

بسم الله الرحمن الرحيم

توربو ماشین ها



محمدصادق کریمی

گروه تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف



مفاهیم، کمیت‌ها

۸-۱





مقدمه

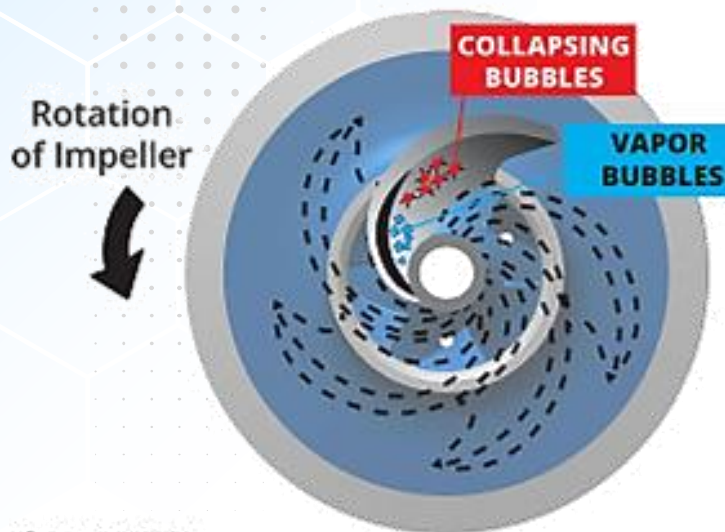
❖ آب یا هر مایع دیگری در هر دما، در فشار اشباع تبخیر می‌شود. آب در دمای 100°C در فشار یک اتمسفر تبخیر می‌شود. در حالی که در دمای 20°C در فشار 0.02 اتمسفر تبخیر می‌شود.

❖ اگر در حین عبور جریان مایع در چرخ پمپ، فشار از فشار اشباع در دمای مربوطه کمتر می‌شود، حباب‌های بخار تشکیل شده و همراه مایع به نواحی پر فشار حرکت می‌کند. اگر در محل جدید فشار به اندازه کافی زیاد باشد، حباب‌های بخار تقطیر می‌شوند.

❖ در این صورت ذرات مایع اطراف حباب‌ها، برای پر کردن فضای خالی ناشی از ترکیدن آن‌ها از مسیر اصلی منحرف شده و با سرعت‌های بسیار زیاد به اطراف و پره‌ها برخورد می‌کنند. در چنین مکانی، بسته به شدت برخورد، سطح پره‌ها خورده شده و متخلخل می‌گردد.

❖ پدیده کاویتاسیون برای پمپ‌ها بسیار خطرناک بوده و پس از مدتی می‌تواند منجر به تخریب کامل چرخ گردد. مکانیزم خوردگی در اثر کاویتاسیون بسیار پیچیده است.

❖ در پمپ‌های سانتریفوژ هنگام ورود مایع به داخل چرخ به علت افزایش سرعت، فشار به طور موضعی کاهش می‌یابد و در نقطه‌ای نزدیک دهانه ورودی به حداقل می‌رسد.





مقدمه

❖ اگر در این نقطه فشار مایع از فشار اشباع بیشتر باشد، مایع در طول حرکت خود در چرخ تک فاز باقی خواهد ماند و کاویتاسیون رخ نمی‌دهد. بنابراین شناخت نقطه مینیمم فشار در چرخ مهم است.

❖ کاویتاسیون همواره با صداهای منقطع آغاز می‌شود و در صورت کاهش فشار ورودی شدت صداها افزایش می‌یابد. صدای کاویتاسیون خاص و مشخص بوده و شبیه برخورد گلوله به سطح فلزی است. همزمان با تولید صدا پمپ به ارتعاش در می‌آید.

❖ در نهایت صداهای منقطع تبدیل به صدای شدید و دائم می‌گردد.

❖ در همین حال با اشغال فضای بین پره‌ها با بخارات سیال و کاهش سطح عبوری مایع، دبی پمپ نیز کاهش می‌یابد و یا قطع می‌شود.

❖ خوردگی‌های شدید فلز توسط کاویتاسیون در محل به وجود آمدن حباب‌ها نیست بلکه هنگامی که این حباب‌ها با جریان به نزدیک محل خروج چرخ می‌رسند، در اثر تقطیر ناگهانی موجب تغییرات شدید فشار با فرکانس خیلی بالا می‌گردد.

❖ فرکانس بین ۲۰ تا ۲۵ کیلو هرتز و فشار ماکزیمم تا هفت برابر فشار دینامیک اندازه‌گیری شده است. ذرات سیال با سرعت و فرکانس بالا به طور مداوم به سطح چرخ برخورد کرده و سبب خوردگی چرخ می‌گردد.





مقاومت فلزات در برابر کاویتاسیون

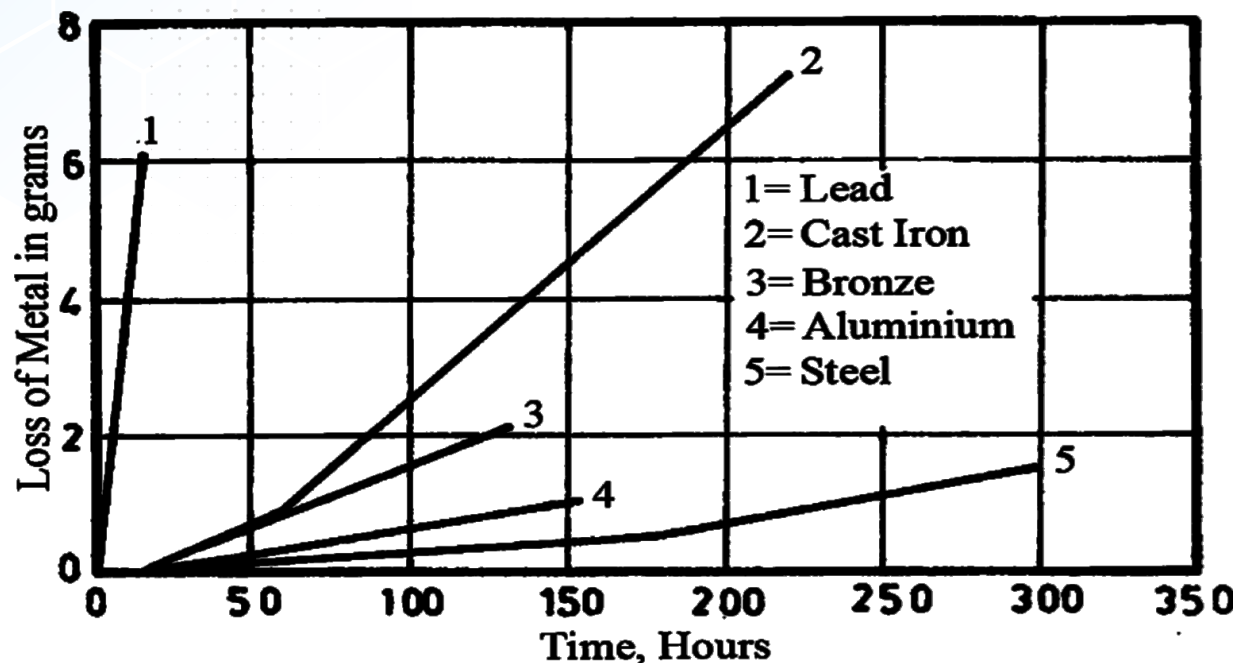
❖ فلزات مختلف در برابر کاویتاسیون مقاومت‌های گوناگونی دارند.

❖ تا امروزه فلزی یافت نشده که بتواند در مقابل کاویتاسیون به طور کامل مقاومت کند.

❖ خوردگی مکانیکی در اثر کاویتاسیون با خوردگی شیمیایی و الکتروشیمیایی متفاوت است.

❖ مقاومت فلزات در مقابل کاویتاسیون به پارامترهای مختلفی از لحاظ نحوه ساخت و تولید فلز، آلیاژهای به کار رفته، یکنواخت بودن سطح فلز در موقع ریخته‌گری یا عملیات حرارتی و درجه مقاومت فلز در مقابل خستگی دارد.

❖ نتایج آزمایش‌هایی که بر روی مقاومت فلزات در مقابل کاویتاسیون انجام شده است.





نقطه فشار کمینه

❖ نقطه فشار مینیمم روی سطح کم فشار پره‌ها و کمی دورتر از لبه حمله قرار دارد.

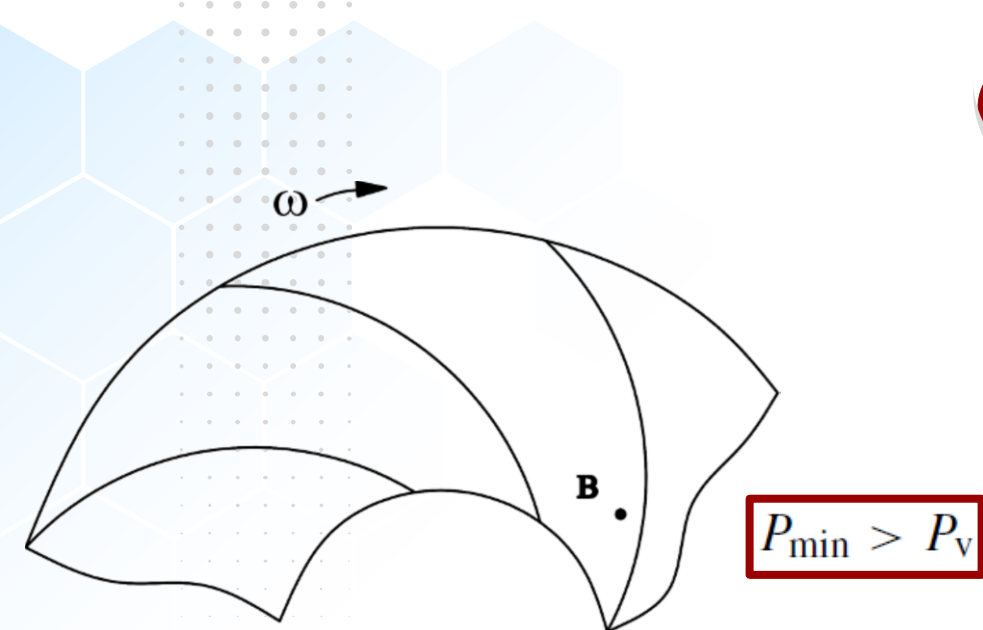
❖ کاویتاسیون از این نقطه شروع می‌شود و برای عدم وقوع کاویتاسیون باید فشار در این نقطه از فشار بخار مایع بیشتر باشد.

❖ معادله انرژی در حرکت نسبی بین لبه ورودی پره‌ها (۱) و نقطه فشار مینیمم (با صرف نظر کردن از تلفات و فرض: $U_1 = U$)

❖ ضریب بی بعد λ به نوع پروفیل پره و چرخ، تیپ پمپ و نقطه کار آن بستگی دارد.

❖ λ با تغییر دبی پمپ تغییر می‌کند و در نواحی طراحی حداقل مقدار خود را دارد.

❖ برای نقطه طراحی پمپ‌های محوری $\lambda=0.25-0.3$ و پمپ‌های سانتریفوژ $\lambda=0.16-0.2$



$$P_{\min} > P_v$$

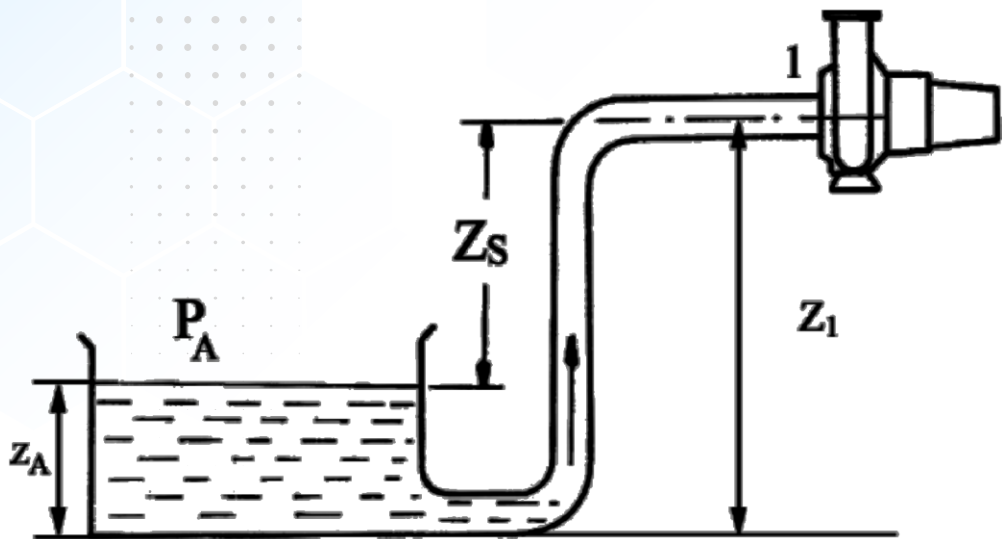
$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{W_1^2}{2g} - \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_{\min}}{\rho g} + \frac{W_{\max}^2}{2g} - \frac{U^2}{2g}$$

$$\frac{P_1 - P_{\min}}{\rho g} = \frac{W_{\max}^2 - W_1^2}{2g}$$

$$\frac{P_1 - P_{\min}}{\rho g} = \frac{W_1^2}{2g} \left[\left(\frac{W_{\max}}{W_1} \right)^2 - 1 \right] \quad \frac{\Delta p}{\gamma} = \lambda \frac{W_1^2}{2g}$$

$$\lambda = \left(\frac{W_{\max}}{W_1} \right)^2 - 1 \text{ and } \Delta p = P_1 - P_{\min}$$





$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_{f_A^1}$$

$$Z_s = \frac{P_A}{\gamma} - \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{f_A^1} \right)$$

$$Z_s = \frac{P_A}{\gamma} - \left(\frac{P_{\min}}{\gamma} + \lambda \frac{W_1^2}{2g} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{f_A^1} \right)$$

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = \lambda \frac{W_1^2}{2g}$$

$$Z_{S \max} = \frac{P_A}{\gamma} - \left(\frac{P_v}{\gamma} + \lambda \frac{W_1^2}{2g} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{f_A^1} \right)$$



ارتفاع مکش مجاز پمپ‌ها





ارتفاع مکش مجاز پمپ‌ها

$$Z_{S \max} = \frac{P_A}{\gamma} - \left(\frac{P_v}{\gamma} + \lambda \frac{W_1^2}{2g} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{f_A^1} \right)$$

- ❖ هرچه فشار P_A منبع مکش بیش‌تر باشد، ارتفاع مکش مجاز پمپ نیز بیش‌تر خواهد بود. در مورد منابع رو باز این معرف فشار اتمسفر است که از ۱۰/۳۳ متر در سطح دریا شروع شده و با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد.
- ❖ هر چه دمای سیال بیش‌تر باشد فشار بخار P_v بیش‌تر و ارتفاع مکش مجاز کم‌تر می‌شود. باید مکش پمپ‌های تغذیه دیگ بخار نیروگاه تحت فشار قرار گیرد.
- ❖ با افزایش V_1 در دهانه پمپ ارتفاع مکش مجاز کاهش می‌یابد. در طراحی توربو پمپ‌ها نمی‌توان این سرعت را از حد مجازی بیش‌تر انتخاب نمود. همچنین به علت کاویتاسیون، سرعت دورانی که با V_1 و W_1 مرتبط می‌شود در این ماشین‌ها محدود می‌گردد.
- ❖ با افزایش تلفات در لوله مکش، ارتفاع مجاز مکش کاهش می‌یابد.
- ❖ برای جلوگیری از وقوع کاویتاسیون، هیچ‌گاه شیر تنظیم دبی را روی لوله مکش پمپ قرار نمی‌دهند و معمولاً قطر لوله مکش را نیز بزرگ‌تر از لوله رانش انتخاب می‌نمایند.





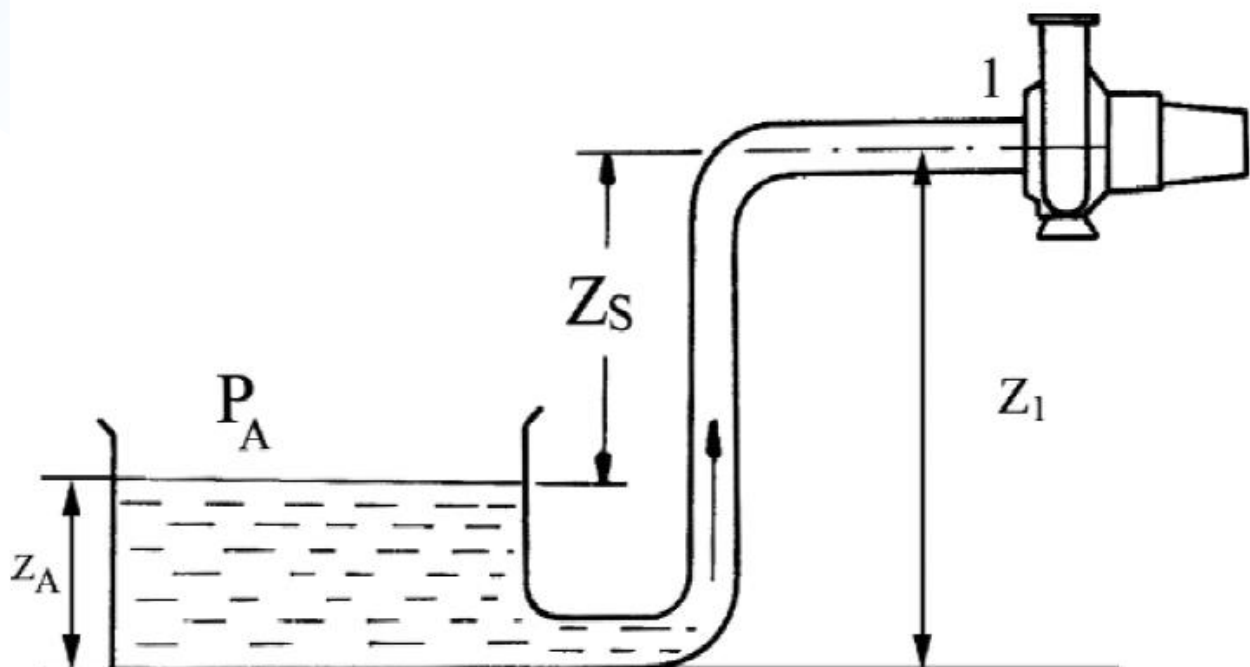
ارتفاع مکش مجاز پمپ‌ها

$$Z_{S \max} = \frac{89.5}{g} - 3.5 \frac{V_1^2}{2g}$$

❖ رابطه تجربی زیر توسط استپانوف ارائه شده است:

❖ این رابطه برای پمپ‌های سانتریفوژ با سرعت دورانی معمول و آب ۲۰ درجه سانتیگراد و هنگامی که منبع تغذیه باز و تحت فشار اتمسفر باشد.

❖ اولین تقریب جهت محاسبه ارتفاع مکش ماکزیمم.





ارتفاع مکش خالص مثبت (NPSH) Net Positive Suction Head

$$NPSH = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma}$$

- ❖ سازندگان پمپ ارتفاع مکش خالص مثبت را بصورت زیر استفاده می کنند:
- ❖ این کل انرژی موجود سیال در دهانه مکش پمپ قبل از تبخیر است.
- ❖ $NPSH_R$ مدار: عبارت است از کل انرژی موجود سیال در دهانه مکش پمپ که از رابطه بالا محاسبه می شود.
- ❖ $NPSH_P$ پمپ: عبارت است حداقل انرژی لازم سیال در دهانه مکش پمپ برای عدم وقوع کاویتاسیون
- ❖ برای محاسبه $NPSH_P$ از رابطه بالا استفاده می شود لیکن سرعت و فشار مربوط به آستانه کاویتاسیون در رابطه قرار داده می شود.
- ❖ سازندگان پمپ منحنی مشخصه $NPSH_P$ پمپ را در کاتولوگ ها ارائه می دهند و $NPSH_R$ مدار در هر مورد بایستی محاسبه شود.
- ❖ شرط عدم کاویتاسیون:

$$NPSH_R \text{ مدار} < NPSH_P \text{ پمپ}$$





ارتفاع مکش خالص مثبت (NPSH) Net Positive Suction Head

❖ رابطه ارتفاع مکش مجاز بصورت زیر است:

$$Z_{S \max} = \frac{P_A}{\gamma} - \left(\frac{P_v}{\gamma} + \frac{\Delta P_{\min}}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{f_A^1} \right)$$

$$\Delta P_{\min} = P_{1 \min} - P_v$$

$$Z_{S \max} = \frac{P_A}{\gamma} - \left(\frac{P_v}{\gamma} + \frac{P_{1 \min}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{f_A^1} \right)$$

$$Z_{S \max} = \frac{P_A}{\gamma} - \left(\frac{P_v}{\gamma} + \text{NPSH}_P + H_{f_A^1} \right)$$

❖ اگر فشار منبع مکش برابر فشار اتمسفر و درجه حرارت آب دمای محیط باشد، می توان ارتفاع مکش ماکزیمم قبل از نصب پمپ را بطور تقریبی از رابطه زیر بدست آورد:

$$Z_{S \max} \cong 10.33 - \text{NPSH}_P$$

❖ از این مقدار حدود ۰/۵ متر به عنوان تلفات در لوله مکش + فشار تبخیر آب + ضریب اطمینان کم شده تا ارتفاع نصب معلوم شود.

❖ فشار اتمسفر نیز به محل جغرافیای بستگی داشته و عدد ۱۰/۳۳ نیز بایستی اصلاح شود.

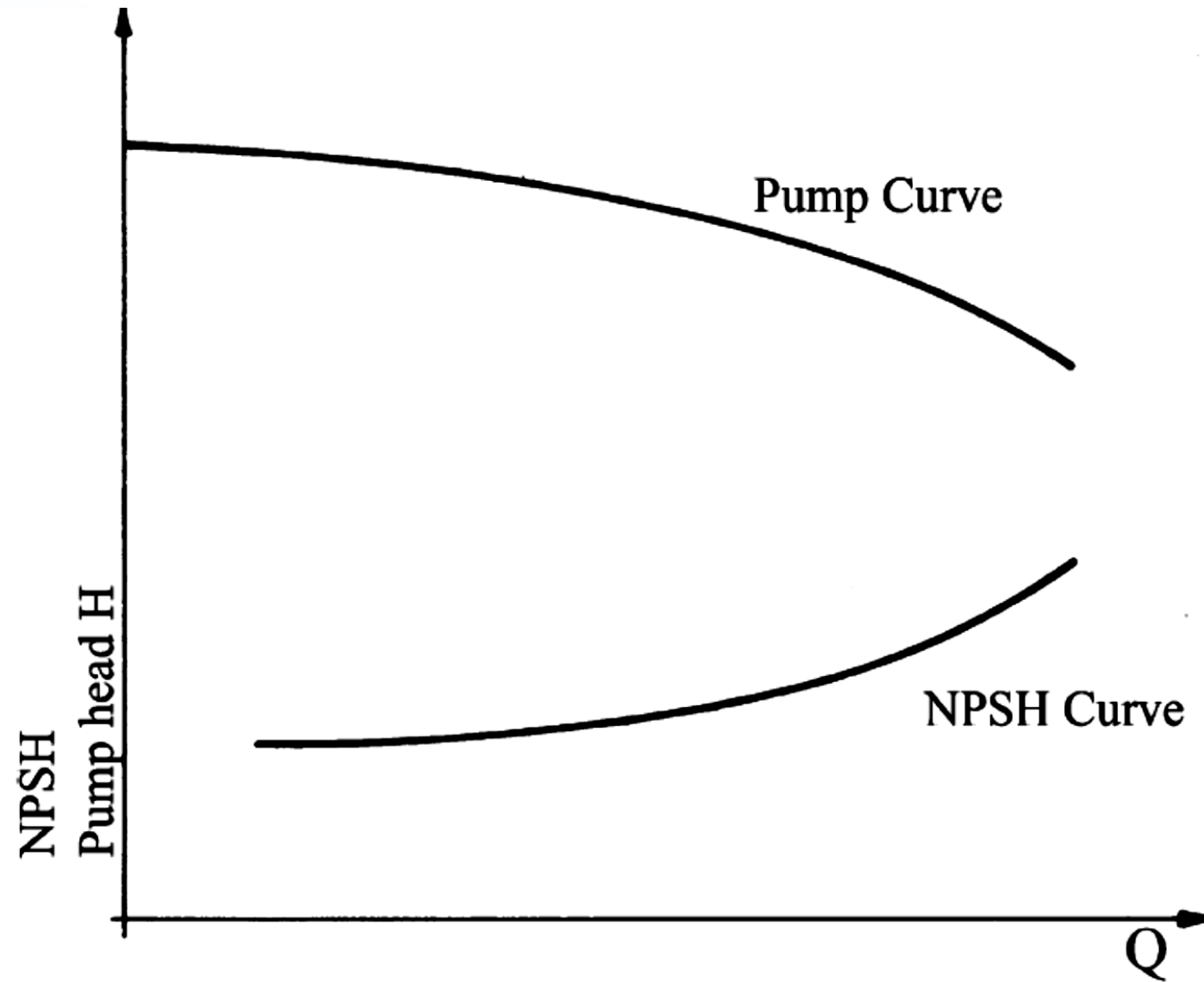
❖ همانطور که توضیح داده شد منحنی $\text{NPSH}_P = f(Q)$ به عنوان یک مشخصه پمپ توسط سازنده ارائه داده خواهد شد.



ارتفاع مکش خالص مثبت (NPSH) Net Positive Suction Head



کاویتاسیون

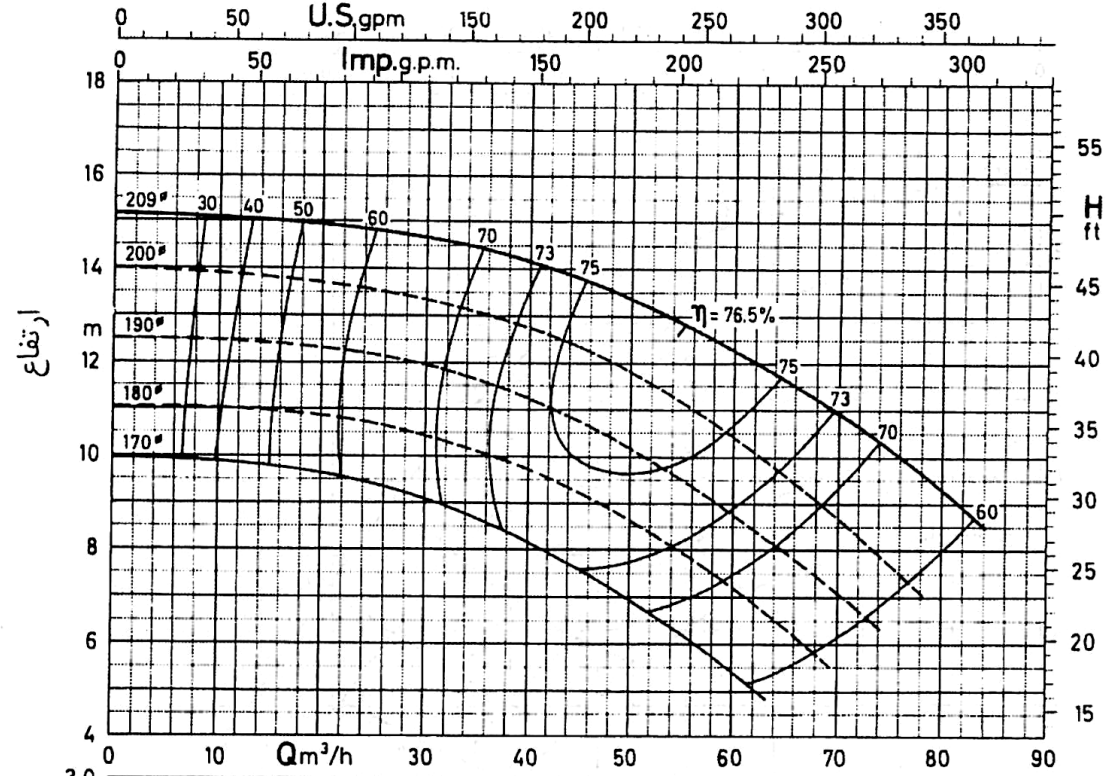
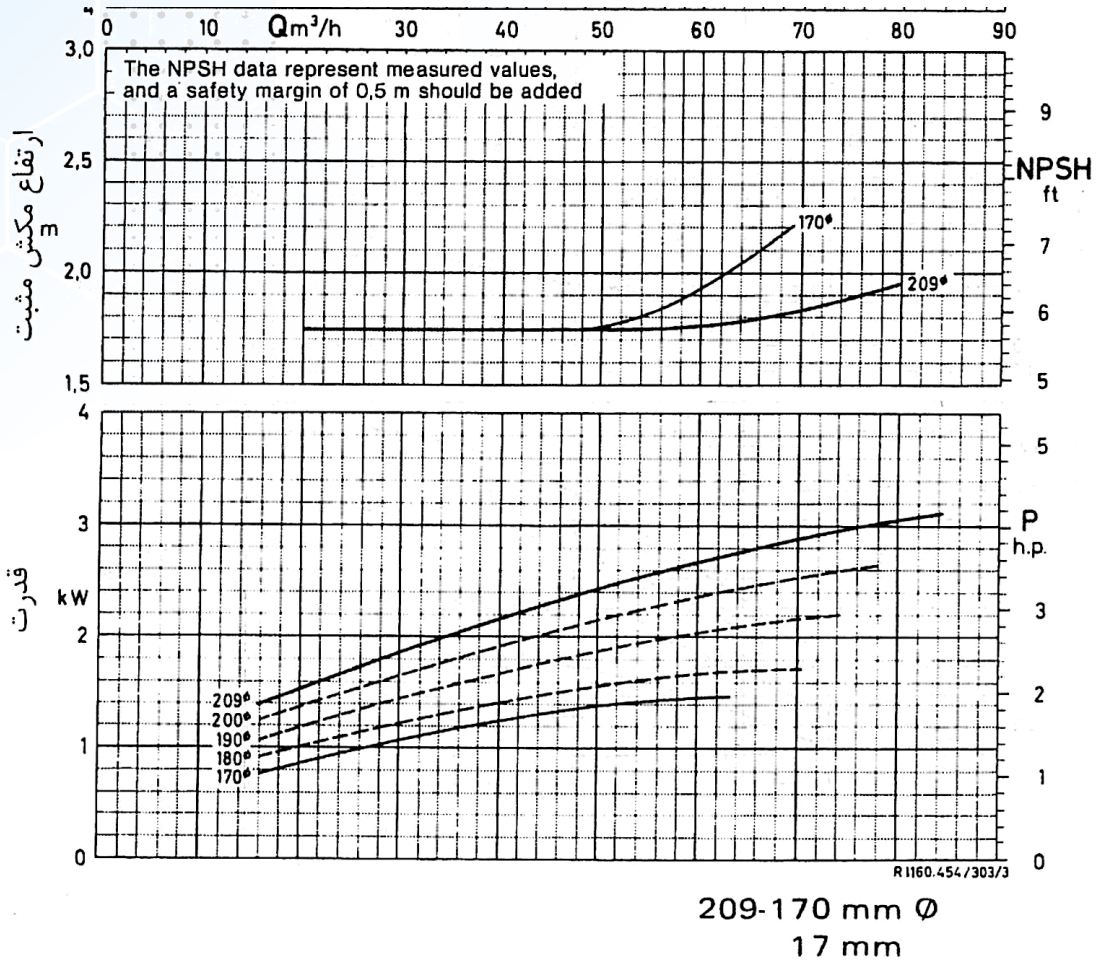


ارتفاع مکش خالص مثبت (NPSH) Net Positive Suction Head



دور موتور ۱۴۵۰

ETANORM 65-200



سپاس از توجه شما
