



## پمپ Pump

### تعریف پمپ و انواع آن

پمپ به ماشینی اطلاق میشود که از آن برای جابجایی سیالات تراکم ناپذیر مانند مایعات استفاده میشود. هدف استفاده از پمپها؛ افزایش انرژی پتانسیل یا همان فشار سیالات تراکم ناپذیر به جهت انتقال از نقطه ای به نقطه دیگر است. پمپها دارای انواع مختلفی هستند که در زیر به آنها اشاره شده است.

#### ۱ - جابجایی مثبت

در این پمپها مقدار معین مایع در لای دو قطعه گیر انداخته شده و سپس با جابجایی قطعات؛ مایع مورد نیاز با فشار خارج میگردد. کاربرد این نوع پمپها در صنعت در مواردی خاص است.

۱ - تناوبی (۱- انگشتی، ۲- اتصال مستقیم، ۳- پیستونی، ۴- دیافراگمی)

از این نوع پمپ هنگامی که فشار خروجی بالا مد نظر باشد استفاده میشود.

۱ - دورانی (۱- دنده ایی، ۲- گوشواره ایی، ۳- تیغه ایی، ۴- حلزونی، ۵- پیستونی)

از این نوع پمپ برای جابجایی سیالات با ویسکوزیته بالا استفاده میشود.

۲ - گریز از مرکز (۱- پیچکی، ۲- افشانه ایی، ۳- توربینی، ۴- جریان مختلط، ۵- جریان محوری)

این پمپها جزء ماشینهای جنبشی هستند. در این پمپها در اثر حرکت دورانی پروانه انرژی جنبشی (سرعت) به طور عمده بالا میرود و انرژی پتانسیل (فشار) نیز به مقدار جزئی افزایش می یابد و در نهایت قسمت عمده انرژی جنبشی در یک مجرای گشاد به نام حلزونی به انرژی پتانسیل تبدیل میگردد.

۲ - اجزای پمپهای گریز از مرکز

۱ - پروانه (Impeller)

۲ - پوسته (Casing)

۳ - سیستم آب بند (Sealing system)

۴ - یاتاقان (Searing)

۵ - شافت (Shaft)

از پمپهای گریز از مرکز برای دبی بالا و ارتفاع کم تا زیاد و از پمپهای جابجایی مثبت برای فشار بالا و دبی کم استفاده میشود. مقدار حجمی از مایع که در واحد زمان توسط یک پمپ جا به جا میشود را دبی گویند. در پمپها از دبی به عنوان ظرفیت پمپ نیز یاد میشود.

معمولاً به جای استفاده از اصطلاح فشار سازندگان پمپ از ارتفاع (Head) برای بیان خاصیت پمپ استفاده میکنند. بنابه تعریف در صورت ثابت بودن قطر و سرعت دوران پروانه پمپ، مقدار انرژی که به واحد وزن مایع داده میشود را به عنوان هد پمپ میشناسند. این خاصیت ثابت و مستقل از وزن مخصوص است.

برای مشخص کردن خواص پمپ مورد نظر خریدار؛ از منحنی پمپ استفاده میشود و ویژگیهای پمپ نظیر توان مصرفی، هد، راندمان و NPSH از این طریق مشخص خواهد شد. این منحنی در پمپهای گریز از مرکز و دورانی برحسب دبی - ارتفاع و در پمپهای تناوبی بر حسب دبی - زمان بوده و از طرف شرکت سازنده ارائه میشود. راندمان پمپ، نسبت دبی واقعی به دبی کل پمپ است.

سه نوع جریان در پروانه پمپ گریز از مرکز وجود دارد:

۱ - جریان شعاعی (Radial)

۲ - جریان محوری (Axial)



### ۳ - جریان مختلط (Mixed)

پمپ پیچکی متداولترین نوع پمپهای گریز از مرکز است که در آنها مایع از طریق چشمه و به صورت محوری وارد پروانه شده و به صورت شعاعی به داخل پوسته رانده میشود. طوری طراحی شده که مجرای گشاد شونده دارد و باعث تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری میشود.

در نحوه اتصال پمپ به الکترو موتور معمولاً از روش کوپل کردن الکتروموتور به پمپ یا از تسمه برای اتصال این دو بخش استفاده میشود و معمولاً از اتصال مستقیم الکترو موتور و پمپ خود داری میکنند. دلیل این کار این است که تعمیرات پمپ یا الکتروموتور بدون باز کردن دیگری به راحتی صورت پذیرد. از اتصال مستقیم پمپها برای مایعات با دمای کمتر از ۱۰۰ درجه استفاده میشود. پمپها در صنعت عموماً از نوع کوپلینگ میباشند.

در پمپهای توربینی روش اعمال انرژی به مایع با سایر پمپهای گریز از مرکز متفاوت است. به این صورت که به جای الکترو موتور، توربین اعمال انرژی را انجام میدهد. پروانه های این پمپ دارای لقی کم است و راندمان آنها با پمپ گریز از مرکز متفاوت است، به طوری که در دبی کم، فشار زیادی تولید میکنند. به همین دلیل در جایی که دبی کم؛ ارتفاع (فشار) زیاد مدنظر باشد؛ قابل استفاده است. به دلیل کم بودن لقی پروانه و فاصله کم پروانه و فاصله کم پوسته و پروانه، از این نوع پمپها برای مایعات دارای خاصیت خوردگی و دارای ذرات جامد استفاده نمیشود.

در پمپهای جریان محوری (ملخی) مایع به موازات محور پمپ به داخل پمپ و پروانه جریان مییابد و بردار سرعت در جهت محور است. به همین دلیل این پمپها بیشتر برای افزایش دبی استفاده میشوند. افزایش ارتفاع (فشار) در آنها زیاد نمیباشد.

نکته مهم این است که پمپهای شعاعی برای ارتفاع (فشار) زیاد و دبی کم کاربرد دارند ولی پمپهای محوری برای دبی بالا و ارتفاع کم کاربرد دارند.

پمپ جریان مختلط که برگرفته از دو پمپ ملخی و پیچیدگی می باشد دارای دبی و ارتفاع مناسب است و معمولاً برای چاههای عمیق کاربرد دارد.

### تاثیر خواص بر پمپاژ

#### ۱- وزن مخصوص

اگر وزن مخصوص مایع در حال انتقال مغایر وزن مخصوص آب باشد (باقی خواص و مشخصات ثابت) فقط توان مصرفی پمپ تغییر میکند. بالا بودن وزن توان بیشتر و پایین بودن وزن مخصوص آب توان کمتر مصرف میکند.

#### ۲- ویسکوزیته

از آنجا که منحنی پمپها مستقل از ویسکوزیته میباشد؛ عملاً تغییر ویسکوزیته نباید تاثیری بر پمپ داشته باشد. ولی در عمل به دلیل وجود پدیده اصطکاک دیسکی و اصطکاک مایع؛ تغییرات ویسکوزیته مایع با آب باعث تغییر میگردد. به عبارتی یکی از عوامل متفاوت بودن اطلاعات پمپ با شرایط کارکرد پمپ (تفاوت حالت تئوری و عملی) به دلیل تفاوت ویسکوزیته میباشد.

#### ۳- حضور هوا یا سایر گازها همراه مایع پمپاژ

حضور حتی مقدار کمی گاز یا هوا همراه مایع (حتی کمتر از یک درصد) به شدت روی منحنی دبی-ارتفاع پمپهای گریز از مرکز تاثیر میگذارد و یک پدیده نامطلوب است. حتی وجود گاز حدود ۶ درصد میتواند جریان مایع را قطع نماید.



#### ۴- مواد جامد

وجود ذرات جامد بر ارتفاع قابل دسترسی و راندمان پمپ تاثیر نامطلوب می‌گذارد و باعث کاهش آنها میشود. برای اصلاح این امر در موارد اجباری در منحنی مشخصه پمپ دو ضریب را تعریف و تصحیح مینمایند: HR (نسبت ارتفاع) که بیان کننده نسبت ارتفاع برای مایع حاوی جامد به ارتفاع برای آب است و ضریب ER (نسبت راندمان) که نسبت راندمان برای مایع حاوی جامد به راندمان برای آب است.

#### کاویتاسیون

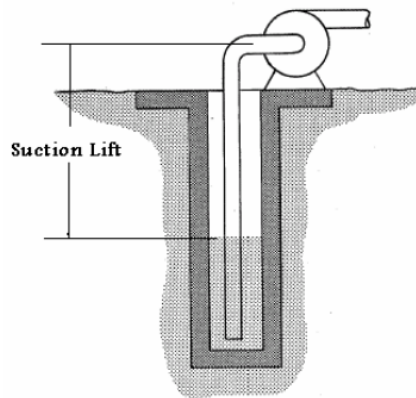
هرگاه فشار مایع در ورودی پمپ از فشار بخار کمتر شود (در اثر کاهش فشار) ذرات حباب درون پروانه و پوسته ایجاد و ترکیده میشوند و انرژی حاصل از آنها باعث خرابی در پروانه و دیگر قطعات پمپ می‌شود. انرژی آزاد شده از حبابها همان انرژی نهان تبخیر مایع میباشد. جهت جلوگیری از این پدیده باید با NPSH آشنا بود.

NPSH حداقل ارتفاع لازم در قسمت مکش پمپ میباشد تا از تولید حباب (رسیدن به فشار بخار) در پمپ جلوگیری کند. به عبارتی برای جلوگیری از پدیده کاویتاسیون در پمپ؛ NPSH پمپ همیشه از میزان حداقل باید بیشتر باشد. این فاکتور تابع عوامل زیادی از جمله فشار جو، خواص فیزیکی مایع در حال پمپ شدن، قطر لوله، پروانه، درجه حرارت و... می‌باشد که میزان آن توسط جداول و نمودارهایی توسط شرکت سازنده پمپ ارائه میشود. شروع پدیده کاویتاسیون هنگامی است که NPSH در حدی نزول کند که باعث کاهش ارتفاع کل پمپ به میزان ۳ درصد گردد. علائم بروز پدیده کاویتاسیون در پمپها تشکیل حباب در پروانه و پوسته، ایجاد سروصدا، افزایش لرزش، کاهش ارتفاع و دبی و راندمان، کاهش فشار در قسمت خروجی و لرزش فشار سنجهای نصب شده در قسمت خروجی و ورودی پمپ هستند.

#### بهترین شرایط کارائی پمپ ها

##### ۱- حداکثر ارتفاع مکش پمپ ها Max Suction Lift

حداکثر ارتفاع مکش تنوری قابل حصول یک پمپ به توانائی در کاهش فشار مطلق در محل ورودی پمپ بستگی دارد که کمترین حدان فشار صفر(خلا کامل) در ورودی پمپ است. این مفهوم از نظر ریاضی عبارتست از نسبت فشار جو به وزن مخصوص مایع مورد نظر که در مورد آب سرد خالص  $SP.gr = 1$  این مقدار به اندازه ۱۰ مترستون آب است .





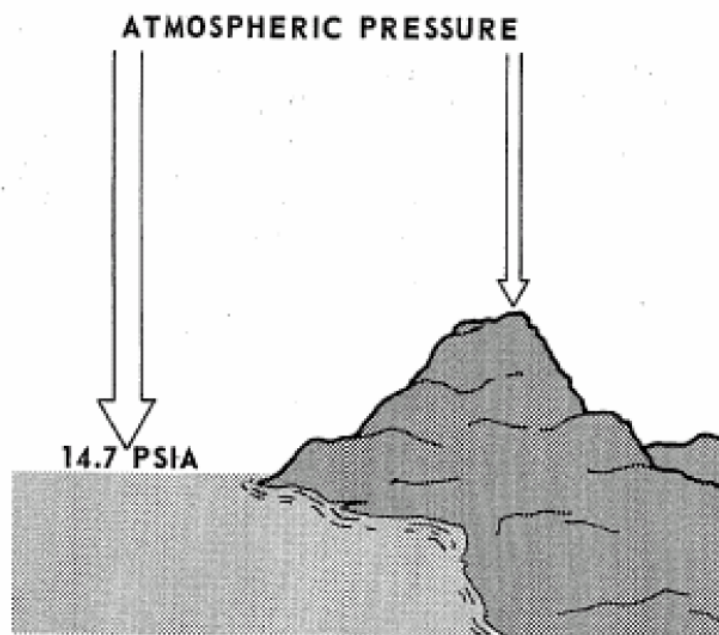
برای روشن تر شدن بهتر این مطلب به شکل صفحه بعد که روش اندازه گیری فشارجو رانشان می دهد توجه کنید . برای اولین بار توریچلی . برای اندازه گیری فشارجو از این روش استفاده کرد و روش کار به این صورت است که یک لوله آزمایش پراز حیوه می شود و در همین وضعیت بطور وارونه در داخل تشتی پر از حیوه فرو می رود که با عنایت به این که امکان وارد شدن هوا به داخل لوله داده نشده است قسمت خالی بالای لوله کاملاً خلاست و اگر این کار در کناردریا انجام شود مشاهده می شود که ارتفاع ستون مایع داخل لوله ۷۶ سانتی متر است که معادل یک اتمسفر یاده متر ستون اب است (چون وزن حجمی حیوه حدود ۱۳/۶ برابر اب است) . حال از این مطلب برای میتوان برای تفهیم موضوع فوق استفاده نمود . بدین صورت که حداکثر خلائی که در قسمت ورودی یک پمپ می توان بوجود آورد صفر مطلق است (فرض کنید لوله ورودی پمپ در قسمت بالای لوله توریچلی واقع شده است) پس اگر ارتفاع مکش مثلاً برای اب از این حد بیشتر باشد باعث تبخیر اب خواهد شد و امکان پمپاژ بخار اب توسط پمپ وجود ندارد . به عبارت دیگر می توان ادعا نمود که هیچ پمپی وجود ندارد که بتواند با ارتفاع مکش بیشتر از ده متر اب را پمپاژ کند .



حداکثر ارتفاع مکش از لحاظ تئوری عبارت است از:

$$\text{Max Suotion Lift} = \frac{P_{atm}}{SP.gr} = 10m.h_2o$$

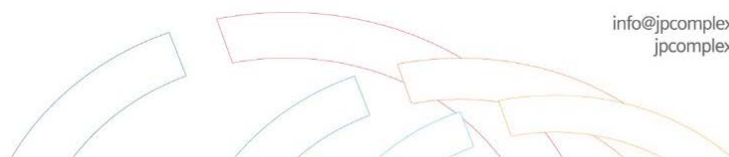
ولی هرچه پمپ در ارتفاع بالاتری از سطح دریا نصب شود فشار هوا کمتر و نهایتاً ارتفاع مکش نیز کمتر خواهد شد. در شکل زیر این موضوع نشان داده شده است چون در ارتفاعات بالاتر لایه های هوایی که روی هم قرار می گیرند کمتری شود.



همچنین با افزایش درجه حرارت فشار بخار کاهش پیدامی کند و مایع زودتر بخار می شود و باعث کم شدن ارتفاع مکش پمپ می شود و بطور مثال وقتی دمای آب به ۱۰۰ درجه سانتیگراد می رسد ارتفاع مکش به صفر میرسد و برای پمپاژ مایعات گرم حتما باید روی ورودی پمپ هدم مثبت وجود داشته باشد. در جدول زیر فشار بخار در درجه های مختلف بر حسب ارتفاع ستون آب نشان داده شده است.

۱۰۰	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۵	Tc
۱۰.۳۳	۷.۱۵	۴.۸۳	۳.۱۸	۲.۰۳	۱.۲۶	۰.۷۵	۰.۴۳	۰.۲۴	۰.۱۲	۰.۰۹	فشار بخار

همانطور که ملاحظه می شود با افزایش دما فشار بخار افزایش پیدامی کند و وقتی که دمای آب به نقطه جوش می رسد ارتفاع مکش صفر خواهد شد چون در این دما آب تبخیر می شود که برای جبران آن و برای این







که پمپ بتواند کاردهی مناسبی داشته باشد یعنی مایع در ورودی پمپ بخار نشود حتما باید ارتفاع معینی از مایع روی ورودی پمپ وجود داشته باشد (هد مثبت). حداکثر ارتفاع مکش قابل حصول (عملی) یک پمپ در شرایط دینامیکی توسط رابطه، زیر بیان می شود

$$\text{Maximum Suction Lift Available} = (\mp h_s + h_f + \frac{pv}{S.G} - \frac{pg}{S.G})$$

که در آن:

MSLA: حداکثر ارتفاع مکش قابل حصول پمپ است.

$h_f$ : مجموع افت های دینامیکی و اصطکاکی

$h_s$ : هدا استاتیکی (اگر سطح مایع بالای پمپ باشد مثبت و اگر سطح مایع زیر پمپ باشد منفی می باشد).

$P_v$ : فشار بخار مایع

$P_g$ : فشار نسبی روی سطح مایع ( مقدار بالاتر بودن فشار اندازه گیری شده نسبت به فشار جو) است.

باتوجه به مسائل فوق ارتفاع مکش همیشه کمتر از ارتفاع مکش تئوری پمپ خواهد بود

**حداکثر ارتفاع مکش عملی متأثر از عوامل زیر است:**

- ۱- افت های دینامیکی در قسمت لوله کشی ورودی پمپ که عبارتند از
    - الف- افت فشارهای ناشی از اصطکاک در ورودی لوله مکش
    - ب- افت فشار در اتصالات مسیر ورودی لوله مکش نظیر Foot Valve، زانو و ...
    - ج- افت فشار در داخل صافی ورودی پمپ
  - ۲- فشار بخار مایع مورد نظر که هرچه فشار بخار مایع بیشتر باشد باید Suction Lift کمتر باشد.
  - ۳- ارتفاع محل نصب پمپ از سطح دریا که هرچه ارتفاع بیشتر شود به علت کم شدن فشار جو ارتفاع مکش کاهش پیدایمی کند.
  - ۴- دمای مایع پمپ شونده که هم روی فشار بخار مایع اثر می گذارد و هم روی دانسیته آن (افزایش دما باعث کاهش ارتفاع مکش می شود).
  - ۵- نوع پمپ استفاده شده
  - ۶- نوع ودانسیته مایع
- و.....



## ضربه قوچ در پمپ ها Hammering

اگر سرعت سیالی بطور ناگهانی تغییر کندطبق قانون دوم نیوتن باعث تغییر مومنتم دران می شودکه که این تغییر مومنتم ، فشار قابل ملاحظه ای در آن سیال بوجود آورد(تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری) که این افزایش فشار در تأسیسات موجب ایجاد ضربه قوچ می گردد.

ضربه قوچ معمولاً در سیستم های لوله کشی مایعات مخصوصاً در جاهایی مثل نیروگاهها پالایشگاههاو سیستم های لوله کشی شهری و ... که تغییرات سریع فلو ایجاد می شودمی تواند بوجود آید . تغییرات سریع فلو می تواند از طریق باز یا بسته شدن ناگهانی شیرهای مسیر لوله کشی، عمل کردن سیستم های کنترل جهت تغییر فلو، تغییر ناگهانی فلوی پمپ ها وایجادجریان های گردابی در پیچ و خم های مسیر لوله کشی و جداره های مخازن و همچنین در موقع راه اندازی یا خاموش کردن پمپ ها و ... ایجاد شود . ضربه قوچ می تواند فشاری معادل دهها برابر فشار عادی در مجرا ایجاد کند که این افزایش فشار می تواند به شکستن و ترکیدن سیستم های لوله کشی و کاهش عمر مفید آنها همچنین خسارات فراوان مالی و جانی و حتی ایجاد آتش سوزی و انفجار در صنایع نفت و پتروشیمی و ... و همچنین صدمه رساندن به مکانیکال سیل ها ، باتاقانها و سایر قطعات تلمبه ها منجر شود .

تغییر فشار ناشی از تغییر سرعت جریان بصورت امواج فشار در امتداد لوله حرکت کرده و پس از برخورد به مانع (ولوها)مجددامنعکس می گرددودوباره تکرارمی شود. موج فشار ناشی از افزایش فشار را موج تراکم و موج فشار ناشی از کاهش فشار را موج انبساط می نامند سرعت موج فشار در داخل لوله برابر است با :

$$S = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{\rho d}{SE}}}$$

S:سرعت m/sec

$\rho$  : دانسیته سیال  $\frac{\gamma}{g}$  :  $kg \cdot \frac{s^2}{m^4}$

k : مدول حجمی سیال  $(\frac{kg}{m^2})$

d: قطر لوله (m)

E: مدول دانسیته جنس لوله  $(\frac{kg}{m^2})$



## مینیمم فلودر پمپ ها Minimum Flow

از مینیمم فلودر برای جلوگیری از موارد زیر استفاده می شود.

- ۱- گرم شدن بیش از حد پمپ و مایع داخل آن در اثر دریافت انرژی از پروانه که باعث تبخیر مایع شده و به ایجاد قفل بخار مایع Vapor Lock در درون پمپ منجر می شود
- ۲- ممانعت از سایش داخلی قطعات (روانکاری داخلی پمپ ها توسط مایع پمپ شونده انجام می شود) پمپ ها

۳- ایجاد جریان های چرخشی در اطراف پروانه های پمپ های گریز از مرکز

۴- آسیب دیدن مکانیکال سیل ها یا آب بندهای دیگر که روی فیلمی از مایع روی هم می چرخند

۵- مسائل ناشی از بی باری که روی سیستم های گرداننده (الکتروموتورها و توربین های بخار و.....) بوجود می آید

تمامی پمپ نیاز به یک حداقل جریان مایع دارند تا بتواند موارد فوق را تامین کنند و در شرایطی که پمپ در شرایط غیرعادی کار می کند (فلوی مورد نیاز به پمپ نمی رسد) پمپ بدون مشکل کار کند که به این مقدار حداقل جریان Minimum Flow گفته می شود که بر اساس ساختمان و نوع پمپ می تواند برای هر پمپی متفاوت باشد و معمولاً در Data Sheet پمپ به آن اشاره می شود.

در مواردی که پمپ در شرایط غیر عملیاتی کار می کند برای جلوگیری از این مشکل معمولاً با استفاده از مسیرهای By Pass یا کنار گذر مقداری از مایع پمپ شده از مسیر خروجی مجدداً از طریق مسیر فوق به لوله ورودی پمپ برگردانده می شود تا خواسته فوق برآورده شود در غیر این صورت تبعات ناشی از آن اجتناب ناپذیر خواهد بود.

## طراحی سیستم لوله کشی پمپ ها

معمولاً طراحی و سازندگان پمپ در حین طراحی پمپ ها سعی می کنند تا حد امکان اندازه پمپ را کوچک بسازند (بخصوص در پمپ های با سایز های بالا) تا علاوه بر تامین شرایط عملیاتی از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد که نتایج آن از لوله های ورودی و خروجی نیز تابع همین قانون می شود.

ولی در حین نصب و اتصال سیستم های لوله کشی جهت وصول به شرایط مناسب لازم است لوله های با سایز بالاتر به نازل های با سایز کمتر متصل گردد که برای ممانعت از افزایش افت فشارهای موضعی در محل



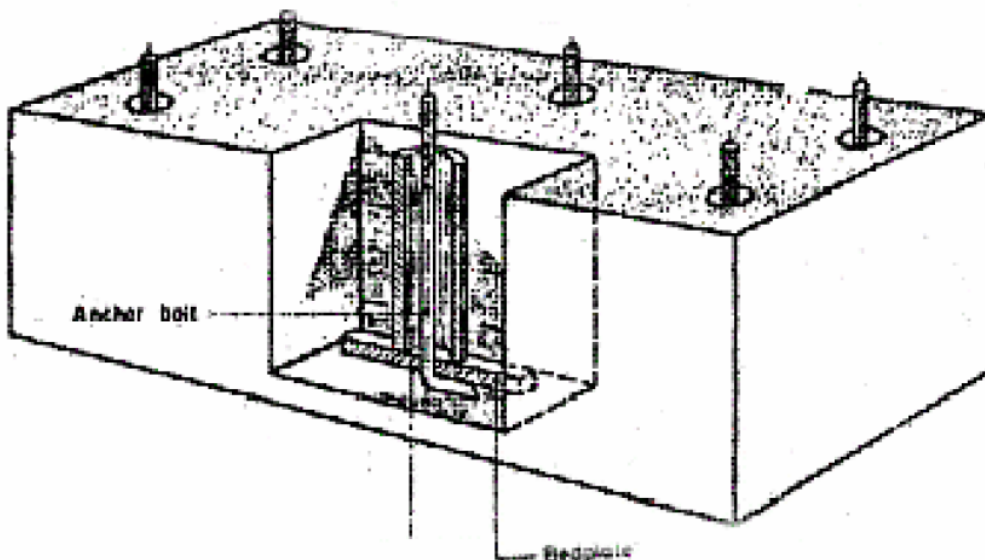


### اصول نصب پمپ ها :

با توجه به اهمیت مراحل نصب ماشین الات و تاثیرات نامطلوب خطاهای ناشی از نصب که روی وضعیت ارتعاشی و عملیاتی و طول عمر قطعات دارد لازم است در این زمینه بحث مختصری انجام گیرد. بطور کلی، کلیه نیروهایی که در یک ماشین بوجود می آید باید از طریق محور به یاتاقانها و از انجا از طریق هوزینگ برینگ به بدنه پمپ و سپس از طریق شاسی Base Plate به فونداسیون و نهایتاً به زمین منتقل شود که اگر مسیر انتقال نیروها بطور مناسب باشد دستگاه با کمترین لرزش و کمترین هزینه های تعمیراتی در سرویس قرار می گیرد در غیر این صورت مسائل و مشکلات تعمیراتی اجتناب ناپذیر خواهد بود که با توجه به اهمیت موضوع لازم است راجع به نقش و شرایط امان های مختلف این مجموعه بحث مختصری بشود .

### فونداسیون Foundation

فونداسیون ها از بتون ارمه مسلح باطراحی مخصوص ساخته می شوند که از لحاظ اندازه و استحکام باید مناسب باشد و شکستگی و ترک در آن وجود نداشته باشد یک قانون سرانگشتی این است که وزن بتون فونداسیون برای ماشین های دوآر تقریباً سه برابر وزن ماشین (وزن پمپ و الکتروموتور...) و برای ماشین های رفت و برگشتی تقریباً پنج برابر وزن دستگاه ها در نظر گرفته شود .  
شکل زیر فونداسیونی را نشان می دهد که از جهت مقابل برش خورده و طرز قرارگیری پیچ های اتصال Anchor Bolt در آن بوضوح نشان داده شده است .



جهت اطمینان از اتصال شاسی با پیچ های فونداسیون و جبران اشتباهاتی که احیاناً در اندازه فاصله سوراخ های شاسی ممکن است بوجود آید (با خمیدگی پیچ ها) معمولاً پیچ های اتصال بیرون آمده از بتون را Anchor Bolt کمی بلندتر انتخاب می کنند .



### شرایط لوله کشی

معمولاً غلط بودن سیستم لوله کشی ممکن است مستقیماً در رانندگی پمپ تأثیر نداشته باشد ولی زیاد بودن تلفات اصطکاکی سرعت و سایر عوامل باعث کاهش رانندگی می شود. طراحی نادرست باعث افزایش تلفات هیدرولیکی ناشی از جریان های گردابی پیچ خوردن مایع در مجرای ورودی و نفوذ هوا و وارد آوردن نیروهای زیاد به یاتاقان ها و مکانیکال سیل ها و همچنین باعث کاهش رانندگی پمپ شود.

بنابراین در موقع لوله کشی تاسیسات عوامل زیر باید رعایت شود:

۱- قطر لوله ها نباید کمتر از قطر ورودی و خروجی نازل های پمپ باشد.

۲- برای جلوگیری از محبوس شدن هوا در مسیر لوله ها در قسمت لوله ورودی از تبدیل کاهنده خارج از مرکز Eccentric Reducer خروجی از تبدیل افزایش دهنده Increaser که دارای شیب کم است استفاده شود.

۳- حتی الامکان مسیر سیستم لوله کشی باید مستقیم باشد و از خم ها و زانوهای تند باید کمتر استفاده شود.

۴- سیستم لوله کشی باید طوری طراحی شود که تنش های ناشی از انقباض و انقباض لوله ها به بدنه پمپ وارد نشود.

نگارنده : اکبر بوالحسنی

تاریخ : ۱۳۹۲/۱۰/۲۸