

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تبریز
دانشکده مهندسی مکانیک
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک-گرایش تبدیل انرژی

عنوان

تحقیق پیرامون عملکرد هیدرولیکی یک پمپ گریز از مرکز در انتقال هیدرولیکی جامدات

استاد راهنما

دکتر میر بیوک احقاقی بناب

استاد مشاور

دکتر سید اسماعیل رضوی

پژوهشگر

رضا برمکی

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم

به او که از ذرات ما همگشاها را

هوشمند آفرید

به نام خدا

خدای بزرگ و مهربان را به خاطر توفیق انجام این پایان نامه، شاکرم و از او می
خواهم که بقیه زندگی ام را نیز در راه علم و دانش سپری نمایم.

بر خود لازم می دانم از همکارانی عزیزانی که در انجام این پایان نامه یاریم نمودند،
تشکر و قدردانی نمایم.

از زحمات بی دریغ استاد راهنمای عزیزم جناب آقای دکتر احتقانی تقدیر و تشکر می
نمایم که به حق، اگر راهنمایی های ارزشمند ایشان نبود، طی کردن این مسیر نیز میسر
نبود.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر رضوی که در طول انجام این پایان نامه از
مشاورت های ارزشمند ایشان بهره مند گردیدم، کمال تشکر و سپاسگزاری دارم.

از همه دوستان و عزیزان شرکت پمپ سازی نوید سهند، کارکنان این شرکت و به
خصوص از جناب آقای مهندس مقدم و جناب آقای مهندس کوچانی که در
ساخت و راه اندازی و انجام آزمایشات از پیچ کوششی دریغ ننمودند و نیز شکر و قدر
دانی می نمایم و سایر عزیزانی که نامشان ذکر نشده است بسیار سپاسگزارم و از خداوند
متعال برای این عزیزان سربلندی و بهروزی آرزو مندم.

از خانواده عزیزم که همواره مشوق و تکیه گاه من بوده و با محبت خود محیطی امن و آرام
را برای موفقیت این حقیر فراهم نموده اند، سپاسگزاری نموده و برای همگی ایشان
توفیق، عزت و سربلندی از این دوستان خواهانم.

رضا برکی

بهمن ۱۳۹۰

نام خانوادگی: برمکی	نام: رضا
عنوان پایان نامه: تحقیق پیرامون عملکرد هیدرولیکی یک پمپ گریز از مرکز در انتقال هیدرولیکی جامدات	
استاد راهنما: دکتر میر بیوک احقاقی بناب استاد مشاور: دکتر سید اسماعیل رضوی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکانیک گرایش: تبدیل انرژی دانشگاه: تبریز دانشکده: مهندسی مکانیک تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۰/۱۱/۲۰ تعداد صفحه: ۷۴	
واژه های کلیدی: توربو ماشین ، پمپ گریز از مرکز ، انتقال ذرات جامد	
چکیده: در معادن و در برخی از صنایع جهت انتقال ذرات جامد به همراه آب از پمپ های گریز از مرکز استفاده می کنند به جهت راحتی و اقتصادی بودن ، این روش به روش های دیگر ترجیح داده می شود . ولی به دلیل اختلاف دانسیته بین ذرات جامد و سیال خطوط جریان داخل پاساژ پروانه و دیفیوزر ، همانند حالت فقط مایع نبوده و به خاطر تغییرات ممنتوم مخلوط و مایع ، تلفات هیدرولیکی در پمپ بیشتر خواهد شد و منحنی هد_دبی و قدرت_دبی و راندمان_دبی که برای آب طراحی گردیده به هم می خورد . البته تلفات اضافی دیگری بدلیل شوک و اصطکاک ذرات و دیواره پمپ بوجود خواهد آمد . تحقیقات بیشتری در خصوص میزان کاهش هد و راندمان پمپ در حین انتقال هیدرولیکی جامدات صورت گرفته ، که معمولاً نتایج یکسانی را نشان نمیدهد . بدلیل اهمیت موضوع در این پروژه ضمن مطالعه موارد تئوری ، موضوع با انتخاب یک پمپ موجود در صنعت و طراحی مدار تست ، سعی خواهد شد تستهای هیدرولیکی برای آب و مخلوط آب با ذرات جامد با دانسیته مختلف صورت گرفته و با تحلیل نتایج تست معادله تعیین ضرایب افت هد و راندمان را ارائه نمائیم .	

فصل اول بررسی منابع (پایه های نظری و پیشینه پژوهش)

۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	تعریف پمپ	۳
۳-۱	هد کلی پمپ Head	۳
۴-۱	طبقه بندی پمپها	۴
۵-۱	اساس کار پمپهای گریز از مرکز Centrifugal Pump	۴
۶-۱	مشخصه های اصلی پمپهای گریز از مرکز	۶
۷-۱	تعداد طبقات در پمپهای گریز از مرکز	۸
۸-۱	بهترین نقطه کاری	۱۰
۹-۱	پمپهای دوغابی Slurry Pump	۱۲
۱۰-۱	انتقال هیدرولیکی جامدات	۱۲
۱۱-۱	نکات کاربردی	۲۲
۱۲-۱	پیشینه پژوهش	۲۷

فصل دوم مواد و روش ها

۱-۲	سکوی آزمایش پمپ	۳۸
۲-۲	سکوی آزمایش طراحی شده	۳۹
۳-۲	اتاق کنترل	۴۳
۴-۲	پمپ مورد آزمایش	۴۴
۵-۲	دستورالعمل انجام تست پمپ	۴۸
۶-۲	دقت اندازه گیری ها	۴۹

فصل سوم نتایج و بحث

۱-۳ نتایج مربوط به حالت سیال $S.G. = 1$ آب خالص ۵۳

۲-۳ نتایج مربوط به حالت سیال $S.G.=1,05$ ۵۴

۳-۳ نتایج مربوط به حالت سیال $S.G.=1,1$ ۵۷

۴-۳ نتایج مربوط به حالت سیال $S.G.=1,15$ ۵۹

۵-۳ نتیجه گیری ۶۶

۶-۳ پیشنهادات ۶۶

مراجع ۶۷

فهرست شکل‌ها و جداول و نمودارها

- شکل ۱-۱ پمپ‌های گریز از مرکز Cenrifugal Pump ۵
- شکل ۲-۱ اجزای اصلی پمپ‌های گریز از مرکز Cenrifugal Pump ۶
- شکل ۳-۱ شمای داخلی پمپ‌های چند مرحله‌ای با قطر پروانه‌ها ی یکسان ۱۰
- شکل ۴-۱ منحنی مشخصه پمپ‌های گریز از مرکز [۳] ۱۱
- جدول ۱-۱ ارتباط پارامترهای مختلف با تغییر دیگر پارامترها ۱۱
- شکل ۵-۱ پمپ‌های دوغابی Slurry Pump ۱۲
- شکل ۶-۱ افت هد و بازده در اثر انتقال ذرات جامد [۸] ۱۶
- شکل ۷-۱ افزایش فشار در پمپ ، طی انتقال هیدرولیکی جامدات [۳۹] ۱۷
- جدول ۲-۱ خلاصه فرمول‌های مربوطه ۲۰
- شکل ۸-۱ نمای داخلی پمپ لای روب بزرگ با توان بیش از ۴۰۰۰ kw ۲۱
- شکل ۹-۱ تکیه‌گاه غلتکی چرخان با ظرفیت بالا و محل قرارگیری آن در پمپ ۲۲
- شکل ۱۰-۱ طرح‌های مختلف پروانه برای جلوگیری از سایش ناشی از ذرات جامد ۲۴
- شکل ۱۱-۱ آب بند مخصوص پمپ‌های دوغابی و سیل‌های مکانیکی این پمپ‌ها ۲۴
- شکل ۱۲-۱ آسیب‌ها و سایش و کوبش پروانه ناشی از وجود ذرات جامد در سیال ۲۵
- شکل ۱۳-۱ بهبود طراحی هیدرولیکی پمپ‌های دوغابی ۲۶
- شکل ۱۴-۱ نمودار بررسی کاهش فشار بر اثر رژیم سیال در مقابل سرعت سیال [۲۱] ۲۷
- شکل ۱۵-۱ نمودار مودی برای بدست آوردن فاکتور اصطکاک بر اساس عدد رینولدز [۲۱] ۲۸
- شکل ۱۶-۱ شرایط کار کرد و پارامترهای کاربردی در پروژه‌های عملی [۱۷] ۲۹
- شکل ۱۷-۱ شرایط کار کرد و پارامترهای کاربردی در پروژه‌های عملی [۱۷] ۳۰
- شکل ۱۸-۱ الگوریتم انتخاب ، طراحی و سایزینگ و کنترل پمپ‌های دوغاب [۱۴] ۳۱
- شکل ۱۹-۱ روش گاما برای اندازه‌گیری دبی جریان‌های دوغابی [۲۲] ۳۲
- شکل ۲۰-۱ مقایسه دانسیته اندازه‌گیری شده به روش گاما و مقدار توان مصرفی [۲۲] ۳۳
- شکل ۲۱-۱ مقایسه دانسیته اندازه‌گیری شده به روش گاما و روش توان [۲۲] ۳۳
- شکل ۲۲-۱ مدل ویلسون را برای انتقال هیدرولیکی ذرات جامد در درون پایپ بر اساس اصطکاک ویسکوز [۲۳] ۳۴
- شکل ۲۳-۱ مدل ویلسون را برای انتقال هیدرولیکی ذرات جامد در درون پایپ ومنحنی مقاومت [۲۳] ۳۴
- شکل ۲۴-۱ نمای شماتیکی مدل‌های مورد ارزیابی دو فاز [۲۳] ۳۴
- شکل ۲۵-۱ مدار ساده تعریفی آقای De-Pan Shi و همکاران [۲۴] ۳۵

- شکل ۱-۲۶ مدل بدست آمده پراکندگی ذرات جامد در نقطه P_1 مدار [۲۴]..... ۳۵
- شکل ۱-۲۷ مدار مورد تحلیل و نقاط متفاوت تعریف شده [۲۴]..... ۳۶
- شکل ۱-۲۸ مقایسه نتایج بدست آمده از CFD و معادلات کلاسیک حاکم [۲۴]..... ۳۶
- شکل ۲-۱ شمای کلی سکوی طراحی شده و مورد آزمایش ۴۰
- شکل ۲-۲ سالن مربوط انجام آزمایش شرکت نوید سهند..... ۴۱
- شکل ۲-۳ مخزن بزرگ مربوط جهت مخلوط نمودن سیال و ذرات جامد به همراه پمپ مخلوط کن ۴۱
- شکل ۲-۴ مخزن کوچک مربوط و خروجی پمپ مورد آزمایش ۴۲
- شکل ۲-۵ تابلو تغذیه پمپ مورد آزمایش مرتبط با اتاق کنترل ۴۲
- شکل ۲-۶ نمایی از الکتروموتور و پمپ مورد آزمایش به همراه کولپینگ ۴۳
- شکل ۲-۷ اتاق کنترل انجام آزمایش و ثبت پارامترهای مربوطه ۴۴
- شکل ۲-۸ نمایی از پروانه و حلزونی پمپ مورد آزمایش ۴۵
- شکل ۲-۹ پمپ و پروانه نیمه باز مورد استفاده جهت مخلوط مواد در مخزن..... ۴۶
- شکل ۲-۱۰ مخزن بزرگ دوغاب به همراه پمپ مخلوط کن ۴۷
- جدول ۱-۲: مقادیر مجاز خطای سیستماتیک [۲۹]..... ۵۰
- جدول ۲-۲ مقادیر مجاز خطای کلی [۲۹]..... ۵۱
- جدول ۱-۳ نتایج مربوط به حالت $S.G. = 1$ ، آب خالص..... ۵۳
- جدول ۲-۳ نتایج مربوط به حالت $S.G.=1,05$ ، $C_m=12,26\%$ ، $C_v=7,66\%$ ۵۷
- جدول ۳-۳ نتایج مربوط به حالت $S.G.=1,1$ ، $C_m=22,98\%$ ، $C_v=15,11\%$ ۵۹
- جدول ۴-۳ نتایج مربوط به حالت $S.G.=1,15$ ، $C_m=32,76\%$ ، $C_v=22,48\%$ ۶۰
- نمودار ۱-۳ نمودار مقایسه ای هد _ دبی در چهار حالت گرانش ویژه مختلف..... ۶۱
- نمودار ۲-۳ نمودار مقایسه ای توان مصرفی الکترو موتور به دبی در چهار حالت گرانش ویژه مختلف ۶۲
- نمودار ۳-۳ نمودار مقایسه ای توان هیدرولیکی پمپ به دبی در چهار حالت گرانش ویژه مختلف ۶۲
- شکل ۱-۳ مقایسه دانسیته اندازه گیری شده به روش گاما و مقدار توان مصرفی [۲۲]..... ۶۳
- شکل ۲-۳ مقایسه دانسیته اندازه گیری شده به روش گاما و روش توان [۲۲]..... ۶۳
- نمودار ۴-۳ نمودار مقایسه ای بازده پمپ _ دبی در چهار حالت گرانش ویژه مختلف ۶۴
- نمودار ۵-۳ نمودار مقایسه ای اختلاف فشار _ دبی در چهار حالت گرانش ویژه مختلف..... ۶۵
- شکل ۳-۳ نمودار اختلاف فشار برحسب دبی بر گرفته از نتایج آفای Wilson [۳۹]..... ۶۵

فصل اول

بررسی منابع

(پایه های نظری و پیشینه پژوهش)

نیاز انسان به آب و جابجایی آن از نقطه‌ای دیگر سبب شد که انسان به فکر ساخت دستگاهی که این مشکل را برطرف کند بیافتد. اولین نمونه‌های پمپ‌ها که نیروی محرک آنها توسط انسان یا حیوانات تامین می‌شد، توسط مصریان باستان در (۱۷) قرن پیش از میلاد مسیح ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفتند. آنها توانسته بودند آب را با پمپ‌های رفت و برگشتی از عمق (۹۱/۵) متری زمین بیرون بکشند. در یونان باستان نیز پمپ‌های رفت و برگشتی با طرح ساده (۴) قرن قبل از میلاد ساخته شده بود. تاریخ مشخصی در مورد ابداع پمپ‌های سانتریفیوژ وجود ندارد، اما گفته می‌شود که نقاشی‌های لئوناردو داوینچی در قرن پانزدهم میلادی نشان می‌دهد که چگونه با اعمال نیروی گریز از مرکز به آب درون یک لوله خمیده، آب را تا مقدار معینی بالا برد. اولین پمپ‌های سانتریفیوژ در اواخر قرن هفدهم و اوایل قرن هجدهم توسط مهندسين فرانسوی و ایتالیایی ساخته شده و کاربرد عملی یافتند (۱۷۳۲). در نیمه‌های قرن نوزدهم عیب اصلی پمپ‌های رفت و برگشتی که عبارت از مقدار جریان پایین می‌باشد، موجب این شد که پمپ‌های سانتریفیوژ با استقبال بیشتری روبرو شوند و جایگاه وسیعتری در صنعت پیدا کنند. انواع پمپ‌های سانتریفیوژ (گریز از مرکز) این پمپ‌ها براساس طراحی پروانه‌ها و تعداد پروانه‌ها کلاس‌بندی می‌شوند. یک پمپ چند مرحله‌ای بیشتر از یک پروانه دارد. یک پمپ دو مرحله‌ای دو پروانه دارد. یک پمپ دو مرحله‌ای اثر یکسانی همچون دو پمپ یک مرحله‌ای که به صورت سری می‌باشند، دارد. خروجی پمپ اول وارد پمپ دوم می‌گردد. یک پمپ چند مرحله‌ای دارای دو یا چند پروانه که روی یک شافت نصب شده‌اند، می‌باشد. هد در خروجی پروانه دوم بیشتر از هد خروجی در پروانه اول است. زیاد شدن پروانه‌ها هد خروجی نهایی را بالاتر می‌برد. از آنجایی که مایعات تقریباً تراکم‌ناپذیر هستند، تمام پروانه‌ها در پمپ برای ظرفیت یکسانی طراحی می‌گردند. پروانه‌های یک پمپ چند مرحله‌ای دارای اندازه یکسانی می‌باشند. این پمپ‌ها همچنین براساس تک مکشی و یا دو مکشی بودن کلاس‌بندی می‌شوند. در یک پمپ تک مکشی سیال از یک طرف پروانه وارد می‌گردد. در یک پمپ دو مکشی سیال از میان دو طرف پروانه وارد می‌گردد. از

آنجایی که مایع از دو طرف پروانه وارد می‌گردد، از یک پمپ دو مکشی برای ظرفیت‌های بالای عملیاتی استفاده می‌شود. پمپ‌های دو مکشی دارای (NPSH) پایین هستند. که به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

۲-۱ تعریف پمپ :

پمپ به دستگاهی اطلاق می‌شود که به سیال انرژی می‌دهد و باعث می‌شود از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل شود. انرژی منتقل شده به سیال شامل انرژی فشاری جنبشی و پتانسیل است که در مکانیک سیالات با هد آنها بیان می‌شود که ذیلاً به آن اشاره می‌شود و روش اندازه‌گیری آن نیز توضیح داده می‌شود.

۳-۱ هد کلی پمپ Head

با توجه به این که فشار مایعات بسته به دانسیته آنها (سبکی و سنگینی مایع) تغییر می‌کند معمولاً فشار خروجی پمپ را غالباً بر حسب ارتفاع ستونی از مایع (آب) بیان می‌کنند به عنوان مثال ده مترستون آب که معادل ۷۶ سانتیمتر ستون جیوه است بیان می‌شود که شامل مجموع انرژی‌های جنبشی و فشاری است که پمپ روی سیال اعمال می‌کند تا مایع در لوله خروجی به آن ارتفاع بالا رود.

$$Z + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} \quad (1-1)$$

در حالت کلی هد یک پمپ شامل اختلاف فشار بین ورودی و خروجی آن بر حسب ستونی از مایع است که در Data Sheet داده می‌شود. ارتباط بین هد و فشار از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Head = \frac{pressure}{sp.gr \times 0.433} \quad (2-1)$$

$$Pressure = head \times sp.gr. \times 0.433 \quad (3-1)$$

اصل بقای انرژی (رابطه برنولی)

این اصل بیان گر ثابت بودن انرژی کل واحد وزن سیال است که شامل مجموع سه نوع انرژی فشاری جنبشی و انرژی پتانسیل است که در مقاطع مختلف کم و زیاد می‌شوند و از یک نوع به نوع دیگر تبدیل

می‌شوند. در سیالات این انرژی‌ها را بر حسب هد آنها (ارتفاع ستون مایع تعیین می‌کنند و مجموع سه نوع

انرژی (بر حسب هد) عبارت است از:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \Delta H \quad (۴-۱)$$

ΔH = افت انرژی بین نقاط ۱ و ۲

۴-۱ طبقه‌بندی پمپ‌ها

پمپ‌ها از لحاظ نحوه و اصول کار به سه دسته کلی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

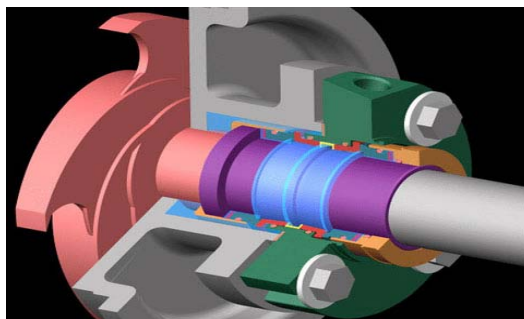
الف - پمپ‌های نوع جنبشی Dynamic Pump

ب - پمپ‌های نوع جابجائی مثبت Positive Displacement Pumps

ج - پمپ‌های مخصوص Special Pumps

۵-۱ اساس کار پمپ‌های گریز از مرکز Centrifugal Pump

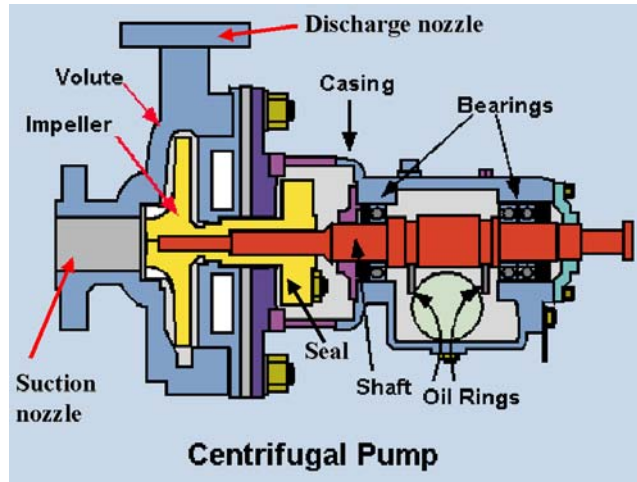
در پمپ‌های گریز از مرکز بر خلاف پمپ‌های جابجائی مثبت که با مکیدن مایع در اثر کاهش فشار داخل سیلندر یا محفظه پمپ (به دلیل افزایش حجم محفظه) عمل پمپاژ و جا بجا کردن مایع را انجام می‌دهند از طریق بیرون راندن مایع با استفاده از نیروی گریز از مرکز عملیات پمپاژ مایع انجام می‌شود. این نوع پمپ‌ها در ساده‌ترین نوع خود دارای یک پروانه Impeller هستند که در یک محفظه حلزونی شکل Volute Casing به کمک یک ماشین محرک (توربین یا الکتروموتور) می‌چرخند.



شکل ۱-۱ پمپ‌های گریز از مرکز Centrifugal Pump

سیال در جهت محور و از طریق نازل و رودی پمپ وارد چشمه پروانه Impeller Eye شده و بوسیله حرکت دورانی پروانه سرعت زیادی پیدا می‌کند در امتداد شعاع به حاشیه نوک پره‌ها می‌رسد و به کمک نیروی گریز از مرکز با سرعت مماسی زیادی از لبه پره‌ها جدا می‌شود و وارد محفظه (ولوت) می‌شود به علت خلا حاصل از پرتاب شدن سیال از نوک پروانه ذرات قبلی جای ذرات خارج شده را می‌گیرند و با تکرار این عمل یک جریان یکنواختی به پمپ وارد و پس از دریافت انرژی از آن خارج می‌شود. فاصله بین چشمه پروانه و بدنه پمپ به وسیله رینگ‌های فرسایشی که یکی از آنها روی پروانه و دیگری روی بدنه نصب شده است و با فاصله بسیار کمی نسبت به هم قرار گرفته‌اند آب‌بندی می‌شود و از برگشت جریان مایع فشار بالا به قسمت چشمه پروانه ممانعت می‌شود.

ظرفیت یا فلوی این نوع پمپ‌ها به مقدار فشار یا هد Head آنها بستگی دارد و در نتیجه کارایی آنها مثل پمپ‌های جابجائی مثبت که در هر کورس مقدار مشخصی مایع را جا بجا می‌کنند از روی اصول اولیه قابل پیش‌بینی نیست.



شکل ۱-۲ اجزای اصلی پمپ‌های گریز از مرکز Centrifugal Pump

۱-۶ مشخصه‌های اصلی پمپ‌های گریز از مرکز:

هدیا ارتفاع مانومتریک (H) در حقیقت مقدار انرژی مفیدی است که بین واحد وزن سیال و ماشین مبادله می‌گردد. هد یک تور بو پمپ از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$H_p = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + \Delta h \quad (5-1)$$

قدرت مفید یا هیدرولیکی پمپ برابر است با حاصلضرب ارتفاع مفید در دبی وزنی خروجی (γQ). یعنی [۱]:

$$P_{out} = P_{hyd} = \gamma Q H \quad (6-1)$$

راندمان کل در ماشین‌های توان‌گیر بصورت نسبت توان مفیدی که سیال در عبور از ماشین کسب (P_{out})، به

قدرت روی محور (P_{inp}) [۱]

$$\eta_p = \frac{P_{hyd}}{P_{in.p}} \quad (7-1)$$

ضریب ارتفاع یا هد بی بعد، η_p ، بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\psi = \frac{gH}{U_2^2} = \frac{gH}{\omega_2 R_2^2} \quad (8-1)$$

ضریب دبی یا دبی بعد نیز به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\phi = \frac{Q}{U_2 R_2^2} = \frac{Q}{\omega_2 R_2^3} \quad (9-1)$$

کمیت سرعت مخصوص n_s به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$n_s = \frac{nQ^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (10-1)$$

ارتفاع مثبت خالص مکش پمپ سانتریفوژ (NPSH)

فرض کنیم که p_v فشار بخار سیال در درجه حرارت سیال باشد، ارتفاع مثبت خالص مکش (NPSH)

$$g(\text{NPSH}) = gH_{\text{abs},1} - \frac{p_v}{\rho} \quad (11-1)$$

که بیان کننده انرژی مخصوص سیال بالای فشار بخار در ورودی پمپ می‌باشد. این مفهوم را می‌توان بر حسب ستون مایع نیز بصورت زیر بیان نمود:

$$\text{NPSH} = \frac{P_{\text{abs},1}}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{p_v}{\rho g} \quad (12-1)$$

مقدار NPSH محاسبه شده از طریق معادله بالا بعنوان NPSH قابل دسترسی (NPSHa) تعریف می‌کنیم که بازگو کننده وضعیت موجود سیستم در ورودی پمپ می‌باشد.

محاسبه NPSHr با استفاده از روابط

کمترین فشار موضعی در ورودی پروانه به علت: ۱- افتهای ناشی از صطکاک و شتاب سیال در ورودی پروانه که متناسب است با مربع مولفه نصف‌النهاری سرعت مطلق همراه با ثابتی که متناسب است با طراحی پروانه (λ_c).
۲- افتهای ناشی از افزایش سرعت موضعی ایجاد شده به وسیله جریانات اطراف لبه حمله پره که متناسب است با مربع سرعت نسبی سیال همراه با ثابتی که متناسب است با طراحی پروانه (λ_w).

$$NPSH = \lambda_c \frac{C_{1m}^2}{2g} + \lambda_w \frac{w_1^2}{2g} \quad (13-1)$$

λ_c و λ_w شکل هندسی پروانه و شرایط بهره‌برداری پمپ بستگی دارند. λ_c بشدت به اندازه سطح مقطع نازل ورودی و چشمی پروانه وابسته است و مقدار آن بین ۱/۱ تا ۱/۳۵ تغییر می‌کند. λ_w نیز به زاویه برخورد بستگی دارد. بطوریکه با افزایش زاویه بر خورد، λ_w نیز افزایش می‌یابد. مقدار λ_w بین ۰/۱ تا ۰/۳ تغییر می‌کند..

۷-۱ تعداد طبقات در پمپ‌های سانتریفوژ

پمپ‌های گریز از مرکز براساس تعداد مراحل آنها به پمپ‌های یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای طبقه‌بندی می‌شوند. هر گاه یک عدد پروانه روی محور پمپ قرار گیرد، پمپ یک مرحله‌ای است و اگر چندین پروانه بطور متوالی روی یک محور نصب شده باشد به آن پمپ چند مرحله‌ای اطلاق می‌شود [۱۴، ۱۹].

در پمپ‌های چند مرحله‌ای پمپ مایع با فشار پایین را تحویل گرفته و در فشار بالاتری تخلیه می‌کند. اگر فشار ورودی در چشمه ورودی یک پمپ فشار خروجی پمپ دیگر باشد (مرحله قبلی) فشار نهائی معادل مجموع فشارهای دو پمپ می‌شود و به همین ترتیب از پمپ‌های متعددی بطور متوالی پشت سر هم قرار گیرند فشار نهائی سیال برابر مجموع فشارهای تمامی پمپ‌ها خواهد بود. لذا از این خاصیت در پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای استفاده می‌شود و بسته به فشار مورد لزوم از پمپ یک مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای استفاده می‌شود.

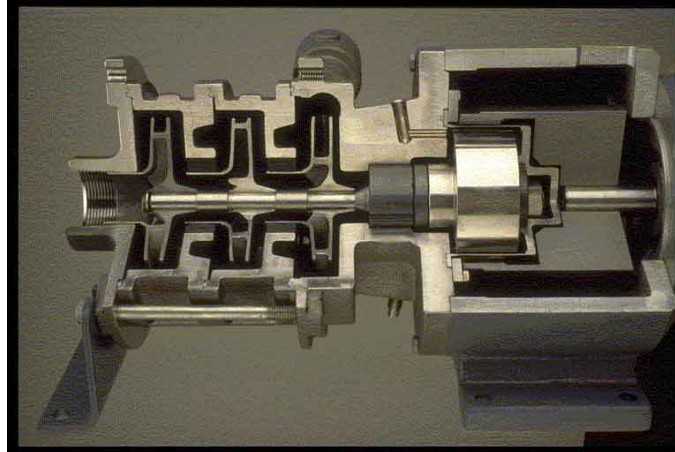
پمپ‌های یک مرحله‌ای single stage pump

این پمپ‌ها دارای یک پروانه در روی محور هستند. پمپ‌های یک مرحله‌ای با طرح‌های مختلفی ساخته می‌شوند و برای تاسیساتی استفاده می‌شوند که به فشار کم یا متوسطی نیاز باشد. هدی که توسط یک پروانه ایجاد می‌شود تابعی از سرعت مماسی پروانه است در بعضی اوقات امکان تولید هدی حتی تا ۱۰۰۰ فوت هم با یک پروانه وجود دارد. ولی به دلیل این که برای تولید فشارهای بالا نیاز به پروانه با قطر زیاد و همچنین دورهای بالایی باشد که هر کدام از اینها باعث ایجاد مسائل و مشکلات دیگری اعم از راندمان هزینه ساخت مسائل و مشکلات بهره‌برداری می‌شود در عمل معمولاً برای ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰ تا ۳۰۰ فوت بیشتر از تلمبه‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای استفاده می‌شود.

پمپ‌های چند مرحله‌ای Multistage Stage Pump

در یک پمپ چند مرحله‌ای دو یا چند پروانه بطور متوالی روی یک محور قرار می‌گیرند و مایع از خروجی از یک مرحله به چشمه ورودی مرحله بعدی تخلیه می‌شود و به همین ترتیب ادامه می‌یابد. پمپ‌های چند طبقه هم با محور افقی و هم با محور قائم بکاری می‌روند. و مزیت آنها ساختمان ساده‌تر راندمان بیشتر و ... است [۱۵،۳۱].

در پمپ‌های چند مرحله‌ای قطر پروانه‌ها می‌توانند یکسان باشند یا با هم متفاوت داشته باشند که بستگی به طراحی پمپ و محدوده مشخصه کاری آن دارد و هر پروانه دارای یک منحنی Q-H مخصوص به خودش می‌باشد.



شکل ۳-۱ شمای داخلی پمپ‌های چند مرحله‌ای با قطر پروانه‌ها ی یکسان

استفاده از پمپ‌های چند مرحله‌ای عمودی به علت جا گیری کم و سادگی نصب در چاه‌های عمیق بسیار متداول است. پوسته این پمپ‌ها هم بصورت حلزونی و هم بصورت افشان (دیفبوزری) هم برش افقی هم با برش قائم در دسترس می‌باشند. پوسته‌های با برش افقی حداکثر برای فشار ۱۱۰ Atm و سرعت ۳۶۰۰۰ R.P.M و پوسته‌های با برش قائم برای فشارهای بالاتر ساخته می‌شوند. تکه‌های پوسته پمپ‌های افقی در برش افقی بوسیله پیچ و مهره و در برش قائم بوسیله یک میله سرتاسری (Tie Rod) بهم متصل می‌شوند. پوسته پمپ‌های قائم برای هر طبقه جداگانه ساخته می‌شوند و بوسیله پیچ و مهره و یا بوسیله رزوه نر و ماده‌ای که روی خود پوسته ایجاد می‌شود و گاهی بوسیله تسمه سرتاسری به هم اتصال پیدا می‌کنند [۱۳،۱۶].

۸-۱ بهترین نقطه کاری [۳،۱۲]:

بهترین نقطه کاری طراحی در مورد یک پمپ گریز از مرکز نقطه‌ای از منحنی مشخصه است که راندمان پمپ حداکثر باشد. هر چه شیب منحنی بیشتر باشد، تغییرات هد پمپ باعث انحراف بیشتر از نقطه کاری خواهد شد. مثلاً در یک پمپ با منحنی Q-H با شیب زیاد با تغییرات فلو، تغییرات هد زیاد خواهد بود، در حالی که در یک پمپ با منحنی Q-H نسبتاً با شیب کم تغییرات وسیع جریان با تغییرات کم هد همراه است، بنابراین کاربرد هر یک از آنها بستگی به شرایط عملیاتی دارد. منحنی مشخصه پمپ‌های گریز از مرکز دارای شیب نسبتاً کمی بوده و حداکثر راندمان آنها در محدوده ظرفیت متوسط پمپ می‌باشد و توان مصرفی مورد نظر یکنواخت تا نقطه کاری یا احتمالاً فراتر از آن افزایش می‌یابد. در زیر نمونه‌ای از این منحنی‌های مشخصه آورده شده است.