

نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ سازی ایران



مجله پمپ

نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپسازی ایران  
هیئت تحریریه: گروه مهندسين و متخصصين شرکت صنایع پمپسازی ایران  
مدیر مسئول: مهندس علی وکیلی تهامی

---

آدرس نشریه - تبریز - قراملک - مجتمع ماشین سازی تبریز - شرکت صنایع پمپسازی  
ایران - دفتر فنی

شماره ۱ شهریور ۱۳۶۳  
فهرست مطالب

دیباچه

سخنی با خوانندگان

نیروی محوری و تعادل آن در پمپهای سانتریفیوژ یک طبقه

آشنائی با تکنولوژی NC

ضربت فوجی آب در خطوط انتقال مایعات و ایستگاههای

پمپاژ .

روش انتخاب پمپهای سانتریفیوژ برای مصارف آبرسانی .

الکترو موتورهای شناور و کاربرد آنها .

دکتر احمد نوربخش

مهندس غلامرضا پاکدل

دکتر حمید نشان

مهندس علی وکیلی تهامی

مهندس رحیم خانی

رشد جمعیت لزوم استفاده بیشتر از منابع سطحی و زیرزمینی آب را امری اجتناب ناپذیر کرده و فکر بشر را به سمت اختراع ماشینی سوق داده است که بتواند حرکتی در مایعات به وجود آورده و در مکان مورد نیاز مورد استفاده قرار دهد.

در ایران، ساخت تلمبه‌های دستی برای جابجایی آب از سالهای بسیار قبل شروع و در واقع اولین قدم برای ساخت ماشینی به نام پمپ برداشته شد. امروزه، صنعت ساخت این ماشین در دنیا با بیش از چهار میلیون تولید از انواع مختلف، پیشرفتهای چشمگیری کرده و برای مصارف گوناگون از انواع محلولهای شیمیایی و معمولی با شرایط کارکرد فشار و آبدهی بسیار متفاوت ساخته می‌شود. ولی متأسفانه این صنعت در ایران تافته جدا بافته از دیگر صنایع کشور بوده و علی‌رغم قدمت، به واسطه سیاستهای غلط وارداتی گذشته و عدم وجود هیچگونه استاندارد مشخص ساخت، سیر تکوینی را سپیموده و حتی در بعضی موارد دچار اختلالاتی سیر شده و سیر نزولی را طی کرده است.

اولین اقدام اصولی برای ساخت پمپهای گریز از مرکز زمینی در سال ۱۳۵۱ در " شرکت ماشین‌سازی تبریز " انجام گرفت و چند تیپ از این گونه پمپها در خط تولید کامل، با رعایت کلیه اصول تکنولوژیکی ساخت قرار گرفت. سه سال بعد با تأسیس شرکت پمپیران، قدمهای بلندتری در جهت رشد این صنعت و تربیت کادری نیروی انسانی متخصص برداشته شد. لازم به یادآوریست که تعدادی از مؤسسات دیگر نیز در سالهای گذشته، اقدام به تولید پمپهای شناور شفت و غلافی، پمپهای گریز از مرکز زمینی و پمپهای موتور سر خود کرده‌اند ولی به غیر از چند مؤسسه، بقیه اصول صحیح پمپ‌سازی و تکنولوژی ساخت قطعات را رعایت نکرده، محصولی با کیفیت مناسب ارائه نمی‌کنند.

بعد از استقرار جمهوری اسلامی در کشور، فعالیتهای اقتصادی در زمینه‌های مختلف کشاورزی، آبادانی و صنعتی گسترش یافت. در نتیجه با وجود تقلیل واردات، نیاز به انواع پمپ برای رفع نیازهای فوق افزایش یافت. ولی چنانچه انتظار می‌رفت برای رشد این صنعت که از اهمیت بسزایی برخوردار است، هیچگونه برنامه‌ریزی بلندمدت مدونسی که بتواند نیازهای مختلف در بخشهای کشاورزی، پروژه‌های آبرسانی، بهداشت محیط و صنایع مختلف شیمیایی و دارویی، غذایی، کانی، سلولزی، نفت و پتروشیمی را تأمین کند تدوین نشده است. بدیهی است با کمبود نیروی انسانی متخصص و مواد اولیه مورد نیاز کارخانه‌ها در کشور، اولویت صنایع بایستی هرچه زودتر مشخص شده تا از اتلاف امکانات مملکتی جدا احتراز شود.

هدف ما از انتشار این شریه با توجه به رسالتی که در پیشتازی این صنعت داریم، آن است که بتوانیم مجموعه یافته‌های خود و پیشرفتهای چشمگیر و روز به روز این صنعت را به علاقه‌مندان و دست‌اندرکاران ارائه دهیم و حرکتی هرچند اندک در جهت رشد علمی و فنی ادهان مردم عزیز و شهیدپرور این امت بپا خاسته بنمائیم.

مقاله‌های علمی، فنی و آموزشی این نشریه متأثر از سه سرفصل‌تئوری، تولید و کاربرد پمپها هست و سعی می‌شود که از پرداختن صرف به مقاله‌های تئوریک اجتناب شود و بیشتر مقاله‌ها در مورد تولید پمپها و کاربرد آنها باشد. به این امید که بتوانیم به سازندگان کوچک و دست‌اندرکاران کاربرد پمپها آموزشهای لازم را بدهیم.

ما خود برآنیم که کیفیت این نشریه را هرچه پربارتر کرده و ترتیبی اتخاذ کنیم که این نشریه بتواند منعکس‌کننده انواع تجربیات علمی و عملی متخصصین در این صنعت باشد. امید است در این راه، این شرکت را با راهنمایی‌های مفید خود یاری کرده تا به لطف خداوند بتوانیم عاملی به وجود آوریم در جهت پیشرفت این صنعت مهم در حکومت نوپای خود.

والسلام

محسن لطفی

## سخنی با خوانندگان

در ایران، سالانه مقدار هنگفتی سرمایه و نیروی انسانی صرف‌ساخته، واردات، نصب، تعمیر و نگهداری پمپ‌های مختلف می‌شود. ولی با این همه، کمبود این نوع محصول در بازار کاملاً احساس می‌شود و مصرف‌کنندگان با مشکلات زیادی روبرو هستند چرا که بسیاری از پمپ‌های وارداتی در همان مرحله نصب یا اندکی بعد از آن به علت رعایت نکردن اصول فنی صحیح در مورد انتخاب و نصب دچار اشکال می‌شوند و احتیاج به تعمیر پیدا می‌کنند و در این مرحله نیز به علت تعمیرات غلط، عمر مفید دستگاه به یک‌دهم عمر طراحی شده کاهش پیدا می‌کند و پمپی که باید ده سال کار کند یک سال بیشتر نمی‌تواند بهره‌دهی داشته باشد.

اکثر پمپ‌های ساخت کارگاه‌های کوچک ایران نیز، به علت رعایت نکردن اولیه‌ترین اصول طراحی هیدرولیکی و مکانیکی، خیلی زودتر از مشابه‌های خارجی خود دچار اشکال فنی می‌شوند. در این مورد ما مواجه هستیم با یک سری از تولیدکنندگان پمپ که حتی علت اشکال فنی محصول ساخت خودشان را هم نمی‌دانند و تولیدکنندگانی هم که به نحوی همه این اطلاعات در دسترسشان قرار داشته باشد به علت نداشتن دید وسیع صنعتی و واردنبودن دز امر تولید، نمی‌توانند سطح تولید خود را نسبت به تقاضای بازار بالا ببرند. این مسائل گوشه‌ای از مشکلاتی است که مصرف‌کنندگان تولیدکنندگان و سایر افرادی که به نجوی با پمپ در ارتباط هستند با آن روبرو هستند. وقوف به این مسائل ما را بر آن داشت که دست به انتشار نشریه‌ای آموزشی و فنی بنزیم تا به وسیله آن بتوانیم مقداری از اطلاعات علمی، فنی و تجربی خود و سایر متخصصین را به هم میهنان عزیز منتقل بکنیم.

اولین شماره نشریه پمپ که اکنون در پیش روی شما است، نتیجه زحمات عده‌ای از متخصصین این رشته از صنعت است و از سه قسمت اصلی زیر تشکیل می‌یابد:

- ۱- طراحی مکانیکی (متالوژی، طراحی ماشین) و تولید.
  - ۲- طراحی هیدرولیکی (تئوری پمپ‌های سانتریفیوژ، مشخصات و کارکرد انواع پمپ‌ها، قوانین مشابه، سرعت مخصوص، طراحی پروانه و محفظه پمپ‌ها، نیروهای شعاعی و محوری و کاویتاسیون).
  - ۳- کاربرد پمپ (روش انتخاب پمپ، انواع محرکه‌ها و روشهای انتقال نیرو، روشهای راه‌اندازی پمپ‌ها،  $NPSh$ ، شیر فلکه‌ها، سیستمهای حفاظت پمپ‌ها و تعمیر و نگهداری).
- درخاتمه امیدواریم خوانندگان عزیز، باراهنماییهای خود ما را در راه رسیدن به این هدف یاری دهند و از کلیه استادان و متخصصین این رشته از صنعت می‌خواهیم تا با ما همکاری بکنند.

هیئت تحریریه

## نیروی محوری و تعادل آن در پمپهای سانتریفیوژ یک طبقه

نوشته: دکتر احمد نوربخش

### چکیده:

رابطه‌ای جهت تعیین مقدار نیروی محوری با توجه به اندازه‌های هندسی و دور پمپ همراه با محاسبات مربوطه ارائه شده است. سپس متغیرهایی که بیشتر بر روی مقدار نیروی محوری اثر می‌گذارند معلوم و بالاخره رابطه‌ای تقریبی جهت مقدار این نیرو پیشنهاد گردیده است. تشابه در نیروی محوری نیز مورد بحث قرار گرفته و همچنین راههای مختلف تعادل نیروی محوری بیان و محاسن و معایب هر یک از راه‌حلها نسبت به یکدیگر به‌طور خلاصه ذکر شده است. در آخر نتیجه می‌شود که از نظر طراحی برآورد دقیق نیروی محوری ضروری است و از نظر استفاده‌کننده پمپ در صورتی که فشار لوله مکش و یا دور پمپ از حد محاز تجاوز کند امکان صدمات احتمالی برای قسمتهای مکانیکی پمپ وجود خواهد داشت.

### ۱- پیشگفتار:

هدف این نشریه در حال حاضر بیان مسائل مختلف پمپها و بیشتر معطوف به جنبه‌های کاربردی و عملی است. لذا این مقاله نیز در چهارچوب این خواسته تهیه و تدوین شده است و به‌عنوان خلاصه مطالعات و تجربیات حاصله بر روی موضوع فوق می‌تواند تلقی شود.

طراحی قسمتهای مکانیکی باید با توجه به دو عامل اساسی یعنی نیروی محوری و نیروی شعاعی وارده به محور انجام پذیرد.

تعیین این نیروها توسط مهندسين هیدرولیک طراح پمپ انجام و مهندسين طراح مکانیک جهت انتخاب بلبرینگها، طراحی و تعیین قطر محور و سرعت بحرانی پمپ از اطلاعات ارائه شده استفاده می‌کنند.

در این مقاله سعی می‌شود با فرضیاتی رابطهای ساده جهت محاسبه نیروی محوری تعیین نمود.

### ۲- علائم بکار رفته:

- A سطح بر حسب متر مربع .
- B ضریب عکس‌العمل (بدون بعد)
- C سرعت بر حسب متر بر ثانیه
- CM سرعت شعاعی بر حسب متر بر ثانیه .

- F نیرو برحسب کیلوگرم نیرو.
- G شتاب ثقل بر حسب متر بر ثانیه مربع.
- H ارتفاع مانومتریک پمپ بر حسب متر.
- m دبی جرمی سیال برحسب کیلوگرم جرم در ثانیه.
- p فشار برحسب کیلوگرم نیرو بر متر مربع.
- Q دبی حجمی برحسب متر مکعب در ثانیه.
- R شعاع چرخ برحسب متر.
- t زمان برحسب ثانیه.
- u سرعت محیطی چرخ بر حسب متر بر ثانیه.
- v حجم برحسب متر مکعب.
- Z ارتفاع هندسی برحسب متر.
- M جرم مخصوص برحسب کیلوگرم جرم بر متر مکعب.
- w سرعت زاویه‌ای برحسب رادیان بر ثانیه.

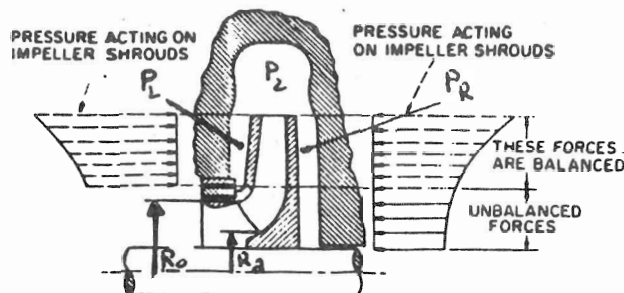
### زیرنویسها

- 0 ورود به چرخ.
- 2 خروج از چرخ.
- 3 خروج از پمپ.
- e خارجی
- R سمت راست.
- L سمت چپ.
- n درجهت عمود بر محور.

### ۳- محاسبه نیروی محوری:

نیروی محوری بنا به تعریف، نیرویی است که از مجموعه در حال دوران درجهت محور ایجاد می‌شود. چنین نیروی در صورت خنثی نشدن باعث ایجاد صدمات جدی به قسمتهای مکانیکی پمپ خواهد شد. لذا مقدار آن باید محاسبه و روشهای تعادل آن بررسی گردد.

تئوری مقدار حرکت را برای چرخ و سیالی که در آن وجود دارد می‌نویسیم شکل (۱)



شکل ۱: نیروهای محوری در یک پمپ سانتریفیوژ یک طبقه

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \vec{C} dv = \Sigma F_e \quad (1)$$

در رابطه فوق  $F_e$  مجموعه نیروی‌های خارجی وارده به سیستم است. با استفاده از رابطه عمومی سیستم‌های باز (\*) [1]

انتگرال فوق را نسبت به زمان محاسبه می‌کنیم. از نظر ریاضی تابع  $\vec{F}_e$  در حجم  $V$  محدود به سطح  $A$  به صورت تابع ادامه‌ی است و هیچ‌گونه چاه و چشمه در چنین حجمی وجود ندارد. فرضی که با حقیقت مسأله ما تطابق دارد [2]

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \vec{C} dv = \int_V \frac{\partial \rho \vec{C}}{\partial t} dv + \int_A (\rho \vec{C}) \cdot C_n \cdot dA \quad (2)$$

در رابطه فوق  $C_n$  سرعت عمود بر سطح  $A$  است. اگر فرض کنیم پمپ در رژیم اصلی خود کار کند یعنی سرعت نسبت به زمان در یک نقطه ثابت همواره ثابت باشد، در این صورت جمله اول رابطه فوق صفر می‌شود. در جمله دوم سطح  $A$  محدود به سطح چرخ می‌شود. انتگرال فوق را بر روی سطح  $A$  محاسبه می‌کنیم در این صورت سرعت  $C_n$  در دهنه ورودی، برابر با سرعت مطلق ورودی سیال به چرخ در جهت محور  $CM_1$  و در خروج برابر با سرعت مطلق خروجی سیال در جهت شعاع یعنی  $CM_2$  است. بر روی سطوح جانبی چرخ سرعت  $C_n$  برابر با صفر است. بنابراین جمله دوم رابطه (2) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\int_A (\rho \vec{C}) \cdot C_n \cdot dA = \int_{A_2} \vec{C}_2 \cdot \rho \cdot CM_2 dA_2 - \int_{A_0} \vec{C}_0 \cdot \rho \cdot CM_0 \cdot dA_0 \quad (3)$$

مقدار  $dm = \rho \cdot CM \cdot dA$  جرم عبوری از چرخ است و بنابراین به طور خلاصه می‌توان

نوشت:

$$\int_{A_2} \vec{C}_2 dm - \int_{A_0} \vec{C}_0 dm = \Sigma F_e \quad (4)$$

تیروهای خارجی وارده بر سیستم عبارتند از:

- نیروهای فشاری که بر روی دیواره‌های خارجی چرخ، اثر می‌کند ( $P_R$  و  $P_L$ )
- تیروهلی فشاری که بر روی سطح ورودی و خروجی وارد می‌شوند ( $P_0$  و  $P_2$ )

\* [1] اعداد داخل کروشه صرفاً مأخذ استفاده شده و در آخر مقاله آمده است.

– بالاخره نیروی عکس‌العمل درجهت محور جهت برقراری تعادل ( -F )  
 حل با فرض این‌که پمپ کاملاً "سانتریفیوژ" است محاسبات را دنبال می‌کنیم.  
 در این صورت سرعت  $C_2$  و نیروی فشاری نظیر  $P_2$  مؤلفه‌ای در جهت محور  
 ندارند.

جهت مثبت را درجهت مخالف ورود سیال به پروانه فرض می‌کنیم:

$$\int_{A_0} C_0 \, dm = \int_{R_0}^{R_2} 2\pi R P_R \cdot dR - \int_{R_0}^{R_2} 2\pi R P_L \, dR - \pi (R_0^2 - R_a^2) P_0 - F \quad (5)$$

فرض می‌کنیم سرعت  $C_1$  در روی قسمت ورودی ثابت باشد در این صورت:

$$\int_{A_0} C_0 \, dm = \rho Q C_0 = \rho \pi (R_0^2 - R_a^2) C_0^2 \quad (6)$$

از طرفی نیروهای فشاری  $P_R$  و  $P_L$  برابر خواهند بود با [5] (7)

$$P_L = P_R = P_2 - \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\omega^2}{4} (R_2^2 - R^2)$$

با جایگزینی مقادیر (6) و (7) در رابطه (5) و مرتب و ساده کردن رابطه  
 مقدار نیروی محوری  $F$  به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$F = \pi (R_0^2 - R_a^2) \left[ (P_2 - P_0) - \rho \left( C_0^2 + \frac{U_2^2}{8} - \frac{U_0^2 + U_a^2}{16} \right) \right] \quad (8)$$

از رابطه فوق با داشتن اندازه‌های هندسی و دور چرخ می‌توان مقدار نیروی  
 محوری را محاسبه کرد. همان طوری که ملاحظه می‌شود برای چرخ‌های باده‌نورودی  
 بزرگ و همچنین برای پمپهایی که اختلاف فشار ورودی و خروجی آنها زیاد است،  
 مقدار نیروی محوری قابل توجه است.

به عنوان اولین تقریب می‌توان با صرف نظر کردن از جملات درجه دوم نیروی  
 محوری را به صورت زیر محاسبه کرد:

اختلاف فشار ورودی و خروجی پروانه  $\times$  سطح ورودی پمپ =

$$F = \pi (R_0^2 - R_a^2) (P_2 - P_0) \quad (9)$$

از طرفی ارتفاع مفید تولیدی پمپ برابر است با:

$$H = \frac{P_3 - P_0}{\rho \cdot g} + \frac{C_3^2 - C_0^2}{2g} + Z_3 - Z_0 \quad (10)$$

دوجمله آخر نسبت به جمله اول معمولاً قابل صرفنظر است. از طرفی ضریب عکس‌العمل پمپها بین ۰/۷ تا ۰/۹ تغییر می‌کند. ضریب ۰/۹ برای پمپهای بازایه کوچک خروجی پروانه و ضریب ۰/۷ برای پمپهای بازایه بزرگ خروجی بکار می‌رود.

$$B = \frac{P_2 - P_0}{P_3 - P_0} = 0.7 \text{ تا } 0.9 \text{ ضریب عکس‌العمل}$$

در این صورت رابطه (۱۰) به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$H = \frac{P_2 - P_0}{\rho \cdot g \cdot (0.7 \text{ تا } 0.9)} \quad (11)$$

با جایگزینی مقدار (۱۱) در رابطه (۹) نیروی محوری به صورت تقریبی زیر در نقطه کار ماشین قابل محاسبه است:

$$F = (0.7 \text{ تا } 0.9) \cdot \rho \cdot g \cdot \pi (R_0^2 - R_a^2) \cdot H \quad (12)$$

اگر سطح ورودی را با  $A_0$  نشان دهیم:

$$F = (0.7 \text{ تا } 0.9) \cdot \rho \cdot g \cdot A_0 \cdot H \quad (12-1)$$

در صورتی که سطح دهنه ورودی در دست نباشد و بخواهیم حدودی از نیروی محوری را به طور سریع در ذهن مجسم کنیم یا در اصطلاح عام جهت محاسبات سرانگشتی رابطه فوق را میتوان به طریق زیر ساده‌تر کرد:

سرعت ورودی سیال به پمپ را در حدود  $CM = 2.5$  متر بر ثانیه فرض

می‌کنیم. در این صورت در رابطه (۱۲-۱) مقدار  $\frac{Q}{2.5}$  را به جای  $A_0$  قرار می‌دهیم:

$$F = \left( \frac{0.7}{2.5} \text{ تا } \frac{0.9}{2.5} \right) \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$F = (0.28 \text{ تا } 0.36) \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (12-2)$$

در مورد آب خالص  $\rho = 1000$  کیلوگرم بر متر مکعب است و رابطه ۱۲-۳

به صورت رابطه تقریبی زیر نوشته میشود.

$$F = (0.75 \text{ تا } 1) \cdot Q \cdot H \quad (3 - 12)$$

یعنی اگر ارتفاع تولیدی پمپ بر حسب متر در مقدار آبدهی پمپ بر حسب متر مکعب در ساعت را ضرب کنیم، مقدار حداکثر نیروی محوری به دست می آید. از روابط ۱-۱۲ الی ۴-۱۲ می توان مقدار نیروی محوری را با تقریب و از رابطه (۸) با دقت کافی محاسبه کرد.

تذکر: رابطه (۴-۱۲) براساس محاسبه سرعت ورودی  $CM1 = 2/5$  متر بر ثانیه به دست آمده است.

توجه!! جهت نیروی محوری، در شرایط کلی کار در جهت عکس ورود سیال به پمپ است. طراحی قسمتهای مکانیکی پمپ نیز براین اساس صورت گرفته است. حال اگر مکش پمپ تحت فشار قرارگیرد و طرف مقابل مکش از طریق رینگهای آببندی به آتمسفر مربوط شود، امکان معکوس شدن جهت نیروی محوری وجود دارد. در چنین حالتی و در صورت عدم پیش بینیهایی لازم در طراحی پمپ، نیروهای محور و بلبرینگها در معرض خطر جدی قرار می گیرند. توصیه می شود با سازندگان پمپ در این مورد حتماً تماس حاصل شود.

#### ۴- تشابه درکار

محاسبات مربوط به نیروی محوری به طراحان پمپ مربوط می شود. لیکن توجه به بعضی نکات جهت استفاده کنندگان پمپ نیز ضروری است. فرضاً اگر دور پمپ تغییر کند مقدار نیروی محوری به چه میزان تغییر می کند؟

در پاسخ به این سؤال مسئله کلی تشابه درکار دو پمپ در خصوص نیروی محوری را که حالت کلی است مورد بررسی قرار می دهیم اگر دو پمپ از نظر هندسی مشابه باشند و به طور مشابه کار کنند، [3] ضریب ارتفاع هندسی برای هر دو پمپ برابر و طبق رابطه زیر نوشته می شود.

$$X = \frac{g H}{U^2}$$

چون سطح ورودی نیز با مجذور ضریب تشابه‌هندسی تغییر می‌کند، بنابراین می‌توان نوشت:

$$F \propto \rho \cdot N^2 \cdot D^4 \quad (14)$$

یعنی نیروی محوری  $F$  با مجذور سرعت و توان چهارم قطر پروانه تغییر می‌کند.

توجه!! بالا بردن سرعت دورانی پمپ دارای محدودیتی است که توسط سازنده توصیه می‌شود. تجاوز از حد مجاز امکان صدمات وارده به بلبرینگها و پمپ را خواهد داشت.

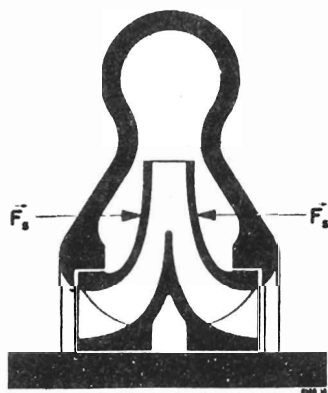
در طراحی پمپ و یا کپی کردن یک پمپ از روی پمپ دیگر، در صورت تغییر قطر پروانه نیروی محوری با توان چهارم تغییر و پیش‌بینیهای لازم از این نظر ضروری است.

### ۵- تعادل نیروی محوری

تعادل نیروی محوری برای پمپهای کوچک با انتخاب بلبرینگ مناسب امکان پذیر است. برای پمپهای بزرگ چنین امکانی وجود ندارد و باید از راه‌حلهای هیدرولیکی استفاده کرد. گرچه توصیه می‌شود حتی برای پمپهای کوچک نیز نیروی محوری را به صورت هیدرولیکی متعادل ساخت.

در شکلهای (۲ و ۳ و ۴) سه راه‌حل معمول پیشنهاد گردیده و چون در اغلب کتب [۴] توضیح کافی در این مورد وجود دارد لذا به‌طور مختصر به این مسئله اشاره می‌شود.

راه حل اول: پروانه با دو دهنه ورودی ساخته می‌شود. در این صورت نسبت به محور  $y$  همواره نیروهای محوری متقارن بوده و متحه آنها صفر است. شکل (۲)

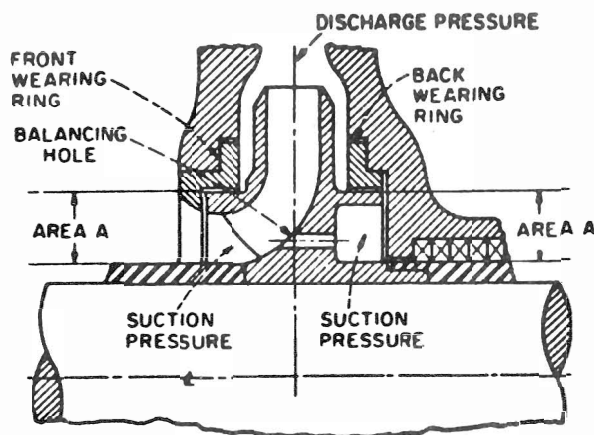


شکل ۲: پروانه با دو دهنه ورودی

حسن این راه حل، تقارن نیروهای محوری در هر شرایط و عیب آن، پیچیدگی طراحی لوله کش است.

راه حل دوم: پشت پروانه و بین هر دو پره را سوراخ می‌کنیم و اطاقی به نام اطاق تعادل با ایجاد زائدائی دورانی در پشت پروانه به وجود می‌آوریم. در این صورت فشار در اطاق تعادل تقریباً برابر با فشار ورودی پمپ می‌شود. لیکن حدود ۱۵ تا ۲۰٪ از نیروی محوری باقی خواهد ماند که توسط بدبرینگها باید خشنی شود.

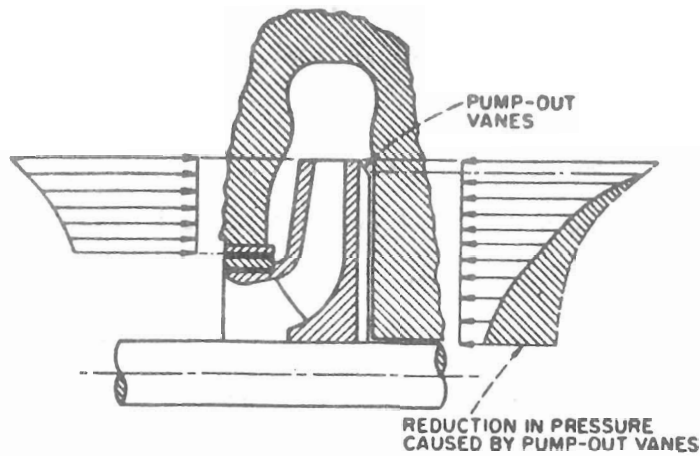
حسن این راه حل سادگی آن و عیب آن افزایش دبی ناشی داخلی و در نتیجه کاهش راندمان پمپ به میزان ۱-۲٪ است. شکل (۳)



شکل ۳. پروانه با اطاق تعادل

راه حل سوم: در پشت پروانه پره‌های شعاعی ایجاد می‌کنیم. در حقیقت چرخی با دبی کم در پشت پروانه ایجاد می‌شود. دبی ناشی برگشتی از پشت پروانه، به وسیله این پره‌های شعاعی دوباره به طرف محفظه حلزونی رانده و در نتیجه فشار پشت پروانه کاهش می‌یابد. در این صورت نیز درصد کمی از نیروی محوری باقی خواهد ماند.

حسن این راه حل افزایش راندمان و عیب آن افزایش کارهای مکانیکی است.



شکل ۴: پروانه با پره‌های شعاعی از پشت

### ۶- نتیجه:

از دیدگاه طراحی، محاسبه نیروی محوری حتماً باید به‌طور دقیق و با استفاده از رابطه (۸) انجام گیرد. لیکن به‌عنوان اولین تقریب جهت برآورد نیروی محوری می‌توان از رابطه (۱۲) استفاده کرد. نیروی محوری با توان دوم سرعت متناسب است. بنابراین دور پمپ از حد مجاز نباید بیشتر شود. همچنین در صورتی که مکش پمپ تحت فشار قرار گیرد، امکان تعویض جهت نیروی محوری و در نتیجه ایجاد صدمه به قسمت‌های مکانیکی وجود خواهد داشت. در این مورد مشاورت با سازنده پمپ ضروری است.

- 1) P. GLANSDOFF      BASES DE LA THERMODYNAMIQUE  
DES SYSTEMES OUVERTS CONTINUS  
UNION INTERNATIONALE DE PHYSIQUE  
PURE ET APPLIQUEE  
BRUXELLES, 1968- PP,71-85
  
- 2) A.L. AUM.TTE      TURBOMACHINES  
UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES  
1975-1976, PP-12
  
- 3- A.T.TROSKOLANSKI      LES TURBOPOMPES  
ECOLE POLYTECHNIQUE DE WROCLAW  
1977
  
- 4- LEXICON      CENTRIFUGAL PUMP K  
KSB, 1975

مآخذ فارسی

۵- احمد نوربخش: جزوه ترمو ماشین‌های آبی - دانشکده فنی دانشگاه تهران

## ماشینهای ابزار NC

نوشته: مهندس غلامرضا پاکدل

### اقتباس از سمینار ماشینهای NC

چکیده: در این مقاله در مورد ماشینهای ابزار که بطریق NC کنترل می‌شوند بحث شده و نکاتی در مورد مقایسه این نوع ماشینها با ماشینهای معمولی ذکر می‌گردد و موارد استعمال این نوع ماشینها در صنعت امروز و نقش آنها در بالا بردن راندمان تولید مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### آشنائی با تکنولوژی NC

#### ۱- تعریف NC

انجمنهای صنایع الکترونیک NC را اینطور تعریف می‌کند: "سیستمی که در آن هر عمل توسط قراردادن اطلاعات عددی کنترل می‌شود" به بیان دیگر NC یعنی کنترل به وسیله اعداد.

اطلاعات ورودی برای کنترل کردن ماشین ابزار NC از طریق نوار کاغذی منگنه شده در اختیار ماشین قرار می‌گیرد. این اطلاعات شامل یک سری عدد است که به زبان مخصوص ماشین نوشته شده‌اند.

#### ۲- شرح قسمتهای اصلی

قسمتهای اصلی در ماشینهای ابزار NC عبارتند از:

الف- قسمت سیستم کنترل

دستورالعمل‌های نوار کاغذی توسط دستگاه "نوارخوان" خوانده می‌شود و به وسیله عملیات الکترونیکی به علایم الکتریکی تبدیل می‌شود.

ب- جعبه مغناطیس

دستورهایی که به جعبه مغناطیس فرستاده می‌شود، اعمالی نظیر شروع و توقف موتور محور اصلی، انتخاب سرعت محور اصلی، کنترل قطع و وصل مایع خنک‌کن و تعویض ابزار را انجام می‌دهد.

ج- واحد گرداننده

علایمی که به واحدهای گرداننده فرستاده می‌شود، طول حرکت و بار مناسب را تعیین می‌کند.

### د - قسمت پس خوران **Feed back**

وقتی که ماشین عملیات را شروع می‌کند ترانس‌دیوسرهای ( **Transducer** ) موقعیت‌سنج موضع واقعی را به سیستم کنترل گزارش می‌کند. این گزارش با دستور ورودی مقایسه می‌شود و واحدگرداننده بکار می‌افتد تا تفاوت این دو را به صفر برساند.

ه - واحد کنترل دستی

این قسمت به اپراتور اجازه می‌دهد که بعضی کارها را روی ماشین انجام دهد، یعنی تا حدودی دخالت دستی را ممکن می‌سازد.

و - ماشین ابزار

این قسمت همان ماشین معمولی است که قطعه کار روی آن بسته می‌شود و براده برداری

لازم انجام می‌شود.

### ۳ - قیمت ماشینهای ابزار **NC**

به طور تخمین می‌توان گفت که قیمت ماشینهای ابزار **NC** حداقل دو برابر قیمت ماشینهای ابزار معمولی است چون قیمت سیستم کنترل، نصف قیمت کل ماشین است. در مواردی که دقت و استحکام بیشتر، از ماشین مورد درخواست است، تفاوت قیمت به چندین برابر میرسد.

### ۴ - موارد استعمال ماشینهای **NC**

بهترین نتیجه از کاربرد ماشینهای **NC** وقتی حاصل می‌شود که یکی از شرایط زیر موجود باشد:

- الف - تولید قطعات دقیق با تعداد کم یا متوسط ( از یک تا ۸۰ قطعه در روز ) .
- ب - تولید قطعات پیچیده با تعداد کم . مثلاً " قطعاتی که به تعداد زیاد، عملیات سوراخکاری احتیاج داشته باشند ( تعداد ۶ تا ۲۰ قطعه در روز ) .
- ج - قطعاتی که در طرح آنها اغلب تغییراتی داده می‌شود .
- د - قطعات پیچیده که احتمال اشتباه کارگر در ماشینکاری معمولی زیاد است .
- ه - وقتی هزینه ابزار مخصوص و قید و بستهها در ماشینکاری معمولی زیاد است مثلاً " با استفاده از ماشینهای سوراخکاری **NC** با ابزارگردنده ( **TOOLmagazine** ) برای تولید قطعات دقیق به تعداد کم هزینه خیلی پایین می‌آید. چون شابلونهای سوراخکاری جای خود را به نوارهای کاغذی می‌دهند .

و - جایی که بخواهیم زمان پیشرفت کار را کم کنیم . زمان پیشرفت کار **lead Time** عبارتست از زمان بین اتمام طرح قطعه و اتمام ساخت قطعه . این زمان شامل طرح قید و بستهها ، شابلونها ، تهیه تکنولوژی و همچنین زمان ساخت می‌شود .

اگرچه سرمایه‌گذاری اولیه برای ماشین NC در مقایسه با ماشین معمولی زیاد است ولی هزینه کلی تولید با این ماشینها کمتر است. بعضی از مزایای اقتصادی ماشینهای NC به شرح زیر هستند.

الف - قطعات قراضه کمتر: در این ماشینها خطر اشتباه اوپراتور وجود ندارد و دقت ماشین ثابت است. این دقت در نتیجه استعمال نوارهای امتحان شده و همچنین قابلیت ماشینهای NC برای بدست آوردن تolerانس دقیق مورد نظر است. به عنوان مثال در یک مورد بخصوص که قرار بود یک قطعه با ۱۹۵ سوراخ، سوراخکاری شده و سپس برقو زده شود با استفاده از ماشین مته NC به جای ماشین مته رادیال، قطعات قراضه از ۱۶ درصد به صفر کاهش یافت.

ب - زمان پیشرفت کار کمتر: قطعات رامی توان با ماشینهای NC در زمان کوتاهتری تولید کرد چون هم زمان تنظیم و هم زمان تهیه نوار کم است. در یک مورد بخصوص در یک کارخانه سازنده پمپ که یک ماشین NC با دو محور خریداری کرده بودند، زمان پیشرفت کار به ۷۵ درصد کاهش یافت.

ج - تغییر با هزینه کم: وقتی لارم است در طرح قطعه تغییراتی داده شود، این کار را می‌توان به راحتی با تغییر دادن نوار انجام داد. زمان لازم برای این کار در مقایسه با زمان لازم برای تغییر شابلون یا قید و بستهها به مراتب کمتر است.

د - کاهش کار کارگاه ابراسازی: کارگاههای ابراسازی اغلب بیش از ظرفیت خود کار دارند. ساحت قید و بستهها و شابلونهای سوراخکاری، قسمت اعظم وقت آنها را می‌گیرد. بکار بردن ماشینهای NC باعث کاهش زمان طرح ابزار مخصوص تا ۷۰ درصد می‌شود زیرا برای ماشینهای NC فقط قید و بستههای ساده لارم است.

ه - عمر بیشتر ابزار: عمر ابزار برش به علت کنترل دقیق سرعت محور و سرعت پیشروی افزایش می‌یابد. در یک مورد بخصوص عمر قلاویری که روی ماشین NC بکار می‌رفت، ۱۰ برابر بیشتر از عمر آن روی ماشینهای معمولی بود. این موضوع به خاطر دقت ماشین است که قلاویر را دقیقاً "درحالی که باید قرار گیرد، قرار می‌دهد و در نتیجه قلاویر دور تا دور به طور مساوی براده برداری می‌کند و فرسودگی آن کم می‌شود.

و - موحودی کمتر: استفاده از ماشینهای NC اجازه می‌دهد که تولید با تعداد بیچ کوچکتر صورت گیرد و هرچه تعداد بیچ کوچکتر باشد، قطعات در حال کار (work - in progress) کمتر است. یعنی قطعات موحود در کارگاه کم می‌شود.

ز - استفاده بهتر از ماشین: از آنجا که زمان تنظیم (set - up) در اینگونه ماشینها کم می‌گردد، بیشتر وقت ماشین صرف براده برداری می‌شود.

ج - احتیاج کمتر به کارگر ماهر : بکار بردن نوارهای NC نیاز به کارگر ماهر برای کارهای دقیق پیچیده را از میان برمی‌دارد. به عنوان مثال یک کارخانه تولید کننده ماشینهای ابزار با بکار گرفتن ماشینهای سوراخکاری NC برای ماشینکاری کله‌گی **Head** **stock** ماشین فرز، فاصله محور به محور سوراخها را با دقت ۶ میکرون درآورد و زمان لازم حدود ۷۰ درصد کمتر از زمان ماشینکاری روی ماشینهای معمولی شد و بعلاوه این دقت ماشینکاری باعث گردید که روزها و هفته‌های اضافی وقت کارگاه مونتاژ صرف اصلاح کردن قطعه نشود.

## ۶ - طبقه‌بندی ماشینهای NC

یکی از روشهای توصیف ماشینهای NC طبقه‌بندی این‌گونه ماشینها براساس ویژگیهای سیستم کنترل آن است. سیستم‌های کنترل عمده که از آن استفاده می‌شود عبارتند از :

الف - سیستم NC نقطه به نقطه : در سیستم نقطه به نقطه، ماشین در موقعیت‌های مخصوصی ماشینکاری می‌کند و وقتی ابزار یا قطعه‌کار از یک نقطه به نقطه دیگری روی قطعه انجام می‌دهد.

در بعضی از ماشینهای NC با سیستم نقطه به نقطه، ابزار روی قطعه کار حرکت می‌کند و در بعضی دیگر، میر ماشین در مقابل ابزار برده حرکت می‌کند و در برخی از ماشینهای NC، هم ابزار و هم میز ماشین حرکت می‌کنند در هر کدام از این حالات در مسیری که برای رسیدن به یک نقطه مخصوص طی می‌شود، ماشینکاری انجام گرفته و ابزار در هنگام حرکت به هر نقطه از قطعه کار به عقب کشیده می‌شود.

ب - سیستم NC خط مستقیم : این سیستم در حقیقت توسعه سیستم نقطه به نقطه است که با آن می‌توان در طول یک خط مستقیم فرزکاری کرد. این عمل با حرکتی در یک جهت معین با سرعت پیشروی کنترل شده انجام می‌پذیرد. این سیستم از ماشینهای NC جهت عملیات سوراخکاری، برقورسی، بورینگ و فرزکاری طراحی می‌شود.

ج - سیستم NC با مسیر پیوسته : در سیستم NC نامسیر پیوسته حرکت ابزار و قطعه کار در طول محورهای مختلف پیوسته و هم‌زمان و وابسته به یکدیگرند. در نتیجه می‌توان پروفیل‌ها و سطوح منحنی را ماشینکاری کرد. برای این کار بایستی کوشی‌های ( **slide** ) مختلف روی ماشین طوری کنترل گردد که وضع و سرعت آنها نسبت به هم در هر نقطه و به طور پیوسته مشخص باشد. ماشینهای تراش NC نمونه ماشینهایی است که با سیستم کنترل پیوسته کار می‌کنند در این ماشینها، یک میخی کامپیوتر به سیستم موقعیت یاب ( **servo positioning** ) ماشین متصل شده است.

ماشینهای NC را می‌توان بر حسب نوع پس‌خوران **Feed back** سیستم نیز، طبقه‌بندی کرد.

الف - سیستم‌های حلقه باز **open - loop systems** وقتی که یک دستوره واحد گرداننده فرستاده می‌شود که به مقدار معینی حرکت کند، کشویی‌ها به آن مقدار حرکت می‌کنند. اما اطمینانی نیست که قسمت متحرک (محوریامیز ماشین) به نقطه مورد نظر رسیده باشد. این سیستم یک سیستم حلقه باز است که موقعیت واقعی، نسبت به موقعیت مورد نظر مقایسه نمی‌شود. این سیستمها برای مواردی که دقت زیاد لازم نیست کاملاً مناسب هستند.

ب - سیستمهای حلقه بسته **closed Loop systems** در سیستم حلقه بسته، هر دستور پیوسته با موقعیت واقعی مقایسه شده و تفاوت این دو، یا خطا به یک تقویت‌کننده وارد می‌شود. خروجی تقویت‌کننده روی موتور تأثیر می‌گذارد تا تفاوت بین دستور ورودی و سیگنال فیدبک موقعیت واقعی به صفر برسد. فیدبک مشخصه اصلی سیستمهای حلقه بسته است. یک ترانسدیوسر **Transducer** وظیفه فیدبک را عهده‌دار است که به طور الکترونیکی علایمی درباره موقعیت کشویی‌های ماشین می‌فرستد. در سیستمهای پیوسته، کنترل سرعت نیز برای حصول اطمینان از مسیر ابزار یا میز ضروری است. در این حالت فیدبک سرعت توسط یک ترانسدایوسر که به آن **Tachogenerator** می‌گویند ایجاد می‌شود. بخش عمده قیمت سیستم NC به خاطر قسمت حلقه بسته سیستم کنترل آن است.

## ۸- موارد مورد نیاز جهت شروع کار روی ماشینهای NC

برای برنامه‌ریزی و انجام عملیات ماشینکاری روی ماشین NC به موارد زیر نیاز است:  
الف - نقشه: هر نقشه استاندارد را می‌توان برای برنامه‌ریزی روی ماشین NC بکار برد. کار برنامه‌ریزی ابتدا با آنالیز قطعه‌ای که می‌خواهیم ماشینکاری کنیم شروع می‌شود. در آغاز باید به این سئوالها پاسخ داده شود:

- آیا اندازه‌های قطعه‌کار، در حدود ابعاد کار ماشین قرار دارد؟

- آیا همه اعمال لازم برای ماشینکاری از نظر فیزیکی روی ماشین NC انجام پذیر است؟

- آیا تolerانس‌های لازم را می‌توان روی ماشین بدست آورد؟

ب - ابزار: ابزار ماشینهای NC خود مبحث جداگانه‌ای است که در بردارنده

مسایلی نظیر مته‌های بادق‌تر، قلاویزهای مارپیچ و دستگاه تنظیم ابزار **Tool presetter**

هستند . اما در این مرحله این نکات را باید در نظر گرفت :

– نوع قید و بست

– نوع و اندازه ابزار برش ، با توجه به شکل و اندازه قطعه کار .

– محاسبات استاندارد دور بر دقیقه و سرعت پیشروی که بر مبنای سرعت برش مجاز ، جنس قطعه کار و مشخصات ابزار برش و همچنین خود ماشین ابزار انجام می شود .

ج – برنامه : برنامه ، دستورالعملهای لازم برای عملیات ماشینکاری را می دهد .

برنامه روی برگهای مخصوص توسط مهندس برنامه نویس نوشته می شود که کار وی در آوردن اطلاعات لازم برای توضیح عملیات ماشینکاری از روی نقشه ها است .

د – نوار : برنامه نوشته شده توسط برنامه نویس ، به وسیله یک ماشین سوراخ کن

نوار ( **flexawriter machine** ) به نوار کاغذی سوراخ شده ( پانچ شده ) تبدیل می شه . این ماشین ، یک ماشین تحریر معمولی است که به طور اتوماتیک نوار را سوراخ می کند . بنابراین ماشین نویس فقط برنامه را روی ماشین تایپ می کند و نوار کاغذی هم به طور همزمان سوراخ می گردد . این نوار است که دستورالعملهای برنامه را به سیستم کنترل ماشین NC وصل می کند .

## ضربت قوچی آب در خطوط انتقال مایعات و ایستگاههای پمپاژ

نوشته: دکتر حمید نشان

اقتباس از نشریه نفت و گاز مورخ ۱۹۸۲/۶/۲۱

### چکیده

در این مقاله پس از اشاره<sup>۶</sup> مختصری به پدیده<sup>۶</sup> ضربت قوچی آب در خطوط لوله و ایستگاههای پمپاژ، نحوه محاسبه تقریبی حداکثر فشار تولید شده در خطوط لوله انتقال مایعات تشریح شده و همچنین اطلاعات لازم جهت بررسی کامل این پدیده در پروژه‌های مختلف، مشخص شده و سپس دستگاهها و تجهیزات مختلف جهت کنترل اثرات ناشی از این پدیده طبقه‌بندی شده است.

چند نمونه واقعی از منحنی تغییرات فشار حاصله از ضربت قوچی آب در خطوط مکش و رانش پمپ و خطوط لوله نشان داده شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. همچنین اثرات نصب دستگاههای کنترل فشار بر روی خطوط لوله و ایستگاههای پمپاژ و نحوه کار آنها توضیح داده شده است.

### ۱- مقدمه

تجزیه و تحلیل و بررسی پدیده<sup>۶</sup> ضربه قوچی آب WATER HAMMER در طراحی خطوط انتقال مایعات و ایستگاههای پمپاژ روز به روز اهمیت بیشتری پیدا کرده و توجه متخصصین امر را بیش از پیش به خود معطوف کرده است. در گذشته مسأله ضربه قوچی آب خیلی راحت و آسان حل می‌شد، بدین ترتیب که ضرایب اطمینانی در انتخاب لوله و اتصالات و سایر دستگاهها و تجهیزات منظور می‌گردید، به طوری که این دستگاهها و تجهیزات بتوانند افزایش فشار ناشی از این پدیده را تحمل کنند.

در نتیجه لوله‌ها ضخیمتر و دستگاهها مقاومتر انتخاب می‌شدند. امروز با بزرگتر شدن خطوط انتقال مایعات و همچنین بالاتر رفتن قیمت فولاد چینی راه‌حلی ابداء از نقطه نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

این امر باعث شده است که در طراحی خطوط لوله و ایستگاههای پمپاژ، مسأله ضربه قوچی آب در همان مراحل اولیه طرح، دقیقاً مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و ازدیاد یا کاهش فشار حاصله از این پدیده به دقت محاسبه شده و سپس با انتخاب و نصب سیستمهای مختلف، اثرات ناشی از این پدیده که می‌تواند بسیار خطرناک و مخرب باشند، تحت کنترل درآورده می‌شوند.

## ۲- پدیده ضربه قوچی آب

تغییرات سریع سرعت در خطوط لوله که به علت بسته شدن شیرها و یا از کار افتادن پمپ و یا هر علت دیگری به وجود می آید، امواج فشاری تولید می کند که در دو طرف محل تولید شده با سرعت زیاد در طول خط لوله منتشر می شود و فشار خط لوله در پشت سر این امواج به سرعت افزایش یا کاهش می یابد.

به این پدیده، ضربه قوچی آب یا خیز آب (WATER SURGE یا WATER HAMMER) می گویند.

سرعت انتقال این امواج فشار بستگی به مشخصات خط لوله و مایع داخل آن

دارد. مثلاً برای لوله های ناقل آب از نوع (FRP) (FIBERGLASS)

(REIN FORCED PLASTIC) ۳۴۰ متر بر ثانیه و برای لوله های ناقل آب

فولادی ۱۲۸۰ متر بر ثانیه است. همچنین برای خطوط لوله انتقال نفت این سرعت

معادل ۱۰۰۰ متر بر ثانیه است

مقدار قدر مطلق فشار ایجاد شده در یک لوله به علت تغییرات سریع سرعت از فرمول

زیر بدست می آید

$$P_{max} = P_{s.o.} + \Delta p$$

$$\Delta p = \frac{Q \times \Delta V}{g}$$

که در این فرمولها داریم:

$P_{MAX}$  = حداکثر فشار ممکن بر حسب متر آب.

$P_{S.O.}$  = ارتفاع دبی صفر پمپ بر حسب متر آب

$a$  = سرعت انتشار موج فشار بر حسب متر بر ثانیه.

$\Delta V$  = تغییرات سرعت بر حسب متر بر ثانیه.

$g$  = شتاب ثقل (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه).

$\Delta p$  = فشار ایجاد شده به علت ضربه قوچی آب بر حسب متر آب.

مقدار  $P_{MAX}$  بدست آمده از این فرمول گرچه تقریبی و محافظه کارانه است

ولی برای بدست آوردن حدود تقریبی حداکثر فشار ایجاد شده بسیار مناسب است،

البته به شرطی که پدیده جدایی ستون مایع (COLUMN SEPARATION) ایجاد نشود.

بررسی خطوط لوله و ایستگاههای پمپاژ از نقطه نظر این پدیده بایستی در مراحل اولیه طراحی و بخصوص قبل از سفارش لوله انجام گیرد، برای این کار بایستی حداکثر و حداقل فشار سیستم مشخص شده و تعیین شود که لوله چه فشاری را باید تحمل بکند و آنگاه مشخصات دستگاههای کنترل ضربه قوچی آب انتخاب گردند تا اجرای سیستم حداقل امکان اقتصادی تر باشد. نکته بسیار مهم این است که مسائل مربوط به این پدیده را به هیچ وجه نمی توان طبقه بندی کرده و راههای پیشگیری آن را تجویز کرد. بلکه هر سیستمی بایستی جداگانه و با توجه به شرایط و مشخصات خود آن سیستم بررسی شود و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. بعضی از خطوط لوله ممکن است هیچگونه احتیاجی به وسایل و تجهیزات پیشگیری اثرات ناشی از پدیده ضربه قوچی آب نداشته باشند در صورتی که بعضی از خطوط که در آنها پدیده جدائی ستون مایع اتفاق می افتد، فشار ایجاد شده در اثر برخورد دو ستون مایع ممکن است تا حدود ۱۵۰۰ درصد فشار معمولی سیستم بالا برود.

### ۳- اطلاعات مورد لزوم

به منظور تجزیه و تحلیل پدیده ضربه قوچی آب احتیاج به اطلاعات جامعی است که اهم آنها به شرح زیر است:

الف - نقشه سیستم: نقشه های مورد لزوم، بایستی حداقل شامل اطلاعاتی از قبیل قطر لوله، طول لوله، ضخامت لوله، پروفیل زمین در طول خط لوله، محل شیرها و انشعابات مخصوصاً شیرهای اتوماتیک یا دستی که می توانند جریان مایع را کاملاً مسدود کنند، باشند. همچنین محل ونحوه نصب پمپها، ارتفاع لوله مکش، محل دستگاههای اندازه گیری جریان و فشار نیز ضروری هستند.

ب - مشخصات مایع: مشخصات کامل مایع لازم هست که عبارتند از: چگالی مایع، مدول الاستیسیته، گرانشی، درجه حرارت، فشار بخار، درصد ونوع ذرات جامد در مایع و وزن مخصوص ذرات جامد.

ج - مشخصات خط لوله: که عبارتند از جنس لوله، کلاس لوله، حداکثر فشار مجاز که لوله می تواند تحمل بکند، فشار آزمایش لوله، مقدار فشار اضافی که لوله بایستی به علت ضربه قوچی آب تحمل بکند، استانداردها و کدهایی که بایستی مورد استفاده قرار گیرند، ضریب الاستیسیته یانگ، ضریب اصطکاک لوله، زبری نسبی یا مطلق سطح داخلی لوله. همچنین محاسبات هیدرولیکی خط لوله و گرادپان هیدرولیکی خط لوله نیز مورد لزوم است.

د - شیرآلات: مشخصات شیرآلات نصب شده نیز مورد لزوم بوده و عبارتند از

منحنی تغییرات ضریب جریان شیر ( $C_v$ ) نسبت به  $\Delta p$  ایجاد شده در شیر، مشخصات و سرعت دستگاه محرک شیر (VALVE - OPERATOR) حالت کاملاً باز تا حالت کاملاً بسته، در مورد شیرهای یک طرفه مشخصات بسته شدن دیسک آنها و افت فشار لازم برای بازکردن آنها نیز مورد لزوم است. مشخصات کامل شیرهای دو سرته در صورت نصب شدن در سیستم بسیار ضروری هستند.

هـ - سیستمهای کنترل: اطلاعات مربوط به سیستمهای کنترل بایستی شامل طرز کار شیرها، کنترل اتوماتیک قسمت مکش و زانش ایستگاه پمپاژ در مواقع عادی و همچنین طرز کار آنها در مواقع خاموش کردن تلمبه‌ها و یا از کار افتادن اضطراری به‌هر علت، مقادیری که کنترل‌کننده‌ها بایستی کنترل کنند (SET - POINTS) نقاط اندازه‌گیری مقدار جریان و فشار و همچنین نوع دستگاههای اندازه‌گیری این مقادیر نیز بسیار لازم هستند.

و - پمپ و موتور محرک آن: اطلاعات مربوط به پمپ و موتور آن بایستی شامل منحنیهای مختلف پمپ از قبیل منحنیهای ارتفاع، راندمان و قدرت نسبت به مقدار جریان باشد. تعداد مراحل پمپ و همچنین تعداد لوله‌های مکش پمپ، تغییرات احتمالی که ممکن است در آینده انجام شود از قبیل تغییر در مراحل پمپ و یا اضافه کردن پمپهای جدید و یا تغییر پروانه نیز بسیار لازم است. مقدار دبی، ارتفاع و سرعت برای بهترین نقطه راندمان پمپ (BEP) و ممان ایرسی (MOMENT OF INERTIA) قطعات گردنده نیز مورد احتیاج است. صما " مشخصات

کامل موتور و نوع آن از قبیل SYNCHRONOUS MOTOR، INDUCTION MOTOR

توربین، دیزل، موتورهای دور متغیر و منحنی گشتاور (TORQUE) برحسب دور و نوع کلاچ بکار رفته نیز ضروری هستند. دیگر اطلاعات مورد لزوم در این قسمت عبارتند از: دبی حداقل پمپ، حداقل و حداکثر فشار کار پمپ و همچنین حداکثر مقدار جریان برق موتور در مواقع راه‌اندازی.

ز - اطلاعات عملیاتی: این اطلاعات عبارتند از دستورالعملهای راه‌اندازی و از کاراندازی ایستگاههای پمپاژ برای مواقع عادی و اضطراری و طرز کار شیرهای حساس و اتوماتیک و نحوه کار لوله‌های بای پاس و غیره است.

ح - دستگاههای کنترل فشار: اطلاعاتی که در این زمینه مورد لزوم است عبارتند از نوع و مشخصات دستگاههایی که برای کنترل اثرات ناشی از ضربت قوچی آب در نظر گرفته شده یا خواهد شد. از قبیل نوع و اندازه شیرهای هوا، نوع و اندازه مخارن تحت فشار، شیرهای اطمینان و فشاری که در آن عمل میکنند. شیرهای مخصوصی که به تدریج باز و بسته می‌شوند و زمان بسته شدن آنها و خلاصه کلیه اطلاعات موجود در رابطه با چنین دستگاههایی بسیار مهم و حیاتی هستند.

#### ۴- دستگاههای کنترل فشار ضربه قوچی آب

دستگاههای مختلفی برای کنترل اثرات ناشی از پدیده ضربه قوچی آب برای شرایط گوناگون وجود دارند که به شرح ذیل طبقه‌بندی می‌شوند:

- الف - انواع شیرهای یک طرفه CHECK VALVES
- ب - انواع شیرهای اطمینان (فشارشکن) RELIEF VALVES
- ج - شیرهای هوا AIR VACCUM VALVES
- د - شیرهای اطمینانی که توسط پیلوت کار می‌کنند.
- ه - شیرهای یکطرفه از نوع DAMPENED CHECK VALVES
- و - مخزن فشارشکن SURGETANK
- ز - چرخ طیار FLYWHEEL

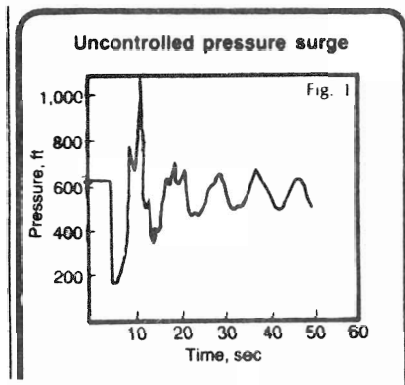
انتخاب نوع دستگاه کنترل‌کننده در یک سیستم بستگی کامل به محاسبات دقیق مهندسی و ملاحظات اقتصادی دارد. برای مثال لوله‌ای در نظر بگیرید به قطر ۱۲۰۰ میلی‌متر در طول ۳۰۰۰ متر که دارای یک شیر اتوماتیک در انتها است. چنانچه شیر اتوماتیک به هر علت بسته شود، فرصت می‌کنیم که فشار حاصله از ضربه قوچی آب به قدری خواهد بود که باعث ترکیدن لوله خواهد شد. برای کنترل فشار میتوان با نصب ۴۰ عدد مخزن فشارشکن به ظرفیت ۴۵۰ لیتر به قیمت ۱۰۰۰ / ۴۰۰ دلار حلوی ترکیدن لوله را گرفت. همچنین می‌توان با نصب ۲ عدد شیر فشارشکن ۳۰۰ میلی‌متری به قیمت جمعا ۱۰۰۰ / ۴۰ دلار از ترکیدن لوله جلوگیری کرد. چنین به نظر می‌رسد که راه حل دوم بسیار ساده‌تر و ارزان‌تر است، ولی بایستی در نظر داشت که در حالت دوم بایستی تسهیلاتی سیز جهت جمع‌آوری مایع خارج شده از شیرهای فشارشکن و تأسیسات پمپاژ آنها به مخزن اصلی در نظر گرفت که با توجه به نوع مایع و یا شرایط مکانی ممکن است که راه حل دوم اصلاً مقرون به صرفه نباشد.

#### ۵- مثالهای ضربت قوچی آب در تأسیسات حقیقی

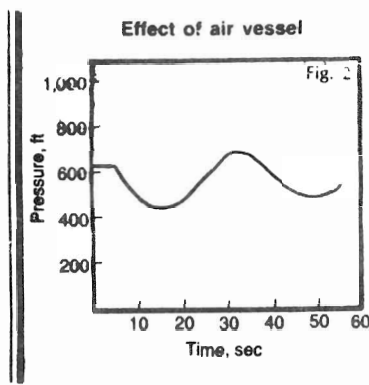
به منظور آشنائی بهتر با این پدیده و اثرات ناشی از آن و همچنین تأثیر دستگاهها و تجهیزات پیشگیری و کنترل‌کننده بر روی فشار حاصله از ضربت قوچی، چند مثال واقعی همراه با شکل‌های مختلف شرح داده می‌شود. لازم به تذکر است که طرق پیشگیری بکار رفته در این مثالها، لزوماً بهترین طریقه نبوده و بایستی به عنوان الگویی برای سیستمهای مشابه بکار رود. بلکه به طوری که قبلاً نیز گفته شد هر سیستمی بایستی با در نظر گرفتن شرایط خود آن سیستم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بهترین راه حل ارائه شود.

الف - از کار افتادن پمپ در یک ایستگاه پمپاژ آب .

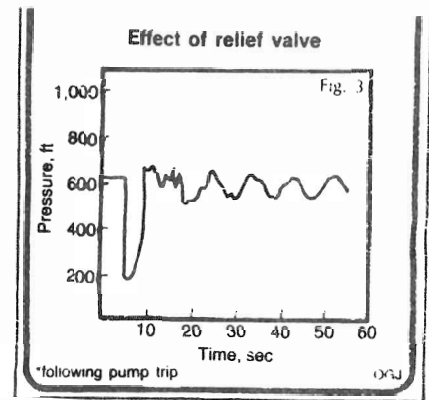
شکل ۱ نوسانات فشار را در یک ایستگاه پمپاژ پس از خاموش شدن پمپ و یا از کار افتادن اضطراری آن نشان می دهد . به مجردیکه پمپ از کار می افتد به علت ممان اینرسی (MOMENT OF INERTIA) کمی که قطعات گردنده پمپ دارند ، سرعت پمپ سریعاً کاهش یافته و مقدار جریان کاهش می یابد . ولی ستون مایع داخل لوله به علت سرعت اولیه ای که دارد به حرکت خود به طرف جلو ادامه داده و باعث کاهش فشار در لوله رانش پمپ می شود و سرعت حرکت ستون مایع رفته رفته به علت نیروهای اصطکاک به صفر رسیده و سپس به طرف پمپ شروع به حرکت می کند ، در این لحظه شیر یک طرفه در لوله رانش پمپ بسته شده و ستون مایع به دیسک شیر برخورد کرده و باعث بالا رفتن فشار می گردد . (این عمل حدود ۶ ثانیه بعد از خاموش شدن پمپ اتفاق می افتد) .



شکل ۱- تغییرات فشار در لوله رانش پس از از کار افتادن پمپ



شکل ۲- تأثیر نصب مخزن هوا در لوله رانش پمپ بر روی تغییرات فشار



شکل ۳- تأثیر نصب شیر فشار شکن بر روی لوله رانش پمپ در تغییرات فشار

به طوری که از شکل ۱. پیدا است محلی فشار دارای یک نقطه می سیم و یک نقطه ماگزیم است که بستگی به عوامل گوناگونی از قبیل سرعت مایع در لوله ، ارتفاع استاتیک سیستم ، طول خط لوله ، سرعت انتشار موج فشار در لوله و صریب اصطکاک ، دارند .

سیستمی که شرح داده شد دارای ارتفاع استاتیکی برابر با ۱۶۰ متر بوده و حداکثر فشار ایجاد شده برابر با ۳۳۰ متر است .

شکل ۲ تأثیر نصب مخزن هوا (AIR VESSEL) را بر روی این سیستم نشان می دهد . در این حالت تغییرات سریع پس از خاموش شدن پمپ ایجاد میشود که علت این امر ورود آب از مخزن هوا به داخل لوله در هنگام کاهش فشار است .

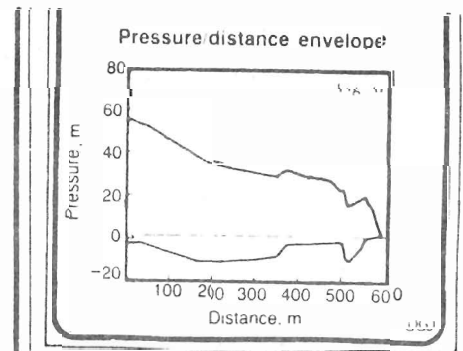
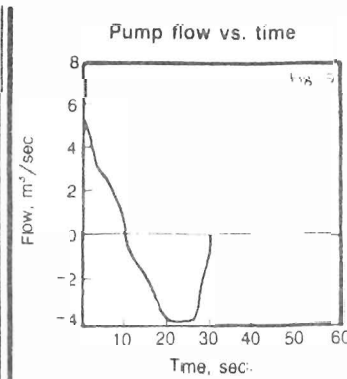
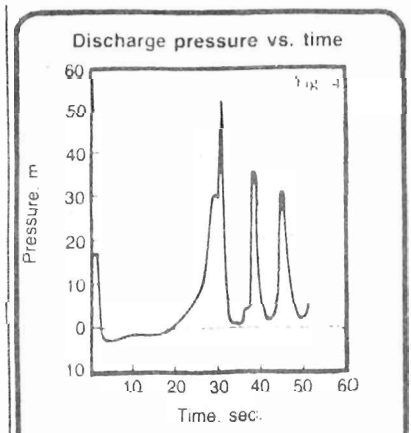
دبی خط لوله به آرامی کاهش یافته و در همان زمان فشار در لوله رانش کم می‌شود. هنگامی که جهت جریان معکوس می‌شود، مقداری مایع وارد مخزن هواشده و از بالا رفتن فشار جلوگیری می‌کند.

شکل ۳ تأثیر نصب یک شیر فشارشکن را بر روی این سیستم نشان می‌دهد. بطوری که ملاحظه می‌گردد کاهش فشار به وجود می‌آید ولی به محض این که فشار افزایش می‌یابد (به علت معکوس شدن جریان) شیر فشارشکن باز شده و مقداری مایع خارج می‌شود و در نتیجه فشار افزایش پیدا نمی‌کند.

ب- از کار افتادن پمپ سیرکولاتور آب در یک نیروگاه

در نیروگاهها به علت بزرگ بودن قطر لوله‌های رانش پمپ، معمولاً به جای شیرهای یک طرفه معمولی از شیرهای پروانه‌ای (BUTTERFLY- VALVE) که توسط موتور الکتریکی باز و بسته می‌شوند استفاده می‌گردد.

این نوع شیرها به علت اندازه‌ای که دارند، معمولاً به آهستگی باز و بسته می‌شوند. در چنین تأسیساتی چنانچه پمپ به علت از کار بیافتد به علت دیر بسته شدن شیر پروانه‌ای جریان معکوس در داخل پمپ ایجاد شده و پمپ بایستی بتواند این جریان معکوس را تا بسته شدن کامل شیر پروانه‌ای تحمل کند.



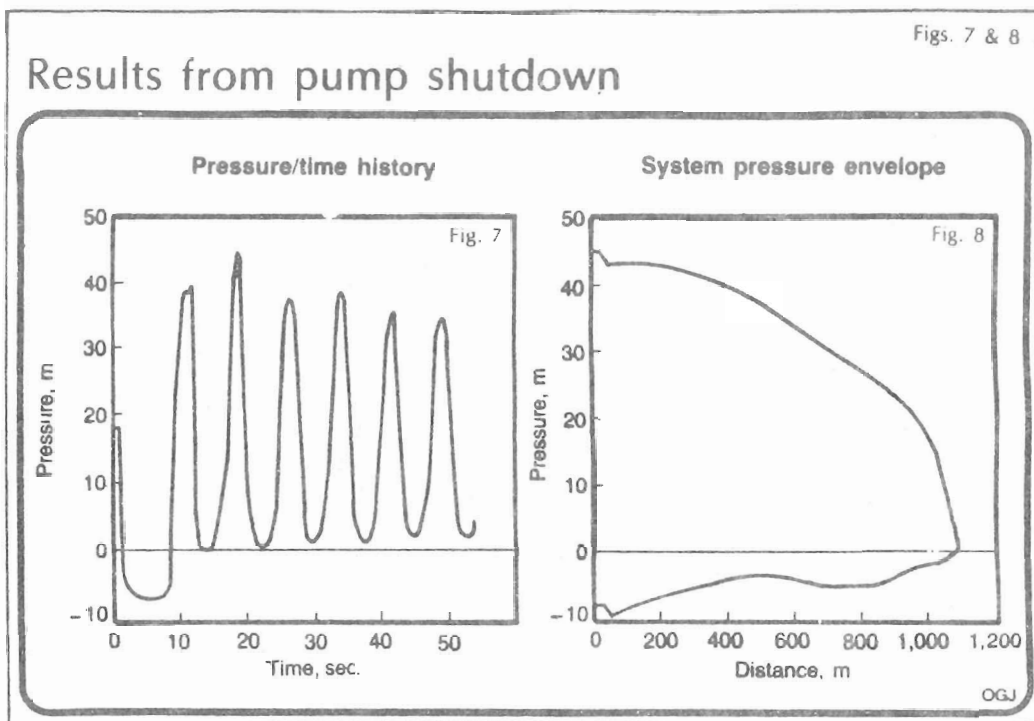
شکل ۴- تغییرات فشار لوله رانش نسبت به زمان، پس از خاموش شدن پمپ.

شکل ۵- تغییرات دبی پمپ پس از خاموش شدن پمپ، نسبت به زمان.

شکل ۶- تغییرات فشار در خطوط لوله پس از خاموش شدن پمپ.

اشکال ۴ و ۵ نشان دهنده چنین وضعیتی هستند. به طوری که از شکل ۶ مشهود است، در خطوط لوله سیرکولاتور آب حلاله، سستی ایجاد می‌شود. در چنین حالتی باید از شیرهای هوا به منظور جلوگیری از ایجاد حلاله استفاده کرد که اندازه، تعداد و محل نصب آنها بسیار مهم است.

انتخاب و کاربرد صحیح شیرهای هوا احتیاج مبرمی به بررسیهای مهندسی و تجربیات قبلی و مشاوره باکارخانه سازنده این نوع شیرها دارد. شکل ۷ نوسانات فشار نسبت به زمان را در کلکتور رانش یک ایستگاه پمپاژ آب ( با ارتفاع استاتیکی نسبتاً کم ) ، پس از خاموش شدن پمپ ، نشان می دهد. در شکل ۸ تغییرات فشار را در طول خط لوله مشخص می کند.



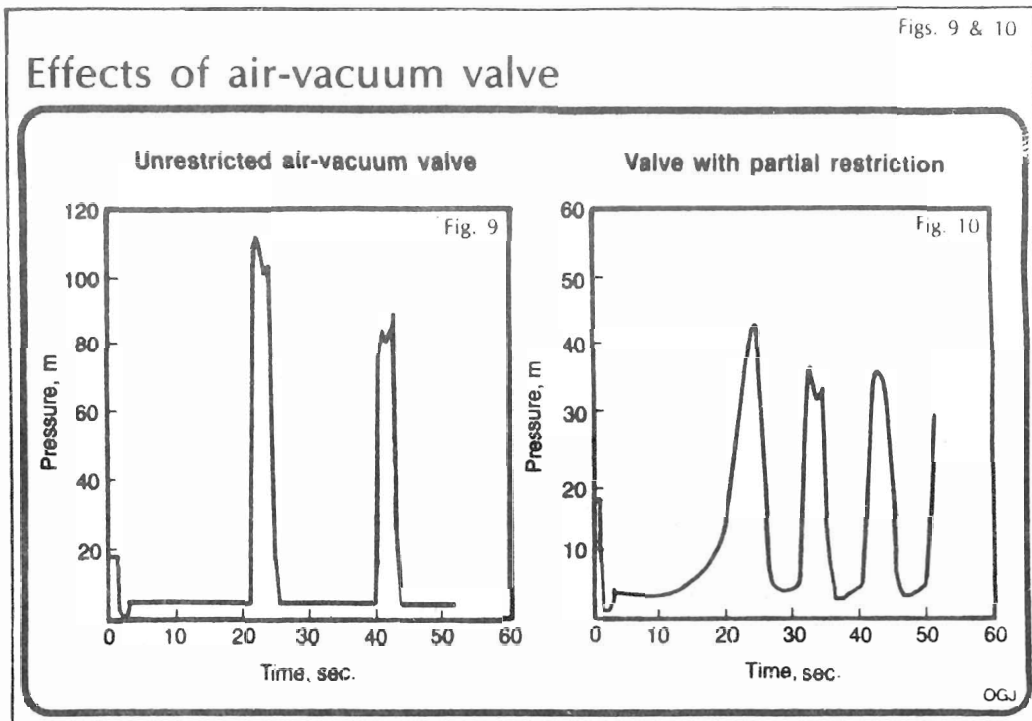
شکل ۷- نوسانات فشار در کلکتور رانش یک ایستگاه پمپاژ پس از خاموش شدن پمپها نسبت بزمان .

شکل ۸- نوسانات فشار در طول خط لوله پس از خاموش شدن پمپها نسبت به فاصله

بطوری که از این اشکال پیداست ، فشار در لوله رانش منفی شده و خلاء نسبی به وجود می آید . چنانچه قطر لوله نسبتاً بزرگ و ضخامت آن کم باشد ، امکان خرد شدن لوله به علت نیروهای خارجی وجود خواهد داشت .

در چنین مواقعی اگر فشار سیستم کمتر یا مساوی با فشار بخار مایع شود تبخیر شدن مایع مورد پمپاژ جدائی ستون مایع (CC-JUMN SEPERATION) را باعث شده و خطرات جدی ای پدید می آورد. چون در موقع افزایش فشار سیستم بخار به وجود آمده دوباره مایع شده و دو ستون مایع که به علت ایجاد شدن بخار از یکدیگر جدا شده بودند ، به شدت به یکدیگر برخورد کرده و فشارهای بسیار زیادی

ایجاد می‌شود که ترکیدن لوله‌ها را به دنبال خواهد داشت. یکی از راه‌های جلوگیری از این پدیده نصب شیرهای هوا است. چون این شیرها به مجردی که فشار سیستم از فشار جو کمتر شود باز شده و مقداری هوا وارد سیستم می‌شود و در نتیجه از کاهش بیشتر فشار جلوگیری می‌کند. شکل ۹ تأثیر نصب یک شیر هوای معمولی را بر روی این سیستم نشان می‌دهد. به علت ورود هوا به داخل لوله از ایجاد شدن فشار منفی



شکل ۱۰- تأثیر شیر هوای (RESTRICTED) بر روی جدائی ستون مایع .  
 شکل ۹- تأثیر شیر هوای معمولی بر روی جدائی ستون مایع .

جلوگیری می‌شود ولی در عوض صربه قوچی ثانویه فشار ماگزیمم را به ۱۱۰ متر می‌رساند. چون هنگامی که شیر هوا باز می‌شود مقدار زیادی هوا وارد لوله شده و باعث افزایش سرعت مخلوط آب و هوا در بردیکی شیر می‌شود. پس از بسته شدن شیر، این سرعت ناگهان کاهش یافته و در نتیجه این تغییر سریع سرعت صربت قوچی ثانویه ایجاد می‌شود. به منظور جلوگیری از این پدیده، از شیرهای مخصوصی از نوع (RESTRICTED) که دریچه آسها کوچکتر بوده و در نتیجه مقدار هوای ورودی به داخل لوله کمتر از حالت قبل است، استفاده می‌شود.

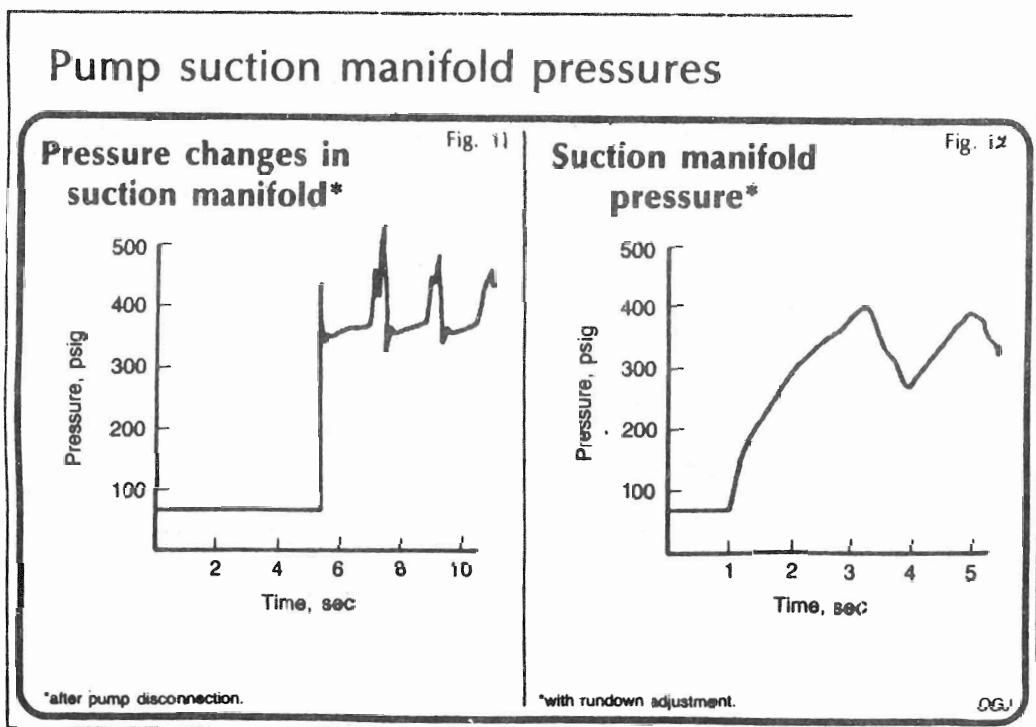
شکل ۱۰ تأثیر چنین شیر را نشان می‌دهد. به طوری که ملاحظه می‌گردد فشار منفی در سیستم ایجاد شده و همچنین حداکثر فشار به علت صربت قوچی ثانویه

حداکثر به ۴۲ متر می‌رسد. لازم به تذکر است که انتخاب نادرست شیرهای هوا ممکن است خود باعث ایجاد فشارهای زیاد شده و احتمال ترکیدن لوله و صدمه زدن به تأسیسات ایستگاه پمپاژ وجود دارد.

هتـضربه موجی در لوله مکش پمپ

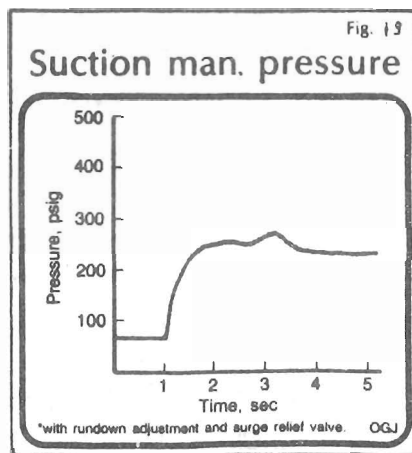
چنانچه پمپی از کار بیافتد دبی لوله مکش به سرعت کاهش یافته و باعث ایجاد فشارهای زیاد می‌شود. این عمل شبیه بسته شدن یک شیر در مسیر یک خط لوله انتقال مایعات است. شکل ۱۱ تغییرات فشار در کلکتور مکش یک پمپ را پس از حداشدن اضطراری کوپلینگ کلاچ موتور محرک نشان می‌دهد. به منظور جلوگیری از افزایش فشار، کوپلینگ کلاچ را معمولاً طوری تنظیم می‌کنند که به مجرد بروز حالت اضطراری پمپ و موتور محرک هر دو هماهنگ باهم سرعتشان کاهش یافته و کوپلینگ کلاچ باز نشود.

شکل ۱۲ منحنی تغییرات فشار را در چنین حالتی نشان می‌دهد. در صورتی که فشار ایجاد شده باز هم غیرقابل قبول باشد، با نصب شیرهای ایمنی در لوله مکش پمپ می‌توان از ازدیاد فشار بازهم کاست. شکل ۱۳ معرف چنین حالتی است.



شکل ۱۲ - تغییرات فشار لوله مکش پس از ازکارافتادن پمپ درحالتی که موتور و پمپ هر دو باهم سرعتشان به صفر برسد.

شکل ۱۱ - تغییرات فشار لوله مکش پس از ازکارافتادن پمپ.



شکل ۱۳- تغییرات فشار در لوله مکش با نصب شیر فشارشکن

### نتیجه‌گیری

باتوجه به آنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت که:

الف - طراحی خطوط انتقال مایعات و ایستگاههای پمپاژ فقط با در نظر گرفتن شرایط عادی و یکنواخت (STEADY STATE CONDITIONS) و انتخاب ضرایب اطمینان گوناگون به طوری که تأسیسات بتوانند اثرات ناشی از ضربه قوچی آب را تحمل بکنند، قابل قبول نیست. این‌گونه طراحی نه تنها از نقطه نظر ملاحظات اقتصادی مقرون به صرفه نیست، بلکه از نظر مهندسی نیز هیچ‌گونه اطمینانی به کارکرد ایمن تأسیسات و خط لوله نخواهد بود.

ب - برای بررسی و تجزیه و تحلیل اثرات ناشی از ضربه قوچی آب ابتدا بایستی اطلاعات بسیار جامعی در ارتباط با طرح جمع‌آوری کرده و سپس محاسبات مهندسی مربوط به آن طرح انجام شود (حتی الامکان با کامپیوتر) تا فشار ماگزیمم و می‌نیمم ایجاد شده در سیستم معلوم شود. این محاسبات بایستی در مراحل اولیه طرح بخصوص قبل از سفارش هرگونه لوله و ماشین‌آلات انجام شود.

ج - پس از به دست آوردن حداکثر و حداقل فشار با توجه به ملاحظات اقتصادی و در دسترس بودن سیستمها و دستگاههای کنترل‌کننده، بایستی مشخص شود که خط لوله و ایستگاههای پمپاژ حداکثر و حداقل فشاری را که باید تحمل کنند چیست و سپس دستگاههای کنترل‌کننده انتخاب شوند.

د - انتخاب نوع، اندازه و محل نصب دستگاههای کنترل‌کننده بسیار حساس بوده و احتیاج به تجربه فراوان و مشاورت با کارخانه‌های سازنده چنین دستگاههایی دارد.

ه - در محاسبات مهندسی هرگاه مشخص شود که پدیدهٔ حدائی ستون مایع (COLUMN SEPARATION) اتفاق می‌افتد، ادامهٔ محاسبات کلاسیک بایستی قطع شده و محاسبات مربوط به این پدیده شروع شود.

## روش انتخاب پمپهای سانتریفیوژ برای مصارف آبرسانی

نوشته: مهندس علی وکیلی تهامی

### چکیده:

در این مقاله روش انتخاب پمپهای سانتریفیوژ برای مصارف آبرسانی مورد بررسی قرار می‌گیرد و تعاریف کلی در مورد پمپ و چگونگی استفاده از محسبهای مشخصات پمپ، سیستم، NPSH و توان مصرفی و غیره توضیح داده می‌شود. ضمناً روشهای انتخاب وسایل جنبی پمپ، از قبیل: لوله، اتصالات، کلید، ویوز، کابل و غیره نیز توضیح داده می‌شود.

### ۱- پیشگفتار:

یک پمپ سانتریفیوژ تسهادر شرایطی بطور رضایتبخش کار خواهد کرد که از روی اصول علمی و صحیح انتخاب، نصب و نگهداری شود. متأسفانه به علت عوامل زیادی سطح معلومات مصرف‌کنندگان، فروشندگان و بخش خدماتی این رشته از صعب‌سپار پائین است و به همین علت سالانه سرمایه هنگفتی تلف می‌شود. این سی‌اطلاعی، گاهی صورت حادثتری به خود می‌گیرد چرا که در مواردی یک مساله کاملاً " غلط درس سداشته می‌شود و طبق آن عمل می‌شود و از آنجا که کشاورزان بحس عطیمی از مصرف‌کنندگان مت‌هسند و دسترسی کمتری به پرسنل فنی دارند، این‌گونه مسائل ضرور زبان به سرائی نداشتن وارد می‌آورد، برای مثال چند نمونه از این موارد ذکر می‌شود:

الف - این تصور نادرست که کاهش دادن قطر لوله‌های مکش و راش پمپ سبب به خود پمپ کار معیدی است مثلاً " وقتی یک پمپ ۴ × ۵ ایچ باشد سعی می‌کند به آن لوله‌های ۳ × ۴ ایچ بیدد که کار کاملاً " اشتباهی است و اکثراً " عکس آن صحیح است. یعنی لوله‌های پمپ باید ۵ × ۶ ایچ باشد.

ب - این تصور غلط که همه پمپهای سانتریفیوژ می‌توانند از عمق ۶ مری یا بیشتر مکش کنند. در صورتی که ارتفاع مکش محاز هر پمپ راتسها می‌توان از روی محسب مسحصات مربوط به آن پمپ بدست آورد و عدد بدست آمده ممکن است کمتر یا بیشتر از آن باشد.

ج - این تصور نادرست که هرچه فشار پمپ زیاد باشد، پمپ ستر کار می‌کند. در صورتیکه فشار خروجی کاملاً " باید منطبق بر منحنی پمپ باشد یعنی پمپی که حداقل فشار آن ۱۰ متر ستون آب باشد اگر در ارتفاع ۵ مری مورد استفاده قرار گیرد، بهرودی ارکار خواهد افتاد.

د - این تصور ناصحیح که پمپ سانتریفیوژ در ارتفاع کمتر توان کمتری لارم دآرد.

در صورتی که پمپهای سانتریفیوژ در ارتفاع کم حداکثر توان را از موتور جذب می‌کنند و در ارتفاع زیاد این توان به حداقل می‌رسد. مثلاً، یک پمپ که در ارتفاع ۱۲ متر ۶ اسب بخار توان مصرف می‌کند در ارتفاع ۱۰ متر بیشتر از ۶ اسب بخار مصرف خواهد کرد. هد-این تصور نادرست که راه‌اندازی پمپ در مقابل شیر فلکه خروجی بسته، از عمر پمپ می‌کاهد. در صورتی که قضیه درست برعکس آن هست و این کار در مورد همه پمپهای سانتریفیوژ توصیه می‌شود.

و- این تصور غلط که عمق چاه عمیق تعیین‌کننده ارتفاع پمپ شناور است. در صورتی که چنین نیست و ارتفاع پمپ شناور را تنها سطح دینامیک آب چاه می‌تواند تعیین کند. مثلاً، چاهی که عمق آن ۱۵۰ متر و سطح دینامیک آب مثلاً ۸۰ متر است پمپ شناوری لازم دارد که بتواند دبی لازم را در ارتفاع ۸۰ متری تأمین کند.

این قبیل موارد بسیار زیاد هستند که در اینجا تنها به ذکر نمونه‌هایی از آن اکتفا شد. امیدوارم با نگارش این سری از مقالات بتوانم قدم ناچیزی در راه حل این معضلات بردارم.

## ۲- دبی پمپ

دبی پمپ عبارتست از مقدار مایعی که در واحد زمان از آن خارج می‌شود و واحدهای آن مترمکعب در ساعت، لیتر در ثانیه و یا مترمکعب در ثانیه هستند.

## ۳- ارتفاع پمپ

ارتفاع پمپ عبارتست از انرژی مکانیکی مفیدی که توسط پمپ به مایع منتقل می‌شود و به متر بیان می‌شود.

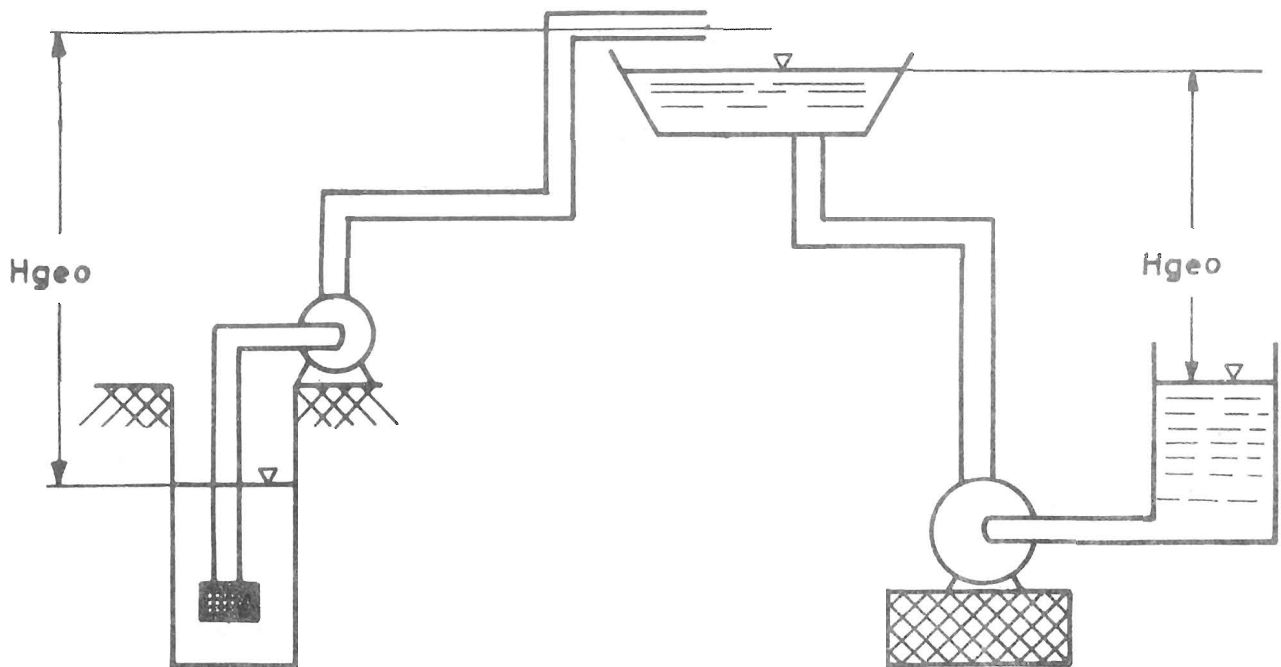
## ۴- ارتفاع کلی سیستم

ارتفاع کلی سیستم HA از عوامل زیر تشکیل شده است (اشکال ۱ و ۲) الف - Hgeo یا ارتفاع استاتیک که عبارتست از اختلاف ارتفاع بین سطح آب در قسمت مکش و رانش پمپ. اگر لوله خروجی بالاتر از سطح مایع در قسمت خروجی قرار داشته باشد (شکل ۱) در آن صورت اختلاف ارتفاع از مرکز لوله خروجی محاسبه می‌شود.

ب -  $\Sigma H_v$  یا مجموع افتهای فشار در لوله‌ها و اتصالات و غیره

بنابراین ارتفاع کلی سیستم عبارتست از:

$$H = H_{geo} + \Sigma H_v$$



شکل ۱ - ارتفاع استاتیک در حالتی که مخزن مکش پایین‌تر از پمپ قرار دارد .

شکل ۲ - ارتفاع استاتیک در حالتی که مخزن مکش بالاتر از پمپ قرار دارد .

### ۵ - NPSH پمپ سانتریفیوژ

NPSH یک پمپ سانتریفیوژ عاملی است که با کمک آن می‌توان خصوصیات مکش پمپ را تعیین کرد و مشخص کرد که یک پمپ سانتریفیوژ را تا چه اندازه‌ای می‌توان بالاتر از سطح آب قرارداد، بدون آنکه ایجاد کاویتاسیون بکند. کاویتاسیون در یک سیال پدیده‌ای است که به علت بوجود آمدن و درهم شکستن ناگهانی حبابهای بخار در مسیر جریان آن سیال به وجود می‌آید. وقتی که یک پمپ از ارتفاع بیشتر از حد مجاز عمل مکش را انجام دهد، فشار استاتیک در مایع کمتر از فشار بخار مایع می‌شود و این عمل حالتی را بوجود می‌آورد که بدون از دیاد حرارت مایع شروع به تخریب می‌کند و این بخارات به مثابه هسته‌هایی که حبابهای بخار برگرد آن تشکیل می‌یابند، عمل می‌کنند و وقتی در مسیر جریان مایع دوباره فشار استاتیک افزایش یابد (مثلاً در داخل پروانه پمپ) این حبابها با سرعت زیادی درهم می‌شکنند و فشار بسیار زیادی در آن نقطه بوجود می‌آورند که این عمل به غیر از ایجاد سائیدگی ناشی از کاویتاسیون، میزان تولید صدای پمپ را افزایش داده و از راندمان و ارتفاع کلی آن می‌کاهد. به طور کلی NPSH پمپ مبحث مفصلی است که در موقعیت دیگری به طور کامل به آن خواهیم پرداخت ولی فعلاً "به ذکر این نکته اکتفا می‌کنیم که اگر عدد حاصل از منحنی NPSH پمپ را از فشار جو بر حسب مترستون آب کم کنیم،

عدد بدست آمده مقدار ارتفاعی خواهد بود که یک پمپ بدون ایجاد کاویتاسیون می تواند عمل مکش را انجام دهد. البته از این مقدار نیم متر هم به عنوان ضریب اطمینان کم می کنند تا حداکثر احتمال ایجاد کاویتاسیون کاهش یابد.

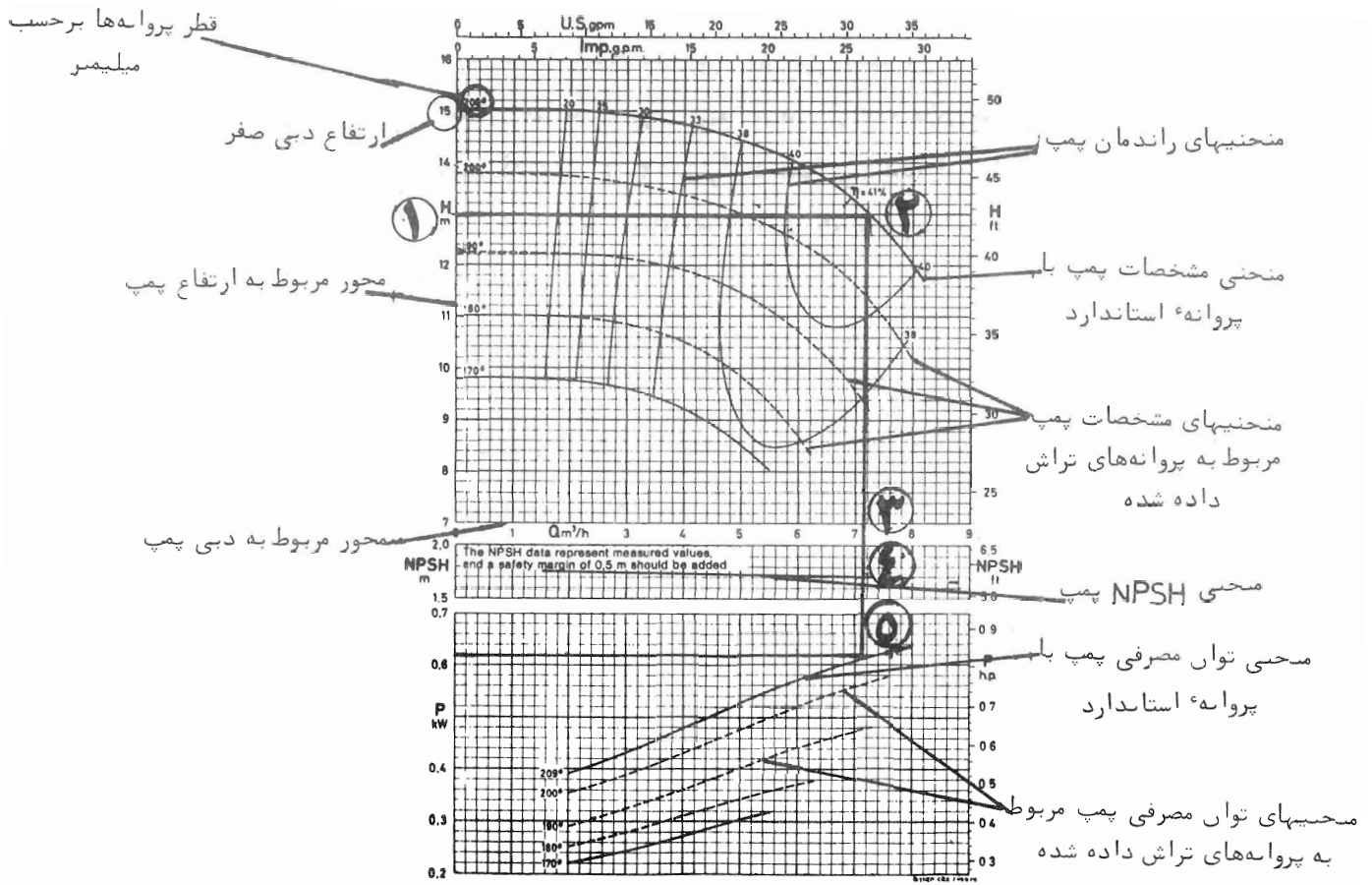
#### ۶- توان مصرفی پمپ سانتریفیوژ

توان مصرفی یک پمپ سانتریفیوژ عبارتست از توانی که در کوپلینگ یا محور پمپ از موتور حدت می شود و بوسیله فرمول  $P = \frac{P \cdot Q \cdot H}{367 \cdot \eta}$  که در آن  $P$  بر حسب کیلووات،  $P$

بر حسب کیلوگرم برد سیمتر مکعب،  $Q$  بر حسب متر مکعب در ساعت و  $H$  بر حسب متر هستند. در موقع پمپاژ آب توان مصرفی پمپ را میتوان مستقیماً از روی محلی مشخصات مربوط به آن پمپ بدست آورده چون این محلی ها با استفاده از داسیته و ویسکوزیته سیما تیک آب بدست آمده اند، ولی برای پمپاژ مایعات دیگر به غیر از آب باید ضرایب تبدیل خصوصی را بکار برد.

#### ۷- منحنی مشخصات پمپ سانتریفیوژ

یک پمپ سانتریفیوژ دبی خود را اتوماتیک وارست به ارتفاع سیستم تنظیم می کند، بدین معنی که با کاهش یافتن ارتفاع، دبی افزایش می یابد و بالعکس با افزایش یافتن ارتفاع، دبی کاهش می یابد. این تغییرات سایر مشخصات پمپ از قبیل توان مصرفی، راندمان و غیره را نیز تغییر می دهد. عملکرد و رابطه بین این معیارها در محلی مشخصات پمپ سانتریفیوژ نشان داده میشود. در شکل ۳ یک نمونه از محلی مشخصات پمپ سانتریفیوژ را می بینیم.



شکل ۳ محسی مشخصات پمپ ساترفیوژ

برای توضیح بهتر مسئله فرض کنیم این پمپ قرار باشد که در ارتفاع کلی ۱۳ متر کار کند، اول عدد ۱۳ را بر روی محور عمودی پیدا کرده و آن را نقطه ۱ می نامیم این نقطه را به سمت راست ادامه می دهیم تا منحنی مربوط به پروانه استاندارد را در نقطه ۲ قطع کرد این محل نقطه کار پمپ خواهد بود و راندمان این پمپ تحت این شرایط تقریباً ۴۱ درصد است. با ادامه این نقطه به سمت پائین، محور دبی را در نقطه ۳ قطع می کنیم که عدد ۷/۲ متر مکعب در ساعت را نشان می دهد. همانطور که در شکل دیده می شود قطر پروانه استاندارد این پمپ ۲۰۹ میلی متر است که آن را تا قطر ۱۷۰ میلی متر می توان تراش داده و کم کرد بنابراین در هر فاصله بین این دو قطر می توان با تراش دادن پروانه مشخصات پمپ را عوض کرد مثلاً، همین پمپ با پروانه به قطر ۲۰۰ میلی متر در ارتفاع ۱۳ متر، ۵ متر مکعب در ساعت آبدی خواهد داشت. رابطه بین ارتفاع، دبی و قطر پروانه پمپهای

ساترفیوژ از فرمول زیر بدست می آید:

$$\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \approx \frac{Q_1}{Q_2} \approx \frac{H_1}{H_2}$$

$$D_2 = D_1 \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}} \approx D_1 \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}$$

با ادامه دادن این خط به سمت پایین منحنی NPSH پمپ در نقطه ۴ قطع می‌شود و این مقدار ۱/۷ متر را نشان می‌دهد. برای پیدا کردن ارتفاع مکش مجاز این پمپ نیم متر به ۱/۷ متر اضافه می‌کنیم که عدد ۲/۲ متر را بدست می‌دهد و آن را از فشار جو که برابر با ۱۰ متر ستون آب است (با فرض اینکه محل نصب پمپ هم سطح دریای آزاد باشد) کم می‌کنیم که عدد ۷/۸ متر بدست می‌آید. بنابراین با فرض این که افت فشار دیگری در خط مکش و یاسوپا پمپ وجود نداشته باشد، این پمپ در محلی که هم سطح دریای آزاد است می‌تواند از ارتفاع ۷/۸ متر عمل مکش را بدون ایجاد کاویتاسیون انجام دهد. با ادامه دادن همین خط به سمت پایین منحنی توان مصرفی پمپ در نقطه ۵ قطع می‌شود که مربوط به توان ۰/۶۲ کیلووات است. این مقدار نشان‌دهنده توان مصرفی پمپ است. البته توان مصرفی پمپ را از فرمول بخش ۵ نیز می‌توان بدست آورد:

$$P = \frac{P \cdot Q \cdot H}{367 \cdot \eta}$$

$$P = 1 \text{ Kg/dm}^3$$

$$P = \frac{1 \cdot 7.2 \cdot 13}{367 \cdot 0.41}$$

$$Q = 7.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 13 \text{ m}$$

$$P = 0.62 \text{ کیلووات} \quad \eta = 0.41$$

برای انتخاب الکتروموتور باید ضرایب زیر را در نظر گرفت و به آن اضافه کرد:

تا ۷/۵ کیلووات ۲۰ درصد

از ۷/۵ تا ۴۰ کیلووات ۱۵ درصد

از ۴۰ کیلووات به بالا ۱۰ درصد

بنابراین الکتروموتور مناسب این پمپ به طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{کیلووات} = 0.744 = 0.62 + (0.62 \times 0.2)$$

که از یک الکتروموتور ۰/۷۵ کیلووات ۱۴۵۰ دور استاندارد استفاده می‌شود.

حال که صحبت از توان مصرفی پمپ سانتریفیوژ در میان است، بد نیست مطلبی هم در مورد راه‌اندازی الکتروپمپها و موتورپمپهای سانتریفیوژ ذکر کنم. چنان که از منحنی توان مصرفی پمپ معلوم است این منحنی با افزایش دبی سیر صعودی طی می‌کند، یعنی حداکثر توان مصرفی پمپ در شرایطی به دست می‌آید که پمپ با ارتفاع حداقل و دبی حداکثر کار کند. برای مثال به شکل ۳ مراجعه می‌کنیم چنان که یک پمپ با پروانه استاندارد را در نظر داشته باشیم این پمپ در ارتفاع ۱۲ متر، ۸ متر مکعب در ساعت آبدهی دارد که

توان مصرفی آن در این شرایط تقریباً "۰/۶۴ کیلووات است . حال اگر ارتفاع پمپ افزایش یابد و پمپ در ارتفاع ۱۴/۸ متر کار کند دبی پمپ ۳/۶ متر مکعب در ساعت خواهد بود و توان مصرفی پمپ در این شرایط ۰/۴۶ کیلووات می شود . بنابراین اگر یک شیر فلکه در راه خروجی پمپ قرار دهیم و قبل از استارت زدن این شیر فلکه را کاملاً " ببندیم و بعد استارت بزنیم ، این عمل باعث کاهش توان راه اندازی می شود و الکتروموتور پمپ یا موتور پمپ به راحتی استارت می زند و بعد از این که پمپ به ارتفاع دبی صفر خود رسید ، شیر فلکه را تدریجاً " باز می کنیم تا دبی و ارتفاع لازم را به دست آوریم . چون تغییرات ناگهانی دبی در سیستم باعث ایجاد ضربه ( WATERHAMMER یا SURGE ) میشود به وسیله باز کردن تدریجی شیر فلکه می توان به خوبی از ایجاد چنین ضربه هایی جلوگیری کرد . در موقع خاموش کردن پمپ نیز باز باید به همین طریق عمل کرد ، یعنی باید اول شیر فلکه را به تدریج کاملاً " بست و بعد اقدام به خاموش کردن سیستم کرد تا حداقل مکان ضربه کمتری در سیستم ایجاد شود .

ادامه دارد

فهرست منابع

- 1 " Centrifugal Pump Lexicon" KSB publication, Frankenthal, 1975  
PP 169
- 2 Streeter and Wylie" Fluid Mechanics" Mc Graw - Hill Book  
company, Inc, New York, 1975, PP534-535

(۳) علی وکیلی تهامی " روش محاسبه و انتخاب پمپ " انتشارات ذوقی ، تبریز ۱۳۶۲

### چکیده

در این مقالات، با استفاده از تجارب عملی و اطلاعات فنی موجود در این رشته، درباره اصول ساختمان، طرز کار، انتخاب وسایل قطع و وصل و کابل مناسب، روشهای اتوماسیون و حفاظت طرق مختلف راه اندازی، انتخاب دیزل ژنراتور مناسب و تعمیر و نگهداری الکتروموتورهای شناور صحبت خواهد شد.

### مقدمه

به خاطر استفاده وسیع از الکتروپمپ های شناور، سرمایه یادی صرف ساخت، نصب و نگهداری و بهره برداری از این دستگاه ها می شود. موقعی می توانیم از الکتروپمپ ها و هر دستگاه دیگری، با راندمان بهتر و هزینه کمتر استفاده کنیم که به شکل ساختمانی، اصول کارکرد، نحوه انتخاب و کارگزاری صحیح و نیز طرز عیب یابی و نگهداری آن آشنایی کافی داشته باشیم.

انتخاب صحیح الکتروپمپ با راندمان کار مناسب، هزینه انرژی مصرفی موتورپمپ را پایین می آورد و نصب و نگهداری صحیح، طول عمر دستگاه را بالا می برد. به همین منظور جهت آشنایی علاقمندان و دست اندرکاران این رشته، مقالاتی تقدیم خواهد شد که امید است مورد استفاده واقع شود.

### الکتروموتور شناور

ساختن الکتروموتور شناور برای اولین بار در سال ۱۹۱۸ مطرح شد و هدف از طرح این مسأله آن بود که هم الکتروموتور و هم پمپ بتوانند در داخل مایع مورد پمپاژ غوطه ور شده و انرژی لازم جهت چرخاندن پمپ توسط کابل الکتریکی که آسانترین وسیله انتقال انرژی هست انجام گیرد. در سال ۱۹۳۲ اولین الکتروموتور شناور توسط سازنده آلمانی به بازار عرضه گردید جهت روغنکاری یا طاقانها و خنک کردن سیم پیچی الکتروموتور از آب استفاده شده بود.

عایق سیم پیچی از لاستیک ضد آب بود که میتوانست تحت ولتاژ و بدون آنکه به عایق صدمه ای برسد در داخل آب کار کند.

امروزه، به خاطر حل شدن مسائل مربوط به عایق سیم پیچی، الکتروموتورهای شناور تا ۶۰۰۰ ولت و قدرت چند هزار کیلووات ساخته میشود.

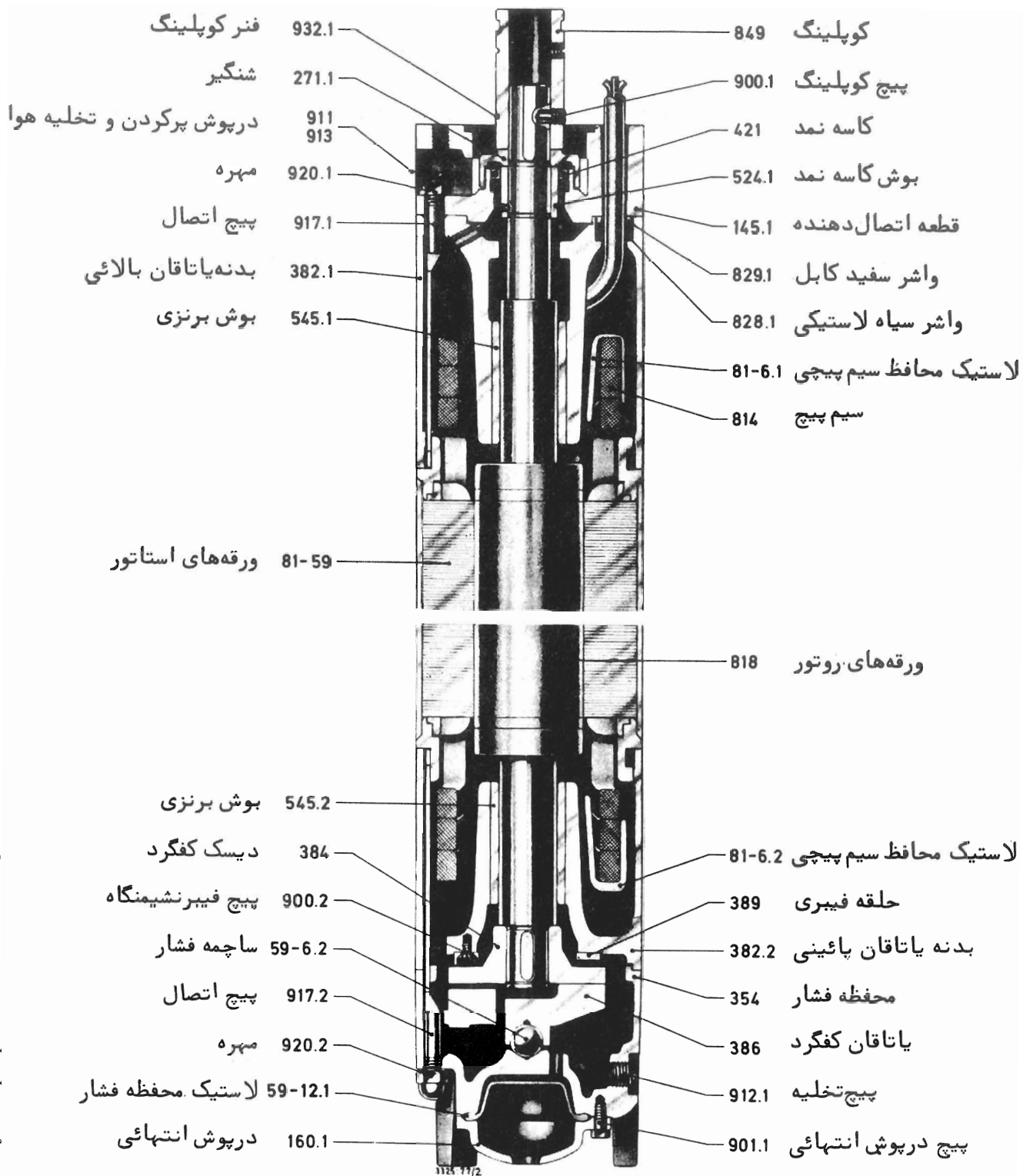
از نظر ساختمان، الکتروموتور شناور ساده‌ترین نوع ماشین الکتریکی گردان هست و شبیه همه ماشینهای الکتریکی جریان متناوب از دو قسمت کلی زیر تشکیل یافته است:

۱- قسمت ساکن یا استاتور: لوله فولادی استوانه‌ای شکل بدنه خارجی الکتروموتور را تشکیل می‌دهد. در داخل این لوله ورقهای مغناطیسی استوانه‌ای شکل توخالی قرار دارند و شیارهای طولی در امتداد این استوانه و در قسمت داخلی آن جهت سیم پیچی تعبیه شده‌اند. در ابتدا و انتهای استاتور محفظه‌های یاطاقان قرار دارند.

جهت نگهداری روتور در مقابل نیروی وارد از آب به محور موتور پمپ، در انتهای بدنه استاتور محفظه یاطاقان کف گرد قرار دارد. این یاطاقان نیز توسط آب روغنکاری میشود. ۲- قسمت گردنده یا روتور: در روی محور فولادی قسمت گردنده ورقهای مغناطیسی به شکل استوانه و به تعداد ورقهای مغناطیسی استاتور قرار داده می‌شود. در سطح خارجی این ورقها شیارهای طولی موازی هم و در امتداد محور تعبیه شده‌اند. در داخل این شیارها میله‌های مسی قرار گرفته که در دو انتها توسط حلقه‌های مسی، اتصال کوتاه می‌شوند. به طوری که مرسوم است این نوع روتورها را روتورهای قفس سنجابی می‌نامند و لذا الکتروموتورهای شناور از نوع الکتروموتورهای القائی قفس سنجابی هستند.

یادآوری می‌شود که در موقع ساخت تمامی روتورها از نظر دینامیکی بالانس می‌شوند. خنک‌کاری: با توجه به اینکه در داخل سیم پیچی و نیز خارج الکتروموتور آب قرار دارد، مسأله خنک‌کاری توسط آب به نحو احسن انجام می‌گیرد و همین مسأله امکان استفاده وسیع را از الکتروموتور به وجود می‌آورد. حداکثر درجه حرارت مایع مورد پمپاژ که الکتروموتور می‌تواند در داخل آن کار کند بستگی به قدرت و نوع الکتروموتور دارد. این مقدار درجه حرارت برای تیپهای مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. مثلاً الکتروموتور تیپ ۷۸ و قدرت ۲۲ کیلووات در مایع مورد پمپاژ با درجه حرارت حداکثر تا ۳۰ درجه سانتیگراد، می‌تواند کار کند.

روغن‌کاری یاطاقانها: تمام یاطاقانهای موجود در الکتروموتور توسط آبی که قبلاً داخل موتور ریخته می‌شود روغن‌کاری می‌شوند. هم‌چنین در تمام الکتروموتورهای شناور ساخت شرکت پمپیران یاطاقان کف‌گرد توسط آب داخل موتور روغن‌کاری و خنک‌کاری می‌شود. در بعضی از الکتروموتورهای ساخت سایر سازندگان، یاطاقان کف‌گرد قطعه مجزایی از موتور هست که داخل آن با محفظه داخل موتور هیچ‌نوع ارتباطی ندارد و آب داخل موتور نمی‌تواند به داخل محفظه یاطاقان کف‌گرد وارد شود. جهت روغن‌کاری یاطاقان از یک نوع روغن سنگین ضد خوردگی استفاده می‌شود.



شکل ۱ قسمت های مختلف الکتروموتور شناور را نشان میدهد .

سیم پیچی استاتور: برای سیم پیچی از سیم مسی با عایق واترپروف استفاده می شود. خود عایق از دولایه پلی تن و پلی آمید تشکیل یافته است. لایه پلی آمید به عنوان حفاظ مکانیکی بر روی لایه پلی تن به کار رفته است.

با چنین سیم هایی موتورهای ۱/۵ الی ۳۰۰ اسب در ۳۰۰۰ دور و ۵ الی ۶۰۰ اسب در ۱۵۰۰ دور و ولتاژ تا ۱۰۰۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتس را می توان ساخت.

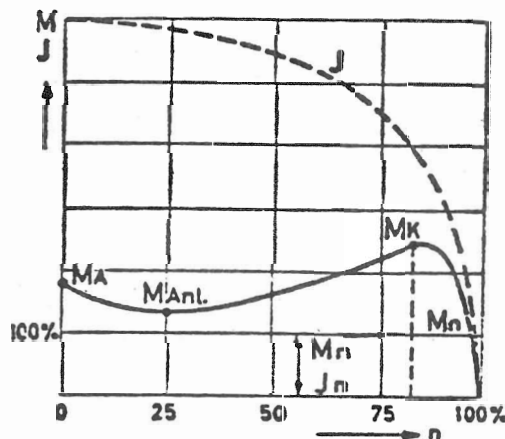
نحوه تعمیر و سیم پیچی مجدد، بعداً بطور مفصل شرح داده خواهد شد.

شکل ۲- مشخصات گشتاور و جریان بر حسب درصد دور الکتروموتور را نشان می دهد در این شکل  $n$  درصد دور  $J$  جریان بر حسب آمپر و  $ma$  گشتاور راه اندازی  $manl$  گشتاور متوسط و  $mk$  گشتاور ماکزیم بر حسب متر- کیلوگرم هست.

مقایر  $ma$  در دور صفر و  $Mme$  در ۲۵٪ دور نامی و  $Mma$  در ۷۵٪ الی ۸۵٪ دور نامی الکتروموتور هستند.

در هر حال مقدار گشتاور نامی الکتروموتور از فرمول:  $m_n = 716 \times \frac{HP}{n}$  بدست

می آید. در این فرمول HP قدرت الکتروموتور بر حسب اسب بخار هست.



شکل ۲- منحنی گشتاور و جریان بر حسب درصد دور

مشخصات مهم الکتریکی:

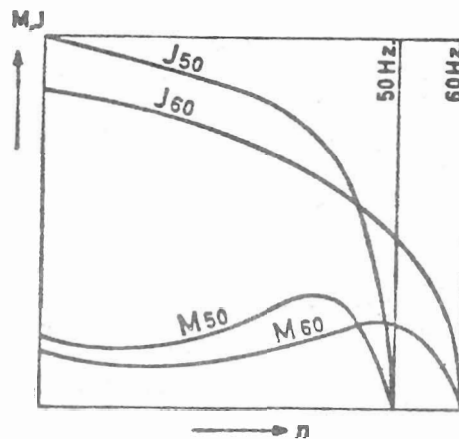
۱- مقدار جریان راه اندازی در حدود ۵ الی ۶ برابر جریان نامی هست. این مقدار در جدول ۲ برای تمامی الکتروموتورها نشان داده شده است. مثلاً، الکتروموتور تیپ ۷A و قدرت ۲۲ کیلووات جریان نامی ۴۳ آمپر دارد. مقدار جریان راه اندازی ۵/۵ برابر، یعنی حدود ۲۳۶ آمپر هست. اگر به دفعات مکرر و در مدت زمان محدود موتور را روشن و خاموش کنیم عبور همین مقدار جریان زیاد سبب گرم شدن سریع سیم پیچی می شود. به همین علت فاصله زمانی بین دو دفعه روشن و خاموش کردن یک مقدار حداقلی دارد که در جدول ۱

نشان داده شده است. مثلاً" برای الکتروموتور مذکور در مثال بالا این مقدار ۴ دقیقه هست. اگر در فاصله زمانی ۴ دقیقه بیش از دو بار موتور را روشن و خاموش کنیم این عمل باعث گرم شدن بیش از حد سیم پیچی و آسیب دیدن عایق آن می شود و در نهایت در صورت تکرار، باعث سوختن سیم پیچی می شود.

۲- گشتاور خروجی با توان دوم ولتاژ نسبت مستقیم دارد. مثلاً" در اتصال ستاره- مثلث چون در حالت ستاره ولتاژ به نسبت  $\sqrt{3}$  کاهش می یابد مقدار گشتاور به نسبت  $1/3$  کم می شود.

هم چنین در راه اندازی توسط اتوترانسفورمر چون ولتاژ به نسبت  $0/7$  برابر ولتاژ نامی کم می شود، به همین جهت گشتاور نیز به نسبت  $0/49$  برابر گشتاور نامی کاهش می یابد. لذا کاهش ولتاژ باعث کاهش گشتاور نامی و به همین نسبت باعث کاهش دور الکتروموتور می شود.

۳- در ولتاژ ثابت با افزایش فرکانس جریان کاهش و با کاهش فرکانس جریان افزایش می یابد. در شکل (۳) منحنی گشتاور جریان بر حسب دور یک الکتروموتور برای فرکانسهای ۵۰ و ۶۰ هرتس ترسیم شده است.



شکل ۳- مشخصات موتور برای فرکانسهای ۵۰ و ۶۰ هرتس

۴- افزایش ولتاژ باعث کاهش جریان الکتروموتور و افزایش جریان مغناطیس کننده و در نتیجه افزایش تلفات آهنی و آنهم باعث افزایش درجه حرارت الکتروموتور می شود. کاهش ولتاژ باعث افزایش جریان و در نتیجه افزایش تلفات اهمی استاتور و آنهم باعث گرم شدن سیم پیچی الکتروموتور می شود.

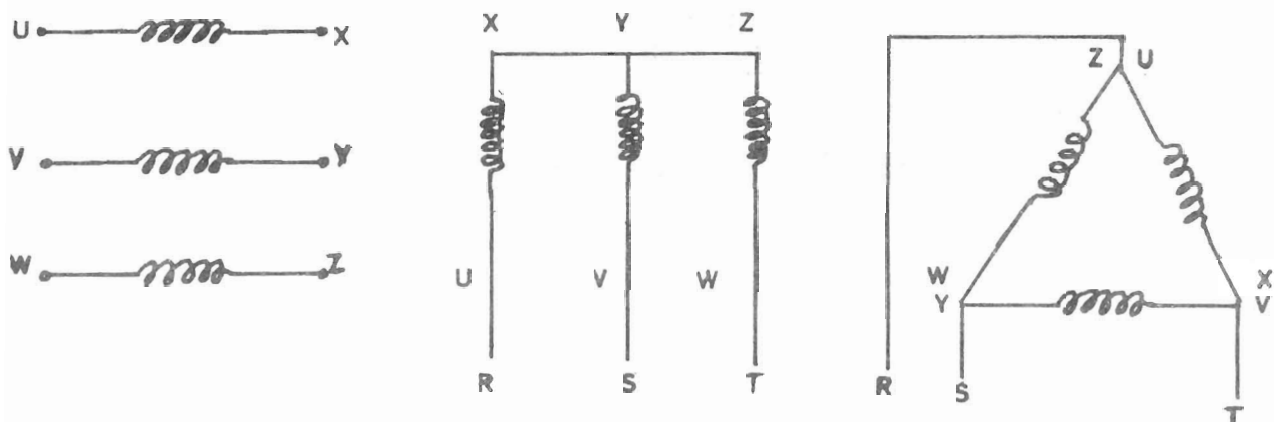
بطوری که ملاحظه می شود، افزایش و کاهش ولتاژ سبب گرم شدن سیم پیچی و بدنه<sup>۶</sup>

آهنی استاتور می‌شود که اگر این تغییرات ولتاژ بیش از حد مجاز باشد باعث سوختن سیم‌پیچی خواهد شد. حداکثر تغییرات مجاز ولتاژ  $\pm 5\%$  ولتاژ نامی الکتروموتور بوده، و در این حدود، سایر مشخصات الکتروموتور تقریباً " ثابت می‌ماند.

عملاً، در شبکه برق بیشتر با افت ولتاژ مواجه هستیم لذا جهت حفاظت در مقابل سوختن سیم‌پیچی لازم هست الکتروموتور در مقابل افت ولتاژ حفاظت شود.

در مورد حفاظت الکتروموتور و نیز اتوماسیون بعداً به‌طور مفصل بحث خواهد شد. اتصال الکتریکی: سیم‌پیچی الکتروموتورهای شناور سه‌فاز، از سه کلاف مجزا از هم تشکیل یافته است هر کدام این کلافها دارای دو ترمینال خروجی بوده که مجموعاً " شش ترمینال توسط دو کابل سه رشته‌ای به طول حدود ۱۰ متر از الکتروموتور خارج می‌شوند. حروف  $U_1$  و  $V_1$  و  $W_1$  ابتدای کلافها و  $U_2$  و  $V_2$  و  $W_2$  انتهای کلافها را مشخص می‌کند ممکن است در بعضی الکتروموتورها ابتدای کلافها، با حروف  $U$  و  $V$  و  $W$  و انتهای آنها با حروف  $X$  و  $Y$  و  $Z$  مشخص شوند.

برای اتصال ستاره کافی است که سه ترمینال انتهایی را بهم متصل کرده و به سه ترمینال ابتدایی سه فاز شبکه را وصل کنیم در اتصال مثلث  $U_1$  با  $V_1$  و  $W_2$  با  $U_2$  و  $W_1$  با  $V_2$  بهم متصل، سپس سه فاز شبکه را به سه نقطه اتصال وصل می‌کنیم.



ترمینال‌های موتور

اتصال ستاره

اتصال مثلث

شکل (۴) اتصال الکتریکی

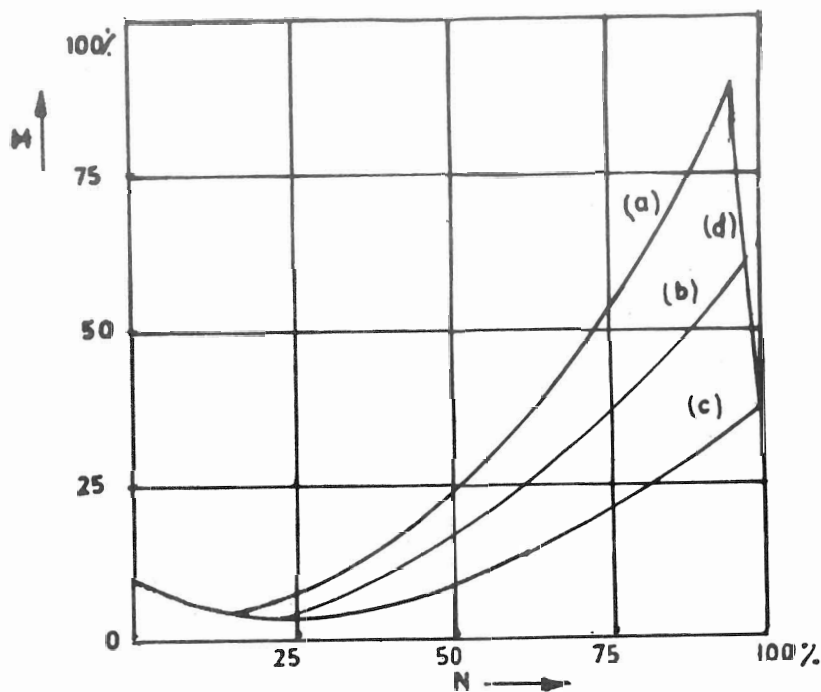
برای تغییر جهت گردش دور موتور کافی است جای دو فاز عوض شود.

روش‌های راه‌اندازی الکتروموتورهای شناور:

روش‌های راه‌اندازی الکتروموتورهای شناور:

گشتاور راه‌اندازی پمپ‌های سانتریفیوژ نسبتاً کم است و به همین علت می‌توان از الکتروموتورهای قفس‌سنجایی به راحتی استفاده کرد. اصطکاک گلندها به خصوص در پمپ‌های

کوچک، گشتاور راه اندازی پمپ را زیاد می کند. مثلاً" برای پمپ های کوچک این مقدار حدود ۲۰٪ گشتاور نامی پمپ هست. بعد از راه اندازی گشتاور پمپ افت کرده و از منحنی گشتاور، سرعت پمپ، تبعیت می کند. در پمپ های شناور به خاطر نبودن گلندها، مقدار گشتاور راه اندازی کمتر از پمپ های معمولی بوده و در حدود ۱۰٪ گشتاور نامی پمپ هست. شکل ۴ منحنی گشتاور - دور پمپ های شناور را در حالت های مختلف نشان می دهد.



شکل ۵ منحنی گشتاور - دور پمپ های شناور

منحنی  $\alpha$  حالتی را نشان می دهد که پمپ راه اندازی شده و در لوله خروجی آب وجود ندارد. به خاطر نبودن فشار آب در لوله ( $H_0 = 0$ ) پمپ با حداکثر دبی خود کار می کند و در این حالت گشتاور زیادی لازم دارد. تا موقعیکه لوله خروجی بطور کامل از آب پر نشده است الکتروموتور جریان بیشتری از جریان نامی خود می کشد.

در حالتی که لوله خروجی پر از آب بوده و شیر خروجی بسته باشد به محض روشن کردن موتور قبل از اینکه پمپ به نتواند آب بدهد، موتور پمپ به سرعت نامی خود می رسد. سپس شیر خروجی را به آرامی باز می کنیم، به طوری که پمپ با دبی نامی خود کار کند، در این صورت منحنی  $\beta$  مشخصات پمپ های متوسط را و منحنی  $\gamma$  مشخصات پمپ های کوچک را نشان می دهد. منحنی  $\delta$  مرحله باز شدن شیر خروجی را نشان می دهد.

به طوری که از شکل ۱ (منحنی گشتاور و جریان بر حسب دور) ملاحظه می شود جریان راه اندازی در حدود ۶ برابر جریان نامی هست. این جریان زیاد در لحظه راه اندازی به خصوص در الکتروموتورهای بزرگ باعث افت ولتاژ شدید در شبکه می شود افت ولتاژ ناشی

از جریان راه‌اندازی علاوه از اثرات نامطلوبی که در سایر مصرف‌کننده‌های الکتریکی دارد، ممکن است گشتاور راه‌اندازی موتور را آن قدر کاهش دهد که موتور نتواند پمپ را به حرکت درآورد.

هم‌چنین انتخاب کابل، وسائل قطع و وصل، ترانسفورماتور قدرت و دیزل ژنراتور با توجه به مقدار زیاد جریان راه‌اندازی مقرون به‌صرفه نخواهد بود.

به‌همین جهت برای کاهش جریان راه‌اندازی، روشهای مختلفی بکار می‌رود که ذیلاً به توضیح آنها می‌پردازیم.

الف - راه‌اندازی مستقیم:

مقادیر جریان و گشتاور طبق منحنی‌های شکل ۱ هست. با توجه به مقدار زیاد جریان راه‌اندازی، این روش برای الکتروموتورهای شناور تا قدرت ۷/۵ کیلووات بکار می‌رود. در این الکتروموتورها یک کابل سه‌سیمه از داخل موتور خارج شده است.

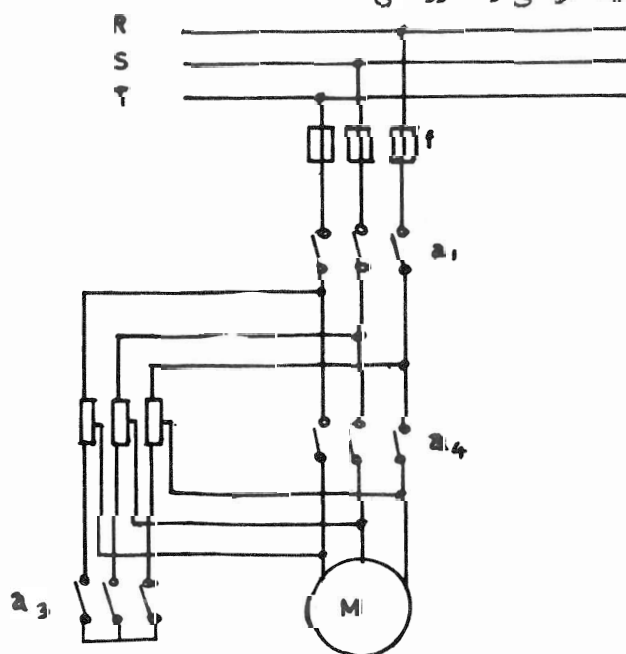
با وصل کردن این سه‌سیم به سه‌فاز شبکه توسط کلید مناسب، اتصال مستقیم انجام

می‌گیرد.

ب - راه‌اندازی توسط اتوترانسفورمر:

طبق شکل ۶ هنگام راه‌اندازی ولتاژ خروجی ترانسفورمر را به ۷۰٪ ولتاژ نامی الکتروموتور کاهش می‌دهیم. در این موقع گشتاور راه‌اندازی به ۴۹٪ گشتاور نامی و جریان راه‌اندازی به ۲/۸ الی ۳/۴ برابر جریان نامی می‌رسد. مقادیر دقیق جریان راه‌اندازی در جدول ۱ داده شده است.

بطوریکه در شکل ۵ ملاحظه می‌شود یک ولتاژ تقلیل‌یافته به ترمینالهای موتور اعمال می‌شود. وقتی دور موتور به ۹۰٪ دور نامی خود رسید اتصالات طوری تغییر می‌یابند که اتوترانسفورمر از مدار قطع شده و ولتاژ تغذیه کامل به موتور اعمال می‌شود. وسیله انجام این عمل ممکن است کلید هوایی و یا روغنی باشد.



( شکل ۶ )

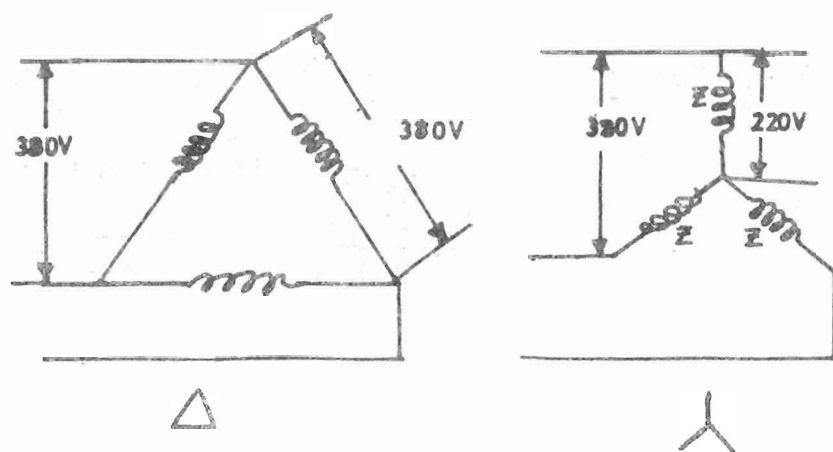
شکل (۶) مدار الکتریکی راه‌اندازی، توسط اتوترانسفورمر را نشان می‌دهد. ابتدا کلیدهای  $A_1$  و  $A_3$  وصل می‌شود، در این حالت توسط اتوترانسفورمر ۷۰٪ ولتاژ نامی به الکتروموتور اعمال می‌شود، وقتی الکتروموتور دور گرفت و به ۸۰٪ الی ۹۰٪ دور نامی خود رسید کلید  $A_3$  قطع و کلید  $A_4$  وصل می‌شود و الکتروموتور با ولتاژ نامی خود به کار ادامه می‌دهد.

ب- راه‌اندازی ستاره - مثلث:

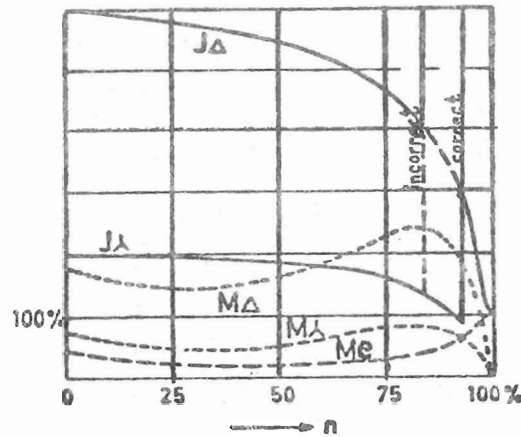
این روش برای الکتروموتورهایی امکان پذیر هست که سیم بندی استاتور آنها در حالت کار دائم موتور، به صورت مثلث، بسته و ولتاژ خط روی آن اعمال شود. مثلاً در سیستم سه فاز ایران ولتاژ خط، ۳۸۰ ولت هست لذا الکتروموتور باید در حالت مثلث و کار داریم، برای سه فاز ۳۸۰ ولت، طرح شده باشد.

در صورتیکه چنین الکتروموتوری را بصورت ستاره به شبکه وصل کنیم ولتاژ دوسر هریک از سیم پیچی‌ها به مقدار  $\frac{U}{\sqrt{3}}$  کاهش می‌یابد، طبق گفته‌های قبلی مقادیر گشتاور و جریان راه‌اندازی به نسبت  $\frac{1}{3}$  مقادیر نامی کم می‌شوند. بعد از دور گرفتن الکتروموتور و اتمام زمان گذرا توسط رله زمانی، اتصال از حالت ستاره به مثلث تبدیل می‌شود. در این موقع مقدار جریان با کمی جهش به مقدار نامی خود می‌رسد و الکتروموتور در نقطه نامی خود به کارش ادامه می‌دهد.

تمامی الکتروموتورهای شناور بیش از ۷/۵ کیلووات ساخت شرکت پمپیران، قابل راه‌اندازی با روش ستاره مثلث هستند.



نکته مهم در راه‌اندازی با روش ستاره - مثلث ، انتخاب مناسب زمان تبدیل ستاره به مثلث هست به طوری که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود اگر این مدت زمان کم باشد در موقع تبدیل از ستاره به مثلث باز هم مقدار زیادی جریان راه‌اندازی وجود خواهد داشت و در صورتیکه این عمل‌کند انجام گیرد مقدار جریانی که از داخل سیم پیچی ، حین کار در حالت ستاره ، عبور می‌کند بیشتر از جریان نامی موتور بوده و باعث گرم شدن و آسیب دیدن سیم پیچی خواهد شد .



شکل ۸- انتخاب زمان صحیح ستاره مثلث

مناسب‌ترین زمان برای عمل‌کرد رله‌زمانی کلیه ستاره - مثلث ، برای الکتروموتورهای شناور ۳ الی ۴ ثانیه هست . ادامه دارد

#### فهرست منابع

- 1- SCHANS "SUMERSIBLE PUMPS" KSB PUBLICATIONS R.3300,01E, 1980
- 2- FITZGERALD" ELECTRIC MACHINERY" MC GROW- HILL BOOK
- 3- LEXICON" CENTRIFUGAL PUMP" KSB PUBLICATION
- 4- ELECTRICAL HANDBOOK " SIEMENS PUBLICATION
- 5- SWITCHGEAR MANUAL" BBC PUBLICATION 1978

