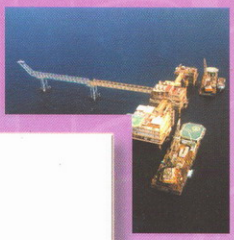
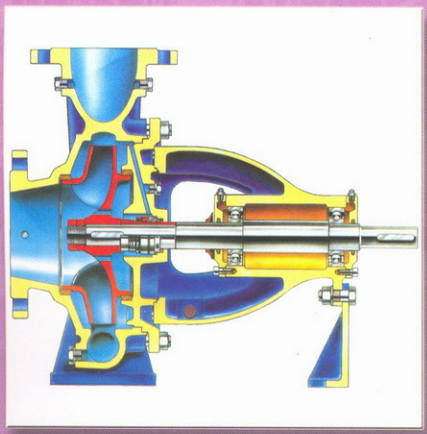
صنعت نفت
Oilindustry.ir
CLICK HERE

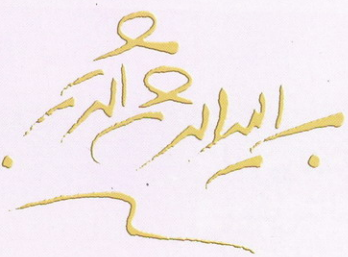
شرکت پشتیبانی ساخت و تهیه کالاهای نفت تهران





آشنایی با پمپ سانتریفوژ منطبق با استاندارد API 610

مدیریت پشتیبانی ساخت و تعمیرات ماشین آلات دوار



شرکت ملی نفت ایران

شرکت پشتیبانی

ساخت و تهیه

کالای نفت تهران

آشنایی با پمپ سانتریفوژ منطبق با استاندارد API 610

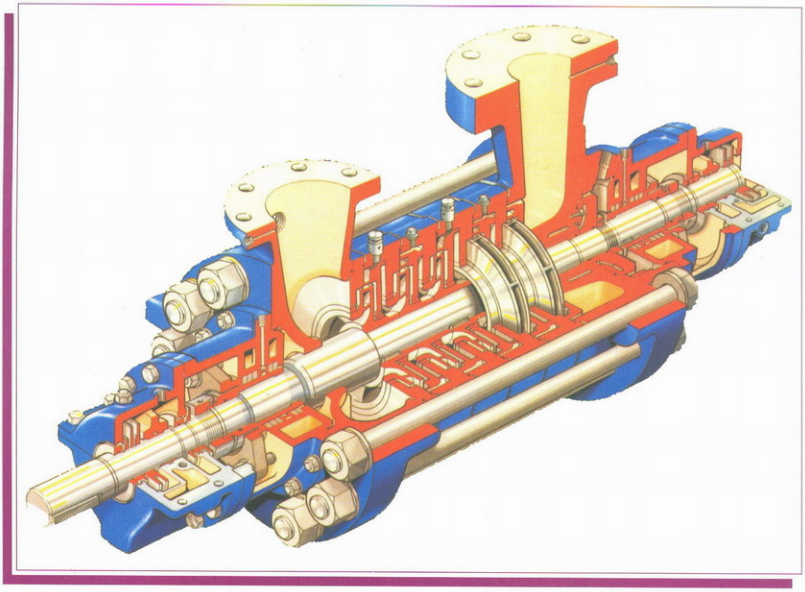
پیشگفتار ۵
۱ – دسته‌بندی کلی پمپ‌ها ۶
۱–۱ – پمپ‌های جابجایی ۷
۱–۲ – پمپ‌های دینامیکی ۸
۱–۳ – مزایای پمپ‌های سانتریفوژ ۸
۱–۴ – معایب پمپ‌های سانتریفوژ ۸
۲ – پمپ‌های سانتریفوژ ۹
۲–۱ – تعریف پارامترهای سانتریفوژ ۹
۲–۲ – کاویتاسیون ۹
۲–۳ – تشابه هندسی ۱۰
۲–۴ – سرعت مخصوص ۱۰
۲–۵ – منحنیهای مشخصه ۱۰
۳ – اجزا مهم تشکیل‌دهنده پمپ‌های سانتریفوژ ۱۵
۳–۱ – پوسته پمپ ۱۵
۳–۲ – پروانه ۱۶
۳–۳ – ایندیوسر ۱۷
۳–۴ – رینگهای سایشی ۱۷
۳–۵ – آب‌بندها ۱۸
۳–۶ – محور ۲۰
۳–۷ – یاتاقانها ۲۱
۳–۸ – کوپلینگ‌ها ۲۱
۴ – استاندارد API610 ۲۳
۴–۱ – مقدمه ۲۳
۴–۲ – بخش اول ۲۳
۴–۳ – بخش دوم ۲۹
۴–۴ – بخش سوم ۴۰
۴–۵ – بخش چهارم ۴۱
۴–۶ – بخش پنجم ۴۱
۴–۷ – بخش ششم ۴۱
مراجع ۴۲

پیشگفتار

سابقه استفاده از پمپ برای انتقال سیال بسیار قدیمی است. شاید بتوان دولاب‌هایی که در مصر و ایران باستان با نیروی انسانها یا حیوانات به حرکت در میآمدند و آب را از چاههای کم‌عمق به سطح زمین میرساندند دانست. سیر تکاملی پمپ‌های سانتریفوژ آنقدر آرام و یکنواخت بوده که نمیتوان با اطمینان کسی را به عنوان مخترع آن معرفی کرد .با این حال چهره‌های سرشناسی چون لئوناردو داوینچی، جوردان، پاپن ، رینوالدز و برادران سولزر در طول تاریخ نقش ارزنده‌ای در تکامل آن داشته‌اند.

امروزه پمپ‌ها را به سبب جایگاه حیاتی آنها در صنایع آبرسانی، نفت، گاز و پتروشیمی به عنوان قلب صنعت میشناسند. نیاز رو به افزایش صنایع به انواع مختلف این وسیله باعث شده هر روز شاهد بهبود روش‌های طراحی و ظهور پمپ‌هایی با کارآیی مختلف توسط سازندگان سراسر دنیا باشیم .استانداردهای تدوین شده در این مورد کمک شایانی به سازندگان و مصرف کنندگان پمپ در بهبود کیفیت و یکسان‌سازی پارامترهای موثر کرده است.

استانداردهایی که مورد استفاده قرار میگیرند با توجه به زمینه کاری و محدوده کاربردشان متنوع میباشند. از میان آنها استاندارد API 610 متعلق به (American Petroleum Institute) معروف‌تر از بقیه میباشد. API یکی از بزرگترین موسسه‌های تجاری فعال در زمینه محصولات پتروشیمی میباشد. هدف اولیه از تاسیس این شرکت در سال ۱۹۱۹ استاندارد کردن مشخصات مهندسی در زمینه حفاری بوده است. اما هم اکنون در بخش‌های مختلف صنعت پتروشیمی اعم از شناسایی، تولید، انتقال، پالایش و فروش فعالیت دارد. دفتر مرکزی این موسسه در شهر Washington DC امریکا



بوده و نمایندگیهای آن در ۳۳ ایالت این کشور و بسیاری از نقاط جهان ارائه‌دهنده خدمات و اطلاعات مهندسی به اعضاء میباشند. استانداردهای API بالغ بر ۵۰۰ عنوان بوده و محدوده وسیعی از اطلاعات از تجهیزات حفاری گرفته تا محافظت محیط زیست را شامل میشود. امروزه در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی نام و علامت API به عنوان یک نشان معتبر کیفیت مقبولیت جهانی یافته است.

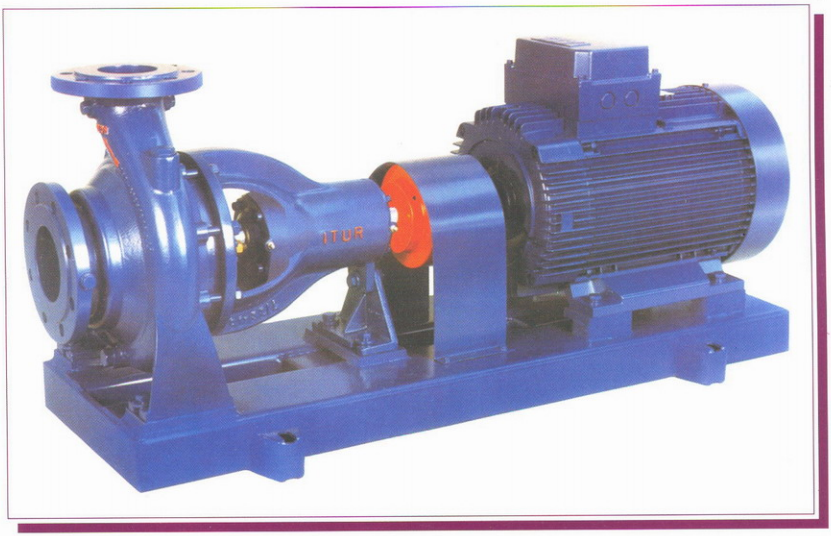
مجموعه حاضر با هدف شناخت کلی در مورد پمپهای سانتریفوژ و آشنایی با عملکرد و ساختار داخلی آنها تدوین شده است و در فصل پایانی استاندارد ۶۱۰ API مور د بررسی قرار گرفته است.

دسته‌بندی پمپها به لحاظ کلی

Centrifugal
Rotary
Reciprocating

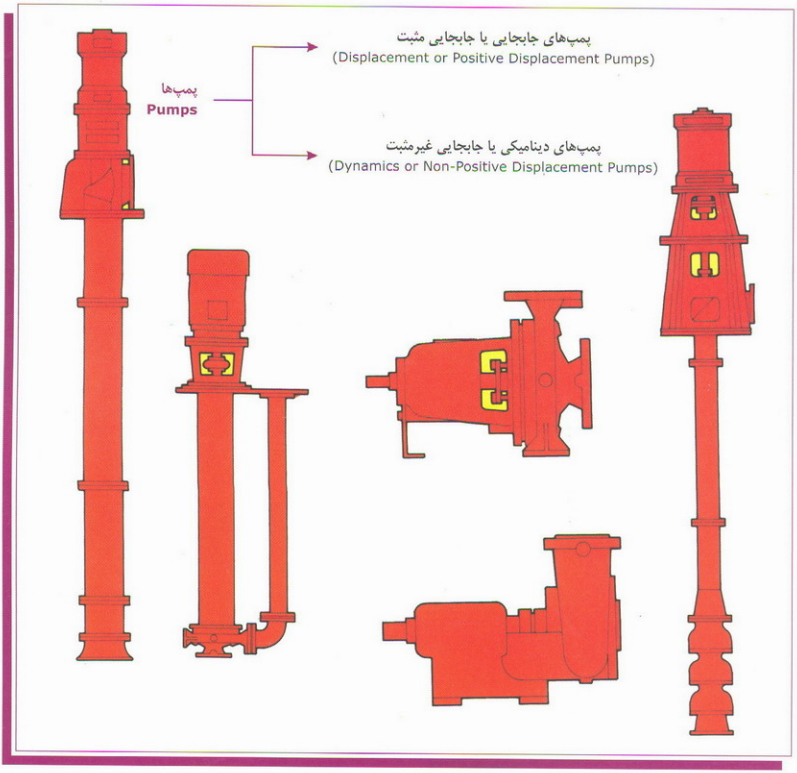
۱ - دسته‌بندی کلی پمپها به لحاظ روش انتقال مایع

پمپها را میتوان بر اساس ویژگیهایی مانند کاربرد، مواد سازنده و سیال پمپ‌شونده آنها دسته‌بندی کرد. اگر پمپها براساس موارد فوق دسته‌بندی شوند، امکان این که پمپی در چند دسته‌بندی قرار گیرد وجود دارد . نحوه انتقال انرژی به مایعی که پمپ می‌شود، مهم‌ترین روشی است که برای دسته‌بندی پمپها در نظر گرفته می‌شود. بر اساس این روش ، پمپها به دو گروه اصلی پمپهای جابجایی (Displacement Pumps) یا پمپهای جابجایی مثبت (Positive Dynamic Pumps) و پمپهای دینامیکی (Dynamic Pumps) یا پمپهای جابجایی غیرمثبت (Non-Positive Displacement Pumps) تقسیم می‌شوند.



۱-۱ – پمپ‌های جابجایی
Displacement Pumps

همانگونه که اشاره شد به این نوع پمپ‌ها، پمپ‌های جابجایی مثبت (Positive Displacement) نیز گفته می‌شود. در پمپ‌های جابجایی حجم معینی از مایع هنگام ورود به درون پمپ، میان اجزا پمپ مانند دو چرخنده یا پره‌ها به دام افتاده و سپس به درون دهانه خروجی فرستاده می‌شود . در واقع در پمپ‌های جابجایی انتقال انرژی از پمپ به سیال به صورت متناوب انجام می‌شود. از پمپ‌های جابجایی در جایی که فشار زیاد و دبی کم نیاز است ، استفاده میشود . دامنه فشار تولیدی این دسته از پمپ‌ها بسیار بیشتر از پمپ‌های دینامیکی است.

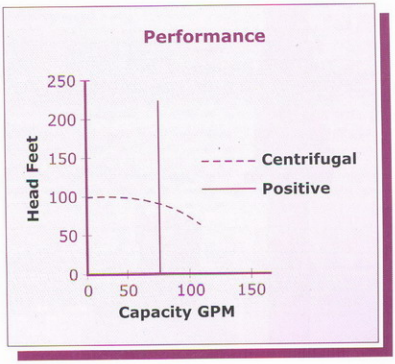


شکل ۱-۱ نمودار تقسیم‌بندی پمپ‌ها

از این پمپ‌ها میتوان برای سیالات با لزجت (Viscosity) بالا استفاده کرد. مهمترین عیب این گروه از پمپ‌ها سرعت و مقدار دبی پایین آنها می‌باشد که استفاده از آنها را به مواردی که مقدار دبی مورد نیاز کم است، محدود می کند.

۱-۲- Dynamic Pumps

در این دسته از پمپ‌ها انرژی به صورت پیوسته به سیال منتقل می‌شود . در پمپ‌های دینامیکی برخلاف پمپ‌های جابجایی فشار و دبی به هم وابسته هستند (شکل ۱-۲) . پمپ‌های سانتریفوژ مهمترین زیرمجموعه‌های پمپ‌های دینامیکی هستند . در این نوع پمپ‌ها هنگام دوران سریع چرخ، نیروی گریز از مرکز موجب افزایش انرژی جنبشی سیال می‌شود، که در مرحله بعد در حلزونی (Volute) و یا پخش کننده (Diffuser) مقداری از این انرژی جنبشی به فشار تبدیل می‌شود.



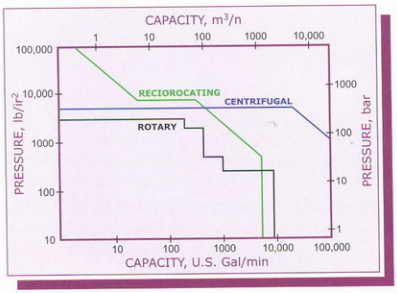
شکل ۱-۲- مقایسه نمودارهای فشار (Head) و دبی (Capacity) پمپ‌های سانتریفوژ و پمپ‌های جابجایی

۱-۳- مزایای پمپ‌های سانتریفوژ

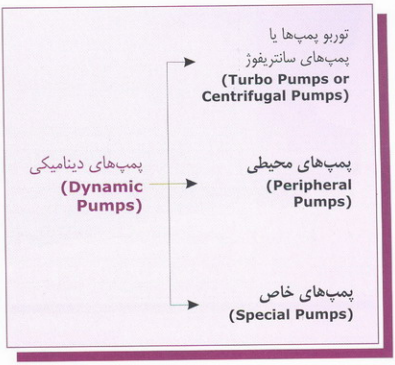
- دارای اجزا رفت و برگشتی نیستند و دیگر لازم نیست حرکت دورانی در آنها تبدیل به حرکت رفت و برگشتی شود.
- جریا ن سیال به صورت یکنواخت و دائم است.
- دامنه کاربرد آنها در پروژه‌های صنعتی، کشاورزی و آب‌رسانی فوق‌العاده بالاست. زیرا از نظر دبی و ارتفاع تولیدی این پمپ‌ها گستره وسیعی را پوشش می‌دهند.

۱-۴ – معایب پمپ‌های سانتریفوژ

- تغییرات مقدار لزجت بر روی دبی و راندمان پمپ اثر می‌گذارد و بسته به نوع طراحی پمپ‌ها حداکثر لزجت سیال برای آنها به ۵۲۰ تا ۷۶۰ سانتی استوک محدود می‌شود.
- تغییرات فشار در خط لوله بر روی مقدار دبی پمپ اثر می‌گذارد و در نتیجه امکان ایجاد افت راندمان وجود دارد.
- به جز پمپ‌های خودپرشونده (Self-Priming) و پمپ‌هائی که درون سیال قرار می‌گیرند در بقیه انواع پمپ‌های سانتریفوژ، قبل از راه‌اندازی لوله مکش آنها باید به نحوی پر شود.



شکل ۱-۴- محدوده کاربرد پمپ‌ها



۲ - پمپ‌های سانتریفوژ

در ابتدا برای آشنایی با پمپ‌های سانتریفوژ به تعریف پارامترها و قوانین مهم در این پمپ‌ها می‌پردازیم.

۲-۱ - تعریف پارامترهای اصلی

۲-۱-۱ - گذر حجمی یا دبی

دبی یک پمپ(Q)، مقدار موثر حجم سیالی است که در واحد زمان از دهانه خروجی پمپ خارج می‌شود.

۲-۱-۲ - ارتفاع آبدهی کل یا هد

ارتفاع آبدهی کل یک پمپ (H) مقدار قدرت مفیدی است که توسط پمپ به واحد وزن سیال منتقل می‌شود. ارتفاع تولیدی پمپ با وزن مخصوص سیال نسبت معکوس دارد.

۲-۱-۳ - توان مصرفی و توان مفید

توان مصرفی یا توان روی محور (Shaft Horse Power or Power Input) عبارت از توانی است که ماشین محرک روی محور پمپ اعمال می‌کند:

$$P_{in} = \frac{\rho.g.Q.H}{\eta} \times 1000$$

g: شتاب جاذبه بر حسب متر بر مجذور ثانیه (m/s^2)

H: ارتفاع تولیدی بر حسب متر (m)

Q: دبی بر حسب لیتر بر ثانیه (Lit/s)

ρ : جرم مخصوص بر حسب (kg/dm^3)

توان مفید (Power Output or Useful Power) مقدار توانی است که پمپ به سیال انتقال می‌دهد:

$$P_{out} = \rho.g.Q.H$$

اختلاف بین مقادیر توان مصرفی و توان مفید، نشان‌دهنده مقدار تلفات هیدرولیکی و مکانیکی داخل پمپ می‌باشد.

۲-۱-۴ - راندمان کل پمپ:

راندمان کل پمپ، نسبت توان مفید به توان مصرفی پمپ است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\eta_{کل} = \frac{P_{مفید}}{P_{مصرفی}} = \frac{\rho.Q.H}{1000.P}$$

۲-۲ - Cavitation

هر گاه در حین جریان مایع در چرخ پمپ، فشار مربوط از فشار بخار مایع کمتر شود، حبابهای بخار به وجود آمده همراه با مایع دوفازه شدن به نواحی با فشار بیشتر حرکت می کنند . اگر در محل جدید فشار به اندازه کافی زیاد باشد حبابهای بخار تقطیر می شوند. در این صورت ذرات مایع اطراف حبابها برای پرکردن فضای خالی ناشی از ترکیدن ناگهانی حبابها، از مسیر اصلی خود منحرف شده و با سرعتهای فوق العاده زیاد به اطراف و از جمله پره ها برخورد می نمایند. این پدیده که سبب ایجاد آسیب به سطح پروانه می شود کاویتاسیون می نامند.

۲-۲-۱ -ارتفاع مکش خالص مثبت Net Positive Suction Head (NPSH)

NPSH را، فشار کل سیال در دهانه مکش پمپ نسبت به فشار تبخیر سیال در درجه حرارت پمپاژ تعریف می‌کنند. دیمانسیون NPSH طول است که در دستگاه متریک برحسب متر و در دستگاه انگلیسی بر حسب فوت می‌باشد.

برای هر پمپ دو ارتفاع مکش خالص تعریف می‌شود:

الف) NPSHA، که نشان‌دهنده فشار در دهانه مکش پمپ است و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$NPSHA = \frac{P_0}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} + \frac{P_v}{\rho g}$$

Po = فشار استاتیک سیال در دهانه ورودی

Vo = سرعت سیال در دهانه ورودی

Pv = فشار تبخیر سیال در درجه حرارت کاری است.

ب) NPSHR، که حداقل فشار مورد نیاز سیال در دهانه مکش پمپ است تا از بروز کاویتاسیون جلوگیری به عمل آید. مقدار این فشار را میتوان از رابطه زیر به دست آورد:

$$NPSHR = \frac{P_{0\,min}}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} + \frac{P_V}{\rho g}$$

در این رابطه Pomin برابر کمترین فشار استاتیک در دهانه پمپ است. NPSHR توسط کارخانه سازنده تعیین میشود و اغلب دارای ۰/۵ متر محدوده اطمینان است .ولی NPSHA مربوط به مشخصات خط مکش است. برای اینکه در هیچ شرایطی پمپ کاویتاسیون ننماید، لازم است همواره به ازا تمامی دبیها رابطه زیر برقرار باشد:

NPSHA > NPSHR

NPSH = Net Positive Suction Head

۲-۳- تشابه هندسی (تیپ پمپ)

دو پمپ را که از نظر هندسی مشابه باشند از یک تیپ می‌گویند. یعنی با ضرب کلیه اندازه‌های هندسی یک پمپ در ضریبی‌ثابت به نام ((ضریب تشابه)) اندازه‌های هندسی پمپ دیگر به دست می‌آید. کلیه پمپ هایی که از یک تیپ هستند یک خانواده پمپ را تشکیل می‌دهند. دو پمپ از یک تیپ هنگامی به طور مشابه کار میکنند که مثلث سرعت در آنها در تمامی نقاط نظیر در چرخ مشابه باشد.
روابط تشابه به صورت زیر می‌باشد:

سرعت دورانی ثابت

دبی $$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

ارتفاع $$\frac{H_1}{H_2} = \left\{\frac{D_1}{D_2}\right\}^2$$

توان $$\frac{P_1}{P_2} = \left\{\frac{D_1}{D_2}\right\}^3$$

قطر پروانه ثابت

دبی $$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

ارتفاع $$\frac{H_1}{H_2} = \left\{\frac{N_1}{N_2}\right\}^2$$

توان $$\frac{P_1}{P_2} = \left\{\frac{N_1}{N_2}\right\}^3$$

۲-۴ - سرعت مخصوص

طبق تعریف، سرعت مخصوص یک پمپ در نقطه راندمان بیشینه، سرعت دورانی پمپی است از همان خانواده که دبی واحد (یک متر مکعب در ثانیه) با ارتفاع واحد (یک متر) را در نقطه راندمان بیشینه خود تولید میکند. تمامی پمپ‌هایی که از نظر هندسی مشابه هستند و به طور مشابه هم کار میکنند، دارای یک سرعت مخصوص مساوی در نقطه راندمان بیشینه خود میباشند که مقدار عددی آن از رابطه زیر به دست میآید:

$$Ns = N\frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

در این رابطه:

Q : دبی در نقطه راندمان بیشینه بر حسب متر مکعب بر ثانیه (m^3/s)

H : ارتفاع در نقطه راندمان بیشینه بر حسب متر (m)

N : سرعت دورانی پمپ بر حسب $1/min$ (Rpm)

۲-۵ - منحنیهای مشخصه

۲-۵-۱ - منحنی مشخصه ارتفاع H-Q

فرم منحنی در پمپ‌های سانتریفوژ(جریان‌شعاعی)، نیمه سانتریفوژ (جریان‌مختلط) و محوری با یکدیگر تفاوت دارد. در شکل ۲-۱ سه نمونه از منحنی مشخصه H-Q برای پمپ‌های فوق ارائه شده است.

در حالت کلی، در پمپ‌های سانتریفوژ منحنی مشخصه ارتفاع، به شکل سهمی است، که معمولا نقطه بیشینه آن یا بر روی محور H قرار میگیرد و یا به آن بسیار نزدیک است.

در این پمپ‌ها شیب منحنی به زاویه پره بستگی دارد. به این ترتیب که هر چه زاویه خروجی پره کوچکتر باشد، شیب منحنی بیشتر بوده و تغییرات دبی موجب تغییرات سریع‌تر ارتفاع میگردد. یکی از مسائل مهم در پمپ‌های سانتریفوژ، عملکرد صحیح آنها به ازای شرایط مختلف مدار در دبیهای مختلف است. در پمپ‌های سانتریفوژ به‌طور کلی منطقه کاری فقط بر روی قسمتی از منحنی مشخصه H-Q که شیب آن رو به پایین است انتخاب میشود. یعنی با افزایش دبی ارتفاع تولیدی کاهش مییابد.) لذا از این نظر منحنیهای مشخصه‌ای که نقطه بیشینه آنها بر روی محور H قرار دارد مطلوب بوده و میتوان بر روی کلیه نقاط آن کار کرد.

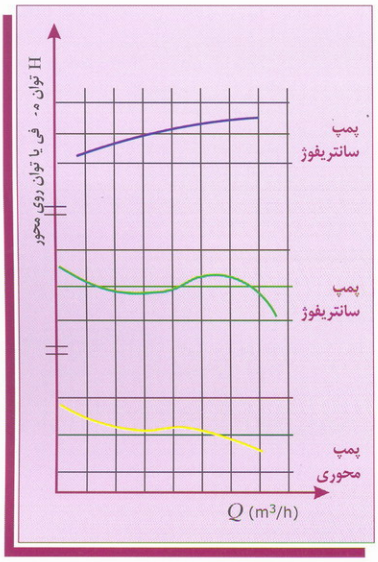
در پمپ‌های محوری، نقطه بیشینه معمولا بر روی محور H قرار نمیگیرد و به همین جهت فقط قسمتی از منحنی که در آن زاست، قابل استفاده می‌باشد.

در پمپ‌های نیمه سانتریفوژ منحنیهای مشخصه با توجه به سرعت مخصوص، در محدوده سرعت‌های مخصوص پایین به منحنی مشخصه پمپ‌های سانتریفوژ شبیه است و در محدوده سرعت‌های مخصوص بالا به منحنی پمپ‌های محوری شبیه است.

شکل ۲-۱ مقایسه منحنی مشخصه H-Q پمپ‌های جریان شعاعی، مختلط و محوری

۲-۵-۲ – منحنی قدرت P-Q

فرم منحنی قدرت نیز با سرعت مخصوص پمپ تغییر میکند. در پمپ‌های با سرعت مخصوص پایین(پمپ‌های سانتریفوژ) منحنی با افزایش Q حالت صعودی دارد و در بعضی دارای نقطه بیشینه‌ای نیز میباشد. در پمپ‌های با سرعت مخصوص بالا (پمپ‌های محوری) منحنی شکل نزولی پیدا میکند و در پمپ‌های نیمه سانتریفوژ، بسته به سرعت مخصوص، شکل آن حالت بینابینی از دو منحنی را دارد.



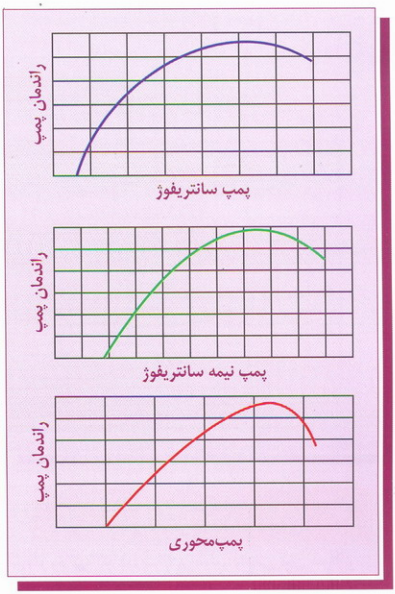
شکل ۲-۲ مقایسه منحنی مشخصه P-Q پمپ‌های جریان شعاعی، مختلط و محوری

بایدتوجه کرد که قدرت الکتروموتور را نمی توان صرفاً بر اساس نقطه راندمان بیشینه انتخاب کرد. زیرا در صورت تغییر دبی،ممکن است قدرت جذبی الکتروموتور افزایش پیدا کند که در این صورت امکان آسیب دیدن سیم پیچی های(موتور به علت افزایش آمپر جذبی) وجود دارد. بنابراین برای حالاتی که پمپ در دبیهای متفاوت کار می کند باید انتخاب موتور بر اساس نقطه بیشینه منحنی مشخصه قدرت انتخاب شود الکترو موتور باید با ضریب اطمینان مربوطه انتخاب شود که عواملی نظیر افت توان الکتروموتور و افت توان پمپ بنابه شرایط محیطی در این ضریب اطمینان موثرند .

۲-۵-۳ – منحنی راندمان η -Q

منحنی راندمان اغلب به صورت سهمی است که محور Q را در دو نقطه Q=0 =j قطع میکند، در این بین منحنی دارای نقطه بیشینه‌ای است که در واقع معرف بهترین نقطه کاری پمپ

میباشد. هنگامی که پمپی انتخاب می‌شود باید کوشش کرد که نقطه کاری پمپ در نزدیکی نقطه بیشینه منحنی راندمان باشد. در شکل ۲–۳ نمونه‌هایی از منحنی h-Q سه پمپ مختلف نشان داده شده است.

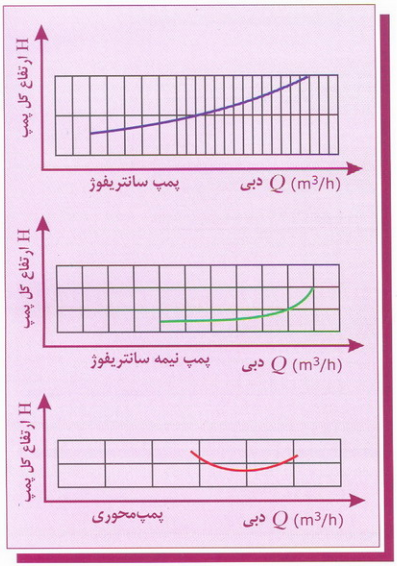


شکل ۲–۳ مقایسه منحنی مشخصه Q-η پمپ‌های جریان شعاعی، مختلط و محوری

معمولا در کاتالوگ پمپ‌ها منحنیهای راندمان را به صورت منحنیهای بسته راندمان ثابت (ایزوراندمان) بر روی منحنی مشخصه ارتفاع نشان می‌دهند.

۲–۵–۴ –منحنی کاویتاسیون NPSHR-Q

منحنی NPSHR در مورد پمپ‌های سانتریفوژ در بیشتر مواقع به صورت صعودی است. یعنی با افزایش دبی ، NPSHR نیز افزایش میابد و احتمال کاویتاسیون بیشتر می‌شود. در حالی که در پمپ‌های محوری منحنی NPSHR دارای یک نقطه حداقل است یعنی خطر کاویتاسیون هم در دبیهای کم و هم در دبیهای زیاد وجود دارد. در پمپ‌های سانتریفوژ (مختلط) نیز منحنی در محدوده سرعت‌های مخصوص پایین شبیه به پمپ‌های سانتریفوژ (شعاعی) و در محدوده سرعت‌های مخصوص بالا شبیه به پمپ‌های محوری است. در شکل ۲–۴ منحنی مشخصه NPSHR برای سه نوع پمپ مختلف نشان داده شده است.



شکل ۲–۴ مقایسه منحنی مشخصه NPSHR-Q پمپ‌های جریان شعاعی، مختلط و محوری

۲–۵–۵ – تاثیر لزجت بر منحنیهای مشخصه

پمپ‌های سانتریفوژ بسته به اندازه و طراحی خود، به طور معمول قادر به جابجایی سیالاتی با لزجت پایین‌تر از حدود ۷۶۰ تا ۵۲۰ سانتی استوک هستند که این مقدار را می‌توان با کاربرد چرخ‌های خاص تا CST ۱۰۰۰ نیز بالا برد. از نظر اقتصادی، بهتر است لزجت سیال از ۱۵۰ cSt تجاوز ننماید.

منحنیهای مشخصه پمپ‌های سانتریفوژ، هنگامی که سیال پمپ‌شونده دارای لزجتی بالاتر از لزجت آب باشد، تغییر خواهد کرد (منحنیهای مشخصه‌ای که کارخانجات ارائه می‌کنند برای آب رسم شده است). به این ترتیب که با افزایش لزجت، ارتفاع و راندمان کاهش و قدرت جذبی افزایش می‌یابد (شکل ۲-۵). نقطه دبی صفر منحنی H-Q، مقدار قبلی خود را خواهد داشت.

در هنگام انتخاب یا استفاده از یک پمپ برای سیالی که لزجت آن بالاتر از لزجت آب است دو مساله به وجود می‌آید:

۱ انتخاب پمپ با توجه به دبی و ارتفاع مورد نیاز برای سیال

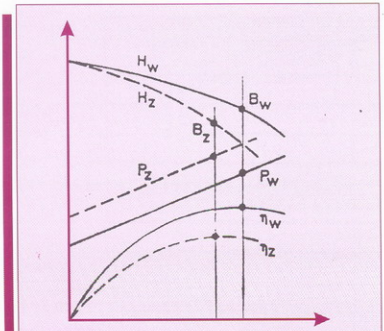
۲ به دست آوردن منحنی مشخصه پمپ برای سیال لزج

در هر دو حالت می‌توان با استفاده از ضرایب تبدیل که در منحنی شکل ۲-۶ آمده است، مقادیر ارتفاع و دبی مربوط به سیال مورد نظر را تعیین کرد:

۱ ابتدا روی محور افقی دبی مورد نظر پیدا می‌شود.

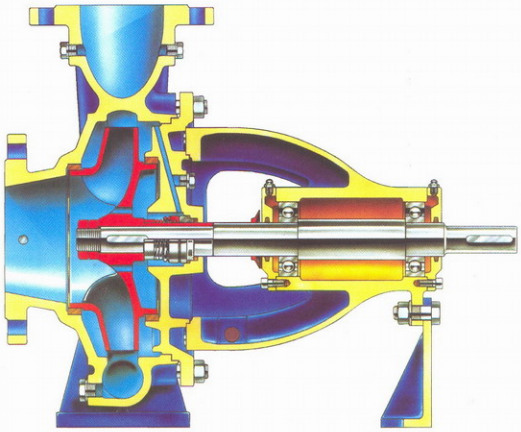
۲ از محل دبی مورد نظر خطی عمودی رسم می‌شود تا منحنی ارتفاع مورد نظر را قطع کند.

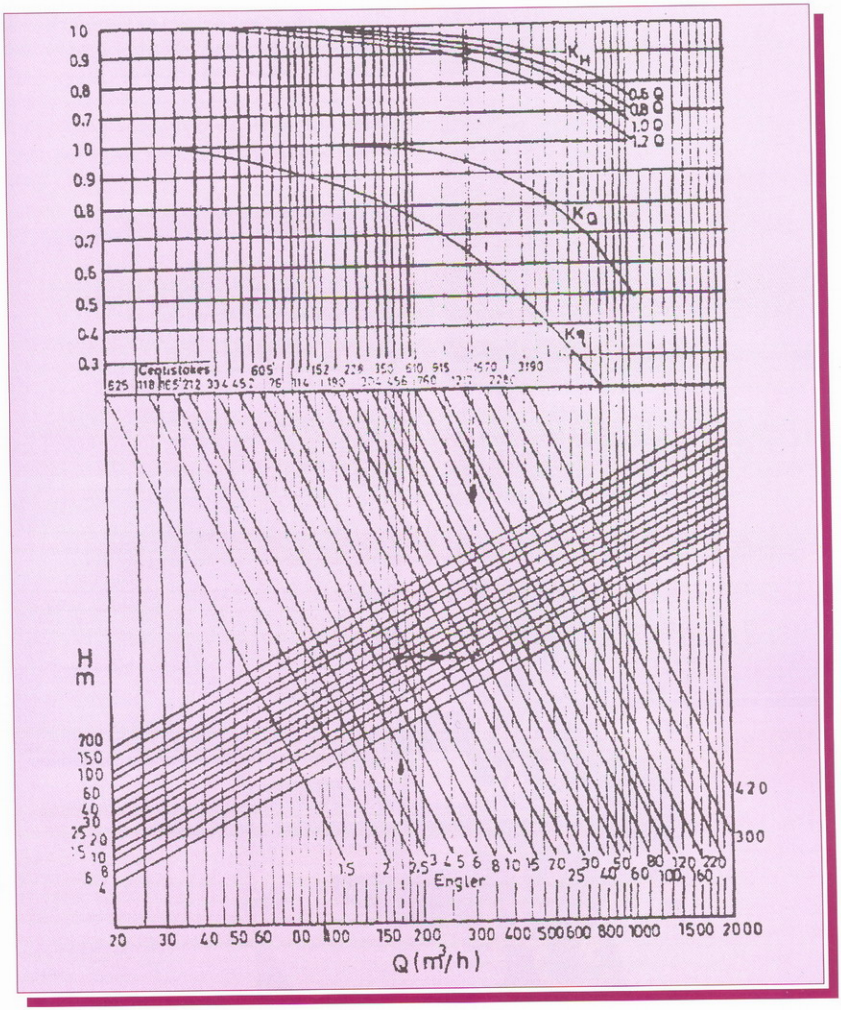
۳ از محل تقاطع خط عمودی و منحنی ارتفاع خطی افقی رسم کرده تا منحنی لزجت را قطع کند.



شکل ۲-۵- اثر تغییر لزجت بر منحنیهای مشخصه

۴ سپس از نقطه تقاطع خط افقی با منحنی لزجت خط عمودی رسم شده تا منحنیهای مربوط به ضرایب تصحیح دبی K_q، راندمان K_n و ارتفاع K_h را قطع کند.





شکل ۲-۶ - نمودار تعیین ضرایب تبدیل برای سیالات لزج

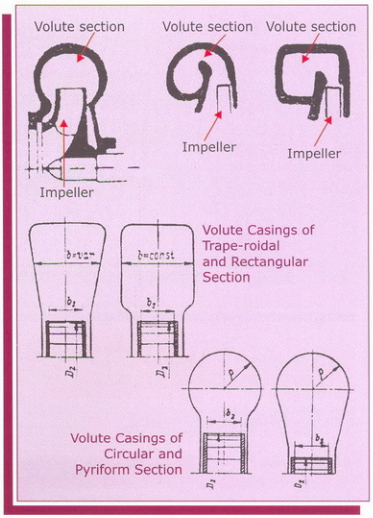
۳ - اجزا مهم تشکیل‌دهنده پمپ‌های سانتریفوژ

۳-۱- پوسته پمپ

به طور کلی پوسته پمپ قسمتی از پمپ است که اجزایی مانند چرخ، حلزونی یا دیفیوزر، آب‌بندها و در مورد پمپ‌های چند طبقه قسمت‌های جداکننده طبقات را در خود جای می‌دهد و فشار درون پمپ را حفظ و تحمل می‌کند.

۳-۱-۱ - پوسته حلزونی Volute Casing

در این گروه از پمپ‌ها در اطراف چرخ پوسته حلزونی شکل قرار دارد. وظیفه این حلزونی جمع‌آوری سیال از اطراف چرخ و تبدیل انرژی جنبشی سیال به فشار می‌باشد. سطح مقطع حلزونی از نقطه شروع تا انتهای ۳۶۰ دوران آن به دور چرخ زیاد می‌شود تا اینکه در انتها سطح مقطع حلزونی به اندازه سطح مقطع دهانه تخلیه می‌رسد.

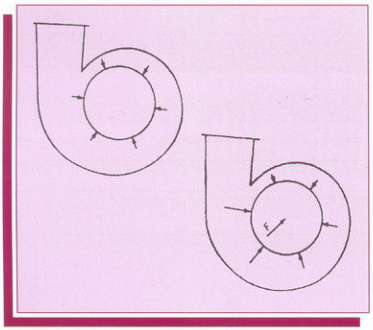


شکل ۳-۱- انواع سطح مقطع حلزونی

۳-۱-۲ - نیروهای شعاعی

در پمپ‌های حلزونی ساده هنگامی که پمپ در نقطه راندمان بهینه کار می‌کند، فشاری یکنواخت و یا تقریبا یکنواخت بر روی چرخ اعمال می‌شود. ولی هنگامی که نقطه کاری پمپ در نقطه راندمان بهینه قرار نمی‌گیرد، فشار اطراف چرخ دیگر یکنواخت نبوده و در نتیجه نیروی عکس‌العمل (ب) به وجود می‌آید.

به دلیل اینکه بسیاری از پمپ‌ها در شرایطی کار می‌کنند که نقطه راندمان بهینه آنها نیست، نیاز به روش طراحی وجود دارد که پمپ را با شرایط کاری سازگار کند. برای این منظور دو راه در نظر می‌گیرند: راه اول استفاده از محور و یاتاقان‌هایی است که تحمل بارهای زیاد را دارند. این روش برای پمپ‌هائی که مقدار ارتفاع آنها کم است مناسب می‌باشد و برای پمپ‌های بزرگ و با ارتفاع بالا اقتصادی نمی‌باشد.



شکل ۳-۲- توزیع فشار در اطراف حلزونی در دو حالت متوازن (سمت چپ) و نامتوازن (سمت راست)

راه دوم استفاده از طرحی برای پوسته است که مقدار نیروی عکس‌العمل ایجاد شده در آن دارای مقدار کمتری می‌باشد. یکی از این طرح‌ها طراحی پوسته به شکل ظرف حلزونی مضاعف (Double Volute) است. در این طرح پوسته پمپ از دو حلزونی با قوس ۱۸۰ درجه تشکیل شده که نقطه شروع حلزونی دوم ۱۸۰ درجه بعد از نقطه شروع حلزونی اصلی است و مسیری هر دو حلزونی را به دهانه تخلیه متصل می‌کند. خنثی کردن نیروهای شعاعی اساس کار این طرح می‌باشد.

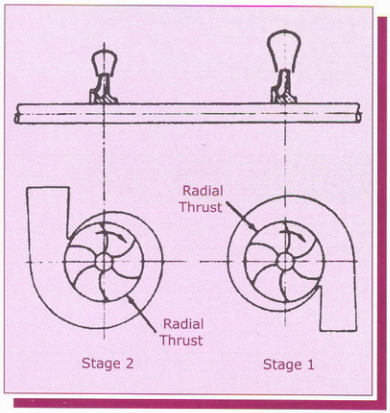
۳-۱-۲ - پخش کننده Diffuser

سیالی که از درون چرخ خارج می‌شود دارای انرژی جنبشی و پتانسیل می‌باشد. چون افت فشار در مجاری عبور سیال با مجذور سرعت سیال رابطه دارد، مطلوب است که سرعت سیال درون پمپ کاهش یافته و مقدار فشار آن افزایش یابد. به این ترتیب مقدار راندمان پمپ افزایش می‌یابد. نقش دیفیوزراین است که سرعت سیال در خروج از چرخ را با حداقل تلفات ممکن، تا سرعت کوچکتری در ورود به جمع‌کننده کاهش دهد. در واقع دیفیوزر یک‌کانال ساکن با پره و یا بدون پره است که بین چرخ و جمع‌کننده قرار می‌گیرد و با ازدیاد سطح مقطع، سرعت جریان را کاهش و فشار را افزایش می‌دهد.
سه نوع دیفیوزر در پمپهای سانتریفوژ استفاده می‌شود:

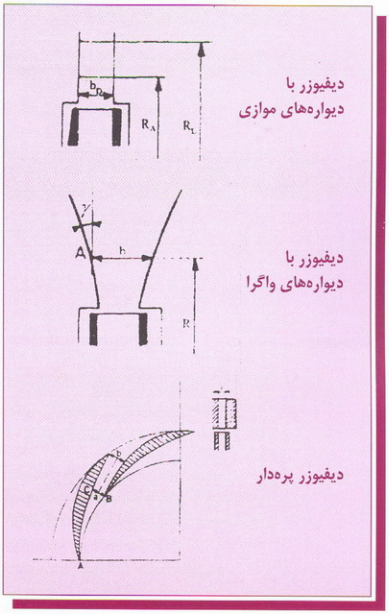
۱ دیفیوزر با دیواره‌های موازی
۲ دیفیوزر با دیواره‌های واگرا
۳ دیفیوزر با پره

۳-۱-۳ - پوسته پمپ‌های چند مرحله Multistage Pump Casing

در بیشتر پمپ‌های یک مرحله از پوسته‌های حلزونی استفاده می‌شود، ولی در پمپ‌های چند مرحله از هر دو طرح پوسته‌های حلزونی و دیفیوزر استفاده می‌شود. به دلیل اینکه در پوسته‌های حلزونی نیروهای شعاعی ایجاد می‌شوند، در محفظه‌های جدایش محوری چند مرحله ای معمولاً حلزونی‌های هر مرحله را به صورت یک در میان عکس یکدیگر می‌سازند، در نتیجه نیروهای شعاعی با یکدیگر موازنه می‌شود.



شکل ۳-۴: چیدمان حلزونی‌ها در پمپ چند مرحله برای موازنه کردن نیروهای شعاعی



شکل ۳-۳- انواع دیفیوزرها

۳-۲ - پروانه Impeller

پروانه پمپ وظیفه انتقال انرژی به سیال را به عهده دارد. هنگامی که سیال وارد پروانه می‌شود، دوران سریع پروانه موجب افزایش انرژی جنبشی ذرات سیال در خروج از پروانه

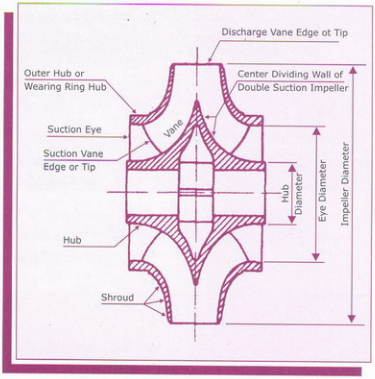
می‌شود. پروانه‌ها از قسمت‌های زیر تشکیل می‌شوند:

۱ تویی پروانه (Hub): که قسمتی از پروانه است که با محور پمپ در تماس است و در صورتی که برای اتصال پروانه به محور از خار استفاده شود، جای خار بر روی آن ایجاد می‌شود.

۲ پره‌های پروانه (Vane): که انرژی را به سیال انتقال می‌دهند.

۳ پشت‌بندها (Shroud) : که دیواره‌های جانبی پروانه را تشکیل می‌دهند که با توجه به طراحی پروانه امکان دارد از دو پشت‌بند یا یکی و یا اصلا از پشت‌بند در پروانه استفاده نشود.

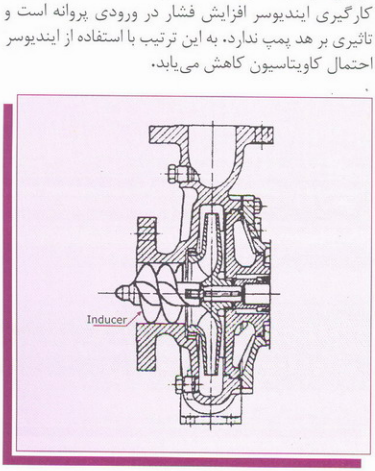
۴ چشم پروانه (Impeller Eye): محل ورود سیال به درون پره‌های پروانه می‌باشد.



شکل ۳-۵- شکل پروانه دو مکشه همراه با نامگذاری قسمت‌های مختلف آن

۳-۳ - القاء کننده Inducer

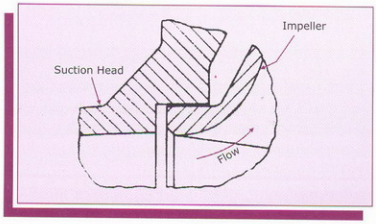
ایندیوسرها پروانه‌های جریان محوری با تعداد پره‌های کم و ارتفاع (Head) تولیدی کم می‌باشند که در جلوی پروانه اصلی به کار می‌روند. مشخصات هیدرولیکی ایندیوسر به گونه‌ای است که NPSH آن بسیار کمتر از پروانه اصلی است. پروانه اصلی و ایندیوسر را بر روی یک محور سوار می‌کنند و سرعت دورانی هر دو یکسان است. شکل(۳-۶). هدف اصلی به کارگیری ایندیوسر افزایش فشار در ورودی پروانه است و تاثیری بر هد پمپ ندارد. به این ترتیب با استفاده از ایندیوسر احتمال کاویتاسیون کاهش می‌یابد.



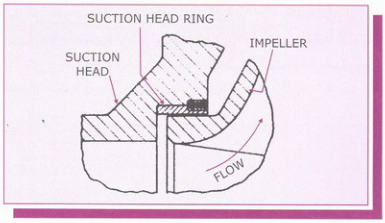
شکل ۳-۶- محل قرارگیری ایندیوسر

۳-۴- رینگهای سایشی

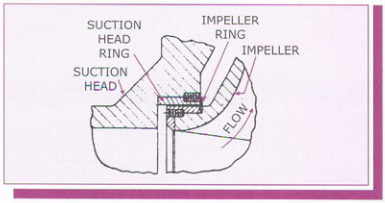
از رینگهای سایشی در نواحی که پروانه و پوسته پمپ در تماس هستند استفاده می‌شود. با استفاده از این رینگ در صورتی که سطوح تماس دچار آسیب شوند می‌توان آنها را تعویض کرد.



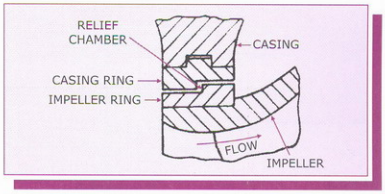
شکل ۳-۷- سطح تماس پروانه و پوسته بدون رینگهای سایشی



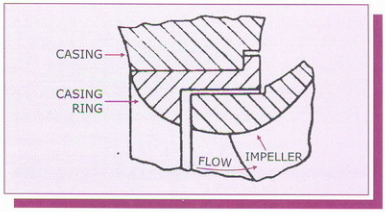
شکل ۳-۸- رینگ سایشی تکی (Single Flat Ring)



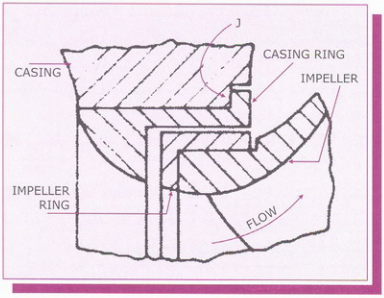
شکل ۳-۹- رینگ سایشی ساده به صورت دوتایی



شکل۳-۱۰- رینگ سایشی پله‌ای (Step Wearing Ring)



شکل ۳-۱۱- رینگ سایشی L شکل به صورت تکی

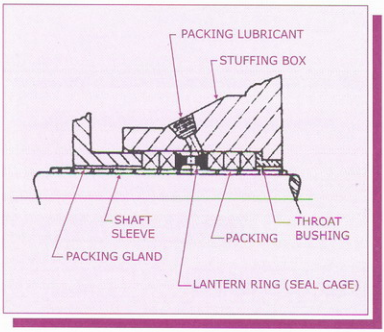


شکل ۳-۱۲- رینگ سایشی L شکل به صورت دوتایی

۳-۵ - آب‌بندها

۳-۵-۱ - حلقه‌های آب‌بندی Packing در پمپ‌های سانتریفوژ

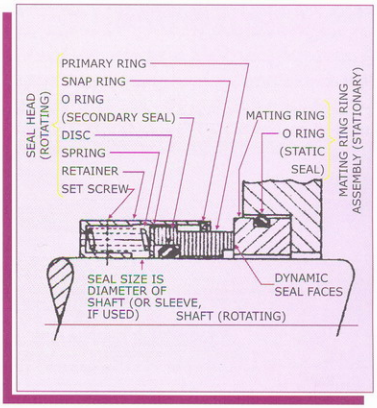
حلقه‌های آب‌بندی (Packing) را دورن محفظه آب‌بندی قرار می‌دهند تا نشتی سیال پمپ شونده به بیرون را در محل عبور محور از پوسته پمپ کنترل کنند. این وسیله آب‌بندی را می‌توان برای کارهای سبک تا متوسط و مواردی که از آب‌بندی مکانیکی استفاده نمی‌شود (مانند پمپ‌های آتش‌نشانی) به کار برد.



شکل ۳-۱۳- چیدمان معمول حلقه‌های آب‌بندی

۳-۵-۲ - آب‌بندهای مکانیکی Mechanical Seal

اجزا آب‌بندی مکانیکی را می‌توان در شکل ۳-۱۴ مشاهده کرد. رینگ اولیه و رینگ تماسی اجزا اصلی آب‌بندی مکانیکی هستند.



شکل ۳-۱۴- اجزا آب‌بندی مکانیکی

۳-۵-۲-۱ - دسته‌بندی آب‌بندهای مکانیکی بر اساس طراحی

بر اساس روش طراحی، آب‌بندها به چهار گروه تقسیم می‌شوند:

- آب‌بندی‌های غیرمتوازن یا متوازن
Unbalanced or Balanced
- راس آب‌بندی دوار یا ثابت
Rotating or Stationary Seal Head
- ساختار تک‌فنری یا چند فنری
Single Spring or Multiple Spring Construction
- آب‌بندی ثانویه با طراحی فشاردهنده و غیرفشاردهنده
Pusher or Nonpusher Secondary Seal Design

o آب‌بندهای غیرمتوازن یا متوازن

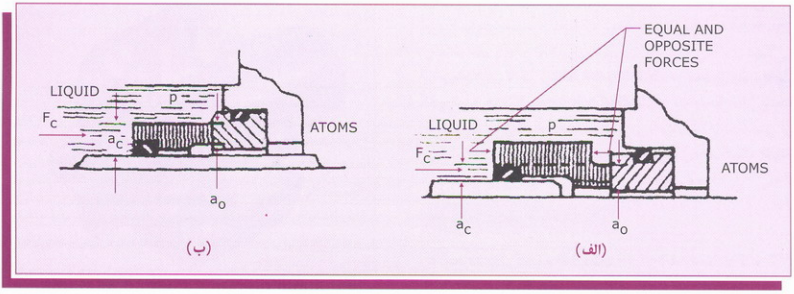
در آب‌بندهای مکانیکی نسبت سطحی که فشار هیدرولیکی سیال پمپ شونده به آب وارد می‌شود به مقدار سطح تماس بین حلقه‌ها حالت آب‌بندی را مشخص می‌کند.

a_c: سطحی که فشار هیدرولیکی به آن وارد می شود.

a_o: سطح تماس بین رینگها

در صورتی که مقدار این نسبت کمتر از یک باشد آب‌بندی متوازن (Balanced Seal) است. ولی اگر مقدار این نسبت بزرگتر، مساوی یک باشد آب‌بندی نامتوازن (Unbalanced Seal) است.

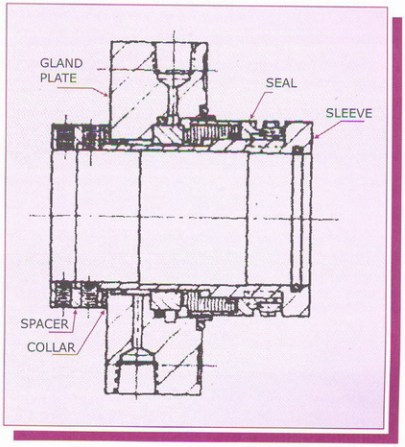
طبق ویرایش هشتم استاندارد API 610 در پمپ‌هایی که تحت این استاندارد قرار می‌گیرند از آب‌بندهای مکانیکی متوازن استفاده می‌شود.



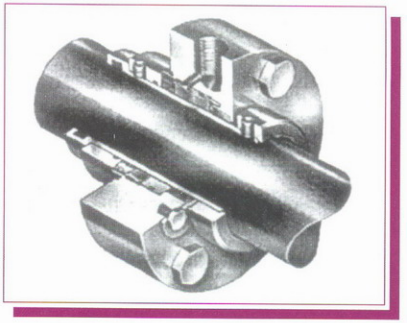
شکل ۳-۱۵- الف) آب‌بندی متوازن ب) آب‌بندی نامتوازن

آب‌بندی دوار یا ثابت

انتخاب بین این دو نوع آب‌بندی مکانیکی بر اساس سرعت محور پمپ انجام می‌شود. به آب‌بندی‌هایی که راس آنها با محور دوران می‌کند، آب‌بندهای دوار گفته می‌شود. انواع مختلف آنها در شکل‌های ۳-۱۶ و ۳-۱۷ نشان داده شده است.



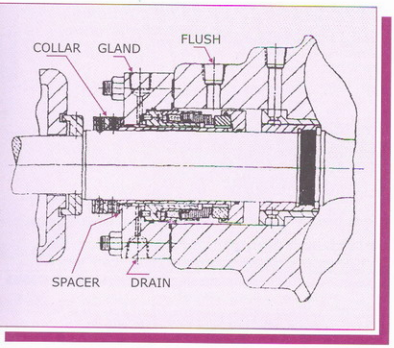
شکل ۳-۱۶- مجموعه آب‌بندی مکانیکی به صورت کارتریج



شکل ۳-۱۷- آب‌بند مکانیکی دوار

هنگامی که رینگ تماسی Mating Ring همراه با محور دوران کند آب‌بندی ثابت Stationary Seal خواهد بود (شکل۳-۱۸).

آب‌بندی‌های با راس دوار معمولا در صنعت برای پمپ‌هایی که سرعت محور آنها معمولی و متوسط است استفاده می‌شوند ولی هنگامی که سرعت محور از5000 ft/min(24/5 m/s) بیشتر شود معمولا از آب‌بندی ثابت استفاده می‌شود . در سرعت‌های بالاتر باید از رینگ‌های تماسی دوار که نیروی نامتوازن ناشی از ارتعاش آب‌بندی (Unbalanced Force) را در حداقل مقدار ممکن نگه می‌دارند، استفاده شود.



شکل ۳-۱۸: آب‌بندی مکانیکی ثابت با رینگ تماسی (Mating Ring) دوار

از آب‌بندهای ثابت (Stationary Seal) در تمامی پمپ‌هایی که پوسته جداشونده (Split Casing) دارند استفاده می‌شود استفاده از این آب‌بندها موجب می‌شود مشکلات ناشی ا درست قرار نگرفتن نیمه‌های پوسته بر روی هم حذف شود

۳-۶ - محور (SHAFT)

انتقال گشتاور حین راه‌اندازی و در طول کار پمپ و ایجا تکیه‌گاهی برای چرخ و دیگر اجزا دوار پمپ از وظایف اصلی محور می‌باشند. طراحی محور برای شرایط کاری باید به گونه‌ای باشد که حداکثر مقدار خیز آن از حداقل فاصله بین اجزا ثابت

و دوار پمپ کمتر باشد. نیروهای وارده به محور عبارتند از:

1. گشتاور
2. وزن اجزا
3. نیروهای شعاعی و محوری هیدرولیکی.

۳-۷ - یاتاقان‌ها (BEARINGS)

کار یاتاقان‌ها نگهداری راستای صحیح محور در برابر بارهای شعاعی و محوری وارد بر آن‌است. به یاتاقان‌هایی که موقعیت شعاعی محور را حفظ می‌کنند یاتاقان‌های شعاعی و یا خطی (Radial or Line Bearing) گفته می‌شود. به یاتاقان‌هایی که موقعیت محوری را حفظ می‌کنند یاتاقان‌های کف‌گرد (Thrust Bearing) گفته می‌شود. در بیشتر موارد یاتاقان‌های کف‌گرد هر دو وظیفه را انجام می‌دهند.

۳-۷-۱ - انواع یاتاقان‌های مو رد استفاده در پمپ‌های سانتریفوژ

از تمامی یاتاقان‌ها می‌توان در پمپ‌های سانتریفوژ استفاده کرد. حتی در بعضی موارد در طرحی ممکن است از دو یا چند نوع یاتاقان متفاوت استفاده شود . این طراحیها بر اساس شرایط کاری و یا ترجیحات خریدار انجام می‌شوند. در پمپ‌ها با توجه به شرایط کاری از یاتاقان‌های غلتشی و یا ژورنال و یا هر دو با هم استفاده می‌شود.

در پمپ‌های افقی که در هر دو سمت محور یاتاقان قرار می‌گیرد، یاتاقان‌ها معمولا با نام‌های یاتاقان داخلی (Inboard) و یاتاقان خارجی (Outboard) شناخته می‌شوند. یاتاقان داخلی بین پوسته و کوپلینگ قرار می‌گیرد. در پمپ‌های Overhung یاتاقان‌بندی محور در یک سمت پروانه قرار می‌گیرد. در این حالت به نزدیک‌ترین یاتاقان به پروانه یاتاقان داخلی (Inboard Bearing) و به یاتاقانی که دورتر از پروانه است یاتاقان خارجی (Outboard Bearing) گفته می‌شود. در پمپ‌هایی که در هر دو سمت محور یاتاقان وجود دارد یاتاقان کف‌گرد در انتهای خارجی و یاتاقان شعاعی در سمت داخلی قرار داده می‌شود.

یاتاقان‌ها درون محفظه یاتاقان نصب می‌شوند. این محفظه ممکن است به پوسته پمپ متصل شود و یا به‌طور یکپارچه با آن ریخته‌گری شود. نگهداری و ذخیره روانکار لازم برای عملکرد بی نقص یاتاقان‌ها یکی از وظایف اصلی محفظه یاتاقان‌ها است. در مواردی که پمپ‌ها بسیار بزرگ هستند محفظه یاتاقان آنها بر روی پایه‌ای قرار می‌گیرد.

یاتاقان‌ها نیاز به وسیله‌ای خنک‌کننده دارند تا گرمای تولید شده در آنها و یا گرمای ناشی ازسیال پمپ شونده به خارج از محفظه یاتاقان‌ها منتقل شود تا به این ترتیب دمای روانکار و یاتاقان‌ها در حد مناسب قرار گیرد. خنک‌کاری از طریق خنک کننده‌های روغن به آب (Water to Oil Cooler) و یا روغن به هوا (Air to OilCooler) انجام می‌شود. به علاوه میتوان از محفظه‌هایی که دارای سیستم خنک‌کننده هستند استفاده کرد.

پمپ‌هایی که چرخ‌های دو مکشه دارند در حالت تئوری دارای بالانس هیدرولیکی می‌باشند. ولی در عمل بالانس هیدرولیکی به‌ندرت وجود دارد. برای همین در این پمپ‌ها نیز از یاتاقان‌های کف‌گرد استفاده می‌شود. به علت مسائلی که هنگام ساخت وجود دارد در عمل نیروهای هیدرولیکی دو طرف چرخ‌های دو مکشه برابر نخواهد بود. در نتیجه نیاز است تا از یاتاقان‌های کف‌گرد برای حفظ موقعیت محوری محور استفاده شود. در این حالت از یاتاقان‌هایی که توانایی مهار نیروها در دو جهت را دارند استفاده می‌شود.

۳-۸ - Couplings

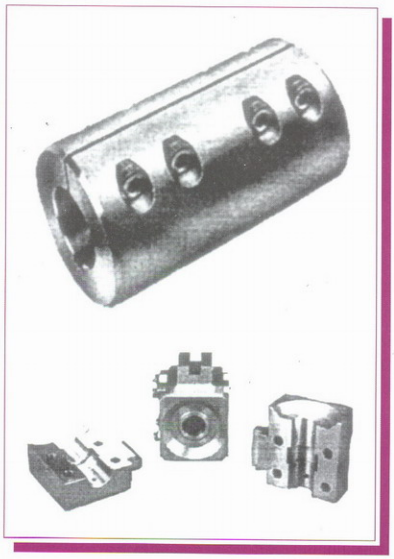
کار اصلی کوپلینگ‌ها اتصال دو محور(متحرک به محرک) است. در ضمن کوپلینگ‌ها می‌توانند برای سازگار کردن ناهمراستایی(Misalignment) محورها ، جبران جابجایی محوری محورها کمک به ایزوله کردن ارتعاشات ، گرما و جریانها از محور به محور دیگر استفاده شوند . کوپلینگ‌ها به دو گروه کوپلینگ‌های صلب(Rigid Coupling) و کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر (Flexible Coupling) تقسیم‌بندی می‌شوند.

۳-۸-۱ - کوپلینگ‌های صلب (Rigid Couplings)

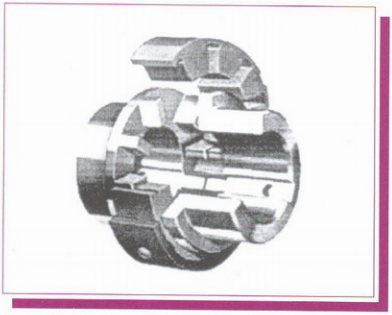
در حالتی که نیاز به همراستایی دقیق محورها باشد از کوپلینگهای صلب استفاده می‌شود . همچنین اگر محور ماشینی در یک زنجیره محرک (Drive Train) برای موقعیت‌دهی و نگهداری محور ماشین دیگری استفاده شود برای اتصال دو محور آنها از کوپلینگ‌های صلب استفاده می‌شود. به دلیل اینکه کوپلینگ‌های صلب ناهمراستایی بین محورها را نمی‌پذیرند، برای اتصال دو محور، باید به دقت هم راستا شوند.

۳-۸-۲ - کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر (Flexible Coupling)

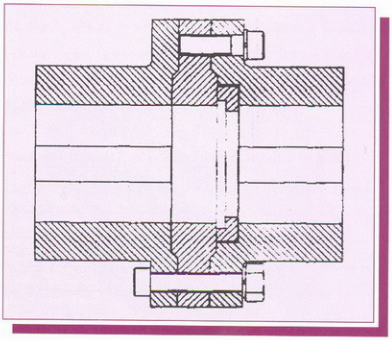
کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر علاوه بر انتقال گشتاور وظیفه سازگار کردن ناهمراستایی محورها را نیز به عهده دارند. کوپلینگ های انعطاف‌پذیر بسیاری وجود دارند . این کوپلینگ‌ها به دو گروه کوپلینگ‌هایی که انعطاف‌پذیری آنها به خاطر ساختمان مکانیکی آنهاست و کوپلینگ‌هایی که به خاطر موادی که در آنها به کار رفته دارای انعطاف‌پذیری هستند تقسیم می‌شوند . به گروه اول کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر با انعطاف مکانیکی (Mechanical Flexible) و به گروه دوم کوپلینگ‌های با مواد انعطاف‌پذیر (Materially Flexible Coupling) گفته‌می‌شود.



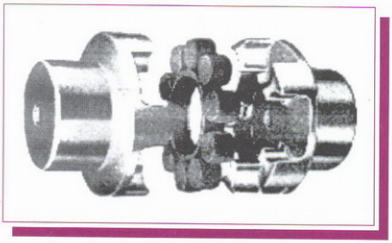
شکل ۳-۱۹- دو نوع کوپلینگ صلب Split Type



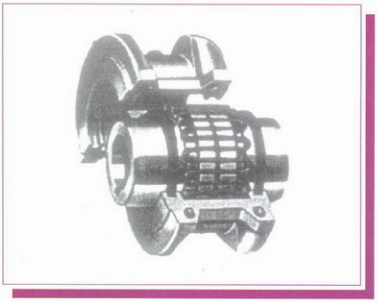
شکل ۳-۲۱- Lossely Fitted Elastomer



شکل ۳-۲۰- کوپلینگ صلب قابل تنظیم (Adjustable Rigid Coupling)



شکل ۳-۲۲- Rubber Jaw Coupling



شکل ۳-۲۳- Spring Grid Couplings

۴ - استاندارد API 610

۴-۱ - مقدمه

((حداقل نیازمندی‌های پمپ‌های سانتریفوژ صنایع پتروشیمی، پمپ‌های صنایع شیمیایی که شرایط کار آن‌ها سخت است (Heavy Duty) ، پمپ‌های صنایع گاز و پمپ‌های بازیافت توان هیدرولیکی(Hydraulic Power Recovery Turbine) ، در استاندارد API 610 مشخص شده است.

این استاندارد نتیجه گردآوری دانش و تجربه سازندگان و کاربران پمپ‌های سانتریفوژ است. هدف این استاندارد تعیین مشخصات دقیق مورد درخواست خریدار برای تسهیل فرآیند تولید است که نتیجه آن تولید پمپی مناسب و دارای شرایط لازم برای به کارگیری در صنایع شیمیایی، پتروشیمی و گاز می‌باشد.

هدف اولیه استاندارد API 610 ایجاد حداقل نیازمندیهای مکانیکی ثابتی است که در پمپ‌های تحت پوشش این استاندارد باید اعمال شود. محدودیت‌هایی که این استاندارد اعمال می‌کند به عنوان امتیاز این استاندارد محسوب می‌شود. در بعضی موارد لازم است که خریدار بعضی از جزئیات و جنبه‌های تجهیزات را تعیین کند. در این استاندارد تغییراتی که ممکن است خریدار انجام دهد به رسمیت شناخته شده است. ولی باید توجه شود که این تغییرات (حذف، اصلاح و یا تقویت بخش‌هایی از استاندارد) به صورت تکمیلی انجام شود، نه اینکه استاندارد بازنویسی شود.

استانداردهای API برای تسهیل در به دست آوردن تجهیزات و مواد استاندارد انتشار یافته‌اند و استفاده از استانداردهای دیگر را منع نمی‌کند. (برگرفته از پیشگفتار API610).

پمپ‌هایی که با شرایط استاندارد API طراحی و ساخته می‌شوند، بسیار پرهزینه هستند. پمپ‌های API برای کارهایی به کار می‌روند که مساله اطمینان‌پذیری و امنیت کاری در اولویت قرار دارد و هزینه مساله‌ای ثانویه است.

استاندارد API610 دارای ۶ بخش است و در پیوست‌های آن اطلاعات تکمیلی و برگه‌های اطلاعات(Data Sheet) آورده شده است. در ادامه بخش‌های مختلف این استاندارد را به‌طور مختصر بررسی می‌کنیم.

۴-۲ - بخش اول

این بخش شامل ۵ قسمت است. در قسمت اول به پمپ‌هایی که استاندارد API در مورد آنها اعمال می‌شود اشاره شده است. همانطور که در قسمت قبل هم اشاره شده در استاندارد API610 پمپ‌هایی که در پتروشیمی، پمپ‌های صنایع شیمیایی با شرایط کاری سخت، پمپ‌های صنایع گاز و پمپ هائی به صورت توربین بازیافت توان هیدرولیکی به کار می‌روند تحت پوشش قرار می‌گیرد (API610 1.1.1). انواع پمپ‌هایی که تحت پوشش این استاندارد قرار می‌گیرند به سه گروه اصلی Vertically% Overhung (OH)% Between Bearing Suspended (VS)% (BB) تقسیم می‌شوند. باید توجه داشت که این استاندارد تمامی پمپ‌های موجود را تحت پوشش قرار نمی‌دهد. در شکل ۴-۱ نمودار درختی تقسیم‌بندی پمپ‌های سانتریفوژ در این استاندارد نمایش داده شده است. در شکل ۴-۲ شکل شماتیک پمپ‌های API610 به نمایش در آمده است.

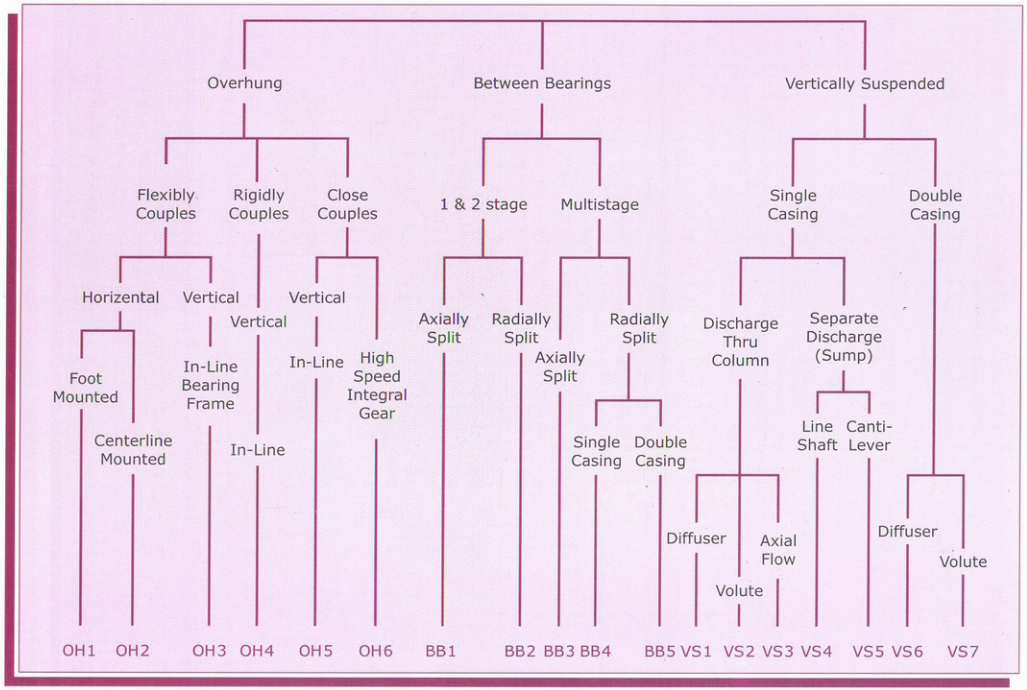
در این استاندارد تعدادی پمپ تعیین شده است که فقط هنگامی که مشتری شخصا آن‌ها را سفارش دهد ساخته می‌شوند. هنگام ساخت این پمپ‌ها ملاحظات ویژه‌ای باید صورت گیرد. در جدول ۴-۱ این پمپ‌ها همراه با ملاحظات ویژه آنها آمده‌است.

SPECIAL DESIGN CONSIDERATIONS OF PARTICULAR PUMP TYPES

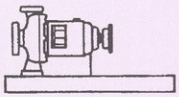
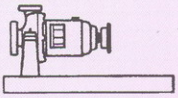
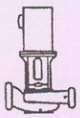
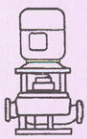
Pump type	Principal Special Considerations
Closed (Installer mounted on Motor Shaft)	1. Motor Construction (3.1.7; 3.1.8) 2. Motor Bearing and Winding Temperature at High Pumping Temperatures 3. Seal Removal (2.7.3.1)
Rigidly Coupled Vertical In - Line	1. Motor Construction (3.1.7; 3.1.8) 2. Rotor Stiffness (2.5.7; 5.1.2.9) 3. Product Lubricated Guide Bearing (2.5.7) 4. Shaft Runout at Seal (2.5.6)
Horizontal Foot Mounted Overhung	1.Pressure Rating (2.2.2) 2.Centerline Supported Casing (2.2.9)
Two Stage Overhung	1. Rotor Stiffness (2.5.7; 5.1.1.2)
Double Suction Overhung	1. Rotor Stiffness (2.5.7; 5.1.1.2)
Ring Section Overhung	1.Pressure Containment (2.2.7; 2.2.80 2. Dismantling (2.1.25)
Built - In Mechanical Seal (No Separable Seal Gland)	1.Seal Removal (2.7.3.1)

جدول ۴-۱- ملاحظات ویژه برای ساخت پمپ‌های خاص

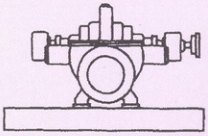
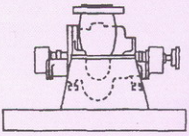
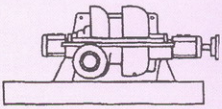
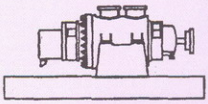
CENTRIFUGAL PUMP TYPES



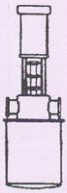
شکل ۴-۱- نمودار درختی تقسیم‌بندی پمپ‌های سانتریفوژ در استاندارد API610

BASIC TYPR (ROTOR)	CODE	SPECIFIC CONFIGURATION	ILLUSTRATION
Overhung	OH 1	Foot Mounted	
Overhung	OH 2	Centerline Mounted	
Overhung	OH 3	Vertical In-Line Separate Bearing Frame	
Overhung	OH 4	Vertical In-Line Rigidly Coupled	
Overhung	OH 5	Vertical In-Line Closed Coupled	
Overhung	OH 6	High Speed Integral Gear	

شکل ۴-۲- شکل شماتیک پمپ‌های سانتریفوژ

BASIC TYPR (ROTOR)	CODE	SPECIFIC CONFIGURATION	ILLUSTRATION
BETWEEN bEARINGS	BB 1	Axially Split, 1 and 2	
BETWEEN bEARINGS	BB 2	Radially Split, 1 and 2	
BETWEEN bEARINGS	BB 3	Axially Split, Multistage	
BETWEEN bEARINGS	BB 4 BB 5	Radially Split, Multistage: Single Casing Double Casing	
VERTICALLY sUSPENDED	VS 1	Wet Pit, Diffuser	
VERTICALLY sUSPENDED	VS 2	Wet Pit, Volute	

شکل ۴-۲- شکل شماتیک پمپ‌های سانتریفوژ

BASIC TYPE (ROTOR)	CODE	SPECIFIC CONFIGURATION	ILLUSTRATION
Vertically Suspended	VS 3	Wet Pit, Axial Flow	
Vertically Suspended	VS 4	Vertical Sump: Line Shaft Cantilever	
Vertically Suspended	VS 5	Double Casing Diffuser	
Vertically Suspended	VS 6	Double Casing Volute	

شکل ۴-۲- شکل شماتیک پمپ‌های سانتریفوژ

استاندارد API610 در مورد پمپاژ سیالات خطرناک، سمی و آتش‌زا و یا مواقعی که شرایط کاری از حدود زیر تجاوز کند مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱۹۰۰Kpa	حداکثر فشار تخلیه
۵۰۰Kpa	حداکثر فشار مکش
۱۵۰0C	حداکثر دمای پمپاژ
۳۶۰۰RPM	حداکثر سرعت دورانی
۱۲۰m	حداکثر ارتفاع (Head)
۳۳۰mm	حداکثر قطر شفت برای پمپ‌های Overhung

قسمت دوم تحت عنوان گزینه‌های طراحی (Alternative Desings) است (API610 1.2) در بند اول این قسمت در مورد امکان ارائه طرح‌های مختلف از فروشنده و بند دوم در مورد انتخاب واحد اندازه‌گیری است.

قسمت سوم در مورد حالتی است که بین سفارش و مفاد استاندارد مغایرت وجود دارد. در این حالت سفارش‌گیرنده پمپ باید طبق سفارش خریدار عمل کند (API610 1.3).

در قسمت چهارم به تعریف عبارات و اصطلاحات مهم و مواردی که باید برای طرفین سفارش‌دهنده و سفارش‌گیرنده روشن باشد پرداخته شده است.

در قسمت پنجم به استانداردهای مرجع اشاره شده است. در استاندارد API610 تمامی استانداردهای آمریکایی و SI که از آنها استفاده شده در پیوست A استاندارد آورده شده است. دراستاندارد API610 استانداردهای امریکایی به عنوان اسناد اصلی در نظر گرفته شده‌اند و دیگر استانداردهای بین‌المللی معادل در صورت موافقت سفارش‌دهنده می‌توانند مورد استفاده قرار گیرد (API610 1.5.1). در ادامه پیوست A این استاندارد، استانداردهای معادل نیز آورده شده‌اند.

۳-۴ – بخش دوم

بخش دوم استاندارد API 610 اصلی ترین بخش این استاندارد است که در آن به اصول طراحی پرداخته شده است.

سرفصل مطالب اصلی این بخش به شرح زیر است:

۲-۱ – مطالب کلی (شماره‌گذاری مطالب بر اساس شماره گذاری درون استاندارد می‌باشد).

۲-۲ – پوسته تحت فشار

۲-۳ – نازل‌ها و اتصالات پوسته

۲-۴ – نیروها و گشتاورهای خارجی وارد به نازل‌ها

۲-۵ – روتور

۲-۶ – رینگ‌های سایشی و لقی عملکرد

۲-۷ – آب‌بندی مکانیکی محور

۲-۸ – دینامیک پمپ‌ها

۲-۹ – یاتاقان‌ها و محفظه یاتاقان‌ها

۲-۱۰ – روانکاری

۲-۱۱ – مواد

۲-۱۲ – پلاک کارخانه سازنده و فلش جهت دوران

قسمت اول که کلیات را دربر می‌گیرد شامل ۲۹ بند است. بعضی از شرایطی که برای طراحی یک پمپ تحت این استاندارد در این قسمت در نظر گرفته شده است به شرح زیر می‌باشد:

حداقل عمر تجهیزاتی که تحت این استاندارد طراحی و ساخته می‌شوند (به جز اجزا سایشی) ۲۰ سال است و این تجهیزات باید بتوانند سه سال بدون توقف کار کنند (API610 2.1.1). باید بتوان ارتفاع آبدهی (Head) پمپ را با افزایش قطر چرخ و یا تغییر طراحی هیدرولیکی آن به مقدار ۵ درصد افزایش داد (API 610 2.1.4).

پمپ باید بتواند در ۱۰۵درصد سرعت‌کاری خود به طور پیوسته کار کنند (API 610 2.1.5).

پمپ‌هایی که دارای منحنی مشخصه پایدار هستند برای تمامی شرایط کاری ترجیح داده می‌شوند. ولی در حالتی که پمپ قرار است به صورت موازی با پمپ دیگر کار کند منحنی آن باید پایدار باشد (API 610 2.1.11).

دبی کاری (Rated Capacity) پمپ باید در محدوده ۸۰ تا ۱۱۰درصد بهترین نقطه‌کاری پمپ باشد (API 610 2.1.12).

قسمت دوم این بخش مربوط به پوسته تحت فشار پمپ می‌باشد.

طبق این بند تنش‌هایی که به مواد وارد می‌شود از مقادیر تعیین شده در بخش دوم کد ASME (Section II asme Code) نباید بیشتر شود. حداقل فشاری که پوسته پمپ و فلنج‌ها باید تحمل کنند برابر حداکثر فشارتخلیه به اضافه مقدار مجاز افزایش فشار در دمای پمپاژ می‌باشد (API 610 2.2.2).

در صورتی که شرایط زیر برقرار باشد از پمپ‌های Radially Split استفاده می‌شود:

الف) دمایC ۲۰۰۰ و یا بالاتر. در حالتی که امکان وقوع شوک حرارتی وجود دارد باید حد دمایی پایین‌تری درنظر گرفته شود.

ب) هنگامی که سیال آتش‌زا و یا خطرناک با چگالی نسبی

۵/۷ و یا کمتر پمپ می‌شود.

ج) هنگامی که سیال آتش‌زا و یا خطرناک در فشار کاری بالای ۱۰ Mpa پمپ می‌شود (API 6102.2.6). جزییات روزه پیچ‌ها باید مطابق ISO 262 باشد (API 610 2.2.13.1).

موضوع قسمت سوم، نازل‌ها و اتصالات پوسته پمپ می‌باشد. این قسمت دارای سه بند اصلی به ترتیب زیر است:

۱ اندازه دهانه پوسته (Casing Opening Size)

۲ نازل‌های مکش و تخلیه (Suction and Discharge Nozzles)

۳ اتصالات پوسته پمپ (Pressure Casing Connections)

در هر قسمت توصیه‌ها، شرایط و استانداردهای لازم برای روش انجام اتصال، انتخاب اندازه لوله‌ها آمده است.

در قسمت چهارم به نیروها و ممان‌هایی که به نازل‌ها وارد می‌شود پرداخته شده است. خطاهای ساخت سیستم لوله‌کشی، حرکت تکیه‌گاههای لوله‌ها و تغییرات دما موجب اعمال نیروها و گشتاورهایی به نازل‌ها می‌شوند. این نیروها تمایل به حرکت دادن پوسته پمپ نسبت به محرک دارند. به این دلیل در استاندارد API 610 معیارهایی‌خاصی در نظر گرفته شده است. برای نازل‌های هر پمپ دستگاه مختصاتی در نظر گرفته شده است. این دستگاه‌های مختصات در شکلهای ۴-۳ تا ۴-۷ به نمایش در آمده است. شرایطی که برای این حالات در نظر گرفته شده است به صو رت زیر می‌باشد:

پمپ‌های افقی که از جنس فولاد و یا آلیاژهای فولاد هستند صفحه بستر (Base Plates) آنها و همچنین پمپ‌های Vertically Suspended باید به گونه‌ای طراحی شوند که تحت تاثیر نیروها و گشتاورهای مشخص شده درجدول ۴-۲ عملکرد مناسبی داشته باشند. در پمپ‌های افقی نیروها و گشتاورهای وارد به نازل‌ها موجب تغییر شکل پوسته و ناهمراستایی محور پمپ با محور محرک می‌شود (API 610 2.4.1).

برای پمپ‌هایی که از جنس فولاد و آلیاژهای فولاد ساخته نشده‌اند یا پمپ‌هایی که نازل آنها از NPS ۱۶ بزرگ‌تر است فروشنده باید جدولی مطابق جدول ۴-۲ تهیه کند (API 610 2.4.3).

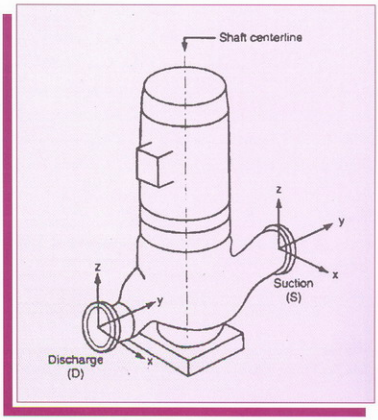
NOZZLE LOADINGS (SI UNITS)

Note: Each value shown below indicates a range from minus that value to plus that value; for example 710 indicates a range from -710 to +710.

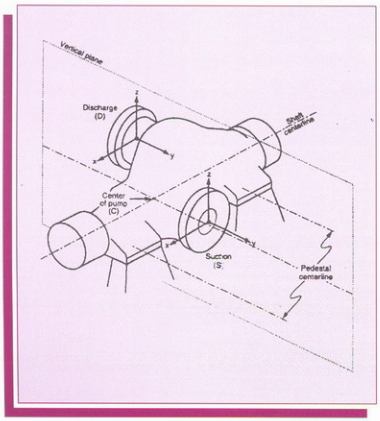
	Nominal Size of Flange (NPS)								
Force / Moment	2	3	4	6	8	10	12	14	16
Each Top Nozzle									
FX	710	1070	1420	2490	3780	5340	6670	7120	8450
Fy	580	890	1160	2050	3110	4450	5340	5780	6670
Fz	890	1330	1780	3110	4890	6670	8000	8900	10230
FR	1280	1930	2560	4480	6920	9630	11700	12780	14850
Each Side Nozzle									
FX	710	1070	1420	2490	3780	5340	6670	7120	8450
Fy	890	1330	1780	3110	4890	6670	8000	8900	10230
Fz	580	890	1160	2050	3110	4450	5340	5780	6670
FR	1280	1930	2560	4480	6920	9630	11700	12780	14850
Each End Nozzle									
FX	890	1330	1780	3110	4890	6670	8000	8900	10230
Fy	710	1070	1420	2490	3780	5340	6670	7120	8450
Fz	580	890	1160	2050	3110	4450	5340	5780	6670
FR	1280	1930	2560	4480	6920	9630	11700	12780	14850
Each Nozzle									
FX	460	950	1330	2300	3530	5020	6100	6370	7320
Fy	230	470	680	1180	1760	2440	2980	3120	3660
Fz	350	720	1000	1760	2580	3800	4610	4750	5420
FR	620	1280	1800	3130	4710	6750	8210	8540	9820

Note1: F= force in Newtons ; M= moment in Newton meters; R= resultant. See Figures 2-2 - 2-6 for orientation of nozzle loads (X, Y, and Z).
Note21: Coordinates system has been changed from API Standard 610, 7th Edition, convention to ISO 1503 convention.

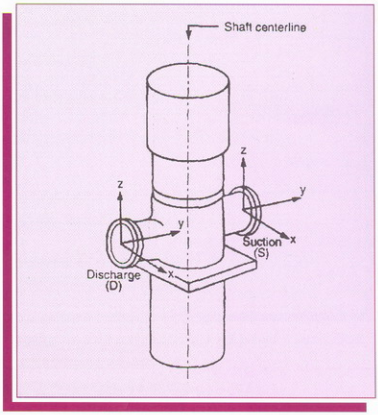
جدول ۴-۲- مقدار نیروها و ممان‌هایی که نازل‌های پمپ باید در برابر آن مقاومت کنند



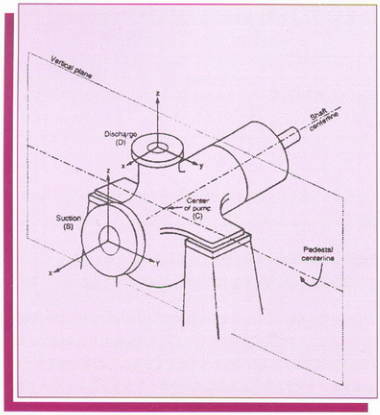
شکل ۴-۳- سیستم مختصات برای نیروها و ممان‌های جدول ۲-۴ در پمپ **Vertical In Line**



شکل ۴-۵- سیستم مختصات برای نیروها و ممان‌های جدول ۴-۲ در پمپ افقی با نازل‌های جانبی



شکل ۴-۴: سیستم مختصات برای نیروها و ممان‌های جدول ۴-۲ در پمپ **Vertically Suspended Double Casing**



شکل ۴-۶:سیستم مختصات برای نیروها و ممان‌های جدول ۴-۲ در پمپ افقی **End Suction** با نازل تخلیه در بالای پمپ قرار گرفته است

مقدار نیروها و گشتاورهای مجاز در پمپ‌های عمودی در خط (Vertical In-Line) باید دوبرابر مقادیری که در جدول ۴-۲ آمده است باشد (API 610 2.4.2)

در قسمت پنجم به مبحث روتور پمپ پرداخته می‌شود. در استاندارد API 610 به تمامی اجزا دوار پمپ روتور می‌گویند. در ادامه بعضی از نکات این قسمت آورده شده است.

در صورتی که مشتری حالت دیگری را تعیین نکند چرخ به صورت یک قطعه ریخته‌گری می‌شود (API 610 2.5.1) چرخ پمپ باید به وسیله خار به محور متصل شود. استفاده از پین برای اتصال چرخ به محور قابل قبول نمی‌باشد.

در پمپ‌های Overhung برای محکم کردن چرخ به محور باید از پیچ‌های کلاهی (Cap Screw) و مهره‌های کلاهی (Cap Nut) استفاده شود. این وسایل باید به گونه‌ای رزوه شوند که نیروهای وارد به آنها تمایل به محکم‌ترکردن آن‌ها داشته باشند و در ضمن این اجزا را باید با روش موثری قفل کرد تا از حرکت آنها جلوگیری شود (API 610 2.5.2).

قسمت ششم در مورد رینگ‌های سایشی و مقدار لقی عملکرد می‌باشد. طبق بند اول این قسمت (درصورتی که حالت دیگری از سوی خریدار معین نشود) رینگ‌های سایشی باید هم بر روی چرخ و هم بر روی پوسته پمپ نصب شوند (API 610 2.6.1). بند ششم در مورد لقی‌های عملکرد (Runing Clearances) است. طبق این بند هنگامی که لقی کاری در نظر گرفته می‌شود، مواردی مانند دمای پمپاژ، شرایط مکش و مشخصات سیالی پمپ‌شونده باید در نظر گرفته شود. اندازه لقی‌ها باید به اندازه کافی باشد تا در شرایط ویژه کاری پمپ گریپاژ نکند. حداقل اندازه لقی‌ها برای قطرهای مختلف اجزا دوار در جدول ۴-۳ آورده شده است.

برای موادی که سایش در آنها زیاد است و برای تمامی موادی که در دمای بالای C ۲۶۰۰ کار می‌کنند باید hm ۱۲۵ به مقادیر جدول ۴-۳ اضافه شود (API 610 2.7.3).

قسمت هفتم مربوط به شرایط آب‌بندهای مکانیکی است. بعضی از شرایط این قسمت به صورت زیر می‌باشد:

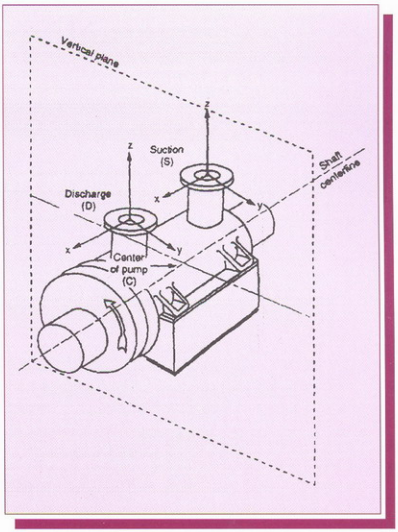
در تمامی موارد از آب‌بندی مکانیکی استفاده می‌شود مگر اینکه از سوی خریدار حالت دیگری تعیین شود. از حلقه‌های آب‌بندی (Packing) برای سیالاتی که خطرناک و یا آتش‌زا نیستند استفاده می‌شود (API 610 2.7.1)

در صورتی که حالت دیگری تعیین نشود سیستم آب‌بندها و آب‌بندی باید طبق استاندارد API 682 باشند(API 610 2.7.2). هنگامی که از استاندارد API 682 استفاده نمی‌شود آب‌بندی مکانیکی باید نیازمندی‌هایی که در استاندارد Space API 610 آورده شده است را برآورده کند. بعضی از این نیازمندی‌ها به شرح زیر می‌باشد (API 610 2.7.3):

۱ بدون توجه به چیدمان و نوع آب‌بندی، آب‌بندهای مکانیکی باید به صورت کارتریج (Cartridge) باشند. طبق این استاندارد کارتریج آب‌بند مکانیکی شامل بوش محافظ محور(Sleeve)، Gland ، آب‌بند اولیه، آب‌بند ثانویه و بقیه اجزا آب‌بند مکانیکی می‌شود. آب‌بند مکانیکی باید بدون باز کردن محرک پمپ قابل باز کردن باشد (API 610 2.7.3.1).

۲ آب‌بندهای مکانیکی به کار رفته در پمپ‌ها باید به صورت متوازن (Balanced) باشند:
(API 610 2.7.3.2) و (API 610 .2.7.3.3)

۳ ابعاد محفظه آب‌بندی باید مطابق جدول ۴-۴ باشد. هنگامی



شکل ۴-۷- سیستم مختصات برای نیروها و ممان‌های جدول ۴-۲ در پمپ افقی که نازل‌های پمپ در بالای پمپ قرار گرفته است

Diameter of Rotating Member at Clearance (mm)	Minimum Diameteral Clearance (mm)	Diameter of Rotating Member at Clearance (in.)	Minimum Diameteral Clearance (in.)
< 50	0.25	< 2.000	0.010
50 TO 64.99	0.28	2.000 TO 2.499	0.011
65 TO 79.99	0.30	2.500 TO 2.999	0.012
80 TO 89.99	0.33	3.000 TO 3.499	0.013
90 TO 99.99	0.35	3.500 TO 3.999	0.014
100 TO 114.99	0.38	4.000 TO 4.499	0.015
115 TO 124.99	0.40	4.500 TO 4.999	0.016
125 TO 149.99	0.43	5.000 TO 5.999	0.017
150 TO 174.99	0.45	6.000 TO 6.999	0.018
175 TO 199.99	0.48	7.000 TO 7.999	0.019
200 TO 224.99	0.50	8.000 TO 8.999	0.020
225 TO 249.99	0.53	9.000 TO 9.999	0.021
250 TO 274.99	0.55	10.000 TO 10.999	0.022
275 TO 299.99	0.58	11.000 TO 11.999	0.023
300 TO 324.99	0.60	12.000 TO 12.999	0.024
325 TO 249.99	0.63	13.000 TO 13.999	0.025
350 TO 374.99	0.65	14.000 TO 14.999	0.026
375 TO 399.99	0.68	15.000 TO 15.999	0.027
400 TO 424.99	0.70	16.000 TO 16.999	0.028
425 TO 449.99	0.73	17.000 TO 17.999	0.029
450 TO 474.99	0.75	18.000 TO 18.999	0.030
475 TO 499.99	0.78	19.000 TO 19.999	0.031
500 TO 524.99	0.80	20.000 TO 20.999	0.032
525 TO 549.99	0.83	21.000 TO 21.999	0.033
550 TO 574.99	0.85	22.000 TO 22.999	0.034
575 TO 599.99	0.88	23.000 TO 23.999	0.035
600 TO 624.99	0.90	24.000 TO 24.999	0.036
625 TO 649.99	0.95	25.000 TO 25.999	0.037

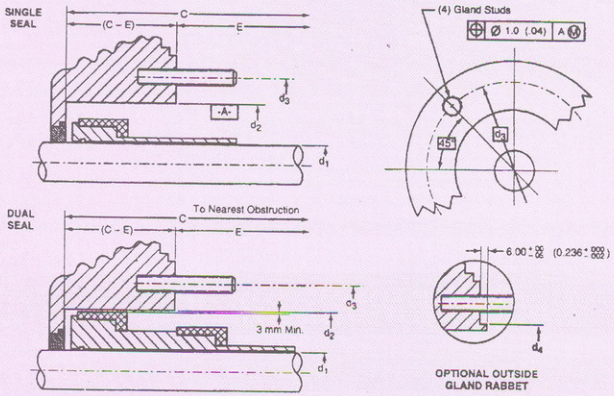
Note: For diameters greater than 649.999 mm (25.999 in.) The minimum diametral clearance shall be 0.95 mm (0.037 in.) Plus 1 m for each additional 1 mm of diameter of fraction thereof (0.001 in. For each additional in.)

جدول ۴-۳- حداقل مقدار لقی مجاز برای اجزا دوار پمپ

که از این ابعاد استفاده می‌شود حداقل لقی شعاعی بین اجزا دوار آب‌بند مکانیکی و قطر داخلی محفظه آب‌بندی و 3 mm Gland می‌باشد (API 610 2.7.3.6).

۴ عملکرد آب‌بند مکانیکی وابسته به مقدار Runout محفظه آب‌بندی است. مقدار Runout وجه جانبی آب‌بندی نباید بیشتر از ۱۰ hm و در هر ۲۰ mm باشد (API 610 2.7.3.13).

Standard Dimensions for Seal Chambers, Seal Gland Attachments and Cartridge Mechanical Seal Steeve (mm/in.)



Seal Chamber Size	(Note 1) Shaft Diameter (Maximum) (d_1) mm/in.	(Note 2) Seal Chamber Bore (d_2) mm/in.	Gland Stud Circle (d_3) mm/in.	(Note 2) Outside Gland Rabber (d_2) mm/in.	(Note 3) Total Length (minimum) (C) mm/in.	(Note 3) Clear Length (minimum) (E) mm/in.	Stud Size (SI Std)	Stud Size (US Std)
1	20.00/0.787	70.00/2.756	105/4.13	85.00/3.346	150/5.90	100/3.94	100/3.94	1/2"-13
2	30.00/1.181	80.00/3.150	115/4.53	95.00/3.740	155/6.10	100/3.94	M12x1.75	1/2"-13
3	40.00/1.575	90.00/3.543	125/4.92	105.00/4.134	160/6.30	100/3.94	M12x1.75	1/2"-13
4	50.00/1.968	100.00/3.937	140/5.51	115.00/4.528	165/6.50	110/4.33	M16x2.0	5/8"-11
5	60.00/2.362	120.00/4.724	160/6.30	135.00/5.315	170/6.69	110/4.33	M16x2.0	5/8"-11
6	70.00/2.756	130.00/5.118	170/6.69	145.00/5.709	175/6.89	110/4.33	M16x2.0	5/8"-11
7	80.00/3.150	140.00/5.512	180/7.09	155.00/6.102	180/7.09	110/4.33	M16x2.0	5/8"-11
8	90.00/3.543	160.00/6.299	205/8.07	175.00/6.890	185/7.28	120/4.72	M20x2.5	3/4"-10
9	100.00/3.937	170.00/6.693	215/8.46	185.00/7.283	190/7.48	120/4.72	M20x2.5	3/4"-10
10	110.00/4.331	180.00/7.087	225/8.86	195.00/7.677	195/7.68	120/4.72	M20x2.5	3/4"-10

Note1: Dimensions to tolerance grade G7/h6; Reference: ISO 286 (ANSI/ASME B4.1).
Note2: Dimensions to tolerance grade H7/h6; for axially split pumps, an additional tolerance to allow for gasket thickness: ± 75 m / 0.003 in.
Note2: Shaft deflection criteria (see 25.7) may require © and (E) dimensions on size 1 and 2 seal chamber to be reduced below the minimum values listed, depending on specific pump construction and casing design.

جدول ۴-۴- ابعاد محفظه آب‌بندی

قسمت هشتم به موضوع دینامیک پمپ‌های سانتریفوژ پرداخته است. این قسمت شامل سه بند اصلی به صورت زیر می‌باشد:

آنالیز پیچش (Torsional Analysis)

ارتعاشات

موازنه اجزا دوار

بند دوم مربوط به انجام آنالیز پیچشی است . طبق این استاندارد در صورت وجود شرایط زیر تحلیل پیچشی انجام می‌شود.

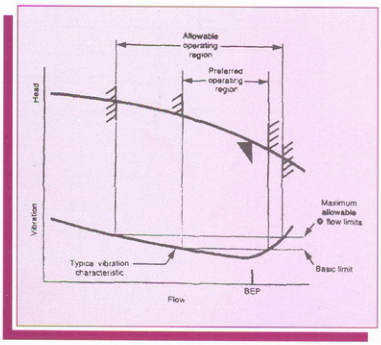
الف) موتور الکتریکی یا توربین با توان KW ۱۵۰۰ که توان آنها از طریق جعبه دنده به پمپ منتقل می‌شود.

ب) موتور احتراق داخلی با توان KW ۲۵۰ یا بالاتر

ج) موتور سنکرون با توان KW ۵۰۰ یا بالاتر

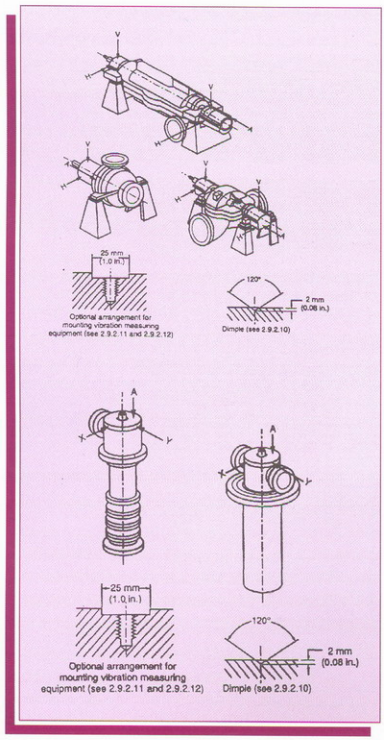
د) موتور الکتریکی با فرکانس تحریک متغییر (variable Drive Frequency) (API 610 2.8.2.1)

بند سوم به مساله ارتعاشات پمپ پرداخته است. در استاندارد API 610 برای پمپ ناحیه عملکرد ترجیحی (Preferred Operating Region) تعریف شده است. این ناحیه محدوده‌ای از ناحیه عملکرد پمپ است که ارتعاشات پمپ در حد پایه تعیین شده در استاندارد باشد (API 610 .1.4.3.7). بازه این ناحیه در ۷۰ تا ۱۲۰ درصد دبی نقطه بهترین راندمان (Best Efficiency Point) است. محدوده کاری پمپ باید درون این ناحیه باشد.



شکل ۴-۸ - رابطه بین دبی و ارتعاشات پمپ

در این بند روش اندازه‌گیری و گزارش ارتعاشات پمپ تشریح شده است و محل قرارگیری و روش نصب ابزارهای اندازه‌گیری ارتعاش در پمپ‌ها معین شده است. برای یاتاقان‌های ساچمه‌ای پروب‌های(Probe) اندازه‌گیری ارتعاش بر روی محفظه یاتاقان نصب می‌شوند و برای یاتاقان‌های هیدرودینامیکی پروب باید نزدیک محور و در مجاورت یاتاقان‌ها باشد (API 610 2.8.3.2). در شکل های ۴-۹ محل قرارگیری سنسورهای ارتعاشی نشان داده شده است.



شکل ۴-۹- محل قرارگیری پروب‌های ارتعاش

در بند چهارم به موضوع بالانس اجزا دوار پرداخته شده است. پروانه ها، طبلک‌های بالانس(Blancing Drums) و اجزا اصلی دوار باید طبق استاندارد ISO 1940 Grade G 1.0 (4W/N) و یا مقدار نامیزانی باقیمانده 7g.mm هر کدام که بزرگتر بود بالانس دینامیکی شوند. وزن محوری (Arbor) که برای بالانس کردن به کار می‌رود نباید بیشتر از اجزایی که بالانس می‌شوند باشد (API 610 2.8.4.1). در اجزائی که نسبت D/B در آنها بزرگتر از ۶ باشد، بالانس در یک صفحه (Single Plane Balancing) انجام می‌شود (شکل ۴-۱۰)

بعد از انجام مباحث دینامیکی پمپ‌ها در قسمت نهم در مورد یاتاقان‌ها بحث می‌شود. در استاندارد API 610 سه رزش یاتاقان بندی در نظر گرفته می‌شود که با توجه به شرایط کاری انتخاب می‌شوند.

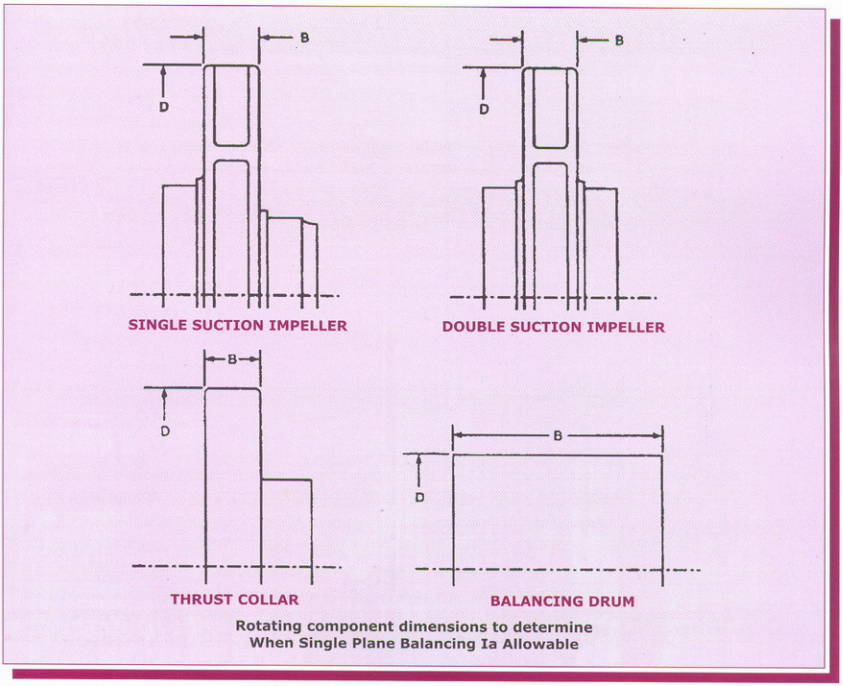
این سه روش به صورت زیر هستند:

۱ استفاده از یاتاقان‌ها غلتشی برای مهار نیروهای شعاعی و محوری

۲ استفاده از یاتاقان هیدرودینامیکی برای مهار نیروهای شعاعی و یاتاقان غلتشی برای نیروهای محوری

۳ استفاده از یاتاقان‌های هیدرودینامیکی برای مهار بارهای شعاعی و محوری (API 610 2.9.1.1)

شرایط انتخاب بین این حالت ها در جدول ۴-۵ آمده است.



شکل ۴-۱۰- ابعاد اجزا دوار برای تعیین نسبت D/B

هنگامی که یاتاقان‌های غلتشی برای مهار نیروهای محوری به کار میروند از دو یاتاقان تماس زاویه یک ردیفه با زاویه تماس ۴۰ درجه (سری ۷۰۰۰) با چیدمان پشت به پشت (Back to Back) استفاده می‌شود (API 610 2.9.1.5)

محفظه یاتاقان‌ها به گونه‌ای باید قرار گیرند که تعویض یاتاقان‌ها را بدون باز کردن قطعات پمپ ممکن باشد (API 610 2.9.2.1)

هنگامی که سیال پمپ‌شونده آتش‌زا و یا خطرناک است، محفظه یاتاقان‌ها و بست‌های بین محفظه یاتاقان و پوسته پمپ باید از جنس فولاد باشند (API 610 2.9.2.5).

در قسمت دهم بخش دوم API610 به مبحث روانکاری پرداخته شده است. طبق این قسمت یاتاقان‌ها و محفظه آنها باید برای روانکاری با روغن‌های هیدروکربنی طراحی شوند (API 610 2.10.1).

قسمت یازدهم این بخش در مورد مواد بوده و شامل چهار بند اصلی به شرح زیر است:

۱ کلیات
۲ ریخته‌گری
۳ جوشکاری
۴ استفاده از مواد در دماهای پایین

بند اول مطالبی کلی در مورد انتخاب جنس برای اجزا پمپ و نیازمندی‌های مربوط به آن است.

مواردی از این بند به شرح زیر می‌باشد:

انتخاب مواد طبق پیوست H استاندارد API 610 (جدول ۴-۷) انجام می‌شود، مگر اینکه موادی به صورت فوق‌العاده و یا جایگزین از طرف فروشنده پیشنهاد شود. از روی جدول ۴- ۶ کلاس مواد تعیین می‌شود و طبق کلاس مواد از روی جدول ۴-۷ جنس قطعات تعیین می‌شود .

Condition	Bearing Type and Arrangement
Radial and thrust bearing speed and life within limits for rolling element bearings and Pump energy density below limit	Rolling element radial and thrust Rolling element radial and thrust
Radial bearing speed or life outside limits for rolling element bearings and Thrust bearing speed and life within limits for rolling element bearings and pump energy density below limit	Hydrodynamic radial and rolling element thrust or Hydrodynamic radial and thrust
Radial and thrust bearing speed or life outside limits for rolling element bearings or Pump energy density below limit	Hydrodynamic radial and thrust

Not: Limits are as follows:
a. Radial and thrust bearing speed:
Factor, Ndm not to exceed 500,000

Where:
dm = mean bearing diameter (d+D)/2, mm
N = rotative speed, RPM

Rolling element bearings life:
Basic rating L_{10h} per ISO 281 (ANSI/ABMA Standard 9) of at least 25,000 hours with continuous operation at rated conditions, and at least 16,000 hours at maximum radial and axial loads and rated speed.

c. Energy density:
when the product of pump rated power, kW (hp), and rated speed, RPM, is 4.0 million (5.4 million) or greater, hydrodynamic radial and thrust bearings are required.

جدول ۴-۵- شرایط به کارگیری یاتاقان‌ها غلتشی و هیدرودینامیکی

Table G-1—Material Class Selection Guide

CAUTION: This table is intended as a general guide for on-plot process plants and off-plot transfer and loading services. It should not be used without a knowledgeable review of the specific services involved.

Service	Temperature Range °C	Temperature Range °F	Pressure Range	Material Class	See Reference Note
Fresh water, condensate, cooling tower water	<100	<212	All	I-1 or I-2	
Boiling water and process water	<120	<250	All	I-1 or I-2	5
	120–175	250–350	All	S-5	5
	>175	>350	All	C-6	5
Boiler feed water					
Axially split	>95	>200	All	C-6	
Double casing (barrel)	>95	>200	All	S-6	
Boiler circulator	>95	>200	All	C-6	
Foul water, reflux drum water, water draw, and hydrocarbons containing these waters, including reflux streams	<175	<350	All	S-3 or S-6	6
	>175	>350	All	C-6	
Propane, butane, liquefied petroleum gas, and ammonia (NH_3)	<230	<450	All	S-1	
Diesel oil; gasoline; naphtha; kerosene; gas oils; light, medium, and heavy lube oils; fuel oil; residuum; crude oil; asphalt; synthetic crude bottoms	<230	<450	All	S-1	
	230–370	450-700	All	S-6	6, 7
	>370	>700	All	C-6	6
Noncorrosive hydrocarbons, e.g., catalytic reformate, isomerate, desulfurized oils	230–370	450-700	All	S-4	7
Xylene, toluene, acetone, benzene, furfural, MEK, cumene	<230	<450	All	S-1	
Sodium carbonate, doctor solution	<175	<350	All	I-1	
Caustic (sodium hydroxide) concentration of ≤20%	≤100	≤210	All	S-1	8
	≥100	≥200	All	—	9
Seawater	<95	<200	All	—	10
Sour water	<260	<470	All	D-1	
Sulfur (liquid state)	All	All	All	S-1	
FCC slurry	<370	<700	All	C-6	
Potassium carbonate	<175	<350	All	C-6	
	<370	<700	All	A-8	
MEA, DEA, TEA-stock solutions	<120	<250	All	S-1	
DEA, TEA-lean solutions	<120	<250	All	S-1	8
MEA-lean solution (CO_2 only)	80–150	175–300	All	S-9	8
MEA-lean solution (CO_2 and H_2S)	80–150	175–300	All	—	8, 11
MEA, DEA, TEA, rich solutions	<80	<175	All	S-1	8
Sulfuric acid concentration >85%	<38	<100	All	S-1	6
85% – <1%	<230	<450	All	A-8	6
Hydrofluoric acid concentration of >96%	<38	<100	All	S-9	6

General Notes:

1. The materials for pump parts for each material class are given in Appendix H.
2. Specific materials recommendations should be obtained for services not clearly identified by the service descriptions listed in this table.
3. Cast iron casings, where recommended for chemical services, are for non-hazardous locations only. Steel casings (2.11.1.4) should be used for pumps in services located near process plants or in any location where released vapor from a failure could create a hazardous situation or where pumps could be subjected to hydraulic shock, for example, in loading services.
4. Mechanical seal materials: For streams containing chlorides, all springs and other metal parts should be Alloy 20 or better. Buna N and Neoprene should not be used in any service containing aromatics. Viton should be used in services containing aromatics above 95°C (200°F).

Reference Notes:

5. Oxygen content and buffering of water should be considered in material selection.
6. The corrosiveness of foul waters, hydrocarbons over 230°C (450°F), acids, and acid sludges may vary widely. Material recommendations should be obtained for each service. The material class indicated above will be satisfactory for many of these services, but must be verified.
7. If product corrosivity is low, Class S-4 materials may be used for services at 231°–370°C (451°–700°F). Specific material recommendations should be obtained in each instance.
8. All welds shall be stress relieved.
9. Alloy 20 or Monel pump material and dual mechanical seals should be used with a pressurized seal oil system.
10. For seawater service, the purchaser and the vendor should agree on the construction materials that best suit the intended use.
11. Class A-7 materials should be used except for carbon steel casings.

جدول ۴-۶- راهنمای انتخاب کلاس مواد

Table H-1—Materials for Centrifugal Pump Parts

Part	ASTM Material?	Material Class and Material Abbreviations* I-1 CI / CI	I-2 CI / BRZ	S-1 STL / CI	S-3 STL / NI-RESIST	S-4 STL / STL	S-5 STL / STL 12% CHR	S-6 STL / 12% CHR	S-9 STL / MONEL	C-6 12% CHR / 12% CHR	A-7 AUS / AUS (Notes 1 & 2)	A-8 316 AUS / 316 AUS (Notes 1 & 2)
Pressure casing	Yes	Cast iron	Cast iron	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel	12% Chrome	Austenitic stainless steel	Type 316 austenitic stainless steel
Inner case parts (bowls, diffusers, diaphragms)	No	Cast iron	Bronze	Cast iron	Ni-resist	Cast iron	Carbon steel	12% Chrome	Monel	12% Chrome	Austenitic stainless steel	Type 316 austenitic stainless steel
Impeller	Yes	Cast iron	Bronze	Cast iron	Ni-resist	Carbon steel	Carbon steel	12% Chrome	Monel	12% Chrome	Austenitic stainless steel	Type 316 austenitic stainless steel
Case wearing rings	No	Cast iron	Bronze	Cast iron	Ni-resist	Cast iron	12% Chrome, hardened	12% Chrome, hardened	Monel	12% Chrome, hardened	Hard-faced austenitic stainless steel (Note 3)	Hard-faced Type 316 austenitic stainless steel (Note 3)
Impeller wearing rings	No	Cast iron	Bronze	Cast iron	Ni-resist	Cast iron	12% Chrome, hardened	12% Chrome, hardened	Monel	12% Chrome, hardened	Hard-faced austenitic stainless steel (Note 3)	Hard-faced Type 316 austenitic stainless steel (Note 3)
Shaft (Note 2)	Yes	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel (Note 4)	K-Monel	12% Chrome	Austenitic stainless steel	Type 316 austenitic stainless steel
Shaft sleeves, packed pumps	No	12% Chrome, hardened	Hard bronze	12% Chrome, hardened	12% Chrome, hardened	12% Chrome, hardened or hard faced	12% Chrome, hardened or hard faced	12% Chrome, hardened or hard faced	K-Monel, hardened	Tungsten carbide-3 over 12% chrome	Hard-faced austenitic stainless steel (Note 3)	Hard-faced Type 316 austenitic stainless steel (Note 3)
Shaft sleeves, mechanical seals	No	Austenitic stainless steel or 12% chrome	Austenitic stainless steel or 12% chrome	Austenitic stainless steel or 12% chrome	Austenitic stainless steel or 12% chrome	Austenitic stainless steel or 12% chrome	Austenitic stainless steel or 12% chrome	Austenitic stainless steel or 12% chrome	K-Monel, hardened	Austenitic stainless steel or 12% chrome	Austenitic stainless steel	Type 316 austenitic stainless steel
Throat bushings	No	Cast iron	Bronze	Cast iron	Ni-resist	Cast iron	12% Chrome	12% Chrome	Monel	12% Chrome	Austenitic stainless steel	Type 316 austenitic stainless steel
Interstage sleeves	No	Cast iron	Bronze	Cast iron	Ni-resist	Cast iron	12% Chrome, hardened	12% Chrome, hardened	K-Monel, hardened	12% Chrome, hardened	Hard-faced austenitic stainless steel (Note 3)	Hard-faced Type 316 austenitic stainless steel (Note 3)
Interstage bushings	No	Cast iron	Bronze	Cast iron	Ni-resist	Cast iron	12% Chrome hardened	12% Chrome, hardened	K-Monel, hardened	12% Chrome, hardened	Hard-faced austenitic stainless steel (Note 3)	Hard-faced Type 316 austenitic stainless steel (Note 3)
Lantern ring (if packed pump)	No	Cast iron	Cast iron or bronze	Cast iron	Cast iron	Cast iron	Cast iron	Cast iron	Monel	12% Chrome	Austenitic stainless steel	Type 316 austenitic stainless steel
Gland with packing or plate retaining mechanical seal	Yes	Carbon steel	Carbon steel	Carbon steel (Note 5)	Carbon steel (Note 5)	Carbon steel (Note 5)	Carbon steel (Note 5)	Carbon steel (Note 5)	Carbon steel (Note 5)	12% Chrome (Note 5)	Austenitic stainless steel, carbon, or (Note 5)	Type 316 austenitic stainless steel, carbon, or (Note 5)
Gland studs or bolts	Yes	Carbon steel	Carbon steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	K-Monel, hardened	AISI 4140 steel	Austenitic stainless steel	Type 316 austenitic stainless steel
Case studs	Yes	Carbon steel	Carbon steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	K-Monel, hardened	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel	AISI 4140 steel
Case gasket	No	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Monel, spiral wound, PTFE filled (Note 6)	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)	Type 316 austenitic stainless steel, spiral wound (Note 6)

*The abbreviation above the diagonal line indicates case material; the abbreviation below the diagonal line indicates trim material. Abbreviations are as follows: CI = cast iron, BRZ = bronze, STL = steel, 12% CHR = 12% chrome, SS = stainless steel, AUS = austenitic stainless steel, 316 = Type 316.

جدول ۴-۷- جدول انتخاب کلاس مواد

طبق قسمت هشتم موارد زیر باید بر روی پلاک سازنده که بر روی پمپ نصب می‌شود، حک شود:

۱ شماره خریدار
۲ شماره مدل و اندازه
۳ شماره سریال پمپ
۴ دبی (GPM)m3/h
۵ ارتفاع پمپاژ، m (Feet)
۶ فشار آزمون هیدرواستاتیکی، (Psig)KPa
۷ سرعت دورانی RPM
۸ حداکثر فشار مجاز کاری
۹ دمای پایه برای حداکثر فشار مجاز کاری

۴-۴ - بخش سوم

بخش سوم در مورد لوازم جانبی و ملحقات پمپ می‌باشد. این بخش شامل شش قسمت اصلی است. این قسمت ها به شرح زیر می باشد:

۱ محرک‌ها
۲ کوپلینگ‌ها و حفاظ‌ها
۳ صفحه بستر پمپ
۴ ابزارهای اندازه‌گیری
۵ لوله‌کشی و ملحقات پمپ
۶ ابزارهای ویژه

قسمت اول در مورد محرک پمپ‌ها است، نوع محرک موتور را مشتری انتخاب می‌کند. عمر یاتاقان‌هایی که روی سیستم محرک نصب می‌شوند بر اساس عمر محک L10H(ISO 281) برابر ۲۵۰۰۰ ساعت کار در شرایط کاری پمپ به صورت پیوسته و ۱۶۰۰۰ ساعت در حالت حداکثر بار می‌باشد. در صورتی که محرک توربین بخار باشد باید نیازمندی‌های استاندارد ISO ۱۰۴۳۶ (API Standard 611) برآورده شود و بتواند توانی معادل ۱۱۰ درصد توان مورد نیاز خریدار در سرعت کاری را به صورت پیوسته تامین کند. چرخدنده‌های به کار رفته در سیستم محرک باید مطابق استاندارد API 677 باشد.

قسمت دوم مربوط به شرایط کوپلینگ و حفاظ‌ها می‌شود و مطابق با آن به صورت پیش‌فرض از کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود. از فاصله بندها (Spacer) نیز برای سهولت تعویض یاتاقان‌ها، آب‌بندها و خود کوپلینگ استفاده می‌شود. اندازه فاصله‌بندها باید حداقل ۱۲۵ mm باشد. کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر با خار به محور متصل می‌شوند.

در فاصله بین محرک و پمپ که محورها و کوپلینگ‌ها در فضای باز قرار می‌گیرند از حفاظ استفاده می‌شود.

در قسمت سوم به نحوه طراحی صفحه بستر پمپ و نحوه ملات ریزی پرداخته شده است. صفحه بستر باید زیر تمامی اجزا پمپ و اجزا محرک را فرا بگیرد. برای پمپ‌های افقی حاشیه‌ای با شیب ۱:۱۲۰ به سمت انتهای پمپ در نظر گرفته می‌شود و در انتهای شیب مجرای تخلیه قرار می‌گیرد.

قسمت چهارم مربوط به تجهیزات اندازه‌گیری است. این قسمت دارای بندهای اصلی زیر است:

۱ وسایل اندازه‌گیری دما
۲ وسایل اندازه‌گیری فشار
۳ نمایشگرهای ارتعاش، موقعیت و دما.

ساعتهای اندازه‌گیری دما باید دارای شرایط زیر باشند:

۱ ساختار مقاوم در برابر شرایط سخت و خوردگی داشته باشند.
۲ اجزا بیمتال و یا پر شده از مایع داشته باشند.
۳ قطر ساعت اندازه‌گیری mm ۱۰۰ یا بزرگتر باشد.
۴ اعداد به صورت سیاه بر روی زمینه سفید نوشته شده باشند.

وسیله اندازه‌گیری فشار باید شرایط زیر را داشته باشد:

۱ اجزا متحرک و تیوب بوردن (Bourdon Tube) باید از جنس فولاد ضدزنگ آستینت باشند.
۲ قطر ساعت اندازه‌گیری برای فشارهای تا ۵/۵ Mpa باید ۱۰۰ mm باشد.
۳ برای فشار ۵/۵ Mpa و بزرگتر قطر ساعت اندازه‌گیری ۱۶۰ mm باید باشد.
۴ از اتصال نری از جنس فولاد آلیاژی با اندازه ۱/۲ NPS استفاده شود.
۵ اعداد باید به صورت سیاه بر روی زمینه سفید نوشته شوند.
۶ حداکثر مقدار فشاری که ساعت اندازه‌گیری فشار نشان می‌دهد باید از فشاری که شیر اطمینان برای آن تنظیم شده به اضافه ده درصد فشار تنظیمی کمتر باشد.

قسمت پنجم این بخش به مبحث لوله کشی‌های خود پمپ و ملحقات آن می‌پردازد. این قسمت دارای پنج بند اصلی به شرح زیر است:

۱ مطالب عمومی
۲ لوله کشی کمکی سیال فرآیند
۳ لوله کشی بخار
۴ لوله کشی خنک کننده
۵ لوله کشی سیستم روغن کاری

بخش ششم در مورد ابزارهای ویژه‌ای است که با توافق طرفین در نظر گرفته می‌شوند. این بخش درباره توافق طرفین در مورد به کارگیری وسایل که برای نصب و یا پیاده سازی پمپ لازم است و نحوه حمل این وسایل می‌باشد.

۴-۵ - بخش چهارم

در بخش چهارم به مباحث بازرسی، آزمون و آماده‌سازی برای حمل پرداخته شده است. این بخش دارای چهار قسمت اصلی به شرح زیر می باشد:

۱ مطالب کلی
۲ بازرسی
۳ آزمون‌ها
۴ آماده‌سازی برای حمل

طبق بندهای قسمت اول در صورت درخواست، مشتری می‌تواند از تمامی کارگاه‌های فروشنده و زیرمجموعه‌های آن بازدید کند و این وظیفه فروشنده است که زیرمجموعه‌های خود را از شرایط بازرسی‌ها و آزمون‌ها آگاه کند. طبق این استاندارد ، بازرسی و آزمون به دو صورت Witnessed و Observed انجام می‌شود. در حالت Witnessed آزمون‌ها باید در حضور خریدار و یا نماینده خریدار انجام شود. در حالت Observed فروشنده برنامه زمان‌بندی آزمون یا بازرسی را در اختیار خریدار قرار می‌دهد و آزمون‌ها طبق برنامه انجام می‌شود و در صورتی که نماینده مشتری حاضر نباشد آزمون‌ها طبق برنامه انجام می‌شود .

در قسمت دوم پیرامون انواع بازرسی و روش‌های آن بحث شده است. فروشنده باید اسناد زیر را به مدت ۲۰ سال نگهداری کند:

الف) گواهینامه‌های لازم برای مواد
ب) خصوصیات خرید تمامی مواد
ج) نتایج ثبت شده بازرسی‌ها و آزمایش‌ها
د) تعمیرات نهایی محدوده و لقی‌های کاری

بازرسی‌ها شامل دو بخش اصلی بازرسی مواد و بازرسی مکانیکی می‌شود. از روش‌های زیر برای بازرسی کیفیت مواد بعد از ساخت استفاده می‌شود.

۱ رادیوگرافی
۲ التراسونیک
۳ استفاده از ذرات مغناطیسی
۴ استفاده از مایعات نفوذکننده

آزمون‌ها در استاندارد API شامل سه دسته آزمون به شرح زیر می‌شوند

۱ آزمون هیدرواستاتیک (Hydrostatic Test)
۲ آزمون عملکرد (Performance Test)
۳ آزمون های انتخابی (Optional Test)

آزمون‌های انتخابی شامل موارد زیر می‌شوند:

الف) آزمون NPSHR
ب) آزمون مجموعه اجزا (شامل پمپ، سیستم محرک و محلقات)
ج) آزمون سطح صدا
د) رزونانس محفظه یاتاقان‌ها

در قسمت چهارم به شرایط بسته‌بندی قطعات و اسنادی که باید همراه قطعات حمل شود پرداخته شده است.

۴-۶ - بخش پنجم

در این بخش شرایط ویژه ساخت، آزمون نصب برای بعضی از پمپ‌های خاص ذکر شده است. پمپ‌های OH2، OH3، OH6 از پمپ‌های Overhung ، پمپ‌های BB1 و BB5 از پمپ‌های Between Bearing و پمپ‌های VS1، VS2، VS4، VS5، VS6، VS7 از گروه پمپ‌های Vertically Suspended جزو پمپ‌های خاصی هستند که در این بخش درباره آنها بحث شده است.

۴-۷ - بخش ششم

این بخش به اسناد و مدارکی که فروشنده باید تهیه و در اختیار خریدار قرار دهد می‌پردازد. این اسناد به دو بخش کلی Proposals و Contract Data تقسیم می‌شوند که هر کدام شامل موارد مختلفی می‌شوند. در سربرگ مکاتبات موارد زیر باید ذکر شود:

الف) نام شرکت خریدار / استفاده‌کننده
ب) شماره کار /پروژه
ج) شماره تجهیزات و نام کاری که انجام می‌دهند
د) شماره درخواست (Inquiry) و سفارش (Order) مشتری
ه) هر شناسه‌ای که در درخواست یا سفارش معین شده است.
و) شماره شناسایی Proposal فروشنده ، شماره سفارش کارگاه، شماره سریال، و یا هر شماره درخواست شده دیگری شده که موجب همخوانی مکاتبات می‌شود.

حداقل اطلاعاتی که در Proposal آورده می‌شود شامل موارد زیر می‌باشد:

الف) نقشه‌ها
ب) اطلاعات فنی

ج) منحنی‌ها
د) انتخاب‌ها

Contract Data (اطلاعات قرارداد) شامل موارد زیر می‌شود:

- نقشه‌ها
- اطلاعات فنی
- گزارش پیشرفت
- فهرست قطعات و قطعات یدکی توصیه شده
- دستورالعمل‌های نصب، راهبری و اطلاعات فنی

علائم نقشه‌ها باید براساس ISO 31 ، قوانین ارائه نقشه‌ها بر اساس ISO 128 و قوانین علامت‌گذاری بر اساس ISO 3098 باشد.

مراجع:

۱ـ نور بخشی، سید احمد (۱۳۷۹) "پمپ و پمپاژ" چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران

۲ـ نور بخشی، سید احمد (۱۳۷۸) "توربو ماشین ها" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران

3- Karassik, Igor J. (2001) "Pumps Handbook" 3TH Edition, Mc Grow Hill Co.

4- American Petroleum Institute Standard 610 "Centrifugal Pumps for Refinery, Heavy Duty Chemical, and Gas Industry Services". 8th ed. 1995