مبانی پمپ های اسلاری

تعریف اسلاری

اسلاری مخلوط و ترکیبی از هر نوع سیال به همراه مقداری ذرات جامد می باشد. ترکیب نوع، اندازه، شکل و مقدار ذرات جامد به همراه خصوصیات و طبیعت انتقال سیال مشخصه های دقیق و خواص جریان اسلاری را مشخص می کند.

مشخصه های اسلاری

اسلاری ها را می توان به دو گروه عمومی اشباع شده و اشباع نشده تقسیم کرد.

اسلاری های اشباع نشده شامل ذرات بسیار نرمی می باشند که می توانند مخلوط یکنواخت و پایداری ایجاد کنند و باعث افزایش ویسکوزیته سیال شوند. این اسلاری ها معمولاً خواص سایشی کمی دارند اما به هنگام انتخاب پمپ می بایست توجه ویژه ای به آنها شود چرا که آنها اغلب رفتاری مشابه با سیالات معمولی ندارند. معمولاً وقتی ذرات جامد در سیال به اندازه ای باشد که رفتار سیال مشابه با سیالات معمولی نباشد آنها را سیالات غیر نیوتنی می نامند.

اسلاری های اشباع شده از ذرات زبر و خشنی تشکیل شده اند که تمایل دارند مخلوط غیر یکنواختی ایجاد کنند. بنابراین توجه ویژه ای در محاسبه جریان و توان باید بعمل آید. این ذرات زبر و خشن خواص سایشی زیادی دارند و قسمت اعظم کاربردهای اسلاری را تشکیل می دهند. این نوع اسلاری را بعضی اوقات اسلاری ناهمگن می نامند.

پمپ اسلاری چیست؟

انواع مختلف پمپ برای پمپاژ اسلاری مورد استفاده قرار می گیرد. پمپ های جابجایی مثبت و انواع خاص پمپ ها مانند اژکتورها در کاربردهای اسلاری مورد استفاده قرار می گیرند. اما متداول ترین پمپ اسلاری پمپ های سانتریفوژ می باشند. پمپ اسلاری سانتریفوژ به مانند پمپ های سانتریفوژ مایعات تمیز از نیروی گریز از مرکز که توسط پروانه ایجاد می شود برای ایجاد انرژی حرکتی به اسلاری استفاده می کند. اما تشابه پمپ اسلاری سانتریفوژ با پمپ های سانتریفوژ مایعات تمیز در همین جا خاتمه می یابد.

برای انتخاب پمپ های اسلاری سانتریفوژ ملاحظات مربوط به اندازه و سایز پروانه و نوع طراحی گذرگاه پروانه برای عبور ذرات جامد، آببندی مناسب محور و انتخاب بهینه متریال برای عمر طولانی می بایست توسط مهندسی که قطعات در تماس با سیال پمپ را انتخاب می کند مورد توجه قرار گیرد. قطعات در تماس با سیال می توانند در معرض سایش و یا خوردگی شیمیایی قرار گیرند.

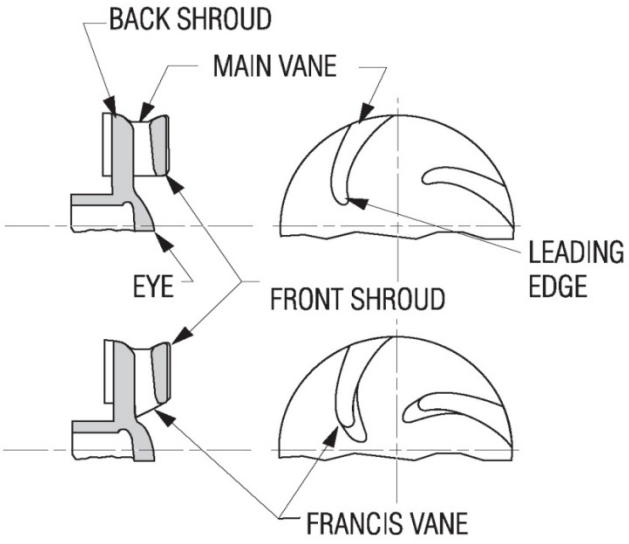
برای دستیابی به سرعتهای پایین کاری، پمپ های اسلاری سایز بزرگتری نسبت به پمپ های آب تمیز دارند. این کار باعث می شود سرعت سیال در پمپ کاهش یابد و نرخ سایش مینیمم گردد. یاتاقان ها و محور نیز در پمپ های اسلاری بسیار قوی تر و صلب تر می باشند و معمولاً برای کاربردهای کار سنگین طراحی می گردند.

اجزا پمپ اسلاری

پروانه ها

پروانه اصلی ترین قطعه دورانی می باشد که به طور معمول دارای پره هایی است که نیروی گریز از مرکز را به سیال اعمال و سیال را هدایت می کند. معمولاً پروانه پمپ های اسلاری از نوع ساده (تک خمشه و تخت) و یا نوع فرانسیس (لبه های ورودی تا اندازه ای به سمت چشم پروانه کشیده شده اند) می باشند (شکل ۱-۱).

از مزایای پروفیل پره فرانسیس می توان به راندمان بالا، عملکرد مکشی بهتر و در بعضی از پمپ های اسلاری تا اندازه ای طول عمر سایشی بیشتر اشاره نمود. دلیل طول عمر سایشی بیشتر در پره های فرانسیس را می توان اینطور توجیه نمود که زاویه حمله سیال در ورودی تا اندازه ای بهبود می یابد.



شکل ۱-۱: پروفیل های پره پروانه

پروانه با پره های ساده در بسیاری از کاربردهای اسلاری خصوصیات عمر سایشی بهتری را نشان داده اند. همچنین در مواقعی که پروانه های الاستومری مورد نیاز است این پروانه ها مشخصه های مناسبتری دارند.

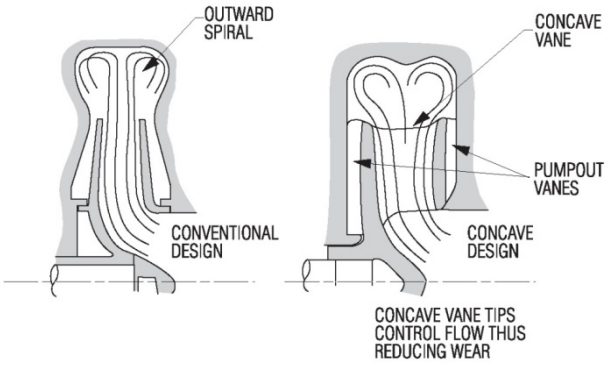
تعداد پره های پروانه معمولاً بین سه تا شش بسته به اندازه ذرات در اسلاری تغییر می کند.

پروانه پمپ های اسلاری عموماً از نوع بسته می باشند اما پروانه های نیمه باز نیز گاهی اوقات در کاربردهای ویژه مورد استفاده قرار می گیرند.

پروانه ها عموماً از نوع بسته می باشند چرا که این پروانه ها راندمان بالاتری دارند و در محدوده لاینر جلویی کمتر دچار سایش می شوند. پروانه های نیمه باز در پمپ های کوچک متداولتر می باشد. در پمپ های کوچک ممکن است انسداد ذرات جامد مشکل ساز شود. همچنین یک پروانه باز می تواند به ایجاد نیروی برشی به پمپاژ کف کمک کند.

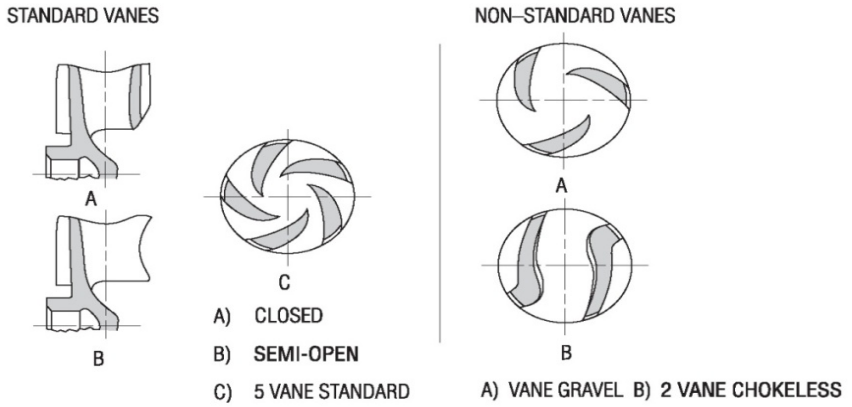
مشخصه دیگر پروانه پمپ های اسلاری پره های کمکی در پشت و جلو صفحات پروانه می باشد. این پره ها سه وظیفه دارند یکی کاهش فشار در محفظه آببند، دیگری جلوگیری از بازچرخش سیال به سمت چشم پروانه و سوم ممانعت از ته نشین شدن و رسوب ذرات جامد بین فضای پروانه و پوسته می باشد.

توجه به الگوهای جریان و نرخ سایش داخل پمپ از مهمترین معیارهای طراحی پروانه در پمپ های اسلاری می باشد.



شکل ۱-۲: الگوهای جریان پروانه/پوسته

بعضی از پروانه های استاندارد و غیر استاندارد (ویژه) در شکل ۱– ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱– ۳: انواع پروانه استاندارد و غیر استاندارد (ویژه)

پروانه های غیر استاندارد (ویژه) در کاربردهای زیر ممکن است مورد استفاده قرار گیرند:

پمپاژ ذغال سنگ خشن و زبر

ذرات بزرگ ممکن است باعث انسداد یک پروانه بسته ۵ پره شود. یک پروانه ویژه با تعداد ۴ پره ممکن است مورد نیاز باشد.

پمپاژ مواد فیبری و الیافی

الیاف بلند ممکن است باعث انسداد ورودی پروانه های استاندارد شود. یک پروانه ویژه Chokeless می تواند برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد.

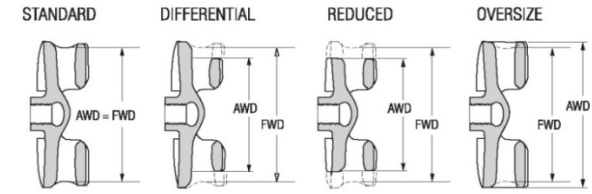
هد ورودی بالا

در مواقعی که هد ورودی به قدری بالا است که آببندهای گریز از مرکز قادر به کار نمی باشند یک

پروانه دیفرانسیلی (شکل ۱– ۴) ممکن است مورد نیاز باشد.

سایش های بسیار بالا

در بعضی کاربردهای سایشی بسیار بالا مانند خروجی های آسیاب، یک پروانه ویژه با چشم کوچک شده می تواند عمر سایشی پروانه را افزایش دهد.



FWD Full Working Diameter

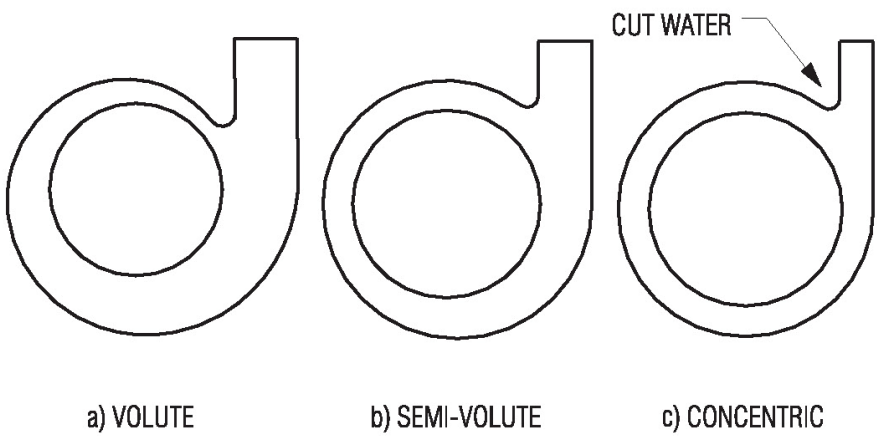
AWD Actual Working Diameter

شکل ۱- ۴: انواع پروانه تراش خورده

پوسته

بیشتر پوسته های پمپ های اسلاری " آهسته تر" از پمپ های آب می باشند. در واقع کاهش سرعت در پوسته باعث کاهش نرخ سایش در پوسته می شود.

عموماً شکل پوسته به صورت نیمه حلزونی یا دایروی با لقی زیاد در نقطه آب شکن[1] می باشد. این اختلافات در شکل ۱- ۵ نشان داده شده است. راندمان در این پوسته ها نسبت به پوسته های حلزونی پایین تر می باشد اما این موضوع در مقابل افزایش عمر سایشی پوسته قابل پذیرش می باشد.



شکل ۱- ۵: انواع پوسته پمپ

[1] Cutwater

محدوده کاربرد پمپ های اسلاری

پمپ های اسلاری به طور وسیعی در صنایع معدنی استفاده می شود جایی که بیشتر کارخانجات از سیستم های جدایش خیس[1] استفاده می کنند. این سیستم ها معمولاً حجم عظیم اسلاری را در فرآیندهای خود جابجا می کنند.

همچنین پمپ های اسلاری به طور گسترده ای برای دفع بقایای سوخت های فسیلی نیروگاه ها مورد استفاده قرار می گیرد. از کاربردهای دیگر پمپ های اسلاری می توان به کارخانجات تولید کود، اصلاح و آبادانی زمین ها و اراضی، لایروبی کردن و انتقال ذغال سنگ و مواد معدنی در فواصل طولانی اشاره کرد.

افزایش توجه عمومی به محیط زیست و مصرف انرژی کاربرد پمپ های اسلاری را وسیع تر می کند.

مفاهیم انتخاب متریال

انتخاب نوع موادی که باید در ساخت پمپ های اسلاری مورد استفاده قرار گیرد فرآیند مشخص و دقیقی نیست. این فرآیند باید تمام مشخصه های قابل تغییر در اسلاری مورد نظر را در بر گیرد و همچنین محدودیت هایی که عواملی مانند نوع پمپ، سرعت چرخش و انواع آپشن های موجود در مدل پمپ ایجاد می کند شامل شود.

اطلاعات اولیه که برای انتخاب نوع متریال مورد نیاز است شامل موارد زیر می باشد:

- ✓ اندازه ذرات جامد
- ✓ شکل و سختی ذرات جامد، و
- ✓ خواص خوردگی سیال پمپ شونده که اجزا اسلاری را پمپاژ می کند.

انتخاب متریال برای لاینر پمپ و پروانه به دو رده کلی زیر تقسیم می شوند:

- ✓ الاستومرها
- ✓ آلیاژهای ریختگی مقاوم در برابر خوردگی و سایش

الاستومرها

سه نوع الاستومر به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرند. معیارهای انتخاب این مواد به شرح ذیل می باشد:

[1] Wet separation system

لاستیک های طبیعی[1]

- ✓ مقاومت سایشی عالی برای لاینرهای پوسته تا سایز ذرات جامد ۱/۲ اینچ و لاینرهای پروانه تا سایز ۱/۴ اینچ برای ذرات جامد خیلی تیز ممکن است مناسب نباشد.
- ✓ ممکن است توسط ذرات جامد بزرگتر و یا ناخالصی های دیگر آسیب ببیند.
- ✓ سرعت محیطی پروانه باید کمتر از ۵۴۰۰ فوت بر دقیقه باشد. این موضوع به خاطر اجتناب از خرابی لاینر ناشی از افزایش دما در نزدیکی لبه خارجی پروانه می باشد
- ✓ نامناسب برای روغن ها، حلال ها و اسیدهای قوی
- ✓ نامناسب برای دماهای بالای ۱۷۰ درجه فارنهایت و یا ۷۷ درجه سانتیگراد

پلی یورتان

- ✓ در مواقعی که سرعت محیطی پروانه بیش از ۵۴۰۰ فوت بر دقیقه باشد (و یا استفاده از پروانه های لاستیکی استاندارد غیر ممکن است) از این مواد استفاده می شود.
- ✓ در مواقعی که سایش از نوع "بستر لغزنده" می باشد (شکل ۲-۲ را نگاه کنید) مقاومت به سایش بالاتری دارند.
- ✓ در مواقعی که ذرات جامد لبه های تیزی دارند مقاومت به سایش پایین تری نسبت به لاستیک های طبیعی دارند. در حالاتی که ذرات جامد نرم می باشند در بعضی مواقع مقاومت به سایش بالاتری نسبت به لاستیک های طبیعی دارند.
- ✓ برای دماهای بالای ۱۵۸ درجه فارنهایت و یا ۷۰ درجه سانتیگراد نامناسب می باشند. همچنین برای محلول های اسیدی و آلکالین ها، کتون ها، استرها و نیترو هیدروکربن ها نیز نامناسب می باشند. در صورتی که با تغییر فرمولاسیون، مقاومت دمایی این مواد افزایش یابد، مقاومت به سایش آنها به تناسب کاهش خواهد یافت.

الاستومرهای مصنوعی

الاستومرهای مصنوعی مانند نئوپرن، بوتیل، هیپالون، وایتون نوع A و غیره.

این مواد در کاربردهای شیمیایی مخصوص در شرایط زیر استفاده می شوند:

- ✓ مقاومت به سایش پایین تری نسبت به لاستیک های طبیعی دارد.
- ✓ مقاومت شیمیایی بالاتری نسبت به لاستیک های طبیعی و پلی یورتان دارد.
- ✓ عموماً دماهای کاری مجاز بالاتری نسبت لاستیک های طبیعی و پلی یورتان دارد.

[1] Natural Rubber

آلیاژهای ریختگی مقاوم در برابر خوردگی و سایش

آلیاژهای ریختگی مقاوم در برابر سایش در پمپ های اسلاری وقتی مورد استفاده قرار می گیرند که شرایط برای استفاده از رابرها مناسب نباشد. به عنوان مثال وجود ذرات جامد زبر و یا لبه تیز و یا حالاتی که سرعت های محیطی پروانه و دماهای کاری بالا می باشد.

کاربرد و محدودیت ها- خصوصیات اسلاری

سایش[1]

ساییدگی وقتی اتفاق می افتد که ذرات سخت در مقابل یک سطح جامد تحت فشار و حرکت

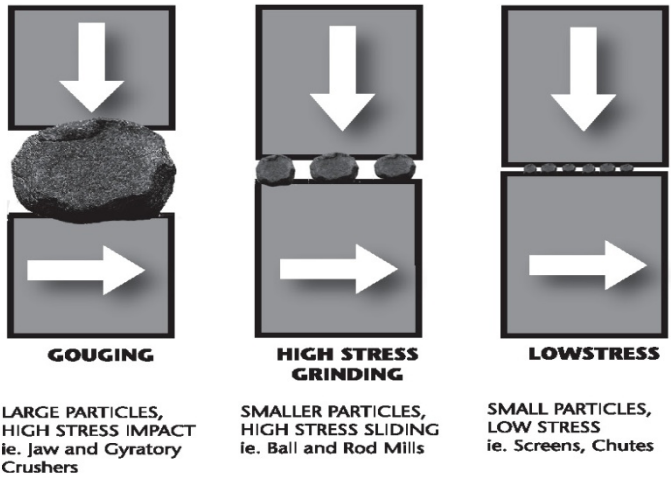
نسبی قرار گیرند. شکل ۲-۱ سه نوع سایش را توضیح می دهد: از جا کندن[2] ، خرد کردن فشار بالا[3] و خرد کردن فشار پایین[4]

در پمپ های اسلاری سانتریفوژ، سایش تنها در دو منطقه اتفاق می افتد:

- ✓ بین پروانه (چرخان)و بوش گلویی[5] (ثابت)
- ✓ بین بوش محور (چرخان) و پکینگ ثابت

سایش و خراش (Abrasion) اگرچه تمام انواع سایش (Wear) را در بر می گیرد اما کاملاً با خوردگی فیزیکی[6] متمایز است.

[1] Abrasion
[2] Gouging
[3] High Stress Grinding
[4] Low Stress Grinding
[5] Throat bush
[6] Erosion



شکل ۲- ۱: سه نوع اصلی سایش Abrasion

خوردگی فیزیکی

در پمپ های اسلاری، نوع سایش غالباً به صورت خوردگی فیزیکی می باشد. خوردگی فیزیکی شکلی از سایش می باشد که در آن متریال سطح توسط مواد جامد معلق در سیال از بین می رود.

در خوردگی فیزیکی انرژی جنبشی از ذرات جامد به سطح وارد می شود که این موضوع در سایش Abrasion اتفاق نمی افتد.

انتقال انرژی جنبشی از ذرات جامد به سطح باعث تنش های تماسی بالا می شود. اگرچه فشار تماسی در هر برخورد کوچک می باشد اما فشار تماسی ویژه به خاطر شکل ناهمگون ذرات بالا می باشد.

سه نوع خوردگی فیزیکی وجود دارد: بستر لغزان[1]، برخورد تصادفی و برخورد جهتدار (شکل ۲- ۲)

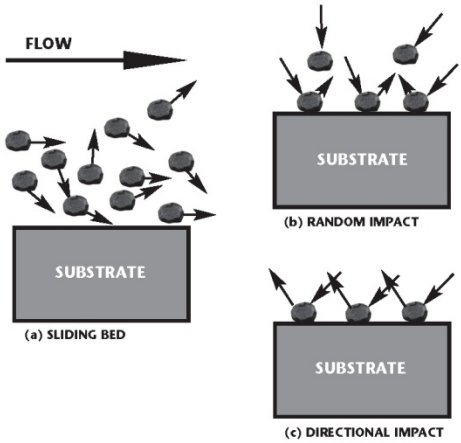
پروانه ها، لاینرها و حلزونی ها به خاطر مکانیسم کاملاً متفاوتی دچار سایش می شوند:

الف) سایش در پروانه ها ترکیبی از برخورد جهت دار (در لبه ورودی پره و در جایی که پره به شراد پشتی متصل می شود) و بستر لغزان و برخورد با زاویه کم (در طول پره ها و گذرگاه داخلی بین شرادها) می باشد.

ب) لاینرهای کناری عموماً در معرض سایش بستر لغزان و تا اندازه ای برخورد با زاویه کم می باشند.

[1] Sliding Bed

پ) حلزونی ها در معرض برخورد مسقیم در قسمت آب شکن[1] و خوردگی فیزیکی نوع بستر لغزان در طول محیط خود می باشند.



شکل ۲- ۲: سه نوع اصلی سایش Erosion

خوردگی شیمیایی[2]

خوردگی شیمیایی انواع مختلفی دارد، بعضی از آنها شامل موارد زیر می باشد: خوردگی یکنواخت، گالوانیک، ترک، چاله کنی، دانه ای، تنشی و خوردگی فیزیکی / شیمیایی. مورد اخیر در کاربردهای اسلاری با اهمیت ترین می باشد چرا که شامل اثرات فیزیکی و شیمیایی می باشد و غالباً تشخیص این دو از هم مشکل خواهد بود.

خوردگی فیزیکی / شیمیایی نتیجه سایش ثابت یک لایه اکسید که روی سطوح داخلی اجزا در تماس با سیال پمپ تشکیل شده است می باشد. این لایه اکسید محافظ از خوردگی شیمیایی قطعات فلزی جلوگیری می کند اما، وقتی به طور ثابت خوردگی سایشی (خراشیدن) وجود دارد، باعث می شود فلز لایه زیرین در معرض ذرات ساینده قرار گیرند و خوردگی فیزیکی / شیمیایی گسترش یابد و فلز را از بین ببرد.

بسیاری از محیط های گازی و مایع عموماً باعث تغییر گرید و تضعیف الاستومرها می شوند.

قابلیت الاستومرها برای جذب گاز و یا مایع و گرایش آنها برای حل شدن در یک حلال با یکدیگر متفاوت می باشد. وقتی جذب و یا حل شدن جزئی اتفاق می افتد، استحکام و مدول الاستیسیته آنها تغییر زیادی می کند.

---

[1] Cut water
[2] Corrosion

غلظت مواد جامد

وجود ذرات جامد در یک اسلاری تأثیر معکوسی بر عملکرد پمپ دارد. این تأثیر به مراتب از وجود ذرات جامد در آب تمیز بیشتر است. تأثیر معکوس وجود ذرات جامد بر عملکرد پمپ اصولاً ناشی از موارد زیر است:

- ✓ لغزش بین سیال و مواد جامد حین شتاب گرفتن در ورود به پروانه و کاهش شتاب هنگام خروج از پروانه باعث اتلاف انرژی می شود. این اتلاف انرژی سبب افزایش سرعت ته نشینی ذرات می شود.
- ✓ افزایش اتلافات اصطکاکی در پمپ. این اتلافات با افزایش دانسیته و ویسکوزیته اسلاری افزایش می یابد.

توجه: در متنی که در ادامه می آید منظور از هد (H) هد کلی تولید شده توسط پمپ می باشد که بر حسب فوت سیال واقعی و یا اسلاری بیان می شود. عبارت H_w برای هد کلی پمپاژ آب می باشد (بر حسب فوت) و عبارت H_m برای هد کلی پمپاژ مخلوط اسلاری استفاده می شود (بر حسب فوت مخلوط اسلاری).

عبارت نسبت هد (HR) برابر است با نسبت H_m/H_w در دبی و سرعت یکسان

HR برای آب برابر با یک می باشد اما با افزایش غلظت مواد جامد این نسبت کاهش می یابد. HR برای هر اسلاری متأثر از اندازه، وزن مخصوص و غلظت حجمی ذرات جامد می باشد.

HR به صورت تئوریکی قابل محاسبه نیست، اما فرمول تجربی برای محاسبه آن وجود دارد. این فرمول پس از تعداد زیادی آزمایش و آزمون و خطا بدست آمده است. این فرمول برای اکثر حالات معتبر می باشد.

افزایش غلظت مواد جامد علاوه بر کاهش هد تولیدی پمپ باعث کاهش راندمان نیز می شود. در غلظت های بالا کاهش راندمان قابل توجه می باشد.

نسبت ER برابر است با e_m/e_w وقتی دبی و سرعت یکسان باشد. عبارت e_m بیان کننده بازده پمپ وقتی مخلوط اسلاری پمپاژ می کند و عبارت e_w مربوط به بازده پمپ با سیال آب می باشد.

شکل ۲- ۳ از نتایج آزمایشات بدست آمده است. بوسیله این شکل تخمین منطقی HR و ER در اکثر حالات امکان پذیر می باشد. با استفاده از این چارت سرعت مورد نیاز پمپ سانتریفوژ وقتی اسلاری پمپاژ می کند بیشتر از وقتی خواهد بود که آب تمیز پمپاژ کند.

به طور مشابه، توان مورد نیاز اسلاری از ضرب ساده توان مورد نیاز برای آب تمیز در وزن مخصوص اسلاری (S_m) بیشتر خواهد بود.

با افزایش سایز پروانه، اندازه ذرات جامد تأثیر کمتری بر عملکرد پمپ خواهد داشت.

توجه: این منحنی تنها برای مخلوط ساده آب و ذرات جامد کاربرد دارد.

تأثیرات بر انتخاب متریال

خواص اسلاری رابطه مستقیمی با نوع متریال مورد نیاز برای اجزا در تماس با اسلاری دارد. این موضوع قبلاً در فصل اول مورد بررسی قرار گرفته بود.

دبی

قبل از تعیین و محاسبه هر یک از پارامترهای سیستم پمپاژ اسلاری، حجم دقیق اسلاری که می بایست پمپاژ گردد باید مشخص و تعیین گردد. بدون دانستن دقیق حجم مورد نیاز و امکانات گوناگون آن غیر ممکن است که محاسبات مربوط به سیستم پمپاژ بدرستی حل شود. برای پمپاژ اسلاری، دبی پمپاژ بوسیله تناسب بین سه فاکتور بدست می آید:

* وزن مخصوص ذرات جامد (SG)

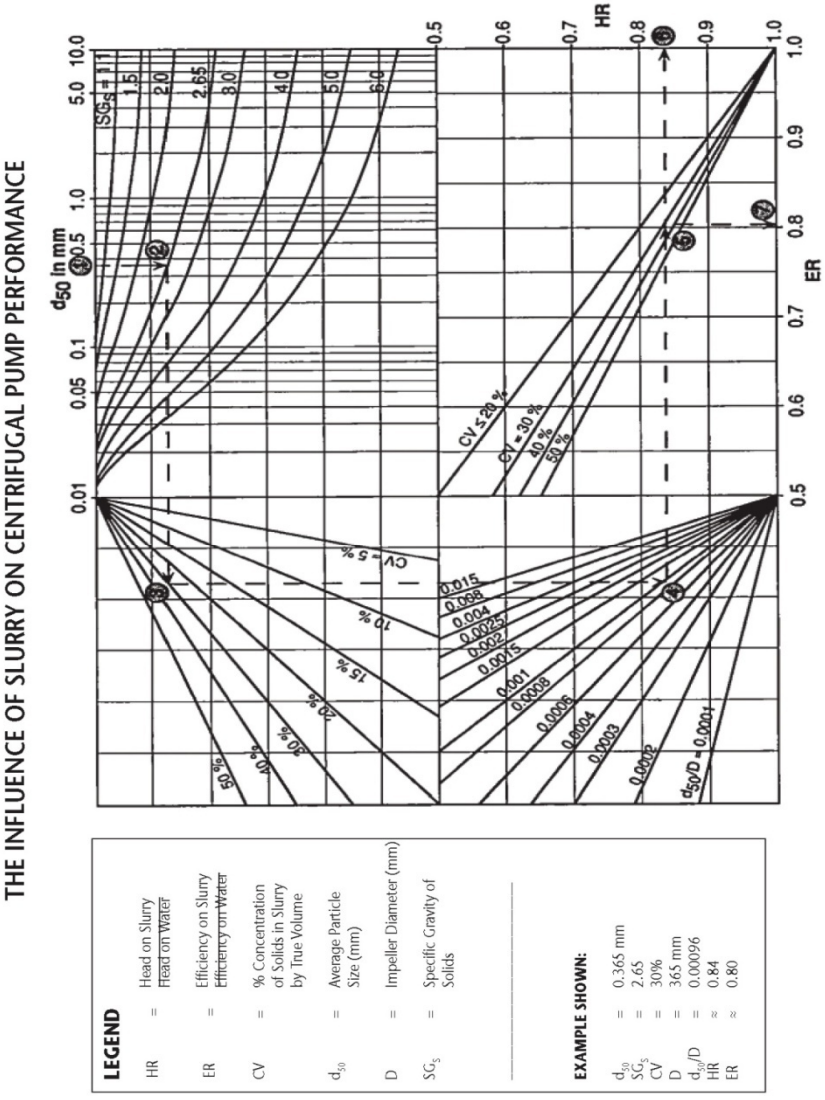
* تناژ ذرات جامد که می بایست پمپاژ گردد و

* غلظت این مواد داخل مخلوط اسلاری

برای انتخاب هر پمپ اسلاری این فاکتورها می بایست تعیین شوند (فصل سوم را ببینید).

طول لوله کشی

موضوع دیگری که می بایست در برآوردهای اولیه سیستم پمپاژ اسلاری مورد توجه قرار گیرد تعیین طول لوله کشی مورد نیاز می باشد. اسلاری داخل لوله ایجاد اصطکاک و تلفات می کند. این اتلاف انرژی با طول لوله نسبت مستقیم دارد. قبل از انتخاب پمپ می بایست طول لوله کشی ها، زانویی ها و اتصالات به درستی تعیین گردد (فصل ششم را ببینید).



شکل ۲ – ۳: عملکرد پمپ های اسلاری سانتریفوژ

هد استاتیکی مورد نیاز

ارتفاع عمودی واقعی (هد استاتیکی) که اسلاری می بایست بر آن غلبه کند باید به طور دقیق مشخص گردد. این ارتفاع به راحتی از روی نقشه ها قابل قرائت می باشد. عدم دقت کافی در اندازه

گیری ارتفاع عمودی (معمولاً از خط تراز مایع در قسمت مکش تا نقطه خروجی و یا بالاترین نقطه در خط) ممکن است تأثیرات زیادی بر عملکرد پمپ داشته باشد. معمولاً توصیه می گردد اندازه گیری ارتفاع استاتیکی با دقت قابل قبول و منطقی ای (حدوداً ۵۰ سانتیمتر) انجام گیرد.

سایز لوله

انتخاب قطر لوله بهینه در هر سیستم پمپاژ اسلاری موضوع مهمی می باشد. استفاده از لوله با قطر کوچک می تواند منجر به عدم تأمین دبی و یا افزایش توان مصرفی گردد. به عنوان مثال، تصور کنید دبی پمپاژ اسلاری ۱۶۰۰ گالن بر دقیقه و هد پمپاژ ۳۳۰۰ فوت باشد. در صورتی که لوله ۴ اینچ باشد اصطکاک تولیدی ۳۹۲۰ فوت خواهد بود، اما اگر لوله با قطر ۶ اینچ انتخاب گردد تنها ۵۳۵ فوت اصطکاک خواهیم داشت و از لحاظ تئوریکی توان جذبی از ۲۷۰۰ اسب بخار (برای لوله ۴ اینچ) به ۳۷۵ اسب بخار (برای لوله ۶ اینچ) کاهش خواهد یافت که کاملاً اعداد قابل توجهی می باشند.

از طرفی سرعت اسلاری در لوله می بایست محاسبه گردد. سرعت اسلاری در لوله باید به اندازه کافی باشد تا ذرات جامد در آن به صورت معلق باقی بماند در غیر اینصورت با ته نشین شدن ذرات معلق باعث انسداد لوله خواهند شد.

منحنی های عملکرد پمپ

عملکرد پمپ اسلاری سانتریفوژ معمولاً به شکل منحنی عملکرد هد تولیدی بر حسب دبی در سرعت ثابت گزارش می گردد. هر پمپ به صورت جداگانه با آب تمیز تست در سرعتهای مختلف تست می گردد. تست پمپ در سرعتهای مختلف انجام می گیرد تا محدوده کامل عملکرد پمپ و قابلیتهای آن بدست آید. در شکل ۲- ۴ منحنی عملکرد یک پمپ تست شده نشان داده شده است. منحنی عملکرد نمونه وار این پمپ (منحنی کاتالوگی) در شکل ۲- ۵ نشان داده شده است.

دیگر محدودیت های طراحی

آببندی محور

آببند محور یکی از مهمترین اجزا مکانیکی هر پمپ اسلاری سانتریفوژ می باشد. برای هر پمپی می بایست انتخاب صحیح و درستی برای آببندی بعمل آید. سه نوع متداول آببندی به شرح ذیل می باشد:

آببندی گریز از مرکز (یا دینامیکی)

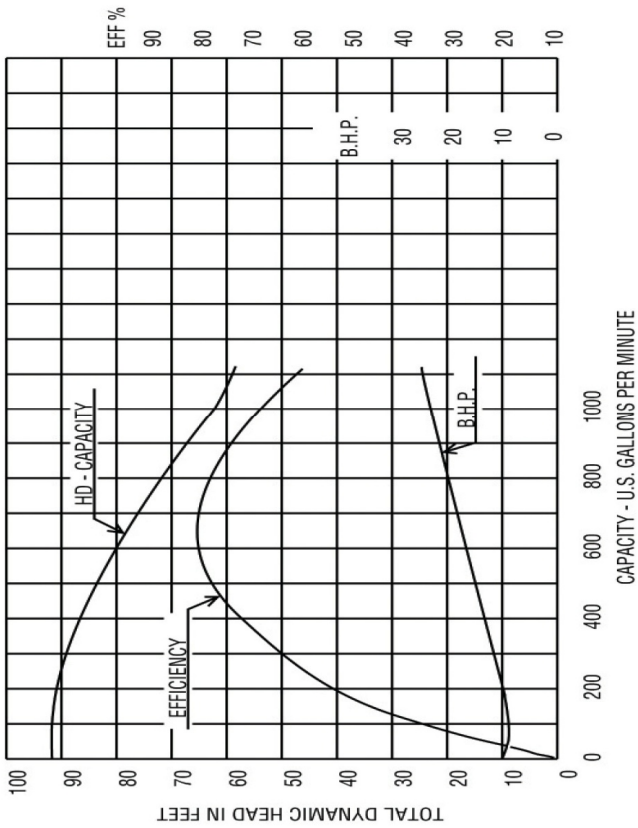
آببند گریز از مرکز یک آببند دینامیکی و خشک می باشد که تنها وقتی پمپ در حال چرخش است عمل می نماید و وقتی پمپ خاموش است و چرخش ندارد هیچ اثر آببندی ندارد. در حالت ثابت یک

آببندی ثانوی عمل آببندی را انجام می دهد. آببند ثانوی می تواند یک آببند زبانه ای و یا پکینگ روانکاری شده با گریس باشد (شکل ۲- ۶).

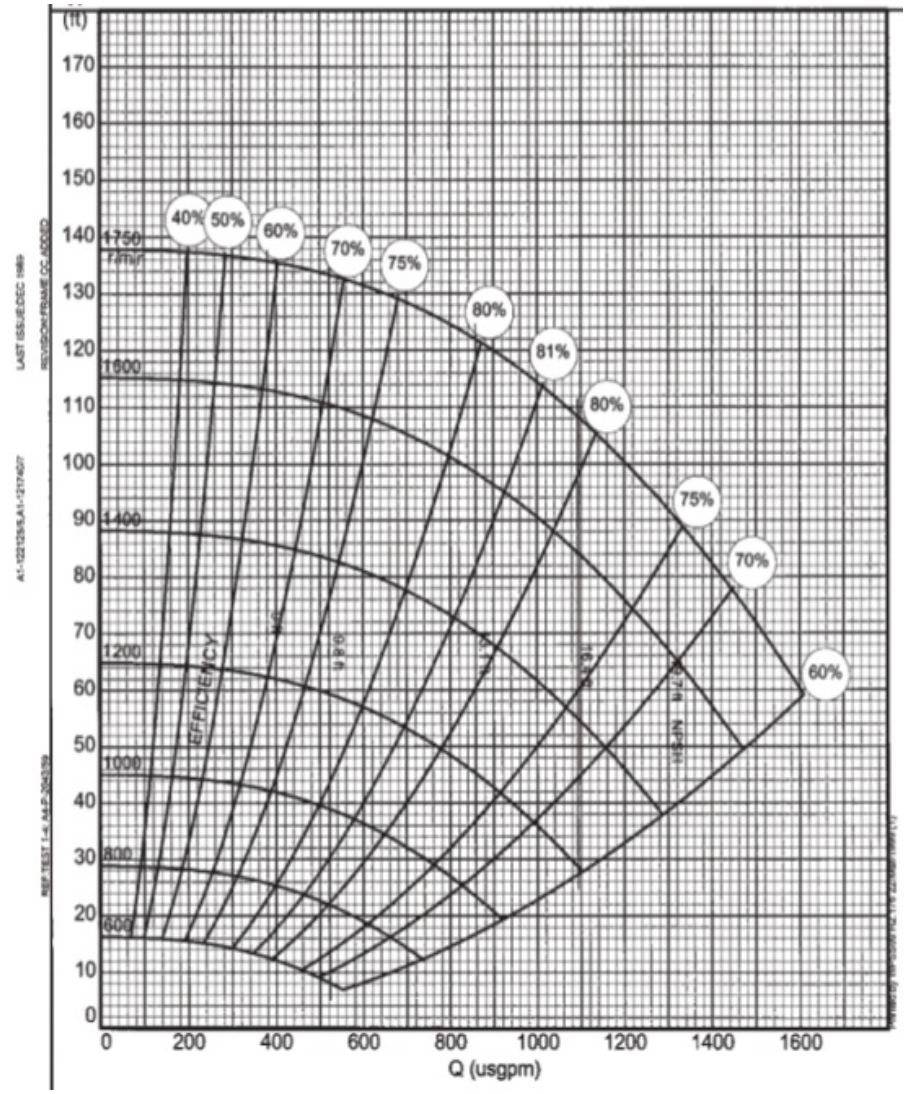
آببند گریز از مرکز تشکیل شده است از پره های پشتی پروانه و یک اکسپلر که در محفظه جداگانه ای در پشت پروانه و هم جهت با آن می چرخد.

اکسپلر به عنوان توربین عمل می نماید و باعث کاهش فشار اسلاری در محفظه اکسپلر می شود. این کاهش فشار باعث می شود اسلاری از پشت پروانه به خارج نفوذ نکند. اکسپلر در داخل محفظه تولید فشار می کند و از عبور اسلاری از نزدیکی آببند ثانوی ممانعت می کند.

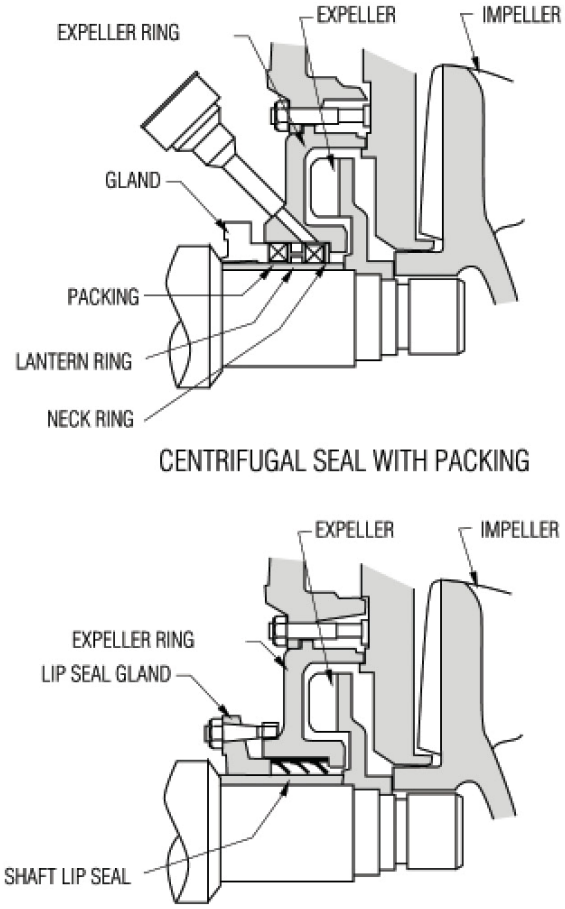
آببندهای گریز از مرکز به خاطر سادگی و موثر بودنشان متداولترین آببند مورد استفاده در کاربردهای اسلاری می باشد. فشار ورودی و سرعت دورانی (rpm) محدودکننده عملکرد این آببندها می باشند (شکل ۲- ۷)



شکل ۲- ۴: منحنی تست عملکرد نمونه وار یک پمپ (با آب تمیز)



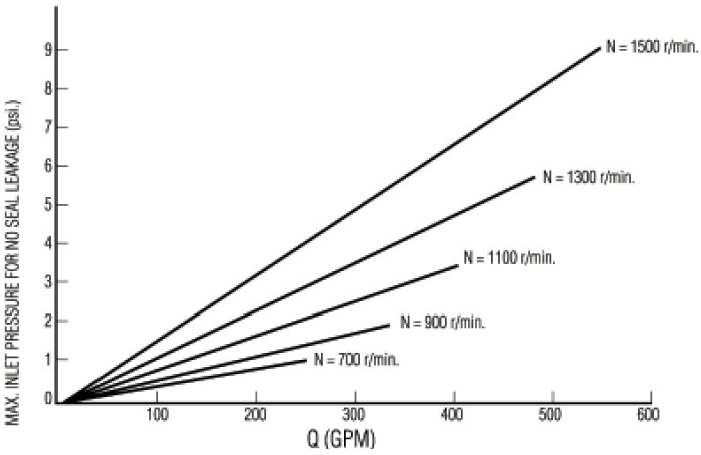
شکل ۲- ۵: منحنی عملکرد نمونه وار یک پمپ (منحنی کاتالوگی)



شکل ۲- ۶: نمای آببند گریز از مرکز (دینامیکی)

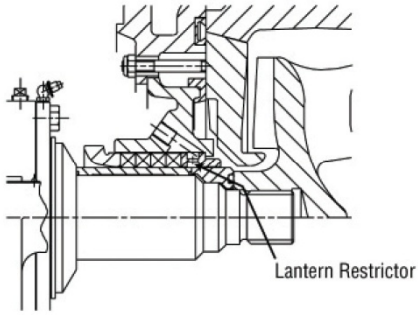
آببندی نوار گرافیتی (گلند پکینگ)

آببند نواری نرم دومین نوع آببند متداول استفاده شده در کاربردهای اسلاری می باشد. این آببند شامل تعدادی حلقه نوار آببندی نرم و فشرده شده داخل محفظه Stuffing Box و یک بوش محافظ روی محور می باشد. این نوع آببند نیازمند روانکاری و خنک کاری مداوم با سیال تمیز برای جلوگیری از ایجاد گرمای زیاد به خاطر اصطکاک می باشد.



شکل ۲– ۷: منحنی عملکرد نمونه وار آببندهای گریز از مرکز

کیفیت، تعداد و فشار این آببندها از اهمیت خاصی برخوردار می باشد و باید به دقت با شرایط کاری تطابق داشته باشد (شکل ۲– ۸).



شکل ۲– ۸: نمای آببند نوار گرافیتی (گلند پکینگ)

آببند مکانیکی

آببندهای مکانیکی در کاربردهای اسلاری به طور وسیع مورد استفاده قرار نمی گیرند اما استفاده آنها در بعضی کاربردهای خاص در حال افزایش می باشد. آببندهای مکانیکی از دو صفحه ثابت و متحرک تشکیل شده اند که این اجزا تحت فشار مکانیکی و هیدرولیکی از نشتی سیال جلوگیری می کنند.

سیلیکون کارباید گرید A و تنگستن کارباید متداولترین مواد استفاده شده برای ساخت این صفحات می باشد.

استفاده از آببندهای مکانیکی در کاربردهای اسلاری مستلزم توجه ویژه به محدودیت های این آببندها می باشد. عموماً قیمت آببندهای مکانیکی بالا می باشد و سازنده می بایست مناسب بودن آببند پیشنهادی را برای کاربرد مورد نظر گارانتی نماید.

متخصصات آببندها فعالانه در حال گسترش این نوع آببندها با قابلیت اعتماد بالا و قیمت پایین می باشند که این موضوع باعث گسترش استفاده از آببندهای مکانیکی خواهد شد. در کاربردهایی که نمی توان از آببندهای گریز از مرکز استفاده نمود و همچنین در مواقعی که آب تمیز در دسترس نمی باشد زمینه برای استفاده از آببندهای مکانیکی مهیا می شود.

مخازن پمپ[1]

در حالت هد کاری کم و متوسط که دبی و هد تقریباً ثابت می باشد اغلب اتفاق می افتد که اجازه می دهند و یا می خواهند سطح سیال در سمت مکش پمپ به طور طبیعی تغییر کند.

با استفاده از مخازن پمپ و یا مخازن تغذیه، تغییر سطح سیال امکان پذیر می باشد.

شکل ۲- ۹ یک سیستم مخزن تغذیه نمونه وار و اصول کنترل جریان طبیعی را نشان می دهد. خصوصیات مهم طراحی به شرح ذیل می باشد:

الف) ارتفاع مخزن باید به اندازه کافی باشد

ب) کف مخزن حداقل شیب ۳۰ درجه داشته باشد تا از ته نشین شدن ذرات جامد جلوگیری شود.

پ) سطح آزاد سیال می بایست به اندازه کافی بزرگ باشد تا به طور پیوسته هوا و یا کف را از سطح آزاد سیال خارج کند.

ت) لوله خروجی از کف مخزن باید حداقل شیب ۳۰ درجه داشته باشد تا هوا از لوله مکش به راحتی خارج شود (به ویژه در لحظه راه اندازی).

ث) لوله مکش تا حد ممکن کوتاه باشد.

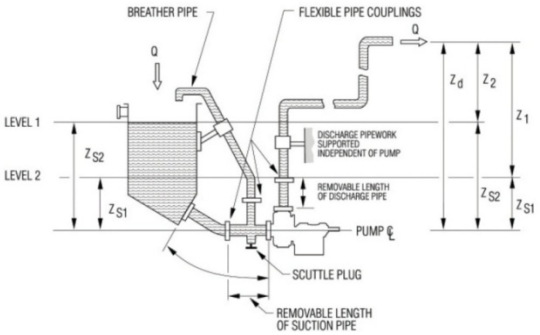
ج) همچنین لوله مکش باید به فاصله کافی از فلنج مکش دارای یک کوپلینگ انعطاف پذیر و قابل درآوردن باشد تا در هنگام تعمیرات و نگهداری دسترسی به پمپ امکان پذیر باشد.

چ) وقتی پمپ اسلاری های اسفنجی، کف آلود یا با ویسکوزیته بسیار بالا پمپاژ می کند، یک لوله تنفسی توصیه می شود و هر گونه توجه ویژه می بایست انجام شود.

---

[1] Pump Sumps

ح) لوله مکش باید دارای خط تخلیه باشد تا در صورت نیاز پمپ و مخزن تخلیه گردد.



شکل ۲- ۹: یک نمونه مخزن پمپ و اصول کنترل دبی طبیعی

گرفتگی هوا

پمپ های افقی که به صورت ثقلی از مخزن تغذیه با اسلاری کف آلود[1] تغذیه می شوند ممکن است عملکرد ناپایدار (سیکلی) داشته باشند و خروجی پمپ بین دبی صفر و حداکثر نوسان کند.

گرفتگی هوای مقطعی دلیل این عملکرد سیکلی می باشد. اگر سطح سیال در مخزن مکش کافی نباشد تا حباب های هوای به دام افتاده در چشم پروانه شکسته شود، جریان داخل پمپ برقرار نخواهد شد مگر آنکه پمپ به مدت طولانی خاموش شود و حباب های هوا فرصت خارج شدن پیدا کنند.

برای اجتناب از این موضوع و یا به حداقل رساندن آن، می بایست از یک لوله هواگیری مانند شکل ۲- ۱۰ استفاده شود.

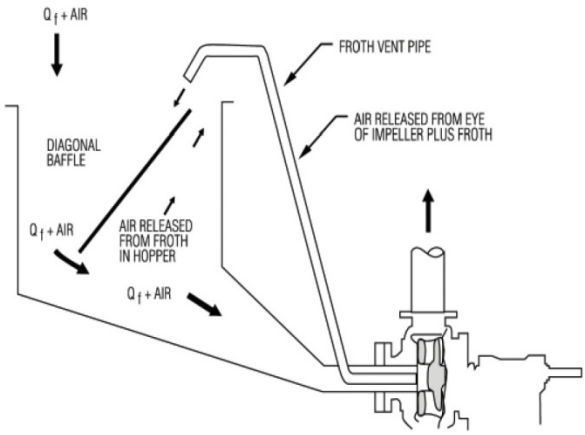
جانمایی این لوله هواگیری مانند لوله هواگیری معمولی می باشد با این تفاوت که لوله هوا گیری مذکور تا چشم پروانه امتداد پیدا می کند. عموماً اندازه مخزن بزرگتر از حد معمول ساخته می شود تا فشار روی حباب های بدام افتاده افزایش یابد.

گاهی اوقات یک بافل قطری در مخزن نصب می شود تا تولید کف در مخزن به حداقل برسد. لوله تغذیه از مخزن باید به صورت مخروط بزرگی باشد تا سطح ورودی کف افزایش یابد و تا حد ممکن به پمپ نزدیک باشد.

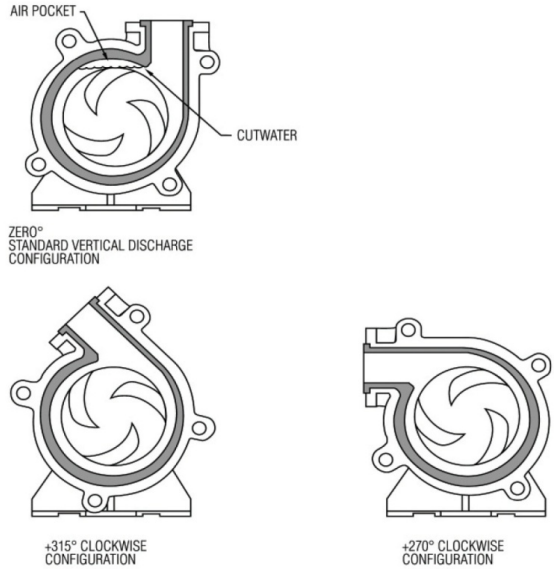
راه حل دیگر زاویه دادن به قسمت گلویی حلزونی می باشد (شکل ۲- ۱۱) که از به دام افتادن هوا در قسمت بالایی پوسته جلوگیری می شود.

[1] Frothed Slurry

پمپ هایی که مکش آن بزرگتر طراحی می شوند قابلیت مناسبی برای پمپاژ اسلاری کف آلود دارند.



شکل ۲- ۱۰: یک نمونه از جانمایی مخزن پمپ برای اسلاری های کف آلود و اسفنجی



شکل ۲- ۱۱: زاویه خروجی پمپ برای به حداقل رساندن گرفتگی هوا

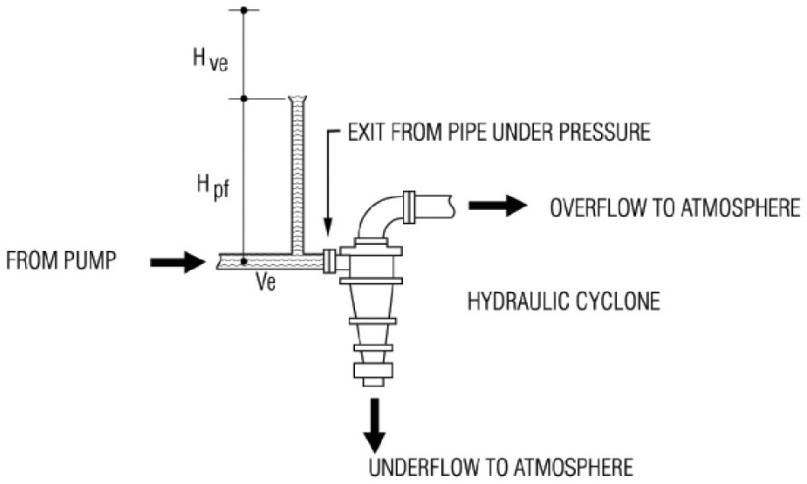
اتلاف هد در خروجی تجهیزات تحت فشار

وقتی اسلاری تحت فشار داخل تجهیزات تحت فشار مانند سیکلون های هیدرولیکی تخلیه می شود، هد سرعت خروجی H_{ve} باید به عنوان اتلاف هد در نظر گرفته شود (شکل ۲- ۱۲)

$$H_d = Z_d + H_{fd} + H_{ve} + H_{pf}$$

$$= H_{gd} + H_{vd}$$

که H_{ve} تقریباً با H_{vd} برابر و هر دو برابرند با هد سرعت در لوله در نقطه ای که H_{pf} با گیج فشار اندازه گیری می شود.



شکل ۲- ۱۲: مثالی از جانمایی سیکلون

خطر ترکیدگی پمپ

وقتی لوله های مکش و رانش در یک پمپ سانتریفوژ در حال کار به طور همزمان بسته و یا دچار گرفتگی شوند خطر بالقوه ترکیدگی پمپ وجود دارد. این خطر ناشی از این موضوع است که گرمای تولیدی ممکن است باعث تبخیر سیال بدام افتاده در پمپ شود و پوسته پمپ دچار ترکیدگی شدیدی شود.

وقتی پمپ های سانتریفوژ در کاربردهای اسلاری استفاده شوند، این خطر بالقوه ممکن است به خاطر طبیعت مواد پمپ شونده افزایش یابد. ذرات جامد اسلاری ممکن است به صورت غیر قابل تشخیصی کم کم باعث انسداد لوله ها شوند. ادامه کار پمپ در این حالت بسیار خطرناک است.

در صورتی که موقعیت نصب پمپ مستعد بروز چنین اتفاقی می باشد، می بایست اپراتور پمپ اندازه گیری های پیشگیرانه ای برای جلوگیری از انسداد لوله ها داشته باشد.

قبل از انتخاب پمپ، فصل سوم را مطالعه نمایید.

فصل سوم: انتخاب پمپ

تعیین دبی

دبی از راه های مختلفی برآورد می شود. اما معمولاً با تعیین حجم مواد جامد و غلظت این مواد در سیال تخمین زده می شود.

تعیین هد استاتیکی

هد استاتیکی (ارتفاع عمودی سمت مکش و رانش پمپ) باید تعیین شود.

تعیین ضرایب اصلاح هد و بازده پمپ

تأثیر اسلاری بر عملکرد پمپ می بایست مشخص شود. مواردی که می بایست بدانیم شامل آیتم های زیر می باشد:

* اندازه متوسط ذرات جامد d_{50} (d_{50}) از لحاظ تئوریکی اندازه صفحه صافی است که ۵۰ درصد ذرات از آن عبور می کنند و ۵۰ درصد پشت آن باقی می ماند).

* درصد غلظت حجمی مواد جامد در سیال

* وزن مخصوص (SG) مواد جامد خشک و

* قطر پروانه پمپ

با دانستن این چهار مقدار می توان به گراف شکل ۲- ۳ مراجعه نمود و ضرایب اصلاح هد و بازده (HR/ER) را بدست آورد.

تعیین قطر لوله

برای ایجاد سرعت مناسب در لوله و به حداقل رساندن اصطکاک و همچنین جلوگیری از ته نشین شدن ذرات جامد در لوله، لازم است قطر لوله محاسبه و تعیین شود.

به فصل های ۶ و ۷ مراجعه کنید.

محاسبه اتلاف هد اصطکاکی

پس از انتخاب قطر لوله مناسب، اتلاف اصطکاکی که توسط عناصر مختلف سیستم پمپاژ ایجاد می شود می بایست محاسبه و تعیین گردد.

محاسبه هد دینامیکی کل

پس از محاسبه موارد بالا، هد دینامیکی قابل محاسبه است. برای اطلاعات بیشتر به فصل هفتم مراجعه کنید.

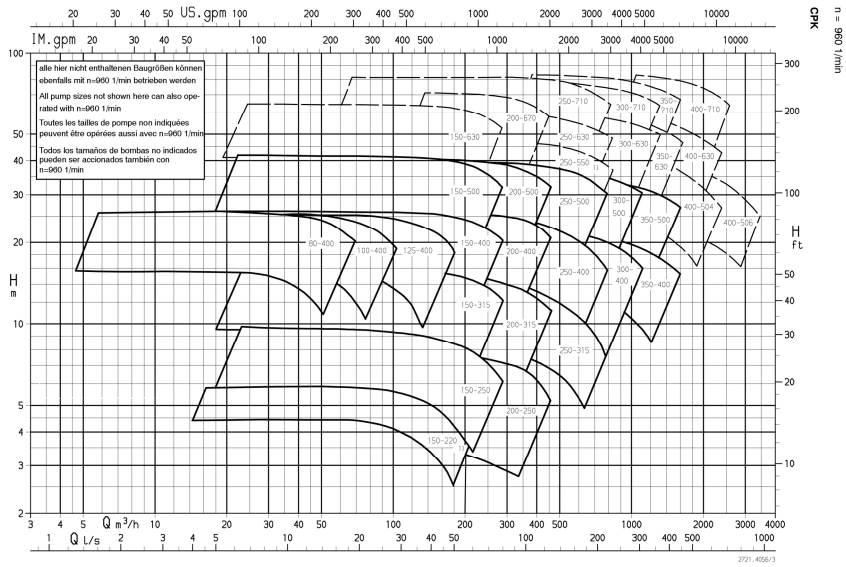
انتخاب نوع پمپ و متریال

قبل از انتخاب سایز پمپ مورد نظر، لازم است که نوع پمپ مورد نیاز و متریال اجزا آن تعیین گردد. برای اطلاعات بیشتر و آشنایی با انواع پمپ های اسلاری به فصل چهارم مراجعه کنید.

مفاهیم اساسی انتخاب انواع متریال در فصل اول توضیح داده شده است و جزئیات متریال قابل تأمین در فصل پنجم داده می شود.

انتخاب پمپ

با استفاده از منحنی های همپوشانی پمپ ها می توان پمپ را به صورت اولیه انتخاب کرد. منحنی همپوشانی نمونه وار پمپ های سانتریفوژ اسلاری مدل OH1/SL در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



تعیین سرعت پمپ

سرعت مورد نیاز پمپ از منحنی همپوشانی قابل تعیین می باشد.

محاسبه توان مورد نیاز

توان مورد نیاز پمپ از منحنی عملکرد پمپ بدست می آید.

سایر ملاحظات طراحی

NPSH

برای اطمینان از عملکرد بدون کاویتاسیون پمپ، هد مثبت مکش (NPSH) می بایست محاسبه گردد. برای اطلاعات بیشتر در خصوص NPSH به فصل نهم مراجعه کنید.

فشار پوسته

برای اطمینان از افزایش فشار بیش از حد در پوسته، ماکزیمم فشار پوسته می بایست محاسبه گردد. جهت اطلاعات بیشتر به سازنده پمپ مربوطه مراجعه کنید.

پمپاژ کف[1]

دبی واقعی کف (اسلاری بعلاوه حباب) که پمپاژ می شود می تواند به طور محسوسی با دبی اسلاری بدون حباب متفاوت باشد. فاکتور کف[2] ممکن است برای کف های ناپایدار و ضعیف ۱۵۰٪ برای کف های بسیار سرسخت و قوی ۵۰۰٪ باشد.

دبی اسلاری،Q، باید در ضریب کف ضرب گردد تا دبی واقعی کف Q_f بدست آید. پمپ Q_f را پمپاژ می کند اما مقدار اسلاری پمپاژ شده Q می باشد. Q و Q_f ممکن است در یک واحد فلوتاسیون در بازه های زمانی کوتاه با توجه به شرایط معدن در حال بهره برداری اختلاف زیادی داشته باشد.

وجود حبابهای هوا در کف باعث می شود مقدار موثر وزن مخصوص مخلوط (S_m) کاهش یابد. فشرده شدن حبابها بوسیله هد تولیدی پمپ به سرعت باعث افزایش مقدار S_m می شود. متعاقب آن، این مقدار بلافاصله پس از خروجی پمپ در خط لوله کاهش می یابد. به طور معکوس، سرعت خروجی مخلوط (V_d) به خاطر انبساط حبابها در خط لوله افزایش می یابد.

[1] Froth pumping
[2] Froth Factor

تبدیل انبساطی مخروطی

در بسیاری حالات، قطر لوله خروجی از قطر فلنج پمپ انتخاب شده بیشتر است. در این حالات از تبدیل انبساطی مخروطی مطابق شکل ۳- ۲ استفاده می شود.

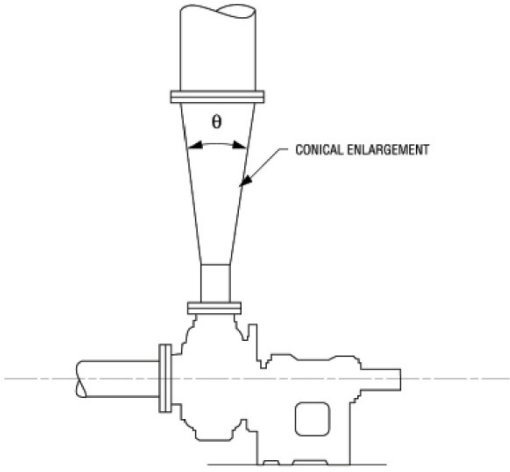
برای به حداقل رساندن تلفات هد، تجربه نشان داده است انتخاب زاویه انبساط ۶ درجه مناسب است. به عبارت دیگر به ازای هر ۵ اینچ طول مقطع مخروطی، ½ اینچ افزایش قطر مناسب است.

مخازن تغذیه پمپ

ملاحظات مربوط به طراحی بهینه مخزن تغذیه پمپ می بایست بعمل آید. بعضی دستورالعمل های اساسی برای این منظور در فصل دوم ارائه شده است.

آببندی محور

برای شرایط کاری مورد نظر انتخاب صحیح نوع آببند محور بسیار مهم می باشد. اطلاعات بیشتر در خصوص انواع آببندی محور در فصل دوم ارائه شده است.



شکل ۳- ۲: تبدیل انبساطی مخروطی

انتخاب محرکه

برای پمپ های غیر اسلاری استفاده از موتورهای دور ثابت که مستقیم به کوپلینگ متصل شده اند متداول می باشد. در این پمپ ها جهت تغییر شرایط کاری قطر پروانه را تغییر می دهند.

برای پمپ های اسلاری، پروانه ها از آلیاژهای سخت و یا الاستومرهای تقویت شده با فلزات ساخته می شود. معمولاً برای رسیدن به شرایط کاری خواسته شده کاهش قطر پروانه نه اقتصادی و نه عملی می باشد. پروانه های با قطر استاندارد مخصوص اسلاری برای بیشتر کاربردهای سایشی توصیه می شود. سرعت یا محدوده سرعت بهینه برای شرایط کاری مورد نیاز، با تجهیزات مناسبی بدست می آید (برای مثال پولی تسمه و یا محرکه های کنترل دور).

در بعضی حالات زیر، ممکن است تغییر سرعت پمپ به صورت پیوسته (و نه پله ای) الزام آور باشد.

- ✓ به خاطر سایش
- ✓ به منظور ثابت نگه داشتن هد استاتیکی مخزن
- ✓ به خاطر تغییرات در مقدار دبی، هد استاتیکی، طول لوله، فشار خروجی و یا تغییر غلظت مواد جامد

این حالات در موارد زیر ممکن است اتفاق بیفتد:

- ✓ مصرف ته مانده ها[1]
- ✓ تغذیه سیکلون و Mill classifier در واحدهای خرد کننده مدار بسته
- ✓ در لایروبی های مکش متغیر

برای کارهای تقریباً تا ۴۰۰ اسب بخار، محرکه های پولی تسمه[2] با موتور سرعت ثابت کاملاً متداول باشد (اگر چه محرکه های پولی تسمه ای تا توان های ۱۲۵۰ اسب بخار نیز نصب شده اند). ممکن است سرعت پمپ را با تغییر نسبت پولی ها تغییر دهند (به عنوان مثال قطر پولی موتور را بزرگ می کنند). وقتی تغییرات مکرر در سرعت پمپ مورد نیاز می باشد، این راه حل به هیچ وجه جذاب و مناسب نیست چرا که برای تغییر دور پمپ می بایست خاموش شود و تغییرات نیز به صورت پله ای می باشد.

برای تغییر دور پیوسته بهترین راه حل استفاده از محرکه های تغییر دور به جای طراحی های مکانیکی و یا الکترونیکی می باشد.

در مواقعی که به خاطر افزایش بیش از حد سایز موتور استفاده از محرکه های پولی و تسمه ای محدود می شود، ممکن است استفاده از موتور که به صورت مستقیم به یک گیربکس کاهنده متصل شده باشد، راه حل عملی مناسبتری فراهم نماید.

---

[1] Tailings disposal
[2] V-Belt Drives

استفاده از شیرهای اختناق[1] برای کنترل دبی (با ایجاد افت هد) در سیستم های اسلاری توصیه نمی شود. در صورت استفاده از این شیرها مقادیر هد، سرعت و سایش در پمپ و شیر افزایش می یابد. همچنین توان جذبی پمپ نیز بالا می رود. بعلاوه خطر ناشی از گرفتگی لوله ها نیز افزایش می یابد.

محاسبات پمپ

مثال

یک پمپ اسلاری جهت کار سنگین[2] با مشخصات زیر مورد نیاز می باشد.

۷۰ تن در ساعت مواد جامد با شرایط زیر:

وزن مخصوص مواد جامد (S)	=	۲,۶۵
اندازه متوسط ذرات d_{50}	=	۲۱۱ میکرون (۰/۲۱۱ میلیمتر)
غلظت مواد جامد C_w	=	۳۰٪ وزنی
هد استاتیکی خروجی (Z_d)	=	۶۵ فوت
هد مکش (Z_s)	=	۳ فوت (مثبت)
طول لوله کشی	=	۳۲۵ فوت
شیرآلات و اتصالات	=	$5 \times 90^\circ$ زانویی با شعاع زیاد

پمپ به صورت ثقلی از یک مخزن (مشابه شکل ۳-۳) تغذیه می شود.

[1] Throttle Valves
[2] Heavy Duty

سایز پمپ، دور، توان محور و سایز مناسب لوله خروجی به صورت زیر محاسبه می شود.

دبی پمپاژ

دبی پمپاژ به صورت زیر محاسب می شود:

الف	وزن ذرات جامد در اسلاری	=	**70 tons**		
ب	وزن حجم آب برابر با وزن ذرات جامد	=	**70 / 2.65**	=	**26.4 tons / hour**
پ	وزن آب در اسلاری $C_w = 30\%$	=	**70 (100 – 30)/30**	=	**163.33 tons/hr**
ت	وزن مخلوط اسلاری جمع (الف) و (پ)	=	**70 + 163.33**	=	**233.33 tons/hr**
ث	وزن کل حجم معادل آب جمع (ب) و (پ)	=	**163.33 + 26.4**	=	**189.73 tons/hr**
ج	وزن مخصوص مخلوط اسلاری (S_m) تقسیم (ت) بر (ث)	=	**233.33/189.73**	=	**1.23**
چ	مقدار اسلاری	=	**(189.73 x 2000)/ (60 x 8.34)**	=	**758 gpm**
خ	غلظت حجمی مواد جامد (C_v) تقسیم (ب) بر (ث) ضرب در ۱۰۰	=	**100/189.73 x 26.4**	=	**13.9 %**

سایز لوله

سایز لوله را ۶ اینچ انتخاب می کنیم و مناسب بودن آن را با محاسبات زیر بررسی می کنیم:

سرعت مخلوط اسلاری از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$V = \frac{Q \times 0.4085}{d^2}$$

که:

V = سرعت اسلاری بر حسب فوت بر ثانیه

Q = دبی اسلاری بر حسب gpm

d = قطر لوله بر حسب اینچ

بنابراین، در این مثال سرعت V برابر است با:

$$V = \frac{758 \times 0.4085}{6^2} = 8.60\ f/s$$

با استفاده از معادله دوراند[1] از فصل هفتم، داریم:

$$V_L = F_L \sqrt{2gD\frac{(S - S_l)}{S_l}}$$

که:

V_L = سرعت حد ته نشینی[2]

D: قطر لوله به فوت

g = 32.2 فوت بر مجذور ثانیه

مقدار F_L از شکل ۷- ۲ با استفاده از $C_v = 13.9\%$ و اندازه متوسط ذرات $d_{50} = 211$ میکرون (برای ذرات دانه بندی گسترده[3]) برابر است با $F_L = 1.04$

با جایگذاری مقادیر در معادله دوراند سرعت حد ته نشینی برابر خواهد شد با:

$$V_L = 1.04\sqrt{2 \times 32.2 \times 0.5 \times \frac{(2.66 - 1)}{1}} = 7.58\ f/s$$

[1] Durand's equation
[2] Limiting settling velocity
[3] Widely – graded particles

بنابراین، سرعت حد ته نشینی V_L از سرعت مخلوط اسلاری V کمتر می باشد و قطر لوله انتخاب شده (۶ اینچ) مناسب می باشد.

هد اصطکاکی H_f لوله

در ابتدا طول معادل لوله را با استفاده از جدول افت هد برای شیرآلات و اتصالات (شکل های ۳- ۳ و ۳- ۴) محاسبه می کنیم.

طول واقعی لوله = ۳۲۵ فوت

90° 5 x زانویی با شعاع زیاد = ۵۵ فوت

طول معادل لوله = ۳۸۰ فوت

با استفاده از لوله استیل ۶ اینچ و سرعت مخلوط اسلاری 8.6 ft/sec، مقدار f = 0.0163 از دیاگرام مودی بدست می آید.

با جایگذاری در معادله دارسی برای هد اصطکاکی خواهیم داشت:

$$H_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0.0163 \times \frac{380}{0.5} \times \frac{(8.6)^2}{2 \times 32.2}$$

$$= 14.23\, ft$$

14.23 فوت افت اصطکاکی برای ۳۸۰ فوت لوله

افت در تبدیل انبساطی لوله خروجی

با استفاده از منحنی های همپوشانی، به نظر می رسد انتخاب یک پمپ با خروجی ۴ اینچ دور از انتظار نباشد. در این صورت از تبدیل انبساطی ۴ به ۶ اینچ استفاده خواهد شد. شکل ۳- ۴ افت هد در این حالات را نشان می دهد. با انتخاب زاویه ۳۰ درجه خواهیم داشت:

$$K_e = \frac{V^2}{2g} = \frac{0.55 \times (20.4 - 8.6)^2}{2 \times 32.2} = 1.19\ ft$$

افت در خروجی لوله

در شرایط نرمال خروجی باز، هد سرعت در خروجی پمپ باید به هد کل اضافه شود. در این مثال، هد سرعت $V^2/2g$ برابر است با $(8.6)^2/2x32.2 = 1.15$ ft

افت هد در ورودی به لوله مکش

این موضوع در شکل ۳- ۴ نشان داده شده است. در این مثال، قطر لوله مکش ۶ اینچ و از اتصال نوع فلاش استفاده می شود.

$$0.5 \times \frac{V^2}{2g} = 0.5 \times \frac{(8.6)^2}{2 \times 32.2} = 0.57 \text{ ft}$$

هد دینامیکی کل پمپ (به شکل ۳- ۵ و ۳- ۶ مراجعه کنید)

$$H_m = Z + H_f$$

$$Z = (Z_d - Z_s)$$

$$H_m = (65 - 3) + 14.23 + 1.19 + 1.15 + 0.57$$

$$= 79.14 \ ft \ \ of \ slurry \ mixture$$

هد دینامیکی کل معادل آب

از شکل ۲- ۳، و با تقریب قطر پروانه 14.8 اینچ، ضرایب تصحیح HR/ER بدست می آید. در این مثال این ضرایب برابر است با 0.95

بنابراین هد کل معادل آب (H_w) برابر خواهد بود با:

$$\frac{H_m}{HR} = \frac{79.14}{0.95} = 83.3 \ ft \ of \ water$$

انتخاب پمپ

اکنون با استفاده از دبی 758 GPM و هد کلی 83.3 ft معادل آب و وزن مخصوص اسلاری 1.23، می توان پمپ را انتخاب نمود.

در این مثال، یک پمپ پوشش داده شده با رابر با ۵ پره و سرعت 1067 rpm (شکل ۳- ۸) انتخاب می شود.

توان جذبی محور پمپ با استفاده از بازده ۶۷٪ (شکل ۳–۸) خواهد بود:

$$BHP = \frac{(Q \times H_m \times S_m)}{(3960 \times e_W \times ER)}$$

$$= \frac{(758 \times 79.14 \times 1.23)}{(3960 \times 0.67 \times 0.95)} = 29.27\ HP$$

در این مثال، موتور 40HP انتخاب خواهد شد.

توجه: در مثال بالا، HR = ER. برای محاسبه BHP، از هد اسلاری (H_m = 79.14 ft) استفاده می شود ER در بازده e_W اعمال می شود.

شکل ۳-۳: طول معادل لوله در شیرآلات و اتصالات

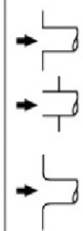
	Radius More Than 3 x N.B.	Radius is 2 x N.B.			Minimum Radius 10 x N.B.				
INTERNAL DIAMETER inches (Nom.)	90° Long Radius Bend	90° Short Radius Bend	Elbow	Tee	Rubber Hose	Diaphragm Valve Full Open	Full Bore Valve Round Way	Plug-Lub Valve Rect. Way	"Tech-Taylor" Valve * Ball Type
	LENGTH IN FEET OF STRAIGHT PIPE GIVING EQUIVALENT RESISTANCE TO FLOW								
1"	1.7	2.3	2.7	5.8	1.0	8.4	—	1.2	—
1-1/4"	2.4	3.0	3.7	7.8	1.3	10.8	—	1.6	—
1-1/2"	2.8	3.6	4.3	9.0	1.6	11.3	3.9	1.9	—
2"	3.5	4.6	5.5	11.0	1.8	12.0	4.7	2.4	—
2-1/2"	4.2	5.4	6.5	14.0	2.3	15.1	5.0	2.8	—
3"	5.1	6.8	8.1	17.0	2.8	16.0	6.3	3.4	0.66
3-1/2"	6.0	8.0	9.5	19.0	3.3	—	—	4.0	—
4"	7.0	9.1	11.0	22.0	3.8	25.0	7.2	4.6	0.77
4-1/2"	7.9	10.0	12.0	24.0	4.2	—	—	5.2	—
5"	8.9	12.0	14.0	27.0	4.7	43.0	10.0	5.8	1.0
6"	11.0	14.0	16.0	33.0	5.1	60.0	10.2	7.0	1.2
8"	14.0	18.0	21.0	43.0	7.9	65.0	26.0	9.0	2.7
10"	17.0	22.0	26.0	56.0	9.8	70.0	35.0	11.4	2.0
12"	20.0	26.0	32.0	66.0	11.0	95.0	52.0	13.4	2.5
14"	23.0	31.0	36.0	76.0	14.0	95.0	—	16.0	3.0
16"	27.0	35.0	42.0	87.0	16.0	—	—	18.0	3.4
18"	30.0	40.0	46.0	100.0	18.0	—	—	20.4	3.8
20"	34.0	43.0	52.0	110.0	20.0	—	—	24.0	4.1

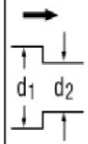
TECH-TAYLOR VALVE IS A BALL TYPE CHANGEOVER DEVICE USED ONLY ON THE DELIVERY SIDE OF THE PUMP

NOTE: 1. FOR 135° BEND, USE 50% OF EQUIVALENT LENGTH FOR 90° BEND.

2. L_f IS THE AGGREGATE OF EQUIVALENT LENGTHS FOR ALL PIPELINE FITTINGS AND VALVES IN A GIVEN PIPELINE

GROUPS 1 TO 5 IN TABLE SHOW THE APPROXIMATE PROPORTIONS OF VELOCITY HEAD, $H_V = \frac{V^2}{2g}$, WHICH APPLY TO CERTAIN CONDITIONS.
V IS USED TO INDICATE THE UP STREAM VELOCITY AND V_1 THE DOWN STREAM VELOCITY.

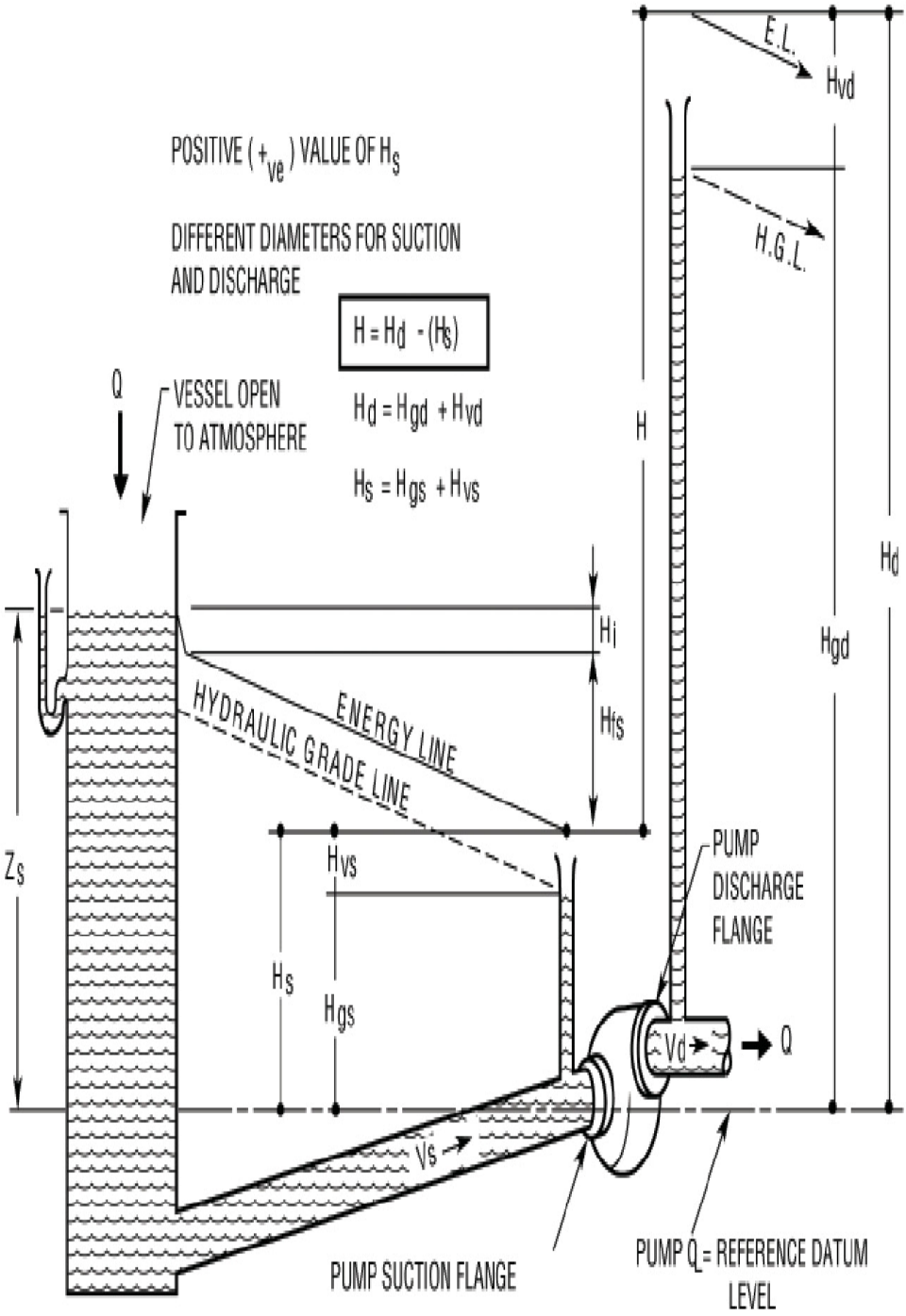
GROUP	ITEM	HEAD LOSS (ft.)
1. 	Loss of head at inlet H_i From pump hopper to pump or from storage tank to pump (a) Flush Connections. (b) Projecting connection and dredge suction pipes. (c) Rounded Connection.	$0.5 \frac{V_1^2}{2g}$ $1.0 \frac{V_1^2}{2g}$ $0.05 \frac{V_1^2}{2g}$
2.	Loss of head due to conical enlargement from pump discharge flange to discharge pipeline included angle θ: 6° / 65° factor K_e: 0.14 / 1.15 *	$K_e \frac{(V - V_1)^2}{2g}$

GROUP	ITEM	HEAD LOSS (ft.)
3. 	Loss of head due to sudden contraction: Kc is a factor depending on ratio $\frac{d_1}{d_2}$ where d_1 is the large diameter and d_2 the small diameter as illustrated below.	$Kc = \frac{V_1^2}{2g}$
4.	Loss of head due to sudden enlargement:	$\frac{(V - V_1)^2}{2g}$
5.	Loss of head due to conical contraction: e.g. Jet Nozzles SEE CAMERON PAGE 3-110	$K_g \frac{(V - V_1)^2}{2g}$

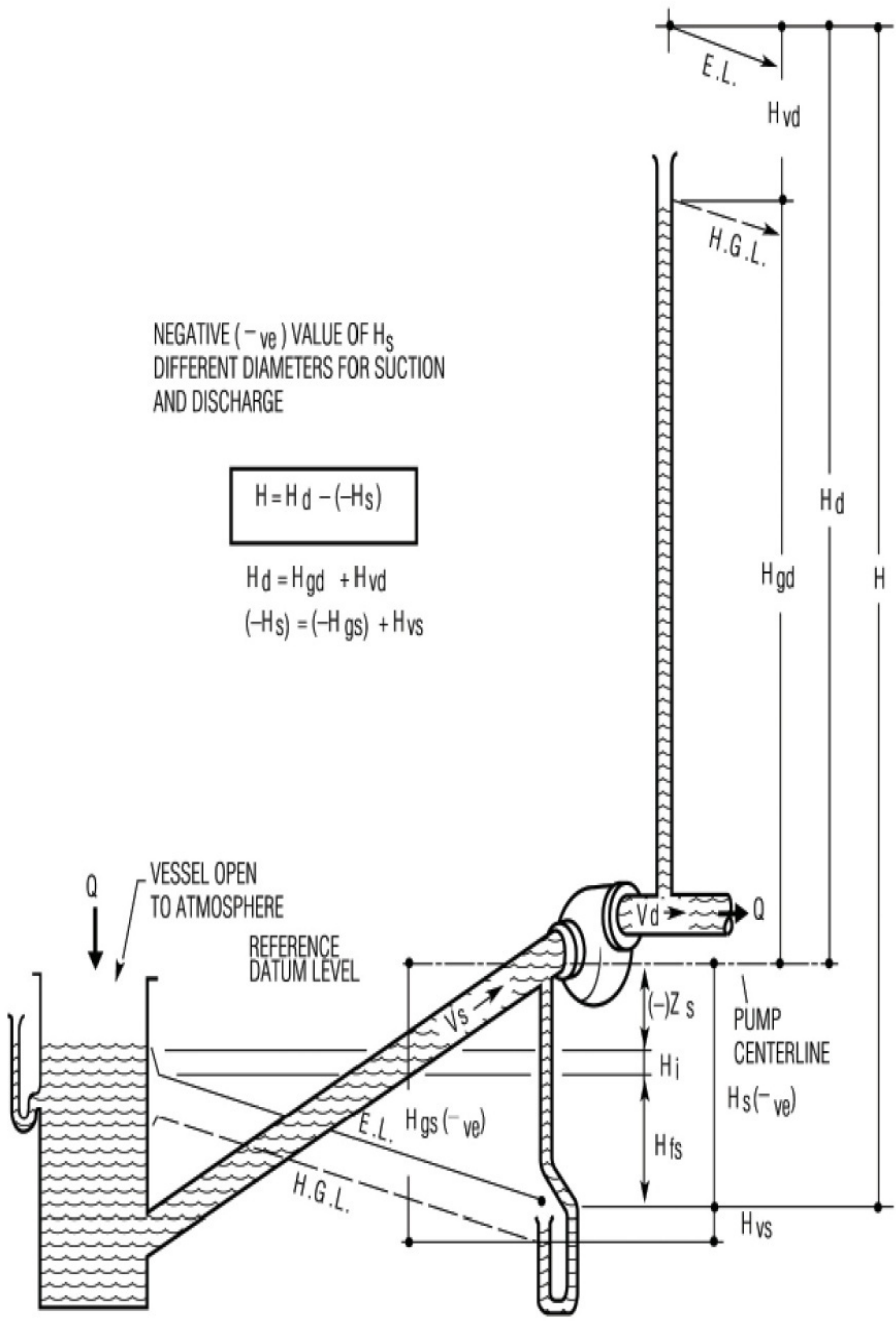
Ratio d1/d2	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor Kc	0.08	0.17	0.26	0.34	0.37	0.41	0.43	0.45	0.46

* FOR CONICAL ENLARGEMENTS, MAXIMUM HEAD LOSS OCCURS WHEN INCLUDED ANGLE IS 65°, WHEN K_e = 1.15, MINIMUM HEAD LOSS OCCURS WHEN INCLUDED ANGLE IS 6°, WHEN K_e = 0.14.

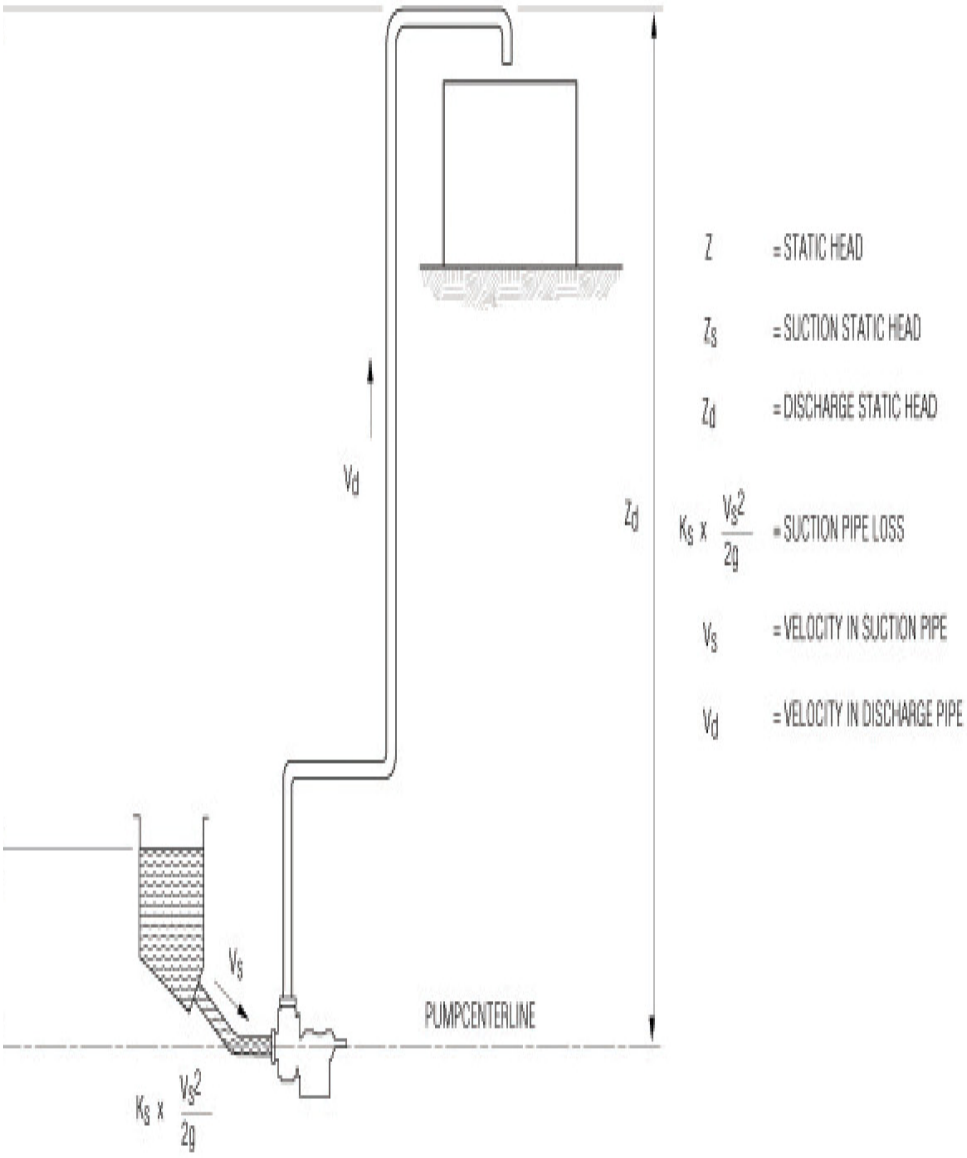
شکل ۳- ۴: افت هد در ورودی، انقباض و انبساط



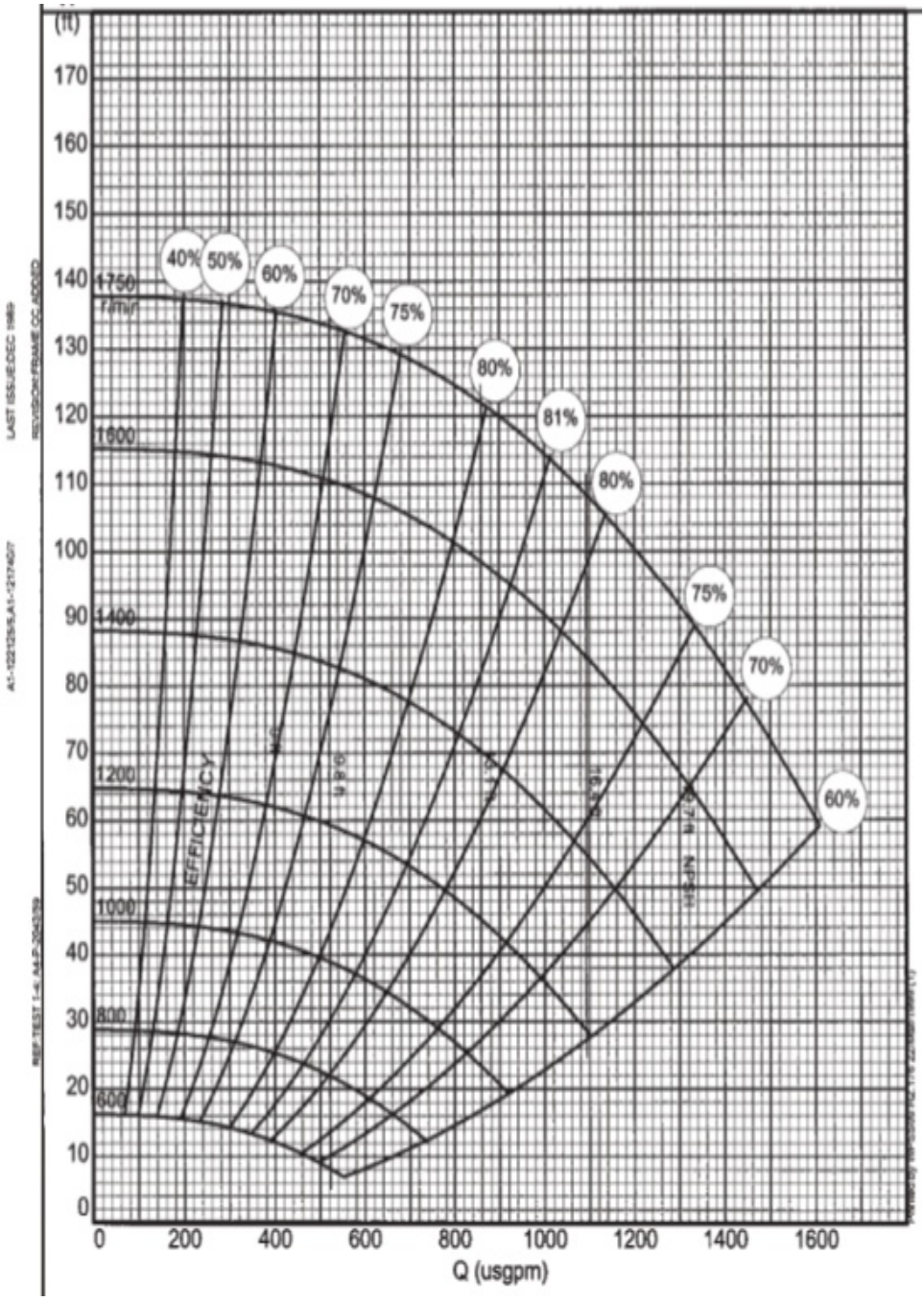
شکل ۳- ۵: هد دینامیکی کلی با هد ورودی مثبت



شکل ۳- ۶: هد دینامیکی کلی با هد ورودی منفی



شکل ۳- ۷ : کاربرد نمونه ای پمپ



شکل ۳- ۸: منحنی عملکرد پمپ

انواع پمپ

پمپ های اسلاری انواع مختلفی دارند. سازندگان پمپ بر اساس نوع، مقدار و فشار اسلاری پمپ هایی با طراحی های خلاقانه تولید می کنند. در اینجا ما دو نوع متداول پمپ اسلاری سانتریفوژ را معرفی می کنیم.

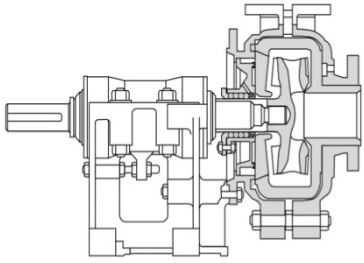
پمپ افقی لاینر شده

مدل OH1/SL

پمپ های OH1/SL برای محدوده وسیعی از کاربردهای خوردگی شیمیایی / فیزیکی طراحی شده است.

این پمپ ها عموماً برای اسلاری هایی که غلظت مواد جامد سایینده آن بالا می باشد، مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین در مواقعی که نیاز به پمپ کاملاً Heavy Duty است، از پمپ های OH1/SL استفاده می گردد.

آببندی پمپ ها می تواند از نوع گلند پکینگ، آببند مکانیکی و یا از نوع گریز از مرکز باشد.



شکل ۴- ۱: پمپ OH1/SL

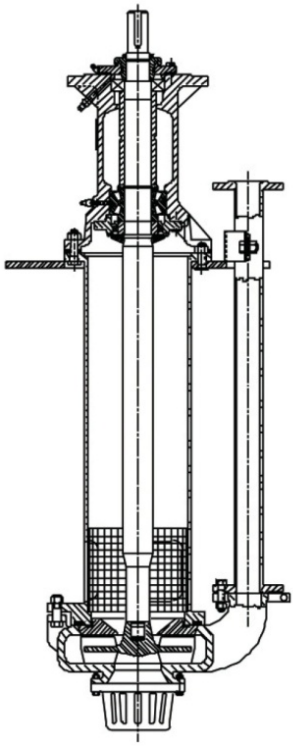
سایز خروجی پمپ از ۱ اینچ تا ۱۲ اینچ قابل تأمین می باشد.

پمپ های عمودی

مدل VS4/SL

پمپ VS4/SL به صورت شفت و غلافی طراحی شده است و قطعات در تماس با سیال آن می تواند از الاستومرها و یا آلیاژهای سخت ساخته شود. این ویژگی اجازه می دهد این پمپ در کاربردهایی که خوردگی شیمیایی بسیار بالا است، قابل استفاده گردد.

سایز خروجی پمپ از ۱ اینچ تا ۱۰ اینچ قابل تأمین می باشد.



شکل ۴– ۲: پمپ VS4/SL

متریال

انواع متریال قابل تأمین برای پمپ های اسلاری در جدول زیر نشان داده شده است. انتخاب هر گروه متریال بر اساس نوع اسلاری و شرایط محیطی آن بعمل می آید.

ردیف	کد متریال	نام متریال	نوع متریال
۱	**I-1**	چدن	چدن خاکستری **GG 25**
۲	**I-3**	چدن داکتیل	چدن داکتیل **GGG 40**
۳	**I-4**	**Ni-Hard 1**	چدن سفید مارتنزیتی
۴	**I-5**	**Ni-Hard 4**	چدن سفید مارتنزیتی
۵	**I-6**	**Ni-Resist (Cooper free)**	چدن مقاوم به خوردگی
۶	**C-6**	استیل کرم دار ۱۳٪	استنلس استیل مارتنزیتی
۷	**A-1**	**Cr-Ni-Mo Steel**	استیل ریخته گی
۸	**A-8**	استنلس استیل نوع ۳۱۶	استنلس استیل آستنیتی
۹	**R-1**	**Standard Liner Rubber**	لاستیک طبیعی
۱۰	**R-2**	**Nitrile Rubber**	لاستیک مصنوعی
۱۱	**R-3**	**Neoprene**	الاستومر مصنوعی **(CR)**

توضیحات متریال

ردیف	کد متریال	توضیحات
۱	**I-1**	چدن استاندارد
۲	**I-3**	آلیاژ **I-3** گرید داکتیل چدن خاکستری می باشد و جایی استفاده می گردد که خواص فیزیکی بالاتر و مقاومت به شوک بالاتر نسبت به **I-1** مورد نیاز می باشد.
۳	**I-4**	آلیاژ **I-4** یک چدن سفید مارتنزیتی می باشد که عملکرد قابل قبولی در کاربردهایی با خوردگی فیزیکی متوسط و ضربات فیزیکی پایین، دارد. عموماً به طوری عملیات حرارتی می شود که تنش در آن آزاد می شود یا مقدار آستنیت باقیمانده در ماتریس آن کاهش می یابد. آلیاژ به ضخامت مقطع حساس می باشد و ترکیب شیمیایی نیاز به تنظیم دارد تا از تشکیل فازهای ناخواسته جلوگیری شود.
۴	**I-5**	آلیاژ مقاوم به سایش مارتنزیتی
۵	**I-6**	
۶	**C-6**	
۷	**A-1**	آلیاژ A-1 یک فولاد آلیاژی است که مقاومت به سایش متوسط و **خواص** مکانیکی بالایی دارد. این آلیاژ برای ریخته گی های بزرگ جایی که چقرمگی اهمیت اولیه دارد.

۸	A-8	
۹	R-1	**R-1**، یک لاستیک طبیعی نرم و سیاه می باشد. مقاومت به سایش و خوردگی فیزیکی بسیار عالی در اسلاری های با ذرات جامد نرم دارد.
۱۰	R-2	الاستومر **R-2** یک لاستیک طبیعی است که عموماً در کاربردهای شامل چربی ها، روغن ها و واکس ها استفاده می شود. **R-2** مقاومت به سایش متوسطی دارد.
۱۱	R-3	پلی کلروپرن (نئوپرن) یک الاستومر مصنوعی با استحکام بالا می باشد که خواص دینامیکی آن تا اندازه کمی پایین تر از لاستیک طبیعی می باشد. این الاستومر تأثیرات دمایی کمتری نسبت به لاستیک طبیعی می پذیرد. مقاومت به اوزن و فرسایش در برابر هوای عالی دارد. همچنین مقاومت به روغن بسیار بالایی دارد

اصطکاک

مقدمه

اگرچه مقالات و کتابهای تخصصی در خصوص کارکرد پمپ های اسلاری نوشته و منتشر شده است، اما اطلاعات و مقالات محدودی در خصوص برآورد دقیق H_f برای کاربردهای گوناگون اسلاری ها نوشته شده است. در مواقعی طول مسیر پمپاژ بسیار زیاد می باشد محاسبه دقیق H_f مورد نیاز می باشد. در سایر موارد عموماً H_f را به صورت نسبتی از هد دینامیکی کلی بیان می کنند. اگرچه خطاهای زیاد در محاسبه هد دینامیکی کلی در H_f نیز منعکس می شود.

اسلاری های همگن

در اسلاری های همگن، تمام ذرات جامد از ۵۰ میکرون کوچکتر می باشند. اگر غلظت به قدر کافی پایین باشد، H_f به مانند آب تمیز محاسبه می شود و روابط تجربی مربوط به آن به مانند طبقه A از اسلاری های ناهمگن می باشد.

اگر غلظت به قدر کافی زیاد باشد، منحنی تنش تسلیم اسلاری تأثیر زیادی بر مقدار H_f می گذارد. در این موارد (اسلاری های همگن با غلظت بالا)، از سازندگان پمپ مشورت بگیرید.

اسلاری های ناهمگن

طبقه A: تمام ذرات جامد از ۵۰ میکرون بزرگتر و از ۳۰۰ میکرون کوچکتر می باشند و غلظت وزنی C_W از صفر تا ۴۰٪ می باشد. منحنی افت هد نمونه ای برای این طبقه در شکل ۶- ۱ نشان داده شده است.

بررسی داده های H_f برای این اسلاری ها نشان داده است که برای هر غلظت مواد جامد، مقدار H_f اسلاری بیشتر از H_f آب برای سرعتهای تقریباً زیر V_L 1.30 می باشد. مقدار H_f به خاطر رسوب گذاری ذرات جامد از حدی کمتر نمی شود، این حد برابر است با V_L 0.70 که در آن H_f اسلاری تقریباً برابر با H_f آب در سرعت V_L می باشد.

داده های تجربی به صورت زیر خلاصه می شود:

– در V_L 1.3 (تقریباً): H_f اسلاری تقریباً از لحاظ عددی برابر با H_f آب است.

– در V_L 0.7 (تقریباً): H_f اسلاری در مینیمم مقدار خود می باشد و H_f اسلاری از لحاظ عددی برابر با H_f آب در سرعت V_L می باشد.

از منظر اقتصادی، بهترین سرعت برای اسلاری، سرعت کمی بالاتر از سرعت V_L می باشد. بنابراین این روابط آزمایشگاهی اجازه می دهد قسمت مفید منحنی برآورد H_f اسلاری را با توجه به منحنی H_f آب با قطر لوله مشابه، ترسیم نماییم.

نتیجه آنکه، برای محاسبه H_f اسلاری در اسلاری های طبقه A می بایست یک روش قابل اعتماد برای محاسبه H_f آب بکار گرفته شود.

شکل ۶– ۱، همچنین نحوه ترسیم منحنی H_f اسلاری را بر پایه منحنی H_f آب نشان می دهد. هر منحنی H_f اسلاری در سرعت V_L 1.3 به صورت مماسی به منحنی H_f آب می رسد.

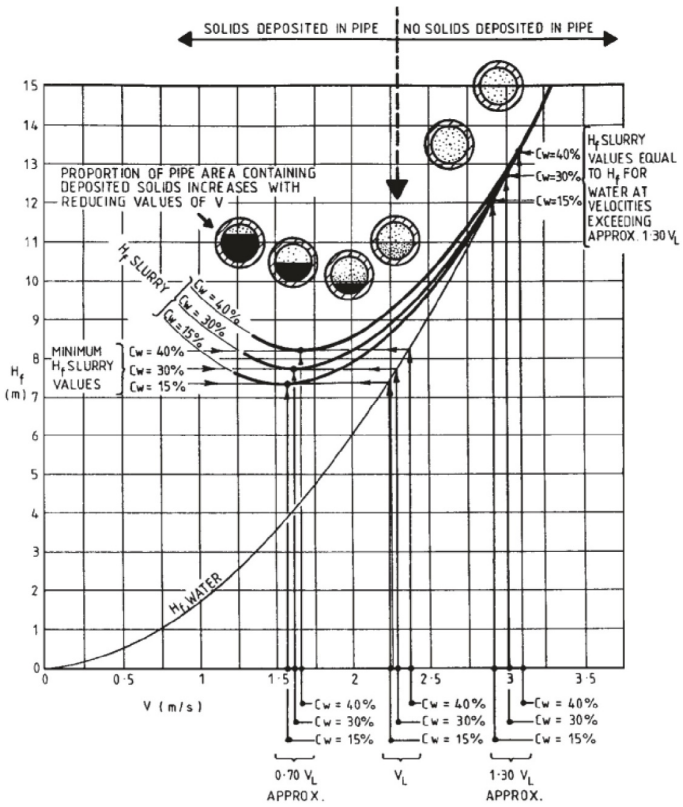
تأکید می گردد که این روش آزمایشگاهی و تجربی محاسبه H_f برای اسلاری های طبقه A، کاملاً دقیق نمی باشد. اما در غیاب داده های تست آزمایشگاهی برای هر اسلاری و یا اطلاعات قابل اعتماد دیگر، دقت قابل قبولی برای بسیاری از کاربردهای اسلاری دارد.

طبقه B: تمام ذرات جامد از ۵۰ میکرون بزرگتر و از ۳۰۰ میکرون کوچکتر می باشند و غلظت وزنی C_w از ۴۰٪ بیشتر است.

عموماً افت هد اصطکاکی برای این طبقه از طبقه A بیشتر است. چرا که تأثیر برخورد ذرات جامد با دیوارهای لوله در این حالت بیشتر خواهد بود. این تأثیر با افزایش C_w بیشتر خواهد شد. افزایش افت هد اصطکاکی شدیداً تحت تأثیر متغیرهایی مانند d_{50} , S_l , S, C_w و دانه بندی دقیق مواد جامد، می باشد. به همین خاطر ارائه یک روش تجربی ساده برای برآورد H_f اسلاری غیر ممکن می باشد.

به طور کلی، مقدار اسلاری H_f در محدوده وسیعی تغییر می کند. از مقداری تقریباً برابر با غلظت ۴۰٪ برای طبقه A اسلاری شروع و برای سرعت های بیشتر از V_L مقداری حدود دو برابر یا بیشتر از اسلاری های طبقه A خواهد داشت.

بنابراین، برای اسلاری های طبقه B، مقدار H_f اسلاری با استفاده از یک ضریب تجربی برآورد می شود. برای برآورد اولیه، مقدار H_f اسلاری را از منحنی ۶- ۱ بدست می آوریم.



شکل ۶- ۱: منحنی نمونه ای H_f برای اسلاری های طبقه A

مقادیر واقعی H_f ممکن است دو برابر یا بیشتر از مقدار برآورد شده باشد. افزایش دو برابر یا بیشتر در مقدار H_f تخمین زده شده باعث می شود ضریب ایمنی در برآورد توان و دور با دقت بیشتری لحاظ شود.

بسیاری از محصولات سازندگان پمپ های اسلاری برای کار سنگین در کاربردهای اسلاری طبقه B استفاده می شود.

بعضی از کاربردهای این پمپ ها به شرح زیر می باشد:

- ✓ Mill Discharge Plant
- ✓ Thickener Underflow
- ✓ Sand Tailing Stacking
- ✓ Gravity Concentrator Feed

طبقه C: ذرات جامد بزرگتر از ۳۰۰ میکرون و غلظت وزنی C_w صفر تا ۲۰٪ می باشد.

اصولاً افت هد اصطکاکی برای اسلاری های طبقه C بسیار بیشتر از طبقه A می باشد.

در کاربردهای نرمال حفاری، C_w غالباً کمتر از ۲۰٪ می باشد. چرا که عملاً ایجاد پیوستگی در خط جریان مکش با وجود چنین ذرات جامد بزرگی در غلظت های بالاتر غیر عملی خواهد بود.

برای سرعت V_L و بالاتر از آن، H_f اسلاری برابر با $1.1\ H_f$ آب می باشد.

طبقه D: ذرات جامد بزرگتر از ۳۰۰ میکرون و غلظت وزنی C_w بیشتر از ۲۰٪ می باشد.

اصولاً افت هد اصطکاکی برای اسلاری های طبقه D بیشتر از طبقه A می باشد. مقادیر H_f ممکن است ابتداً با روش طبقه A برآورد شود. اما H_f درست اسلاری برای سرعتهای بالای V_L، ممکن است تا سه برابر و یا بیشتر تغییر نماید. بنابراین ضرایب ایمنی برای سرعت و توان می بایست لحاظ گردد.

فصل هفتم: سرعت

سرعت حد ته نشینی[1]

اسلاری هایی که شامل ذرات جامد ریز و نرم (کوچکتر از ۵۰ میکرون) می باشند عموماً به عنوان اسلاری هایی که ته نشین نمی شوند (همگن) محسوب می شوند و معمولاً ملاحظات مربوط به ته نشینی در آنها مورد توجه قرار نمی گیرد. اما در غلظت های بالا، این اسلاری ها غالباً رفتار و خواص غیر نیوتنی دارند و لازم است توجه ویژه ای برای انتخاب پمپ مناسب و پارامترهای سیستم بعمل آید.

[1] Limiting Settling Velocity

اسلاری هایی که شامل ذرات جامد بزرگتر از ۵۰ میکرون می باشند به عنوان ناهمگن شناخته می شوند و می بایست ملاحظات مربوط به ته نشینی در آنها بررسی شود. این اسلاری ها بیشترین کاربرد را دارند.

اسلاری هایی که شامل ذرات بزرگتر از ۵۰ میکرون می باشند توسط یک سیال که در لوله جریان دارد انتقال داده می شوند. در صورتی که سرعت متوسط سیال V کمتر از سرعت حد ته نشینی V_L باشد، ذرات جامد در لوله ته نشین می گردند. که نتیجه آن افزایش افت های اصطکاکی در لوله و متعاقب آن کاهش دبی و نهایتاً انسداد لوله خواهد بود.

تعیین سرعت حد ته نشینی

برای تعیین دقیق V_L، لازم است اسلاری در یک لوله تست، مورد آزمایش قرار گیرد. به عنوان یک راه حل عملی وقتی که چنین امکانی وجود نداشته باشد، V_L ممکن است توسط یک متخصص باتجربه و یا یکی از روش های زیر که بر پایه معادله دوراند می باشد، تعیین گردد.

معادله دوراند بصورت زیر بیان می شود:

$$V_L = F_L \sqrt{(2gD(S-S_l)/S_l)}$$

که پارامتر F_L وابسته به اندازه ذرات و غلظت مواد جامد می باشد.

رابطه دوراند به صورت ابتدایی از تست های انجام شده روی اسلاری های بصورت نزدیک دانده بندی شده[1] (شکل ۷-۱ را ببینید) بدست آمده است.

منظور ار اسلاری های بصورت نزدیک دانه بندی شده این است که نسبت اندازه ذرات برای حداقل ۹۰ درصد (وزنی) کل ذرات جامد در یک نمونه، تقریباً از ۲ به ۱ تجاوز نکند. این بدین معنی می باشد که اندازه ذرات جامد (دانه بندی) در نمونه اسلاری به صورت نزدیک به هم می باشد.

اسلاری های بصورت گسترده دانه بندی شده[2] در کاربردهای اسلاری متداولتر می باشند.

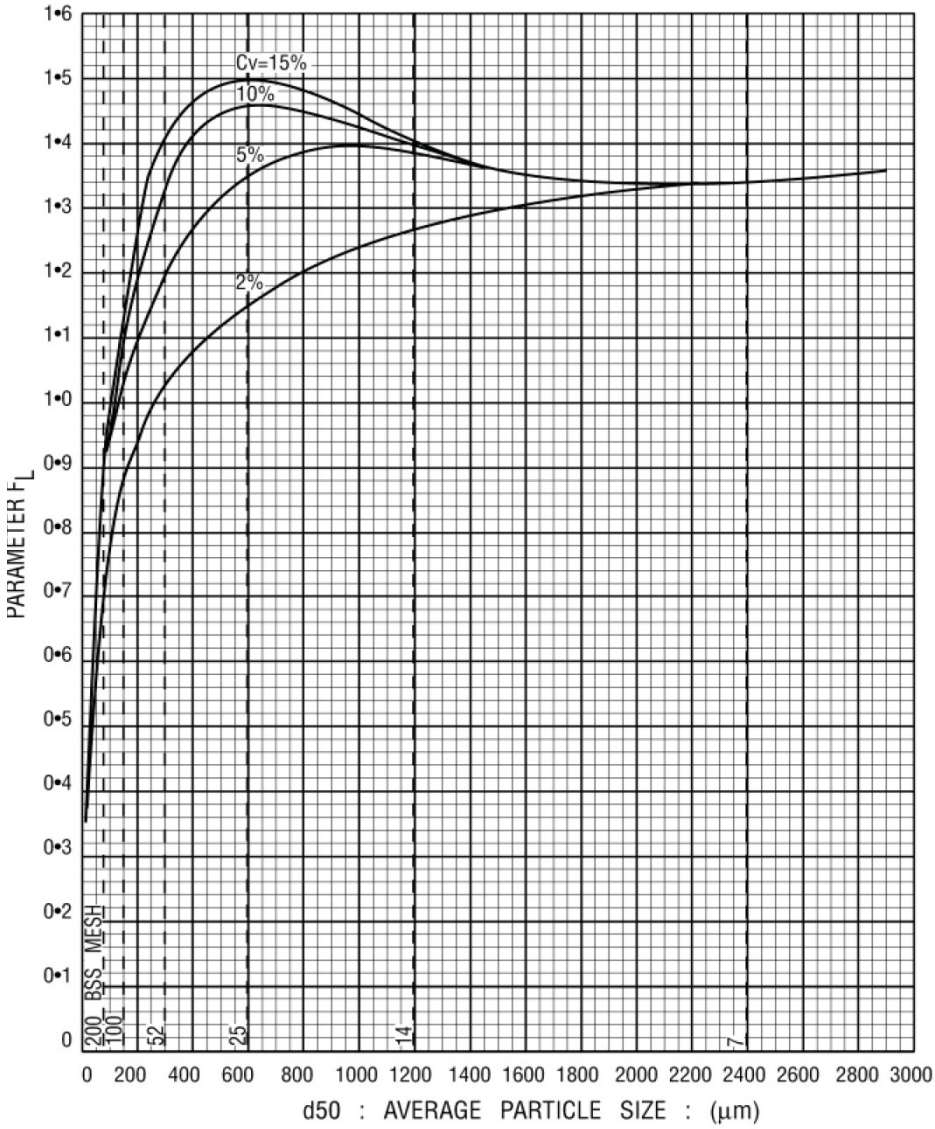
شکل ۷- ۲ نتایج آزمایشات میدانی بر روی اسلاری های بصورت گسترده دانده بندی شده را نشان می دهد.

مقادیر F_L و در نتیجه V_L به طور مشخصی از مقادیر شکل ۷- ۱ کمتر می باشد.

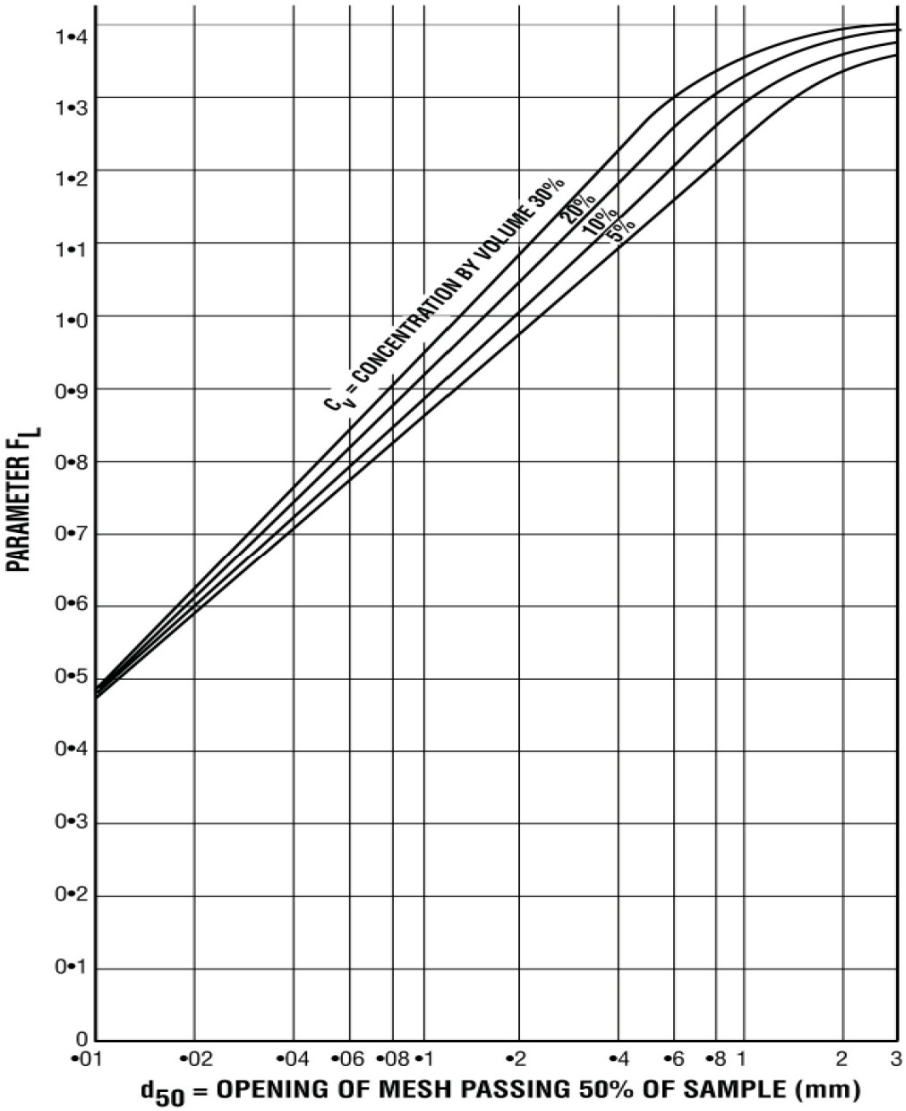
[1] Closely graded particle sizing
[2] Widely graded particle sizing

تأثیر قطر لوله بر سرعت حد

همانطور که معادله دوراند نشان می دهد، اصولاً سرعت حد برای هر غلظت و اندازه ذراتی، با توان دوم قطر لوله افزایش می یابد.



شکل ۷- ۱: نمودار F_L برای ذرات بصورت نزدیک دانه بندی شده – معادله دوراند



شکل ۷- ۲: نمودار F_L برای ذرات بصورت گسترده دانه بندی شده – معادله دوراند