

# نقش نگهداری و تعمیرات پمپ های هیدرولیک پیستونی در کاهش هزینه ها در صنعت

علی امانی سرپرست تاسیسات کارخانه سیمان گیلان سبز ، [ali.amani20155@gmail.com](mailto:ali.amani20155@gmail.com)

## چکیده

سیستم های هیدرولیک به عنوان مهم ترین بخش از تجهیزات یک کارخانه سیمان در نظر گرفته می شوند. در همین راستا در این مقاله ابتدا به طور کلی به بررسی سیستم های هیدرولیک و انواع مختلف آن پرداخته شده است، و در ادامه پمپ های پیستونی جابجایی مثبت مورد بررسی قرار گرفته اند. ابتدا ویژگی این پمپ ها و اجزای مختلف آن آورده شده است، و سپس برخی از مشکلات پیش آمده در این پمپ ها و راهکار های برطرف کردن آنها بیان شده است و در نهایت بهترین تفکر در مورد تعمیر و نگهداری و بیان بهترین روش نگهداری که سبب بازده اقتصادی در سیستم های هیدرولیک می شود بیان شده است.

**کلمات کلیدی:** هیدرولیک، پمپ پیستونی، تعمیرات، نگهداری

## مقدمه

هیدرولیک فن آوری تولید، کنترل و انتقال قدرت توسط سیال تحت فشار است. توسعه علم هیدرولیک زمانی شروع شد که پاسکال دانشمند فرانسوی قوانین مربوط به فشار را کشف کرد و هیدرولیک را به عنوان یک علم نوین پایه گذاری نمود. امروزه در بسیاری از فرایندهای صنعتی و انتقال قدرت به صورت کم هزینه و با دقت زیاد مورد نظر است. در همین راستا بکارگیری سیال تحت فشار در انتقال و کنترل قدرت سیال به دو شاخه هیدرولیک و نیوماتیک تبدیل می شود. کاربرد سیستم های هیدرولیک عمدتاً در مواردی است که قدرت های بالا و سرعت های کنترل شده و دقیق مورد نظر باشد (مانند جک های هیدرولیک، ترمز و فرمان هیدرولیک).

## برخی از قوانین کاربردی در سیالات

اصل بقای جرم: این اصل بیانگر این است که مقدار سیالی که در یک سیستم حرکت می کند مقدارش تغییر نمی کند و در مقاطع مختلف سرعت و فشار آن تغییر می کند.

$$P_1 V_1 A_1 = P_2 V_2 A_2 \quad (1)$$

اصل بقای انرژی (رابطه برنولی)

این اصل بیانگر ثابت بودن انرژی کل واحد وزن سیال است که شامل مجموعه سه نوع انرژی فشاری، جنبشی و پتانسیل است که در مقاطع مختلف کم و زیاد می شوند و از یک نوع به نوع دیگر تبدیل می شوند.

در سیالات این نوع انرژی ها را بر حسب هد آنها به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho} + h_1 = p_2 + \frac{v_2^2}{r} + \frac{h_2}{2g} + \Delta H \quad (2)$$

$\Delta H =$  افت انرژی بین نقاط ۱ و ۲

اصل بقای مومنتم (قانون ۲ نیوتن): که رابطه ای است اساسی برای انتقال انرژی بین سیال و روتور که بیانگر این موضوع است که تغییرات مومنتم یک سیال متناسب است با نیروی وارد شده به روتور.

$$F = m(v_{t1} - v_{t2}) \quad (3)$$

قانون سوم نیوتن: هر عملی را عکس العملی است مساوی و در خلاف جهت آن.

قانون پاسکال: پایه هیدرولیک نوین است، این قانون بیان می کند که فشار وارده به هر نقطه از یک مایع محدود بطور مساوی در تمام جهات منتقل شده و با نیروی مساوی روی سطوح اثر می کند. از این اصل دو استفاده می شود (۱) افزایش نیرو (۲) افزایش فشار

$$P = \frac{F}{A} \quad (4)$$

جدول ۱. واحد های فشار

	علمی SI	کارگاهی یا عملی
نیرو F	N	KgF 1KgF=10N
فشار P	(N/m <sup>2</sup> ) Pa	KgF/CM <sup>2</sup> 10 <sup>5</sup> Pa=1bar

### مزایای یک سیستم هیدرولیک:

- طراحی ساده
- قابلیت افزایش نیرو
- سادگی و دقت کنترل
- انعطاف پذیری
- راندمان بالا
- اطمینان
- خود روانکاری
- تعمیر و نگهداری ساده

### برخی معایب یک سیستم هیدرولیک:

- خطر کارکرد در فشارهای بالا
- هزینه بالا
- افت فشار (هرچه ویسکوزیته بالاتر باشد افت فشار بیشتر است)

## بطور کلی یک سیستم هیدرولیک چهار کار اساسی انجام می دهد:

(۱) تبدیل انرژی مکانیکی به قدرت سیال تحت فشار به وسیله پمپ ها

(۲) انتقال سیال تا نقاط مورد نظر توسط لوله ها و شلنگ ها

(۳) کنترل فشار، جهت و جریان سیال توسط شیرها

(۴) انجام کار توسط عملگرها

## هر سیستم هیدرولیک از چارت زیر پیروی میکند:



## قسمت های مختلف یک سیستم هیدرولیک:

(۱) موتورها (محرک پمپ های هیدرولیک)

-الکترو موتورهای تک فاز      -الکترو موتورهای سه فاز      -موتورهای بنزینی و دیزلی

-Power take off (pto) خروجی از سیستم انتقال قدرت

(۲) شیرهای هیدرولیک

-شیرهای کنترل مسیر Directional control valve      -شیرهای کنترل فشار Pressur control valve

-شیرهای کنترل جریان Flow control valve

از لحاظ عملکردی مهم ترین نکته ای که باید به آن توجه داشت علامت اختصاری است که مسیر یا جهت عبور جریان روغن به داخل

عمل کننده ها را برای انجام حرکت مورد نظر کنترل می کند اگر هر شیر دارای یک وضعیت باشد علامت اختصاری آن

و اگر دو حالت   اگر سه حالت داشته باشد به صورت    می باشد. لازم به ذکر است

هر شیر حداقل باید دو حالت داشته باشد.

(۳) عملگرها: -عملگرهای خطی (جک) - عملگرهای دورانی (هیدروموتورها)

۴) پمپ ها (از لحاظ نحوه و اصول کار کرد):

- پمپ های جنبشی                      - پمپ های جابجایی مثبت                      - پمپ های مخصوص

در این مقاله به انواع پمپ های جابجایی مثبت پیستونی، عیب یابی، نگهداری و بالا بردن سطح تولید مجتمع های صنعتی که از این نوع پمپ ها استفاده می کنند پرداخته شده است. و همچنین ارائه راهکارهایی جهت پایین آوردن هزینه های تعمیرات پمپ های هیدرولیک.

قدیمی ترین دستگایی که از گذشته دور تا کنون در جهت رفع نیاز های انسان مورد استفاده قرار گرفته است پمپ ها هستند. که از چندین هزار سال پیش تا کنون از انواع کوچک تا بزرگ و ساده تا پیشرفته در عرصه های مختلف صنعت به کار گرفته شده اند. و می توان گفت صنعت بدون پمپ ها نمی تواند وجود داشته باشد.

پمپ در واقع قلب سیستم هیدرولیک است که در آن از نیروی جابجایی سیالات تراکم نا پذیر مانند مایعات استفاده می شود و انرژی مکانیکی را به سیال منتقل می کند و در صورت لزوم انرژی ایجاد شده توسط عملگرها به انرژی مکانیکی تبدیل می شود و پمپ ها سیال را با ایجاد خلا در دهانه مکش وادار به حرکت می کنند. در واقع پمپ مولد جریان سیال است و اختلاف فشار ورودی و خروجی تنها به میزان بار مقاومی که توسط عملکرد سیستم هیدرولیک به آن غلبه می کند بستگی دارد. {۱،۲}

### انرژی تولید شده توسط پمپ ها به سه دسته تقسیم می شوند:

۱) انرژی فشاری (هد فشار): فشار عبارت است از مقدار نیرویی که توسط سیال به واحد سطح اعمال میشود، که این مقدار نیرو در تمام جهات برابر است و می توان آن را بر حسب ارتفاع ستونی از مایع تعریف کرد. به هد مربوط به فشار استاتیک هد استاتیک نیز گفته می شود، چون در محلی اندازه گیری می شود که سیال سرعت ندارد.

۲) انرژی جنبشی (هد جنبشی): انرژی جنبشی یک سیال شامل سرعتی است که سیال با آن در حال حرکت است و بعنوان هد دینامیکی محسوب می شود و از لحاظ ریاضی عبارت است از:

$$\frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

اندازه گیری هد دینامیکی با بدست آوردن سرعت سیال و با دانستن سطح مقطع آن اندازه گیری می شود. که روش مناسبی است و با کمترین افت فشار (بر خلاف اوریفیس) قابل ملاحظه است. (H: هد دینامیکی یا جنبشی است)

$$v = \sqrt{2gH} \quad (6)$$

۳) انرژی پتانسیل (هد انرژی پتانسیل): این نوع انرژی در اثر اختلاف سطح مایع از یک سطح مبنا (کره زمین) حاصل می شود.

**هد کلی پمپ:** با توجه به اینکه فشار مایعات بسته به دانسیته آنها تغییر می کند معمولاً فشار خروجی پمپ را بر حسب ارتفاع ستونی از آب بیان می کنند..

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} + h_1 \quad (7)$$

پمپ جابجایی مثبت: به پمپ های گفته می شود که در هر دور مقدار مشخصی مایع را جابجا می کنند، که مقدار مایع پمپاژ شده رابطه مستقیمی با تعداد کورس های انجام شده دارد.

## انواع پمپ های جابجایی مثبت:

(۱) پمپ های رفت و برگشتی که شامل: پیستونی، پلانچری و دیافراگمی است. (۲) پمپ های دوار شامل: تک محوری (که خود شامل: لغزشی، پره ای، پیستونی، ارتجاعی و پیچی می باشد) و پمپ های چند محور

## ویژگی پمپ های جابجایی مثبت (تک محور پیستونی):

- در صورت بسته شدن مجرای خروجی بصورت تئوریک فشار به سمت بی نهایت سیر می کند.

- جریان خروجی صرفنظر از نشتی های داخلی ثابت است.

- بدلیل لقی بین دنده ها پره یا پیستون و سیلندر مقداری روغن به سمت مجرای ورودی نشت می کند و باعث می شود جریان واقعی پمپ از جریان تئوری کمتر گردد. این نشتی داخل پمپ pump slippage نامیده می شود.

- جهت دوران پمپ معمولاً با فلش روی پمپ و پوسته مشخص می شود.

- ورودی پمپ از خروجی بزرگتر یا مساوی در نظر گرفته می شود.

- اگر خروجی پمپ به شیر راه دهنده وصل باشد و از طریق آن به مخزن وصل شود امکان دارد هوای ورودی به مخزن راه پیدا کند، و اگر خروجی به شیر کنترل فشار برود از آنجا که پمپ های روغن کمپرسور خوب هوا نیستند امکان خروج هوا نخواهد بود.

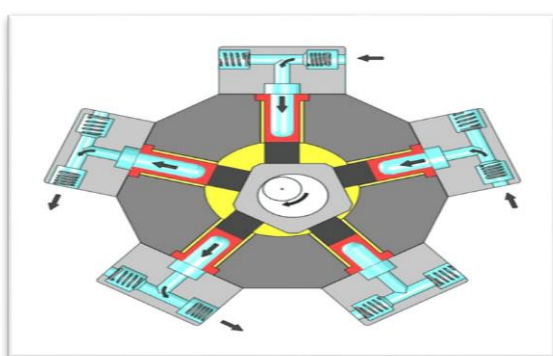
- ویسکوزیته بالا سبب کاهش لغزش پمپ (جریان برگشت) می شود. بازه حجمی بهبود پیدا می کند ولی در مقابل باعث افزایش بار اصطحاکاکی و میزان مکش می شود.

پمپ های پیستونی بهترین نوع پمپ های هیدرولیک از لحاظ عمر کارکرد و تحمل فشار می باشند. این نوع پمپ ها تا ۷۰۰ بار فشار را می توانند تحمل کنند. علت این امر لقی بسیار کم بین پیستون و سیلندر می باشد، که این امر خود دلیل اصلی خرابی و آسیب پذیری این پمپ ها می باشد، زیرا کوچکترین آلودگی موجود در روغن می تواند کارکرد این نوع پمپ ها را مختل کند. پس نتیجه می گیریم پمپ های پیستونی برای محیط و ماشین آلات تمیز گزینه مناسبی است.

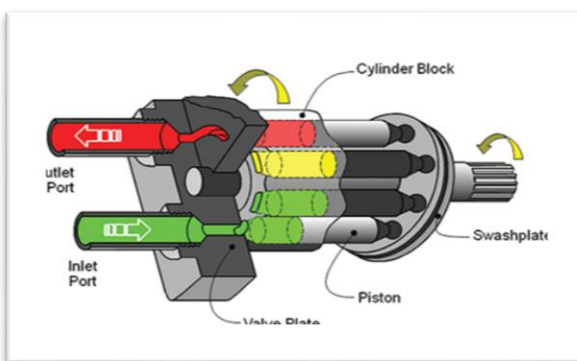
## اجزای اصلی پمپ های پیستونی:

- شفت محرک - غلاف سیلندر - فنر فشاری - پیستون - المان لولایی  
 - دهانه مکش - شیر کنترل فشار - بدنه

این اجزا در اکثر پمپ های پیستونی مشترک هستند و برخی قطعات خاص پمپ های پیستونی شعاعی هستند، مانند: المان خارج از مرکز و برای پمپ های پیستونی محوری، سواش پلیت می باشد. {۳،۴}



شکل ۲. پمپ پیستونی شعاعی



شکل ۱. پمپ پیستونی محوری

## در انتخاب پمپ های هیدرو لیک جابجایی مثبت باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

- قطر دهانه پمپ - فشار در خروجی پمپ - فشار در ورودی پمپ - ویسکوزیته روغن - سرعت دوران پمپ  
 - حجم جابجایی روغن - دبی موثر - فیلتراسیون - توان موتور (محرک پمپ) - دمای کارکرد روغن

**مهمترین عوامل در ارتعاش پمپ ها:** (۱) نابالانسی مهم ترین عامل در ارتعاش پمپ ها میباشد (۲) ناهمراستایی

برخی از مشکلات پیش آمده در پمپ ها و راهکارهای برطرف کردن آنها:

(۱) پدیده کاویتاسیون در پمپ: هنگامی که فشار مکش در ورودی پمپ از حد فشار تبخیر روغن کمتر شود (معمولا کمتر از ۳/۰ بار) امکان تبخیر روغن و ورود آن به مایع و همچنین ورود حباب های هوا به داخل روغن بوجود می آید. این بخارها هنگامی که از ناحیه کم فشار به منطقه پر فشار پمپ منتقل میشوند بصورت ناگهانی تحت فشار زیاد قرار گرفته و منفجر می شوند.

**اصول زیر باعث حذف پدیده کاویتاسیون می گردد (این امر با بالا نگه داشتن فشار مکش بیش از سطح فشار اشباع روغن اتفاق می افتد):**

- سرعت روغن در حفظ مکش کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شود.

-فاصله بین مخزن تا پمپ، حداقل مقدار ممکن باشد. -تعداد اتصالات بین پمپ و مخزن حداقل باشد.

-از صافی و فیلتر هایی با افت فشار پایین و همراه با نشانگر انسداد استفاده شود.

-از روغن با ویسکوزیته مناسب برای پمپ استفاده شود.

۲) نشتی از پکینگ های پمپ: نشتی از پکینگ ها یکی از عیوبی است که به راحتی و از طریق بازرسی قابل تشخیص است.

انواع آب بند های پمپ که باعث جلوگیری از خروج روغن در اطراف محور می شوند:

-پکینگ فشاری -پکینگ تزریقی -مکانیکال سیل -کاسه نمد ها و...

به محفظه ای که قطعات آب بندی در آن قرار می گیرد stuffing box یا محفظه آب بند گفته می شود. وقتی که فشار در ناحیه ورودی پمپ کمتر از فشار جو باشد جعبه آب بندی از نفوذ هوا به داخل پمپ جلوگیری می کند و وقتی که فشار داخل پمپ بیشتر از فشار جو باشد جعبه آب بندی از نشت مایع به خارج پمپ جلوگیری میکند.

### مسائلی که در هنگام نصب پکینگ ها باید رعایت شود شامل:

-تعیین تعداد لایه های پکینگ مورد نیاز -تمیز کاری محور و محل های قرار گیری پکینگ

-تعیین موقعیت قرار گیری لترن رینگ -چک کردن محور از لحاظ صافی سطح و خمیدگی

-انتخاب پکینگ مناسب با کمترین ضریب اصطحکاک که تحمل فشار و درجه حرارت را داشته باشد و دوام آن خوب باشد.

### برخی از علل بوجود آمدن نشتی در پمپ ها و روش برطرف کردن آنها:

-مناسب نبودن نوع پکینگ برای شرایط عملیاتی (تاثیرات شیمیایی) راهکار: انتخاب پکینگ سازگار با شرایط عملیاتی

-تنظیم نبودن گلند که باعث عدم روانکاری و تولید حرارت زیاد و افزایش سایش می شود.

-Run out (دو پهنی) و خمیدگی بیش از حد محور که باعث عدم تماس کامل محور با پکینگ و فاصله افتادن بین آنها می شود.

راهکار: تعویض محور

-هم محور نبودن پمپ و الکترو موتورها که باعث ایجاد حرکت های اضافی و ارتعاشات روی شافت می شود.

راهکار: هم راستا نمودن پمپ و موتور با استفاده از ساعت اندیکاتور یا دستگاه الاین لیزری.

-سایش بیش از حد اسلیو یا شافت که باعث افزایش اصطحکاک و تولید حرارت زیاد می شود. راهکار: انتخاب پکینگ هم سایز شافت.

-تزیق نشدن مایع سیل فلش یا مسدود بودن مسیر روانکاری پکینگ

راهکار:چک کردن مسیر مایع سیل فلش و باز کردن مسیر در صورت مسدود بودن

-خرابی یاتاقان ها و حرکت های جانبی بیش از حد محور راهکار:تعویض یاتاقان های معیوب

-ارتعاشات زیاد راهکار:علت یابی ارتعاش و برطرف کردن آن

-نامناسب نبودن اندازه و ابعاد پکینگ و محل نشیمنگاه راهکار:تغییر اندازه پکینگ و ترمیم محل نشیمنگاه

-مسائل عملیاتی نظیر کاویتاسیون و ساکشن لوز شدن پمپ که ناشی از افت فشار بیش از حد در قسمت ورودی پمپ است.

راهکار:به نحوه برطرف کردن آن در مشکل مربوط به کاویتاسیون اشاره شد.

برای جلوگیری از نشتی پمپ هایی که مایعات با دمای بالا را پمپ می کنند مانند پمپ های انتقال مازوت یا روغن داغ می توان از محفظه پکینگ مجهز به سیستم jaket cooling استفاده کرد و همچنین اگر مایع سیل فلش از خروجی پمپ گرفته شده باشد قبل از وارد شدن به محفظه پکینگ ها آن را از مبدل خنک کن که در مسیر سیل فلش تعبیه شده است عبور می دهند. اگر مایع خروجی از پمپ روانکار مناسبی نباشد بهتر است از یک منبع جداگانه که با مایع داخل پمپ همخوانی داشته باشد جهت روانکاری پکینگ ها و یاتاقان ها استفاده کرد.

چند راهکار مناسب برای جلوگیری از خرابی پمپ ها:

(۱)چک کردن ویبره پمپ ها به صورت دوره ای (۲)آنالیز روغن

(۳)چک کردن صدای پمپ ها (۴)چک کردن دمای پمپ ها با استفاده از پیرومتر یا ترموگرافی

## انواع تفکر در مورد تعمیر و نگهداری:

(۱)تفکر جایگزینی به جای تعمیر Replacement:در این تفکر در طول دوره عمر تجهیزات از آن بهره برداری می شود و به محض خرابی تعویض می شود.

(۲)تعمیر بعد از خرابی Break down maintenance:در این روش که پیش از پیدایش نگهداری پیش گیرانه بوده است از تجهیزات تا زمانی که به مرحله شکست و خرابی نرسیده باشند بهره برداری می شود و در موقع خرابی نسبت به تعمیر اقدام میشود.

(۳)نگهداری و تعمیر پیشگیرانه Preventive maintenance:نگهداری و تعمیر تجهیزات قبل از وقوع خرابی با سرویس و روانکاری منظم و دوره ای و با انجام بازرسی های منظم که منجر به کشف عیب در مراحل اولیه و اقدام و تعمیر اصلاحی میگردد .



۴) نگهداری بر اساس وضعیت Condition Base maintenance: در این روش وضعیت تجهیزات با اندازه گیری و نمودار کردن کردن پارامترهای خاص و حیاتی تحت کنترل قرار می گیرد، ابزارهای بازرسی و آنالیز در سطح بالاتر قرار می گیرد. در روش های ذکر شده دو روش سه و چهار کارآمدترین روش های نگهداری و تعمیرات سیستم های هیدرولیک می باشند.

## نتایج و بحث

در سیستم پایش وضعیت تشخیص عیب اگر چه بسیار مهم است، ولیکن کافی نیست. ریشه یابی عیب و برطرف کردن آن هنری است که باید نهادینه شود تا از بسیاری از هزینه های جاری کارخانه ها جلوگیری شود. یکی از راهکارهایی که باعث افزایش زمان تولید و کاهش توقفات و پایین آمدن هزینه های تعمیر و نگهداری می شود استفاده از پکینگ های مرغوب می باشد. و بهترین راه برای انجام این کار تهیه پکینگ هایی می باشد که با آموزش مختصر و مفیدی که به مسئولان خرید و تدارکات داده می شود می توان این خواسته را برآورده کرد. با توجه به اینکه ساعات کار مفید پکینگ مرغوب احتمالاً چندین برابر پکینگ نامرغوب می باشد (در شرایط یکسان) نصب یک پکینگ مرغوب روی پمپ هیدرولیک زمان انجام تعمیرات تکراری، توقفات ناخواسته به دلیل نشتی پکینگ، ساعات کارکرد نفرات فنی جهت تعویض پکینگ، ورود گرد و غبار به داخل پمپ، هزینه های شارژ و تعویض روغن و بسیاری از هزینه های جانبی از بین می رود، که این امر باعث کاهش قیمت تمام شده محصول می شود. در گذشته شرکت ها مراقبت را یک تکنولوژی لوکس و پر هزینه می دانستند و به سختی آن را می پذیرفتند اما امروزه اغلب شرکت ها دنبال این تکنولوژی هستند ولی به درستی از آن بهره نمی گیرند. در آینده یکی از ستون های اصلی دوام شرکت های سیمان در بازار رقابتی تنگاتنگ امروزی استفاده از تکنولوژی نوین از جمله نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه تجهیزات بر اساس مراقبت و متد پیشگیرانه است.

## نتیجه گیری

با برنامه ریزی درست جهت نگهداری و تعمیرات قادر خواهیم بود برای تعمیرات با فراغت برنامه ریزی کنیم، لوازم یدکی مورد نیاز را فراهم کنیم همچنین زمان تولید و کارکرد ماشین آلات افزایش می یابد، فشار روانی به مدیران و مجریان کاهش می یابد و اعتماد به ماشین آلات افزایش پیدا می کند و از خرید اقلام غیر ضروری جلوگیری می شود.

## منابع

{1} - وهاب زاده ا؛ ۱۳۹۲، پمپ های پیستونی رادیال، شرکت بنیان تدبیر پارس.

{2}. Basic Principples and Components of fluid Technology. Bosch Rexroth AG

{3}. Doddannavar R. and Andries B; 2005. Principles Hydraulic Systems.

{4}. Parker