



علمی - تخصصی

Analysis of Oil and Consumption Data in Order to Investigate the Offline Filtration for the Dump Truck Hydraulic Oil

M.Akhondzadeh¹
Sirjan University of Technology

A.Sadeghi²
Sirjan University of Technology

(Received: 2023/04/29, Revised: 2023/07/19, Accepted: 2023/08/08, Published: 2024/08/25)

DOR: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23223278.1402.12.1.12.1>

Abstract

Improvement of quality and life of the working hydraulic oil is very important in preventing the subsequent defects. This improvement leads not only to the defect prevention but also to the pollution reduction. The machinery accessibility can be increased by the offline filtration. In the present work, the data of the hydraulic oil consumption of dump truck and Shovel are obtained to investigate the feasibility and requirement of the offline filtration. The results of oil analysis have been investigated for this aim. The standard codes were appropriated to the oil contamination data to be analyzed. Results showed that the oil contamination level is high during the normal working life which is an indication of improper online filtration. It requires the more efficient additional offline filtration beside the online ones. The offline filtration requirements have been evaluated according to the hydraulic system specifications.

Keywords: Mineral machinery, Hydraulic oil, Oil contamination, Oil monitoring, Filtration, Offline filtration

آنالیز روغن و داده‌های مصرف جهت بررسی لزوم پیاده‌سازی

تصفیه برون خط هیدرولیک دامپ‌تراک

امین صادقی^۲

دانشگاه صنعتی سیرجان

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷، انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳)

مهدی آخوندی زاده^۱

دانشگاه صنعتی سیرجان

چکیده

بهبود کیفیت روغن هیدرولیک در حین گردش در خط و افزایش عمر آن جهت پیشگیری از خرابی‌های ناشی از آلودگی آن بسیار اهمیت دارد. بهبود کیفیت علاوه بر آنکه از خرابی‌های ناشی از آلودگی پیشگیری می‌کند مانع از تعویض زود هنگام روغن و آلودگی محیط زیست می‌شود. با امکان‌سنجی تصفیه خارج از خط روغن و پیاده‌سازی آن در مدار هیدرولیک می‌توان توقف تجهیزات را به تعویق انداخت و هزینه‌های ناشی از آن را کاهش داد. در کار حاضر، داده‌های مربوط به مصرف روغن هیدرولیک شاول و دامپ‌تراک در معدن شماره ۱ گل‌گهر بررسی می‌گردد تا امکان و یا نیاز پیاده‌سازی تصفیه برون خط روی آن بررسی گردد. برای این کار، نتایج آنالیز روغن ماشین‌آلات مورد نظر بررسی شده است. داده‌های آلودگی روغن بر اساس استانداردها کدگذاری شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان داد که آلودگی روغن با توجه به مدت زمانی که از تعویض آن تا زمان برداشت جهت آنالیز سپری شده، زیاد است و تصفیه طول خط پاسخگوی حذف ذرات آلوده متناسب با میزان مطلوب بر اساس استانداردها نمی‌باشد. با توجه به نیاز به تصفیه مناسب، طراحی مجموعه تصفیه برون خط انجام شده است. این طراحی، بر اساس حجم مخزن و میزان روغن در گردش سیستم محاسبه و ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: ماشین‌آلات معدنی، روغن هیدرولیک، آلودگی روغن، پایش روغن، فیلتر روغن، تصفیه برون خط.

^۱ استادیار (نویسنده پاسخگو) m.akhondzadeh@sirjantech.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک amin.as9079@gmail.com

۱- مقدمه

یکی از جنبه‌های اصلی فعالیت ماشین‌آلات معدنی، سیستم هیدرولیک آنها است. لازم است در این سیستم‌ها با روش‌ها و شیوه‌های به - روز نگهداری و تعمیرات، شامل آنالیز روغن و تصفیه مناسب آن، عمر این سیستم و در نتیجه عملکرد این ماشین‌ها را بهبود داد [1]. روغن هیدرولیک حین گردش در خط، در معرض آلودگی‌های متعدد از جمله ذرات خارجی و رطوبت می‌باشد که از مجراهای مختلف امکان نفوذ به مسیر گردش روغن را دارد و موجب آسیب فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود [2]. این مسئله از نقطه نظر تهیه فرمول‌های جدید ترکیبات روغن، مقاومت آنها به شرایطی مثل دمای بالا و ساعت کارکرد طولانی، قیمت و کارکرد مطلوب، تصفیه مناسب جهت تمیز نگه‌داشتن حداکثری، همیشه موضوع بحث محققان و آزمایشگاه‌های صنعتی تولیدکنندگان روانکارها می‌باشد. در این میان، دستورالعمل‌های مربوط به نوع روغن مورد استفاده در ماشین‌آلات، ساعات کارکرد روغن و بازه‌های تعویض، بهترین مرجع تعمیر و نگهداری سیستم‌های روانکار می‌باشد. اسناد موجود در شرکت‌های سازنده صافی و روانکار داری اطلاعات بسیار مناسب در حوزه انتخاب روغن، آب‌بند، نحوه تصفیه و استانداردهای تمیزی روغن برای ماشین‌آلات مختلف می‌باشد.

علاوه بر این، تحقیقاتی راجع به تأثیر پارامترهای سیستم بر عملکرد سیستم هیدرولیک انجام شده است [3-5]. جانسن و همکاران [6] مطالعه جامعی برای کاهش سطح آلودگی روانکار ماشین‌آلات فعال در یک معدن زیرزمینی انجام داده و راهکارهای اجرایی برای کاهش آلودگی روغن ارائه کردند. فلیکس و همکاران [7] با مانیتور کردن پیوسته روغن هیدرولیک ماشین‌آلات، میزان تأثیر آلاینده‌ها بر سایش قطعات سیستم را، بر اساس میزان و اندازه و نوع ذرات فلزی موجود در روغن پیش‌بینی کردند. دشتی و همکاران [8] نشان دادند که استفاده از سیال میکرو پلار به‌عنوان روانکار در سیستم یاتاقان‌های دولب، باعث افزایش ظرفیت حمل بار، افزایش زاویه مشخصه سیستم، افزایش ضریب اصطکاک و کاهش جریان نشتی یاتاقان دو لب در بار معین می‌شود. در کار حاضر، هدف این است که بیشتر باتکیه بر نتایج تجربی مربوط به پیشنهاد سطح

تمیزی مناسب روغن که از شرکت‌های تولیدکننده روغن صادر می‌شود و همچنین نتایج تحقیقات مرتبط در مورد نحوه تأثیر آلودگی بر هزینه‌های تمام شده سیستم هیدرولیک، صرفه‌جویی اقتصادی مربوط به بهینه‌سازی بخش‌هایی از سیستم هیدرولیک با تمرکز بر تمیزی روغن روشن شود و راهکارهای اصلاحی پیشنهاد گردد و نحوه طراحی سیستم تصفیه برون خط ارائه گردد.

۲- دلایل آلودگی روغن

روغن هیدرولیک پایه معدنی، ترکیبات کربن هستند و هرگونه عناصر و ذراتی غیر از آن آلودگی به حساب می‌آیند. عمده عناصر آلوده‌کننده روغن عناصر فلزی، آب و غبار هستند. اولین محل ورود آلودگی‌ها به روغن، محیط تولید و بسته‌بندی روغن است. یعنی حتی روغن نو دارای سطحی از آلودگی است. سایر آلودگی‌ها، شامل بخار آب، آلودگی ناشی از واکنش شیمیایی که در اثر حرارت تشدید می‌شود، اکسیداسیون روغن و یا فلزات در تماس با آن، سایش قطعات و ته‌نشینی‌های کف مخزن می‌باشند. راهکار تمیز نگه‌داشتن روغن در گام اول، مسدود کردن راه ورود آلودگی به آن و سپس فیلتر کردن مناسب است.

۳- عمر روغن

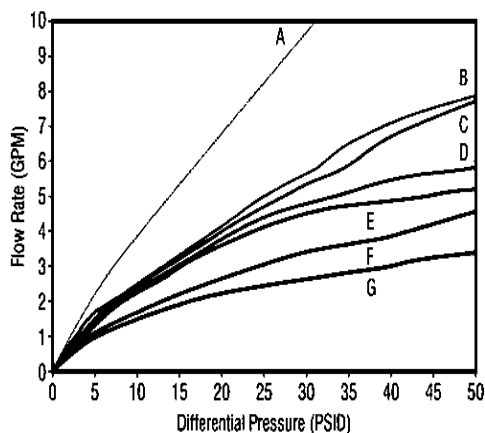
عمر روانکار یا هیدرولیک زمانی به پایان می‌رسد که ماده پایه یا افزودنی‌ها تحلیل رفته باشند و ویژگی‌های مورد انتظار را بروز ندهند. برای این عمر مفید، سازندگان ساعت کارکرد را پیشنهاد می‌کنند؛ اما الزاماً نمی‌تواند مبنای تعویض روغن قرار گیرد. اگر به عوامل تحلیل روغن توجه شود عمر روانکار می‌تواند بهبود یابد. عوامل تحلیل ماده پایه می‌تواند واکنش - های شیمیایی با آب (هیدرولیز^۱) یا واکنش با هوا (اکسیداسیون) باشد که در حضور حرارت تشدید می‌شود. علاوه بر این، افزودنی‌های مفید روغن می‌توانند با اتصال به ذرات آلاینده در فیلتر گرفتار شده و از روغن جدا شوند که این خود به کاهش کارایی روغن می‌انجامد؛ بنابراین برای افزایش عمر روغن باید تا جایی که ممکن است آن را تمیز، خشک و خشک نگه داشت. برای درک تأثیر مخرب این عوامل

¹ Hydrolysis

از ذرات با همان سایز است که از صافی عبور می کنند. در توضیح می توان گفت که به عنوان مثال اگر ۱۰۰۰ ذره با اندازه ۴۰ میکرون به یک صافی وارد و ۵۰ ذره آن خارج و در واقع ۹۵۰ ذره در صافی گرفتار شود آنگاه β_{40} برای آن صافی ۲۰ و بازده صافی برای آن اندازه ۹۵٪ است [7].

در انتخاب فیلتر مناسب، علاوه بر عدد بتا، نمودارهای افت فشار بر حسب دبی روغن عبوری از صافی مورد توجه قرار می گیرد.

راندمان و نسبت بتا نشان دهنده قابلیت صافی در جداسازی ذرات آلاینده با اندازه های معین، از روغن است. بر اساس استاندارد ISO16889 عدد بتای صافی ها برای یک اندازه ذره مورد تقاضای تصفیه باید بزرگ تر از ۷۵ باشد که معادل بازده ۹۸٪ است. در کل، عملکرد مناسب صافی به آلودگی محیطی، میزان هزینه ای که می شود و میزان افت فشار مجاز در عبور از صافی وابسته بوده که در نمودار شکل ۱ به آن اشاره شده است.



شکل ۱- منحنی افت فشار-دبی برای چند صافی [3]

انتخاب مناسب یا نامناسب صافی می تواند بر عمر سایر قطعات نیز تأثیرگذار باشد. جدول ۲ تأثیر اندازه مش صافی بر میزان سایش نسبی در یک موتور را نشان می دهد. برای توضیح جدول می توان گفت که اگر میزان سایش اعضای موتور در حالتی که مش ۴۰ میکرون است یک در نظر گرفته شود برای مش ۷ میکرون، سایش تا میزان ۰/۱۴ کاهش یافته است و عمر تقریباً ۷/۱ برابر شده است.

بر عمر روغن باید به تجربه اغلب شرکت های تولیدکننده روغن هیدرولیک اشاره کرد که می گویند اگر دمای کارکرد هیدرولیک از ۶۰ به ۸۵ درجه سانتی گراد افزایش یابد عمر روغن ۸۰٪ کاهش می یابد و اگر این دما به ۱۰۰ درجه برسد عمر تا ۹۷٪ کاهش می یابد که این نشان می دهد خنک نگه داشتن روغن هیدرولیک چقدر اهمیت دارد.

۴- آلودگی و استاندارد تمیزی

راجع به آلودگی روغن، سؤال این است که مبنای پاک یا آلوده بودن روغن چیست. در این مورد باید سراغ استانداردها در این حوزه رفت. در جدول ۱ بر اساس استانداردهای مختلف، رعایت حداقل مقادیری برای سطح تمیزی روغن، بر اساس فشار کاری ارائه شده است. معادل سازی هریک از اعداد ذکر شده در جدول با مقادیر آلودگی قابل تعبیر، با مراجعه به استاندارد مربوطه قابل مشاهده و بررسی است. مثلاً سطح تمیزی کلاس ۶ در استاندارد NAS وجود حداکثر ۱۶۰۰۰ ذره ۵-۱۵ میکرون، ۲۸۵۰ ذره ۱۵-۲۵ میکرون، ۵۰۶ ذره ۲۵-۵۰، ۳۰ ذره ۵۰-۱۰۰ و ۱۶ ذره بالاتر از ۱۰۰ میکرون در ۱۰۰ میلی لیتر روغن است.

جدول ۱. سطح تمیزی پیشنهادی برای سیستم های هیدرولیک

فشار سیستم هیدرولیک	حداقل سطح تمیزی			حداقل درجه تصفیه (میکرون) ($\beta_x \geq 100$)
	ISO 4406	NAS 1638	SAE 749D	
(250-400bar)	15/12	6	3	5-10
(150-250bar)	16/13	7	4	10-12
(50-150bar)	18/15	9	6	12-15
(<50bar)	19/16	10	-	20

در این جدول از سطح تصفیه نام برده شده است. عملکرد فیلترها بر اساس بازده آنها تعریف می شود. بازده صافی ها (e) متناسب با عدد بتای آنها، با رابطه زیر قابل بیان است.

$$e = \left(1 - \frac{1}{\beta}\right) * 100 \quad (1)$$

عدد بتا نسبت تعداد ذرات وارد شده از یک سایز به تعدادی

در اینجا فقط به بحث تمیزی روغن و تأثیر آن پرداخته می‌شود و به سایر شرایط سیستم هیدرولیک پرداخته نمی‌شود. سعی می‌شود که مسیر بررسی به زبان ساده‌تر و در قالب مقادیر کمی قابل بیان باشد و تأثیر بهبود تمیزی روغن نیز در قالب عدد و به طور ترجیحی هزینه بیان شود. یعنی قرار است راهکاری ارائه شود که بتوان در کمترین زمان و با داشتن داده‌های آماری قضاوت کرد که بهبود یک سیستم هیدرولیک در یک ماشین به لحاظ افزایش سطح تمیزی روغن چقدر در کاهش هزینه نقش خواهد داشت. برای این منظور باید داده‌های زیر برای ماشین در دسترس باشد.

- سطح تمیزی روغن فعلی
 - ساعات کارکرد ماشین در روز C_1
 - تعداد روز کارکرد در ماه C_2
 - فاصله زمانی بین دو تعویض روغن (ساعت) C_3
 - میزان روغن تعویض شده در هر مرحله (بشکه) C_4
 - قیمت تمام شده روغن (هر بشکه) تا محل تعویض C_5
 - هزینه از دسترس خارج شدن ماشین به‌ازای هر توقف C_6
 - تعداد ساعات کارکرد روغن (C_7) در سطح آلودگی بالاتر از مقدار استاندارد ISO18/16/13 بین هر دو تعویض روغن
 - هزینه حدودی آسیب قطعات در اثر کارکرد روغن آلوده به‌ازای هر ساعت C_8
 - تعداد توقف ناشی از آسیب قطعات C_9
 - هزینه حدودی توقف ناشی از تعویض قطعات آسیب‌دیده C_{10}
 - سایر هزینه‌های ناشی از تعویض روغن C_{11}
 - سایر هزینه‌های ناشی از کارکرد روغن آلوده C_{12}
- بهبود سیستم قرار است با دو هدف انجام شود:
الف. پایش سیستم و ممانعت از گردش روغن آلوده بر اساس استاندارد ISO 18/16/13
- ب. تصفیه برون خط
- باید دقت شود که بحث از کارافتادن روغن در اثر تحلیل رفتن روغن پایه و افزودنی‌ها در اینجا مطرح نیست. وقتی روغن در اثر تحلیل رفتن فرمول شیمیایی نیاز به تعویض پیدا کند قاعدتاً این امر الزامی است. البته در متون تجربی بسیاری تأکید شده است که وجود آلودگی، خود موجب تحلیل رفتن روغن پایه و افزودنی‌ها نیز می‌شود [3].

جدول ۲. نمونه‌ای از نتایج تأثیر عدد بتا بر سایش و عمر قطعات [2]

Filter mesh	Normalized wear	Relative engine life
40	1	1
15	0.29	3.4
8.5	0.18	5.5
7	0.14	7.1

۵- وضعیت فعلی سیستم هیدرولیک

اکنون برای یکی از ماشین‌آلات شرکت، وضعیت سیستم هیدرولیک فعلی شناسنامه‌دار می‌شود. فاکتورهایی که با تعیین آنها، شناسنامه‌ای برای سیستم تعیین می‌شود، بر اساس بررسی نتیجه تحقیقات علمی و تجربه شرکت‌های باتجربه مرتبط با روانکاری و هیدرولیک، شامل موارد زیر است که بررسی شده و در صورت امکان عددسازی می‌شوند.

نوع ماشین، نوع آلودگی محیطی (غبار، اسید، گاز، آب)، کمینه و بیشینه نرخ جریان روغن عمل‌کننده در پیستون‌ها، ظرفیت مخزن، شکل و ابعاد مخزن، در دسترس بودن مخزن، فشار بیشینه، کمینه و بیشینه سطح مقطع پیستون‌ها، کمینه و بیشینه دمای محیط، بیشینه تغییر دمای روغن در اثر کارکرد (زمستان و تابستان)، تعداد صافی، محل صافی، جنس صافی، نرخ بتا و اندازه مش و بازده صافی، نوع روغن مورد استفاده، میزان مصرف در ماه، دوره‌های تعویض روغن، دوره‌های تعویض صافی، میزان روغن در هر تعویض، تعداد سیل‌ها در مسیر کاری، حدود میزان نشتی، محل بیشترین نشتی، نوع و تعداد پمپ، اندازه ذرات خارجی در آنالیز روغن، جنس ذرات آلوده موجود در روغن، نمودار افت فشار - دبی صافی، حدود نشتی از محیط بیرون به روغن، میزان فرسایش سایشی قطعات در تماس با روغن.

بازطراحی سیستم‌های هیدرولیک کار ساده‌ای نیست و پارامترهای آن به عوامل متعددی وابسته هستند. مهم‌ترین فاکتور، تأمین نیروی مورد نیاز جک است. این فاکتور وابسته به فشار روغنی است که به جک می‌رسد. فشار روغن در پمپ تولید می‌شود و در مسیر، بخشی از این فشار افت می‌کند. افت فشار همراه با افزایش دمای روغن نیز هست و این موجب افت لزجت می‌شود. در شرایط ایده‌آل، نمودارهایی از سوی شرکت‌های سازنده سیستم‌های هیدرولیک ارائه می‌شود که این افت فشارها را می‌دهد.

جدول ۴. خلاصه محاسبات هزینه توقف و سرویس

دامپ تراک ۱۰۰ تن

۲۴	ساعات کارکرد دامپ تراک در روز
۲۶	تعداد روز کارکرد در ماه
۲۴*۲۶*۱۲	ساعات کارکرد در سال
۴۲ متر مکعب	حجم بادی
۲/۵ تن بر متر مکعب	چگالی خاک
۳۰ هزار تومان	دریافتی شرکت به ازای هر تن بارگیری
تقریباً ۲ بار در هر ساعت	میانگین تعداد بار
۴/۵ میلیون تومان	هزینه توقف دامپ تراک در ساعت
۲۰ دقیقه	مدت زمان توقف برای سرویس روزانه
مدت زمان توقف برای تعویض روغن هیدرولیک ۱ ساعت	
بازه زمانی تعویض صافی ۱۰۰۰ ساعت	
بازه زمانی تعویض روغن ۲۰۰۰ ساعت	
۸ بار	تعداد تعویض صافی هیدرولیک در سال
۴ بار	تعداد تعویض روغن هیدرولیک در سال
۴۰۰ لیتر معادل حدود ۲ بشکه	میزان روغن در هر تعویض
۲۱ میلیون تومان	هزینه روغن در هر تعویض

ساعات کارکرد (H) ماشین در سال با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$H = 12C_1C_2 \quad (2)$$

و تعداد تعویض روغن در سال (N):

$$N = \frac{H}{C_3} \quad (3)$$

هزینه های مربوط به تعویض روغن (C_e) با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C_e = N(C_4C_5 + C_6) \quad (4)$$

و هزینه های مربوط به کارکرد روغن آلوده با رابطه زیر محاسبه می شود (C_c):

$$C_c = NC_7C_8 + C_9C_{10} \quad (5)$$

با پایش یک دوره مشخص ماشین می توان به ارقام نزدیک به واقعیت از میانگین ضرایب C_i رسید. وقتی این هزینه های مربوط به سیستم هیدرولیک پایش شود، ارزش ریالی به کارگیری راهکارهای بهبود سیستم بیشتر آشکار می شود. جهت برآورد هزینه تعویض روغن، داده های جدول ۳ و ۴ مورد استفاده قرار می گیرد:

جدول ۳. خلاصه محاسبات هزینه توقف شاول R9350

۲۴	ساعات کارکرد شاول در روز
۲۶	تعداد روز کارکرد در ماه
۲۴*۲۶*۱۲	ساعات کارکرد در سال
۲ دقیقه	مدت زمان پر و خالی شدن باکت
۳۰ بار	تعداد پر و خالی شدن باکت در ساعت
۱۸ متر مکعب	حجم باکت
۲/۵ تن بر متر مکعب	چگالی خاک
۲.۵*۱۸*۳۰	تناژ بارگیری در ساعت
۳۰ هزار تومان	دریافتی شرکت به ازای هر تن بارگیری
۸-۱۰ دستگاه	میانگین تعداد دستگاه های بارگیری
تقریباً ۲۲ بار در هر ساعت	میانگین تعداد بار هر دامپ تراک در ساعت
۱۳/۵ میلیون تومان	هزینه توقف شاول در ساعت
۱ ساعت	مدت زمان توقف برای سرویس روزانه
۳ ساعت	مدت زمان توقف برای تعویض روغن هیدرولیک
۴۰ میلیون تومان	هزینه توقف
بازه زمانی تعویض صافی ۱۰۰۰ ساعت	
بازه زمانی تعویض روغن ۲۰۰۰ ساعت	
۸ بار	تعداد تعویض صافی هیدرولیک در سال
۴ بار	تعداد تعویض روغن هیدرولیک در سال
۲۵۰۰ لیتر معادل حدود ۱۲ بشکه	میزان روغن در هر تعویض
۱۲۵ میلیون تومان	هزینه روغن در هر تعویض

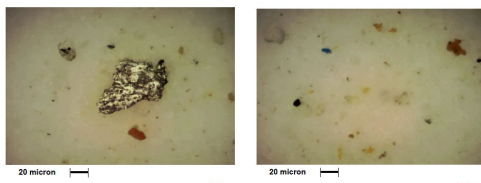
اهمیت سطح تمیزی روغن این گونه آشکارتر می شود که به عنوان مثال برای روغنی با سطح تمیزی *ISO19/17/14* در طول یک سال حدود ۷۰۰ کیلوگرم ذرات جامد در سیستم گردش می کند. عبور این حجم از ذرات با اندازه ها و ویژگی های متفاوت می تواند آسیب های بیشماری ایجاد کند. اما چه سطحی از تمیزی برای روغن هیدرولیک یک سیستم مناسب است؟ پاسخ به این سؤال وابسته به حساسیت و قیمت تجهیزات سیستم، میزان فشار روغن و تصمیم تجربی است اما *ISO 18/16/13* در این خصوص توصیه شده است. دستگاه هایی وجود دارد که این سطح تمیزی را بصورت آنلاین اندازه گرفته و در صورت انحراف از آن هشدار می دهند.

۶- آنالیز روغن

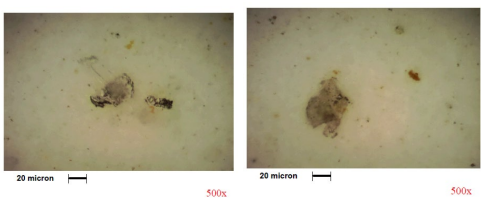
در اینجا نتایج آنالیز روغن که در یک دوره مشخص برای روغن هیدرولیک تراک انجام شده است ارائه می گردد. این نمونه ها از مخزن روغن برداشت شده اند. ساعات کارکرد برای همه روغن ها تقریباً ۱۵۰ ساعت بوده است. در شکل ۲ نمودار تعداد بر اساس نوع ذرات، در شکل ۳ تعداد ذرات بر اساس اندازه، در شکل ۴ کد تمیزی متناظر با روغن آنالیز

میکرون به گونه‌ای است که در استاندارد NAS در کلاس ۱۲ جای می‌گیرد. کلاس ۱۲ معادل با حدود یک میلیون ذره در ۱۰۰ میلی‌لیتر روغن است و ذرات ۱۵-۲۵ در کلاس ۹ که معادل با ۱۲۸۰۰۰ ذره از این نوع است. سایر اندازه‌ها و کلاس آنها در نمودار نشان داده شده است.

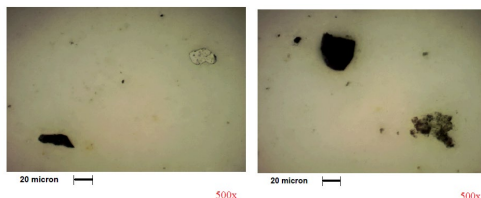
همچنین در شکل ۵ ذرات موجود در دو نمونه از روغن هیدرولیک با کد آلودگی الف. 21/18/16 -ب. 20/17/15 در استاندارد ISO4406 توسط آزمایشگاه مرجع تحت پایش قرار گرفته و نوع و اندازه ذرات مشخص شده است. عدد اول از سمت چپ شاخص تعداد ذرات زیر ۴ میکرون، عدد دوم ذرات ۴ تا ۶ میکرون و عدد سوم شاخص تعداد ذرات بین ۶ تا ۱۴ میکرون است. به عنوان مثال، در کد 18/16/14 عدد ۱۸ به معنای تعداد ۱۳۰۰ تا ۲۵۰۰ ذره کوچکتر از ۴ میکرون، ۱۶ به معنای تعداد ۳۲۰ تا ۶۴۰ ذره کوچکتر از ۶ میکرون و ۱۴ به معنای تعداد ۸۰ تا ۱۶۰ ذره کوچکتر از ۱۴ میکرون در در ۱۰۰ میلی لیتر روغن است.



الف



ب



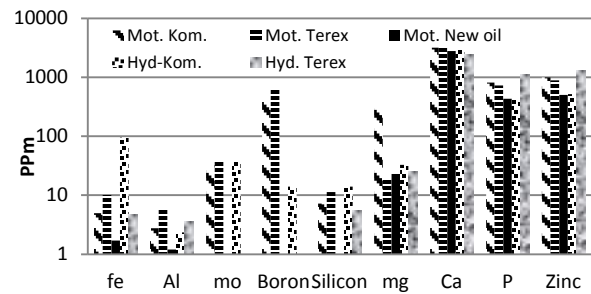
ج

شکل ۵- ذرات موجود در دو نمونه از روغن هیدرولیک با کد

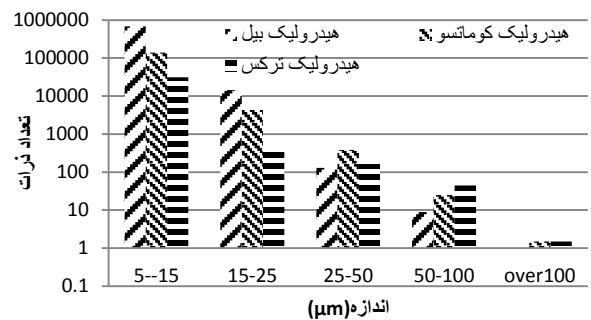
آلودگی (الف، 21/18/16 -ب، 20/17/15 -ج.

در استاندارد ISO4406 (18/16/14)

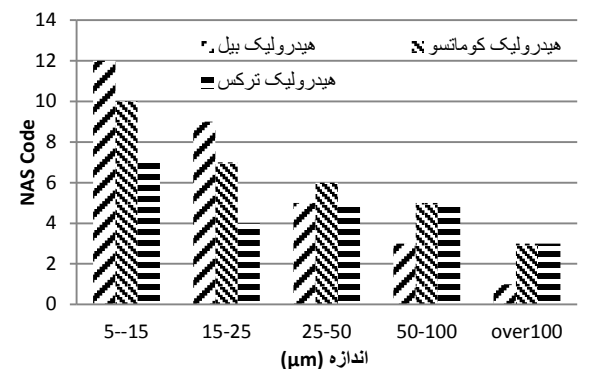
شده و در شکل ۵ تصاویری از ذرات موجود در روغن آنالیز شده و ذرات موجود در نمونه نشان داده شده است. Mot به معنای روغن موتور و Hyd به معنای روغن هیدرولیک و Kom به معنای کوماتسو است.



شکل ۲- تعداد ذرات عناصر موجود در روغن گرفته شده از ماشین‌آلات شرکت آرمان گهر



شکل ۳- تعداد ذرات در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه از سه ماشین شرکت آرمان گهر بر اساس آنالیز روغن



شکل ۴- کد NAS1638 برای کلاس اندازه های مختلف نمونه روغن های ماشین‌آلات مختلف

منظور از کد تمیزی که در شکل ۴ آورده شده است این است که برای مثلاً روغن هیدرولیک بیل، تعداد ذرات ۵-۱۵

۷- ضرورت تصفیه برون خط

نگهداری صحیح از روانکارها یک ضرورت است. چرا که بیش از ۸۰ درصد هزینه های مربوط به تعمیرات و نگهداری ماشین آلات مرتبط با آلودگی موجود در سیالات و روغن های درون سیستم می باشد [3]. عامل اصلی سایش در تجهیزات مهم از جمله سیستم های هیدرولیک، ذرات خارجی معلق در روغن (گرد و غبار، آب و...) هستند، که صافی های معمولی قادر به جذب بعضی از این آلودگی ها نمی باشند. ذرات جامد معلق در روغن در برخورد با سطوح فلزی باعث آسیب رساندن به آن ها و تولید ذرات معلق بیشتر می شود. همچنین وجود ذرات در قسمتهایی از سیستم هیدرولیک مثل شیرهای کنترل و پمپ های پیستونی که دارای تلورانس و لقی بسیار کم می باشند باعث ایجاد سایش و تولید ذرات جدید در سیستم و فرسایش سریع آنها می شود [4].

تصفیه برون خط به این معنا است که روغنی که به مخزن رسیده، جدای از تصفیه داخلی سیستم، به یک صافی بیرونی نیز پمپ شده و از آن عبور داده شود. در واقع، روغن یک مرحله فیلتر می شود بدون اینکه باعث افت فشار خط اصلی شود. سیستم تصفیه برون خط برای همه مجموعه های روانکاری توصیه نمی شود و برای درک ضرورت آن برای یک سیستم باید مزایای آن به درستی شناخته شده و برای سیستم مورد نظر بررسی گردد.

مزایای این سیستم شامل موارد زیر است:

- افزایش سطح تمیزی روغن
- امکان بازرسی روغن به علت در دسترس بودن صافی
- امکان تعبیه صافی برون خط قابل حمل^۱ یا دائم
- امکان در مدار قرار گرفتن صافی در زمان نیاز و نه استفاده پیوسته که منجر به افت فشار دائمی می شود.

۷-۱- پارامترهای انتخاب سیستم تصفیه برون خط

پارامترهای مورد نظر در انتخاب سیستم تصفیه برون خط

شامل موارد زیر است:

- دبی تصفیه
- فشار پمپ
- توان مصرفی
- حداقل فشار سمت مکش
- محدوده دما
- نوع آب بند
- سطح حفاظت (IP class)
- طول شیلنگ ها
- وزن مجموعه

نرخ تصفیه معمول تصفیه برون خط تا حدود ۱۰۰ لیتر بر ثانیه و فشار پمپ تا ۱۰ بار است. جرم این سیستم ها بین ۲۰ تا ۱۶۰ کیلوگرم در بازار موجود است.

۷-۲- طراحی تصفیه برون خط برای تراک

اکنون باید مشخص کرد که بر چه مبنایی از میان سیستم های تصفیه برون خط باید سیستم مناسب انتخاب گردد. اول باید مشخص شود که چه حجم روغن در گردش در سیستم هیدرولیک برقرار است و روغن رسیده به مخزن تقریباً چه مدت بعد، از مخزن خارج می شود و چقدر فرصت تصفیه برای آن وجود دارد.

طراحی مسیرهای ورود و خروج روغن به و از مخزن به گونه ای است که اولاً روغن حداکثر ماند را در مخزن داشته باشد تا ته نشینی ذرات آلوده و خنک کاری روغن در حداکثر ممکن انجام شود ثانیاً بخشی از روغن در مخزن برای مدت طولانی نماند و همه روغن به شکل یکنواخت در گردش باشد.

سیستم هیدرولیک تراک، طبق جدول ۵، سه مصرف کننده در گردش دارد:

جدول ۵- مصرف کننده های هیدرولیک در تراک

مصرف کننده	دبی خط (L/min)	فشار خط (بار)
بالابر	۴۹۸	۱۹۰
فرمان	۱۸۰	۹۰
ترمز	۱۳۰	۶۰

¹ Portable

بر اساس این داده‌های فرضی، میزان تقریبی گردش روغن در هر ساعت برابر است با:

$$Q = 498N_1t_1 + 180N_2t_2 + 130N_3t_3 = 1282 \text{ l/h} \quad (۶)$$

این مقدار گردش روغن معادل با حدود ۳۰ لیتر بر دقیقه گردش روغن می‌باشد. بنابراین سیستم تصفیه برون خط با نرخ گردش بیش از ۳۰ لیتر بر دقیقه می‌تواند حدود ۵۰۰ لیتر روغن در گردش کل سیستم را در مدت زمان حدود ۱۷ دقیقه از صافی بیرونی عبور داده و اطمینان حاصل شود که تقریباً کل روغن در هر ساعت از صافی بیرونی عبور داده شده و بخشی از آلودگی آن حذف گردد. سایر پارامترهای انتخابی تصفیه برون خط وابسته به پارامترهای دیگری است. بسته به اینکه چه اندازه ذراتی و با چه بازدهی قرار است صافی شوند، مش و عدد بتا و تعداد صافی مورد تقاضا مشخص می‌شود. این پارامترها مشخص کننده میزان افت فشار در سیستم تصفیه بیرونی هنگام عبور روغن از صافی هستند که مشخص کننده فشار خط سیستم برون خط است. بعد از تعیین فشار خط، میزان برق مصرفی، وزن سیستم و حجم آن تعیین می‌شود.

نتیجه‌گیری

بررسی تعداد ماشین‌آلات فعال در شرکت آرمان گهر و میزان روغن مصرفی آنها، از خانواده روغن موتور و هیدرولیک و قیمت و محدودیت‌های تأمین و سختی‌ها و هزینه‌های توقف و تعویض روغن نشان داد که مطالعه جامعی در حوزه سیستم‌های مربوط به روانکاری و هیدرولیک می‌تواند صرفه اقتصادی بالایی در این شرکت داشته باشد. با مراجعه به وبسایت‌های مربوط به تولیدکنندگان روغن و تأمین‌کنندگان تجهیزات هیدرولیک و روانکاری، مشخص شد به‌روزرسانی‌های فعالی در این زمینه در جریان است. صافی‌های سیستم باید به لحاظ جنس صافی و عدد بتا مورد ارزیابی قرار گیرد و در خرید آنها دقت شود. تعریف سطح تمیزی مشخصی برای روغن ماشین‌آلات شرکت نیاز است. پیشنهاد شرکت‌های باتجربه در حوزه روانکاری، سطح 18/16/13 را بر اساس استاندارد ISO4406 پیشنهاد می‌کند. مطالعه آماری سیستم هیدرولیک برای طراحی سیستم تصفیه برون خط انجام شد. در انتخاب سیستم برون خط سه

ظرفیت مخزن هیدرولیک بر اساس داده‌های جدول ۵، ۳۹۵ لیتر و ظرفیت سیستم هیدرولیک ۵۰۰ لیتر است. لازم به توضیح است که سیستم هیدرولیک و مخزن همواره پر از روغن هستند و فقط جایگزین می‌شوند. برای طراحی تصفیه برون خط باید ابتدا مشخص شود که تصفیه پیوسته فعال باشد یا اینکه بصورت مقطعی فعال و غیر فعال شود. برای سیستم موردنظر، بیشترین مصرف هیدرولیک مربوط به بالابر است و فرمان و ترمز مصرف کمتری دارند. باید مشخص گردد که روغن موجود در مخزن چه مدت زمان در حال کارکرد است و چه مدت در مخزن استراحت می‌کند. برای تعیین این مقادیر، داده‌هایی از نوع جدول ۶ موردنیاز است.

جدول ۶- داده‌های زمانی گردش هیدرولیک در سیستم

مصرف کننده	میزان گردش روغن در هر دقیقه (لیتر بر دقیقه)	مدت زمان عملکرد (دقیقه)	میزان گردش روغن در عملکرد	تعداد دفعات عملکرد در ساعت	میزان تقریبی گردش روغن (لیتر بر ساعت)
بالابر	۴۹۸	t1	498t1	N1	498N ₁ t ₁
فرمان	۱۸۰	t2	180t2	N2	180N ₂ t ₂
ترمز	۱۳۰	t3	130t3	N3	130N ₃ t ₃

برای تصمیمات بعدی باید مقادیر t_i و N_i معلوم باشند. شاید بتوان در عمل برای مقدار t_1 و N_1 که مربوط به تخلیه بار از تراک است اعداد میانگین نزدیک به واقعیتی در نظر گرفت اما مقادیر t_2, t_3, N_2, N_3 از زمانبندی خاصی تبعیت نمی‌کند. ترمزگیری و فرمان به طور مکرر و نامنظم برای ماشین رخ می‌دهد. اما برای ادامه دادن مسیر انتخاب، ناگزیر باید مقادیری برای آنها فرض کرد. مقادیر جدول ۷ برای این پارامترها در اینجا در نظر گرفته می‌شود:

جدول ۷- مقادیر تقریبی پارامترهای زمانبندی و تعداد

عملکرد سیستم هیدرولیک

t1	t2	t3	N1	N2	N3
2 min	10 sec.	5 sec.	0.5	20	20
	0.16 min	0.08 min			

[6] Jensen, C. C., "Clean Oil Guide, The Importance of Oil Maintenance" Tryk Team. Svendborg, Denmark. 2016.

[7] Felix, N. g., Harding, J. A., and Glass, J., "Improving Hydraulic Excavator Performance Through in Line Hydraulic Oil Contamination Monitoring" Mech. Sys. and Sig. Pr. Vol. 15, No. 83, PP 176-193, 2017.

[8]. A., Dashti, M., Nekoei, and M., Sefid, "Investigation of the Performance Characteristics of Journal Bearings by Using of Micropolar Lubricant", Fl. Mech. And Airodyn. J., Vol. 1, No. 2, PP. 1-12, 2012. (In Persian)

فاکتور مهم شامل تعداد صافی مورد نیاز، جنس و مش مورد نیاز و دبی روغن بر اساس کارکرد ماشین تعیین شد. روشی مبتنی بر آمار و محاسبات مصرف روغن و زمان گردش روغن و مدت زمان ماند روغن در مخزن برای طراحی تصفیه برون خط ارائه و بر اساس آن برای سیستم هیدرولیک تراک، دبی لازم سیستم تصفیه برون خط محاسبه شد.

فهرست منابع

[1] Bartels, T, Bock, W, Braun, J, Busch, C, Buss, W, Dresel, W, Freiler, C, Harperscheid, M, Heckler, R.P., Hörner, D, Kubicki, F., "Lubricants and Lubrication", Wiley, 2003.

[2] Robert, Scott, "Stationary Natural Gas Engine Lubrication", Machinery Lubrication Magazine, September 2004.

[3] Zhou, X, Yang, Z, Tian, H, Chen, C, Wang, L, Zhu, Y, and Liu, J., "Reliability Optimization Design of Hydraulic System Considering Oil Contamination" J. Mech. Sc. and Tech. Vol. 34, No. 12, PP 5041-5051, 2020.

[4] National Tribology Service(NASOil Analysis & Lubrication LearningCenter- Hydraulic Oil Filtration System-Filtroil PracticalWays To Control Hydraulic System Contamination- Lube-Tech Magazine- 1965.

[5] Gorle, J.M., Heiskanen, V. M., Nissi, S., and Majas, M., "Effect of Temperature, Flow Rate and Contamination on Hydraulic Filtration" MM Sc. J., Vol. Oct. 2018, PP. 2490-2493,