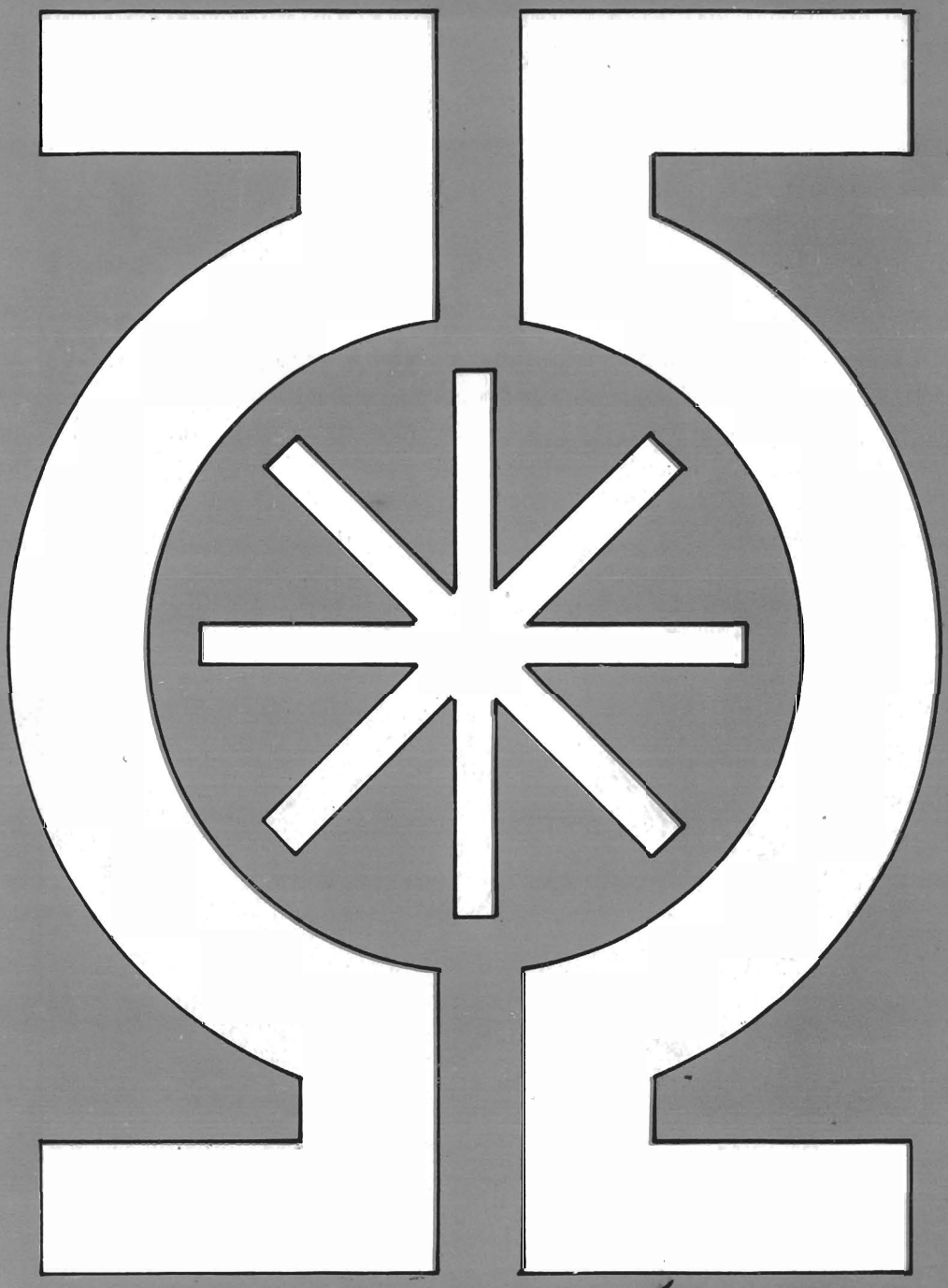
PUMPIRAN
پمپیران

پمپ



نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ سازی ایران

۱

شهریور ۱۳۶۳

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

پمپ

مجلهٔ پمپ
نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران
هیئت تحریریه : گروه مهندسین و متخصصین شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران
مدیر مسئول : مهندس علی وکیلی تهامی

آدرس نشریه ــ تبریز ــ قراملک ــ مجتمع ماشین‌سازی تبریز ــ شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران ــ دفتر فنی

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

شماره ۱ شهریور ۱۳۶۳

فهرست مطالب

دیباچه

سخنی با خوانندگان

نیروی محوری وتعادل آن درپمپهای سانتریفیوژ یک‌طبقه — دکتر احمد نوربخش

آشنائی با تکنولوژی NC — مهندس غلامرضا پاکدل

ضربت قوچی آب در خطوط انتقال مایعات و ایستگاههای پمپاژ . — دکتر حمید نشان

روش انتخاب پمپهای سانتریفیوژ برای مصارف آبرسانی . — مهندس علی‌وکیلی تهامی

الکترو موتورهای شناور و کاربرد آنها . — مهندس رحیم خانی

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

" بسم الله الرحمن الرحیـم "

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 حرکتـی در مایعات به وجود آورده و در مکان مورد نیاز مورد استفاده قرار دهد .

در ایران ، ساخت تلمبه‌های دستی برای جابجائی آب از سالهای بسیار قبل شروع و در واقع اولین قدم برای ساخت ماشینی به‌نام پمپ برداشته شد . امروزه ، صنعت ساخت این ماشین دردنیا با بیش ازچهارمیلیون 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 درایران تافته جدابافته از دیگر صنایع کشور نبوده و علی‌رغم قدمت ، به واسطه سیاستهای غلط وارداتی گذشته و عدم وجود هیچگونه استاندارد مشخص ساخت ، سیر تکوینی را نپیموده و حتی در بعضی موارد دچار اختلالاتی سیر شده و سیر نزولی را طی کرده است .

اولین اقدام اصولی برای ساخت پمپهای گریزازمرکززمینی درسال ۱۳۵۱ در " شرکت ماشین‌سازی تبریز " انجام گرفت و چند تیپ از این گونه پمپها در خط تولید کامل ، بـا رعایت کلیه اصول تکنولوژیکی ساخت قرار گرفت . سه سال بعد با تأسیس شرکت پمپیران ، قدمهای بلندتری درجهت رشداین صنعت و تربیت کادرنیروی انسانی متخصص برداشته شد . لازم به یادآوریست که تعدادی از موءسسات 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 غیرازچند موءسسه ، 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 درزمینه‌های مختلف کشاورزی ، آبادانی وصنعتی گسترش یافت . درنتیجه باوجودتقلیل واردات ، نیاز به انواع پمپ برای رفع نیازهای فوق افزایش یافت . ولی چنانچه انتظارمی‌رفت برای رشداین صنعت که از اهمیت بسزایی برخوردار است ، هیچگونه برنامه‌ریزی بلندمدت مدونـی که بتواند نیازهای مختلف در بخشهای کشاورزی ، پروژه‌های آبرسانی ، بهداشت محیط وصنایع مختلف شیمیایی و دارویی ، غذایی ، کانی ، سلولزی ، نفت و پتروشیمی راتأمین کند تدوین نشده است . بدیهی است باکمبود 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 نشریه باتوجه به رسالتی که در پیشتازی این صنعت داریم ، آن است که بتوانیم مجموعهٔ یافته‌های خود و پیشرفتهای چشمگیر و روز به روز این صنعت رابه علاقه‌مندان و دست‌اندرکاران ارائه دهیم وحرکتی هرچند اندک درجهت رشدعلمی و فنی اذهان مردم عزیز و شهیدپرور این امت بپاخاسته بنمائیم .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

مقاله‌های علمی ، فنی وآموزشی این نشریه متأثر ازسه سرفصل‌تئوری ، تولید وکاربرد پمپها هست وسعی می‌شود که از پرداختن صرف به مقاله‌های تئوریک اجتناب شود وبیشتر مقاله‌ها درمورد تولید پمپها و کاربرد آنها باشد . به این امید که بتوانیم به سازندگان کوچک و دست‌اندرکاران کاربرد پمپها آموزشهای لازم را بدهیم .

ماخود برآنیم که کیفیت این نشریه را هرچه پربارتر کرده و ترتیبی اتخاذ کنیم که این نشریه بتواندمنعکس کننده انواع تجربیات علمی‌وعملی متخصصین‌دراین صنعت‌باشد. امید است دراین راه ، این شرکت راباراهنماییهای‌مفید خودیاری‌کرده تا به‌لطف خداوند بتوانیم عاملی به وجودآوریم در جهت پیشرفت این صنعت مهم در حکومت‌نوپای خود .

والسلام

محسن لطفی

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

سخنی با خوانندگان

در ایران، سالانه مقدارهنگفتی سرمایه ونیروی‌انسانی صرف‌ساخت، واردات، نصب، تعمیر و نگهداری پمپهای مختلف می‌شود. ولی با این همه، کمبود این نوع محصول دربازار کاملا" احساس می‌شود ومصرف‌کنندگان با مشکلات زیادی روبرو هستند چرا که بسیاری از پمپهای وارداتی در همان مرحلهٔ نصب یا اندکی بعد از آن به‌علت رعایت نکردن اصول فنی صحیح در مورد انتخاب و نصب دچار اشکال می‌شوند و احتیاج به‌تعمیر پیدا می‌کنند و دراین‌مرحله نیز به‌علت تعمیرات غلط، عمر مفید دستگاه به‌یک‌دهم عمر طراحی شده کاهش پیدا می‌کند و پمپی که باید ده سال کار کند یک سال بیشتر نمی‌تواند بهره‌دهی داشته باشد.

اکثرپمپهای‌ساخت‌کارگاههای‌کوچک‌ایران نیز، به‌علت‌رعایت‌نکردن‌اولیه‌ترین اصول طراحی هیدرولیکی و مکانیکی، خیلی زودتر از مشابه‌های خارجی‌خود دچار اشکال فنی می‌شوند. دراین‌مورد ما مواجه هستیم با یک سری از تولیدکنندگان پمپ که حتی علت‌اشکال فنی محصول‌ساخت خودشان‌را هم‌نمی‌دانند و تولیدکنندگانی هم که به‌نحوی همهٔ این اطلاعات در دسترسشان قرار داشته‌باشد به‌علت نداشتن دید وسیع صنعتی و واردنبودن درامر تولید، نمی‌توانند سطح تولیدخودرا نسبت به‌تقاضای بازار بالا ببرند. این مسائل گوشه‌ای ازمشکلاتی‌است که مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان وسایرافرادی‌که به‌نحوی باپمپ درارتباط هستند باآن روبروهستند. وقوف به‌این مسائل ما را برآن داشت که دست به انتشار نشریه‌ای آموزشی و فنی بزنیم تا به‌وسیلهٔ‌آن بتوانیم مقداری از اطلاعات علمی، فنی و تجربی خود وسایر متخصصین را به‌هم‌میهنان عزیز منتقل بکنیم.

اولین شماره نشریهٔ 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:

۱ــ طراحی مکانیکی (متالوژی، طراحی ماشین) و تولید.

۲ــ طراحی هیدرولیکی (تئوری پمپهای سانتریفیوژ، مشخصات و کارکرد انواع پمپها، قوانین‌متشابه، سرعت مخصوص، طراحی پروانه و محفظه پمپها، نیروهای شعاعی و محوری و کاویتاسیون).

۳ــ کاربرد پمپ (روش انتخاب پمپ، انواع محرکه‌ها و روشهای انتقال‌نیرو، روشهای راه‌اندازی‌پمپها، N P S H، شیر فلکه‌ها، سیستمهای‌حفاظت پمپها و تعمیر و نگهداری).

درخاتمه امیدواریم خوانندگان‌عزیز، باراهنماییهای خود مارا در راه رسیدن به‌این‌هدف یاری دهند وازکلیه استادان ومتخصصین این‌رشته از صنعت می‌خواهیم تا با ما همکاری بکنند.

هیئت تحریریه

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

نیروی محوری و تعادل آن در پمپهای سانتریفیوژ یک طبقه

نوشته: دکتر احمد نوربخش

چکیده:

رابطه‌ای جهت تعیین مقدار نیروی محوری باتوجه به‌اندازه‌های هندسی و دور پمپ همراه با محاسبات مربوطه ارائه شده است. سپس متغیرهائی‌که بیشتر برروی مقدارنیروی‌محوری‌اثر میگذارند معلوم وبالاخره‌رابطه‌ای 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 هریک از راه‌حلها نسبت به‌یکدیگر به‌طورخلاصه‌ذکرشده است. درآخر نتیجه‌می‌شود که از نظر طراحی برآورد دقیق نیروی‌محوری ضروری است و از نظر استفاده‌کنندهٔ پمپ درصورتی‌که فشار لولهٔ مکش و یا دور پمپ از حد مجاز تجاوز کند امکان صدمات احتمالی برای قسمتهای مکانیکی پمپ وجود خواهد داشت.

۱ــ 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 شده‌است وبه‌عنوان خلاصه مطالعات وتجربیات حاصله‌برروی موضوع فوق می‌تواند تلقی شود.

طراحی قسمتهای مکانیکی باید باتوجه به‌دوعامل اساسی یعنی نیروی محوری و نیروی شعاعی وارده به‌محور انجام پذیرد.

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

دراین مقاله سعی می‌شود با فرضیاتی رابطه‌ائی ساده جهت محاسبه نیروی محوری تعیین نمود.

۲ــ علائم بکار رفته:

A سطح برحسب متر مربع.

B ضریب عکس‌العمل (بدون بعد)

C سرعت برحسب متر بر ثانیه

CM سرعت شعاعی برحسب متر بر ثانیه.

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

F نیرو برحسب کیلو گرم 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.

ρ جرم مخصوص برحسب کیلوگرم جرم بر متر مکعب.

ω سرعت زاویه‌ای برحسب رادیان بر ثانیه.

زیرنویسها

o ورود به‌چرخ.

2 خروج از چرخ.

3 خروج از پمپ.

e خارجی

R سمت راست.

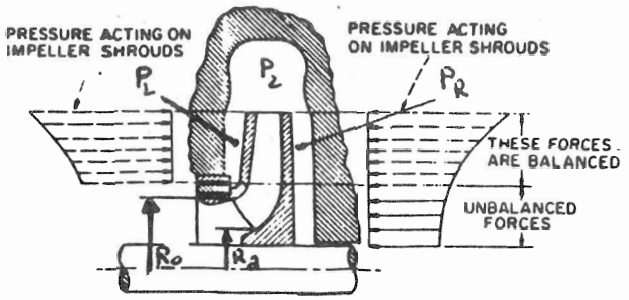
L سمت چپ.

n درجهت عمود بر محور.

۳ـ محاسبه نیروی محوری:

نیروی محوری بنابه‌تعریف، نیرویی‌است که ازمجموعه‌در حال دوران درجهت محور ایجاد می‌شود. چنین نیروی درصورت‌خنثی نشدن‌باعث ایجاد صدمات جدی به قسمتهای مکانیکی پمپ خواهدشد. لذا مقدار آن باید محاسبه و روشهای تعادل آن بررسی گردد.

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



شکل ۱: نیروهای محوری در یک پمپ سانتریفیوژ یک طبقه

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

$$\frac{d}{dt}\int_V \rho\vec{C}\,dv = \Sigma Fe \qquad (1)$$

در رابطه فوق Fe مجموعه نیروی‌های خارجی وارده به‌سیستم است. بااستفاده از رابطهٔ عمومی سیستمهای باز (*) [1]

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

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

در رابطهٔ فوق C_n سرعت عمود بر سطح A است. اگر فرض کنیم پمپ در رژیم اصلی خود کار کند یعنی سرعت نسبت به‌زمان دریک‌نقطهٔ ثابت‌همواره ثابت باشد، دراینصورت جملهٔ اول رابطهٔ فوق صفر می‌شود. در جملهٔ دوم سطح A محدود به‌سطح چرخ می‌شود. انتگرال فوق را برروی سطح A محاسبه می‌کنیم دراین‌صورت سرعت C_n در دهنهٔ ورودی، برابر باسرعت مطلق ورودی سیال به چرخ درجهت محور CM1 و درخروج برابر باسرعت مطلق خروجی سیال درجهت شعاع یعنی CM2 است. برروی سطوح جانبی چرخ سرعت C_n برابر باصفراست. بنابراین جملهٔ دوم رابطهٔ (۲) به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\int_A (\rho\vec{C})\cdot C_n\cdot dA = \int_{A_2}\vec{C_2}\cdot\rho\cdot CM_2\,dA_2 - \int_{A_o}\vec{C_o}\cdot\rho\cdot CM_o\cdot dA_o \qquad (3)$$

مقدار $dm = \rho\cdot CM\cdot dA$ جرم عبوری از چرخ است وبنابراین به‌طورخلاصه‌میتوان نوشت:

$$\int_{A_2}\vec{C_2}\,dm - \int_{A_o}\vec{C_o}\,dm = \Sigma Fe \qquad (4)$$

نیروهای خارجی وارده بر سیستم عبارتنداز:

- نیروهای فشاری که برروی دیواره‌های خارجی چرخ، اثر می‌کند (P_R , P_L)
- نیروهای فشاری که برروی سطح ورودی و خروجی وارد می‌شوند (P_o , P_2)

(*) [1] اعداد داخل گروشه صرف مأخذ استفاده شده و در آخر مقاله آمده‌است.

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

ـ بالاخره نیروی عکس‌العمل درجهت محور جهت برقراری تعادل ($-F$) حال با فرض این‌که پمپ کاملا" سانتریفیوژ است محاسبات را دنبال می‌کنیم.
دراین‌صورت 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 :

$$\int_{A_o} C_o \; dm = \int_{R_o}^{R_2} 2\pi R \; P_R \cdot dR - \int_{R_o}^{R_2} 2\pi R \; P_L \; dR - \pi (R_o^2 - R_a^2) P_o - F \qquad (5)$$

فرض می‌کنیم سرعت C_1 در روی قسمت ورودی ثابت باشد دراین‌صورت :

$$\int_{A_o} C_o \; dm = \rho Q C_o = \rho \pi (R_o^2 - R_a^2) C_o^2 \qquad (6)$$

از طرفی نیروهای فشاری P_L و P_R 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 (۶) و (۷) در رابطه (۵) و مرتب و ساده‌کردن رابطه مقدار نیروی محوری F به‌صورت زیر قابل محاسبه است :

(3)

$$F = \pi (R_o^2 - R_a^2) \left[(P_2 - P_o) - \rho \left(C_o^2 + \frac{U_2^2}{8} - \frac{U_o^2 + U_a^2}{16} \right) \right] \qquad (8)$$

از رابطه فوق باداشتن اندازه‌های هندسی و دور چرخ می‌توان مقدار نیروی محوری را محاسبه‌کرد. همان‌طوری که ملاحظه‌می‌شود برای چرخ‌های بادهنه‌ورودی بزرگ و همچنین برای پمپهایی که اختلاف فشار ورودی و خروجی آنها زیاد است، مقدار نیروی محوری قابل توجه است.

به‌عنوان اولین تقریب می‌توان با صرفنظرکردن از جملات درجه دوم نیروی محوری را به‌صورت زیر محاسبه کرد :

اختلاف فشار ورودی و خروجی پروانه × سطح ورودی پمپ =

$$F = \pi (R_o^2 - R_a^2)(P_2 - P_o) \qquad (9)$$

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

از طرفی ارتفاع مفید تولیدی پمپ برابر است با :

$$H = \frac{P_3 - P_o}{\rho \cdot g} + \frac{C_3^2 - C_o^2}{2g} + Z_3 - Z_o \quad (10)$$

دوجمله آخر نسبت به‌جمله اول معمولا" قابل صرفنظر است . از طرفی ضریب عکس‌العمل پمپها بین۰/۷ تا۰/۹ تغییر می‌کند . ضریب ۰/۹ برای پمپهای بازاویه کوچک خروجی پروانه وضریب۰/۷ برای‌پمپهای بازاویه بزرگ‌خروجی بکار می‌رود .

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

دراین‌صورت رابطه (۱۰) به‌شکل زیر نوشته می‌شود :

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

با جایگزینی مقدار (۱۱) دررابطه (۹) نیروی محوری به‌صورت تقریبی زیر در نقطه کار ماشین قابل محاسبه است :

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

اگر سطح ورودی را با A_0 نشان دهیم :

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

درصورتی‌که سطح دهنه ورودی در دست نباشد و بخواهیم حدودی از نیروی محوری را به‌طور سریع در ذهن مجسم کنیم یا در اصطلاح عام جهت محاسبات سرانگشتی رابطه فوق را میتوان به‌طریق زیر ساده‌تر کرد :

سرعت ورودی سیال به پمپ را در حدود 2.5 = CM متر بر ثانیه فرض می‌کنیم . دراین‌صورت دررابطه (۲-۱۲) مقدار $\frac{Q}{2.5}$ را به‌جای A_o قرارمی‌دهیم :

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

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

درمورد آب خالص $\rho = 1000$ کیلوگرم بر متر مکعب است و رابطه 12 – 3 به‌صورت رابطه تقریبی زیر نوشته میشود .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

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

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 به‌دست می‌آید.

از روابط ۱–۱۲ الی ۴–۱۲ می‌توان مقدار نیروی محوری را با تقریب و از رابطه (۸) با دقت کافی محاسبه کرد.

تذکر: رابطه (۴–۱۲) براساس محاسبه سرعت ورودی CM1=۲/۵ متر برثانیه به‌دست 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 وطرف مقابل مکش از طریق رینگهای آببندی به آتمسفر مربوط شود، امکان معکوس‌شدن جهت نیروی محوری وجود دارد. درچنین حالتی ودرصورت عدم پیش‌بینیهای لازم درطراحی پمپ، نیروهای محور وبلبرینگها درمعرض خطر جدی قرار می‌گیرند. توصیه می‌شود با سازندگان پمپ دراین مورد حتماً تماس حاصل شود.

۴–تشابه درکار

محاسبات مربوط به نیروی محوری به‌طراحان پمپ مربوط می‌شود. لیکن توجه به‌بعضی نکات جهت استفاده‌کنندگان پمپ نیز ضروری است. فرضاً اگر دور پمپ تغییر کند مقدار نیروی محوری به‌چه میزان تغییر می‌کند؟

در پاسخ به‌این سئوال مسئله کلی تشابه در کار دو پمپ در خصوص نیروی محوری را که حالت‌کلی است مورد بررسی قرارمی‌دهیم اگر دو پمپ از نظر هندسی مشابه‌باشند وبه‌طور مشابه کار کنند، [3] ضریب ارتفاع هندسی برای هردوپمپ برابر و طبق رابطهٔ زیر نوشته می‌شود.

$$X = \frac{g H}{U_2^2}$$

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

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

$$F \sim \rho \cdot N^2 \cdot D^4 \qquad (۱۴)$$

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

توجه!! بالابردن 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 .

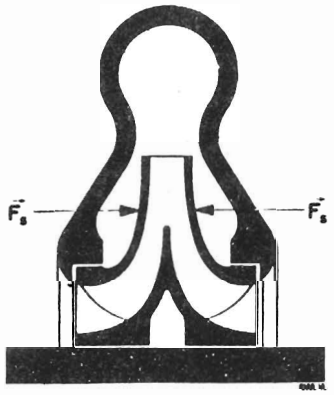
درطراحی پمپ و یا کپی‌کردن یک پمپ از روی پمپ دیگر ، درصورت‌تغییر قطر پروانه نیروی محوری باتوان چهارم تغییر و پیش‌بینیهای لازم ازاین نظر ضروری است .

۵ ـ تعادل نیروی محوری

تعادل نیروی‌محوری برای‌پمپهای کوچک باانتخاب‌بلبرینگ‌مناسب امکان‌پذیر است . برای‌پمپهای بزرگ‌چنین امکانی وجود ندارد وباید ازراه‌حلهای هیدرولیکی استفاده کرد . گرچه توصیه می‌شود حتی برای پمپهای کوچک نیز نیروی محوری را به‌صورت هیدرولیکی متعادل ساخت .

در شکلهای (۴ و ۳ و ۲) سه‌راه‌حل معمول پیشنهاد گردیده وچون دراغلب کتب [4] توضیح کافی دراین‌مورد وجود دارد لذا به‌طور مختصر به‌این‌مسئله اشاره می‌شود .

راه حل اول : پروانه با دو دهنه ورودی ساخته می‌شود . دراین‌صورت نسبت به محور y ها همواره نیروهای محوری متقارن بوده ومنتجه آنها صفر است . شکل (۲)



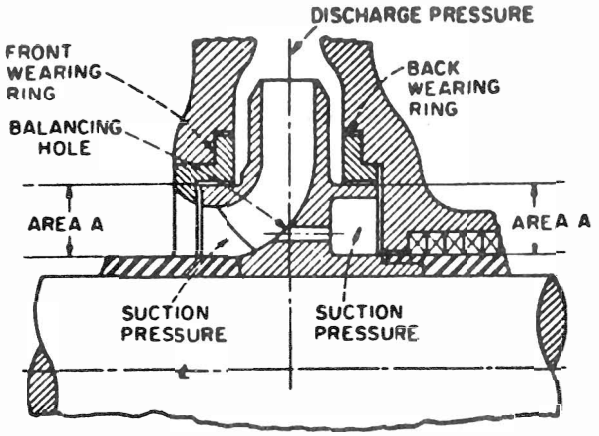
شکل ۲ : پروانه با دو دهنه ورودی

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

حسن این راه‌حل ، تقارن نیروهای محوری در هرشرایط و عیب آن، پیچیدگی طراحی لوله کش است .

راه حل دوم : پشت پروانه و بین هردو پره را سوراخ می‌کنیم و اطاقی به‌نام اطاق تعادل باایجاد زائدائی دورانی در پشت پروانه به‌وجود می‌آوریم. دراین‌صورت فشار در اطاق تعادل تقریبا" برابر بافشار ورودی پمپ می‌شود .لیکن حدود۱۵ تا ۲۰ % ازنیروی محوری باقی خواهد ماند که توسط بلبرینگها باید خنثی شود .

حسن این‌راه‌حل سادگی آن و عیب‌آن افزایش دبی نشتی داخلی و درنتیجه کاهش راندمان پمپ به‌میزان ۲–۱ % است . شکل (۳)

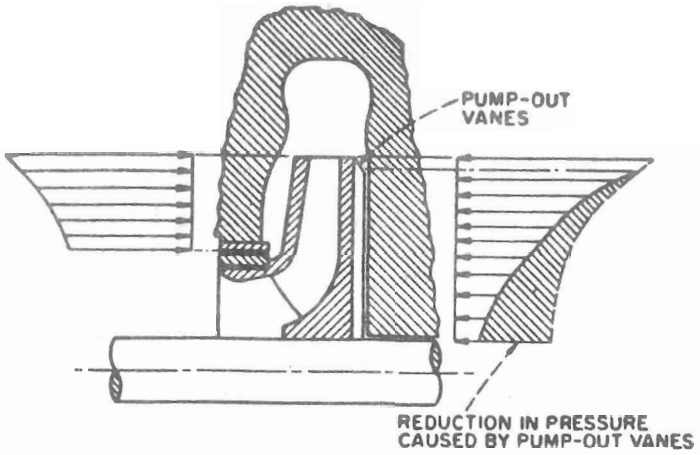


شکل ۳ . پروانه بااطاق تعادل

راه حل سوم : در پشت پروانه پره‌های شعاعی ایجاد می‌کنیم . در حقیقت چرخی با دبی کم در پشت پروانه ایجاد می‌شود . دبی نشتی برگشتی از پشت پروانه ، به‌وسیله این پره‌های شعاعی دوباره به‌طرف محفظه حلزونی رانده و درنتیجه فشار پشت پروانه کاهش می‌یابد . دراین صورت نیز درصد کمی از نیروی محوری باقی خواهد ماند .

حسن این راه‌حل افزایش راندمان و عیب آن افزایش کارهای مکانیکی است .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]



شکل ۴: پروانه با پره‌های شعاعی از پشت

۶ـ نتیجه:

از دیدگاه طراحی، محاسبه نیروی محوری حتما" باید به‌طور دقیق و بااستفاده 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 پمپ‌تحت فشار قرار گیرد، امکان تعویض جهت نیروی محوری و درنتیجه ایجاد صدمه به قسمتهای مکانیکی وجود خواهد داشت. دراین‌مورد مشاورت با سازنده پمپ ضروری است.

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

1) P. GLANSDOFF — BASES DE LA THERMODYNAMIQUE DES SYSTEMES OVVERTS 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 ـ احمد نوربخش: جزوه توربو ماشین‌های آبی ـ دانشکده فنی دانشگاه تهران

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

ماشینهای ابـزار NC

نوشته : مهندس غلامرضا پاکدل

اقتباس از سمینار ماشینهای NC

چکیده : در این مقاله درمورد ماشینهای ابزار که بطریق NC کنترل می‌شوندبحث شده ونکاتی درمورد مقایسهٔ این نوع ماشینها باماشینهای معمولی ذکرمی‌گردد و مواردااستعمال این نوع ماشینهادر صنعت امروز ونقش آنها در بالا بردن راندمان تولید موردبررسی قرار می‌گیرد .

آشنائی با تکنولوژی NC

۱ ــ تعریف NC

انجمنهای صنایع الکترونیک NC را اینطور تعریف می‌کند : " سیستمی کـه درآن هر عمل توسط قراردادن اطلاعات عددی کنترل می‌شود " به بیان دیگرNC یعنی کنترل به وسیله اعداد .

اطلاعات‌ورودی‌برای کنترل کردن ماشین ابزارNC از طریق نوار کاغذی منگنـه شده دراختیار ماشین قرارمی‌گیرد . این اطلاعات شامل یکسری عدد است‌که به زبان مخصوص ماشین نوشته شده‌اند .

۲ ــ شرح قسمتهای اصلی

قسمتهای اصلی در ماشینهای ابزار NC عبارتند از :

الف ــ قسمت سیستم کنترل

دستورالعمل های نوار کاغذی توسط دستگاه " نوارخوان" خوانده می‌شودو به‌وسیله عملیات الکترونیکی به علایم الکتریکی تبدیل می‌شود .

ب ــ جعبه مغناطیس

دستورهایی که به جعبه معناطیس فرستاده‌می‌شود ،اعمالی نظیرشروع و توقف موتور محور اصلی ، انتخاب سرعت محور اصلی ،کنترل قطع و وصل مایع خنک‌کن و تعویض ابزار را انجام می‌دهد .

ج ــ واحد گرداننده

علایمی که به واحدهای گرداننده‌فرستاده‌می‌شود ،طول حرکت وبار مناسب را تعیین می‌کند .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

د ــ 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 بادستور ورودی مقایسه می‌شود و واحدگرداننده بکار می‌افتد تا تفاوت این دو را به صفر برساند .

هـ ــ واحد کنترل دستی

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

و ــ ماشین ابزار

این قسمت همان ماشین‌معمولی است که قطعه کارروی آن بسته‌می‌شودو براده‌برداری لازم انجام می‌شود .

۳ ــ 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 ، ازماشین مورد درحواست است ، تفاوت قیمت‌به‌چندین برابر سیر می‌رسد .

۴ ــ موارد استعمال ماشینهای NC

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

الف ــ تولید قطعات دقیق با تعداد کم یا متوسط (از یک تا ۸۰ قطعه در رور) .

ب ــ تولید قطعات پیچیده با تعداد کم . مثلا " قطعاتی که بـه تعداد زیاد ، عملیات سوراخکاری احتیاج داشته باشند (تعداد ۶ تا ۲۰ قطعه در روز) .

ج ــ قطعاتی که در طرح آنها اغلب تغییراتی داده می‌شود .

د ــ قطعات پیچیده که احتمال اشتباه کارگر در ماشین‌کاری معمولی زیاد است .

هـ ــ وقتی هزینه ابزار مخصوص و قید و بستها در ماشینکاری معمولی زیاد است مثلا " بـا استفاده ازماشینهای‌سوراخکاری NC با ابزارگردنده (TOOLmagazine) برای تولید قطعات دقیق به تعداد کم‌هزینه خیلی پایین‌می‌آید . چون شابلونهای سوراخکاری جای خود را به نوارهای کاغذی می‌دهند .

و ــ جایی که بخواهیم زمان پیشرفت کار را کم کنیم . زمان پیشرفت کار Lead Time عبارتست از زمان بین اتمام طرح قطعه‌واتمام ساخت قطعه . این زمان شامل طرح قیـد و بستها ، شابلونها ، تهیه تکنولوژی و همچنین زمان ساخت می‌شود .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

۵ ــ مزایای اقتصادی ماشینهای NC

اگرچه سرمایه‌گذاری اولیه‌برای ماشین NC درمقایسه باماشین معمولی زیاد است‌ولی هزینه کلی تولید با این ماشینها کمتر است. بعضی از مزایای اقتصادی ماشینهای NC به شرح زیر هستند.

الف ــ قطعات قراضه کمتر: در این ماشینهاخطر اشتباه اوپراتوروجود نداردودقت ماشین ثابت است. این دقت درنتیجه استعمال نوارهای امتحان شده و همچین قابلیت ماشین‌هایNC برای بدست آوردن تلرانس دقیق موردنظر است. به عنوان مثال در یک مورد بخصوص که قرار بود یک قطعه با ۱۹۵ سوراخ، سوراخکاری شده و سپس برقو زده‌شود با استفاده از ماشین مته NC به جای ماشین مته رادیال، قطعات قراضه از ۱۶ درصد به صفر کاهش یافت.

ب ــ زمان پیشرفت کارکمتر: قطعات رامی‌توان با ماشینهایNC در زمان کوتاهتری تولید کرد چون هم زمان تنظیم و هم‌زمان تهیه نوار کم است. در یک مورد بخصوص در یک کارخانه سازنده پمپ‌که یک ماشین NC بادومحورخریداری کرده‌بودند، زمان پیشرفت کار به ۷۵ درصد کاهش یافت.

ج ــ تعییر با هزینه کم: وقتی لازم است در طرح قطعه تعییراتی داده شود، این کار را می‌توان به راحتی باتعییر دادن نوار انجام داد. زمان لازم برای این کاردرمقایسه با زمان لازم برای تعییر شابلون یا قیدوبستها به مراتب کمتر است.

د ــ کاهش کار کارگاه ابرارساری: کارگاههای ابزارسازی اغلب بیش از ظرفیت خود کار دارند. ساخت قید وبستها وشابلونهای سوراخکاری، قسمت‌اعظم‌وقت آنهارامی‌گیرد. بکار بردن ماشینهای NC باعث کاهش زمان طرح ابزار مخصوص تا ۷۰ درصد می‌شود زیرا برای ماشینهای NC فقط‌قیدو بستهای ساده لازم است.

هـ ــ عمر بیشتر ابزار: عمر ابزار برش به علت کنترل دقیق سرعت محور و سرعت پیشروی افزایش می‌یابد. دریک مورد بخصوص عمر قلاویری‌که‌روی ماشین NC بکارمی‌رفت، ۱۰ برابر بیشتر از عمر آن روی ماشینهای معمولی بود. این موضوع به خاطر دقت ماشین است که قلاویر را دقیقا" درجایی که باید قرار گیرد، قرار می‌دهد و درنتیجه قلاویر دور تادور به طور مساوی براده‌برداری می‌کند و فرسودگی آن کم می‌شود.

و ــ موجودی کمتر: استفاده از ماشینهای NC اجازه می‌دهد که تولید با تعداد بچ کوچکترصورت‌گیردوهرچه تعدادبچ کوچکترباشد، قطعات‌درحال کار (Work - in progress) کمتر است. یعنی قطعات موجود در کارگاه کم می‌شود.

ز ــ استفاده بهتر از ماشین: ازآنجا که زمان تنظیم (set - up) در اینگونه ماشینها کم می‌گردد، بیشتر وقت ماشین صرف براده‌برداری می‌شود

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

ج ــ احتیاج کمتر به کارگر ماهر : بکار بردن نوارهای NC نیاز به کارگر ماهر بـرای کارهای دقیق پیچیده را از میان برمی‌دارد . به عنوان مثال یـک کارخانـه تولید کننده ماشینهای ابزار با بکار گرفتن ماشینهای سوراخکاری NC برای ماشینکاری کله‌گی Head stock ماشین فرز، فاصله محور به محور سوراخها را بادقت ۶ میکرون درآورد و زمـان لازم حدود ۷۰ درصد کمتر اززمان ماشینکاری روی ماشینهای معمولی‌شد وبعلاوه این دقت ماشینکاری باعث گردید که روزها و هفته‌های اضافی وقت کارگاه مونتاژ صرف اصلاح کردن قطعه نشود .

۶ ــ طبقه‌بندی ماشینهای NC

یکی ازروشهای توصیف‌ماشینهای NC طبقه‌بندی این‌گونه‌ماشینها براساس ویژگیهای سیستم کنترل آن است . سیستم‌های کنترل عمده که از آن استفاده می‌شود عبارتند از :

الف ــ سیستم NC نقطه به نقطه : درسیستم نقطه‌به‌نقطه ،ماشین در موقعیت‌های مخصوصی ماشینکاری می‌کند و وقتی ابزار یا قطعه‌کار از یک نقطه به نقطه دیگرمی‌رودکاری روی قطعه انجام نمی‌دهد .

دربعضی ازماشینهای NC با سیستم نقطه به نقطه ،ابزار روی قطعه کار حرکت‌می‌کند و در بعضی دیگر، میز ماشین درمقابل ابزار برنده حرکت می‌کند ودربرخی از ماشینهای NC ، هم ابزار و هم میز ماشین حرکت می‌کنند درهر کدام از این حالات درمسیری کـه برای رسیدن به یک نقطه بخصوص طی می‌شود ، ماشینکاری انجام نگرفته و ابزار درهنگام حرکت به هر نقطه از قطعه کار به عقب کشیده می‌شود .

ب ــ سیستم NC خط مستقیم : این سیستم درحقیقت توسعه سیستم نقطه به نقطه است که با آن می‌توان درطول یک خط مستقیم فرزکاری کرد . این عمل با حرکتی در یک جهت معین باسرعت پیشروی کنترل شده انجام می‌پذیرد . این سیستم ازماشینهای NC جهت عملیات سوراخکاری ، برقوری ، بورینگ و فرزکاری طراحی می‌شوند .

ج ــ سیستم NC با مسیر پیوسته : در سیستم NC نامسیر پیوسته‌حرکت‌ابزار وقطعه کار درطول محورهای مختلف پیوسته و همزمان و وابسته به یکدیگرند . درنتیجه می‌تـوان پروفیل هاوسطوح منحنی راماشینکاری کرد . برای این‌کاربایستی‌کشویی‌های (slide) مختلف روی ماشین طوری کنترل گردد که وضع و سرعت آنها نسبت به‌هم در هرنقطه وبه طور پیوسته مشخص باشد . ماشینهای تراش NC نمونه ماشینهایی است که باسیستم کنترل پیوسته کـار می‌کنند در ایـن مـاشینها ، یـک میـنی کامپیوتـر به سیستم موقعیت یاب (servo positioning) ماشین متصل شده است .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

۷ ــ سایر روشهای طبقه‌بندی ماشینهای NC

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

الف ــ سیستم‌های حلقه باز open - loop systems

وقتی که یک دستوربه واحد گرداننده فرستاده‌می‌شود که به مقدارمعینی حرکت‌کند، کشویی‌ها به‌آن مقدار حرکت می‌کنند . اما اطمینانی نیست که قسمت‌متحرک (محوریامیز ماشین) به نقطه موردنظر رسیده‌باشد . این سیستم یک سیستم حلقه باز است که موقعیت واقعی، نسبت به موقعیت موردنظر مقایسه نمی‌شود . این سیستمها برای مواردی که دقت زیاد لازم نیست کاملا" مناسب هستند .

ب ــ سیستمهای حلقه بسته closed Loop systems

در سیستم حلقه بسته، هردستور پیوسته با موقعیت واقعی مقایسه شده وتفاوت این دو، یاخطابه یک تقویت‌کننده واردمی‌شود .خروجی تقویت‌کننده روی موتور تأثیرمی‌گذارد تاتفاوت بین دستور ورودی وسیگنال فیدبک موقعیت واقعی به صفربرسد . فیدبک مشخصه اصلی سیستمهای حلقه بسته است . یک ترانسدیوسر Transducer وظیفه فیدبک را عهده‌دار است‌که به طورالکترونیکی علایمی درباره موقعیت‌کشویی‌های ماشین‌می‌فرستد. درسیستمهای پیوسته، کنترل سرعت نیز برای حصول اطمینان از مسیر ابزار یامیز ضروری است . دراین‌حالت‌فیدبک‌سرعت‌توسط یک‌ترانسدیوسرکه‌به‌آن Tachogenerator می‌گویند ایجاد می‌شود .بخش عمده قیمت سیستم NC به خاطر قسمت حلقه بسته سیستم کنترل آن است .

۸ ــ موارد موردنیاز جهت شروع کار روی ماشینهای NC

برای برنامه‌ریزی وانجام عملیات‌ماشینکاری‌روی‌ماشین NC به موارد زیر نیاز است :

الف ــ نقشه : هر نقشه استاندارد را می‌توان برای برنامه‌ریزی‌روی ماشین NC بکار برد . کار برنامه‌ریزی ابتدا با آنالیز قطعه‌ای که می‌خواهیم ماشینکاری‌کنیم شروع می‌شود . درآغاز باید به این سئوالها پاسخ داده شود :

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

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

ــ آیا تلرانس‌های لازم را می‌توان روی ماشین بدست آورد ؟

ب ــ ابــزار : ابزار ماشینهای NC خود مبحث جداگانه‌ا است که دربردارنــده مسایلی‌نظیرمته‌های‌بادقت‌زیاد ،قلاویزهای‌مارپیچ‌ودستگاه‌تنظیم ابزار Tool presetter

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

هستند . اما دراین مرحله این نکات را باید درنظر گرفت :

ـ نوع قید و بست

ـ نوع و اندازه ابزار برش ، باتوجه به شکل و اندازه قطعه کار .

ـ محاسبات استاندارد دوربردقیقه وسرعت پیشروی که برمبنای سرعت برش مجار ، جنس قطعه کار و مشخصات ابزار برش و همچنین خود ماشین ابزار انجام می‌شود .

ج ـ برنـامه : برنامه ، دستورالعملهای لازم برای عملیات ماشینکاری را می‌دهد .

برنامه روی برگهای مخصوص توسط مهندس برنامه‌نویس نوشته می‌شود که کار وی‌در آوردن اطلاعات لازم برای توضیح عملیات ماشینکاری از روی نقشه‌ها است .

د ـ نـوار : برنامه نوشته‌شده توسط برنامه‌نویس ، به وسیله یک ماشین سوراخ‌کن نوار (flexawriter machine) به نوار کاغذی سوراخ شده (پانـچ شده) تبدیل می‌شود . این ماشین ، یک ماشین تحریر معمولی است‌که به‌طور اتوماتیک نوار راسوراخ می‌کند . بنابراین ماشین‌نویس فقط برنامه را روی ماشین‌تایپ می‌کندو نوارکاغذی هم به طور همزمان سوراخ می‌گردد . این نوار است که دستورالعملهای برنامه را به سیستم کنترل ماشین NC وصل می‌کند .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

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

دراین مقاله پس از اشارهٔ مختصری به پدیدهٔ ضربت قوچی آب در خطوط لوله و ایستگاههای پمپاژ، نحوه محاسبه تقریبی حداکثر فشار تولید شده درخطوط 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.

چندنمونه واقعی ازمنحنی تغییرات فشارحاصله ازضربت قوچی آب درخطوط مکش ورانش پمپ وخطوط لوله نشان‌داده‌شده ومورد تجزیه وتحلیل قرار گرفته‌اند. همچنین اثرات نصب دستگاههای کنترل‌فشار برروی خطوط لوله وایستگاههای پمپاژ و نحوه کار آنها توضیح داده شده است.

۱ــ مقدمه

تجزیه و تحلیل و بررسی پدیدهٔ ضربه قوچی آب WATER HAMMER در طراحی خطوط انتقال مایعات وایستگاههای پمپاژ روز به‌روز اهمیت بیشتری پیدا کرده و توجه متخصصین امر را بیش از پیش به‌خود معطوف کرده است. درگذشته مسأله ضربه قوچی آب خیلی راحت و آسان حل می‌شد، بدین‌ترتیب که ضرایب اطمینانی درانتخاب لوله واتصالات وسایر دستگاهها وتجهیزات منظور می‌گردید، به‌طوری که این دستگاهها و تجهیزات بتوانند افزایش فشار ناشی از این پدیده را تحمل کنند.

درنتیجه لوله‌ها ضخیمتر و دستگاهها مقاومتر انتخاب می‌شدند. امروز با بزرگترشدن خطوط انتقال مایعات وهمچنین بالاتررفتن قیمت فولاد چنین راه‌حلی ابدا" از نقطه‌نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

این امر باعث شده‌است که درطراحی خطوط لوله وایستگاههای پمپاژ، مسأله ضربه قوچی آب درهمان مراحل اولیه طرح، دقیقا" مورد بررسی ومطالعه قرارگرفته و ازدیاد یاکاهش فشار حاصله ازاین پدیده به دقت محاسبه شده و سپس باانتخاب و نصب سیستمهای مختلف، اثرات ناشی از این پدیده که می‌توانند بسیارخطرناک و مخرب باشند، تحت کنترل درآورده می‌شوند.

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

۲ـ پدیدهٔ ضربت قوچی آب

تغییرات سریع سرعت درخطوط لوله که به‌علت بسته‌شدن شیرها و یا از کار افتادن پمپ و یا هر علت دیگری به‌وجود می‌آید ، امواج فشاری تولید می‌کند که در دوطرف محل تولید شده با سرعت زیاد در طول خط لوله منتشر می‌شود و فشار خط لوله در پشت سر این امواج به‌سرعت افزایش یا کاهش می‌یابد .

به‌این پدیده ، ضربت قوچی آب یا خیز آب (SURGE یا WATER HAMMER) می‌گویند .

سرعت انتقال این امواج فشار بستگی به‌مشخصات خط لوله و مایع داخل آن دارد . مثلا" برای لوله‌های ناقل آب از نوع (FRP) (FIRERGLASS (REIN FORCED PLASTIC) ۳۴۰ متر بر ثانیه و برای لوله‌های ناقل آب فولادی ۱۲۸۰ متر بر ثانیه‌است .همچنین برای خطوط لوله انتقال نفت این سرعت معادل ۱۰۰۰ متر بر ثانیه است

مقدار قدر مطلق فشار ایجاد شده در یک لوله به‌علت تغییرات سریع سرعت از فرمول زیر بدست میآید

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

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

که دراین فرمولها داریم :

P_{MAX} = حداکثر فشار ممکن برحسب متر آب .

$P_{s.o.}$ = ارتفاع دبی صفر پمپ برحسب متر آب

a = سرعت انتشار موج فشار برحسب متر بر ثانیه .

ΔV = تغییرات سرعت برحسب متر بر ثانیه .

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

Δp = فشار ایجاد شده به‌علت ضربت قوچی آب برحسب متر آب .

مقدار P_{MAX} بدست آمده ازاین فرمول گرچه تقریبی و محافظه‌کارانه‌است ولی برای بدست‌آوردن‌حدود تقریبی حداکثر فشار ایجاد شده بسیار مناسب‌است ، البته به‌شرطی که پدیده جدایی ستون مایع (COLUMN SEPARATION) ایجاد نشود .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

بررسي خطوط لوله و ایستگاههای پمپاژ از نقطه نظر این پدیده بایستي در مراحل اولیه طراحي وبخصوص قبل ازسفارش لوله انجام‌گیرد ، برای این‌کاربایستی 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 انتخاب‌گردند تا اجرای سیستم حدالامکان اقتصادی‌تر باشد . نکتهٔ بسیار مهم این است که مسائل مربوط‌به این پدیده را به‌هیچ وجه نمی‌توان طبقه‌بندی کرده و راههای پیشگیری آن را تجویز کرد . بلکه هرسیستمی بایستی جداگانه و باتوجه به‌شرایط‌و مشخصات خود آن سیستم بررسی شود و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد . بعضی از خطوط لوله ممکن است هیچگونه احتیاجی به‌وسایل و تجهیزات پیشگیری اثرات ناشی از پدیده ضربه‌قوچی آب‌نداشته‌باشند درصورتی‌که بعضی از خطوط‌که درآنها پدیدهٔ جدائی ستون مایع اتفاق می‌افتد ، فشار ایجاد شده دراثر برخورد دو ستون مایع ممکن است تا حدود ۱۵۰۰ درصد فشار معمولی سیستم بالا برود .

۳ــ اطلاعات مورد لزوم

به‌منظور تجزیه و تحلیل پدیده ضربت قوچی آب احتیاج به‌اطلاعات جامعی است که اهم آنها به‌شرح زیر است :

الف ــ نقشهٔ سیستم : نقشه‌های مورد لزوم ، بایستی حداقل شامل‌اطلاعاتي ازقبیل قطر لوله ، طول لوله ، ضخامت لوله ، پروفیل زمین در طول خط‌لوله ، محل شیرها و انشعابات مخصوصا" شیرهای اتوماتیک یا دستي که می‌توانند جریان مایع را کاملا " مسدودکنند ،باشند . همچنین محل ونحوه نصب‌پمپها ،ارتفاع لوله مکش ، محل دستگاههای اندازه‌گیری جریان و فشار نیز ضروری هستند .

ب ــ مشخصات مایع : مشخصات‌کامل مایع لازم‌هست که عبارتند از : چگالی مایع ، مدول الاستیسیته ، گرانروی ، درجه حرارت ، فشار بخار ، درصد ونوع ذرات جامد در مایع و وزن مخصوص ذرات جامد .

ج ــ مشخصات خط لوله : که عبارتنداز جنس لوله ، کلاس لوله ،حداکثرفشار مجاز که لوله می‌تواند تحمل بکند ، فشارآزمایش لوله ، مقدار فشار اضافی که لوله بایستي به‌علت ضربه قوچی آب‌تحمل‌بکند ،استانداردها و کدهایی که بایستی مورد استفاده قرار گیرند ، ضریب الاستیسته یانگ ، ضریب اصطکاک لوله ، زبری نسبی یا مطلق سطح داخلی لوله . همچنین‌محاسبات هیدرولیکی خط لوله و گرادیان هیدرولیکی خط‌لوله نیز مورد لزوم است .

د ــ شیرآلات : مشخصات شیرآلات نصب‌شده نیزمورد لزوم بوده وعبارتنداز

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

منحنی تغییرات ضریب جریان شیر (C_V) نسبت به Δp ایجاد شده در شیر، مشخصات وسرعت دستگاه محرک‌شیر(VALVE - OPERATOR)حالت کاملا" باز تا حالت کاملا" بسته. در مورد شیرهای یک طرفه مشخصات بسته‌شدن دیسک آنها و افت فشار لازم برای بازکردن آنها نیز مورد لزوم است. مشخصات کامل شیرهای دو سرعته درصورت نصب‌شدن در سیستم بسیار ضروری هستند.

هـ ـ سیستمهای کنترل: اطلاعات مربوط به سیستمهای کنترل بایستی شامل طرز کار شیرها، کنترل اتوماتیک قسمت مکش و رانش ایستگاه پمپاژ در مواقع عادی و همچنین طرز کار آنها در مواقع خاموش‌کردن تلمبه‌ها و یا از کارافتادن اضطراری به‌هرعلت، 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 ـ پمپ و موتور محرک آن: اطلاعات مربوط به پمپ و موتور آن بایستی شامل منحنیهای مختلف پمپ ازقبیل منحنیهای ارتفاع، راندمان وقدرت نسبت به‌مقدار جریان باشد. تعداد مراحل پمپ و همچنین تعداد لوله‌های مکش پمپ، تغییرات احتمالی که ممکن است درآینده انجام شود ازقبیل تعییر در مراحل پمپ و یا اضافه‌کردن پمپهای جدید و یا تعییر پروانه نیز بسیار لازم است. مقدار دبی، ارتفاع و سرعت برای بهترین نقطهٔ راندمان پمپ (BEP) و ممان اینرسی (MOMENT OF INERTIA) قطعات گردنده نیزمورداحتیاج است. ضمنا" مشخصات کامل موتور و نوع آن ازقبیل 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 دراین‌قسمت عبارتنداز: دبی حداقل پمپ، حداقل و حداکثر فشار کار پمپ و همچنین حداکثر مقدار جریان برق موتور در مواقع راه‌اندازی.

ز ـ اطلاعات عملیاتی: این‌اطلاعات 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 بای‌پاس وغیره است.

ح ـ دستگاههای کنترل فشار: اطلاعاتی که دراین زمینه مورد لزوم است عبارتند از نوع ومشخصات دستگاههایی‌که برای کنترل اثرات ناشی ازضربت قوچی آب درنظر گرفته‌شده یاخواهدشد. ازقبیل نوع و اندازه شیرهای هوا، نوع واندازه مخازن تحت فشار، شیرهای اطمینان و فشاری که درآن عمل میکنند. شیرهای مخصوصی که به‌تدریج باز و بسته می‌شوند و زمان بسته‌شدن آنها و خلاصه کلیه اطلاعات موجود دررابطه با چنین دستگاههایی بسیار مهم و حیاتی هستند.

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

۴ــ دستگاههای کنترل فشار ضربه قوچی آب

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

الف ــ انواع شیرهای یک طرفه CHECK VALVES

ب ــ انواع شیرهای اطمینان (فشارشکن) RELIEF VALVES

ج ــ شیرهای هوا AIR VACCUM VALVES

د ــ شیرهای اطمینانی که توسط پیلوت کار می‌کنند.

هـ ــ شیرهای یکطرفه از نوع DAMPENED CHECK VALVES

و ــ مخزن فشارشکن SURGETANK

ز ــ چرخ طیار FLYWHEEL

انتخاب نوع دستگاه کنترل‌کننده در یک سیستم بستگی کامل به محاسبات دقیق مهندسی وملاحظات اقتصادی دارد. برای مثال لوله‌ای درنظر بگیرید به‌قطر ۱۲۰۰ میلیمتر درطول $\frac{۳۰۰۰}{}$ متر که دارای یک‌شیر اتوماتیک درانتهااست. چنانچه شیر اتوماتیک به‌هرعلت بسته شود، فرض می‌کنیم که فشار حاصله ازضربه قوچی آب به‌قدری خواهد بود که باعث ترکیدن لوله خواهد شد. برای کنترل فشار میتوان با نصب ۴۰ عدد مخزن فشارشکن به‌ظرفیت ۴۵۰ لیتر به‌قیمت ۴۰۰/۰۰۰ دلار حلوی ترکیدن لوله را گرفت. همچنین می‌توان با نصب ۲ عدد شیر فشارشکن ۳۰۰ میلیمتری به‌قیمت جمعا ۴۰/۰۰۰ دلار ازترکیدن لوله‌حلوگیری کرد. چنین به‌نظر می‌رسد که راه حل دوم بسیار ساده‌تر و ارزان‌تر است، ولی بایستی درنظر داشت که در حالت دوم بایستی تسهیلاتی نیز جهت جمع‌آوری مایع خارج‌شده از شیرهای فشارشکن وتأسیسات پمپاژآنها به‌مخزن اصلی درنظر گرفت که باتوجه به‌نوع مایع و یا شرایط مکانی ممکن است که راه‌حل دوم اصلا" مقرون به صرفه نباشد.

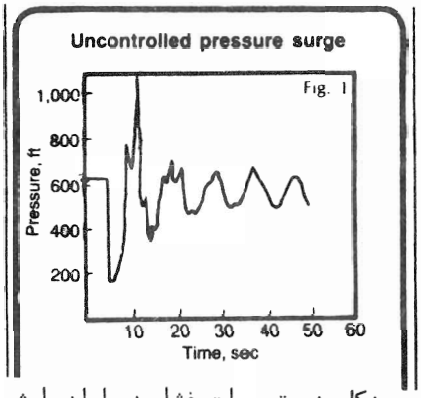
۵ــ مثالهای ضربت قوچی آب در تأسیسات حقیقی

به‌منظور آشنائی بهتر بااین پدیده و اثرات ناشی از آن و همچنین تأثیر دستگاهها و تجهیزات پیشگیری و کنترل‌کننده برروی فشار حاصله از ضربت قوچی، چند مثال واقعی همراه با شکلهای مختلف شرح داده می‌شود. لازم به‌تذکراست که طرق پیشگیری بکار رفته دراین مثالها، لزوما" بهترین طریقه نبوده و نبایستی به عنوان الگوئی برای سیستمهای مشابه بکار رود. بلکه به‌طوری که قبلا" نیز گفته شد هرسیستمی بایستی بادرنظرگرفتن شرایط‌خودآن سیستم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بهترین راه حل ارائه شود.

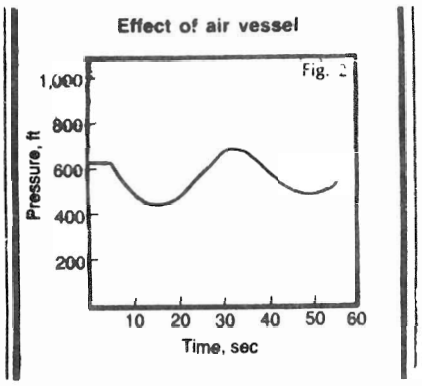
[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

الف ــ ازکارافتادن پمپ در یک ایستگاه پمپاژ آب .

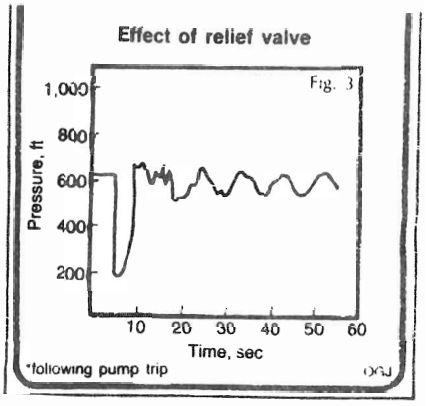
شکل ۱ نوسانات فشار را در یک ایستگاه پمپاژ پس از خاموش‌شدن پمپ و یا از کارافتادن اضطراری آن‌نشان‌می دهد . به مجردیکه‌پمپ از کار می‌افتد به‌علت ممان اینرسی(MOMENT OF INERTIA)کمی که قطعات گردندهٔ پمپ دارند ، سرعت پمپ سریعا" کاهش یافته و مقدار جریان‌کاهش می یابد . ولی ستون‌مایع داخل لوله به‌علت سرعت اولیه‌ای‌که دارد به‌حرکت‌خود به‌طرف جلو ادامه داده وباعث‌کاهش فشار در لوله رانش پمپ‌می‌شود وسرعت حرکت‌ستون مایع رفته‌رفته به‌علت‌نیروهای اصطکاک به صفر رسیده و سپس به‌طرف پمپ شروع به‌حرکت می‌کند ، دراین لحظه شیر یک طرفه در لوله رانش پمپ بسته شده وستون مایع به‌دیسک شیر برخوردکرده و باعث بالارفتن فشارمی‌گردد . (این‌عمل حدود ۶ ثانیه بعد از خاموش‌شدن پمپ اتفاق می‌افتد) .



شکل ۱ــ تغییرات فشار در لوله رانش پس از ازکارافتادن پمپ



شکل ۲ــ تأثیر نصب مخزن هوا در لوله رانش پمپ برروی تغییرات فشار



شکل ۳ــ تأثیر نصب شیر فشارشکن برروی لوله رانش پمپ در تغییرات فشار

به‌طوری که از شکل ۱ پیدا است محنی فشار دارای یک نقطهٔ می‌نیمم و یک نقطهٔ ماکزیمم است که بستگی به عوامل گوناگونی از قبیل سرعت مایع در لوله ، ارتفاع استاتیک سیستم ، طول خط‌لوله ، سرعت انتشار موج فشار در لوله و ضریب 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 تأثیرنصب مخزن هوا(AIR VESSEL)را برروی این سیستم نشان می‌دهد . دراین‌حالت تغییرات سریع سرعت پس ازخاموش‌شدن پمپ ایجاد نمیشود که علت این‌امر ورود آب از مخزن هوا به‌داخل لوله در هنگام کاهش فشار است .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

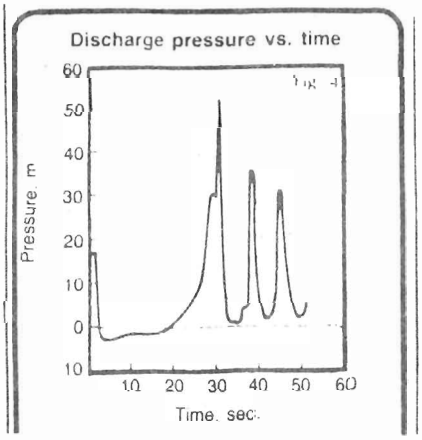
دبی خط لوله به‌آرامی کاهش یافته و در همان زمان فشار در لوله رانش کم می‌شود. هنگامی‌که جهت‌جریان معکوس می‌شود، مقداری مایع وارد مخزن‌هوا شده‌وازبالارفتن فشار جلوگیری می‌کند.

شکل ۳ تأثیر نصب یک شیر فشارشکن را برروی این سیستم نشان می‌دهد. بطوری که ملاحظه می‌گردد کاهش فشار به‌وجود می‌آید ولی به محظ این‌که فشار افزایش می‌یابد (به‌علت معکوس‌شدن‌جریان) شیر فشارشکن باز شده و مقداری مایع خارج می‌شود و درنتیجه فشار افزایش پیدا نمی‌کند.

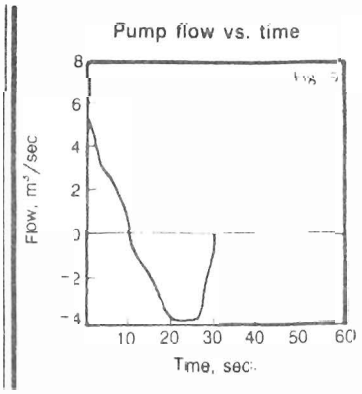
ب ـ از کارافتادن پمپ سیرکولاتور آب در یک نیروگاه

در نیروگاهها به‌علت بزرگ‌بودن قطر لوله‌های رانش پمپ، معمولا" به‌جای شیرهای یک طرفه معمولی از شیرهای پروانه‌ای (BUTTERFLY- VALVE) که توسط موتور الکتریکی باز و بسته می‌شوند استفاده می‌گردد.

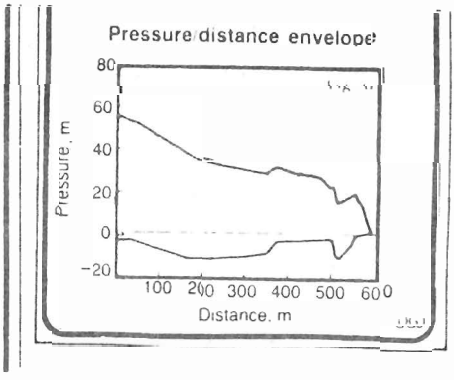
این نوع شیرها به‌علت اندازه‌ای که دارند، معمولا" به‌آهستگی باز و بسته می‌شوند. درچنین تأسیساتی‌چنانچه پمپ به‌علت ازکاربیافتد به‌علت دیربسته‌شدن شیر پروانه‌ای جریان‌معکوس در داخل پمپ ایجاد شده و پمپ بایستی بتواند این جریان معکوس را تا بسته‌شدن کامل شیر پروانه‌ای تحمل کند.



شکل ۴ـ تغییرات فشار لوله رانش نسبت به زمان، پس از خاموش‌شدن پمپ.



شکل ۵ـ تغییرات دبی پمپ پس از خاموش‌شدن پمپ، نسبت به‌زمان.



شکل ۶ـ تغییرات فشار در خطوط لوله پس از خاموش‌شدن پمپ.

اشکال ۴ و ۵ نشان‌دهنده‌ٔ چنین وضعیتی هستند. به‌طوری که از شکل ۶مشهود است، درخطوط لوله سیرکولاسیون آب حلاء سببی ایجاد می‌شود. درچنین حالتی باید ازشیرهای هوا به‌منظور خلوگیری ازایجاد خلاء استفاده کرد که اندازه، تعداد و محل نصب آنها بسیار مهم است.

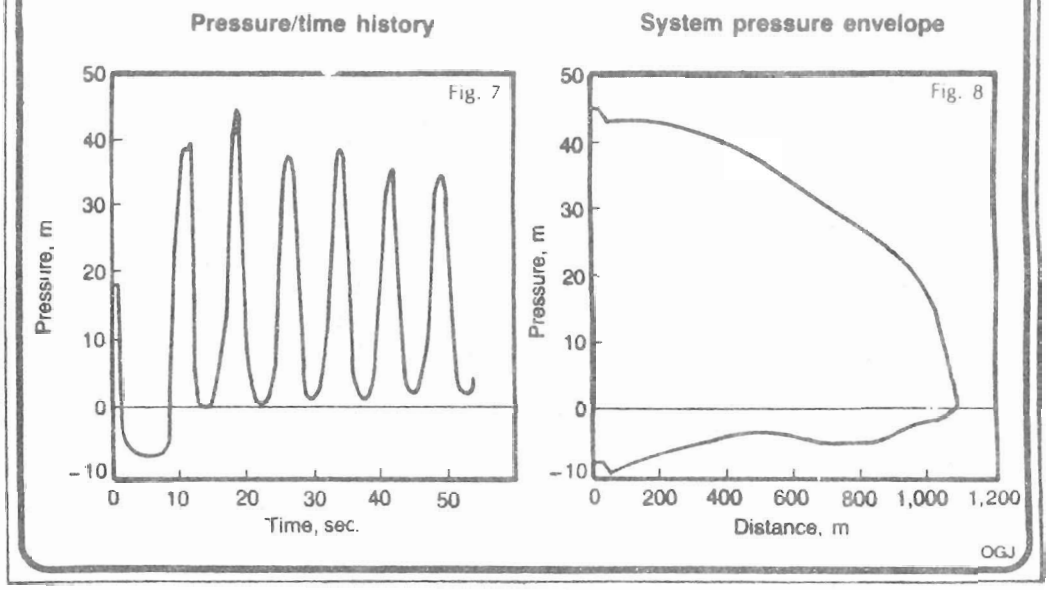
[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

ج ــ طرز کار شیرهای هوا

انتخاب و کاربرد صحیح شیرهای هوا احتیاج مبرمی به‌بررسیهای مهندسی‌و. تجربیات قبلی ومشاوره باکارخانهٔ سازندهٔاین نوع شیرها دارد. شکل ۷ نوسانات فشار نسبت به زمان را در کلکتور رانش یک ایستگاه پمپاژ آب (باارتفاع استاتیکی نسبتا" کم) ، پس از خاموش‌شدن پمپ ، نشان می‌دهد. در شکل ۸ تغییرات فشار را در طول خط لوله مشخص می‌کند.

Figs. 7 & 8

Results from pump shutdown



شکل ۷ــ نوسانات فشار در کلکتور رانش یک ایستگاه پمپاژ پس ازخاموش‌شدن پمپها نسبت بزمان.

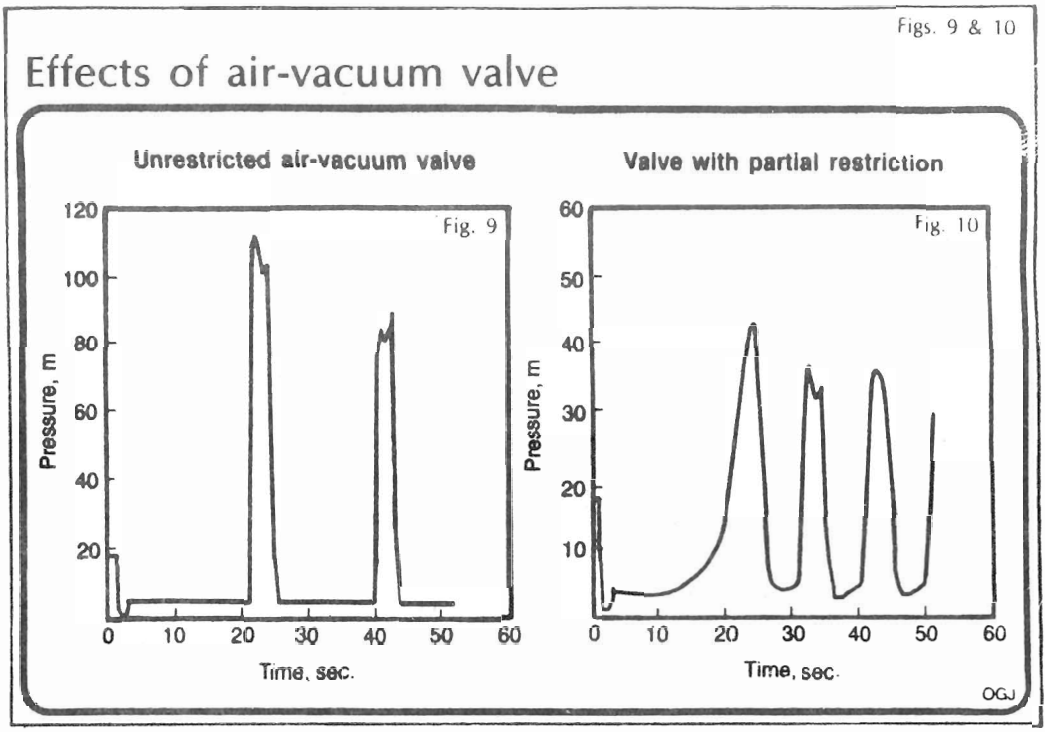
شکل ۸ــ نوسانات فشار در طول خط لوله پس از خاموش‌شدن پمپها نسبت به‌فاصله

بطوری‌که از این اشکال پیداست ، فشار در لوله رانش منفی شده وخلاء نسبی به‌وجود می‌آید. چنانچه قطر لوله نسبتا" بزرگ و ضخامت آن کم باشد ، امکان خردشدن لوله به‌علت نیروهای خارجی وجود خواهد داشت.

درچنین مواقعی اگر فشار سیستم کمتر یا مساوی با فشار بخار مایع شود تبخیرشدن مایع مورد پمپاژ جدائی ستون مایع (COLUMN SEPERATION) را باعث شده و خطرات جدی‌ای پدید می‌آورد.چون در موقع افزایش فشار سیستم بخار به‌وجود آمده دوباره مایع شده و دو ستون مایع که به‌علت ایجادشدن بخار از یکدیگر جدا شده‌بودند ، به‌شدت به‌یکدیگر برخوردکرده و فشارهای بسیار زیادی

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

ایجاد می‌شود که ترکیدن لوله‌ها را به‌دنبال‌خواهد داشت . یکی از راههای‌جلوگیری از این پدیده نصب شیرهای هوا است . چون این شیرها به‌مجردی که فشار سیستم از فشار جو کمترشود باز شده ومقداری هوا وارد سیستم می‌شود و درنتیجه از کاهش بیشتر فشار جلوگیری می‌کند . شکل ۹ تأثیر نصب یک شیر هوای معمولی را برروی این سیستم نشان‌می‌دهد . به‌علت ورود هوا به‌داخل لوله از ایجادشدن فشار منفی



شکل ۱۰ــ تأثیر شیر هوای (RESTRICHED) برروی جدائی ستون مایع .
شکل ۹ــ تأثیر شیر هوای معمولی برروی جدائی ستون مایع .

جلوگیری می‌شود ولی در عوض ضربه 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 نزدیکی شیر می‌شود . پس از بسته‌شدن شیر ، این‌سرعت ناگهان کاهش یافته ودرنتیجه این‌تغییر سریع سرعت ضربت قوچی ثانویه ایجاد می‌شود . به‌منظور جلوگیری از این پدیده ، از شیرهای مخصوصی ازنوع (RESTRICTED) که دریچهٔ آنها کوچکتر بوده و درنتیجه مقدار هوای ورودی به‌داخل لوله کمتر از حالت قبل است ، استفاده می‌شود .

شکل ۱۰ تأثیر چنین شیری را نشان می‌دهد . به‌طوری که ملاحظه می‌گردد فشار منفی در سیستم ایجاد نشده و همچنین حداکثر فشار به‌علت ضربت قوچی ثانویه

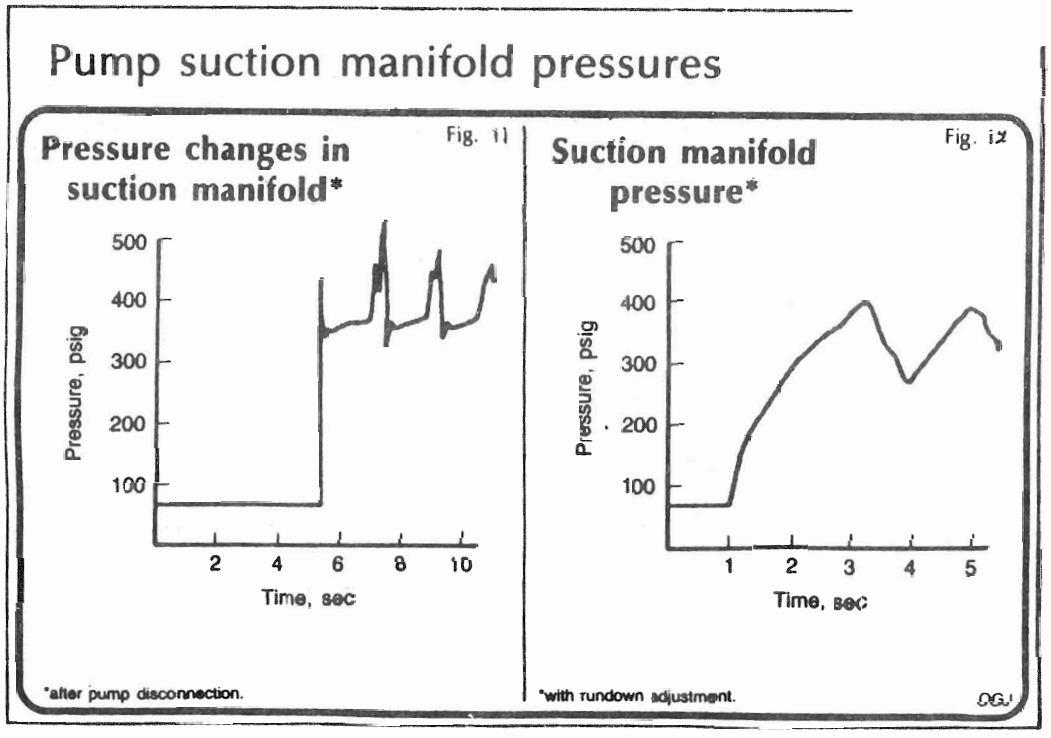
[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

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

هـ ـ ضربه قوچی در لوله مکش پمپ

چنانچه پمپی از کار بیافتد دبی لوله‌مکش به‌سرعت‌کاهش یافته وباعث‌ایجاد فشارهای زیاد می‌شود. این عمل شبیه بسته‌شدن 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. به‌منظورجلوگیری از افزایش فشار، کوپلینگ کلاچ را معمولا" طوری تنظیم می‌کنند که به‌مجرد بروزحالت اضطراری پمپ و موتور محرک هردو هماهنگ باهم‌سرعتشان کاهش یافته و کوپلینگ کلاچ باز نشود.

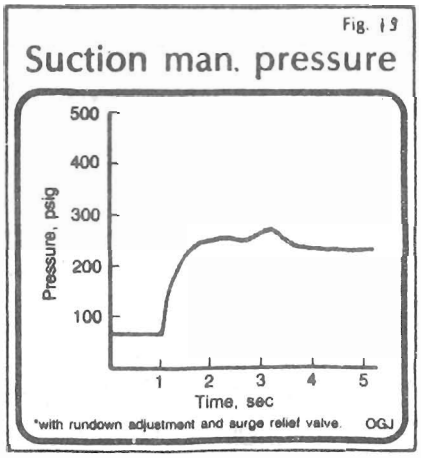
شکل ۱۲ منحنی تغییرات فشار را درچنین حالتی نشان می‌دهد. درصورتی که فشار ایجاد شده باز هم غیرقابل قبول باشد، با نصب شیرهای ایمنی در لوله مکش پمپ می‌توان از ازدیاد فشار بازهم کاست. شکل۱۳ معرف چنین حالتی‌است.



شکل ۱۲ ـ تغییرات فشار لوله مکش پس از ازکارافتادن پمپ درحالتی که موتورو پمپ هردو باهم سرعتشان به‌صفر برسد.

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

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]



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

نتیجه‌گیری

باتوجه به آنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت که :

الف ــ طراحی خطوط انتقال مایعات و ایستگاههای پمپاژ فقط بادرنظرگرفتن شرایط عادی ویکنواخت(STEADY STATE CONDITIONS)و انتخاب ضرایب اطمینان گوناگون به‌طوری که تأسیسات بتوانند اثرات ناشی از ضربه قوچی آب را تحمل بکنند ، قابل قبول نیست . این‌گونه طراحی نه‌تنها از نقطه‌نظر ملاحظات اقتصادی مقرون به‌صرفه‌نیست ، بلکه ازنظر مهندسی نیزهیچگونه اطمینانی به‌کارکرد ایمن تأسیسات و خط لوله نخواهد بود .

ب ــ 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 به‌آن طرح انجام شود (حتی‌الامکان با کامپیوتر) تافشار ماگزیمم و می‌نیمم ایجاد شده در سیستم معلوم شود . این محاسبات بایستی درمراحل اولیه طرح بخصوص قبل از سفارش هرگونه لوله و ماشین‌آلات انجام شود .

ج ــ پس از به‌دست‌آوردن‌حداکثر وحداقل فشار باتوجه به‌ملاحظات‌اقتصادی و در دسترس‌بودن 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 ــ انتخاب نوع ،اندازه ومحل نصب دستگاههای کنترل‌کننده بسیارحساس بوده واحتیاج به‌تجربه فراوان ومشاورت باکارخانه‌های سازنده چنین دستگاههائی دارد .

هـ ــ در محاسبات مهندسی هرگاه مشخص شود که پدیدهٔ حدائی ستون مایع (COLOMN SEPRRATION) اتفاق می‌افتد ،ادامهٔ محاسبات کلاسیک بایستی قطع شده و محاسبات مربوط به‌این پدیده شروع شود .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

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 می‌گیردو تعاریف کلی درموردپمپ وچگونگی استفاده ازمنحنیهای مشخصات پمپ ،سیستم ، NPSH و توان مصرفی و غیره توضیح داده می‌شود . ضمنا" روشهای انتخاب وسایل جنبی پمپ ، از قبیل : لوله ، اتصالات ، کلید ، فیوز ، کابل و غیره نیز توضیح داده می‌شود .

۱ ـ پیشگفتار :

یک پمپ سانتریفیوژ تنهادرشرایطی بطوررضایتبخش کارخواهد کردکه از روی اصول علمی و صحیح انتخاب ، نصب و نگهـداری شود . متاسفانه به علت عوامل زیادی سطح معلومات مصرف‌کنندگان ، فروشندگان و بخش خدماتی این رشته از صنعت بسیار پائین است و به همین علت سالانه سرمایه هنگفتی تلف می‌شود . این بی‌اطلاعی ، گاهی صورت حادتری به خود می‌گیرد چرا که درمواردی یک مساله کاملا" غلط درست پنداشته می‌شود و طبق آن عمل می‌شود و از آنجا که کشاورزان بخش عظیمی ازمصرف‌کنندگان پمپ هستند و دسترسی کمتری به پرسنل فنی دارند ، این‌گونه مسائل ضررو زیان بیسابقه‌ای بوجود می‌آورد ، برای مثال چند نمونه از این موارد ذکر می‌شود :

الف ـ این تصور نادرست که کاهش‌دادن قطر لوله‌های مکش و رانش پمپ نسبت به خود پمپ کار مفیدی است مثلا" وقتی یک پمپ ۴ × ۵ اینچ باشد سعی می‌کنند بـه آن لوله‌های ۳ × ۴ اینچ ببندند که کار کاملا" اشتباهی است و اکثرا" عکس آن صحیح است. یعنی لوله‌های پمپ باید ۵ × ۶ اینچ باشد .

ب ـ این تصور غلط که همهٔ پمپهای سانتریفیوژ می‌توانند از عمق ۶ متری یا بیشتر مکش کنند . درصورتی که ارتفاع مکش مجاز هرپمپ راتنها می‌توان از روی منحنی مشخصات مربوط به آن پمپ بدست آورد و عدد بدست آمده ممکن است کمتر یا بیشتر از آن باشد .

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

د ـ این تصور ناصحیح که پمپ سانتریفیوژ در ارتفاع کمتر توان کمتری لازم دارد .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

درصورتی که پمپهای سانتریفیوژ در ارتفاع کم حداکثر توان را از موتور جذب می‌کنند ودر ارتفاع زیاد این توان به حداقل می‌رسد . مثلا " ، یک پمپ که در ارتفاع ۱۲ متـر ۶ اسب بخار توان مصرف می‌کند در ارتفاع ۱۰ متر بیشتر از ۶ اسب بخار مصرف خواهد کرد .

هـ ـ این تصورنادرست که راه‌اندازی پمپ درمقابل شیر فلکهٔ خروجی بسته ، ازعمر پمپ می‌کاهد . درصورتی که قضیه درست برعکس آن هست و این کاردرموردهمهٔ پمپهای سانتریفیوژ توصیه می‌شود .

و ـ این تصور غلط که عمق چاه عمیق تعیین‌کنندهٔ ارتفاع پمپ شناور است . درصورتی که چنین نیست و ارتفاع پمپ شناور را تنها سطح دینامیک آب چاه می‌تواند تعیین کند . مثلا " ، چاهی که عمق آن ۱۵۰ متر وسطح دینامیک آب مثلا " 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 دراینجا 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 ـ دبی پمپ

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

۳ ـ ارتفاع پمپ

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

۴ ـ ارتفاع کلی سیستم

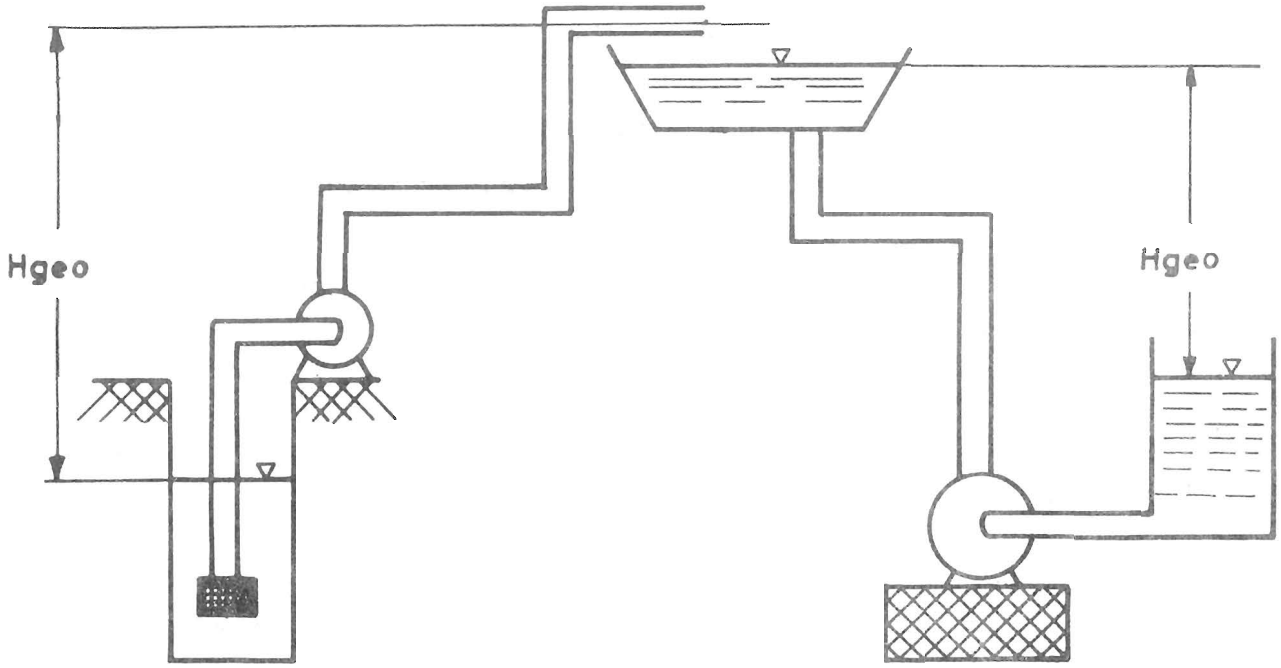
ارتفاع کلی سیستم HA از عوامل زیر تشکیل شده است (اشکال ۱ و ۲)

الف ـ Hgeo یا ارتفاع استاتیک که عبارتست ازاختلاف ارتفاع بین سطح آب درقسمت مکش و رانش پمپ . اگر لولهٔ خروجی بالاتر از سطح مایع در قسمت خروجی قـرار داشته باشد (شکل ۱) درآن صورت اختلاف ارتفاع از مرکز لوله خروجی محاسبه میشود .

ب ـ $\sum Hv$ یا مجموع افتهای فشار در لوله‌ها واتصالات و غیره

بنابراین ارتفاع کلی سیستم عبارتست از : $H = Hgeo + \sum Hv$

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]



شکل ۱ ـ ارتفاع استاتیک در حالتی که مخزن مکش پائین‌تر از پمپ قرار دارد .

شکل ۲ ـ ارتفاع استاتیک درحالتی که مخزن مکش بالاتر از پمپ قرار دارد .

۵ ـ 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 سانتریفوژ را تاچه اندازه‌ای می‌توان بالاتراز سطح آب قرارداد ،بدون آنکه ایجاد کاویتاسیون‌بکند . کاویتاسیون دریک سیال پدیده‌ای است که به علت بوجود آمدن و درهم شکستن ناگهانی حبابهای بخار در مسیر جریان‌آن 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 ازدیاد حرارت‌مایع شروع به تبخیرمی‌کند واین‌بخارات به‌مثابه‌هسته‌هایی که حبابهای بخار برگرد آن تشکیل می‌یابند ، عمل می‌کنند و وقتی در مسیر جریان مایع دوباره فشار استاتیک افزایش یابد (مثلا " در داخل پروانهٔ پمپ) این حبابها باسرعت زیادی درهم می‌شکنند و فشار بسیار زیادی درآن نقطه بوجود می‌آورند که این عمل به غیر از ایجاد سائیدگی ناشی از کاویتاسیون ، میزان تولید صدای‌پمپ را افزایش داده واز راندمان و ارتفاع کلی آن می‌کاهد . به طورکلی NPSH پمپ مبحث مفصلی است‌که در موقعیت دیگری به طورکامل به‌آن خواهیم پرداخت ولی فعلا "به‌ذکر این نکته‌اکتفا می‌کنیم که اگر عدد حاصل از منحنی NPSH پمپ را از فشار جو برحسب مترستون آب کم‌کنیم ،

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

عدد بدست‌آمده مقدار ارتفاعی خواهد بود که یک پمپ بدون ایجاد کاویتاسیون می‌تواند عمل مکش را انجام دهد. البته از این مقدار نیم متر هم به‌عنوان ضریب اطمینان کم می‌کنند تا حدالامکان احتمال ایجاد کاویتاسیون کاهش یابد.

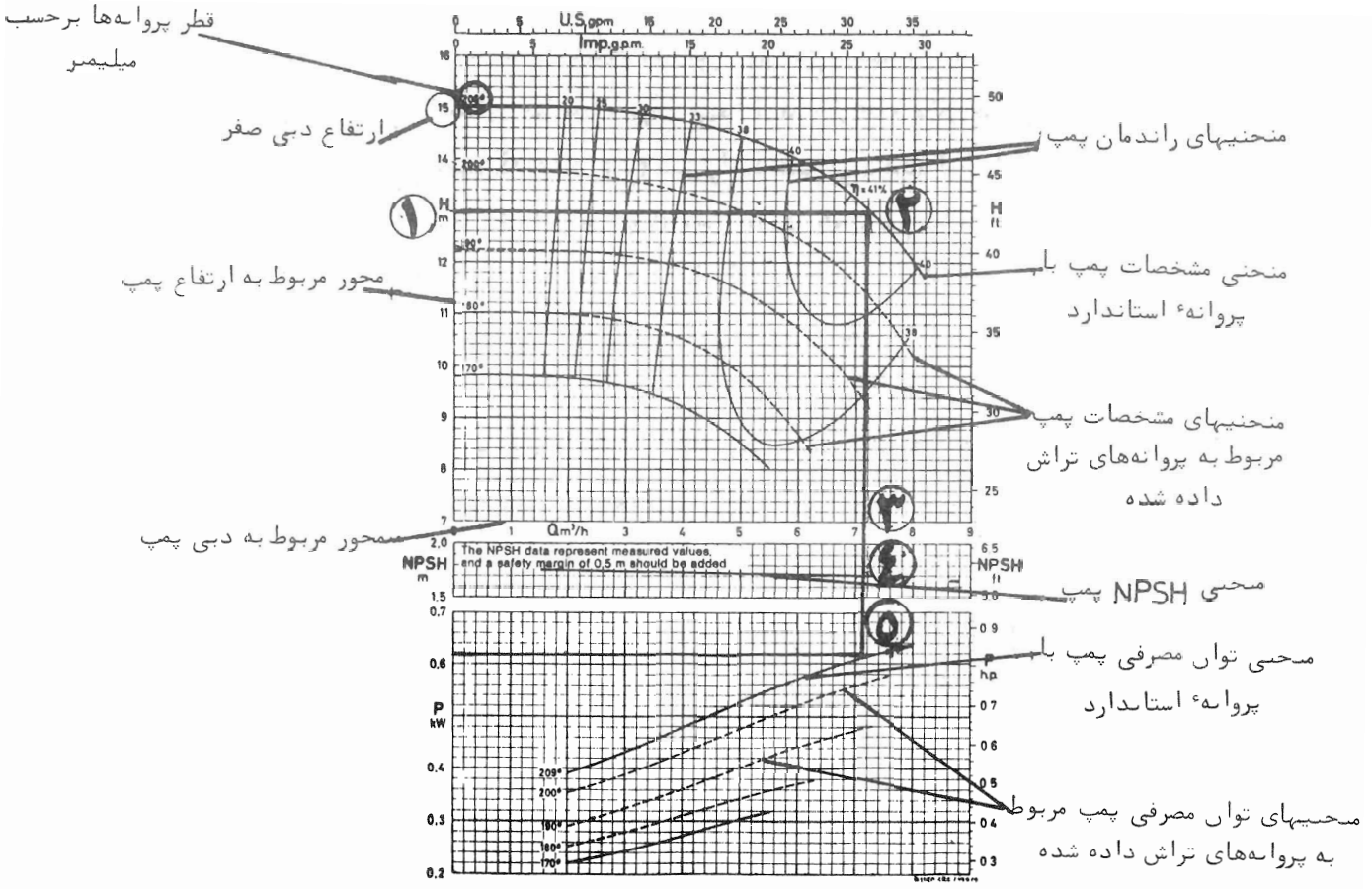
۶ ــ توان مصرفی پمپ سانتریفیوژ

توان مصرفی یک پمپ سانتریفیوژ عبارتست از توانی که در کوپلینگ یا محور پمپ از موتور حدب می‌شود و بوسیلهٔ فرمول $P=\frac{P.Q.H}{367.\eta}$ که در آن P برحسب کیلووات، η برحسب کیلوگرم بر دسیمترمکعب، Q برحسب مترمکعب در ساعت و H برحسب متر هستند. درموقع پمپاژ آب توان مصرفی پمپ را میتوان مستقیماً از روی منحنی مشخصات مربوط به آن پمپ بدست آورده چون این منحنی‌ها با استفاده از داسیته و ویسکوزیته سیماتیک آب بدست آمده‌اند، ولی برای پمپاژ مایعات دیگر به غیر از آب باید ضرایب تبدیل بخصوصی را بکار برد.

۷ ــ منحنی مشخصات پمپ سانتریفیوژ

یک پمپ سانتریفیوژ دبی خود را اتوماتیک وار بست به ارتفاع سیستم تنظیم می‌کند، بدین معنی که با کاهش یافتن ارتفاع، دبی افزایش می‌یابد و بالعکس با افزایش یافتن ارتفاع، دبی کاهش می‌یابد. این تغییرات سایر مشخصات پمپ از قبیل توان مصرفی، راندمان و غیره را نیز تغییر می‌دهد. عملکرد و رابطهٔ بین این متغیرها در منحنی مشخصات پمپ سانتریفیوژ نشان داده میشود. در شکل ۳ یک نمونه از منحنی مشخصات پمپ سانتریفیوژ را می‌بینیم.

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]



شکل ۳ منحنی مشخصات پمپ سانتریفیوژ

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 وآن رانقطه ۱ می نامیم این نقطه رابه سمت راست ادامه می‌دهیم تا منحنی مربوط به پروانهٔ استاندارد را در نقطهٔ ۲ قطع کند این محل نقطهٔ کار پمپ خواهد بود و راندمان این پمپ تحت‌این شرایط تقریبا "۴۱ درصد است. با ادامهٔ این نقطه به سمت پائین، محور دبی را در نقطهٔ ۳ قطع می‌کنیم که عدد ۷/۲ مترمکعب درساعت راشان میدهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود قطر پروانه استاندارد این پمپ ۲۰۹ میلیمتر است که آن را تا قطر ۱۷۰ میلیمترمی‌توان تراش داده و کم‌کردبنابراین درهرفاصله بین این دوقطرمی‌توان با تراش دادن‌پروانه مشخصات پمپ را عوض‌کرد مثلا"، همین پمپ باپروانهٔ به قطر ۲۰۰ میلیمتر در ارتفاع ۱۳ متر، ۵ متر مکعب در ساعت آبدهی‌خواهد داشت. رابطه بین ارتفاع، دبی‌وقطر پروانهٔ‌پمپهای سانتریفیوژ از فرمول زیر بدست می‌آید :

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

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

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

با ادامه دادن این خط به سمت پایین منحنی NPSH پمپ در نقطهٔ ۴ قطع می‌شود و این مقدار ۱/۷ متر را نشان میدهد. برای پیدا کردن ارتفاع مکش مجاز این پمپ نیم‌متر به ۱/۷ متر اضافه می‌کنیم که عدد ۲/۲ متر را بدست می‌دهدو آن را ازفشار جو که‌برابر با ۱۰ متر ستون آب است (با فرض اینکه محل نصب پمپ هم‌سطح دریای آزاد باشد)کم می‌کنیم که عدد ۷/۸ متر بدست میآید. بنابراین بافرض این که افت فشار دیگری درخط مکش و یاسوپاپ پمپ وجود نداشته باشد، این پمپ درمحلی‌که هم‌سطح دریای آزاداست می‌تواند از ارتفاع ۷/۸ متر عمل مکش را بدون ایجاد کاویتاسیون انجام دهد. با ادامه دادن همین خط به سمت‌پایین منحنی‌توان مصرفی پمپ‌در نقطهٔ ۵ قطع می‌شود که‌مربوط به توان ۰/۶۲ کیلووات است. این مقدار نشان‌دهندهٔ توان مصرفی پمپ است.

البته توان مصرفی پمپ را از فرمول بخش ۵ نیز می‌توان بدست آورد:

$$P = \frac{P.Q.H}{367 \times \eta}$$

$P = 1 Kg/dm^3$

$Q = 7/2\ m^3/h$

$H = 13 m$

$\eta = 0/41$

$$P = \frac{1 \times 7/2 \times 13}{367 \times 0/41}$$

$P = 0/62$ کیلووات توان مصرفی پمپ

برای انتخاب الکتروموتور باید ضرایب زیر را درنظر گرفت و به‌آن اضافه کرد:

تا ۷/۵ کیلووات	۲۰ درصد
از ۷/۵ کیلووات تا ۴۰ کیلووات	۱۵ درصد
از ۴۰ کیلووات به‌بالا	۱۰ درصد

بنابراین الکتروموتور مناسب این پمپ به‌طریق زیر محاسبه می‌شود:

$0/62 + (0/62 \times 0/2) = 0/744$ کیلووات

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

حال که صحبت از توان مصرفی پمپ سانتریفیوژ درمیان است، بد نیست مطلبی‌هم در مورد راه‌اندازی الکتروپمپها و موتورپمپهای سانتریفیوژ ذکر کنم. چنان که از منحنی توان مصرفی پمپ معلوم است این منحنی باافزایش دبی سیر صعودی طی می‌کند، یعنی حداکثر توان مصرفی‌پمپ درشرایطی به‌دست‌می‌آید که پمپ باارتفاع‌حداقل و دبی‌حداکثر کار کند. برای مثال به‌شکل ۳ مراجعه می‌کنیم چنان‌که یک پمپ باپروانهٔ استاندارد را درنظر داشته باشیم این پمپ در ارتفاع ۱۲ متر، ۸ متر مکعب در ساعت آبدهی دارد که

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

توان مصرفی آن دراین شرایط تقریبا" 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 دراین شرایط ۰/۴۶ کیلووات می‌شود . بنابراین اگر یک شیر فلکه در راه خروجی پمپ قرار دهیم و قبل از استارت‌زدن این شیر فلکه را کاملا" ببندیم و بعد استارت بزنیم ، این عمل باعث کاهش توان راه‌اندازی می‌شود و الکتروموتور پمپ یا موتور پمپ به‌راحتی استارت می‌زند و بعد ازاین که پمپ به‌ارتفاع دبی صفر خود رسید ،شیرفلکه را تدریجا" باز می‌کنیم تا دبی و ارتفاع لازم را به‌دست آوریم . چون تغییرات ناگهانی دبی درسیستم باعث‌ایجاد ضربه (SURGE یا WATERHAMMER) میشود به‌وسیلهٔ بازکردن‌تدریجی شیرفلکه می‌توان به‌خوبی ازایجادچنین ضربه‌هایی جلوگیری‌کرد .درموقع خاموش‌کردن پمپ نیز بازباید به‌همین‌طریق عمل‌کرد ،یعنی باید اول شیر فلکه‌را به‌تدریج کاملا" بست و بعد اقدام به‌خاموش‌کردن سیستم کرد تاحداالمکان 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

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

الکتروموتورهای شناور و کاربرد آنها

نوشته: مهندس رحیم ـ خانی

چکیده

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

مقدمه

به‌خاطر استفاده وسیع از الکتروپمپ‌های شناور، سرمایه‌زیادی صرف ساخت، نصب و نگهداری وبهره‌برداری ازاین‌دستگاه‌ها می‌شود. موقعی می‌توانیم ازالکتروپمپ‌هاوهردستگاه دیگری، با راندمان بهتر و هزینه کمتر استفاده کنیم که به‌شکل ساختمانی، اصول کارکرد، نحوهٔ انتخاب و کارگزاری صحیح و نیز طرز عیب‌یابی و نگهداری آن آشنایی کافی داشته باشیم.

انتخاب صحیح الکتروپمپ با راندمان کار مناسب، هزینه انرژی مصرفی موتورپمپ‌را پایین می‌آورد و نصب و نگهداری صحیح، طول عمر دستگاه را بالا می‌برد.

به‌همین‌منظور وجهت آشنایی علاقمندان ودست‌اندرکاران این رشته، مقالاتی‌تقدیم خواهد شد که امید است مورد استفاده واقع شود.

الکتروموتور شناور

ساختن الکتروموتور شناور برای اولین‌بار در سال ۱۹۱۸ مطرح شد و هدف از طرح این مسأله آن‌بود که هم الکتروموتور وهم پمپ بتوانند درداخل مایع مورد پمپاژ غوطه‌ور شده و انرژی لازم جهت چرخاندن پمپ توسط کابل الکتریکی که آسانترین وسیله انتقال انرژی هست انجام گیرد. در سال ۱۹۳۲ اولین الکترو موتور شناور توسط سازندهٔ آلمانی به‌بازار عرضه گردید جهت روغنکاری یاطاقانها و خنک‌کردن سیم پیچی الکتروموتور از آب استفاده شده بود.

عایق سیم‌پیچی از لاستیک ضدآب‌بود که میتوانست تحت ولتاژ وبدون‌آنکه به‌عایق صدمه‌ای برسد در داخل آب کار کند.

امروزه، به‌خاطر حل‌شدن مسائل مربوط به‌عایق سیم‌پیچی، الکتروموتورهای شناور تا ۶۰۰۰ ولت و قدرت چند هزار کیلووات ساخته میشود.

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

ازنظر ساختمان، الکتروموتور شناور ساده‌ترین نوع ماشین الکتریکی گردان هست و شبیه همه‌ماشینهای‌الکتریکی جریان متناوب از دوقسمت کلی زیر تشکیل یافته است:

۱ــ قسمت ساکن یا استاتور: لوله فولادی استوانه‌ای شکل بدنه خارجی الکتروموتور را تشکیل‌می‌دهد. درداخل این‌لوله ورقهای مغناطیسی استوانه‌ای شکل توخالی قراردارند وشیارهای‌طولی درامتداد این‌استوانه ودرقسمت داخلی آن‌جهت سیم پیچی تعبیه‌شده‌اند. درابتدا و انتهای استاتور محفظه‌های یاطاقان قرار دارند.

جهت نگهداری روتور درمقابل نیروی وارد ازآب به‌محور موتورپمپ، درانتهای بدنه استاتور محفظه یاطاقان کف گرد قرار دارد. این یاطاقان نیز توسط آب روغنکاری میشود.

۲ــ قسمت گردنده یا روتور: در روی محور فولادی قسمت گردنده‌ورقهای مغناطیسی به‌شکل استوانه و به‌تعداد ورقهای مغناطیسی استاتور قرار داده می‌شود. در سطح خارجی این ورقها شیارهای طولی موازی هم ودرامتداد محور تعبیه‌شده‌اند. در داخل این شیارها میله‌های مسی قرارگرفته که دردوانتها توسط حلقه‌های مسی، اتصال‌کوتاه‌می‌شوند. به‌طوری که مرسوم است این نوع روتورها را روتورهای قفس سنجابی می‌نامند ولذا الکتروموتورهای شناور از نوع الکتروموتورهای القائی قفس سنجابی هستند.

یادآوری می‌شود که در موقع ساخت تمامی روتورها ازنظردینامیکی بالانس‌می‌شوند.

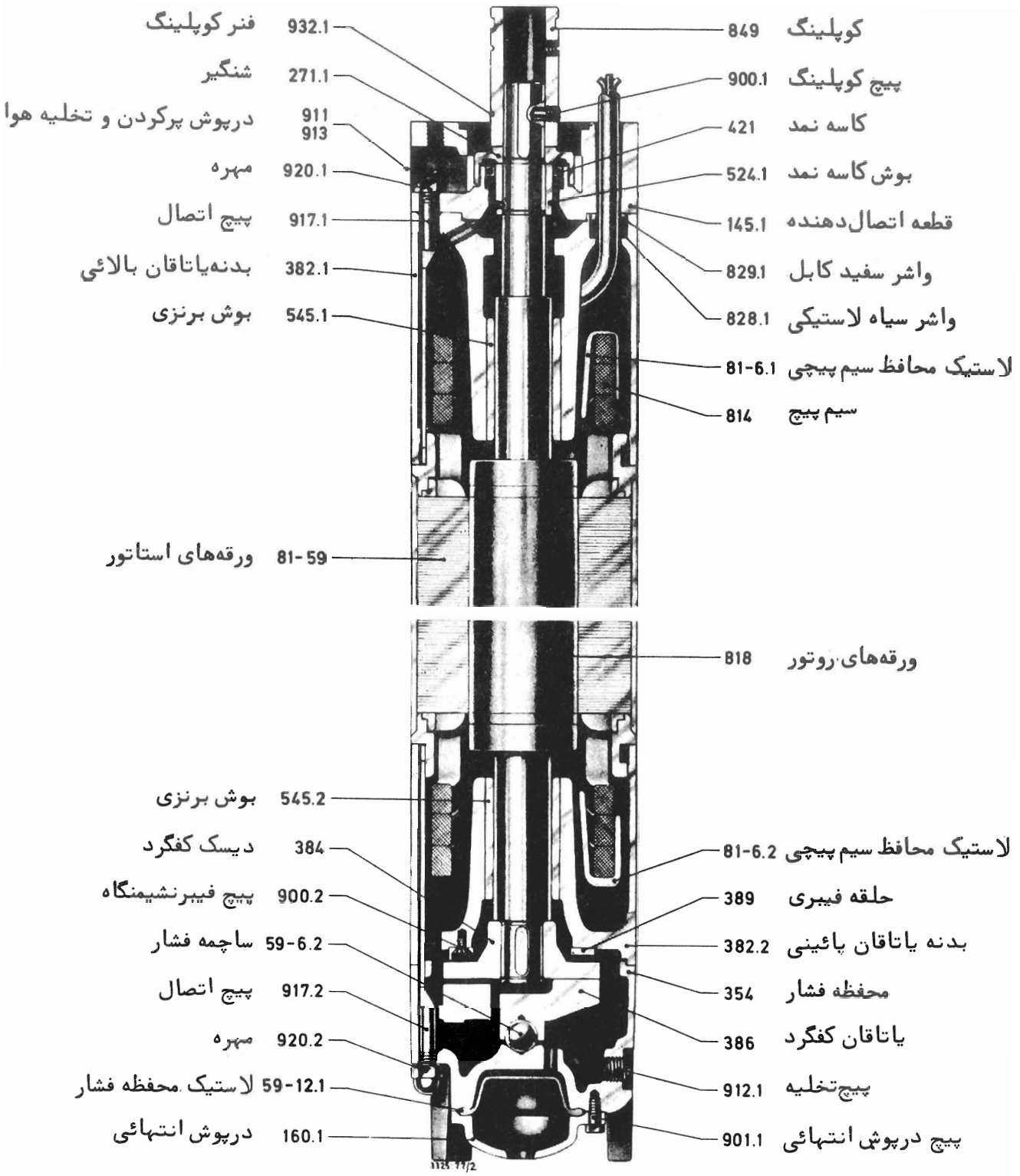
خنک‌کاری: باتوجه‌به‌اینکه درداخل سیم پیچی ونیز خارج‌الکتروموتورآب قراردارد، مسأله خنک‌کاری توسط‌آب به‌نحو احسن انجام می‌گیرد و همین مسأله امکان‌استفاده‌وسیع را از الکتروموتور به‌وجود می‌آورد. حداکثر درجهٔ حرارت مایع مورد پمپاژ که‌الکتروموتور می‌تواند در داخل آن کار کند بستگی به‌قدرت و نوع الکتروموتور دارد. این‌مقدار درجهٔ حرارت برای‌تیپهای مختلف درجدول۱ نشان داده شده‌است. مثلا" الکتروموتور تیپ ۷۸ و قدرت۲۲ کیلووات درمایع مورد پمپاژ بادرجهٔ حرارت حداکثر تا ۳۰ درجه سانتیگراد، می‌تواند کار کند.

روغن‌کاری یاطاقانها: تمام یاطاقانهای موجود در الکتروموتور توسط آبی که قبلا" داخل موتور ریخته می‌شود روغن‌کاری می‌شوند. هم‌چنین درتمام الکتروموتورهای شناور ساخت شرکت‌پمپیران یاطاقان کف‌گردتوسط‌آب‌داخل موتور روغن‌کاری وخنک‌کاری می‌شود.

در بعضی از الکتروموتورهای ساخت سایر سازندگان، یاطاقان کف‌گرد قطعه مجزایی از موتور هست که داخل آن با محفظهٔ داخل موتور هیچ‌نوع ارتباطی ندارد و آب داخل موتور نمی‌تواند به‌داخل محفظهٔ یاطاقان کف‌گرد وارد شود.

جهت روغنکاری یاطاقان از یک نوع روغن سنگین ضد خورندگی استفاده می‌شود.

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]



شکل ۱ قسمت‌های مختلف الکتروموتور شناور را نشان میدهد .

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

سیم پیچی استاتور: برای سیم پیچی ازسیم مسی با عایق واترپروف استفاده می‌شود. خود عایق از دولایه پلی‌تن و پلی‌آمید تشکیل یافته است. لایهٔ پلی‌آمید به‌عنوان حفاظ مکانیکی برروی لایه پلی‌تن به‌کار رفته است.

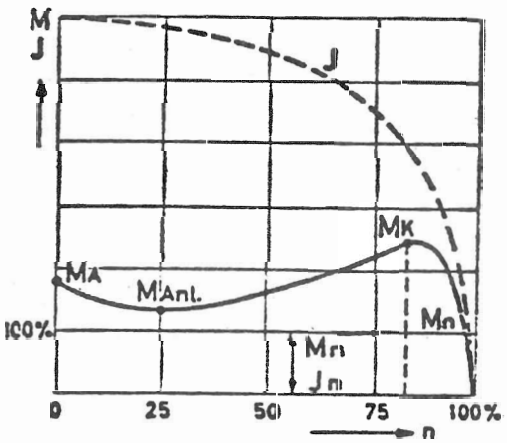
باچنین سیم‌هایی موتورهای ۱/۵ الی ۳۰۰ اسب در ۳۰۰۰ دور و ۵ الی ۶۰۰ اسب در ۱۵۰۰ دور و ولتاژ تا ۱۰۰۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتس را می‌توان ساخت.

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

شکل ۲ــ مشخصات گشتاور و جریان برحسب درصد دور الکتروموتور را نشان می‌دهد دراین شکل n درصد دور J جریان برحسب آمپر و ma گشتاور راه‌اندازی manl گشتاور متوسط و mk گشتاور ماکزیمم برحسب متر ــ کیلوگرم هست.

مقادیر ms در دور صفر و Mme در ۲۵٪ دور نامی و Mma در ۷۵٪ الی ۸۵٪ دور نامی الکتروموتور هستند.

در هرحال مقدار گشتاور نامی الکتروموتور از فرمول : $m_n = 716 \times \frac{Hp}{n}$ بدست می‌آید. دراین فرمول HP قدرت الکتروموتور برحسب اسب بخار هست.



شکل ۲ــ منحنی گشاور و جریان برحسب درصد دور

مشخصات مهم الکتریکی:

۱ــ مقدار جریان راه‌اندازی در حدود ۵ الی ۶ برابر جریان نامی هست. این مقدار درجدول ۲ برای تمامی الکتروموتورها نشان داده شده است. مثلا"، الکتروموتور تیپ 7A وقدرت ۲۲ کیلووات جریان نامی ۴۳ آمپر دارد. مقدار جریان راه‌اندازی ۵/۵ برابر، یعنی حدود ۲۳۶ آمپر هست. اگر به‌دفعات مکرر و درمدت زمان محدود موتور را روشن‌وخاموش کنیم عبور همین مقدار جریان زیاد سبب گرم‌شدن سریع سیم پیچی می‌شود. به‌همین‌علت فاصله زمانی بین دو دفعه روشن و خاموش‌کردن یک مقدار حداقلی دارد که در جدول ۱

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

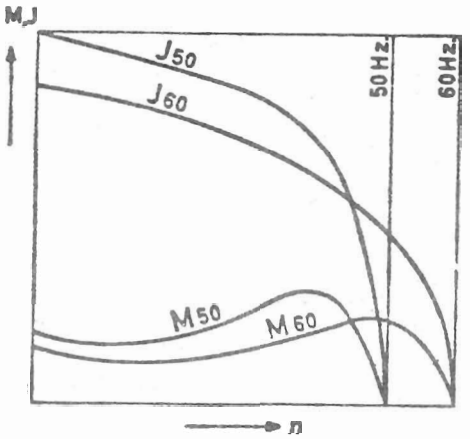
نشان داده‌شده‌است . مثلا" برای الکتروموتور مذکور در مثال بالا این‌مقدار ۴ دقیقه‌هست . اگر در فاصله زمانی ۴ دقیقه بیش از دوبار موتور را روشن و خاموش کنیم این عمل باعث گرم‌شدن بیش ازحد سیم پیچی وآسیب‌دیدن عایق آن‌می‌شود و درنهایت درصورت تکرار، باعث سوختن سیم‌پیچی می‌شود .

۲ـ گشتاور خروجی با توان دوم ولتاژ نسبت مستقیم دارد . مثلا" دراتصال ستاره‌ـ مثلث چون درحالت ستاره ولتاژ به‌نسبت $\sqrt{3}$ کاهش می‌یابد مقدار گشتاور به‌نسبت $1/3$ کم می‌شود .

هم‌چنین در راه‌اندازی توسط اتوترانسفورمر چون ولتاژ به‌نسبت ۰/۷ برابر ولتاژ نامی کم می‌شود . به‌همین‌جهت گشتاور نیز به‌نسبت ۰/۴۹ برابرگشتاور نامی کاهش‌می‌یابد .

لذاکاهش ولتاژ باعث‌کاهش گشتاورنامی وبه‌همین‌نسبت باعث‌کاهش دورالکتروموتور می‌شود .

۳ـ در ولتاژ ثابت باافزایش فرکانس جریان کاهش و باکاهش فرکانس جریان‌افزایش می‌یابد . درشکل (۳) منحنی گشتاور جریان برحسب دور یک الکتروموتور برای فرکانسهای ۵۰ و ۶۰ هرتس ترسیم شده است .



شکل ۳ـ مشخصات موتور برای فرکانسهای ۵۰ و ۶۰ هرتس

۴ـ افزایش ولتاژ باعث کاهش جریان الکتروموتور و افزایش جریان مغناطیس‌کننده و درنتیجه افزایش تلفات آهنی و آنهم باعث افزایش درجه حرارت الکتروموتور می‌شود .

کاهش ولتاژ باعث افزایش جریان و درنتیجه افزایش تلفات اهمی استاتور و آن‌هم باعث گرم‌شدن سیم پیچی الکتروموتور می‌شود .

همطوری که ملاحظه می‌شود ، افزایش و کاهش ولتاژ سبب گرم‌شدن سیم پیچی وبدنهٔ

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

آهنی استاتور می‌شود که اگر این تغییرات ولتاژ بیش از حد مجاز باشد باعث سوختن سیم‌پیچی خواهد شد. حداکثر تغییرات مجاز ولتاژ ۵٪ ± ولتاژ نامی الکتروموتور بوده، و دراین حدود، سایر مشخصات الکتروموتور تقریبا" ثابت می‌ماند.

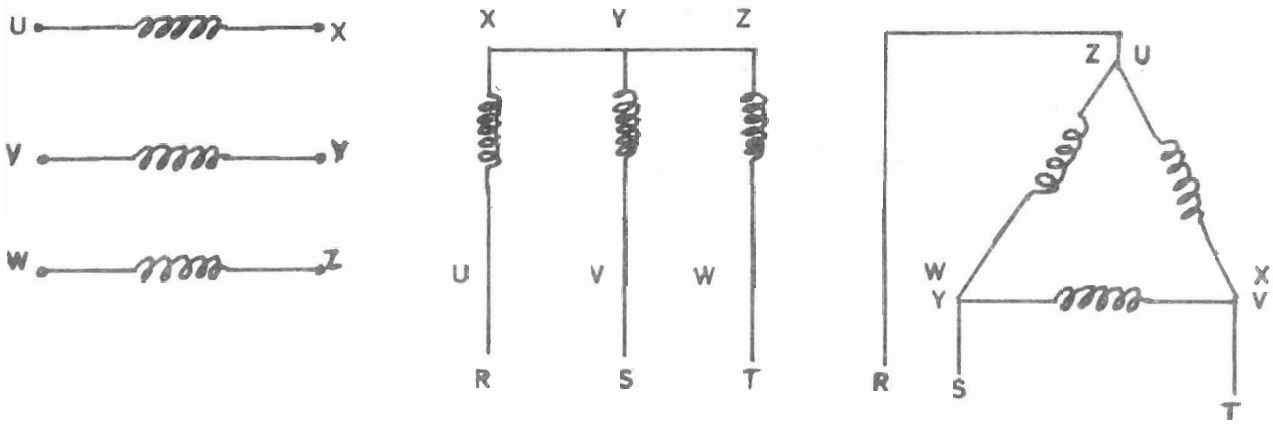
عملا"، در شبکه برق بیشتر با افت ولتاژ مواجه هستیم لذا جهت حفاظت درمقابل سوختن سیم‌پیچی لازم هست الکتروموتور درمقابل افت ولتاژ حفاظت شود.

درمورد حفاظت الکتروموتور و نیز اتوماسیون بعدا"به‌طور مفصل بحث خواهد شد.

اتصال الکتریکی: سیم‌پیچی الکتروموتورهای شناور سه‌فاز، از سه کلاف مجزا ازهم تشکیل یافته است هرکدام این کلافها دارای دو ترمینال خروجی بوده که مجموعا" شش ترمینال توسط دوکابل سه رشته‌ای به‌طول 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 کلافهارا 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 به‌هم متصل کرده و به سه ترمینال ابتدایی سه فاز شبکه را وصل کنیم در اتصال مثلث U_1 با W_2 و V_1 با U_2 و W_1 با V_2 به‌هم متصل، سپس سه‌فاز 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.

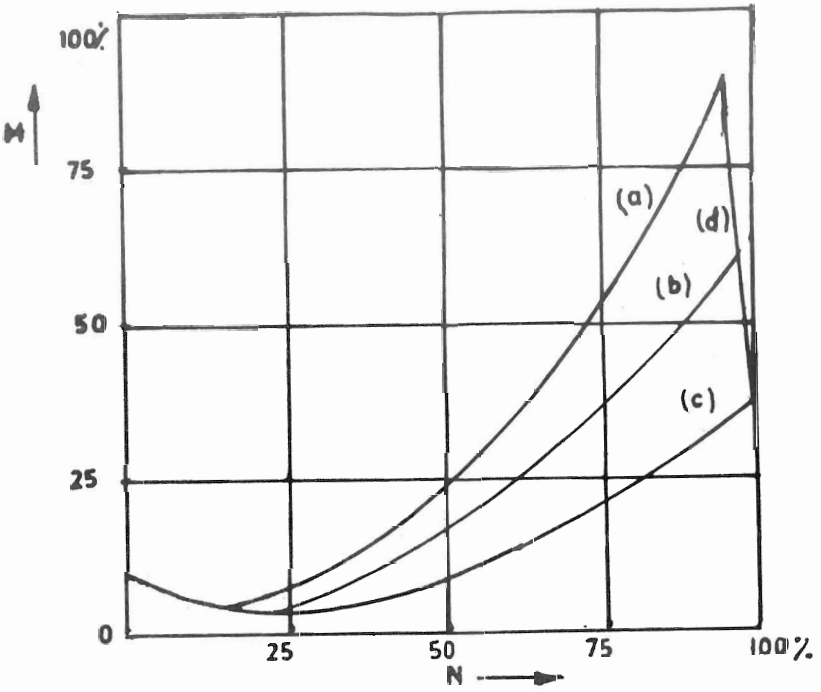
روش‌های راه‌اندازی الکتروپمپ‌های شناور:

روش‌های راه‌اندازی الکتروپمپ‌های شناور:

گشتاور راه‌اندازی پمپ‌های سانتریفیوژ نسبتا" کم است و به‌همین‌علت می‌توان از الکتروموتورهای قفس‌سنجابی به‌راحتی استفاده کرد. اصطکاک گلندها به‌خصوص درپمپهای

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

کوچک ، گشتاور راه‌اندازی پمپ را زیاد می‌کند . مثلا" برای پمپ‌های کوچک این مقدار حدود % ۲۰ گشتاور نامی پمپ هست . بعداز راه‌اندازی گشتاور پمپ افت کرده و از منحنی گشتاور ، سرعت پمپ ، تبعیت می‌کند . در پمپ‌های شناور به‌خاطر نبودن گلندها ، مقدار گشتاور راه‌اندازی کمتر از پمپ‌های معمولی بوده ودرحدود % ۱۰ گشتاور نامی پمپ هست . شکل ۴ منحنی گشتاور ــ دور پمپ‌های شناور را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد .



شکل ۵ منحنی گشتاور ــ دور پمپ‌های شناور

منحنی a حالتی را نشان می‌دهد که پمپ راه‌اندازی شده و درلوله خروجی آب وجود ندارد . به‌خاطرنبودن فشار آب در لوله ($H_0 = 0$) پمپ با حداکثر دبی خود کار می‌کند و دراین‌حالت گشتاور زیادی لازم دارد . تا موقعیکه لوله خروجی بطور کامل از آب پرنشده است الکتروموتور جریان بیشتری از جریان نامی خود می‌کشد .

درحالتی‌که لوله خروجی پرازآب بوده و شیر خروجی بسته‌باشد به‌محض روشن‌کردن موتور قبل از اینکه پمپ به‌تواند آب بدهد ، موتورپمپ به‌سرعت نامی خود می‌رسد . سپس شیر خروجی را به‌آرامی باز می‌کنیم ، به‌طوری‌که پمپ با دبی نامی خودکارکند ، دراینصورت منحنی b مشخصات پمپ‌های متوسط را و منحنی c مشخصات پمپ‌های کوچک را نشان می‌دهد . منحنی d مرحله بازشدن شیر خروجی را نشان می‌دهد .

به‌طوری که از شکل ۱ (منحنی گشتاور و جریان برحسب دور) ملاحظه می‌شود جریان راه‌اندازی در حدود ۶ برابر جریان نامی هست . این جریان زیاد در لحظهٔ راه‌اندازی به‌خصوص درالکتروموتورهای بزرگ باعث افت ولتاژ شدید درشبکه می‌شود افت ولتاژ ناشی

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

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

هم‌چنین انتخاب کابل، وسائل قطع و وصل، ترانسفورماتور قدرت و دیزل ژنراتور باتوجه به‌مقدار زیاد جریان راه‌اندازی مقرون به‌صرفه نخواهد بود.

به‌همین‌جهت برای کاهش جریان راه‌اندازی، روشهای مختلفی بکار می‌رود که ذیلا" به‌توضیح آنها می‌پردازیم.

الف ــ راه‌اندازی مستقیم:

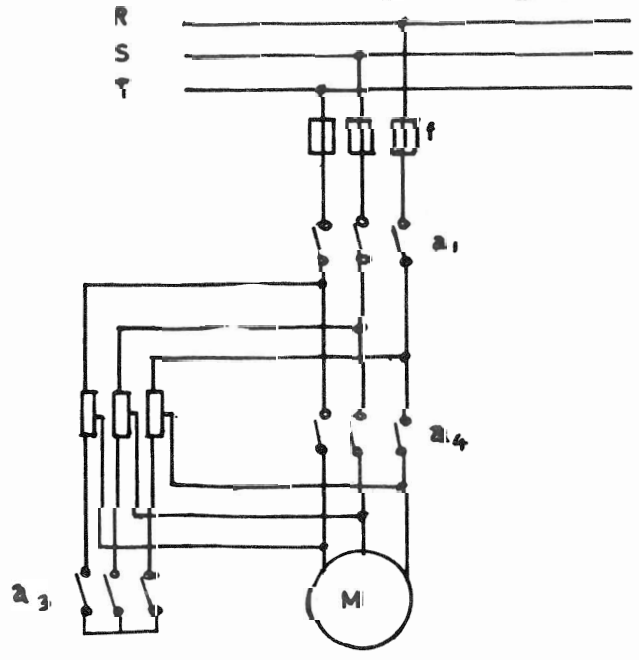
مقادیر جریان و گشتاور طبق منحنی‌های شکل ۱ هست. باتوجه به‌مقدار زیاد جریان راه‌اندازی، این روش برای الکتروموتورهای شناور تاقدرت ۷/۵ کیلووات بکار می‌رود. دراین الکتروموتورها یک کابل سه‌سیمه از داخل موتور خارج شده است.

باوصل‌کردن این سه‌سیم به‌سه‌فاز شبکه توسط کلید مناسب، اتصال مستقیم انجام می‌گیرد.

ب ــ راه‌اندازی توسط اتوترانسفورمر:

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

بطوریکه در شکل ۵ ملاحظه می‌شود یک ولتاژ تقلیل‌یافته به‌ترمینالهای 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 به‌موتور اعمال می‌شود. وسیلهٔ انجام این عمل ممکن است کلید هوائی و یا روغنی باشد.



(شکل ۶)

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

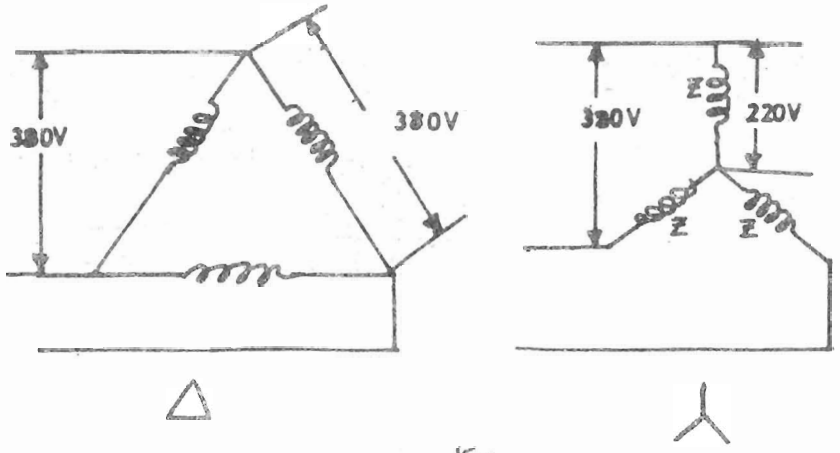
شکل (ع) مدار الکتریکی راه‌اندازی، توسط اتوترانسفورمر را نشان می‌دهد. ابتدا کلیدهای a_1 و a_3 وصل می‌شود، دراین‌حالت توسط اتوترانسفورمر ۷۰ % ولتاژ نامی به الکتروموتور اعمال می‌شود، وقتی الکتروموتور دور گرفت و به ۸۰ % الی ۹۰ % دور نامی خود رسید کلید a_3 قطع وکلید a_4 وصل می‌شود و الکتروموتور با ولتاژ نامی خود به‌کار ادامه می‌دهد.

ب ــ راه‌اندازی ستاره ــ مثلث:

این روش برای الکتروموتورهایی امکان‌پذیرهست که سیم‌بندی استاتورآنها درحالت کار دایم موتور، به‌صورت مثلث، بسته و ولتاژ خط روی آن اعمال شود. مثلا" در سیستم سه فاز ایران ولتاژ خط، ۳۸۰ ولت‌هست لذا الکتروموتور باید درحالت مثلث و کاردایم، برای سه فاز ۳۸۰ ولت، طرح شده باشد.

درصورتیکه چنین‌الکتروموتوری را بصورت‌ستاره به‌شبکه وصل کنیم ولتاژ دوسر هریک از سیم‌پیچی‌ها به‌مقدار $\frac{U}{\sqrt{3}}$ کاهش می‌یابد، طبق گفته‌های قبلی مقادیر گشتاورو جریان راه‌اندازی به‌نسبت $\frac{1}{3}$ مقادیر نامی کم می‌شوند. بعد از دور گرفتن الکتروموتورو اتمام زمان گذرا توسط رله زمانی، اتصال از حالت ستاره به‌مثلث تبدیل می‌شود. دراین موقع مقدار جریان با کمی جهش به‌مقدار نامی خود می‌رسد و الکتروموتور در نقطه نامی خود به‌کارش ادامه می‌دهد.

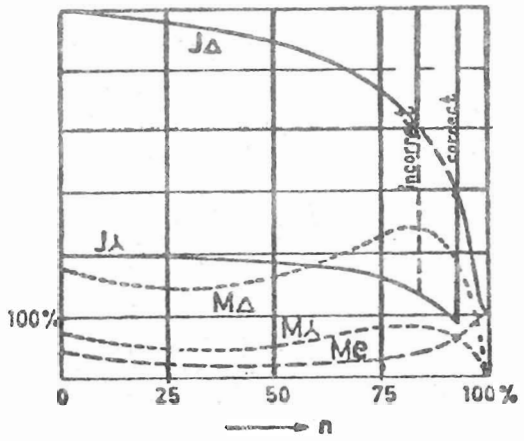
تمامی الکتروموتورهای شناور بیش از ۷/۵ کیلووات ساخت شرکت پمپیران، قابل راه‌اندازی با روش ستاره مثلث هستند.



شکل ــ ۷

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

نکته مهم در راه‌اندازی با روش ستاره ــ مثلث ، انتخاب مناسب زمان تبدیل ستاره به مثلث هست به‌طوری که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود اگر این مدت زمان کم باشد درموقع تبدیل از ستاره به‌مثلث باز هم مقدار زیادی جریان راه‌اندازی وجود خواهد داشت و در صورتیکه این‌عمل‌کند انجام گیرد مقدار جریانی‌که از داخل سیم پیچی ، حین کار درحالت ستاره ، عبور می‌کند بیشتر از جریان نامی موتور بوده و باعث گرم‌شدن و آسیب‌دیدن سیم پیچی خواهد شد .



شکل ــ۸ انتخاب زمان صحیح ستاره مثلث

مناسب‌ترین زمان برای‌عملکرد رلهٔ‌زمانی کلیه ستاره ــ 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 MACHINARY" MC GROW- HILL BOOK

3- LEXICON" CENTRIFUGAL PUMP" KSB PUBLICATION

4- ELECTRICAL HANDBOOK " SIEMENS PUBLICATION

5- SWITCHGEAR MANUAL" BBC PUBLICATION 1978

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

[Downloaded from journal.pumpiran.com on 2026-11-16]

جدول ۱

مشخصات الکتریکی الکتروموتورهای شناور ساخت شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران

	GE			7A						9A					
تیپ الکتروموتور	۳۳/۲	۵۳/۲	۷۳/۲	۹۳/۲	۱۱۳/۲	۱۳۳/۲	۱۵۳/۲	۱۸۳/۲	۲۲۳/۲	۳۰۳/۲	۳۷۳/۲	۴۵۴/۲	۵۵۳/۲	۶۲۳/۲	۷۳۳/۲
قدرت (کیلووات)	۳/۷	۵/۵	۷/۵	۹/۲	۱۱	۱۳	۱۵	۱۸/۵	۲۲	۳۰	۳۷	۴۵/۵	۵۵	۶۲/۵	۷۳/۵
دور در دقیقه	۲۸۴۰	۲۸۶۰	۲۸۳۰	۲۸۷۰	۲۸۶۵	۲۸۶۰	۲۸۶۵	۲۸۷۰	۲۸۶۰	۲۹۰۰	۲۹۱۰	۲۹۱۰	۲۹۰۵	۲۹۰۵	۲۹۰۵
$^4/_4$ بار	۷۴	۷۷	۷۹	۸۲	۸۳/۵	۸۳/۵	۸۵	۸۵	۸۵/۵	۸۴/۵	۸۶	۸۷	۸۷/۵	۸۷/۵	۸۷/۵
$^3/_4$ بار % ضریب بهره	۷۵	۷۸	۸۰	۸۲/۵	۸۴	۸۴	۸۵/۵	۸۶	۸۶/۵	۸۴	۸۵/۵	۸۶/۵	۸۷	۸۷	۸۶/۵
$^2/_4$ بار	۷۳	۷۵	۷۹	۸۱	۸۲/۵	۸۲/۵	۸۴	۸۴/۵	۸۵/۵	۸۰/۵	۸۳	۸۴	۸۴/۵	۸۵	۸۵/۵
$^4/_4$ بار	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۲۵	۰/۸۲۵	۰/۸۳۵	۰/۸۲۵	۰/۸۲۵
$^3/_4$ بار ضریب قدرت	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۸	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۶
$^2/_4$ بار	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۷	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۶۵
(آمپر) جریان نامی در ۳۸۰ ولت	۸/۸	۱۳	۱۷	۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۴۰	۴۷	۶۵	۸۰	۹۶	۱۱۵	۱۳۲	۱۵۵
اتصال مستقیم	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۶/۵	۶/۵	۶/۵	۶/۸	۶/۸	۶/۸
اتوترانسفو % ۷۰ جریان راه‌اندازی / جریان نامی	۲/۸	۲/۸	۲/۸	۲/۸	۲/۸	۲/۸	۲/۸	۲/۸	۲/۸	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۴	۳/۴	۳/۴
ستاره ـ مثلث	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۸۱/۸	۱/۸	۱/۸	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۳	۲/۳	۲/۳
حداکثر افت ولت مجاز	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %	۵ %
فاصله زمانی دو استارت	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'	۴'
حداکثر درجه حرارت آب	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۵	۲۵	۲۵	۲۰	۲۰