

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

# کاویتاسیون در پمپ و شیر

تالیف:

دکتر حسن رحیمزاده  
علیرضا مسجدیان جزی



فردا ایستاد



## مقدمه

موضوع انتقال و کنترل جریان مایعات، خصوصاً آب، از موضوعات مورد توجه تمام جوامع در تمام زمان‌ها و مکان‌ها بوده است. در جهان امروز و در تمام صنایع، نقش پمپ‌ها و شیرها و اجزاء جانبی آنها، از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. پس از دوران طولانی که انسان‌های فکور برای رسیدن به هدف جابه‌جایی سیال (آب) از روش‌های مختلف، مانند انرژی حیوانی، استفاده کرده‌اند تا به امروز که از انرژی‌های مختلف استفاده می‌شود. همواره بهره‌برداری صحیح و راندمان مطلوب در روش انتقال مدنظر بوده است.

در عصر حاضر، سازندگان پمپ‌ها و شیرها نکاتی همچون وزن، سروصدا، تعمیرات و نگهداری، کاهش مصرف انرژی، قیمت و نحوه‌ی بکارگیری این تجهیزات اساسی در شرایط گوناگون را همواره در دست تحقیق و بررسی دارند.

موضوع خوردگی چه توسط خواص شیمیایی سیال و چه در اثر رخدادهای هیدرودینامیکی بر روی این تجهیزات همواره مورد توجه محققین و سازندگان و بهره‌برداران بوده است. در این راستا طراحی پمپ‌ها، خصوصاً پمپ‌های سانتریفوژ که یکی از پر مصرف‌ترین تجهیزات دوار در صنایع گوناگون می‌باشند، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. شیرآلات نیز در کنار پمپ‌ها همواره به کار برده می‌شود و در سیستم‌های انتقال سیال نقش کلیدی را ایفا می‌نمایند. مولفه‌های مختلفی همچون: منحنی عملکرد پمپ‌ها و شیرآلات، ظرفیت کارکردی، راندمان، مشخصات هندسی یا هیدرولیکی با توان‌های مختلف دائماً در حال بررسی و رقابت بین سازندگان بوده است.

از سوی دیگر در رابطه با بهره‌گیران پمپ‌ها و شیرآلات نکات مهم دیگری مانند: دوام و طول عمر مطلوب، نصب آسان، تعمیرات سریع، کاهش مصرف انرژی، ارتفاع بین منبع تا محل مصرف و در بعضی موارد مقاوم بودن در برابر مواد انتقال یافته و مواردی از این دست دغدغه خاطر مصرف‌کنندگان می‌باشد. آموزش بهره‌برداران نیز از موارد ضروری می‌باشد، زیرا مسائل و مشکلات فراوانی در اثر عدم شناخت و کم‌اطلاعی از شرایط کارکرد پمپ و شیر ظهور می‌کنند که ما را بر آن داشت تا حدودی جهت ارتقاء سطح دانش پژوهشگران، دانشجویان و صنعتگران در مورد یکی از پدیده‌های بسیار رایج در سیستم‌های انتقال سیالات تحت عنوان حفره‌زایی یا کاویتاسیون مطالبی را تقدیم علاقه‌مندان نماییم. در دنیای کوچک کاویتاسیون مطالب گسترده و جالبی مشاهده شده است و کماکان در حال بررسی می‌باشد. این پدیده همواره مورد توجه بسیاری از شرکت‌های پمپ‌ساز و تولیدکنندگان شیرآلات، لوله و اتصالات بوده است. تحلیل تصاویر موجود از تخریب‌های این پدیده تا تحلیل‌های گسترده نظری در فیزیک این پدیده، همگی در جهت دستیابی به شناخت بیشتری برای کاهش زیان و نهایتاً کنترل این پدیده صورت می‌گیرد.

در این نوشتار، ابتدا به معرفی اجمالی این پدیده و روش‌های مختلف شکل‌گیری آن پرداخته شده است. در ادامه نحوه عملکرد پمپ معرفی شده و چگونگی تأثیرات کاویتاسیون بر عملکرد این دستگاه‌ها

بیان شده است. با توجه به اهمیت خوردگی این پدیده در پمپ‌ها، در فصل جداگانه‌ای خوردگی‌های حاصله بر روی پروانه پمپ بررسی شده است. در فصلی جداگانه نیز عملکرد شیر کف فلزی، که از پرمصرفترین شیرهای کنترلی و تنظیم دبی می‌باشد، مدنظر قرار گرفته شده و تأثیرات حضور کاویتاسیون در آن بررسی شده است. در این راستا چند روش اندازه‌گیری و شناسایی کاویتاسیون به صورت کاربردی بررسی گردیده و در خاتمه نیز، چند روش آزمایشگاهی و صنعتی برای تشخیص این پدیده در مورد پمپ و شیر توسط محققان مختلف و نگارنده ارائه شده است. از آنجا که در بسیاری از سیستم‌های بسته عمر کوتاه‌تری را داشته و بیشتر در معرض خطر بروز این رخداد می‌باشند، لذا از افزودنی‌های مختلف جهت افزایش کارایی این سیستم‌ها استفاده می‌شود. افزودنی‌های نانو برای کاربردهای مختلفی مانند افزایش انتقال حرارت، افزایش میزان جذب حباب در سیال، افزایش ضریب هدایت و غیره استفاده می‌شود. از این رو و با توجه به کاربردهای رو به رشد نانو تکنولوژی در سیستم‌های انتقال سیال اثر، بررسی مواد نانو بر این پدیده در شیرآلات یکی از موضوعات جدید و کاربردی می‌باشد که در قالب یک کار تحقیقاتی و آزمایشگاهی انجام شده و در انتها ارائه شده است.

امید است که این مطالب مثمر ثمر قرار گرفته و بستری برای سایر محققان و بهره‌برداران گرامی قرار گیرد.

گروه مولفان

زمستان ۱۳۸۹

# فهرست

۱

## فصل اول: مفاهیم اولیه

- ۱.۱ تعریف کاویتاسیون ۳
- ۲.۱ انواع کاویتاسیون ۳
  - ۱.۲.۱ کاویتاسیون هیدرودینامیکی ۴
  - ۲.۲.۱ کاویتاسیون صوتی ۴
  - ۳.۲.۱ کاویتاسیون نوری ۴
  - ۴.۲.۱ کاویتاسیون ذره‌ای ۵
- ۳.۱ معیار شدت کاویتاسیون برای حالت عمومی سیالات ۵
- ۴.۱ فرو ریزش حباب‌ها ۶
- ۵.۱ دینامیک حباب ۷
- ۶.۱ حباب و ذرات بسیار ریز ۱۰
  - ۱.۶.۱ انواع هسته‌ها ۱۰
  - ۲.۶.۱ ارتباط بین هسته گاز - ذره ۱۵
  - ۳.۶.۱ شتابگیری ذره توسط حباب ۱۶
  - ۴.۶.۱ حباب و نانو ذرات و تاثیر آن بر جذب ۱۹
- ۷.۱ کاویتاسیون و پلیمر ۲۲
- ۸.۱ اثرات عمومی کاویتاسیون ۲۶
  - ۱.۸.۱ خوردگی ۲۶
  - ۲.۸.۱ سرو صدای ناهنجار ۲۹
  - ۳.۸.۱ نور افشانی ۳۰

۳۵

## فصل دوم: مروری بر رفتار هیدرولیکی پمپ

- ۱.۲ سرعت مشخصه‌ی یک پمپ ( $n_s$ ) ۳۸
- ۲.۲ ارتفاع خالص مثبت مکش پمپ ۳۹
  - ۱.۲.۲ انتخاب NPSH مبنا ۴۱
  - ۲.۲.۲ NPSH (4mm) ۴۲
  - ۳.۲.۲ NPSH (spl) ۴۳
  - ۴.۲.۲ تخمین مقدار NPSH ۴۴
  - ۵.۲.۲ ثابت کاویتاسیون برای پمپ ۴۷

- ۳.۲ کاویتاسیون در نقطه عملکرد ۴۹
- ۴.۲ سه حالت جریان کاویتاسیون ۴۹
- ۱.۴.۲ حالت ناپایدار ۵۱
- ۲.۴.۲ حالت گذرا ۵۲
- ۵.۲ عوامل موثر بر کاویتاسیون در پمپ ۵۲

## فصل سوم: کاویتاسیون، عامل جدی بیماری‌های پمپ (آثار کاویتاسیون بر پمپ) ۵۵

- ۱.۳ کاهش دبی پمپ ۵۸
- ۲.۳ کاهش هد پمپ ۵۸
- ۳.۳ صدای ناهنجار و ارتعاشات ۵۹
- ۴.۳ خوردگی کاویتاسیون یا حفره‌سازی آن ۶۱
- ۵.۳ تغییر شکل‌های مکانیکی ۶۱
- ۶.۳ خوردگی شیمیایی ناشی از کاویتاسیون ۶۲
- ۷.۳ تأثیرات روی منحنی عملکردی پمپ ۶۲
- ۸.۳ تأثیرات روی ارتفاع مثبت خالص مکش ۶۳

## فصل چهارم: بررسی انواع خوردگی کاویتاسیون در پمپ ۶۵

- ۱.۴ خوردگی عمومی در سطح پره پروانه ۶۸
- ۲.۴ خوردگی در دیواره پروانه ۷۱
- ۳.۴ خوردگی در توپی پروانه و پای پره پروانه ۷۲
- ۴.۴ خوردگی در سمت پرفشار بره پروانه ۷۳
- ۵.۴ خوردگی در محیط بیرونی پره یا دیواره ۷۵
- ۶.۴ خوردگی در لبه خروجی پره پروانه (خوردگی انتهای پروانه) ۷۵

## فصل پنجم: کاویتاسیون در شیر ۷۷

- ۱.۵ کلیات کاویتاسیون در شیرهای کنترلی ۷۹
- ۲.۵ روش اول - منحنی عملکردی ۸۰
- ۱.۲.۵ شاخص کاویتاسیون برای شیرها ۸۱
- ۱.۲.۵ ضریب بازیابی فشار ۸۱
- ۳.۵ توضیحات مکمل در رابطه با کاویتاسیون و فلشینگ ۸۴
- ۴.۵ روش دوم - نوین ۸۵
- ۱.۴.۵ SPL ۸۶

۲.۴.۵ دلایل نويز در شیرها ۸۶

۵.۵ روش سوم - مشاهده حباب ۸۸

۶.۵ روش چهارم - نورافشانی ۸۸

۱.۶ اندازه گیری نورافشانی کاویتاسیون ۹۱

۱.۱.۶ روش مشاهده ای ۹۱

۲.۱.۶ روش سنسورهای حساس ۹۱

۳.۱.۶ استفاده از CCD های بسیار حساس ۹۳

۲.۶ روش بررسی مشخصه عملکردی ۹۴

۱.۲.۶ روش اول؛ هند تولیدی نسبت به دبی (NPSH ثابت) ۹۴

۲.۲.۶ روش دوم؛ هند تولیدی نسبت به NPSH (دبی ثابت) ۹۴

۳.۶ نگه داشتن فشار کار بالاتر از فشار بخار سیال ۹۵

۴.۶ مواد افزودنی ۹۶

۱.۴.۶ اثرات مواد افزودنی روی سیال ۹۷

۵.۶ تقویت متالورژیکی مواد و پوشش دهی مناسب ۹۸

۶.۶ راه های عملی و پیشنهادی برای شناخت کاویتاسیون ۹۸

۱.۶.۶ ارسال صوت اولتراسونیک و اندازه گیری مقدار آن در طرف دیگر پمپ ۹۹

۲.۶.۶ تحلیل پارامترهای خارجی پمپ به وسیله شبکه عصبی ۹۹

۳.۶.۶ اندازه گیری نويز ۱۰۲

۱.۷ بررسی آزمایشگاهی تاثیر کاویتاسیون بر پمپ ۱۰۷

۲.۷ بررسی آزمایشگاهی تاثیر کاویتاسیون بر شیر گلاب ولو ۱۰۹

۱.۲.۷ روش منحنی مشخصه ۱۰۹

۲.۲.۷ روش دوم- نويز SPL ۱۱۱

۳.۷ بررسی اثر مواد نانو بر رخ داد کاویتاسیون ۱۱۳

۱.۳.۷ گذری کوتاه بر نانو تکنولوژی ۱۱۳

۲.۳.۷ کاربردهای مختلف و مربوطه به کاویتاسیون ۱۱۴

۳.۳.۷ تئوری حباب های آزاد ۱۱۶

۴.۳.۷ آزمایشات ۱۱۷

۴.۷ بررسی اثر مواد پلیمری بر کاویتاسیون ۱۲۰

۱.۴.۷ مشخصه‌ها و تعاریف جایی ۱۲۰

۲.۴.۷ انواع سیال غیرنیوتنی ۱۲۲

۳.۴.۷ سی ام سی ۱۲۶

۴.۴.۷ آزمایشات ۱۳۲

پیوست ۱۳۷

منابع و مراجع ۱۵۱

فهرست الفبایی ۱۵۹