

نقش نانو روانکارها در افزایش راندمان و کاهش هزینه های نت موتور

رضانعلی طاهری

معاونت آباد و پشتیبانی نیروی دریایی سپاه

R.A.Taheri@gmail.com

چکیده:

روانکاری را می توان به کلیه عملیاتی اطلاق نمود که اثرات اصطکاک و ساییدگی را تقلیل می دهد. روان کننده به ماده ای اطلاق می شود که با قرار گرفتن مابین دو سطح در تماس باعث پایین آمدن نیروی مقاومت در برابر حرکت یا نیروی اصطکاک مابین آنها و نتیجتاً کاهش نیروی لازم برای شروع و ادامه حرکت نسبی سطوح می گردد. انجام روانکاری با استفاده از روانکارهای پیشرفته، موجب صرفه جویی های قابل توجهی در انرژی مصرفی برای تولید برق، سوخت مصرفی در صنایع، سوخت مصرفی وسایل نقلیه، هزینه روان کننده مصرفی و هزینه نگهداری و تعمیرات ماشین آلات خواهد شد. از این میان افزودنی های تولید شده بر پایه نانوتکنولوژی از جمله نانو ذرات، عملکرد بسیار قابل قبولی در این زمینه داشته اند.

واژه های کلیدی: روانکار- نانوتکنولوژی - نانوذرات - نگهداری و تعمیرات

۱- مقدمه:

روانکاری یا "Tribology" به عنوان علم تسهیل کننده حرکت نسبی سطوح در تماس با یکدیگر، تعریف شده است. در هر کجا که سطوح هم جوار و در تماس با یکدیگر، دارای حرکتی نسبی هستند، روانکاری نقش مهمی در انجام حرکت به نحو صحیح، مداوم و اقتصادی ایفا می کند. عدم روانکاری صحیح ماشین آلات علاوه بر آنکه باعث کاهش راندمان مکانیکی و پایین آمدن بازده زمانی ماشین می شود، منتج به فرسایش بیش از حد، فرسودگی و از کار افتادگی زودرس نیز می گردد. هر زمان که سطوح اجسام در جوار و در تماس با یکدیگر حرکت نسبی داشته باشند، دو پدیده اصطکاک و ساییدگی هر دو وجود خواهد داشت. اصطکاک عبارت از نیروی مقاومت در برابر حرکت نسبی و گذر سطوح در تماس نسبت به یکدیگر و ساییدگی عمل تخریب و گسستگی ذرات ماده است که در نتیجه تماس سطوح در حرکت نسبی و به لحاظ اثر نیروی اصطکاک پدید می آید. به غیر از موارد بخصوصی که وجود اصطکاک برای وقوع حرکت و یا ایجاد سکون در حرکت مورد نیاز و مطلوب است، در اکثر موارد و بخصوص در اغلب مکانیزمهای متحرک در ماشین آلات که برای تحمل بار و انتقال نیرو و حرکت طراحی شده اند، دو پدیده اصطکاک و ساییدگی پدیده های نامطلوبی به حساب می آیند. اصطکاک باعث تضييع انرژی مکانیکی و تبدیل آن به

حرارت ناخواسته و ساییدگی باعث از دست رفتن هم شکلی و تجانس قطعات با یکدیگر و نهایتاً تقلیل عمر مفید مکانیزم و ماشین می‌گردد. [۳]

۲- تاریخچه روانکاری:

دانش عملی روانکاری از نوع روانکاری حدی (Boundary Lubrication) و روانکاری با لایه نازک از زمانهای دیرینه به وسیله بشر شناسایی و بکار برده شده است. در حقیقت، تاریخ بشر پر از شواهدی است که نشان می‌دهد در روزگاران گذشته به طور معمول از چربی حیوانات و روغنهای گیاهی به عنوان روان کننده محور اربه ها و گاریها استفاده می شده است و حتی روان کننده های جامد نظیر گرافیت و پودر تالک برای تسهیل حرکت بر روی سطوح در تماس با یکدیگر مالیده می شده است. بر دیوارهای مقبره فرعون مصری توتی هتپ، که به تاریخ ۱۶۵۰ قبل از میلاد یا بیش از ۳۶۰۰ سال پیش باز می گردد نقوشی وجود دارد که روش مالش روغن زیتون بر روی الوارهای چوبی برای آسان نمودن جابجایی قطعات بزرگ سنگ و مجسمه ها و مصالح ساختمانی را نشان می دهد.

بر اساس نوشته های پلینی (Pliny ، ۲۲ تا ۷۹ بعد از میلاد مسیح) در عصر وی همان روغنها که از گیاهان، تخم نباتات و لاشه حیوانات در عصر ما گرفته می شود وجود داشته است .

ظاهراً روان کننده های معمول از اعصار گذشته تا قرن نوزدهم شامل انواع روغنهای نباتی و حیوانی که دارای پایداری نسبی در هوا بوده و به راحتی تبخیر و خشک نمی شوند، بوده است و بخصوص روغن زیتون، برزک، کرچک و روغن درخت نخل و همچنین روغن نهنگ، خوک دریایی و چربی خوک، پاچه گاو و پشم گوسفند مورد استفاده قرار می گرفته است. با اختراع ماشین بخار به وسیله جیمز وات در سال ۱۷۶۵، نیاز به روغنهای گریسهای روان کننده پایدار و در عین حال ارزان قیمت یکباره شدیداً بالا گرفت. [۳و۱۵]

۳- وظایف روغن های روانکار:

روان کننده های مورد مصرف در دنیای صنعتی امروز را می توان از نظر حالت در چهار رده روان کننده های گازی، روان کننده های مایع، روان کننده های نیمه جامد و بالاخره روان کننده های جامد دسته بندی نمود. درصد زیادی از روغن های روان کننده که بر پایه روغن های نفتی تولید می گردد، صرف روانکاری موتورهای احتراق داخلی در بخش حمل و نقل می گردد.

اصلی ترین وظایف روغن های روانکار به شرح ذیل می باشد:

۱- **روانکاری:** به حداقل رساندن اصطکاک و ساییدگی قطعات در حین کار با تشکیل لایه روغن و با ضخامت مناسب بین قطعات متحرک.

۲- **انتقال حرارت:** حرارتی که در نتیجه لغزش ذرات روان کننده بر روی یکدیگر ایجاد می شود، باید به فوریت و به طور موثر از محل روانکاری (مثلاً یاتاقان) منتقل شود بدون آنکه اثر نامطلوبی بر سطوح در حرکت نسبی بگذارد.

۳- **ضربه گیری:** یکی از ویژگی های مهم روغن گرفتن ضربات در حین انجام اعمال مکانیکی بر روی قطعات است. بدین معنی که روغن از تاثیر ضربه های قطعات بر یکدیگر جلوگیری می نماید.

۴- **حفاظت از سطوح:** روغن های روانساز باید بتوانند سطوح قطعات فلزی را در مقابل زنگ زدگی و خوردگی شیمیایی محافظت کنند.

۵- **آب بندی (Sealing):** آب بندی قطعات از ویژگی های مهم روغن است. برای مثال، روغن موتور با تشکیل لایه ای از روغن بین پیستون و سیلندر در موتورهای احتراق داخلی از فرار گازهای ممتراکم شده جلوگیری می نماید.

۶- انتقال مواد (حمل ذرات): روغن های روانساز باید بتوانند ذرات ناشی از ساییدگی قطعات و مواد ناشی از تجزیه و سوخت را به صورت معلق نگه داشته و با خود حمل کنند. [۳،۴،۵ و ۱۲]

۴- ویژگی های روغن های روانساز:

- ۱- روغنهای روانساز باید دارای ویژگیهای زیر باشند.
- ۱- دارای گرانروی مناسب و ضریب اصطکاک بسیار کم باشند.
- ۲- در مقابل حرارت مقاوم باشند و اکسیده نشوند.
- ۳- خاصیت پاک کنندگی مناسب داشته باشند و پس از کار مداوم و حرارت زیاد، مواد لجنی و رسوبات در لایه قطعات تشکیل ندهند.
- ۴- با ایجاد لایه نازکی در روی سطوح متحرک که با یکدیگر در تماس هستند، از ساییدگی و فرسودگی آنها جلوگیری نمایند.
- ۵- گرانروی خود را در محدوده درجات حرارت کار خود تا حد کافی حفظ کنند تا لطمه ای به انجام وظایف آنها وارد نشود. در اصطلاح گفته می شود که شاخص گرانروی (VI) به اندازه کافی بالایی داشته باشند.
- ۶- در مقابل حرارت و اکسیژن هوا (تجزیه حرارتی و اکسیداسیون) به حد کافی مقاوم باشند.
- ۷- در سرما به اندازه کافی روان باشند تا شروع و ادامه حرکت قطعات آسان باشد.
- ۸- از نقطه نظر عواملی مثل فراریت، آتش گیری و نظایر آن در شرایط مناسبی باشند.
- ۹- بتوانند اثرات نامطلوب ناشی از کار دستگاه (مثل احتراق سوخت در موتورها، اختلاط بخار در توربینهای بخار و ...) را تا حد ممکن خنثی کنند.
- ۱۰- مواد آلوده کننده خارجی مثل گرد و خاک، کثافات، آب و نظایر آن، همراه روغن نباشد.
- ۱۱- در حین عملیات، کف ایجاد نکنند.
- ۱۲- با قطعات لاستیکی و پلاستیکی (مثل آب بندهای لاستیکی - Seals) سازگاری کامل داشته باشند.
- ۱۳- دارا بودن مقاومت کم در برابر تنش برشی (سیالیت و گرانروی کم در عین باربرداری)
- ۱۴- از نظر شیمیایی بی اثر و غیر خورنده بوده و قابلیت حفاظت سطوح ماشین در برابر عوامل خورنده شیمیایی و عوامل مخرب فیزیکی را داشته باشد. [۱۹، ۱۴، ۱۳، ۱۰، ۷، ۶ و ۲۲]

اکثر ویژگی های فوق الذکر تقریباً در مورد تمام روغنهای به طور مشترک ضروری است. البته ممکن است در هر مورد خاص، اقلام معینی از اینها اولویت داشته باشند. علاوه بر این خواص، ممکن است هر روغن بخصوصی ویژگی مشخص و مخصوصی نیز برایش ضروری باشد. مثلاً قدرت پاک کنندگی در موتورهای بنزینی و دیزلی و نظایر آنها مهم است؛ یا روغنهای حل شونده تراشکاری باید بتوانند با آب، امولسیون پایدار تشکیل بدهند. روغنهای توربین بخار می باید از بخار آبی که به آب تبدیل شده و با آنها مخلوط شده در مدت زمان کوتاهی جدا شوند؛ به همین دلیل روغنهای توربین نباید با موادی مثل پاک کننده ها (از روغن موتورها) که باعث ایجاد امولسیون و جدا نشدن آب و روغن می گردند، مخلوط و آلوده شوند. روغنهای ترانسفورمر و نظایر آن باید در حد بالایی عایق الکتریسیته باشند و روغنهای هیدرولیک، عمل انتقال نیرو را به نحو احسن انجام دهند و ... [۹، ۱۵ و ۲۱]

۵- مواد افزودنی روغن:

روغنهای روان کننده از دو قسمت اساسی تشکیل شده اند:
الف - روغن پایه (Base Oil): ماده ای که پس از طی یک سری عملیات پالایش از نفت خام به دست می آید. روغن پایه به طور متوسط ۹۰ درصد حجم روغنهای را تشکیل می دهد. [۸، ۱۵ و ۱۸]

ب - مواد شیمیایی موسوم به مواد افزودنی (Additives): که حدود متوسط ۱۰٪ حجم روغن را تشکیل می دهند. تنها تعدادی از خواص ضروری روغن در پایه وجود دارد و برای اینکه روغنهای روان کننده همه خواص لازم را داشته و بتوانند وظایف خود را به طور کامل انجام دهند، به آنها مواد افزودنی اضافه می شود. [۲۰ و ۱۱، ۱۷، ۱۵ و ۱۳، ۱۴، ۴، ۳]

مهمترین موادی که به منظور تامین ویژگی های مناسب به روغن پایه افزوده می شوند عبارتند از: [۱۵ و ۱۳، ۱۴، ۴، ۳]

۵-۱- پاک کننده و معلق کننده ها (Detergents and Dispersants):

در طی فرایند احتراق، مقدار زیادی ذرات دوده و مواد ناشی از احتراق ناقص پدید می آید. این مواد تولید شده در روغن غیر محلول هستند و موجب تشکیل رسوب در پیستون ها می شوند و حتی ممکن است باعث چسبیدگی رینگ و پیستون گردند. مواد افزودنی پاک کننده و معلق کننده به اکثر روغن های روانساز برای از بین بردن رسوبات فوق افزوده می گردد. از ترکیبات باریم و کلسیم سولفوناتها و فناتها به عنوان مواد پاک کننده در روغن موتورهای دیزلی و بنزینی استفاده می کنند.

۵-۲- بهبود دهنده شاخص گرانی (VI-Improver):

ملکول های مواد افزودنی بالا برنده شاخص گرانی دارای پلیمرهای زنجیری دراز هستند و نسبت به ملکول های روغن خیلی بزرگ ترند به طوری که در درجه حرارت پایین تقریباً به صورت کلوئیدی در روغن پراکنده می شوند و هرچه حرارت روغن بالا رود، با حل شدن، گرانی روغن را جبران می کنند. این مواد بیشتر در روغن های چند درجه ای (مالتی گرید) استفاده می شوند. عمل مواد بالا برنده شاخص گرانی علاوه بر کاهش تغییرات گرانی با تغییرات درجه حرارت، موجب کاهش مصرف سوخت و روغن و استارت سریع در درجه حرارت پایین در موتورهای احتراق داخلی می شود. از انواع رایج بهبود دهنده اندیس ویسکوزیته می توان پلی متا آکریلاتها، پلی ایزوبوتیلها و پلی اکلید استیون ها را نام برد.

۵-۳- مواد ضد اکسیداسیون (Anti-Oxidant):

بعضی از ترکیبات موجود در روغن بر اثر حرارت زیاد موتور و تماس دائم با هوا و مجاورت با فلزات مختلف موتور، که ممکن است مانند یک کاتالیزور عمل نمایند، در معرض اکسیداسیون مداوم قرار گرفته و به موادی از قبیل پراکسیدها و ترکیبات آلی دیگر تبدیل می شوند. برای جلوگیری از اکسید شدن روغن، مواد افزودنی ضد اکسیداسیون به آن اضافه می شود. حاصل فرآیند اکسید شدن، ایجاد مواد اسیدی درون روغن موتور است که ایجاد خوردگی در مس، سرب و کادمیوم در یاتاقانهای موتور می نماید.

۵-۴- مواد ضد ساییدگی (Anti-Wear):

در شرایط کار سخت، اجزای موتور شامل سوپاپ ها، بادامک ها و ... دچار ساییدگی می شوند. مواد ضد ساییدگی از چنین ضایعاتی جلوگیری می نمایند. استفاده از این مواد به منظور ایجاد لایه مقاومی از مواد شیمیایی مابین قطعات متحرک و ثابت است تا از تماس مستقیم فلز با فلز و در نتیجه ساییدگی جلوگیری کند. ترکیبات زینک دی اکلید یا دی آریل دی تیو فسفاتها به عنوان مواد افزودنی ضد ساییدگی در روغنهای موتور و روغنهای صنعتی به کار می روند.

۵-۵- مواد ضد خوردگی و ضد زنگ زدگی (Anti-Corrosion & Anti-Rust):

به طور کلی روغن های معدنی قابلیت محافظت و جلوگیری از خوردگی و زنگ زدگی را دارند، اما در هنگام عمل به علت وارد شدن آب به صورت قطره در داخل روغن، زنگ زدگی و خوردگی رخ می دهد. برای جلوگیری از این پدیده، به اکثر روغن ها مواد افزودنی ضد خوردگی و ضد زنگ زدگی افزوده می شود. در ضمن مواد افزودنی قلیایی می توانند اسیدهای ناشی از عمل احتراق را (در موتورهای احتراق داخلی) که موجب خوردگی و زنگ زدگی نیز هستند، از بین ببرند.

۵-۶- مواد پایین آورنده نقطه ریزش (Pour Point Depressant):

این مواد به منظور پایین آوردن نقطه ریزش به روغن افزوده می شوند تا راه اندازی و روشن کردن موتور در هوای بسیار سرد امکانپذیر گردد. یعنی به کمک این مواد، ذرات پارافین را در دمای پایین به صورت معلق در روغن نگهداشته و از بسته شدن روغن (جامد شدن) جلوگیری می نمایند.

۵-۷- مواد ضد کف (Anti - Foam):

هنگام کار دستگاههای صنعتی و موتور، به علت سرعت زیاد قطعات و ایجاد تلاطم، هوای وارد شده در روغن باعث تشکیل کف در آن می شود. برای جلوگیری از این پدیده و پیشگیری از بروز خسارت، مواد ضد کف که معمولاً از ترکیبات سیلیکونی با وزنهای ملکولی مختلف است در مقادیر بسیار ناچیز (۱۰۰-۱۰۰۰ ppm) به روغن افزوده می شود.

۵-۸- بهبود دهنده های اصطکاک (Friction Modifiers):

جهت کاهش اصطکاک در قسمتهای متحرک موتور و بهبود اقتصادی سوخت، در فرمولاسیون روغنهای موتور از انواع صابونهای فلزی، استرها و آمیدها یا مجموعه آنها استفاده می شود. این مواد، کشش زیادی نسبت به سطوح فلزی دارند و با قرار گرفتن بر روی این سطوح، یک فیلم کاهش دهنده اصطکاک ایجاد می نمایند. در صورت مصرف یک درصد از بهبود دهنده های اصطکاک، تا ۴ درصد در مصرف سوخت صرفه جویی می شود.

۶- نانو تکنولوژی:

بعد از سخنرانی فاینمن در سال ۱۹۵۹ در مورد دنیای موجود در ابعاد کوچک، نانو تکنولوژی پا به عرصه وجود گذاشت. نانو تکنولوژی به آرایش اتمها در ابعاد چند نانومتر گفته می شود. وقتی که چند صد اتم در ابعاد چند نانومتر در کنار هم قرار می گیرند، خصوصیات جدید و بسیار ممتازی از خود نشان می دهند.

نانو تکنولوژی در زمینه های گوناگون علم وارد شده است و در صنایع مختلف نیز محصولاتی بر پایه نانو تکنولوژی ایجاد شده است. در این میان افزودنی هایی که به روغن موتور اضافه می شوند نیز تحت تاثیر نانو تکنولوژی قرار گرفته و محصولاتی بر پایه نانو تکنولوژی در این عرصه وارد بازار گشته که خصوصیات بسیاری برای آنها ذکر شده است. به طور خلاصه، خصوصیات که برای این افزودنی ها ذکر شده است عبارتند از: کاهش ضریب اصطکاک، کاهش مقدار ساییدگی در اجزاء موتور، ترمیم سطوح درگیر و بهبود خواص سطحی، افزایش بازده موتور در اثر افزایش فشار در سیلندر، کاهش مصرف سوخت در اثر کاهش اصطکاک، افزایش طول عمر موتور، کاهش مصرف روغن و کاهش هزینه نگهداری و تعمیرات. [۱]

۷- افزودنی های نانومواد روغنهای موتور:

محصولاتی که به صورت افزودنی حاوی نانو مواد وارد بازار شده و تجاری شده اند و مورد بررسی قرار می گیرند عبارتند از: [۲، ۲۷-۲۳]

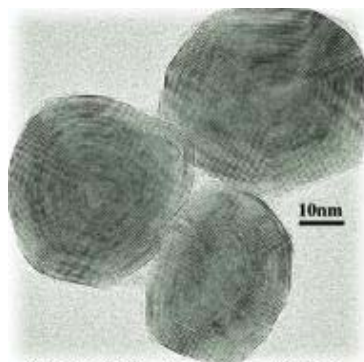
- افزودنی حاوی نانو ذرات WS2 با نام Nanolub
- افزودنی حاوی نانودیاموند با نام FN949، Fenom
- افزودنی های حاوی فولرین با اسامی: Kiwami، Forsan
- افزودنی حاوی مولکولهای فلوئور با اسم: Polycoat 20 - HWE
- افزودنی حاوی نانوذرات طلا با اسم: Nano Gold Oil
- افزودنی حاوی نانوذرات PTFE با اسم: NANOFLONTM X-TREME

۷-۱- نانوذرات WS2 به عنوان افزودنی به روان کننده ها و بررسی مکانیسم عملکرد آنها:

نانوذرات WS2 به صورت روان کننده جامد و افزودنی به روغن موتور استفاده می شوند. روان کننده تولید شده حاوی نانو ذرات WS2 به اسم Nanolub بوده و در مقایسه با روان کننده های رایج سبب کاهش اصطکاک و سایش به خصوص در مواقع بارگذاری زیاد شده و علاوه بر آن سبب افزایش طول عمر دستگاه و کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات می شود. این روان کننده در انواع ماشینها و دستگاههای مکانیکی و هواپیما قابل استفاده می باشد.

تصور کنید ماشینی خریده‌اید که حتی بعد از ۱۰ سال استفاده، روغن موتور آن نیاز به تعویض نداشته باشد. موتور این ماشین حتی وسیله‌ای برای چک کردن روغن خود نخواهد داشت. Nanolub اولین روان‌کننده سنتزی با استفاده از نانوذرات معدنی است که مانند دیگر روان‌کننده‌ها، برای کاهش فرسایش و اصطکاک بین قطعات موتور و دیگر قطعات به کار می‌رود و باعث افزایش عمر و کارایی قطعات می‌شود. این کره‌های Nanolub که نتیجه تحقیقات پروفیسور ریشیف تین و همکارانش در دانشکده مواد موسسه علوم Weizman می‌باشند، می‌توانند شبیه توپ‌های بلبرینگ بر روی همدیگر حرکت کنند و خنک بمانند و به این ترتیب کارایی‌شان در مدت طولانی تغییر نکند. این مواد به خاطر اندازه ریزشان می‌توانند به مکان‌های بسیار ریز نفوذ کنند و با کاهش خاصیت اتصال آنها به یکدیگر، میزان پوشش را حتی در سطوح بسیار سخت افزایش دهند. استفاده از Nanolub همچنین باعث کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی هوا خواهد شد. Nanolub را می‌توان به صورت افزودنی به روغن، افزودنی به گریس، جزء لایه‌های کامپوزیتهای پلیمری و در پوشش‌های کامپوزیت‌های فلزی و یا به تنهایی و به صورت پودر استفاده کرد.

شرکت ApNano تولیدکننده Nanolub، این مواد را در سیستم‌های بی‌نیاز از نگهداری مانند صنایع پزشکی و کشتی‌سازی و محیط‌های ساخت بسیار تمیز و در ماشین‌کاری‌های سنگین مانند توربین‌های تولید نیرو مورد آزمایش قرار داده است. شرکت اروپایی فولکس واگن و شرکت آمریکایی هاتکو اظهار کردند که آماده‌اند با همکاری ApNano خط تولید Nanolub را راه‌اندازی کنند. شرکت ApNano اعلام کرده است که با بهبود راکتورهای خود می‌تواند در مدت زمان کوتاه و با قیمت کمتر، Nanolub را به صورت نیمه‌صنعتی تولید کند. در یک بررسی انجام شده، افزودنی‌های ضد فرسایش فقط یک میلیارد دلار از بازار ۳۷ میلیارد دلاری روان‌کننده‌ها را در سال به خود اختصاص داده‌اند که در صورت موفقیت Nanolub، بازار این‌گونه افزودنی‌ها به مقدار زیادی رشد خواهد کرد. [۲۸و۲]



Nanolub nanoparticles

شکل ۱: نانوذرات WS2

برخی از خصوصیات و مزایای Nanolub عبارتند از کاهش بسیار بهتر اصطکاک و ساییدگی در مقایسه با سایر روان‌کننده‌های رایج به خصوص در بارگذاری بالا، طولانی بودن عمر محصول، توانایی تحمل بارگذاری بسیار زیاد، پایداری شیمیایی و فیزیکی بالا، صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش آلودگی، سازگاری با محیط زیست، دقت بالای اجزاء مختلف دستگاه بعد از کارکرد طولانی در اثر عدم ساییدگی، کاهش هزینه تهیه و ساخت اجزاء به خاطر کارکرد مناسب در روی سطوح زبر.

خصوصیتهای برجسته Nanolub عبارتند از:

- قابلیت نفوذ در منافذ بسیار ریز
- جلوگیری از تخریب سطوح
- اجازه به ایجاد سطوح خود روان کننده

بازارهای هدف Nanolub صنایع زیر می باشند:

- صنایع هواپیمایی، شاتل ها و توربین ها- به علت عدم نیاز به نگهداری و تعمیرات دائمی دستگاهها: نانوذرات موجود، بر روی منافذ ریز سطح قرار گرفته و سبب ترمیم سطح می شوند و طول عمر اجزاء دارای اصطکاک را افزایش می دهند و لذا بازه های زمانی تعمیرات افزایش می یابد.
- صنعت نیمه رساناها- کارخانه های نیازمند به محیط تمیز: با توجه به اینکه از این نانوذرات می توان به صورت جامد نیز استفاده نمود لذا در محیطهای تحت خلاء که روان کننده های مایع تبخیر شده و سبب بروز مشکلات زیادی می شوند، روان کننده های جامد بسیار مفید می باشند.
- ماشینها و دستگاههای سنگین- تحمل بارگذاری زیاد: عمده تاثیری که روان کننده های حاوی نانوذرات از خود نشان می دهند در بارگذاری های بالا می باشد. در بارگذاریهای بالا روان کننده های معمولی توان تحمل ندارند و سبب می شوند که سطوح با یکدیگر تماس پیدا کرده و ساییدگی زیادی به وجود بیاید که نانو ذرات موجود در روان کننده این مشکل را حل می نمایند و باعث می شوند روغن موتور در بارگذاریهای بالا مقاومت خوبی داشته باشد.
- محیط های غیر عادی - خلاء های بالا، تشعشع و فضای بیرون جو
- کاربردهای نظامی - موتورهای بدون صدا: با استفاده از افزودنی های حاوی نانوذرات در روغن موتور به خاطر بهبود سطح در اندازه های میکرو و نانومتری، سطوح بسیار صاف گشته و لذا صدای ایجاد شده در اثر حرکت اجزاء بر روی یکدیگر بسیار کاهش می یابد. کاهش صدا در موتورهای تجهیزات نظامی مزیت بسیار مهمی از لحاظ عدم شناسایی و تشخیص زود هنگام از طریق دستگاه های رد یابی است.
- لایه های کامپوزیتی- پوششهای ضد خوردگی: نانو ذرات موجود در روان کننده با سطح واکنش داده و سبب تشکیل کامپوزیت بسیار سخت و مقاوم بر روی سطح می شوند که در مقابل خوردگی بسیار مقاوم است. این مقاومت بالا بیشتر به دلیل اندازه نانو ذرات است که در ساختار مولکولی ترکیب وارد شده و شبکه ای بسیار مقاوم بر روی سطح فلز تشکیل می دهند. [۲۳-۲۷، ۱، ۲]

۷-۲- نانودیاموند به عنوان افزودنی به روغنهای روان کننده:

نانودیاموند به عنوان افزودنی در پوششهای کامپوزیتی، مواد ضد ساییدگی و ضد اصطکاک، روغنهای روان کننده و پلیمرها(ابر، پلاستیک و ...) و همچنین به عنوان ماده کاربردی در عملیات داروسازی، کاتالیستها و غیره استفاده می شود. با اضافه نمودن پودر سیاه نانودیاموند (۵/۰ درصد وزنی) در روغن های روان کننده مایع، ضریب اصطکاک در روان کننده کاهش می یابد. نانودیاموند نوع جدیدی از دیاموند های سنتزی می باشد که به صورت پودر با ذرات نانومتری می باشد. نانودیاموند توزیع شده در روان کننده، لایه فیلمی بر روی سطح تماس ایجاد می نماید و نانوذرات، منافذ ریز موجود بر روی سطح را پر می نماید. علاوه بر آن، نانودیاموند به صورت ذرات کروی شکل و فوق العاده سخت می باشد که به صورت چرخشی عمل می نمایند. بنابراین با تبدیل حرکت اصطکاکی لایه ها بر روی هم به حرکت چرخشی، سبب کاهش قابل توجه اصطکاک می شوند. نتایج آزمایشات نشان می دهد که تحت شرایط بارگذاری بالا، وجود نانوذرات تا حد بسیار زیادی مانع از ساییدگی می گردد و ضریب اصطکاک تا حد قابل توجهی کاهش می یابد.

کمپانی Shenzhen jingangyuan، شرکت چینی است که کار تولید و فروش نانودیاموند و محصولات مرتبط با آن را انجام می دهد.

این افزودنی نانویی موجب اتفاقات مثبت زیر می باشد: [۱]

افزایش طول عمر موتور ماشین حدود ۲ تا ۳ برابر، صرفه جویی سوخت از ۵ تا ۸ درصد، کاهش ضریب اصطکاک تا ۸۰ درصد، ایجاد لایه نانودیاموند بر روی سطح و ترمیم خودکار سطح، ایجاد آب بندی بسیار قوی و افزایش توان موتور در هنگام

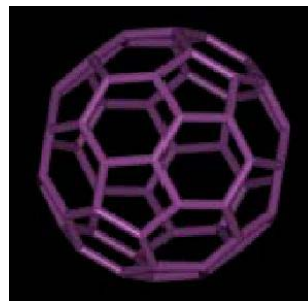
استارت در اثر آب بندی، افزایش طول عمر روغن موتور تا ۳۰۰۰۰ کیلومتر، کاهش صدای موتور، کاهش گازهای آلاینده تولیدی و کاهش هزینه تعمیرات تا حد زیاد.

مقدار مصرف این محصول، ۱۰ تا ۲۰۰ گرم در برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم روغن موتور می باشد. مقدار افزودنی به شرایط کار موتور بستگی دارد.

شرکت روسی Fenom تولید کننده افزودنی روغن موتور حاوی نانودیاموند با نام اختصاری FN949 می باشد. خصوصیتی که برای این افزودنی ادعا شده عبارتند از: تاثیرات تریبولوژی بالا (کاهش ضریب اصطکاک)، جلوگیری از اکسید شدن روغن، بهبود خواص دمایی روغن، پایداری بالای نانودیاموند در روغن موتور و جلوگیری از ساییدگی سطح. ساخت نانودیاموند از طریق انفجار قوی مخلوط قابل انفجار کربن صورت می گیرد. اندازه نانودیاموند به دست آمده ۴-۶ نانومتر بوده و سطح ویژه آن ۳۵۰ تا ۴۰۰ متر مربع به ازای یک گرم نانودیاموند می باشد. [۲۳-۲۷، ۱، ۲]

۳-۷- افزودنی های روغن موتور حاوی فولرین:

اولین فولرینی که کشف شد، باکی بال (Buckyball) نام گرفت. فولرین در سال ۱۹۸۵ در دانشگاه Rice واقع در هوستون ایالات متحده توسط Richard Smally، Robert Curl و Harry Kroto کشف گردید و در سال ۱۹۹۶ جایزه نوبل به خاطر کشف فولرین به این اشخاص تعلق گرفت. مولکولهای باکی بال معمولاً به صورت قفسه هایی متشکل از ۶۰ اتم کربن (C60) می باشند که به صورت شش ضلعی و پنج ضلعی هایی به یکدیگر متصل شده اند و سبب تشکیل ساختاری شبیه به توپ فوتبال شده اند.



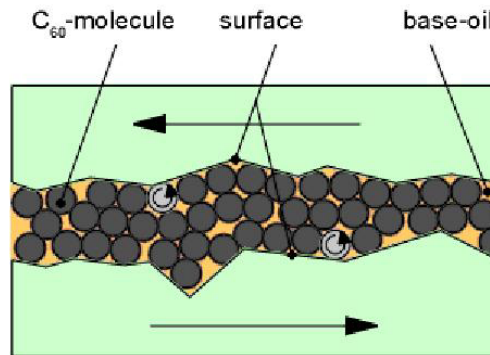
شکل ۲: ساختار شبیه سازی شده مولکول C60

در جدول زیر خصوصیات فولرین آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات مولکول فولرین

سیاه	رنگ
Ikosaeder	ساختمان
۶۰	تعداد اتمهای کربن
۱/۷ گرم بر سانتی متر مکعب	دانسیته
۱ نانومتر	اندازه مولکول
بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس	پایداری دمایی
۱۸ گیگا پاسکال	مدول یانگ

فولرین C60 می تواند به عنوان افزودنی به روغنهای روان کننده رایج به کار رود. با توجه به ساختار فولرینها، روغن های دارای فولرین را می توان به عنوان روغنهای ضد اصطکاک نام برد. در شکل زیر نحوه تاثیر دو سطح در حال تماس نشان داده شده است. مولکولهای فولرین به صورت اجسام چرخنده عمل می کنند و سبب جدا شدن سطوح در حال تماس از یکدیگر می شوند. به خاطر مقاومت و پایداری بالای فولرینها، در شرایط بارگذاری بالا نیز خصوصیت چرخش بلبرینگ مانند خود را حفظ می نمایند. [۲، ۲۷-۲۳]



شکل ۳: نحوه عملکرد مولکولهای فولرین که به صورت بلبرینگ عمل می کنند

شرکت Bardhal Kiwami ژاپن محصولی از این نوع با نام **Kiwami Power Boosting** جهت پاسخ به نیاز ماشینها به روغن همه کاره تولید نموده است.

افزودنی **Kiwami** سبب تشکیل سه لایه برای محافظت از سطح می شود. لایه اول سیستم ضد اصطکاک شامل یک فیلم جامد مقاوم در برابر ساییدگی در تمامی بارگذاری ها است. سپس لایه ای از مولکولهای قطبی ضد اصطکاک و ضد سایش قرار می گیرد. سر انجام لایه سوم که از مولکولهای فولرین تشکیل شده است شکل می گیرد که در این لایه فولرینها همانند بلبرینگهای بسیار ریز عمل کرده و سبب کاهش اصطکاک و ساییدگی در سطح می شوند. همچنین افزودنی **Kiwami** در دمای پایین سبب پایین آمدن ویسکوزیته روغن شده و این عمل به نوبه خود سبب سهولت استارت موتور سرد گشته و مصرف سوخت را کاهش می دهد. بررسی نقطه ابری شدن (Pour point) در روغن موتورهای تجاری 5W30، 10W30 و 10W40 کارایی افزودنی **Kiwami** را در بهبود خواص روغن در دماهای پایین نشان می دهد.

خصوصیات کاهش اصطکاک و کاهش ویسکوزیته همزمان موجود در افزودنی **Kiwami** سبب صرفه جویی زیادی در مصرف سوخت می شود. همچنین تستهای دینامومتری، کاهش ۲۰ درصدی در سایش رینگها را نشان می دهند. در اثر استفاده از افزودنی **Kiwami**، افزایش ۳ تا ۵ درصدی در قدرت موتور مشاهده می شود. [۲، ۲۷-۲۳]

یک شرکت روسی نیز افزودنی روغن موتور **Forsan** حاوی مولکولهای فولرین تولید کرده است. افزودنی **Forsan** دارای ترکیب پیچیده ای حاوی مولکولهای فولرین با اندازه ۱ نانومتر می باشد که قابلیت منحصر به فردی به خاطر بهبود زیاد خصوصیات مکانیکی دستگاهها و اجزاء آنها دارد. علاوه بر آن سبب ترمیم قسمتهای ساییده شده سطح بوسیله تشکیل پوشش فلز-سرامیک در ناحیه ای که اصطکاک اتفاق می افتد، می شود. پوشش محافظ فلز-سرامیک که در نتیجه وجود ترکیب مخصوص فولرین ایجاد می شود دارای ضریب اصطکاک بسیار پایین و مقاومت در برابر ساییدگی بسیار بالایی است. با افزودن **Forsan**، در مدت زمان کم، می توان سطح را بازسازی و ترمیم نمود و به فرم مناسب در ناحیه اصطکاکی دست یافت.

افزودنی Forsan، مابین سطوحی که با هم در حال تماس و اصطکاک می باشند همراه با یک حامل (روغن‌ها، گریسهای روان کننده، فرئون، مواد ضد یخ و مواردی از این قبیل) استفاده می شود. در نتیجه استفاده از افزودنی Forsan، در شروع فرآیند، محصولات ناشی از ساییدگی، کندگی سطح و سایر آلودگی ها به طور خودکار از منافذ ریز سطح در اثر خصوصیات اکسایش-احیاء ترکیبات موجود در افزودنی تمیز می شوند و پس از آن لایه فلز-سرامیکی بر روی سطح در حال اصطکاک شکل می گیرد و لایه تشکیل شده همراه با سطح یک واحد را تشکیل می دهند. این لایه فلز-سرامیکی دارای سختی بالایی بوده و الاستیسیته آن نیز بالا می باشد. این خصوصیات موجب کاهش نوسان و صدای موتور، کاهش ۱۰ برابری ضریب اصطکاک، افزایش ۱۰ برابری طول عمر سیستم، افزایش ۱۰ تا ۱۵ درصدی قدرت موتور، کاهش ۱۰ تا ۱۵ درصدی مصرف سوخت، حذف کامل سایش هنگام استارت سرد موتور، عدم تغییر خواص روغن موتور بستر، امکان کارکرد موقتی دستگاه بدون روغن در مواقع اضطراری تا ۱۰۰۰ کیلومتر (با سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت) و کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات می شود. حجم افزودنی Forsan اضافه شده به روغن موتور کمتر از یک درصد حجم روغن موتور مصرفی می باشد. [۲۳-۲۷ و ۱۰۲]

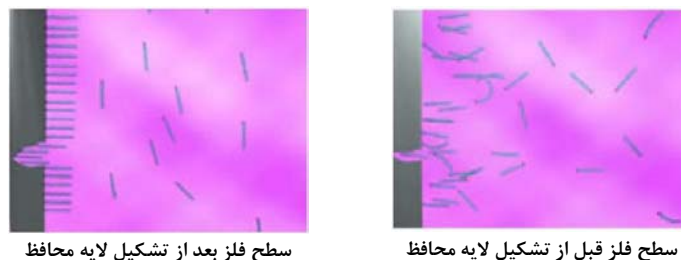
۷-۴- افزودنی POLYCOAT 20HWE :

POLYCOAT، افزودنی پیشرفته ای برای روغن موتور و روغن جعبه دنده می باشد. این ماده بر روی سطوح فلزی در سطح مولکولی تاثیر گذار بوده و باعث کاهش اصطکاک، کاهش سایش فلز، افزایش عمر موتور ماشین، بهینه سازی مصرف روغن و صرفه جویی در مصرف بنزین می شود.

POLYCOAT سبب تشکیل فیلمی با پایه فلوئور بر روی سطح فلز می شود که از اشکال دیگر پوشش ها که از افزودنی هایی بر پایه تفلون، پلیمرها، پوشش های فلزی یا مواد معدنی ساخته شده اند، با دوام تر است. فلوئور مهمترین عنصر فعال جدول تناوبی می باشد که قویترین پیوند ها را با سطح ایجاد می کند. لایه فیلمی که از مولکولهای فلوئور تشکیل شده ضخامت به اندازه چند مولکول دارد که آن را باریکترین لایه فیلمی کاهش دهنده اصطکاک موتور ماشین کرده است. ضخامت بسیار کم، برتری بیشتری نسبت به سایر افزودنی ها به این ماده می دهد زیرا تا حد زیادی سخت و محکم است و از روی سطح خراشیده یا کنده نمی شود.

این افزودنی، مانع از داغ کردن موتور ماشین به سبب کمبود روغن می شود و به راننده اجازه می دهد که تقریباً بدون وجود روغن در موتور ماشین بیش از ۲۰ مایل رانندگی کند. POLYCOAT 20HWE فیلم نازکی از مولکولهای فلوئور ایجاد می کند که باعث پخش و توزیع یکسان و مناسب روغن در تمام سطوح داخل موتور می شود. به این ترتیب سطح فلز را صاف و مقاوم در برابر اصطکاک می کند.

در شکل زیر نحوه تشکیل لایه نازک از مولکولهای با پایه فلوئور نشان داده شده است.



سطح فلز بعد از تشکیل لایه محافظ

سطح فلز قبل از تشکیل لایه محافظ

شکل ۴: بررسی تاثیر افزودنی POLYCOAT 20HWE

مولکولهای با پایه فلئور که در 20HWE وجود دارند، به حدی فعال و نیرومند می باشند که هرگونه ذرات و ساختارهای شیمیایی موجود بر روی سطح فلز را پاک می کنند. در عین حال خود را مستقیماً به سطح فلز در داخل موتور می چسبانند و خراش های سطح را پر می کنند. این افزودنی می تواند در کاهش اصطکاک خشک و نیز همراه روغن تاثیر بسزایی داشته باشد. کارایی POLYCOAT بر پایه نانو تکنولوژی می باشد.

تاثیرات استفاده از این افزودنی از جمله کاهش ۵ تا ۱۰ درصدی مصرف بنزین و کاهش آلاینده های ماشینها از طریق کاهش مصرف (سوختن) روغن، کاهش هزینه نگهداری و تعمیرات موتور ماشین از طریق بهبود دوام اجزاء فلزی داخلی موتور و افزایش عمر موتور ماشین از ۱/۵ تا ۲ برابر با کاهش اصطکاک توسط انجام آزمایشات تراکم، دینو و آزمایشات انتشار گازهای آلاینده به اثبات رسیده است. [۲، ۱، ۲۷-۲۳]

۷-۵- افزودنی روغن موتور حاوی نانوذرات طلا (Nano Gold Oil):

در ابتدا گرافیت به عنوان ترکیبی برای پوشش جداره داخلی سیلندر به کار می رفت. سپس از تفلون برای این کار استفاده گردید. در واقع طلا بهترین و مناسب ترین پوشش برای جداره داخلی سیلندر می باشد ولی کمتر از آن استفاده می شود و این به دلیل قیمت بسیار بالای طلا و محدودیت در روشهای ریز کردن طلا می باشد. افزودنی نانوذرات طلا جهت پوشش جداره سیلندر (Nano Gold Cylinder Coating Additive-NGCCA) با استفاده از نانو تکنولوژی ساخته شده و اندازه نانوی ذرات طلا خصوصیات کاملاً ممتازی به طلا داده است. NGCCA پوششی از طلا بر روی جداره سیلندر ایجاد می کند و بازده موتور را بالا می برد.

وقتی طلا به صورت نانو ذرات در می آید، به خاطر چند برابر شدن سطح ویژه طلا، این نانوذرات پوشش بسیار مناسبی برای جداره سیلندر می شوند که خصوصیات منحصر به فردی دارند از قبیل:

۱- پایداری دمایی بسیار بالا:

به خاطر نقطه ذوب بسیار بالای طلا (بالتر از ۹۰۰ درجه سلسیوس)، در شرایط موتور ذوب و کربنیزه نمی شود و در دمای موتور که بین ۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد است در پایین سیلندر جمع نمی شود.

۲- پایداری شیمیایی بسیار بالا:

طلا ماده پایداری بوده و در شرایط کار موتور تجزیه نمی شود و سبب آلودگی داخل موتور نیز نمی شود.

۳- سختی کم:

طلا ماده نرمی بوده و می تواند سبب روانکاری و آب بندی بین دیواره سیلندر و پیستون شود و موتور به خوبی کار می کند.

۴- رسانایی حرارتی بسیار بالا

۵- قابلیت جذب سطحی بسیار بالا:

طلا رسانای الکتریسیته بسیار خوبی است و الکتریسیته ساکن آن می تواند سبب جذب نانوذرات طلا بر روی سطح

فلز شود و از پوسته پوسته شدن آن جلوگیری کند.

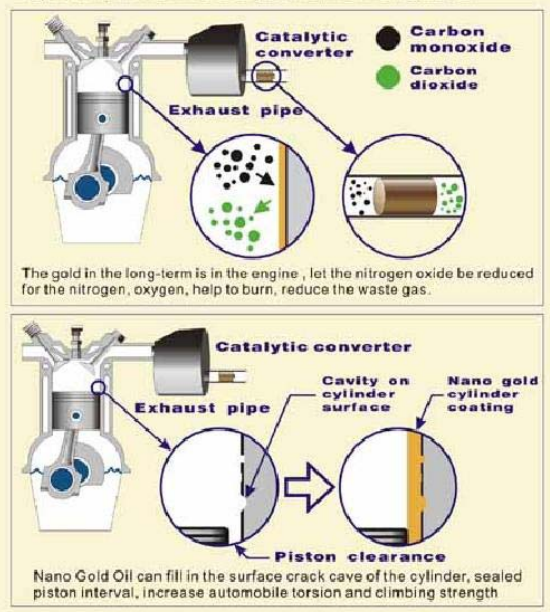
۶- فعالیت بالا:

نانوذرات طلا مانند سایر فلزات مخصوص، مانند پلاتین و ایندیوم و رودیوم از خود فعالیت بالایی در مبدل کاتالیستی موجود در خروجی اگزوز برای تبدیل گازهایی که ناقص سوخته اند، نشان می دهد. نانوذرات طلا می توانند مونواکسید کربن تولید شده در اثر سوختن ناقص سوخت را به دی اکسید کربن تبدیل نمایند. این کار از لحاظ زیست محیطی بسیار مفید می باشد. [۲، ۱، ۲۷-۲۳]

شکل زیر مکانیسم های تاثیر افزودنی حاوی نانوذرات طلا را نشان می دهد.

Characters among the engine pictures

Nano Gold Oil plates the efficiency of driving a vehicle that a layer of gold improves the automobile on the cylinder barrel of the automobile.



شکل ۵: مکانیسم های تاثیر افزودنی حاوی نانوذرات طلا [۲۵]

نتایج استفاده از افزودنی نانوذرات طلا عبارتند از: افزایش قدرت موتور تا ۹/۴۶ درصد، Torsion قویتر تا ۷/۵۹ درصد، کاهش مصرف روغن موتور، استارت سریع موتور، کاهش صدای موتور و کاهش مصرف سوخت تا ۱۵/۳۳ درصد. [۲۴۱]

۶-۷- افزودنی روغن موتور NANOFLONTM X-TREME:

شرکت Shamrock تولید کننده افزودنی NANOFLONTM X-TREME می باشد. این افزودنی دارای خصوصیات کاهش اصطکاک و تحمل فشارهای بسیار بالا در سیستمهای روغن موتور می باشد و بیشتر به روغنهای روان کننده و گریس اضافه می شود.

افزودنی نانوفلون مخلوطی از نانوذرات PTFE (Poly Tetra Fluoro Ethylene) یا تفلون، کمپلکس آلی مولیبدنیوم و ترکیب آلی سولفور می باشد. نانوفلون، افزودنی چند کاره می باشد که با دارا بودن خصوصیات تحمل فشارهای بسیار بالا، ضد ساییدگی و ایجاد ضریب اصطکاک کم در صنایع اتومبیل و روان کننده گریس قابل استفاده است. مزایای استفاده از افزودنی نانوفلون عبارتند از تحمل فشارهای بسیار بالا، مقاومت بسیار بالا در برابر ساییدگی، کاهش ضریب اصطکاک، استفاده بسیار راحت و اختلاط بسیار راحت با روغن بستر. [۲۳-۲۷ و ۱،۲]

۷- نتیجه گیری:

با توجه به موارد مطرح شده در مقاله می توان ادعا نمود که استفاده از ترکیبات نانو به عنوان افزودنی روغن موتور سبب ایجاد مزایای بسیاری از جمله کاهش مصرف سوخت، کاهش گازهای آلاینده، افزایش طول عمر موتور، کاهش مصرف روغن موتور، کاهش آلودگی محیط زیست به دلیل افزایش زمان تعویض و دور ریزی روغن، و بسیاری موارد دیگر می شود. طی یک بررسی توسط گروه نفت و انرژی مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف، مشخص شده است که

تنها میزان صرفه جویی ارزی ناشی از کاهش واردات بنزین در اثر استفاده از افزودنی Forsan در ایران، مبلغ ۵۶۶/۵۷۷ میلیون دلار می باشد.

مراجع:

- [۱] "گزارش تکمیلی بررسی افزودنی های نانو در روغن موتور و نقش آن در صرفه جویی انرژی" - گروه نفت و انرژی مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف
- [۲] "ساخت روغن های بی نیاز از تعویض با استفاده از نانو روان کننده ها" - خبرنامه فناوری نانو - سال سوم - شماره ۷۹ - نیمه اسفند ۱۳۸۳
- [۳] طاهری، رمضانعلی؛ "مراقبت وضعیت ماشین آلات از طریق آنالیز روغن" - کتاب دوره تخصصی تکمیلی مکانیک دریایی، ناشر: معاونت آموزش ندسا - ستاد بهینه سازی آموزش - چاپ اول، بهمن ماه ۱۳۸۱
- [۴] شیر خورشیدیان، اکبر؛ "راهنمای عملی روغنکاری و انتخاب روغنها"، انتشارات طراح، ۱۳۸۳
- [۵] ترکی، محمود؛ "روغن موتور و مواد افزودنی در روانکار"، ماهنامه تخصصی، علمی، آموزشی نفت پارس شماره ۲۲، اردیبهشت ۱۳۸۴
- [۶] "آنالیز روغن و مراقبت و نگهداری از تجهیزات"، ماهنامه تخصصی، علمی، آموزشی نفت پارس شماره ۱۸، ۱۳۸۳
- [۷] ناصری، عباس؛ "روانکاری نوین و افزایش کارایی سیستم"، ماهنامه تخصصی، علمی، آموزشی نفت پارس شماره ۱۸، ۱۳۸۳
- [۸] ابوالمحمد، گیتی؛ "مبانی پالایش نفت"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۱
- [۹] امانی . حجت ...؛ "تازه ترین تحولات روغن های موتور در جهان" - پیام بهران، شماره ۳۳۰، ۱۳۷۵
- [۱۰] مدیحی، ناصر؛ "آزمایش های فیزیکی تشخیص کیفی روغن" - پیام بهران - شماره ۵۶ - بهمن و اسفند ۱۳۷۹
- [۱۱] حاجی، سپیده؛ "پاکسازی محیط زیست از آلودگی روانکارها"، ماهنامه تخصصی، علمی، آموزشی نفت پارس شماره ۲۲، اردیبهشت ۱۳۸۴
- [۱۲] "راهنمای انتخاب و مصرف صحیح روغن موتور" - شرکت نفت بهران - ۱۳۸۱
- [۱۳] "راهنمای کاربرد و مشخصات محصولات شرکت نفت بهران" - شرکت نفت بهران - ۱۳۸۰
- [۱۴] "محصولات شرکت نفت پارس - راهنمای کاربرد و مشخصات" - شرکت نفت پارس، ۱۳۷۸
- [۱۵] "مجموعه مقالات سمینار شناخت و کاربرد روغن های روانساز صنعتی" - شرکت پالایش روغن بهران - انتشارات پالایش روغن تهران - ۱۳۷۳
- [۱۶] مغربی، مرثی و شاهوردی، محمود رضا؛ "سمت و سوی تحقیقات در نانوفناوری" - انتشارات آتنا - ۱۳۸۳
- [17] "Oil Analysis Equipment Design, Provision for". Mil - STD - 1570 A, 4 JUNE 1987
- [18] "Oil Sample Analysis" - Condition Monitoring Services, Midland Preventive Maintenance Limited.
- [19] "Running Materials Specifications for MWM Diesel Engine Series , D,TD,TBD 601/602/603/604 ."
- [20] "Spectrometer , Engine Oil Analysis A/E 35U -1", Mil - S - 38487 , 17 January 1968
- [21] "Standard Method of Sampling Petroleum and Petroleum Products", ASTM Designation 270 - 65 (Reapproved 1980)
- [22] Darrin Clark, "A new approach to assessing wear problems using oil analysis", practicing oil analysis magazine, September 2004
- [23] Michael wilson, "Nanotechnology: basic sciences and emerging technologies" , 2002
- [24] <http://www.1000inventions.com/new/detail2.php?id=756>
- [25] <http://www.nano95.com.tw/principle.htm>
- [26] <http://www.irannano.org>
- [27] <http://www.itanetwork.org>
- [28] <http://www.israel21c.org> "Israeli nano-lubricant could mean no more oil changes" , By Bob Rosenbaum.December 27, 2004