



# WHITE PAPERS

---

ASK-RD-ENG-030

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.

## آزمون های پذیرش هیدرولیکی برای پمپ های سانتریفیوژ

### مقدمه

هدف از یک آزمون پذیرش تحقیق گارانتی فنی، هیدرولیکی و مکانیکی توافق شده بین خریدار و سازنده پمپ می باشد. هرگونه اثبات گارانتی شامل هزینه است و بنابراین باید محدود به اطلاعات اساسی برای کاربرد مطلوب باشد. برای پمپ های استاندارد، معمولاً تنها تست های نمونه ای انجام می شود. آزمون های پذیرش به انواع زیر طبقه بندی می شوند:

- **آزمون پذیرش کارخانه ای.** که در محل ایستگاه تست سازنده بوسیله ابزارهای اندازه گیری بسیار دقیق انجام می شود.
- **آزمون پذیرش در سایت.** که در محل نصب پمپ در سایت انجام می گیرد و دقت آن وابستگی زیادی به تجهیزات اندازه گیری در محل نصب پمپ دارد. اگر توافق قراردادی وجود داشته باشد، آزمون پذیرش در سایت قابل انجام می باشد.
- **آزمون های دوره ای در سایت.** که تغییرات در عملکرد پمپ یا سایش را در مدت زمان های مشخص ارزیابی می کند.
- **آزمون های مدل.** در مواقعی که پمپ بزرگی برای بار اول تولید می شود، به منظور بررسی عملکرد هیدرولیکی و اجتناب از هزینه های مربوط به دوباره کاری، ابتدا با استفاده از قوانین تشابه، مقیاس کوچکتری از پمپ ساخته می شود و تحت آزمون پذیرش قرار می گیرد. با این کار اطمینان بیشتری از صحت عملکرد هیدرولیکی در مقیاس کامل پمپ بدست آید.

### ۱. نکات اولیه

آزمون های پذیرش هیدرولیکی مطابق با آیین نامه های ثابت که در استانداردهای مناسب تعریف شده است، می باشد. این آیین نامه ها، ارتباط بین سازنده یا تأمین کننده پمپ و خریدار یا بازرس تأییدکننده آزمون را تسهیل می کند. عموماً آیین نامه شامل موارد زیر می باشد:

- تعریف تمامی پارامترهای مورد نیاز برای توصیف عملکرد پمپ سانتریفیوژ به منظور تعیین نقاط گارانتی ( $Q_G$ ,  $H_G$ )، راندمان ( $\eta_G$ ) و مقدار NPSH مورد نیاز (NPSHR).
  - تعیین گارانتی های فنی و شرایط احراز آنها
  - توصیه هایی برای آماده سازی برای اجرای آزمون های پذیرش جهت نقاط گارانتی.
  - ترسیم روش هایی که برای مقایسه نتایج اندازه گیری شده با نقاط گارانتی باید استفاده شود و توصیف نتیجه گیری.
  - توصیه هایی برای تهیه گزارش تست
  - توصیف مهمترین روش های اندازه گیری که برای تأیید نقاط گارانتی می تواند مورد استفاده قرار گیرد.
- عباراتی که در این متن مورد استفاده قرار می گیرد مانند "گارانتی" یا "پذیرش" مفهوم فنی دارند و نباید از منظر قانونی تلقی شوند. عبارت "گارانتی" مقادیر تست قراردادی را مشخص می کند، اما نسبت به قوانین و تعهدات که اگر این مقادیر بدست نیامده باشد، هیچ معنی ندارد. عبارت "پذیرش" هیچ معنی حقوقی در این متن ندارد. آزمون پذیرش موفق خودش معنی پذیرش حقوقی ندارد. اندازه گیری های دقیقتر آزمون و نزدیکتر به مقادیر گارانتی شامل رویه های اضافی و پر هزینه می باشد. این اندازه گیری ها برای مواقعی که اطمینان از کارکرد بدون خطای تأسیسات ضروری است، استفاده می شود.

### ۲. آزمون های پذیرش مطابق استاندارد EN ISO 9906

این استاندارد برای آزمون هیدرولیکی پمپ های سانتریفیوژ است و ترکیبی از استانداردهای بین المللی قبلی زیر می باشد:

- ISO 3555: "پمپ های سانتریفیوژ (شعاعی، جریان مختلط و محوری) - راهنمایی هایی برای آزمون های پذیرش - کلاس B" (مطابق با گرید ۱ استاندارد جدید)

- ISO 2548: "پمپ های سانتریفیوژ (شعاعی، جریان مختلط و محوری) - راهنمایی هایی برای آزمون های پذیرش - کلاس C" (مطابق با گرید ۲ استاندارد جدید)  
این استاندارد بیشتر جایگزین استاندارد ملی زیر شده است:
- DIN 1944: "آزمون های پذیرش برای پمپ های سانتریفیوژ"  
فاکتورهای ترانس جدید به گونه ای معرفی شده اند که تا آنجا که امکان دارد، یک پمپ که تحت استانداردهای بین المللی قبلی (ISO 2548 و یا ISO 3555) قابل تأیید بوده است، در استاندارد بین المللی جدید نیز قابل تأیید باشد.
- استاندارد بین المللی ISO 5198 با نام "پمپ های سانتریفیوژ (شعاعی، جریان مختلط و پمپ های محوری) - دستورالعمل برای آزمون های عملکرد هیدرولیکی - گرید دقیق" نباید به عنوان یک دستورالعمل آزمون پذیرش تلقی شود. این استاندارد راهنمایی برای اندازه گیری های خیلی دقیق از طریق روش های ترمودینامیکی برای اندازه گیری مستقیم راندمان ها می باشد، اما برای تأیید گارانتی هیچ توصیه ای ندارد.

## ۱.۲ کلیات

- استاندارد بین المللی EN ISO 9906 آزمون های عملکرد هیدرولیکی برای پذیرش پمپ های سانتریفیوژ (شعاعی، جریان مختلط و پمپ های محوری)، از این به بعد برای ساده سازی "پمپ ها" نامیده می شود) را مشخص کرده است.  
استاندارد شامل دو گرید دقت در اندازه گیری می باشد:
- گرید ۱، برای دقت بالاتر
- گرید ۲، برای دقت پایین تر
- این گریدها مقادیر مختلفی برای ضرایب ترانس، نوسانات مجاز و عدم قطعیت ها در اندازه گیری، دارند.  
برای پمپ هایی که در تعداد زیاد تولید می شوند و از طریق منحنی عملکرد نمونه ای انتخاب می شوند و همچنین برای پمپ های با توان ورودی کمتر از ۱۰ کیلووات، جدول ۵ را ملاحظه کنید. مقادیر نشان داده شده در این جدول ضرایب ترانس بالاتری دارند.  
این استاندارد هم برای پمپ تنها بدون اتصالات و هم برای ترکیب پمپ و تمام یا قسمتی از اتصالات بالادستی و یا پایین دستی، کاربرد دارد.
- اگر سازنده / تأمین کننده و خریدار توافق دیگری نداشته باشند، موارد زیر به کار می رود:
- دقت با گرید ۲
- تست در کارخانه سازنده انجام می شود.
- تست کاویتاسیون (NPSH) انجام نمی شود.
- هر گونه مغایرت از موارد فوق می بایست بین سازنده و خریدار مورد توافق قرار گیرد.  
متداولترین این مغایرتها به شرح ذیل می باشد:
- دقت مطابق با گرید ۱
- ضرایب ترانس منفی مجاز نباشد.
- ضرایب ترانس بالاتر برای پمپ های ساخته شده به صورت سری و برای پمپ های با توان ورودی کمتر از ۱۰ کیلووات.
- تعداد پمپ هایی که باید تست شوند در حالتی که چندین پمپ وجود دارد.
- بررسی رفتار پمپ در ارتباط با دمای یاتاقان ها، سطوح نویز و ارتعاش حین تست عملکرد
- بستر تست برای بررسی قابلیت خودمکشی یک پمپ خودمکشی
- رویه پیش بینی عملکرد واقعی پمپ بر پایه تست با آب سرد تمیز
- شرح گارانتی

الف) پمپ بدون الکتروموتور یا پمپ با الکتروموتور

ب) پمپ با یا بدون لوله کشی

پ) مقادیر گارانتی برای یک یا چند نقطه عملکرد (مانند، دبی، هد کل، توان جذبی، راندمان، NPSHR)

- ضرایب تلرانس در نقطه عملکرد و نقاط دیگر، (اگر چندین نقطه عملکرد باید گارانتی شود)
- ساختار مشابه پمپ ها (مثلاً چندین روتور در یک پوسته)
- الزام برای تست کاویتاسیون (NPSH)

## ۲.۲. گارانتی

یک نقطه گارانتی باید توسط یک دبی گارانتی  $Q_G$  و یک هد گارانتی  $H_G$  تعریف شود.

سازنده / تأمین کننده تحت شرایط مشخص شده و در سرعت مشخص شده، گارانتی می کند که منحنی  $H(Q)$  اندازه گیری شده، از محدوده تلرانس حول نقطه گارانتی عبور می کند (شکل ۱).

علاوه بر این ممکن است در دبی گارانتی، یک یا چندین پارامتر زیر در شرایط مشخص شده و در سرعت مشخص شده، گارانتی شود:

- راندمان پمپ  $\eta_G$  یا راندمان کل دستگاه شامل پمپ و موتور  $\eta_{grG}$
- مقدار NPSH مورد نیاز NPSHR

اگر طور دیگری توافق نشده باشد، نقطه گارانتی برای آب سرد تمیز معتبر می باشد.

## ۳.۲. سرعت تست

اگر طور دیگری توافق نشده باشد، تست ها ممکن است در یک سرعت چرخش بین محدوده ۵۰ تا ۱۲۰٪ سرعت مشخص شده انجام شود. اما، وقتی سرعت تست بیشتر از ۱۲۰٪ سرعت مشخص شده باشد، این موضوع باید به عنوان مغایرت نوشته شود. تست در سرعت های بیشتر از ۱۲۰٪ سرعت مشخص شده، ممکن است بر راندمان پمپ تأثیر داشته باشد.

برای تست های NPSH، سرعت چرخش در تست باید بین ۸۰ تا ۱۲۰٪ سرعت دوران مشخص شده باشد. همچنین دبی باید بین ۵۰ تا ۱۲۰ درصد دبی BEP (نقطه بهترین راندمان) در سرعت دوران تست قرار گیرد. سرعت ها باید طوری باشد که عدد نوع Type number برابر با ۲ یا کمتر باشد. برای پمپ های با عدد نوع بیشتر از ۲، توافقات ویژه ای باید بین طرفین بدست آید.

## ۴.۲. تست پمپ هایی که سیالی به غیر از آب سرد تمیز پمپاژ می کنند

اساساً عملکرد یک پمپ با خصوصیات سیال پمپ شونده متفاوت می شود. (ویسکوزیته، گازهای نامحلول، ذرات جامد و ...). اگرچه امکان ندارد که یک قانون کلی در این مورد ارائه داد که در چه مواقعی عملکرد با آب سرد تمیز می تواند برای پیشگویی عملکرد سیال دیگر مورد استفاده قرار گیرد. انتظار می رود طرفین قرارداد در خصوص قوانین تجربی و مناسب بودن تست پمپ با آب سرد تمیز توافق کنند. مشخصه "آب تمیز سرد" مطابق با استاندارد در جدول زیر تعریف می شود:

جدول ۱: "مشخصه آب تمیز سرد"

مقدار بیشینه	واحد	خصیصه
40	°C	دما
$1.75 \times 10^{-6}$	m <sup>2</sup> /s	ویسکوزیته سینماتیک
1050	kg/m <sup>3</sup>	دانسیته (چگالی)
2.5	kg/m <sup>3</sup>	مقدار ذرات جامد نامحلول
50	kg/m <sup>3</sup>	مقدار ذرات جامد محلول

مقدار کل گاز محلول و آزاد آب نباید از حجم اشباع و مطابق با شرایط زیر فراتر باشد:

- برای یک مدار باز، حجم اشباع مربوط به فشار و دما در سمت مکش مخزن باز است.
  - برای یک مدار بسته، حجم اشباع مربوط به فشار و دما در مخزن بسته می باشد.
- پمپ هایی که برای سیالی به غیر از آب سرد تمیز استفاده می شوند، اگر سیال پمپ شونده مشخصات جدول زیر را داشته باشد، ممکن است برای تست دبی، هد و راندمان با آب سرد تمیز تست شود.
- مقدار گاز محلول و آزاد سیال نباید از حجم اشباع تعریف شده در بالا، فراتر رود.

جدول ۲: خصوصیات سیالات

مقدار ماکزیمم	مقدار مینیمم	واحد	خصیصه سیال
$10 \times 10^{-6}$	بدون محدودیت	$m^2/s$	ویسکوزیته سینماتیک
2000	450	$kg/m^3$	دانسیته
5.0	-	$kg/m^3$	مقدار ذرات جامد نامحلول

برای تست پمپ هایی که برای سیالی به غیر از خصوصیات فوق مورد استفاده قرار می گیرد، باید توافق ویژه ای بعمل آید. اگر طور دیگری توافق نشده باشد، تست های کاویتاسیون باید با آب سرد تمیز انجام شود. مقدار NPSH مورد نیاز همیشه برای آب سرد تمیز داده می شود.

#### ۵.۲. تبدیل نتایج تست به شرایط گارانتی شده

در صورتی که سرعت دوران تست  $n$  با سرعت مشخص شده  $n_{sp}$  مغایرت داشته باشد، باید تمامی اطلاعات تست به مقادیر مربوط به سرعت مشخص شده  $n_{sp}$  تبدیل شود. اگر دانسیته سیال پمپ شونده با آب متفاوت باشد، محاسبه توان جذبی  $P$  باید انجام شود. اگر سرعت تست در محدوده بیان شده در بخش ۳.۲ باشد، اطلاعات اندازه گیری شده برای دبی  $Q$ ، هد کل  $H$ ، توان جذبی  $P$ ، و راندمان  $\eta$  می تواند با روابط زیر تبدیل شوند:

$$Q_T = Q (n_{sp} / n)$$

$$H_T = H (n_{sp} / n)^2$$

$$P_T = P (n_{sp} / n)^3 \cdot (\rho_{sp} / \rho)$$

$$\eta_T = \eta$$

اطلاعات اندازه گیری شده برای مقدار NPSH می تواند با فرمول زیر تبدیل شود:

$$(NPSH)_T = (NPSH)_R \cdot (n_{sp} / n)^x$$

به عنوان یک تقریب، اگر شرایط بخش ۳.۲ برقرار باشد و حالت فیزیکی مایع در ورودی پروانه به گونه ای باشد که جدایش گازی، عملکرد پمپ را تحت تأثیر قرار ندهد، برای مقدار NPSH، توان  $x = 2$  ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. اگر پمپ نزدیکی محدوده کاویتاسیون عمل نماید، یا اگر مغایرت سرعت تست از سرد مشخص شده در بخش ۳.۲ فراتر رفته باشد، مقادیر توان  $x$  بین ۱.۳ تا ۲ در نظر گرفته می شود که مقدار دقیق باید بین طرفین برای تعیین فرمول تبدیل، مورد توافق قرار گیرد.

#### ۶.۲. مقادیر ضرایب تفرانس

پمپ های سانتریفیوژ با تفرانس های مجاز در ریخته گری و ماشین کاری ساخته می شوند. حین تولید، هر پمپ با مغایرت هایی نسبت به ابعاد نقشه تولید می شود.

وقتی نتایج تست با مقادیر گارانتی شده مقایسه می شود (نقاط عملکرد)، تفرانس ها باید مجاز دانسته شود تا هرگونه مغایرت در تست پمپ نسبت به یک پمپ ساخته شده بدون هرگونه اختلاف نسبت به طراحی (صرفاً از منظر تئوری) پوشش داده شود. در صورتی که توافق ویژه ای صورت نگرفته باشد، ضرایب تفرانس در جدول زیر باید برای نقاط گارانتی  $H_G$  و  $Q_G$  استفاده شود:

جدول ۳: مقادیر ضرایب تفرانس

اندازه گیری	نماد	گراید ۱ %	گراید ۲ %
دبی	$t_Q$	$\pm 4.5$	$\pm 8$
هد کل پمپ	$t_H$	$\pm 3$	$\pm 5$
راندمان پمپ	$t_\eta$	-3	-5

برای پمپ های تولید شده به صورت سری که از منحنی های عملکرد نمونه ای انتخاب می شوند، ضرایب تفرانس زیر کاربرد دارد:

جدول ۴: ضرایب تفرانس برای پمپ های تولید شده به صورت سری

اندازه گیری	نماد	ضریب تفرانس %
دبی	$t_Q$	$\pm 9$
هد کلی پمپ	$t_H$	$\pm 7$
توان جذبی پمپ	$t_P$	+9
توان ورودی موتور	$t_{P_{gr}}$	+9
راندمان	$t_\eta$	-7

برای پمپ های با توان جذبی کمتر از 10 kW و بیشتر از 1 kW، جایی که اتلافات اصطکاکی در اجزا مکانیکی گوناگون (بلبرینگ ها، نوارهای گرافیتی و مکانیکال سیل ها) به طور نسبی مهم و قابل پیش بینی نمی باشد، ضرایب تفرانس در جدول زیر می تواند به کار رود:

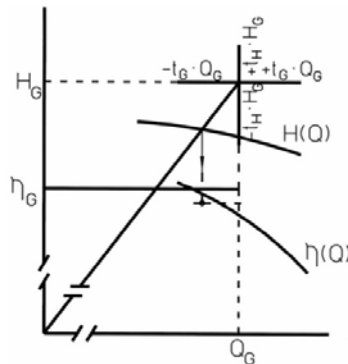
جدول ۵: ضرایب تفرانس برای پمپ های با توان جذبی بین ۱ تا ۱۰ کیلووات

اندازه گیری	نماد	ضرایب تفرانس %
دبی	$t_Q$	$\pm 10$
هد کل پمپ	$t_H$	$\pm 8$

## ۷.۲.۲ احراز گارانتی

احراز هر گارانتی باید بوسیله مقایسه نتایج بدست آمده از تست ها (شامل هرگونه عدم قطعیت اندازه گیری) با مقادیر گارانتی شده در قرارداد (شامل تفرانس های مربوطه) صورت پذیرد.

## ۱.۷.۲.۲ احراز گارانتی دبی، هد و راندمان



شکل ۱: احراز گارانتی دبی، هد و راندمان

مقادیر اندازه گیری شده به مقادیر در سرعت مشخص شده تبدیل می شود. این مقادیر بر حسب دبی  $Q$  رسم می شود. منحنی هایی با بهترین تقریب برای نقاط اندازه گیری شده نمایشگر عملکرد پمپ می باشد.

یک صلیب تلرانسی حول نقطه گارانتی به گونه ای ترسیم می شود که در امتداد افق از  $Q = Q_G - t_Q$  تا  $Q = Q_G + t_Q$  و در امتداد عمود از  $H = H_G - t_H$  تا  $H = H_G + t_H$  کشیده شود.

مقدار گارانتی دبی و هد کل وقتی بدست می آید که منحنی  $QH$  خط عمودی و یا افقی را قطع کند و یا حداقل در یک نقطه مماس شود (شکل ۱).

راندمان باید از منحنی  $QH$  اندازه گیری شده بدست آید، یک خط مستقیم گذرنده از نقطه گارانتی  $Q_G$ ،  $H_G$  و نقطه صفر محورهای  $QH$  رسم می شود. از نقطه برخورد این خط با منحنی  $QH$  یک خط مستقیم عمودی رسم می شود تا منحنی  $Q\eta$  را قطع کند (شکل ۱).

شرط گارانتی راندمان برقرار خواهد بود اگر مقدار بدست آمده برای راندمان بیشتر یا حداقل برابر با  $\eta_G \cdot (1 - t_\eta)$  باشد.

اگر مقادیر اندازه گیری شده  $Q$  و  $H$  بیشتر از مقادیر گارانتی شده  $Q_G$  و  $H_G$  ولی در محدوده تلرانسی باشد، و راندمان نیز در محدوده تلرانسی باشد، توان جذبی واقعی ممکن است بیشتر از مقدار داده شده در دیتاشیت شود.

## ۸.۲.۸.۲. بدست آوردن مشخصه های تعیین شده

### ۱.۸.۲.۸.۲. کاهش قطر پروانه

وقتی از نتایج تست ها معلوم شود که مشخصه های پمپ بیشتر از مشخصه های تعیین شده است، عموماً قطر پروانه یا قطر پره ها کاهش می یابد.

اگر اختلاف بین مقادیر توافق شده و مقادیر اندازه گیری شده کوچک باشد، امکان دارد به منظور اجتناب از تست مجدد از قوانین مشابه استفاده شود. با استفاده از قوانین مشابه، قطر پروانه یا پره با دقت کافی بدست می آید.

### ۲.۸.۲.۸.۲. تغییر سرعت

اگر یک پمپ با محرکه سرعت متغیر از مقادیر گارانتی شده فراتر رود یا به آن نرسد، نقاط تست ممکن است برای یک سرعت دیگر مجدداً محاسبه شود، به شرط آنکه سرعت از ماکزیمم سرعت پیوسته مجاز فراتر نرود.

### ۹.۲.۸.۲. تست های کاویتاسیون

در بیشتر موارد کاویتاسیون بوسیله کاهش در هد خروجی در دبی داده شده تعیین می شود. در پمپ های چند طبقه، اگر امکان پذیر باشد، کاهش هد در طبقه اول اندازه گیری می شود. اگر هد طبقه اول قابل اندازه گیری نباشد، از تقسیم هد کل بر تعداد طبقات بدست می آید.

بیشتر تست های کاویتاسیون با آب سرد تمیز انجام می شود. اما تست های کاویتاسیون با آب سرد تمیز نمی تواند به طور دقیق رفتار پمپ با سیالات دیگر را پیشگویی کند.

انواع مختلف تست های کاویتاسیون مطابق الزامات یا توافقات قابل انجام می باشد.

### ۱.۹.۲.۸.۲. احراز مشخصه های گارانتی شده در یک مقدار NPSH تعیین شده

یک بررسی ساده برای تعیین عملکرد دبی پمپ در مقدار NPSH تعیین شده بدون بروز اثرات کاویتاسیون ممکن است صورت پذیرد. پمپ مطابق الزامات است اگر هدکل پمپ و راندمان گارانتی شده در دبی و NPSHA تعیین شده بدست آید.

### ۲.۹.۲.۸.۲. احراز اینکه عملکرد پمپ در مقدار NPSHA تعیین شده بوسیله کاویتاسیون تحت تأثیر نمی باشد.



یک بررسی ممکن است به این منظور انجام شود که دبی پمپ در شرایط تعیین شده تحت اثر کاویتاسیون نبوده است. پمپ مطابق الزامات است اگر یک تست در مقدار NPSH بالاتر از مقدار NPSHA تعیین شده، همان هد کل و راندمان را در همان دبی بدهد.

### ۳.۹.۲. تعیین NPSH3

در این تست، NPSH به طور پیوسته کاهش می یابد تا هد کل (برای پمپ های طبقاتی، هد طبقه اول) در دبی ثابت ۳٪ کاهش یابد. این مقدار NPSH به NPSH3 معروف است.

پمپ مطابق الزامات است اگر مقادیر اندازه گیری شده، کمتر یا برابر مقدار NPSHR (مقداری که توسط سازنده داده می شود) باشد. برای پمپ های با هد کل خیلی پایین، کاهش بیشتر هد برای احراز گارانتی می تواند توافق شود.

### ۴.۹.۲. انواع دیگر تست کاویتاسیون

معیارهای دیگر کاویتاسیون مانند افزایش نویز یا حباب گاز و تست های کاویتاسیون مربوط به آن ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. در این حالت توافق ویژه ای در قرارداد مورد نیاز است. لازم است به صورت شفاف معیارها و محدوده مقادیری که باید استفاده شود، معین شود.

### ۱۰.۲. ضرایب تفرانس برای NPSHR

ماکزیمم اختلاف مجاز بین NPSHR اندازه گیری شده و گارانتی شده برابر است با:

$$t_{NPSHR} = + 3\% \text{ or } t_{NPSHR} = + 0.15 \text{ m} \quad \text{برای گرید ۱}$$

$$t_{NPSHR} = + 6\% \text{ or } t_{NPSHR} = + 0.30 \text{ m} \quad \text{برای گرید ۲}$$

هر کدام که بزرگتر باشد.

با استفاده از فرمول زیر، گارانتی برقرار می باشد، اگر:

$$(NPSHR)_G + (t_{NPSHR} \cdot NPSHR)_G \geq NPSHR_{measured}$$

یا

$$NPSHR)_G + (0.15 \text{ m and/or } 0.3.0 \text{ m}) \geq NPSHR_{measured}$$

### ۳. آزمون های پذیرش مطابق استاندارد API 610

#### ۱.۳. ضرایب تفرانس

تست های عملکرد و NPSH باید با استفاده از روش ها و الزامات مربوط به عدم قطعیت که در استاندارد ISO 9906 گرید ۱، ANSI/HI 1.6 (برای پمپ های سانتریفیوژ) یا ANSI/HI 2.6 (برای پمپ های عمودی) بیان شده است، باشد. تفرانس های عملکرد مطابق با جدول زیر می باشد.

جدول ۶: تفرانس های عملکرد مطابق استاندارد API 610 ویرایش یازدهم سال ۲۰۱۰

شرایط	نقطه کاری %	نقطه شات - اف (دبی صفر)
هد نقطه کار:		
0 m to 75 m (0 ft to 250 ft)	± 3	± 10 <sup>a</sup>
> 75 m to 300 m (> 250 ft to 1000 ft)	± 3	± 8 <sup>a</sup>
> 300 m (> 1000 ft)	± 3	± 5 <sup>a</sup>
توان نقطه کار	4 <sup>b</sup>	-
راندمان	c	
NPSH نقطه کار	0	-

- (a) تفرانس منفی تنها زمانی مجاز است که منحنی عملکرد پمپ هنوز نزولی باشد.
- (b) با نتایج تست تصحیح شده برای شرایط نقطه کار برای دبی، سرعت، دانسیته (وزن مخصوص) و ویسکوزیته، لازم است که توان به هر دلیلی از ۱۰۴٪ مقدار نامی **rated** فراتر نرود (تجمیع تفرانس ها مجاز نیست).
- (c) عدم قطعیت راندمان تست توسط کد تست تعیین شده،  $\pm 2.5\%$  است. بنابراین، راندمان شامل عملکرد نقطه کاری پمپ نمی باشد. در کاربردهایی که راندمان اهمیت اساسی برای خریدار دارد، مقدار مشخص و تفرانس مربوط به آن در زمان خرید باید مذاکره شود.

برآورد نتایج تست مشابه روش بیان شده در استاندارد ISO 9906 می باشد.

### ۲.۳. الزامات اساسی قبل از آزمون پذیرش

مطابق این استاندارد، الزامات زیر باید قبل از انجام تست عملکرد و هنگامی که پمپ به مدار تست بسته شده است، رعایت شود:

- آبیندها و یاتاقان های ذکر شده در قرارداد باید برای تست عملکرد استفاده شوند.
- اگر توسط خریدار تأیید شود و اگر به جهت جلوگیری از خرابی آبیندهای ذکر شده در قرارداد احتیاج باشد و یا اگر آبیندهای ذکر شده در قرارداد با سیال تست همخوانی نداشته باشد، آبیندهای جایگزین ممکن است حین تست عملکرد استفاده شود (به استاندارد ISO 21049:2004 بند 10.3.5 مراجعه شود).
- آبیند (آبیندها) حین تست عملکرد پمپ نباید هیچگونه نشستی فراتر از موارد بیان شده در استاندارد ISO 21049:2004 بخش A.1.3 داشته باشند، مگر آنکه بین خریدار و فروشنده توافق صورت گرفته باشد. هرگونه نشستی غیر مجاز حین تست عملکرد مستلزم دمنتاژ و تعمیر آبیند می باشد. اگر آبیند دمنتاژ یا خارج شود، آبیند باید تست مجدد با هوا شود. وقتی پمپ در مدار تست می باشد و سیال تست، آب است، آبیندهای مناسب برای تست با آب نباید نشستی قابل مشاهده ای داشته باشند. برای تأیید اینکه آیا معیار نشستی غیر قابل مشاهده معیار مناسبی برای آبیند تست می باشد، استاندارد ISO 21049:2004, A.1.3 باید بررسی شود. بخصوص، آبیندهای دوگانه تحت فشار با سیال باریر فشار بالا (بیشتر از ۴۰ بار)، باید مورد بررسی قرار گیرند.
- تذکر: استاندارد ANSI/API Std 682 / ISO 21049 با استاندارد ISO 21049 برابر است.
- اگر طور دیگری توافق نشده باشد، تست های عملکرد باید با آب در دمای کمتر از  $55^{\circ}\text{C}$  ( $130^{\circ}\text{F}$ ) انجام شود.

### ۳.۳. الزامات اساسی حین انجام تست عملکرد

اگر طور دیگری توافق نشود، مطابق با این استاندارد برای تست عملکرد باید موارد زیر رعایت شود:

- سازنده باید اطلاعات تست شامل هد، دبی، توان و ارتعاش را حداقل در ۵ نقطه یادداشت نماید. این نقاط معمولاً به شرح زیر می باشد:
  - (۱) نقطه شات-اف (اندازه گیری ارتعاش لازم نیست)
  - (۲) مینیمم دبی پیوسته پایدار (شروع محدوده عملکرد مجاز)
  - (۳) بین ۹۵٪ و ۹۹٪ دبی نقطه کاری
  - (۴) بین دبی نقطه کاری و ۱۰۵٪ دبی نقطه کاری
  - (۵) دبی تقریبی نقطه بهترین راندمان (اگر دبی نقطه کار در فاصله ۵٪ دبی بهترین راندمان نباشد)
  - (۶) انتهای محدوده عملکرد مجاز
- اگر طور دیگری توافق نشده باشد، سرعت تست در فاصله ۳٪ سرعت کاری تعیین شده در دیتاشیت باید باشد. نتایج باید برای سرعت کاری اصلاح شود.

## ۴.۳ الزامات اساسی بعد از انجام تست عملکرد

مطابق این استاندارد، الزامات زیر باید پس از انجام تست عملکرد رعایت شود:

- اگر لازم باشد بعد از تست عملکرد، پمپ برای قرارگیری در محدوده تoleransi هد، تراش پروانه داده شود و در واقع پمپ دمنناژ شود، تست مجدد پمپ نیاز نیست اگر کاهش قطر پروانه از ۵٪ قطر کامل پروانه کمتر باشد.
- اگر مشخص شده باشد، برای پمپ های طبقاتی حتی اگر کاهش قطر پروانه کمتر از ۵٪ باشد، تست مجدد باید انجام شود.
- اگر طور دیگری مشخص نشده باشد، پمپ ها نباید بعد از تست عملکرد نهایی دمنناژ شوند. پمپ به همراه محفظه آبنند باید تا آنجا که عملی باشد، از سیال تخلیه شود، با مایع محافظ جایگزین آب به مدت ۴ ساعت پر شود و مجدداً تخلیه شود.

## ۴.۴ مقایسه استانداردهای ISO، API 610 و انستیتو هیدرولیک HI در ارتباط با نقاط گارانتی و اندازه گیری عدم

## قطعیت ها

جدول ۷: مقایسه استاندارد ISO 9906 گرید ۱ و ۲ و استاندارد ISO 5198

ISO 9906 گرید ۲	ISO 9906 گرید ۱	ISO 5198 بالاترین گرید دقت	گرید دقت مطابق استاندارد ISO									
<p>تولانس ساخت در عدم قطعیت اندازه گیری کل، لحاظ شده است. مقدار گارانتی دبی و هد کل وقتی بدست می آید که منحنی QH خط عمودی و یا افقی را قطع کند و یا حداقل در یک نقطه مماس شود. راندمان باید از منحنی QH اندازه گیری شده بدست آید، یک خط مستقیم گذرنده از نقطه گارانتی <math>H_G</math>، <math>Q_G</math> و نقطه صفر محورهای QH رسم می شود. از نقطه برخورد این خط با منحنی QH یک خط مستقیم عمودی رسم می شود تا منحنی <math>Q\eta</math> را قطع کند. شرط گارانتی راندمان برقرار خواهد بود اگر مقدار بدست آمده برای راندمان بیشتر یا حداقل برابر با <math>\eta_G</math> باشد. <math>(1 - t_\eta)</math>.</p>												
$\left[ \frac{H_G \cdot t_G}{\Delta H} \right]^2 + \left[ \frac{Q_G \cdot t_Q}{\Delta Q} \right]^2 \geq 1$			شرط گارانتی عملکرد									
± 5%	± 3%	(1.5%)	$t_H$									
± 8%	± 4.5%	(2.5%)	$t_Q$									
- 5%	- 3%	(-2.2%)	$t_\eta$									
$6\% < 0.3 \text{ m}$	$3\% < 0.15 \text{ m}$	$(3\% < 0.15 \text{ m})$	$t_{NPSH3}$									
ماکزیمم پراکندگی مجاز مقدار اندازه گیری شده بر اساس دقت آمادی ۰.۹۵٪												
9	7	5	3	9	7	5	3	9	7	5	3	تعداد مشاهدات در هر نقطه اندازه گیری
1.6	1.4	1.0	0.6	0.8	0.7	0.5	0.3	0.9	0.7	0.5	0.25	$n \pm$ به (سرعت)
5.8	4.5	3.5	1.8	2.8	2.2	1.6	0.8	2.8	2.2	1.6	0.8	$Q, H, P \pm$ به (اطلاعات عملکرد)
عدم قطعیت کل مجاز برای تجهیزات اندازه گیری و اندازه گیری ها:												
مقادیر داخل پرانتز مربوط به ابزار دقیق ها می باشد.												
$(\pm 2.5) \pm 3.5\%$			$(\pm 1.5) \pm 2.0\%$			$(\pm 1.0) \pm 1.5\%$						دبی
$(\pm 1.5) \pm 3.5\%$			$(\pm 1.0) \pm 1.5\%$			$(\pm 0.5) \pm 1.0\%$						هد
$(\pm 2.0)^{1)} \pm 4.0\%$			$(\pm 1.0) \pm 2.0\%$			$(\pm 0.6) \pm 1.3\%$						توان ورودی
$\pm 6.4\%$			$\pm 3.2\%$			$\pm 2.25\%$						راندمان
$(\pm 1.4) \pm 2.0\%$			$(\pm 0.35) \pm 0.5\%$			$(\pm 0.1) \pm 0.2\%$						سرعت
(۱) برای تعیین راندمان پمپ												

جدول ۸: مقایسه استاندارد API 610 ویرایش یازدهم و استاندارد HI

استانداردهای انستیتو هیدرولیک شماره 1.6 و 2.6	API 610 (ISO 13709)
---	---------------------

در $\eta_G$ و $Q_G$ :		هد کلی پمپ	
		نقطه گارانتی	شات-اف
برای پذیرش سطح A، پمپ ها باید در محدوده تیرانس می زیر باشند: در هد نقطه کار: $\pm 10\%$ دبی نقطه کار یا در دبی و سرعت نقطه کاری $\pm 5\%$ هد برای هدهای کمتر از ۱۵۰ متر $\pm 3\%$ هد برای هدهای بیشتر از ۱۵۰ متر تطابق با یکی از تیرانس های فوق لازم است. تیرانس های منفی برای دبی، هد و راندمان در نقطه کاری مجاز نمی باشد.		تا ۷۵ متر	
		بین ۷۵ تا ۳۰۰ متر	
		بیشتر از ۳۰۰ متر	
		$\eta_G$	
		$P_G$	
		NPSHR	
گارانتی نمی شود.			
		+4%	
		0	
نوسان مجاز عدم قطعیت اندازه گیری (ابزار دقیق)			
دبی		$\pm 2\% (\pm 1.5)$	
هد		$\pm 2\% (\pm 1.0)$	
هد مکش		$\pm 2\% (\pm 0.5)$	
سرعت		$\pm 0.3\% (\pm 0.3)$	
توان ورودی		$\pm 2\% (\pm 1.5)$	
عدم قطعیت های اندازه گیری در مقادیر پیشنهاد شده در فوق لحاظ شده است			
(۱) تیرانس منفی تنها زمانی مجاز است که منحنی عملکرد پمپ هنوز نزولی باشد.			

### ۵. ایستگاه تست

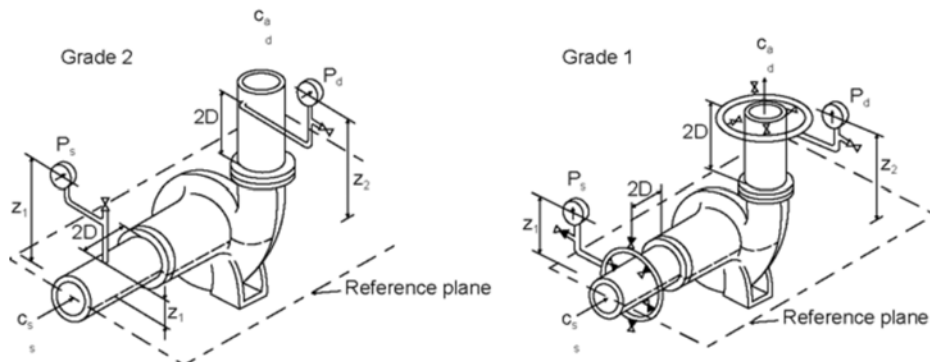
پمپ باید روی مدار تست با لوله کشی مکش و رانش مناسب نصب شود به گونه ای که مشابه نقشه نصب واقعی باشد. شرایط مکش مناسب باید به عنوان مهمترین موضوع در نظر گرفته شود.

بخصوص برای پمپ های جریان مختلط و جریان محوری عمودی (با زانویی مکش) که با دبی بالا و هد پایین کار می کنند، شکل ورودی مکش ایستگاه تست باید مناسب باشد و تا آنجا که امکان دارد مشابه ایستگاه اصلی نصب باشد. به طور ایده آل، دبی داخل سطح مقطع وسیله اندازه گیری فشار باید الزامات زیر را داشته باشد:

(۱) توزیع سرعت یکنواخت در جهت محوری

(۲) فشار استاتیکی برابر در صفحه اندازه گیری

(۳) جریان ورودی باید عاری از چرخش باشد.



شکل ۲: نصب تجهیزات اندازه گیری برای تعیین هد فشار

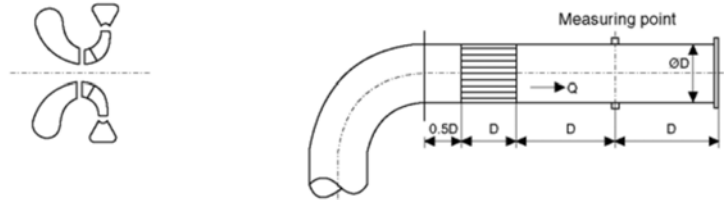
این شرایط اغلب به سختی می تواند تأمین شود، اما مهم است که یک توزیع سرعت مناسب در نقطه اندازه گیری فشار بوسیله انتخاب لوله کشی مناسب و اگر لازم باشد بوسیله هادی ها و صاف کننده های جریان بدست آید.

عموماً برای مکش، حداقل هفت برابر قطر لوله بعد از زانویی ۹۰ درجه، لوله صاف احتیاج است، تا توزیع سرعت قابل قبول در مکش پمپ بدست آید. اگر شیر خفه کننده در لوله مکش استفاده شده باشد، طول های بیشتر برای جلوگیری از اغتشاش جریان مورد نیاز است.

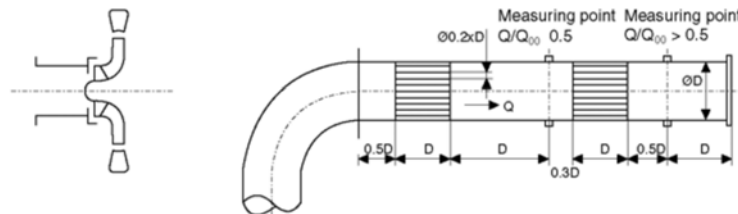
برای تأمین توزیع سرعت یکنواخت در نقطه اندازه گیری فشار، هدایت کننده یا صاف کننده جریان در فاصله کافی از نقطه اندازه گیری نصب می شود.

شکل مدار تست در مکش وابسته به طبیعت مکش پمپ می باشد.

a) for radial pump inlet:

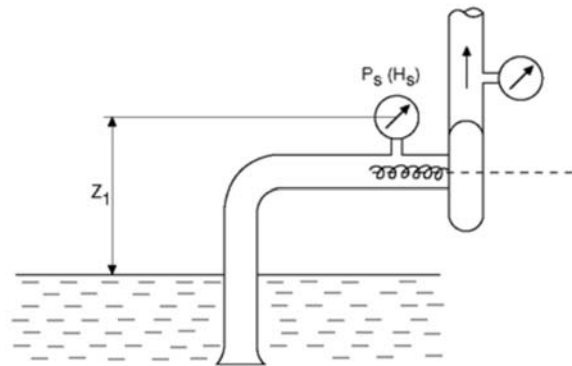


b) for axial pump inlet:



شکل ۳: اشکال مدار تست

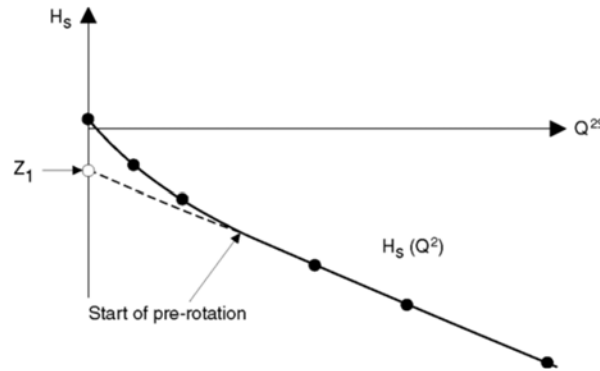
شکل ۴: بسته به اتصال بین فشارسنج و لوله (پر شده با آب یا هوا)،  $Z_1$  باید همانطور که در شکل نشان داده شده است در نظر گرفته شود.



برای پمپ های با مکش محوری، لازم است که بازچرخش ایجاد شده توسط پروانه برای دبی های  $Q / Q_{BEP} < 0.5$  از بین برود. برای این منظور صاف کننده جریان ثانوی باید نصب شود. در غیر اینصورت اندازه گیری فشار استاتیک نادرست است.

برای مثال، بسته به اتصال بین فشار سنج و لوله (پر شده با آب یا هوا)، اندازه  $Z_1$  باید همانند شکل ۴ و یا در حالتی که با هوا پر شده است، وابسته به محل اتصال لوله باشد.

به عبارت دیگر، هدهای مکش ممکن است بر حسب مربع دبی خروجی ترسیم شود (شکل ۵). خط مماس بر منحنی که به این روش بدست می آید، در نقطه ای که محور  $H_s$  را قطع می کند بیانگر  $Z_1$  می باشد. این منحنی نشان می دهد که وقتی پمپ در بار جزئی کار می کند، هد مکش افزایش می یابد.



شکل ۵: شروع بازچرخش

نحوه نصب برای اندازه گیری NPSH پمپ در جدول ۹ نشان داده شده است. برای تست NPSH، بسته به شرایط دبی ورودی، یک پمپ فشار ساز با شیر خفه کننده ممکن است احتیاج باشد. دیگر بسترهای تست پرهزینه تر می باشد. علاوه بر این، برای پمپ های با فشار بالاتر (هد هر طبقه بیشتر از ۶۰۰ متر) ممکن است مقادیر NPSH با جزئیات بیشتر و همچنین الگوهای حباب برای طبقه مکش در تست های مدل تعیین شده باشد.

جدول ۹: انواع سیستم های نصب برای اندازه گیری NPSH

سیستم های بسته	سیستم های باز		سیستم
عملاً بدون محدودیت برای مدار بسته	بین ۲.۵ متر تا ۸ متر با سطح آب کنترل شده	بزرگتر از ۲.۵ m با شیر خفه کننده مکش	NPSH محدوده
			اصول نصب
دبی و هد های پایین و متوسط	دبی های پایین	تمام دبی ها	دبی ها
تغییر فشار سیستم	تغییر سطح آب	خفه کردن فشار مکش	روش کنترل
$Q_G = \text{دبی ثابت}$ $Q = \text{دبی کل}$ $H' = \text{هد طبقه اول}$			روش برآورد در دبی ثابت. $n, H', Q, (Q_G)$ مقادیر اندازه گیری شده می باشند.