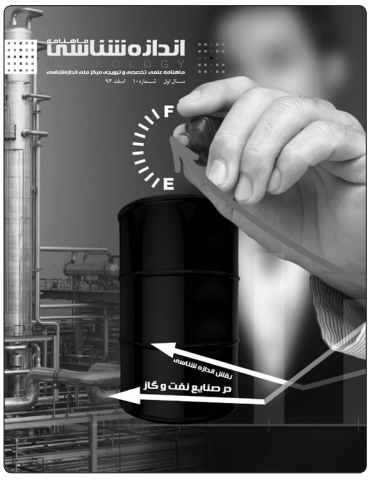
ماهنامه
اندازه‌شناسی
METROLOGY
ماهنامه علمی، تخصصی وترویجی مرکز ملی اندازه‌شناسی

سازمان ملی استاندارد ایران
مرکز ملی اندازه‌شناسی



سال اول • شماره ۱۰ • اسفند ۹۳

صاحب امتیاز:
سازمان ملی استاندارد ایران

مدیر مسئول:
نیره پیروزبخت

شورای سیاست گذاری:
نیره پیروز بخت، خسرو معدنی پور
محمدعلی‌اخوان‌بهابادی،وحیدمرندی‌مقدم
علی اباذری، اصغر صالح زاده، ایرج حسابی

هیئت تحریریه:
خسرو معدنی پور، فرهاد اکبرپور
مهناز حشمی، افشین اوحدی

ویراستار:
فرهاد اکبرپور

مدیر اجرایی
خسرو معدنی پور

گرافیست و صفحه آرا :
محمدرضا بزرگمهر

ماهنامه در انتشار یا عدم انتشار همه یا بخشی از مقاله‌های رسیده و ویرایش آن آزاد است. مقاله‌های رسیده مسترد نخواهد شد. نقل مطلب نشریه با ذکر منبع مجاز است. ماهنامه اندازه‌شناسی آماده چاپ و انعکاس مقالات و دیدگاه‌های کارشناسان و صاحبنظران است.
لطفا مقاله‌های خود را بصورت فایل WORD همراه با یک قطعه عکس اسکن شده برای درج درماهنامه ارسال فرمایید. مقاله ارسالی باید شامل بخش‌های مقدمه، شرح مقاله، یافته‌های تحقیق، نتیجه‌گیری و فهرست منابع باشد.

سخنی با خوانندگان	۲
معیارهای گزینش سیستم‌های میترینگ فرآورده‌های نفتی و بررسی خطاهای اندازه‌گیری	۳
اهمیت میترینگ در شرکت ملی نفت ایران، وضعیت موجود و چشم انداز آتی	۱۶
بررسی موردی برخی از اشکالات پیش آمده در عملیات پرووینگ عادی و کالیبراسیون دوره‌ای پرووورها و نحوه رفع آنها	۲۲
دومین همایش تخصصی اندازه گیری هیدروکربن‌ها (میترینگ) در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی	۳۳
کنتورهای آب	۳۵
عدم قطعیت تعیین ضریب تصحیح K در کالیبراسیون فلومترهای توربینی	۴۴

نشانی:
کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد،سازمان ملی استاندارد ایران
مرکز ملی اندازه‌شناسی
صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵
تلفن: ۰۲۶۳۲۸۰۳۸۶۷ ۸-۰۲۶۳۲۸۰۶۰۳۱ (داخلی ۲۳۳۵)
نمابر: ۰۲۶۳۲۸۱۸۸۶۶

پست الکترونیکی:
metrologycm@isiri.org

www. metrology. isiri. org

سخنی با خوانندگان

دکترخسرو معدنی پور
رئیس مرکز ملی اندازه‌شناسی

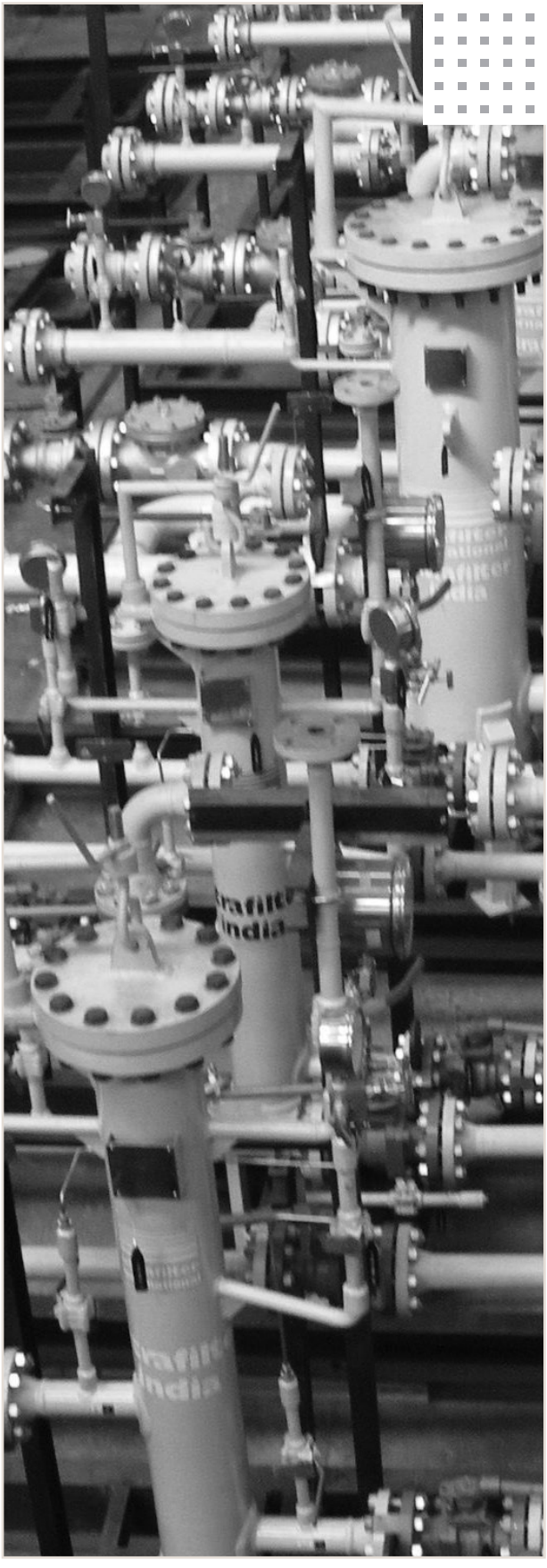
مرکز اندازه شناسی،اوزان ومقیاس ها بعنوان یکی از حوزه های مهم در سازمان ملی استاندارد ایران، نقش مهمی در نظام تحول استاندارد سازی بر عهده داشته و تلاش می‌کند با ترویج این دانش، در جهت ارتقاء سطح کمی و کیفی تولیدات داخلی گام بردارد. با نگاهی هر چند گذرا به وظائف قانونی این مرکز، چنین استنباط می‌شود که نقش اثربخش دانش اندازه‌گیری در تمامی ابعاد زنگی امروزین ما غیر قابل اجتناب بوده و ارتباط صحیح این دانش با حوزه های مرتبط می‌تواند، زمینه ساز رشد و بالندگی تولیدات ملی باشد. اهمیت این موضوع زمانی احساس می‌شود که بدانیم این دانش در تمامی شئون زندگی ما نقش مهمی داشته و تأثیر گذاز است. بهداشت و سلامت، نفت، گاز و پتروشیمی تنها بخشی از موضوعاتی است که با دانش اندازه گیری عجین گشته و توسعه همه جانبه کشور را در صورت ارتقاء دانش اندازه شناسی در پی خواهد داشت که در همین راستا هدف از انتشار ماهنامه اندازه شناسی ، فراهم آوردن فرصت های لازم برای نشر دستاوردها و طرح مسائل علمی و ارتباط میان این مرکز با کلیه متخصصین ، صاحب نظران و مراکز دانشگاهی تبیین گردیده تا با افزایش مشارکت و هم افزائی با این عزیزان ،بتوان، در ترویج دانش اندازه گیری و نهادینه کردن آن در صنعت کشور اقدام نمود که مطمئناً این نشریه می‌تواند پل ارتباطی مؤثری در این زمینه باشد. جای بسی خرسندی است که انتشار دهمین شماره این نشریه در حالی صورت می‌گیرد که به لطف پروردگار مهربان، توفیق خدمت در این مرکز علمی ،تخصصی نصیب اینجانب گردید تا از این رهگذر، بتوان با کمک همه کارشناسان و اهالی فن ، در راه تحقق اهداف نظام تحول استاندارد سازی و با تدوین برنامه ریزی مناسب و اجرای دقیق آن گام برداشت. رجاء واثق دارم، تحقق اهداف پیش گفتار مستلزم مشارکت کلیه دستگاه ها و صاحب نظران بوده و قطعاً با همدلی و تعامل ،ادامه این مسیرسخت برای ما هموار می‌گردد.

از همین روی در نظر است بمنظور ارتقاء سطح کیفی و کمی این نشریه با یک تفکر سیستمی و با مشارکت همه صاحبنظران تغییراتی در نحوه انتشار آن بوجود آید که امید است اهداف فوق را محقق کند.

در پایان فرصت را مغتنم شمرده فرارسیدن ایام فاطمیه و سالروز شهادت دخت گرامی پیامبر بزرگ اسلام حضرت فاطمه (س) را تسلیت عرض نموده واز درگاه خداوند متعال برای همه عزیزان در سال جدید موفقیت و بهروزی مسئلت می‌نمایم.

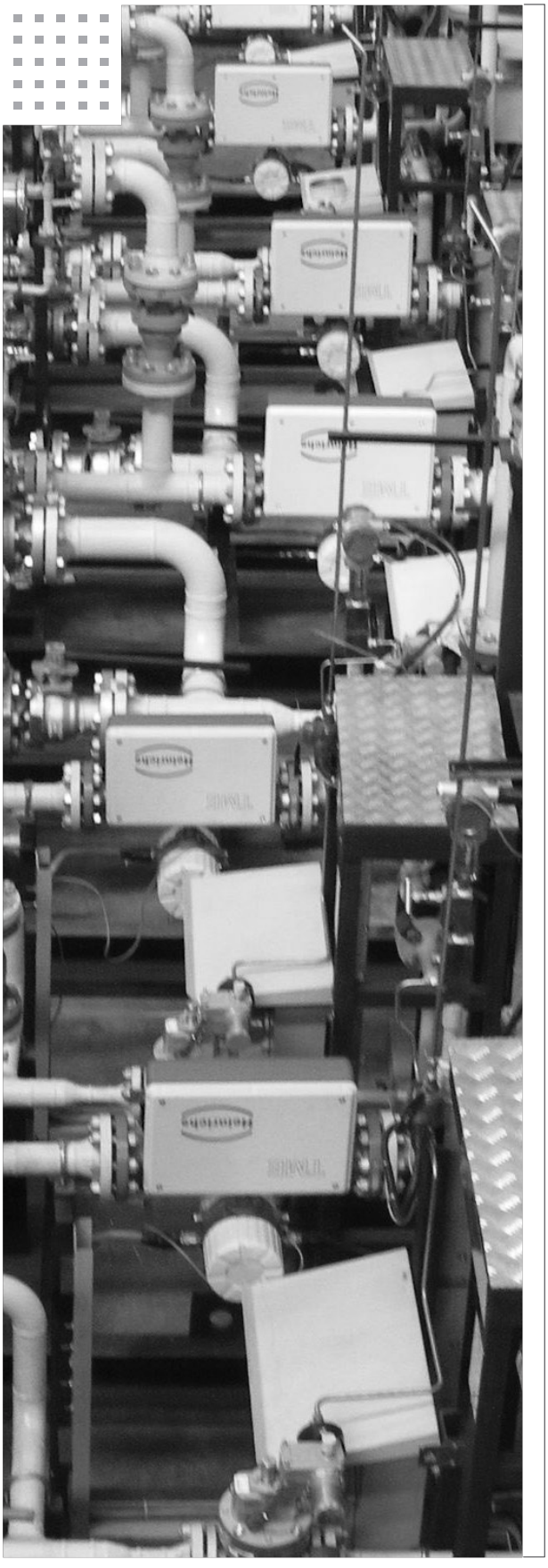
معیارهای گزینش سیستم‌های میترینگ فرآورده‌های نفتی و بررسی خطاهای اندازه‌گیری

شاپور عبدالهی
کارشناس ارشد اندازه‌گیری - شرکت ملی پالایش و پخش



چکیده

در این مقاله ابتدا به شیوه‌های اصلی اندازه‌گیری محموله‌های نفتی پرداخته می‌شود. روش‌های متداول اندازه‌گیری حجم مایعات نفتی عبارتند از: اندازه‌گیری سیال بدون حرکت بر روی مخزن۱و اندازه‌گیری جریان پویای سیال۲. عمق‌یابی مخزن، صرف نظر از تکنولوژی مورد استفاده که یکی از قدیمی‌ترین روش‌های اندازه‌گیری حجمی‌محسوب می‌گردد، هنوز مورد استفاده است. یکی از مهمترین ایرادات وارده بر روش عمق‌یابی این است که همواره امکان راکدنمودن سیال در مخزن جهت اندازه‌گیری وجود ندارد. دیگر روش اندازه‌گیری حجمی‌در حالتی است که سیال در جریان بوده و دارای حرکت باشد. در این روش با اندازه‌گیری شدت جریان سیال و شمارش لحظه‌ای حجم، سعی می‌گردد مقدار کل ارسال یا دریافت آن را نیز محاسبه کند. بطور قطع هر کدام از این روشها مزایا، معایب و محدودیت‌های خود را دارد. در این نوشتار سعی می‌شود معیارهای لازم برای انتخاب بهتر روش اندازه‌گیری سیالات نفتی مورد ارزیابی قرار گیرد. ابتدا روش عمق‌یابی مخازن، بدون در نظر گرفتن تکنولوژی به صورت کلی با جریان سنج‌ها مقایسه شده، مزایا و معایب و خطاهای احتمالی آن بررسی و سپس به بحث در



مـورد نقـاط قـوت و ضعـف جریـان سـنج‌های متـداول پرداختـه شـده و بـا در نظر داشـتن نـوع خطاهـای احتمالی این سیسـتم ها، معیارهـای انتخـاب سیسـتم‌های میترینـگ مطرح خواهند شـد. در نهایـت توصیـه می‌شـود بـرای هیچکـدام از روشـهای اندازه‌گیری ارجحیـت قائـل نشـده و تنها بر اسـاس نیازهـا، شـرایط عملیاتی و معیارهـای مـورد نظـر، سـبک و شـیوه اندازه‌گیری گزینش شـود.

کلمـات کلیـدی: عمق‌یابـی مخازن،جریـان سـنج، معیار،دقت، خطـا، پروفایـل جریان

مقدمه

هدف از اندازه‌گیری چیست؟ آیا اندازه‌گیری به منظور کنترل فرآیند می‌باشد ؟ آیا برای نقل و انتقال و حسابداری مورد استفاده قرار می‌گیرد ؟ آیا سیال پاک می‌باشد یا سیالی است کثیف با ویسکوزیته بالا ؟ انتخاب روش اندازه‌گیری مناسب مستلزم شناخت شرایط عملیاتی و خواص سیال است. این شرایط شامل مواردی چون تخمین دبی، دما و فشار عملکرد، ویسکوزیته و دانسیته می‌باشند. با توجه به این شرایط بهتر است از روش عمق‌یابی مخزن بهره‌ببریم و یا سیستم‌های میترینگ را انتخاب کنیم ؟ کارشناسان ادعا می‌کنند که عملکرد بیش از ۷۵ درصد از فلومیترهای نصب شده در صنعت به صورت کاملاً رضایت بخش نمی‌باشد و ۹۰ درصد از این مشکلات ناشی از انتخاب نامناسب است[۱]. بنابراین بدیهی است، انتخاب فلومتر یک وظیفه کاملاً تخصصی بوده و نباید با این مسئله غیر حرفه‌ای برخورد کرد و یا این وظیفه را به افراد آماتور واگذارنمود. داشتن دانش کافی نسبت به تجهیزات و نحوه عملکرد سیستم‌های اندازه‌گیری از مهمترین نیازهای اولیه در انتخاب جریان سنج می‌باشد. در این مقاله برخی از پرسش‌های اساسی انتخاب روش اندازه‌گیری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

طبقه بندی اصلی روش‌های اندازه‌گیری

جدول ۱- دسته بندی اصلی روشهای اندازه‌گیری سیالات

مبنای مبادله / وضعیت سیال	حجم	جرم
حالت سکون	عمق یابی مخزن	باسکول
جریان پویا	جریان سنج های حجمی	جریان سنج های جرمی

مقایسه روش عمق‌یابی مخزن و سیستم میترینگ

گرایش عمومی، اسـتفاده از جریان سـنج‌ها می‌باشـد امـا باید توجه داشـت، بسـته بـه وضعیـت و شـرایط، می‌بایسـت توانمندی‌هـای

جریان سنج و ژرف سنجی مخزن۱بررسی گردد. منظور از ژرف سنجی مخزن شامل عمق‌یابی دستی و کلیه روش‌های خودکار بوده و عبارت جریان سنج دربرگیرنده تمامی‌سیستم‌های اندازه‌گیری جریان می‌باشد. در این مرحله قصد انتخاب نوع میتر یا عمق سنج را نداشته، تنها در خصوص انتخاب بین جریان سنج و یا ژرف سنجی مخزن، به بحث می‌پردازیم.

توجه داشته باشیم که دقت بالای اندازه‌گیری بستگی به وضعیت هر یک از این سیستم‌ها و نحوه کاربری آنها دارد و حداقل عدم قطعیت در تمامی‌شرایط و توسط کلیه کاربران، قابل حصول نمی‌باشد.

هر یک از روش‌های میترینگ و عمق‌یابی مخزن، خصوصیات منحصر به فردی داشته و طرفداران خود را دارند. اما حسب نوع و تعداد پارامترهای مورد نظر، یکی نسبت به دیگری ترجیح داده می‌شود. چنانچه می‌دانیم دقت و عدم قطعیت کل در تحویل و تحول مواد نفتی تنها یکی از فاکتورهای مهم و تأثیر گذار در انتخاب نوع تکنولوژی است.

تصور کنید انبار نفتی از تعداد کافی مخزن برخوردار است. این مخازن کالیبره شده و مجهز به سیستم خودکار عمق یابی۳ با مجوز تحویل و تحول۲ بوده، و فاقد سیستم میترینگ می‌باشد. حال سؤال این است ؛ آیا می‌توان این سیستم‌ها را مبنای تحویل و تحول قرار داد یا مجبور به خرید سیستم‌های جدید میترینگ می‌باشیم ؟

هزینه ساخت مخزن از پارامترهای مورد بحث نمی‌باشد، زیرا اگر جزء پارامترهای مقایسه قرار می‌گرفت، هرگز ساخت مخزن جهت اندازه‌گیری فرآورده ها، قابل توجیه نبود.

گذشته از فرآیندهای بسیار حساس و خاص، گزینه خرید سیستم میترینگ با کیفیت، تنها برای کاربردهای تحویل و تحول منطقی به نظر می‌رسد و برای استفاده‌های دیگر از قبیل جابجایی‌های داخلی مانند انتقال از مخزنی به مخزن دیگر یا مابین واحدهای عملیاتی، روش عمق‌یابی مقرون به صرفه تر بوده و به احتمال زیاد استفاده از سیستم میترینگ باکیفیت، توجیه‌پذیر نمی‌باشد. اما سیستم‌های میترینگ معمولی با دقت پائین در صورت وجود می‌توانند به منظور افزایش دقت فرآیندی و نظارت پیوسته بر شدت جریان بکار روند.

ارجحیت قائل شدن برای سیستم‌های جریان سنج در مقایسه با عمق‌یابی نوعاً بر مبنای این تفکر بنیادین است که دقت سیستم میترینگ بسیار بالاتر از عمق‌یابی فرض می‌شود در صورتیکه این فرض در برخی مواقع سؤال برانگیز می‌باشد. البته مهمترین توجیه این اندیشه که قابلیت ردیابی تا استاندارد NIST به وسیله پرووینگ میتر و کالیبراسیون پروور با آب۴ می‌باشد، قابل دفاع است. علاوه بر آن اندازه‌گیری درجه حرارت سیال در مسیر جریان و اعمال اصلاحات مربوطه، موجب می‌شود درجه بالایی از قابلیت اطمینان در تحویل و تحول قابل حصول باشد و این از انعطاف پذیری‌های سیستم میترینگ محسوب می‌گردد. هرچند همان درجه دقت، برای اندازه‌گیری مخزن، میسر است، اما عدم قطعیت کل بیشتری در میانگین وزنی کل دماهای نقاط مختلف مخزن وجود خواهد داشت که این مسئله ناشی از لایه بندی‌های عمودی و افقی در برخی از مخازن تحت شرایط خاص می‌باشد. این پارامترعلاوه بر عوامل دیگر ممکن است به تردید در تحویل و تحول حجم‌های کم فرآورده شود. دیگر پارامتری که بیشتر مورد توجه کارشناسان قرار می‌گیرد، قابلیت پروو مجدد یک میتر و کالیبراسیون پروور است در صورتیکه همواره امکان از سرویس خارج کردن یک مخزن جهت کالیبره‌نمودن آن میسر نمی‌باشد.

توجه داشته باشید در صورتیکه میترها به صورت مناسب کاربری و تحت نظر نباشند و به حال خود رها شوند، خطاهایی قابل ملاحظه می‌توانند در اثر فرسودگی میتر و یا تغییرات شدت جریان بر اندازه‌گیری اثر گذارد. علاوه بر اینها تغییرات شدید دانسیته و گرانرویسیال، عوامل محیطی نظیر نویز بر روی سیستم ارسال اطلاعات و لرزش و یا انتخاب ادوات جانبی و نرم افزار نامناسب، می‌توانند عدم قطعیت کل را به میزان قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار دهد. اما مخازن در معرض چنین خطاهای نبوده و جهت تحویل و تحول مناسب تر محسوب می‌شوند. [۱]

عمق‌یابی اغلب برای جابجایی محموله‌های بزرگ انتخاب مناسب بوده و عدم قطعیت کل مربوط به این دست محموله‌ها در محدوده قابل قبول برای تحویل وتحول است. همچنین وقتی فاکتورهایی از قبیل هزینه کل و هزینه کاربری قابل ملاحظه شود، عمق‌یابی گزینه بهتری برای محموله‌های بزرگ می‌باشد.

وقتی اندازه‌گیری به روش عمق‌یابی جهت نقل وانتقال مطرح می‌گردد، مهمترین عواملی که بایستی مورد بررسی قرار گیرند عبارتند از: [۲] و [۳] و [۴] و [۵]

جدول ۲ ـ مهمترین عوامل در روش عمق یابی

عدم قطعیت	خطای محاسبات	خطاهای اندازه گیری	روش اندازه گیری	مخزن
خطاهای سیستماتیک و آنالیز آماری	اصلاح اثر دما آب آزاد اصلاح وزن سقف درجه حرارت بدنه رسوبات	درجه حرارت تکنیک نمونه گیری آنالیز نمونه خطای انسانی	دستی یا اتوماتیک اندازه گیری فضای خالی یا فضای پر	سال ساخت کالیبراسیون تغییرات رسوبات لوله عمق یابی

خطاهای روش استاتیک در تحویل و تحول فرآورده :

خطاهای سیستماتیک

در شرایط و متغیرهای یکسان،مقدار خطای ثابت و قابل پیش بینی بدست می‌آید. به عنوان مثال برخی مؤسسات به طور متوسط این خطاها را مطابق جدول زیر در نظر می گیرند:

جدول ۳ ـ خطاهای سیستماتیک مخزن

اصلاحات	آب آزاد	آب همراه با مواد نفتی	جدول ظرفیت مخزن	دانسیته	درجه حرارت	عمق یابی
۰.۰۷٪	۰.۰۵۳٪	۰.۰۱۵٪	۰.۰۵ – ۰.۲٪	۰.۰۷٪	۰.۰۷٪	۰.۰۵۳٪

خطاهای جعلی

این خطاها را نمی‌توان توسط تحلیل‌های آماری اندازه‌گیری‌نمود. بنابر این امکان ثبت آنها و مشخص‌نمودن درصد (حتی به صورت تقریبی) وجود ندارد. مثال: اشتباه در روش، خطا در قرائت، خطا در ثبت و...

خطاهای اتفاقی

تحت تأثیر عوامل جزیی مستقل ایجاد شده و در صورت تکرار اندازه‌گیری ها، ازحصول نتایج یکسان جلوگیری می کند. [۶] و [۷]

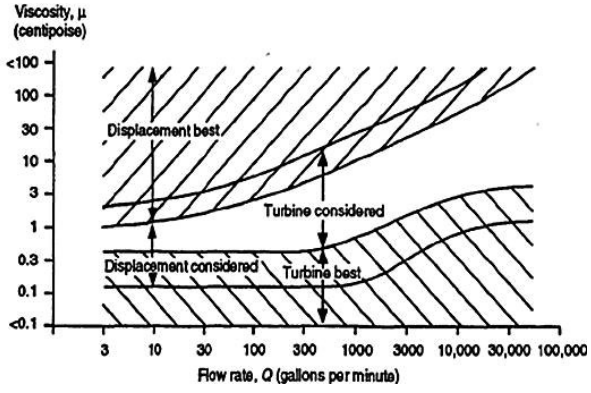
در صورتیکه با در نظر گرفتن توضیحات بالا استفاده از جریان سنج مناسب تر تشخیص داده شد و به این نتیجه رسیدیم که بهره‌گیری از میتر موجب افزایش اطمینان می‌گردد. با انتخاب مهمتری روبرو شده ایم. چه نوع میتری می‌تواند بهترین کارآیی را برایمان داشته باشد ؟ در این قسمت به بررسی معیارهای مورد نیاز برای انتخاب سیستم‌های میترینگ می‌پردازیم.

۲. انتخاب سیستم جریان سنج

بسیار مهم است که قبل از انتخاب نهایی بدانیم یک فلومتر چه کاری را می‌تواند به خوبی انجام دهد و به چه وظیفه‌ای نمی‌تواند به همان خوبی عمل کند. هردستگاه دارای مزایا ومعایبی است ومیزان رضایت عملکرد به طور مستقیم مربوط به کیفیت و قابلیتهای یک ابزار و کاستیها نسبت به نیازهای مطروحه می‌باشد. بسیاری ازسازندگان برای کمک به مشتریان در انتخاب فلومیتر مناسب برای یک کار بخصوص از خود اشتیاق نشان می‌دهند. پرسشنامه ها، چک لیست ها، و برگه‌های مشخصات بسیاری طراحی شده اند تا اطلاعات لازم و حیاتی جهت مطابقت با عملکرد مناسب و صحیح

فلومیتر بدست‌آید [۸]

پیشرفت‌های تکنولوژیک جریان سنج‌ها نیز باید در نظر گرفته شود. برای نمونه، یک اشتباه رایج این است که اگر در گذشته برای یک کاربرد خاص، نوعی میتر بهترین محسوب می‌گردید، امروزه نیز مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری است. برای سالیان متمادی تصور بر آن بود که می‌باید مابین دو نوع میتر جابجایی مثبت و توربینی یکی انتخاب شود. بنابر این با توجه به منحنی پیشنهادی ذیل تلاش می‌شد با توجه به شدت جریان و ویسکوزیته سیال بهترین گزینه، انتخاب شود.



شکل۱- منحنی انتخاب بر اساس ویسکوزیته و شدت جریان سیال

هرچند این منحنی صحیح می‌باشد، ولی سیستم‌ها و تکنولوژی‌های جدیدتر را مورد توجه قرار نمی‌دهد. امروزه حتی تصور آنکه برنامه و شیوه گزینش میتر می‌تواند ثابت و بدون تغییر باقی بماند، اندیشه‌ای نادرست به نظر می‌رسد. زیرا با نوآوری‌ها و تغییرات بسیاری که در سال‌های اخیرجهت توسعه فلومیترها رخ داده است، انتخاب بسیارگسترده ترشده است. از جمله توسعه‌های اخیر، در دسترس بودن برنامه‌های کامپیوتری برای انجام محاسبات طولانی و خسته کننده است[۹]

۲- ۱ مقایسه توانمندی‌های تکنولوژی‌های مختلف و بررسی شرایط سیال

هر نوع جریان سنج، بر پایه یک قانون فیزیکی طراحی و ساخته شده است. تکنولوژی بکار رفته در میتر بستگی به جریان و بعضی وضعیتهای آن دارد لذا لازم است ضمن آشنایی با مکانیسم عملکرد هر یک از این سیستم ها، مقایسه‌ای کلی نیز داشته باشیم تا بتوانیم میتر که حداکثر همخوانی با شرایط عملیاتی و مشخصات فرآورده را داراست، نصب و مورد استفاده قرار دهیم. جداول ۴ الی ۷به مقایسه اجمالی میترها می‌پردازند.

جدول ۴- توانمندی‌های میترهای اختلاف فشار

نوع استفاده		قیمت	معایب		مزایا		محدودیت	دقت	نوع جریان سنج	طبقه
انتقال گاز طبیعی		پائین	تاثیرVis/افت فشار/		تمیز/کثیف		بالادست ۳۰-D ~۱۰	۴٪ (۱٪) ~۲	روزنه ای	
		نسبتا پائین	افت فشار۱۰ تا ۱۵٪ μمحدودیت		تمیز/کثیف/ویسکوزیته بالا/		بالادست ۳۰-D ~۵	۱٪	ونتوری	
		از or بالاتر	درسرعت سیال/اشغال فضای زیاد		افت فشارکمتر از روزنه ای					
	بیشتر برای	ارزانتر از ونتوری	افت فشار بالا / تاثیرویسکوزیته		فضای کم		بالادست ۱۰D		نازل جریان	
	کنترل های	بسیار پائین	دقت پائین	ریشه دوم	تمیز/کثیف/افت فشار اضافی ندارد	تایید بسیاری از صنایع	فاصله مناسب	دریهترین حالت مانند ونتوری	زانویی	اختلاف فشار
	فرایندی مورد	نسبتا پائین	در جریان های پائین‌دقت وقابلیت		سهولت و سادگی در کاربرد			±۳٪ (۱٪)	سطح متغیر	
	استفاده قرار		اطمینان/ابعاد بزرگ نسبت به دبی جریان		مایع/گاز/بخار					
	میگیرند	نسبتا پائین	مناسب شدت جریان کم/برای دانسیته		افت فشار ندارد		دانسیته پائین/هوا		پیتوت	
			متوسط به بالا و رسوب پذیرمناسب نیست							
			هزینه نگهداری بالا(قطعات داخلی)/سایز۲/۱۱/۶		سیالاتی چون بخار خشک		سایز	۰.۵٪	صفحه هدف	

جدول ۵- توانمندی‌های میترهای جابجایی مثبت

نوع استفاده	معایب		مزایا		محدودیت	دقت	نوع جریان سنج	طبقه
تحویل و تحول	امکان لغزش سیال	افت فشار	آشنایی نسبی کارکنان	حساس		۰.۱۵٪	پره های گردان	جابجایی مثبت
	حساس به لرزش/پائین/لغزش/بالا/اشکال در حرکت	عدم	حداقل لغزش سیال	نبودن	سایزهای پائین	۰.۵۰٪	پیستون نوسانگر	
	بازه عملکرد کوچک	کاربرد	لیف گسترده ای از مایعات/اشغال فضای کم	به	حجم نسبتا کم	۰.۵٪ - ۱.۵٪	دیسک رقصان	
تحویل و تحول	افت فشار بالا	در	لغزش سیال بسیار کم است	پروفایل		۰.۱۵٪	چرخ دنده ای	
تحویل و تحول		سیالات	بازه عملکرد وسیع	سرعت		۰.۲٪(۰.۱۵٪)-۰.۵	چرخ دنده بیضوی	
	افت فشار /نامناسب برای جریان زیاد	کثیف	بازه عملکرد وسیع /بازه وسیع µ/		مناسب جریان پائ	۰.۱۰٪	پیستون رفت وبرگشتی	
			حساس نبودن به تغییرات ویسکوزیته		مناسب جریان پائ	۰.۲٪ - ۰.۵٪	روت (دانه لوبیا - ریشه ای)	

جدول ۶- توانمندی‌های میترهای جرمی

نوع استفاده	قیمت	معایب	مزایا	محدودیت	دقت	نوع جریان سنج	طبقه
تحویل و تحول اندازه گیری جرمی ارجح باشد	بالا	رسوب پذیری لوله ها/خوردگی و فرسایش/لرزش/ضربان جریان	تعمیرات کم/احساس نبودن به شکل جریان مایعات و گازها/مستقیما جرم/دانسیته های مختلف	سایز بالای 6in	بالا	کوریولیس	جرمی
اندازه گیری جرمی ارجح باشد/ مسیر هوا در لوله های بزرگ	قیمت خرید متوسط	عدم کاربرد در سیالات کثیف	سازگار با بسیاری سیالات/مستقل از فشار دانسیته ،ویسکوزیته/نداشتن قطعه متحرک	جریان های آشفته گازهای تمیز	بالا	حرارتی	

جدول ۷- توانمندی‌های میترهای سنجش سرعت سیال

نوع استفاده	قیمت	معایب	مزایا	محدودیت	دقت	نوع جریان سنج		طبقه
	نسبتا پائین		سهولت کاربری/کانالهای باز	جریان کم	پائین	چرخ پره دار		سرعت
تحویل و تحول	قیمت خرید متوسط	عدم کاربرد در سیالات کثیف	با بسیاری سیالات سازگار است	جریان های آشفته سیالات ویسکوز	بالا	توربینی		
بیشتر مصارف فرایندی و کنترلی	قیمت اولیه بالا	الکترودها در معرض رسوب صنعت نفت کاربرد وسیع ندارد	عدم ایجاد مانع و بدون ایجاد افت فشار دقت بالا	عدم کاربرد در سیالات هادی	نسبتا بالا	مغناطیسی		
تحویل و تحول کنترلی و فرایندی	قیمت بالا		عدم ایجاد مانع و بدون ایجاد افت فشار وجود تسهیلات گیره ای	سیالات کثیف جریان های آشفته	بالا بسته به مدل	فرا صوتی	ترانزیت تایم	
بیشتر مصارف فرایندی و کنترلی		عدد رینولدز محدود	عدم ایجاد مانع و بدون ایجاد افت فشار سیالات کثیف / سیالات ویسکوز /گیره ای	جریان های آشفته	متوسط به پائین		داپلر	
کنترلی و فرایندی		تابیدهای معدودی/ارتعاش/خوردگی	مایع / گاز / بخار	جریان کم	نسبتا بالا	گردابه سنجی		

تـا اینجـا سنجشـی نسـبی از میترهـای مختلـف صـورت گرفـت ولـی بهتر اسـت سیسـتم‌های مشـابه در عملکـرد، بـه صـورت جداگانه با یکدیگـر مقایسـه شـوند. بـه عنـوان مثال بررسـی‌های صورت گرفته بـر روی فرا صوتی و توربین که هر دو بر اسـاس سـرعت سـیال عمل می‌کننـد، نشـان‌دهنده عملکـرد مشـابه آنها می‌باشـد.

جدول ۸ – مقایسه جریان سنج‌های توربینی و فرا صوتی [۱۰]

نوع اندازه‌گیری	خطی بودن	تکرارپذیری	افت فشار	گران روی
جریان سنج فراصوتی	± ۰.۱۵٪	± ۰.۰۲٪	خیلی کم	از ۰/۱ تا ۵۰۰Cst
جریان سنج توربینی	± ۰.۱۵٪	± ۰.۰۲٪	کم	از ۰/۶ تا ۷۵Cst

امـا چنـد نکتـه در ایـن بررسـی مورد توجه قرار نگرفته اسـت. عدم آشـنایی کارکنان بـا میتر فراصوتـی و قابلیت اطمینـان پائین محصولات برخـی از سـازندگان ایـن میترها اسـت. این دو مسـئله می‌تواننـد دقت اندازه‌گیـری را به شـدت کاهش‌دهند.

از سـوی دیگـر بـازهٔ گسـترده شـدت جریـان در میترهـای آلتراسـونیک نسـبت بـه توبیـن، موجـب می‌شـود در زمـان راه انـدازی جریـان ارسـالی، میتـر آلتراسـونیک زودتـر بـه بـازه عملکـرد خود رسـیده، شـمارش را آغاز نمایـد در حالی کـه توربین میتـر، هنوز به شـدت جریان

عملکرد خود نرسیده باشد. در نتیجه آلتراسونیک حجم بالاتری را شمارش خواهدنمود. به همین ترتیب هنگام قطع جریان، آلتراسونیک دیرتر شمارش خود را قطع خواهدکرد.

جدول شماره ۹

پارامتر	دلایل اهمیت
نوع سیال (مایع ،گاز ، بخار)	ساختار و مبنای تکنولوژیکی میتر
ویسکوزیته	خلاصی پره ها از بدنه و نوع میتر - عملکرد برخی میترها به شدت تحت تاثیر µ قرار می گیرد .
حداکثر و حد اقل شدت جریان	ساختار و مبنای تکنولوژیکی میتر
حداکثر و حد اقل درجه حرارت	
حداکثر و حد اقل فشار کاری	
شرایط محیطی مانند رطوبت و لرزش	با ساختار ، جنس ، حفاظت های سیستم میترینگ
حداکثر افت فشار مجاز	شرایط واحد عملیاتی / تکنولوژی ساختاری میتر
ذرات معلق	تکنولوژی ساختاری میتر / چگونگی طراحی
پروفایل جریان	میتر / مانند تاثیر بر عملکرد Torbine & Orifice
سایز و ابعاد لوله کشی ها	طراحی واحد عملیاتی / محدودیت های ساخت برخی میترها
نحوه ارسال فراورده مستمر یا مرحله ای	سیستم کنترل احتمالی / سیستم شمارنده و فلو کامپیوتر
فضای کافی	محدودیت فضایی جهت خرید سیستم های حجیم
دقت	وابسته به نیاز مالک / ساختار میتر

به یاد داشته باشید، در خوشبینانه‌ترین حالت، انتخاب صحیح نوع جریان سنج تنها یک پنجم مسائل اندازه‌گیری را پوشش می‌دهد. تهیه لیستی از شرایطی که در کار بردهای سیستم دخالت دارند، بسیار حایز اهمیت است. جهت خلاصه‌نمودن این نوشتار،جدول۹ تهیه شده است. این جدول ضمن یادآوری پارامترهای اساسی، به ارتباط آنها با میتر اشاره‌نموده است. احتمالاً می‌توانیم یک یا چند نوع تکنولوژی مناسب با شرایط عملیاتی و مشخصات فرآورده مورد نظر را انتخاب نماییم.

۲-۲ گزینش عملی یک جریان سنج

از این مرحله به بعد می‌توانیم به ۲ صورت اقدام نمائیم:

الف- انتخاب مرحله به مرحله

ب- اهمیت وزنی پارامترها

الف – انتخاب مرحله به مرحله

تهیه لیستی از دلایل اجرائی خود شامل: قابل اطمینان بودن ؛ دقت، تکرار پذیری، دردسترس بودن و سایر موارد. از انواع جریان سنج‌های انتخاب شده که به هدف شما نزدیکترند را انتخاب کنید.

تهیه لیستی از قیمتها که شامل: قیمت اولیه، قیمت مالکیت، قیمت نصب، نگهداری و سایر قیمتها. از مدلهای برگزیده در مرحله قبل مدلی که نظرتان را تأمین میکند، گزینش کنید.

فهرستی از ضوابط سازندگان تهیه نمائید. این ضوابط شامل: نوع جریان سنج، نحوه سرویس دهی، علاقه مندی، آموزش، نیازهای داخلی و سایر موارد می‌شود. از انواع میترهای انتخاب شده در مرحله قبل سازنده‌ای را انتخاب نمائید که به اهداف شما نزدیکتر است.

در انتها و برای انتخاب قطعی میترهایی را که در گام ۴ در لیست شما قرار دارند را مرور کنید و فهرست سازندگانی که مورد توجه شما می‌باشند، مجدداً بررسی نمائید. کار برد، اجرا و قیمت را برای انواع جریان سنج مرور کرده و بهترین را انتخاب کنید.

ب-اهمیت وزنی پارامترها

در این روش تمامی‌پارامترهایی که برایتان با اهمیت محسوب می‌شود را در جدولی قید نمائید. با توجه به درجه اهمیت هر کدام از پارامترها، عددی مابین صفر تا ۵ اختصاص دهید. نمونه زیر میانگین نظر کاربران را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰ – حداکثر، حداقل و میانگین وزنی اهمیت

حداکثر	حداقل	درجه اهمیت	معیار
۵	۴	۴.۸۱	قابلیت اطمینان
۵	۴	۴.۸	سازگاری
۵	۳.۸	۴.۷	جلوگیری از خطای انسانی
۵	۴	۴.۷۸	تکرار پذیری
۵	۲	۴.۶۹	کاربرد
۵	۳	۴.۶۷	پشتوانه علمی
۵	۴	۴.۶	علاقه مصرف کننده
۵	۱	۴.۴۵	دقت
۵	۳	۴.۳	تعمیرات
۵	۳.۲	۴.۴	نیاز به آموزش
۵	۱	۳.۷۷	قیمت

فرض کنید دو سازنده مختلف، به ترتیب میترهای A و B با مشخصات متفاوت را پیشنهاد داده اند. اکنون می‌بایست ضوابط، شرایط و چگونگی خدمات سازندها را مطابق لیست اهمیت خودمان وزن دهی کنیم. به عبارت دیگر کیفیت، برآورده ساختن نیازهای ماست که میزان پاسخگویی هر یک از محصولات را تعیین می‌کند.

جدول ۱۱ – درجه اهمیت هر پارامتر و میزان پاسخگویی

معیـــار	درجه اهمیت	میزان پاسخگویی A	میزان پاسخگویی B
قابلیت اطمینان	۴.۸۱	۴	۴.۳
سازگاری	۴.۸	۴.۱	۴.۱
جلوگیری از خطای انسانی	۴.۷	۲.۵	۲.۹
تکرار پذیری	۴.۷۸	۳.۸	۳
کاربرد	۴.۶۹	۲	۳.۲
پشتوانه علمی	۴.۶۷	۳.۸	۳.۳
علاقه مصرف کننده	۴.۶	۴.۲	۴.۱
دقت	۴.۴۵	۳.۷	۳.۶
تعمیرات	۴.۳	۳	۴.۲
نیاز به آموزش	۴.۴	۴.۶	۲.۵
قیمت	۳.۷۷	۴	۲.۵

در گام مهـم بعـدی، درجـه بنـدی اهمیـت هـر یـک از پارامترها را بـه صـورت اسـتاندارد بیان می‌کنیـم(مجموع ۱ شـود) تـا بتوانیم درک صحیـح تـری از درجـه اهمیت‌هـا داشـته باشـیم. سـپس بـا ضـرب میـزان پاسـخگویی هر یـک از پارامترهـا در درجـه اهمیت اسـتاندارد، به میزان پاسـخگویی اسـتاندارد دسـت خواهیم یافت. با جمـع کردن ارقـام حاصله، مجموع پاسـخگویی اسـتاندارد هر میتر محاسـبه می‌گردد.

$$IDS_N = \frac{ID_N}{\sum ID} \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

درجه اهمیت = IDN

درجه اهمیت استاندارد = IDSN

بـا ضرب کـردن IDS در میزان پاسـخگویی به هر یـک از معیارها، پاسـخگویی رقابتی میتـر برای آن معیار بدسـت می‌آید.

$$CR_N = IDS_N \times R_N \qquad (۲)$$

که در این رابطه: پاسخگویی رقابتی یک معیار= CRN

میزان پاسخگویی یک معیار = RN

جدول ۱۲– محاسبه پاسخگویی رقابتی دو سیستم A و B

معیـــار	ID درجه اهمیت	IDS درجه اهمیت استاندارد	RA پاسخگویی A	CRA پاسخگویی رقابتی A	RB پاسخگویی B	CRB پاسخگویی رقابتی B
قابلیت اطمینان	۴.۸۱	۰.۰۹۶	۴	۰.۳۹	۴.۳	۰.۴۱
سازگاری	۴.۸	۰.۰۹۶	۴.۱	۰.۳۹	۴.۱	۰.۳۹
جلوگیری از خطای انسانی	۴.۷	۰.۰۹۴	۲.۵	۰.۲۴	۲.۹	۰.۲۷
تکرار پذیری	۴.۷۸	۰.۰۹۶	۳.۸	۰.۳۶	۳	۰.۲۹
کاربرد	۴.۶۹	۰.۰۹۴	۲	۰.۱۹	۳.۲	۰.۳۰
پشتوانه علمی	۴.۶۷	۰.۰۹۳	۳.۸	۰.۳۶	۳.۳	۰.۳۱
علاقه مصرف کننده	۴.۶	۰.۰۹۲	۴.۲	۰.۳۹	۴.۱	۰.۳۸
دقت	۴.۴۵	۰.۰۸۹	۳.۷	۰.۳۳	۳.۶	۰.۳۲
تعمیرات	۴.۳	۰.۰۸۶	۳	۰.۲۶	۴.۲	۰.۳۶
نیاز به آموزش	۴.۴	۰.۰۸۸	۴.۶	۰.۴۱	۲.۵	۰.۲۲
قیمت	۳.۷۷	۰.۰۷۵	۴	۰.۳۰	۲.۵	۰.۱۹
جمع کل	۴۹.۹۷	۱		۳.۶۰		۳.۴۴

در پایان با مقایسه مجموع پاسخگویی‌های استاندارد، سیستمی‌را گزینش می‌کنیم که امتیاز بالاتری کسب‌نموده. ممکن است شما به هر دلیلی برخلاف امتیازات فوق یکی را انتخاب کنید. به هر حال حق انتخاب با شماست.

۲-۳ بررسی معیارهای انتخاب

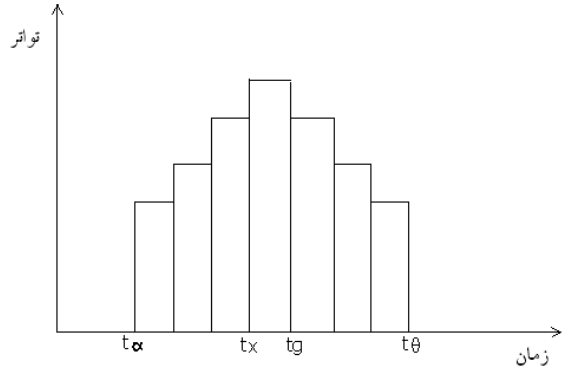
دراکثر مواقع، شرکت‌ها جریان سنجی را انتخاب می‌کنند که تجربه استفاده از آن را دارند. دلایلی برای این امر وجود دارد از جمله وجود قطعات یدکی و گران بودن هزینه آموزش کارکنان. البته تغییر دادن نوع جریان سنج گاهی مستلزم انتخاب سازنده‌ای دیگر است که مشکلاتی در پی خواهد داشت. این دلایل می‌تواند توجیهی باشد بر اینکه چرا جریان سنجهای قدیمی‌هنوز کاربرد وسیعی دارند. معیارهای تأثیر گذار در انتخاب سیستم میترینگ را اندکی توضیح می‌دهیم.

۲-۳-۱ قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان عبارت است از احتمال اینکه موجود (سیستم) کار مورد نظر را تحت شرایط معین و در فاصله زمانی مشخص بدون خرابی انجام دهد. توجه شود در بحث قابلیت اطمینان، منظور از یک موجود، قطعه، کالا و یا سیستم مورد نظر می‌باشد. بیشتر مردم، نظری منطقی در خصوص قابلیت اطمینان دارند. بدین صورت که بعضی دستگاه‌ها که توقفی نداشته باشند و یا اختلالی در عملکرد آنها رخ ندهد، قابل اطمینان محسوب می‌شوند.

بنابراین چگونه این مسئله را به جریان سنج‌ها تعمیم دهیم ؟ جدول شماره ۱۰ نشان‌دهندهٔ این مسئله است که چگونه مصرف کنندگان جریان سنج، در خصوص قابلیت اطمینان میاندیشند. مهمترین ایده آن است که میتر توقف نداشته و به کار خود ادامه دهد. از نظر دیگر قابلیت اطمینان یعنی عدم بوجود آمدن نقص و توانایی انجام کار به نحو مطلوب.

خراب شدن جریان سنجها یک حالت کاملا" تصادفی است. توجه داشته باشید خرابی یک میتر به مفهوم از کار افتادن کامل آن نمی‌باشد و باعث بروز افزایش خطاهای اندازه‌گیری از جمله موارد خرابی این نوع سیستم محسوب می‌گردد. اگر تعدادی جریان سنج یکسان را در نظر بگیریم مسلم است که همه آن‌ها زمانی از کار خواهند افتادو با این که همه این تجهیزات یکسان می‌باشند لیکن امکان زیادی دارد که همه آنها در یک واحد زمانی مشخص از کار نیفتند. لذا با دانستن تعداد ساعات کارکرد تا زمان از کار افتادگی، مبادرت به نمایش این حالات با " هیستوگرام " می‌نماییم .

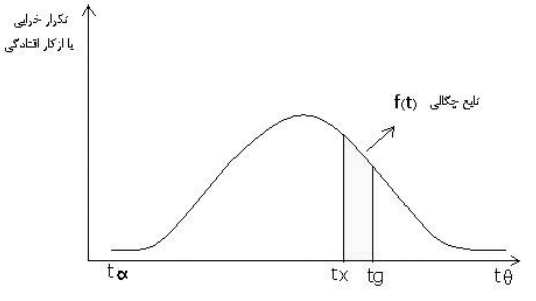


شکل شماره ۲

مسلم است مساحت نشان داده شده در فاصله زمانی مشخص نمایانگر تواتر نسبی از کار افتادگی است که در این فاصله اتفاق افتاده است. اگر بخواهیم احتمال از کار افتادگی یا خرابی ماشین را بین فاصله tx و tg تعیین کنیم به سادگی می‌توانیم حاصل ضرب ارتفاع در فاصله زمانی tg - tx را بدست آوریم.

در حقیقت شکل ۲ گویای احتمال خرابی بین t و tΔt+ است که به ترتیب زمان اول و زمان دوم نامگذاری گردیده است. و مقدار احتمال کل برابر واحد می‌باشد. به عبارت دیگر با اطمینان کامل می‌توانیم ادعا کنیم که در این مدت زمان، بطور صد در صد از کار افتادگی اتفاق خواهد افتاد.

از آنجا که توابع چگالی احتمال، در فرم کلاسیک دارای قابلیت آنالیز خوبی می‌باشد، لذا در بررسی مسائل نگهداری و تعمیرات، نباید تنها به هیستوگرام فراوانی اکتفانمود. تابع چگالی احتمال معمولاً شبیه هیستوگرام نسبی است به جز آن که به حالت پیوسته نمایش داده می‌شود.



شکل شماره ۳

با توجه به شکل ۳ احتمال آنکه یک خرابی در فاصله زمانی t x و t g اتفاق بیفتد برابر با مساحت هاشور خورده زیر منحنی است. مساحت این بخش از منحنی عبارت است از:

$$\int_{tx}^{tg} f(t)dt \qquad (۳)$$

تابع قابلیت اطمینان :

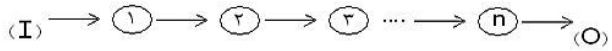
تابع قابلیت اطمینان از تجمع توابع چگالی احتمالی بوجود می‌آیدکه گاهی آنرا توابع بقاء (Survival Function) نیز نامیده اند. این تابع در حقیقت تعیین می کند که با چه احتمالی یک جریان سنج دارای عمر باقی مانده در مقطع معینی از زمان می‌باشد. قابلیت اطمینان را با R(t) نشان داده و عبارت است از:

$$R(t) = \int_{t}^{x} f(t)dt \qquad (۴)$$

واضح است که R(t) = 1- f(t) بوده و اگر t به سمت بی نهایت میل کند R(t) به سمت صفر میل خواهد کرد.

با توجه به آنکه مکانیزم جریان سنج سیستمی‌مرکب محسوب می‌شود، بررسی قابلیت اطمینان می‌بایست شامل چند جزءتشکیل‌دهنده باشد. لذا می‌توان حالات زیر را متصور بود :

سیستمهای سری :



شکل شماره ۴

سیستمهایی که عموماً از اجزای بسیاری تشکیل یافته و بصورت سری با یکدیگر در ارتباطند. در این نوع سیستمها اگر یکی از اجزاء از کار بیفتد باعث از کار افتادگی کل سیستم می‌شود و لذا در این حالت کل سیستم از قابلیت اطمینان پایینی برخوردار خواهد بود مگر اینکه تک تک اجزاء از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشند تا پویایی و دوام کل سیستم حفظ شود. قابلیت اطمینان چنین سیستمهایی (با فرض از کار افتادگی مستقل هر یک از اجزاء) از رابطه زیر بدست می‌آید:

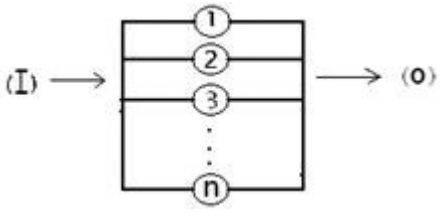
R_s=R_1 R_2 R_3... R_n

به عبارت دیگر :

$$R_s = \prod_{1}^{n} R_i \qquad (۵)$$

بدیهی است در یک سیستم اندازه‌گیر خودکار، هر کدام از اجزاء دچار نقصان در عملکرد شود، خطای سیستم بالا رفته، قابلیت اطمینان کل را کاهش می‌دهد. این اجزاء شامل مواردی چون اندازه‌گیری حجم ناخالص توسط میتر، سنجش درجه حرارت، فشار، نمونه‌گیری و تست دانسیته، انتقال اطلاعات به اتاق کنترل، تبدیل پالسها به حجم، خطای انسانی(در صورت دخالت)، انجام محاسبات اصلاح حجم و. می‌باشد.

سیستمهایی موازی :



شکل شماره ۵

اینگونه سیستمها معمولاً به عنوان سیستمهای رزرو یا اضافی نیز تعریف می‌شوند و در آن اجزاء بصورت موازی با یکدیگر در ارتباطند و در مواقعی بکار می‌روند که قابلیت اطمینان انفرادی اجزاء به خودی خود زیاد نبوده و برای داشتن دوام قابل قبول یک یا چند جزء سیستمهای جریان سنج با روش موازی با هم ارتباط می‌یابند تا دوام موردنیاز حاصل شود. تحت این شرایط قابلیت اطمینان کل عبارت است از:

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i) \qquad (۶)$$

لازم به ذکر است در بسیاری از موارد جهت افزایش قابلیت اطمینان در سیستم‌های میترینگ، اقدام به نصب سیستم رزرو به صورت کامل نمایند و توصیه استانداردهای مربوطه (ISO - API) به تعداد n+1 میتر می‌باشد. [۱۱] و [۱۲]

۲-۳-۲ سازگاری

ایده سازگاری در مورد مقایسه چگونگی کار جریان سنج‌ها با یکدیگر ضمن در نظر گرفتن سایر انواع تجهیزات، مطرح می‌گردد. بهترین حالت آن است که میتر با فرآیند عملیاتی و سایر تجهیزات موجود سازگاری داشته باشد.

یک پیشرفت بزرگ در چند سال اخیر این است که تولید

کننـدگان میترهـا در تلاشـند تـا ادوات جانبی مـورد نیاز، بـا ادوات قدیمـی، سـازگار باشـند تـا آنجـا که حتـی احتیـاج به فونداسـیون جداگانه نداشـته باشـند.

۲-۳-۳ تکرار پذیری

یکـی از مفاهیـم بسـیار مهم می‌باشـد کـه بایـد آن را از دقت مجزا دانسـت. میـزان نزدیکی ارقام اندازه‌گیری شـده یـک کمیت معلوم توسـط یک شـخص، با یـک ابزار ثابـت در یک زمان نسـبتاً کوتاه. اختـلاف بیـن دواندازه‌گیـری به دسـت آمده تحت شـرایط مشـابه در سـطح اعتماد ۹۵ درصد. [۱۳]

$$Rep.\% = \frac{Max. - Min.}{Min.} \times 100 \qquad (۷)$$

۲-۳-٤ جلوگیری از خطای انسانی

یکـی از مهمتریـن مزایای بهره‌گیری از سیسـتم‌های خودکار، عدم ورود خطـای انسـانی اسـت. خطـا در قرائـت حجم، درجـه حرارت، فشـار سـیال، تبدیـل و اصلاحـات حجمـی‌از مهمترین این دسـت خطاهـا می‌باشـند. بـا این حال برخـی از سـازندگان تکنولوژی‌های جدیـد میترینگ، نـرم افزار کامپیوتـر مربوطه را وابسـته به عملکرد اپراتـور طراحـی کـرده انـد وایـن مـورد ضمن ایجـاد امـکان خطا، موجـب کاهـش قابلیـت اطمینان نیز خواهد شـد.

۲-۳-۵ کاربرد

می‌توان از دو منظر به این پارامتر نگاه کرد :
الف – استفاده آسان و سهولت در کاربری
ب– انعطاف پذیری و مطابقت با شرایط کاربری

۲-۳-٦ پشتوانه علمی

دانـش فنـی می‌توانـد از معیارهـای مهـم در انتخـاب باشـد. ایـن عامـل می‌توانـد نقش بیشـتری درتصمیم‌گیـری " انتخـاب از میان سـازندگان جریـان سـنجها " ایفـا کنـد تا نسـبت بـه تصمیم‌گیری راجـع بـه نوع جریان سـنج برخـی از شـرکت‌ها تـلاش می‌کنند با ارائـه پشـتیبانی بهتر، سـعی در جلـب نظر مشـتریان دارند.

۲-۳-۷ علاقه مصرف کننده

می‌تواند نتیجه یک یا چند دلیل متفاوت باشد :
جذابیـت تکنولـوژی – آسان‌سـازی عملکـرد – آشـنایی قبلـی بـا سیسـتم (بهره‌بـردار – تعمیـرات – مهندسـی)
امـا ایـن فاکتـور عمومـاً بعـد از تصمیم‌گیـری در خصـوص نـوع جریـان سـنج انجـام می‌گـردد.

۲-۳-۸ دقت

انطبـاق یـا نزدیکـی کمیـت اندازه‌گیـری شـده با مقـدار واقعـی (یا مقـدار اسـتاندارد). مقـدار خطـا از رابطـه زیـر بدسـت می‌آید :

$$E = A - B \qquad (۸)$$

و درصد خطا :

$$E\% = \frac{A - B}{B} \times 100 \qquad (۹)$$

که در این رابطه: مقدار اندازه‌گیری شده = A مقدار استاندارد = B

۲-۳-۸-۱ تقسیم بندی خطا از نظر منشاء

خطاهـای قابـل کنترل: تمـام این خطاهـا باید تعیین شـوند. نباید از مقـدار خطای مجاز تجـاوز نماید.
خطاهـای تصادفـی: علت این خطاهـا را نمی‌توان مشـخص کرد. اندازه‌گیری‌های بدسـت آمـده بصورت توزیع نرمال هسـتند.
مـوارد بسـیاری می‌تواننـد بـر روی عملکـرد میترهـا اثـر گذاشـته، خطـای اندازه‌گیـری را افزایش‌دهنـد.

۲-۳-۸-۲ اثـر پروفایـل سـرعت و جریانهای گردابی بـر روی دقـت اندازه‌گیری

بـرای اندازه‌گیـری دقیـق جریـان نیاز اسـت کـه پروفایل سـرعت بـه طـور کامـل بهبود یابـد بـه صورتیکه جریـان قابل پیـش بینی و بـدون اعوجـاج۱ باشـد. در واقـع پمپ هـا، شـیرآلات و اتصالات ماننـد زانویـی در پروفایـل سـرعت سـیال ایجـاد اعوجـاج کـرده، می‌توانـد جریان‌هـای گردابـی۲ ایجـاد کنـد.

بـرای اجتنـاب از ایـن مشـکل میتـر بایـد بـالا دسـت کنتـرل ولو قـرار گیـرد. یـک اسـتراتژی بـرای حـذف جریانهای آشـفته، نصب حالت‌دهنـده جریـان در بـالا دسـت میتـر می‌باشـد. در خطـوط

انتقال با قطر بالا، خطای ناشی از آشفتگی جریان، بسته به شرایط می‌تواند تا ۴٪ افزایش یابد. [۱۴]

اثر پروفایل جریان بر اریفیس میتر

یک میتر روزنه‌ای اختلاف فشار بین دو نقطه از لوله را که با نصب یک اریفیس ایجاد می‌شود را اندازه‌گیری می‌کند. از آنجا که میتر با ایجاد اختلاف فشار و اندازه‌گیری آن عمل می‌کند، پروفایل سرعت با شکل متداول آن متفاوت خواهد بود. تصور کنید جریانی که خود دارای پروفایل آشفته و جریانهای گردابی است، وارد این اریفیس شود. مسلماً تأثیر متقابل پروفایل جریان رودی با اریفیس، رژیم جریان را تغییر خواهد داد. بنابر این جریانهای آشفته موجب تغییر شکل جریان خروجی و جریانهای چرخشی شده، فشار سنج‌ها را تحت تأثیر قرار خواهند داد. به طبع محاسبه شدت جریان نیز دچار خطا در اندازه‌گیری خواهد شد.

اثر پروفایل جریان بر توربین میتر

با توجه به اینکه میتر توربینی شدت جریان خط را از سرعت سیال بدست می‌آورد، تصور تأثیر پروفایل جریان آشفته راحت تر است. روتور توربین تقریبا ۱۰۰درصد حرکت چرخشی جریان را اندازه‌گیری می‌کند اما عدم تعادل جریان ورودی به دهانه توربین و وجود جریانهای گردابی، بر روی روتور میتر اثر گذاشته و موجب افزایش خطای اندازه‌گیری تا ۲/۵درصد می‌شود.

اثر پروفایل جریان بر میتر فرا صوتی

میترهای آلتراسونیک نوع ترانزیت تایم۱ مدت زمان حرکت یک پرتو فراشنوایی۲ در عرض لوله را که از یک طرف به سمت دیگر ارسال می‌شود را اندازه‌گیری کرده، شدت جریان را برآورد می‌نماید. پرتو ارسالی حساسیت بالایی در مرکز لوله دارد و هرچه به سمت جداره لوله نزدیک می‌شود، حساسیت کمتری از خود نشان می‌دهد لذا جریان‌های گردابی موجب خطا در محاسبه زمان حرکت پرتو خواهد شد و در پی آن، سرعت حرکت سیال با خطا برآورد می‌گردد. [۱۵] و [۱۶]

۲-۳-۸ - ۳ اثر ویسکوزیته بر روی دقت اندازه‌گیری

ویسکوزیته یکی ازعوامل مهمی‌است که عملکرد فلومیتر را تحت تأثیرقرارمی‌دهد. مکانیسم اثر ویسکوزیته بر عملکرد میترهای توربینی هنوز به طورکامل شناخته نشده است. افزایش ویسکوزیته، موجب می‌شود متوسط ضریب تصحیح میتر کاهش یابد، درحالیکه خطای خطی افزایش خواهد یافت. [۱۷]
ویسکوزیته سیال بر تمام سطوح در حال حرکت میتر اعمال می‌شود. نیروی کششی توسط سیال در داخل یاتاقان و در فضای بین نوک پره‌های روتور و محفظه میتر عمل می‌کند. نیروی ویسکوزیته وارد بر روی سطوح تیغه‌ها ناشی از دو نیرو حاصل می‌شود، یکی نیروی محوری پس ران و دیگری کند کننده گشتاور روتور. بدلیل وجود همین نیروها چرخش روتور، با همان سرعت چرخش روتور در یک مایع با ویسکوزیته پایین تر نیست. در واقع روتور در جریان سیال لغزش می‌کند و سطح پره‌ها سیال را کمی‌منحرف می‌کند. انحراف مایع توسط تیغه‌های روتور باعث تغییر درحرکت سیال و نیروی حاصل بر روی تیغه‌های روتور می‌شود. در نتیجه موجب افزایش خطای میتر می‌گردد. [۱۸]

۲-۳-۸ - ٤ درجه حرارت

خطای ایجاد شده در اثر درجه حرارت، می‌تواند تا ۵درصد باشد. این خطا می‌تواند در اثر نصب اشتباه ترموول، خطای حرارت سنج، خطای استفاده از جداول اصلاح حجم، انتقال اطلاعات به اتاق کنترل یا فلوکامپیوتر، باشد. [۱۹]

۲-۳-۸ - ۵ نصب و راه اندازی نامناسب جریان سنج

درصد بالایی از خطاهای جریان سنج، به دلیل نصب نادرست می‌باشد که باعث می‌شود اندازه‌گیری جریان نادرست و غیر قابل اعتماد گردد. برای دست‌یابی به بهره‌برداری بهینه، مهمترین مرحله که اغلب نادیده گرفته می‌شود، نصب و راه اندازی مناسب آن است. برای جلوگیری از نصب نادرست میتر مواردی چون: تراز بودن، جهت میتر، رعایت طول لوله بالادست و پائین دست مورد نیاز، هندسه لوله کشی بالادست میتر،مکان فیلتر،تأثیر احتمالی ارتعاشات، دسترسی تعمیراتی به میتر و. می‌توانند در یک چک لیست ثبت شوند. در صورت توجه مناسب به نصب و محیط اطراف می‌توان از خطاهای ناشی از نصب نادرست یا عوامل محیطی پرهیز کرد. [۲۰]

۲-۳-۸ - ٦ ضربان در جریان

جریان ضربان دار اغلب در بخشهایی مانند صنایع پالایشی،

پتروشیمی‌و انبار نفت‌ها مواجه می‌شوند. آنها به طور کلی توسط پمپ، کمپرسور، موتورهای دوار تولید می‌شوند. در این حالت تغییرات شدیدی در فشار خط بوجود نمی‌آید ولی نوسانات موجی در سیال پدید می‌آید. حتی یک شیر آب یا ارتعاشات لوله می‌تواند ضربان جریان ایجاد کند. جریان ضربان دارمنبع خطاهای مختلفی دراندازه‌گیری جریان است. [۲۱]

۲-۳-۸-۷ تعمیر و نگهداری

مفهومی‌نزدیک با قابلیت اطمینان داشته و مسئله مهم کیفیت عملکرد می‌باشد. ببطوریکه سیستم بدون نیاز به تعمیرات وسیع، عملکردی مناسب داشته باشد. به عبارت دیگر مدت زمانی طولانی و به صورت مستمر به کار خود ادامه‌دهند.
عوامل متعددی بر روی طول عمر مفید یک جریان سنج و نیازمندی‌های تعمیر و نگهداری آن اثر می‌گذارند. مطمئناً مهمترین عامل، بهره‌گیری از ابزار صحیح برای کاربردی خاص می‌باشد. انتخاب نامناسب تجهیزات، همواره باعث خودنمایی زودهنگام مشکلات خواهد شد. جریان سنج فاقد اجزاء متحرک معمولا نسبت به سیستم‌های متحرک، نیاز کمتری به نگهداری و تعمیرات دارد. اما تمامی‌میترها به نوعی نیازمند تعمیرات و نگهداشت می‌باشند. [۲۲]

۲-۳-۸-۸ قیمت

نکته‌ای جالب در جدول شماره ۱۰وجود دارد. در حالی که قیمت، فاکتوری مهم محسوب میگردد ولی در جدول نسبت به سایر فاکتورها وزن کمتری دارد. طی بررسی انجام شده از کاربران در سال ۱۹۹۴ قابلیت اطمینان و دقت دو فاکتور خیلی مهم بودند و قیمت کمترین اهمیت را داشت. عوامل تأثیر گذار بر قیمت شامل این موارد می‌باشد: قیمت نصب – بهای تجهیزات جانبی و نرم افزاری – هزینه آموزش کاربران– هزینه انبار داری – هزینه حمل و نقلتمامی‌فاکتورهای مذکور باید به هنگام تصمیم‌گیری خرید جریان سنج در نظر گرفته شوند و این دلیلی است که بیشتر مصرف‌کنندگان به مواردی فراتر از قیمت خرید اولیه میاندیشند.

۳ – نتیجه‌گیری

معیارهای زیادی برای انتخاب بهتر روش اندازه‌گیری سیالات نفتی مطرح می‌باشند. روش عمق‌یابی مخازن با تکنولوژی‌های مختلف سطح سنجی که از قدیمی‌ترین روش‌های اندازه‌گیری سیالات می‌باشد، کماکان مورد استفاده قرار می‌گیرد و همواره می‌تواند یکی از گزینه‌های مطرح باشد. چنانچه با در نظر گرفتن کلیه شرایط استفاده از سیستمهای میترینگ مناسب تر شناخته شد، مقایسه جریان سنج‌ها با یکدیگر، بررسی مزایا و معایب و خطاهای احتمالی آنها مبنای انتخاب میتر قرار می‌گیرند. در نهایت توصیه می‌شود برای هیچکدام از روشهای اندازه‌گیری ارجحیت قائل نشده و تنها بر اساس نیازها، شرایط عملیاتی و معیارهای مورد نظر، سبک و شیوه اندازه‌گیری گزینش شود.

مراجع

[۱] – Steward -Ken A. -The Economics of Lease Automatic Custody Transfer
[۲]- API - MPMS - Ch. 3
[۳]- API - MPMS - Ch. 7
[۴]- API - MPMS - Ch. 8
[۵]- API - MPMS - Ch. 9
[۶]- British Petroleum Ch. 7
[۷]- API-MPMS Ch. 13
[۸]- ITA. Technical Committee (Instrumentation Testing Association) Flow meters for System Applications
[۹]- Jones -Frank E. - Techniques & Topics in Flow Measurement
[۱۰] قضایی پور امینی – پژمان – مقایسه جریان سنج‌های توربینی و فراصوتی
[۱۱] طباطبایی – لیلا / کرباسیان – مهدی – آشنایی با قابلیت
[۱۲] اطمینان مقدس – مهدی – جزءه آموزشی قابلیت اطمینان
[۱۳]- API - MPMS Ch. 13 - Sec. 1
New Aspects of Flow Measurement Errors Spitzer-
[۱۴]-David w. - Furness- Richard,
[۱۵]- Rans-Rick - RANSolutions Sawchuk- Blaine , Canada Pipeline Accessories, Weiss- Marvin- Coanda Research & Development Corp , Flow Conditioning and Effects on Accuracy for Fluid Flow Measurement
[۱۶]- Salami - L. A - BTech Mech , PHD ,CEng , Analysis of swirl, viscosity and temperature effects on turbine flowmeters
[۱۷]- Guo a,b, Suna, a,b,n, LijunSun, TaoZhang a,b, WenliangYang a,b, ZhenYang a,b, Analysis of viscosity effect on turbine flowmeter performance #
[۱۸]- Baker, Roger C. , Flow Measurement Handbook
[۱۹]- Scheller , Gerd, Error Analysis of a Temperature Measurement System
[۲۰]- RajanBatra, Flow measurement common mistakes, corrective actions
[۲۱]- J. Berrebi, J. van Deventer, J. Delsing, Reducing the Flow Measurement Error Caused by Pulsations in Flows
[۲۲]- Flow measurements , Prof. Dr. Nabil Abdel Aziz Mahmoud

اهمیت میترینگ در شرکت ملی نفت ایران، وضعیت موجود و چشم انداز آتی

صادق صالحی - علیرضا کمیزی
مدیریت نظارت بر تولید نفت و گاز شرکت ملی نفت ایران

چکیده

صیانت از دارایی‌های عمومی‌در مبادلات نفتی، مشروط به اندازه‌گیری دقیق مقدار آنها است. با توجه به حجم و ارزش بالای تولیدات شرکت ملی نفت ایران، زیان مالی ناشی از عدم دقت در میترینگ چشمگیر خواهد بود.

در این مقاله به موارد استفاده از میترها در بخش‌های مختلف صنعت نفت اعم از بالادست، مبادلات داخلی و مبادلات fiscal پرداخته می‌شود. در ادامه وضعیت موجود و چشم انداز آتی این بخش بیان می‌گردد و پیشنهاداتی در جهت بهبود وضعیت موجود ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: میترینگ، صنعت نفت، چشم انداز.

۱. مقدمه

اهمیت میترینگ در صنعت نفت به اهمیت حفظ منافع ملی برمی‌گردد. از آنجا که تولیدات شرکت ملی نفت ایران مانند نفت خام، گاز، میعانات گازی و. متعلق به همه مردم می‌باشد، صیانت دقیق از این داراییهای عمومی‌از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا یکی از مهمترین اقدامات لازم، اندازه‌گیری دقیق این محصولات در مبادی فروش(شامل صادرات و فروش داخلی) می‌باشد. در گذشته میترینگ دقیق، کمتر مورد توجه قرار گرفته است و اغلب تنها در مبادی صادرات به اندازه‌گیری دقیق مواد هیدروکربنی توجه شده که ریشه اصلی این امر دولتی بودن اغلب مجموعه‌های دریافت کننده مواد نفتی بوده است. در چنین شرایطی مبادلات مواد نفتی در داخل شرکت‌های زیرمجموعه وزارت نفت بوده و مبادلات مواد نفتی بین شرکت‌های دولتی وابسته به وزارت نفت انجام می‌شده است.

در شرایط کنونی و با توجه به الزامات قانونی مبنی بر تحقق خصوصی‌سازی و اجرای اصل ۴۴ قانون اساسی، بسیاری از واحدهای مصرف کننده مواد هیدروکربنی مانند پتروشیمی‌ها و پالایشگاه ها خصوصی شده اند و یا در آستانه خصوصی‌سازی هستند از اینرو به دلیل نیاز به حداکثر دقت و شفافیت در مبادلات مالی مواد نفتی، اهمیت میترینگ دقیق نمایان می‌شود.

۲. میترینگ و اهمیت آن در شرکت ملی نفت ایران

برنامه ریزی و طراحی چشم انداز آینده یک سیستم، منوط به دانستن وضعیت کنونی آن سیستم است. در این بخش به بررسی اهمیت و موارد کاربرد میترها در صنعت نفت و وضعیت میترینگ در شرکت ملی نفت ایران پرداخته می‌شود.

۲-۱. فرآیندهای بالادست و استفاده از میترها

شرکت ملی نفت ایران با توان تولید خود، در کل زنجیره

تولیـد، توزیـع و صادرات، به طور گسـترده از میترهـای مختلف و با دقت‌هـای متفـاوت اسـتفاده می کند.

■ مهندسی نفت و مخزن

برای محاسـبات میزان دبی چاه ها معمـولاً از Mobile Separator یـا Test Bank بـه منظـور محاسـبات و برآوردهای مهندسـی نفت اسـتفاده می‌شـود. در این تسـهیلات معمولاً بـرای گاز از میترهای اریفیسـی و بـرای نفـت و آب از میترهـای اریفیسـی، توربینـی یـا جرمی‌اسـتفاده می‌شـود. معمـولاً دقت این میترهـا در حد میترهای فرآیندی اسـت و برای محاسـبه پارامترهایی نظیـر GOR، LGR و Water Cut اسـتفاده می‌شود.

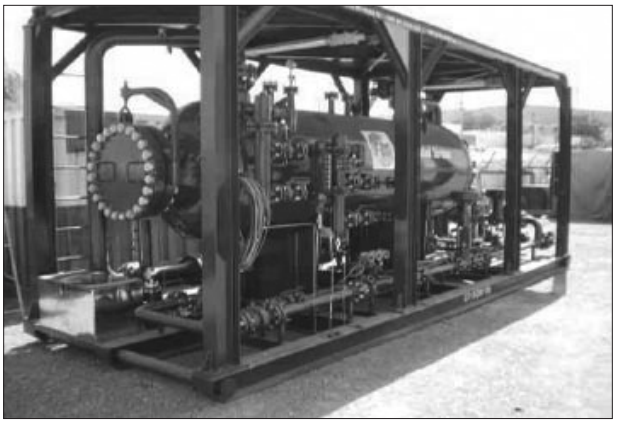
در چنـد سـال اخیر اسـتفاده از میترهـای چندفـازی(Multi Phase Flow Meter) توسـعه زیادی یافته اسـت که برخی از شـرکت‌های پیشـرو در این زمینـه عبارتنـد از FMC Technologies، Hallibur-ton، Roxor، weatherford، Schlumberger و Daniel .

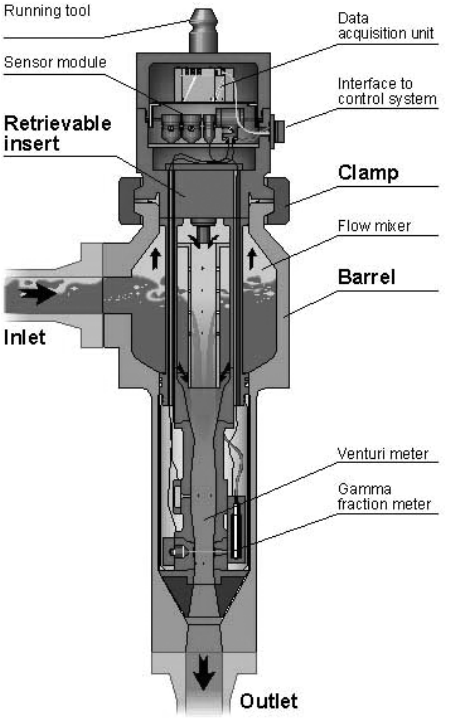
در حـال حاضـر میترهـای سـه فازی بـه طـور همزمان مقدار سـه فـاز گاز، نفـت، و آب را اندازه‌گیـری می‌کننـد کـه در مقایسـه بـا تسـهیلات Mobile Separator از نظـر عملیاتـی و هزینـه‌ای مناسـب تـر بـه نظر می‌رسـد. این سیسـتم هـا معمولاً بـه صورت in line درcluster هـا روی مجموعـه‌ای از چاه ها نصب می‌گردد. اصـول کارکـردی ایـن میترهـا متفـاوت بـوده و در تعـدادی از آنها بـرای تشـخیص فازهـای مختلـف از یـک γ-source اسـتفاده می‌شـود. خطـای ایـن میترهـا نیز بـر اسـاس ادعای شـرکت‌های سـازنده در بهترین حالت ۵٪± می‌باشـد. اسـتفاده از این میترها در سـطح شـرکت‌های نفتـی در حال توسـعه می‌باشـد.

در شـکل ۱ دو نمونـه Mobile Separator و یـک نمونـه Mul-tiphase Flowmeter نشـان داده شـده اسـت.

(الف)

(ب)





شکل ۱. الف- Mobile Separator و ب- Multi Phase Flow Meter

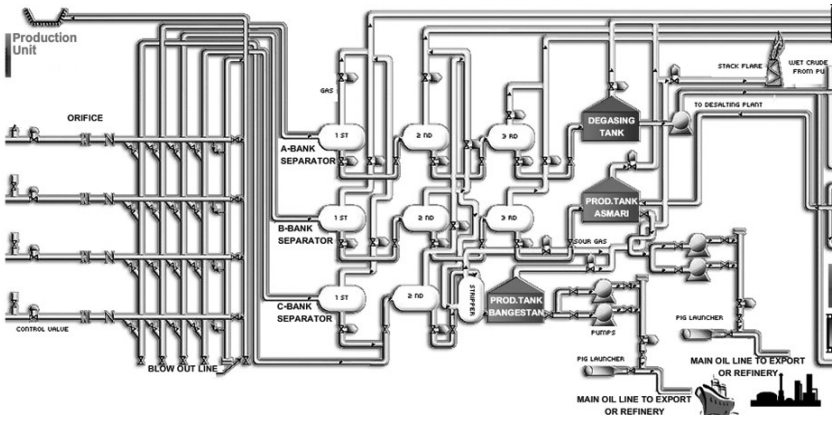
فرآورش

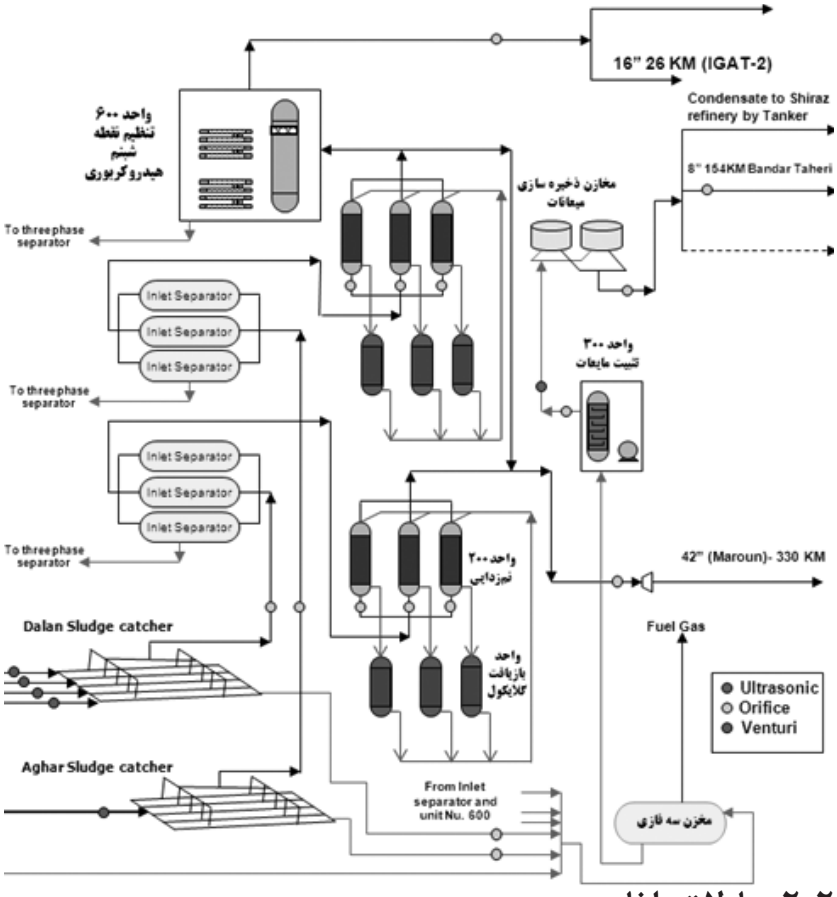
در واحدهای فرآورش نفت خام و گاز، میترها به صورت گسـترده‌ای اسـتفاده می‌شـوند. میترهـای مـورد اسـتفاده از نـوع ونچـوری، اریفیـس، توربینی، آلتراسـونیک، جایجایی(PD) و جرمی‌می‌باشـد. در برخـی از قسـمت‌های فرآینـدی نیـز از روش‌هـای اسـتاتیک با دقت‌هـای مختلـف از فرآیندی تـا fiscal اسـتفاده می‌گردد.

میترهای فرآیندی در قسمت‌های مختلف فرآیند با هدف کنترل فرآیند استفاده می‌شوند و از آنجائیکه مبنای محاسبات مالی قرار

نمی گیرند، لزومی‌به دقت‌های بالا برای این میترها نمی‌باشد، اما به دلیل حساسیت‌های فرآیندی، ضروری است که از صحت عملکرد این میترها اطمینان حاصل شود. به همین دلیل بهره‌بردار به طور مستمر این میترها را مورد بازبینی قرار داده و کالیبره می‌نماید.

در شکل ۲ یک نمونه واحد فرآورش نفت خام و در شکل ۳ یک پالایشگاه گاز به صورت شماتیک نشان داده شده است. کاربرد میترها در هرکدام از این شکل ها در قسمت‌های مختلف فرآیند مشخص شده است.





۲-۲. مبادلات داخلی

مبادلات داخلی بین واحدهای مختلف فرآیندی در بالادست یا بین شرکت‌های بهره‌بردار تابعه یک شرکت تولیدی یا بین دو شرکت تولیدی انجام می‌شود.
در مبادلات داخلی به طور معمول بر اساس نوع تعامل بین تحویل‌دهنده و تحویل گیرنده، نوع مواد هیدروکربنی و روابط تعریف شده بین آنها، میترهای مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مرزهای مبادلات داخلی شرکت ملی نفت ایران به طور عمده از میترهای اریفیسی و در برخی از موارد نیز از اندازه‌گیری مخزنی استفاده می‌شود.

۲-۳. مبادلات fiscal

در مبادلات fiscal بسته به نوع سیال و همچنین روابط تعریف شده بین فروشنده و خریدار، از میترهای مختلفی در شرکت ملی نفت ایران استفاده می‌شود. برای گازهای سبک و غنی معمولاً از میترهای اریفیس و آلتراسونیک با درنظر داشتن شرایط استاندارد و custody استفاده می‌شود.
در جدول ۱ انواع میترهای مورد استفاده در شرکت ملی نفت ایران ذکر شده است. از آنجا که اغلب میترهای موجود از نوع اریفیس می‌باشد و طبق جدول زیر نمی‌تواند مبنای محاسبات مالی قرار گیرد، در نقاطی که نیاز به قرارداد و مبادلات مالی است نیاز به نصب میترهای دقیق است.

جدول ۱. انواع روش‌های اندازه‌گیری مورد استفاده در شرکت ملی نفت ایران

نوع میتر یا اندازه‌گیری	طبقه بندی جریان سنج‌ها	دقت
جابجایی	می تواند مبنای محاسبات مالی قرار بگیرد	± ٪ ۰/۱۵
توربینی	می تواند مبنای محاسبات مالی قرار بگیرد	± ٪ ۰/۱۵
فراصوتی (آلتراسونیک)	می تواند مبنای محاسبات مالی قرار بگیرد	٪ ۰/۷ ± برای گاز ٪ ۰/۱۵ ± برای مایع
عمق سنجی	تحت شرایطی خاص، می تواند مبنای محاسبات مالی قرار بگیرد	۱ mm دقت
		۱ میلیون بشکه ای ۶۳ بشکه
		۵۰۰ هزار بشکه ای ۳۱ بشکه
		۲۵۰ هزار بشکه ای ۱۶ بشکه
روزنه‌ای	برای سیال گاز سبک می تواند مبنای محاسبات مالی قرار بگیرد برای سیال نفت خام نمی تواند مبنای محاسبات مالی قرار بگیرد	٪ ۰/۱۵ ± برای گاز ٪ ۳ ± برای مایع(بهترین شرایط)

۲-۴. وضعیت میترینگ در شرکت ملی نفت ایران

■ نفت خام

خوشبختانه عمده نفت خام و میعانات صادراتی از ترمینال‌های صادراتی با میترهای C.T و دقیق صادر می‌شوند. این میترها به طور مرتب از سوی نهاد ناظر و با حضور

شرکت‌های ناظر شخص ثالث (third part) مورد بررسی و نظارت قرار گرفته و عملیات پروینگ آنها معمولاً سالیانه انجام می‌شود. ترمینال‌های خارگ، عسلویه، طاهری و لاوان دارای میترهای بسیار دقیق هستند و در دیگر ترمینال ها نظیر بهرگان، سیری و FSU از روش‌های استاتیک استفاده می‌شود. تنها ۵۰ درصد از نفت خام و میعانات تحویلی به شرکت‌های پالایشگاهی داخلی توسط میترهای C.T اندازه‌گیری می‌شود و به همین دلیل و بر اساس روابط تعریف شده بین شرکت ملی نفت ایران و شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، مقادیر اندازه‌گیری شده در داخل مخازن پالایشگاه ها، مبنای مبادلات خوراک پالایشگاهها است. با اجرای پروژه‌های ارتقاء و بهبود سیستم‌های اندازه‌گیری در سطح شرکت ملی نفت ایران، مرزهای اندازه‌گیری بر مرزهای تحویل و تحول منطبق خواهد شد. این انطباق مزایای زیادی در پی دارد و باعث کاهش هزینه‌های تحویل و تحول خواهد شد.

نفتا و مایعات گازی تحویلی به واحدهای پتروشیمی‌با میترهای C.T اندازه‌گیری می‌شود.

■ گازها

عمده گاز تولیدی شرکت ملی نفت ایران گاز غنی می‌باشد. این گاز از منابع گازی مستقل یا از مخازن نفتی به صورت گاز همراه نفت خام(associated gas) تولید می‌شود. گاز استخراج شده از منابع گازی مستقل طی فرآورش‌های اولیه و مقدماتی به شرکت ملی گاز ایران و شرکت‌های خصوصی تحویل می‌شود. به دلیل ماهیت ترکیبی گازهای غنی که در اکثر موارد حامل مایعات گازی می‌باشند، سیستم‌های میترینگ کنونی با قابلیت C.T ، امکان اندازه‌گیری دقیق این گازها را ندارند. از اینرو اندازه‌گیری گاز غنی با دقت‌های در حد C.T مستلزم مطالعه و بررسی در این زمینه می‌باشد.

گازهای غنی همراه نفت خام به دلیل همراه داشتن مایعات گازی(NGL) که ارزش زیادی دارند، در واحدهای گاز و گاز مایع فرآورش شده و گاز خروجی از این واحدها به شبکه مصرف یا واحدهای تزریق گاز (Gas Injection) تحویل می‌شود. شرکت ملی نفت ایران توانسته است با اجرای پروژه‌های بهینه‌سازی و ارتقاء سیستم‌های اریفیسی موجود، خروجی واحدهای NGL را به سیستم‌های C.T تبدیل کند.

۲-۵. توان تولید شرکت ملی نفت ایران و اهمیت میتر ینگ

در جدول ۲ تولیدات شرکت ملی نفت ایران و ارزش سالیانه آنها ذکر شده است. با نگاهی به این ارقام می‌توان دید که ارزش مالی سالیانه مواد نفتی در حدود ۲۹۲ میلیارد دلار است. در نتیجه مشخص است که اندازه‌گیری تولیدات شرکت ملی نفت ایران در مرزهای مبادلاتی با شرکت‌های پایین دستی و خصوصی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است به گونه‌ای که تغییر دقت میترها در مرزهای مذکور به اندازه ٪۱± زیان یا سودی معادل ۱/۸ میلیارد دلار در سال در پی دارد.

با توجه به مطالب فوق، مدیران ارشد وزارت نفت و سیاست گزاران بخش تولید باید به مقوله اندازه-گیری توجه ویژه‌ای داشته و با هدف گذاری و اجرای پروژه‌های مرتبط و از همه

نوع ماده	توان تولید	واحد	معادل بشکه نفت خام	ارزش سالیانه (میلیارد دلار)	ارزش ٪۱ ± تغییر دقت اندازه گیری در مرزهای مبادلاتی داخلی (میلیارد دلار)
نفت خام	۴۲۰۰	ه ب ر	۱۰۲۳۲	۲۹۲/۵	۱/۸
گاز غنی	۷۵۰	م م م ر			
میعانات	۶۰۰	ه ب ر			
مایعات	۱۵۰	ه ب ر			
نفتا	۵۰	ه ب ر			

مهمتر تأمین مالی آنها به بهبود و ارتقای سیستم‌های C.T در مبادی تحویل اقدام نمایند. هرچند در حال حاضر در سطح وزارت نفت طرحهایی در این خصوص تعریف شده و در حال پیگیری است لیکن افزایش سرعت اجرای این طرح ها از ضروریات است. انتظار می‌رود چنین طرح‌هایی که سرمایه گذاری اندکی در مقایسه با رقم ۱/۸ میلیارد دلار(در یک سال) نیاز دارد، با سرعت بیشتری

اجرایی شـود.

۳. نتیجه‌گیری

شـرکت ملـی نفت ایـران با آگاهـی از ارزش تولیدات و مبـادلات خود طی سـالیان متمادی نسـبت بـه بهبـود و ارتقـاء سیسـتم‌های اندازه‌گیـری در مبـادی تولید و مرزهـای مبادلاتی اقدام‌نمـوده اسـت و در ایـن راسـتا پروژه‌هـای متعـددی را اجرایی‌نمـوده اسـت و طـرح و پروژه‌هـای بزرگـی را نیـز تعریـف و در دسـت اجـرا دارد اما طی چند سـال اخیـر و به دلیل اعمـال تحریـم هـا و سـخت شـدن شـرایط تهیـه و تأمیـن کالاهـای پروژه‌هـای مرتبط، سـرعت ایـن پروژه ها بسـیار کنـد گردیده که امید اسـت با بهبـود شـرایط ناعادلانه حاکم، اجـرای آنها سـرعت گیرد.

طرح تجهیز مبادی تحویل و تحول تولیدات وزارت نفت به سیستم‌های اندازه‌گیری بسیار دقیق از مهمترین پروژه ها در زمینه میترینگ است. در این پروژه حدود ۹۰ نقطه از مرزهای مبادلاتی در سطح صنعت نفت به میترهای دقیق مجهز خواهند شد.

در راسـتای افزایـش دقـت هـا و برآوردهای مهندسـی و مالی، اعم از محاسـبات مهندسـی نفـت، کنتـرل بهتـر فرآیندهـا و محاسـبات دقیـق تـر مقادیـر تولیـد بـا هدف شـفافیت در تحویـل و تحول‌هـای درون شـرکت ها، بهبود و ارتقاء سیسـتم‌های اندازه‌گیری در گسـتره عملیـات تولیـد مـورد نیـاز بـوده و ضروری اسـت شـرکت ملی نفت ایران نسـبت بـه موارد ذیل اقـدام نماید.

۱- تدوین سیاست‌های کلان میترینگ به طور یکپارچه در سطح شرکت ملی نفت ایران.

۲- ایجاد بسترهای لازم برای پیاده‌سازی سیاست‌های تدوین شده.

۳- الزام شرکت ها به اجرای سیاست ها.

۴- حمایـت و کمـک بـه شـرکت‌های توانمنـد داخلـی بـرای سـاخت تجهیـزات و قطعات میترهـا و بومی‌سـازی تجهیزات.

۵- ایجاد مراکز کالیبراسیون و مراکز صادرکننده گواهی در تعامل با مراکز معتبر جهانی.

۶- تلاش برای عضویت نمایندگان ایرانی در کمیته‌های AGA، API، IP، ASTM و. .

۷- حمایت از کمیته ها و انجمن‌های فنی و تخصصی مرتبط با سیستم‌های اندازه‌گیری.

۸- الـزام مراجـع تدویـن کننـده اسـتانداردهای داخلـی بـرای ارتقـاء و هم سـطح شـدن با اسـتانداردهای روز دنیـا.

۹- برگـزاری دوره‌هـای کارشناسـی ارشـد مهندسـی اندازه‌گیـری(measurement) در دانشـگاه صنعـت نفت.

۱۰-تعامل با مراکز دانشگاهی برای برگزاری سمینارهای تخصصی و دوره های آموزش میترینگ.

۱۱- کمک به تشکیل مؤسسه مهندسین میترینگ و اندازه‌گیری.(measurement)

بررسی موردی برخی از اشکالات پیش آمده در عملیات پرووینگ عادی و کالیبراسیون دوره‌ای پرووورها و نحوه رفع آنها

محمد زاهدی
کارشناسی ارشد پژوهشی مهندسی نفت – شرکت پایانه‌های نفتی ایران

چکیده

یکی از بخش‌های اصلی و اساسی سیستم‌های اندازه‌گیری دینامیک (Oil Metering Station) پرووور لوپ (Prover loop) و تجهیزات کنترلی آن می‌باشد. همچنین دیگر متعلقات آن عبارتند از یک یا چند میتر (Meter Run) همراه با تجهیزاتی مانند شیرهای ورودی و خروجی، صافی،خارج کننده هوا، یکنواخت کننده جریان، شیر کنترل جریانی خروجی، تجهیزات الکترونکی انتقال‌دهنده و نشان‌دهنده دما، فشار، پالس و حجم همچنین اتاق کنترل جهت نصب کامپیوتر جریانی (FPM) و سیستم سوپروایزری (HMI) می‌باشد. همچنین سیستم نمونه‌گیری (نمونه‌گیر خودکار، دستی) نیز جزء جدا نشدنی یک سیستم اندازه‌گیری می‌باشد. بدیهی است هدرهای ورودی وخروجی (خطوط لوله) مایع را از مخازن ذخیره دریافت و سپس آن را به مقصد (نفت کش، پتروشیمی، پالایشگاه و غیره) منتقل میکنند .

به منظور انجام آزمایش پروینگ نرمال (Normal Proving) و یا خطی (Linearity test) جهت تعیین ضریب صحت سنجی (Meter factor) و یا K. Factor از دستگاه پرووور لوپ که بصورت سری با سیستم میترینگ متصل شده، استفاده می‌گردد.

پرووور لوپ‌ها عبارتند از یکطرفه دارای Transfer Valve -(displacer tee - launcher tee) or Plunger و پرووور لوپ دو طرفه (Bi directional) دارای شیر چهار راهه با Launcher & Receiver همراه با درب فلنجی و سریع باز شو می‌باشد. هردو دارای سیستم‌های محرکه برقی– هیدرولیکی، pipe Pre run Length، بخش کالیبره شده(Calibrated Volume)، کاشف گرهای پالس (Pulse Detectors)، توپک کروی Sphere) (prover و میله‌های منحرف کننده توپ درون لانچر Deflectors) (Bars، شمارنده و انتقال‌دهنده پالس و سیستم پردازشگر کامپیوتری (Prove Computer) می‌باشد. همچنین جهت تعیین حجم پایه پرووور اصلی (Main Prover Base Volume) از روشهای Water Draw با ظروف آزمایش استیلی کالیبره شده Certified measure) (Can و یا دستگاه مستر پرووور و یا تانک پرووور استفاده می‌شود. در این مورد کاوی به وضعیت و مشکلات آزمایش پروینگ نرمال و کالیبراسیون پرووور اصلی توسط کالیبراتور اصلی (Master Prover) در چندین ایستگاه اندازه‌گیری متفاوت در صنعت نفت مطالعه و تحقیق شده است.

کلمات کلیدی: پرووور لوپ، شیر چهار راهه، توپک کروی، آزمایش پرووینگ، کالیبراسیون سالیانه حجم پایه پرووور، تکرارپذیری، دقت عملکرد، میتر فاکتور، Water Draw، مستر پرووور

خلاصه این مبحث مورد کاوی به شرح زیر خواهد آمد :

۱–در آمدی بر پروینگ عادی میترها و کالیبراسیون دوره‌ای پرووور لوپ‌ها و روش‌های کلی کالیبراسیون سالیانه

۲– مشکل پرووینگ در حداکثر شدت جریان بارگیری میترها

■ پرووور لوپ میترینگ دایم آذرپاد– پایانه نفتی خارگ – (راه اندازی– ۷۷)

۳-بررسی دلایل ترکیدگی (پاره شدن توپک پرووور ۳۶ اینچ در یکی از پرووور لوپ‌های اصلی اسکله شرقی) پایانه نفتی خارگ – سال ۸۴
۴- بررسی دلایل عدم دوام و آدامسی شدن توپک‌های کروی نوع پلی اورتان در مقابل میعانات گازی / فرآورده‌های نفتی (مستر پرووور شرکت خط لوله مخابرات ری- پرووور لوپ پایانه عسلویه)
۵-مشکل کالیبراسیون سالیانه تعیین حجم پایه پرووور لوپ دو طرفه میترینگ دوم عسلویه سال ۸۹
۶-مشکلات کالیبراسیون پرووور اصلی و ترکیدگی توپک کروی پرووور لوپ میترینگ نفت خام اروندان (سال ۹۲)

مقدمه

بطور کلی اندازه‌گیری (measurement) عبارت است از فرآیند مقایسه‌ای که در آن یک کمیت مجهول با یک کمیت معلوم یا استاندارد مقایسه می‌شود. این مقایسه بوسیله ابزاری که نشان‌دهنده تفاوتهای بین کمیت مجهول و استاندارد می‌باشد صورت می‌گیرد.
آزمایشات پروینگ جهت تعیین ضریب صحت سنجی میترها نقش اساسی در تعیین دقت عملکرد سیستم‌های اندازه‌گیری برای نقل و انتقال محموله‌های نفتی را به مشتری بر عهده دارد.

ابزارهای اندازه‌گیری به دلایل متعددی نیاز به کالیبراسیون مجدد دارند. ابزارهای اندازه‌گیری معمولا از طرف کارخانه‌های سازنده کالیبره می‌شوند جابجایی و حمل ونقل آنها اغلب باعث از تنظیم خارج شدن دستگاهها می‌شود. همچنین در زمان کارکرد ادواتی مانند میتر و یا پرووور بدلیل تغییرات شرایط فرآیندی و فیزیکی سیال، کالیبراسیون دوباره آنها لازم است. همچنین پس از انجام عملیات تعمیری و اصلاحی بر روی ابزارهای اندازه‌گیری مجدد کالیبره دوباره آنها ضروری است. اهمیت عملیات پروینگ و پرووور لوپ آنستکه که یک میتر مطابق رویه جاری هر پایانه و تاسیسات، و همچنین تغییرات دما، فشار، و دانسیته نفت خام و یا فرآورده نفتی با این دستگاه پرووور میگردد و ضرایب K و یا M. F جدید بدست می‌آید. و این ضرایب مهم ارقام عبوری را تصحیح میکنند. فرمول‌های کلی محاسبات حجم ارقام عبوری در زیر آورده شده است.

A) - Gross Volume = (Pulse/K.F)* M.F
B) - K.F= Pulse/Unit Volume
C) - GSV= Gross Vol.* CTL *CPL
D) - NSV= GSV- (BS&W Vol)

Meter batch Volume calculation Formula

طی یک دوره زمانی چند ماهه ضرایب صحت سنجی بدست آمده با هم مقایسه و مطابق روش‌های محاسبات آماری دامنه عملکرد

درست میتر بدست می‌آید ،(Meter performance curve) به طور نمونه برای هر اندازه‌گیر (Flow Meter) ۲۵ تا ۳۰ میتر فاکتور طبق فرمول انحراف معیار استاندارد (Standard deviation) آن محاسبه و Sigma آنها محاسبه و کارکرد آن تحلیل می‌شود. انحراف استاندارد نشان‌دهنده پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری شده یا دقت آنها می‌باشد. بدیهی است داده‌های خارج از دامنه مجاز در این محاسبات منظور نخواهند شد. اصولاً میزان دامنه مجاز تلورانس میتر فاکتور برابر با معدل میتر فاکتور باعلاوه – منهای یک، دو و یا سه سیگما می‌باشد. ببطوریکه حدود ۶۵ درصد ضریب‌های تصحیح (M. For K. F) باید در دامنه یک سیگما، ۸۰ تا۹۰ درصد در دامنه دو سیگما و ۱۰۰ درصد در دامنه سه سیگما باشند. این مهم در تأیید و رد یک میتر فاکتور جدید کاربری دارد بطوریکه اپراتور میداند که آیا فاکتور بدست آمده جزء شخصیت میتر است یا خیر؟ (Hi pulse)،گیر کردن ناخالصی در تیغه‌های میتر، کثیفی صافی، اشکال در نشتی داخلی شیر چهارراهه و یا از شیرهای پروور و یا خروجی، پالس کاذب و دلایل دیگر میتوانند در تعیین درستی میتر فاکتور دخیل باشند. ممکن است که پالس‌ها تکرار شوند ولی غلط باشند.

(Good repeatability but Bad Accuracy) در صورتیکه پالس‌های بدست آمده هم باید تکرارپذیر و هم دقیق باشند (Good repeatability & good Accuracy)همچنین پروور لوپ اصلی بایستی سالانه و یا دو سالانه حجم پایه اصلی (Base Volume) آن بروش‌های آزمایشات استانداردی Water Draw و یا Master Prover method در محل پروور بدست آورده شود.آزمایش تعیین حجم سالیانه نقش اساسی در دقت کارکرد یک سیستم اندازه‌گیری دارد. بدین معنی که هر خطایی در تعیین دقت آن، در دقت محاسبات نفت عبوری آن سیستم میترینگ در طول یکسال تأثیر گذار است. همچنین دستگاه مستر پروور دارای یک لوپ پروور و ادوات مشابه پروور اصلی و همراه با یک مستر میتر(Master Meter) با دقت بسیار بالا (Linearity 0. 1%) , و همچنین K. factor = 50 to 100pulse / lit. با تکرار پذیری Repeatability=0. 02% می‌باشد. K. Factor میترهای معمولی (Duty Meters) عموماً بسته به نوع آنها ۰. ۵ تا ۰. ۷ پالس بر لیتر است (۱۰۵ تا ۳۵۰ پالس بر بشکه) که با مقایسه میتوان پی برد که دقت میترهای مستر به مراتب ده‌ها برابر بیشتر از میترهای معمولی می‌باشد.

بنابراین تعیین حجم سالیانه با دقتی فوق العاده انجام می‌پذیرد. همچنین در محاسبات پروینگ نرمال دقت محاسبات عموماً ۴ تا ۵ رقم اعشار می‌باشد ولی در کالیبراسیون سالیانه دقت محاسبات تا ۶ رقم اعشار است.

در همین راستا لازم است برای درک بهتر موضوع و بررسی مورد کاوی‌ها ابتدا خلاصه‌ای در مورد آزمایشات نرمال پروینگ و تعیین حجم پایه پرووروها و همچنین ساختار مکانیکی و نحوه کارکرد پروور لوپ‌ها توضیحاتی داده شود.

روش کار آزمایشات سالیانه تعیین حجم پایه :

بطور کلی هر اندازه‌گیری دارای سه مشخصه زیر می‌باشد :

- ریزنگری (resolution) صحت(accuracy) و تکرار پذیری است(repeatability). ریزنگری: یکی از مهمترین ملاحظات در اندازه‌گیری ریزنگری وسیله اندازه‌گیری می‌باشد ریزنگری عبارتست از حداقل تغییر در مقداری که وسیله اندازه‌گیری می‌تواند نشان دهد.
- درستی: به معنی نزدیک بودن به واقعیت می‌باشد.
- تکرار پذیری: اولین نیازمندی هر سیستم اندازه‌گیری این است که دارای تکرار پذیری کافی باشد. تکرار پذیری گروهی ازاندازه‌گیری‌های تکراری عبارت است ازمیزان یا حدی که این اندازه‌ها نزدیک به هم قرارمی‌گیرند. این میزان عموماً بر حسب اصطلاحات آماری بیان می‌گردد.
- در شرایط عادی مقادیر اندازه‌گیری شده از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. توزیع نرمال دارای دو مشخصه میانگین و انحراف استاندارد است که مقدار میانگین عبارت است از معدل ریاضی مقادیراندازه‌گیری شده است.

آزمون تعیین حجم پایه مستر پروور : ابتدا حجم پایه دستگاه مستر پروور در کارگاه پروینگ بروش Water draw بوسیله ظروف کالیبره شده مورد تأیید استاندارد NIST (Seraphin Measure Can) توسط آب در دمای تقریباً ثابت انجام می‌گیرد. این مهم در دو مرحله اصلی و نشت‌یابی با حضور شرکت‌های بازرسی بین‌المللی و ناظر داخلی انجام و بدست می‌آید. توضیح اینکه در مرحله اصلی(Main Test) آزمایش سه بار تکرار و برای تأییدیه (Confirmation or Leak Test) با کاهش و یا افزایش شدت جریان تا ۲۵% انجام و در پایان معدل نتایج حاصله Runs به عنوان حجم پایه مستر پروور محسوب خواهد گردید. تعداد run مورد قبول باید دارای شرایط تکرار پذیری 0. 02% و پشت

سرهم باشند. (with repeatability 0. 02% 3 Consecutive Run)
در پایان نتایج حجم آزمایش نشت‌یابی بایستی در دامنه ± 0. 02% نسبت به آزمایش اصلی و همچنین آزمایش اصلی در همین دامنه نسبت به نتیجه سال قبل باشد. چنانچه به هر دلیلی از جمله تعمیرات و یا تغییرات در بخش‌های اصلی مستر پروور اختلاف نتیجه با حجم پایه سال قبل بیش از ± 0. 02% باشد، تعداد رانش آزمایش اصلی ۵ بار و برای آزمون نشت‌یابی 3 Run انجام خواهد گرفت. این رویه برای کالیبراسیون پرووورهای اصلی هم مورد استفاده قرار خواهد داشت.

روش آزمون تعیین حجم پایه پروور اصلی :

دستگاه مستر پروور و یا تانک پروور سیار به محل نصب پروور اصلی منتقل می‌شود. بعد از تخلیه پروور اصلی و فلاشینگ و شستشوی آن با گازوییل، دو سر آن اسپید می‌شود. سپس از طریق محل‌های تعبیه شده اتصال ادوات کالیبراسون سالیانه (لوله و شیرهای ۲ تا ۴ اینچ) نصب روی ورودی و خروجی پروور اصلی، با شلنگ‌های ارتجاعی با دستگاه مستر پروور بصورت سری بسته می‌شود. ادوات پروینگ سالیانه عبارتند از :

۱-دستگاه مستر پروور سیار Portable Master Prover

۲-مخزن ذخیره و نگهداری سیال آزمایش (گازوییل و. .) بعنوان ورودی تلمبه‌ها و دریافت دوباره سیال بعد از چرخش.

۳-تلمبه تقویت فشار و انتقال سیال: جهت چرخش سیال از مخزن به مستر پروور و پروور اصلی و دریافت دوباره در مخزن که بصورت یک سیستم مدار بسته عمل می‌کند(Close system loop)

۴-لوله‌های ارتجایی رابط flexible hoses

۵-پروور اصلی که مورد آزمایش واقع می‌شود و بصورت سری در مدار قرار می‌گیرد.

روش آزمون :

بعد از آماده کردن مدار آزمایش، سیستم روشن و تلمبه با مکش گازوییل از مخزن، سیال را با فشار دورن لوپ اصلی منتقل و سپس لوله خروجی آن به ورودی مستر پروور منتقل و گازوییل از خروجی آن دوباره به مخزن ذخیره چرخشی و نوسان‌گیر باز میگردد و این سیر چرخشی ادامه می‌یابد. بعد از یکنواخت شدن دمای سیال در طول مسیر با خواندن دما در وردی و خروجی مستر پروور میتوانیم آزمایش را آغاز نماییم.

الف) بدست آوردن Master meter Factor:

این آزمایش در دو مرحله با عنوان تعیین میتر فاکتور مستر میتر " قبل "MMF before و " بعد MMF After" و متوسط میتر فاکتور ۲ مرحله در محاسبات نهایی تعیین حجم پایه بکار میرود. توجه اینکه ملاک مبنا در این آزمایش، آزمون پروور اصلی می‌باشد.

روش اجرای آزمون:

ابتدا با شیرهای کنترلی دستی نصب برروی خروجی، نرخ جریان را تنظیم میکنیم، (۲۰۰ تا ۴۰۰ گالن دردقیقه) سپس مانند یک پروو نرمال، با تحریک شیر چهار راهه مستر پروور به یک جهت (Forward) سیال توپک کروی را به حرکت و با برخورد توپک کروی به اولین کاشف گر پالس، پالس کنتور شروع به شمارش و بعد از برخورد به سویچ کاشف دوم پالسر از شمارش می‌ایستد. بعد از رسیدن توپک به خانه (لانچر) دما و فشار ورودی و خروجی سیال در محل‌های ورودی و خروجی پروور خوانده و در لاگ شیت ثبت میگردد. در اینجا یک نیم دور(Half Run) تمام شده است. حال با تحریک دوباره محرکه شیر چهارراهه به سمت عکس (Reverse) همین عمل تکرار و پالس‌ها یادداشت می‌شود. جمع دو پالس نیمه یک دور کامل به حساب میآید. (Round Trip Pulse)

این کار ۵ بار پشت سرهم تکرار می‌شود و بایستی پالس‌ها و نتایج، تکرارپذیر بوده و در دامنه مورد تأیید %Rep باشند.

میتر فاکتور با فرمول مربوطه که در زیر آورده شده است محاسبه میگردد.

$$\text{میتر فاکتور} = \frac{\text{حجم سیال عبور کرده از پروور در شرایط استاندارد}}{\text{حجم استاندارد نشان داده شده توسط میتر}}$$

$$Meter\ Factor = \frac{GSV_P}{ISV_M} = \frac{\text{Gross Standard volume of liquid passed through the prover}}{\text{Indicated Standard volume of the meter}}$$

$$= \frac{(Base\ volume \times CCFP)}{\frac{average\ pulse}{K\ factor} \times CCFM} \quad (1)$$

(Base volume) محاسبه می شود. توسط water Draw

تأثیر پارامترهای دما و فشار بروی بدنه فولادی میتر و پروور و همچنین بروی مایع درون میتر و پروور در عملیات دخیل می‌باشدند. در زیر خلاصه آن مفاهیم آورده شده است :

- پارامترهای تصحیح اثر دما بر فولاد بر بدنه پروو(Cts) ر correction steel temperature
- تصحیح اثر فشار بر فولاد correction steel pressure (Cps)
- تصحیح اثر دما بر دانسیته مایع در پروور در شرایط پروورینگ (Ctlp Correction for the effect of temperature on liquid in prover
- تصحیح تراکم پذیری مایع در میتر در شرایط پروورینگ (Cplm Correction for compressibility of liquid in prover at prov-(ing conditions
- تصحیح اثر دما بر دانسیته مایع در میتر در شرایط پروورینگ (CTLM Correction for the effect of temperature on liquid in me-ter at proving conditions)
- تصحیح تراکم پذیری مایع در میتر در شرایط پروورینگ (Cplm (Correction for compressibility of liquid in meter at prov-ing conditions)

در نهایت ضریب تصحیح ترکیبی برای پروور و میتر بدست و در محاسبات بکارگیری می‌شود

ضریب تصحیح ترکیبی برای پروور در شرایط پروورینگ :

CCFP=CTS×CPS×CTLP×CPLp: Combined correction Factor for prover at proving conditions)

ضریب تصحیح ترکیبی برای میتر در شرایط پروورینگ:

CCFM= CTLM×CPLM : (Combined Correction Factor for meter at proving conditions)

ب) آزمون اصلی Main test

به منظور تعیین حجم پایه پروور اصلی (Base Volume) و یا به عبارتی همان حجم کالیبره شده بین Detectorها این آزمایش انجام و در پایان حجم در دما و فشار استاندارد با ضرایب تصحیح مربوطه در شرایط استاندارد محاسبه می‌شود..P=14. 694Psia=101

T=60˚F=15. 56˚C (325Kpa) روش کار مشابه بند الف است با این تفاوت که حال، شیر چهار راهه و یا شیر Transfer valve پروور اصلی تحریک و با انتخاب گیرنده پالس (پالسر اصلی) بروی Main prover، با برخورد توپک کروی به کاشف گرهای پروور اصلی، پالس شروع به شمارش و مشابه روش قبل یادداشت می‌شود. و در پرووهای دوطرفه هر رفت و برگشت یک رانش کامل و در پرووهای یکطرفه هر بار یک رانش کامل محسوب می‌شود. این عمل سه بار متوالی انجام و بایستی نتایج سه بار پشت سرهم در دامنه مورد پذیرش تکرار پذیر باشد. توضیح اینکه در این مرحله میتر فاکتور مستر میتر بدست آمده از آزمون پیشین (MMF)در محاسبات تعیین حجم پایه بکار میرود. همچنین در وسط هر رانش، دما، فشار پروور اصلی خوانده و یادداشت گردد.

فرمول محاسباتی تعیین حجم پایه (Base volume or BV) به شرح زیر می‌باشد:

$$B.V = \frac{M.F \times \frac{average\ pulse}{K\ factor} \times CCFM}{CCFP}$$

توالی کار درنمودار زیر بطور خلاصه آورده شده است:

عملیات آزمایش تعیین حجم پایه مستر پروور یا تانک پروور بروش Water Draw با ظروف کالیبره شده ویژه
Certified measure can **(Master prover Base volume)**

↓

کالیبراسیون پروور اصلی با دستگاه مستر میتر / پروور
(Main prover base volume)

↓

Duty Meter Normal Proving
With field Prover (M.F or K.F)

بخش‌های اصلی پروور لوپ‌های لوله‌ای یکطرفه و دو طرفه Main parts of Uni Or Bi directional Provers

۱–Transfer Valve or Plunger، برای پرووهای یکطرفه و شیر چهار راهه(4 way diverter Valve) برای پرووهای دو طرفه این شیرها جزء اصلی‌ترین بخش پروور محسوب شده و هدف آنها هدایت سیال به یک قسمت لوپ و نشت بندی کامل دوطرف می‌باشد. بطوریکه بایستی اختلاف فشاری میان فشار میان بدنه و خروجی وجود و این نشان از نشت بندی کامل است (Good Sealing)، همچنین وجود یک سویچ الکترو مکانیکی اختلاف فشار جهت اطمینان از نشت بندی کامل ضروری است.

Seal pressure transmitter switch and indicator

۲–لوپ اصلی پروور شامل:

۱–۲: بخش کالیبره شده (حجم میان دو دتکتور سویچ) این حجم همان حجم پایه پروور است و هدف از کالیبراسیون تعیین آن و استفاده از آن در محاسبات تعیین M. F می‌باشد.

۲–۲: - Pre run length Post run : فاصله میان لانچر تا کاشفگرها که به منظور داشتن فرصت زمانی کافی است تا قبل از اینکه توپک به سویچها برخورد نماید، توپک حرکت آرامی‌پیدانموده و به بیشترین تعادل سرعتی خود قبل از برخورد به کاشفگر اول برسد. و همچنین زمان کافی جهت چرخش شیر چهار راهه و نشست

کامل در جای خود بطوریکه نشت بندی کامل انجام پذیرد. به منظور کاهش این طول شاید افزایش سرعت چرخش شیر چها راهه یکی از راهها باشد ولی بایستی طراحی طوری باشد تا از شوک هیدرولیکی و افت فشار اضافی جلوگیری شود. جهت محاسبه این طول از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$\text{minimum prerun length} = (\text{cycle time}) \times (\text{maximum velocity}) \times (\text{stabilization factor})$$

$$L_{pr} = T_{pr} \times V_{d\,\max} \times SF$$

where

L_{pr} = minimum prerun length (ft),

T_{pr} = cycle time (sec.)

$V_{d\,\max}$ = the maximum velocity of displacer (ft/sec.),

SF = stabilization factor determined by the manufacturer or designer. This is typically 1.25.

۳-۲-سویچهای آشکارساز پالس detectorswitchA-B: تجهیزاتی الکترو مکانیکی , و یا فتو الکتریک هستند که بر روی دیواره لوله پرووِر نصب می‌شود. و هنگامیکه توپک به زایده درون لوپ آنها برخورد و یا از جلوی آن عبور می‌کند، سیگنال‌های الکتریکی ایجاد می‌کند. بطوریکه پالس تولیدی توسط میتر را به پالسر پرووِر (Prover Counter) منتقل می‌کند. و با برخورد به سویچ بعدی پایان رانش محسوب می‌شود.

٤-۲- فلنج‌های رابط لوپ: عموماً یک لوپ بسته به طول و حجم آن ۳ تا چند تکه می‌باشد. تمامی‌فلنج‌ها باید از نوع سطح صاف (F. F) و جهت نشت بندی از o Ring مخصوص استفاده می‌شود. به منظور کم کردن حداقل فاصله و نداشتن زایده، از بکارگیری واشر پرهیز می‌شود.

۳- محل دریافت و ارسال توپک

receiver Chamber / Launcher لوله عمودی و یا زاویه دار جهت دریافت و ارسال توپ در دو طرف لوپ می‌باشد. قطر آن عموماً ۲ بار و یا بیشتر از قطر داخلی پرووِر بیشتر است. در فاصله میان دو لانچر شیرهای ۴ راهه و یا انتقالی نصب می‌شوند و در جلوی دهانه شیر ۴ راهه درون لانچر، میله‌های منحرف کننده توپک کروی نصب می‌شوند این میله‌ها به منظور هدایت توپک درون خانه در پرووِر لو پهای یکطرفه (در مسیر خروجی جریان) و همچنین جلوگیری از بستن دهانه راه جریان با توپک در لوپ‌های دو طرفه می‌باشند (نصب در دو طرف) همچنین این فضا طوری است که از افت فشار زیادی جلوگیری می‌کند. زانوی‌های رابط به لانچرهای عمودی به منطقه pre Run هم مرکز بوده و برای حالتهای مایل خارج از مرکز است. به منظور جلوگیری از آسیب به توپک، تمامی‌سطح داخلی لانچرها به مانند دیگر جاها باید بدون هر گونه زبری و ناصافی باشد.

٤- ادوات ابزاردقیقی: شامل انتقال‌دهنده دما ـ فشار و نمایشگر و شمارشگر پالس، سویچ نشت بندی دوسر شیر اصلی ۴ راهه و یا ترانسفر ولو (seal switch)

٥- شیرهای ورودی، خروجی، شیر کنترل نرخ جریان، شیرهای تخلیه هوا و ته کشی و شیرهای ایمنی تخلیه فشار، شیرهای رابط کالیبراسیون دوره ای

٦- توپک کروی پرووِر: Prover sphere Ball ـ ساختاری لاستیکی کره توخالی دارای یک یا دو شیر ویژه در دو طرف آن جهت متورم و پر کردن آن با آب و مخلوط گلایکول (جلوگیری از یخ زدن) و همچنین تخلیه هوای درون توپک (فشردگی مناسب و جلوگیری از شناوری منفی) می‌باشد و اندازه آن متناسب با قطر لوله پرووِر انتخاب می‌شود و عموماً بسته به قطر پرووِر از ۲ تا ۴درصد بیشتر از قطر داخلی آن سایز می‌شود. این اضافه سایز بخاطر جلوگیری از هر گونه نشتی سیال از اطراف آن و نشت بندی خوب و تمیزکاری بدنه داخلی لوپ با و جمع آوری موادی چون واکس می‌باشد. سایز بیش از اندازه آن سبب مواردی مانند لرزش در توپک، پرش، تکان تکان شدید (jerking)ترکیدگی،گیر کردن توپ در داخل لوپ، خرابی توپک و افت فشار اضافی در پرووِر لوپ می‌شود. این موارد در پرووِرهای سایز کوچک بیشترنمود پیدا می‌کند. سایز کردن کمتر از اندازه نیز سبب نشتی و عبور سیال از اطراف و عدم تکرار پذیری پالس، خطا و دریافت نتیجه نامطلوب می‌شود. سایز کم توپک بویژه در سرعت کم مانند عملیات water draw ممکن است سبب نشتی در نقطه دتکتور بویژه دوم شود. (ماند زیاد توپ و فرصت کافی نشتی در ناحیه سویچ)

اصولاً متوسط سرعت حرکت توپک برای پرووِرهای دو طرفه نباید از ۵ فوت بر ثانیه و برای یکطرفه ۱۰ فوت بر ثانیه بیشتر شود. جنس توپک‌ها بسته به نوع و ترکیبات سیال، فشار، دمای عملیاتی و شرایط آب و هوایی انتخاب می‌شود. بهترین نوعی که در صنعت نفت و پایانه‌های صادراتی بسیار رایج و کاربری دارد نوع نیوپرن می‌باشد و انواع دیگر چون نیتریل در پتروشیمی‌ها و پلی اورتان هم برای فرآورده‌های نفتی کاربری دارد. تجربه نشان داده که جنس پلی

اورتان بسیار به گرما و موارد خورنده همراه فرآورده‌ها و میعانات گازی (مرکاپتان) حساس است و بعد از مدتی از هم پاشیده و به بدنه داخلی لوپ چسبیده ویا آدامسی می‌شود. بسیار مهم آنکه در جایی که پرووِر در معرض آفتاب و مدت زمان استفاده ندارد نباید از این نوع استفاده کرد. و یا آنرا از توپک بیرون و در جای خنک نگهداری‌نمود. نگهداری توپک‌ها در حوضچه ویژه آب جهت شناوری آنها توصیه می‌شود. بررسی توپک بطور دوره‌ای مهم است، بررسی وضعیت ظاهری آن از نظر ساییدگی، خراشیدگی و سایز آن مهم است. دوام توپک‌ها در نفت خام و مواد روغنی بیشتر و در بعضی سیالات مانند LPG که روغنی نیستند سایش توپک بیشتر است. معمولاً تا صد گردش توپک بررسی و سایز دوباره آن ضرورتی ندارد. موضوع بسیار مهم آنست که در طراحی و تعیین حجم هر پرووِر باید توجه شود اینکه تعداد پالس‌هایی که کنتور پرووِر در میان دو کاشفگر A & B می‌شمارد باید بیش از ۱۰۰۰۰ پالس برای هر رفت Prover pass در پرووِرهای یکطرفه و برای هر رفت و برگشت در پرووِرهای دو طرفه مجموع ۲۰۰۰۰ باشد. بنابراین در طراحی پرووِر لوپ و انتخاب میتر باید هماهنگی باشد و عملیات سایزینگ و ساخت پرووِر با در نظر گرفتن .K Factor میترها، حداقل پالس مورد نیاز برای هر رانش در نظر گرفته شوند.

ملاحظات عمومی‌و قابل توجه در سیستم‌های پروینگ به شرح زیر است :

الف) دقت و تکرار پذیری: این موارد مهم بستگی به دقت وسایل ابزار دقیقی نصب شده و دقت در تعیین حجم پرووِرنمود پیدا میکنند. دقت خوب و تکرار پذیری ۲ مقوله‌ای هستند که لازم و ملزوم همدیگرند در نقل انتقال custody برای هر دو عموماً 0. 02% در نظر گرفته می‌شود.

ب) تعیین حجم پایه: حجم کالیبره شده میان ۲ کاشفگر

ج) یکنواختی جریان: در هنگام عملیات باید جریان یکنواخت باشد. مواردی همچون Pre Run length کافی، نوع تلمبه‌های عملیاتی و دیگر پارامترهای عملیاتی.

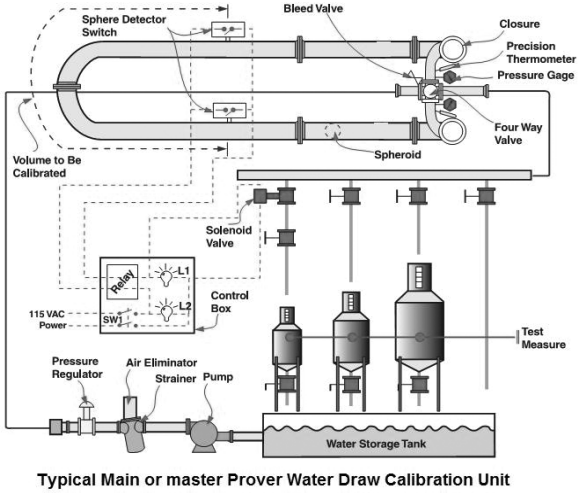
د) نبود شوک هیدرولیکی در پرووِر: سیستم پرووِر و لانچرها باید طوری طراحی شوند تا هنگامی که توپک به انتهای لوپ و وارد لانچر می‌شود ایجاد شوک و لرزش ناگهانی نکند.

ه) پایداری دما: (Temperature stability)پایداری دما در طول آزمایش پروینگ سبب گرفتن نتیجه خوب در پروینگ می‌شود. پرووِر لوپ‌های که در معرض هوای آزاد محیط قرار دارند جهت پایداری دما، لازم است عایق کاری مناسب شود.

و) افت فشار در طول پرووِر: عموماً یک افت فشار معمولی در هنگام عبور سیال در پرووِر طبیعی است و این در اثر حرکت توپک، زانوها و دیگر ادوات می‌باشد. افت فشار زیاد مانع از نتیجه‌گیری مناسب در آزمایش پروینگ در جریان نرمال می‌شود.

ز) پوشش داخلی و خارجی پرووِر (Coating) پوشش داخلی پرووِر از موادی سخت، صاف، لایه با دوام و مقاوم در برابر خوردگی و باعث دوام عمر توپک و پرووِر می‌باشد. نوع آن عموماً چسب رزینی پخته (Backed epoxy phenolic) و یا رزین اپوکسی خشک می‌باشند. پوشش سبب بهبود تکرار پذیری نتایج پرووِر و پالس‌ها در شدت جریان کم می‌شود. همچنین برای فرآورده‌های نفتی مانند بنزین، LPG که چربی کمی‌دارند بسیار مفید است. لایه و پوشش داخلی باید متناسب با نوع مایع انتخاب گردد. پوشش داخلی بایستی بروی فلز سفید عاری از زنگ وسطح صاف و صیقل و بدون زنگ و موج انجام گیرد و این مهم بر اساس دستور العمل‌های سازنده انجام پذیرد.

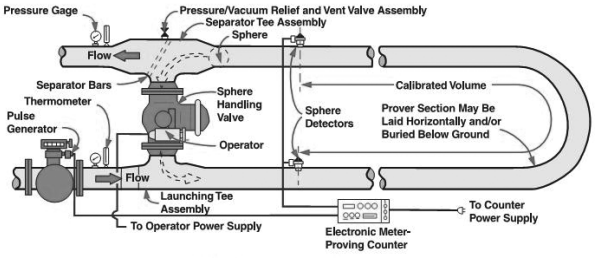
پوشش سطح خارجی پرووِر با رنگ و هر پوشش مناسب دیگر جهت کاهش خوردگی و دوام آن بویژه در پرووِرهای مدفون ضروری است. جهت درک بهتر موضوع شماتیک کلی سیستم کالیبرسیون water draw با ظروف آزمایش استاندارد مرجع، پرووِر لوپ‌های یک طرفه ـ دو طرفه و ظروف در اشکال ۱ تا ۳ آورده شده است.



Typical Main or master Prover Water Draw Calibration Unit

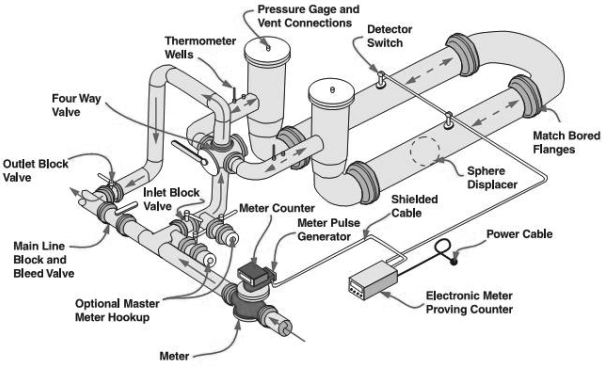
شکل ۱- شمای کلی سیستم کالیبرسیون water draw

با ظروف آزمایش استاندارد مرجع



Typical UNI Directional Pipe prover

شکل ۲- شمای کلی پرووِر لوپ یکطرفه



Typical Bi directional Pipe prover

شکل ۳- شمای کلی پرووِر لوپ دو طرفه

حل مشکلات، ابتدا شرح مختصری در مورد تجهیز مورد نظر، سپس بیان مشکل پیش آمده، راه‌های حل و در پایان نحوه رفع اشکال برای هر کدام از موارد آورده خواهد شد.

الف) مشکل پروِوینگ در حداکثر شدت جریان بارگیری میترها ـ پرووِر لوپ یکطرفه میترینگ آذرپاد- پایانه نفتی خارگ ـ (در زمان راه اندازی اولیه)

- پرووِر لوپ یاد شده از نوع یکطرفه ("Unidirectional pipe prover 36) با قطر ۳۶ اینچ جهت پروو میترهای توربینی ۲۰ اینچ در دامنه شدت جریان کمینه و بیشینه ۳۶۰۰۰تا ۵۰۰۰ بشکه در ساعت طراحی شده است. سیستم دارای قابلیت پروو میترها در محل بصورت دستی و اتاق کنترل بصورت خودکار یا بوسیله پروو کامپیوتر و سیستم سوپروایزری را دارا می‌باشد.

(LCPC & Geo prov for local & remotely proving)

- سیستم دارای Transfer valve با نیرو محرکه سیستم هیدرولیکی و سیستم کنترلی PLC می‌باشد.
- دارای یک sphere basket جهت نگه داشت و رها کردن توپک تا زمان نشت بندی کامل شیر ترانسفر پلاگ در دهانه Launching tee می‌باشد. بطوریکه بعد از فرمان سویچ نشت بند دو سر شیر، فرمان به جک هیدرولیکی داده و سبد یاد شده که مانند دو نیم عرقچین می‌باشد، توپ را در مسیر جریان رها می‌کند و آزمایش پروینگ آغاز می‌گردد.

مشکل این بود که در شدت جران بالا، پالس میترها تکرارپذیر نبودند. سیستم توسط گروه راه اندازی و شرکت نصب کننده بررسی شد و مشکلات زیر هویدا شد:

Aفلنج‌های بکار رفته در لوپ نوع flat face نبوده بلکه دارای واشر بوده و این خود مانعی برای عدم تعادل توپک در برخورد به سویچ‌های کاشف گر پالس بود.

B-Prerun length کافی نبوده بطوریکه در شدت جریان بالا که سرعت نفت بیشترین مقدار را داشت قبل از رسیدن توپک به کاشفگر اول، توپک و جریان پایدار نمی شد. و سبب تکرار ناپذیری پالس می‌شد.

راه حل مشکل: با توجه به اینکه آن دستگاه در گارانتی سازنده بوده است، جدا کردن فلنج و تعویض کامل پرووِر لوپ Pre run + Calibrated volume و. در دستور کار قرار گرفت، و شرایط طوری بود که اصلاحات یاد شده منجر به تعویض کامل لوپ شده و در پی آن فلنج‌ها اصلاح شده و با اضافه شدن طول pre run، طول پرووِر افزایش یافته و بخش کالیبره شده نیز از حجم ۱۰۸ به ۱۱۱ بشکه افزایش یافت.

بعد از انجام اصلاحات یاد شده مسئله حل شد.

ب) - بررسی دلایل ترکیدگی (پاره شدن توپک پرووِر ۳۶ اینچ در یکی از پرووِر لوپ‌های اصلی اسکله شرقی) پایانه نفتی خارگ - سال ۸۴

پرووِر لوپ یکی از پهلو گاه‌های اسکله شرقی ("Bidirectional pipe prver 36) طراحی جهت پرووِر میترهای توربینی تا شدت جریان عملیاتی ۱۴۵۰۰ و نرمال ۱۳۵۰۰ می‌باشد. این پرووِر دارای شیر ۴ راهه ۱۶ نوع seat plug جنرال می‌باشد.

مشکل: در یکی از روزها در هنگام عملیات پروینگ نرمال میترها بروی یکی از نفت کش‌های در حال بارگیری، اپراتور سیستم، در آمدن صدای مهیب و غیر عادی همراه با لرزش سیستم و پرووِر لوپ را به مسئول کنترل و اندازه‌گیری گزارش داد. از آنجا که عملیات پروینگ به صورت خودکار در حال انجام بود، مشاهده شد که پالس‌ها تکرار نشده و در پایان جهت

عادی‌نمودن سیستم، برای کاهش جریان توسط شیر کنترل جریان(FCV) خروجی پرووِر اقدام که مشاهده شد، فرمان ابزاردقیقی روی شیر تأثیری نداشت. بطوریکه شیر یاد شده در محل بصورت برقی و دستی هم باز و بست نمی‌شد. و به نظر می‌رسید که جام کرده است.

بررسی :با توجه به صدای غیر آشنا و بی سابقه، و عدم تکرار پذیری پالس‌ها و جام شدن شیر کنترلی خروجی، عملیات متوقف، جهت بررسی توپک کروی درب فلنجی ۴۲اینچ بالای لانچر/ رسیور پرووِر باز گردید و مشاهده شد که توپک ترکیده و بخشی از آن هم موجود نمی‌باشد. با توجه به ترکیدگی توپک و عدم وجود سطح کروی سالم جهت بیرون آوردن با ادوات ویژه نصب و در آوردن توپک(Sphere Removal tools) میسر نبود. بنابراین توپک یاد شده بروش‌های دیگری از جمله بالا کشیدن با قلاب و چنگک با همکاری گروه خدما ت نگهداشت انجام پذیرفت. در شکل ۴ توپک صدمه دیده نشان داده شده است.

در پی آن توسط گروه تعمیرات نیز شیر FCV باز و مشاهده شد که تکه‌های لاستیکی توپک درون نشیمن گاه آن گیر کرده و مانع چرخش شیر می‌شوند، آنها هم از شیر بیرون و شیر در سرویس عملیاتی قرار گرفت. در شکل ۵ توپک‌گیر کرده در شیر کنترلی و نحوه درآوردن آن نشان داده شده است.

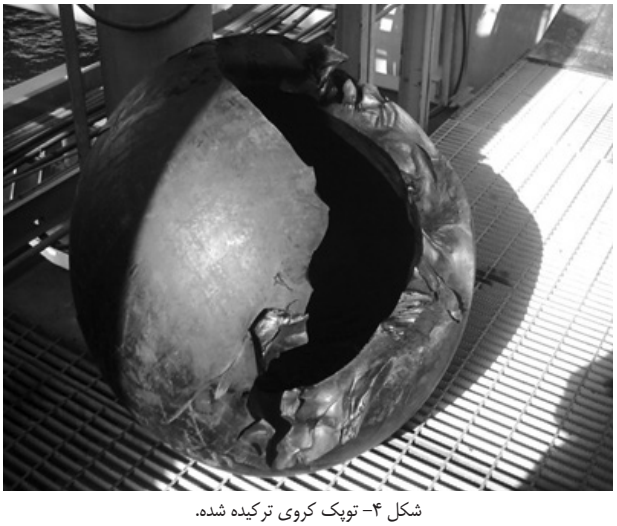
بررسی دلایل وقوع اتفاق :

ابتدا حدث زده شد که توپک در اثر فرسایش و همچنین وجود ناخالصی احتمالی در لوپ دچار این پارگی شده است. بنابراین پرووِر از نفت کاملاً تخلیه، و از طریق شیرهای درین و ته کش زیر آن آب پرفشار درون لوپ تزریق و چندین نوبت پر و درون سلاپ تخلیه، تا این رسوبات و ماسه‌های احتمالی خارج شوند. همچنین هر دو شیر ته کشی باز و از آن طریق محل ته کش بررسی و سیخ زنی شد تا چنانچه میله تیز و... آنجا سبب زخمی‌شدن توپک و پارگی آن شده است، چرا که اصولاً توپک با ۴. ۵ درصد over size تمامی‌ناخالصی‌های درون لوپ را با خود به لانچر می‌آورد و تنها احتمال زخمی‌شدن وجود یک شیء ثابت در نقطه درین حدث زده شد که البته چیزی هم یافت نشد.

داخل لانچر سمت(Forward) هم بررسی و موردی یافت نشد. سپس دوباره درب اصلی پرووِر بسته و پرووِر لوپ پک و یک توپک مستعمل جهت بررسی بیشتر موضوع درون آن گذاشته شد. سیستم پروینگ در نفت کش بعدی در سرویس قرار گرفت و مشکلی یافت نشد. ولی باز هم در دو نفت کش بعدی همان اتفاق صدای غیر عادی اتفاق افتاد.

در این دو مرحله درب هر دو لانچر باز و بعد از تخلیه لوپ و شستشوی آن با چراغ قوه ایمن، درون آن وارسی بیشتری شد و مشاهده شد دو تا از میله‌های منحرف کننده توپک نصب در مسیر جریان به سمت شیر چهار راه از محل خود جدا و لبه‌ای کاملن تیز دارند.

با این بررسی مشخص شد که دلیل پارگی توپک ها، برخورد آن به میله‌های تیز درون لانچر می‌باشد. بنابراین میله‌های یاد شده توسط گروه تعمیرات جوشکاری دوباره و مشکل بدین طریق برای همیشه رفع گردید. لوله‌های توخالی که بصورت قوسی در دهانه ۱۶ اینچ دو سر شیر چهارراهه به لوپ متصل و عملکرد آنها با این حالت قوسی شکل خود همواره توپک را از دهانه دور کرده و مانع از بسته شدن راه عبور مایع می‌شوند.



شکل ۴- توپک کروی ترکیده شده.

شکل ۵- گیر کردن بخشی از توپک در شیر کنترل جریان

ج) بررسی دلایل عدم دوام و آدامسی شدن توپک‌های کروی نوع پلی اورتان در مقابل میعانات گازی / فرآورده‌های نفتی (مستر پروور شرکت خط لوله ری و پروور لوپ پایانه عسلویه)

هنگام بررسی و تعمیرات اساسی یک دستگاه مستر پروور قدیمی‌سیار از شرکت خطوط لوله شهر ری، مشخص شد که درون لوپ ۱۰ اینچ یاد شده، هنگام عملیات فلاشینگ، همراه آب و پلی کلینر، مانده‌های توپک کروی لاستیکی خارج می‌شوند. بعداً مشخص شد که نوع توپک که مدتها درون لوپ بدون استفاده باقی مانده است از نوع پلی اورتان بوده است. همچنین توپکی با جنس مشابه در پروور لوپ میترینگ پایانه صادرات میعانات گازی پارس جنوبی بعد از مدتی ماند و در پروور لوپ به چنین سرنوشتی دچار شد. بطوریکه شکل کروی خود را از دست داده و بخشی از آن در اثر آفتاب و حرارت ذوب شده و از فرم خارج شده است. نتیجه‌گیری اینکه چنین توپک‌هایی در شرایط مشابه بیان شده دوام ندارند. و توپک‌های جنس نیوپرن در این شرایط به مراتب با دوام تر می‌باشند. در شکل ۶ یک توپک تخریب شده آورده شده است.

شکل ۶- توپک کروی تخریب شده، ناشی از مرکاپتان میعانات گازی.

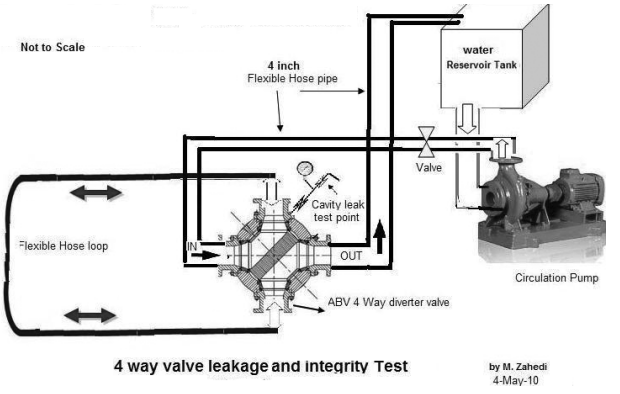
د) مشکل کالیبراسیون سالیانه تعیین حجم پایه پروور لوپ دو طرفه میترینگ دوم عسلویه سال ۸۹

سیستم یاد شده بعد از نصب در محل و سایت و راه اندازی اولیه و حتی در نرمال پروینگ مشکل ویژه‌ای نداشت. با توجه به اینکه پروور هنگام حمل Disassemble شده بود، بعد از نصب و راه اندازی مقرر گردید حجم پایه آن توسط دستگاه مستر پروور مرجع دوباره تعیین و با حجم پایه کارخانه مقایسه گردد.

بعد از اتصال سیستم مستر پروور و آماده‌نمودن سیستم جهت کالیبراسیون، کار آزمایش در حضور مسئولین ذیربط انجام شد. در زمان آزمایش اصلی بروی پروور، پالس‌های دریافتی تکرار پذیری مورد پذیرش را نداشتند. بطوریکه با پالس‌های دریافتی در زمان FAT مقایسه شده، ولی همخوانی نداشتند.

شیر چهارراهه به عنوان اصلی‌ترین قسمت بررسی گردید نوع توپی (Valve -ABV Ball 4 way) و آزمایش نشت‌یابی بر اساس دستورالعمل سازنده روی آن انجام پذیرفت و مشخص شد حتی بعد از چرخش کامل و نشست در جای خود نشتی داخلی دارد. چرا که از طریق شیر سنجش ویژه نشتی شیر و فشار سنج روی آن، بعد از تخلیه فضای cavity آن و صفر شدن فشار سنج از طریق شیر تخلیه، مشاهده شد دوباره فشار سنج یاد شده مرتباً بالا می‌رود. و این نشان نشتی آن بود. سپس وضعیت آن فیلمبرداری و برای سازنده ارسال گردید و بالاخره آنها قانع شدند که شیر اشکال دارد. ولی به هر دلیلی شیر یاد شده با وجود تعمیر در کارخانه خارجی و حتی یکبار در کارگاه داخل کشور، ولی بازهم مشکل اساسی آن رفع نشد. با توجه به جدید بودن نوع شیرهای یاد شده، به نظر می‌رسد نقطه تنظیم آنها بسیار مهم بوده و این شیر، عیبی که داشته، علاوه بر زنگ خوردگی توپی آن، مرتباً نیاز به تنظیم داشت و بدلیل سایش و برخورد مستقیم توپی با بدنه از تنظیم خارج می‌شد. در پایان شیر یاد شده رد و بجای آن یک شیر ۴ راهه از نوع seat & Plug تایپ جنرال جایگزین شد.

سپس پروور لوپ آن سیستم میترینگ، بروی پروور لوپ یاد شده آزمایشات سالیانه مجدداً با موفقیت انجام و حجم پایه تعیین و سیستم اندازه‌گیری جهت بارگیری custody Transfer رسماً در سرویس عملیاتی قرار گرفت. شمایی از شیر یاد شده در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷- شماتیک شیر چهارراهه نوع توپی و نحوه تست عملکرد آن

ه) مشکلات کالیبراسیون پروور اصلی و ترکیدگی توپک کروی پروور لوپ میترینگ نفت خام اروندان (سال ۹۲)

جهت راه اندازی و بکارگیری از سیستم میترینگ یاد شده، مرحله به مرحله سیستم یاد شده توسط شرکت مربوطه چک و بررسی شد. در هنگام عملیات پروینگ مشاهده شد که توپک کروی گم شده است. و همچنین نرخ جریان هنگام آزمایش پروینگ بشدت کاهش می‌یابد. قبلاً هم گزارشاتی در مورد ترکیدگی توپک در شدت جریان بالا گزارش شده بود.

با بررسی مرحله به مرحله توسط کارشناسان مربوطه و پیمانکار پروژه، و تحلیل موضوع اینکه در هر دو طرف این مشکل پیش آمده و علاوه برگیر کردن توپک، شدت جریان عبوری از مسیر پروور کاهش می‌یابد.

پیدا کردن اشکال و رفع آن :

با محاسبات انجام شده مشخص شد که سرعت توپک با افزایش شدت جریان بیش از حد تعریف شده، تا مرز ۵ فوت در ثانیه افزایش می‌یابد. بنابراین مقرر شد جهت کاهش سرعت توپ، حداکثر نرخ جریان پروینگ کاهش داده شود تا توپک در دامنه مجاز واقع گردد.

■ از آنجا که مشکل اصلی یعنی انجام نشدن پروور رفع نشده بود، درب پروور باز ولی توپک جهت بازدید و وارسی پیدا نبود. بعد از بررسی بیشتر مشخص شد توپک در دهانه زانوی ورودی به لانچرگیر کرده است. اجباراً باز شدن پروور در دستور کار قرار گرفت. ضمن اندازه‌گیری دهانه زانویی مشخص شد که قطر داخلی آن از قطر داخلی دیگر بخش کالیبره شده حدود یک اینچ کمتر است. در صورتیکه بررسی نقشه‌ها نشان می‌داد همه چیز درست طراحی شده است و قطر خارجی زانویی را معادل دیگر بخش‌ها درج‌نموده است در صورتیکه مشکل در قطر داخلی بوده است. بطوریکه در اجرا ضخامت گوشته (Wall Thickness) زانوی یاد شده بیش از اندازه بوده است. بطوریکه قطر داخلی آن از قطر خارجی توپک بسیار کوچکتر بوده است.

با پیدا شدن اشکال، تراشیدن از گوشته داخلی و قطر داخلی زانویی در کارگاه تراشکاری در دستور کار قرار گرفت و سیستم دوباره سرهم و نصب و راه اندازی شد. در پی آن آزمایش پروینگ نرمال مطابق استاندارد انجام شده و سیستم رفع اشکال گردید.

Prover ID = Prover OD- (2* wall Thickness)

■ از آنجا که توپک بر اساس قطر داخلی سایز و پرباد می‌شود، بخشی از قطر داخلی که بایستی معادل دیگر بخش U type پروور لوپ می‌بود، قطرش از آنها کمتر بود و این مهم سبب‌گیر کردن توپک و قفل جریان شده بود.

نتیجه‌گیری :

تمام مراحل یک پروور از جمله، مهندسی، طراحی، انتخاب نوع، سایز، ساخت، نصب، راه اندازی و کالیبراسون هر پروور لوپ بسیار مهم است و بایستی برابر با استانداردهای نفتی API انجام پذیرد. ملاحظات اساسی از جمله نوع سیال و ترکیبات، شدت جریان کمینه و بیشینه مورد نیاز، سایزینگ،انتخاب نوع پروور لوله‌ای (یکطرفه / دو طرفه)، حجم بخش کالیبره شده، Pre run length، نوع شیر چهار راهه /پلاگ، زمان باز و بست شیر، پوشش مناسب داخلی و خارجی، فلنج‌ها و اتصالات استاندارد، طراحی سرعت مناسب برای توپک باید بدانها اندیشید.

همچنین دیگر موارد مهم و اساسی، مواردی مانند: انتخاب توپک مناسب، دقت و تکرار پذیری خوب پالس‌ها (Repeatability & Accuracy Good)سیستم کنترلی و ادوات ابزار دقیقی دستی و خودکار مناسب و با دقت بالا، قابلیت‌های عملیاتی، دوام، اطمینان عملیاتی، کالیبراسیون دوره‌ای ادوات و کالیبراسیون تعیین حجم آن بطور پریودیک و استاندارد می‌باشند. ضمن آنکه داشتن گروه مجرب جهت راهبری سیستم، گروه مهندسی تعمیر و نگهداشت خوب و دیگر موارد مرتبط از ضروریات یک سیستم پروینگ و پروور لوپ مناسب می‌باشند که بایستی مد نظر قرار گیرند. پروور لوپ قلب یک سیستم میترینگ می‌باشد. طوریکه یک سیستم میترینگ بدون پروور مناسب و عملیات پروینگ، قابلیت نقل و انتقال مایعات با شرایط Custody Transfer را ندارد. نیترینگ شمارشگر ثروت هر شرکت و کشوری است و بایستی برروی آن سرمایه گذاری‌نمود تا همواره در سرویس عملیاتی و آماده بکار برابر با نرم استانداردهای جاری جهانی باشد.

منابع

1- PERSONAL FILING AND EXPERIENCES
2-API MPMS chapter 4. 2, 4. 4 & 4. 8
3- API MPMS chapter 5. 2

دومین همایش تخصصی اندازه‌گیری هیدروکربن‌ها (میترینگ) در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی

دومین همایش تخصصی اندازه‌گیری هیدروکربن‌ها (میترینگ) در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی با هدف ارتقاء دانش میترینگ در کشور و توان علمی و فنی کارکنان و فعالان صنعت در تاریخ ۱۳ و ۱۴ اسفند ۱۳۹۳ در دانشگاه علم و صنعت ایران با همکاری شرکت پایانه‌های نفتی ایران و با حضور گسترده کارشناسان، پژوهشگران، مدیران شرکت‌ها و فرهیختگان دانشگاهی برگزار شد. در این همایش علاوه بر ارائه مقالات و تجارب صنعتی، سخنرانی‌های مختلف درحوزه نفت، گاز، پتروشیمی و آب و فاضلاب توسط کارشناسان و اساتید منتخب ارائه گردید. برگزاری نمایشگاه تجهیزات صنعت اندازه گیری و کالیبراسیون با حضور شرکت های داخلی و خارجی از فعالیت های دیگر این همایش بود. در مراسم افتتاحیه این همایش خانم مهندس پیروزبخت رئیس سازمان ملی استاندارد ایران، آقای دکتر برخورداری رئیس دانشگاه علم و صنعت ایران، آقای مهندس موسوی مدیر عامل شرکت ملی نفت ایران، مهندس حسینی معاون وزیرنفت در امور مهندسی، آقای مهندس غروی معاون مدیر عامل شرکت ملی گاز ایران، مهندس یارمحمدی مدیر کل اداره نظارت بر صادرات و مبادلات نفتی، مهندس جباری مشاور مدیر عامل و نماینده شرکت مهندسی و توسعه نفت درطرح میترینگ و دیسپچینگ و دکتر سید حسن هاشم‌آبادی دبیر همایش به ایراد سخنرانی پرداختند. در مراسم افتتاحیه این همایش تفاهم‌نامه همکاری دانشگاه علم و صنعت ایران با سازمان ملی استاندارد به منظور گسترش همکاری‌های علمی، فنی و پژوهشی در زمینه تدوین استانداردهای مورد نیاز و بهره‌گیری از ظرفیت های علمی طرفین، امضا شد. این تفاهم نامه در ۴ ماده و ۲۸ بند به امضای دکتر محمد علی برخورداری رئیس دانشگاه علم و صنعت ایران و مهندس نیره پیروزبخت رئیس سازمان ملی استاندارد ایران رسید. نیره پیروز بخت، با بیان اینکه علم اندازه‌شناسی در خدمت تمامی صنایع به‌ویژه صنعت نفت، گاز و پتروشیمی قرار دارد، افزود: در رویکرد نوین استانداردسازی که براساس ۴ محور استانداردسازی، تایید صلاحیت، ارزیابی انطباق و اندازه شناسی پیش می‌رود، توجه ویژه ای به موضوع اندازه‌شناسی شده است. رییس سازمان ملی استاندارد ایران با اشاره به قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران گفت : در رویکرد نوین استانداردسازی، فرمان مقام معظم رهبری در بند ۲۴ ابلاغ سیاستهای کلی اقتصاد مقاومتی مبنی بر افزایش پوشش استاندارد برای کلیه محصولات داخلی و ترویج آن و قانون حمایت از حقوق مصرف کنندگان، مسیر سازمان ملی استاندارد ایران را هموار می‌سازد.

مهندس سید عماد حسینی، معاون وزیر نفت در امور مهندسی از تلاش وزارت نفت برای ملی کردن استانداردهای موجود در صنعت نفت خبر داد و گفت: به زودی با سازمان ملی استاندارد در این زمینه تفاهمنامه‌ای امضا خواهد شد. هم‌اکنون استانداردهای مورد نیاز صنعت نفت در زمینه سیستم‌های اندازه‌گیری تحت عنوان IPS تعریف و در حوزه مهندسی، کالا و نصب تجهیزات نیز استانداردهای لازم برای این صنعت بازنگری و تدوین شده است. مهندس سید پیروز موسوی نیز در این همایش

از فعالیت ۹۰ دستگاه میترینگ و اندازه‌گیری نفت و فرآورده‌های نفتی در پایانه‌های خارک، نکا و عسلویه خبر داد و گفت: نظام اندازه‌گیری نفت و گاز با کمک مراکز دانشگاهی به روز می‌شود. وی هدف از برگزاری این همایش را شناسایی ظرفیت‌های موجود در کشور در بخش سیستم‌های اندازه‌گیری هیدروکربن‌ها عنوان کرد و گفت: شرکت پایانه‌های نفتی ایران به عنوان متولی صادرات نفت و میعانات گازی در کشور با مشتریان بین‌المللی سر و کار دارد و به همین دلیل دومین همایش سیستم‌های اندازه‌گیری هیدروکربن‌ها را با کمک دانشگاه علم و صنعت برگزار می‌کند. مدیرعامل شرکت پایانه‌های نفتی تاکید کرد: ایران دقیق‌ترین سیستم‌های اندازه‌گیری مواد نفتی را در اختیار دارد. مهندس علیرضا غروی معاون مدیرعامل شرکت ملی گاز ایران در این همایش از اجرای ۳۴ هزار کیلومتر خطوط انتقال فشار قوی گاز در کشور خبر داد و گفت: ۲۶۲ هزار کیلومتر کار شبکه توزیع گاز را بر عهده دارد به طوریکه ۹ میلیون و ۷۰۰ هزار انشعاب در سطح ۱۰۰۰ شهر و ۱۷ هزار روستا نصب شده است که روزانه گاز مورد نیاز ۲۲ میلیون خانوار و ۷۰۴ هزار واحد صنعتی بزرگ و کوچک را تأمین می‌کند. غروی از پرداخت ۸۰۰ میلیارد تومان به حساب یارانه‌ها خبر داد و گفت: شرکت گاز به صورت گالن حدود ۱۷۰ میلیارد مترمکعب گاز را از بالادستی می‌گیرد و آن را در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهد بنابراین سیستم اندازه گیری یا میتیرینگ یکی از موضوعات اساسی در صنایع نفت و گاز پتروشیمی است که باید به عنوان وظیفه حاکمیتی به این مقوله توجه شود. معاون مدیرعامل شرکت ملی گاز ایران تأکید کرد: برای اینکه به خودکفایی و بومی‌سازی در این صنعت دست پیدا کنیم باید سیستم میترینگ و اندازه‌گیری را در کشور به سطح استانداردهای جهانی نزدیک‌تر کنیم. هنوز استانداردهای ما با استانداردهای جهانی فاصله زیادی دارد درست است که در این زمینه اقدامات موثری صورت گرفته، اما باز هم با این استانداردها فاصله داریم که باید دانشگاهیان با علم و دانش و صنعتگران با صنعت خود به این بخش کمک کنند. ایجاد رشته کارشناسی ارشد میترینگ یا سیستم اندازه‌گیری در دانشگاه‌ها باید در دستور کار قرار گیرد، چرا که این سیستم یکی از ضروریات اصلی در نحوه توزیع و انتقال فرآورده‌های نفتی است همچنین باید کنتور التراسوئیک در کشور بومی‌سازی شود. مهندس یارمحمدی مدیرکل اداره نظارت بر صادرات و مبادلات نفتی در همایش تخصصی آموزشی اندازه‌گیری هیدروکربن‌ها(میترینگ) گفت: وزارت نفت بالاترین مسئولیت را در حوزه صادرات و مبادلات نفتی در بین شرکت‌های اصلی دارد به طوری که به عنوان ناظر در وزارت نفت باید نفت و گاز تولیدی را به دست مصرف‌کننده برساند. وی تصریح کرد: بعضی از شرکت‌ها ما به استانداردهای مطلوب دست پیدا نکرده‌اند باید مسائل و مشکلات کنترل و دقت اندازه‌گیری در چارچوب نظارتی صورت گیرد هم‌اکنون ما در خصوص نظارت بر این حوزه ناراضی هستیم برای اینکه نظارت مثمر ثمر باشد باید تمامی شرکت‌های نفتی مجهز به سیستم میترینگ در زمان ورود وخروج انواع فرآورده‌های نفتی باشند. در پایان دبیر همایش گزارشی از فعالیتهای دبیرخانه ارائه کرد. وی گفت از ۶۵ موضوع رسیده به دبیرخانه تعداد ۳۷ عنوان طبق نظر کمیته داوران برای ارائه شفاهی و ۱۷ مورد بصورت پوستر انتخاب گردید. وی همچنین اشاره کرد طی دو روز همایش تعداد ۷ میزگرد تخصصی با حضور مدیران شرکتهای تابعه وزارت نفت، نمایندگان سازمان ملی استاندارد، دانشگاهیان و نمایندگان انجمن های مردم نهاد نیز ارائه میگردد که به بحث و تبادل نظر در خصوص مشکلات موجود در خصوص اندازه گیری هیدروکربنها، راهکارهای افزایش دقت سامانه های میترینگ می‌پردازند. همچنین عضو هیات علمی دانشگاه علم و صنعت گفت ضروری است که مرکز تحقیقاتی جهت طراحی کنتور و سامانه های کالیبراسیون و همچنین آزمایشگاههای مرجع جهت اعتبارسنجی کنتورهای مختلف مورد استفاده در کشور در دانشگاه راه اندازی شود.

همچنین تعداد ۳۰ شرکت فعال در حوزه میترینگ در نمایشگاه جانبی همایش حضور داشتند.

کنتورهای آب

بررسی و توصیف رفتار کنتور آب تحت شرایط جریان مختلف

مهناز حشمی
رئیس گروه استانداردسازی – مرکز ملی اندازه شناسی

چکیده

با استفاده از مزیت‌های فنون لیزر اپتیکی غیرمهاجم، تأثیر شرایط جریان مختلف در جلو و داخل کنتورهای آب مکانیکی بر رفتار اندازه‌شناختی کنتور ، مورد مطالعه قرار می گیرد. بررسی ها متمرکز بر مقایسه توزیع‌های سرعت سه بُعدی اندازه‌گیری شده توسط بادسنج‌های داپلر لیزری (LDA) با منحنی‌های خطای کنتور آب متناظر در پروفایل‌های جریان توزیع یافته و ایده آل و سرعت جریان‌های مختلف می‌باشد. راه حل‌های فنی قطعی و همچنین ارائه و پردازش داده‌های LDA بهینه شده توضیح داده می‌شوند. علی الرغم شرح کیفی الگوهای جریان بوسیله نمودارهای سه بعدی و دو بعدی مختلف، پارامترهای بدون بُعد تعریف می‌شوند تا ویژگی کمّی جریان‌های بررسی شده با هدف توسعه مدلی که درک آن و در صورت ممکن پیشگویی تغییرات در خواندنی‌های کنتور آب مربوطه را امکان پذیر سازد، تحقق یابد.

۱. پیشینه اندازه‌شناختی

تقریباً همه انواع وسایل اندازه‌گیری سرعت جریان نصب شده در لوله ها تحت تأثیر شرایط جریان در بخش ورودی داخلی شان قرار می‌گیرند. پراکندگی‌های سرعت توزیع یافته شکل نامنظم معروف با عدم تقارن ها یا پیچ و تاب ها می‌تواند به خطاهای کنتور در سطح بالای چندین درصد غیرقابل پیشگویی منجر شود. این عبارت در کنتورهای آب نیز بکار می‌رود. براین اساس، توصیه نامه مربوط OIML R49، آزمون تصویب نوعی ویژه را شرح می‌دهد تا تضمین کند که خواندنی‌های کنتور آب در محدوده بیشینه خطای مجاز پیش بینی شده تحت شرایط جریان داخلی توزیع یافته قرار دارد و نوع حساسیت پروفایل جریان مناسب باید برای هر نوع کنتور آب تصریح شود.

در چند سال گذشته، تلاش‌های زیادی برای پیدا کردن روش‌های مناسب جهت بررسی رابطه بین پیکره بندی لوله مختلف، پراکندگی‌های جریان حاصل در سطح مقطع لوله و رفتار اندازه‌شناختی مربوطه کنتورهای نصب شده پشت آن صورت گرفته است. در این رابطه، به عنوان مثال، خمی‌دگی ها، تغییرات قطر یا تا حدودی بخش‌های بسته شده لوله، پیکره بندی‌های لوله واقع‌گرایانه برای بررسی درنظر گرفته می‌شوند. بویژه، روش هایی که بررسی دقیق و مستقیم جریان در بخش ورودی کنتور یا داخل خود کنتور را امکان پذیر می‌سازد، در درک بهتر پروسه‌هایی که منجر به تغییرات در رفتار کنتور می‌شود اهمیت زیادی دارند. نتایج باید مبنای مدل تئوریکی را تشکیل دهند که توضیح و در صورت ممکن، پیشگویی خطا ها و تغییرات در خواندنی‌های کنتور جریان متناظر مشاهده شده را ارائه دهند.

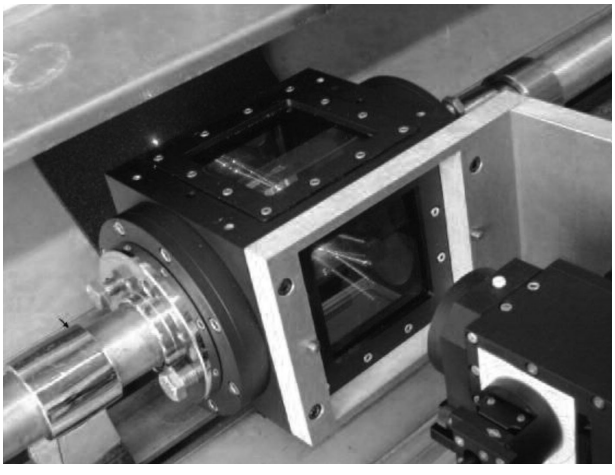
۲. واحد اپتیکی جهانی برای اندازه‌گیری‌های سرعت جریان در لوله ها

در نتیجه همکاری موفقیت آمیز بین PTB و دو شرکت جانبی کوچک (شرکت ILA آلمان و شرکت OPTOLUTION سوئیس)، سیستم لیزری ، واحدی خودکار توسعه یافته است که اندازه‌گیری توزیع و پراکندگی‌های سرعت سه بعدی در جریان لوله مایع را امکان پذیر می‌سازد. این سیستم شامل بادسنج داپلر لیزری قابل عبور (LDA) متشکل از لیزر Nd:YAG و اپتیک‌های مربوطه، اتاقک پنجره قابل انطباق جهانی و نرم افزار و غیره می باشد.

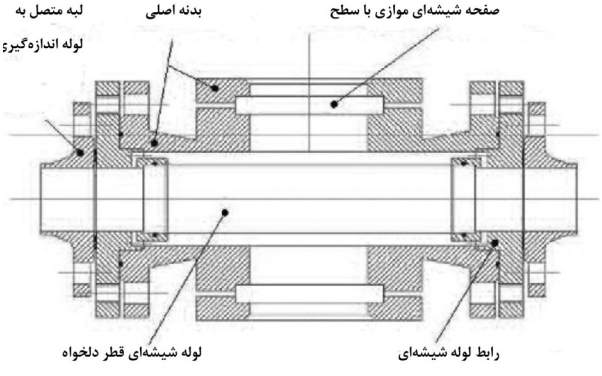
تکنیک LDA به عنوان روش اپتیکی بدون تماس، سرعت محلی سیال در حال جریان را با تفکیک پذیری فضایی و زمانی بالا اندازه‌گیری می کند. در این مورد، اندازه‌گیری هر قسمت داخل لوله می‌تواند از قبل به هر منظوری انتخاب شود. برنامه نرم افزار پرتو برگردان لیزری ویژه، پیمایش لازم واحد LDA را محاسبه و فعال می‌سازد و همه تغییرات در پرتو لیزر را با توجه به تأثیرات بازتابی در سطوح انتقالی از هوا به شیشه و آب را درنظر می گیرد. شکل ۱ تنظیم آزمایش با اتاقک پنجره ای استاندارد تطبیق داده شده با لوله مستقیم را نشان می‌دهد. در گوشه پایین سمت راست، بالای واحد LDA قابل عبور دیده می‌شود.

اتاقک پنجر ه ای، دسترسی اپتیکی به بخش لوله تحت

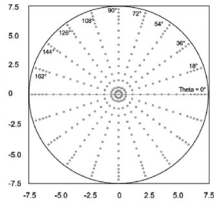
بررسی را امکان پذیر می‌سازد. ساختار واحدی و طراحی ویژ ه اش (شکل ۲) تنوع و تغییر زیادی ایجاد می‌کند تا اطمینان حاصل شود در موقعیت اندازه‌گیری مربوطه تطابق بدین صورت می‌گیرد. لبه‌های اتصالی خارجی، لوله شیشه ای داخلی و قطعه میانی آن می‌تواند به طور قابل انعطاف پیکره بندی شود بطوریکه دقیقاً در لوله جای گیرد. بدین طریق عوامل نفوذی اتاقک پنجره‌ای بر جریان تحت آزمایش به حداقل می‌رسند. بدنه اصلی پر از آب می‌شود. انتقال دقیق پرتوهای لیزر از هوا به شیشه و هوا در سطح شیشه‌ای موازی سطح روی می‌دهد. همه این ها با هم تأثیرات بازتابی ممکن را کاهش می‌دهد و عملیات مناسب سیستم پرتو برگردان پرتوی لیزری را تضمین می‌کند.



شکل ۱- تنظیم آزمایشی پیکره بندی لوله با محفظه پنجره‌ای و واحد **LDA** قابل عبور



شکل ۲- جزئیات ساختمان محفظه پنجر های



شکل ۳- اندازه‌گیری شبکه برای سطح مقطع لوله مدور با قطر **d=mm**۱۵

بادسنج داپلر لیزری، روش به موقع است. این روش، سرعت جریان محلی را تن ها در نقطه تقاطع پرتوهای لیزری و برای مؤلفه سرعت عمود بر سطح مورب پرتو ها ایجاد می‌کند. جهت کسب اطلاعات دوباره پراکندگی سرعت سه بُعدی کامل در کل سطح مقطع لوله، دو مرحله کار جداگانه باید انجام شود:

- بسته به تفکیک پذیری مطلوب می‌زان سرعت تحت بررسی (یعنی تراکم نقاط اندازه‌گیری در طول سطح مقطع لوله، واحد LDA باید به طور موفق از یک محل اندازه‌گیری به محل بعدی حرکت کند. شکل ۳ شبکه سفارشی برای بررسی جریان را نشان می‌دهد. کلاً شامل ۳۰۱ نقطه اندازه‌گیری واقع در طول ۱۵ دایره هم مرکز اطراف نقطه مرکزی با فاصله زاویه ای ^{o} ۱۸ می‌باشد. با توجه به گرادیان سرعت بالاتر موردانتظار به سمت دیواره لوله، تراکم نقاط در این ناحیه افزایش می‌یابد.
- اندازه‌گیری هر سه مؤلفه وکتور (بردار) سرعت مستلزم سه عملیات مختلف واحد لیزر می‌باشد. در این مورد با استفاده از واحد LDA به طور افقی در دو جهت حاصل می‌شود که در اینجا تن ها سر آن ^{o}۹۰ می‌چرخد. سپس واحد لیزر کامل به طور مستقیم حرکت می‌کند تا سومین مؤلفه بدست آید. بعد از اتمام همه اندازه‌گیری ها، داده‌های هر نقطه اندازه‌گیری در هم ادغام می‌شوند و برای تفسیر و ارزیابی بیشتر آماده می‌شوند. نرم افزار مربوطه، چندین انتخاب را برای ارائه مقادیر اندازه‌گیری شده، مهیا می‌کند. مثلاً، به شکل‌های زیر:
- نمودارهای فضایی پراکندگی سرعت محوری به m/s یا نرمال شده در سرعت حجمی میانگین $w_{vol} = Q_V/(\pi.r^2)$ ، شکل ۴ را برای جریان متلاطم پراکنده شده بعد از لوله مستقیم بلند ملاحظه نمایید.
- نمودارهای پراکندگی سرعت تانژانتی که در آن طول کمان ها در سرعت حجمی میانگین (محوری) نرمال می‌شود. رنگ ها، زوایای پیچ و تاب متناظر را نشان می‌دهد. شکل ۵ را برای جریان پیچشی متأثر از پشت ژنراتور را ملاحظه نمایید.
- نمودارهای درجه تلاطم به درصد شکل ۶ را برای جریان توزیع نیافته ملاحظه نمایید.
- پروفایل‌های سرعت تک و درجه‌های تلاطم در طول هر قطر شبکه اندازه‌گیری شکل ۷ را برای جریان نامتقارن پشت ژنراتور چرخشی را ملاحظه نمایید.

۳ . برنامه‌های اندازه‌گیری و اهداف آزمایشی

با استفاده از فنون LDA شرح داده شده، سرعت، پراکندگی ها در جریان‌های مایع برای شرایط مختلف تعیین شدند، به عنوان مثال:

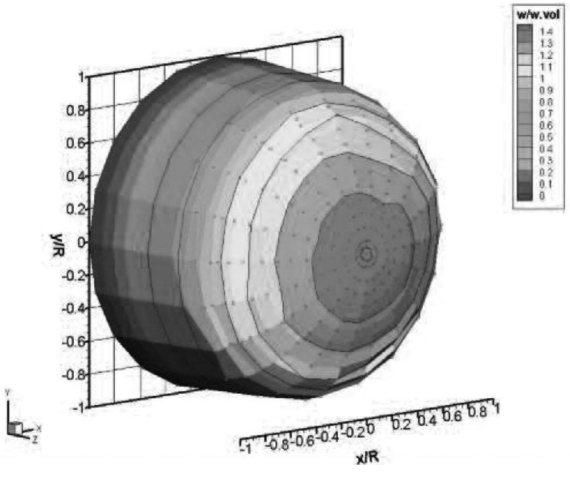
در سرعت جریان بین ۶۰ l/h و ۱۲۰ h/m۳

در لوله هایی با قطر بین ۵mm و ۳۰۰mm

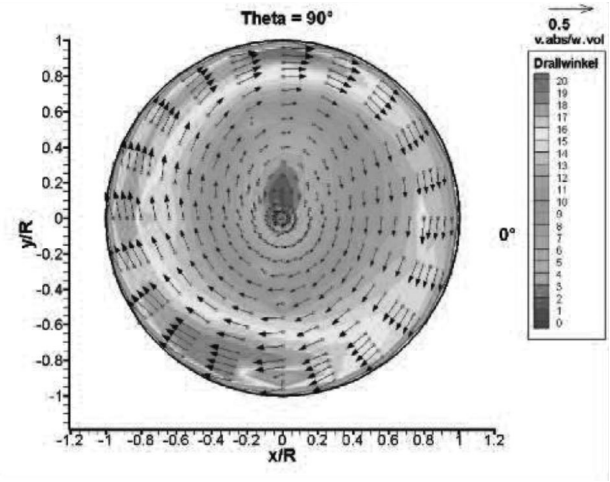
در دماهای بین ۱۰°C و ۵۰°C

تحت شرایط جریان توزیع نیافته ایده‌آل (بعد از لوله‌های مستقیم با طول‌های مختلف) پشت اجزاء یا لوله پراکنده مختلف (زانویی ها، هم آمدگی ها، پخش کننده ها)، برهم زن‌های استاندارد (ژنراتورهای پیچشی، دیافراگم ها، صفحاتی که تا حدودی سطح مقطع لوله را می‌بندند) و حالت دهنده یا صاف کننده‌های جریان (صفحات سوراخ شده، توری و غیره). جهت کسب اطلاعات درباره رفتار متناظر کنتورهای آب، همه منحنی‌های خطای آن ها تحت دقیقاً همان شرایط جریان برهم ریخت‌های که برای بررسی‌های LDA استفاده شد، تعیین شده بودند. دو هدف مورد تأکید قرار می گیرد: کاهش در تعداد لازم بررسی‌های بیشتر به دلیل امکان بهره‌گیری از تأثیرات مشابه و شناسایی حدود و گستره‌های پارامتری که در آن بی نظمی‌های جریان چندان تحت تأثیر رفتار کنتور جریان قرار نمی‌گیرند.

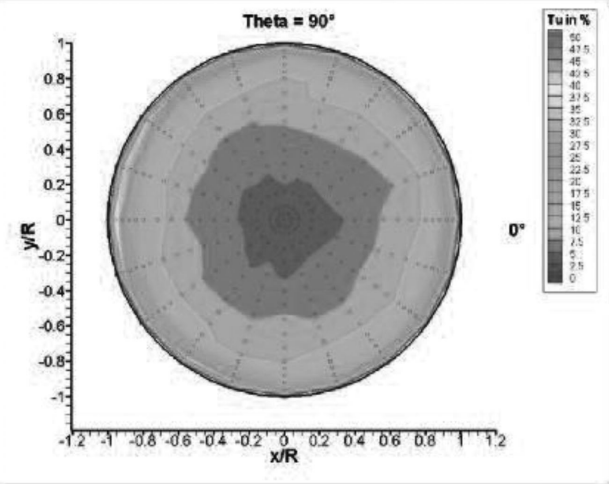
بنابراین، برای این منظور، تصاویر گرافیکی شکل ۷-۴ کاملاً کافی نیستند. آن ها فقط تصاویر کیفی جریان و پروسه داخل را نشان می‌دهند. بنابراین، تعیین پارامترهای ویژه توصیف کننده جریان خاص ازنظر کمّی مفید می‌باشد.



شکل ۴- پراکندگی سرعت محوری نرمال برای جریان متلاطم توزیع نیافته، قطر لوله d=mm۱۵، طول لوله داخلی مستقیم l=d۵۰، سرعت جریان Q_{vol}=۶۰۰ L/n



شکل ۵- پراکندگی سرعت تانژانتی نرمال برای جریان متأثر از پیچش پشت ژنراتور پیچشی، قطر لوله d=mm۱۵، فاصله بین ژنراتور پیچشی و بخش اندازه‌گیری l=d۵، سرعت جریان Q_v=۶۰۰ L/n

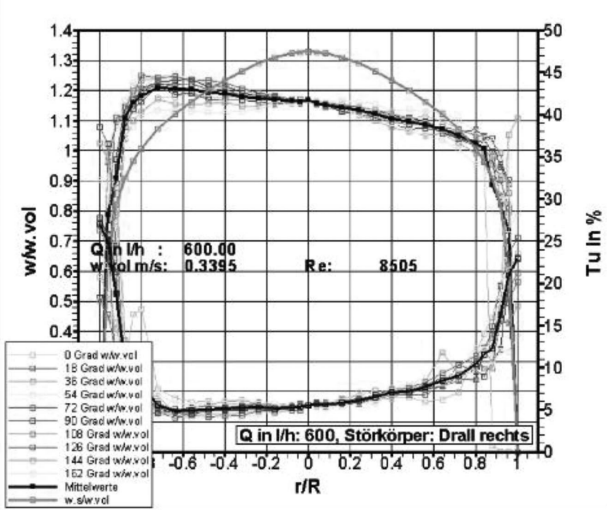


شکل ۶- درصد درجه تلاطم Tu، قطر لوله d=mm۱۵، طول لوله داخلی مستقیم l=d۵۰، سرعت جریان Qv=۱۲۰۰ L/n

٤. تعریف پارامترهای توصیف کننده جریان بی‌اندازه (بدون بُعد)

روی هم رفته، چهار پارامتر بی اندازه‌برای توصیف کامل هر نوع جریان در حال توسعه داخل لوله‌های مدور تعیین شده‌اند. مؤلفه‌های سرعت محوری بوسیله سه پارامتر توصیف کننده شکل پروفایل، تقارن آن و درجه تلاطم برآورد می‌شوند. پارامتر چهارم زاویه پیچش برای تهیه اطلاعات بیشتر درباره مؤلفه‌های سرعت تانژانتی تعریف شد.

شرح مفصل تعریف و تفسیر پارامترهای زیر و همچنین مثال‌های مشخصی در [۶و۵] داده می‌شود.



شکل ۷- پروفایل‌های سرعت نرمال شده در طول ۱۰ قطر شبکه اندازه‌گیری (خط سیاه = میانگین آن ها) با پروفایل سرعت تئوریکی جریان متلاطم کاملاً توسعه یافته (خط سبز)، قطر لوله mm15=d، فاصله بین ژنراتور پیچشی و بخش اندازه‌گیری d5=l، سرعت جریان L/n 600=Qv مقایسه شده

٤-١ فاکتور پروفایل K_p

فاکتور پروفایل K_p، مشکل پروفایل اندازه‌گیری شده $K_{p,meas}$ با پروفایل ایده‌آل $K_{p,s}$ جریان متلاطم یا لایه ای کاملاً توسعه یافته مقایسه می کند:

(۱)

$$K_p = \frac{K_{p,meas}}{K_{p,s}} = \frac{\int (w_m - w)dr}{\int (w_{m,s} - w_s)dr}$$

که در اینجا: W_m سرعت در مرکز لوله r/R=۰،
W سرعت محلی در r/R می‌باشد.

نشانه S در ارتباط با پروفایل (استاندارد) ایده‌آل می‌باشد. فاکتور پروفایل، اطلاعات درباره صاف بودن (K_p<۱) یا تیره دار بودن (K_p<۱) پروفایل ارائه می‌دهد. در مورد جریان کاملاً توسعه یافته، فاکتور پروفایل مقدار ۱ را می گیرد. پروفایل (استاندارد) ایده‌آل به قرار زیر بودند:

- پروفایل HAGEN-POISEUILLE برای جریان‌های لایه‌ای پروفایل GERSTEN & HER-WIG [۸ و۷] برای جریان‌های متلاطم

٤-٢ فاکتور عدم متقارن K_a

فاکتور عدم تقارن K_a جابجایی مرکز سطح خارج از خط تقارن چرخش را نشان می‌دهد:

(۲)

$$K_a = \frac{\int_0^1 r \cdot w \cdot d\left(\frac{r}{R}\right)}{2 \cdot R \cdot \int_0^1 w \cdot d\left(\frac{r}{R}\right)}$$

٤-٣ فاکتور عدم متقارن K_{tu}

فاکتور تلاطم Ktu، نوسانات سرعت جریان مورد بررسی را توصیف می کند و به عنوان نسبت درجه حداکثر تلاطم Tumax در قسمت مرکزی جریان بین r/h≥۰/۲≥ و درجه تلاطم جریان (ایده‌آل) کاملاً توسعه یافته Tus (مطابق با [۹]) تعریف می‌شود:

(۳)

$$K_{tu} = \frac{Tu_{max}\Big|_{r/R=0.2}^{r/R=-0.2}}{Tu_s}$$

(۴)

$$Tu = \frac{s}{w} \quad \text{in \%}$$

(۵)

$$Tu_s = 0.13 \cdot \left[\mathrm{Re}\left(\frac{w_m}{w_{vol}}\right) \right]_s^{\frac{1}{8}}$$

که در اینجا: S انحراف استاندارد W می‌باشد. سرعت میانگین در زمان اندازه‌گیری tΔ می‌باشد. W_{val} سرعت میانگین مشتق شده ازسرعت جریان حجمی واقعی می‌باشد.

٤-٤ زاویه پیچش φ

علاوه بر سه پارامتر مشخص جریان براساس مؤلفه‌های سرعت محوری زاویه جریان، زاویه پیچش ϕ با استفاده از اطلاعات حاصل از مؤلفه‌های سرعت تانژانت تعریف شد:

(۶)

$$\Phi = \arctan\left(\frac{v}{w_{vol}}\right)$$

که در اینجا: V مؤلفه تانژانتی بردار سرعت در نقطه اندازه‌گیری مشاهد شده می‌باشد.

٤-٥ معیار پذیرش

بعد از تعریف این پارامتر ها و آزمایش مناسب بودنشان، محاسبات اتوماتیک متناظر در نرم افزار ارزیابی داده‌های سیستم LDA گنجانده شد. آنالیز و مباحثه نتایج بیش از

صد اندازه‌گیری جریان مختلف و درنظر گرفتن خواندنی‌های کنتور جریان متناظر (وابسته به موقعیت)، حدود کمی دقیق برای چهار پارامتر جریان می‌تواند یافت شود. بنابراین اگر پارامترهای جریان اندازه‌گیری شده در بخش داخلی کنتور جریان معیار پذیرش لیست شده در جدول ۱ را برآورده سازند، می‌توان انتظار داشت که کنتور جریان چندان تحت تأثیر شرایط جریان ورودی قرار نمی‌گیرد.

اگر تن ها یک پارامتر با این معیار هماهنگ نباشد، اقداماتی باید جهت جلوگیری از تغییرات ممکن در رفتار کنتور با توجه به تلاطم ها در جریان صورت گیرد. مقادیر مشخص پارامتر، جهت گیری خوبی را در خصوص آنچه می‌تواند برای بهبود شرایط جریان انجام شود را ارائه می‌کند به عنوان مثال، با توسعه لوله مستقیم در جلوی کنتور یا با واردکردن صاف کننده ها یا حالت دهنده‌های جریان ویژه در لوله داخلی کنتور (ورودی).

۵. توسعه بررسی‌های کنتورهای آب فشنگی مولتی جت (چند جریان تند)

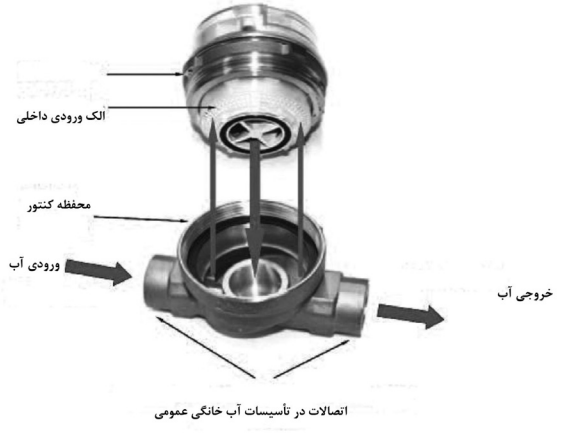
۵-۱ تحقق فنی

در اکثر موارد، مطالعه شرایط جریان در قسمت هایی از لوله در جلوی کنتور جریان هنوز کاملاً واکنش کنتور در تغییرات ناخواسته پیش بینی نشده را در خواندنی اش توضیح نمی‌دهد. در نتیجه، بررسی باید ادامه یابد بوسیله تغییر سیستم LDA جهت دسترسی به سطح جریان داخلی کنتور و مطالعه مستقیم پروسه‌های جریان مربوطه، بسته به ساختمان کنتور جریان واقعی.

با توجه به منبع جریان موردنظر، تصمیم گرفته شد، چنین بررسی‌هایی با کنتورهای آب مولتی جت هم محور کوچک متشکل از فشنگ اندازه‌گیری قابل اتصال به بخش لوله مربوط با پیچ کردن آن در محفظه کنتور آغاز شود (شکل ۸). این محفظه در لوله باقی می‌ماند یعنی جزئی از اتصالات تأسیسات آب خانگی می‌شود. فعالیت‌های قانونی و اندازه‌شناختی لازم به این کارتریج (فشنگ) محدود نمی‌شوند. همه آزمون ها بویژه، تصدیق ها نه تن ها با استفاده از محفظه اصلی بلکه با نمونه صورت می‌گیرند. تعویض موردنیاز کنتور آب بعد از انقضاء تاریخ تصدیق فقط در کارتریج صورت می گیرد. به عبارت دیگر، هر محفظه کنتور، بخشی از حجم اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهد، بدین طریق، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر رفتار اندازه‌گیری کنتور داشته باشد. با توجه به فقدان داده‌های تجربی یا نظری شک و تردیدی جدّی درباره این که آیا کنتور فشنگی می‌تواند ازنظر دستورالعمل دستگاه‌های اندازه‌گیری اروپایی جدید (MID) کنتور آب محسوب شود، بیان شده بود، از اینرو نیاز واقعی برای این مکانیسم احساس می‌شد.

جالبترین زمینه بررسی داخل چنین کنتورهای آب فشنگی مولتی جت، دهانه حلقه هم مرکز داخل محفظه می‌باشد که در آن آب ورودی به طور افقی جهتش را تغییر می‌دهد و به طور عمودی وارد کارتریج می‌شود. جهت حصول اطمینان از دسترسی اپتیکی به این منطقه، محفظه پنجره‌ای سیستم LDA و همچنین کنتور آب، می‌باید با موقعیت اندازه‌گیری جدید انطباق می‌یافت. کارتریج کاملاً با لوله شیشه‌ای مخصوص که جریان آب واقعی را از میان کارتریج دقیقاً شبیه سازی می‌کند، تعویض شد.

فاکتور پروفایل Kp	گستره	3/1 Kp ≤ ≤8/0
K_a عدم تقارن	مقدار حداکثر	%1 ≤ Ka
K_{tu} تلاطم	مقدار حداکثر	K_{tu} ≥ 2
Φ زاویه پیچش	مقدار حداکثر	Φ ≥ °2



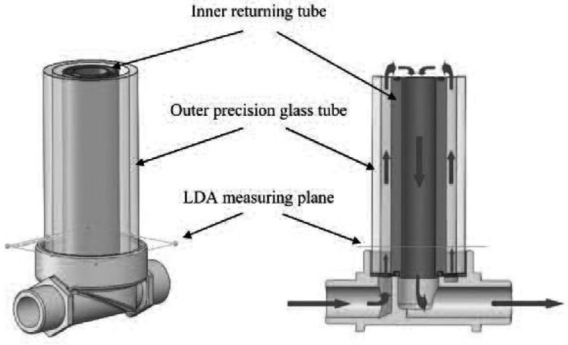
شکل ۸- اصل کلی کنتور آب فشنگی مولتی جت

۵-۲ انطباق سیستم LDA

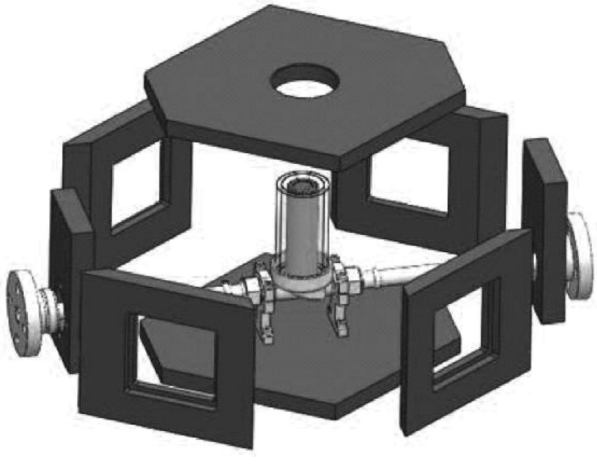
علاوه بر اصلاح و تغییر کنتور آب، محفظه پنجره‌ای و نرم افزار سیستم LDA نیز باید تطابق یابد. اکنون پوشش فوقانی محفظه پنجره‌ای باید لبه مخصوصی را داشته باشد که

جریـان را از دهانـه حلقـه خارجـی بـه خروجـی کنتـور آب داخلی هدایـت کنـد. از اینـرو سـومین موقعیـت اندازه‌گیری که مسـتلزم تغییـرات در سـاختمان ایـن محفظـه می‌باشـد وجـود نـدارد. راه حـل جدیـد (شـکل ۱۰ را ملاحظـه نماییـد) دسترسـی اپتیکی به سـطح اندازه‌گیـری را صرفـاً بوسـیله حرکـت دادن واحـد LDA در سـطح افقـی از پنجره بـه پنجره و با چرخانـدن آن حول محور خـودش امـکان پذیر می‌سـازد.

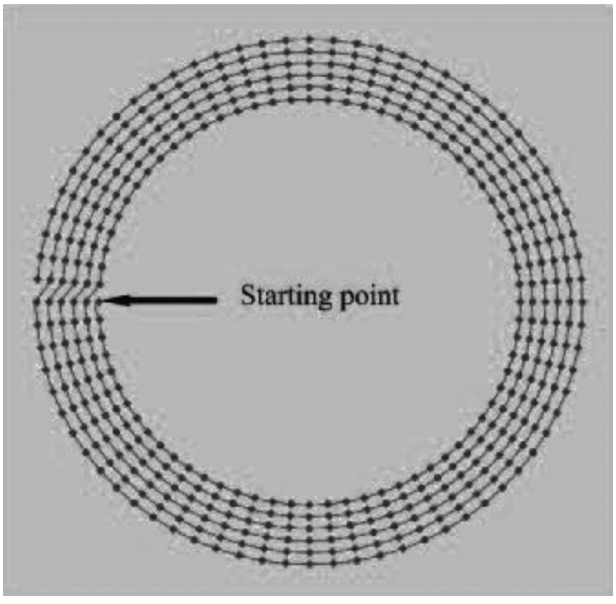
شـبکه اندازه‌گیری نیـز تغییر یافت: ۶ دایـره ۷۲ نقطه اندازه‌گیری کـه هـر یک داخـل دهانه حلقـه ای چیده می‌شـوند (شـکل ۱۱)، عـرض هـر یـک از آن هـا برابـر اسـت بـا mm۶ در مـورد ایـن کنتورهـای آب بـرای قطرهـای لولـه mm۱۵ – بنابرایـن بـه طورکلـی هـر پراکندگـی سـرعت مـورد اندازه‌گیـری شـامل ۴۳۲ نقطـه اندازه‌گیـری تـک می‌باشـد.



شـکل ۹- تغییـر و اصـلاح کنتـور آب فشـنگی مولتـی جت جهت دسترسـی به قسـمت داخلی موردنظـر کنتور.



شـکل ۱۰- سـاختمان جدیـد محفظـه پنجـره‌ای کـه دسترسـی اپتیکی بـه سـطح اندازه‌گیری **LDA** داخـل کنتـور را مطابـق بـا شـکل ۹ امـکان پذیر می‌سـازد.



شـکل ۱۱- اندازه‌گیـری شـبکه اصلاح شـده بـرای اندازه‌گیـری پراکندگی‌های سـرعت داخل دهانـه حلقـه‌ای کنتور آب فشـنگی مولتی جت.

ارزیابـی و پـردازش داده هـا نیـز تغییـر و اصـلاح یافـت. شـکل ۱۲، نمونـه‌ای از پراکندگـی مؤلفـه سـرعت محوری داخـل دهانه حلقـه‌ای را (از بـالا) نشـان می‌دهـد. در اینجـا، جریـان ورودی کامـلاً تحـت تأثیـر تلاطـم قرار نمـی گیـرد. آن به طـور افقی از طـرف چـپ وارد محفظـه کنتور می‌شـود، منشـعب می‌شـود و از میـان کانـال حلقـه‌ای تحتانـی بـه گـردش درمی‌آیـد، و به طرف رو بـه بـالا مـی‌رود و سـپس بـه سـمت ناظـر حرکـت می‌کند.

۵-۳ تعریـف جریـان بـی اندازه‌بیشـتر توصیـف کننـده پارامتـر

در مـورد بررسـی‌های کنتـور فشـنگی، اندازه‌گیری‌هـای LDA بـرای حیطـه وسـیعی از شـرایط جریـان و پیکـره بندی‌هـای مختلـف انجـام شـد کـه موجـب شـرح‌های کیفـی زیـادی در خصوص پراکندگی‌های سـرعت در شـکل ۱۲ شـد و دوباره این سـؤال مطـرح شـد که چگونـه آن هـا غیرقابـل قیاس می‌شـوند. بـا توجـه به سـاختار ویـژه کارتریج، حداقـل تأثیر بـر کارآمدی آن می‌توانـد زمانـی انتظـار رود کـه جریـان نسـبتاً یکنواخت باشـد و بـه طـور قرینه حـول دهانه حلقـه‌ای بچرخـد. در آن مـورد، چرخ داخـل کارتریـج مرتبـاً و بـه طـور یکنواخـت حرکـت می‌کنـد و خواندنـی کنتـور آب باید بسـیار تجدیدپذیر باشـد. بنابراین، هدف، پیـدا کـردن پارامتـر توصیف کننـده بـود مانند پراکندگی سـرعت ایـده‌آل فاکتـور همانـندی معروف.

شـکل ۱۳، در نمونـه اول و مطابـق بـا شـرایط جریان شـکل ۱۲، داده‌هـای اولیـه اسـکن کامـل شـامل مقادیـر سـرعت محـوری

i=1 . . . . 432 را نشان می‌دهد که به ترتیب تعیینشان لیست می‌شوند. خط قرمز افقی، سرعت حجمی میانگین W_{vol} را در سرعت جریان L/h600 بالغ بر m/s227/0 را تصریح می‌کند. مقادیر سرعت منفی، جریان معکوس در نقاط اندازه‌گیری مربوطه را شرح می‌دهد.

هنگام جستجوی تعریف مناسب فاکتور همانندی، کمّیت مایع سیال، اهمیت زیادی دارد، نه سرعت آن، بنابراین، واقعیتی دیگر باید درنظر گرفته شود: بسته به موقعیت شعاعی نقطه اندازه‌گیری، مقدار سرعت آن، سهم‌های مختلف جریان کلی ناشی از اندازه‌های مختلف سطوح اولیه را نشان می‌دهد. نتیجتاً، هر مقدار سرعت باید ضربدر فاکتور توزین مناسب شود که از داخل به خارج افزایش می‌یابد. بعلاوه، تأثیر بهتر توزیع فعال جریان از میان دهانه حلقه‌ای با نگاه کردن به مقادیر میانگین بخش‌های اصلی اطراف دهانه حاصل می‌شود. شکل ۱۴، نمودار نهایی میانگین بخشی نرمال ارزیابی شده را Z_{mean} در طول هر عبور j داخل دهانه حلقه‌ای بسته به حالت زاویه شان نشان می‌دهد، که از ورودی آب در طرف چپ آغاز می‌شود و در خلاف جهت عقربه‌های ساعت حول دهانه حلقه‌ای حرکت می‌کند. مطابق با شبکه اندازه‌گیری مفروض (شکل ۱۱)، فاصله زاویه‌ای 5° می‌باشد.

پراکندگی جریان یک شکل ترجیحاً مطلوب در دهانه حلقه‌ای مستلزم اینست که میانگین‌های نرمال شکل ۱۴ تاحد ممکن به خط قرمز در Z_{mean}=۱ نزدیک باشند. بنابراین، فاکتور همانندی F_h می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

(۷)

$$F_h = \frac{1}{72} \cdot \sum_{j=1}^{72} \left| z_{mean,j} - 1 \right|$$

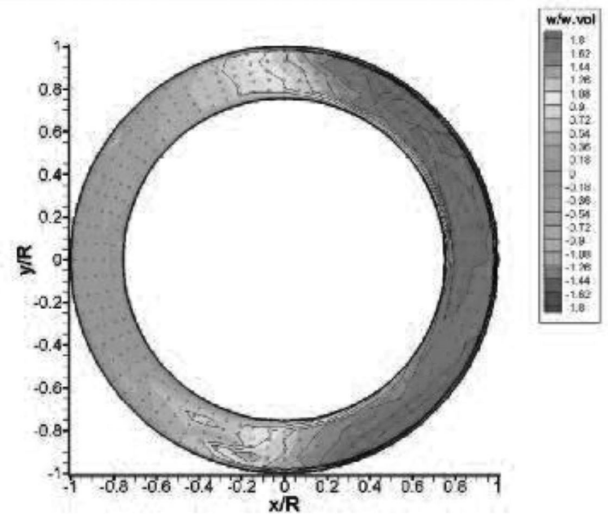
در مثال حاضر، F_h برابر با ۰/۶۳ می‌باشد. به طورکلی مقدار آن بین ۰ و ۱ می‌باشد:

- F_h=۰ نشان دهنده مورد پراکندگی جریان کاملاً یک شکل و یکنواخت در سطح سرعت میانگین می‌باشد.
- F_h=۱ معرف ٪۵۰ بسته شدن دهانه حلقه‌ای می‌باشد (شکل ۱۵ را ملاحظه نمایید).

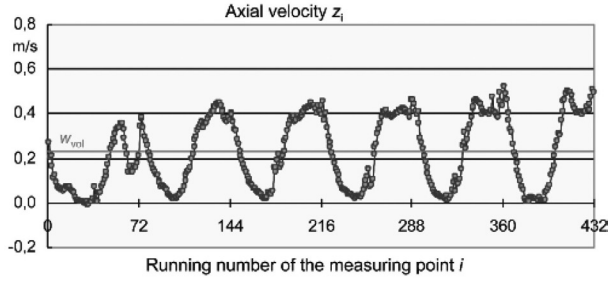
۵-٤ مقادیر اندازه‌گیری شده

در موقعیت‌های واقعی، ورودی کارتریج با استفاده از الک‌هایی با طرح‌های مختلف محافظت می‌شود (به عنوان مثال، شکل ۸ را ملاحظه نمایید). بنابراین، هر جریان ورودی باید از این الک ها عبور کند قبل از اینکه از میان دهانه به طرف بالا برود. با توجه به ساختمان استاندارد کنتورهای آب، الک ها معمولاً داخل بخش پایینی محفظه زیر سطح اندازه‌گیری LDA قرار می‌گیرند.

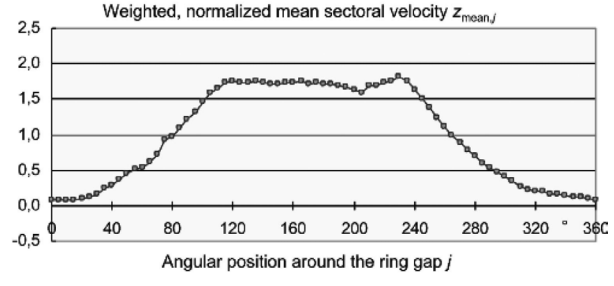
شکل ۱۶ مثالی از جریان دهانه حلقه‌ای را نشان می‌دهد زمانی که الک در بخش پایینی محفظه قرار دارد، نمونه واقعی را شبیه سازی می‌کند که در آن کارتریج به آن پیچ شده است. فاکتور همانندی متناظر، برابر با ۰/۱۶۴ می‌باشد.



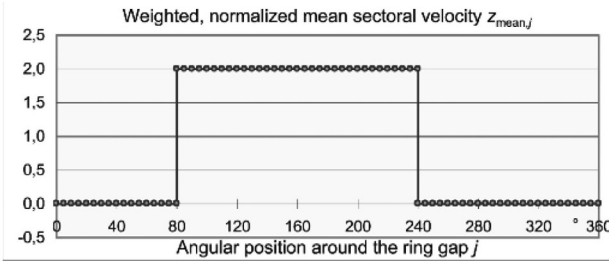
شکل ۱۲- پراکندگی مؤلفه های سرعت محوری ورودی توزیع نیافته داخل دهانه حلقه‌ای کنتور آب فشنگی مولتی جت برای سرعت جریان Q=L/h۶۰۰



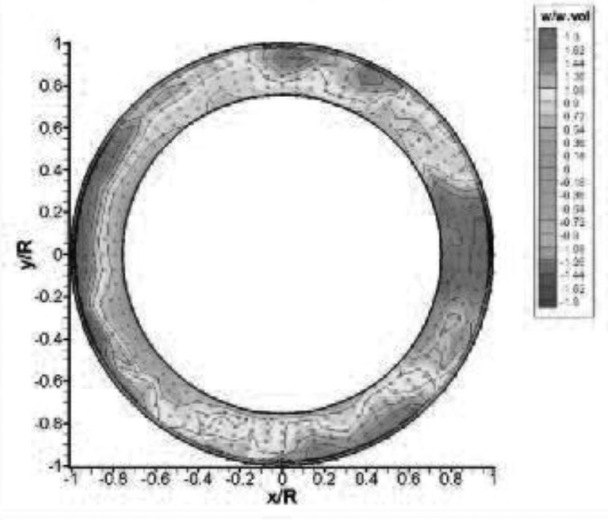
شکل ۱۳- سرعت محور داخل دهانه حلقه‌ای به m/s به منظور تعیین آن

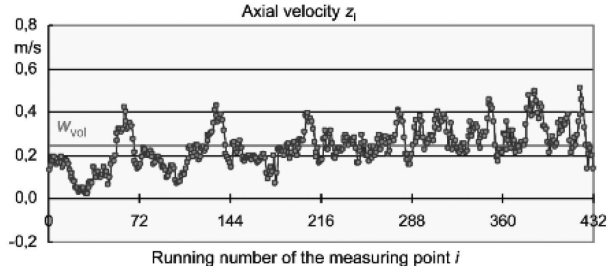


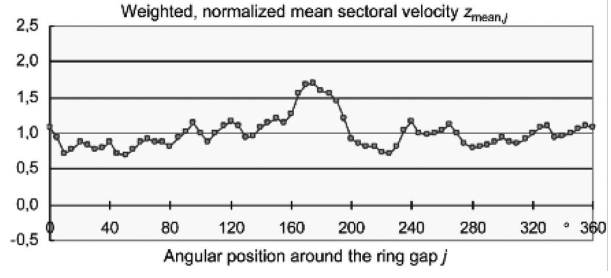
شکل ۱۴- میانگین بخش نرمال ارزیابی شده مؤلفه‌های سرعت محوری در طول هر ۷۲ عبور عرضی داخل دهانه حلق های



شکل ۱۵- میانگین بخش نرمال ارزیابی شده مؤلفه‌های سرعت محوری در طول هر ۷۲ عبور عرضی داخل دهانه حلقه‌ای در مورد ٪۵۰ بسته شدن کامل دهانه حلقه‌ای

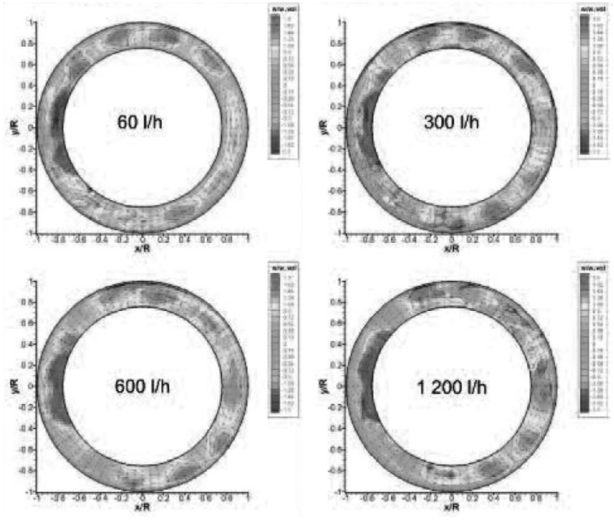






شکل ۱۶- پراکندگی سرعت محوری و تجزیه عددیاش مطابق با شکل‌های ۱۲ تا ۱۴، سرعت جریان Q_V=L/h۶۰۰ از طریق محفظه کنتور آب فشنگی مولتی جت مجهز شده به الک

شکل ۱۷- پراکندگی‌های سرعت محوری در دهانه حلقه‌ای کنتور آب



فشنگی مولتی جت بعد از اینکه الک داخل بخش تحتانی محفظه کنتور قرار داده می‌شود تا جریان ورودی کارتریج واقعی را شبیه سازی کند، سرعت‌های جریان بین L/h۶۰ و L/h۱۲۰۰

وابستگی و عدم وابستگی جریان دهانه در سرعت جریان می‌تواند بوسیله تصاویر نشان داده شده در شکل ۱۷ نشان داده شود. سرعت‌های جریان بین L/h۳۰ و L/h۱۲۰۰ بدون تغییرات در اندازه‌گیری تأسیسات متفاوت می‌باشد. این نمودار ها کاملاً مشابه به نظر می‌رسند.

فاکتورهای همانندی مربوطه برابر است با:

- ۰/۲۲۹ در L/h۶۰
- ۰/۲۰۶ در L/h۳۰۰
- ۰/۲۴۵ در L/h۶۰۰
- ۰/۲۴۷ در L/h۱۲۰۰

بررسی‌های بیشتر با استفاده از دیگر طرح‌های الک، نتایج مشابهی داشت.

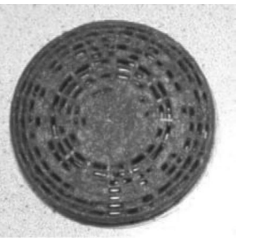
روی هم رفته، بیش از ۳۰ آرایش مختلف اندازه‌گیری کنتورهای آب فشنگی مولتی جت mm۱۵ مورد بررسی قرار گرفت:

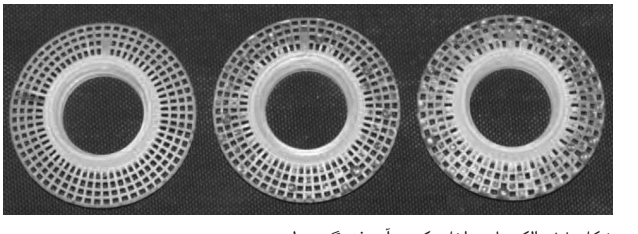
- تحت شرایط جریان توزیع نیافته ایده‌آل (بعد از لوله‌های مستقیم با طول‌های مختلف)
- ورای چندین اجزاء لوله در حال توسعه (زانویی) و برهم زننده‌های استاندارد (ژنراتورهای پیچشی) و تحت شرایط شبیه سازی آلاینده‌های قوی و خاک و غبار تجمع شده با مهر و موم کردن الک ها (شکل ۱۸) و مسدود کردن بخش لوله داخلی حلقه‌ای شکل تا ۵۰ ٪ برای همه موقعیت‌های اندازه‌گیری بررسی شده، منحنی‌های خطای

متناظر کنتورهای فشنگی کامل نیز تعیین شد. از اینرو دوباره پیدا کردن رابطه بین شرایط جریان در جلوی یا داخل کنتور فشنگی و رفتار اندازه‌شناختی آن امکان پذیر شد (شکل ۱۹ را ملاحظه نمایید).

بدست آوردن یافته‌های با ارزشی در خصوص رابطه بین پیکره بندی لوله مشخص، فاکتور همانندی حاصل و تغییر متناظر در منحنی خطای کنتور آب، امکان پذیر بود. فاکتورهای همانندی K_h برابر است با:

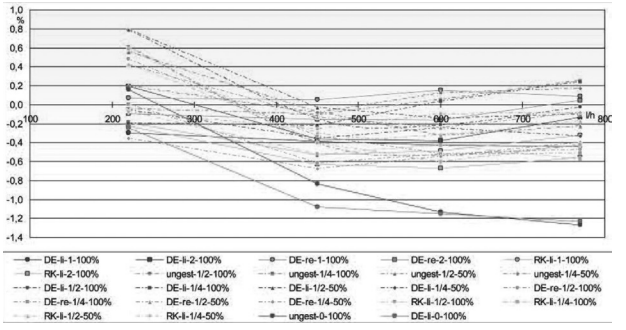
- ۰/۳ . . . . ۰/۱ برای همه پیکرهبندی ها با ورودی کنتور مسدود نشده و الک (اما با برهم زننده ها و الک‌های آلوده)
- ۰/۵ . . . . ۰/۳ برای همه پیکره بندی ها با الک ورودی کنتور ٪۵۰ مسدود شده و ۰/۸ . . . . ۰/۵ برای همه پیکره بندی‌های بدون الک منحنی‌های خطای کنتورهای فشنگی کامل شده، به طور قابل توجهی تن ها در یک موقعیت تحت تأثیر قرار گرفته بودند. در مورد نبود الک یعنی وقتی فاکتور همانندی، بیشتر از ۰/۵ باشد. با توجه به این واقعیت که همه کنتورهای آب فشنگی ابزارهای محافظ در بخش ورودی شان دارند و ابعاد سطح مشترک بین کارتریج و محفظه به طور بین‌المللی استاندارد می‌باشد[۱۰]، می‌توان انتظار داشت که کنتورهای آب فشنگی مولتی جت که به طور صحیح نصب شده اند و نگهداری می‌شوند می‌توانند کنتورهای آبی مطابق با MID محسوب شوند [۱۱].





شکل ۱۸– الک‌های داخلی کنتور آب فشنگی مولت جت.

از چپ به راست: الک تمیز بدون آلودگی، الک‌هایی با دهانه یا منافذ مسدود (درجه باز شدگی ٪۷۵ و ٪۵۰) برای شبیه سازی انسداد در طی استفاده و الک آلوده نرمال بعد از چند سال نصب خانگی منظم.



شکل ۱۹– انحراف‌های منتخب خواندنی‌های کنتور آب از نمونه توزیع نیافته مربوطه، بسته به سرعت جریان (**L/h**۷۸۰ . . . . . **L/h**۲۲۰).

شرح نشانه گذاری منحنی‌های خطا

DE	ژنراتور پیچشی استاندارد مطابق با [۳]	۱	کنتور نوع ۱
RK	انحنای دوبل خارج از سطح	۲	کنتور نوع ۲
ungest	توزیع نیافته	۱/۲	انسداد الک ورودی ٪۵۰
li	پیچش به سمت دست چپ	۱/۴	انسداد الک ورودی ٪۲۵
re	پیچش به سمت دست راست	٪۱۰۰	بخش ورودی کاملاً باز در جلوی کنتور
0	بدون الک (توری)	٪۵۰	انسداد حلقه‌ای شکل بخش لوله ورودی در جلوی کنتور تا ٪۵۰ سطح مقطع

٦ نتیجه گیری

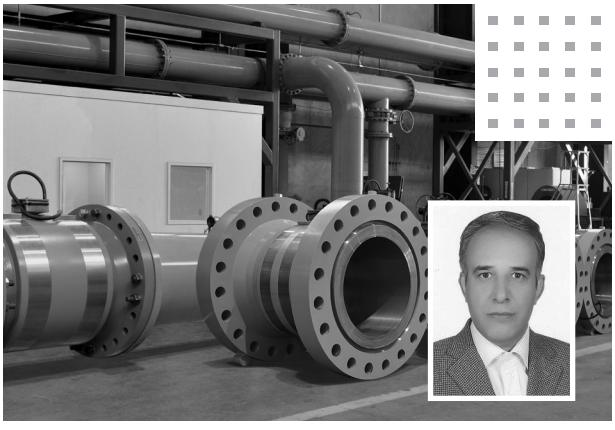
روش‌های اپتیکی لیزری، مطالعات شرایط جریان در لوله ها و وسایل اندازه‌گیری سرعت جریان داخلی را امکان پذیر می‌سازد.

تعریف پارامترهای بی اندازه‌توصیف کننده جریان تحت چندین ابعاد جالب ازنظر اندازه‌شناختی امکان پذیر می‌باشد. یافتن معیار پذیرش این پارامتر به صورت توزیع نیافته امکان پذیر است یعنی تغییر قابل توجهی در رفتار ابزار اندازه‌گیری سرعت جریان صورت نگرفته است.

منبع

OIML BULLETIN NUMBER 4 – OCTOBER 2014

عدم قطعیت تعیین ضریب تصحیح K در کالیبراسیون فلومترهای توربینی



احد محمدی لیواری
معاون مرکز ملی اندازه شناسی

چکیده

یک فلومتر توربینی از چند پروانه تشکیل شده است که متناسب با حجم نرخ جریانی که از آن عبور می‌کند، می چرخد و با شمارش تعداد دوران‌ها،حجم نرخ جریان را اندازه‌گیری می‌کند.این دستگاه به‌وسیله یک *prover* و یک حجم مرجع معلوم کالیبره می‌شود.پس از کالیبراسیون ،ضریب تصحیح(K) برای فلومتر توربینی تعیین می‌شود.تعیین بزرگی عدم قطعیت این ضریب به دلیل اندازه‌گیری‌ها و محاسبات بعدی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است

کلمات کلیدی: عدم‌قطعیت اندازه‌گیری، فلومترتوربینی، ضریب K، کوواریانس

مقدمه

از سال ۱۹۹۳میلادی که اولین راهنمای روش برآورد عدم‌قطعیت در اندازه‌گیری منتشر شد موضوع برآورد عدم‌قطعیت اندازه‌گیری به صورت گسترده‌ای در شاخه‌های مختلف علوم تجربی مورد استقبال و استفاده قرار گرفته است.اهمیت موضوع به حدی است که در صنایع نفت و گاز به دلیل گردش مالی بسیار زیاد دادوستدهای آن ،در کشورهای ذینفع مانند نروژ، روش‌ها و کلیه محاسبات مربوط به برآورد عدم‌قطعیت اندازه‌گیری سیستم‌های میترینگ مستند شده ،مورد استفاده قرار گرفته و بازنگری می‌گردد.

یکی از دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار مهم فلومترهای توربینی است که در حجم زیادی در سیستم‌های میترینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد.مطالعات نشان می‌دهند که عدم قطعیت اندازه‌گیری این دستگاه از مؤلفه‌های زیادی تشکیل می‌شود.هریک از این مؤلفه‌های دخیل در عدم‌قطعیت باید جداگانه مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند.در مقاله حاضر فقط به یکی از این مؤلفه‌ها یعنی ضریب تصحیح K که در آزمایشگاه های کالیبراسیون برای هر فلومتر توربینی باید تعیین گردد،پرداخته شده است.

۲. ضریب تصحیح K

برای به دست آوردن ضریب تصحیح مربوط به شرایط استاندارد،باید حجم فیزیکی prover و حجم مایع آن مطابق شرایط استاندارد،تصحیح شوند.برای این کار باید از ضرایب تصحیح حجمی فولاد زنگ نزن و ضرایب تصحیح حجمی مایعات استفاده نمود. همچنین تعداد پالس‌های شمارش شده توسط فلومتر به حجم عبوری از آن بستگی دارد.بنابراین ضرایب تصحیح حجمی مایع باید در شمارش پالس‌ها در شرایط استاندارد مربوط به فرآیند proving هم اعمال شود.

علاوه بر این،ضریب تصحیح حجمی در تصحیح اثرات دمایی چگالی مایع در شرایط استاندارد و تبدیل چگالی خط به چگالی شرایط استاندارد نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۱. مدل ریاضی ضریب K

مدل ریاضی مورد استفاده برای ضریب K که تحت شرایط استاندارد تصحیح شده است به صورت زیر می‌باشد.

$$K = \frac{MR_p\left(C_{tsm}.C_{psm}\right).\left(C_{tlm}.C_{plm}\right)}{BV\left(C_{tsp}.C_{psp}\right).\left(C_{tlp}.C_{plp}\right)} \qquad (1)$$

که در آن :

K ضریب مربوط به تعداد پالس‌های حجم(m۳/پالس)
MRp تعداد پالس‌ها در فرایند proving(پالس)
BV حجم پایه(مرجع) prover(m^3)
C_{tsp} ضریب تصحیح حجم مربوط به اثر دما بر فولاد prover
C_{psp} ضریب تصحیح حجم مربوط به اثر فشار بر فولاد prover
C_{tsm} ضریب تصحیح حجم مربوط به اثر دما بر فولاد توربین
C_{psm} ضریب تصحیح حجم مربوط به اثر فشار بر فولاد توربین
C_{tlp} ضریب تصحیح حجم مربوط به اثر دما بر مایع prover
C_{plp} ضریب تصحیح حجم مربوط به اثر فشار بر مایع prover
C_{tlm} ضریب تصحیح حجم مربوط به اثر دما بر مایع فلومتر توربینی
C_{plm} ضریب تصحیح حجم مربوط به اثر فشار بر مایع فلومتر توربینی
اگر از ضرایب C_{tsm} و C_{psm} صرفنظر کنیم رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$K = \frac{MR_p.(C_{tlm}.C_{plm})}{BV(C_{tsp}.C_{psp}).(C_{tlp}.C_{plp})} \quad (۲)$$

تنها همبستگی موجود در مدل فوق ناشی از ضرایب تصحیح فشار و دما در میترینگ و proving است. کوواریانس این همبستگی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\text{کوواریانس} = 2.\left\{\begin{array}{l} \frac{\partial K}{\partial C_{tlm}}.\frac{\partial K}{\partial C_{tlp}}.u(C_{tlm}).u(C_{tlp}).r(C_{tlm},C_{tlp}) \\ \frac{\partial K}{\partial C_{plm}}\frac{\partial K}{\partial C_{plp}}.u(C_{plm}).u(C_{plp}).r(C_{plm},C_{plp}\,Cplp) \end{array}\right\} \quad (۳)$$

بزرگی $r(C_{tlm}, C_{tlp})$ بین ۱ و ۱- است.علاوه بر عدم‌قطعیت‌های مربوط به MRp و BV و ضرایب تصحیح حجمی،عدم‌قطعیت‌های مربوط به تکرارپذیری و خطی بودن فلومتر نیز در عدم‌قطعیت مرکب K باید لحاظ شود.از آنجایی که این دو ویژگی(تکرارپذیری و خطی بودن)بر عملکرد بعدی فلومتر تاثیر مستقیم دارند،حدود قابل قبول این دو ویژگی باید توسط نهادهای مرتبط و یا وزارت نفت تعیین و پایش گردد تا در عملیات میترینگ از فلومترهای با کیفیت استفاده شود.

۲-۲. عدم قطعیت ضریب تصحیح

مدل ریاضی عدم قطعیت مربوط به تعیین ضریب K در کالیبراسیون فلومتر توربینی به صورت زیر است.

(۴)

$$u_c^2(k) = S^2_{k,p_{pa}}\,u^2(p_{pa}) + S^2_{k,T_{pa}}\,u^2(T_{pa}) + S^2_{k,p}\,u_c^2(p) + S^2_{k,p_{e_a}}\,u^2(p_{e_a}) + S^2_{k,p_{b_a}}\,u^2(p_{b_a}) + S^2_{k,T}\,u_c^2(T) + S^2_{k,Dp}\,u^2(Dp) + S^2_{k,EMP}\,u^2(EMP) + S^2_{k,TP}\,u^2(Tp) + S^2_{k,EM}\,u^2(EM) + S^2_{k,p_{ref}}\,u^2(p_{ref}) + S^2_{k,MRP}\,u^2(MRP) + S^2_{k,BV}\,u^2(BV) + S^2_{k,C_{plm}}\,u^2(C_{psm}) + S^2_{k,C_{Hm}}\,u^2(C_{tsm}) + S^2_{k,C_{plp}}\,u^2(C_{plp}) + S^2_{k,C_{Hp}}\,u^2(C_{Hp}) + S^2_{k,C_{tsp}}\,u^2(C_{tsp}) + S^2_{k,C_{psp}}\,u^2(C_{psp}) + u^2(k_{lin}) + u^2(k_{rept}) + u^2(k_{flocom}) + \text{covariance}$$

که در آن :

$u^2(P_{pa})$ عدم قطعیت استاندارد میانگین فشار ورودی و خروجی prover برحسب barg

$u^2(T_{pa})$ عدم قطعیت استاندارد میانگین دمای ورودی و خروجی prover برحسب C °

$u_c^2(p)$ عدم قطعیت استاندارد مرکب اندازه‌گیری فشار خط برحسب bar

$u^2(Pb_a)$ عدم قطعیت استاندارد فشار استاندارد برحسب kpa

$u_c^2(T)$ عدم قطعیت استاندارد مرکب اندازه‌گیری دمای خط برحسب C °

$u^2(Dp)$ عدم قطعیت اندازه‌گیری قطر داخلی لوله prover برحسب m

$u^2(EMP)$ عدم قطعیت استاندارد مدول‌های الاستیسیته prover برحسب barg

$u^2(Tp)$ عدم قطعیت اندازه‌گیری ضخامت دیواره prover برحسب m

$u^2(p_{ref})$عدم قطعیت استاندارد مرکب چگالی مرجع استاندارد برحسب kg/m^3

$u^2(EM)$ عدم قطعیت استاندارد ضریب انبساط حجمی prover برحسب $°C^{-1}$

$u^2(MRP)$ عدم قطعیت استاندارد شمارش تعداد پالس در proving برحسب pulses

$u^2(UV)$ عدم قطعیت استاندارد حجم prover برحسب m^3

$u^2(C_{psm})$ عدم قطعیت استاندارد مربوط به مدل تصحیح حجمی C_{psm}

$u^2(C_{tsm})$ عدم قطعیت استاندارد مربوط به مدل تصحیح حجمی C_{tsm}

$u^2(C_{plp})$ عدم قطعیت استاندارد مربوط به مدل تصحیح حجمی C_{plp}

$u^2(C_{Hp})$ عدم قطعیت استاندارد مربوط به مدل تصحیح حجمی C_{tlp}

$u^2(C_{tsp})$ عدم قطعیت استاندارد مربوط به مدل تصحیح حجمی C_{tsp}

$u^2(C_{psp})$ عدم قطعیت استاندارد مربوط به مدل تصحیح حجمی C_{psp}

$u^2(k_{lin})$ عدم قطعیت خطی بودن ضریب برآورد شده K

$u^2(k_{rept})$ عدم قطعیت تکرارپذیری ضریب برآورد شده K

$u^2(k_{flocom})$ عدم قطعیت استاندارد محاسبات نرم افزاری

covariance کوواریانس همبستگی عدم‌قطعیت‌های مربوط به مدل ضریب تصحیح حجمی

به دلیل طولانی شدن جمله عدم‌قطعیت (معادله ۴) از محاسبه ضرایب حساسیت جملات صرفنظر شده است.

۲-۳. مثال عددی

در جدول زیر نمونه‌ای از منابع دخیل در عدم‌قطعیت مربوط به ضریب K آورده شده است.

جدول ۱. جدول منابع عدم‌قطعیت ضریب K

کمیت ورودی	توضیحات	مقدار	عدم‌قطعیت گسترده (سطح اطمینان ۹۵٪)
p_{pa}	میانگین فشار ورودی و خروجی prover	۱۸ barg	۰.۱۶ bar
T_{pa}	میانگین دمای ورودی و خروجی prover	۶۵ °C	۰.۱۶ °C
P	فشار خط	۱۸ barg	۰.۱۶ bar
pb_a	فشار مرجع	۱.۰۱۳۲۵ bar	۰.۰ bar
pe_a	فشاربخار در دمای مایع تحت اندازه‌گیری	۱.۰۱۳۲۵ bar	۰.۰ bar
T	دمای خط	۶۵ °C	۰.۱۶ °C
DP	قطر داخلی لوله prover	۴۴۴.۵.۱۰-۳	۷۵٪ ۰f DP
EMP	مدول‌های الاستیسیته prover	۲۰۳۴۰۰۰ barg	.۵٪ of EMP
TP	ضخامت دیواره prover	۰.۰۱۴۲۷۵ m	۰.۰۷٪ of TP
EM	ضریب انبساط حجمی prover	۰.۰۰۰۰۳۳۵°C^{-1}	۰.۵٪ of EM
ρ_{ref}	چگالی در دما و فشار استاندارد	۸۱۲.۴۸ kg/m^3	۱.۱۲ kg/m^3
MR_p	پالس‌های اندازه‌گیری شده	۹۰۰۹۲	۰.۰۰۰۱٪ of MR_p
BV	حجم prover	۲۸.۶۴۶ m^3	۰.۰۱۱ m^3
Flocom	محاسبات نرم‌افزاری	-	۰.۰۰۰۱٪ of ave K
خطی بودن	خطی بودن	-	۰.۱۵٪ of ave K
تکرارپذیری	تکرارپذیری	-	۰.۰۲۰٪ of ave K

جدول ۲.جدول عدم‌قطعیت مدل تصحیح حجمی

منبع	عدم قطعیت ورودی			عدم قطعیت مرکب	
	مقدار	مقسوم علیه	عدم قطعیت استاندارد	ضریب حساسیت	واریانس
p_{pa}	0.01568	2	0.0078	-4.07.10^{-1}p/m^3 bar	1.02.10^{-5}(p/m^3)^2
T_{pa}	0.1565	2	0.0738	3.00 p/m^3°C	5.51.10^{-2} (p/m^3)^2
P	0.01568	2	0.0078	3.59.10^{-1} p/ m^{3}bar	7.93.10^{-6} (p/m^3)^2
pb_a	0.0	1	0.0	0 p/m^3 bar	0 (p/m^3)^2
pe_a	0.0	1	0.0	0 p/m^3 bar	0 (p/m^3)^2

$5.59.10^{-2}$ $(p/m^3)^2$	-3.10 $p/m^3°C$	0.0738	2	0.1565	T
$9.77.10^{-12}$ $(p/m^3)^2$	-1.95 p/m^3 m	$1.6.10^{-6}$	1	0.001607	DP
$4.67.10^{-6}$ $(p/m^3)^2$	$4.25.10^{-7}$ p/m^3 bar	5085	1	5085	EMP
$9.16.10^{-8}$ $(p/m^3)^2$	$6.06.10^{-1}$ p/m^3 m	$5.0.10^{-6}$	1	0.004996	TP
$1.72.10^{-4}$ $(p/m^3)^2$	$-1.5.10^{-5}$ p k	$8.38.10^{-8}$	1	$8.38.10^{-8}$	EM
0 $(p/m^3)^2$	0 p/kg	0.591	2	1.181	ρ_{ref}
$2.46.10^{-6}$ $(p/m^3)^2$	$3.48.10^{-2}$ l/m^3	0.045046	1	0.045046	MR_p
$3.63.10^{-1}$ $(p/m^3)^2$	$-1.10.10^{2}$ p/m^3 m	0.0055	1	0.0055	BV
$2.21.10^{-1}(p/m^3)^2$	$3.13.10^{3}$ p/m^3	$1.5.10^{-4}$	2	$3.0.10^{-4}$	C_{plm}
$5.55(p/m^3)^2$	$3.29.10^{3}$ p/m^3	$7.15.10^{-4}$	1	$7.15.10^{-4}$	Ctlm
$2.21.10^{-1}(p/m^3)^2$	$-3.13.10^{3}$ p/m^3	$1.5.10^{-4}$	2	$3.0.10^{-4}$	C_{plp}
$5.55(p/m^3)^2$	$-3.29.10^{3}$ p/m^3	$7.15.10^{-4}$	1	$7.15.10^{-4}$	C_{tlp}
0 $(p/m^3)^2$	$-3.13.10^{3}$ $(p/m3)^2$	0	1	0	C_{tsp}
0 $(p/m^3)^2$	$-3.14.10^{3}$ $(p/m3)^2$	0	1	0	C_{psp}
5.54 $(p/m^3)^2$	1	2.35411	1	2.35411 p/m^3	خطی بودن
$9.85.10^{-2}(p/m^3)^2$	1	0.31388	1	0.31388 p/m^3	تکرارپذیری
$2.46.10^{-6}(p/m^3)^2$	1	0.001569	1	0.001569 p/m^3	نرم افزار
$1.1.10^{1}(p/m^3)^2$					کوواریانس
جمع واریانس‌ها : 6.12 $(p/m^3)^2$		عدم قطعیت استاندارد مرکب : u_c=2.47 p/m^3			
عدم قطعیت گسترده : U= 4.947 (k=2)		عدم قطعیت نسبی : U/K =0.1576%			

۲-٤. نتایج و بحث روی نتایج

همانگونه که مشاهده می‌شود در برآورد عدم‌قطعیت اندازه‌گیری ضریب K فلومتر توربینی اثرات ناشی از دما و فشار بر مایع prover از بقیه منابع بیشتر است.بنابراین کنترل و پایش این دو عامل ضرورت بیشتری دارد.

۳. نتیجه‌گیری

نمونه ارایه شده بیانگر توجه ویژه به برآورد عدم قطعیت اندازه‌گیری فلومترهای توربینی است. در این مقاله فقط به ضریب تصحیح K پرداخته شد.برای آن که بتوانیم عدم‌قطعیت اندازه گیری فلومترهای توربینی را برآورد کنیم به محاسبات پیچیده‌تری نیاز داریم.در این برآورد اطلاعات و داده های زیادی لازم است که بدون دسترسی به آن‌ها نمی‌توان برآورد قابل اطمینانی از وضعیت دستگاه‌های اندازه‌گیری به دست آورد. پیشنهاد می‌شود باتوجه به ارزش اقتصادی بسیار زیاد دادوستدهای حوزه نفت و گاز، کارگروهی از کارشناسان زبده مرتبط تشکیل و دستورالعمل‌های مربوط به محاسبات عدم قطعیت تجهیزات مورد استفاده در میترینگ این حوزه‌ها را تدوین و ابلاغ نمایند.این دستورالعمل‌ها به وحدت رویه ،قابلیت مقایسه نتایج اندازه‌گیری سیستم‌های میترینگ و ارتقاء قابلیت اطمینان کمک خواهد کرد.

مراجع

[1]- ISO/IEC GUIDE 98-3:2008(E) Guide to the expression of uncertainty in measurement.
[2]- HANDBOOK OF UNCERTAINTY CALCULATIONS. The Norwegian Society Oil and Gas Measurement. March 2003