



■ مهندس امید تقلیدی  
واحد تعمیرات و نگهداری کارخانه سیمان خاش

## بهبود وضعیت جک پمپ‌های یاتاقان ژورنال آسیاب گلوله‌ای

### چکیده:

در حال حاضر تمام صنایع کشور از جمله صنعت سیمان و فولاد که از یاتاقان‌های ژورنال استفاده می‌کنند، نیازمند اطلاعات به‌روز در زمینه بهبود روانکاری این یاتاقان‌ها می‌باشند. بهبود روانکاری و پایداری روغن باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کوتاه شدن زمان توقف خط تولید خواهد شد. عیب‌یابی و تعمیرات منطقی سیستم جک پمپ آسیاب گلوله‌ای و اجتناب از به‌کارگیری روش‌های سنتی و سعی و خطا در این مقاله شرح داده شده است.

واژه‌های کلیدی: یاتاقان ژورنال، افت فشار، روانکاری هیدرواستاتیکی

### ۱- مقدمه

در این مقاله به بررسی روانکاری بهینه یاتاقان ژورنال آسیاب سیمان خاش پرداخته شده است. امروزه انواع یاتاقان‌های ژورنال در اکثر تجهیزات صنعتی کاربرد فراوان دارند. داشتن اطلاعات در این زمینه و روانکاری مناسب آن می‌تواند به کارکرد بهتر و بیشتر این اجزاء مهم کمک کند.

یاتاقان ژورنال به‌طور ساده از یک استوانه توخالی (بوش نگهدارنده) که به دور یک شافت سنگ‌کاری شده به نام ژورنال قرار می‌گیرد و با یک سیال روانکار پر می‌شود، تشکیل می‌گردد. معمولاً جنس استوانه توخالی از آهن نیست و از

جنس شافت نرم‌تر می‌باشد. امروزه از آلیاژی بنام بابیت برای این منظور استفاده می‌گردد. این نرمی بابیت برای جلوگیری از خراب شدن محور در مواقعی که ذرات خارجی همراه روغن است، می‌باشد. در ضمن اگر درجه حرارت بالا برود قبل از اینکه شفت و یا قسمت اصلی یاتاقان صدمه ببیند، بابیت از بین می‌رود.

قیمت بالای یاتاقان ژورنال در صنعت سیمان، لزوم حفظ و نگهداری آن را حیاتی می‌کند. در این مقاله به‌علت کاربرد زیاد این نوع یاتاقان‌ها در صنعت، به بررسی این نوع یاتاقان می‌پردازیم و اقداماتی که در جهت پایدار کردن لایه روغن و

بهینه کردن سیستم جک پمپ در سیمان خاش انجام شده است را شرح داده می‌دهیم.

## ۲- آشنایی مختصر با یاتاقان ژورنال

یاتاقان ژورنال برای انواع بارگذاری‌های مختلف، سرعت‌های مختلف و به‌طور کلی شرایط کارکرد متفاوت ساخته شده و بنا به خواسته‌های طراحی مختلف، دارای طراحی مختلفی است. این نوع از یاتاقان‌ها به‌خاطر داشتن ویژگی‌های خاص که در این نوشته به آن خواهیم پرداخت، همواره مورد توجه طراحان و مهندسان بوده است. (شکل ۱)

مهمترین پارامتر قابل ذکر در یاتاقان‌های ژورنال، عامل اصطکاک یا برخورد فلز با فلز است. منظور از تماس فلز به فلز، تماس بین ژورنال (شافت) و بوش نگهدارنده آن است. به همین دلیل در این نوع یاتاقان‌ها، نوع و دقت روانکاری بسیار بااهمیت است.

کار سیال روانکار، ایجاد یک محیط مناسب برای جلوگیری از تماس فلز با فلز در حین کارکرد یاتاقان است. بیشترین سیال مورد استفاده در این نوع یاتاقان‌ها، روغن می‌باشد. گردش شافت در داخل یاتاقان باعث ایجاد یک لایه روغن در زیر شافت می‌گردد که با استفاده از قوانین مکانیک سیالات قابل تحلیل است.

این لایه روغن که در حقیقت با ایجاد فشار، تحمل نیروهای وارده روی شافت را برعهده دارد، در اثر گردش شافت به یک چهارم پایینی سمت چپ یا راست یاتاقان منحرف می‌شود و

چپ یا راست بودن آن بستگی به جهت دوران شافت دارد. بدین ترتیب که اگر جهت گردش ساعت‌گرد باشد، این لایه روغن به یک چهارم پایینی سمت چپ (شکل ۱) و اگر جهت گردش پادساعت‌گرد باشد، لایه روغن به یک چهارم پایینی سمت راست منتقل می‌گردد.

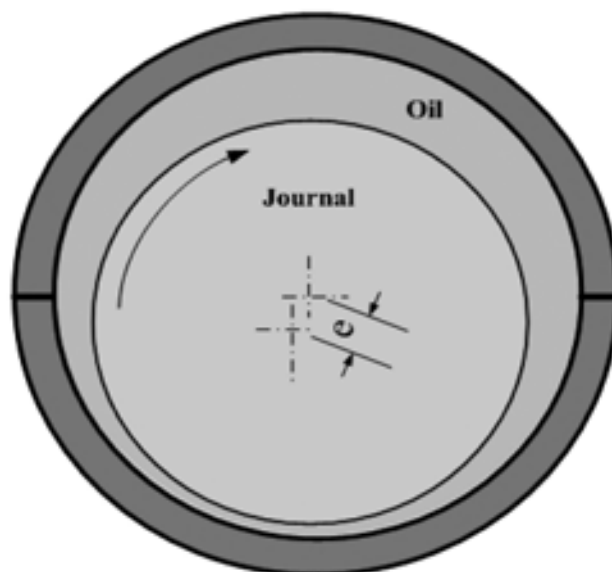
## ۳- تعمیرات و نگهداری یاتاقان‌های ژورنال

روانکاری در یاتاقان‌های ژورنال از مهمترین موضوعاتی است که واحد مکانیک کارخانه باید مد نظر قرار دهد. همان‌طور که به‌صورت مختصر توضیح داده شد، یکی از مهمترین معایب این نوع یاتاقان‌ها ناپایداری لایه روغن است که به‌صورت شلاق روغن یا گرداب روغن ظاهر می‌شود. این پدیده به‌سرعت می‌تواند یاتاقان را از بین ببرد. این خرابی بدین‌صورت شکل می‌گیرد که به‌خاطر تشکیل نشدن لایه روغن مناسب (پایدار) تماس فلز با فلز بین شافت و سطوح داخلی استوانه یاتاقان (بوش) رخ می‌دهد. این تماس باعث ایجاد اصطکاک و به تبع آن بالا رفتن سریع دما می‌شود که خراب شدن فلز بابت، آب‌بندها، شافت و دیگر تجهیزات را سبب خواهد شد. روانکار معمولاً بین ژورنال و شافت برای پایین آوردن اصطکاک استفاده می‌شود.

### ۳-۱- حداقل ضخامت فیلم روغن مورد نیاز

اما برای جلوگیری از ایجاد تماس فلز با فلز در یاتاقان‌های ژورنال، به یک حداقل ضخامت روغن نیاز است. وقتی که چرخش ژورنال به حد بالایی می‌رسد، فشار بالای جریان روغن، شافت را از منطقه دور کرده و به‌سمت منطقه کم‌فشار

## Journal bearing



شکل ۱- شماتیک یاتاقان ژورنال

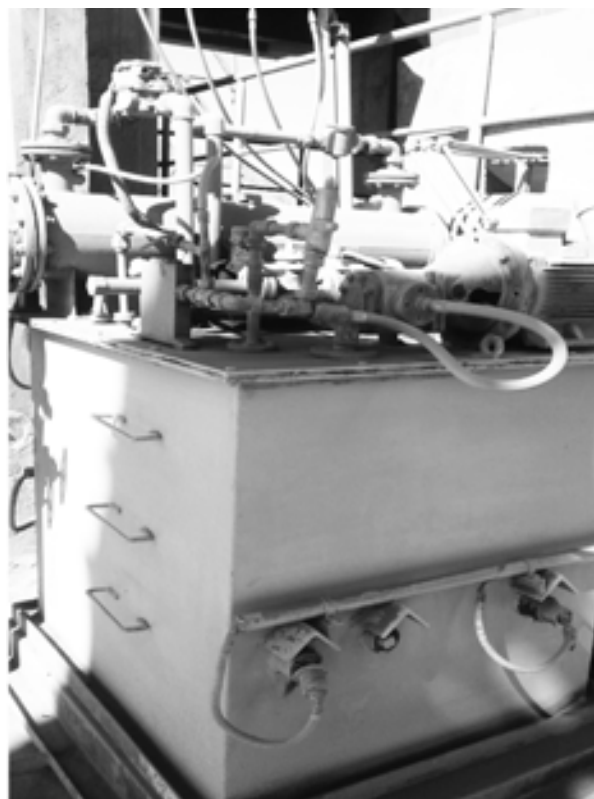
## ۴- آشنایی با جک پمپ آسیاب

وظیفه جک پمپ آسیاب، روانکاری یاتاقان آن به روش هیدرودینامیکی است. این سیستم باید حداقل ضخامت روغنی را تولید کند تا یاتاقان از آسیب مصون بماند و همچنین با خاصیت میراکنندگی یاتاقان ژورنال که به ضخامت و لزجت روغن بستگی دارد، ارتعاشات ناخواسته را نیز که از مهمترین عوامل خرابی‌های مکانیکی است، دفع کند. (شکل ۲)

### ۴-۱- اجزا اصلی سیستم جک پمپ آسیاب

اجزا اصلی سیستم جک پمپ آسیاب عبارت است از:

- ۱- پمپ فشار قوی به ظرفیت  $8 \text{ m}^3/\text{h}$
- ۲- پمپ فشار ضعیف
- ۳- مبدل پوسته و لوله
- ۴- موتور الکتریکی با مشخصات 50 Hz, 15 kW, 1500 rpm
- ۵- لوله‌ها و اتصالات
- ۶- مخزن روغن
- ۷- مقسم یا توزیع کننده
- ۸- روغن



شکل ۲- جک پمپ هیدرواستاتیکی برای روانکاری یاتاقان ژورنال

برده و باعث جدایی شافت و بوش می‌شود. این ضخامت روغن حداقل بین شافت و بوش بسیار مهم بوده و در تمام اطلاعات و محاسبات مربوط به این دسته از یاتاقان‌ها کاربرد دارد. به فاصله‌ی بین مرکز شافت تا مرکز بوش نیز «خروج از مرکز» گویند.

### ۳-۲- انواع روانکاری

در مراجع مختلف روانکاری این نوع از یاتاقان‌ها به پنج روش زیر تقسیم‌بندی شده است:

- ۱- روانکاری هیدرواستاتیکی
- ۲- روانکاری هیدرودینامیکی
- ۳- روانکاری مرزی
- ۴- روانکاری الاستو هیدرودینامیک
- ۵- روانکاری لایه جامد

تحلیل و توضیح هر یک از روش‌های بالا از حوصله‌ی این مقاله خارج است و تنها به علت کاربرد زیاد روش هیدرواستاتیک در صنعت سیمان و در بقیه صنایعی که با یاتاقان‌های ژورنال سروکار دارند، توضیح مختصری درباره این روش می‌دهیم.

در روش هیدرواستاتیکی همواره توسط یک پمپ فشار قوی خارجی روغن به داخل یاتاقان (بین بوش و شافت) پمپاژ می‌شود و محور را از روی سطح خارجی یاتاقان جدا می‌کند که تحمل بار را همین لایه روغن ایجاد شده بر عهده خواهد داشت.

### ۳-۳- باییت

صفحه‌ی داخلی یاتاقان با یک ماده‌ی نرم‌تر که معمولاً باییت نامیده می‌شود، پوشیده می‌گردد. باییت آلیاژی است بر پایه قلع یا سرب که ضخامت آن بستگی به اندازه قطر ژورنال (شافت) دارد. باییت یک سطحی را برای گردش شافت فراهم می‌کند که از آسیب آن به‌هنگام تماس جلوگیری می‌نماید و ذرات را بدون آسیب به شافت، جذب می‌کند. امروزه استفاده از آنها به‌عنوان یک سطح نازک در ساختارهای چندفلزی رایج شده است. فلزات باییتی نرم و به‌راحتی آسیب‌پذیرند و به همین خاطر شاید در نگاه اول کاندیدای خوبی برای سطح یاتاقان نباشد، ولی ساختار آلیاژی آن‌ها ساخته شده از کریستال‌های کوچک سخت است که در یک رزین نرم قرار دارند. این ترکیب مقاومت آنها را بسیار بالا می‌برد. فلزات باییت که فلز سفید نیز نامیده می‌شود به آلیاژهای «غیراصطکاکی» نیز معروفند و از مس، سرب یا قلع ساخته می‌شوند.

#### ۴-۲- تعیین فشار اصلی و فرعی سیستم جک پمپ

برای تعیین سطح فشار در یک سیستم هیدرولیک باید در نظر داشت که با افزایش فشار، حرارت روغن در سیستم سریعتر افزایش می‌یابد، نشتی‌ها بالاتر و اصطکاک و سایش نیز بیشتر می‌شود. در نتیجه فاصله انجام سرویس‌ها باید کوتاه‌تر شود. همچنین نویز و پیک‌های فشاری نیز افزایش یافته و خواص مطلوب دینامیکی سیستم کاهش می‌یابد. در نتیجه تعیین فشار اصلی و فرعی سیستم جک پمپ برای استفاده مطلوب مهم‌ترین هدف واحد مکانیک باید باشد.

#### ۴-۳- نکاتی در مورد فشار اصلی و فرعی ایده‌آل در جک

##### پمپ‌های آسیاب

منظور از «فشار فرعی» فشار روغن یکنواختی است که بعد از مقسم (۴ مسیر) توسط فشارسنج ثبت می‌شود. این فشار بر اساس بار آسیاب و ویسکوزیته روغن، برای رعایت حداقل ضخامت مورد نیاز برای روانکاری و خنک‌کاری شافت، بین ۱۰ تا ۲۵ بار می‌باشد. بین بیشترین فشار و کمترین فشار فرعی نباید بیشتر از ۵ بار اختلاف داشته باشیم؛ چون همان‌طور که گفته شد ناپایداری روغن باعث پدیده‌ای بنام شلاق روغن می‌شود که عمر بابیت را کاهش می‌دهد و به تبع آن شافت را در معرض خطر جدی قرار می‌دهد. با تنظیم پیچ‌های روی مقسم می‌توان فشارها را یکنواخت کرد.

باید توجه داشته باشیم که فشار اصلی یا همان فشار پمپ باید بین ۵ تا ۱۰ بار از فشار فرعی نرمال بیشتر باشد. در غیر این صورت با استفاده از شیر فشارشکن، فشار را کاهش می‌دهیم.

در مجموع پس از برآوردهای اولیه و مطالب بالا برای دستیابی به یک شرایط مطلوب کاری انتخاب فشار اصلی ۳۰-۴۰ بار معمول می‌باشد. همچنین فشارهای فرعی در محدوده ۱۵ تا ۲۰ بار مطلوب است.

#### ۵- تعیین سایز لوله مکش و فشار جک پمپ

پارامترهای موثر در تعیین سایز لوله شامل قطر داخلی، ضخامت دیواره و جنس لوله می‌باشند. عوامل موثر بر این پارامترها در جدول ۱ ارائه شده است.

#### ۵-۱- محاسبه قطر داخلی لوله

قطر داخلی لوله را از رابطه زیر می‌توان محاسبه نمود:

$$d = 4.607 \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad (1)$$

Q: دبی حجمی روغن عبوری از لوله (lit/min)

جدول ۱- عوامل موثر بر سایز لوله

دبی حجمی	قطر داخلی لوله
سرعت جریان	
ویسکوزیته روغن	
افت فشار	
فشار کاری (تنش‌های خارجی)	ضخامت دیواره لوله
ضریب اطمینان	
خوردگی داخلی و خارجی	
مقاومت مواد	
دمای محیط کار	
ابعاد استاندارد	جنس لوله
پارامترهای مقاومتی	
پیش‌شرط‌های کاربرد مواد (پرداخت سطح، جوش‌پذیری و ...)	
اثر خوردگی	
محدوده دمای مجاز	

V: سرعت جریان روغن در لوله (m/sec)

d: قطر داخلی لوله (d<sub>i</sub>) (mm)

#### ۵-۲- دبی حجمی روغن عبوری از لوله‌ها

برحسب زمان‌بندی و میزان مصرف کلیه المان‌های موجود در مسیر تعیین می‌شود. دبی مجاز عبوری از خطوط مکش و فشار برحسب قطر لوله در جدول ۲ ارائه شده است (لازم به ذکر است که 1 U.S gallon=3.87lit).

جدول ۲- دبی عبوری از خطوط فشار و مکش

دبی خط مکش (gpm)	دبی خط فشار (gpm)	قطر لوله (اینچ)
۲	۵	۳/۸
۳	۸-۱۰	۱/۲
۵	۲۵	۳/۴
۱۰	۴۰	۱
۱۸	۵۰	۱ ۱/۴
۲۵	۷۵	۱ ۱/۲
۷۵	۱۰۰	۲

#### ۵-۳- سرعت جریان روغن در لوله‌ها

سرعت جریان روغن در لوله‌ها را می‌توان از جدول ۳ استخراج نمود.

جدول ۳- سرعت روغن در خطوط هیدرولیک

خط مکش		خط فشار		خط برگشت
V (cSt)	V (m/s)	P (bar)	V (m/s)	V (m/s)
۱۵۰	۰/۶	۲۵	۲/۵-۳	۴/۵ تا ۱/۷
۱۰۰	۰/۷۵	۵۰	۳/۵-۴	
۵۰	۱/۲	۱۰۰	۳/۵-۵	
۳۰	۱/۳	۲۰۰	۵/۵-۶	
		> ۲۰۰	۶	
		V = when 30 to 150 cSt		

و خروجی با این نوع پمپ‌ها، ناچار به سوراخ کاری پوسته پمپ می‌شدیم. با این سوراخ کاری با عواقبی همچون صدمه به پمپ و افزایش زمان توقف مواجه می‌گردیدیم. همچنین به دلیل قرار گرفتن یکی از سوراخ‌ها در مسیر جریان، شاهد نشتی شدید و هدررفت حجم زیادی از روغن و افت فشار بودیم. (شکل ۴)

در فرصت مناسب تصمیم به طراحی خشتی گرفتیم که با پمپ‌های جدید کارخانه سازگار بوده و نیازی به سوراخ کاری پمپ نباشد و هم اینکه معضل افت فشاری که در خشت های قدیمی شاهد بودیم را حل کند (در طراحی خشتی های قدیمی، مسیر روغن خروجی از پمپ با روغن خروجی از خشتی در جهت عمود بر هم قرار می‌گرفتند).

با قرار دادن محل اورینگ ۶ میلی‌متر در خشتی و کونیک کردن آن، معضل نشتی روغن کاملاً برطرف شد. در خشتی‌های جدید، طراحی به‌گونه‌ای است که مسیر روغن خروجی از پمپ با مسیر روغن خروجی از خشتی هم‌راستا می‌باشد و افت

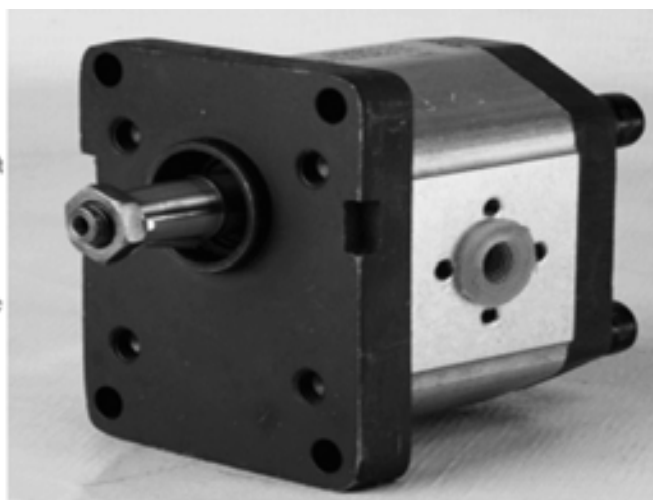
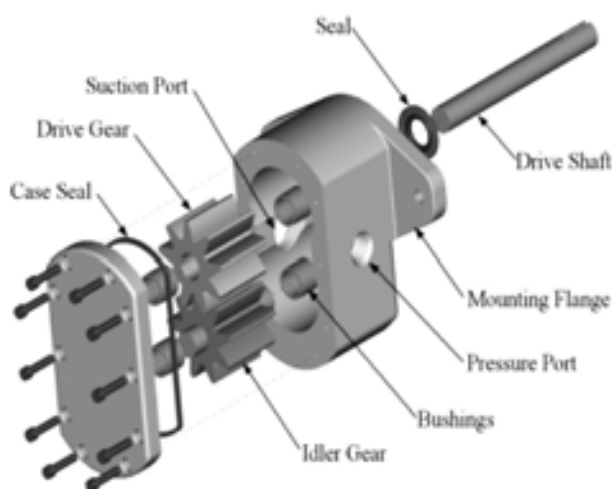
پمپ‌های فشار قوی استفاده شده در جک پمپ آسیاب‌ها از نوع دنده‌ای خارجی بوده که توسط یک گلدانی (فلنج رابط) به موتور ۱۵ کیلو وات متصل است. این پمپ‌ها در ۱۵۰۰ دور بر دقیقه، دبی ۱۵۰ لیتر بر دقیقه (تقریباً ۴۰ گالن بر دقیقه) تولید می‌کنند. با توجه به جدول ۲ قطر لوله مناسب برای خط فشار یک اینچ می‌باشد. (شکل ۳)

این پمپ روغن را به محدوده فشار ۲۰ تا ۵۰ بار (فشار اصلی) می‌رساند و به یک مقسم تحویل می‌دهد. تقسیم روغن در مجاری با استفاده از مقسم صورت می‌گیرد که دارای ۴ خروجی می‌باشد و با استفاده از پیچ‌های تعبیه شده از آن می‌توان فشارهای فرعی (۱۰ تا ۴۰ بار) را تنظیم نمود.

## ۶- پایش وضعیت و اقدامات فنی انجام شده

### ۶-۱- طراحی و ساخت خشتی‌های ورودی و خروجی جدید

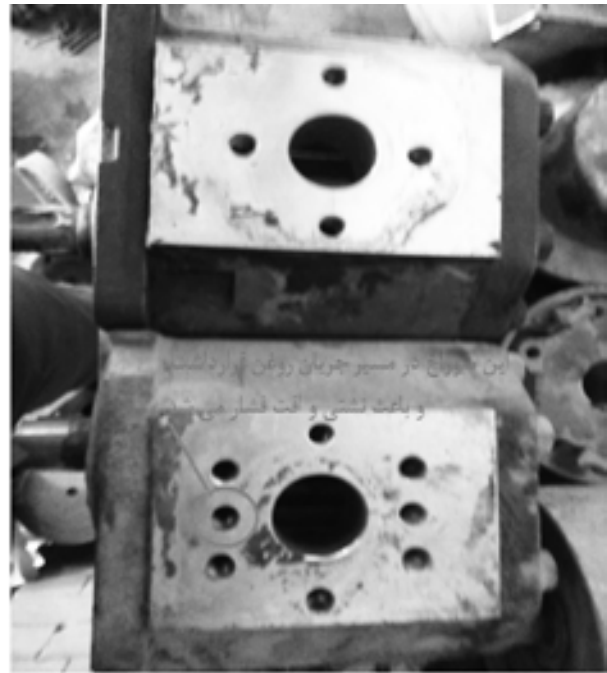
با خرید پمپ‌های جدید و سازگار نبودن خشتی‌های ورودی



شکل ۳- پمپ دنده‌ای خارجی



شکل ۶- وجود زانویی در مسیر فشار پمپ که باعث افت فشار می‌شود.



شکل ۴- سوراخکاری پمپ و قرار گرفتن یکی از سوراخ‌ها در مسیر جریان که باعث افت فشار می‌شود.

هدف افزایش دبی با جایگزینی شیلنگ فشار قوی (هم قطر با خروجی پمپ) با لوله‌های آهنی ۰/۵ اینچ قدیمی و حذف هرگونه زانویی در مسیر فشار اصلی بود. (شکل ۶)

برای این منظور شیلنگ‌های فشار قوی ۱ اینچ (flexible hoses) با اتصالات آهنی جایگزین گردید. از مزیت‌های استفاده از flexible hoses می‌توان سهولت نصب، خاصیت جذب ضربات و باز و بسته نمودن سریع اتصالات نام برد. البته باید توجه داشت شیلنگ‌های فشار قوی هنگام قرار گرفتن تحت فشار تا ۵ درصد کاهش طول خواهند داشت. این نکته را باید مد نظر قرار داد که شعاع خم شلنگ حداقل ۵ برابر قطر بیرون آن باشد:

$$R > 5d_0 \quad (2)$$

با تغییرات در محل شیر فشارشکن و حذف زانویی‌ها و استفاده از شلنگ فشار قوی ۱ اینچ مناسب، دبی را افزایش دادیم و با کاهش فشار اصلی با استفاده از فشارشکن، توانستیم فشار اصلی را حدوداً ۱۵ بار کاهش دهیم (بدون کاهش فشارهای فرعی). این کاهش فشار اصلی، موجب قرار گرفتن آمپر موتور در محدوده نرمال شده و فشار مازاد بر روی پمپ و موتور را به شدت کاهش داد. در نتیجه شاهد افزایش عمر پمپ و موتور و کاهش مصرف برق بودیم.

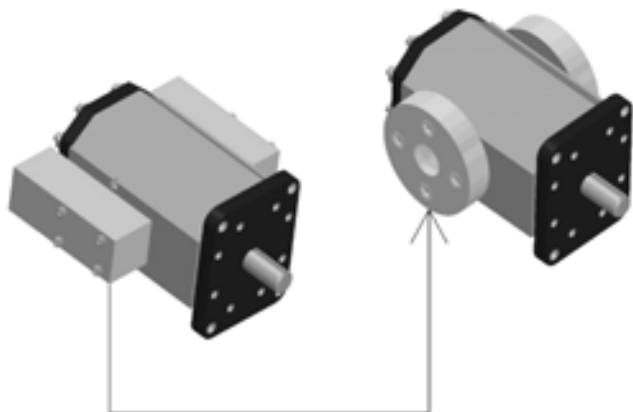
## ۷- نتایج اقدامات فنی

با توجه به وضعیت جک پمپ‌های آسیاب کارخانه (۶ عدد جک پمپ) و نقش حیاتی آنها در سیستم، اقدامات بالا جهت رفع نواقص ذیل که در بازدیدهای فنی صورت گرفته بود، انجام

فشاری که در خشتی‌های قدیمی شاهد بودیم را حذف کردیم. (شکل ۵)

## ۶-۲- حذف زانویی‌ها با جایگزینی شیلنگ فشار قوی

بعد از ساخت خشتی‌های جدید و بهبود وضعیت نشتی و افت فشار، تصمیم به افزایش عمر پمپ و موتور گرفتیم. کماکان وجود لوله‌های با قطر کم و زانویی‌ها در مسیر پمپ، موتور و پمپ را (جهت تامین فشار اصلی مناسب) تحت فشار زیادی قرار می‌داد و به علت آمپر بالای موتور هر از چند گاهی با سوختن موتور، شاهد افزایش زمان توقف و هزینه‌های زیادی می‌شدیم.



شکل ۵- خشت‌های جدید طراحی شده برای حل معضل افت فشار و نشتی زیاد

شده‌اند که با توجه به حذف زانویی‌ها و استفاده از شیلنگ، مسیر روغن با کمترین افت فشار است.

جدول ۴ نشان می‌دهد که فشار اصلی با اتصالات جدید کاهش پیدا کرده است (با استفاده از شیر فشارشکن)، ولی این کاهش فشار چون با افزایش دبی خروجی از پمپ و حذف زانویی‌ها همراه شده، باعث افزایش فشارهای فرعی (محدوده نرمال) و یکنواخت کردن آنها گردیده است. به‌طور خلاصه می‌توان گفت با کم کردن فشار اصلی و رفع نشتی‌ها و زانویی‌ها و افت فشارها، هدف نهایی سیستم که همان افزایش فشار فرعی و یکنواخت کردن آن و افزایش عمر پمپ و موتور است، تامین شده است.



شکل ۷- استفاده از شلنگ فشار قوی ۱ اینچ با محاسبه دبی عبوری از خط فشار

شد:

۱- نشتی از اتصالات

۲- افت فشار به‌علت وجود اتصالات

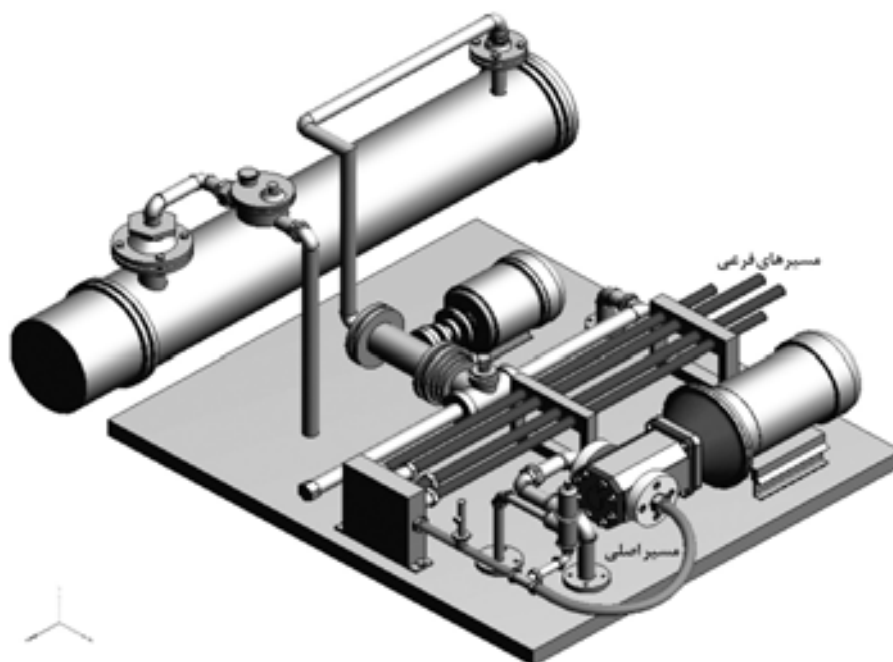
۳- استهلاک موتور و پمپ به‌علت فشار مازاد

۴- افزایش زمان توقف به‌دلیل تعویض پمپ و موتور

در شکل ۸ مسیر فشار اصلی و فشارهای فرعی مشخص

#### منابع:

- ۱- مرتضی راهی، «کتاب تخصصی یاتاقان»
- 2- Mechanics of fluids- Irving shames
- ۳- هری ال استوارت، «هیدرولیک و پنوماتیک»



شکل ۸- نمای کلی جک پمپ بعد از حذف زانویی‌ها و استفاده از خشتی‌های جدید

جدول ۴- نتایج تغییرات فشار با اصلاحات صورت گرفته

فشار اصلی (bar)	فشار فرعی ۱	فشار فرعی ۲	فشار فرعی ۳	فشار فرعی ۴	
۲۲	۱۳	۱۲	۱۹	۲۰	اتصالات قدیمی
۲۷	۱۷	۱۸	۲۰	۱۹	اتصالات جدید