



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-040

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

توجه !

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.

2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.



پمپ‌های روتودینامیکی، آزمون‌های پذیرش عملکرد
هیدرولیکی رتبه I و رتبه II



عناوین

۹	پیش‌گفتار
۹	مقدمه
۱۰	۱. هدف و دامنه کاربرد
۱۰	۲. مراجع الزامی
۱۲	۳. اصطلاحات، تعاریف و نمادها
۱۲	۳.۱. سرعت زاویه‌ای
۱۲	۳.۲. سرعت دورانی
۱۲	۳.۳. چگالی
۱۲	۳.۴. فشار
۱۲	۳.۵. توان
۱۳	۳.۶. عدد رینولدز
۱۳	۳.۷. مقدار دبی جرمی
۱۳	۳.۸. دبی حجمی جریان
۱۳	۳.۹. سرعت متوسط
۱۴	۳.۱۰. سرعت موضعی
۱۴	۳.۱۱. هد
۱۴	۳.۱۲. سطح مبنا (سطح مرجع)
۱۴	۳.۱۳. ارتفاع نسبت به سطح مرجع
۱۴	۳.۱۴. فشار نسبی (فشار گیج)
۱۴	۳.۱۵. هد دینامیکی (هد سرعت)
۱۵	۳.۱۶. هد کل
۱۵	۳.۱۷. هد کل ورودی

۱۵	هد کل خروجی	۳.۱۸
۱۵	هد کل پمپ	۳.۱۹
۱۶	انرژی مخصوص	۳.۲۰
۱۶	افت هد کل در ورودی پمپ	۳.۲۱
۱۶	افت هد کل در خروجی پمپ	۳.۲۲
۱۶	ضریب افت اصطکاکی لوله	۳.۲۳
۱۶	هد مکش مثبت خالص ($NPSH$)	۳.۲۴
۱۶	صفحه مرجع $NPSH$	۳.۲۵
۱۶	صفحه مرجع $NPSH$	۳.۲۶
۱۷	هد مکش مثبت موجود ($NPSH_A$)	۳.۲۷
۱۷	هد مکش مثبت لازم ($NPSH_R$)	۳.۲۸
۱۷	$NPSH_3$	۳.۲۹
۱۷	عدد مشخصه نوع پمپ	۳.۳۰
۱۷	توان ورودی پمپ	۳.۳۱
۱۸	توان خروجی پمپ	۳.۳۲
۱۸	توان ورودی محرک	۳.۳۳
۱۸	بازده پمپ	۳.۳۴
۱۸	بازده کل	۳.۳۵
۲۰	۴. ضمانت‌ها (گارانتی‌ها)	
۲۰	۴.۱. موضوع ضمانت‌نامه (موضوع گارانتی)	
۲۱	۴.۲. سایر شرایط ضمانت‌ها	
۲۱	۵. اجرای تست‌ها	
۲۱	۵.۱. موضوع تست‌ها	
۲۱	۵.۱.۱. کلیات	
۲۲	۵.۱.۲. تست‌های قراردادی - اجرای ضمانت	

۲۲	کنترل‌های اضافی	۵.۱.۳
۲۲	سازماندهی تست‌ها	۵.۲
۲۲	کلیات	۵.۲.۱
۲۳	مکان آزمون‌ها	۵.۲.۲
۲۳	زمان آزمون	۵.۲.۳
۲۳	گروه آزمایش‌کننده	۵.۲.۴
۲۴	وضعیت پمپ	۵.۲.۵
۲۴	برنامه تست	۵.۲.۶
۲۴	وسایل تست	۵.۲.۷
۲۴	موارد ثبت شده	۵.۲.۸
۲۴	گزارشات تست	۵.۲.۹
۲۵	چیدمان و ترتیب تست	۵.۳
۲۵	کلیات	۵.۳.۱
۲۶	ترتیب و چیدمان تست استاندارد	۵.۳.۲
۲۷	چیدمان و ترتیب تست شبیه‌سازی شده	۵.۳.۳
۲۷	پمپ‌های تست‌شده با اتصالات	۵.۳.۴
۲۸	نصب پمپ در شرایط غوطه‌وری	۵.۳.۵
۲۸	پمپ‌های چاه‌های عمیق و پمپ‌های درون لوله	۵.۳.۶
۲۸	پمپ‌های خودمکش	۵.۳.۷
۲۸	شرایط تست	۵.۴
۲۸	روش تست	۵.۴.۱
۲۹	پایداری عملکرد	۵.۴.۲
۳۱	سرعت دورانی در طول تست	۵.۴.۳
۳۲	تنظیم هدکل پمپ	۵.۴.۴
۳۲	تست پمپ با مایعاتی به جز آب تمیز و سرد	۵.۴.۵

۳۴	۶. تجزیه و تحلیل نتایج تست
۳۴	۶.۱. تفسیر نتایج تست به شرایط ضمانت
۳۴	۶.۱.۱. کلیات
۳۴	۶.۱.۲. انتقال نتایج تست به داده‌هایی بر پایه سرعت دورانی (یا فرکانس) و چگالی معین
۳۵	۶.۱.۳. تستی که با $NPSH_A$ متفاوت از مقدار ضمانت شده انجام می‌پذیرد
۳۵	۶.۲. اندازه‌گیری عدم قطعیت‌ها
۳۵	۶.۲.۱. کلیات
۳۶	۶.۲.۲. تعیین عدم قطعیت اتفاقی
۳۶	۶.۲.۳. حداکثر عدم قطعیت سیستماتیک مجاز
۳۷	۶.۲.۴. عدم قطعیت کلی اندازه‌گیری
۳۷	۶.۲.۵. تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری موجود در بازده
۳۸	۶.۳. مقادیر ضرایب رواداری (تِلرانس)
۳۹	۶.۴. اعتبارسنجی ضمانت‌ها
۳۹	۶.۴.۱. کلیات
۳۹	۶.۴.۲. اعتبارسنجی دبی، هد و بازده ضمانت شده
۴۰	۶.۴.۳. اعتبارسنجی $NPSH$ تضمین شده
۴۰	۶.۵. به‌دست‌آوردن مشخصه‌های معین
۴۰	۶.۵.۱. کاهش قطر پروانه
۴۱	۶.۵.۲. تغییرات سرعت
۴۱	۷. اندازه‌گیری دبی
۴۱	۷.۱. اندازه‌گیری با روش توزین
۴۱	۷.۲. روش حجمی
۴۲	۷.۳. تجهیزات اختلاف فشاری (فشار تفاضلی)
۴۳	۷.۴. سرریزهای صفحه نازک
۴۳	۷.۵. روش‌های سرعت در مقطع جریان

۴۳	۷.۶. روش‌های ردیابی
۴۴	۷.۷. روش‌های دیگر
۴۴	۸. اندازه‌گیری هد کل پمپ
۴۴	۸.۱. کلیات
۴۴	۸.۱.۱. اصول اندازه‌گیری
۴۵	۸.۱.۲. روش‌های مختلف اندازه‌گیری
۴۵	۸.۱.۳. عدم قطعیت اندازه‌گیری
۴۶	۸.۲. تعریف مقاطع اندازه‌گیری
۴۶	۸.۲.۱. پمپی آزمایش‌شده تحت شرایط استاندارد
۵۱	۸.۲.۲. پمپ آزمایش‌شده با اتصالات
۵۱	۸.۲.۳. پمپ‌های غوطه‌ور و پمپ‌های چاه عمیق
۵۳	۸.۲.۴. اتلاف اصطکاکی در ورودی و خروجی
۵۴	۸.۳. اندازه‌گیری سطح آب
۵۴	۸.۳.۱. تعیین مقطع اندازه‌گیری
۵۴	۸.۳.۲. دستگاه اندازه‌گیری
۵۵	۸.۴. اندازه‌گیری‌های فشار
۵۵	۸.۴.۱. سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار (پریز فشار)
۵۷	۸.۴.۲. تصحیح برای اختلاف ارتفاع
۵۷	۸.۴.۳. دستگاه اندازه‌گیری فشار
۶۰	۹. اندازه‌گیری سرعت دورانی
۶۱	۱۰. اندازه‌گیری توان ورودی پمپ
۶۱	۱۰.۱. کلیات
۶۱	۱۰.۲. اندازه‌گیری گشتاور
۶۱	۱۰.۳. اندازه‌گیری‌های توان الکتریکی
۶۲	۱۰.۴. موارد خاص

۶۲	پمپ‌های دارای قسمت‌های انتهایی غیرقابل دسترس	۱۰.۴.۱
۶۲	پمپ‌های چاه عمیق	۱۰.۴.۲
۶۲	یک واحد الکتروپمپ دارای یاتاقان محوری مشترک	۱۰.۴.۳
۶۳	اندازه‌گیری بازده کلی سیستم پمپاژ	۱۰.۴.۴
۶۳	۱۱. تست‌های کاویتاسیون	
۶۳	۱۱.۱ کلیات	
۶۳	۱۱.۱.۱ هدف تست‌های کاویتاسیون	
۶۳	۱۱.۱.۲ انواع تست‌ها	
۶۶	۱۱.۲ تأسیسات تست	
۶۶	۱۱.۲.۱ کلیات	
۶۶	۱۱.۲.۲ خواص عمومی مدار	
۶۷	۱۱.۲.۳ خواص مایع تست	
۶۷	۱۱.۲.۴ انواع تأسیسات	
۶۸	۱۱.۳ تعیین $NPSH$ مورد نیاز پمپ	
۶۸	۱۱.۳.۱ روش اندازه‌گیری‌های کمیت‌های گوناگون	
۶۸	۱۱.۳.۲ تعیین فشار	
۶۹	۱۱.۳.۳ ضرایب رواداری برای $NPSH_R$	
۷۲	پیوست A	
۷۴	پیوست B	
۷۵	پیوست C	
۸۰	پیوست D	
۸۲	پیوست E	
۸۳	پیوست F	
۸۴	پیوست G	
۸۸	پیوست H	

۹۱	پیوست I
۹۴	پیوست J
۹۶	پیوست K
۹۸	پیوست ZA

پمپ‌های روتودینامیکی آزمون‌های پذیرش عملکرد هیدرولیکی

رتبه I و رتبه II

*Rotodynamic Pumps- Hydraulic Performance Tests
Grades 1 and 2*



تحقیق و توسعه

شرکت آریا سپهر کیهان

پیش‌گفتار

ایزو (سازمان جهانی استانداردسازی) یک فدراسیون جهانی متشکل از اعضای استاندارد جهانی (اعضای عضو ایزو) است. کار آماده‌سازی استانداردهای جهانی معمولاً توسط کمیته‌های فنی ایزو صورت می‌گیرد. هر یک از اعضای علاقه‌مند در زمینه‌های مورد تایید کمیته‌های فنی، این حق را دارد که به عنوان نماینده آن کمیته معرفی شود. موسسات جهانی، ائم از دولتی یا غیر دولتی، که در ارتباط با ایزو باشند، معمولاً در کارها مشارکت دارند. ایزو در تمامی مسائل استانداردسازی الکتریکی، با کمیسیون جهانی الکتروتکنیک (IEC) همکاری می‌کند. استانداردهای جهانی با توجه به قوانین آورده شده در دستورالعمل‌های ISO/IEC پیش‌نویس می‌شوند. وظیفه اصلی کمیته‌های فنی، آماده‌سازی استانداردهای جهانی می‌باشد. پیش‌نویس استانداردهای جهانی که توسط کمیته‌های فنی پذیرفته می‌شود، برای رای‌گیری اعضا به جریان در می‌آید. انتشاراتی که به عنوان استاندارد جهانی پذیرفته می‌شوند، به حداقل ۷۵ درصد آرای اعضای رای‌دهنده نیاز دارند. باید توجه شود که بعضی از اجزای استانداردهای جهانی ممکن است موضوع امتیاز ثبت اختراعاتی باشد. ایزو نباید مسئول شناسایی هیچ یک از این اختراعات باشد. استاندارد ایزو ۹۹۰۶ توسط کمیته تخصصی ISO/TC 115 پمپ و زیر کمیته SC2 - روش‌های اندازه‌گیری و تست، تهیه شده است. چاپ اول این استاندارد، استانداردهای ایزو ۲۵۴۸ و ۳۵۵۵ را باطل کرده و جایگزین آن‌ها می‌باشد که به صورت فنی در آن تجدید نظر شده است. پیوست‌های A، B و C قسمت‌های اصلی این استاندارد را تشکیل می‌دهند. پیوست‌های D تا K تنها برای اطلاع می‌باشند.

مقدمه

این استاندارد، دو استاندارد پیشین یعنی استاندارد ایزو ۳۵۵۵ (آزمون‌های پذیرش پمپ‌های گریز از مرکز، مختلط و محوری (مربوط به رتبه I این استاندارد)) و استاندارد ایزو ۲۵۴۸ (مربوط به رتبه II این استاندارد) را ترکیب نموده و جایگزین آن‌ها می‌باشد، اما تغییرات بسیار مهمی در تصدیق ضمانت آن‌ها وجود دارد زیرا عدم قطعیت در اندازه‌گیری نباید تأثیری بر قابلیت پذیرش یک پمپ داشته باشد و رواداری‌ها (تولانس‌ها) باید تنها ناشی از تفاوت‌های ساختاری باشند. در این استاندارد، ضرایب رواداری جدیدی معرفی شده‌اند تا به این ترتیب پمپی که بنابر استانداردهای پیشین (استاندارد ایزو ۳۵۵۵ و استاندارد ایزو ۲۵۴۸) قابل پذیرش بوده، تا آن‌جا که ممکن است در این استاندارد نیز قابل پذیرش گردد. برخلاف این استاندارد، استاندارد ایزو ۵۱۹۸ (پمپ‌های گریز از مرکز، جریان مختلط و محوری - روش‌های آزمون عملکرد هیدرولیکی - رتبه دقیق) به عنوان روش آزمون پذیرش، قابل قبول نمی‌باشد، زیرا با این‌که این استاندارد به عنوان راهنمایی در مورد اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق و روش‌های ترمودینامیکی جهت اندازه‌گیری بازده است ولی در مورد تصدیق ضمانت‌ها، توصیه‌ای نمی‌نماید.

عبارت‌های ضمانت یا پذیرش مورد استفاده در این استاندارد دارای معانی فنی بوده و جنبه حقوقی ندارد. واژه ضمانت یا گارانتی، شرایطی را برای کنترل اهدافی که در قرارداد تعیین شده است، مشخص می‌کند، اما در مورد عدم تحقق این موارد، قوانین یا وظایفی را بیان نمی‌کند. واژه پذیرش نیز در این استاندارد هیچ‌گونه معنای حقوقی ندارد.

پمپ‌های روتودینامیکی آزمون‌های پذیرش عملکرد هیدرولیکی - رتبه I و رتبه II

۱. هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین آزمون‌های پذیرش عملکرد هیدرولیکی پمپ‌های روتودینامیکی^۱ (پمپ‌های گریز از مرکز، جریان مختلط و محوری که از این پس به اختصار "پمپ" نامیده می‌شوند) می‌باشد. این استاندارد در مورد پمپ با هر ظرفیت که با آب سرد تمیز و یا مایعات مشابه (مطابق تعریف بند ۵.۴.۵.۲) تست می‌شوند به کار می‌رود و شامل جزییات ساختاری یا خواص مکانیکی اجزای آن نمی‌باشد.

این استاندارد شامل دو رتبه با دو دقت اندازه‌گیری می‌باشد؛ رتبه I برای دقت بالاتر و رتبه II برای دقت پایین‌تر. این دو رتبه شامل مقادیر مختلف ضرایب رواداری^۲ برای انحرافات مجاز و عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری می‌باشند.

این استاندارد برای پمپ‌هایی که به‌طور سری تولید و انتخاب آن‌ها بر مبنای منحنی‌های عملکرد نمونه بوده یا توان ورودی آن‌ها کمتر از ۱۰ کیلو وات می‌باشد کاربرد دارد (به پیوست A برای ضرایب رواداری بالاتر مراجعه شود).

همچنین این استاندارد برای هر دو حالت، یعنی پمپ به تنهایی بدون اتصالات مربوطه و مجموعه کامل پمپ و تمام یا قسمتی از اتصالات پایین دست و بالادست به کار می‌رود.

۲. مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن‌ها ارجاع داده شده است. لذا این اسناد و مقررات، جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و/یا تجدید نظر، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نمی‌باشند. با این وجود بهتر است کاربران این استاندارد، امکان استفاده از آخرین اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و/یا تجدیدنظر، آخرین چاپ و/یا تجدیدنظر آن مدارک الزامی که به آن‌ها ارجاع داده شده، مورد نظر می‌باشند.

1 Rotodynamic pumps

2 Tolerance factors

ISO 1438-1, Water flow measurement in open channels using weirs and Venturi flumes — Part 1: Thin-plate weirs.

ISO 2186, Fluid flow in closed conduits — Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements.

ISO 3354, Measurement of clean water flow in closed conduits — Velocity-area method using, current-meters in full conduits and under regular flow conditions.

ISO 3966, Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity area method using Pitot static tubes.

ISO 4373, Measurement of liquid flow in open channels — Water-level measuring devices.

ISO 5167-1, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full.

ISO 7194, Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity-area methods of flow measurement in swirling or asymmetric flow conditions in circular ducts by means of current-meters or Pitot-static tubes.

ISO 8316, Measurement of liquid flow in closed conduits — Method by collection of the liquid in a volumetric tank.

ISO 9104, Measurement of liquid flow in closed conduits — Methods of evaluating the performance of electromagnetic flow-meters for liquids.

IEC 60034-2, Recommendations for rotating electrical machinery (excluding machines for traction vehicles) — Part 2: Determination of efficiency of rotating electrical machinery.

IEC 60051, Recommendations for direct acting electrical measuring instruments and their accessories.

۳. اصطلاحات، تعاریف و نمادها

در این استاندارد اصطلاحات، تعاریف و نمادهای زیر به کار می‌روند:

یادآوری ۱: تعاریف این استاندارد، به ویژه آن‌هایی که برای هد و هد مکش مثبت خالص^۱ (NPSH) آمده است، جهت استفاده عمومی در هیدرودینامیک مناسب نمی‌باشند و تنها برای این استاندارد بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعضی از اصطلاحات رایجی که در استفاده از این استاندارد، ضروری بنظر نمی‌رسند در اینجا تعریف نشده‌اند.

یادآوری ۲: جدول ۱ فهرستی الفبایی از نمادهای به کار رفته و جدول ۲ فهرستی از اندیس‌های استفاده شده ارائه می‌دهند. در این استاندارد، تمامی فرمول‌ها به صورت منسجم، در دستگاه SI می‌باشند. برای تبدیل دیگر واحدها به واحدهای دستگاه SI به پیوست D مراجعه نمایید.

یادآوری ۳: برای جلوگیری از اشتباه در تعبیر، بهتر به نظر می‌رسد که تعاریف، کمیت‌ها و واحدها بر طبق استاندارد ایزو ۳۱ ارائه شوند و با اطلاعات ویژه در مورد کاربردشان در این استاندارد تکمیل شوند.

۳.۱. سرعت زاویه‌ای

تعداد رادیان‌های پیموده شده توسط محور در واحد زمان است.

$$\omega = 2\pi n \quad (1)$$

۳.۲. سرعت دورانی

تعداد دوران‌ها بر واحد زمان می‌باشد.

۳.۳. چگالی

تقسیم جرم بر حجم می‌باشد.

۳.۴. فشار

تقسیم نیرو بر سطح می‌باشد.

یادآوری: در این استاندارد، تمامی فشارها نسبی است، یعنی نسبت به فشار اتمسفر سنجیده می‌شود، مگر فشارهای هوا و بخار که فشار مطلق می‌باشند.

۳.۵. توان

از تقسیم انرژی بر واحد زمان به دست می‌آید.

1 Net positive suction head (NPSH)

۳.۶. عدد رینولدز

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (۲)$$

۳.۷. مقدار گذر جرمی

گذر جرمی خروجی از پمپ یعنی میزان جرمی که در واحد زمان از نازل خروجی پمپ خارج می‌شود.

یادآوری ۱: اتلافاتی نظیر موارد زیر یا اتلاف ذاتی پمپ، جزء جدانشدنی پمپ می‌باشند:

الف) مقدار سیال خروجی مورد نیاز برای تعادل هیدرولیکی نیروی محوری

ب) سیال خنک‌کننده یاتاقان‌های پمپ

پ) سیال مورد نیاز جهت آب‌بندی^۱ محور

یادآوری ۲: نشت از اتصالات و نشت داخلی نباید به عنوان مقدار دبی به حساب آیند. بالعکس، کلیه مقادیر برداشت‌شده

مورد استفاده برای سایر مقاصد نظیر:

الف) خنک‌کننده یاتاقان‌های موتور

ب) خنک‌کننده جعبه دنده (یاتاقان‌ها، خنک‌کن‌های روغن) و غیره

بایستی به مقدار دبی اندازه‌گیری شده اضافه شوند.

یادآوری ۳: به حساب آوردن این جریان‌ها و چگونگی آن بستگی به محل برداشت آن‌ها و مقطع اندازه‌گیری جریان دارد.

۳.۸. گذر حجمی جریان

این کمیت دارای مقدار زیر می‌باشد:

$$Q = \frac{q}{\rho} \quad (۳)$$

یادآوری: در این استاندارد نماد Q ممکن است برای نشان دادن گذر حجمی (دبی) در یک مقطع داده شده نیز به کار رود

(این مقطع ممکن است با اندیس‌های مورد نظر مشخص شود).

۳.۹. سرعت متوسط

سرعت متوسط محوری جریان برابر است با گذر حجمی جریان (دبی) تقسیم بر سطح مقطع لوله جریان.

$$U = \frac{Q}{A} \quad (۴)$$

یادآوری: باید توجه شود که در این حالت Q ممکن است به دلایل متفاوت در طول مدار تغییر نماید.

۳.۱۰. سرعت موضعی

سرعت جریان در هر نقطه می باشد.

۳.۱۱. هد

مقدار انرژی هر واحد جرم سیال تقسیم بر شتاب ثقلی، g ، می باشد.

۳.۱۲. سطح مبنا (سطح مرجع)

هر سطح افقی که به عنوان مرجعی برای اندازه گیری ارتفاع به کار می رود.

یادآوری: به دلایل کاربردی، بهتر است از سطح مبنای مجازی استفاده نشود.

۳.۱۳. ارتفاع نسبت به سطح مرجع

ارتفاع نقطه مورد نظر، نسبت به سطح مرجع می باشد.

یادآوری: مقدار آن:

- مثبت است، در صورتی که نقطه مورد نظر بالاتر از سطح مرجع باشد.
- منفی است، در صورتی که نقطه مورد نظر پایین تر از سطح مرجع باشد.

به شکل های ۳ و ۴ مراجعه نمایید.

۳.۱۴. فشار نسبی (فشار گیج)

فشار نسبت به فشار اتمسفر می باشد.

یادآوری ۱: مقدار آن:

- مثبت است، اگر این فشار بیشتر از فشار اتمسفر باشد.
- منفی است، اگر این فشار کمتر از فشار اتمسفر باشد.

یادآوری ۲: در این استاندارد، تمامی فشارها نسبی هستند که از روی مانومتر یا دیگر وسایل مشابه حس گر فشار خوانده

می شوند، مگر فشار اتمسفر و فشار بخار مایع که فشار مطلق هستند.

۳.۱۵. هد دینامیکی (هد سرعت)

مقدار انرژی جنبشی هر واحد جرم سیال در حال حرکت، تقسیم بر شتاب ثقلی، g ، می باشد.

$$\frac{U^2}{2g} \quad (5)$$

۳.۱۶. هد کل

در هر مقطع، هد کل از رابطه زیر به دست می آید:

$$H_x = z_x + \frac{p_x}{\rho g} + \frac{U_x^2}{2g} \quad (6)$$

که در آن z عبارت است از ارتفاع مرکز سطح مقطع نسبت به سطح مرجع و p عبارت است از فشار نسبی مربوط به مرکز سطح مقطع.

یادآوری: هد کلی مطلق در هر قسمت از رابطه زیر به دست می آید:

$$H_{x(abs)} = z_x + \frac{p_x}{\rho g} + \frac{p_{amb}}{\rho g} + \frac{U_x^2}{2g} \quad (7)$$

۳.۱۷. هد کل ورودی

هد کل در مقطع ورودی پمپ برابر است با:

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} \quad (8)$$

۳.۱۸. هد کل خروجی

هد کل در مقطع خروجی پمپ برابر است با:

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} \quad (9)$$

۳.۱۹. هد کل پمپ

این هد برابر است با اختلاف جبری هد کل خروجی و هد کل ورودی.

یادآوری ۱: اگر تراکم پذیری سیال ناچیز باشد:

$$H = H_2 - H_1 \quad (10)$$

اگر تراکم پذیری سیال پمپ شده قابل توجه باشد، به جای چگالی ρ می توان مقدار متوسط آن را بکار برد.

$$\rho_m = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad (11)$$

در این صورت هد کل پمپ به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود:

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho_m g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} \quad (۱۲)$$

یادآوری ۲: نماد ریاضی صحیح برای این کمیت H_{1-2} می‌باشد.

۳.۲۰. انرژی مخصوص

مقدار انرژی در هر واحد جرم سیال است.

$$y = gH \quad (۱۳)$$

۳.۲۱. افت هد کل در ورودی پمپ

اختلاف بین هد کل سیال در نقطه اندازه‌گیری و هد کل سیال در مقطع ورودی پمپ می‌باشد.

۳.۲۲. افت هد کل در خروجی پمپ

اختلاف بین هد کل سیال در مقطع خروجی پمپ و هد کل سیال در نقطه اندازه‌گیری می‌باشد.

۳.۲۳. ضریب افت اصطکاکی لوله

ضریب اتلاف هد از طریق اصطکاک در لوله می‌باشد.

۳.۲۴. هد مکش مثبت خالص (NPSH)

$$NPSH = H_1 - z_D + \frac{p_{amb} - p_v}{\rho_1 g} \quad (۱۴)$$

یادآوری: مقدار $NPSH$ وابسته به صفحه مرجع $NPSH$ است در حالی که هد کل ورودی، به سطح مرجع وابسته است.

۳.۲۵. صفحه مرجع $NPSH$

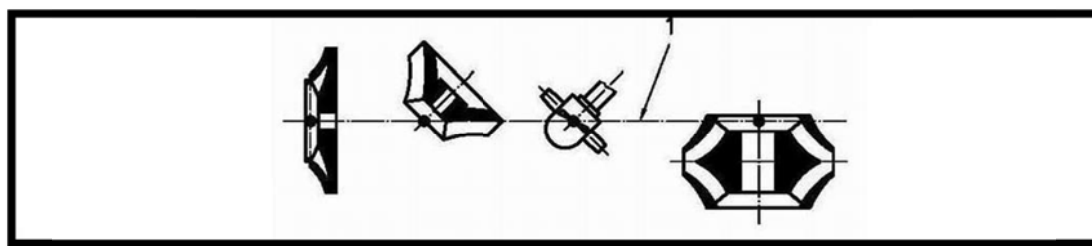
(در پمپ‌های چند طبقه) صفحه‌ای افقی است که از مرکز دایره وجود آمده توسط نقاط خارجی لبه‌های ورودی تیغه‌های پروانه می‌گذرد.

۳.۲۶. صفحه مرجع $NPSH$

(در پمپ‌های دارای دو ورودی با محورهای عمودی یا مایل) صفحه مرجع، صفحه گذرنده از مرکز بالاتر می‌باشد.

یادآوری: سازنده باید محل این صفحه را از طریق نقاط دقیقی روی پمپ تعیین نماید. به شکل ۱ مراجعه نمایید. خط ۱

در این شکل نشان‌دهنده صفحه مرجع می‌باشد.



شکل ۱- صفحه مبنای $NPSH$

۳.۲۷. هد مکش مثبت موجود^۱ ($NPSH_A$)

مقدار $NPSH$ موجود که تحت شرایط نصب در دبی مورد نظر تعیین می‌شود.

۳.۲۸. هد مکش مثبت لازم^۲ ($NPSH_R$)

حداقل مقدار $NPSH$ است که توسط سازنده/ تامین‌کننده برای یک پمپ برای حصول به شرایط عملکرد مشخص (وقوع کاویتاسیون قابل مشاهده، افزایش سر و صدا و ارتعاش در اثر کاویتاسیون، آغاز افت هد یا بازده، افت هد یا بازده در مقادیر تعیین شده، حد فرسایش ناشی از کاویتاسیون) در دبی معین، سرعت و مایع پمپ شده مشخص، تعیین می‌گردد.

۳.۲۹. $NPSH_3$

عبارت است از $NPSH$ لازم برای افت سه درصدی هد کل طبقه اول پمپ که به عنوان مبنای استاندارد جهت استفاده در منحنی‌های عملکرد به کار می‌رود.

۳.۳۰. عدد مشخصه نوع پمپ

کمیت بی‌بعدی است که در نقطه‌ای با بیشترین بازده محاسبه می‌گردد و توسط رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$K = \frac{2\pi Q'^{1/2}}{(gH')^{3/4}} = \frac{\omega Q'^{1/2}}{y'^{3/4}} \quad (15)$$

که در آن Q' دبی جریان در ازای هر چشم پروانه و H' ارتفاع طبقه اول است.

یادآوری: عدد مشخصه نوع پمپ باید بر اساس حداکثر قطر پروانه طبقه اول محاسبه گردد.

۳.۳۱. توان ورودی پمپ

توان انتقال یافته به پمپ، توسط محرک آن می‌باشد.

1 Net positive suction head available ($NPSH_A$)

2 Net positive suction head required ($NPSH_R$)

۳.۳۲. توان خروجی پمپ

توان مکانیکی انتقال یافته به سیال در هنگام عبور آن از درون پمپ می باشد.

$$P_U = \rho Q g H = \rho Q y \quad (۱۶)$$

۳.۳۳. توان ورودی محرک

به توان جذب شده توسط محرکه پمپ گویند.

۳.۳۴. بازده پمپ

از تقسیم توان خروجی پمپ به توان ورودی پمپ به دست می آید.

$$\eta = \frac{P_U}{P} \quad (۱۷)$$

۳.۳۵. بازده کل

از تقسیم توان خروجی پمپ به توان ورودی محرک به دست می آید.

$$\eta_{gr} = \frac{P_U}{P_{gr}} \quad (۱۸)$$

جدول ۱- فهرست الفبایی حروف اختصاری به کار رفته به عنوان نماد

نماد	کمیت	یکا
A	سطح	m^2
D	قطر	m
E	انرژی	J
e	عدد نسبی، عدم قطعیت کلی	%
F	بسامد	s^{-1}, Hz
g	شتاب گرانش ^(الف)	m / s^2
H	هد کل پمپ	m
H_i	اتلاف به صورت ارتفاع مایع	m
k	زبری یکنواخت معادل	m
K	عدد مشخصه نوع پمپ	عدد بدون بعد
l	طول	m
m	جرم	kg
n	سرعت دورانی	s^{-1}, min^{-1}
$NPSH$	هد مکش مثبت خالص	m
p	فشار	Pa
P	توان	W
q	گذر جریان جرمی (دبی جرمی) ^(ب)	kg / s
Q	گذر جریان حجمی (دبی) ^(پ)	m^3 / s
Re	عدد رینولدز	عدد بدون بعد
t	عدد نسبی، ضریب رواداری	%
t	زمان	s
T	گشتاور	Nm
U	سرعت متوسط	m / s
v	سرعت موضعی	m / s
V	حجم	m^3
y	انرژی مخصوص	J / kg
z	ارتفاع نسبت به سطح مبنا	m
z_D	اختلاف بین صفحه مبنا $NPSH$ (به بند ۳-۲۵ مراجعه نمایید) و سطح مبنا	m
η	بازده	عدد بدون بعد
θ	دما	$^{\circ}C$
λ	ضریب اتلاف اصطکاکی لوله	عدد بدون بعد
ν	گرانروی سینماتیک	m^2 / s
ρ	چگالی	kg / m^3
ω	سرعت زاویه‌ای	rad / s

الف) در اصل، مقدار محلی g باید مورد استفاده قرار گیرد. با این حال می‌توان برای رتبه II از $g = 9.81 m/s^2$ استفاده کرد. برای محاسبه مقدار محلی g از رابطه مقابل استفاده می‌شود.

$$g = 9.7803(1 + 0.0053 \sin^2 \phi) - 3 \times 10^{-6} z$$

که در آن ϕ عرض جغرافیایی و z ارتفاع است.

ب) نماد اختیاری دیگری برای گذر جرمی جریان (دبی جرمی) q_m است.

پ) نماد اختیاری دیگری برای گذر حجمی جریان (دبی) q_v است.

جدول ۲: فهرست حروف اختصاری بکار رفته به عنوان اندیس

شرح	اندیس
ورودی	1
مقطع اندازه‌گیری ورودی	1'
خروجی	2
مقطع اندازه‌گیری خروجی	2'
مطلق	abs
محیط	amb
مینا	D
مایع در لوله‌های اندازه‌گیری	f
ضمانت شده	G
هد کل پمپ	H
واحد مرکب موتور و پمپ (کلی)	gr
متوسط	m
مانومتر	M
سرعت دورانی	n
توان	P
گذر جریان (حجمی) (دبی)	Q
مشخص شده	sp
انتقالی، گشتاور	T
مفید	u
بخار (فشار)	v
بازده	η
در هر مقطعی	x

۴. ضمانت‌ها (گارانتی‌ها)

۴.۱. موضوع ضمانت‌نامه (موضوع گارانتی)

باید توسط جریان تضمین شده Q_G و هد تضمین شده H_G ، نقطه‌ای تضمین شده تعریف شود.

سازنده/ تأمین‌کننده تضمین می‌کند که تحت شرایط تعیین شده و در سرعت معین (یا در بعضی مواقع بسامد و ولتاژ) نمودار $H(Q)$ اندازه‌گیری شده با بازه رواداری (تولرانس) مشخصی (به جدول ۱۰ و شکل ۲ مراجعه نمایید) از حول و حوش نقطه تضمین شده می‌گذرد.

می‌توان بر سر دیگر محدوده‌های رواداری (به عنوان مثال آن‌هایی که تنها با ضریب رواداری مثبت ارایه می‌شوند) در هنگام عقد قرارداد توافق نمود.

علاوه بر این، تحت شرایط معین و سرعت دورانی مشخص، یکی یا تعدادی از کمیت‌های زیر ممکن است توسط سازنده گارانتی و تضمین شود:

الف) بازده پمپ، η_G ، یا در صورتی که واحد ترکیبی موتور و پمپ داشته باشیم، بازده ترکیبی آن‌ها η_{grG}

ب) هد مکش مثبت خالص مورد نیاز ($NPSH_R$) تحت جریان تضمین شده

موارد بالا در شرایط دبی تعیین شده در بند ۴.۴.۲ و شکل ۲ به کار می‌روند.

با توافق ویژه‌ای می‌توان چندین نقطه ضمانت و مقادیر متناظر بازده آن نقاط و هد مکش مثبت خالص مورد نیاز در دبی-های کم یا زیاد را تضمین نمود. می‌توان حداکثر توان ورودی را برای جریان تضمین شده یا برای محدوده‌ای از کارکرد ضمانت نمود. ولی چنین ضمانتی نیاز به محدوده‌های بزرگ‌تر رواداری (تلرانس) دارد که خریدار و سازنده/تأمین‌کننده باید بر سر آن توافق نمایند.

۴.۲. سایر شرایط ضمانت‌ها

می‌توان شرایط زیر را برای مقادیر تضمین شده اعمال کرد، مگر آن که مشخصاً شرایط دیگری در قرارداد توافق شده باشد:

الف) نقاط تضمین شده برای شرایط آب سرد تمیز می‌باشند مگر آن که خواص فیزیکی و شیمیایی مایع اعلام شده باشد (-) به بند ۵.۴.۵.۲ مراجعه نمایید).

ب) رابطه بین مقادیر ضمانت شده تحت شرایط آب سرد تمیز و عملکرد متناظر آن تحت شرایط سایر مایعات باید در قرارداد توافق شود.

پ) ضمانت‌ها باید فقط برای پمپ آزمایش شده توسط روش‌ها و ترکیب آزمون تعیین شده در این استاندارد اعمال شود.

ت) سازنده / تأمین‌کننده پمپ برای مشخصات نقطه ضمانت مسئول نخواهد بود.

۵. اجرای تست‌ها

۵.۱. موضوع تست‌ها

۵.۱.۱. کلیات

موارد زیر را می‌توان برای تست‌ها اعمال نمود، مگر آن که بین سازنده/تأمین‌کننده و خریدار توافق دیگری صورت گرفته باشد.

الف) دقت مطابق با رتبه II

ب) آزمون‌ها باید در محل آزمایشگاه (محل تست) کارخانه سازنده صورت گیرد

پ) این آزمایش تست $NPSH$ را در بر نمی‌گیرد.

هرگونه سرباز زدن (انحراف) از این دستورالعمل باید با توافق سازنده/تأمین‌کننده و خریدار انجام شود. این توافق باید در اسرع وقت صورت گرفته و ترجیحاً بخشی از قرارداد را تشکیل دهد.

چنین انحرافات می‌تواند یکی از موارد زیر باشد:

- دقتی مطابق رتبه ۱ باشد.
- ضرایب رواداری (تِلرانس) منفی ظاهر نشوند (به بند ۴.۱ مراجعه نمایید)
- ضرایب رواداری مطابق پیوست A باشند
- ارزیابی آماری نتایج اندازه‌گیری مطابق پیوست ۱ باشد
- آزمون در محل نصب یا آزمایشگاه بی‌طرفی^۱ صورت گیرد
- انحراف از الزامات مربوط به نحوه نصب پمپ و دستگاه اندازه‌گیری
- از شبیه‌سازی ساختار پمپ‌ها (نظیر چندین روتور در یک پوسته) استفاده شود
- الزامی برای انجام تست $NPSH$ در نظر گرفته شود

پیوست K یک فهرست جهت کنترل از موارد توافق پیشنهادی بین خریدار و سازنده/ تأمین‌کننده را ارائه می‌دهد.

۵.۱.۲. تست‌های قراردادی^۲ - اجرای ضمانت

آزمون‌ها با هدف حصول اطمینان از عملکرد پمپ و مقایسه آن با ضمانت سازنده / تأمین‌کننده، انجام می‌شود. هنگامی می‌توان ضمانت تعیین‌شده برای یک کمیت را برآورده شده دانست که مطابق این استاندارد آزمایش شود و کمیت‌های عملکردی اندازه‌گیری شده، در محدوده رواداری (تِلرانس) اعلام شده برای آن مقدار خاص باشد (به بند ۶ مراجعه نمایید). اگر $NPSH_R$ بخواهد ضمانت شود، نوع آزمون باید مشخص گردد (به بند ۱۱.۱.۲ مراجعه شود).

اگر چندین پمپ یکسان خریداری شود، باید بین خریدار و سازنده / تأمین‌کننده بر سر تعداد پمپ‌هایی که قرار است مورد آزمون قرار گیرند، توافق صورت گیرد.

۵.۱.۳. کنترل‌های اضافی

در حین اجرای آزمون، می‌توان در صورت رضایت‌بخش بودن رفتار پمپ از لحاظ دمای آب‌بندها و یاتاقان‌ها، نشتی هوا یا آب، آلودگی آکوستیک^۳ و از نظر ارتعاشات، موارد را اعلام نمود.^۴

۵.۲. سازمان‌دهی تست‌ها

۵.۲.۱. کلیات

خریدار و سازنده/ تأمین‌کننده هر دو در محل تست‌ها به عنوان شاهد حق حضور دارند.

1 Neutral laboratory
2 Contractual test
3 Acoustic emission

۴ استانداردهای خاص پمپ‌ها در ISO / TC 115 در حال تدوین است.

۵.۲.۲ مکان آزمون‌ها

۵.۲.۲.۱ تست‌های کارخانه‌ای

تست عملکرد می‌تواند ترجیحاً در کارخانه سازنده یا در مکانی که مورد توافق خریدار و سازنده/ تأمین‌کننده باشد انجام شوند.

۵.۲.۲.۲ تست‌های محل نصب

تست عملکرد در محل نصب به شرط رعایت تمامی الزامات این استاندارد، باید مورد توافق قرار گیرد. باید خاطرنشان کرد که شرایط موجود در اکثر مکان‌های نصب پمپ، مانع تطابق کامل با شرایط این استاندارد می‌گردد. در چنین مواقعی، تست عملکرد در محل نصب تنها به شرطی قابل قبول است که طرفین برسر چگونگی مجاز شمردن بی‌دقتی‌هایی که ناچاراً موجب بروز فاصله با الزامات تعیین شده می‌گردد، توافق کنند.

۵.۲.۳ زمان آزمون

زمان تست باید مورد توافق سازنده/ تأمین‌کننده و خریدار باشد.

۵.۲.۴ گروه آزمایش‌کننده

اندازه‌گیری‌های دقیق تنها به کیفیت ابزار اندازه‌گیری بستگی ندارد، بلکه به قابلیت و مهارت افرادی که از این تجهیزات استفاده کرده و آن‌ها را قرائت می‌کنند نیز وابسته است. دقتی که در انتخاب این افراد به کار می‌رود باید در حد همان دقتی باشد که در انتخاب تجهیزات آزمایش به کار می‌رود.

معمولاً متخصصینی که دارای تجربه کافی در عملیات اندازه‌گیری هستند باید اندازه‌گیری با دستگاه‌های پیچیده را عهده‌دار شوند و قرائت وسایل ساده اندازه‌گیری به افرادی واگذار شود که پس از آموزش کوتاه مدت، قادر به انجام این کار با دقت کافی باشند.

برای انجام تست‌ها، باید سرپرستی انتخاب شود که دارای تجربه کافی در عملیات اندازه‌گیری باشد. معمولاً در صورت اجرای تست‌ها در محل کارخانه سازنده، سرپرست گروه از اعضای گروه سازنده پمپ انتخاب می‌شود.

تمامی کسانی که در حین تست عهده‌دار اندازه‌گیری می‌باشند باید تحت نظر سرپرست گروه تست کار کنند. سرپرست گروه تست، اندازه‌گیری‌ها، گزارش شرایط و نتایج تست را نظارت و رهبری کرده و سپس گزارش تست را می‌نویسد. کلیه سؤالات مطرح شده مربوط به اندازه‌گیری‌ها و انجام آن‌ها منوط به تصمیم شخص سرپرست می‌باشد.

کلیه طرفین ذینفع باید تمامی همکاری‌هایی را که سرپرست آزمون‌ها لازم بداند، تأمین نمایند.

۵.۲.۵. وضعیت پمپ

در صورتی که تست‌ها در کارخانه سازنده انجام نگردد، زمانی برای تدارکات مقدماتی باید به وسیله سازنده و نصب‌کننده، در نظر گرفته شود.

۵.۲.۶. برنامه تست

لازم است برنامه و روشی که باید در حین تست اجرا شود، پیش‌تر توسط سرپرست گروه تست تهیه شده و در فرصت کافی جهت ملاحظه و توافق به رؤیت سازنده/ تأمین‌کننده و خریدار برسد.

فقط داده‌های عملکردی ضمانت‌شده (به بند ۴.۱ مراجعه شود) مبنای تست را تشکیل می‌دهند، سایر داده‌های تعیین شده توسط اندازه‌گیری در طول تست‌ها تنها جنبه نمایشی (اطلاعاتی) خواهند داشت و در صورتی که در برنامه تست گنجانیده شوند جنبه اطلاعاتی آن‌ها باید بیان شود.

۵.۲.۷. وسایل تست

هنگام تصمیم‌گیری در قبال نحوه اندازه‌گیری، لازم است نوع وسایل اندازه‌گیری و دستگاه‌های ثبت مورد نیاز، به طور هم‌زمان تعیین شوند.

سرپرست تست‌ها باید مسئولیت کنترل نصب صحیح دستگاه‌ها و عملکرد مناسب آن‌ها را برعهده داشته باشد.

تمام وسایل اندازه‌گیری باید گزارشی را به همراه داشته باشند که این گزارشات نشان‌دهنده کالیبراسیون وسایل اندازه‌گیری یا در مقایسه با سایر استانداردهای معتبر بین‌المللی نظیر ISO یا IEC که در مطابقت با بند ۶.۲ می‌باشند، باشد. این گزارش‌ها باید در صورت نیاز ارایه شوند.

اطلاعات لازم در مورد فواصل زمانی کالیبراسیون تجهیزات در پیوست E آمده است.

۵.۲.۸. موارد ثبت شده

کلیه گزارشات و نمودارهای تست باید توسط سرپرست تست و نمایندگان خریدار و سازنده / تأمین‌کننده امضاء شود و به هر یک از آن‌ها یک رونوشت از همه گزارش‌ها و منحنی‌ها داده شود.

ارزیابی نتایج تست‌ها باید تا حد امکان در زمانی که تست‌ها در حال انجام هستند و در هر مورد تا قبل از پیاده‌کردن وسایل نصب و اندازه‌گیری صورت گیرد تا اندازه‌گیری‌های مشکوک بلافاصله تکرار گردند.

۵.۲.۹. گزارشات تست

پس از بررسی دقیق نتایج تست‌ها، لازم است این نتایج در یک گزارش خلاصه شود و توسط سرپرست تست یا این‌که توسط او و نمایندگان از خریدار و سازنده / تأمین‌کننده امضاء شود.

تمامی طرفین مذکور در قرارداد باید رونوشتی از گزارش مذکور را دریافت نمایند.

گزارش تست می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

(الف) مکان و زمان برگزاری تست‌های پذیرش

(ب) نام سازنده، نوع پمپ، شماره سریال و احتمالاً سال ساخت

(پ) قطر پروانه، زاویه تیغه‌ها یا دیگر شناسه‌های پروانه

(ت) مشخصه‌های ضمانت‌شده، شرایط بهره‌برداری در حین آزمون پذیرش

(ث) مشخصات محرکه پمپ

(ج) طرح ترکیب مدار تست، قطر مقاطع اندازه‌گیری، شرح مراحل آزمون و وسایل اندازه‌گیری به کار رفته به همراه داده‌های

کالیبراسیون

(چ) نتایج قرائت شده

(ح) ارزیابی و تجزیه و تحلیل نتایج آزمون

(خ) نتیجه‌گیری:

- مقایسه نتایج آزمون با کمیت‌های ضمانت شده
- ارایه نتایج در ازای هرگونه توافق خاص صورت گرفته
- توصیه بر این که در چه شرایطی می‌توان پمپ را قبول یا می‌توان مردود شناخت (در صورتی که ضمانت‌ها به طور کامل برآورده نشوند، تصمیم‌گیری‌های نهایی در مورد پذیرش یا رد پمپ به عهده خریدار است)
- اظهارنامه‌های نتیجه‌گرفته شده از اعمال هرگونه توافق خاص که به انجام رسیده است

برگه نتایج تستی به عنوان راهنما در پیوست J آمده است.

۵.۳. چیدمان و ترتیب تست

۵.۳.۱. کلیات

شرایط لازم برای اطمینان از اندازه‌گیری‌های رضایت‌بخش در رابطه با مشخصه‌های عملکرد پمپ، با در نظر گرفتن دقت

لازم برای آزمایش رتبه‌های I و II، در این بند تعیین شده است.

یادآوری ۱: عملکرد پمپ در شرایط تست مفروض، حتی با اندازه‌گیری دقیق، نمی‌تواند بیان‌گر دقت عملکردی مشابه در

دیگر شرایط باشد.

یادآوری ۲: پیشنهادات و راهکارهایی در مورد چیدمان لوله‌ها جهت اطمینان از رضایت‌بخش بودن اندازه‌گیری‌ها در بندهای ۷ و ۸ آمده است، در صورت لزوم، می‌توان آن‌ها را در کنار استانداردهای اندازه‌گیری دبی در مجراهای بسته^۱، به روش‌های متفاوت به کار برد (به بند ۷ مراجعه شود).

۵.۳.۲ ترتیب و چیدمان تست استاندارد

بهترین شرایط اندازه‌گیری زمانی رخ می‌دهد که جریان در مقطع اندازه‌گیری دارای شرایط زیر باشد:

- توزیع سرعت متقارن در جهت محور
- توزیع فشار استاتیکی یکنواخت
- هنگامی که جریان چرخشی ناشی از نصب اتصالات وجود نداشته باشد

برای رتبه‌های I و II ، بررسی برآورده شدن این الزامات لزومی ندارد زیرا در عمل نمی‌توان همه آن‌ها را برآورده کرد. به منظور جلوگیری از توزیع سرعت ناهمگون یا جریان گردابی باید از خمیدگی یا ترکیب خمیدگی‌ها و هرگونه انبساط یا ناپیوستگی در مجاورت مقطع نصب وسایل اندازه‌گیری (حداقل فاصله‌ای مساوی چهار برابر قطر) امتناع نمود. عموماً اثر شرایط جریان ورودی، با افزایش K عدد مشخصه پمپ افزایش می‌یابد. برای حالت $K > 1,2$ توصیه می‌شود شرایط نصب، شبیه‌سازی شود.

توصیه می‌شود برای شرایط اندازه‌گیری استاندارد که هدایت از طریق منبع با سطح آزاد مایع یا یک منبع بزرگ ساکن در یک مدار بسته می‌باشد، طول لوله مستقیم ورودی به پمپ از رابطه زیر محاسبه شود:

$$L/D = K + 5 \quad (۱۹)$$

که در آن D قطر لوله می‌باشد. این موارد خصوصاً برای آزمایش‌های رتبه I معتبر می‌باشند.

رابطه فوق برای چیدمانی که در فاصله L در بالادست جریان دارای یک خمیدگی ساده ۹۰ درجه که به تیغه‌های راهنما مجهز نمی‌باشد نیز قابل اعمال است. تحت این شرایط در لوله حد فاصل پمپ و زانویی، نیازی به مستقیم‌کننده (صاف-کننده) جریان نیست. با همه این‌ها، در مدار بسته‌ای که بلافاصله در بالادست پمپ یک منبع با سطح آزاد یا یک مخزن ساکن وجود ندارد، لازم است اطمینان حاصل نمود که جریان ورودی به پمپ عاری از چرخش ناشی از نصب اتصالات بوده و دارای توزیع سرعت نرمال متقارن می‌باشد.

با انجام مراحل زیر می‌توان از اغتشاش قابل ملاحظه سیال جلوگیری نمود:

- طراحی دقیق مدار آزمون در بالا دست مقطع اندازه‌گیری جریان
 - استفاده قطعی از مستقیم‌کننده (صاف‌کننده) جریان
 - اتخاذ روش مناسب در استفاده از سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار^۱ برای به حداقل رساندن اثرات آن‌ها بر روی تست
- توصیه می‌شود که از شیر تراتل^۲ در لوله مکش استفاده نشود (به بند ۵.۴.۴ مراجعه نمایید). با وجود این، در صورت اجبار، مثلاً در هنگام آزمایش کاویتاسیون، طول لوله مستقیم بین شیر و ورودی پمپ، باید از الزامات بند ۱۱.۲.۲ تبعیت نماید.

۵.۳.۳. چیدمان و ترتیب تست شبیه‌سازی شده

هنگامی که به دلایل مذکور در بالا، تست پمپ‌ها با استفاده از شبیه‌سازی شرایط محل نصب صورت می‌گیرد، این نکته حائز اهمیت است که در ورودی به مدار شبیه‌سازی شده، جریان تا حد امکان عاری از چرخش قابل ملاحظه که ناشی از نصب اتصالات بوده باشد و همچنین دارای توزیع سرعت متقارن باشد. تمامی تمهیدات باید برای اطمینان از حصول این شرایط مهیا گردند.

در صورت لزوم، برای رتبه I ، توزیع جریان ورودی به مدار شبیه‌سازی شده، باید به نصب دقیق لوله پیتوت تعیین شود تا اطمینان حاصل شود که مشخصه جریان مورد نیاز وجود دارد. در غیر این صورت با نصب اجزای مناسب نظیر یک مستقیم‌کننده (صاف‌کننده) جریان که برای تصحیح خطای موجود در جریان مناسب باشد (چرخش یا عدم تقارن)، می‌توان به مشخصه جریان مورد نیاز رسید. مشخصات پراستفاده‌ترین انواع مستقیم‌کننده‌های جریان را می‌توان در استاندارد بین‌المللی ایزو ۷۱۹۴ پیدا نمود. باید اطمینان حاصل نمود که شرایط آزمون، تحت تأثیر افت فشار این اجزاء قرار نخواهد گرفت.

۵.۳.۴. پمپ‌های تست‌شده با اتصالات

اگر در قرارداد مشخص شده باشد، تست‌های استاندارد می‌توانند به صورت ترکیبی از پمپ و قسمت‌های (اتصالات) مشخص شده در یکی از بندهای زیر انجام شوند:

الف) اتصالات به کار رفته در محل نصب نهایی یا

ب) رعایت دقیق شرایط بهره‌برداری در محل نصب یا

پ) اتصالاتی که برای تست معرفی شده و به عنوان قسمت‌هایی از خود پمپ فرض می‌شوند

1 Pressure tapping

2 Throttle valve

جریان در ورودی و خروجی این مجموعه باید از الزامات شرح داده شده در بند ۵.۳.۲ تبعیت نماید. اندازه‌گیری‌ها باید مطابق بند ۸.۲.۲ انجام شوند.

۵.۳.۵ نصب پمپ در شرایط غوطه‌وری

وقتی یک پمپ یا ترکیبی از پمپ و اتصالاتش در شرایطی نصب یا تست شود که اتصالات لوله‌کشی استاندارد، همان‌طور که در بند ۵.۳.۲ شرح داده شده، به‌خاطر عدم دسترسی یا غوطه‌ور بودن انجام‌پذیر نباشد، اندازه‌گیری باید مطابق با بند ۸.۲.۳ انجام شود.

۵.۳.۶ پمپ‌های چاه‌های عمیق و پمپ‌های درون لوله^۱

پمپ‌های چاه‌های عمیق و درون لوله معمولاً نمی‌توانند با تمام طول لوله خروجی‌شان تست شوند و بنابراین افت هد در این قسمت و توان جذب شده توسط محور و غلاف در آن نمی‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. همچنین در خلال تست در مقایسه با وضعیت نهایی نصب، به یاتاقان‌های کف‌گرد (یاتاقان‌های تراست)، نیروی کمتری وارد می‌شود. اندازه‌گیری‌ها باید مطابق بند ۸.۲.۳ انجام شود.

۵.۳.۷ پمپ‌های خودمکش^۲

اصولاً، قابلیت مکش این نوع پمپ‌ها در شرایطی که لوله‌کشی ورودی پمپ معادل با وضعیت نهایی نصب است و هد استاتیکی مکش برابر با مقدار قید شده در قرارداد است، تحت بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی‌که انجام آزمایش بدین نحو مقدور نباشد، چیدمان تستی که باید بکار رود، باید در قرارداد مشخص شود.

۵.۴ شرایط تست

۵.۴.۱ روش تست

باتوجه به درجه دقت لازم، باید زمان کافی برای تست در نظر گرفته شود تا نتایج ثابتی بدست آید. تمامی اندازه‌گیری‌ها باید در شرایط عملکرد پایدار صورت گیرد، یا در شرایط عملکرد ناپایدار با حدود مطرح شده در جدول ۴ انجام شود.

اگر شرایط پایدار قابل دسترسی نباشد، در این زمینه باید بین طرفین ذینفع توافق حاصل شود. به منظور تأیید نقطه ضمانت شده، حداقل ۳ اندازه‌گیری (برای آزمون رتبه II) یا ۵ اندازه‌گیری (برای آزمون رتبه I) باید تا حد امکان نزدیک به نقطه ضمانت شده به‌دست آید، به عنوان مثال بین $0.9 Q_G$ و $1.1 Q_G$.

1 Borehole pumps

2 Self-priming pumps

اگر به دلیل خاصی لازم باشد عملکرد پمپ در محدوده‌ای خارج از محدوده شرایط عملکردی آن تعیین شود، باید به تعداد کافی نقاط اندازه‌گیری جهت تعیین عملکرد در محدوده عدم قطعیت‌های تعیین شده در بند ۶.۲ در نظر گرفته شود. در صورتی که توان محرک در حین تست در محل تست کافی نباشد، و اگر لازم باشد آزمون در سرعت دورانی پایین‌تری صورت گیرد، نتایج تست باید مطابق بند ۶.۱.۲ متناسب با آن سرعت‌های دورانی انتقال پیدا کند.

۵.۴.۲. پایداری عملکرد

۵.۴.۲.۱. ملاحظات کلی

برای انجام تست‌ها به موارد زیر باید توجه نمود:

الف) نوسانات: تغییرات کوچک مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت فیزیکی حول یک مقدار متوسط نوسان در یک بار مشاهده می‌باشد.

ب) تغییرات: تغییرات در مقدار یک قرائت (اندازه‌گیری) و قرائت بعدی می‌باشد.

۵.۴.۲.۲. نوسانات مجاز در قرائت‌ها و استفاده از میراکننده

۵.۴.۲.۲.۱. مشاهده چشمی مستقیم داده‌ها توسط سیستم‌های اندازه‌گیری

جدول ۳ دامنه مجاز نوسانات مربوط به هر کمیت مورد اندازه‌گیری را ارائه می‌دهد. در مواردی که ساختمان یا کارکرد پمپ به نحوی است که نوسانات با دامنه زیاد ظاهر می‌شود، اندازه‌گیری‌ها می‌تواند از طریق وسیله‌ای میراکننده در تجهیزات اندازه‌گیری یا خطوط متصل به آن‌ها انجام گیرد که توانایی کاهش دامنه نوسانات تا محدوده بیان شده در جدول ۳ را داشته باشند.

در مواردی که احتمال می‌رود میرا کردن به نحو قابل توجهی در دقت قرائت‌ها (اندازه‌گیری‌ها) اثرگذار باشد، تست‌ها باید با به کار بردن یک وسیله میراکننده متقارن و خطی مانند لوله مویین که بتواند جمع‌بندی مقادیر در یک سیکل را به انجام رساند، تکرار شود.

۵.۴.۲.۲.۲. ثبت خودکار یا جمع‌بندی داده‌ها توسط سیستم‌های اندازه‌گیری

هنگامی که داده‌های فرستاده شده توسط سیستم اندازه‌گیری به صورت خودکار توسط وسایل اندازه‌گیری ثبت یا جمع‌بندی می‌شود، حداکثر دامنه مجاز نوسانات این داده‌ها تنها در شرایط زیر می‌تواند از مقادیر جدول ۳ بیشتر شود:

الف) سیستم اندازه‌گیری به کار رفته دارای وسیله محاسبه گر خودکاری می‌باشد که با دقت مورد نیاز، عمل جمع‌بندی لازم را برای محاسبه مقدار متوسط در یک بازه زمانی، که بسیار بزرگ‌تر از زمان پاسخ سیستم موردنظر است، به انجام برساند.

ب) عمل جمع‌بندی لازم برای محاسبه مقدار متوسط را می‌توان بعداً از طریق ثبت نمونه یا پیوسته سیگنال آنالوگ $x(t)$ به انجام رساند (شرایط نمونه‌برداری بایستی در گزارش تست مشخص شود).

جدول ۳- دامنه مجاز نوسانات بر حسب درصدی از مقدار متوسط کمیت مورد اندازه‌گیری

دامنه مجاز نوسانات		کمیت اندازه‌گیری شده
رتبه II %	رتبه I %	
± 6	± 3	دبی هد کل پمپ گشتاور توان ورودی
± 2	± 1	سرعت دورانی
هنگامی که از فشارسنج تفاضلی برای اندازه‌گیری مقدار دبی استفاده می‌شود دامنه مجاز نوسان تفاضلی مشاهده شده در فشارسنج می‌تواند برای رتبه I برابر ± 6 درصد و برای رتبه II برابر ± 12 درصد باشد. برای اندازه‌گیری جداگانه فشار کل ورودی و فشار کل خروجی، حداکثر دامنه مجاز نوسانات باید در هد کل پمپ محاسبه شود.		

۵.۴.۲.۳. تعداد مجموعه داده‌های اخذ شده

۵.۴.۲.۳.۱. شرایط پایدار

شرایط تست‌ها زمانی پایدار فرض می‌شود که مقدار متوسط تمامی کمیت‌های مورد نظر (دبی، هد کلی پمپ، توان ورودی، گشتاور و سرعت دورانی) مستقل از زمان باشند. در عمل شرایط تست را زمانی پایدار در نظر می‌گیریم که تغییرات هر کمیت، که به مدت حداقل ۱۰ ثانیه در نقطه کارکرد تست مشاهده می‌شود، از مقادیر بخش بالایی جدول ۴ فراتر نرود. اگر چنین شرایطی برقرار شود و نوسانات از مقادیر مجاز ارایه شده در جدول ۳ کمتر باشند، تنها یک مجموعه از کمیت‌های مشاهده شده را می‌توان برای نقطه تست مورد نظر ثبت کرد.

۵.۴.۲.۳.۲. شرایط ناپایدار

در حالتی که ناپایداری شرایط تست باعث افزایش تردید در مورد دقت تست‌ها می‌شود، روش کار باید به شرح زیر باشد:

در هر نقطه تست، قرائت‌های مجدد کمیت‌های اندازه‌گیری شده باید در فواصل زمانی تصادفی، صورت گیرد، ولی نباید این فواصل از ۱۰ ثانیه کوچک‌تر باشند و تنها کنترل سرعت دورانی و دما مجاز می‌باشد. تمامی تنظیمات مربوط به شیر تراتل، سطح آب، آب‌بند پمپ، خط آب تعادل و غیره باید بدون تغییر بمانند.

اختلاف بین این قرائت‌های تکراری از یک کمیت، نشان‌دهنده میزان ناپایداری شرایط تست می‌باشد که حداقل بخشی از آن ناشی از پمپ در حال آزمایش است و بخشی هم ناشی از نحوه نصب می‌باشد.

حداقل ۳ مجموعه از اندازه‌گیری‌ها باید در نقطه ضمانت شده انجام شود و مقدار هر قرائت مستقل و مقدار متوسط بدست آمده از قرائت‌های هر مجموعه باید ثبت شود، مقدار درصد اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار هر کمیتی نباید از مقداری که در جدول ۴ داده شده بیشتر شود. باید توجه شود که اگر تعداد قرائت‌ها افزایش یابد، اختلاف‌های بیشتری نیز مجاز خواهد بود (به جدول ۴ مراجعه نمایید).

حداکثر اختلافات مجاز بیان شده‌اند تا اطمینان از عدم قطعیت‌های ناشی از پراکندگی، به همراه حدود عدم قطعیت‌های وسایل اندازه‌گیری که در جدول ۷ داده شده، به عدم قطعیت‌های کلی اندازه‌گیری که از مقادیر داده شده در جدول ۸ بیشتر نیست، منجر شوند.

میانگین عددی تمام قرائت‌های مربوط به یک کمیت باید به عنوان مقدار واقعی آن کمیت در نظر گرفته شود. اگر مقادیر داده شده در جدول ۴ را نتوان به‌دست آورد، علت آن باید مشخص شود و شرایط تصحیح گردیده و یک مجموعه جدید و کامل از قرائت‌ها انجام شود، یعنی تمام قرائت‌ها در مجموعه قبلی باید مردود شود. هیچ قرائتی یا دسته‌ای از قرائت‌ها در مجموعه مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) نباید به خاطر این که خارج از حدود مشخص شده است، مردود شود. در مواردی که تغییرات بیش از حد به خاطر خطاهای روش یا وسایل اندازه‌گیری نبوده و رفع آن میسر نباشد، حدود خطا باید توسط تجزیه و تحلیل آماری محاسبه شود.

جدول ۴- حدود تغییرات اندازه‌گیری تکراری کمیت یکسان (براساس ۹۵٪ حدود اطمینان)

اختلاف مجاز بین بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین قرائت‌های هر کمیت نسبت به مقدار متوسط				تعداد مجموعه‌های قرائت‌ها	شرایط
سرعت دورانی		دبی، هدکل پمپ، گشتاور، توان ورودی			
رتبه II %	رتبه I %	رتبه II %	رتبه I %		
۰/۴	۰/۲	۱/۲	۰/۶	۱	پایدار
۰/۶	۰/۳	۱/۸	۰/۸	۳	ناپایدار
۱/۰	۰/۵	۳/۵	۱/۶	۵	
۱/۴	۰/۷	۴/۵	۲/۲	۷	
۱/۶	۰/۸	۵/۸	۲/۸	۹	
۱/۸	۰/۹	۵/۹	۲/۹	۱۳	
۲/۰	۱/۰	۶/۰	۳/۰	>۲۰	

۵.۴.۳. سرعت دورانی در طول تست

غیر از مواردی که توافق می‌شود، تست‌ها را می‌توان در سرعت دورانی بین حدود ۵۰ تا ۱۲۰ درصد مقدار تعیین شده جهت برقراری دبی، هد کلی پمپ و توان ورودی به انجام رساند. با این حال باید در نظر داشت که اختلاف بیش از ۲۰ درصد برای سرعت دورانی مشخص‌شده، بر روی بازده تأثیر می‌گذارد.

برای تست‌های NPSH، سرعت دورانی تست باید بین حدود ۸۰ تا ۱۲۰ درصد سرعت دورانی تعیین شده باشد، با این شرط که نرخ جریان بین ۵۰ تا ۱۲۰ درصد دبی متناظر با بیشترین بازده در سرعت دورانی تست قرار داشته باشد.

یادآوری: برای تست‌های مطابق با بندهای ۱۱.۱.۲.۱ و ۱۱.۱.۲.۲ تغییرات ذکر شده در بالا، همیشه می‌تواند مجاز باشد. برای تست‌های مطابق با بند ۱۱.۱.۲.۳ تغییرات ذکر شده در بالا برای پمپ‌های با عدد مشخصه کمتر یا مساوی ۲ می‌توانند مجاز باشند و برای پمپ‌هایی با عدد مشخصه بزرگ‌تر از ۲ بین طرف‌های ذینفع باید توافق صورت گیرد.

۵.۴.۴. تنظیم هدکل پمپ

در میان روش‌های مختلف، شرایط تست را می‌توان با فرآیند محدود کردن جریان در لوله ورودی یا خروجی یا هر دو سمت پمپ ایجاد نمود. هنگامی که از فرآیند محدود کردن جریان در لوله ورودی استفاده می‌شود، باید ملاحظات لازم در مورد امکان کاویتاسیون یا خارج شدن هوا از آب که می‌تواند بر کارکرد پمپ، وسایل اندازه‌گیری مقدار دبی یا بر هر دو (به بند ۱۱.۲.۲ مراجعه شود) اثر بگذارد، توجه نمود.

۵.۴.۵. تست پمپ با مایعاتی به جز آب تمیز و سرد

۵.۴.۵.۱. کلیات

عملکرد پمپ بسته به مایع پمپ‌شونده به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. اگرچه همیشه نمی‌توان حکم کلی داد که به موجب آن بتوان از عملکرد با آب سرد تمیز برای پیش‌بینی عملکرد با دیگر مایعات استفاده کرد، ولی اغلب طرفین خواهان آن هستند که بر قوانین تجربی که در شرایط خاصی حکم‌فرماست توافق نموده و پمپ را به وسیله آب سرد تمیز آزمایش نمایند.

پیوست‌های G و H می‌توانند راهنمایی‌هایی را در این زمینه ارائه دهند.

۵.۴.۵.۲. خواص آب سرد تمیز

خواص آبی که در این استاندارد از آن به عنوان آب سرد تمیز یاد می‌شود، باید در محدوده نشان داده شده در جدول ۵ باشد.

جدول ۵- خواص آب سرد تمیز

خصوصیات	واحد	حداکثر
دما	درجه سانتی‌گراد	۴۰
گران‌روی سینماتیک	متر مربع بر ثانیه	$1/75 \times 10^{-6}$
چگالی	کیلوگرم بر مترمکعب	۱۰۵۰
محتویات جامد غیر قابل جذب آزاد (محلول)	کیلوگرم بر مترمکعب	۲/۵
محتویات جامد غیرمحلول	گرم بر مترمکعب	۵/۰

محتویات غیرمحلول و گاز آزاد موجود در آب نباید از حجم اشباع متناظر با:

- در مدار باز، فشار و دمای حوضچه فشار بیشتر شوند
- در مدار بسته، آن مقداری که در تانک وجود دارد

۵.۴.۵.۳. خواص مایعاتی که می‌توان به جای آن‌ها در تست، از آب سرد و تمیز استفاده نمود

پمپ‌های مایعاتی به‌جز آب سرد و تمیز را وقتی می‌توان برای تعیین هد، دبی و بازده توسط آب سرد تمیز آزمایش نمود که مایع مورد نظر از خواص موجود در جدول ۶^۱ پیروی نماید.

جدول ۶- خواص مایعات

خواص مایع	واحد	حداقل	حداکثر
گران‌روی سینماتیک	متر مربع بر ثانیه	بدون محدودیت	10×10^{-6}
چگالی	کیلوگرم بر مترمکعب	۴۵۰	۲۰۰۰
محتویات جامد غیرجذبی آزاد	گرم بر متر مکعب	—	۵/۰

حجم کل محتویات غیرمحلول و گاز آزاد مایع نباید از حجم متناظر با:

- در مدار باز، فشار و دمای حوضچه پمپ بیشتر باشد
- در مدار بسته، آن مقداری که ذاتاً در تانک وجود دارد بیشتر باشد.

در مورد پمپ‌هایی که با دیگر مایعات کار می‌کنند، آزمایشات باید با توافق قبلی صورت گیرد.

در صورت عدم وجود توافق قبلی، آزمون‌های کاویتاسیون باید حتماً با آب سرد تمیز انجام شود. باید توجه نمود که اگر به این روش از آب سرد تمیز استفاده نشود در نتایج آزمون آثار نامطلوبی بوجود خواهد آمد.

۱ منحنی‌های متداول NPSHR ارایه شده توسط سازنده پمپ بر پایه آب سرد تمیز تهیه شده‌اند و مقادیر ارایه شده برای NPSHR همیشه برای آب سرد تمیز داده می‌شوند.

۶. تجزیه و تحلیل نتایج تست

۶.۱. تفسیر نتایج تست به شرایط ضمانت

۶.۱.۱. کلیات

کمیت‌هایی که برای اعتبارسنجی مشخصه‌های ضمانت شده توسط سازنده/تأمین‌کننده به کار می‌روند و در بند ۴.۱ آمده‌اند، عموماً تحت شرایطی کم و بیش متفاوت نسبت به آن‌چه ضمانت بر آن اساس می‌باشد اندازه‌گیری می‌شوند. جهت تعیین تطابق شرایط تست با شرایط ضمانت‌شده، لازم است کمیت‌های اندازه‌گیری شده تحت شرایط مختلف را به آن کمیت‌هایی که تحت شرایط ضمانت اندازه‌گیری شده‌اند، تفسیر نمود.

۶.۱.۲. انتقال نتایج تست به داده‌هایی که بر پایهٔ سرعت دورانی (یا فرکانس) و چگالی معین تنظیم شده‌اند

تمامی داده‌هایی که در سرعت دورانی n بدست آمده‌اند که با سرعت مشخص دورانی n_{sp} تفاوت دارند باید برحسب سرعت دورانی مشخص n_{sp} تفسیر شوند.

اگر اختلاف بین سرعت دورانی n با سرعت مشخص دورانی n_{sp} از انحراف مجاز مذکور در بند ۵.۴.۳ فراتر نرود و در صورتی که اختلاف مایع تحت تست با مایع مشخص شده در محدوده شرح داده شده در بند ۵.۴.۵.۳ قرار داشته باشد، داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ دبی Q و هد کلی پمپ H و توان ورودی P و بازدهٔ پمپ η را می‌توان از طریق روابط زیر تبدیل کرد:

$$Q_T = Q \frac{n_{sp}}{n} \quad (20)$$

$$H_T = H \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^2 \quad (21)$$

$$P_T = P \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^3 \times \frac{\rho_{sp}}{\rho} \quad (22)$$

$$\eta_T = \eta \quad (23)$$

و نتایج بدست آمده برای $NPSH_R$ به کمک رابطه زیر تبدیل می‌شود.

$$(NPSHR)_T = (NPSHR) \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^x \quad (24)$$

توان $x=2$ را برای زمانی که شرایط مشخص شده در بند ۵.۴.۳ در مورد سرعت دورانی و دبی کاملاً برآورده شوند و حالت فیزیکی مایع در ورودی پروانه به گونه‌ای باشد که هیچ جدایش گازی به عملکرد پمپ لطمه وارد ننماید، می‌توان به کار برد. اگر پمپ در نزدیکی محدوده کاویتاسیون خود، کار کند یا اختلاف سرعت تست با سرعت مشخص شده از مشخصات مشخص شده در بند ۵.۴.۳ تجاوز نماید، ممکن است اثراتی چون پدیده‌های ترمودینامیکی، تغییرات تنش سطحی یا تفاوت‌هایی در محتویات نامحلول یا هوای جذب شده مایع به وجود آید. مقادیر x بین ۱.۳ تا ۲ مشاهده شده‌اند و توافق‌نامه‌ای بین طرفین برای به کار بردن رابطه تبدیل الزامی است.

اگر مجموعه‌ای به صورت ترکیبی از موتور و پمپ داشته باشیم یا در صورتی که ضمانت‌ها به جای قرارگیری بر پایه سرعت دورانی (به بند ۴.۱ مراجعه شود)، دبی، هد کل پمپ و بازده توافقی، بر فرکانس و ولتاژ توافقی پایه‌ریزی شده باشند، داده‌ها مطابق قواعد ذکر شده در فوق نیاز به انتقال دارند، بدین ترتیب که f_{sp} به جای n_{sp} و f به جای n در فرمول‌ها قرار می‌گیرد. با این حال چنین انتقالی را تنها می‌توان برای مواردی که فرکانس در طی آزمایش به میزان کمتر از یک درصد تغییر کند، به کار برد. اگر ولتاژ به کار رفته به میزان پنج درصد از ولتاژی که خصوصیات ضمانت شده بر پایه آن تنظیم شده، بزرگ‌تر یا کوچک‌تر نباشد، نیازی به تغییر دیگر داده‌های عملیاتی وجود نخواهد داشت.

اگر انحرافات پیش آمده از انحرافات مذکور در فوق (برای فرکانس، ± 1 درصد و برای ولتاژ، ± 5 درصد) بیشتر گردد، نیاز است که خریدار و سازنده / تأمین‌کننده به توافق برسند.

۶.۱.۳. تستی که با $NPSH_A$ متفاوت از مقدار ضمانت شده انجام می‌پذیرد

عملکرد پمپ در $NPSH_A$ بالاتر نمی‌تواند پس از تصحیح برای سرعت‌های دورانی موجود در محدوده تعیین شده در بند ۵.۴.۳ مورد قبول واقع شود تا بتوان عملکرد در یک $NPSH_A$ پایین‌تر را تعیین نمود. در هر صورت، عملکرد پمپ در $NPSH_A$ پایین‌تر را می‌توان پس از تصحیح برای سرعت‌های دورانی موجود در محدوده‌های مجاز مطرح شده در بند ۵.۴.۳ پذیرفت تا از طریق آن بتوان عملکرد در یک $NPSH_A$ بالاتر را تعیین نمود، با این شرط که نبود کاویتاسیون مطابق بندهای ۱۱.۱.۲.۲ یا ۱۱.۱.۲.۳ کنترل شده باشد.

۶.۲. اندازه‌گیری عدم قطعیت‌ها

۶.۲.۱. کلیات

تعیین عدم قطعیت تمام اندازه‌گیری‌ها الزامی است، حتی در شرایطی که روش اندازه‌گیری و وسایل به کار رفته و روش‌های تجزیه و تحلیل بطور کامل با قواعد موجود خصوصاً با الزامات این استاندارد مطابقت داشته باشند.

۶.۲.۲. تعیین عدم قطعیت اتفاقی^۱

در این استاندارد، عدم قطعیت اتفاقی اندازه‌گیری یک متغیر، مقدار دو برابر انحراف استاندارد آن متغیر را خواهد داشت. عدم قطعیت را به همین روش می‌توان برای همه اندازه‌گیری‌ها مطابق استاندارد بین‌المللی ایزو ۵۱۹۸ محاسبه نمود. اگر خطاهای جزئی (که با یکدیگر عدم قطعیت را تشکیل می‌دهند) از یکدیگر مستقل بوده و کوچک و متعدد باشند و توزیع گوسی نیز داشته باشند، ۹۵ درصد احتمال آن وجود دارد که خطای واقعی^۲ (که برابر با تفاضل مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار واقعی آن است) از عدم قطعیت کوچک‌تر باشد.

۶.۲.۳. حداکثر عدم قطعیت سیستماتیک مجاز

عدم قطعیت موجود در یک اندازه‌گیری تا حدی به عدم قطعیت باقی‌مانده^۳ در ابزار اندازه‌گیری یا روش اندازه‌گیری به کار رفته بستگی دارد. پس از رفع کلیه خطاها از طریق کالیبراسیون، اندازه‌گیری دقیق ابعاد، نصب صحیح و غیره، همیشه خطایی وجود دارد که به هیچ وجه با استفاده از همان ابزار و همان روش اندازه‌گیری و با تکرار اندازه‌گیری رفع نمی‌شود. این مؤلفه خطا «عدم قطعیت سیستماتیک» نامیده می‌شود.

بندهای ۷ تا ۱۱، روش‌های متفاوت اندازه‌گیری و وسایل مورد استفاده جهت تعیین دبی، هد کلی پمپ، سرعت دورانی، توان ورودی پمپ و مقدار $NPSH_R$ در محدوده دقت مورد نیاز برای آزمون‌های هم‌راستا با رتبه‌های I و II را توصیف می‌کنند.

وسایل یا روش‌هایی قابل استفاده می‌باشند که از طریق کالیبراسیون یا از طریق ارجاع به استانداردهای دیگر شناخته می‌شوند تا در یک اندازه‌گیری با عدم قطعیت سیستماتیک که از مقادیر مجاز شرح داده شده در جدول ۷ نیز بیشتر نیستند به کار روند. این ابزارها باید توسط طرفین ذینفع مورد توافق قرار گیرد.

جدول ۷- مقادیر مجاز عدم قطعیت‌های سیستماتیک

مقدار مجاز		کمیت
رتبه II (%)	رتبه I (%)	
$\pm 2/5$	$\pm 1/5$	دبی
$\pm 1/4$	$\pm 0/35$	سرعت دورانی
$\pm 2/0$	$\pm 0/9$	گشتاور
$\pm 2/5$	$\pm 1/0$	هد کل پمپ
$\pm 2/0$	$\pm 1/0$	توان ورودی محرک

1 Random uncertainty

2 True error

3 Residual uncertainty

۶.۲.۴. عدم قطعیت کلی اندازه‌گیری

عدم قطعیت اتفاقی ناشی از خواص سیستم اندازه‌گیری یا تغییرات کمیت اندازه‌گیری یا هر دوی آن‌ها، مستقیماً بصورت پراکندگی اندازه‌گیری نمایان می‌شود. برخلاف عدم قطعیت سیستماتیک، عدم قطعیت اتفاقی را می‌توان با افزایش دفعات اندازه‌گیری همان کمیت، تحت شرایط یکسان، کاهش داد.

عدم قطعیت کلی اندازه‌گیری را می‌توان از طریق جذر گرفتن از مجموع مربعات عدم قطعیت‌های اتفاقی و سیستماتیک بدست آورد.

عدم قطعیت کلی، تا حد امکان باید با احتساب شرایط اندازه‌گیری و بهره‌برداری مربوط به تست، پس از تست تعیین شوند. در صورت رعایت پیشنهادات ارایه شده در بند ۶.۲.۳ در ارتباط با عدم قطعیت سیستماتیک و همچنین رعایت تمامی الزامات مرتبط با روش تست، به همان صورتی که در این استاندارد آمده است، می‌توان مطمئن بود که عدم قطعیت کلی (با حدود اطمینان ۹۵ درصد) از مقادیر ارایه شده در جدول ۸ فراتر نمی‌رود.

جدول ۸- مقادیر مجاز عدم قطعیت کلی اندازه‌گیری

رتبه II (%)	رتبه I (%)	نماد	کمیت
$\pm 3/5$	$\pm 2/0$	e_Q	دبی
$\pm 2/0$	$\pm 0/5$	e_n	سرعت دورانی
$\pm 3/0$	$\pm 1/4$	e_T	گشتاور
	$\pm 1/5$	$\begin{cases} e_H \\ e_{pqr} \\ e_p \end{cases}$	هد کلی پمپ
$\pm 5/5$			توان ورودی محرک
			توان ورودی پمپ (که از طریق گشتاور و سرعت دورانی محاسبه می‌شود)
$\pm 4/0$	$\pm 2/0$	e_p	توان ورودی پمپ (که از طریق توان محرک و بازده موتور محاسبه می‌شود)

۶.۲.۵. تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری موجود در بازده

عدم قطعیت کلی در بازده کل و بازده پمپ را باید از فرمول‌های زیر بدست آورد:

$$e_{ngr} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_{Pgr}^2} \quad (25)$$

اگر بازده از طریق گشتاور و سرعت دورانی محاسبه شود:

$$e_\eta = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_T^2 + e_n^2} \quad (26)$$

اگر بازده از طریق توان ورودی پمپ محاسبه شود:

$$e_{\eta} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_P^2} \quad (27)$$

با استفاده از مقادیر ارایه شده در جدول ۸، نتایجی بدست می‌آید که در جدول ۹ ارایه شده‌اند.

جدول ۹- مقادیر حاصله از عدم قطعیت‌های کلی بازده

رتبه II (٪)	رتبه I (٪)	نماد	کمیت
$\pm 6/1$	$\pm 2/9$	$e_{\eta_{gr}}$	بازده کلی (که از طریق Q و H و p_{gr} محاسبه شده است)
$\pm 6/1$	$\pm 2/9$	e_{η}	بازده پمپ (که از طریق Q و H و n محاسبه شده است)
$\pm 6/4$	$\pm 3/2$	e_{η}	بازده پمپ (که از طریق Q و H و p_{gr} و η_{mot} محاسبه شده است).
یادآوری: برای احتساب عدم قطعیت‌های اضافی مربوط به اتلاف به بند ۱۰.۴ مراجعه نمایید.			

عدم قطعیت‌های ارایه شده در جداول ۸ و ۹ بیان‌گر انحرافات احتمالی مقدار کمیت اندازه‌گیری شده، نسبت به مقدار واقعی آن می‌باشد.

۶.۳. مقادیر ضرایب رواداری (تفرانس)

به دلیل عدم دقت در حین تولید و مونتاژ پمپ، انحرافات هندسی نسبت به نقشه‌های ساخت در هر پمپی مشاهده می‌شود. هنگام مقایسه نتایج آزمون با مقادیر ضمانت‌شده (نقاط کارکردی)، لازم است رواداری‌هایی نظیر انحرافات احتمالی در مشخصه‌های عملیاتی پمپ آزمایش شده و مشخصه‌های عملیاتی پمپ فاقد هرگونه عدم دقت در ساخت مجاز شمرده شوند.

باید خاطر نشان کرد که این رواداری‌ها در رفتار عملیاتی پمپ، متناسب با پمپ حقیقی است. این رواداری‌ها با شرایط آزمایش و عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری متناسب نمی‌باشد.

توصیه می‌شود جهت ساده‌سازی اعتبارسنجی مقادیر ضمانت شده، ضرایب رواداری از پیش معرفی شوند.

این ضرایب رواداری $\pm t_Q$ ، $\pm t_H$ و t_{η} موثر بر دبی، هدکلی پمپ و بازده پمپ، به همین ترتیب باید بر روی نقطه ضمانت H_G, Q_G نیز اعمال گردند.

در صورت نبود توافق خاصی در مورد مقادیر مورد استفاده، باید مقادیر ارایه شده در جدول ۱۰ به کار گرفته شوند.

جدول ۱۰ - مقادیر ضریب رواداری

رتبه II (/)	رتبه I (/)	نماد	کمیت
± 8	$\pm 4/5$	t_Q	دبی
± 5	± 3	t_H	هد کلی پمپ
-5	-3	t_η	بازده پمپ

دیگر محدوده‌های رواداری (نظیر آن‌هایی که توسط ضرایب مثبت رواداری ارایه می‌شوند) باید در قرارداد مورد توافق قرار گیرند.

عملکرد پمپ‌هایی که به صورت سری با الگو گرفتن از منحنی‌های عملکرد موجود در کاتالوگ‌های چاپ شده تولید می‌گردند و پمپ‌هایی که توان ورودی آن‌ها کمتر از ۱۰ کیلووات است ممکن است تغییر پیدا کند. ضرایب رواداری قابل استفاده برای این‌گونه پمپ‌ها در پیوست A آمده است.

۶.۴ اعتبارسنجی ضمانت‌ها

۶.۴.۱ کلیات

اعتبارسنجی هر ضمانتی باید از طریق مقایسه نتایج حاصل از آزمون‌ها با مقادیر ضمانت شده در قرارداد (به همراه رواداری‌های مربوط به آن‌ها) صورت پذیرد.

۶.۴.۲ اعتبارسنجی دبی، هد و بازده ضمانت شده

نتایج اندازه‌گیری‌ها باید مطابق بند ۶.۱.۲ برحسب سرعت مشخص شده دورانی (یا فرکانس) تفسیر شود. سپس باید این مقادیر برحسب دبی (Q) در یک نمودار ترسیم شود. منحنی‌هایی که بهترین تطابق را با نقاط اندازه‌گیری شده داشته باشند، عملکرد پمپ را نشان خواهند داد.

یک محدوده رواداری به شکل صلیب با خط افقی $\pm t_Q.Q_G$ و خط عمودی $\pm t_H.H_G$ حول نقطه ضمانت H_G, Q_G رسم می‌شود.

ضمانت هد و دبی وقتی برآورده می‌شود که منحنی $H(Q)$ ، خط افقی و یا خط عمودی را قطع کرده یا بر آن‌ها مماس شود (به شکل ۲ مراجعه نمایید)

در منحنی $Q(H)$ باید رسم خط مستقیم گذرنده از نقطه کاری $(H_G, Q_G)^1$ و نقطه صفر محورهای GH نقطه تقاطعی بدست آورد که با گذراندن خط عمودی از آن نقطه و تقاطع آن خط با منحنی $\eta(Q)$ بازده استخراج شود.

1 Duty point

اگر اختلاف بین مقادیر مشخص شده و مقادیر اندازه‌گیری شده کوچک باشد، می‌توان با استفاده از تناسب و تخمین زدن مقادیر جدید، از انجام آزمایشات مجدد بی‌نیاز گشت.

به‌کارگیری این روش و شرایط عملی کاهش قطر پروانه باید مورد توافق طرفین قرار گرفته باشد.

پیوست B این استاندارد، اندازه‌گیری‌ها را برای شرایطی که کاهش قطر متوسط خروجی پروانه برای پمپ‌های با عدد مشخصه $1/5 \leq K$ از پنج درصد تجاوز نمی‌کند، ارایه می‌دهد.

۶.۵.۲ تغییرات سرعت

اگر پمپی که دارای محرکه‌ای با سرعت متغیر است، شرایط ضمانت را برآورده نکند یا از آن شرایط فراتر رود، نقاط تست را می‌توان برای سرعت دورانی دیگری محاسبه کرد، به شرط آن‌که سرعت از بیشترین سرعت پیوسته دورانی مجاز فراتر نرود. در صورت نبود توافق خاص، حداکثر سرعت دورانی مجاز را می‌توان معادل $1.02 n_{sp}$ برگزید. در چنین صورتی به تست مجدد نیاز نمی‌باشد.

۷. اندازه‌گیری دبی

۷.۱. اندازه‌گیری با روش توزین

استاندارد بین‌المللی ایزو ۴۱۸۵ تمامی اطلاعات لازم را برای اندازه‌گیری دبی مایعات به روش توزین، ارایه می‌دهد. روش توزین که در آن تنها مقدار میانگین دبی طی زمانی که طول می‌کشد تا مخزن پر شود، ارایه می‌نماید، می‌توان به عنوان دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری دبی به حساب آورد. دقت این روش به دلیل خطاهای مرتبط با توزین، اندازه‌گیری زمان پر شدن، تعیین چگالی با در نظر داشتن دمای سیال و همچنین خطاهای ناشی از بازگشت جریان (روش استاتیکی) یا پدیده دینامیکی در طی توزین (روش دینامیکی) کاسته می‌شود.

۷.۲. روش حجمی

استاندارد بین‌المللی ایزو ۸۳۱۶ تمامی اطلاعات لازم جهت اندازه‌گیری دبی به روش حجمی را ارایه می‌دهد. روش حجمی به دقت روش توزین وزنی نزدیک می‌باشد و مشابهاً، تنها مقدار میانگین دبی در طی زمان لازم برای پر شدن ظرفیت اندازه‌گیری را ارایه می‌دهد. با اندازه‌گیری سطح آب پس از ریختن متوالی چندین حجم، آب اندازه‌گیری شده از طریق جرمی یا با پیپت مدرج به داخل مخزن ذخیره، می‌توان عمل کالیبره نمودن مخزن را انجام داد.

روش حجمی دارای خطاهایی چون خطای کالیبره نمودن تانک، خطای اندازه‌گیری سطح سیال، خطای اندازه‌گیری زمان پرشدن و همچنین خطاهایی در ارتباط با بازگشت جریان می‌باشد. علاوه بر این، لازم است عدم نشتی آب از مخزن تحت کنترل قرار گیرد و در صورت وجود، نشتی آن رفع گردد.

روش‌های حجمی متفاوتی وجود دارند که می‌توان در محل نصب، برای دبی‌های بزرگ‌تر به کار برد، یکی از آن‌ها مخزن طبیعی و مدرجی است که حجم آن به روش‌های هندسی یا نقشه‌برداری تعیین شده باشد. راهنمای استفاده از این روش در نسخه بازنگری شده استاندارد بین‌المللی IEC 60041 ارایه شده است. باید خاطر نشان کرد که دقت این روش به منظور اندازه‌گیری سطوح سیال متلاطم یا غیر یک‌پارچه، به دلیل مشکلات اندازه‌گیری بسیار پایین می‌باشد.

۷.۳. تجهیزات اختلاف فشاری (فشار تفاضلی)

در مورد ساختار، نصب و به کارگیری صفحات اریفیس، نازل‌ها و لوله‌های ونتوری در استاندارد بین‌المللی ایزو ۵۱۶۷-۱ بحث و در استاندارد بین‌المللی ایزو ۲۱۸۶ مشخصه‌های لوله‌های متصل به مانومتر داده شده است.

باید به کوتاه‌ترین لوله مستقیمی که می‌توان به بالادست وسایل اندازه‌گیری فشار تفاضلی متصل نمود توجه ویژه‌ای شود، چنین مواردی برای حالت‌های مختلف لوله‌کشی در استاندارد بین‌المللی ایزو ۵۱۶۷-۱ ارایه شده است. اگر لازم باشد وسیله اختلاف فشاری در پایین دست جریان پمپ قرار گیرد (که در جداول به آن اشاره‌ای نشده باشد)، برای مقاصد این استاندارد می‌توان چنین تصور کرد که اغتشاش ناشی از حلزونی یا آخرین طبقه پمپ چند طبقه یا دهانه خروجی این پمپ معادل یک خمیدگی ۹۰ درجه است که در دبی، اغتشاش بوجود می‌آورد.

باید خاطر نشان کرد که قطر لوله و عدد رینولدز برای هر نوع وسیله اندازه‌گیری فشار تفاضلی باید در محدوده تعیین شده در استاندارد بین‌المللی ایزو ۵۱۶۷-۱ قرار گیرد.

باید اطمینان حاصل نمود که دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان دچار کاویتاسیون یا خروج گاز از مایع که ممکن است برای مثال در یک شیر کنترل اتفاق بیفتد، نشوند. وجود هوا را می‌توان با تعبیه سوراخ‌های تخلیه هوا روی دستگاه اندازه‌گیری مشاهده نمود.

باید بتوان فشارسنج تفاضلی را از طریق مقایسه با یک مانومتر ستون مایع^۱ یا یک مانومتر وزنی^۲ یا دیگر استانداردهای کالیبراسیون فشار، کنترل نمود.

1 Liquid column manometer

2 Dead-weight manometer

اگر تمامی الزامات استانداردهای مرتبط رعایت شود، می‌توان ضرایب تخلیه^۱ ارایه شده در استانداردها را بدون کالیبراسیون مورد استفاده قرار داد.

۷.۴. سرریزهای صفحه نازک^۲

مشخصات ساخت، نصب و بهره‌برداری سرریزهای صفحه نازک مثلثی یا مستطیلی در استاندارد بین‌المللی ایزو ۱-۱۴۳۸ ارایه شده است. استاندارد بین‌المللی ایزو ۴۳۷۳ وسیله اندازه‌گیری سطح مایع را تعیین می‌کند. باید توجه ویژه‌ای به حساسیت زیاد این دستگاه‌ها به شرایط جریان بالادست و همچنین ابعاد فیزیکی کانال داشت. برای استفاده از این استاندارد، کوچک‌ترین تقسیم‌بندی درجه اندازه‌گیری برای ابزارهای بکار رفته، جهت اندازه‌گیری ارتفاع در محل سرریز، نباید از تقسیم‌بندی متناظر با ۱/۵ درصد دبی مورد اندازه‌گیری بیشتر باشد.

۷.۵. روش‌های سرعت در مقطع جریان

این روش‌ها موضوع بحث استانداردهای بین‌المللی ایزو ۳۳۵۴ و ۳۹۶۶ است که در مورد اندازه‌گیری خروجی در مجراهای بسته به وسیله جریان‌سنج‌ها و لوله‌های پیتوت استاتیک بحث می‌نمایند. این استانداردها تمامی مشخصات مربوط به شرایط استفاده، انتخاب و کارکرد دستگاه‌ها، اندازه‌گیری سرعت‌های موضعی و محاسبه دبی به وسیله انتگرال‌گیری توزیع سرعت را ارایه می‌دهد. پیچیدگی این روش‌ها، استفاده از آن‌ها را در تست پمپ‌های رتبه II توجیه نمی‌کند، بلکه در بعضی مواقع این روش‌ها تنها روش‌هایی هستند که می‌توان هنگام تست پمپ‌های رتبه I با دبی‌های بالا مورد استفاده قرار داد. بهتر است، به‌جز در لوله‌های خیلی بلند، مقطع اندازه‌گیری در بالا دست پمپ قرار گیرد تا از اغتشاش فراوان یا چرخش بسیار جریان جلوگیری شود.

۷.۶. روش‌های ردیابی

این روش‌ها که برای اندازه‌گیری دبی در لوله‌ها بکار می‌روند موضوع بحث استاندارد بین‌المللی ایزو ۲۹۷۵ می‌باشد که بخش‌های مختلف آن موضوعاتی چون روش‌های رقیق‌سازی (تزریق ثابت) و روش زمان‌گذر را مورد بحث قرار می‌دهند. در این روش‌ها از ردیاب‌های رادیواکتیو یا شیمیایی استفاده می‌شود. همانند روش اندازه‌گیری سرعت جریان در مقطع، روش‌های ردیابی تنها برای تست‌های رتبه I قابل استفاده می‌باشند. این روش‌ها تنها باید به وسیله کارکنان متخصص بکار گرفته شوند و باید توجه شود که استفاده از ردیاب‌های رادیواکتیو تنها در مواقع اضطرار معینی، امکان‌پذیر می‌باشد.

1 Discharge coefficients

2 Thin- plate weirs

۷.۷. روش‌های دیگر

برخی دستگاه‌ها چون توربین‌ها، دبی‌سنج‌های الکترومغناطیسی^۱ (به استاندارد بین‌المللی ایزو ۹۱۰۴ مراجعه نمایید) یا حتی فراصوتی^۲، دبی‌سنج‌های گردابه‌ای^۳ یا سطح مقطع متغیر^۴ را می‌توان به این شرط که قبلاً به وسیله روش‌های اولیه مطرح شده در بندهای ۷.۱ یا ۷.۲ کالیبره شده باشند به کار برد. در صورت نصب دائمی آن‌ها بر روی تجهیزات تست، باید امکان ارزیابی دوره‌ای کالیبراسیون آن‌ها مورد توجه قرار گیرد.

عمل کالیبراسیون باید روی کل دبی‌سنج و سیستم اندازه‌گیری مرتبط با آن، انجام شود. کالیبره نمودن معمولاً باید تحت شرایط کارکرد واقعی (فشار، دما، کیفیت آب و غیره) حکم‌فرما در طول تست انجام شود. باید از این که دبی‌سنج در خلال تست تحت تاثیر کاویتاسیون قرار نگیرد اطمینان حاصل شود.

دبی‌سنج‌های الکترومغناطیسی و توربینی نیاز به لوله‌های مستقیم بالادستی بسیار بلندی ندارند (لوله‌ای به طول پنج برابر قطر لوله در بیشتر مواقع کفایت می‌کند) و دقت بالایی را خواهند داشت، دبی‌سنج‌های فراصوتی بسیار به توزیع سرعت حساس هستند و باید تحت شرایط واقعی عملکردی کالیبره شوند. دبی‌سنج‌های سطح مقطع متغیر را تنها باید برای تست پمپ‌های رتبه II بکار برد.

۸. اندازه‌گیری هد کل پمپ

۸.۱. کلیات

۸.۱.۱. اصول اندازه‌گیری

هد کلی پمپ مطابق تعریف آن در بند ۳.۱۹ محاسبه و به صورت ارتفاع ستون مایع پمپ شده که بیان‌گر انرژی منتقل‌شده بر واحد وزن سیال توسط پمپ می‌باشد، بیان می‌شود.

می‌توان واژه ارتفاع را با انرژی مخصوص ($y=gH$ ، به بند ۳.۲۰ مراجعه نمایید) جایگزین ساخت که بیان‌گر انرژی منتقله بر واحد جرم مایع توسط پمپ می‌باشد. با این که چنین تعریفی متداول نیست ولی استفاده از آن توصیه می‌شود.

کمیت‌های متعددی که در تعریف ارتفاع کلی پمپ در بند ۳.۱۹ به آن‌ها اشاره شده باید به عنوان یک اصل در مقطع ورودی پمپ S_1 و مقطع خروجی پمپ S_2 (یا در سیستم پمپ و اتصالاتی که مورد تست قرار می‌گیرند) تعیین شوند. در عمل، برای راحتی کار و دقت در اندازه‌گیری، اندازه‌گیری‌ها عموماً در مقاطع S_1 و S_2 که در آن S_1 کمی از S_2

1 Electromagnetic flowmeters

2 Ultrasonic flowmeters

3 Vortex flowmeters

4 Variable-area flowmeters

بالادست تر و $S_{2'}$ کمی از S_2 پایین دست تر است صورت می گیرد (شکل ۳). بدین ترتیب باید به اتلاف اصطکاکی در لوله H_{J1} بین $S_{1'}$ و S_1 و H_{J2} بین S_2 و $S_{2'}$ (و امکان اتلاف هد موضعی) نیز باید توجه ویژه ای نمود و هد کل را از رابطه زیر بدست آورد:

$$H = H_{2'} - H_{1'} + H_{J1} + H_{J2} \quad (28)$$

که در آن $H_{1'}$ و $H_{2'}$ هد کل در مقاطع $S_{1'}$ و $S_{2'}$ هستند.

بند ۸.۲ مقطع اندازه گیری در انواع مختلف تأسیسات و روش های تخمین زدن اتلاف هد را توصیف می کند.

۸.۱.۲ روش های مختلف اندازه گیری

بسته به شرایط نصب پمپ و نحوه قرارگیری آن در مدار، می توان هد کل پمپ را به وسیله اندازه گیری هدهای کلی ورودی و خروجی تعیین نمود یا این که آن را از طریق اندازه گیری اختلاف فشار ورودی و خروجی و در صورت وجود، با اضافه نمودن اختلاف هد دینامیکی به آن، محاسبه نمود (به شکل ۱۰ مراجعه نمایید). همچنین، هدهای کل را می توان از اندازه گیری های فشار در مجراها یا اندازه گیری سطح آب در حوضچه ها^۱ استنتاج نمود. برای چنین مواقعی، بندهای ۸.۲ تا ۸.۴ در مورد نحوه انتخاب مقطع اندازه گیری، وسایل اندازه گیری مختلفی که می توان مورد استفاده قرار داد و نحوه تعیین ارتفاع دینامیکی بحث می نمایند.

۸.۱.۳ عدم قطعیت اندازه گیری

عدم قطعیت در اندازه گیری هد کلی پمپ باید از طریق ترکیب عدم قطعیت های تخمین زده شده هر یک از مؤلفه های موجود در آن انجام شود. بنابراین نحوه انجام این محاسبات بستگی به روش های اندازه گیری به کار رفته دارد و تنها می توان اطلاعات کلی در مورد خطاهای مختلف موجود را به شرح زیر ارائه داد:

الف) خطاهای مربوط به هد عموماً در مقایسه با دیگر منابع خطا قابل چشم پوشی هستند.

ب) خطاهای موجود در هد دینامیکی از یک طرف مربوط به خطاهای ناشی از اندازه گیری دبی و اندازه گیری سرعت در

مقطع و از طرف دیگر از این حقیقت ناشی می شود که $\frac{U^2}{2g}$ به عنوان تخمینی از هد دینامیکی متوسط تنها یک تقریب

است که دقت آن وقتی توزیع سرعت از یکنواختی بیشتری برخوردار می گردد، افزایش پیدا می کند. در مورد پمپ هایی که هد کلی آن ها پایین است، این خطاها به نسبت اهمیت ویژه ای پیدا می کنند.

پ) خطاهای موجود در اندازه‌گیری هد یا فشار در هر مورد خاص، باید نه تنها بسته به نوع دستگاه مورد استفاده بلکه بسته به شرایط استفاده (کیفیت سوراخ‌های فشار، ضد نشت بودن لوله‌های اتصال و غیره) و مشخصه‌های سیال (ناپایدار بودن، نوسانات، توزیع فشار و غیره) تخمین زده شود.

۸.۲. تعریف مقاطع اندازه‌گیری

۸.۲.۱. پمپی آزمایش‌شده تحت شرایط استاندارد

۸.۲.۱.۱. مقطع اندازه‌گیری ورودی

هنگامی که پمپی تحت شرایط استاندارد شرح داده شده در بند ۵.۳.۲ مورد تست قرار می‌گیرد، در صورتی که طول لوله ورودی اجازه بدهد، مقطع اندازه‌گیری ورودی باید به فاصله دو برابر قطر بالادست فلنج ورودی پمپ قرار گیرد. در صورت مهیا نبودن چنین طولی (در صورت وجود یک دهانه قیفی کوتاه^۱) و در صورت نبود هیچ‌گونه توافقی از پیش، طول لوله مستقیم موجود باید چنان تقسیم شود که بتوان بهترین استفاده را از شرایط موجود بخش‌های بالادست و پایین‌دست مقطع اندازه‌گیری، نمود (برای مثال نسبت ۲ برای بالا دست به ۱ برای پایین دست)

مقطع اندازه‌گیری ورودی باید در یک مقطع مستقیم‌الخط از لوله با قطر یکسان با فلنج ورودی پمپ و هم محور با آن باشد و به‌گونه‌ای قرار گرفته باشد که شرایط جریان تا اندازه ممکن به شرایط پیشنهاد شده در بند ۵.۳.۲ نزدیک باشد. اگر یک زانویی در فاصله کمی از بالادست مقطع اندازه‌گیری قرار داشته باشد و اگر تنها یک یا دو سوراخ اندازه‌گیری فشار مورد استفاده قرار گیرد (تست‌های رتبه II)، این سوراخ‌ها باید عمود بر صفحه زانویی باشند (به شکل‌های ۳ و ۴ مراجعه نمایید). برای تست‌های رتبه II، در صورتی که نسبت هد دینامیکی به هد کل پمپ خیلی پایین باشد (کمتر از ۰/۵ درصد) و در صورتی که دانستن هد کل ورودی مهم نباشد (این مورد درباره تست *NPSH* صدق نمی‌کند) کافی است که سوراخ فشار (به بند ۸.۴.۱ مراجعه شود) در ورودی فلنج (نه در فاصله دو برابر بالادست جریان) قرار گیرد.

هد کلی ورودی پمپ، از هد نسبی اندازه‌گیری شده نسبت به هد نقطه اندازه‌گیری بالای سطح مبنا و نیز از هد سرعتی با فرض این که یک توزیع سرعت یکنواخت در مقطع خروجی پمپ حاکم است، به دست می‌آید.

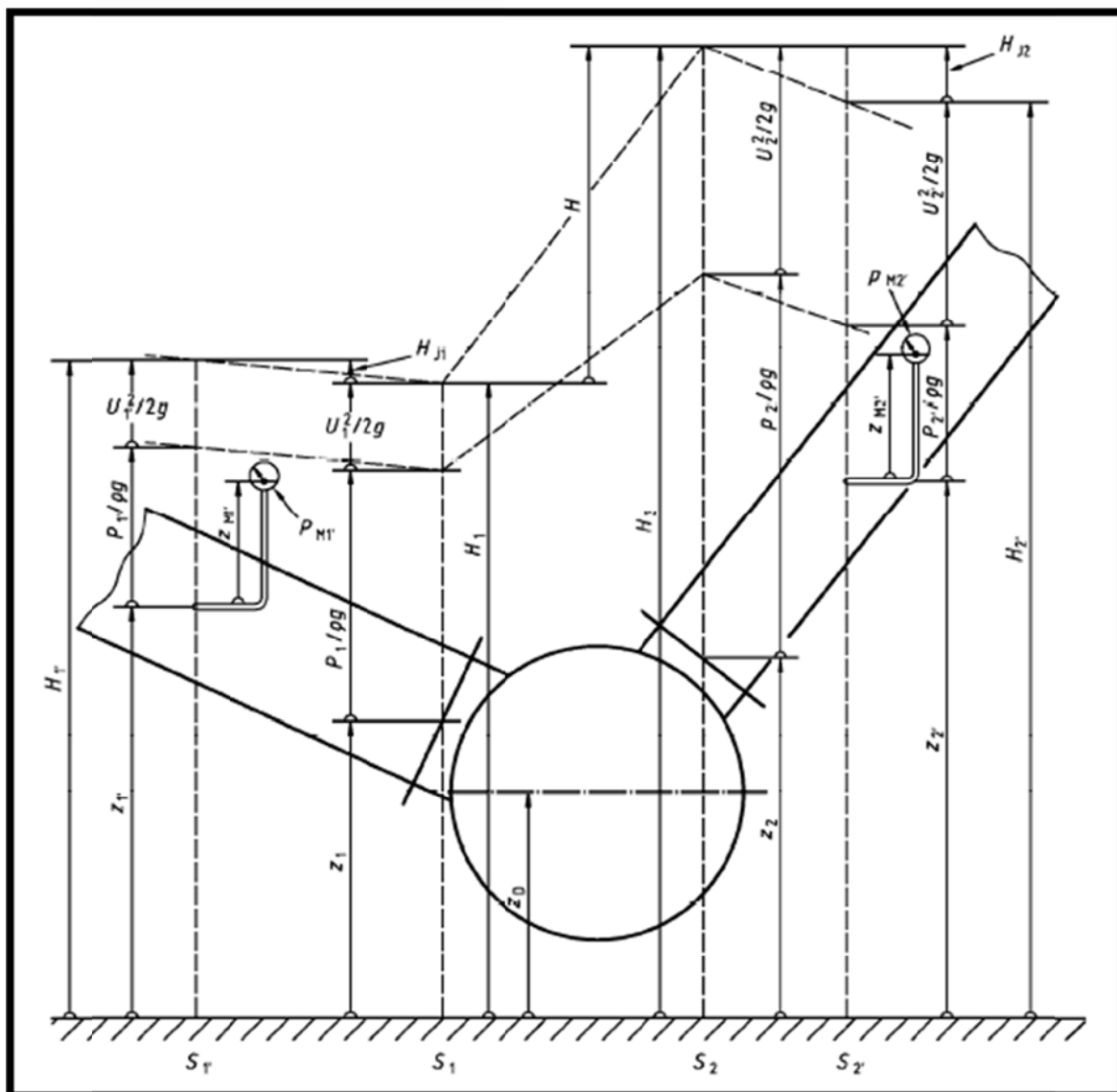
خطاهای اندازه‌گیری هد ورودی پمپ می‌تواند در جریان جزیی ناشی از چرخش زودرس اتفاق بیفتد. این خطاها قابل ردیابی و رفع هستند.

الف) اگر پمپ، مکش را از یک مخزن با سطح آزاد انجام دهد و سطح آب و فشار حاکم در مخزن ثابت باشند، اتلاف هد بین مخزن و مقطع اندازه‌گیری ورودی، در صورت نبود چرخش زودرس، متناسب با مربع دبی خواهد بود. مقدار هد کل

1 Short bellmouth

ورودی نیز باید از این قانون پیروی نماید. در دبی‌های پایین، هنگامی که اثر چرخش زودرس باعث فاصله گرفتن از این قانون می‌گردد، مقدار هد کل ورودی اندازه‌گیری شده باید برای احتساب این اختلاف تصحیح شود. (به شکل ۵ مراجعه نمایید).

ب) اگر پمپ عمل مکش را از یک مخزن با سطح و فشار ثابت انجام ندهد، باید مقطع اندازه‌گیری دیگری به اندازه کافی بالادست انتخاب شود که در آن چرخش زودرس دیده نشود و در این صورت می‌توان اتلاف هد بین مقاطع را (نه به طور مستقیم حدود هد کل ورودی) به طریقی مشابه با آن چه در بالا آمده، حدس زد (به شکل‌های ۳ و ۴ مراجعه نمایید).



$$H = H_2 - H_1$$

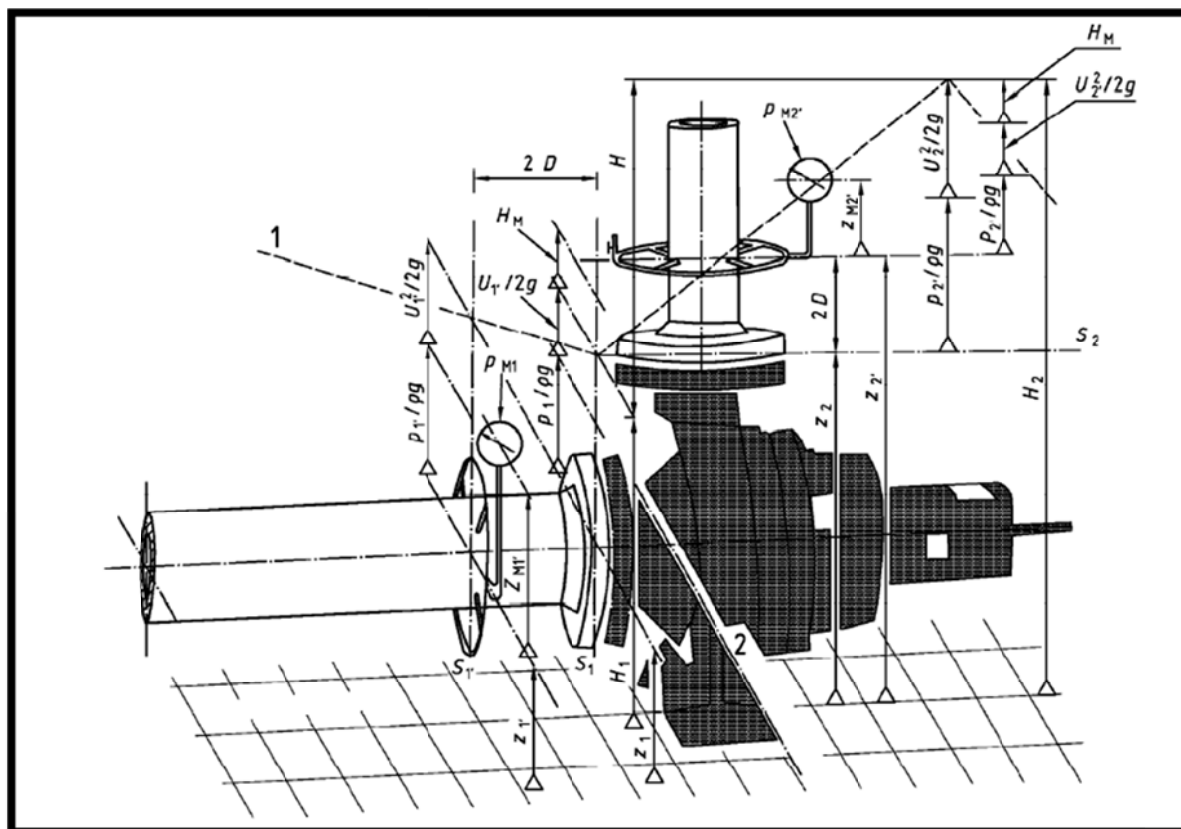
$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

$$H = z_{2'} - z_{1'} + z_{M2'} - z_{M1'} + \frac{p_{M2'} - p_{M1'}}{\rho \cdot g} + \frac{U_{2'}^2 - U_{1'}^2}{2g} + H_{J2} + H_{J1}$$

یادآوری ۱: موقعیت مایل پمپ به این دلیل است که نشان دهد، z_1 و $z_{1'}$ یا z_2 و $z_{2'}$ می‌توانند متفاوت باشند، که بیان-گر اختلافی در فشار متناظر آنها است.

یادآوری ۲: شکل‌ها تنها اصول کلی را نشان داده و تمامی جزئیات فنی را دربردارند.

شکل ۳- تعیین هد کلی پمپ

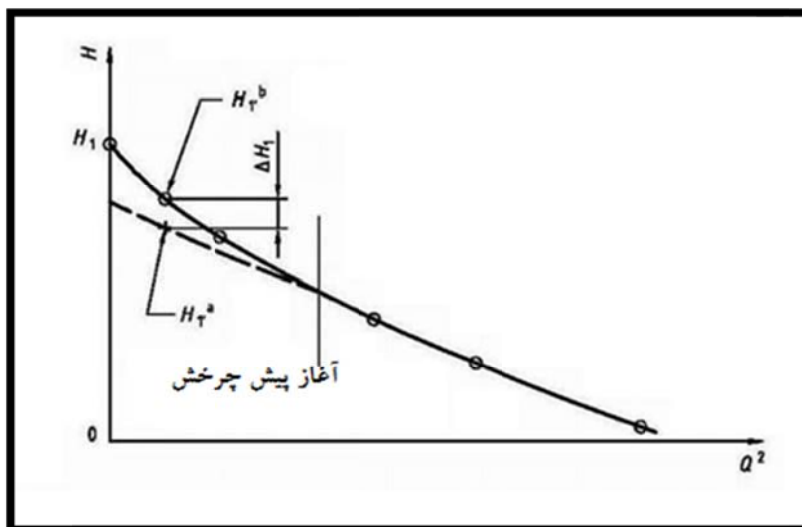


راهنمای شکل:

۱: خط هدکل (انرژی کل)

یادآوری: در این مورد برای یک محور افقی، $Z_1 = Z_D = Z_{1'}$

شکل ۴- نمایش ایزومتری تعیین هد کلی پمپ



راهنمای شکل:

a : مقدار واقعی

b : تحت تأثیر پیش چرخش

شکل ۵- تصحیح هد کل ورودی

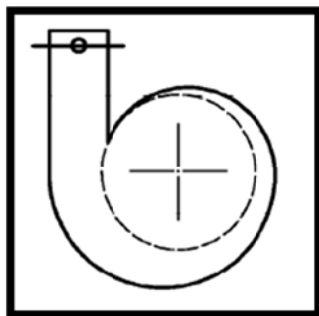
۸.۲.۱.۲. مقطع اندازه‌گیری خروجی

مقطع اندازه‌گیری خروجی معمولاً باید در فاصله‌ای معادل دو برابر قطر از فلنج خروجی پمپ قرار داشته باشد. در پمپ‌های دارای هد سرعتی خروجی کمتر از پنج درصد هد کل پمپ، می‌توان مقطع اندازه‌گیری خروجی را برای آزمون رتبه II در محل فلنج خروجی قرار داد.

مقطع اندازه‌گیری خروجی باید در مقطعی مستقیم از لوله، هم محور با فلنج خروجی پمپ و با همان قطر قرار داشته باشد. هنگام استفاده از یک یا دو سوراخ فشار (آزمون رتبه II)، محل سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار باید عمود بر صفحه حلزونی یا خمیدگی موجود در بدنه پمپ باشند (شکل ۶).

هد کلی خروجی پمپ، از هد نسبی اندازه‌گیری شده نسبت به هد نقطه اندازه‌گیری بالای سطح مبنا و نیز از هد سرعتی با فرض این که یک توزیع سرعت یکنواخت در مقطع خروجی پمپ حاکم است، به دست می‌آید.

تعیین هد کلی ممکن است به دلیل چرخش جریان که به وسیله پمپ یا سرعت غیرعادی یا توزیع فشار بوجود می‌آید، لطمه ببیند. در این شرایط، سوراخ فشار را می‌توان در فاصله دورتر در پایین دست جریان قرار داد. اتلاف هد بین فلنج خروجی و مقطع اندازه‌گیری باید مدنظر قرار گیرد (به بند ۸.۲.۴ مراجعه نمایید).



شکل ۶- سوراخ فشار عمود بر صفحه حلزونی یا صفحه خمیدگی

۸.۲.۲. پمپ آزمایش شده با اتصالات

اگر تست روی پمپ به همراه تمامی یا بخشی از اتصالات بالادستی و پایین دستی آن انجام شود، با احتساب این بخش‌ها به عنوان قسمت‌های یک پارچه با پمپ، مقررات بند ۸.۲.۱ به جای فلنج‌های ورودی و خروجی پمپ برای فلنج‌های ورودی و خروجی اتصالات بکار می‌روند. این روش کلیه اتلاف هد را که به وسیله اتصالات بوجود می‌آیند به حساب پمپ می‌گذارد. با این وجود اگر ضمانت تنها بر عملکرد پمپ تعهد نماید، اتلاف اصطکاکی هد و احتمالاً اتلاف محلی اصطکاک بین مقطع اندازه‌گیری هد کل ورودی و فلنج ورودی، H_{J1} و بین فلنج خروجی و مقطع اندازه‌گیری هد کل خروجی، H_{J2} ، باید مطابق روش تشریح شده در بند ۸.۲.۴ تعیین شود و در محاسبه هد کلی پمپ به حساب آورده شود.

۸.۲.۳. پمپ‌های غوطه‌ور^۱ و پمپ‌های چاه عمیق^۲

پمپ‌هایی از این دست را نمی‌توان مطابق بند ۵.۳.۲ در مدارهای استاندارد تست نمود. شرایط نصب آن‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است.

هد کل ورودی با ارتفاع سطح آزاد مایعی که پمپ، مکش را از آن انجام می‌دهد نسبت به سطح مبنا، به علاوه هد معادل فشار نسبی وارده بر این سطح معادل است.

بسته به شرایط، می‌توان هد کلی خروجی را به وسیله اندازه‌گیری فشار در لوله خروجی تعیین نمود (به بند ۸.۲.۱.۲ مراجعه شود) یا اگر پمپ عمل تخلیه را به داخل یک حوضچه دارای سطح آزاد انجام دهد، به وسیله اندازه‌گیری سطح سیال در این حوضچه محاسبه کرد. در این شرایط و با این شرط که مایع واقعاً در نزدیکی نقطه اندازه‌گیری، حالت سکون داشته باشد، هد خروجی برابر است با ارتفاع سطح آزاد مایعی که پمپ عمل تخلیه را به درون آن انجام می‌دهد، نسبت به سطح مبنا به علاوه هد معادل فشار نسبی وارد بر این سطح.

این روش تمامی اتلاف هد را که در بین مقاطع به وجود می‌آید به حساب پمپ می‌گذارد.

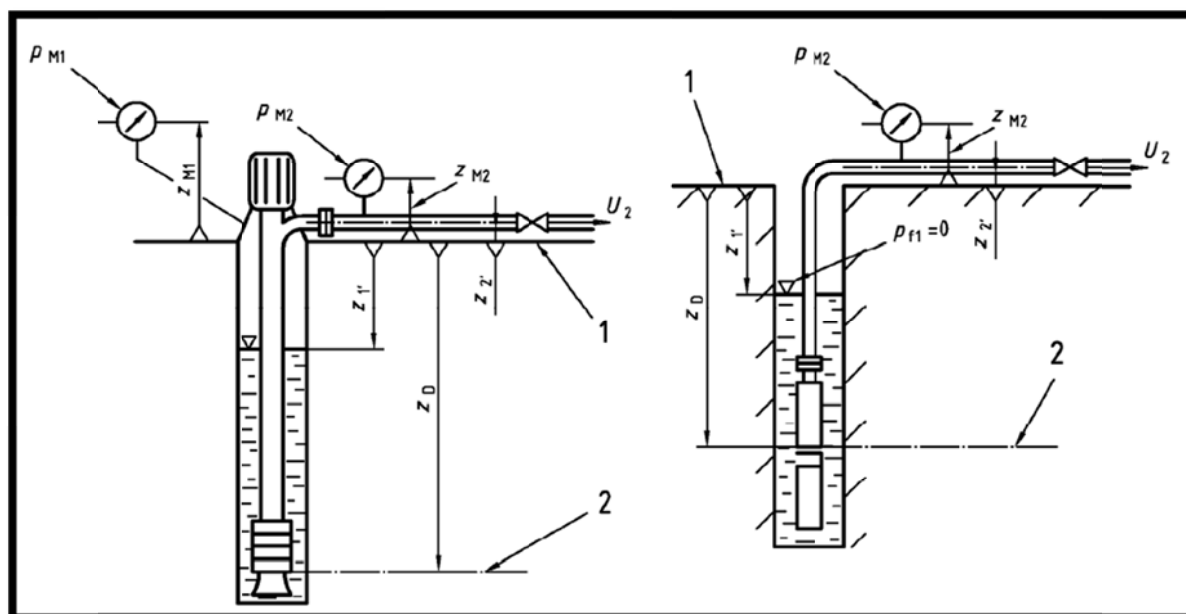
1 Submerged pumps

2 Deep well pumps

در صورت لزوم، اتلاف اصطکاکی هد بین مقطع اندازه‌گیری و حدود قراردادی پمپ را می‌توان مطابق روش تشریح شده در بند ۸.۲.۴ تعیین نمود. اتلاف محلی هد ناشی از مدار و اتصالات مختلف (فیلتر مکش، شیر یک‌طرفه، زانویی تخلیه^۱، شیر، انبساط‌دهنده‌ها^۲ و غیره) باید حتی‌الامکان در زمان نوشتن قرارداد توسط طرفی که این اتصالات را فراهم می‌کند تعیین گردند. اگر چنین امری غیرممکن به نظر رسد، خریدار و سازنده/تأمین‌کننده باید در مورد مقداری قابل قبول پیش از تست پذیرش توافق نمایند.

با توجه به این که پمپ‌های چاه عمیق (به شکل ۷ الف مراجعه نمایید) معمولاً با تمامی لوله‌های عمودیشان مورد تست قرار نمی‌گیرند (مگر در شرایطی که تست پذیرش در محل نصب صورت گیرد). لازم است اتلاف اصطکاکی هد در بخش‌های حذف شده، تخمین زده شود و توسط سازنده/تأمین‌کننده برای خریدار تعیین گردد. اگر لازم باشد که خواص تعیین شده از طریق تست در محل نصب اعتبارسنجی شوند، این مورد باید از پیش در قرارداد قید شده باشد.

برای تست پمپ‌هایی از این دست، ممکن است ضمانت برای اتصالات بکار رود یا نرود.



راهنمای شکل:

۱: سطح مبنا

۲: صفحه مبنا $NPSH$

راهنمای شکل:

۱: سطح مبنا

۲: صفحه مبنا $NPSH$

1 Delivery elbow

2 Expanders

$$H_1 = z_{1'} + \frac{p_{M1}}{\rho g} + \frac{\rho_{f1}}{\rho} (z_{M1} - z_{1'})$$

$$H_1 = z_{1'}$$

$$H_2 = z_{2'} + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{\rho_{f2}}{\rho} (z_{M2} - z_{2'}) + \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H_2 = z_{2'} + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{\rho_{f2}}{\rho} (z_{M2} - z_{2'}) + \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H = z_{2'} - z_{1'} + \frac{p_{M2} - p_{M1}}{\rho g} + \frac{\rho_{f2}(z_{M2} - z_{2'}) - \rho_{f1}(z_{M1} - z_{1'})}{\rho} + \frac{U_2^2}{2g}$$

$$H = z_{2'} - z_{1'} + \frac{p_{M2}}{\rho g} + \frac{\rho_{f2}}{\rho} (z_{M2} - z_{2'}) + \frac{U_2^2}{2g}$$

(الف)

(ب)

شکل ۷- اندازه‌گیری هد کلی پمپ H برای پمپ‌های غوطه‌وری مختلف

۸.۲.۴. اتلاف اصطکاکی در ورودی و خروجی

ضمانت‌های موجود در بند ۴.۱ مربوط به فلنج‌های ورودی و خروجی پمپ هستند و نقاط اندازه‌گیری فشار عموماً از این فلنج‌ها فاصله دارند (به بند ۸.۲.۱ تا ۸.۲.۳ مراجعه نمایید). در این صورت لازم خواهد بود که مقادیر اتلاف اصطکاکی هد (H_{J1} و H_{J2}) بوجود آمده بین نقاط اندازه‌گیری و فلنج‌های پمپ به هد کلی اندازه‌گیری شده پمپ اضافه شود.

چنین تصحیحی تنها زمانی انجام می‌شود که:

$$H_{J1} + H_{J2} \geq 0,005H$$

برای رتبه II

یا

$$H_{J1} + H_{J2} \geq 0,002H$$

برای رتبه I

اگر لوله بین نقاط اندازه‌گیری و فلنج‌ها، بدون مانع و گرفتگی^۱، مستقیم، دارای سطح مقطع مدور ثابت و طول L باشد:

$$H_J = \lambda \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g} \quad (۲۹)$$

مقدار λ از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left[\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7D} \right] \quad (۳۰)$$

که در آن K زبری یکنواخت معادل لوله، D قطر لوله و $\frac{K}{D}$ زبری نسبی (عدد بدون واحد) می‌باشد.

پیوست C نشان می‌دهد که آیا نیاز به تصحیح وجود دارد یا خیر و در صورت وجود نیاز به تصحیح، نحوه محاسبه آن چگونه است.

اگر لوله غیر از آن‌چه بدون مانع و گرفتگی، مستقیم و دارای سطح مقطع مدور ثابت نامیده می‌شود، باشد تصحیح قابل انجام باید قبلاً مورد توافق قرار گیرد.

۸.۳ اندازه‌گیری سطح آب

۸.۳.۱ تعیین مقطع اندازه‌گیری

در محل اندازه‌گیری، جریان باید پایدار باشد و هیچ‌گونه تلاطم محلی موجود نباشد. اگر سطح آزاد آب توسط موج‌های کوچک یا بالا و پایین رفتن جزئی^۱ متلاطم شود، بسته به نوع وسیله اندازه‌گیری به کار رفته، لازم است از چاهک^۲ یا محفظه آرامش^۳ که از طریق صفحه بدنه سوراخ‌دار با حوضچه در ارتباط است استفاده شود. سوراخ‌های موجود در صفحه بدنه باید تا حد امکان کوچک باشد تا نوسانات فشار را مستهلک کند (قطری حدود ۳ تا ۵ میلی‌متر).

۸.۳.۲ دستگاه اندازه‌گیری

بسته به شرایط (سطح آزاد قابل دسترسی، پایدار یا متلاطم و غیره) و بسته به دقت لازم می‌توان دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح آب مختلفی را با توجه به هدف کل پمپ مورد استفاده قرار داد. متداول‌ترین دستگاه‌ها به شرح زیر هستند:

(الف) نشان‌گرهای عمودی یا مورب^۴، تعبیه شده روی دیوار

(ب) نشان‌گرهای نقطه‌ای یا قلاب‌دار^۵، که نیاز مبرمی به یک چاه آرامش یا تکیه‌گاهی کمی بالاتر از سطح آزاد دارند

(پ) نشان‌گر صفحه‌ای^۶ که دارای یک دیسک فلزی افقی است که از یک نوار فولادی مدرج آویزان شده است

(ت) نشان‌گر شناور^۷، تنها باید در چاه آرامش استفاده شود

(ث) مانومترهای مایع در حالت‌های مطلق یا تفاضلی، مشروح در بند ۸.۴.۳.۱

(ج) دستگاه حباب‌ساز، که از تزریق هوای فشرده استفاده می‌کند

(چ) ترانسدیوسر غوطه‌ور فشار

سه نوع آخر، به‌ویژه برای جاهایی که سطح آزاد مایع قابل دسترسی نیست، مناسب می‌باشند.

1 Swell

2 Stilling well

3 Stilling box

4 Vertical or inclined gauges

5 Point or hook gauges

6 Plate gauges

7 Float gauges

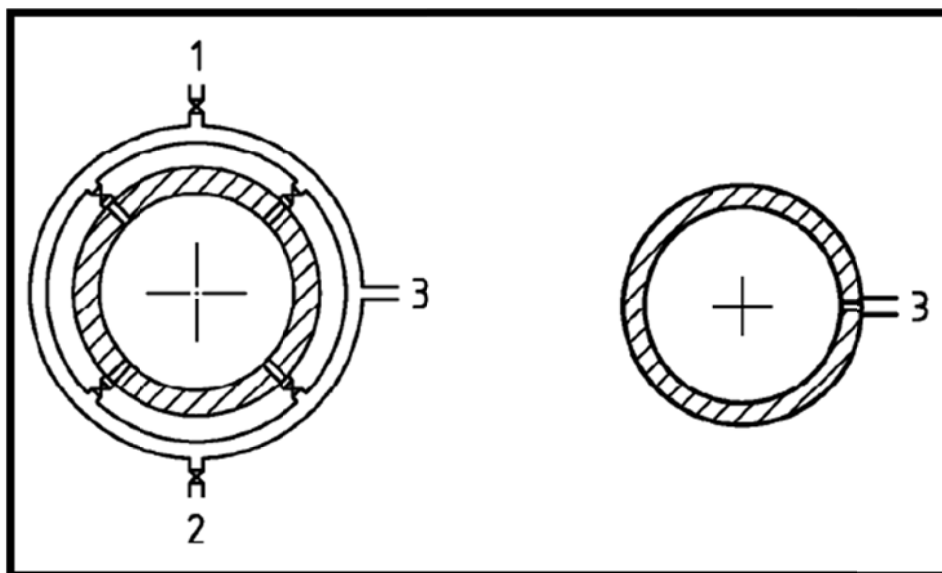
چنین دستگاه‌هایی در استاندارد بین‌المللی ایزو ۴۳۷۳ تشریح شده‌اند.

۸.۴. اندازه‌گیری‌های فشار

۸.۴.۱. سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار (پریز فشار)

برای تست‌های رتبه I ، لازم است ۴ سوراخ اندازه‌گیری فشار استاتیک که به صورت متقارن در روی محیط هر یک از مقاطع اندازه‌گیری قرار می‌گیرند، مهیا گردد. نمونه‌ای از این ترکیب در شکل (۸ الف) آمده است.

برای تست‌های رتبه II ، معمولاً مهیا ساختن یک سوراخ اندازه‌گیری فشار استاتیک در هر یک از مقاطع اندازه‌گیری کافی خواهد بود، اما هنگامی که احتمال چرخش یا عدم تقارن جریان وجود داشته باشد، تعداد دو سوراخ یا بیشتر ممکن است لازم باشد (به شکل ۸ ب مراجعه نمایید).

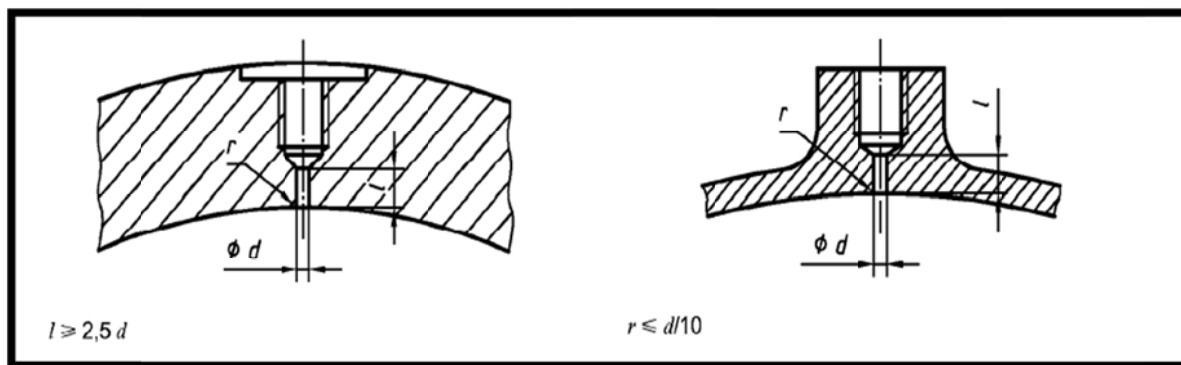


راهنمای شکل:

۱: سوراخ هوازداپی ۲: مجرای مایعات ۳: لوله اتصال به ابزار اندازه‌گیری فشار

(ب) رتبه II : یک سوراخ فشار (یا ۲ سوراخ فشار روبروی هم) (الف) رتبه I : ۴ سوراخ فشار که توسط یک حلقه چند راهه به هم متصل شده‌اند

شکل ۸- سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار استاتیک برای تست‌های رتبه I و II



که در آن d برابر با ۳ تا ۶ میلی‌متر یا ۱/۱۰ قطر لوله، هر کدام کوچک‌تر باشد.

الف) دیواره ضخیم

ب) دیواره نازک

شکل ۹- الزامات سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار استاتیک

به جز در شرایط خاص که موقعیت سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار برحسب نحوه قرارگیری اجزای مدار تعیین می‌گردد (به بندهای ۸.۲.۱.۱ و ۸.۲.۱.۲ مراجعه نمایید)، در دیگر موارد، سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار نباید در محل بالاترین نقطه یا پایین‌ترین نقطه سطح مقطع یا در نزدیکی آن‌ها قرار گیرد.

سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار استاتیک باید از الزامات نشان داده شده در شکل ۹ تبعیت نمایند و باید عاری از هرگونه پلیسه، ناهمگونی سطحی و مجراهای جانبی^۱ بوده و بر دیواره درونی لوله عمود باشند.

قطر سوراخ‌های فشار باید بین سه تا شش میلی‌متر یا برابر ۱/۱۰ قطر لوله باشد (هرکدام کوچک‌تر است). طول سوراخ فشار (l) نباید از ۲/۵ برابر قطر آن کمتر باشد.

قسمت داخلی لوله دارای سوراخ اندازه‌گیری فشار باید تمیز، هموار و در برابر واکنش شیمیایی با سیال پمپ‌شونده مقاوم باشد. هرگونه پوششی نظیر رنگ موجود روی پوشش داخلی باید دست نخورده باشد. اگر لوله دارای درزجوش طولی باشد، سوراخ اندازه‌گیری فشار باید تا حد امکان دور از جوش قرار گیرد.

هنگام استفاده از چند سوراخ اندازه‌گیری فشار، آن‌ها باید از طریق شیرهای مسدودکننده به یک چندراهه حلقه‌ای متصل شوند که سطح مقطع آن از مجموع سطح مقطع‌های سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار کمتر نباشد تا بتوان فشار در هر سوراخ را در صورت نیاز اندازه‌گیری کرد. پیش از هرگونه قرائتی لازم است در شرایط عادی پمپ، فشار در هر یک از سوراخ‌های فشار خوانده شود. اگر یکی از قرائت‌ها اختلافی به اندازه ۰/۵ درصد هد کل یا بیشتر نسبت به میانگین عددی چهار قرائت داشته

¹ Flush with

باشد یا اگر اختلافی به اندازه بیش از یک هد دینامیکی در مقطع اندازه‌گیری نشان دهد، علت آن باید مشخص شود و شرایط اندازه‌گیری پیش از تست واقعی اصلاح گردد.

هنگام استفاده از همان سوراخ‌های فشار برای اندازه‌گیری $NPSH$ ، این انحراف نباید از یک درصد مقدار $NPSH$ یا یک برابر هد دینامیکی ورودی بیشتر شود.

قطر داخلی لوله‌هایی که سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار را به وسایل میراکننده (به بند ۵.۴.۲.۲ مراجعه نمایید) یا ابزارآلات اندازه‌گیری متصل می‌کنند باید حداقل برابر با قطر داخلی سوراخ‌های اندازه‌گیری فشار باشد. سیستم نباید نشتی داشته باشد.

در محل نقاطی که از لوله‌های اتصال بالاتر قرار گرفته‌اند باید شیر هواگیری فراهم شود تا از حبس شدن حباب‌های هوا در هنگام اندازه‌گیری جلوگیری شود.

در صورت امکان، توصیه می‌شود که از لوله شفاف جهت تعیین وجود هوا در لوله‌ها استفاده شود. در استاندارد بین‌المللی ایزو ۲۱۸۶ مشخصات لوله‌های اتصال ارایه شده‌اند.

۸.۴.۲ تصحیح برای اختلاف ارتفاع

تصحیح قرائت فشار p_M برای اختلاف ارتفاع $(z_M - z)$ بین خط مرکز مقطع اندازه‌گیری و سطح مبنای ابزار اندازه‌گیری فشار باید از رابطه زیر بدست آید.

$$p = p_M + \rho_f g(z_M - z) \quad (31)$$

که در آن ρ_f چگالی سیال موجود در لوله است.

باید توجه شود که لوله اتصال تنها دارای یک سیال باشد. خطاهای احتمالی باید با به‌کارگیری لوله‌های اتصال کوتاه افقی به حداقل برسد ($z_M - z \approx 0$).

۸.۴.۳ دستگاه اندازه‌گیری فشار

۸.۴.۳.۱ مانومتر ستون مایع

می‌توان از مانومترهای ستون مایعی که نیازی به کالیبراسیون ندارند جهت اندازه‌گیری فشارهای پایین استفاده نمود. مایعات پرکاربرد در این مانومترها، آب و جیوه هستند، اما دیگر مایعاتی که چگالی آن‌ها برای فشار اندازه‌گیری مناسب باشد نیز می‌توان مورد استفاده قرار داد. در صورت امکان باید از ستون مایع کوتاه‌تر از ۵۰ میلی‌متر استفاده نشود. می‌توان این طول را از طریق یک مانومتر مورب یا با استفاده از مایع مانومتری دیگری تصحیح نمود. در صورتی که چنین امری امکان‌پذیر نباشد، باید نسبت به خطاهای اندازه‌گیری توجه نمود.

جهت کاهش اثرات موینگی، قطر داخلی لوله مانومتر باید حداقل برای مانومتر جیوه‌ای شش میلی‌متر و برای آب و سایر مایعات برابر با ۱۰ میلی‌متر باشد و این قطر در هر دو شاخه یکسان باشد.

تمیزی مایع در مانومتر و تمیزی سطح داخلی لوله اندازه‌گیری باید حفظ شود تا از خطاهای ناشی از تغییرات تنش سطحی جلوگیری شود.

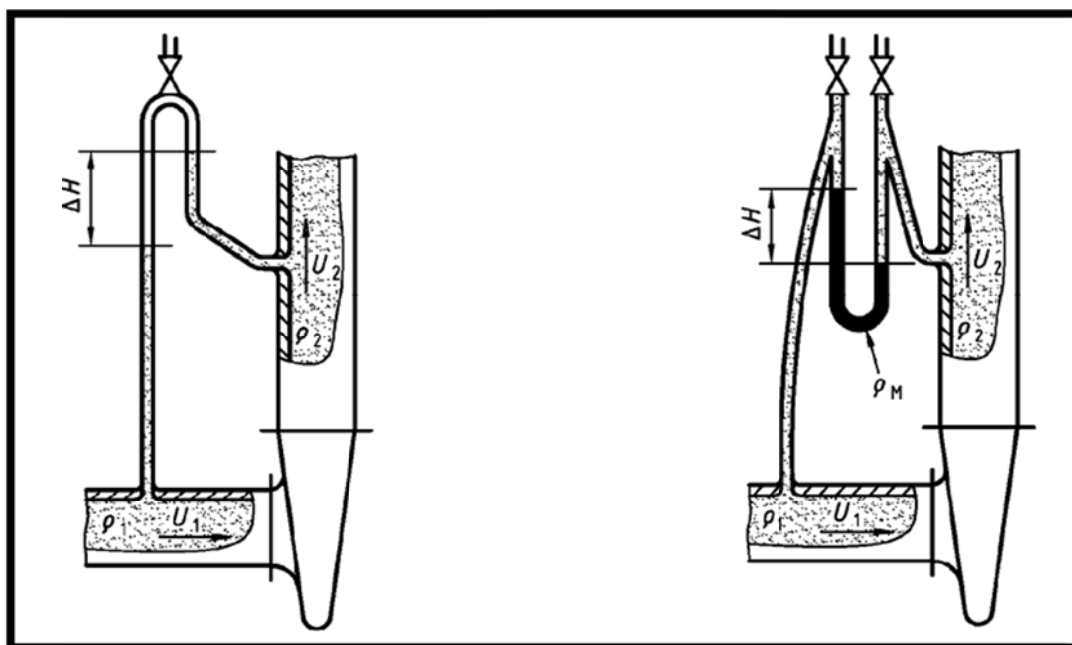
طراحی مانومتر باید به گونه‌ای باشد که خطاهای ناشی از اختلاف رویت^۱ به حداقل برسند.

فاصله بین درجات نشان‌گر به طور معمول باید یک میلی‌متر باشد.

مانومترهای ستون مایع می‌توانند در انتها باز باشند یا بسته باشند و هوا در مداری که دو عضو را به هم متصل می‌کند تحت فشاری که برای ایجاد اختلاف ارتفاع لازم جهت خواندن مورد نیاز است قرارگیرد یا این که مانومتر به صورت لوله U شکلی باشد که با مایع مانومتری پرگردد. در حالت اول، فشار نسبت به یک سطح مبنا ثابت و بالای تراز فشار اتمسفر اطراف (که ثابت فرض می‌گردد) اندازه‌گیری می‌شود. در دو نوع آخر، می‌توان هد کلی پمپ را از روی یک اندازه‌گیری تفاضلی بدست آورد (به شکل ۱۰ مراجعه نمایید).

هنگامی که لوله‌های اتصال با هوا پر شده‌اند، ممکن است یک ستون از مایع پمپ‌شونده (به ارتفاع h) هم سطح جیوه باقی بماند، سپس:

$$p = p_M - |\rho gh| \quad (32)$$



$$H = \Delta H + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

الف) مانومتر تفاضلی هوا- آب

$$H = \frac{\rho_M - \rho_1}{\rho_1} \Delta H + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

ب) مانومتر تفاضلی جیوه‌ای

یادآوری: شکل‌ها تنها اصول کلی را نشان می‌دهند و تمامی جزئیات فنی را دربر ندارند.

شکل ۱۰: تعیین هد کلی پمپ به وسیله مانومتر تفاضلی

۸.۴.۳.۲ مانومترهای وزنی

در صورتی که فشار، از حد ارتفاع ستون مانومتر بیشتر گردد، می‌توان از مانومتر وزنی یا پیستونی در شکل ساده یا تفاضلی آن سود برد. با این حال، از این مانومترها تنها می‌توان در فشاری بالاتر از حداقل فشاری که مربوط به وزن قطعات گردنده می‌باشد، استفاده کرد.

قطر مؤثر D_e برای نوع ساده این مانومترها را می‌توان مساوی میانگین عدد قطر پیستون D_p با اندازه‌گیری مستقیم و قطر سیلندر D_c در نظر گرفت. سپس می‌توان در صورتی که شرایط زیر پیش از تست برقرار گردد از این اعداد بدون کالیبراسیون بعدی، برای محاسبه فشار استفاده نمود.

$$\frac{D_c - D_p}{D_c + D_p} \leq 0,1\% \quad (۳۳) \quad ۸.۴.۴$$

۸.۴.۵

اصطکاک بین پیستون و سیلندر را می‌توان عملاً از طریق چرخاندن پیستون با سرعتی بیش از ۳۰ دور در دقیقه از بین برد.

عموماً مانومتر وزنی را از طریق مقایسه با مانومتر ستون مایع کنترل می‌نمایند تا قطر مؤثر پیستون در محدوده‌ای وسیع از فشارها تعیین گردد.

۸.۴.۵.۱ فشارسنج فنری

این نوع فشارسنج، از تغییر شکل مکانیکی یک حلقه میله‌ای، صفحه‌ای یا مارپیچ (مانومتر مدرج بوردون) و یا یک غشا^۱ جهت تعیین فشار استفاده می‌کند.

اگر از این نوع وسایل برای اندازه‌گیری فشار در ورودی یا خروجی استفاده شود، توصیه می‌شود که:

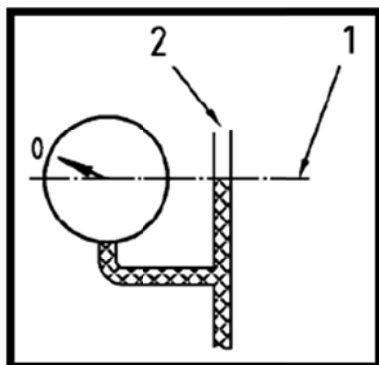
الف) هر دستگاهی در محدوده اندازه‌گیری بهینه‌اش مورد استفاده قرارگیرد (بیش از ۴۰ درصد از کل محدوده درجه‌بندی)

ب) فاصله بین دو درجه اندازه‌گیری متوالی بین ۱/۵ تا ۳ میلی‌متر باشد

پ) چنین تقسیماتی به پنج درصد هد کل پمپ مربوط می‌شوند

کالیبراسیون این دستگاه اندازه‌گیری باید به طور مرتب کنترل شود.

شکل ۱۱، مداری برای تعیین سطح مبنای فشارسنج فنی را نشان می‌دهد.



راهنمای شکل:

۱: سطح مبنای مانومتر

۲: در معرض اتمسفر

شکل ۱۱- مداری جهت تعیین سطح مبنای فشارسنج فنی

۸.۴.۵.۲. انواع دیگر فشارسنج‌ها

انواع گوناگونی از فشارسنج‌ها وجود دارند که به صورت مطلق یا تفاضلی، بر پایه تغییرات خواص الکتریکی یا مکانیکی مختلف، به اندازه‌گیری فشار می‌پردازند. از این وسایل می‌توان برحسب دقت، تکرارپذیری و قابلیت اطمینان مورد نیاز استفاده نمود. وسایل اندازه‌گیری در محدوده بهینه اندازه‌گیری خود مورد استفاده قرار می‌گیرند و به همراه تجهیزات الکتریکی مربوطه، از طریق مقایسه با یک وسیله فشاری دقیق‌تر و مطمئن‌تر کالیبره می‌شوند.

۹. اندازه‌گیری سرعت دورانی

سرعت دورانی را می‌توان با شمارش تعداد دوران‌ها در یک بازه زمانی از طریق یک سرعت‌سنج بدون واسطه^۱، به وسیله یک تناوب‌دهنده یا دینام تاکومتری، از طریق یک شمارشگر نوری، مغناطیسی یا به وسیله یک استروبوسکوپ اندازه‌گیری کرد. در پمپ‌هایی که با موتور جریان متناوب کار می‌کنند، سرعت دورانی را می‌توان از مشاهدات بسامد شبکه و داده‌های لغزش

1 Direct indicating tachometer

موتور که توسط سازنده موتور یا از طریق اندازه‌گیری مستقیم (مثلاً با به‌کارگیری یک سیم‌پیچ القایی) بدست می‌آید نیز استنتاج نمود. در این صورت سرعت دورانی را می‌توان از فرمول زیر بدست آورد.

$$n = \frac{2}{i} \left(f - \frac{j}{\Delta t} \right) \quad (34)$$

که در آن:

i تعداد قطب‌های موتور است.

f بسامد شبکه اندازه‌گیری شده بر حسب Hz است.

j تعداد تصاویر شمارش شده در طول زمان Δt توسط استروبوسکوپ هم سرعت شده با شبکه می‌باشد.

در صورتی که سرعت دورانی را نتوان مستقیماً اندازه‌گیری کرد (مثلاً در پمپ‌های شناور)، معمولاً کافی است که بسامد شبکه و ولتاژ را کنترل نمود.

۱۰. اندازه‌گیری توان ورودی پمپ

۱۰.۱. کلیات

توان ورودی پمپ را باید از طریق اندازه‌گیری سرعت دورانی و گشتاور استخراج نمود یا از طریق اندازه‌گیری توان الکتریکی ورودی به یک موتور الکتریکی با بازده معین که مستقیماً به پمپ متصل شده آن را تعیین نمود.

در صورتی که از توان ورودی به یک موتور الکتریکی متصل به یک جعبه‌دنده، یا از سرعت دورانی و گشتاور اندازه‌گیری شده توسط یک گشتاورسنج بین جعبه دنده و موتور به عنوان وسیله‌ای برای تعیین توان ورودی پمپ استفاده گردد، روش تعیین اتلاف ناشی از جعبه دنده کاهنده باید در قرارداد قید شود.

در صورت لزوم برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد روش‌های تشریح شده در زیر به استاندارد بین‌المللی ایزو ۵۱۹۸ مراجعه نمایید.

۱۰.۲. اندازه‌گیری گشتاور

گشتاور باید توسط یک دینامومتر یا گشتاورسنج مناسب که قادر به تبعیت از الزامات جدول ۸ باشد اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری گشتاور و سرعت دورانی باید، در صورت عملی بودن، هم‌زمان صورت گیرد.

۱۰.۳. اندازه‌گیری‌های توان الکتریکی

در صورتی که از توان الکتریکی ورودی به یک موتور الکتریکی که مستقیماً به یک پمپ متصل است، به عنوان وسیله‌ای جهت تعیین توان ورودی پمپ استفاده شود، موتور تنها باید در شرایطی به کار گرفته شود که بازده آن با دقت کافی معلوم باشد.

بازده موتور باید در تطابق با توصیه‌های استاندارد بین‌المللی IEC60034-2 تعیین گردد و توسط سازنده موتور ارایه گردد.

در بازده، اتلاف کابل موتور به حساب نمی‌آید.

توان الکتریکی ورودی به موتور جریان متناوب را، باید به روش دو واتمتری یا سه واتمتری اندازه‌گیری نمود. این روش‌ها امکان استفاده از واتمترهای تک فاز یا استفاده از یک واتمتر که دو یا سه فاز را هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کند یا استفاده از وات‌ساعت‌مترهای یک‌پارچه را فراهم می‌کند.

در موتورهای جریان مستقیم می‌توان از یک واتمتر یا از یک آمپرسنج و یک ولت سنج استفاده کرد.

نوع و کلاس ابزارآلات نشان‌گر جهت اندازه‌گیری توان الکتریکی، باید مطابق استاندارد بین‌المللی IEC60051 باشد.

۱۰.۴. موارد خاص

۱۰.۴.۱. پمپ‌های دارای قسمت‌های انتهایی غیرقابل دسترس

در صورت داشتن یک واحد مرکب از موتور و پمپ (نظیر پمپ شناور یا پمپ یک‌پارچه یا پمپ جدا از موتور با ضمانت بازده کلی)، توان دستگاه باید در ترمینال‌های موتور اندازه‌گیری شود (به شرطی که در دسترس باشد). در مورد پمپ شناور، اندازه‌گیری باید در انتهای کابل‌های ورودی به دستگاه انجام گیرد. اتلاف مربوط به کابل‌ها باید تعیین شده و به حساب آید و در قرارداد قید شود. بازده ارایه شده باید بازده دستگاه مرکب باشد و اتلاف کابل و راه‌انداز در آن به حساب نیامده باشد.

۱۰.۴.۲. پمپ‌های چاه عمیق

در این مورد، توان جذب شده توسط یاتاقان کف‌گرد و محور عمودی و دیگر یاتاقان‌ها باید محاسبه شود. با توجه به این‌که پمپ‌های چاه عمیق معمولاً با تمامی لوله عمودی متصل به آن‌ها مورد آزمایش قرار نمی‌گیرند (مگر در شرایطی که تست پذیرش در محل نصب انجام شود)، اتلاف یاتاقان‌های محور عمودی و کف‌گرد باید تخمین زده شده و توسط سازنده/-تأمین‌کننده ارایه گردد.

۱۰.۴.۳. یک واحد الکتروپمپ دارای یاتاقان محوری مشترک (غیر از پمپ‌های موتور سرخود یا همان پمپ‌های

بدون کوپلینگ)

در این مورد، اگر لازم باشد توان و بازده موتور و پمپ جداگانه تعیین گردد، باید اثر نیروی محوری و احتمالاً وزن روتور پمپ بر روی اتلاف یاتاقان کف‌گرد به حساب آورده شود.

۱۰.۴.۴. اندازه‌گیری بازده کلی سیستم پمپاژ

برای تعیین بازده سیستم پمپاژ، در حالی که محرک در شرایط تعیین شده در قرارداد کار کند، تنها توان ورودی و خروجی اندازه‌گیری می‌شود. در این تست، مقادیر اتلاف بین محرک و پمپ و هرگونه اتلاف دیگری که مرتبط به ماشین‌آلات میانی مانند جعبه‌دنده یا دستگاه‌های سرعت متغیر است منظور نشده است.

۱۱. تست‌های کاویتاسیون

۱۱.۱. کلیات

۱۱.۱.۱. هدف تست‌های کاویتاسیون

این استاندارد تنها به اندازه‌گیری‌های مربوط به عملکرد هیدرولیکی پمپ می‌پردازد (تغییرات هد، جریان و بازده) و از دیگر اثرات که توسط کاویتاسیون بوجود می‌آید (نویز (سرو صدا)، ارتعاشات، تخریب مواد و غیره) صحبتی به میان نمی‌آورد. به هیچ عنوان نباید از تست‌های کاویتاسیون برای بررسی عاری‌بودن پمپ از فرسایش کاویتاسیون در طول عمرکاری استفاده نمود.

کاویتاسیون را می‌توان در صورت بروز کاهش هد یا بازده در یک دبی معین یا در صورت بروز کاهش دبی یا بازده در یک هد معین شناسایی نمود. عموماً از معیار کاهش هد در یک دبی معین برای این کار استفاده می‌شود. در مورد پمپ‌های چند طبقه، لازم است افت هد نسبت به هد طبقه اول سنجیده شود (که این ارتفاع باید در صورت در دسترس بودن، اندازه‌گیری شود).

در اکثر مواقع، تست‌های کاویتاسیون به وسیله آب سرد تمیز انجام می‌شود. تست‌های کاویتاسیون انجام شده در آب نمی‌تواند رفتار پمپی را که با مایع دیگری کار می‌کند به دقت پیش‌بینی نماید (به بند ۵.۴.۵ مراجعه شود). در مورد تست‌هایی که با مایعات دارای دمای بالا یا نزدیک نقطه بحرانی انجام می‌شود، بسیار سخت یا غیرممکن خواهد بود که $NPSH$ با دقت مورد نظر اندازه‌گیری شود (به بند ۱۱.۳.۳ مراجعه شود).

۱۱.۱.۲. انواع تست‌ها

۱۱.۱.۲.۱. اعتبارسنجی خواص ضمانت‌شده در یک $NPSH_A$ معین

با یک بررسی ساده می‌توان عملکرد هیدرولیکی پمپ را در یک $NPSH_A$ معین بدون تحقیق در مورد اثرات کاویتاسیون تعیین نمود. در صورتی که موارد ضمانت شده هد کلی پمپ و بازده مطابق بند ۶.۴.۱ تحت شرایط دبی معین و $NPSH_A$ مشخص شده بدست آیند، پمپ الزامات را برآورده می‌سازد.

۱۱.۱.۲.۲. اعتبارسنجی در مورد نبود اثر کاویتاسیون در عملکرد در یک $NPSH_A$ معین

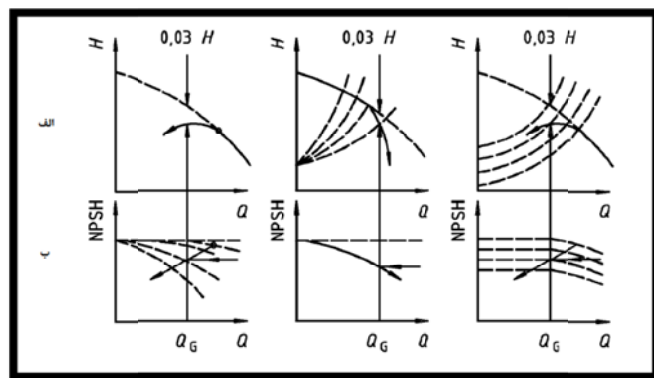
با یک بررسی می‌توان نشان داد که عملکرد هیدرولیکی پمپ در شرایط بهره‌برداری معین تحت تاثیر کاویتاسیون قرار نمی‌گیرد. در صورتی که تستی در مقدار $NPSH$ بالاتر از $NPSH_A$ مشخص شده به عمل آید و همان هد کلی و بازده متناظر با $NPSH_A$ را در همان دبی نتیجه دهد پمپ الزامات را برآورده می‌سازد.

۱۱.۱.۲.۳. تعیین $NPSH_3$

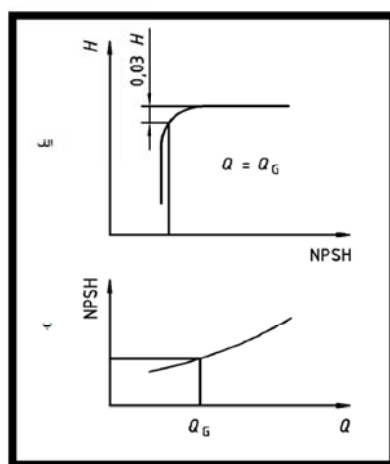
در این تست از $NPSH$ به طور مستمر کاسته می‌شود تا افت هد کل (مربوط به طبقه اول) در دبی ثابت به سه درصد برسد. این مقدار $NPSH$ به نام $NPSH_3$ معروف می‌باشد (به جدول ۱۱، و شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ مراجعه نمایید). برای پمپ‌های با هد خیلی کم، ممکن است افت هد بزرگ‌تری مورد توافق قرار گیرد.

جدول ۱۱- روش‌های تعیین $NPSH_3$

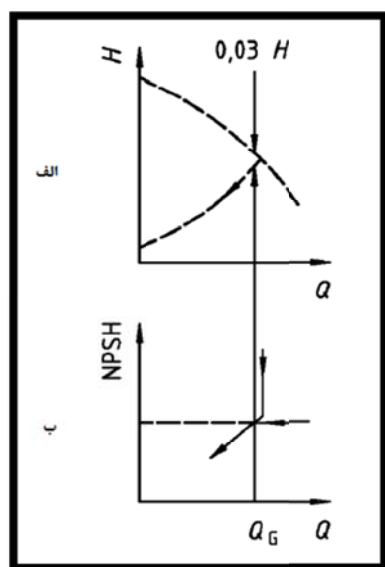
نوع نصب	حوضچه باز	حوضچه باز	حوضچه باز	حوضچه باز	حوضچه باز	مدار بسته	مدار بسته	مدار یا حوضچه بسته
متغیرمستقل	شیر خفگی ورودی	شیر خفگی خروجی	سطح آب	شیر خفگی ورودی	سطح آب	فشار در تانک	دما (فشاربخار)	دما (فشاربخار)
ثابت	شیر خفگی خروجی	شیر خفگی ورودی	شیرهای خفگی ورودی و خروجی	دبی	دبی	دبی	دبی	شیرهای خفگی ورودی و خروجی
کمیت‌هایی که تغییرات آن به کنترل وابسته است	هد کل، دبی، $NPSH_A$ سطح آب	هد کل، دبی، $NPSH_A$ سطح آب	هد کل، دبی، $NPSH_A$ شیر خروجی (برای ثابت)	هد کل، دبی، $NPSH_A$ شیر خفگی خروجی	هد کل، دبی، $NPSH_A$ شیر خفگی خروجی (برای ثابت)	هد کل، دبی، $NPSH_A$ شیر خروجی (برای ثابت)	هد کل، دبی، $NPSH_A$ شیر خروجی (برای ثابت)	هد کل و دبی، وقتی کاویتاسیون به اندازه مشخصی رسیده باشد
منحنی مشخصه هد نسبت به دبی و $NPSH$	به شکل ۱۲- الف مراجعه شود	به شکل ۱۲- الف مراجعه شود	به شکل ۱۳- الف مراجعه شود	به شکل ۱۴- الف مراجعه شود	به شکل ۱۴- الف مراجعه شود	به شکل ۱۴- الف مراجعه شود	به شکل ۱۴- الف مراجعه شود	به شکل ۱۴- الف مراجعه شود
منحنی مشخصه $NPSH$ نسبت به دبی	به شکل ۱۲- ب مراجعه شود	به شکل ۱۲- ب مراجعه شود	به شکل ۱۳- ب مراجعه شود	به شکل ۱۴- ب مراجعه شود	به شکل ۱۴- ب مراجعه شود	به شکل ۱۴- ب مراجعه شود	به شکل ۱۴- ب مراجعه شود	به شکل ۱۴- ب مراجعه شود



شکل ۱۲



شکل ۱۳



شکل ۱۴

۱۱.۱.۲.۴. دیگر تست‌های کاویتاسیون

دیگر معیارها (نظیر افزایش نویز) و تست‌های کاویتاسیون متناظر با آن‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این حالت لازم است توافق خاصی در مفاد قرارداد صورت گیرد.

۱۱.۲. تأسیسات تست

۱۱.۲.۱. کلیات

تست‌هایی که در بند ۱۱.۱.۲ تشریح شده را می‌توان با هر یک از روش‌های تعیین شده در جدول ۱۱ و با هر یک از تأسیسات معرفی شده در بندهای زیر به انجام رساند. می‌توان دو پارامتر کنترل را تغییر داد به گونه‌ای که دبی در طی یک تست ثابت بماند، اما این کار معمولاً دشوارتر خواهد بود.

۱۱.۲.۲. خواص عمومی مدار

مدار باید به گونه‌ای باشد که هنگام پدید آمدن کاویتاسیون در پمپ، کاویتاسیون به محل‌های دیگر سرایت نکند که بر پایداری یا کارکرد رضایت‌بخش تأسیسات یا اندازه‌گیری عملکرد پمپ تأثیر بگذارد. باید اطمینان حاصل شود که کاویتاسیون و حباب‌ها و گاز جدا شده‌ای که توسط کاویتاسیون در پمپ به وجود می‌آید، بر عملکرد ابزارآلات، به‌ویژه وسایل اندازه‌گیری جریان تأثیر نگذارد. در هر صورت اگر شرایط اندازه‌گیری حاکم بر وسایل و ادوات تست کاویتاسیون با شرایط اندازه‌گیری حاکم برای تعیین منحنی بازده یکی باشد یا نباشد، باید از شرایط تعیین شده در بندهای ۵.۳ و ۵.۴ تبعیت شود. انواع تأسیسات گفته شده در بند ۱۱.۲.۴ ممکن است ایجاب نماید که جهت جلوگیری از کاویتاسیون (که می‌تواند در نتایج تأثیر بگذارد)، شیرهای تنظیم‌کننده در ورودی و خروجی آن‌ها بکار رود. بعضی مواقع با استفاده از دو یا چند وسیله خفگی (تراتل) که به صورت سری به هم متصل شده‌اند یا با تعبیه شیر خفگی به گونه‌ای که سیال خروجی از آن به یک مخزن بسته یا یک تانک با سطح مقطع بزرگ که حایل بین شیر خفگی و ورودی پمپ می‌باشد تخلیه شود، می‌توان از کاویتاسیون در جریان موجود در شیر خفگی، جلوگیری کرد. ممکن است در این شرایط، به‌ویژه وقتی که $NPSH$ پایین است، به تیغه‌ها^۱ و تجهیزاتی جهت خارج نمودن هوا از مخزن، نیاز باشد.

هنگامی که یک شیر خفگی نیمه بسته است، لازم است از پر بودن لوله و یکنواخت بودن توزیع سرعت و فشار در مقطع اندازه گیری ورودی اطمینان حاصل شود. این مهم، از طریق استفاده از یک وسیله مستقیم کننده جریان مناسب یا یک لوله مستقیم بلند با طول حداقل ۱۲D در ورودی پمپ حاصل می آید.

۱۱.۲.۳. خواص مایع تست

مایع باید تمیز و بی رنگ بوده و فاقد هرگونه ذرات جامد باشد. تا حد امکان باید پیش از تست، گاز آزاد از درون مایع خارج گردد. هوازداپی از آب بکهار رفته برای تست کاویتاسیون تنها وقتی لازم است که پمپ در عمل برای پمپ کردن آب هوازداپی شده، استفاده شود.

برعکس، برای اجتناب از جداسدن گاز در هر یک از قسمت های پمپ، آب موجود در مدار نباید فوق اشباع باشد. شرایط عمومی جریان قیدشده در بندهای ۵.۳ و ۵.۴ به ویژه در ورودی پمپ باید رعایت گردد.

۱۱.۲.۴. انواع تأسیسات

یادآوری ۱: دربندهای ۱۱.۲.۴.۱ تا ۱۱.۲.۴.۳ انواع گوناگون تأسیساتی که می توان مورد استفاده قرار داد، شرح داده شده است. چنین تأسیساتی ممکن است برای مایعاتی غیر از آب سرد مناسب نباشند زیرا عدم قطعیت در اندازه گیری دما می تواند خطای زیادی را در تعیین فشار بخار ایجاد نماید.

یادآوری ۲: نتایج آزمایشاتی که با تأسیسات شرح داده شده در بندهای ۱۱.۲.۴.۱ و ۱۱.۲.۴.۲ به دست می آیند، نسبت به نتایج آزمایشاتی که با استفاده از تأسیسات شرح داده شده در بند ۱۱.۲.۴.۳ حاصل می شوند، دقت و قابلیت اطمینان بیشتری دارند.

۱۱.۲.۴.۱. ترکیب و چیدمان مدار بسته

پمپ در یک حلقه بسته (مطابق شکل ۱۵) نصب شده است که در آن با تغییر دادن فشار، سطح مایع یا دما، $NPSH$ بدون تأثیر گذاشتن بر هد پمپ و دبی تا وقوع کاویتاسیون در پمپ تغییر می کند. برای سرمایش و گرمایش مایع درون مدار بسته جهت ثابت نگه داشتن دمای مورد نیاز، احتیاج به مدارهایی خواهد بود، همچنین استفاده از یک تانک جدایش گاز ضروری به نظر می رسد.

لازم است یک مدار گردش مایع جهت جلوگیری از بوجود آمدن اختلاف دمای غیر مجاز در تانک آزمایش مهیا شود. تانک باید دارای چنان طراحی و اندازه ای باشد که از اختلاط گاز در جریان ورودی پمپ جلوگیری نماید. به علاوه، در صورت گذشتن سرعت متوسط از ۰.۲۵ متر بر ثانیه قراردادادن شبکه های ساکن کننده در تانک ضروری خواهد بود.

۱۱.۲.۴.۲. حوضچه باز با کنترل سطح مایع

پمپ، مایع را از طریق لوله مکش بدون مانع، از حوضچه‌ای که سطح آزاد مایع در آن قابل تنظیم است، مکش می‌کند (شکل ۱۶).

۱۱.۲.۴.۳. حوضچه باز با شیر خفگی

فشار مایع ورودی به پمپ توسط شیر خفگی که در پایین‌ترین سطح ممکن روی لوله ورودی نصب شده، تنظیم می‌شود (شکل ۱۷).

۱۱.۳. تعیین *NPSH* مورد نیاز پمپ

۱۱.۳.۱. روش اندازه‌گیری‌های کمیت‌های گوناگون

غیر از موارد توافقی، روش‌های اندازه‌گیری هد، دبی، سرعت دورانی و (در صورت لزوم) توان ورودی در حین اجرای آزمون کاویتاسیون، همان‌هایی هستند که در بندهای ۷ تا ۱۰ آمده است. لازم است اطمینان حاصل شود که در حین اندازه‌گیری جریان، کاویتاسیون بر دقت دبی‌سنج تأثیر نگذارد. همچنین لازم است از نفوذ هوا به‌درون اتصالات و آب‌بندها جلوگیری شود (مثلاً با استفاده از عایق آب یا سیال مانع). اگر شرایط تست به‌قدری ناپایدار باشد که نیاز به تکرار قرائت‌ها باشد، تغییرات *NPSH* تا حدود حداکثر زیر قابل‌قبول است:

- ۱.۵ برابر مقادیر ارایه شده برای هد در جدول ۷

- ۰.۲ متر

هرکدام که بزرگ‌تر باشد.

۱۱.۳.۲. تعیین فشار

فشار بخار مایع تستی که وارد پمپ می‌گردد باید با دقت کافی مطابق با بند ۱۱.۳.۳ تعیین گردد. اگر فشار بخار از داده‌های استاندارد و اندازه‌گیری دمای مایع ورودی به پمپ بدست آید، باید دقت لازم برای اندازه‌گیری دما اعلام شود. منبع داده‌های استاندارد به‌کار رفته باید مورد توافق خریدار و سازنده/تامین‌کننده قرار گیرد. قسمت فعال پروب اندازه‌گیری دما نباید کمتر از ۱/۸ قطر لوله ورودی، داخل لوله شده باشد. اگر غوطه‌وری عضو اندازه‌گیری دما در جریان ورودی کمتر از آن مقداری باشد که توسط سازنده ابزار اندازه‌گیری لازم دانسته شده، کالیبراسیون در عمق غوطه‌وری، مورد نیاز خواهد بود. باید اطمینان حاصل شود تا پروب‌های اندازه‌گیری دمایی که درون لوله ورودی پمپ قرار می‌گیرند، تأثیری بر اندازه‌گیری فشار ورودی نگذارند.

۱۱.۳.۳. ضرایب رواداری برای $NPSH_R$

بیشترین مقدار مجاز اختلاف بین $NPSH_R$ های اندازه گیری شده و ضمانت شده عبارت است از:

- برای رتبه I :

$$t_{NPSHR} = +3\% \text{ یا } t_{NPSHR} = 0,15m \quad (35)$$

- برای رتبه II :

$$t_{NPSHR} = +6\% \text{ یا } t_{NPSHR} = 0,30m \quad (36)$$

در هر رتبه، هر عددی که بزرگ تر است، مورد استفاده قرار می گیرد.

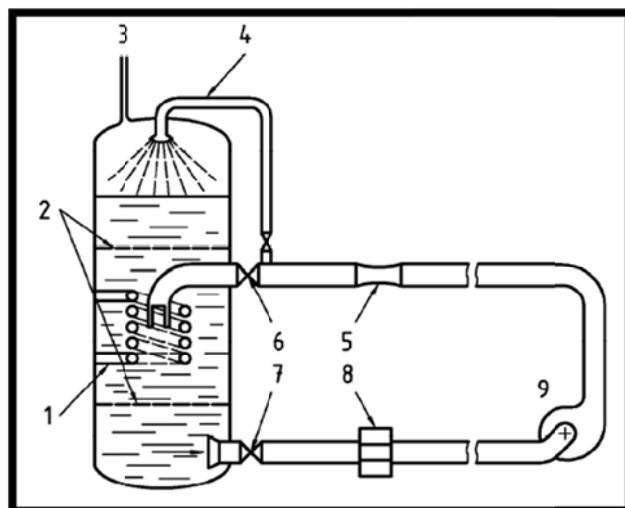
با استفاده از رابطه زیر ضمانت وقتی رعایت می گردد که:

$$(NPSHR)_G + t_{NPSHR} (NPSHR)_G \geq (NPSHR)_{\text{اندازه گیری شده}} \quad (37)$$

یا

$$(NPSHR)_G + (0,15m \text{ به ترتیب } 0,3m) \geq (NPSHR)_{\text{اندازه گیری شده}} \quad (38)$$

شکل های ۱۵ تا ۱۷ تنها اصول کلی را ارائه داده و جزئیات فنی را ارایه نمی دهند و از آن ها می توان به عنوان مثال استفاده نمود.

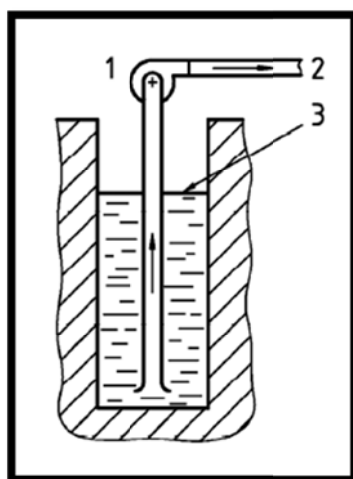


راهنمای شکل:

- ۱: کلاف‌های گرمایش و سرمایش ۲: شبکه آرامش ۳: به سمت خلاء یا کنترل فشار
 ۴: نازل پاشش برای هوازدایی از مایع ۵: دبی‌سنج ۶: شیر کنترل جریان
 ۷: شیر جداکننده ۸: محل اندازه‌گیری محتویات گازی ۹: پمپ آزمون

یادآوری: تزریق آب سرد روی سطح آزاد و خارج نمودن آب گرم شده می‌تواند جایگزین سرمایش از طریق سیم‌پیچ شود.

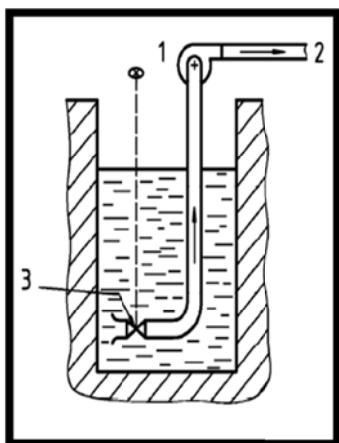
شکل ۱۵- آزمون‌های کاویتاسیون: تغییر $NPSH$ از طریق یک حلقه بسته که فشار یا دما را کنترل می‌نماید



راهنمای شکل:

- ۱: پمپ آزمون ۲: به سمت شیر کنترل جریان و دبی‌سنج ۳: سطح قابل تنظیم آب

شکل ۱۶- آزمون‌های کاویتاسیون: تغییر $NPSH$ از طریق کنترل سطح مایع در حوضچه ورودی پمپ



راهنمای شکل:

۱: پمپ آزمون ۲: به سمت شیر کنترل جریان و دبی سنج ۳: شیر کنترل فشار ورودی

شکل ۱۷- آزمون‌های کاویتاسیون: تغییر $NPSH$ به وسیله یک شیر کنترل فشار ورودی

پیوست A

ضرایب رواداری برای پمپ‌هایی که به صورت سری ساخته شده و از منحنی‌های عملکرد نمونه انتخاب می‌شوند

و برای پمپ‌هایی که توان ورودی محرک کمتر از ۱۰ کیلووات (متناظر با سری پمپ‌های رتبه II) دارند

(الزامی)

یادآوری: این پیوست تنها در محدوده کاری مجاز پمپ به کار می‌رود.

۱. پمپ‌هایی که به صورت سری تولید شده و از منحنی‌های عملکرد نمونه انتخاب می‌شوند

منحنی‌های عملکرد موجود در کاتالوگ‌ها، عملکرد متوسط (و نه عملکرد حداقل) یک سری از پمپ‌های هم‌نوع و هم‌اندازه^۱ را نشان می‌دهند. این مورد برای منحنی‌های بازده و توان ورودی نیز صادق است. بنابراین رواداری‌های بیشتر و رواداری‌های مربوط غیرمتعارف برای توان، مورد نیاز خواهند بود.

در صورتی که سازنده/ تأمین‌کننده در کاتالوگ خود، ارجاعی به این پیوست داشته باشد، ضرایب حداکثر زیر باید به کار گرفته شوند:

- برای دبی $t_Q = \pm 9\%$

- برای هد کلی پمپ $t_H = \pm 7\%$

- برای توان ورودی پمپ $t_p = +9\%$

- برای توان ورودی محرک $t_{pgr} = +9\%$

- برای بازده $t_\eta = -7\%$

۲. پمپ‌هایی دارای توان ورودی محرک کمتر از ۱۰ کیلووات

در مورد پمپ‌هایی که توان ورودی محرک آن‌ها کمتر از ۱۰ کیلووات و بیشتر از ۱ کیلووات است و تلفات اصطکاکی در اجزای گوناگون مکانیکی آن‌ها نسبتاً مهم است و پیش‌بینی آن‌ها آسان نمی‌باشد، ضرایب رواداری ارایه شده در جدول ۱۰ قابل استفاده نمی‌باشد. در این مورد ضرایب رواداری زیر به کار می‌رود:

- دبی $t_Q = \pm 10\%$

- هد کل پمپ $t_H = \pm 8\%$

در صورت عدم وجود توافق دیگر، ضرایب رواداری بازده t_η را می‌توان از طریق زیر محاسبه کرد:

$$t_\eta = -[10(1 - \frac{P_{gr}}{10}) + 7]\% \quad (1)$$

که در آن P_{gr} همان توان ورودی حداکثر محرک برحسب کیلووات در محدوده کارکردی می‌باشد.

رابطه زیر یک ضریب رواداری به نام t_{Pgr} معرفی می‌نماید:

$$t_{Pgr} = \sqrt{(7\%)^2 + t_\eta^2} \% \quad (2)$$

یادآوری: برای پمپ‌هایی با توان ورودی بسیار کوچک (کمتر از یک کیلو وات)، توافق خاص دیگری می‌تواند بین طرفین صورت گیرد.

پیوست B

تعیین قطرهای کاهش یافته پروانه

(الزامی)

اگر مشخصه‌های پمپ از مشخصه‌های تعیین شده بالاتر باشد، معمولاً کاهش قطر پروانه در مورد آن اجرا می‌شود. در مورد توافق مطرح شده در بند ۶.۵.۱، می‌توان قاعده زیر را وقتی به کار برد که نسبت کاهش قطر متوسط مقطع خروجی پروانه از پنج درصد برای پمپ‌های با عدد نوع $K \leq 1.5$ بیشتر نباشد، و شکل پره‌ها پس از برش بدون تغییر بماند (زاویه خروجی، مخروطی بودن و غیره).

قانونی که برای تخمین مشخصه‌های جدید وجود دارد چنین است:

$$R = \left(\frac{D_r^2 - D_1^2}{D_t^2 - D_1^2} \right)^{1/2} \quad (۱)$$

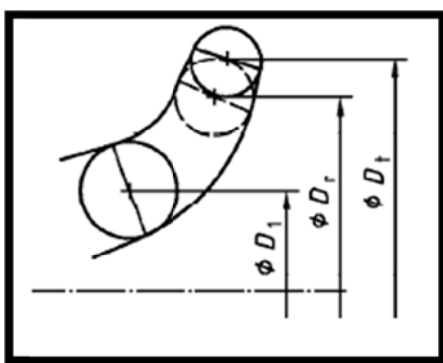
که در آن:

D قطر به گونه‌ای است که در شکل (B.1) داده شده است.

اندیس t برابر "آزمون" است و اندیس r برابر "کاهش یافته" می‌باشد.

$$Q_r = R Q_t \quad (۲)$$

$$H_r = R^2 H_t \quad (۳)$$



شکل B.1- قطرهای کاهش یافته پروانه

در مورد نقاط کارکردی پمپ‌های دارای عدد نوع $K \leq 1.0$ و در حالت کاهش قطر پروانه به اندازه کمتر از سه درصد، می‌توان بازده پمپ را در عمل بدون تغییر فرض کرد.

پیوست C

تلفات اصطکاکی

(الزامی)

رابطهٔ ارایه شده در بند ۸.۲.۴ برای محاسبهٔ تلفات هد مربوط به اصطکاک نیاز به محاسبات طولانی دارد که در بسیاری موارد پس از این محاسبات طولانی، نتیجهٔ محاسبات نشان می‌دهد که به تصحیح نیازی نیست.

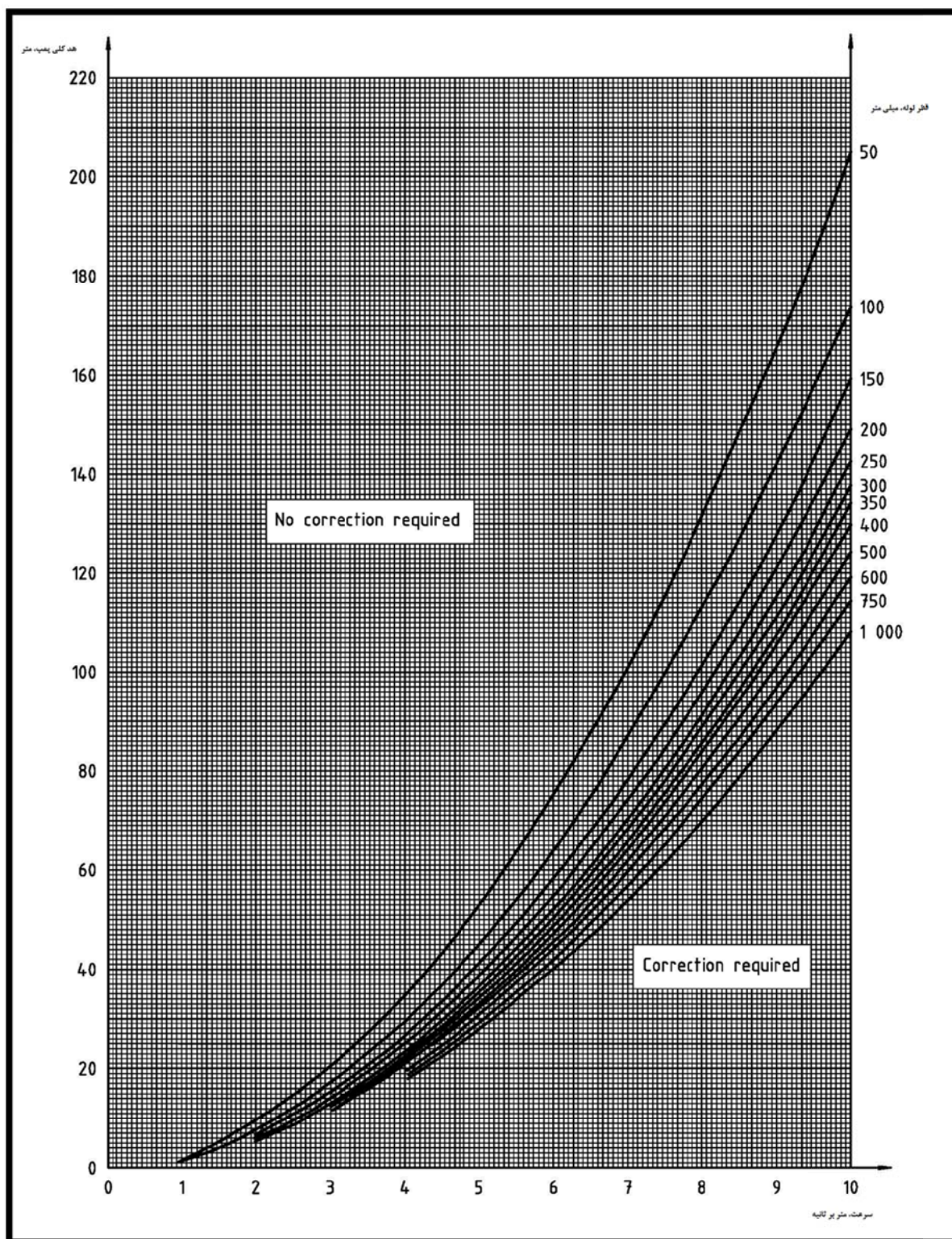
در شکل‌های (C.1) برای آزمون‌های رتبه I و (C.2) برای آزمون‌های رتبه II، یک بررسی مقدماتی در زمینه نیاز به محاسبات، ارایه شده است. این بررسی‌ها برای لوله‌های فولادی مستقیم دارای مقطع دایروی ثابت که حامل آب سرد هستند به کار می‌روند. فرض می‌شود که شیرهای ورودی و خروجی دارای قطر یکسان هستند و نقاط اندازه‌گیری نسبت به فلنج‌های ورودی و خروجی به ترتیب به اندازهٔ دو قطر، بالادست و پایین‌دست قرار دارند (به بند ۸.۲.۱ مراجعه نمایید).

اگر لوله‌ها قطرهای متفاوتی داشته باشند، باید لوله با قطر کوچک‌تر در نظر گرفته شود. سپس اگر مشخص گردد که نیازی به تصحیح وجود ندارد، نیاز به محاسبه نخواهد بود.

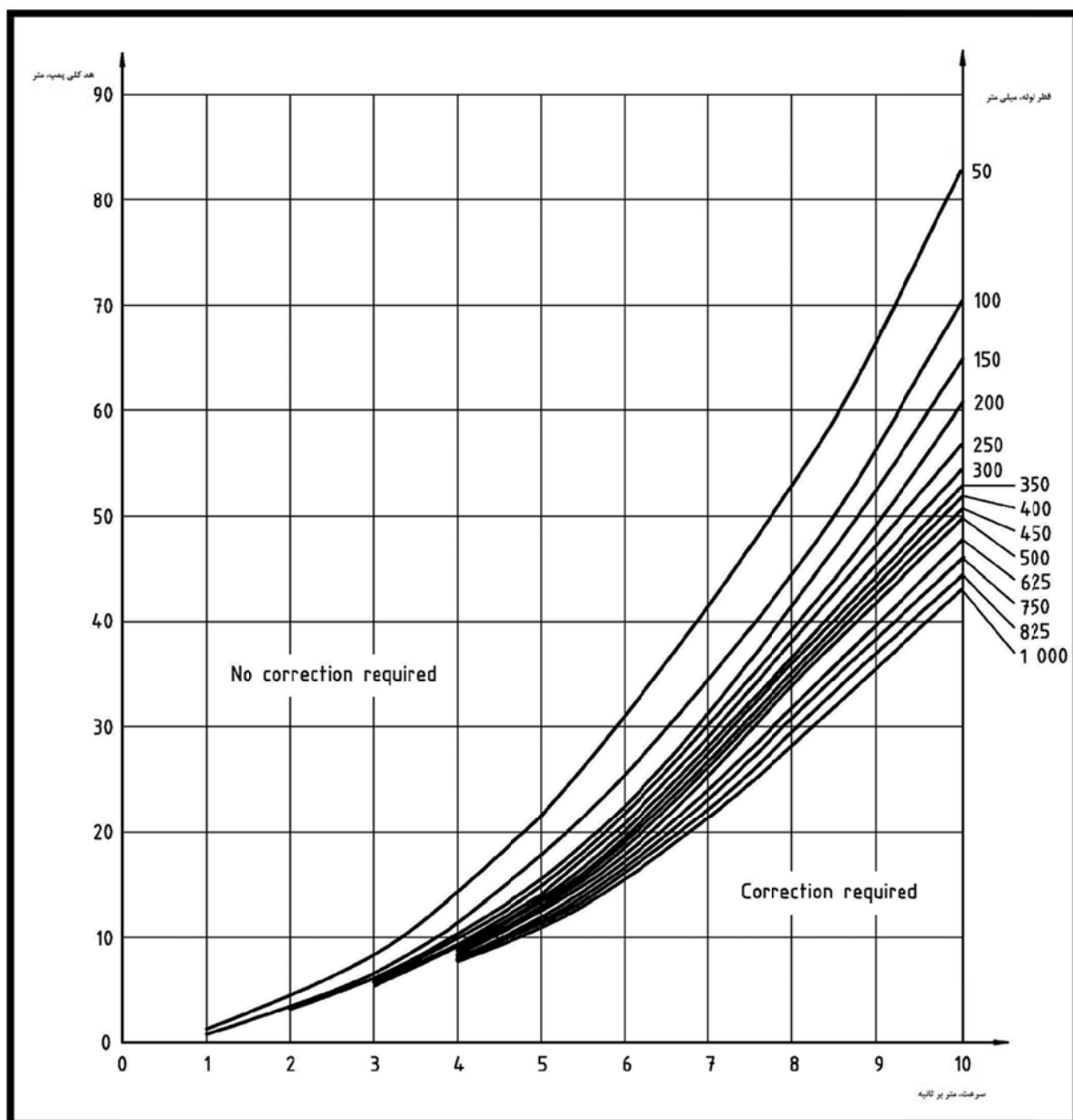
اگر مشخص گردد که نیاز به محاسبه وجود دارد، می‌توان از شکل (C.3) (که تنها برای لوله‌های فولادی حامل آب سرد به کار می‌رود) جهت تعیین مقدار λ استفاده کرد. اگر لوله‌های ساخته شده از موادی غیر از فولاد مورد استفاده قرار گیرد یا مایع موجود در لوله آب سرد نباشد، می‌توان از دیاگرام مودی که در شکل (C.4) ارایه شده، استفاده نمود یا فرمول ارایه شده برای λ در بند ۸.۲.۴ را حل کرد. می‌توان برای زبری لوله k ، از مقادیر ارایه شده در جدول (C.1) استفاده نمود.

جدول C.1- زبری یکنواخت معادل k برای لوله‌ها

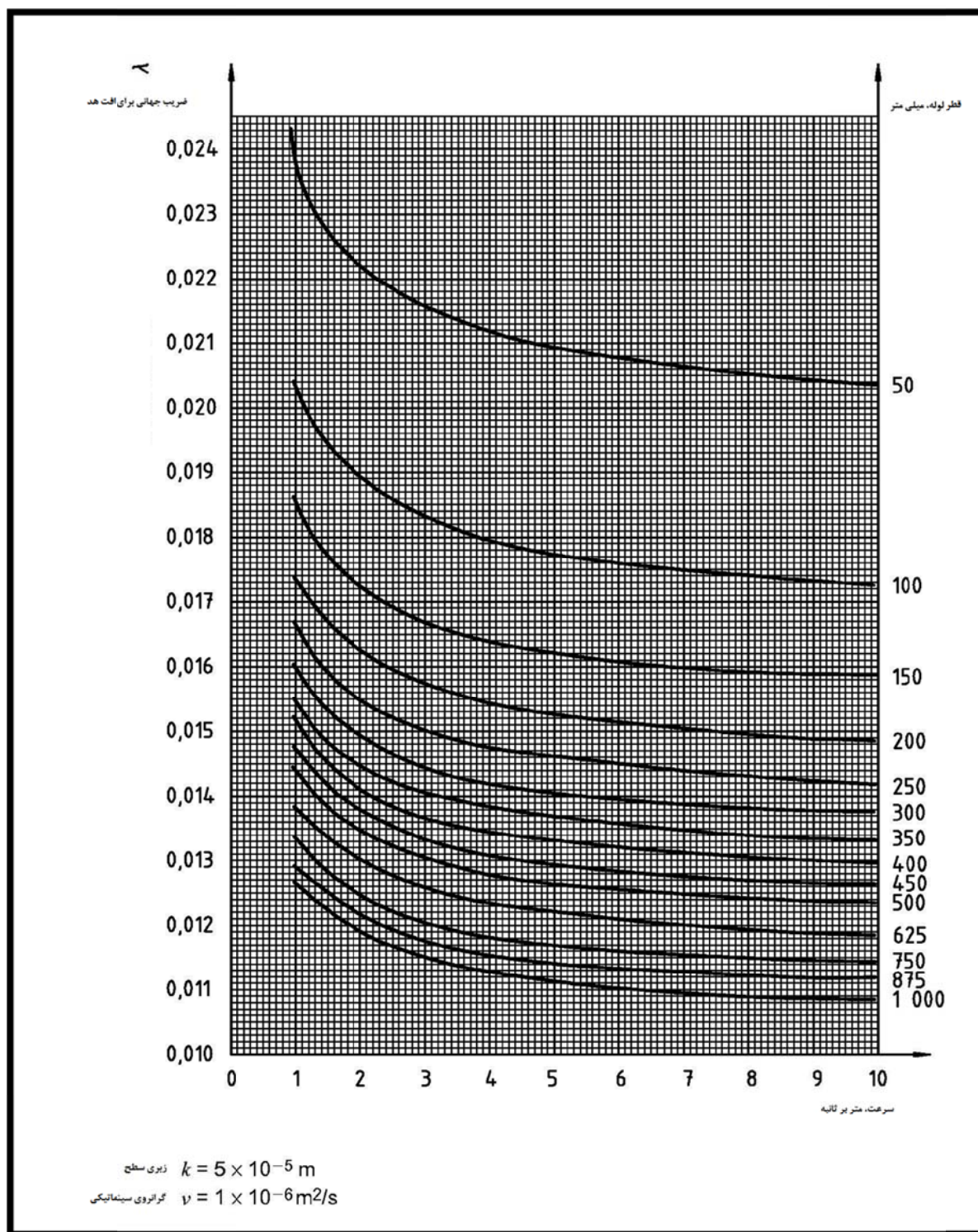
جنس لوله‌های تجاری (نو)	زبری یکنواخت معادل k سطح (mm)
شیشه، برنج کشیده شده، مس یا سرب	صاف
فولاد	۰.۰۵
چدن قیراندود	۰.۱۲
آهن گالوانیزه	۰.۱۵
چدن	۰.۲۵
بتن	۰.۳ تا ۳
فولاد نورد شده	۱ تا ۱۰



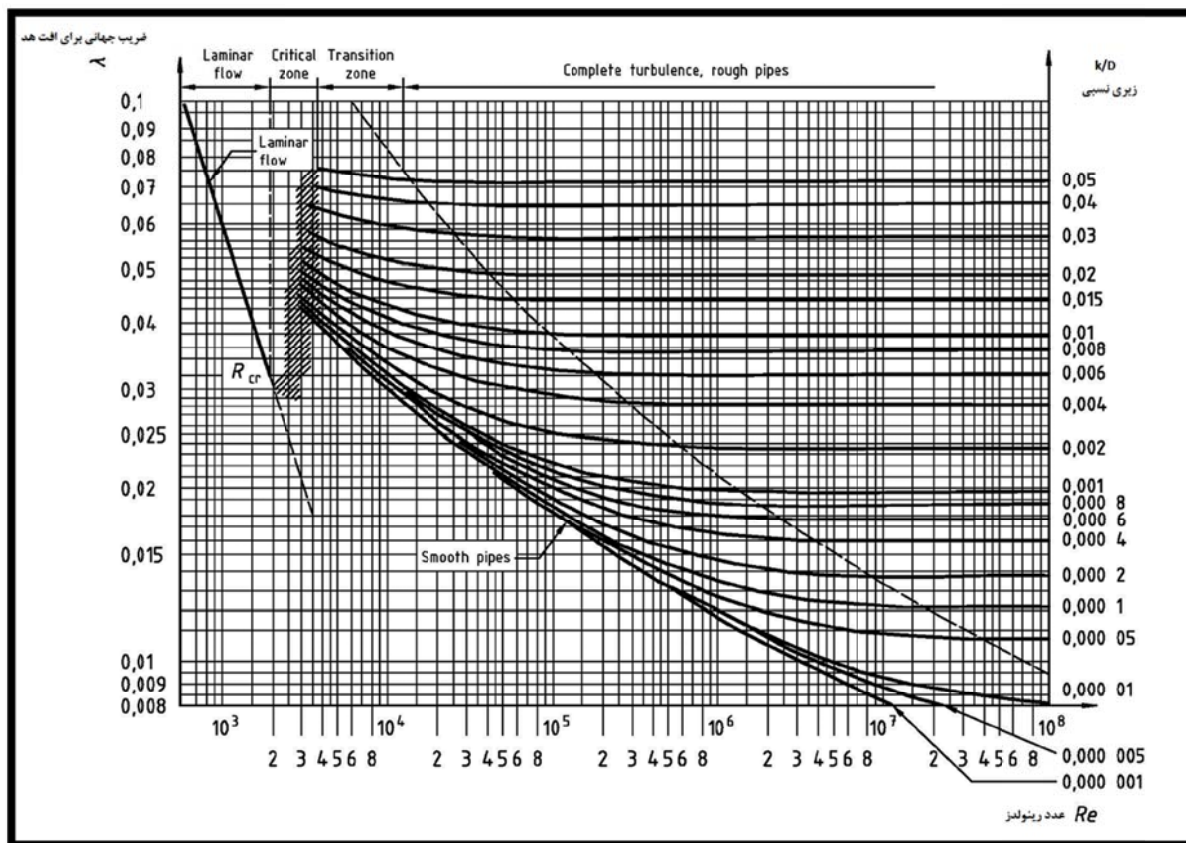
شکل C.1 - نمودار برای آزمون‌های رتبه I ، نشان‌دهنده سرعت‌هایی که بالاتر از آن تصحیح افت‌های اصطکاکی لازم است (برای اندازه‌گیری بخش‌هایی که به اندازه $2D$ بالادست و پایین‌دست فلنج‌های پمپ قرار دارند).



شکل C.2- نمودار برای آزمون‌های رتبه II، نشان‌دهنده سرعت‌هایی که بالاتر از آن تصحیح افت‌های اصطکاکی لازم است. (برای اندازه‌گیری بخش‌هایی که به اندازه $2D$ بالادست و پایین‌دست فلنج‌های پمپ قرار دارند)



شکل C.3 - ضریب عمومی افت هد



شکل C.4- مقادیر ضریب عمومی افت هد f ، (دیاگرام مودی)

پیوست D

تبدیل به یکای SI

(جهت اطلاع)

برای تبدیل یکاهای برخی از کمیت‌ها که به صورت ضرایبی بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از واحدهای SI آمده‌اند یا یکای غیر از یکای SI دارند، در جدول (D.1) ضرایب لازم مشخص شده است. ضریب تبدیل عددی است که با ضرب آن به عددی که به یکای دیگری بیان شده است، می‌توان متناظر با آن عددی در یکای SI بدست آورد.

جدول D.1- ضرایب تبدیل

ضرایب تبدیل	یکاهای مختلف		نماد در دستگاه SI	کمیت
	نماد	نام		
10^{-3} $1/3600$ $1/3600000$ $1/60000$ $75,77 \times 10^{-6}$ $28,3168 \times 10^{-3}$ $63,09 \times 10^{-6}$ $44,16 \times 10^{-6}$	l/s m^3/h l/s l/min $gal(UK)/min$ ft^3/s $gal(US)/min$ $barrel(US)/h$	لیتر بر ثانیه مترمکعب بر ساعت لیتر بر ساعت لیتر بر دقیقه گالن انگلیسی بر دقیقه فوت مکعب بر ثانیه گالن (US) بر دقیقه بشکه (US) بر ساعت (نفت)	m^3/s	دبی حجمی
10^3 $1/3,6$ $1/3600$ $0,45359237$	t/s t/h kg/h Lb/s	تن بر ثانیه تن بر ساعت کیلوگرم بر ساعت پوند بر ثانیه	kg/s	دبی جرمی
$98066,5$ $98066,5$ 10^5 10^5 $133,322$ $133,322$ $9,80665$ $1,48816$ 101325	kp/cm^2 kgf/cm^2 bar hpz $torr$ $mmHg$ mmH_2O pdl/ft^2 atm	کیلو پوند بر سانتی‌مترمربع کیلوگرم نیرو بر سانتیمترمربع بار هکتوپیز تور میلیمتر جیوه در شرایط متعارف میلیمتر آب در شرایط متعارف پوندال بر فوت مربع فشار جو در شرایط استاندارد	Pa	فشار

6894,76	$Lbf / in^2 (psi)$	پوند نیرو بر اینچ مربع		
10^3 10^3 16,0185	kg / dm^3 g / cm^3 Lb / ft^3	کیلوگرم بر دسی متر مکعب گرم بر سانتیمتر مکعب پوند بر فوت مکعب	kg / m^3	چگالی
10^3 9,80665 1,163 735,5 745,5 0,293071 9,80665	kW $kp.m / s$ $kcal_{IT} / h$ ch hp Btu / h $kgf.m / s$	کیلووات کیلو پوند متر بر ثانیه $I.T.$ کیلوکالری بر ساعت اسب بخار (فرانسوی) اسب بخار یکای حرارتی انگلیسی بر ساعت کیلوگرم نیرو متر بر ثانیه	W	توان
10^{-1} 10^{-1} 10^{-1} 9,80665 1,48816	P $dyn.s / cm^2$ $g / s.cm$ $kp.s / m^2$ $pdl.s / ft^2$	پواژ دین ثانیه بر سانتیمتر مربع گرم بر سانتیمتر ثانیه کیلو پوند ثانیه بر مترمربع پوندال ثانیه بر فوت مربع	Pas	گرانروی (گرانروی دینامیکی)
10^{-4} $92,903 \times 10^{-3}$	$St = cm^2 / s$ ft^2 / s	استوکز فوت مربع بر ثانیه	m^2 / s	گرانروی سینماتیکی

پیوست E

راهنمای انتخاب فواصل زمانی کالیبراسیون ابزارآلات اندازه‌گیری

(جهت اطلاع)

اطلاعات ارایه شده در جدول (E.1) که بخشی از آن از «استانداردهای آزمون مؤسسه هیدرولیک، ۱۹۸۸، و پمپ‌های گریز از مرکز ۱-۶» گرفته شده است تنها جهت راهنمایی ارایه شده است.

فواصل زمانی واقعی بین کالیبراسیون‌ها بستگی به تجربه موجود در مورد وسیله آزمایش و تجهیزات مربوط به آن دارد و باید در روش تضمین کیفیت مربوط به آن دستگاه آزمایش قید شده باشد.

جدول E.1: فواصل زمانی مناسب بین کالیبراسیون ابزارآلات آزمایش

تمامی مقادیر ارایه شده در جدول، سالانه هستند مگر آن‌هایی که با «ماه» مشخص شده‌اند که بیان‌گر ماهانه می‌باشند.

تجهیزات	دوره تناوب	تجهیزات	دوره تناوب
دبی	۱	توان	۶ ماه
تانک توزین	۱۰	دینامومتر	۱
تانک حجمی	*	ترک بار	نیاز ندارد
ونتوری	*	موتور کالیبره شده	۱
نازل	*	وات - آمپر - ولت متر، قابل حمل	۳
صفحه اریفیس	*	وات - آمپر - ولت متر، دائمی	۶ ماه
توربین	1	گشتاور سنج با کرنش سنج	۱۰ ماه
الکترومغناطیس	1	چرخ دنده‌های میانی تا ۳۷۵ کیلو وات	۲۰ ماه
سرریز	*	چرخ دنده‌های میانی بالاتر از ۳۷۵ کیلووات	
جریان سنج	۲	سرعت	۳
فوق صوت	۶ ماه	تاکومتر (کلی)	۱
فشار	۴ ماه	الکترونیک	۱۰
فشار سنج فنری	نیاز ندارد	وسایل پاسخ فرکانسی	۱۰
وزنی	نیاز ندارد	مغناطیسی	۵
مانومترهای ستون مایع	۴ ماه	نوری	۱
ترانسدیوسرها		استروبوسکوپ	
		گشتاورسنج (سرعت)	

* نیازی به کالیبراسیون ندارد مگر در صورت تغییر ابعادی قابل ملاحظه و تردید برانگیز.

پیوست F**هزینه‌ها و تکرار آزمون‌ها****(جهت اطلاع)**

یادآوری: مواردی با ماهیت کاملاً تجاری نظیر هزینه آزمون‌ها در دامنه کاربرد این استاندارد نمی‌باشد و باید موضوع توافق خاص بین طرفین ذی‌نفع باشد.

۱. هزینه آزمون‌های پذیرش و آزمون‌های خاص

توصیه می‌شود هزینه آزمون‌های پذیرش و آزمون‌های خاص به وضوح در قرارداد اظهار شود. توجه به این نکته معطوف شود که هزینه‌های آزمون چنانچه آزمون‌های *NPSH* انجام شود افزایش می‌یابد.

۲. تکرار آزمون‌ها

در صورتی که در صحت یا دقت کافی در داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری، تردید وجود داشته باشد سازنده و خریدار هر دو مجازند تقاضای تکرار آزمون را نمایند. اگر اندازه‌گیری جدید نیز قادر به توجیه موارد مشکوک نباشد طرف تقاضا-کننده برای تکرار آزمون باید هزینه تکرار آزمون را در نظر گیرد.

پیوست G

نمودار تصحیح عملکرد برای مایعات لزج

(جهت اطلاع)

شکل (G.1) نمودار تصحیح عملکرد است که برای تعیین عملکرد پمپ گریز از مرکز حامل مایع لزج در شرایطی که عملکرد آن با آب معلوم باشد به کار می‌رود. منحنی‌های تصحیح برای هیچ نوع پمپ خاصی، قطعی نیستند.

در صورت نیاز به اطلاعات دقیق، آزمایشات عملکرد باید با مایع لزج مورد نظر انجام شود.

چون شکل (G.1) بر پایه ملاحظات تجربی و نه نظری بنا شده است، برون‌یابی خارج از حدود نشان داده شده نتایجی خارج از محدوده تجربی خواهد داد و این نمودارها چنین محدوده‌هایی را پوشش نمی‌دهند. استفاده از برون‌یابی در این حالت توصیه نمی‌شود.

این نمودار تنها برای پمپ‌های دارای طراحی معمول هیدرولیکی که در محدوده کارکرد عادی دارای پروانه‌های باز و بسته هستند کاربرد دارد. این نمودار نباید برای پمپ‌های جریان محوری و جریان مختلط و پمپ‌های دارای طراحی هیدرولیکی خاص، که حامل مایعات لزج یا غیریکنواخت هستند به کار رود.

شکل (G.1) تنها در صورتی که $NPSH$ کافی برای جلوگیری از کاویتاسیون موجود باشد به کار می‌رود.

این نمودار را باید تنها برای مایعات نیوتنی (یکنواخت) بکار رود. ژل‌ها، دوغاب‌ها، خمیرکاغذ¹ و دیگر مایعات غیریکنواخت، بسته به خواص ویژه آن مایعات، می‌توانند نتایج بسیار گوناگونی به وجود آورند.

نمادها و تعاریف ارائه شده در جدول (G.1) در این پیوست به کار می‌روند.

جدول G.1- نمادها و تعاریف مورد استفاده در این پیوست

نماد	کمیت	تعریف
Q_{vis}	دبی لزج	دبی، اگر مایع پمپ شونده لزج باشد
H_{vis}	هد لزج	هد، اگر مایع پمپ شونده لزج باشد
η_{vis}	بازده لزج	بازده، اگر مایع پمپ شونده لزج باشد
P_{vis}	توان ورودی لزج	توان ورودی مورد نیاز برای پمپ در شرایط لزج
Q_w	دبی آب	دبی هنگام پمپ نمودن آب
H_w	هد آب	هد اگر آب پمپ شود
η_w	بازده آب	بازده هنگامی که آب پمپ می‌شود
ρ	چگالی	

	ضریب تصحیح دبی	C_Q
	ضریب تصحیح هد	C_H
	ضریب تصحیح بازده	C_η
	دبی آبی که در آن بیشترین بازده بدست می آید	Q_{NW}

روابط زیر جهت تعیین عملکرد گرانروی پمپ در صورت معلوم بودن عملکرد معادل با آب به کار می روند:

$$Q_{vis} = C_Q \times Q_W \quad (۱)$$

$$H_{vis} = C_H \times H_W \quad (۲)$$

$$\eta_{vis} = C_\eta \times \eta_W \quad (۳)$$

$$P_{vis} = \frac{Q_{vis} \times H_{vis} \times \rho \times g}{\eta_{vis}} \quad (۴)$$

C_Q ، C_H و C_η از شکل (G.1) که بر پایه عملکرد آبی بنا شده، بدست می آیند.

از روی منحنی بازده، دبی معادل آب ($1.0 \times Q_{NW}$) را که در آن بیشترین بازده بدست می آید پیدا نمایید.

از روی این دبی، دبی های زیر را بدست آورید:

$$(0.6 \times Q_{NW}) \quad (۵)$$

$$(0.8 \times Q_{NW}) \quad (۶)$$

$$(1.2 \times Q_{NW}) \quad (۷)$$

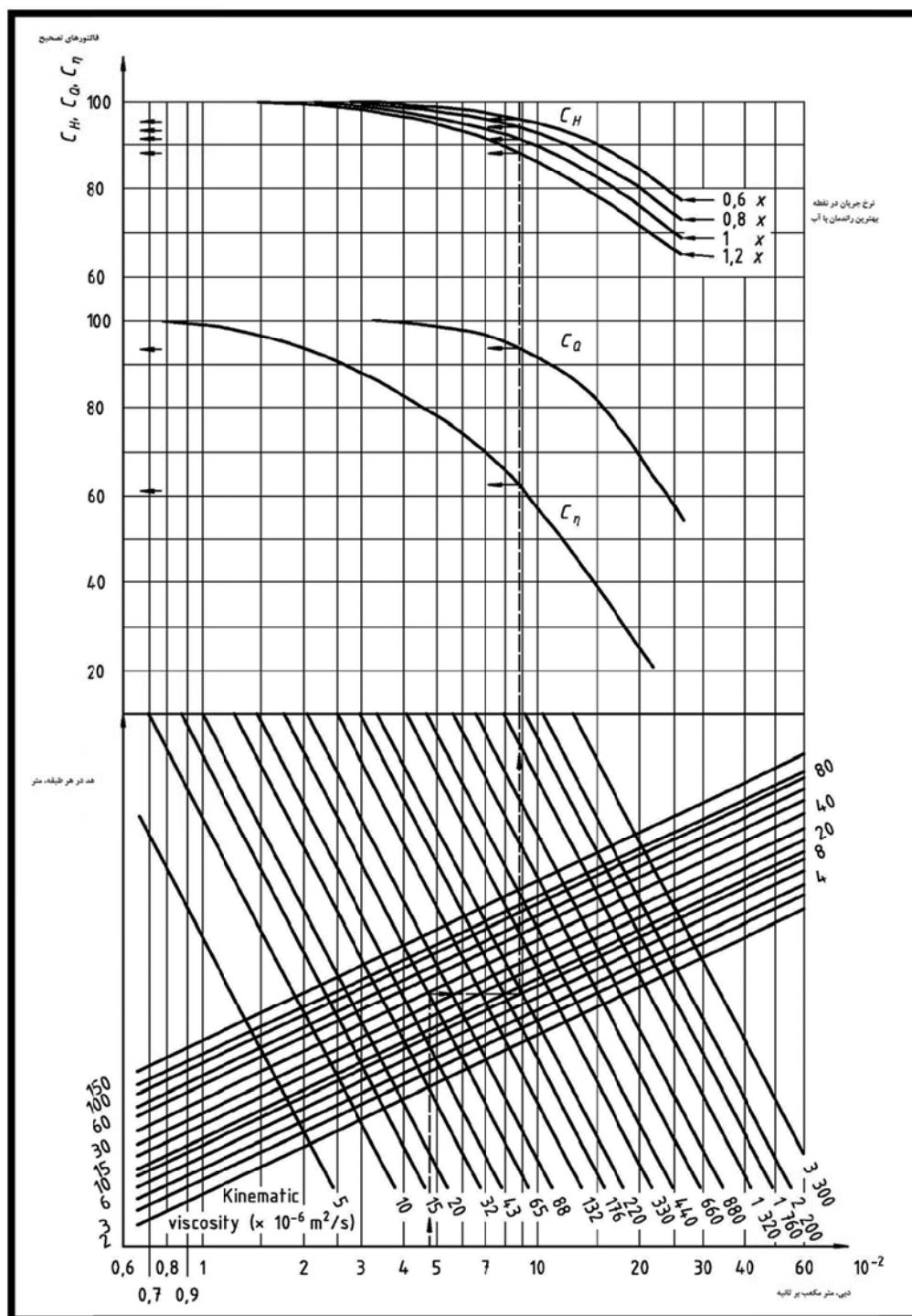
سپس از پایین نمودار وارد شده، عدد دبی در بهترین بازده ($1.0 \times Q_{NW}$) را انتخاب کرده سپس بالا رفته تا هد متناظر با

این دبی (در یک طبقه) (H_W) به دست آید، سپس از آن نقطه به صورت افقی (به سمت چپ یا راست) به سمت گرانروی

مورد نظر رفته و سپس از آن جا بالا رفته تا به منحنی های مختلف تصحیح برسید.

مقادیر C_H ، C_Q ، C_η را برای تمامی چهار مورد دبی، قرائت نمایید.

هر یک از هدهای بدست آمده را در ضرایب تصحیح متناظر ضرب نمایید تا هدهای تصحیح شده به دست آیند. هر یک از مقادیر بازده را در C_{η} ضرب نمایید تا مقدار تصحیح شده بازده که در دبی تصحیح شده متناظر به کار می رود، بدست آید. نقاط هد تصحیح شده و بازده تصحیح شده را بر حسب دبی تصحیح شده رسم نمایید. از نقاط بدست آمده منحنی های همواری عبور دهید. هد دبی فلکه بسته را می توان تقریباً معادل مقدار مربوط به آب در نظر گرفت. توان ورودی لزج (P_{vis}) را از رابطه ارایه شده در بالا محاسبه نمایید. نقاط بدست آمده را مشخص نموده، منحنی همواری از آنها بگذرانید. این منحنی باید مشابه و تقریباً موازی منحنی توان ورودی آب باشد.



یادآوری: مقادیر ارائه شده در این شکل میانگین‌هایی از آزمون‌های معمول پمپ‌های گریز از مرکز یک طبقه از DN50 تا DN200 هستند که حامل روغن‌های نفتی می‌باشند. این داده‌ها بر پایه استانداردهای موسسه هیدرولیک قرار دارند.

شکل G.1- نمودار تصحیح عملکرد برای مایعات لزج

پیوست H

کاهش $NPSH_R$ برای پمپ‌های حامل مایعات هیدروکربنی و آب با دمای بالا

(جهت اطلاع)

شکل (H.1) نمودار ترکیبی از کاهش $NPSH_R$ است که برای مایعات هیدروکربنی و آب با دمای بالا به کار می‌رود. این نمودار بر پایه داده‌های آزمایش‌گاهی نتیجه گرفته شده از آزمایشات انجام شده روی سیالات مذکور، بنا شده است و به صورت تابعی از دمای سیال و فشار بخار در آن دما رسم شده است.

در استفاده از شکل (H.1) باید محدودیت‌ها و ملاحظات زیر رعایت گردند:

تا زمان بدست‌آمدن تجربه واقعی در مورد کارکرد پمپ تحت شرایطی که این نمودار به کار می‌برد، لازم است کاهش $NPSH_R$ به ۵۰ درصد $NPSH_R$ مورد نیاز پمپ در هنگام کار با آب سرد محدود شود.

این نمودار فقط برای پمپ‌هایی که حامل مایع خالص هستند صادق است. اگر هوای محلول یا دیگر گازهای تقطیرناپذیر در مایع وجود داشته باشد، عملکرد پمپ حتی با $NPSH_A$ های عادی تاثیر زیادی می‌پذیرد و با کاهش $NPSH_A$ این تاثیر بیشتر نیز خواهد شد. اگر هوای نامحلول یا دیگر مواد تقطیرناپذیر در مایع موجود باشد، و در صورتی که فشار مطلق در ورودی پمپ چنان پایین باشد که بتوان این مواد تقطیرناپذیر را از محلول خارج ساخت، مقدار $NPSH_A$ باید بالاتر از آن مقداری باشد که برای آب سرد لازم است تا از عملکرد نامناسب پمپ به دلیل خارج شدن این مواد جلوگیری شود.

در مخلوط‌های هیدروکربنی فشار بخار می‌تواند با تغییر دما به صورت قابل ملاحظه‌ای تغییر نماید و لازم است برای دماهای واقعی مربوط به پمپ کردن مخلوط، فشارهای بخار مخصوصی تعیین گردند.

هنگام به‌کارگیری نمودار برای مایعات با دمای بالا، به‌ویژه آب، باید توجه ویژه‌ای به حساسیت سیستم مکش به تغییرات گذرای دما و فشار مطلق نمود که به‌کارگیری حاشیه ایمنی $NPSH_R$ را جهت جلوگیری از کاسته شدن آن به صورتی که از حالت جریان پایدار خارج نشود الزامی می‌نماید.

به دلیل فقدان داده‌های لازم برای نمایش کاهش $NPSH_R$ بزرگ‌تر از سه متر، نمودار محدود شده است و نباید از برون‌یابی خارج از حدود آن استفاده نمود.

از پایین نمودار با دمایی که مایع پمپ می‌شود وارد شوید (شکل H.1) و به صورت عمودی به سمت فشار بخار حرکت کنید. از این نقطه، در طول یا موازی خطوط مایل به سمت راست نمودار بروید تا از آن‌جا مقدار کاهش $NPSH_R$ را از روی درجات تعیین شده بخوانید. اگر این مقدار از نصف مقدار $NPSH_R$ آب سرد بیشتر بود، به اندازه نصف مقدار

$NPSH_R$ آب سرد برای بدست آوردن $NPSH_R$ تصحیح شده، از آن کم نمایید. اگر عدد روی نمودار از نصف عدد $NPSH_R$ آب سرد کمتر بود، این عدد بدست آمده از نمودار را از عدد $NPSH_R$ آب سرد کم نمایید تا به $NPSH_R$ تصحیح شده برسید.

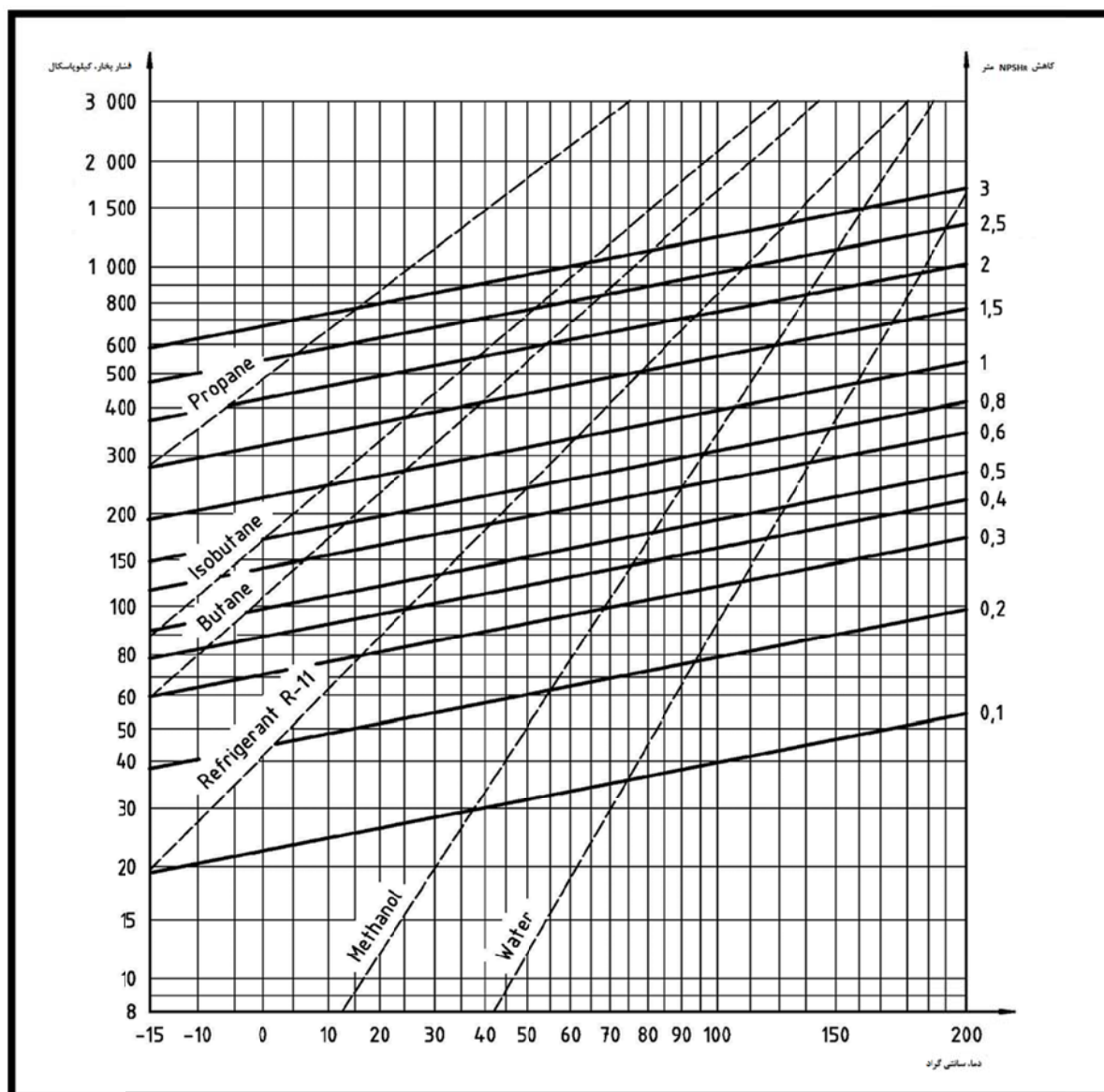
یادآوری ۱: داده‌های موجود محدود به مایعاتی است که رابطه دما به فشار بخار آن‌ها در شکل آمده است. بدون پشتوانه تجربی، استفاده از این نمودار برای مایعاتی غیر از مایعات هیدروکربنی و آب توصیه نمی‌شود.

یادآوری ۲: مقادیر کاهش $NPSH_R$ واقعی که در مورد مقدار $NPSH_R$ آب سرد به کار می‌رود، عبارتند از:

- یا آن عددی است که در روی درجات سمت راست نمودار نوشته شده است یا

- برابر با نصف $NPSH_R$ آب سرد است

هرکدام که کوچک‌تر باشد.



یادآوری: داده‌ها بر پایه استانداردهای مؤسسه هیدرولیک قرار دارند.

شکل H.1- کاهش $NPSH_R$ برای پمپ‌های انتقال مایعات هیدروکربنی و آب با دمای بالا

پیوست I

ارزیابی آماری نتایج اندازه‌گیری شده

(جهت اطلاع)

۱. نمادها

نمادهای دیگر به کار رفته در این پیوست در جدول (I.1) آمده است:

جدول I.1- نمادهای اضافی

نماد	تعریف
a, r	پارامترهای آماری
a', r'	پارامترهای آماری
h	نسبت هد کل نقطه آزمون $h = \frac{H}{H_G}$
$\bar{h}$	مقدار میانگین نسبت هد کل $\bar{h} = \frac{1}{N} \sum h$
N	تعدادی از نقاط آزمون در محدوده $0.95 Q_G$ تا $1.05 Q_G$
p	نسبت توان ورودی پمپ نقطه آزمون $p = \frac{P}{P_G}$
$\bar{p}$	مقدار میانگین نسبت توان ورودی پمپ $\bar{p} = \frac{1}{N} \sum p$
q	نسبت دبی نقطه آزمون $q = \frac{Q}{Q_G}$
$\bar{q}$	مقدار میانگین نسبت دبی $\bar{q} = \frac{1}{N} \sum q$
S_q	$S_q = \sum (q - \bar{q})^2$
S_h	$S_h = \sum (h - \bar{h})^2$
S_p	$S_p = \sum (p - \bar{p})^2$
S_{qh}	$S_{qh} = \sum (q - \bar{q})(h - \bar{h})$
S_{qp}	$S_{qp} = \sum (q - \bar{q})(p - \bar{p})$
یادآوری: مجموع‌های بالا، برای اندازه‌گیری‌های نقطه آزمون موجود در محدوده $0.95 Q_G$ تا $1.05 Q_G$ به کار می‌روند.	

۲. کاربرد و اعتبار این پیوست

از تجزیه و تحلیل آماری دو متغیر می‌توان جهت ارزیابی مقدار متوسط یکی از آن‌ها در مقدار داده شده دیگری استفاده کرد. روش آماری خاص به کار رفته در این پیوست را می‌توان در صورتی که توزیع نقاط آزمون حول عدد تعیین شده از الزامات معینی پیروی نماید، به کار برد.

۳. تعداد و توزیع مجموعه مشاهدات

حداقل باید ۹ مجموعه از اندازه‌گیری‌ها صورت پذیرد. نقاط آزمون به دست آمده باید چنان توزیع شده باشند که در صورت تصحیح تا سرعت دورانی مشخص شده یا فرکانس مشخص شده (با استفاده از بند ۶.۱.۲)، اندازه‌گیری‌های دبی، در محدوده $\pm 5\%$ درصد دبی مشخص شده قرار گیرد. از این نقاط آزمون، حداقل ۳ تا باید در محدوده ثبت ۳ درصد تا ۵ درصد دبی قرار گیرند و حداقل ۳ تا دیگر در محدوده منفی ۳ تا ۵ درصد باشند. برای راحتی کاربرد روش آماری ارایه شده، بهتر است که بیشتر از کمترین تعداد اعداد لازمه تست که همگی در محدوده $\pm 5\%$ درصد مطرح شده برای دبی هستند، مشاهده انجام شود. در صورت امکان، تعداد ۲۰ نقطه توصیه می‌شود.

۴. ارزیابی مقادیر میانگین

۴.۱. مقدار میانگین هد کل پمپ

مقدار میانگین هد کل پمپ از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$H_m = [\bar{h} + a(1 - \bar{q})]H_G \quad (1)$$

۴.۲. مقدار میانگین توان ورودی پمپ

مقدار میانگین توان ورودی پمپ از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$P_m = [\bar{p} + a'(1 - \bar{q})]P_G \quad (2)$$

۴.۳. ارزیابی نتایج آزمایش

مقادیر پارامترهای آماری توسط روابط زیر بدست می‌آیند:

$$a = r + \left[\frac{r^2 + 1}{S_{qp}^2} \right]^{1/2} \cdot S_{qp} \quad (3)$$

$$a' = r' + \left[\frac{r'^2 + 1}{S_{qp}^2} \right]^{1/2} \cdot S_{qp} \quad (4)$$

$$r = \frac{S_h - S_q}{2S_{qh}} \quad (5)$$

$$r' = \frac{S_p - S_q}{2S_{qp}} \quad (6)$$

یادآوری: روابط a و a' دارای عوامل S_{qh} و S_{qp} هستند تا اطمینان حاصل آید که مقادیر مثبت یا منفی مناسبی برای شیب منحنی عملکرد بدست می‌آید.

باید خاطر نشان ساخت که همچنین می‌توان از تجزیه و تحلیل آماری برای ارزیابی ۹۵ درصد حدود اطمینان هد کل و توان ورودی در دبی مشخص شده، از مجموعه مشاهداتی که مطابق بند ۳ انجام شده است، استفاده نمود. این موارد به تفصیل در مرجع [17] بحث شده است.

پیوست J

برگهٔ آزمون پمپ

(جهت اطلاع)

برگهٔ آزمون پمپی که در این پیوست ارائه شده است، برای راهنمایی جهت بیان نتایج آزمایش پمپ و تبیین آن‌ها آورده شده است. این بدان معنا نیست که این برگه، تمامی اطلاعات مورد نیاز برای آزمون پمپ را دربردارد بلکه ممکن است بسته به نوع پمپ، نحوه کاربرد آن و نحوه محاسبات نیاز به اصلاح داشته باشد.

برگه آزمون پمپ

برگه آزمون پمپ										شماره برگه										نوع آزمون									
خریدار																													
نوع										شماره سفارش سازنده										شماره سفارش									
پمپ																				قطر خارجی									
																				قطر داخلی									
																				قطر پروانه									
مقادیر ضمانت شده										دبی (Q_G)										سرعت دوران η_{sp}									
هد کل (H_G)										بازده η_G										هد مکش مثبت خالص ($NPSH$)									
مایع پمپ شده										دما (t)										فشار بخار (P_v)									
چگالی (ρ)																				درجه اسیدی بودن (pH)									
موتور										سازنده										تأیید آزمون									
نوع										توان										سرعت دورانی									
										دبی										هد ورودی									
										هد خروجی										$(NPSH)$									
										گشتاور										توان									
										سرعت دورانی										ولتاژ									
										جعبه دنده										جریان									
روش آزمایش										روش بکار رفته																			
										ثابت																			
شرایط آزمون										دمای محیط										فشار جو									
										دمای مایع آزمون										تصحیح هد نسبت به سطح مبنا									
																				ورودی									
																				خروجی									
نتایج اندازه‌گیری										یک‌ها										۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰ ۱۱									
سرعت دورانی																													
فواصل زمانی																													
دبی										قرائت																			
دبی اندازه‌گیری شده																													
قرائت هدرخروجی																													
قرائت هد ورودی																													
هد خروجی																													
هد ورودی																													
هد										$\Delta U^2 / 2g$																			
اختلاف نقاط اندازه‌گیری																													
هد کلی پمپ																													
										$U_1^2 / 2g$																			

پیوست K

فهرست کنترل موارد

(جهت اطلاع)

فهرست کنترل زیر، مواردی است که توافق بر سر انجام آنها بین سازنده/ تامین کننده و خریدار قبل از انجام آزمون توصیه می شود. باید یادآوری نمود هنگام عقد قرارداد معمولاً لازم نیست روی همه موارد زیر توافق حاصل شود.

۱- انتخاب رتبه آزمون (به بند ۵.۱ مراجعه شود).

۲- دامنه ضمانت ها:

الف - پمپ بدون موتور یا مجموعه موتور - پمپ با هم (به بند ۱۰.۴.۳)

ب - پمپ با یا بدون اتصالات

پ - مقادیر ضمانت شده (به عنوان مثال مقدار دبی، هد کل، توان ورودی، بازده، $NPSH_R$ و غیره) برای یک یا چند

نقاط کارکردی (به بند ۴.۱ مراجعه شود)

۳- سؤال های مطرح در قرارداد؛ از قبیل تعداد پمپ هایی که از یک دسته مشابه پمپ باید آزمون شوند (به بند ۵.۱.۲ مراجعه شود).

۴- موارد دیگر رفتار پمپ که باید در حین آزمون کنترل شود (به بند ۵.۲.۶ مراجعه شود)

۵- محل آزمون ها (به بند ۵.۲.۲ مراجعه شود)

۶- زمان آزمون ها (به بند ۵.۲.۳ مراجعه شود)

۷- مسئول آزمون هنگامی که آزمون در مجموعه سازنده انجام نمی شود (به بند ۵.۲.۴ مراجعه شود)

۸- انتخاب روش های اندازه گیری (به بند های ۷ تا ۱۰ مراجعه شود)

۹- تجهیزات آزمون ها (به بند ۵.۲.۷ مراجعه شود)

۱۰- ترتیب آزمون عملکرد پمپ (به بندهای ۵.۳.۲ و ۵.۳.۳ و ۸.۲.۱ مراجعه شود) و برای آزمون کاویتاسیون (به بند ۱۱.۲.۳ مراجعه شود)

۱۱- ترتیب اثبات قابلیت هواگیری پمپ برای پمپ های خود مکش (به بند ۵.۳.۷ مراجعه شود)

۱۲- روش پیش بینی عملکرد پمپ از یک آزمون در شرایطی که مایع پمپ شونده آب سرد تمیز باشد (به بند ۵.۴.۵ مراجعه شود)

۱۳- عدول از سرعت دورانی خارج از محدوده رواداری های مجاز (به بند ۵.۴.۳ و ۶.۱.۲ مراجعه شود).

- ۱۴- فرمول انتقالی نمایی برای $NPSH_R$ (به بند ۶.۱.۲ مراجعه شود)
- ۱۵- عدول از ولتاژ و فرکانس خارج از رواداری‌های مجاز (به بند ۶.۱.۲ مراجعه شود)
- ۱۶- مقادیر رواداری در نقطه رفتار و سایر نقاط کارکردی (به بندهای ۴.۱، ۶.۳ و ۱۱.۳.۳ مراجعه شود)
- ۱۷- افت‌های ورودی و انتقالی در پمپ‌های چاه عمیق عمودی (به بندهای ۸.۲.۳ و ۱۰.۴.۲ مراجعه شود)
- ۱۸- تلفات فشار و اصطکاکی در ورودی و خروجی (به بند ۸.۲.۴ و پیوست C مراجعه شود)
- ۱۹- تلفات کابل (به بند ۱۰.۴.۱ مراجعه شود)
- ۲۰- تلفات جعبه دنده (به بند ۱۰.۴.۴ مراجعه شود)
- ۲۱- روش تایید تضمین شده کاویتاسیون (به بند ۱۱.۱.۲ مراجعه شود)
- ۲۲- مایع مورد استفاده برای آزمون عملکرد (به بند ۴.۲ مراجعه شود) و برای آزمون کاویتاسیون (به بند ۱۱.۲.۳ مراجعه شود).
- ۲۳- هزینه‌های آزمون (به پیوست F مراجعه نمایید)

پیوست ZA

کتابنامه

(جهت اطلاع)

- [1] ISO 31 (all parts), Quantities, units and symbols.
- [2] ISO 2372, Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s — Basis for specifying evaluation standards.
- [3] ISO 2975-1, Measurement of water flow in closed conduits — Tracer methods — Part 1: General.
- [4] ISO 2975-2, Measurement of water flow in closed conduits — Tracer methods — Part 2: Constant rate injection method using non-radioactive tracers.
- [5] ISO 2975-3, Measurement of water flow in closed conduits — Tracer methods — Part 3: Constant rate injection method using radioactive tracers. [6] ISO 2975-6, Measurement of water flow in closed conduits — Tracer methods — Part 6: Transit time method using non-radioactive tracers.
- [7] ISO 2975-7, Measurement of water flow in closed conduits — Tracer methods — Part 7: Transit time method using radioactive tracers.
- [8] ISO 3740, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Guidelines for the use of basic standards.
- [9] ISO 3744, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane.
- [10] ISO 3745, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms.
- [11] ISO 3746, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane
- [12] ISO 3945, Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 r/s — Measurement and evaluation of vibration severity in situ.
- [13] ISO 4185, Measurement of liquid flow in closed conduits — Weighing method.
- [14] ISO 6081, Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Guidelines for the preparation of test codes of engineering grade requiring noise measurements at the operator's or bystander's position.
- [15] IEC 60041:—3□, International code for the field acceptance tests of hydraulic turbines.
- [16] IEC 60497, International code for model acceptance tests of storage pumps.
- [17] E. Grist and R. P. Hentschke, The Verification of Centrifugal Pump Performance Guarantees by Acceptance Tests — An Alternative Method. I.Mech.Eng. London, March 1989.