

بررسی تاثیر آلودگی روغن در افزایش دمای کاری پرس‌های هیدرولیکی

فردین مقدم*^۱

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

رضا بنازاده^۲

کارشناس امور فنی و مهندسی مکانیک، شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران

داود نوربخش^۳

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

دستگاه‌های پرس هیدرولیکی یکی از مهمترین ماشین‌های مکانیکی مورد نیاز در صنعت می‌باشد و بروز مشکل در این دستگاه‌ها هزینه‌های بسیار زیاد جانی و مالی را به دنبال می‌آورد، به همین دلیل با پیدا کردن مسبب خرابی در آنها می‌توان به کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات کمک شایان توجهی کرد. یکی از عیوب عمده‌ای که در اکثر پرس‌های هیدرولیکی قدیمی مشاهده می‌شود، بحث افزایش دمای عملکردی روغن می‌باشد که باعث ایجاد مشکلات زیادی می‌شود. هدف این مقاله، بررسی تاثیر ذرات خارجی موجود در روغن بروی دمای عملکردی سیال می‌باشد. به همین دلیل یکی از دستگاه‌های پرس هیدرولیکی ۶۳۰ تن در یکی از واحدهای صنعتی جهت انجام تحقیقات مد نظر قرار گرفت. در ابتدا عیب‌یابی اولیه بروی دستگاه پرس انجام شد و متناسب با آن اقداماتی صورت گرفت که نتایج کار رضایت بخش نبود. بررسی موضوع از دیدگاه نانوسیال، بهبود راندمان سیستم خنک‌کاری و در نتیجه کاهش دمای سیال را نشان می‌داد. اما با در نظر گرفتن تاثیر حباب‌های هوا، اسیدیته شدن و همچنین ظرفیت گرمایی ویژه روغن در حضور ذرات آلوده کننده، نتایج کاملاً عکس می‌شود. در ادامه، عیب‌یابی مجدد بروی سیستم با دیدگاه جدید صورت گرفت و نتایج حاصله رضایت بخش بودند. نتایج بدست آمده نشان دادند که با حذف ذرات آلودگی و اصلاح سیستم فیلتراسیون می‌توان دمای روغن هیدرولیک را تا ۷ درجه سیلیسیوس کاهش داد.

کلمات کلیدی: پرس هیدرولیکی، آلودگی روغن، نانوسیال، ضریب هدایت حرارتی، افزایش دما، کاهش راندمان

۱-مقدمه

پرس‌های هیدرولیکی از مکانیزم هیدرولیکی برای به کار بستن نیروی بالا رونده و یا اعمال فشار زیاد استفاده می‌شود. پرس هیدرولیک بر اساس اصل پاسکال کار می‌کند: فشار در سراسر سیستم بسته یکسان است. این ماشین توسط مخترعی انگلیسی به نام ژوزف براما در سال ۱۸۷۴ اختراع شد. به همین دلیل در برخی کشورها به نام پرس براما ۴ شناخته می‌شود. این نوع پرس‌ها، نیروی خود را از حرکت یک پیستون در داخل یک سیلندر به دست می‌آورند. این حرکت زمانی ایجاد می‌شود که یک سیال تحت فشار توسط یک پیستون بزرگ وارد محفظه سیلندر می‌شود. وضعیت سیال توسط پمپ و شیرهایی جهت افزایش، کاهش و یا حفظ فشار به صورت مورد نیاز درآمده و می‌تواند نیروی لازم برای به حرکت درآوردن پیستون کوچک تر را فراهم کند (هنبوک^۵، ۱۹۹۸).

وجود عیوب در دستگاه‌های پرس می‌تواند بر عمر قالب و کیفیت قطعات ضرب شده و همچنین نحوه عملکرد دستگاه تاثیر گذارد. بوجود آمدن عیب در یکی از دستگاه‌های خط تولید باعث از کار افتادن خود آن دستگاه و ایجاد وقفه در کار بقیه می‌شود. توقف تولید، باعث ضرر مالی برای سازمان و همچنین تعمیر و راه‌اندازی دوباره دستگاه، مستلزم صرف زمان و هزینه بالایی است. بنابراین با ریشه‌یابی عیب،

¹ F_moghaddam@mecheng.iust.ac.ir

² Rezabannazadeh@yahoo.com

³ sdavoud@yahoo.com

⁴ Bramah

⁵ HandBook

می توان راه کارهایی مفیدی در تعمیر و نگهداری ارائه داد تا به یک تولید مناسب با هزینه های جانبی کم دست یافت. یکی از مهمترین عوامل در سیستم های هیدرولیکی مورد استفاده در ماشین آلات کوچک تا تجهیزات عظیم، کیفیت روغن یا سیالی است که وظیفه انتقال نیرو را به عهده دارد. حضور آلودگی در سیالات هیدرولیک به شدت بر خواص سیال و طول عمر ماشین تاثیر دارد بطوریکه بیش از ۷۵٪ همه عیوب و از کارافتادگی این ماشین آلات در نتیجه آلودگی این سیالات رخ می دهد. در صورت عدم کنترل آلودگی، کارایی سیستم هیدرولیک کاهش یافته که این کاهش برخی اوقات به بیش از ۲۰٪ می رسد. آلودگیها، سیستم های هیدرولیک را به روش های مختلفی تحت تاثیر قرار می دهند. از جمله این روشها عبارتند از:

- ایجاد خوردگی در سیستم های هیدرولیکی بدلیل وجود اسیدهایی که در اثر تجزیه روغن و یا ترکیب روغن های ناسازگار در سیستم تشکیل شده است.
 - افزایش مقدار نشتی های درونی که سبب کاهش بازدهی پمپها، موتورها و سیلندرها می گردد. این امر همچنین سبب تولید گرمای اضافی، هدر رفتن انرژی و عدم توانایی شیرها و سوپاپها در کنترل صحیح جریان و فشار می شود.
 - چسبیدن اجزاء سیستم به یکدیگر به علت وجود لجن و رسوب. رسوب فرآیند انباشتگی ذرات ریز در مناطق بحرانی، که عملکرد سیستم را تحت تاثیر قرار می دهند.
 - احاطه شدن اجزاء سیستم با مقادیر زیاد آلودگی که سبب از بین رفتن لقی ها و چسبیدن اجزاء مختلف به یکدیگر می شود.
- منابع اصلی مختلفی برای آلودگی های موجود در سیستم های هیدرولیکی وجود دارد. این منابع عبارتند از :
- آلودگی های درونی
 - آلودگی های موجود در روغن هیدرولیک
 - آلودگی های محیطی
 - آلودگی های ناشی از سایش در سیستم
 - آلودگی های ناشی از کارکرد سیستم هیدرولیک (پارکر^۱، ۲۰۰۶).

۲- بیان مسئله

همانطور که در بخش قبل بیان شد، آلودگی روغن یکی از مهمترین عیوب موجود در سیستم های هیدرولیکی می باشد. این آلودگی شامل ذرات مختلفی از قبیل ذرات موجود در روغن نو کارنکرده، ذرات به جامانده در سیستم هیدرولیک طی مراحل ساخت، گرد و خاک و ذرات محیطی، ذرات فلزی فرسایشی، ذرات ناشی از خوردگی، ذرات وارد شده به سیستم در مدت سرویس و تعمیرات، ذرات ناشی از عملیات داخلی سیستم و همچنین وجود آب و هوا در سیستم می باشد که هر کدام نقش مهمی در تخریب تجهیزات دارند. هدف این مقاله بررسی میزان تاثیر ذرات آلوده کننده در افزایش دمای سیال روغن می باشد. که پژوهش های بسیار کمی در این زمینه صورت گرفته است. به همین منظور در یکی از واحدهای تولیدی صنعتی، تحقیقاتی بروی تعدادی از پرس هیدرولیکی ۶۳۰ تن انجام شد. با بررسی تغییرات دمای مخزن پرس در طول ۶ ماه پس از تعویض روغن نتایج زیر حاصل بدست آمد.

جدول (۱). دمای سیال مخزن پرس در طی ۶ ماه کارکرد روغن

زمان اندازه گیری دما	ماه اول (یک روز پس از تعویض روغن)	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم	ماه ششم
دمای مخزن روغن	۴۴	۴۸	۴۹/۵	۵۰/۳	۵۱/۵	۵۳

همانطور که در جدول فوق مشاهده می شود، دمای روغن پس از طی یک ماه، افزایش زیادی داشته ولی در ماه های بعدی تغییرات کمی مشاهده می شود. این کار بروی ۷ پرس هیدرولیکی ۶۳۰ تن که کاملاً مشابه همدیگر می باشد نیز انجام شد. در تمامی دستگاه های پرس این نتایج با کمی اختلاف مشاهده شد. طبق استانداردها و ملاحظات شرکت سازنده، بهترین دما برای کارکرد روغن با ویسکوزیته ۶۸

سانتی استوک برابر ۴۵ درجه سیلیسیوس می‌باشد. و از آنجائیکه افزایش دما نقش مخربی در روند کارکرد سیستم هیدرولیک دستگاه پرس و عمر عملکرد روغن دارد، برطرف کردن این مشکل بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از اینرو در ادامه به بررسی تاثیر افزایش دمای روغن می‌پردازیم.

۲-۱- تاثیر افزایش دمای کاری روغن

تمام روانکارها در زمان کارکرد، با پدیده اکسیداسیون مواجه می‌شوند که در نهایت منجر به تخریب ساختار روغن و پایان عمر آن می‌شود. برای جلوگیری یا بهتر است بگوییم ایجاد تاخیر در این پدیده، سازندگان روغن از ترکیبات ضد اکسیداسیون در روغن استفاده می‌کنند تا از این طریق طول عمر روغن افزایش پیدا کند. پدیده اکسیداسیون با دمای روغن ارتباط تنگاتنگی دارد. یعنی با افزایش دمای روغن سرعت اکسیداسیون در روغن افزایش پیدا می‌کند. از اینرو اغلب تجهیزات صنعتی طوری طراحی می‌شوند که دمای توده روغن در سیستم در حدود ۵۰ درجه سانتیگراد بماند. چرا که با افزایش دمای روغن از این دما روند افزایش سرعت اکسیداسیون شتاب چشمگیری می‌گیرد. به طوری که طبق معادله آرنیوس به ازای هر ۱۰ درجه افزایش در دمای کارکرد روغن، نرخ اکسیده شدن روغن دو برابر شده و همچنین روغن پایه دارای مواد سبک و فراری است که در صورت بالا دما از حد مجاز، تبخیر شده و موجب افزایش گرانی می‌گردد (فیلیپس^۱، ۲۰۰۶). علاوه بر این افزایش دمای بیش از حد روغن، اثرات زیر را نیز به همراه دارد:

- ایجاد بخار و بروز کاویتاسیون و کاهش عمر پمپ
- کاهش گرانی سیال و در نتیجه افزایش نشتی های داخلی و خارجی
- بروز تنش های واپیچشی گرمایی در قطعات
- تخریب آب بندها و کاسه نمدها به واسطه ترد و شکننده شدن آنها

۲-۲- اقدامات اولیه جهت رفع عیب

برای رفع مشکل افزایش دمای روغن در مراحل اولیه، اقدامات زیادی توسط پرسنل نت واحد صنعتی صورت گرفته که نتایج رضایت بخشی حاصل نشد. این اقدامات به شرح زیر می‌باشد:

کاهش دمای محیط در فصول گرم سال

در ابتدا به نظر می‌رسید که افزایش تدریجی دمای روغن به دلیل افزایش دمای محیط در فصل گرم سال می‌باشد. از اینرو با اضافه کردن سیستم خنک کننده قوی تر، دمای محیط سالن را تا حد استاندارد پایین آورده شد. با این کار دمای روغن در داخل مخزن در حد ۵/ تا ۱ درجه سانتیگراد کاهش یافت ولی همچنان روند افزایشی دما وجود داشت.

۲-۳- تعویض مبدل حرارتی دستگاه پرس

بررسی های انجام شده بر روی دمای ورودی و خروجی روغن در سیستم خنک کننده دستگاه پرس، نشان دادند که راندمان این سیستم کاهش یافته و با تعویض سیستم مذکور سعی شد تا دمای روغن را تا حد استاندارد کاهش یابد. احتمال داده می‌شد که رسوب مسیرهای عبور روغن یا آب را در مبدل مسدود کرده و به دلیل افت جریان، راندمان سیستم کاهش یافته است. ولی نتایج حاصله پس از تعویض، تغییری نداشت و این امر نشان دهنده این بود علل اصلی مشکل در قسمت دیگری می‌باشد. نمایی از سیستم خنک کاری دستگاه پرس هیدرولیکی ۶۳۰ تن در شکل زیر مشاهده می‌شود.

۲-۴- بررسی مسیر عبور روغن

از آنجائیکه در این دستگاه، مسیر حرکت روغن در سیستم فیلتراسیون و خنک کاری جدا از پمپ اصلی می‌باشد و روغن پس از عبور از مبدل وارد مدار فرمان هیدرولیکی دستگاه پرس می‌شود به نظر می‌رسید که خروجی روغن از مخزن که همان ورودی سیستم خنک کننده می‌باشد گرفته شده و روغن موجود در مدار فرمان در حال گردش می‌باشد. از اینرو مسیر عبور کلیه لوله ها و شیرهای موجود بطور دقیق مورد بررسی قرار گرفت و هیچ گرفتگی مشاهده نشد. از آنجائیکه افزایش دمای روغن، سرعت اکسیداسیون آن را افزایش داده

و این عمل عمر عملکرد سیال را به شدت کاهش می دهد و هزینه های مربوطه به تعویض روغن بسیار بالا می باشد. از اینرو نیاز به تحقیقات بیشتری بود تا علت ریشه ای این عیب شناسایی شود.



شکل (۱). نمایی از سیستم خنک کاری دستگاه پرس هیدرولیکی ۶۳۰ تن

۲-۵- بررسی عملکرد پرس هیدرولیکی از دیدگاه آنالیز روغن

در شکل ۱ نمایی از پرس هیدرولیکی ساخت شرکت Muller آلمان مشاهده می شود. در پرس های هیدرولیکی، روغن توسط پمپ از مخزن کشیده شده و پس از عبور از شیرهای کنترل جهت وارد سیلندر دستگاه می شود و متناسب با نیروی مورد نیاز جهت شکل دهی قطعه کار، عمل فشار سازی تا ۳۰۰ bar انجام می شود. همچنین پمپ مدار فرمان باعث جریان یافتن روغن در سیستم خنک کاری و فیلتراسیون می شود. طبق آنالیز روغن انجام شده بروی این دستگاه ها (جدول ۲)، سطح تمیزی روغن از حد مجاز خود بالاتر بوده و بیشترین مقدار آن را ذرات آهنی، مسی و آلومینیومی که جزء عناصر فرسایشی می باشند، تشکیل داده اند. این عناصر به مرور زمان در اثر گردش روغن در قسمت های مختلف سیستم، از بدنه جدا شده و وارد سیال روغن می شود. ذرات دیگری مانده سیلیسیوم نیز در روغن مشاهده می شود که از طریق فیلتر هوا و روزنه های موجود در تاج پرس وارد مخزن می شود. یکی عوامل تاثیر گذار در امر سایش سیستم، سختی بالای ذرات سیلیس می باشد که در فشارهای بالا براحتی بروی سطوح فلزی نفوذ کرده و باعث فرسایش سریع تجهیزات می شود. ابعاد این ذرات بین ۴ تا ۱۴ میکرون است. از اینرو جهت بررسی تاثیر ذرات بروی خواص سیال روغن، نیاز است تا در ادامه به بررسی پژوهش هایی که در زمینه نانو سیال صورت گرفته بپردازیم.

جدول (۲). سطح تمیزی پرس های ۶۳۰ تن

شماره دستگاه	دستگاه شماره ۱	دستگاه شماره ۲	دستگاه شماره ۳	دستگاه شماره ۴	دستگاه شماره ۵	دستگاه شماره ۶	دستگاه شماره ۷
سطح تمیزی ISO 4406	22/20/16	22/19/15	22/20/17	22/20/14	23/20/16	22/19/14	21/18/14

حداکثر سطح تمیزی این پرس ها متناسب با نوع پمپ و شیرهای بکار برده شده در آن و همچنین متناسب با استاندارد ISO 4406 باید در حد ۱۷/۱۵/۱۳ باشد. اما با توجه به جدول فوق مشاهده می شود که این مقدار بسیار بالاتر از حد مجاز بوده و بیشترین مقدار برای پرس شماره ۵ می باشد و دارای کسر حجمی ۰/۰۰۰۳ است



شکل (۲). نمایی از پرس هیدرولیکی ساخت شرکت Muller آلمان

۲-۶- تحقیقات صورت گرفته در زمینه نانو سیال

نانو سیالات نوع جدیدی از سیالات در انتقال حرارت هستند که از پخش کردن یکنواخت و پایدار ذراتی در اندازه نانو (معمولاً کمتر از 100 نانومتر) در یک سیال به وجود می‌آیند که در یک سیال پایه دیسپرز شده‌اند. آنها به خاطر داشتن خصوصیات انتقال حرارتی برجسته توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده‌اند. اغلب جامدات بویژه فلزات دارای هدایت گرمایی بالاتر از سیالات معمول هستند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که سیالات حاوی ذرات جامد دارای افزایش قابل توجهی در هدایت گرما باشند. کارهای صورت گرفته آزمایشگاهی و عددی در این زمینه در صد سال اخیر نشان دهنده افزایش ضریب انتقال حرارت با افزودن ذرات کوچک جامد در سیال است. چنین افزایشی تا حدودی به افزایش هدایت گرمایی موثر سیال مربوط می‌شود. همچنین کاهش ضخامت لایه مرزی گرمایی به دلیل وجود ذرات جامد در سیال و حرکات تصادفی آنها که مکانیزم جدیدی را برای پروسه انتقال تعریف می‌کند نیز از عوامل پراهمیت به شمار می‌روند. باید توجه داشت که تمامی مطالب ذکر شده در بالا مربوط به ترکیباتی حاوی ذراتی با اندازه‌های میکرومتر و میلی‌متر می‌باشد. متأسفانه اینگونه ترکیبات دارای مشکلات جدی از جمله افت فشار شدید، ته‌نشینی سریع ذرات، انسداد و خوردگی مجاری جریان هستند (پالم^۱، ۲۰۰۵). فهم کاملی از عملکرد انتقال حرارتی سیالات نانو برای کاربردهای عملی به منظور افزایش نرخ انتقال حرارت لازم است. سیالات نانو در طبیعتشان سیالات چند جزئی هستند حتی اگر ذرات بسیار کوچک باشند. بسیار مشکل است که به یک تئوری فرمولبندی شده برای پیش بینی رفتار جریان مواد چند جزئی دست یافت. انتظار میرود که ضریب انتقال حرارت (عدد ناسلت) سیالات نانو به تعدادی از عوامل مختلف از جمله هدایت گرمایی و ظرفیت حرارتی هر دو جزء سیال پایه و ذرات نانو، الگوی جریان، ویسکوزیته سیال نانو، کسر حجمی ذرات توزیع شده، ابعاد و شکل این ذرات همچنین ساختار جریان وابسته باشد. بنابراین شکل کلی عدد ناسلت به صورت زیر است (کانا^۲، ۲۰۰۰):

$$N_{unf} = f \left(Re, Pr, \frac{K_s}{K_f}, \frac{(\rho c_p)_s}{(\rho c_p)_f}, \phi, \text{Dimensoin and shape of particle, flow structure} \right) \quad (1)$$

¹ Palm

² Xunan

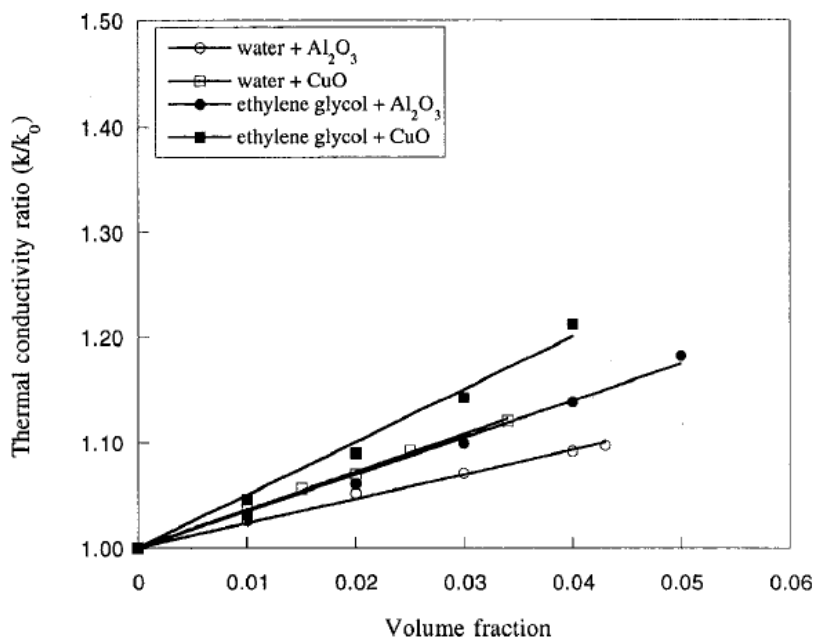
در رابطه فوق Re عدد رینولدز، Pr عدد پرانتل، K_s و K_f به ترتیب ضریب هدایت گرمایی ذرات جامد و سیال، C_p گرمای ویژه، ρ دانسیته، ϕ کسر حجمی می‌باشد. ویسکوزیته، ظرفیت گرمایی و ضریب هدایت گرمایی سه پارامتر مهم در محاسبه نرخ انتقال حرارت نانو سیال می‌باشند که تغییر آنها می‌تواند شرایط کاملاً متفاوتی را نسبت به سیال خالص رقم بزند. برای نانو ذرات معلق در مایع، پارامتر $(\rho c_p)_{nf}$ نانو سیال بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho c_p)_f + \phi(\rho c_p)_s \quad (2)$$

همچنین ویسکوزیته نانو سیال را می‌توان بوسیله معادله Einstein برای مخلوط دوفازی محاسبه کرد. این معادله برای تراکم حجمی $(\phi < 0.05)$ مورد استفاده قرار می‌گیرد در واقع می‌توان انتظار داشت که ویسکوزیته مؤثر سیال نانو با افزایش کسر حجمی ذرات، افزایش ویسکوزیته سیال پایه و افزایش دانسیته ذرات و کاهش دما روند افزایشی داشته باشد این روند در رابطه ارائه شده قابل پیش بینی می‌باشد.

$$\mu_{eff} = \mu_f(1 + 2.5\phi) \quad (3)$$

نتایج لی و همکارانش [۶] نشان داد که در محدوده کسر حجمی پایین (کمتر از ۰/۰۵) نسبت هدایت گرمایی تقریباً به طور خطی با کسر افزایش می‌یابد. همچنین ذرات CuO و Al_2O_3 در کسر حجمی ۰/۰۴ باعث افزایش ۲۰ درصدی در انتقال حرارت می‌شود.



شکل (۳). تاثیر کسر حجمی در افزایش نسبت هدایت حرارتی (لی و همکاران^۱، ۱۹۹۹).

هوانگ و همکاران^۲ (۲۰۰۶) نشان دادند که با افزایش درصد حجمی ضریب هدایت حرارتی نانو سیال SiO_2 بر پایه روغن نیز افزایش می‌یابد اما این موضوع در مورد نانو سیال بر پایه آب صدق نمی‌کند. روند کلی در داده‌های تجربی، آن است که رسانایی حرارتی نانو سیالات با کاهش

¹ Lee

² Huang

اندازه ی ذرات، افزایش یابد. این روند از لحاظ نظری با دو مکانیسم افزایش رسانایی حرارتی پشتیبانی می شود که عبارتند از: حرکت براونی نانوذرات و لایه بندی مایع اطراف نانوذرات. با این حال، مقدار قابل توجهی از اطلاعات متناقض در آثاری که کاهش رسانایی حرارتی را با کاهش اندازه ی ذرات نشان می دهد، وجود دارد.

۲-۷-تأثیرات اسیدیته

با توجه به مقدار pH تعداد مطالعات در مورد تأثیر اسیدیته ی مایع روی بهبود رسانایی حرارتی نانوسیالات در مقایسه با مطالعاتی که به پارامترهای دیگر توجه می کنند، محدود است. کاهش قابل توجه در نسبت هدایت حرارتی با افزایش مقدار pH گزارش شده است. در مقدار مطلوب pH، شارژ سطحی نانوذرات افزایش می یابد که بین نانوذرات، نیروهای دافعه ایجاد می کند. به عنوان نتیجه ای از این تأثیر، خوشه بندی شدید نانوذرات منع شده است. (خوشه بندی بیش از حد ممکن است منجر به رسوب شود که افزایش هدایت حرارتی را کاهش می دهد) (ساریت و چوی^۱، ۲۰۰۹). به دلیل جاذبه بین نانوذرات برای مثال نیروی جاذبه ی واندروالسی و پدیده های تخلیه، آگلومرها (تجمعات) می توانند با تنظیم محلول شیمی و کاربرد برش کنترل شوند. دلیل دوم با توجه به ویسکوزیته و گرادیان سرعت مهاجرت ذرات است. شواهد تجربی از ذرات مهاجر وجود دارد، اگر ذرات بسیار کوچک هستند، حرکت براونی قوی است و اثر مهاجرت ذرات فوق الذکر قابل اغماض است. اگر ذرات بزرگ هستند، برای مثال تجمع صدها نانومتر، سهم حرکت براونی کوچک است و یک ذره ی ناحیه ی تخلیه ممکن است در ناحیه ی جداره وجود داشته باشد که توزیع غیر یکنواخت غلظت ذرات، ویسکوزیته و رسانایی حرارتی را ارائه می کند. نتایج مستقیم مهاجرت ذرات، غلظت پائین تر ذرات در ناحیه ی جداره و ضخامت مرزی نازکتر به علت اختلال ذرات در حرکت است. این با توجه $h = \frac{k_f}{\delta_t}$ منجر به سه حالت زیر می شود:

۱. اگر کاهش در δ_t از کاهش در k_f بیشتر باشد، h افزایش می یابد.
۲. اگر کاهش در δ_t برابر با کاهش در k_f باشد، h تغییر نمی کند.
۳. اگر کاهش در δ_t پایین تر از کاهش در k_f باشد، h کاهش می یابد (خوان^۲، ۲۰۰۳).

نانوذرات به شکل خوشه، شناخته شده اند. این خوشه ها را می توان با استفاده از نظریه ی فراکتال، جابه جا کرد. خوشه بندی می تواند منجر به انتقال سریع گرما در طول فواصل نسبتاً زیاد شود چون گرما با ذرات جامد در مقایسه با ماتریس مایع سریعتر هدایت می شود. ثابت شده است که رسانایی حرارتی موثر با افزایش اندازه ی خوشه، افزایش می یابد. با این حال، همانطور که کسر حجمی ذره افزایش می یابد، نانوسیال با خوشه ها، بهبود به نسبت کوچکتر رسانایی حرارتی را نشان می دهند. مقاومت سطحی، افزایش در رسانایی حرارتی را کاهش می دهد اما این کاهش، برای نانوسیالات باخوشه های بزرگ، تقلیل می یابد (ارزینک^۳، ۲۰۱۰).

۳- علل ریشه ای افزایش دما

۳-۱- بررسی علل افزایش دما از دیدگاه نانوسیال

اقدامات اولیه ای که بر روی سیستم خنک کاری انجام شد نشان دهنده ی کاهش راندمان این سیستم بود. همچنین می دانیم که ذرات آلوده کننده به تدریج وارد روغن دستگاه می شوند و افزایش دما نیز تدریجی است. از اینرو احتمال اولیه براین بود که وجود این ذرات علت اصلی مشکل می باشد. بنابراین به بررسی علل کاهش راندمان این سیستم پرداختیم. تحقیقات انجام شده در زمینه نانوسیال، این ذهنیت را بوجود آورده که وجود ذرات جامد در داخل سیال باعث بهبود انتقال حرارت شده است. نانوسیال ها در سیستم های خنک کننده، همیشه

¹ Sarit and Choi

² Xuan

³ Özeriñç

بعنوان مایع خنک‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی در بحث آلودگی روغن و اضافه شدن ذرات میکرونی به داخل روغن، عکس این قضیه رخ می‌دهد، یعنی نانوسیال بعنوان مایع خنک شونده می‌باشد که قرار است توسط آب خنک شود.

۳-۲- تاثیر کسر حجمی

مطابق با تاثیر کسر حجمی فرمول (۱) ارائه شده در بخش قبل، بحث انتقال حرارت در نانوسیال به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که یکی از آنها، کسر حجمی ذرات می‌باشد. سطح تمیزی گزارش شده در آنالیز روغن دستگاه پرس ۶۳۰ تن، کسر حجمی بدست آمده در این نمونه ۰/۰۰۳ می‌باشد. نمودار ارائه شده در شکل (۳) نشان دهنده تاثیر کسر حجمی در افزایش نسبت هدایت حرارتی می‌باشد. بنابراین طبق این نمودار افزایش این نسبت متناسب با کسر حجمی موجود بسیار ناچیز می‌باشد.

۳-۳- تاثیر نوع ذره

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد ذرات جامد موجود در روغن شامل آهن (Fe)، آلومینیوم (AL)، مس (CU) و سیلیسیوم (Si) می‌باشد. ضریب انتقال حرارت این ذرات بیشتر از سیال پایه می‌باشد و در بین ذرات، مس و آلومینیوم بیشترین مقدار را بخود اختصاص دادند. ولی غلظت این ذرات در مقایسه با ذرات آهنی و سیلیسیوم بسیار کمتر می‌باشد. در جدول ارائه شده در زیر مقدار هر کدام از ذرات بر حسب ppm آورده شده است. بنابراین می‌توان گفت که تاثیر نوع ذره در افزایش مقدار انتقال حرارت بسیار کم می‌باشد و ذرات غالب ذرات آهنی و سیلیسیوم می‌باشد.

جدول (۳). مقادیر ذرات مختلف گزارش شده در آنالیز روغن

نوع ذره	Si	Fe	CU	Al	Water
غلظت ppm	۴۷/۹۸	۱۵/۹۴	۹/۴۹	۱/۶	۶۹

همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود به ترتیب مقادیر آب، سیلیسیم و آهن از بقیه بیشتر بوده که ضریب هدایت حرارتی آنها در مقایسه با مس و آلومینیوم بسیار کمتر می‌باشد و با توجه به کسر حجمی کل می‌توان گفت که تاثیر این مواد با توجه به غلظت آنها در ضریب هدایت حرارتی سیال آلوده بسیار کم می‌باشد. اگر چه تاثیر این ذرات در ضریب انتقال حرارت کم است ولی با این وجود طبق مطالعات انجام شده تحت هر شرایطی باید بهبود راندمان سیستم خنک‌کاری حاصل می‌شد که عکس این قضیه اتفاق افتاده است. بنابراین عوامل دیگری وجود دارد که باعث کاهش ضریب هدایت حرارتی سیال روغن شده است. با بررسی مخزن روغن دستگاه پرس و مشاهده وجود کف در طول کارکرد دستگاه، نشان دهنده اختلاط هوا و روغن می‌باشد. و از آنجاییکه تشکیل کف در سطح روغن نیاز به اختلاط ۵٪ درصدی هوا می‌باشد. می‌توان به این نتیجه رسید که مقدار نفوذ هوا در داخل روغن به این حد رسیده است. هوا در سیستم‌های هیدرولیک می‌تواند به یکی از چهار صورت زیر وجود داشته باشد:

- هوای آزاد: مانند هوایی که در بخشی از سیستم به دام افتاده باشد. که هواگیری سیستم‌های هیدرولیک در آغاز بکار آنها می‌تواند سبب از بین رفتن هوای آزاد شود.
 - هوای محلول: روغن‌های هیدرولیک می‌توانند تا یک حد مجاز دارای هوای محلول باشند.
 - هوای محبوس: حباب‌های هوا که معمولاً دارای قطر ۱ میلی‌متر می‌باشند و در روغن متفرق می‌شوند.
 - کف: حباب‌های هوا با قطر بیشتر از ۱ میلی‌متر که در سطح روغن انباشته می‌شوند. مقادیر کم کف مشکلات چندانی ایجاد نمی‌کند اگر چه مقادیر زیاد کف می‌تواند سبب سرریز شدن مخزن و دلیل آلودگی روغن هیدرولیک باشد.
- از ۴ صورت فوق هوای محبوس دارای اثرات زیانبار بیشتری است که معایب آن در سیستم‌های هیدرولیک عبارتند از:
- کاهش مدول بالک، که سبب ایجاد عملکرد اسفنجی و کاهش کنترل سیستم می‌شود.

- افزایش بار گرمایی
- کاهش کارایی و بازده
- کاهش رسانایی گرمایی
- خراب شدن روغن از طریق افزایش اکسیداسیون و تخریب گرمایی
- کاهش گرانش روغن، که منجر به سایس سطوح آسیب پذیر می گردد.
- خوردگی ناشی از ایجاد حفره (کاویتاسیون)
- افزایش سرو صدا

همچنین وجود ذرات آب و فلزی میکرومتری در روغن باعث ته نشین شدن مواد افزودنی ضد کف^۱ در روغن می شود. مکانیزم این عمل به این صورت است که مواد افزودنی در اطراف ذرات تجمع کرده و به آنها می چسبند و به دلیل اندازه میکرونی ذرات و عدم پایداری آنها در سیال ته نشین شده و از طریق سیستم فیلتراسیون از روغن جدا می شوند. بنابراین با کاهش مواد ضدکف، حباب های هوای محبوس شده در روغن به مرور زمان افزایش یافته و در کل حجم سیال پراکنده می شوند. از طرفی به خاطر اینکه حباب های هوای موجود در روغن دارای ضریب هدایت حرارتی پایین تری نسبت به روغن می باشد. (ضریب هدایت حرارتی هوا 0.25 W/m.k و روغن 0.17 می باشد) و همچنین کسر حجمی هوا (0.05) بیشتر از ذرات فلزی است. بنابراین کاهش ضریب انتقال حرارت کل و همچنین کاهش راندمان مبدل حرارتی را می تواند در پی داشته باشد.

۳-۴-تاثیر ظرفیت گرمای ویژه روغن

از آنجاییکه در مبدل حرارتی سیال حاوی ذرات به عنوان مایع خنک شونده می باشد، تاثیر افزایش در ظرفیت گرمای ویژه روغن اثر عکس بر راندمان سیستم دارد. طبق محاسبات مربوط به نانوسیال ها رابطه (۲) افزوده شدن ذرات میکرو در روغن ظرفیت گرمای کل سیال افزایش پیدا می کند. یعنی اگر ظرفیت گرمای سیال خنک شونده نسبت به حالت خالص خود افزایش یابد باعث کاهش انتقال حرارت در مبدل ها می شود. جهت اثبات این موضوع از روابط زیر مربوط مبدل های حرارتی استفاده می کنیم. یکی از روش های متداول برای محاسبه بار حرارتی مبدل ها استفاده از روابط $\epsilon - NTU$ می باشد. این روش برای شرایطی مورد استفاده قرار می گیرد که اطلاعات جریان های ورودی و خروجی به مبدل در دست نبوده و تنها اطلاعات دمایی جریان های ورودی به مبدل مشخص است. در این روش با محاسبه بیشینه حرارت قابل انتقال و استفاده از یک ضریب تصحیح (ضریب بازدهی)، مقدار واقعی گرمای انتقالی محاسبه می شود.

$$q_{\max} = C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (4)$$

در این معادله برای محاسبه $C_{\min}$ ، باید mc را برای هر سیال جداگانه محاسبه و مقدار کمتر را $C_{\min}$ می نامیم. همچنین ضریب بازدهی در این روش به صورت زیر قابل تعریف است:

$$\epsilon = \frac{q}{q_{\max}} \quad (5)$$

مقدار گرمای واقعی (q) محاسبه شده برابر است با:

$$q = C_h(T_{h,i} - T_{h,o}) = C_c(T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (6)$$

¹ Anti Foam

برای محاسبه ضریب بازدهی ϵ دو پارامتر به نام های NTU و C_r تعریف می شود.

$$\epsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1 + C_r))}{(1 + C_r)} \quad (7)$$

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (8)$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (9)$$

با توجه به روابط ذکر شده در فوق برای تبدیلی که سیال گرم آن روغن و سیال سرد آن آب می باشد، اگر ظرفیت گرمایی روغن افزایش پیدا کند، مقدار C_{min} نیز افزایش پیدا می کند. با توجه به اینکه رابطه NTU با C_{min} به صورت عکس می باشد با افزایش مقدار C_{min} مقدار NTU کاهش می یابد. با توجه به رابطه (۷) و تغییرات NTU و C_{min} مقدار ضریب بازدهی کم می شود. اگر ضریب بازدهی را در رابطه (۵) لحاظ کنیم مقدار حرارت منتقل شده بین مبردها کاهش می یابد. با کاهش حرارت منتقل شده و توجه به رابطه (۶)، مقدار دمای خروجی روغن افزایش می یابد. توضیحات ذکر شده در فوق برای هر دو مبدل جریان موازی و متقاطع یکسان می باشد (رامش و همکاران^۱، ۲۰۰۳).

۳-۵- تاثیر اسیدیته

افزایش اسیدیته، یکی از عواملی است که مستقیماً با کاهش ضریب انتقال حرارت در ارتباط می باشد. اسیدی شدن هنگامی رخ می دهد که بخارات آب و هوا وارد سیستم شوند یا متناوباً زمانی که سیستم بیش از حد گرم شده و خشک کن خنک کننده، آب نگهداری شده را رها سازد. هنگام روی دادن این اتفاق اسیده‌های ایجاد شده با هوا، آب، خنک کننده و روغن واکنش داده و اجزای آهنی سیستم بعلت آبکاری شدن با مس می توانند تخریب گردند. بمنظور نشان دادن مشکلات ابتدایی در سیستم‌های خنک کننده مقدار اسید روغن، مقدار رطوبت و میزان مس باید بطور منظم تحت نظر باشند. عدد اسیدی و فرسایش عنصر مس گزارش شده در آنالیز روغن به ترتیب برابر 0.4 mgKOH/g و 9.49ppm می باشد. و این امر نیز می تواند در کاهش ضریب انتقال حرارت دخیل باشد.

۳-۶- تاثیر ویسکوزیته موثر

روغن مورد استفاده در دستگاه پرس ۶۳۰ تن از نوع VG 68 می باشد. ویسکوزیته این روغن در دمای ۴۰ درجه برابر ۶۸ سانتی استوک است. با توجه به فرمول شماره ۳، اضافه شدن ذرات به سیال باعث افزایش ویسکوزیته نانوسیال می شود. اما طبق گزارشات آنالیز روغن، مقدار ویسکوزیته پس از گذشت ۶ ماه کاهش یافته و به مقدار ۶۷ سانتی استوک رسیده است. بنابراین این امر نشان تاثیر بیشتر حباب‌های هوا نسبت به ذرات فلزی است.

۳-۷- تاثیر گردش ذرات در افزایش دمای روغن

با افزایش آلودگی، ویسکوزیته سیال نیز افزایش می یابد و در نتیجه سرعت حرکت آن کاهش یافته و انرژی بیشتری نیاز است تا سیال با گراندرویی بالاتر را به حرکت آورد، که این انرژی بیشتر، باعث گرمتر شدن روغن خواهد شد. از آنجاییکه اصطکاک بین دیواره لوله و سیال در حالت آلودگی، بیشتر از حالت تمیز می باشد، در هنگام برخورد سیال آلوده با دیواره و به دلیل وجود اصطکاک، گرما تولید می شود و چون سیال آلوده دارای ظرفیت گرمایی بالاتری نسبت به سیال تمیز دارد بنابراین حرارت بیشتری را جذب کرده و با خود حمل می کند. از طرفی وقتی سیال در داخل سیلندر تحت فشار قرار می گیرد. ذرات فلزی و غیرفلزی موجود در سیال مقداری از انرژی را جذب کرده و گرم می شود. در این حالت نیاز به انرژی بیشتری نسبت به حالت سیال تمیز می باشد تا فرآیند ضربه زنی پرس صورت گیرد. همچنین این انرژی

توسط ذرات به قسمت مختلف دستگاه پرس منتقل شده و رفته رفته گرمای خود را با روغن تبادل می‌کند، و هنگامی در داخل سیستم خنک‌کاری قرار می‌گیرد، به دلیل اینکه روغن توانایی حمل انرژی بیشتری دارد، بنابراین مایع خنک‌کاری آب نیاز به مسیر طولانی‌تری جهت خنک‌کردن روغن را دارد که در این صورت راندمان سیستم خنک‌کاری نیز کاهش می‌یابد. حرکت نامشخص ذرات در داخل سیال و برخورد آنها با هم دیگر و همچنین چرخش آنها باعث افزایش دمای روغن می‌شود. با افزایش کسر حجمی نانوذرات، ماکزیمم سرعت نانو سیال نسبت به سیال خالص کاهش می‌یابد. که بخاطر افزایش چگالی سیال در حضور نانوذرات است. بنابراین هر چقدر قطر ذرات کمتر باشد، شاهد انتقال حرارت بیشتر و دمای عملکردی پایین‌تر و متعاقب آن چگالی بیشتر خواهیم بود که در نتیجه آن مقدار سرعت کمتر خواهد بود. بطور فیزیکی می‌توان اینگونه بیان کرد که افزایش چگالی باعث کاهش سرعت سیال و در نتیجه کاهش تنش برشی خواهد شد. و به علت غلبه چگالی در ابتدای امر شاهد کاهش افت فشار هستیم. اما افزایش ویسکوزیته باعث افزایش تنش برشی و غلبه ویسکوزیته و در نتیجه افزایش افت فشار خواهیم بود [۱۰]. افت فشار از جمله عواملی است که باعث افزایش دمای سیال در سیستم‌های هیدرولیکی می‌شود. علاوه بر آن سرعت ته‌نشینی ذرات در آنها بالاتر بوده و افت فشار بیشتری را ایجاد می‌کنند. خوردگی خطوط لوله نیز در این موارد بسیار مشاهده می‌شود. قدرت مورد نیاز برای پمپ کردن این سیالات بیشتر است. حال آنکه در نانو سیال‌ها به دلیل حرکت براونی و نیز برهم کنش‌های بین ذرات و سطح بالا این آثار کاهش می‌یابد.

۴- عیب‌یابی دستگاه پرس هیدرولیکی ۶۳۰ تن

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و علل ریشه‌ای این عیب، راهکار مناسب جهت جلوگیری از افزایش دمای تدریجی روغن، افزایش راندمان سیستم خنک‌کاری بوسیله حذف ذرات آلوده کننده و جلوگیری از ورود ذرات گرد و خاک و هوا به داخل سیستم هیدرولیکی دستگاه پرس می‌باشد. از اینرو راه‌های نفوذ آلودگی را شناسایی کرده و متناسب با آنها راه‌کارهایی در پیش گرفته شد.

۴-۱- علل آلودگی روغن

با بررسی‌های صورت گرفته بروی پرس های ۶۳۰ تن، علل آلودگی را می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

۴-۲- استفاده از روغن تازه نامناسب

روغن تازه می‌تواند یکی از منابع آلودگی ذرات و غلظت آب باشد. طبق استاندارد ISO سطح تمیزی در روغن‌هایی جدیدی که دارای تولید یا انبارش نامناسب هستند ۲۵/۲۲/۱۹ می‌باشد که برای سیستم‌های هیدرولیکی اصلاً مناسب نمی‌باشد. بهترین حالت برای روغن جدید ۱۶/۱۴/۱۱ می‌باشد که بدست آوردن این سطح تمیزی بر عهده سیستم فیلتراسیون خواهد بود. بنابراین سطح تمیزی روغن جدیدی که در دستگاه استفاده می‌شود را باید مشخص کرد.



شکل (۴). آلودگی های موجود در روغن تازه

۴-۳-عدم سرویس دهی مناسب توسط پرسنل

نحوه‌ی تعمیر و نگهداری سیستم‌های هیدرولیکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. اما متأسفانه در این واحد اصول و استانداردی جهت باز و بسته کردن و تعمیر قطعات معیوب وجود ندارد و این کار با سهل انگاری انجام می‌گیرد. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود آلودگی‌هایی در تاج پرس وجود دارد که هنگام باز کردن پمپ یا قطعات دیگر می‌تواند براحتی وارد مخزن شود.



شکل ۵: آلودگی موجود در تاج پرس

۴-۴-عدم تمیز کردن مخزن در هنگام تعویض روغن

یکی از عوامل دیگری در آلودگی روغن نقش مهمی دارد، وجود لجن در کف مخزن می‌باشد که در هنگام تعویض روغن، مخزن باید بطور کامل تمیز شود تا آلودگی روغن قبلی به روغن جدید اضافه نشود.

۴-۵-وجود سوراخ‌هایی در تاج پرس

در تاج پرس‌های ۶۳۰ تن و همچنین بقیه پرس‌ها، سوراخ‌هایی تعبیه شده است که نشتی روغن در سیستم هیدرولیک از طریق سوراخ‌هایی وارد مخزن روغن می‌شود. در ورودی این سوراخ‌ها از صافی‌هایی استفاده شده است که دارای منافذی در حد میلیمتر می‌باشد که ذرات میکرونی و هوا براحتی وارد این مخزن می‌شوند. همچنین در هنگام مکش هوا از این طریق وارد مخزن می‌شود و ذرات گرد و غبار به روغن اضافه می‌کند. در شکل زیر این سوراخ‌ها مشاهده می‌شود.



شکل (۶). منافذ برگشت نشتی روغن به مخزن در تاج پرس

۴-۶- سیستم فیلتراسیون ضعیف

پرس‌های ۶۳۰ تن دارای سیستم فیلتراسیون قدیمی و بسیار ضعیف می‌باشد. از دو فیلتر در مدار فرمان استفاده شده است که یکی در خط مکش و دیگری در خط برگشت قرار دارد. فیلتر مورد استفاده در خط مکش دارای درجه فیلتراسیون ۶۰ میکرون می‌باشد. فیلتر استفاده شده در خط برگشت روغن ساخت شرکت Mann and Hummel می‌باشد و با نام فیلترهای Gap-type Filter شناخته می‌شوند. در شکل زیر نمایی از این فیلتر مشاهده می‌شود.



شکل (۷). نمایی از فیلتر Gap-type



شکل (۸). نمایی از سیستم فیلتراسیون پرس ۶۳۰ تن

با توجه به استانداردهای این شرکت مشخصات فیلتر مورد استفاده در پرس‌های ۶۳۰ تن بصورت شکل (۹) می‌باشد.

Part no.	Fig.	Nominal flow rate [l/h] [gph] with gap width		Dimensions in mm (Dimensions in inches)					Permissible operating pressure [bar]	Housing material	Weight approx. [kg]
		100 μ m x = 3	200 μ m x = 5	d ₁	d ₂	h	l	t			
51 204 6X 021	1	450 (118.89)	—	M 14x1.5	47 (1.85)	75 (2.95)	32 (1.26)	50 (1.97)	10	Spheroidal graph- ite cast iron/steel	1.0
51 207 6X 021	1	900 (237.78)	—	M 14x1.5	47 (1.85)	125 (4.92)	70 (2.76)	85 (3.35)	10	Spheroidal graph- ite cast iron/steel	1.0
51 305 6X 041	2	1400 (369.88)	3500 (924.70)	M 22x1.5	77 (3.03)	142 (5.59)	50 (1.97)	90 (3.54)	40	Spheroidal graph- ite cast iron/steel	3.0
51 305 6X 051	2	1400 (369.88)	3500 (924.70)	G 1/2"	77 (3.03)	142 (5.59)	50 (1.97)	90 (3.54)	40	Spheroidal graph- ite cast iron/steel	3.0
51 305 6X 061	2	1400 (369.88)	4000 (1056.80)	G 3/4"	77 (3.03)	142 (5.59)	50 (1.97)	90 (3.54)	40	Spheroidal graph- ite cast iron/steel	3.0
51 310 6X 041	2	2600 (686.92)	3500 (924.70)	M 22x1.5	77 (3.03)	192 (7.56)	95 (3.74)	140 (5.51)	40	Spheroidal graph- ite cast iron/steel	3.0
51 310 6X 051	2	2600 (686.92)	3500 (924.70)	G 1/2"	77 (3.03)	192 (7.56)	95 (3.74)	140 (5.51)	40	Spheroidal graph- ite cast iron/steel	3.0
51 310 6X 071	2	2600 (686.92)	4500 (1188.90)	G 3/4"	77 (3.03)	192 (7.56)	95 (3.74)	140 (5.51)	40	Spheroidal graph- ite cast iron/steel	3.0
51 310 7X 101	3	2600 (686.92)	5000 (1321)	G 1"	78 (3.07)	180 (7.09)	95 (3.74)	180 (7.09)	10	Spheroidal graph- ite cast iron	6.0
51 318 7X 101	3	5000 (1321)	5000 (1321)	G 1"	77 (3.03)	295 (11.61)	180 (7.09)	280 (11.02)	10	Spheroidal graph- ite cast iron	8.0

شکل (۹). مشخصات فیلتر استفاده شده در پرس های ۶۳۰ تن

کم بودن تعداد فیلترها و همچنین درجه فیلتراسیون بالای (۲۰ میکرون) این نوع فیلترها نشان دهنده‌ی ضعف سیستم فیلتراسیون پرس ۶۳۰ تن می‌باشد. آنالیز روغن انجام شده و سطح تمیزی ارائه شده در آنها، تصدیقی بر این ادعاست. با توجه به حساسیت سیستم هیدرولیکی پرس و سطح تمیزی استاندارد بیان شده در قبل، نیاز به فیلتری است که بتواند ذرات ۵ میکرون را از روغن جدا کند.

۵-نتایج

پس از رفع عیوب اشاره شده در فوق، نتایج زیر بدست آمد که تا حدود زیادی رضایت بخش بودند:

- سطح تمیزی روغن پس از دو ماه کارکرد دستگاه در حد مطلوب ۱۸/۱۶/۱۵ قرار داشت.
- افزایش راندمان سیستم خنک‌کاری
- و در نهایت کاهش دمای مخزن روغن پرس تا محدوده دمایی ۴۶ تا ۴۸ درجه سلیسیوس

مراجع

- Fundamentals of press design, Metal Forming Handbook / Schuler (c) Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998, <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/.../E-03>.
- Ernie Parker, E., (2006). Hydraulic Fluid Contamination and Assessment. *Fluid Power Engineering Technology Instructor, Hennepin Technical College*.
- W. D. Phillips, W. D., (2006). The high-temperature degradation of hydraulic oils and fluids. *Journal of synthetic lubrication, j. Synthetic lubrication*. 23: 39–70,
- Palm, S. J., Nguyen, C. T., Gilles Roy; Galanis, N., (2005). Heat transfer enhancement by using nanofluid in forced convection flows. *International journal of heat and fluid flow*. 26, 530-546.
- Xuana, Y., Roetzel, W., (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 3701-3707

- Lee, S., Choi, S. U. S., Li, S., J. A. Eastman, J. A., (1999), Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *Journal of Heat Transfer* 121, 280–289.
- Hwang, Y. Park, H. S., Lee, J.K., Jung, W. H., (2006). Thermal conductivity and lubrication characteristics of nanofluids. *Current Applied Physics*. 6S1, e67–e71
- Sarit, K., Das. S., Choi, U., (2009). A Review of Heat Transfer in Nanofluids.
- Xuan, Y., Li, Q., (2003). Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids. *J. Heat Transfer*. 125, 151-155.
- Özerýnç, S., (2010). Heat transfer enhancement with nanofluids.
- Ramesh, K., Shah, D., Sekulic, P., (2003). Fundamentals of Heat Exchanger Design. *John Wiley & Sons, Inc.*