علمی – تخصصی

آنالیز روغن و داده‌های مصرف جهت بررسی لزوم پیاده‌سازی تصفیه برون‌خط هیدرولیک دامپ‌تراک

مهدی آخوندی زاده [۱] امین صادقی [۲]

دانشگاه صنعتی سیرجان دانشگاه صنعتی سیرجان

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

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

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 زودهنگام روغن و آلودگی محیط‌زیست 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 برون‌خط روی آن بررسی گردد. برای این کار، نتایج آنالیز روغن ماشین‌آلات موردنظر 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 توجیه نیاز به تصفیه مناسب، طراحی مجموعه تصفیه برون‌خط 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 برون‌خط.

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

M.Akhondizadeh **A.Sadeghi**

Sirjan University of Technology Sirjan University of Technology

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

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

[۱] استادیار (نویسنده پاسخگو) m.akhondizadeh@sirjantech.ac.ir

[۲] کارشناس ارشد مهندسی مکانیک amin.as9079@gmail.com

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

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 ازنقطه‌نظر 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 مورداستفاده در ماشین‌آلات، ساعات کارکرد روغن و بازه-های 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 مانیتورکردن پیوسته روغن هیدرولیک ماشین-آلات، 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 باتکیه‌بر 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 برون‌خط ارائه گردد.

۲- دلایل آلودگی روغن

روغن هیدرولیک پایه معدنی، ترکیبات کربن هستند و هرگونه عناصر و ذراتی غیر از آن آلودگی به‌حساب 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، مسدودکردن راه ورود آلودگی به آن و سپس فیلترکردن 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[1]) 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، خنک و خشک نگه داشت. برای درک تأثیر مخرب این عوامل

[1] Hydrolysis

بر عمر روغن باید به تجربه اغلب شرکت‌های تولیدکننده روغن هیدرولیک اشاره کرد که می‌گویند اگر دمای کارکرد هیدرولیک از ۶۰ به ۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد عمر روغن ۸۰٪ کاهش می‌یابد و اگر این دما به ۱۰۰ درجه برسد عمر تا ۹۷٪ کاهش می‌یابد که این نشان می‌دهد خنک نگه‌داشتن 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. معادل‌سازی هریک از اعداد ذکر شده در جدول با مقادیر آلودگی قابل‌تعبیر، با مراجعه به استاندارد مربوطه قابل‌مشاهده 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 میلی‌لیتر روغن است.

جدول ۱. سطح تمیزی پیشنهادی برای سیستم‌های هیدرولیک

فشار سیستم هیدرولیک	حداقل سطح تمیزی			حداقل درجه تصفیه (میکرون) ($\beta x >= 100$)
	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 نام‌برده‌شده است. عملکرد فیلترها بر اساس بازده آنها تعریف می‌شود. بازده صافی‌ها (e) متناسب با عدد بتای آنها، با رابطه زیر قابل‌بیان است.

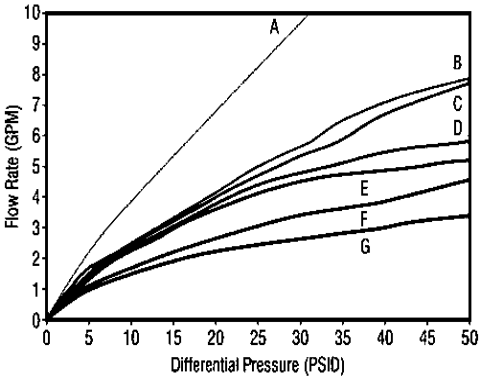
$$e = \left(1 - \frac{1}{\beta}\right) * 100 \qquad (۱)$$

عدد بتا نسبت تعداد ذرات وارد شده از یک سایز به تعدادی از ذرات با همان سایز است که از صافی عبور می‌کنند. در توضیح می‌توان گفت که به‌عنوان‌مثال اگر ۱۰۰۰ ذره با اندازه ۴۰ میکرون به یک صافی وارد و ۵۰ ذره آن خارج و درواقع 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 برحسب دبی روغن عبوری از صافی موردتوجه قرار می‌گیرد.

راندمان و نسبت بتا نشان‌دهنده قابلیت صافی در جداسازی ذرات آلاینده با اندازه‌های معین، از روغن است.

بر اساس استاندارد ISO16889 عدد بتای صافی‌ها برای یک اندازه ذره مورد تقاضای تصفیه باید بزرگ‌تر از ۷۵ باشد که معادل بازده ۹۸/۷٪ است. در کل، عملکرد مناسب صافی به آلودگی محیطی، میزان هزینه‌ای که می‌شود 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 می‌تواند بر عمر سایر قطعات نیز تأثیرگذار باشد. جدول **۲** تأثیر اندازه مش صافی بر میزان سایش نسبی در یک موتور را نشان می‌دهد. 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.

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

Filter mesh	Normalized	Relative

	wear	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، دردسترس‌بودن 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 مورداستفاده، 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 موردنیاز 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.

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 کمّی قابل‌بیان 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 خارج‌شدن 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 برون‌خط

باید دقت شود که بحث ازکارافتادن روغن در اثر تحلیل‌رفتن روغن‌پایه و افزودنی‌ها در اینجا مطرح نیست. وقتی روغن در اثر تحلیل‌رفتن 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 تحلیل‌رفتن روغن‌پایه و افزودنی‌ها نیز می‌شود [3].

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

$$H = 12C_1C_2 \qquad (۲)$$

و تعداد تعویض روغن در سال (N):

$$N = \frac{H}{C_3} \quad (۳)$$

هزینه‌های مربوط به تعویض روغن (C_e) با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_e = N(C_4C_5 + C_6) \quad (۴)$$

و هزینه‌های مربوط به کارکرد روغن آلوده با رابطه زیر محاسبه می‌شود (C_c):

$$C_c = NC_7C_8 + C_9C_{10} \quad (۵)$$

با پایش یک دوره مشخص ماشین می‌توان به ارقام نزدیک به واقعیت از میانگین ضرایب C_i رسید. وقتی این هزینه‌های مربوط به سیستم هیدرولیک پایش شود، ارزش ریالی به‌کارگیری راهکارهای بهبود سیستم بیشتر آشکار می‌شود. جهت برآورد هزینه تعویض روغن، داده‌های جدول **۳** و **۴** مورداستفاده قرار می‌گیرد:

جدول ۳. خلاصه محاسبات هزینه توقف شاول R9350

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

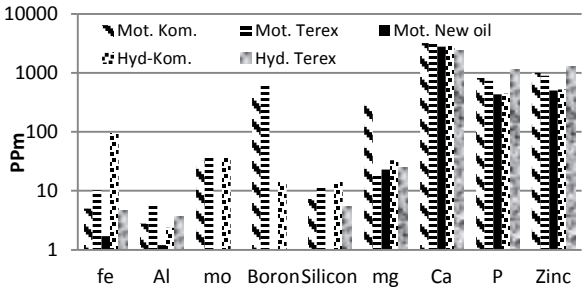
جدول ۴. خلاصه محاسبات هزینه توقف و سرویس دامپ‌تراک ۱۰۰ تن

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

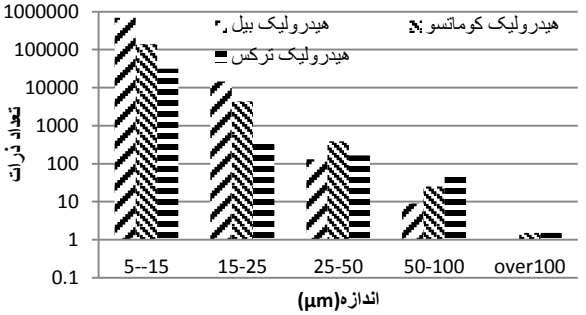
اهمیت سطح تمیزی روغن این‌گونه آشکارتر می‌شود که به‌عنوان‌مثال برای روغنی با سطح تمیزی ***ISO19/17/14*** در طول یک سال حدود ۷۰۰ کیلوگرم ذرات جامد در سیستم گردش می‌کند. عبور این حجم از ذرات با اندازه‌ها و ویژگی‌های متفاوت می‌تواند آسیب‌های بیشماری ایجاد کند. اما چه سطحی از تمیزی برای روغن هیدرولیک یک سیستم 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. دستگاه‌هایی وجود دارد که این سطح تمیزی را بصورت آنلاین اندازه گرفته و در صورت انحراف از آن هشدار می‌دهند.

۶- آنالیز روغن

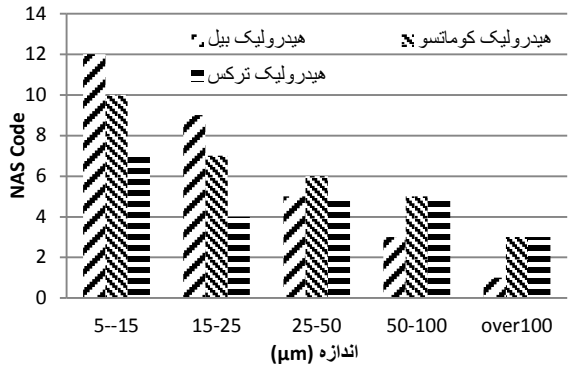
در اینجا نتایج آنالیز روغن که در یک دوره مشخص برای روغن هیدرولیک تراک انجام شده است ارائه می‌گردد. این نمونه‌ها از مخزن روغن برداشت شده‌اند. ساعات کارکرد برای همه روغن‌ها تقریباً ۱۵۰ ساعت بوده است. در شکل **۲** نمودار تعداد بر اساس نوع ذرات، در شکل **۳** تعداد ذرات بر اساس اندازه، در شکل **۴** کد تمیزی متناظر با روغن آنالیز شده و در شکل **۵** تصاویری از ذرات موجود در روغن آنالیز شده و ذرات موجود در نمونه نشان‌داده‌شده است. ***Mot*** به معنای روغن‌موتور 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

میکرون به‌گونه‌ای 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 نشان‌داده‌شده است.

همچنین در شکل **۵** ذرات موجود در دو نمونه از روغن هیدرولیک با کد آلودگی الف. 21/18/16 -ب. 20/17/15 -ج. 18/16/14 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. به‌عنوان‌مثال، 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.

شکل ۵- ذرات موجود در دو نمونه از روغن هیدرولیک با کد آلودگی (الف، 21/18/16 -ب، 20/17/15 -ج. 18/16/14) در استاندارد ISO4406

۷- ضرورت تصفیه برون‌خط

نگهداری صحیح از روانکارها یک ضرورت است. چرا که بیش از ۸۰ درصد هزینه‌های مربوط به تعمیرات و نگهداری ماشین‌آلات مرتبط با آلودگی موجود در سیالات و روغن‌های درون سیستم می‌باشد [3]. عامل اصلی سایش در تجهیزات

مهم از جمله سیستم‌های هیدرولیک، ذرات خارجی معلق در روغن (گرد و غبار، آب و...) هستند، که صافی‌های معمولی قادر به جذب بعضی از این آلودگی‌ها نمی‌باشند. ذرات جامد معلق در روغن در برخورد با سطوح فلزی باعث آسیب رساندن به آن‌ها و تولید ذرات معلق بیشتر می‌شود. همچنین وجود ذرات در قسمتهایی از سیستم هیدرولیک مثل شیرهای کنترل و پمپ‌های پیستونی که دارای تلورانس و لقی بسیار کم می‌باشند باعث ایجاد سایش و تولید ذرات جدید در سیستم و فرسایش سریع آنها می‌شود [4].

تصفیه برون‌خط 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 می‌شود بدون اینکه باعث افت فشار خط اصلی شود. سیستم تصفیه برون‌خط برای همه مجموعه‌های روانکاری توصیه نمی‌شود و برای درک ضرورت آن برای یک سیستم باید مزایای آن به‌درستی شناخته شده و برای سیستم موردنظر بررسی گردد.

مزایای این سیستم شامل موارد زیر است:

- افزایش سطح تمیزی روغن
- امکان بازرسی روغن به علت دردسترس‌بودن صافی
- امکان تعبیه صافی برون‌خط قابل‌حمل[1] یا دائم
- امکان در مدار قرارگرفتن صافی در زمان نیاز و نه استفاده پیوسته که منجر به افت فشار دائمی می‌شود.

۷-۱- پارامترهای انتخاب سیستم تصفیه برون‌خط

پارامترهای موردنظر در انتخاب سیستم تصفیه برون‌خط شامل موارد زیر است:

- دبی تصفیه
- فشار پمپ
- توان مصرفی
- حداقل فشار سمت مکش
- محدوده دما
- نوع آب‌بند
- سطح حفاظت (IP class)
- طول شیلنگ‌ها
- وزن مجموعه

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

۷-۲-طراحی تصفیه برون‌خط برای تراک

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

طراحی مسیرهای ورود و خروج روغن به و از مخزن به‌گونه‌ای است که اولاً روغن حداکثر ماند را در مخزن داشته باشد تا ته‌نشینی ذرات آلوده و خنک‌کاری 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 مصرف‌کننده در گردش دارد:

جدول ۵- مصرف‌کننده های هیدرولیک در تراک

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

[1] Portable

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 می شوند. برای طراحی تصفیه برون‌خط 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 مدت‌زمان درحال کارکرد است و چه مدت در مخزن استراحت می کند. برای تعیین این مقادیر، داده هایی از نوع جدول **۶** موردنیاز است.

جدول ۶- داده‌های زمانی گردش هیدرولیک در سیستم

مصرف‌کننده	میزان گردش روغن در هر دقیقه (لیتر بر دقیقه)	مدت‌زمان عملکرد (دقیقه)	میزان گردش روغن در هر عملکرد	تعداد دفعات عملکرد در ساعت	میزان تقریبی گردش روغن (لیتر بر ساعت)
بالابر	۴۹۸	t1	498t1	N1	$498N_1t_1$
فرمان	۱۸۰	t2	180t2	N2	$180N_2t_2$
ترمز	۱۳۰	t3	130t3	N3	$130N_3t_3$

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 نمی کند. 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. 0.16 min	5 sec. 0.08 min	0.5	20	20

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

$$Q = 498N_1t_1 + 180N_2t_2 + 130N_3t_3 = 1282\ l/h \qquad (۶)$$

این مقدار گردش روغن معادل با حدود ۳۰ لیتر بر دقیقه گردش روغن می‌باشد. بنابراین سیستم تصفیه برون‌خط با نرخ گردش بیش از ۳۰ لیتر بر دقیقه می‌تواند حدود ۵۰۰ لیتر روغن در گردش کل سیستم را در مدت‌زمان 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 برون‌خط وابسته به پارامترهای دیگری است. بسته به اینکه چه اندازه ذراتی و با چه بازده‌ای قرار است صافی شوند، مش و عدد بتا و تعداد صافی مورد تقاضا مشخص می‌شود. این پارمترها مشخص کننده میزان افت فشار در سیستم تصفیه بیرونی هنگام عبور روغن از صافی هستند که مشخص کننده فشار خط سیستم برون‌خط 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 روغن‌موتور 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. صافی-های 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 می-کند. مطالعه آماری سیستم هیدرولیک برای طراحی سیستم تصفیه برون‌خط انجام شد. در انتخاب سیستم برون‌خط سه

فاکتور مهم شامل تعداد صافی موردنیاز، جنس و مش موردنیاز و دبی روغن بر اساس کارکرد ماشین تعیین شد. روشی مبتنی بر آمار و محاسبات مصرف روغن و زمان گردش روغن و مدت‌زمان ماند روغن در مخزن برای طراحی تصفیه برون‌خط ارائه و بر اساس آن برای سیستم هیدرولیک تراک، دبی لازم سیستم تصفیه برون‌خط 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,

[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)