

# کاربردهای صنعتی نانوذرات در بهبود خواص روانکاری

سال انتشار: ۱۴۰۰



## شناسنامه

### ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزالیو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه‌کننده:	report@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
مرکز نوآوری بهران تک		اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir
صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	پست الکترونیک:	IND@nano.ir

## فهرست مطالب

۳	چکیده
۳	مقدمه
۴	روانکارها
۴	مواد افزودنی روانکارها
۵	نانوافزودنی‌های مورد استفاده در روانکارها
۹	محصولات مؤسسات و شرکت‌های داخلی
۱۰	نتیجه‌گیری
۱۱	پی‌نوشت‌ها
۱۱	مراجع

## چکیده

روانکاری نقش مهمی در انجام حرکت به نحو صحیح، مداوم و اقتصادی سطوح در تماس با یکدیگر ایفا می‌کند. امروزه تمامی روانکارهای با پایه معدنی و سنتزی، برای داشتن کارایی مفید، نیازمند افزودنی‌هایی هستند که بتوانند خواص مورد نظر را در آن‌ها ایجاد کنند. در سال‌های اخیر، با بهره‌گیری از فناوری نانو و سنتز مواد نانو، نوع جدیدی از افزودنی‌ها برای روانکارها به دلیل خواص منحصربه‌فرد پدیدار شده است. این افزودنی‌های جدید به سبب داشتن خواص بی نظیر و به دلیل صرفه‌جویی در انرژی، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. با استفاده از این افزودنی‌ها، می‌توان بسیاری از خواص اساسی روغن مانند نقطه اشتعال، گران‌زوی، نقطه ریزش و مقاومت در مقابل اصطکاک را بهبود بخشید.

کلمات کلیدی: روانکارها؛ افزودنی‌ها؛ مواد نانو؛ سایش؛ اصطکاک

## مقدمه

روانکاری یا «Tribology» به عنوان علم تسهیل‌کننده حرکت نسبی سطوح در تماس با یکدیگر، تعریف شده است. در هر کجا که سطوح هم‌جوار و در تماس با یکدیگر، دارای حرکتی نسبی هستند، روانکاری نقش مهمی در انجام حرکت به نحو صحیح، مداوم و اقتصادی ایفا می‌کند. هر زمان که سطوح اجسام در تماس با یکدیگر حرکت نسبی داشته باشند، دو پدیده اصطکاک و ساییدگی هر دو وجود خواهند داشت. اصطکاک یکی از عوامل مهم اتلاف انرژی در قطعات مکانیکی است. عدم روانکاری صحیح و منظم ماشین‌آلات علاوه بر کاهش راندمان، موجب فرسایش بیش از حد و ازکارافتادگی زودرس می‌شود. همچنین انتخاب روانکار مناسب تأثیر ویژه‌ای بر عملکرد ماشین‌ها دارد. روانکارها با ایجاد یک لایه نازک مناسب روی سطوح دارای اصطکاک، آن‌ها را از یکدیگر جدا، گرم و ذرات سایشی ایجاد شده را برطرف می‌نمایند.

یکی از روش‌های بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی روانکارهای پایه، بهره‌گیری از مواد افزودنی مختلف با خواص منحصربه‌فرد است. در این راستا به منظور افزایش و بهبود عملکرد روانکارها از فناوری نانو نیز بهره برده شده است. به عبارتی کارایی یک روانکار تا حد زیادی به نوع و مقدار ماده افزودنی مورد استفاده در روغن پایه بستگی دارد.

در سال‌های اخیر استفاده از مواد نانو در روانکارها به دلیل بهبود خواص سطحی و قابلیت انتقال حرارت، افزایش بازده موتور و کاهش هزینه‌های تعمیرات، به عنوان یک ایده نو بسیار مورد توجه واقع شده است [۱]. سنتز نانوذرات و جایگزینی مولکول‌های آلی با ذرات بسیار کوچک مواد جامد به آسانی امکان‌پذیر نیست؛ همچنین به دلیل آنکه محلول‌های کلوئیدی اساساً ناپایدار هستند بهره‌گیری از این فناوری را در روانکارها با چالش بزرگی روبه‌رو کرده است. پژوهشگران انواع مختلفی از مواد نانو ساخته شده از مواد فلزی، آلی و معدنی را برای ساخت نانوروانکارها مورد استفاده قرار داده‌اند [۲]. مهم‌ترین مزیت استفاده از مواد نانو در روانکارها اندازه کوچک آن‌هاست. نانوافزودنی‌ها نسبت به افزودنی‌های معمول تا حدودی به دما حساس نیستند و واکنش‌های اصطکاکی در آن‌ها بسیار محدود است. همچنین اندازه نانومتری این مواد موجب افزایش سطح تماس آن‌ها شده و در دمای محیط نیز کارآمد هستند.

## روانکارها

روانکارهای مورد مصرف در صنعت را می‌توان به روانکارهای گازی، مایع، نیمه جامد و جامد دسته‌بندی نمود. اصلی‌ترین وظایف روانکارها شامل روانکاری، انتقال حرارت، حفاظت از سطوح، ضربه‌گیری، انتقال ذرات و آب‌بندی است. کلیه روانکارها از دو قسمت روغن پایه و مواد شیمیایی موسوم به مواد افزودنی تشکیل شده‌اند.

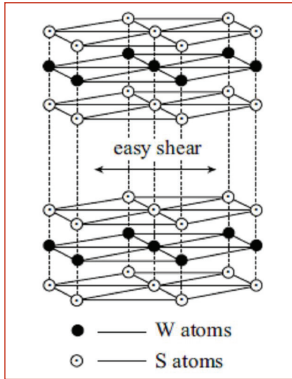
## مواد افزودنی روانکارها

برای این‌که روغن‌های روانکار همه خواص لازم را داشته باشند و بتوانند وظایف خود را به‌طور کامل انجام دهند، به آن‌ها مواد افزودنی اضافه می‌شود. مهم‌ترین موادی که به منظور تأمین ویژگی‌های مناسب به روغن پایه افزوده می‌شوند عبارت‌اند از [۳]:

- پاک‌کننده‌ها و معلق‌کننده‌ها<sup>۱</sup>: این مواد افزودنی با روغن پایه مخلوط می‌شوند تا قطعات موتور را تمیز کرده، آلودگی‌ها را رفع نموده و ذرات حاصل از احتراق را به‌صورت معلق در روغن نگه دارند. نتیجه این عمل جلوگیری از تشکیل لجن و ایجاد رسوب، روی قطعات مختلف موتور است. مواد افزودنی پاک‌کننده که در روغن موتور به کار برده می‌شوند، از نوع ترکیبات آلی - فلزی (فلزات کلسیم، باریوم و منیزیم) می‌باشند. مواد معلق‌کننده مورد استفاده در روغن موتور از نوع مواد پلیمری بدون خاکستر است.
- مواد افزودنی ضدسایش<sup>۲</sup>: این مواد افزودنی از سایش قطعات موتور که در اثر تماس فلز با فلز رخ می‌دهد، جلوگیری می‌کنند.
- مواد افزودنی ضد اکسیداسیون<sup>۳</sup>: این مواد از حمله اکسیژن به روغن پایه که باعث اکسید شدن روغن پایه و در نتیجه افزایش گران‌روی آن می‌شود، جلوگیری می‌کنند. اکسید شدن روغن، باعث تولید اسیدهای آلی و در نتیجه ایجاد خوردگی در یاتاقان‌های از جنس مس-سرب خواهد شد.
- مواد افزودنی بهبوددهنده شاخص گران‌روی<sup>۴</sup>: این دسته مواد افزودنی باعث کم شدن تغییرات گران‌روی در برابر تغییرات درجه حرارت می‌شوند. این مواد در کاهش مصرف سوخت، بهبود خواص جریان در درجه حرارت‌های پایین و جلوگیری از تشکیل کریستال‌های واکس در روغن نقش دارند.
- مواد افزودنی ضد زنگ‌زدگی و ضد خوردگی<sup>۵</sup>: این مواد از طریق خنثی کردن اسیدهای آلی و جلوگیری از رسیدن رطوبت به سطوح فلزی باعث کاهش زنگ‌زدگی و خوردگی می‌شوند.
- مواد ضد کف<sup>۶</sup>: این مواد افزودنی، کف سطحی روغن را کم کرده و اجازه می‌دهند که هوای حبس شده در روغن، از درون آن فرار کند. همچنین این مواد به علت کم کردن تماس روغن با اکسیژن تا حدودی از اکسید شدن روغن نیز جلوگیری می‌کنند.
- بهبوددهنده اصطکاک<sup>۷</sup>: این دسته از مواد باعث کاهش اصطکاک داخلی روغن شده و در نتیجه با کم شدن اصطکاک، مصرف سوخت نیز کاهش می‌یابد.
- مواد افزودنی پایین‌آورنده نقطه ریزش<sup>۸</sup>: این مواد از تشکیل کریستال در روغن جلوگیری کرده و باعث می‌شوند که روغن در درجه حرارت‌های پایین یخ نزده و به خوبی جریان داشته باشد.

## نانوافزودنی‌های مورد استفاده در روانکارها

### نانوذرات $WS_2$



شکل ۱- ساختار کریستالی  $WS_2$  [۴]

نانوافزودنی  $IF-WS_2$  را به عنوان روانکار جامد نه تنها در شرایط متعارف بلکه تحت شرایط دشوار، مانند دما و فشار بالا، بار زیاد، خلأ زیاد، تابش و محیط خورنده می‌توان به کار برد. این نانوافزودنی دارای ساختار لایه‌ای بسته شش ضلعی است که در شکل ۱ نشان داده شده است. هر اتم تنگستن به دو اتم سولفور متصل است. اتم تنگستن و سولفور با پیوند های قوی شیمیایی به یکدیگر متصل شده‌اند در حالی که اتم های سولفور با پیوند ضعیف مولکولی به یکدیگر اتصال دارند. نانوافزودنی  $WS_2$  یک ترکیب شیمیایی بی اثر است که به سختی در محیط‌هایی مثل آب، روغن، الکل و اسید حل می‌شود ولی به گاز فلوئور، سولفوریک اسید داغ و فلوئوریدریک اسید حساس است. این ترکیب غیر سمی بوده و موجب زنگ زدگی و خوردگی فلزات نمی‌شود. همچنین دارای مقاومت حرارتی بالایی بوده و نسبت به اکسید شدن مقاوم است [۴]. اثر افزودن  $IF-WS_2$  به روغن های پایه در محدوده گسترده‌ای از شرایط عملیاتی برحسب فشار تماس، سرعت لغزشی و ویسکوزیته توسط گرینبرگ<sup>۵</sup> و همکارانش بررسی شده است [۵]. افزایش نانوذرات  $IF-WS_2$  به روغن‌ها پایه، باعث کاهش ۵۰ درصدی ضریب اصطکاک در شرایط مختلف روانکاری می‌شود؛ بنابراین  $WS_2$  خصوصیات برجسته‌ای می‌دهد که ذیلاً به آن اشاره شده است:

■  $WS_2$  دارای قابلیت نفوذ بسیار خوبی در منافذ بسیار ریز است.

■  $WS_2$  مانع تخریب سطوح در تماس با یکدیگر می‌شود.

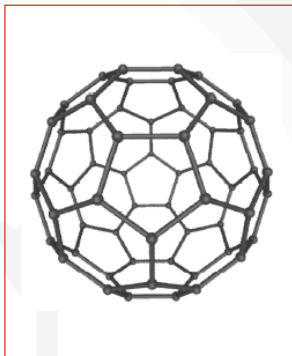
■  $WS_2$  باعث ایجاد سطوح خود روانکار می‌شود.

### نانوذرات فولرن<sup>۶</sup>

فولرن‌ها، خانواده‌ای از کربن‌های چند شکل با شبکه سه بعدی از این اتم‌ها هستند. فولرن انواع گوناگون و متعددی دارد و می‌تواند به صورت کره، بیضی‌گون، یا استوانه باشد. مولکول‌های فولرن معمولاً به صورت قفسه‌هایی متشکل از ۶۰ اتم می‌باشند که به صورت شش ضلعی و پنج ضلعی به یکدیگر متصل شده‌اند. شکل ۲ ساختار سه بعدی فولرن را نشان می‌دهد. فولرن یا  $C_{60}$  می‌تواند به عنوان افزودنی در روغن‌های روانکار به کار برده شود. مولکول‌های فولرن سبب جدا کردن سطوح در حال تماس از یکدیگر می‌شوند. این دسته از ترکیبات به دلیل مقاومت و پایداری بالا، در شرایط بارگذاری زیاد نیز خصوصیات چرخش بلبرینگ مانند خود را حفظ می‌نمایند.

### نانوالماس‌ها<sup>۷</sup>

نانوالماس‌ها معمولاً با انفجار ناگهانی تری‌نیتروتولون در یک محفظه



شکل ۲- ساختار سه بعدی فولرن [۷]

بسته به دست می‌آیند. متوسط اندازه این نانوذرات ۶-۴ نانومتر بوده و دارای سطح ویژه ۴۰۰-۳۵۰ مترمربع گرم هستند. هدف از به‌کاربردن نانوالماس‌ها به‌عنوان افزودنی روانکارها، اندودکاری سطوح لغزشی است. این اندودکاری موجب افزایش مقاومت در مقابل سایش، توانمندسازی روانکاری لغزشی میان سطوح و کاهش اصطکاک می‌شود.

نانوالماس‌ها با پوشش سطح تماس موجب کاهش قابل توجه ضریب اصطکاک می‌شوند. پوشش نانوالماس موجب کاهش سطح تماس شده و لذا نیروی کششی میان فصل مشترک دو سطح نیز کم می‌شود. نانوالماس به‌عنوان یک ماده افزودنی به روغن موتور، موجب کاهش مصرف بنزین و افزایش عمر موتور می‌شود [۸].

### نانوذرات فلزی

بر اساس نتایج اکثر محققان، دسته دیگر از نانوافزودنی‌های مورد استفاده در روانکارها، نانوذرات فلزی گروه ۱B (طلا، نقره و مس) هستند. نانوذرات فلزی ناپایدار بوده و به‌راحتی به‌شکل توده درمی‌آیند؛ به‌عبارت دیگر نانوذرات در اثر تماس با یکدیگر، به هم چسبیده و رشد کرده و ساختار نانومتری و خواص منحصر به فرد خود را از دست می‌دهند. هنگامی که این نانوذرات به روغن افزوده می‌شوند، رسوب می‌کنند. پایداری، قابلیت انحلال و توزیع ضعیف این سه نانوذره در روغن‌های روانکار، کاربرد مضاعف آن‌ها را به‌عنوان ماده افزودنی در فرمولاسیون روانکارها محدود کرده است. یکی از روش‌های انحلال مؤثر، پوشش دادن آن‌ها با لایه‌ای از مولکول‌های آلی است؛ به‌صورتی که ترکیبی از یک گروه قطبی و یک زنجیره بلند آلکیل ایجاد شود. گروه قطبی پوشش باید توانایی جذب شیمیایی بسیار قوی ترکیب فعال سطحی<sup>۱۳</sup> را که روی سطح نانو هسته‌های معدنی وجود دارد داشته باشد [۹].

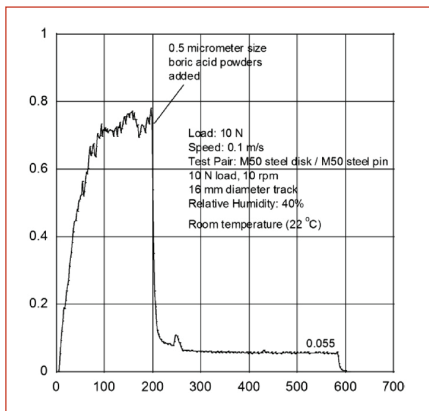
### نانوذرات جامد کلوئیدی

مکانیسم کاهش اصطکاک و خواص ضدسایشی نانوذرات در روانکارها به‌صورت تأثیر کلوئیدی، تأثیر غلتشی و لایه محافظ گزارش شده است.

### نانوافزودنی اسیدبوریک<sup>۱۴</sup>

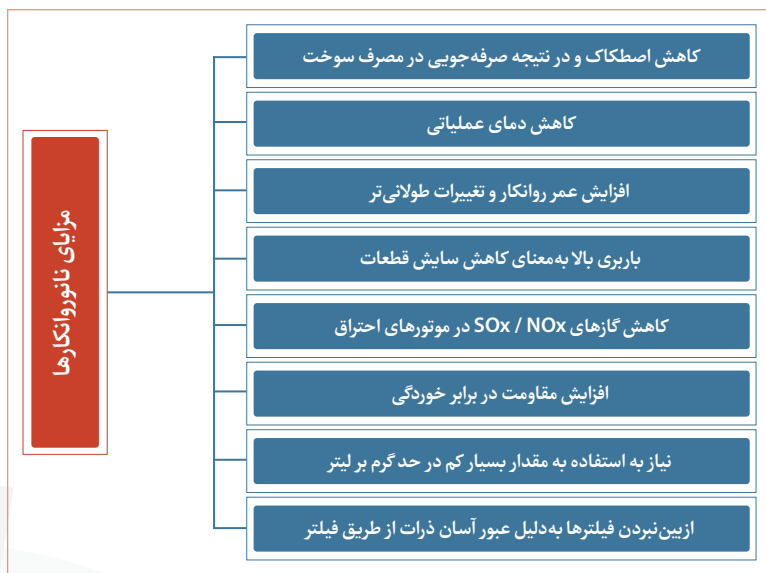
ساختار لایه‌ای-بلوری اسیدبوریک موجب خاصیت خودروانکاری آن می‌شود. آزمون‌های اصطکاک و سایش با قرص‌های اسیدبوریک توسط دستگاه میله روی صفحه انجام شد. پاشش پودرهای اسیدبوریک به سطوح لغزشی به‌طور چشم‌گیری موجب کاهش ضریب اصطکاک شد. شکل ۳ نشان می‌دهد که پاشش پودرهای اسیدبوریک به سطوح تماسی، موجب کاهش ضریب اصطکاک از ۰/۸ به کمتر از ۰/۰۵ شده است [۱۰].

در شکل ۴ مزایای نانوروانکارها قابل مشاهده است.



شکل ۳- تأثیر افزایش اسیدبوریک در آزمون اصطکاک روغن

روانکار [۱۰]



شکل ۴- مزایای نانو روانکارها

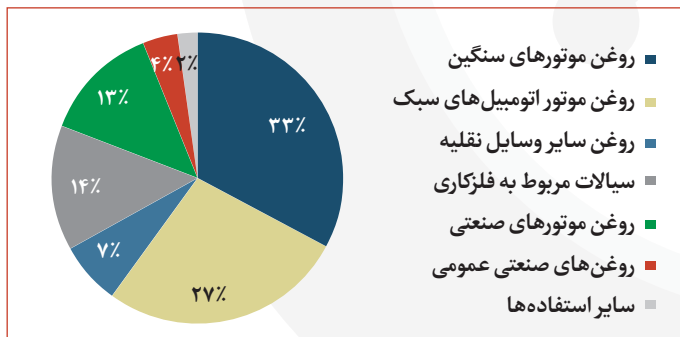
## چشم انداز اقتصادی

تقریباً تمام سیستم های مکانیکی متحرک، به روانکاری مؤثر برای عملیات روان و طولانی مدت وابسته هستند. استفاده از افزودنی های نانوروانکار در صنایع مختلف و فرایندها کاربردهای بسیار گسترده ای دارد. این صنایع مختلف شامل حمل و نقل (به ویژه در موتور)، صنایع تولیدی، صنایع تولید نیرو، صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی و سایر بخش های صنعتی می شود.



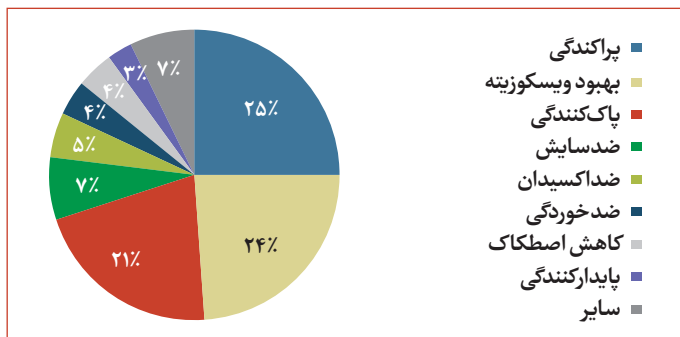
شکل ۵- بازار روانکارها [۱۱]

مصرف جهانی افزودنی‌های روانکار تا سال ۲۰۱۷ به حدود ۵٫۴ میلیون تن رسیده است. درحالی‌که تخمین زده می‌شود مصرف جهانی روانکارها سالانه ۱٫۷ درصد رشد داشته باشد، پیش‌بینی می‌شود که مصرف جهانی افزودنی‌های روانکار با رشد ۲٫۲ درصد در سال از ۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۲ به حدود ۴٫۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته باشد.



شکل ۶- تقاضای جهانی روانکارها

انتظار می‌رود که بازار جهانی افزودنی‌های روانکار در سال ۲۰۲۴ به ۱۸٫۸۵ میلیارد دلار برسد. با توجه به شکل ۶، بیشترین مصرف افزودنی‌های روانکار با سهم ۳۳ درصد از تقاضای جهانی مربوط به روغن موتورهای سنگین بوده است و بعد از آن روغن موتورهای اتومبیل‌های سبک با ۲۷ درصد قرار دارند. روانکارها نقش و عملکردهای متفاوتی دارند که در سال ۲۰۱۲ سه نقش پاک‌کنندگی، پراکندگی و بهبود ویسکوزیته ۷۰ درصد کل مصرف را در بر گرفته است. شکل ۷ میزان مصرف روانکارها برحسب نقشی که دارند را بیان می‌کند. بازار جهانی نانوروانکارها از حدود ۸۴ میلیون دلار در سال ۲۰۰۷ به ۶۱۸ میلیون دلار در سال ۲۰۱۲ رسیده است.



شکل ۷- نقش و عملکرد روانکارها در سال ۲۰۱۲ [۱۲]



## محصولات مؤسسات و شرکت های داخلی

### شیمی صنعت رشد سهند



شرکت شیمی صنعت رشد سهند در ابتدای سال ۱۳۹۵ بر مبنای تولید شوینده ها و روانکارهای صنعتی تأسیس شد. شرکت شیمی صنعت رشد سهند اولین شرکت تولیدکننده کوانتوم دات های پایه کربنی در مقیاس صنعتی در کشور است. در ادامه فعالیت شرکت با توجه به فناوری بالای تولید کوانتوم دات ها و عدم شناخت مناسب صنایع برای مصرف این نانو ساختارها در فرایندهای تولید، شرکت بر آن شد با توجه به سابقه تولید روانکار صنعتی، از این ترکیبات به عنوان مکمل خواص روانکارها در فرمولاسیون روانکار تولیدی استفاده کند.

وبسایت: [www.shimisanat.com](http://www.shimisanat.com)

### شرکت پردیس شیمی باختر

نام محصول: روغن موتور اولکانانو

به عنوان تولیدکننده روانکارهای نانویی با خاصیت پخش یکنواخت و پایدار افتخار دارد که همگام با پیشرفت فناوری در جهان، ارائه کننده محصولات تولیدی با فناوری نانو جهت مصرف در خودروهای سواری و دیزلی و روانکارهای مخصوص صنعتی است.

خصوصیات محصولات:

■ کاهش مصرف سوخت

■ افزایش توان و شتاب خودرو

■ کاهش دما و صدای موتور

■ کاهش گازهای آلاینده خروجی از آگزوز

■ افزایش طول عمر روغن موتور

■ کاهش اصطکاک و کم کردن سایش و ترمیم سطوح آسیب دیده درون موتور.

اطلاعات تماس:

وبسایت: <https://olckanano.com>

■ نشانی دفتر مرکزی: تهران، خیابان مالک اشتر، بین خیابان های جیحون و کارون، کوچه خرم بخت،

شماره ۱۰، واحد ۲

■ نشانی کارخانه: کرمانشاه، صحنه، شهرک صنعتی بیستون (شهر شیمی)

■ تلفن دفتر: ۰۲۱-۶۶۸۴۵۴۷۳

### شرکت نانوروانکار ایرانیان

نام محصول: روغن موتور حاوی نانوذرات سرامیکی

شرکت نانوروانکار ایرانیان در سال ۱۳۸۹ در تهران با هدف تولید و عرضه انواع روغن های روانکار و نانوروانکار به ثبت رسیده است. کارخانه این شرکت در شهرک صنعتی مأمونیه واقع شده است.

خصوصیات محصولات:

- حضور ذرات با اندازه زیر ۱۰۰ نانومتر و مورفولوژی مکعبی شکل
- کاهش نرخ سایش
- کاهش ضریب اصطکاک

اطلاعات تماس:

- نشانی شرکت: اراک، زندیه، شهرک صنعتی مأمونیه، خیابان ششم
- تلفن دفتر: ۰۲۱-۳۷۹۸۵۳۲۰-۲۲۰

### نانوروانکار صنعت (کامل)

■ نام محصول: نانوروغن

شرکت روانکاران صنعت در زمینه تولید انواع روغن‌های صنعتی، موتور، گریس و همچنین ارائه خدمات فنی و مهندسی در شهر سمنان فعالیت می‌کند. همچنین این شرکت در زمینه تولید نانو روغن موتور فعال است و توانسته محصولات مناسبی را روانه بازار کند.

■ وبسایت: <http://ravankaran.com>

■ ایمیل: [info@ravankaran.com](mailto:info@ravankaran.com)

■ نشانی دفتر مرکزی: تهران، بزرگراه رسالت، بین خیابان کرمان و ۱۶ متری دوم، شماره ۸۶۰، طبقه سوم

■ تلفن دفتر: ۰۲۱-۳۷۳۶۲۲۵۳۲۰-۲۲۵

### نانیاکس

■ نام محصول: نانوروغن

شرکت نانیاکس تولیدکننده روغن‌های موتور بنزینی و دیزلی است. این شرکت با هدف تولید انواع نانوروانکارهای مناسب، موتورهای بنزینی و دیزلی و کلیه محصولات مبتنی بر فناوری نانو در زمینه پتروشیمی و خودرو ایجاد شده است. همچنین این شرکت در زمینه تولید نانوروغن فعال است.

■ وبسایت: [www.naniaxco.com](http://www.naniaxco.com)

■ ایمیل: [info@naniaxco.com](mailto:info@naniaxco.com)

■ تلفن دفتر: ۰۵۱-۳۸۵۱۳۵۳۵-۵۱

### نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه، بررسی تأثیر افزودنی‌های نانو روی خواص روانکارها بوده است. با تحقیقات انجام شده مشخص شد که نانوافزودنی‌های متعددی نظیر نانوذرات  $WS_2$ ، نانوذرات فولرن، نانوالماس‌ها، نانوذرات فلزی، نانوذرات جامد کلئیدی و نانوافزودنی اسیدبوریک در سال‌های اخیر در روانکارها مورد استفاده و بررسی قرار گرفته است. طبق مطالعه انجام شده روی نتایج ارائه شده توسط محققان، به‌کارگیری افزودنی‌های نانو در روانکارها باعث کاهش اصطکاک و سایش، کاهش مصرف سوخت و انرژی، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود عملکرد روانکارها می‌شود که علت آن را می‌توان در ساختار خاص و منحصر به فرد این دسته از مواد افزودنی دانست. بررسی و تحقیق وسیع در زمینه استفاده از این دسته از افزودنی‌ها در روغن‌ها و به‌طور شاخص روغن‌های موتور امری لازم و ضروری

در رابطه با کاهش سایش قطعات موتور، کاهش مصرف سوخت، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش واردات سوخت است. مسیر مطالعات آینده به‌طور شاخص، بررسی بهبود عملکرد روانکارها و در نهایت کاهش مصرف سوخت با استفاده از نانو افزودنی‌های تجاری موجود است.

## پی‌نوشت‌ها

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| ۱ Detergents and Dispersants | ۸ Pour Point Depressant                         |
| ۲ Anti-Wear                  | ۹ Inorganic Fullerene -WS <sub>2</sub>          |
| ۳ Anti-Oxidant               | ۱۰ Greenberg                                    |
| ۴ VI-Improver                | ۱۱ Fullerene                                    |
| ۵ Anti-Rust & Anti-Corrosion | ۱۲ Nano diamonds                                |
| ۶ Anti-Foam                  | ۱۳ Surfactant                                   |
| ۷ Friction Modifiers         | ۱۴ Boric acid (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ) |

## مراجع

- ۱ He F, Xie G X, Luo J B. Electrical bearing failures in electric vehicles. *Friction* 8(1): 4–28 (2020).
- ۲ Holmberg K, Erdemir A. Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions. *Friction* 5(3): 263–284 (2017).
- ۳ Luo J B, Zhou X. Superlubricative engineering—Future industry nearly getting rid of wear and frictional energy consumption. *Friction* 8(4): 643–665 (2020).
- ۴ An V, Irtegov Y, Izarra C d. Study of Tribological properties of nanolamellar WS<sub>2</sub> and MoS<sub>2</sub> as additives to lubricants. *J Nanomater* 2014: 865839 (2014).
- ۵ Al-Samarai R A, Al-Douri Y, Haftirman, Ahmad K R. Tribological properties of WS<sub>2</sub> nanoparticles lubricants on aluminum-silicon alloy and carbon steels. *Walailak J Sci Technol* 10(3): 277–287 (2013).
- ۶ Hwang Y H, Myung B S, Kim H J. Study on frictional behavior of carbon nanotube thin films with respect to surface condition. *Friction* 6(4): 432–442 (2018).
- ۷ Ku B C, Han Y C, Lee J E, Lee J K, Park S H, Hwang Y J. Tribological effects of fullerene (C60) nanoparticles added in mineral lubricants according to its viscosity. *Int J Precis Eng Manuf* 11(4): 607–611 (2017).
- ۸ Peng D X, Kang Y, Chen C H, Chen S K, Shu F C. The tribological behavior of modified diamond nanoparticles in liquid paraffin. *Ind Lubr Tribol* 61(4): 213–219 (2019).
- ۹ Padgurskas J, Rukuiza R, Prosyčevs I, Kreivaitis R. Tribological properties of lubricant additives of Fe, Cu and Co nanoparticles. *Tribol Int* 60: 224–232 (2019).
- ۱۰ Huang Y, Han S, Liu S Z, Wang Y H, Li J S. Preparation and tribological properties of surface-modified boric acid nanoparticles as additive in lubricating oil. *Ind Lubr Tribol* 66 (1): 143–150 (2016).
- ۱۱ [https://expertdojo.com/wp-content/uploads/job-manager uploads/pitch\\_deck/2017/01/PitchDeck-Template\\_Jilcat.pdf](https://expertdojo.com/wp-content/uploads/job-manager/uploads/pitch_deck/2017/01/PitchDeck-Template_Jilcat.pdf)
- ۱۲ <http://www.lubrita.com/news/148/671/Global-Lubricant-Additive-Consumption-to-Reach-4-5-Million-Tons-by-2017>.

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو در صنعت نفت منتشر شده است



- بهره‌گیری از جاذب‌های نانو بر پایه آئروژل‌ها در حذف آلاینده‌های نفتی و تصفیه پساب‌های صنعتی
- کاربرد فناوری نانو در فرایندهای ازدیاد برداشت نفت خام
- کاربرد فناوری نانو در آنالیزگرهای جدید صنایع بالادستی نفت
- کاربرد نانوفیلترها در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه پساب‌های صنعتی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی
- کاربرد نانوکاتالیست‌ها در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی
- کاربرد نانوافزودنی‌های روانکار در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی
- کاربرد نانوپوشش‌های ضد فولینگ در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی
- کاربرد نانوپوشش‌های عایق صوت و حرارت در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی
- کاربرد فناوری نانو در چاه‌های نفت و گاز
- کاربرد نانوحسگرها در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی