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه و به تعداد ۱۰ مرتبه انجام و مقادیر میانگین آهنگ شمارش ثبت گردید. در انتها نیز مقادیر درصدهای حجمی دوفازی محاسبه و نتایج به همراه انحراف معیار متناظرشان در جدول ۲ ثبت گردید. همان گونه که از نتایج موجود در جدول ۲ پیداست، مطابقت خوب و قابل قبولی بین نتایج مربوط به درصدهای حجمی محاسبه شده دوفازی آب-گازوئیل وجود دارد. عدم مطابقت به ازای درصد مقطعی ۱۰ درصد آب برابر با ۳/۱۰ درصد می‌باشد که با افزایش این درصد مقطعی به ۲۰ درصد آب برابر با ۴/۷۰ درصد می‌شود. با افزایش هر چه بیشتر درصد مقطعی آب، میزان عدم انطباق نیز افزایش خواهد یافت. استفاده از تلفیق این سیستم با سنجه گاما جهت تعیین کسر فازی مولفه‌های جریان دوفازی نفت-آب در لوله‌های جریان در محدوده‌های درصدی آب کمتر از ۲۰ درصد قابل قبول است.

### نتیجه گیری

همانگونه که از معادله ۴ مشهود است، حداقل سرعت لازم جهت همگن سازی مخلوط دوفازی به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. میزان سرعت پایین تر برای نیل به همگن سازی مخلوط به معنای سهولت بیشتر در همگن سازی خواهد بود. با توجه به تأیید صحت عملکرد همگن سازی سیستم همگن ساز معرفی شده در این تحقیق، امکان بررسی عملکرد این سیستم در ایجاد یک توزیع همگن و مطلوب در کل مقطع لوله به مانند آنچه در معادله ۵ برای دوفازی آب-گازوئیل انجام شد، برای سایر دوفازی‌های مایع-مایع نیز فراهم خواهد بود.

همان گونه که از داده‌های ثبت شده در جدول ۱ پیداست، درصدهای حجمی محاسباتی برای هر کدام از ترکیبات دوفازی پودر-آب در محدوده خطای حداکثر  $\pm 4/2$  درصد، از مطابقت و همخوانی قابل قبولی با مقادیر از پیش آماده سازی شده برخوردارند که نشان از عملکرد همگن سازی مناسب و قابل قبول لوپ مخلوط مورد نظر دارد. خطای نسبی مشاهده شده در مورد درصدهای کمتر پودر بدان علت است که همگن سازی این نوع مخلوط به راحتی صورت نمی‌پذیرد که به سبب عدم قرارگیری نماینده صحیحی از مخلوط موجود در کل سطح مقطع لوله در مسیر باریکه قلمی گامای عبوری خود خطای بزرگ تر ایجاد می‌گردد.

داده‌های موجود در جدول ۲ نشان‌دهنده مطابقت قابل قبول بین

نشان می‌دهد که به سبب پایین بودن درصد پودر و عدم امکان همگن سازی مطلوب و در ادامه، قرارگیری نماینده غیر صحیحی از این درصدها پیش روی باریکه گامای عبوری است.

### ۷- اندازه گیری تجربی درصدهای حجمی دوفازی آب-گازوئیل

در این تحقیق پس از تأیید صحت عملکرد لوپ همگن ساز جریان دوفازی پودر-آب و با توجه به نتیجه نسبت میزان دور لازم همزن برای دوفازی آب-گازوئیل در مقایسه با این مخلوط (معادله ۵)، زمان استفاده از سیستم همگن ساز مذکور جهت اندازه گیری درصدهای حجمی دوفازی آب-گازوئیل رسیده است. در این مرحله، از چشمه ۲۴۱-Am با اکتیویته ۱۲۵ میلی کوری استفاده شد. چشمه رادیواکتیو مذکور فوتون‌هایی با انرژی ۵۹/۵keV گسیل می‌کند. در این محدوده انرژی‌های پایین، سطح مقطع غالب برهم کنش از نوع جذب فوتوالکتریک می‌باشد. از آنجایی که جذب فوتوالکتریک فوتون‌ها در ماده به شدت به عدد اتمی موثر ماده وابسته است. در نتیجه، با استفاده از این چشمه رادیواکتیو قادر خواهیم بود که مولفه‌های جریان دوفازی با اختلاف چگالی کم بین فازها و البته با اختلاف بالا در عدد اتمی را به خوبی از یکدیگر تفکیک کنیم. همچنین از آشکارساز سوسوزن ۲ اینچی از نوع Hamamat- CR-۱۶۹ (TI)EPIC NaI متصل به تیوب تکثیرکننده SCA 550A، و در انتها شمارنده ۵۳۶ Timer/counter گاماها جمع‌آوری شده توسط آشکارساز مذکور به آهنگ شمارش تبدیل و ثبت گردید. با بهره‌گیری از الگوریتم مونت کارلو موجود در مقاله مرجع [۱۱]، ابعاد بهینه مورد استفاده حفاظ‌های سربی چشمه

مقادیر درصد حجمی آماده شده آب (PWVF<sup>(۱)</sup>، آهنگ شمارش میانگین (ACR) | ۲ و درصد حجمی محاسبه شده آب (CWVF<sup>(۲)</sup>) برای چشمه Am-241 در تلفیق با لوپ همگن‌ساز TPFHL.

CWVF(%)	ACR (counts/sec)	PWVF(%)
۰	۱۵۷۲±۴۰	۰
۱۳/۱۰±۰/۲۵	۱۵۵۹±۳۹	۱۰
۲۴/۷۰±۰/۱۵	۱۵۴۸±۳۹	۲۰
۳۶/۴۰±۰/۱۱	۱۵۳۶±۳۹	۳۰
۴۷/۳۶±۰/۰۹	۱۵۲۵±۳۹	۴۰
۵۷/۹۹±۰/۰۸	۱۵۱۵±۳۹	۵۰
۱۰۰±۰/۰۶	۱۴۷۴±۳۸	۱۰۰

$V_i$	ویسکوزیته جنبشی مایع	درصدهای حجمی محاسبه شده دوفازی آب-گازوئیل نسبت به مقادیر مشابه و از پیش آماده‌سازی شده است که با افزایش هرچه بیشتر کسر فازی آب، میزان عدم تطابق نیز افزایش خواهد یافت. مقادیر پذیرفته شده این عدم تطابق به‌ازای درصدهای حجمی آب کمتر از ۲۰ درصد در محدوده زیر ۵ درصد و قابل قبول می‌باشد.
$V_l$	سرعت مولفه $i$	
$g_s$	ثابت گرانش	
$P_i$	چگالی مولفه $i$	
$P_s$	چگالی فاز جامد	
$I_{max}$	آهنگ شمارش گامای عبوری از مخلوط	
$P_i$	چگالی فاز مایع	
$I_O$	آهنگ شمارش گامای عبوری از مخلوط	
$x$	نسبت وزنی پودر به مایع	$I_{Oil}$ آهنگ شمارش گامای عبوری از نفت
$d$	قطر لوله	$M$ دبی جرمی
$d_p$	قطر بیشینه ذرات پودر	$N_{js}$ حداقل سرعت تولید یک سوسپانسیون جدا از کف مخزن
$\mu_i$	ضریب تضعیف خطی گامای مولفه $i$	$A$ سطح مقطع لوله
$D$	قطر پره همزن	$S$ ثابت بدون بعد معادله
$I_{water}$	آهنگ شمارش گامای عبوری از آب	$a_i$ کسر فازی مولفه $i$

## علائم اختصاری

## پانویس‌ها

- |                                    |                                    |                                       |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Two-Phase Flow Homogenizer Loop | 6. Off-bottom                      | 11. Calculated Powder Volume Fraction |
| 2. Baffle                          | 7. Cavitation                      | 12. Prepared Water Volume Fraction    |
| 3. Handbook                        | 8. Prepared Powder Volume Fraction | 13. Calculated Water Volume Fraction  |
| 4. Pitched Blade Turbine           | 9. Averaged Count Rate             |                                       |
| 5. Off-bottom                      | 10. Corrected Count Rate           |                                       |

## منابع

- [1] T. J. Hill, Gas-liquid flow challenges in oil and gas production, In ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting, Vancouver, BC.(1997).
- [2] <http://cmr.no/facilities/cmr-multiphase-flow-loop>.
- [3] R. Thorn, G. A. Johansen, and B. T. Hjertaker, Three-phase flow measurement in the petroleum industry, Meas. Sci. Technol. 24 (1)(2012)1-17.
- [4] G. F. Hewitt, P. S. Harrison, S. J. Parry, and G. L. Shires, Development and testing of the 'mixmeter' multiphase flow meter, Proc. 13th North Sea Flow Measurement Workshop (Lillehammer, Norway) (1995).
- [5] M. N. Al-Khamis, A. F. Al-Bassam, Z. Bakhteyar, and M. N. Attab, Evaluation of phasewatcher multiphase flow meter (MPFM) in sour environments, Proc. Offshore Technology Conf. (Houston, USA) (2008).
- [6] Ø. Foss<sup>a</sup>, G. Stobie, and A. Wee, Successful implementation and use of multiphase meters Proc. 27th Int. North Sea Flow Measurement Workshop (Tønsberg, Norway) (2011).
- [7] P. Mehdizadeh, D. Farchy, and J. Suarez, Multiphase meter production well testing applied to low GOR mature fields, Proc. SPE Production and Operations Symp. (Oklahoma, USA) (2009).
- [8] E. L. Paul, V. A. Atiemo-Obeng, S. M. Kresta, HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING: SCIENCE AND PRACTICE, JOHN WILEY & SONS, (2004).
- [9] I. J. Karassik, J. P. Messina, P. Cooper, and C. C. Heald, PUMP HANDBOOK, McGRAW-HILL, (2001).
- [10] A. C. Wightley, SLURRY PUMPING MANUAL, A TECHNICAL APPLICATION GUIDE FOR USERS OF CENTRIFUGAL SLURRY PUMPS AND SLURRY PUMPING SYSTEMS, First Edition, WARMAN INTERNATIONAL LTD, (2002).
- [11] Sharifzadeh, M., Afarideh, H., Khalafi, H., & Gholipour, R., "A Matlab-based Monte Carlo algorithm for transport of gamma-rays in matter", Monte Carlo Methods and Applications, 21(1), 77-90, 2015. [12] Sharifzadeh, M., Khalafi, H., Afarideh, H., & Noori, E., "Two-phase flow component fraction measurement using gamma-ray attenuation technique in conjunction with a newly designed and constructed laboratory scale test facility", Nuclear Science and Techniques, 2017.
- [13] Sharifzadeh, M., Khalafi, H., Afarideh, H., & Gholipour, R., "Determination of oil-water volume fraction by using a pencil-beam collimated gamma-ray emitting source in a homogenized flow regime condition.", Flow Measurement and Instrumentation, 2016.