www.pumpiran.com
info@pumpiran.com

- **نشریه فنی آموزشی شرکت صنایع پمپیران**
- **پاییز و زمستان ۱۳۹۳ ▪ شماره ۴۷ ▪ سال ۳۰**

- صاحب امتیاز: شرکت صنایع پمپیران (سهامی خاص)
- مدیر مسئول: دکتر میر بیوک احقاقی
- سردبیر: مهندس سید بهزاد مبین
- هیئت تحریریه: گروه مهندسین شرکت صنایع پمپیران
- مدیر اجرایی: مهندس مهدی نجدآقابابایی
- مدیر هنری: سعید ربیعی
- مسئول اشتراک و توزیع: صمد فائز

- تبریز، جنب قراملک، شرکت صنایع پمپیران ص.پ۱۳۵-۵۱۸۴۵
تلفن: ۹-۳۲۸۹۰۶۴۴ -۰۴۱فاکس: ۰۴۱-۳۲۸۹۸۴۴۶

- تهران: خیابان ولی عصر، نبش میرداماد، برج دوم اسکان
تلفن: ۱۴-۸۸۶۵۴۸۱۰-۰۲۱ فاکس: ۰۲۱-۸۸۷۹۸۹۴۲

پست الکترونیکی نشریه : E-mail: pump@magiran.co
وب سایت : www.magiran.com/pump

خوانندگان گرامی:

■ نشریه پمپ از عموم پژوهشگران، صاحب نظران و استادان، مقاله، ترجمه وگزارش می پذیرد.

■ نقل و اقتباس مطالب و استفاده از نشریه پمپ با ذکر کامل منبع آزاد است.

■ نشریه پمپ در رد، قبول، حذف، ویرایش واصلاح مطالب آزاد است.

■ نشریه پمپ به همکاری وهمیاری شماارج نهاده و ازمقاله‌های مفید شما استقبال خواهد نمود.

■ لطفا با ارسال نکته نظرات و پیشنهادات سازنده و همچنین همکاری خود در تهیه مقالات فنی و علمی، ما را درارائه هرچه بهتر مطالب و بالا بردن کیفیت نشریه یاری نمایید.

با تشکر

سردبیر

شرایط درج مقالات:

۱ـ محتوای مقاله باید فنی، صنعتی و علمی بوده و به طریقی با طراحی، تولید و یا کاربرد پمپ مربوط باشد.

۲ـ نام و نام خانوادگی و درجه تحصیلی، شغل و آدرس کامل، مولف یا مترجم در صفحه اول قید شود. همچنین شماره تلفنی که بتوان در موقع لزوم تماس حاصل کرد.

۳ـ عنوان مقاله با در نظر گرفتن فواصل کلمات از دو سطر تجاوز ننماید.

۴ـ مطالب ارسالی باید تایپ شود در غیر این صورت، با خط خوش در یک طرف کاغذ نوشته و ارسال شود.

۵ـ تصویرها، شکل ها و نمودارهای پیوست مقالات بر روی یک طرف کاغذ باشد.

۶ـ توضیحات و زیر نویس ها به صورت مسلسل شماره گذاری و در پایان مقاله ذکر شوند.

۷ـ مراجع و ماخذ اصلی در تالیف و تدوین مطلب ارسالی باید دقیقا مشخص و در پایان مقاله معرفی گردند.

۸ـ مقالات ترجمه شده منظم به فتوکپی متون اصلی باشند.

۹ـ مقالات ارسالی باید قبلا در هیچ یک از نشریات داخلی چاپ نشده باشند.

۱۰ـ مقالات ارسالی برگشت داده نخواهد شد.

ضمنا چون صحت مطالب و مقاله بر عهده نویسنده آن است لذا هر گونه تغییر و ویرایش در متن مقاله جهت تایید نهایی نویسنده قبل از چاپ ارسال خواهد شد.

فهرست مطالب

تاثیر ذرات نانو SiO_2 بر آغاز و شدت کاویتاسیون در پمپ آب گریز از مرکز

مهندس بهروز جلیل پور

۶

فرآیند انتخاب –سیستم های جدید

مهندس پگاه آب روانی

۱۸

اندازه گیری مقاومت عایقی کابل در هنگام نصب و نگهداری

مهندس عیسی آزادوار

۲۶

اصول عملکرد فلومترها

مهندس امیر لطفی

۳۵

• تاثیر ذرات نانو SiO_2 بر آغاز و شدت کاویتاسیون در پمپ آب گریز از مرکز

◄ مهندس بهروز جلیل‌پور
کارشناس آزمایشگاه

■ چکیده

هدف اصلی این مقاله بررسی اثرات ذرات نانو SiO_2 بر آغاز کاویتاسیون در پمپ آب گریز از مرکز می‌باشد. یک پمپ گریز از مرکز با هد نامی و دبی 2.4 m و 12 l/min استفاده شده است. بعلاوه 7 nm ذرات نانو به آب دیونیزه به منظور آماده سازی جریان نانو با غلظت های 0.1 ، 0.4 و 0.7 درصد اضافه شده‌اند ($ml\ sio_2/ml\ h_2o$). آزمایشات در سه دمای مختلف (۱۰ درجه سلسیوس و ۲۵ درجه سلسیوس و ۴۰ درجه سلسیوس) به منظور بررسی آغاز کاویتاسیون و شدتش در گذرگاه پره پمپ انجام شده است. پارامتر اصلی این تحقیق ذرات نانو SiO_2 و دمای سیال می باشد. آغاز کاویتاسیون در گذرگاه پره پمپ با استفاده از دو روش متفاوت شناسایی می شوند: الف) مشاهده کثرت حباب ها در جریان توسط دوربینی با سرعت بالا. ب) بررسی منحنی مشخصه ی پمپ. نتایج نشان می دهد ذرات نانو SiO_2 می توانند شروع کاویتاسیون را به تاخیر بیندازند و به مقدار قابل توجهی مقدار رشد کاویتاسیون را کاهش دهند. همچنین این نتیجه حاصل شد که هنگامی که ذرات نانو افزایش می یابد رشد حباب کاهش می‌یابد و این عمل در دماهای بالاتر بیشتر به چشم می‌خورد.

۱. مقدمه

کاویتاسیون یک رویداد حائز اهمیت است که درجریان مایعات روی می دهد. ممکن است هنگامی که فشار استاتیک محلی در قطره های سیال کمتر از فشار تبخیر مایع در درجه حرارت واقعی باشد رخ دهد. علاقه به دینامیک کاویتاسیون حباب‌ها عمدتا از پیامدهای مخرب آن‌ها حاصل می شود. کاویتاسیون یک مشکل شایع در پمپ ها و کنترل شیرها است که منجر به آسیب جدی می‌شود. در شرایط غلط کاویتاسیون می تواند عمر اجزا را به شدت کاهش دهد و از بین رفتن حباب ها حجم زیادی صدا تولید می‌کند و به اجزا آسیب می‌رساند و باعث کاهش بازده می‌گردد. تلاش‌های زیادی در طول سالیان زیادی برای مشخص کردن تاثیرات ویژگی های سیال از قبیل دما و چسبندگی کاویتاسیون در پمپ ها صورت گرفته است. از طرفی دیگر تعدادی از تحقیقات منتشر شده اند که تاثیر ذرات افزاینده بر ویژگی های کاویتاسیون پمپ گریز از مرکز را در نظر گرفته اند. بیشتر این تحقیقات بر تاثیر تعداد پره‌ها و پارامترهای هندسی تمرکز دارند.

بنابراین مطالعه ی رابطه بین استفاده صحیح ذرات افزاینده و کاویتاسیون می تواند عنوانی جالب برای تحقیق باشد. برخی از محققان تاثیرات اضافه کردن ذرات پلیمر در کاویتاسیون را ارزیابی کرده اند. از طرفی دیگر ذرات نانو می‌توانند در زمینه های مختلف برای اهداف متفاوت مانند انتقال گرما و انتقال جرم و کاربرد آن در انرژی های جدید مورد استفاده قرار گیرد. اخیرا تاثیرات ذرات نانو در عمل جذب حباب آزمایش شده است و نشان داده که اضافه کردن ذرات نانو عمل جذب را تا 3.21 برابر افزایش می دهد. با توجه به تحقیقات، ذرات نانو دامنه ی وسیعی از کاربرد در سیستم‌های سیال دارند که برخی ازآنها مربوط به کاویتاسیون هستند. بنابراین این کاربرد ارزشمند تکنولوزی نانو محققان را انگیزه بخشیده که در تحقیقاتشان روی رابطه ی بین افزودن ذرات نانو و فرایند کاویتاسیون در شیر تمرکز کنند. اما هیچ کدام ازآنها تاثیرات ذرات نانو روی کاویتاسیون در پمپ را بررسی نکرده اند. همچنین ذرات نانو SiO_2 ویژگی های آب را تغییر می دهد و این باعث تغییر در ساختار و رشد و از بین رفتن حباب می‌شود. در این باره نکات ذیل باید مورد توجه واقع شود:

۱. تشکیل حباب با افزایش چسبندگی به نحوی که مانع شکل گیری و انتشارشان شوند تحت تاثیر قرار می گیرد. از طرف دیگر افزایش ذرات نانو SiO_2 باعث افزایش چسبندگی سیال می شود که امری شناخته شده است.

۲. انرژی تشکیل حباب در اطراف ذرات نانو در مقایسه با شرایط یکسان در آب خالص بیشتر است. بر اساس ازمایشات در دسترس این امر تاثیر مهمی در پایداری حباب ها دارد.

۳. آغاز کاویتاسیون و شدتش می توانند تحت تاثیر اینکه ذرات نانو SiO_2 در فشار تبخیر و کشش سطحی می‌باشند تغییر کند، حتی در شرایطی که ساختار ضعیف نانو منجر به حضور قابل چشم پوشی این نوع عامل ها شوند.

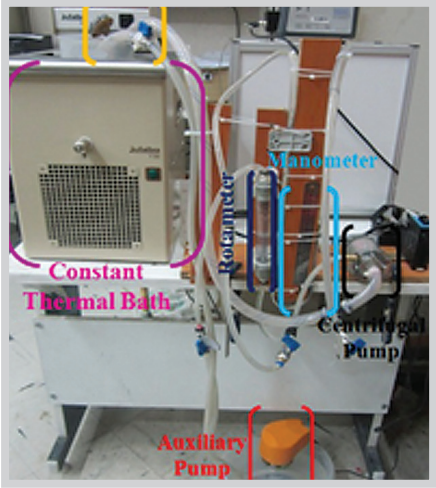
۴. سرانجام مطالعات اخیر نشان می دهد به کار گرفتن ذرات نانو در جذب حباب های نابجا موثر می باشد.

در این تحقیق ذرات نانو SiO_2 به آب یونیزه به منظور خنثی کردن کاویتاسیون در پمپ گریز از مرکز با پره های خمیده و وارونه افزوده می شوند. پمپ دبی نامی 12 l/min متناظر با هد 2.4 m می رسد. تغییر در تراکم ذرات نانو و دمای سیال به عنوان پارامتر های اصلی در نظر گرفته می شوند. همچنین راه های بسیاری برای یافتن کاویتاسیون وجود دارد اما این تحقیق بر مشاهدات تصویری در طول یک فرایند ازمایشی با دوربین سرعت بالا تمرکز می کند. سپس نتایج با روش منحنی مشخصات به منظور بازیابی تعویق کاویتاسیون ذرات نانو افزودنی SiO_2 مقایسه می شوند.

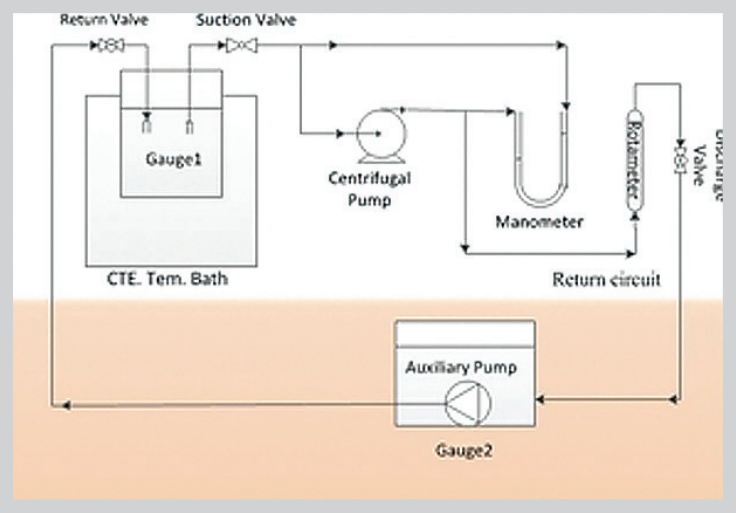
۲. دستگاه های آزمایشی و فرآیند ها

۲,۱.سکوی آزمایش

سکوی آزمایشگاهی در شکل شماره ۱ نشان داده شده است و همچنین یک الگو در شکل شماره ۲ نشان داده شده است که شامل پمپ آب گریز از مرکز و فشارسنج و روتامتر و دمای ثابت می باشد.

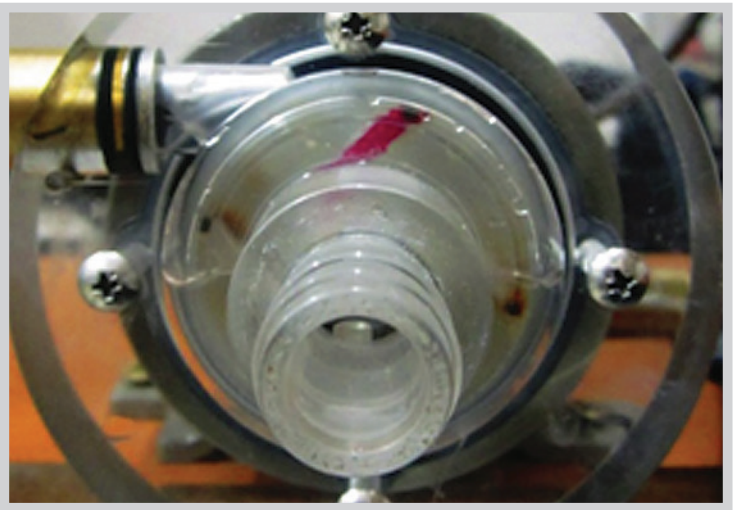


شکل ۱. سکوی آزمایشگاهی



شکل ۲. شماتیک از اجزای تست

دور پمپ معادل ۳۰۰۰ و هد نامی و مقدار جریان 2.4 m و 12 l/min می باشد. برای جریان، مشاهده قسمتی از پمپ گریز از مرکز از شیشه اکریلی تهیه شده است که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. همچنین یک پره برای دید بهتر به رنگ قرمز علامت گذاری شده است. یک دوربین سرعت بالا سونی سایبر شات اچ ۲ با قابلیت ضبط ۱۰۰۰ فرم در ثانیه و عکسبرداری با کیفیت ۶/۸ میلیون پیکسل برای مشاهده حباب ها استفاده شده است.



شکل ۳. تیغه‌های پمپ با پوشش شیشه‌ای آکریلی

■ آمادگی سیال نانو

نوع پودر نانو که در فرایند آزمایش با قطر ۷ نانو متر استفاده شده است سیلیکا می‌باشد. این پودر نانو توسط شرکت واکر تولید می شود و چگالی خالص و واقعی به ترتیب ۹۹,۹ درصد و $2143\ kg/m^3$ می باشد. اساس سیال استفاده شده آب یونیزه و درصد های حجمی ذرات نانو در نمونه های آماده شده 0.1 و 0.4 و 0.7 درصد می باشد ($ml\ SiO_2/ml\ H_2O$)، 5L از نانو سیال برای هر نمونه توسط خردکن فراصـــوتی ۴۰۰ وات تهیه شده که توسط شرکت هیلسچر آماده شده است. جرم ذرات نانو برای مقدار مشخصی از تراکم از تراکم ذیل قابل محاسبه می باشد.

$$\phi = \frac{V_p}{V_t} \qquad (1)$$

جایی که V_p نشانگر حجم ذره و V_t نشانگر حجم کل می باشد.سپس جرم ذرات نانو مشخص می شود.

$$m_p = \rho_p \times V_p \qquad (2)$$

در این کار برای هر درصد حجمی نانو ذرات، آن ها به اصل سیال در طول فرایند فراصوت ۳۰ دقیقه افزوده می شوند. به علت طبیعت هیدروفیل ذرات نانو سیلیکا که در تست استفاده شده اند لازم نیست از هیچ نوعی مواد فعال در سطح استفاده کنیم. سپس همانطور که انتظار می‌رفت هیچ رسوبی پس از فراصوت به مدت ۲۴ ساعت قبل ازآزمایشات دیده نمی شود. پس از تکمیل آماده سازی 5L نانو سیال، در دیگ حرارتی با ظرفیت 7L ریخته می شود. سپس دیگ حرارتی روشن می شود سیال نانو از دمای اتاق به دمای اشباع در مدت نیم ساعت تغییر می کند. نانو سیال به مدت یک ساعت در دمای اشباع بدون گاز نگهداری می شود. چگالنده که در قسمت بالای تست جای گذاری شده است به هر گاز چگال پذیر به هنگام هم‌چگال شدن بخاری که به جهت رسیدن به تراکم اصلی به دیگ بازمی‌گردد امکان فرار می‌دهد. هنگامی که یک ساعت گازیابی سپری می شود شیر بالایی که دیگ حرارتی را به کندانسور متصل می کند بسته می شود و کندانسور حذف می شود.

۲،۳.فرآیند های ازمایشی

هدف اصلی این کار مشاهده ی تاثیر افزاینده های نانو سیلیکا بر کاویتاسیون برای سه چگالی متفاوت می باشد. این نکته باید در نظر گرفته شود که بسته شدن شیر مکش جزئی کمبود فشار لازم برای کاویتاسیون را فراهم می کند. برای قضاوت بهتر، منحنی مشخصه در طول تشکیل و گسترش کاویتاسیون به دست آمده است. اولین سری نتایج توسط اب یونیزه شده به عنوان اصل سیال به دست می آید. فرایند آزمایشی همانند ذیل است:

۱. شیر مکش کاملا باز است.

۲.تخلیه شیر زمانی که کاملا باز است نسبت به زمانی که کاملا بسته است تفاوت دارد.

۳.در هر گام فشار مکش و هد پمپ و دبی اندازه گیری و ثبت می شوند.

۴.جدول H–Q ترسیم شده است.

۵.شیر مکش از باز بودن کامل به ۸۵ درصد و سپس ۷۵ درصد باز بودن تغییر کرده است.

۶.گام های شماره ۲-۴ برای هر کدام از شیر های مکش باز شده تکرار شده است.

این فرایند در سه دمای مختلف آب ۱۰ درجه و ۲۵ درجه و ۴۰ درجه و همچنین تراکم‌های مختلف نانو سیال سیلیکا 0.1 درصد و 0.4 درصد و 0.7 درصد تکرار شده است.

اشاره به این نکته حائز اهمیت است که در یک چگالی بالاتر با توجه به حضور تیره نانو سیال ها که دارای نمای شفافی از حباب ها است برای غلظت بیش از 0.7 درصد ممکن نیست. سرانجام آغاز کاویتاسیون با در نظر گرفتن روش منحنی مشخصه و مقایسه نتایج با نتایج به دست آمده توسط مشاهدات تصویری حاصل می شود. به منظور افزایش صحت و اطمینان تکرار نتایج مورد توجه واقع شده است.

۳.نتایج و بحث

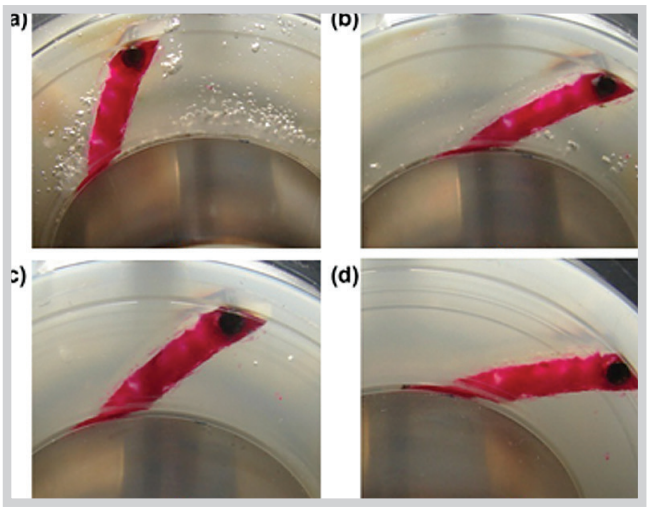
در این مقاله نتایج در دو گروه ۱.مشاهدات تصویری و ۲. روش منحنی مشخصه تقسیم بندی شده اند. این ها در قسمت بعدی با توجه به آغاز کاویتاسیون و شدت ان به صورت کامل شرح داده شده اند.

۳,۱.روش مشاهدات تصویری

۳,۱,۱.شدت کاویتاسیون

شکل شماره ۴ ، چهار تصویر مختلف از حباب های کاویتاسیون از گذرگاه پره در شرایط عملی یکسان برای چهار غلظت مختلف نانو سیال که با دوربین با سرعت بالا گرفته شده اند را نشان می دهد.گفتنی است که دما در این موارد یکسان است.

سیال های کاری شامل الف) آب یونیزه شده ب) نانو سیلیکا 0.1 درصد ج)نانوسیلیکا 0.4 درصد و د)نانو سیلیکا 0.7 درصد می باشد. همانطور که در این اشکال دیده می شود حباب‌های کاویتاسیون هنگامی که غلظت نانو سیال افزایش می یابد به طور گسترده ای کاهش می یابند.



شکل ۴. حباب های کاویتاسیون برای الف) آب مقطر، ب) SiO_2 0.1%) SiO_2 0.4% و د) SiO_2 0.7% در 40^0c با مکش در ٪85 و رانش در ٪75 بازشدگی شیر

برای دید عمیق تر این رویداد حجم کاویتاسیون تخمین اندازه حباب ها و تعداد آن ها محاسبه شده است. اندازه وتعداد حباب ها توسط نـــــرم افزار J. River Media Center محاسبه شده است. سپس حجم حباب ها برای هر حالت توسط برنامه متلب محاسبه شده است.کاهش حجم کاویتاسیون در نانو سیال ها با غلظت های 0.1 درصد و 0.4 درصد و 0.7 درصد فقط

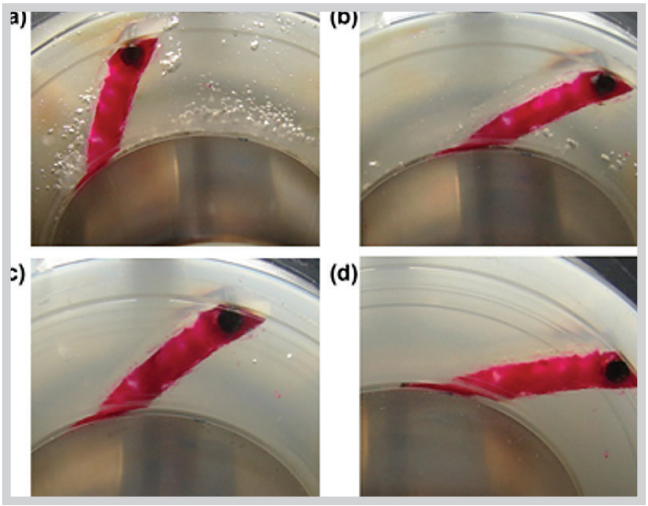
توسط آب یونیزه شده در جدول شماره ۱ در دماهای مختلف جدول بندی شده است. با توجه به این جدول می توان نتیجه گرفت که جمعیت حباب ها به طور قابل توجهی با افزایش غلظت نانو ذرات کاهش می یابد و این در دماهای بالاتر بیشتر روی می دهد.

جدول ۱. کاهش حجم حباب در غلظت های مختلف از نانوذرات در مقایسه با آب مقطر.

T (°C)	Bubble volume reduction at different concentration		
	0.1%	0.4%	0.7%
10	41.75	50.68	93.86
25	45.75	58.86	94.47
40	61.97	75.78	91.26

۳،۱،۲.آغاز کاویتاسیون

با توجه به استاندارد ANSI فرایند زیر به منظور شناسایی آغاز کاویتاسیون باید صورت گیرد. در حالت ثابت شیر مکش بازشده مانند ۷۵ یا ۸۵ درصد، شیر رانش از باز بودن نرمال به کاملا بسته تغییر می کند. به محض این که اولین حباب ها مشاهده شوند به معنای آغاز کاویتاسیون و دبی مربوطه و فشار مکش و هد پمپ ثبت می شود. این در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. مقدار جریان مربوطه در مورد شکل گیری اولیه حباب های کاویتاسیون در جدول شماره ۲ ثبت و لیست شده اند.



شکل ۵. تشخیص حباب های کاویتاسیون برای شیر رانش باز الف) 75%،ب) 60%ج) 50% د) 40%در حالت ثابت 75% بازشدگی شیر مکش و دمای 40°c

مقدار جریان آغاز کاویتاسیون با افزایش تراکم نانو سیلیکا افزایش می یابد. همچنین همانگونه که قابل پیش بینی است مقدار جریان آغاز کاویتاسیون با افزایش دما برای تراکم نانو سیلیکا و مکش باز سطح کاهش می‌یابد.

Fluid	T (°C)					
	%85 open			%75 open		
	10	25	40	10	25	40
Deionized water	2.4	2.24	2.03	2.38	1.9	1.95
%0.1 SiO_2	2.7	2.46	2.32	2.53	2.03	2.02
%0.4 SiO_2	2.98	2.51	2.43	2.6	2.42	2.28
%0.7 SiO_2	3.19	3.14	3.01	3.22	2.63	2.88

جدول ۲. دبی مربوط به آغار کاویتاسیون به (l/min) در ٪75 و ٪85 باز شدگی شیر مکش جریان.

۳،۲. روش منحنی مشخصه

در این روش نمودار H–Q باید برای هر حالت ثابت شیر مکش بازشده مانند ۷۵ یا ۸۵ درصد ترسیم شود. بدین منظور هد پمپ از رابطه زیر محاسبه می شود:

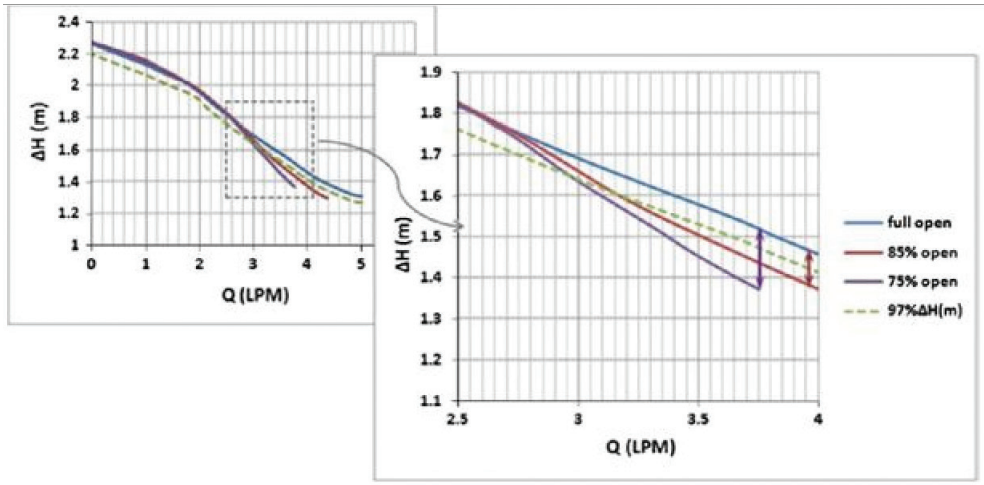
$$\Delta H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \qquad (3)$$

جایی که z_2-z_1 , v_2^2 - v_1^2 , p_2 - p_1 نشانگر اختلاف فشار و اختلاف سرعت و اختلاف ارتفاع بین ورودی وخروجی پمپ می باشد. همچنین γ وزن ویژه سیال و g شتاب گرانشی می باشد. علاوه بر این چگالی نانو سیال ρ_{nf} از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$\rho_{nf} = (1 - f_i)\rho_{bf} + f_i \rho_\rho \qquad (4)$$

که در f_i غلظت ذرات نانو و ρ_{bf} و ρ_ρ چگالی های سیال اصلی و ذرات SiO_2 می باشند. سپس منحنی مربوط به حالت کاملا باز منحنی رفرنس نام گذاری می شود. با توجه به رفرنس ANSI،۳ درصد هد از دست رفته در نمودار H–Q در مقایسه با منحنی رفرنس به عنوان آغاز کاویتاسیون در نظر گرفته می شود. بنابراین آغاز کاویتاسیون می تواند با تقسیم کـردن دو منحنـی تعیین شود: ۱.منحنی H–Q کـه هـد آن ۹۷ درصـد مقـدار هـد منحنـی رفـرنـس است و ۲. منحنی‌هایی که مربوط به ۸۵ یا ۷۵ درصد حالت باز شیر مکش می باشند. اختلاف ۸۵ درصد و ۷۵ درصد منحنی از منحنی مرجع می تواند معیاری برای شدت کاویتاسیون باشد. همچنین این مقایسه برای آب یونیزه انجام شده است.

شکل ۶ مثالی برای نانو سیال SiO_2با غلظت 0.1 درصد را نشان می دهد.



شکل ۶. نمودار H-Q نشان دادن شروع و شدت کاویتاسیون در دمای ثابت C ° 40 با غلظت ٪0.1 نانو سیال.

جدول شماره ۳ مقدار نرخ جریان برای نقطه آغاز کاویتاسیون که برای هر مورد از منحنی مشخصه محاسبه می شود را نشان می دهد.

Fluid	T (°C)					
	%85 open			%75 open		
	10	25	40	10	25	40
Deionized water	2.81	2.65	2.44	2.79	2.31	2.35
%0.1 SiO_2	3.11	2.87	2.73	2.87	2.44	2.43
%0.4 SiO_2	3.39	2.92	2.84	3.01	2.65	2.53
%0.7 SiO_2	3.6	3.55	3.41	3.38	3.04	3.29

جدول ۳. دبی جریان نقطه آغازکاویتاسیون (l/min) بر اساس ٪3 تجزیه و تحلیل هد قطره.

۳,۳. ارتفاع مکش مثبت خالص(NPSH)

به طور مرسوم پارامترهای مختلف نظیر NPSH برای ارزیابی کاویتاسیون به کار گرفته می‌شود. با توجه به این پارامتر NPSH همانند ذیل تعریف می‌شود:

$$NPSH_P = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma} \qquad (5)$$

که در ان p_1 و v_1 فشار و سرعت مکش می باشند و p_vفشار تبخیر در دمای سیال می باشد. دو نوع NPSH وجود دارد:

۱. ارتفاع مکش مثبت خالص برای سیستم و یا $NPSH_{SYS}$ که به صورت انرژی کلی تعریف می شود که در مایع موجود می باشد و می تواند از معادله ۵ محاسبه شود.

۲. ارتفاع مکش مثبت خالص برای پمپ یا NPSHp که به صورت ارتفاع مکش لازم در مایع در قسمت ورودی پمپ به منظور جلوگیری از کاویتاسیون است تعریف می‌شود. برای محاسبه ی NPSH می توان از معادله ۵ با جایگزین کردن سرعت و فشار برای کاویتاسیون استفاده کرد. تولید کنندگان پمپ معمولا منحنی مشخصه NPSH را در کاتالوگ‌هایشان ارایه می دهند. اما NPSH باید برای هر سیستم لوله کشی خاص محاسبه شود. واضح است که شرایط اجتناب از کاویتاسیون به صورت زیر است:

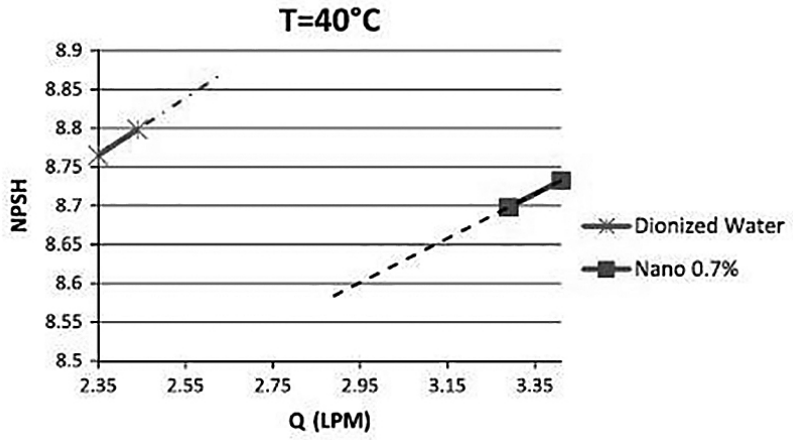
$$NPSH_{SYS} > NPSH_P$$

مشخص است که مقدار کوچکتر از NPSHp می تواند مقدار $NPSH_{SYS}$ را برای جلوگیری از کاویتاسیون افزایش دهد. NPSHp عملکردی از مقدار جریان است. بنابراین منحنی مشخصه NPSHp که عملکردی از نرخ جریان ارایه شده از منحنی مشخصه توسط تولیدکنندگان پمپ می باشد.

مقدار های p_1 ، Q و p_v و NPSHp با 0.7 درصد نانو سیلیکا و آب یونیزه شده در دماهای متفاوت در جدول شماره ۴ نشان داده شده اند. همچنین برای قضاوت بهتر نتایج حاصل برای جدول NPSHp 0.7 درصد نانو سیلیکا و آب یونیزه در دمای ۴۰ درجه در شکل شماره ۷ ترسیم شده است. با توجه به این شکل مقدار NPSHp برای نانو سیلیکا 0.7 درصد کمتر از آب یونیزه شده می باشد که تاخیر کاویتاسیون را نشان می دهد.

جدول ۴. محاسبه مقدارهای NPSHp برای ۰.۷ درصد نانو سیال و آب مقطر

Inlet valve opening (%)	T (°C)	P_v (kPa)	Deionized water			Nanofluid 0.7%		
			Q (l/min)	P_1 (kPa)	NPSH	Q (l/min)	P_1 (kPa)	NPSH
85	10	1.2276	2.81	86.85	8.73	3.77	87.27	8.71
75	10	1.2276	2.79	86.77	8.72	3.59	86.87	8.67
85	25	3.169	2.65	87.13	8.76	3.55	86.6	8.64
75	25	3.169	2.31	85.99	8.64	3.041	85.27	8.5
85	40	7.38	2.44	87.51	8.8	3.41	87.52	8.73
75	40	7.38	2.35	87.19	8.76	3.29	87.19	8.7



شکل ۷. NPSHp برای آب مقطر و ٪0.7نانو سیال در $40^\circ C$

۴.نتیجه

تاثیر نانو سیال SiO_2 در غلظت ها و دماهای مختلف بر آغاز و شدت کاویتاسیون پمپ گریز از مرکز بررسی شده است. از مشاهدات تشکیل حباب ها و روش منحنی مشخصه افزودن 7nm ذرات نانوسیلیکا به آب باعث تاخیر می شود و کاویتاسیون را کاهش می دهد. همچنین مشاهده شده است که حجم دبی شکل گیری اولیه کاویتاسیون که از نتایج روش منحنی مشخصه به دست امده، نسبت به روش مشاهده مقدار بیشتری دارد. این به این خاطر است که آغاز تشکیل حباب مرتبط با آغاز کاویتاسیون در روش منحنی مشخصه در نظر گرفته نشده است. در عوض در نظر گرفته شده است که آغاز کاویتاسیون زمانی رخ می دهد که رشد حباب تا حدی پیش رفته است که منجر به ۳ درصد افت هد می شود.

مقدار های یافت شده از NPSH در رابطه خوب با نتایج مشاهدات و روش منحنی مشخصه می باشد. آغاز کاویتاسیون توسط افزایش غلظت ذرات نانو تاخیر پیدا می کند. نتایج اعلام شده به خوبی با نتایج اعلام شده ی Kim مطابقت می‌کند. آن ها نشان داده اند که افزودن ذرات نانو باعث افزایش جذب حباب ها می شود. علاوه بر این مشاهده شده است که رشد حباب با افزایش غلظت ذرات نانو کاهش می یابد و در دماهای بالاتر بیشتر کاهش می یابد.

مراجع:

1."The influence of SiO_2 nanoparticles on cavitation initiation and intensity in a centrifugal water pump", Mahsa Ebrahimi Bidhandi, Alireza Riasi Mehdi Ashjaee, Experimental Thermal and Fluid Science, May 2014

2- j.k.kim, J.Y.jung , Y.T.kang , The effect of nanoparticles on bubble absorption performance in a binary nano fluid , Int. J.Refrig. 29(2006)

● فرآیند انتخاب -سیستم های جدید

◄ مهندس پگاه آب روانی
کارشناس مهندسی فروش

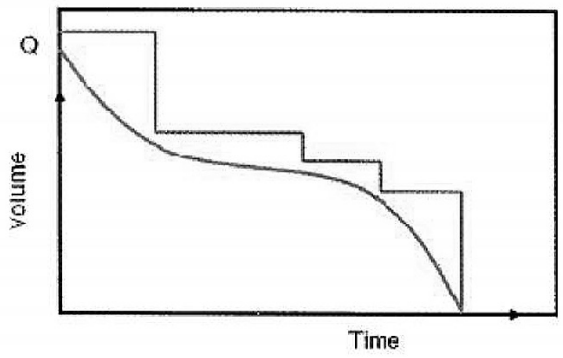
■ انتخاب پمپ مناسب برای بهینه کردن هزینه چرخه عمر

شروع فرایند انتخاب سیستم پمپ (پمپ، موتور و درایو) با بررسی نیازهای هیدرولیکی و بصورت سیستماتیک امری ضروریست. هنگامیکه نقطه کار ماکزیمم پمپ مشخص شود، حداکثر توان و سرعت برای درایو پمپ مشخص می شود.

بطور معمول اجزای سیستم (پمپ ها، موتورها و درایو ها) برای داشتن ضریب اطمینان بیشتر، از نظر اندازه بزرگتر انتخاب می شوند. این کار به علت ایجاد هزینه های بالای چرخه عمر توصیه نمی گردد.

هرگاه برای سیستم با هد استاتیکی، یک پمپ پویاگرد[1] با یک درایو سرعت متغیر (VSD[2]) انتخاب شود، پمپ طوری انتخاب می شود که حداکثر دبی (گذر جریان) در سمت راست نقطه راندمان بهینه (BEP[3]) قرار گیرد. برای سیستم های با دبی ثابت در فشار ماکزیمم، انتخاب یک پمپ در سمت چپ BEP پیشنهاد می شود.

هنگام طراحی سیستم، تمامی شرایط کارکرد سیستم باید مورد توجه قرار گیرد (شکل ۵,۱).



شکل ۵,۱ : نمودار مدت زمان برای یک سیستم پمپ

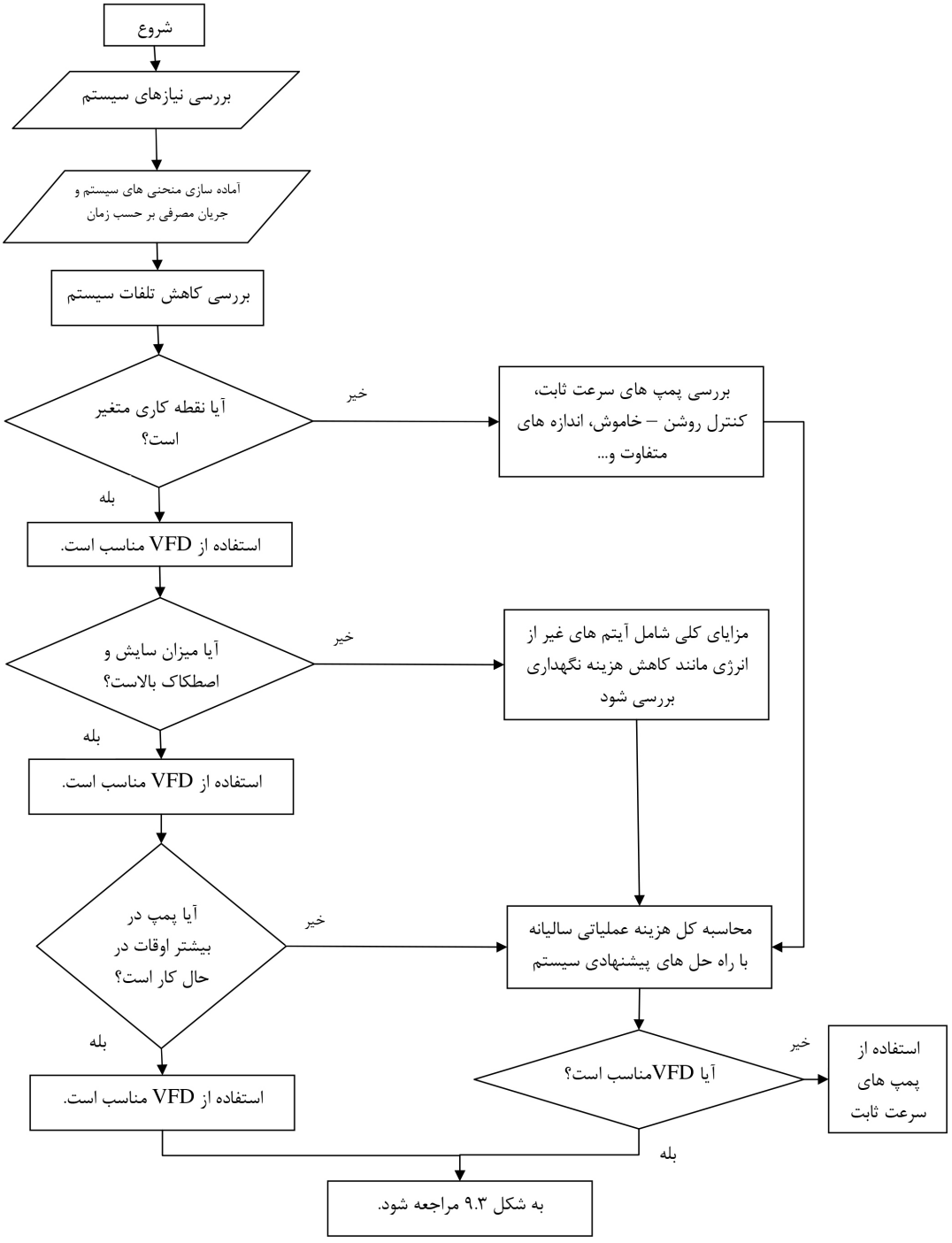
برخی از موارد عملکردی می توانند با نصب پمپ های متعدد با سرعت ثابت و یا متغیر به خوبی اجرا شوند. استفاده از محاسبات انرژی مخصوص[4] بهترین انتخاب را از نقطه نظر انرژی مورد بررسی قرار می دهد. این امر سیستم را به سوی حداقل هزینه نگهداری سوق می دهد.

مشخص شدن توان مورد نیاز و محدوده کار پمپ، اندازه موتورها و درایو ها را تعیین می کند.

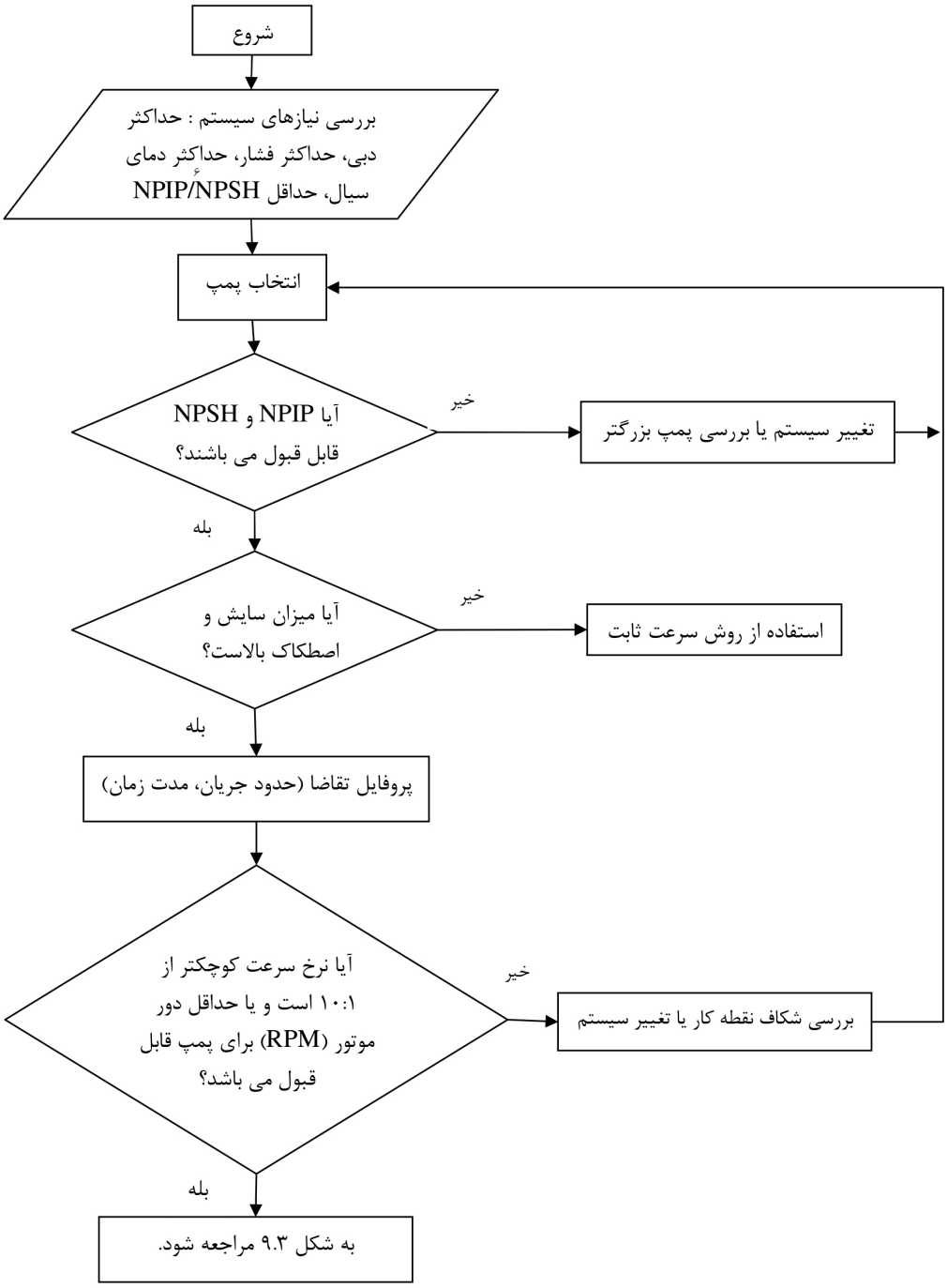
۱ Roto daynamic
۲ Variable Speed Drive
۳ Best Efficiency Point
٤ مقاله " اصول برآورد هزینه های انرژی پمپاژ" – نشریه شماره ۴۳ پمپ- پاییز و زمستان ۹۱

■ فلوچارت‌ها

فلوچارت های تعیین VSD های مناسب برای سیستم های پمپ در شکل ۹,۱ برای پمپ های پویاگرد و در شکل ۹,۲ برای پمپ های جابجایی مثبت نشان داده می شوند..



شکل ۹.۱ فلوچارتی برای بررسی مناسب بودن استفاده از یک VFD در سیستم پمپ پویاگرد

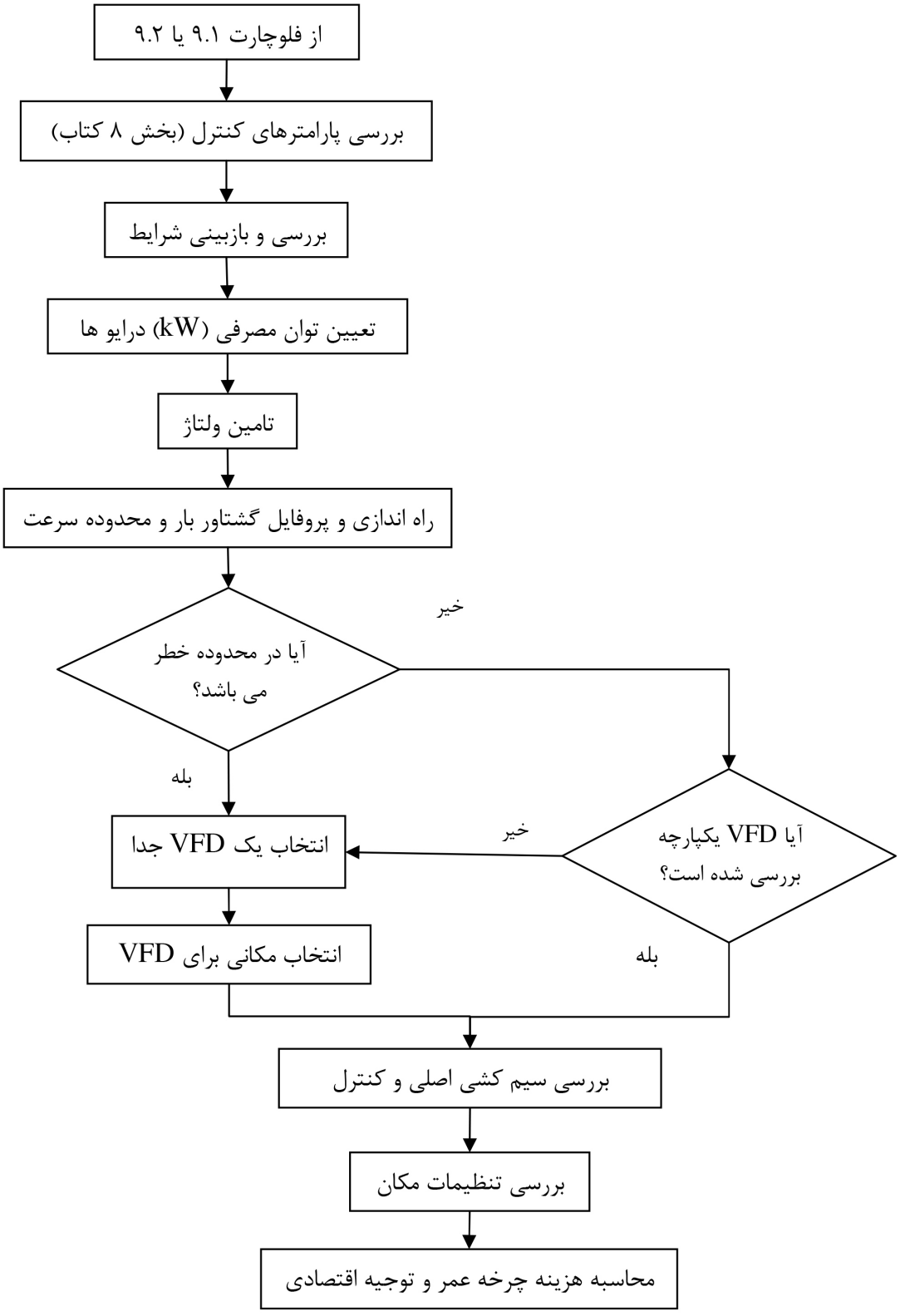


شکل ۹.۲ فلوچارتی برای بررسی مناسب بودن استفاده از یک VFD در سیستم پمپ جابجایی مثبت

این موارد به استفاده از درایو فرکانس متغیر بستگی دارند که نسبت به سایر وسیله های کنترل سرعت، موثرتر می باشند. با تشخیص اینکه استفاده از یک VFD[۵] مناسب می باشد، فلوچارت شکل ۹,۳ به انتخاب درایو مناسب و محاسبه هزینه چرخه عمر کمک می کند.

۵ Variable Frequency Drive

۶ Net Posetive Inlet Pressure



شکل ۹.۳ فلوچارتی برای انتخاب درست درایو و توجیه اقتصادی

■ فرآیند انتخاب - به روزآوری تجهیزات موجود

سالانه تقریباً به میزان ۲۰ برابرتعداد پمپ های در حال کار، پمپ های جدید عرضه می شوند. بنابراین واضح است که فرصتی بسیار بزرگ برای بهبود سیستم های نصب شده، جهت موثرتر و بهره ورتر شدن آن ها از نظر انرژی ایجاد می شود.

بیشتر طراحان در مورد هد مورد نیاز سیستم، یک احتمال را در نظر می گیرند. تخمین زده می شود که ۷۵% سیستم های پمپاژ، از نظر اندازه ۲۰% بزرگتر هستند. این چنین بر می آید که با بازسازی و بهبود درایو های سرعت متغیر، تطابق پمپ با نیازهای واقعی سیستم دقیق تر شده و مقادیر قابل توجهی از انرژی صرفه جویی می شود.

همچنین در بیشتر سیستم های موجود از شیرهای کنترل و بای پس [۷] استفاده می شود که در همه آن ها انرژی جذب شده برای نیازهای سیستم قابل قبول نیست. اتصال درایو های سرعت متغیر و برداشتن شیرهای کنترل و بای پس موجب صرفه جویی در انرژی و کاهش اصلاحات و تغییرات می شود. توجه داشته باشید که کاهش سرعت یک پمپ پویاگرد به میزان ۱۰%، باعث صرفه جویی در انرژی الکتریکی جذب شده به میزان ۳۰% می شود.

برای حصول اطمینان از امکان راه اندازی پمپ در سرعت های پایین بدون ایجاد مشکل در پمپ باید با تولیدکنندگان پمپ ارتباط برقرار شده و برای حصول اطمینان از مناسب بودن موتورها برای استفاده از درایو های سرعت متغیر باید با تولیدکنندگان موتور در ارتباط بود. آلترناتیوهای دیگری نیز وجود دارد. برای مثال اگر اندازه یک پمپ بزرگ بوده اما عملکرد آن فقط برای یک نقطه کاری می باشد، می توان قطر پروانه را بطور ثابت کم کرد. این کار موجب کاهش یکسان انرژی به اندازه کاربرد یک VSD [۸] می‌شود و با هزینه کمتر می شود. با این تفاوت که هزینه کاهش قطر پروانه کمتر است.

■ موتور مناسب و کاهش توان خروجی موتور در اثر کاهش دور موتور [۹]

هنگام اضافه کردن یک درایو سرعت متغیر به موتور موجود باید دقت شود که مشخصات الکتریکی موتور و مبدل فرکانس آن باهم مطابقت داشته باشند. در غیر این صورت خطر خرابی های بی موقع در سیستم مطرح می شود.

پارامترهایی که در ادامه ذکر می شوند از مبدلی به مبدل دیگر تغییر می کند و کارایی سیستم درایو را تحت تاثیر قرار می دهند:

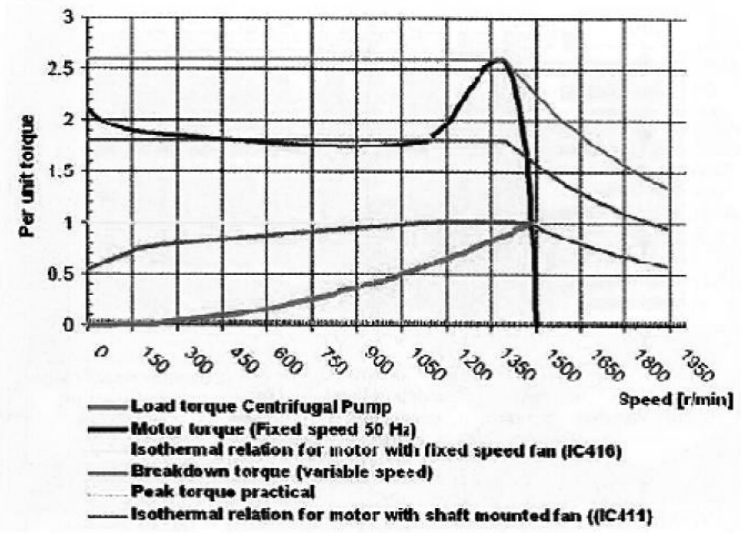
- اغتشاش هارمونیک کلی
- حداکثر ولتاژ
- حداکثر نرخ تغییر ولتاژ
- فرکانس سویچینگ
- طول کابل موجود بین موتور و مبدل

۷ Bay Pass
۸ Variable Speed Drive
۹ De-rating

مبدل های فرکانس اولیه، خروجی هایی با حجم بسیار بالا از هارمونیک های موجی شکل تولید می کردند. در نتیجه به دلیل گرم شدن سیم پیچ ها به میزان قابل توجه، در هنگام استفاده از مبدل، توان موتور کاهش می یافت. در مبدل های فرکانس مدرن، خروجی مبدل، سطوح نسبتا کوچکی از اغتشاش هارمونیک جریان در سیم پیچی های موتور ایجاد می کند و بنابراین کاهش توان کمتری مورد نیاز می باشد. در حالیکه این کاهش توان کمینه می باشد، از موتوری به موتور دیگر تغییر می کند. همچنین میزان آن به مبدل مورد استفاده نیز بستگی دارد.

هنگامیکه فن نصب شده در روی محور موتور، جریان نرمال هوا را در سرعت سنکرون ایجاد نمی کند، برای جبران کاهش خنک سازی موتور در سرعت پایین (به دلیل کاهش سرعت فن خنک کاری موتور)، ممکن است نیاز به کاهش توان موتور باشد. پیشنهادات فنی تولید کنندگان موتور در خصوص تعیین میزان کاهش توان مناسب مورد استفاده قرار می گیرد. در این مورد قوانین تعریف شده ای وجود ندارد که بتوان برای تمامی موتورها بکار برد.

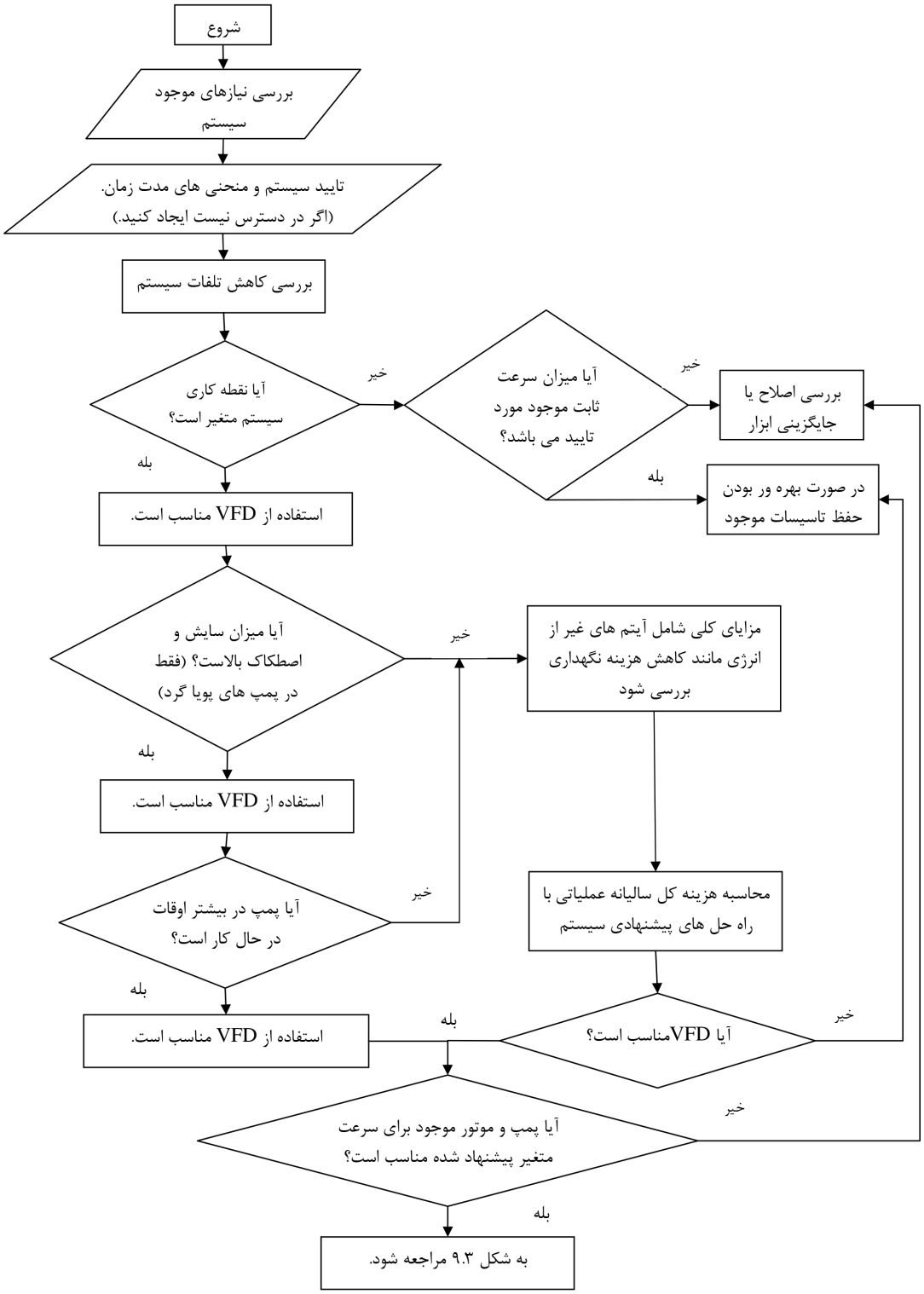
در حالت کلی برای درایو پمپ های پویاگرد کاهش توان کمتری مورد نیاز بوده و در برخی موارد هیچ کاهش توانی مورد نیاز نیست. در حالیکه پمپ های جابجایی مثبت با مشخصات گشتاور ثابت، برای کاهش سرعت عملکرد به کاهش توان موتور نیازمندند. این گشتاور بسیار کمتر از گشتاور راه اندازی می باشد. معمولا موتورهای با درایو های جدا، سرعت ثابت و فن خنک کاری میتوانند در یک محدوده وسیعی از سرعت، یک گشتاور ثابت متناوب را ایجاد کنند. در سرعت های بالای سرعت نرمال پایه ، در نتیجه ایجاد میدان ضعیف، درایو باعث ایجاد ولتاژ ثابت می شود. در این میدان نیروی گشتاور موتور کاهش یافته و در بهترین حالت موتور می تواند یک توان ثابتی ایجاد کند. در فرکانس های بالاتر از سرعت پایه ممکن است مشخصات طرح موتور محدودیت های بیشتری ایجاد کند و در این حالت اطلاعات تخصصی موتور باید از تولید کنندگان موتور بدست آیند. شکل ۱۰,۲ تاثیر تغییرات فرکانس بر توانایی های گشتاور در یک نوع موتور با یک نرخ توان وابسته به کلاس B (۸۰ درجه کلوین افزایش دما) را نشان می دهد.



شکل ۱۰.۲ منحنی های ظرفیت بار هم دمای نوعی موتور 50Hz چهار قطبی

■ فلوچارت ها

برای تصمیم گیری در مورد ضرورت یا عدم ضرورت به روزآوری تجهیزات موجود، به فلوچارت شکل ۱۰,۱ مراجعه نمایید.



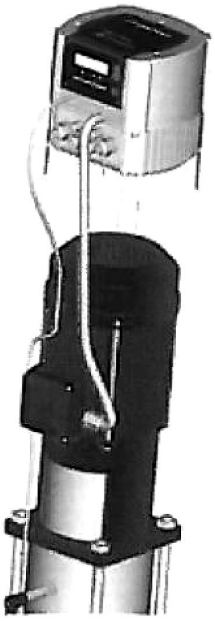
شکل ۱۰.۱ فلوچارتی که تناسب بهبود یک VFD برای سیستم موجود پمپ را ارزیابی می کند

■ ارتقای یک VFD نصب شده بر روی موتور

در صورتیکه پمپ و موتور در محدوده خطرناک نبوده و صرفه جویی هزینه چرخه عمر و یا مزایای هیدرولیکی دیگر از نصب یک VFD حمایت کنند، در برخی موارد ممکن است استفاده از یک مبدل فرکانس نصب شده بر روی موتور، راحت ترین و ارزان ترین راه برای تجهیز کردن یک پمپ نصب شده با این تکنولوژی باشد.

برای موتورهای با سایزهای ۱,۱ تا ۲۲ کیلو وات (1.5-30HP)، VFD های نصب شده بر روی موتور می توانند روی موتورهای AC سه فاز بدون نیاز به ماشینکاری بر روی بدنه موتور نصب شوند.

این ابزار با فن موتور، خنک کاری شده و به IP54/NEMA 12 وصل شده و مستقیما به جعبه ترمینال موتور سیم کشی می شوند. مثالی در شکل ۱۰,۳ نشان داده می شود.

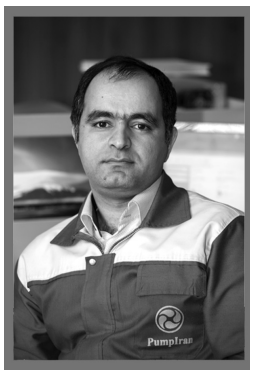


شکل ۱۰.۳ نمونه ای از بهبود و بازسازی VDF نصب شده بر روی موتور

مراجع:

Europump and Mydraulic Institute (2004) / Uariable Speed Pumping / ELSE-VIER

● اندازه گیری مقاومت عایقی کابل در هنگام نصب و نگهداری



◄مهندس عیسی آزاد وار
رئیس طراحی محصول

مقدمه :
جزوه حاضر مختصری از روش آزمون مقاومت عایقی (که عموماً آزمون megger نامیده می‌شود) کابل های ولتاژ ضعیف (کمتر از 5kV) را ارائه می کند. این مقاله صرفاً به آزمون هایی می پردازد که از دیدگاه کاربران کابل اهمیت دارد. به این آزمون ها آزمون "نصب" و "تعمیر و نگهداری" می گویند. آزمون باید توسط پرسنل با تجربه و کارآمد که آشنایی کاملی با آزمون مقاومت عایقی دارند و از چگونگی عملکرد ایمن تجهیزات آزمون مطلعند، انجام پذیرد. مقادیر مقاومت عایقی واقعی به سادگی قابل دستیابی نیستند، زیرا به عوامل متعددی که شامل موارد زیراست بستگی دارد:

۱- جنس عایق

۲- سایز هادی

۳- دمای عایق روی هادی (مثلاً در صورتی که در معرض نور مستقیم خورشید قرار گیرد)

۴- رطوبت (مثلاً در حالتی که کابل مرطوب باشد)

۵- طول کابل

شرایط کابل (مثلاً اینکه عایق کابل عقب کشیده نشده باشد، یا سر رشته های کابل از هم جدا نشده باشند).

چهار نوع آزمون برای اندازه گیری مقاومت عایقی وجود دارد:

۱) آزمون نوعی / آزمون تصدیق / آزمون انطباق

۲) آزمون کارخانه‌ای

۳) آزمون نصب

۴) آزمون تعمیر و نگهداری

آزمون نوعی (که به آن آزمون تصدیق یا انطباق هم می گویند) عموما بر روی یک کابل جدید یا کابل با طراحی اصلاح شده انجام می شود و هدف از انجام این آزمون اثبات مطابقت کابل با استانداردهای معتبر می باشد. این نوع آزمون در حین فرایند تولید انجام نمی شود.

آزمون مقاومت عایقی کارخانه ای هنگامی انجام می شود که لازم باشد مطابقت کابل با استانداردها یا مشخصات فنی مورد نظر در محل کارخانه بررسی شود. این آزمون بر طبق روش مندرج در استاندارد صورت می گیرد.

آزمون مقاومت عایقی "تعمیر و نگهداری" را می توان طبق برنامه زمانی مشخصی انجام داد و داده های مربوطه را جمع آوری نمود و پس از بررسی این داده ها مشخص نمود که آیا عایق روی هادی کابل در طول زمان به کارگیری از آن به صورت تدریجی در حال افت کیفیت است یا خیر.

آزمون مقاومت عایقی "تعمیر و نگهداری" را می توان طبق برنامه زمانی مشخصی انجام داد و داده های مربوطه را جمع آوری نمود دو پس از بررسی این داده ها مشخص نمود که آیا عایق روی هادی کابل در طول زمان به کارگیری از آن به صورت تدریجی در حال افت کیفیت است یا خیر. در صورتی که مقاومت عایقی از حداقل مقدار قابل پذیرش توسط مصرف کننده کاهش یابد یا در طول زمان به کارگیری از کابل به یکباره افت کند، کابل را با کابل جدید دیگری جایگزین کنند.

این مقاله، صرفاً به آزمون های مورد نظر کاربران کابل یعنی آزمون های "نصب" و "تعمیر و نگهداری" می پردازد. اقداماتی که پیش از اندازه گیری مقاومت عایقی باید انجام شود:

آزمون مقاومت عایقی و نتایج حاصل از آن به عواملی نظیر دما و رطوبت وابسته است. به همین دلیل در آماده سازی کابل مورد آزمون باید دقت کافی به عمل آید. برای دستیابی به بهترین نتیجه:

۱) کابل را از حالت بهره برداری خارج کنید. کابل را از هر گونه مدار یا تجهیزات متصل به آن قطع کنید. همچنین هرگونه اتصالات و ملحقات و سرکابل ها را از کابل جدا کنید و در هر دو سر کابل رشته ها را از هم جدا کنید. مطمئن شوید که هادی ها از یکدیگر عایق شده اند.

۲) کابل را صرفاً زمانی آزمون کنید که دمای هادی ان بالاتر از نقطه شب نمی باشد. در غیر این صورت رطوبت بر روی سطح عایق تشکیل می شود که در

صورت جذب شدن رطوبت توسط عایق می تواند منجر به مردود شدن نتیجه آزمون شود.

۳) مطمئن شوید که سطح هادی عایق عاری از کربن یا هر گونه مواد هدایت کننده جریان برق است.

۴) از حد تعیین شده پیشنهادی برای ولتاژ آزمون کابل تجاوز نکنید. درغیر این صورت عایق روی هادی امکان پر تنش شدن یا حتی آسیب دیدگی خواهد داشت.

۵) دمای عایق روی هادی را پیش از هر اندازه گیری مقاومت عایقی ثبت کنید. در غیر این صورت مقاومت عایقی اندازه گیری شده می تواند بسیار کمتر یا بیشتر از مقدار واقعی آن باشد.

نحوه اعمال ضریب دما بر مقاومت عایقی

توجه به این نکته بسیار حائز اهمیت است که دمای عایق ممکن است بسیار بالاتر یا پایین تر از دمای محیط باشد. هرگاه دمای عایق یا مقاومت عایقی اندازه گیری شده در آن دما معلوم باشد می توان مقاومت عایقی در هر دمای دیگری را محاسبه نمود. ضرایب مربوط به تصحیح دما در مقاومت عایقی در جدول پیوست ارائه شده است. دمای مرجع ۱۵ درجه است.

محاسبات:

مقاومت عایقی را می توان با به کارگیری رابطه زیر در دمای مشخصی محاسبه کرد:

$$R_{\text{standard}} = \frac{R_{measured}}{e^{(T_{\text{standard}} - T_{measured}).Ln(K)}}$$

که در آن:

$R_{measured}$ = مقاومت عایقی اندازه گیری شده عموماً بر حسب مگا اهم یا گیگا اهم.

R_{standard} = مقاومت عایقی در دمایی مورد نظر، همان واحد اندازه گیری مقاومت عایقی اندازه گیری شده

$T_{measured}$ = دمای اندازه گیری شده عایق بر حسب سلسیوس.

R_{standard}= دمای مورد نظر برای عایق بر حسب سلسیوس.

K= ضریب مخصوص برای نوع ماده عایقی.

به عنوان مثال می توانیم مقاومت عایقی در دمای مورد نظر را با به کارگیری داده های زیر محاسبه کنیم.

K=۱.۱۶

T_{measured}= ۵۰°C

R_{measured}=۲.۷MΩ

T_{standard}= ۱۵°C

با به کارگیری رابطه فوق مقاومت عایقی در دمای مورد نظر ۱۵°C مساوی با ۴۸۷MΩ خواهد بود. توجه داشته باشید ۳۵ درجه تفاوت در دما، حدود ۲۰۰ برابر تغییر در مقاومت عایقی ایجاد خواهد کرد.

به کارگیری ضریب تصحیح دما در مقاومت عایقی

به روش دیگر مقاومت عایقی را می توان با استفاده از ضرایب مندرج در جدول پیوست در دمای مورد نظر تصحیح کرد. در این حالت، دمای استاندارد ۱۵°C انتخاب شده است. ضریب تصحیح مقاومت عایقی در رابطه زیر به کار گرفته می‌شود:

$$R_{\text{standard}} = E_{measured}.F$$

که در آن R_{standard} و $R_{measured}$ به همان معنای پیشِ گفته و F ضریب تصحیح مقاومت عایقی است که از جدول پیوست به دست می آید. مثلاً می توانیم با استفاده از داده های زیر، مقاومت عایقی را در دمای استاندارد ۱۵°C محاسبه کنیم:

K=۱.۱۶

T_{measured}= ۵۰°C

R_{measured}=۲.۷MΩ

از روی جدول پیوست در می یابیم که ضریب تصحیح دما برای مقاومت عایقی (F) برای ماده عایقی با ضریب ویژه ۱/۱۶ مساوی ۱۸۰/۳۱ است. به کارگیری این ضریب مقاومت عایقی در دمای استاندارد ۱۵°C عبارت است از:

$$R_{\text{standard}} = 2.7 \times 180.31 = 487M\Omega$$

حداقل مقاومت عایقی قابل قبول (مقاومت برو / نرو)

آزمون برو / نرو بر روی کابل هایی که تازه نصب شده اند انجام می شود تا مشخص شود که عایق کابل در حین نصب آسیب دیده است یا خیر. حداقل مقاومت عایقی قابل قبول با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$R_{Insulation} = (V_{rated} + 1).(\frac{304.8}{L})$$

که در آن :

$R_{Insulation}$ = حداقل مقاومت عایقی قابل قبول بر حسب مگا اهم.

V_{rated} = طول کابل بر حسب متر

در مورد کابل هادی با ولتاژ نامی ۶۰۰ ولت حداقل مقاومت عایقی برای کابل های به طول ۳۰ تا ۳۰۰ متر در جدول زیر آمده است. (استاندارد IEEE525)

طول کابل	حداقل مقاومت عایقی قابل قبول
۳۰.۵	۱۶
۶۱	۸
۹۱.۴	۵.۳
۱۲۲	۴
۱۵۲	۳.۲
۱۸۳	۳.۷
۲۱۳	۳.۳
۲۴۴	۳
۲۷۴	۱.۸
۳۰۵	۱.۶

■ آزمون هنگام نصب

آزمون مقاومت عایقی عموماً بر روی کابل برقدار نشده بلافاصله پس از نصب و پیش از اتصال آن به هر گونه تجهیزات یا ملحقات انجام می شود. این آزمون برای بررسی آسیب دیدگی احتمالی عایق روی هادی در هنگام نصب کابل صورت می گیرد. این نوع آزمون را به اصطلاح آزمون "برو / نرو" (یا آزمون استقامت دی الکتریک) می نامند، زیرا در صورتیکه هیچگونه شکست ولتاژ در عایق رخ ندهد، کابل در این آزمون پذیرفته می شود. ولتاژ که در این آزمون انتخاب می شود کمتر از 5kV و به مدت حداکثر تا یک دقیقه، یا تا زمانی که مقدار خوانده شده مقاومت عایقی عدد ثابتی را نشان دهد، اعمال می شود. ولتاژ آزمون همان ولتاژ نامی کابل (ولتاژ خط به خط) انتخاب می شود. انتخاب هر ولتاژ دیگری بیش از این مقدار ممکن است سبب ایجاد تنش در کابل و آسیب دیدگی زود هنگام در آن شود.

روش آزمون

برای هر کابل مورد آزمون:

الف- داده های زیر را از روی برچسب یا پلاک قرقره ثبت کنید.

- شماره قرقره یا کلاف
- تاریخ تولید کابل
- طول کابل
- نوع کابل
- سایز هادی کابل

ب: دمای عایق هادی کابل را اندازه گیری و ثبت نمایید. برای کابلی که دارای چند رشته سیم عایق شده است، اندازه گیری و ثبت دمای عایق یکی از رشته ها کافی است. این دما ممکن است با دمای محیط متفاوت باشد. خصوصاً در صورتی که کابل در معرض مستقیم نور خورشید قرار گرفته باشد.

ج: دو سر رشته های کابل را درست مطابق حالتی که می خواهید به برق ورودی و تجهیزات مربوطه متصل کنید، لخت نمایید. (روکش رشته های کابل را از هم جدا کنید و دوسر رشته های کابل را عایق برداری کنید) کابل را باید از هر دو سر، از هر گونه تجهیزات جدا کنید. این تجهیزات شامل سویچ، پریز و هر وسیله دیگری است که ممکن است به هادی متصل شده باشد. حتی سوییچ بازی که به کابل متصل شده باشد می تواند مداری با مقاومت کم را به دست دهد و اینگونه نشان دهد که کابل مورد نظر در آزمون مردود است.

د: رشته های کابل را از یکدیگر و نیز از سیم اتصال زمین جدا کنید تا امکان مناسب ترین قرائت برای مقاومت عایقی فراهم شود.

هـ: هادی های لخت شده دو سر کابل را از هر گونه کثیفی و آلودگی به خوبی تمیز نمایید. هنگام آزمون، هادی های دو سر کابل باید به طور کامل خشک شده باشند. این موضوع باعث بهبود در اندازه گیری می شود.

و: آزمون مقاومت عایقی را مطابق دستورلعمل سازنده دستگاه آزمون انجام دهید. اعمال ولتاژ بین هر دو رشته از سیم های کابل، بین هر رشته کابل با سیم لخت اتصال زمین، شلیدها و رزه کابل توصیه می گردد. همه هادی های لخت اتصال زمین باید به یکدیگر و همچنین به شیلد و یا زره وصل و همگی به ارت متصل شوند. هر هادی عایق دار باید به طور جداگانه آزمون شده و نتیجه آزمون آن ثبت شود. در مورد کابل سه فاز، شامل سه هادی عایق دار (A,B,C) که با یک رشته سیم لخت اتصال زمین (G) به صورت کابل درآمده است. آزمون های پیشنهادی به صورت زیر می باشد:

- A به B
- B به C
- C به A
- A به G
- B به G
- C به G

ز: اندازه‌گیری‌های ثبت شده را بررسی کنید. در پایان توجه داشته باشید که این آزمون از نوع برو/ نرو است. بدین معنی که همه مقادیر اندازه گیری شده مقاومت عایقی باید بیش از مقدار محاسبه شده مورد قبول که قبلاً گفته شد، باشند. مقادیری که نزدیک به حد بالای قرائت دستگاه و بسیار بزرگ باشند ممکن است ناشی از اتصالات نامناسب در سیستم باشد. مقادیری که صفر یا نزدیک به آن باشند ممکن است در اثر بروز عیب در نقطه ای از عایق باشد، کابل تحت آزمون به خوبی آماده سازی نشده باشد. (یعنی هنوز تجهیزات به کابل متصل باشند و یا سر رشته های کابل از هم جدا نشده باشد).

■ آزمون تعمیر و نگهداری پیشگیرانه:

آزمون تعمیر و نگهداری پیشگیرانه عموماً بر روی کابلی انجام می شود که قبلاً به مدت زمان طولانی تر به کار گرفته شده است. (این زمان می تواند چند ماه یا چند سال باشد) این آزمون برای نشان دادن هر گونه افت کیفیت در عملکرد عایق در طول زمان به کارگیری کابل می باشد. ثبت دقیق تاریخ انجام آزمون، مقاومت عایقی و همچنین دمای عایق هادی کابل باید دقیقاً انجام گیرد و بایگانی شود. این داده ها را می توان برای بررسی وضعیت کیفی عایق به کار گرفت.

ولتاژی که در این آزمون انتخاب می شود کمتر از 5kV و به مدت حداکثر تا یک دقیقه، یا تا زمانی که مقدار خوانده شده مقاومت عایقی عدد ثابتی را نشان دهد، اعمال می شود. ولتاژ آزمون همان ولتاژ نامی کابل (ولتاژ خط به خط) انتخاب می شود. انتخاب هر ولتاژ دیگری بیش از این مقدار ممکن است سبب ایجاد تنش در کابل و آسیب دیدگی زود هنگام در آن شود.

■ روش آزمون:

برای هر کابلی مورد آزمون:

الف- طول کابل را اندازه گیری و ثبت نمایید. همچنین نوع کابل و سایز هادی ان را یادداشت نمایید.

ب- دمای عایق هادی کابل را اندازه گیری و ثبت نمایید. برای کابلی که دارای چند رشته سیم عایق شده است، اندازه گیری و ثبت دمای عایق یکی از رشته ها کافی است. این دما ممکن است با دمای محیط متفاوت باشد. خصوصاً در صورتی که کابل در معرض مستقیم نور خورشید قرار گرفته باشد.

ج- دو سر رشته های کابل را از همه تجهیزات و وسائط قطع کنید. این تجهیزات و وسایل شامل سوییچ ها، پریز و هر گونه وسیله دیگری است که ممکن است به هادی های کابل متصل باشند، حتی سویچ بازی که به کابل متصل باشد می تواند مداری با مقاومت کم را به دست دهد و اینگونه نشان دهد که کابل موردنظر در آزمون مرود است.

د- رشته های کابل را از یکدیگر و نیز از سیم اتصال زمین جدا کنید تا امکان مناسب ترین قرائت برای مقاومت عایقی فراهم شود.

هـ- هادی لخت شده در دو سر کابل را هر گونه کثیفی و آلودگی به خوبی تمیز نمایید. هنگام آزمون، هادی های دو سر کابل باید به طور کامل خشک شده باشند. این موضوع باعث بهبود دز اندازه گیری می شود.

و: آزمون مقاومت عایقی را مطابق دستورالعمل سازنده دستگاه آزمون انجام دهید. اعمال ولتاژ بین هر دو رشته از سیم های کابل، بین هر رشته کابل با سیم لخت اتصال زمین، شیلدها و زره کابل توصیه می گردد. همه هادی های لخت اتصال زمین باید به یکدیگر و همچنین به شیلد و یا زره وصل و همگی به ارت متصل شوند. هر هادی عایق دار باید به طور

جداگانه آزمون شده و نتیجه آزمون آن ثبت شود. در مورد کابل سه فاز، شامل سه هادی عایق دار (A,B,C) که با یک رشته سیم لخت اتصال زمین (G) به صورت کابل درآمده است. آزمون های پیشنهادی به صورت زیر می باشد:

- A به B
- B به C
- C به A
- A به G
- B به G
- C به G

ز: اندازه گیری های ثبت شده را بررسی کنید. این اندازه گیری ها به دلایل بررسی وضعیت کابل طی مرور زمان ثبت می شوند و تنها با مقادیر قبلی همان کابل مقایسه می گردند. باید توجه نمود که همه مقادیری مقاومت عایقی یا باید در دماهای یکسان ثبت شوند و یا مقادیر ثبت شده باید در دمای خاصی تصحیح شوند تا امکان مقایسه بین آنها فراهم شود. این نوع آزمون را معمولاً در فواصل زمانی معینی انجام دهند. پیشنهاد می‌شود فواصل زمانی سالیانه یا در سال یکبار برای این آزمون در نظر گرفته شود.

جدول زیر برای جمع بندی آزمون های مقاومت عایقی میدانی مناسب است:

تعمیر و نگهداری	نصب	
موضوعی	برو/ نرو	نوع آزمون
کاربرد ندارد	الزامی	شماره کلاف یا قرقره
کاربرد ندارد	الزامی	تاریخ ساخت کابل
الزامی	الزامی	طول کابل
الزامی	الزامی	نوع کابل
الزامی	الزامی	سایز هادی
الزامی	اختیاری	دمای عایق
ولتاژ نامی کابل = ولتاژ آزمون	ولتاژ نامی کابل = ولتاژ آزمون	ولتاژ آزمون
تا یک دقیقه	تا یک دقیقه	مدت زمان آزمون
الزامی	اختیاری	ثبت نتایج مقاومت عایقی اندازه گیری شده
بر اساس داده های جمع آوری شده به مرور زمان	$R_{Insulation} = (V_{rated} + 1) . (\frac{304.8}{L})$	حداقل مقاومت عایقی قابل قبول

پیوست الف: ضریب تصحیح دمای مقاومت عایقی

دما بر حسب سانتی گراد	ضریب تصحیح
۵	۰,۳۳
۵,۵	۰,۳۴
۶	۰,۳۶
۶,۵	۰,۳۸
۷	۰,۳۱
۷,۵	۰,۳۳
۸	۰,۳۵
۸,۵	۰,۳۸
۹	۰,۴۱
۹,۵	۰,۴۴
۱۰	۰,۴۸
۱۰,۵	۰,۵۱
۱۱	۰,۵۵
۱۱,۵	۰,۵۹
۱۲	۰,۶۴
۱۲,۵	۰,۶۹
۱۳	۰,۷۴
۱۳,۵	۰,۸۰
۱۴	۰,۸۶
۱۴,۵	۰,۹۳
۱۵	۱,۰۰
۱۵,۵	۱,۰۸
۱۶	۱,۱۶
۱۶,۵	۱,۲۵
۱۷	۱,۳۵
۱۷,۵	۱,۴۵
۱۸	۱,۵۶
۱۸,۵	۱,۶۸
۱۹	۱,۸۱
۱۹,۵	۱,۹۵
۲۰	۲,۱۰
۲۰,۵	۲,۲۶
۲۱	۲,۴۴
۲۱,۵	۲,۶۳
۲۲	۲,۸۳
۲۲,۵	۳,۰۴
۲۳	۳,۲۸
۲۳,۵	۳,۵۳
۲۴	۳,۸۰
۲۴,۵	۴,۱۰
۲۵	۴,۴۱
۲۵,۵	۴,۷۵
۲۶	۵,۱۲
۲۶,۵	۵,۵۱
۲۷	۵,۹۴
۲۷,۵	۶,۳۹
۲۸	۶,۸۹

دما بر حسب سانتی گراد	ضریب تصحیح
۲۸,۵	۷,۴۲
۲۹	۷,۹۹
۲۹,۵	۸,۶
۳۰	۹,۲۷
۳۰,۵	۹,۹۸
۳۱	۱۰,۷۵
۳۱,۵	۱۱,۵۸
۳۲	۱۲,۴۷
۳۲,۵	۱۳,۴۳
۳۳	۱۴,۴۶
۳۳,۵	۱۵,۵۸
۳۴	۱۶,۷۸
۳۴,۵	۱۸,۰۷
۳۵	۱۹,۴۶
۳۵,۵	۲۰,۹۶
۳۶	۲۲,۵۷
۳۶,۵	۲۴,۳۱
۳۷	۲۶,۱۹
۳۷,۵	۲۸,۲۰
۳۸	۳۰,۳۸
۳۸,۵	۳۲,۷۳
۳۹	۳۵,۲۴
۳۹,۵	۳۷,۹۵
۴۰	۴۰,۸۷
۴۰,۵	۴۴,۰۲
۴۱	۴۷,۴۱
۴۱,۵	۵۱,۰۷
۴۲	۵۵
۴۲,۵	۵۹,۲۴
۴۳	۶۳,۸
۴۳,۵	۶۸,۷۲
۴۴	۷۴,۰۱
۴۴,۵	۷۹,۷۱
۴۵	۸۵,۸۵
۴۵,۵	۹۲,۴۶
۴۶	۹۹,۵۹
۴۶,۵	۱۰۷,۲۶
۴۷	۱۱۵,۵۳
۴۷,۵	۱۲۴,۴۳
۴۸	۱۳۴
۴۸,۵	۱۴۴,۳۳
۴۹	۱۵۵,۴۴
۴۹,۵	۱۶۷,۴۳
۵۰	۱۸۰,۳۱
۵۰,۵	۱۹۴,۲
۵۱	۲۰۹,۱۶
۵۱,۵	۲۲۵,۲۸

دما بر حسب سانتی گراد	ضریب تصحیح
۵۲	۲۴۲,۶۳
۵۲,۵	۲۶۱,۲۳
۵۳	۲۸۱,۴۵
۵۳,۵	۳۰۳,۱۳
۵۴	۳۲۶,۴۸
۵۴,۵	۳۵۱,۶۳
۵۵	۳۷۸,۷۳
۵۵,۵	۴۰۷,۹
۵۶	۴۳۹,۳۳
۵۶,۵	۴۷۳,۱۶
۵۷	۵۰۹,۶۱
۵۷,۵	۵۴۸,۸۶
۵۸	۵۹۱,۱۴
۵۸,۵	۶۳۶,۶۸
۵۹	۶۸۵,۷۳
۵۹,۵	۷۳۸,۵۵
۶۰	۷۹۵,۴۴
۶۰,۵	۸۵۶,۷۳
۶۱	۹۲۲,۷۱
۶۱,۵	۹۹۳,۷۹
۶۲	۱۰۷۰,۲۵
۶۲,۵	۱۱۵۲,۸
۶۳	۱۲۴۱,۶۱
۶۳,۵	۱۳۳۷,۲۵
۶۴	۱۴۴۰,۲۶
۶۴,۵	۱۵۵۱,۲۱
۶۵	۱۶۷۰,۷
۶۵,۵	۱۷۹۹,۴
۶۶	۱۹۳۸,۰۲
۶۶,۵	۲۰۸۷,۳۱
۶۷	۲۲۴۸,۱
۶۷,۵	۲۴۳۱,۲۸
۶۸	۲۶۰۷,۷۹
۶۸,۵	۲۸۰۸,۶۸
۶۹	۳۰۲۵,۰۴
۶۹,۵	۳۲۵۸,۰۷
۷۰	۳۵۰۹,۰۵
۷۰,۵	۳۷۷۹,۳۶
۷۱	۴۰۷۰,۵
۷۱,۵	۴۳۸۴,۰۶
۷۲	۴۷۲۱,۷۸
۷۲,۵	۵۰۸۵,۵۱
۷۳	۵۴۷۷,۲۶
۷۳,۵	۵۸۹۹,۱۹
۷۴	۶۳۵۳,۶۳
۷۴,۵	۶۸۴۳,۰۶
۷۵	۷۳۷۰,۳

مراجع:

استاندارد 1-IEC60811-1-1
2- IS10810

• اصول عملکرد فلومترها

◄ مهندس امیر لطفی
کارشناس مهندسی پروژه- دپارتمان نفت

دراین مقاله ویژگی های جریان سیالات[1] و تفاوت اصول کاری فلومترها[2] یا به عبارت دیگر جریان سنج های گوناگون تشریح شده است. به منظور ایجاد یک زمینه فنی مناسب در ذهن خواننده مبانی ریاضی مرتبط با موضوع نیزارائه شده است. مباحث مطرح شده از اهمیت بسیار زیادی برای درک سامانه های ابزار دقیق و موجود در فرایندهای صنعتی برخوردارند. همچنین از این مباحث میتوان به عنوان مبنایی برای پیاده سازی حسگر هوشمند استفاده کرد. در بخش اول اهمیت اندازه گیری جریان و همچنین مبانی کارکردی روشهای اندازه گیری جریان جرمی و حجمی بیان میشود. درانتها تحلیلی از خطاهای اندازه گیری جریان و روش های جبران خطا و همچنین شرحی پیرامون جریان سنج های هوشمند ارائه خواهد شد.

واژه های کلیدی: اندازه گیری، ابزار دقیق، فلومتر

■ اهمیت و کاربرد های اندازه گیری جریان سیالات

جریان سیال اهمیت بسیار زیادی در اندازه‌گیری‌های صنعتی دارد. زیرا مقدار آن بر متغیرهای دیگری مانند فشار، سطح، دما و غلظت شیمیایی اثرگذار است. اندازه گیری فشار به منظور کارکرد و عملیات درست سامانه و همچنین اطمینان از بهینه بودن کیفیت با توجه به هزینه، ضروری و لازم است.[۲,۱] اندازه گیری جریان کار ساده ای نیست. حتی اگر اثر خطاهای ناشی از نویز، لرزش و گرد و غبار را در نظر نگریم، خطاهای ناشی از نصب می توانند بر دقت این اندازه گیری اثر بگذارند. معمولا دقت جریان سنج ها بین ۰/۲ تا ۵ درصد کل بازه ی اندازه گیری (FSR)[3] است. تمام جریان سنج ها دارای اصول کاری مشابه نیستند و انتخاب بهترین وسیله کار مهنـــدسی ساده‌ای نیست. جریان سنج ها را براساس اصول کار می توان به چهار دسته تقسیم کرد:

- **حجمی**
- **جرمی**
- **استنتاجی**[4]
- **سرعتی**

جریان سنج های حجمی و جرمی، جریان را به طور مستقیم اندازه گیری می کنند. انواع استنتاجی به طور غیرمستقیم عمل اندازه گیری را انجام می دهند و خود به دسته های فشار تفاضلی، سطح متغیر و هدف[5] تقسیم می شوند. آن ها جریان سیال را براساس پدیده های فیزیکی دیگر اندازه گیری می نمایند.

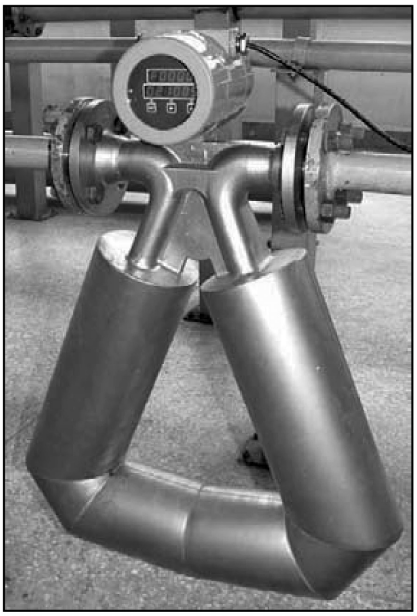
جدول ۱: انواع فلومترها و ویژگی های اصلی آن ها

نوع فلومتر	روش کار	کمیت های قابل اندازه گیری	مزایا	معایب	نام وسیله ی اندازه گیری
فشار تفاضلی	افت فشار ناشی از مقاومت لوله	حجم (کاربرد گسترده، تقریبا تمام گازها و مایعات با گرانروی پایین)	قیمت پایین، دامنه ی کاربرد گسترده، استواری و تنوع	وابستگی به مربع ریشه، اثرپذیری از تغییرات فشار و چگالی، افت فشار زیاد (به جز ساختار نازل)	اوریفیس، نازل، ونتوری، زانویی، cone-V، ونتوری، پیتوت، annubar
توربینی	وسیله ی دوار	حجم (سیالات روان ساز مانند روغن)	عدم نیاز به منبع تغذیه، امکان کار با دما و فشار بسیار بالا، قابل استفاده برای گاز	فقط برای سیالات با گران روی پایین، وجود قطعات متحرک، حساس به لرزش و ناخالصی	رتور منفرد، روتور دوگانه، چرخ پره دار، ملخی ، مماسی
سطح متغیر	تعادل دینامیک (ضربه، وزن و کشش)	حجم (مایعات و گازهای با چگالی کافی)	قیمت پایین، عدم نیاز به منبع تغذیه، سادگی، گستردگی	نصب عمودیف افت فشار ثابت (دقت کم در فشارهای پایین، اثرپذیری از تغییرات فشار و چگالی	رونامت- انواع مختلف بسته به طراحی شناور و المان اندازه گیر
مغناطیسی	القای الکترومغناطیسی	حجم (تقر یبا تمام موارد تا زمانی که رسانایی بالاتر از حد آستانه باشد)	عدم وجود قطعه ی متحرک، غیر تهاجمی، عدم افت فشار، عدم وابستگی به شکل جریان، عدم تاثیرپذیری از تغییرات دما، چگالی ، رسانایی و غلظت	فقط برای مایعات کاربرد دارد، رسانایی باید از حد مشخص بیشتر باشد (0.05 µcm/s)	DC مغناطیسی، بدون الکترود دو سیمه نسبتاً کامل
نوسانی	اثر coand	حجم (جریان مایعات زیادی را می توان با آن اندازه گیری کرد به شرط آن که R_N بالاتر از مقدار آستانه باشد)	عدم وجود قطعات متحرک، استواری، مناسب بریا سیالات مختلف (گتز، مایع، بخار)، رابطه ی خطی بین اندازه گیری و شار سیال	برای سیالاتی با سرعت بیشتر از R_N مناسب است، باید گران روی سیالبیشتر از مقدار آستانه باشد، عملیات پیچیده ای باید بر روی سیگنال انجام شود	فلویدیک ورتکس
هدف (target)	نیروی وارد بر یک جسم ثابت (هدف) از سوی سیال	حجم (سیالات تمییز، حداقل جابجایی مورد نیاز است)	هزینه ی پایین، عملکرد خود در لوله های بزرگ	محدودیت R_N ، سرعت سیال، ماده ی سازنده، دقت پایین، امکان کالیبراسیون تقریبا وجود ندارد	هدف
جتابجایی مثبت	اندازه گیری حجم سیال ثابت در هر چرخش	حجم (مایعات تمیز و غیر سوزنده)	دقت بالا، عدم نیاز به منبع تغذیه، عملیات دو طرفه، عدم محدودیت R_N	فقط برای مایعات، افت فشار زیاد، قطعات متحرک، حساسیت به ناخالص و بار بیش از حد	دنده ی حلزونی، دیسک Nutating، پیستون نوسان، دنده ی oval، چرخشی

نوع فلومتر	روش کار	کمیت های قابل اندازه گیری	مزایا	معایب	نام وسیله ی اندازه گیری
مافوق صوت	امواج صوتی یا ارتعاشی	جحجم (مایعات تمیز و برخی گازها)	عدمخ وجود قطعات متحرک، می تواند غیرتهاجمی باشد (مبدل ها بیرون لوله هستند)، عدم افت فشار، رابطه ی خطی بین اندازه گیری و شار سیال، تنظیم آنلاین	دقت بالا فقط برای مایعات، خطاهای ناشی از ته نشین شدن، خطای ناشی از حباب های گاز، اثرپذیری از صدا، سرعتف دما، غلظت و چگالی	دایلر ، زمان گذار، تکرار پالس
تعبیه ای (insertiona)	اندازه گیری سرعت سیال در موقعیت های بحرانی (مانند محور لوله ها)	حجم (مایعات گاز و بخار در لوله های بزرگ)	بستگی به نوع مبدل دارد زیرا می توان آن را تقریبا براساس اصول کاری تمام جریان سنج ها پیاده سازی کرد	فقط لوله های بزرگ، برای دقت نیازمند پردازش های بیشتر است. محدودیت R_N (شار با اغتشاش)، افت فشار زیاد	برای هر نوع مبدل یکی وجود دارد (بسته به اصول اندازه گیری)
همبستگی	همبستگی داده های اندازه گیری به دست آمده از نقاط مختلف	حجم (بسته به جریان سنجی که برای مقاصد همبستگی مورد استفاده قرار می گیرد)	معمولا به صورت غیر تهاجمی عمل می کند	بستگی به نوع جریان سنجی دارد که مورد استفاده قرار می گیرد	برای هر یک از روش های اندازه گیری از یک المان خاص استفاده می شود.
کانال باز	صفحه ی سیال بالای یک سد یا ارتفاعی متغیر با محدودیت (parshall)	حجم (معمولا اندازه گیری شار مایعات در سامانه های آبیاری، زهکشی یا گازهای آبی)	تنها راه حل برای اندازه گیری در کانال های باز (مانند سامانه های آبیاریف جریان رودخانه)	ا فت فشار، کاربردهای محدود	Weirs، کاریز Parshall
Coriollis	حفظ گشتاور زاویه‌ای	جرم (اندازه گیری مایعات، گازهای با محدودیت، مواد شیمیایی خطرناک، چگالی)	اندازه گیری جرم با دقت بالا، عدم محدودیت R_N، عدم اثرپذیری از فشار، دما و چگالی	دقت قابل قبول فقط برای مایعات، حساسیت متغیر، اندازه ی بزرگ	Coriollis، هیدرولیک، بل Wheratestone
حرارتی	ویژگی های حرارتی مواد	جرم (جابجایی گازها)	اندازه گیری درست جرم، استواری برای گازهای صنعتی و وسایل نقلیه، بازه اندازه گیری زیاد	فقط برای گازها، اندازه گیری غیر خطی جرم، سیگنال خروجی غیرخطی، حساسیت به حباب	سیم داغ، Anemometer

انتخاب بهترین جریان سنج کار ساده ای نیست. برای این کار باید اطلاعات زیر موجود باشد:

- فرآیندی که می خواهید اندازه گیری را بر روی آن انجام دهید.
- ویژگی های سیال مورد اندازه گیری، دما و فشار سامانه، بازه ی اندازه گیری، طول مستقیم لوله های بخش بالا است و پایین است جریان سنج، دقت مورد نیاز، افت فشار، تغییر بازه ی اندازه گیری، اثرات گران روی [6] سیال.



● **جزئیات فناوری بکار رفته در جریان سنج.**

به عنوان مثال در یک جا ممکن است دانستن افت فشار ناشی از سامانه ضروری باشد (به عنوان مثال اندازه گیری بخار فشار بالای یک دیگ بویلر) ولی در جای دیگر افت فشار قابل چشم پوشی باشد (به عنوان مثال اندازه گیری شار آب یک رودخانه با کانال‌های باز)

در جدول ۱ خلاصه ای از اصول کاری، کاربردهای عمده، معایب و اشکال مختلف جریان سنج ها ذکر شده است. بدیهی است اگر قابلیت های هوشمند برای هر جریان سنج وجود داشته باشد (خودآزمونی، خودکالیبراسیون، تعیین خودکار بازه، شناسایی خودکار، قابلیت تطبیق، ذخیره و کار با داده های تاریخی و غیره) می توان برای هر نوع جریان سنج، نسخه ی هوشمند آن را نیز ارایه کرد.

■ **اندازه گیری مستقیم جریان سیال: فلومترهای حجمی و جرمی**

در کاربردهای صنعتی، اندازه گیری مستقیم جریان سیال کار متداولی است. با این وجود باید مشخص شود در فرآیند کنترل جریان، جرم مهم است یا حجم، حتی با در نظر گرفتن شرایط ایده آل، تغییرات چگالی سیال می تواند بر اندازه گیری حجمی اثرگذار باشد.

■ **اندازه گیری حجمی جریان سیال**

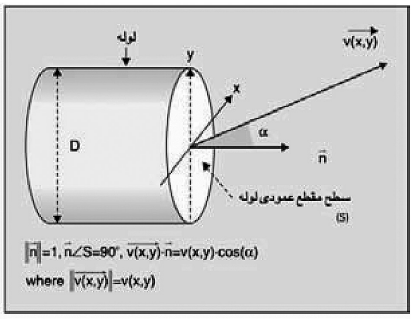
جریان حجمی، حجم گاز یا مایعی را که از مقطع عمودی مجاری سیال (لوله) بر حسب واحد زمان می گذارد اندازه گیری می نماید. برای سادگی ما فقط جریان مایعات را در نظر می گیریم. چرا که معمولا تراکم و حساسیت به تغییرات دما و فشار برای مایعات در نظر گرفته نمی شود. با پذیرش خطای کمتر از ۵ درصد در صورتی که حداکثر سرعت جریان کمتر از ۳/۰ ماخ باشد

می‌توان تمام مایعات را تراکم ناپذیر در نظر گرفت. عدد ماخ از تقسیم سرعت سیال بر سرعت صوت (سرعت صوت در سیال) به دست می آید. با افزایش ماخ، عواملی از قبیل تراکم، تغییرات دما و فشار نیز برای اندازه گیری دقیق جریان باید در نظر گرفته شوند. شار حجمی سیال (Q_{VL}) در سطح عمودی بر مسیر جریان S، از رابطه ی (۱) به دست می آید:

$$Q_{VL} = \iint_S v(x,y).n.dx.dy \qquad (۱)$$

که در آن v بردار سرعت سیال و $\overline{n}$ بردار نرمال واحد عمود بر سطح است (بردار با بزرگی یک).
dx و dy عناصر نامحدود سطح (همراستا با محورهای مختصات) هستند و عملگر بین بردارها، ضرب داخلی است. شکل ۱ را ببینید. در شرایط ایستا، هر دو بردار همراستا هستند $(\alpha = 0^\circ)$ و رابطه ی ۱ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$Q_{VL} = \iint_S v(x,y).dx.dy \qquad (۲)$$

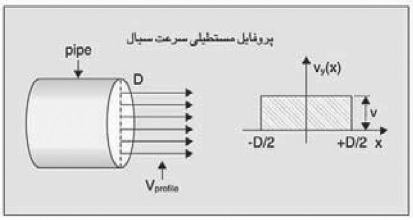


شکل ۱: شکل لوله ای که در آن پارامترهای هندسی به منظور محاسبه ی جریان حجمی در سطح S (لوله) مشخص شده است. ما فقط با جریان در جهت $\overline{n}$ کار داریم.

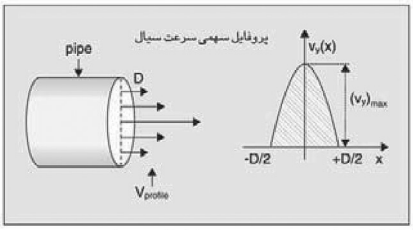
که در آن v(x,y) بزرگی بردار سرعت است (شکل ۱ را ببینید).
با استفاده از فرمول های استاندارد، می توان چهار پروفایل سرعت جریان حجمی را بررسی و تحلیل نمود. پروفایل سرعت سیال به عدد رینولدز (R_N) بستگی دارد. عدد رینولدز متغیری بدون بعد است که براساس رابطه ی زیر به دست می آید:

$$R_N = \frac{inertial\ froces}{viscous\ forces} = \frac{\rho.v.D}{\mu} \qquad (۳)$$

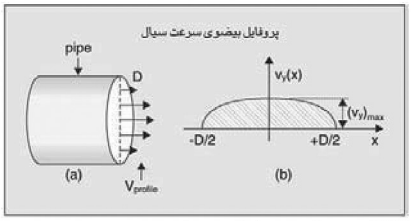
در این رابطه، ρ نشان دهنده ی چگالی سیال، v سرعت، D قطر لوله و μ درجه ی گران روی سیال است. معمولا برای R_N بیشتر از ٤٠٠٠ رژیم سرعت متلاطم است (سرعت بیضوی). اگر R_N بین ۲۰۰۰ و ٤٠٠٠ باشد، حالت سرعت به صورت گذاری است.



شکل ۲. پروفایل سرعت یکنواخت در سطح مقطع S مسیر جریان



شکل ۳. پروفایل سرعت سهموی در سطح مقطع S مسیر جریان



شکل ۴. سرعت بیضوی در سطح S مسیر جریان

حالت ۱. پروفایل سرعت یکنواخت: در این حالت سرعت سیال در سطح S ثابت است و توسط پیکانی که از لوله با سطح مقطع S بیرون می آید نشان داده می شود (شکل ۲- الف). از آ ن جایی که سرعت در طول خط قطری S ثابت است، پروفایل سرعت مستطیلی است (شکل ۲-ب). در نتیجه مقدار شار حجمی از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$Q_{VL} = V.A = V.\pi.D^2/4 \qquad (٤)$$

در این عبارت V بزرگی سرعت، S سطح مقطع لوله و D قطر لوله است. براساس رابطه ی ۱، واحد Q_{VL} در SI، مترمکعب بر ثانیه است (همان طور که انتظار می‌رفت).

حالت ۲. سرعت سهموی: در این حالت، سرعت مایع در سطح S متغیر است و توسط پیکانی که از لوله بیرون می آید نشان داده می شود. سرعت در بخش درونی لوله بیشتر است و با نزدیک شدن به کناره های آن در طول خط قطری به سمت صفر میل می کند (شکل ۳). سرعت این نوع جریان، سهموی است. با استفاده از معادله ی منحنی سهمی به عبارت زیر می رسیم:

$$V_y(x) = (V_y)_{\max}.\left(1 - \frac{4}{D^2}.x^2\right) \qquad (۵)$$

با استفاده از تعریف شار حجمی از رابطه ی (۲) می توان بزرگی متوسط بردار سرعت شار حجمی را از رابطه زیر بدست آورد:

$$Q_{VL} = \frac{(V)_{av}}{4}.\pi.D^2 \qquad (٦)$$

حالت۳-سرعت بیضوی: در این حالت نیز سرعت مایع در سطح s متغیر و در بخش درونی لوله بیشتر است. با نزدیک شدن به کناره های آن در طول خط قطری به سمت صفر میل می‌کند.در حالت بیضوی، تقریب سرعت حداکثر ومیانگین شار کمتر است

شکل ٤ حالت سرعت بیضوی را توسط پیکان ها نشان می دهد. در این شکل تغییرات سرعت در طول خط قطری لوله نشان داده شده است. با استفاده از معادله ی منحنی بیضی به عبارت زیر می رسیم:

با استفاده از تعریف جریان حجمی از رابطه ی (۲) می توان بزرگی متوسط بردار سرعت و شار حجمی را با روابط زیر به دست آورد:

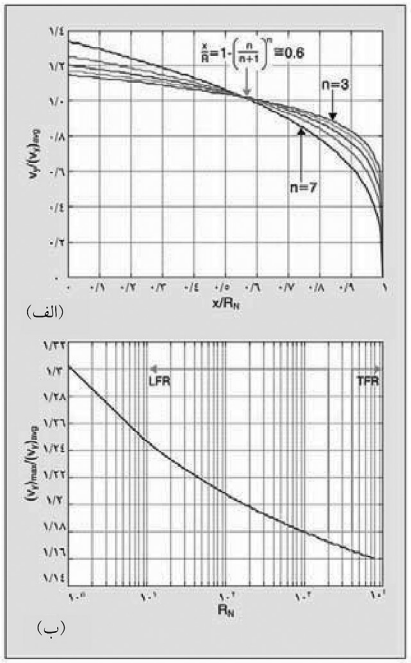
$$(V)_{av} = \frac{\pi}{4}.(V_y)_{\max} \qquad (۷)$$

$$Q_{VL} = (\pi/4)^2.D^2.(V_y)_{\max} \qquad (۸)$$

به طور کلی می توان گفت ما در تمام حالت های فوق به نتیجه ی مشابهی رسیدیم: شار حجمی همیشه برابر است با ضرب سرعت متوسط در سطح عمودی مسیر سیال:

$$Q_{VL} = (V)_{av}\, Ai(V)_{av} = \int_{-x=\frac{D}{2}}^{x=\frac{D}{2}} Vy(x).dx \qquad (۹)$$

حالت ٤. پروفایل کلی سرعت : به طور کلی می توان از تقریب زیر برای سرعت استفاده کرد:



شکل ۵. الف ـ پروفایل کلی سرعت در طول خط مستقیم شعاعی در سطح مقطع مسیر سیال برای مقادیر صحیح n بین ۳ و ۷ ب ـ نسبت بین (Vy)max و (Vy)av به عنوان تابعی از عدد رینولدز

$$V_y(x) = (V_y)_{\max} \cdot (1 - (\frac{x}{y}))^{\frac{1}{n}}$$

(۱۰)

که در آن R=D/2 و n ضریبی است که به عدد رینولدز بستگی دارد:

$n=۳/۲۹۹ + ۰/۳۲۵۷\times \mathrm{Ln}(R_N)$; $R_N<۴\times۱۰^۵$

$n=۵/۵۳۶۵+۵/۴۹۸\times (\mathrm{Ln}(R_N))^۵$; $RN>۴\times۱۰^۵$

۱۱. در این حالت میانگین بزرگی بردار سرعت و شار حجمی از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$(V)_{av} = (V_y)_{\max} \cdot \frac{n}{n+1}$$

$$Q_{VL} = (V_y)_{\max} \cdot \frac{n}{n+1} \cdot \frac{\pi . D^2}{4}$$

(۱۲)

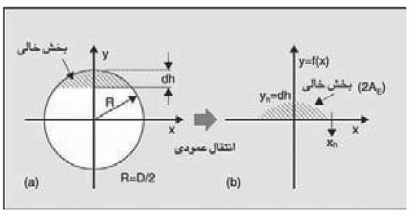
از رابطه ی ۱۰ و ۱۲ می توان مقدار x را با شرط $V_y(x)=V(y)_{av}$ که از رابطه ی زیر به دست می‌آید، حساب کرد:

(۱۳)

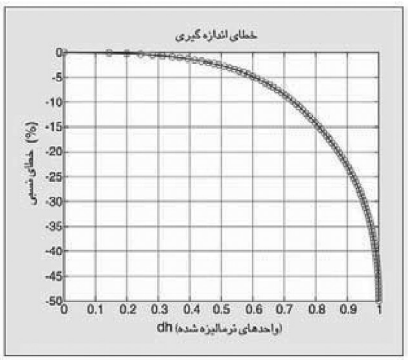
$$\frac{x}{R} = 1 - (\frac{n}{n+1})^n$$

در شکل ۵ – الف حالت سرعت در سطح خط مستقیم شعاعی که در برش عمودی مسیر سیال وجود دارد نشان دادهش ده است. هر خط متناظر با ضریب n متفاوت و مقادیر متفاوت $R_N(3)$ است. منحنی های متفاوت دارای واحدهای نرمال شده هستند و در تمام آن ها مقدار بزرگی متوسط بردار سرعت برابر یک است.

همان طور که انتظار می رفت، حداکثر سرعت سیال در محور لوله (x/R=0) و حداقل سرعت در سطح داخلی لوله (x/R=1) به دست می آید. با افزایش مقدار R_N یا افزایش مقدار n (در مثال ما n برابر v است)، حالت سرعت سیال تقریبا بیضی یا حتی لگاریتمی است و نسبت $(V_y)_{max}$ و $(V_y)_{av}$ پایین تر است (شکل ۵- الف). از سوی دیگر با



شکل ۶ الف- برش عرضی لوله که در آن متغیرهای هندسی مورد استفاده برای محاسبه‌ی خطای اندازه‌گیری مشخص شده‌اند ب- تبدیل عمودی بخش خالی لوله که متغیرهای آن مشخص شده است.



شکل ۷- خطای اندازه‌گیری (برحسب درصد) در لوله‌ای که ناقص پر شده است (dn- بزرگی نرمال شده‌ی بخش خالی)

کاهس مقدار R_N یا n (در مثال ما n برابر ۳ است)، سرعت بیشتر سهمی می شود و نسبت بین $(V_y)_{max}$ و $(V_y)_{av}$ افزایش می یابد.
نکته ی مهم آن است که براساس رابطه ی ۳ وقتی که مقادیر سرعت سیال و قطر لوله با هم برابر هستند، کاهش نسبت جرم حجمی و گران روی به معنای کاهش مقدار R_N است. برعکس این مساله نیز صادق است.
نمودار شکل ۵. ب نشان دهنده ی نسبت $(V_y)_{max}$ و $(V_y)_{av}$ بیشتر از زمانی است که R_N بیشتر از ٤٠٠٠ باشد (حرکت شار با اغتشاش، TFR).

■ خطای اندازه گیری در لوله هایی نیمه پر

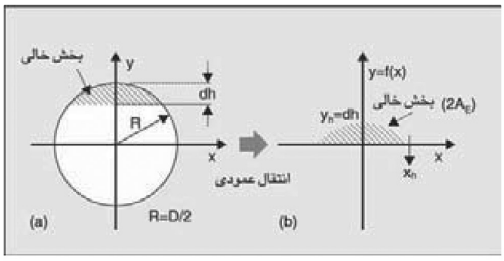
به دلایل متفاوت ممکن است لوله به طور ناقص پر شده باشد، اگر فشار پمپ کمتر از حداقل آستانه باشد، اگر قطر لوله خیلی زیاد باشد و یا اگر خطای نصب وجود داشته باشد (مثلاً میزان طول لوله در بالا و پایین وسیله درست انتخاب نشده باشد). در این صورت ممکن است خطای اندازه گیری قابل توجه باشد. به منظور محاسبه ی خطای اندازه گیری تحت شرایط فوق، ما رابطه ی نظری بین بزرگای خطای اندازه گیری و میزان پر شدن ناقص لوله را به دست می آوریم (شکل ٦).
با استفاده از شکل های ٦-الف و ٦-ب و محاسبات ریاضی در قسمت محاسبه ی خطای اندازه گیری در لوله های نیمه پر به روابط زیر می رسیم:

$$F(x) = dh - R + \sqrt{R^2 - X^2} \qquad (١٤)$$

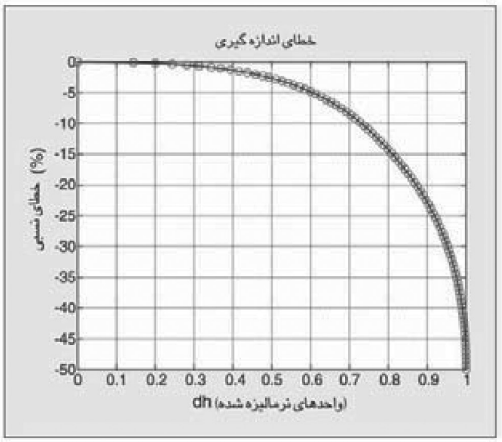
$$x_n = R\sqrt{1 - \left(\frac{R - dh}{R}\right)^2}$$

$$A_E = (dh - R).x_h + \frac{x_h}{2}\sqrt{R^2 - x_n^2} + \frac{R^2}{2}.\arcsin\left(\frac{dh}{R}\right)$$

$$\eta_E = 100.\frac{-2.A_E}{\pi.R^2}$$



شکل ۶ الف- برش عرضی لوله که در آن متغیرهای هندسی مورد استفاده برای محاسبه‌ی خطای اندازه‌گیری مشخص شده‌اند ب- تبدیل عمودی بخش خالی لوله که متغیرهای آن مشخص شده است.



شکل ۷- خطای اندازه‌گیری (برحسب درصد) در لوله‌ای که ناقص پر شده است (dn- بزرگی نرمال شده‌ی بخش خالی)

در این رابطه dh ارتفاع بخش خالی، f(y) تابع حرکت بخش خالی، R شعاع لوله، A_E نصف مساحت بخش خالی و خطای اندازه گیری نسبی است. همان طور که انتظار می رود این خطا همیشه منفی است. زیرا مساحت بخش مفید سیال در لوله ای که ناقص پر شده است همواره کمتر از S است. شکل V خطای اندازه گیری ناشی از پر شدن ناقص لوله را که در آن R/dh=dn بین صفر (پر شدن کامل و یک (بخش خالی نصف لوله است) است نشان می دهد.

محاسبه ی خطای اندازه گیری در لوله هایی که ناقص پر شده اند

با در نظر گرفتن شکل ٦- الف و استفاده از فرمول محیط به رابطه ی زیر می رسیم:

$$y=\sqrt{R^2-X^2} \quad (y\geq 0 \; and \; \Delta h\leq R$$

سپس با تبدیل عمودی در راستای محور y می توان به فرمول محیط شکل ٦-ب رسید:

$$y=f(x)=dh-R+\sqrt{R^2-X^2} \quad (y\geq 0 \; and \; \Delta h\leq R$$

با استفاده از رابطه ی آخر می توان محل تلاقی محورهای عمومی و افقی را به دست آورد:

$$X_n=R\sqrt{1-\left(\frac{R-dh}{R}\right)^2}$$

$$y_n=dh$$

در نهایت مساحت مرتبط با خطای اندازه گیری (نصف مساحت خالی لوله) از رابطه زیر به دست می آید:

$$A_E=\begin{cases}\int_0^{x_n} f(x)dx=\int_0^{x_n} (\Delta h-R+\sqrt{R^2-x^2}dx \\ (\Delta h-R)x_n+\frac{x_n}{2}\sqrt{R^2-X_n^2}+\frac{R^2}{2}\arcsin\left(\frac{X_n}{R}\right)\end{cases}$$

در نتیجه: خطای نسبی ناشی از خالی بودن لوله عبارت است از:

$$\eta_E=100.\frac{-2.A_E}{\pi.R^2}\%=100.\frac{-2.A_E}{\pi.R^2}\%$$

به عنوان مثال عملی،در شکل ۸ فلومتر الکترومغناطیسی ای نشان داده شده است که برای اندازه گیری شار در لوله ای که ناقص پر شده است استفاده می شود. اگر خطای ناشی از پر شدن ناقص جبران نشود، دقت اندازه گیری بسیار پایین

محاسبه‌ی خطای اندازه‌گیری در لوله‌هایی که ناقص پر شده‌اند

با در نظر گرفتن شکل ۶ـالف و استفاده از فرمول محیط به رابطه‌ی زیر می‌رسیم:

$y=\sqrt{R^2-X^2}$ $(y\geq 0 \; and \; \Delta h\leq R)$

سپس با تبدیل عمودی در راستای محور y می‌توان به فرمول محیط شکل ۶ـب رسید:

$y=f(x)=dh-R+\sqrt{R^2-X^2}$ $(y\geq 0 \; and \; \leq R)$

با استفاده از رابطه‌ی آخر می‌توان محل تلاقی محورهای

$X_h=R.\sqrt{1-\left(\frac{R-dh}{R}\right)^2}$

$y_h=dh$

عمودی و افقی را به دست آورد:

$A_E=\begin{cases}\int_0^{x_h} f(x)\,dx=\int_0^{x_h}\left(\Delta h-R+\sqrt{R^2-x^2}\right)dx \\ (\Delta h-R)x_h+\frac{x_h}{2}\sqrt{R^2-X_h^2}+\frac{R^2}{2}\,arcsin\left(\frac{X_h}{R}\right)\end{cases}$

در نهایت مساحت مرتبط با خطای اندازه‌گیری (نصف مساحت خالی لوله) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$\eta_E=100.\frac{A-2.A_E}{A}\%=100.\frac{-2.A_E}{A}\%$

درنتیجه خطای نسبی ناشی از خالی بودن لوله عبارت است از:

اندازه‌گیری نسبی است. همان طور که انتظار می‌رود این خطا همیشه منفی است. زیرا مساحت بخش مفید سیال در لوله‌ای که ناقص پر شده است همواره کمتر از S است. شکل ۷ خطای اندازه‌گیری ناشی از پر شدن ناقص لوله راکه در آن R/dh=dn بین صفر (پر شدن کامل) و یک (بخش خالی نصف لوله است) است نشان می‌دهد.

خواهد بود. ولی اگر از فلومتر مغناطیسی که ارتفاع سیال را در داخل لوله اندازه گیری می کند استفاده کنیم، دقت حتی برای لوله ای که ناقص پر شده است بهبود خواهد یافت. این فلومترها سیگنالی خارجی متناسب با سیال تولید می کنند (با دامنه ی در حد چند میلی ولت). در شکل ۹ اصول کاری فلومتر الکترومغناطیسی نشان داده شده است.

میدان الکترومغناطیسی القایی خارجی که توسط سیم پیچ های خارجی و حرکت ذرات باردار سیال ایجاد شده است (تعداد این ذرات به رسانایی سیال بستگی دارد) سبب ایجاد میدان الکترومغناطیسی در داخل لوله می شود. میدان الکترومغناطیسی سبب ایجاد اختلاف ولتاژی بین پایانه های فلزی ۱ و ۲ می شود. مقدار ولتاژ برابر است با:

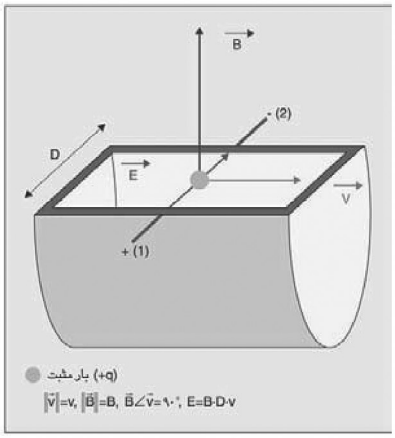
$$V_{12} = B.D.V \qquad (۱۵)$$

که در آن B بزرگی میدان الکترومغناطیسی القایی، D قطر داخلی لوله و v بزرگی سرعت سیال است. در حالت مطلوب میدان الکترومغناطیسی یکنواخت و عمود بر جهت حرکت سیال است. همچنین در حالت مطلوب رسانایی سیال نیز ثابت است که به معنای ثابت بودن دما و فشار داخل لوله است.

از آن جایی که ولتاژ اندازه گیری شده از رابطه ی ۱۵ با سرعت سیال تناسب دارد، فلومترهای الکترومغناطیسی حجمی هستند و سرعت سیال و نه جرم آن را اندازه گیری می کنند.

مزایای اصلی این فلومتر عبارتند از روش کاری غیرتهاجمی[۹]، دقت بالا (در حدود ۵/۰ درصد یا کمتر)، افت فشار قابل چشمپوشی، عدم وجود قطعات متحرک و عدم حساسیت به گران روی سیال یا مقیاس اندازه گیری خطی معایب ان عبارت هستند از قیمت بالا، حساسیت به تداخل الکترومغناطیسی، حساسیت به لرزش مکانیکی، حساسیت به ولتاژ ناشی از تعامل الکترولیتی بین پایانه ی فلزی و سیال و نیاز به مقدار رسانایی پایین. اگر مقدار رسانایی پایین نباشد نسبت سیگنال به نویز کاهش خواهد یافت.

شکل ۸ ـ فلومتر الکترومغناطیسی در شرایطی که لوله کامل پر نشده است (شارمتر Rosemont مدل 8712C)



شکل ۹ ـ نحوه‌ی کارکرد فلومتر الکترومغناطیسی

■ اندازه گیری جریان جرمی

فلومترهای جرمی، جرم و نه وزن سیالی را که از مقطع مسیر سیال در واحد زمان عبور می کند، اندازه گیری می کنند. اگر فشار و دما ثابت باشند و سیال تراکم ناپذیر و با چگالی ثابت باشد، می توان از همان اصولی که برای اندازه گیری شار حجمی استفاده کردیم، بهره گرفت:

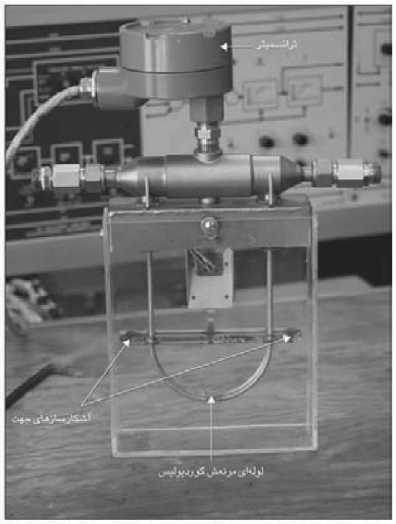
$$Q_{MS} = \iint_S \rho.\overline{v(x,y)}.\overline{n}.dx.dy : \rho = \frac{M}{V}$$

(۱۶)

که در آن نشان دهنده ی سرعت سیال در مقطع عرضی مسیر سیال، n بردار واحد یکتای نرمال برای مقطع عرضی و چگالی سیال یا جرم بر واحد حجم است. در شرایط عادی و ایستا، هر دو بردار هم راستا هستند $(\alpha = 0^\circ)$ و رابطه ی ۱۱ را می توان برای محاسبه ی شار جرمی به کاربرد:

$$Q_{MS} = \rho.(V)_{av} A = \rho.Q_{VL} \;\; bering (V)_{av} = x\int_{xa}^{+D/2} V_S(x).dx \qquad (۱۷)$$

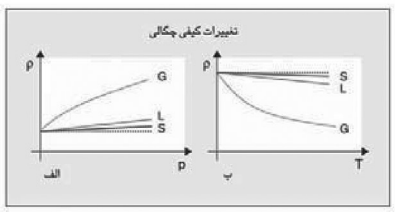
شکل ۱۰ فلومتری را نشان می دهد که براساس ویژگی کوریولیس[۱۰] کار می کند. در این دستگاه، جریان به صورت مستقیم و با استفاده از لوله ی مرتعشی اندازه گیری می شود که به ان شتاب های کوریولیس با جهت های متضاد اعمال می گردد. اندازه گیری به طور مستقیم به جرم سیال بستگی دارد و در نتیجه فارغ از خطای ناشی از تاثیر متغیرهای متعددی است که در فلومترهای تداخلی وجود دارد. مزایای اصلی این فلومترها عبارتند از کاربرد ساده برای سیال های گوناگون، اندازه گیری جرم و چگالی واقعی و امکان اندازه گیری جریان های دو فاز مهم ترین عیب این نوع فلومترها قیمت بالا و وجود قطعات متحرک در آن ها است.



شکل ۱۰ـ فلومتر جرمی که براساس اثر کوریولیس کار می‌کند (Micro Motion مدل D)

■ انتخاب فلومترهای حجمی و جرمی

وقتی چگالی معلوم باشد، فلومترهای جرمی و حجمی مقادیری را نشان می دهند که با یکدیگر متفاوت هستند. یکی از مشکلات اصلی آن است که فلومترها سرعت یا Q را اندازه گیری می کنند در حالی که گاهی چگالی مشخص نیست. چگالی به فشار و دما بستگی دارد و در بسیاری از کاربردها فقط اندازه گیری جریان



شکل ۱۱ـ تغییرات کیفی چگالی الف ـ برحسب تابعی از دما و ب ـ برحسب تابعی از فشار (S ـ جامدات، L ـ مایعات و G ـ گازها r چگالی سیال)

جرمی اهمیت دارد. در شکل ۱۱ تغییرات کیفی چگالی به عنوان تابعی از دما و فشار برای جامدات (S)، مایعات (L) و گازها (G) نشان داده شده است.

انتخاب بین فلومتر حجمی و جرمی به نوع کاربرد ما بستگی دارد. اگر از فلومتر برای سیالی که انرژی می دهد (مانند بنزین) استفاده می کنیم، چون انرژی سیال به جرم بستگی دارد پس بهتر از فلومترهای جرمی استفاده کنیم. در مورد سیال هایی که انرژی می دهند حداقل باید جبران دما محاسبه شود. زیرا تغییرات چگالی به تغییرات دما بستگی دارد (به ویژه برای گازها).

در مورد کاربردهای دیگر، فلومترهای حجمی بهتر هستند (مانند آب سنج ها). شکل ۱۲ سه فلومتر حجمی را نشان می دهد.

اساس کار فلومترهای حجمی با جابه جایی مثبت عبارت است از محفظه های چرخانی که به یک میله متصل شده اند. تعداد دفعات چرخش کلی رابطه مستقیم به حجم سیال دارد و نیازی به انرژی الکتریکی نیست. می توان از یک شمارشگر مکانیکی ساده برای اندازه گیری استفاده کرد. از آن جایی که محفظه می تواند بسیار کوچک باشد، دقت این فلومتر نیز می تواند بسیار زیاد شود (تا حد ۰/۲ درصد جریان). یادآوری می شویم که دقت به نرخ جریان و نه به حداکثر سرعت آن بستگی دارد. به عبارت دیگر حتی اگر سیال مورد نظر خیلی هم کم باشد (در حد چند قطره) باز هم دقت این فلومترها بالاست. این یکی از دلایل مهمی است که به خاطر آن شرکت های توزیع آب از این فلومترها استفاده می کنند. عیب این فلومترها عبارت است از این که محدوده به مایعات شفاف هستند، دقت ان ها تحت تاثیر چسبندگی مایع است، قطعات متحرک دارند و افت فشار در آن ها بالاست.

فلومترهای هوشمند

عوامل زیادی دقت فلومتر را تحت تاثیر قرار می دهند که از آن جمله می توان دما، فشار، گران روی، ذرات حل نشده، سختی و مقاومت داخلی لوله، تراکم پذیری سیال، تغییرات سرعت سیال، چگالی سیال، اختلال ناشی از فلومتر (خطاهای طبیعی)، لرزش لوله و خطاهای نصب اشاره نمود. به دلیل وجود عوامل متعدد فوق، خطای فلومترهای قدیمی و سنتی معمولا بالاست. با این که دقت قلومترها زیاد بالا نیست ولی تکرارپذیری ان ها خوب است.

با استفاده از روش های تنظیم خودکار بی درنگ، پردازش داده های اندازه گیری شده و سایر قابلیت هایی که معمولا در حسگرهای هوشمند وجود دارد می توان ویژگی های اندازه گیری فلومترها را بهبود بخشید.

شکل ۱۳ نمایی ساده از یک فلومتر هوشمند را نشان می دهد که در کاربردهای صنعتی جدید و یا در ارتقای حلقه های ارتباطی صنعتی قدیمی استفاده می شود. با استفاده از واحد پرداشگر داده (DPU) به همراه مبدل های فشار و دما و همچنین یک فلومتر حجمی و جرمی که به صورت سری به هم متصل شده اند، می توان ضریب جبران سازی لازم را برای بهبود دقت و خطی بودن اندازه گیری در شرایط دمایی و فشاری مختلف به دست اورد. برای این کار از قابلیت تنظیم خودکار نیز استفاده می شود. در فلومترهای هوشمند می توان تعداد نقاط تنظیم را با توجه به تابع چگالی احتمال داده های اندازه گیری شده تغییر داد. با اتصال سری فلومتر جرمی و حجمی می توان چگالی سیال را از فرمول زیر اندازه گیری کرد:

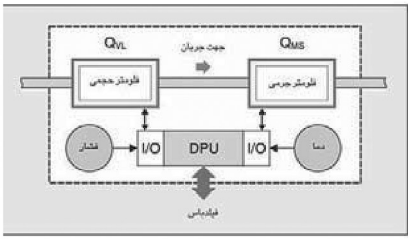
$$\rho(T.P) = \frac{Q_{MS}}{Q_{VL}}(T - temeratureP - \Pr essure) \quad (۱۸)$$

از چکالی سیال برای اندازه گیری جریان سیال های فرار استفاده می کنیم. فلومترهای قدیمی از چنین قابلیتی برخوردار نبودند (چند تولید کننده ادعا می کنند فلومترهای کوریولیس آن ها می تواند جریان جرمی، چگالی و حتی جریان های دو فاز را اندازه گیری کند).

■ خلاصه

در این نوشته به بررسی اهمیت اندازه گیری دقیق جریان سیال در کاربردهای صنعتی و همچنین نیاز به افزایش دقت ان ها پرداختیم. ویژگی های جریان سیال و همچنین اثر این ویژگی ها بر سنجش جریان بررسی شد. از نمودارها، فرمول ها و شکل ها برای نشان داده عوامل مهم در استفاده از فلومترهای جرمی، حجمی و هوشمند استفاده گردید.

شکل ۱۲ ـ الف یک پیستون نوسان‌کننده و شکل ۱۲ ـ ب یک فلومتر توربینی است. آن‌ها معمولاً برای سنجش مصرف آب استفاده می‌شوند. شکل ۱۲ ـ ج یک شارمتر دنده بیضی و در شکل ۱۲ ـ د برخی بخش‌های مکانیکی این فلومتر نشان داده شده است.



شکل ۱۳ ـ بلوک دیاگرام یک فلومتر هوشمند

مراجع:

[1] D.A. Czaplewski, R.B. Ilic, M. Zalalutdinov, W.L. Olbricht, A.T. Zehnder, H.G Craighead, A.T. Michalske, "Micromechanical Flow Sensor for Microfluidic Applications", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol.13, No.4, pp. 576-585, Aug. 2004.

[2] The Engineering ToolBox, "Tools and Basic Information for Design, Engineering and Construction of Technical Applications", (2008, Sep.1), Available http://www.engineeringtoolbox.com

[3] Bailey-Fisher& Porter, "Guide to Flow Measurements", Goettingen, Germany, 1995.

[4] D. W. Spitzer, "Industrial Flow Measurement", 3rd Edition, ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2005.

[5] KROHNE International, "Electromagnetic Low Meter in Partially Filled Pipes for Water and Waste Water" Manual for Tidakflux - IFM 4110 PF, 2005.

[6] Micro Motion, "Remote Flow Transmitter "Manual for Model RFT9712", 1991.

[7] N. Man Gyun, J. L. Yoon and J. Hwang, "A Smart Software Sensor for Feedwater Flow measurement Monitoring", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.52, Issue 6, Part 2, pp. 3026-3034 , Dec. 2005.

[8] M. Viswanathan, "Microprocessor Based Flow Rate and Flow Volume Indicator Common for any Flow Sensor which gives Pulse Output", in Proc. IMTC 1998, Vol.2, pp. 1083-1088, May 1998

[9] Y. Wu, J.P. Bobis, and R. Gehman, "The Design and Analysis of an Improved High Air Flow Meter with Analog/Digital Filters", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 41, pp. 791-796, Dec. 1992.

[10] R.M. Carter and Y. Yong, "An Instrumentation System Using Combined Sensing Strategies for On-line Mass flow Rate Measurement and Particle Sizing", in Proc. IMTC 2005, Vol.54, No.4, pp. 1433-1437 , May 2005.

[11] P. J. Escamilla-Ambrosio, and N. Mort, "Multisensor Data Fusion Architecture Based on Adaptive Kalman Filters and Fuzzy Logic Performance Assessment", in Proc. of the Fifth International Conference on Information Fusion, 2002, pp. 1542-1549

[12] J.M. Dias Pereira, O. Postolache, and P. Silva Girão, "PDF-based Progressive Polynomial Calibration Method for Smart Sensors Linearization ", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement (accepted for publication, March 2009, Vol.58, Issue 3).

پانوشت:

1- Flow	6- Viscosity
2- Flow−meter	7- Turbulent
3- Full Scale Range	8- Transitional
4- Inferential	9- Non−invasive
5- Target	10- coriollis

شرکت صنایع پمپیران
«سهامی خاص»

فرم تقاضای خرید کتاب

اینجانب ..... جهت دریافت کتابهای مشروحه ذیل طی فیش نقدی/ حواله بانکی شماره ..... مبلغ ..... ریال را به حساب جام ۶۹۰۵۹۲۶/۰۵ بانک ملت شعبه تبریز (کد ۱۳۴۲/۵) در وجه شرکت پمپیران واریز نموده ام و ضمن ارسال اصل فیش تقاضای دریافت ..... نسخه کتاب پمپهای گریز از مرکز و پمپاژ و ..... نسخه کتاب «ضربت قوچی آب» را دارم.

خواهشمندم این کتابها را به نشانی: استان .....

شهر .....

کد پستی ..... ارسال فرمائید.

- پمپهای گریز از مرکز: ۱۲۰۰۰ ریال
- ضربت قوچی آب: ۱۲۰۰۰ ریال
- هزینه پست سفارشی: ۲۰۰۰۰ریال جمع قیمت: ..... ریال

تاریخ امضاء

آدرس نشریه: تبریز، قراملک، صندوق پستی ۱۳۵- ۵۱۸۴۵، کد پستی ۵۱۹۳۶۱۳۱۱۱

شرکت صنایع پمپیران، امور مهندسی، واحد نشریه پمپ، فاکس مهندسی: ۳۲۸۸۸۳۵۳

فرم اشتراک نشریه پمپ

شماره اشتراک

.....

توجه:

ـ بهاء هر جلد نشریه پمپ ۱۲۰۰۰ ریال می باشد.

ـ آیا مایل به اشتراک هستید؟

☐ بلی ☐ خیر

ـ هزینه اشتراک (برای ٤ شماره بعدی) ٤٨٠٠٠ ریال می باشد.

ـ جهت تمدید ارسال نشریه حتما شماره اشتراک خود را (که قبلا از طرف نشریه اعلام شده) ذکر نمائید.

- **مشخصات مشترک:**

☐ فردی ☐ سازمان/ اداره ☐ جدید ☐ تمدیدی

سازمان/ اداره ..... بخش/ قسمت .....

نام ..... نام خانوادگی ..... شغل .....

- **نشانی دقیق پستی:**

استان ..... شهر .....

کد پستی ..... صندوق پستی .....

تلفن ..... نمابر .....

اینجانب جهت دریافت نشریه پمپ طی فیش نقدی/ حواله بانکی شماره ..... مبلغ ..... ریال را به حساب جام ۶۹۰۵۹۲۶/۰۵ بانک ملت شعبه تبریز (کد ۱۳۴۲/۵) در وجه شرکت پمپیران واریز نمودم و ضمن ارسال اصل فیش مایل به دریافت

☐ شماره های قبلی (لطفا مشخص نمایید).....

☐ یک جلد ویژه نامه

☐ ٤ شماره بعدی، جمعا به تعداد ..... جلد می باشم.

تاریخ امضاء

- **آدرس نشریه:**

تبریز، قراملک، صندوق پستی ۱۳۵- ۵۱۸۴۵، کد پستی ۵۱۹۳۶۱۳۱۱۱
شرکت صنایع پمپیران، امور مهندسی، واحد نشریه پمپ، فاکس مهندسی: ۳۲۸۸۸۳۵۳