

روش‌های اندازه‌گیری نرخ جریان سیالات چندفازی تولیدی از میداین هیدروکربنی با تمرکز بر چالش‌های اندازه‌گیری سیال تولیدی از یک میدان مشترک گازی حوزه‌ی خلیج فارس

نیاز نیسانی سامانی*، مدیریت نظارت بر تولید نفت و گاز ■ محمد بیات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

چکیده

اندازه‌گیری نرخ سیال نفت یا گاز تولیدی از میداین هیدروکربنی و نرخ خوراک و فرآورده‌ها در مبادی تولید، تحویل، توزیع و مبادله‌ی جریان جایگاه ویژه‌ای دارد. بنابراین صحت و دقت سیستم‌های اندازه‌گیری نرخ جرمی یا حجمی جریان همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا یکی از موضوعاتی که همواره چالش‌های فراوانی در پی دارد اندازه‌گیری نرخ جریان‌های چندفازی است. در سیالات چندفازی به علت اختلاف سرعت ظاهری فازها نسبت به یکدیگر، الگوهای متنوعی از رژیم جریان وجود دارد که باید در انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری جریان چندفازی مدنظر قرار گیرد. لزوم اندازه‌گیری جریان‌های چندفازی غالباً در محل تولید سیال مخزن مطرح است؛ از جمله اندازه‌گیری نرخ جریان سیال سه‌فازی تولیدی یکی از میداین‌های گازی میعان معکوس حوزه‌ی خلیج فارس و مشترک با قطر که رویکرد اصلی این پژوهش است. سیال این میدان از نوع گاز میعان معکوس است و با افت فشار جریانی، به صورت سه‌فازی درمی‌آید بنابراین اندازه‌گیری نرخ جریان مذکور در سکوها‌ی دریایی و پالایشگاه‌های خشکی اهمیت بسیاری دارد. در این مورد نه تنها سیال در هر دو محل مذکور به صورت سه‌فازی است؛ بلکه تحت سرپرستی دو مدیریت جداگانه قرار دارد و یکی از مهم‌ترین نقاط تبادل نیز هست. در این مقاله پس از معرفی اجمالی جریان‌سنج‌هایی که در صنعت نفت کاربرد بیشتری دارند مشکلات اندازه‌گیری نرخ جریان سیالات چندفازی بررسی و دلایل اختلاف مقادیر اندازه‌گیری ریشه‌یابی می‌گردد. در این راستا مشخصات کلی جریان‌سنج‌های مبادی تولید و تحویل گاز ارائه گردیده و سپس وضعیت موجود اندازه‌گیری، منابع ایجاد خطا و تأثیر متغیرهای مختلف روی اندازه‌گیری‌های موجود بیان می‌شود. در پایان جهت بهبود شرایط موجود پیشنهادهایی ارائه شده است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۱/۰۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۱/۱۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۴/۲۸

واژگان کلیدی:

میتزینگ، میداین مشترک، گاز میعان معکوس، سیال چندفازی، نرخ جریان

مقدمه

ورودی پالایشگاه خشکی، گاز تولیدی سکو تخمین زده می‌شود. بدیهی است که اندازه‌گیری نرخ حجمی یا مولی جریان سه‌فازی با دو سامانه‌ی جریان‌سنج متوالی در واحدهای فرآیندی متفاوت است. این اختلافات، در دامنه‌ی معنی‌داری توجیه‌پذیر است و در خارج از این بازه باید علاوه بر تعیین دامنه‌ی اختلافات مطلق و نسبی مجاز جریان‌سنج‌ها، سایر منابع خطای نامتعارف شناسایی شوند که در این زمینه همواره تلاش‌های زیادی انجام گردیده که در این پژوهش و به‌طور مختصر به آنها اشاره خواهد شد.

۱- اصطلاحات

- **گاز تر^۱**: گازی که در شرایط ترمودینامیکی عملیات، حاوی حداکثر ۱۰ درصد حجمی مایع نسبت به گاز باشد.
- **نرخ جریان^۲**: نرخ حجمی یا جرمی جریانی که از هر سطح مقطع عبور می‌کند.
- **جریان چندفازی^۳**: به‌جریانی اطلاق می‌شود که در حالت تعادلی متشکل از دو فاز مایع یا فازهای مایع و گاز باشد. از مهم‌ترین علل

اندازه‌گیری سیال تولیدی میداین به‌عنوان منابع مهم اقتصادی کشور اهمیت ویژه‌ای دارند. اما از آنجا که سیال تولیدی چندفازی است همواره‌ی اندازه‌گیری دقیق آن با تنگنانهایی روبرو است. مثلاً بر اساس نسبت حجمی سیالات با هم و سرعت لغزشی هر فاز نسبت به دیگری، رژیم‌های متنوعی برای جریان‌های چندفازی وجود دارد که بر طریقه‌ی محاسبات نرخ کل جریان اثر می‌گذارد و در خصوص اندازه‌گیری هریک از آنها دیدگاه‌های متعددی وجود دارد. بنابراین بررسی موضوعی که همه‌ی موارد را پوشش دهد میسر نیست و باید شرایط اختصاصی‌تری برای اندازه‌گیری سیال تولیدی هر میدان تعریف شود. بدین منظور در پژوهش حاضر، اندازه‌گیری مقدار سیال تولیدی یکی از میداین‌های گازی کشور مدنظر قرار گرفته که از جمله میداین‌های گازی میعان معکوس^۱ مشترک با قطر در خلیج فارس است و با توجه به اینکه سیال مخزن در ابتدا گاز تر و در حال حاضر سیال چندفازی است اندازه‌گیری نرخ چاه‌های تولیدی میدان، حساسیت ویژه‌ای دارد. طبق روال معمول نصب جریان‌سنج جهت اندازه‌گیری تولید هر چاه امکان‌پذیر نیست و با اندازه‌گیری نرخ جریان در دو محل: سکوها‌ی تولیدی و خوراک

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (neisani_niaz@yahoo.com)

یکی از قواعد کلی زیر استوار است:

۱-۲- روش اول؛ تفکیک فازها

در این روش نرخ هر فاز به صورت جداگانه اندازه‌گیری و سپس با روش محاسبات معکوس نرخ تولید جریان سه‌فازی تخمین زده می‌شود. از مهم‌ترین الزامات این روش جهت برخورداری از صحت و دقت کافی، آنست که تفکیک کامل و دقیق هر فاز به نحوی انجام شود که از حمل قطرات مایع با گاز^۸ و انتقال گاز با فاز مایع^۹ کاملاً جلوگیری شود. یکی از فن‌آوری‌های موجود، استفاده از مکانیسم جداسازی سیکلونیک^{۱۰} گاز و مایع قبل از ورود جریان به تفکیک‌گر است. بر اساس این مکانیسم، تفکیک بر اساس اختلاف چگالی فازها با اطمینان بیشتری انجام می‌شود. در حال حاضر پکیج‌های تفکیک‌گر فازی سیار^{۱۱} با مکانیسم مذکور با حجم و وزن نسبتاً مناسبی وجود دارند که در انجام عملیات چاه‌آزمایی میدین دریایی و سکوها نیز استفاده می‌شود.

۲-۲- روش دوم؛ عدم تفکیک فازها

ضروری است سامانه‌ی اندازه‌گیری مورد نظر، توانایی درک دقیق و صحیحی از الگوی رژیم جریان داشته باشد. در این روش تمامی عوامل در هر لحظه به طور مستقیم از خطلوله‌ی جریان دریافت و در سیستم محاسبه می‌شوند. روش‌های مختلفی جهت لحاظ کردن متغیرها و خواص فیزیکی جریان چندفازی وجود دارد؛ از جمله روابط ریاضی، نمودارها و آشکارسازها. یکی از مزوومات انجام این کار آنست که آشکارسازها و سنسورهای مورد استفاده بتوانند به دقت الگوی جریان را شناسایی کنند.

۳-۲- روش سوم

روش بینابینی دو روش قبلی است که با استفاده از مخلوط‌کن‌های مکانیکی یا تعبیه‌ی صفحات توزیع جریان تا جایی که ممکن است فاز همگن تری ایجاد می‌گردد. این روش در مواردی کاربرد دارد که سرعت‌های ظاهری دو فاز نسبت به هم تفاوت زیادی نداشته باشند و رژیم جریان به الگوهای تک‌فازی نزدیک‌تر باشد. بنابراین روش حاضر در اندازه‌گیری نرخ گاز تر نسبت به جریان چندفازی کاربرد بیشتری دارد. از آنجا که در اغلب موارد سنج‌های گاز تر جهت اندازه‌گیری نرخ جریان گاز خشک و تک‌فاز استفاده می‌شوند با این روش می‌توان خطا را کاهش داد.

یادآوری می‌شود در هر روش علاوه بر اهمیت انتخاب سامانه‌ی اندازه‌گیری جریان، امکان برخورداری از شرایط مناسب پرووینگ و کالیبراسیون سامانه‌های اندازه‌گیری بسیار مهم است.

پیدایش این نوع جریان، سرعت‌های ظاهری متفاوت و چگالی متفاوت فازها نسبت به یکدیگر است.

■ **الگوی جریان^۵**: در جریان‌های چندفازی بر اساس نسبت حجمی هر فاز، ماندگی مایع و اختلاف سرعت ظاهری فازها نسبت به هم، الگوهای مختلفی از جریان به وجود می‌آید. گاهی قطرات مایع در فاز گاز به صورت پراکنده توزیع می‌شوند و گاهی به هم می‌پیوندند و لخته‌های مایع را به وجود می‌آورند. در نتیجه الگوهای جریان لخته‌ای یا جریان حلقه‌ای به وجود می‌آید. در برخی مواقع فاز گاز به صورت حباب‌هایی در فاز مایع پخش می‌شود و الگوی جریان حبابی را به وجود می‌آورد و گاهی به صورت به هم پیوسته‌ای در فاز مایع حرکت می‌کند.

■ **خطای مثبت قرائت^۶**: از آنجا که مقدار حجمی مایع در هر جریان متغیر است در برخی موارد ممکن است نرخ قرائت شده در فرآیند اندازه‌گیری گازهای تر یا سیالات چندفازی بیشتر از مقادیر واقعی باشد که به آن خطای مثبت قرائت گویند.

■ **خطای منفی قرائت^۷**: خطایی است که ناشی از تغییرات حجمی مایع در جریان گاز تر است. اگر نرخ قرائت شده در فرآیند اندازه‌گیری گازهای تر یا سیالات چندفازی کمتر از مقادیر واقعی باشد به آن خطای منفی قرائت گویند.

■ **گاز میعان معکوس**: گازی که با کاهش فشار هم‌دمای در محدوده‌ی دمایی بحرانی و حداکثر دمایی دوفازی، به درصد مایع آن افزوده شود. این مقدار اشباع گاز از ترکیبات میانی تا حدوداً ۲۰ درصد مایع ادامه یافته و سپس با کاهش بیشتر فشار معکوس شده و فاز مایع به تدریج کاهش می‌یابد.

۲- کلیات سامانه‌های اندازه‌گیری نرخ گاز تر و جریان‌های چندفازی

سامانه‌های اندازه‌گیری نرخ جریان متشکل از بخش‌های المنت اندازه‌گیری نرخ، سنسورهای انتقال‌دهنده‌ی سیگنال جریان، آشکارسازهای آن و روابط ریاضی است که ارتباط صحیح نرخ تولید و اپراتور را جهت محاسبه‌ی نرخ حجمی یا جرمی جریان برقرار می‌کنند. انتخاب سامانه‌ی مناسب برای اندازه‌گیری نرخ سیالات چندفازی همواره از دغدغه‌های کارشناسان صنعت نفت بوده و در این زمینه مطالعات و فعالیت‌های مفیدی انجام شده است. جهت اندازه‌گیری نرخ سیالات چندفازی روش‌های مختلفی وجود دارد

۲- مکانیسم کلی جریان‌سنج‌های معمول در صنعت نفت و گاز

سامانه‌های سنجش متفاوتی جهت اندازه‌گیری نرخ حجمی یا جرمی سیالات چندفازی وجود دارد که در هر مورد اندازه‌گیری نرخ جریان‌های چندفازی با تنگناها و چالش‌هایی روبرو است و اساس عملکرد آنها بر

۳- انواع سامانه‌های اندازه‌گیری نرخ سیال تولیدی در صنعت نفت و گاز

روزنه‌داری است که با تغییر سطح مقطع باعث تغییر سرعت و فشار در پایین دست جریان می‌گردد. این روزنه به شکل دایره‌ی کامل یا بخشی از یک دایره است که می‌تواند نسبت به مرکز لوله هم‌مرکز یا غیرهم‌مرکز باشد. فشار سیال بعد از عبور از این روزنه کاهش می‌یابد. سنج‌های اوریفیسی مورد استفاده در این میدان غالباً اوریفیس‌ها با روزنه‌ی مدور متقارن و هم‌مرکز با خط لوله‌اند. استفاده از اوریفیس معمولاً جهت اندازه‌گیری نرخ گاز خشک توصیه می‌شود. بر اساس فرمولاسیون استانداردهای^{۱۳} رایج در شرکت ملی نفت ایران، تغییرات نرخ با متغیرهای فیزیکی و ترمودینامیکی در مورد این سنج طبق رابطه‌ی ۱- است:

$$Q \sim \frac{d^2}{\sqrt{1-\beta^4}} * C_D * \sqrt{MR} * Pr * \sqrt{\frac{P_{op}}{sp.gr * T_{op} * Z}} \quad (1)$$

در این رابطه d قطر روزنه‌ی اوریفیس، D قطر خطلوله و β نسبت آن دو است.

C_D ضریب تخلیه‌ی اوریفیس و تابعی از عدد رینولدز است. عدد رینولدز نیز تابعی از سرعت، گرانیوی سیال و قطر خطلوله است. از آنجا که گرانیوی تابعی از دماست می‌توان گفت این متغیر به صورت غیرمستقیم متأثر از تغییرات دمایی نیز خواهد بود. ضریب مذکور با روش‌های سعی و خطا محاسبه می‌گردد.

MR دامنه‌ی جریان سنج است که معمولاً تقسیمات آن بر حسب میلی‌متر آب یا اینچ آب انجام می‌شود.

Pr نشان‌دهنده‌ی اختلاف فشار دو سر اوریفیس نسبت به دامنه‌ی جریان سنج است. سیگنال‌های مربوطه از طریق ترانس‌میتورهای وابسته به بالادست و پایین دست اوریفیس ثبت شده و از روابط ریاضی موجود، اختلاف فشار ایجاد شده به نرخ حجمی جریان تبدیل می‌گردد.

P_{op} و T_{op} به ترتیب فشار و دمای مطلق عملیاتی هستند.

$sp.gr$ نیز وزن مخصوص گاز است.

Z ضریب تراکم‌پذیری گازهاست که به دما و فشار مطلق عملیاتی بستگی دارد.

از توضیحات فوق چنین برمی‌آید که تغییرات نرخ جریان نسبت به متغیرهای فیزیکی روابطی مستقیم و خطی ندارد. بنابراین تصحیح عوامل متغیر وابسته به فصول مختلف و افزایش دقت اندازه‌گیری در ترانس‌میتورهای فشار و دما نقشی بسیار مهم در بهبود دقت و صحت اندازه‌گیری جریان خواهد داشت.

لازم به یادآوری است که روابط ریاضی مذکور در شرایط سیال تک‌فازی، تراکم‌ناپذیر و همگن، قابل قبول است که با رعایت تمامی استانداردهای مرتبط، حداکثر عدم قطعیت نرخ اندازه‌گیری شده در محدوده‌ی $\pm 2\%$ است (البته دقت اندازه‌گیری آن در گاز خشک بیشتر است). در خصوص

مکانیسم‌های گفته شده اولین معیار طراحی جریان سنج‌ها هستند. سپس باید با استفاده از روابطی که می‌توانند مؤلفه‌های فیزیکی، الکترومغناطیسی و ترمودینامیکی را به نحوی با نرخ جریان و قوانین حاکم بر مکانیک سیالات مرتبط سازند، سامانه‌های متعددی طراحی می‌شود که قادر به اندازه‌گیری نرخ جریان خواهند بود. مشهورترین آنها عبارتند از:

- سامانه‌هایی که با استفاده از کمیت‌های وابسته از جمله کسر فازی مؤلفه‌های جریان، دما، فشار، وزن مخصوص و... نرخ تولید را بر اساس ایجاد اختلاف فشار در دو محل متوالی در مسیر جریان محاسبه می‌کنند. این اختلاف فشار بر اثر تغییر قطر سطح مقطع عبور جریان و در دامنه‌ی استاندارد مجازی ایجاد می‌شود. سنج‌هایی با المنت اندازه‌گیری اوریفیس و ونتوری از این نوع هستند.

- سیستم‌هایی که با مکانیسم تلفیق اندازه‌گیری سرعت، بر اساس پدیده‌ی داپلر و اندازه‌گیری کسر فازی که تابعی از انرژی کاهش‌یافته‌ی پرتوهای گاما یا نوترون هستند عمل می‌کنند. در این مکانیسم با ثبت زمان رفت و برگشت سرعت صوت یا موج، زاویه‌ی تابش، فرکانس و سایر متغیرهای وابسته مقادیر سرعت لحظه‌ای مؤلفه‌های جریان قابل محاسبه خواهد بود.

- جریان‌سنج‌هایی که بر اساس جابجایی حجمی عمل می‌کنند از جمله سنج‌های جابجایی مثبت.

- سیستم‌های اندازه‌گیری که با اندازه‌گیری تعداد پالس‌ها یا فرکانس عبور جریان عمل می‌کنند مانند جریان‌سنج‌های توربینی یا کوریولیس.

- سیستم‌های اندازه‌گیری غیرمرسوم که مزایا و معایب خاص خود را دارند.

تمرکز و دقت بیشتر در مراحل اولیه‌ی طراحی سنج، انتخاب نوع جریان سنج، پیش‌بینی دامنه‌ی کاربرد مناسب، نصب متعلقات و تناسب سنج با شرایط و نوع جریان نقشی اساسی در افزایش دقت و صحت اندازه‌گیری این سنج‌ها ایفا خواهد کرد. بنابراین در ادامه توضیحات مختصری در مورد سامانه‌های اندازه‌گیری نرخ ارائه شده که عموماً کاربرد بیشتری در مبادی تولید و تحویل گاز میدان پارس جنوبی دارند. در بخش‌های بعد منابع ایجاد خطای اندازه‌گیری بررسی خواهند شد.

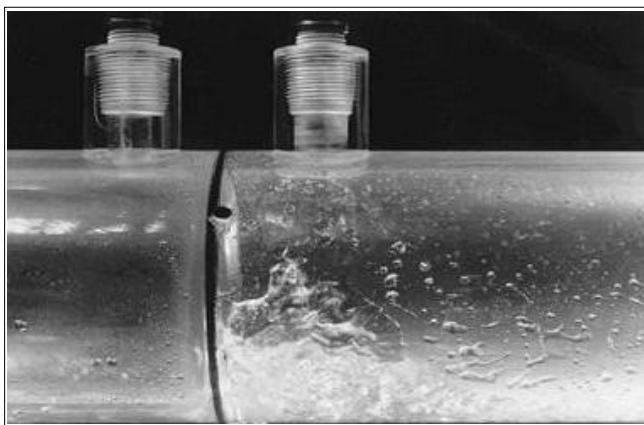
۴- مشخصات برخی جریان‌سنج‌های متداول در صنعت نفت و گاز

۴-۱- جریان سنج اوریفیسی

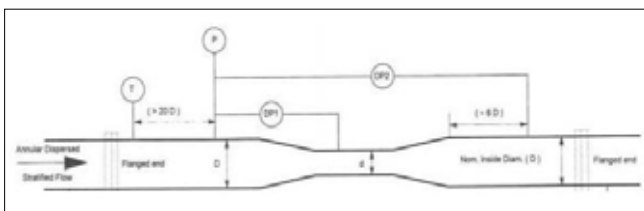
اساس عملکرد این نوع جریان سنج ایجاد اختلاف فشار مناسب جهت محاسبه‌ی نرخ با استفاده از روابط برنولی از طریق تعبیه‌ی صفحه‌ی روزنه‌داری به نام اوریفیس^{۱۴} مسیر جریان است. از اوریفیس، صفحه‌ی

۴-۳- جریان سنج‌های آلتراسونیک

مکانیسم عملکرد جریان‌سنج‌های آلتراسونیک بر اساس فرکانس موج و قوانین حاکم بر پدیده‌ی داپلر بوده و محاسبه‌ی نرخ عبوری سیال نیازمند اندازه‌گیری متغیرهایی مانند تحریک فرکانس‌ها، تعداد ترانسیدوسرها، سرعت ارسال و دریافت موج، زاویه‌ی تابش است. این نوع جریان‌سنج بر اساس زمان ارسال و دریافت سیگنال‌های آلتراسونیک که به‌صورت موج از یک سمت لوله به‌سمت دیگر فرستاده می‌شوند نرخ را محاسبه می‌کنند. این نوع جریان‌سنج در انواع داپلر، زمان عبوری و مهاری ساخته می‌شوند. نمونه‌ای از نحوه‌ی عملکرد جریان‌سنج مذکور در شکل ۳- مشاهده می‌شود. تعداد ترانسیدوسرهایی که موج را ارسال و دریافت می‌کنند در دقت اندازه‌گیری مؤثرند. معمولاً توصیه می‌شود دستگاه اندازه‌گیری مورد استفاده به بیش از سه بیم مجهز باشد (برای فزای مایع حداقل پنج بیم و برای سیال گاز حداقل چهار بیم). این نوع میترها بدون تماس با سیال، نرخ را اندازه‌گیری کرده و باعث افت فشار نمی‌شوند. اما از آنجا که سرعت موج در محیط‌هایی با ضرایب شکست مختلف مانند گاز، آب، میعانات هیدروکربنی متفاوت است، کاربرد این جریان‌سنج در اندازه‌گیری جریان‌های چندفازی یا گاز تر مناسب نیست و همواره بر عدم استفاده از این جریان‌سنج در سیالات چندفازی و جریان‌های غیرهمگن تأکید می‌شود. اهمیت این موضوع تا جایی است که طبق نظر کارشناسان استفاده‌ی نابجای آن در صنعت می‌تواند با خطاهای غیرقابل‌اغماضی همراه باشد.



شکل ۱ | رژیم گاز تر در عبور از صفحه‌ی اوریفیس



شکل ۲ | ساختار جریان‌سنج ونتوری

اندازه‌گیری نرخ مایعات نیز روابط مشابهی وجود دارد. در سیستم مذکور به‌دلیل خطاهای ناشی از المنت و نیز روابط محاسباتی و قرائت‌ها، با تحمیل خطایی سیستماتیک به فرآیند اندازه‌گیری نرخ جریان روبرو خواهیم شد. زیرا مکانیسم عملکرد جریان‌سنج اوریفیسی بر اساس اختلاف فشار استوار است و تفکیک فازها از یکدیگر و در نتیجه تغییر الگوی جریان بسیار محتمل است. از این رو به‌کارگیری آن برای اندازه‌گیری سیالات چندفازی یا گاز تر با مشکل مواجه است. در شکل ۱- شماتیک تغییر فاز ناشی از وجود اوریفیس در مسیر گاز تر قابل‌ملاحظه است.

همچنین انتخاب روابط ریاضی جهت محاسبه‌ی نرخ سیالات مذکور حساسیت زیادی داشته و باید خواص فیزیکی گاز تر یا سیال چندفازی در رابطه‌ی ۱- از طریق مدل‌های ریاضی مناسب تصحیح گردد. مثلاً تأثیر سرعت‌های نسبی گاز و مایع در یک سطح مقطع، به‌عنوان مبین الگوی جریان یکی از مهم‌ترین متغیرهایی است که در دقت و صحت محاسبه‌ی نرخ جریان‌های چندفازی اهمیت دارد. از طرفی اگر تجمع مایعات در برخی شرایط عملیاتی نسبت به شرایط پایه‌ی طراحی افزایش یابد دقت ترانسیمترهای جریان به‌خصوص در بخش پایین‌دست اوریفیس کاهش خواهد یافت. بنابراین کاربرد سنج‌های اختلاف فشاری به‌ویژه با المنت اوریفیسی، جهت اندازه‌گیری نرخ سیالات چندفازی به‌هیچ‌وجه توصیه نمی‌شود.

۴-۲- جریان‌سنج ونتوری

اساس عملکرد جریان‌سنج‌های ونتوری نیز بر اساس ایجاد اختلاف فشار و کاربرد آنها جهت اندازه‌گیری مایعات معمول است. همان‌گونه که در شکل ۲- ملاحظه می‌شود ونتوری شامل لوله‌ای دایره‌ای با مدخل مخروطی و یک گلوگاه است. هنگامی که سیال از گلوگاه عبور می‌کند سرعت آن افزایش و فشارش کاهش می‌یابد.

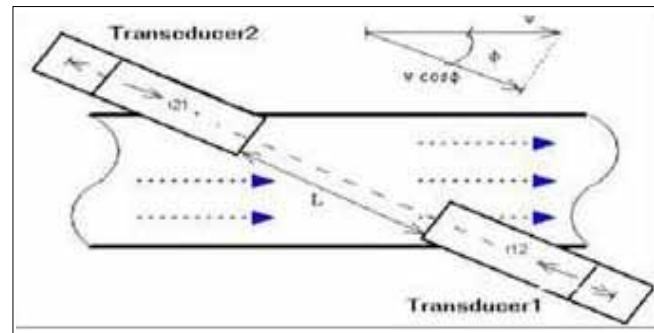
اگرچه استفاده از این سامانه در جریان‌های چندفازی یا گاز تر به‌خصوص در مبادی فروش مناسب نیست اما از آنجا که به‌دلیل شکل ساختمانی آن، افت فشار جریان توزیع مناسب‌تری دارد تغییر رژیم جریان و تفکیک فازها احتمال ضعیف‌تری داشته و در حالت‌های یادشده استفاده از المنت ونتوری نسبت به اوریفیس ارجحیت دارد. معمولاً جهت محاسبه‌ی نرخ سیالات مذکور، مدل‌های ریاضی به روش‌های زیر تصحیح می‌شوند:

الف) تعیین نسبت گاز و مایعات جهت تشخیص رژیم جریان و محاسبه‌ی خواص فیزیکی سیال چندفازی از طریق روابط ریاضی مربوطه در کتب مرجع (مانند آنچه در مورد محاسبات اوریفیس بیان شد)
 ب) استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و تزریق ماده‌ی ردیاب در بالادست گلوگاه ونتوری جهت تعیین مقدار خطاهای مثبت و منفی^{۱۴} نرخ جریان

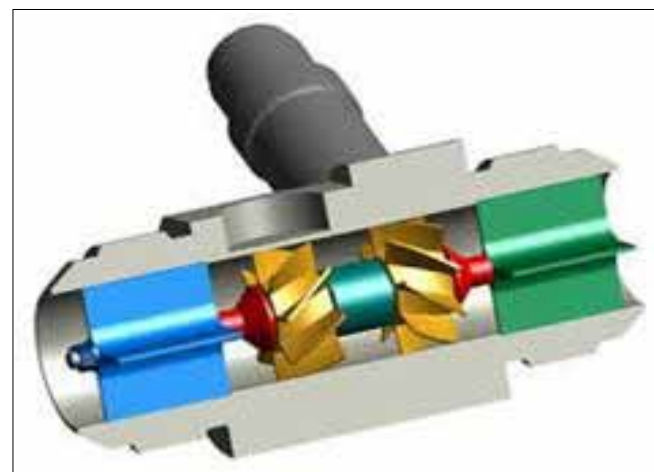
۴-۴- جریان سنج‌های توربینی

جریان سنج‌های توربینی با اندازه‌گیری سرعت جریان، نرخ را محاسبه می‌کنند و اغلب جهت اندازه‌گیری جریان‌های تک‌فازی و عمدتاً برای اندازه‌گیری سرعت گازها و مایعات تمیز به کار می‌روند. این جریان سنج مانند توربینی هیدرولیکی عمل کرده و مادامی که سیال از میان تیغه‌های آن عبور می‌کند با تأمین گشتاور مورد نیاز می‌چرخد. بخش‌های مختلف این جریان سنج عبارتند از چرخنده، شافت، نگهدارنده‌ی شافت، یاناقان، بدنه و پالس‌انداز. در شکل-۴ شماتیک نوعی از این جریان سنج مشاهده می‌شود.

بر اساس جهت شافت توربین و محور جریان نسبت به هم، این سنج به دو نوع مماسی و محوری تقسیم می‌گردد که مکانیسم عملکرد هر دو مشابه است. مهم‌ترین جزء این سیستم، توربینی است که سرعت سیال را به یک سیگنال قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند. در این میتر با اندازه‌گیری سرعت دورانی توربین می‌توان سرعت جریان و در پی آن نرخ حجمی سیال را محاسبه کرد. کل حجم منتقل شده نیز با اندازه‌گیری مقدار چرخش توربین امکان‌پذیر است. دوران توربین به دو روش مکانیکی و الکترومغناطیسی امکان‌پذیر است.



شکل ۳ | ساختار جریان‌سنج الکترونیکی



شکل ۴ | ساختار جریان‌سنج توربینی

۵- مکانیسم موجود اندازه‌گیری نرخ جریان گاز تولیدی میدان

همان‌گونه که اشاره شد، در این پژوهش اندازه‌گیری نرخ تولید سیال مخزنی مورد بحث است از نوع گاز غنی میعان معکوس بوده و در حال حاضر فشار مخزن کمتر از نقطه‌ی شبنم سیال است. بنابراین سیال تولیدی شامل فازهای آب و گاز و میعانات هیدروکربنی است و جهت اندازه‌گیری نرخ آن باید از فن‌آوری‌های متناسب با اندازه‌گیری نرخ جرمی جریان سیالات چندفازی استفاده کرد. مقدار گاز تولیدی مخزن مذکور علاوه بر اینکه در مدیریت تولید از مخزن مؤثر است مبنای تصمیمات مهمی در تأمین گاز کشور، تخصیص مقدار سوخت نیروگاه‌ها، توزیع انرژی و تزریق گاز در میادین نفتی جنوب کشور نیز هست. بنابراین اندازه‌گیری صحیح و دقیق نرخ گاز تولیدی از مخزن بسیار مهم است. در شرایط کنونی، نرخ تولید هر سکو بعد از تفکیک فازها اندازه‌گیری می‌شود. آب تفکیک شده به دریا ارسال شده و فاز گازی و میعانات هیدروکربنی (پس از اختلاط مجدد) با خطلوله دریایی به پالایشگاه خشکی انتقال می‌یابد.

در خشکی یعنی خوراک ورودی پالایشگاه‌ها نیز میتر اندازه‌گیری جریان سه‌فازی وجود ندارد و جریان هر فاز پس از تفکیک فازها در تفکیک‌گرهای انگشتی ورودی قابل اندازه‌گیری است. بنابراین اندازه‌گیری نرخ جریان در هر محل (خروجی سکو و ورودی پالایشگاه) بر اساس تفکیک فازها میسر است و به اولین روشی که در بخش مکانیسم کلی جریان سنج‌های معمول در صنعت نفت و گاز به آن اشاره شد نزدیک‌تر است. شماتیک موضوع در شکل-۵ نشان داده شده است.

اما در حال حاضر به علت برخی تنگناهای ناشی از سیستم‌های میترینگ تفکیک‌گرهای ورودی پالایشگاه‌ها امکان اندازه‌گیری نرخ جریان در این محل میسر نیست و مقادیر مذکور از روش محاسبات معکوس^{۱۵} (بر مبنای گاز خشک خروجی و سایر محصولات) محاسبه می‌گردد. محل سنج‌های گاز خشک خروجی پالایشگاه‌ها در شکل-۶ مشاهده می‌شود. در اینجا علاوه بر مخاطرات و مشکلات اندازه‌گیری نرخ جریان چندفازی، با دو سنج‌های متوالی در مسیر گاز تولیدی (سکو و پالایشگاه) مواجهیم. بنابراین شناسایی منابع خطاهای مستقیم و غیرمستقیم مؤثر بر نرخ قرائت شده با چالش‌های متعددی روبرو است که در ادامه جزئیات اندازه‌گیری نرخ جریان‌های مدنظر بررسی می‌شود.

۵-۱- اندازه‌گیری نرخ گاز تولیدی از مخزن گازی پارس جنوبی در محل تولید

طبق شماتیک شکل-۵ گاز تولیدی در تفکیک‌گرهای سرچاهی دریایی جدا شده، جریان‌های تولیدی هر فاز توسط سیستم‌های اندازه‌گیری (که غالباً اوریفیسی هستند) به‌روش زیر محاسبه می‌شود:

پالایشگاه‌ها به صورت سیال سه‌فازی است و در حال حاضر سامانه‌ای که قادر به اندازه‌گیری آن باشد وجود ندارد. همان‌طور که اشاره شد یکی از روش‌های اندازه‌گیری نرخ سیالات چندفازی، تفکیک فازها و اندازه‌گیری نرخ هر فاز با رعایت الزامات مربوطه است. البته در حال حاضر تفکیک سه‌فاز در تفکیک‌گرهای ورودی تأسیسات خشکی انجام می‌شود. اما روش جایگزینی برای اندازه‌گیری گاز ورودی واحد نیست؛ زیرا مبنای تفکیک فازها در آن مرحله، آماده‌سازی اولیه‌ی گاز جهت ارسال به سایر واحدهای فرآورشی است و زمان ماند تفکیک هر فاز مطابق دقت استانداردهای مناسب اندازه‌گیری نرخ جریان نخواهد بود. به علت اشکالات جریان‌سنج‌های این واحد، در حال حاضر روش متداول محاسبه‌ی خوراک دریافتی این واحد (پالایشگاه گازی)، محاسبات معکوس بر مبنای مقادیر گاز خشک خروجی پالایشگاه است که به دلایل زیر مشمول خطا خواهد بود:

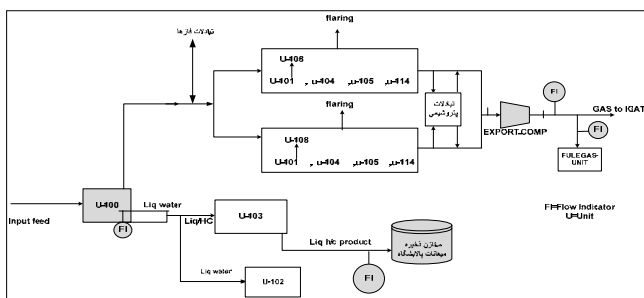
(الف) خطای ناشی از محاسبات معکوس

(ب) خطای ناشی از سنج‌ها

در حالت کلی هر سنج‌هی اندازه‌گیری خطای مجازی دارد. با توجه به تعدد فراوان میترها در روش محاسبات معکوس، خطای ناشی از هر میتر در محاسبات وجود دارد. حجم گاز ارسالی به مشعل قابل اندازه‌گیری نیست و با تخمین یا تقریب لحاظ می‌شود. در خصوص ثبت گاز سوخت، و مصرفی و مشعل نیز عدم قطعیت‌هایی وجود دارد.

۶- بحث و بررسی

اگرچه در حال حاضر روش‌های اندازه‌گیری نرخ جریان گاز میعان معکوس تولیدی این میدان اشکالاتی دارد اما بررسی‌ها نشان می‌دهد به دلیل عدم وجود جریان‌سنج سه‌فازی، این روش‌ها بهترین راه‌حل ممکن هستند که می‌توان با افزایش دقت تفکیک فازها و تنظیم المان‌های دخیل در محاسبات معکوس دقت آنها را افزایش داد. اما جهت اطمینان از صحت اعداد ضروری است نتایج مذکور با سایر روش‌ها مقایسه شود. این روش‌ها می‌توانند به شرح زیر باشند:



■ **نرخ حجمی جریان گاز:** در تفکیک‌گر (FWKO) گاز از مایعات جدا شده و نرخ گاز توسط سنج‌هی اوریفیس‌ی اندازه‌گیری می‌شود (Q_{gas}).
 ■ **نرخ حجمی فاز مایع:** مایعات جدا شده از گاز شامل میعانات هیدروکربنی و آب آزاد هستند که در تفکیک‌گر سه‌فازی، آب/گاز و میعانات، تفکیک و فاز آب در واحد تصفیه^{۱۷} عاری از میعانات هیدروکربنی شده و به دریا ارسال می‌گردد. نرخ میعانات تثبیت نشده و آب از طریق سامانه‌های اوریفیس‌ی اندازه‌گیری می‌شوند (Q_{liq}).

بر اساس روابط ترمودینامیکی نظیر قانون گازها و مایعات، معادل گازی میعانات به روش زیر محاسبه و به نرخ گاز اضافه می‌گردد:

$$m_l = m_g \quad (2)$$

$$(\rho v)_l = \left(\frac{P * V * Mw}{R * T} \right)_g \rightarrow \frac{V_g}{V_l} = \frac{\rho_l * R * T}{P * Mw} \quad (3)$$

در این رابطه:

(m_l) و (m_g) : نرخ جرمی مایع و گاز

ρ : چگالی

P : فشار مطلق

V : حجم

Mw : وزن مولکولی گاز

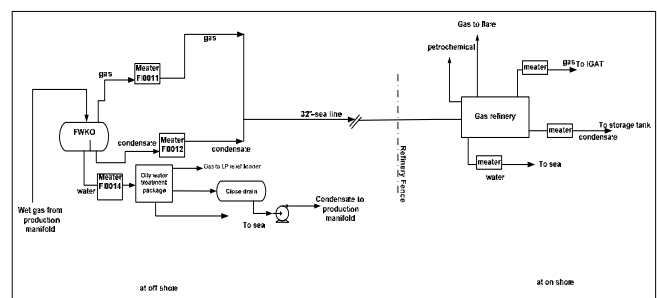
R : ثابت جهانی گازها

T : دمای مطلق

مایعات هیدروکربنی و گاز پس از اختلاط مجدد از طریق خطلوله‌ی دریایی جهت فرآورش به خشکی ارسال می‌گردند.

۵-۲- اندازه‌گیری نرخ گاز تولیدی از مخزن پارس جنوبی در واحد دریافت گاز خشکی

اندازه‌گیری خوراک دریافتی پالایشگاه به‌طور مستقیم میسر نیست. اگرچه در سکوه‌های تولیدی حجمی از فاز آب جدا شده و به دریا ارسال می‌گردد اما به علت افت فشار نرمال خطلوله‌ی انتقال، خوراک



■ استفاده از فرمول‌های مهندسی نفت در هر چاه

■ استفاده از میترهای سه‌فازی قابل حمل

■ استفاده از نتایج تفکیک‌گر آزمایشی سکوها

در بخش اول سه روش رایج جهت اندازه‌گیری نرخ گاز تر و سیالات چندفازی مطرح شد. به نظر می‌رسد روش اندازه‌گیری جریان مورد بررسی در این پژوهش را می‌توان مشابه روش اول یعنی اندازه‌گیری جریان بر اساس تفکیک فازها مدل‌سازی کرد. تأکید می‌شود که از مهم‌ترین مفروضات این روش آنست که بعد از تفکیک، فاز گاز عاری از مایع شده باشد و بالعکس (جداسازی بهینه‌ی فازها از یکدیگر ناشی از مکانیسم تفکیک خواهد بود). بنابراین نصب جریان‌سنج سه‌فازی در محل مورد توافق شرکت‌های مربوطه ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به پیچیده و متغیر بودن الگوهای جریان دوفازی، مطالعات بسیاری جهت اندازه‌گیری نرخ گاز تولیدی از چاه انجام شده و فن‌آوری‌های جدیدی در این زمینه ارائه شده که برخی از آنها در آزمایش‌های میدانی داخل کشور (شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و استفاده از آن در شرکت نفت مناطق مرکزی) نیز نتایج قابل قبولی داشته‌اند. مکانیسم عمل این روش‌ها مبتنی بر حس‌گرهای هدایتی است که اندازه‌گیری جریان‌های سه‌فازی نفت/آب/گاز را امکان‌پذیر کرده است. جهت دستیابی به دامنه‌ی قابل قبولی از ضریب تصحیح مناسب می‌توان از این فن‌آوری استفاده کرد.

جهت کاربرد جریان‌سنج‌های تک‌فاز در جریان‌های دوفازی، بعد از

تست‌های آزمایشگاهی و روش‌های جاری، باید تصحیحات لازم جهت قرائت صحیح نرخ گاز تر اعمال گردد.

طریقه‌ی محاسبات نرخ تولیدی از مخزن در محل تولید به عوامل مختلفی بستگی دارد و باید در تعیین ضرایب معادل گازی میعانات، محاسبه‌ی متغیرهای فیزیکی از جمله وزن مخصوص، ضریب تراکم‌پذیری گاز و... دقت لازم به عمل آید. بنابراین ضروری است جهت حصول نتایج مطلوب، مراحل انجام آزمایش‌های چاه‌آزمایی کاملاً مطابق با استانداردهای رایج صورت گیرد.

در واحدهای دریافت گاز خشکی، مراحل موازنه در محاسبات معکوس متداول جهت تخمین خوراک ورودی پالایشگاه‌ها اشکالاتی اساسی دارد. مثلاً گاز مشعل بر حسب مقدار باز شدن شیرهای مربوطه است؛ در حالی که اولاً شیرهای مذکور المنت اندازه‌گیری نرخ گاز محسوب نمی‌شوند و ثانیاً سرعت باز شدن شیرآلات نسبت به حجم تخلیه‌ی گاز تابعی ساده و خطی نیست. با توجه به اینکه امکان اندازه‌گیری مستقیم برخی متغیرهای فرمول وجود ندارد استفاده از روش تفاضلی موازنه‌ی جرم برای معادله‌ای که بیش از یک مجهول دارد صحیح نیست.

با توجه به موارد بیان شده می‌توان گفت یکی از عمده‌ترین منابع خطا در سیستم‌های اندازه‌گیری، عدم تناسب جریان‌سنج با نوع سیال است که باید در مراحل اولیه‌ی طراحی هر واحد مورد توجه قرار گیرد. مثلاً در مبادلات استفاده از جریان‌سنج اوریفیسی جهت اندازه‌گیری مایعات و در سیالات چندفازی و ناهمگن استفاده از جریان‌سنج آلتراسونیک مناسب نیست. ■

پانویس‌ها

1. retrograded gas condensate
2. Wet gas
3. flow rate
4. Multi phase flow
5. fluid Pattern
6. Measurement over reading
7. Measurement under reading
8. Carry over
9. Carry through

10. gas-liquid cylindrical cyclone (GLCO)
11. Red eye Weatherford & Oteis
12. orifice plate
13. AGA3
14. Over/reduce reading measurement
15. Back calculation
16. Free water K.O. drum
17. Oily water treatment

منابع

- [1] Daniel L.Gysling, Minfu Lu, Ting Wen-Clamp on two phase measurement of gas condensate wells using integrated EOS compositional model, 28th international north sea flow measurement workshop, oct 2010
- [2] Weatherford, red eye multiphase metering system, 2009
- [3] Philip A Lawrence, wet gas measurement, business development Cameron measurement systems 14450

JFK Blvd

- [۴] ابوالفضل وروانی فراهانی، اندازه‌گیری جریان سیال با استفاده از امواج آلتراسونیک، ماهنامه‌ی علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره‌ی ۹۸، بهمن ۱۳۹۱
- [۵] غلام‌عباس صفیان، رضا صالحی مورکانی، استفاده از جریان‌سنج فراصوتی جهت اندازه‌گیری جریان چندفازی در شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ماهنامه‌ی علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره‌ی ۱۰۲، تیر ۱۳۹۲
- [۶] یوسف حجت، علیرضا قانع، شاهد میرزا محمدی، طراحی و ساخت نرخ‌سنج آلتراسونیک زمان عبوری، مجله‌ی علمی-پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس سنج‌ها