فصلنامه‌ی علمی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۱۰، شماره‌ی ۲، تابستان ۱۴۰۰

# سنتز نانوذرات سیلیس و کربن توخالی و بررسی عملکرد سایشی نانو روانکار حاوی آن‌ها

نوع مقاله: علمی پژوهشی

**غزال مبرهن[۱]، مهدی قهاری[۲*]، اشکان ذوالریاستین[۳]، میثم عراقی[۴]**

[۱] کارشناس ارشد، گروه نانو مواد و نانو پوشش، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران
[۲] دانشیار، گروه نانو مواد و نانو پوشش، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران
[۳] استادیار، گروه پژوهشی مواد غیرفلزی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
[۴] دانشجوی دکتری، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران

*maghahari@icrc.ac.ir

**اطلاعات مقاله:**

**دریافت:** ۱۶ آذر ۱۳۹۹
**پذیرش:** ۳۰ دی ۱۳۹۹
صفحه ۱ تا صفحه ۱۵
**در دسترس در نشانی:**
www.ijcse.ir
**زبان نشریه:** فارسی
**شاپا چاپی:** ۲۳۵۲-۲۳۲۲
**شاپا الکترونیکی:**
۲۷۸۳-۳۰۰۳

**چکیده:**

*روانکارها نقش مهمی در روانکاری سطوح متحرک ایفا می‌کنند، در حالی که گرمای بیش از حد را حذف نموده، و سایش و آلودگی سیستم را کاهش می‌دهند. با این حال، لازم است افزودنی‌های مناسب به مواد روانکار افزوده شوند تا عملکرد آن‌ها ارتقا یابد. طی چند دهه گذشته پیدایش فناوری نانو زمینه‌ساز انجام مطالعات تجربی زیادی در زمینه استفاده از نانوذرات به عنوان مواد افزودنی روانکار (همچنین معروف به نانوروانکارها) شده است.*

*دراین مقاله دو نوع مختلف از ذرات سنتز شدند. نانو سیلیس و کربن توخالی به شکل کروی و اندازه ذره به ترتیب زیر ۳۰ و ۲۰۰ نانومتر سنتز شدند. در ضمن نانوذرات سیلیس با کربن پوشش داده شدند. عملکرد سایشی ذرات با آزمون چهار ساچمه اندازه‌گیری شد. همچنین ضریب اصطکاک نانوروانکار حاصل از افزودن ذرات نیز توسط روش pin on disk ارزیابی شد. نتایج نشان دادند که غلظت بهینه برای ذرات سنتز شده ۰٫۱ درصد وزنی است به‌طوری که در این غلظت بهترین عملکرد سایشی را داشتند. عرض سایش در روانکار پایه (بهران توربین ۳۲) ۸۴۵ میکرون به‌دست آمد، درصورتی که، در نانوروانکارهای به‌دست آمده از افزودن کربن توخالی و نانو سیلیس پوشش داده شده با کربن، به ترتیب به ۶۴۷ و ۵۸۷ میکرون (معادل کاهش ۲۵ و ۳۰ درصدی) رسید. در ضمن ضریب اصطکاک در نانوروانکار حاوی نانوسیلیس پوشش داده شده با کربن حدود ۴۵ درصد نسبت به روانکار پایه کاهش یافته است.*

*نتایج ضریب هدایت حرارتی نیز نشان داد که ذرات سنتز شده باعث افزایش این ضریب شده‌اند و عملکرد ذرات کربنی توخالی بهتر از نانوذره سیلیس بوده است. با افزایش دمای روانکار، ضریب هدایت حرارتی نانوروانکار ۱۰ درصد بیشتر از روانکار پایه بدست آمده است. در ضمن تمام ویژگی‌های فیزیکی روانکار قبل و بعد از افزودن نانوذرات مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که نانوذرات تغییر معنی‌داری در خواص فیزیکی روانکار پایه ایجاد نمی‌کنند.*

**کلیدواژه:**

*نانوروانکار، نانوسیلیس، ذرات کربنی توخالی، سایش، ضریب اصطکاک*

**کد DOR:** 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8

[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

## ۱- مقدمه

اصطکاک و سایش پدیده‌های ذاتی هستند که با حرکت نسبی دو سطح در نزدیکی یکدیگر همراه هستند. این پدیده‌ها را می‌توان در همه‌جا در زندگی روزمره و در کاربردهای مختلف صنعتی یافت، که در آن نقش مهم و غالبا نقش اصلی برای دستیابی به کار بهینه را ایفا می‌کنند. سایش و اصطکاک یکی از علل اصلی خرابی موتورها، چرخ دنده‌ها، یاطاقان و غیره هستند. اتلاف انرژی، مسئله اصلی مرتبط با مقادیر بالای ضرایب اصطکاک و سایش است [۱، ۲]. علیرغم توسعه و پیشرفت مطلوب در روانکارها، سالانه میلیاردها دلار در بسیاری از صنایع و وسایل نقلیه موتوری به دلیل اصطکاک موتورها هدر می‌رود. بنابراین، نیاز عمده ای به توسعه‌ی کارآمدتر و موثرتر روانکارها وجود دارد. بسیاری از افراد با استفاده از نانومواد، روانکارها را اصلاح کردند که به نظر می‌رسد آینده روشنی داشته باشد. طی چند دهه گذشته پیدایش فناوری نانو زمینه‌ساز انجام مطالعات تجربی زیادی در زمینه استفاده از نانوذرات به عنوان مواد افزودنی روانکار (همچنین معروف به نانوروانکارها) شده است. نانوروانکارها راهکاری برای مشکلات زیست محیطی مرتبط با مواد افزودنی سنتی روانکارها حاوی کلر و فسفر ارائه می‌دهند. علیرغم عملکرد تریبولوژیک، پایداری بلندمدت ضعیف نانوروانکارها موجب محدودیت استفاده از آن‌ها در کاربردهای واقعی می‌شود.

افزودن نانوذرات به روانکارها به طرز چشمگیری اصطکاک سطح مشترک را کاهش داده و ظرفیت تحمل نیرو را افزایش می‌دهد. پنگ و همکاران تاثیر الماس و نانوذرات $SiO_2$ بر خواص تریبولوژیک پارافین را بررسی کرده‌اند [۳] .مطالعات نشان داده‌اند که مقدار نانوذرات در روغن‌های پایه به شدت بر خواص تریبولوژیکی روانکارها تاثیرگذار است. با این حال، به منظور یافتن غلظت بهینه، برای حداقل ضریب اصطکاک، بررسی همه پارامترهای سیستم کار ضروری است؛ کلیک و همکاران نشان دادند که نانوذرات hBN در روغن موتور، به دلیل ساختار لایه‌ای و نرمی نانوذرات تاثیر خود ترمیمی دارند. آن‌ها بر اساس مشخصه‌سازی سطح با استفاده از SEM و EDS دریافتند که روغن پایه حاوی نانوذرات، میزان سایش کمتری را نشان می‌دهد زیرا نانوذرات، ناهمواری‌ها را از طریق تاثیر مرمت پوشش می دهد. آن‌ها این مکانیسم را از طریق اندازه‌گیری مقادیر زبری سطح تایید کردند [۴]. ژانگ و همکاران تاثیر نانوذرات Sn و Fe بر خواص تریبولوژیکی سیکلو ۳۲ مپنتان‌های آلکیل‌دار شده مضاعف (MACs) را بررسی نموده و نشان دادند که این نانوذرات، اصطکاک و سایش روغن MAC (روانکار مورد مصرف در صنعت فضایی) کاهش می‌دهند. در ضمن نتایج نشان دادند که نانوذرات Fe قابلیت ضد سایش بهتری از خود نشان دادند [۵].

رامون ریگوزا و همکاران گزارش دادند که ساختار لایه‌ای نانو ورقه‌های گرافن چند لایه و پوسته پوسته شدن مداوم بین آن‌ها باعث می‌شود لغزش سطحی که مسئول تشکیل غشای سایشی است آسان‌تر شود [۶]. نانوذرات به علت نیروهای وان در والس تمایل به تجمع دارند. برای بررسی این موضوع، تلاش‌های زیادی انجام شده است تا پایداری نانو روانکارهای حاصل از آمایش(اصلاح) فیزیکی، استفاده از سورفکتانت‌ها و اصلاح سطح نانوذرات بهبود یابد [۷]. نانو



[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

الماس‌ها معمولاً با انفجار ناگهانی‌تری نیتروتولوئن در یک محفظه بسته به دست می‌آیند [۸]. متوسط اندازه این نانوذرات nm ۶-۴ بوده و دارای سطح ویژه الماس $m^2/g$ ۴۰۰ -۳۵۰ می‌باشند. هدف از به کار بردن نانو الماس‌ها به عنوان افزودنی روان‌کننده‌ها، اندودکاری سطوح لغزشی می‌باشد. این اندودکاری موجب افزایش مقاومت در مقابل سایش، توانمندسازی روانکاری لغزشی میان سطوح و کاهش اصطکاک می‌شود [۹، ۱۰]. نانو الماس‌ها با پوشش سطح تماس موجب کاهش قابل توجه ضریب اصطکاک می گردند. پوشش نانو الماس موجب کاهش سطح تماس شده و لذا نیروی کششی میان فصل مشترک دو سطح نیز کم می شود. کاربرد نانو الماس به عنوان یک ماده افزودنی در روغن موتور، موجب کاهش مصرف بنزین و افزایش عمر موتور می‌گردد [۱۱].

چو و لی با افزودن ppm ۱۵۰-۵۰ نانو الماس به روان‌کننده ها، کاهش سایش در آزمون میله روی صفحه را مشاهده نمودند [۷].

در مطالعه‌ای که توسط صداقت حسینی و همکارانش صورت گرفت به ارزیابی نقش افزودن نانو الماس‌ها روی ویژگی‌های روغن‌های موتور و سایش بخش‌های داخلی موتور پرداختند. این محققین به این نتیجه رسیدند که افزودن نانو الماس، موجب بهبود چشمگیر خواص و عملکرد روغن موتور نسبت به نمونه روغن موتور بدون نانوذرات الماس گردیده است [۱۲].

هدف از این تحقیق سنتز دو ذره نانو سیلیس و کربن توخالی و بررسی رفتار سایشی آن‌ها در روانکار است. مصرف انرژی در نیروگاه‌های تولید برق نیز به اندازه مصرف بنزین در موتور خودروها از اهمیت به سزایی برخوردار است. از آنجا که در توربین‌های گازی نیروگاه برق نیز از روانکار استفاده می‌شود، لذا بررسی تاثیر نانوذرات در بهبود عملکرد روانکار مصرفی از اهمیت خاصی برخوردار است. به همین جهت، ذرات سنتز شده در روانکار پایه ( بهران توربین ۳۲) در درصدهای وزنی کمتر از یک درصد پخش خواهند شد. در نهایت آزمون‌های سایش و هدایت حرارتی بر روی نانوروانکار انجام خواهد شد تا عملکرد نانوذرات ارزیابی شوند.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

### ۲-۱- مواد

مواد اولیه مورد مصرف در این طرح در جدول ۱ آورده شده است. تمام مواد از شرکت مرک و با خلوص ۹۹,۹ درصد خریداری شده‌اند. TEOS، اتانول، ریزول سینول، فرمالدئید و آمونیاک از جمله موادی هستند که برای سنتز نانوذرات مورد نظر، خریداری شدند.

**جدول ۱- مواد اولیه برای سنتز نانوذرات سیلیس و ذرات توخالی کربنی**

| | | |
|---|---|---|
| سدیم سیتریت | ٪۹۹ | Dae jung chem |
| اتانول | ٪۹۸ | Merck |
| آمونیاک | ٪۲۵ $NH_3$ | Merck |
| TEOS | ٪۹۸ | Merck, Dae jung chem |
| ریسورسینول | ٪۹۹ | SigmaAldrich |
| فرمالدهید | ٪۳۷ | SigmaAldrich |
| APTES | ٪۱۰۰ | SigmaAldrich |



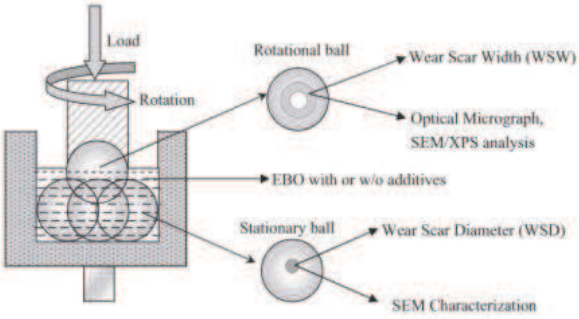
[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

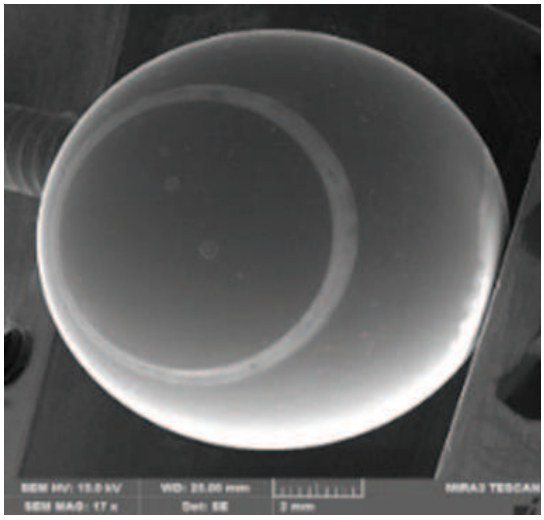
## ۲-۲- دستگاه‌های شناسایی

دستگاه‌های ارزیابی خواص در این تحقیق دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی FESEM با مدل MIRA3TESCAN-XMU، طیف سنجی تبدیل فوریه زیر قرمز (FT-IR ) با مدل spectrum one بودند. در ضمن کلیه خواص فیزیکی روانکارها در آزمایشگاه مرجع سوخت و روغن پژوهشگاه نیرو تحت استانداردهای مشخص (جدول ۳) انجام شده است. ضریب هدایت حرارتی روانکارها توسط دستگاه KD2-Pro اندازه گیری شد. آزمون pin on disk با شرایط مقدار نیروی اعمالی: ۱۰ نیوتن، مسافت: ۱۰۰۰ متر، سرعت: ۱۰۰ rpm، جنس پین: رولبرینگ ۵۲۱۰۰ و جنس دیسک: CK45 انجام گرفت.

آزمون ۴ ساچمه برای بررسی میزان سایش و ارزیابی عملکرد روانکار تحت بار مکانیکی مورد استفاده قرار گرفت. آزمون مطابق استاندارد ASTM-D551078 و در شرایط نیرو ۴۰ Kg، سرعت چرخش ۱۵۰۰ rpm، زمان ۶۰ دقیقه انجام شد. همانطور که از شکل ۱ مشاهده می‌شود، دستگاه از چهار ساچمه تشکیل شده است که به‌صورت هرم قرارگرفته‌اند. ساچمه بالایی توسط بازویی تحت نیرو قرار گرفته و با سرعت مشخصی می‌چرخد. سه ساچمه پایینی ثابت هستند. سایش ساچمه بالا به‌صورت نواری پیوسته خواهد بود که عرض این نوار ملاک میزان سایش است. شکل ۲ تصویر SEM ساچمه متحرک را پس از انجام آزمون نشان می‌دهد. محل سایش به خوبی در این تصویر دیده می‌شود. عرض سایش با WSW (wear scar width) نشان داده می‌شود. اما سایش روی ساچمه‌های پایین به‌صورت یک دایره خواهد بود که قطر آن نیز ملاک میزان سایش است. قطر سایش با WSD (wear scar diameter) نشان داده می‌شود. هر دو سایش را می‌توان با میکروسکوپ نوری و یا الکترونی مورد ارزیابی قرار داد. در این تحقیق از SEM برای اندازه گیری عرض سایش استفاده شد.




**شکل ۱- شمایی از آزمون چهار ساچمه**



**شکل ۲- ساچمه متحرک پس از انجام آزمون**

بسته به عملکرد روانکار ضخامت، قطر و ارتفاع پستی بلندی‌های ایجاد شده در محل سایش تغییر می‌کنند. ضخامت و قطر محل سایش به راحتی قابل اندازه‌گیری است. اما ارتفاع شیارها به راحتی قابل ارزیابی نیستند. اصولا سه نوع شیار در محل سایش



[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

ایجاد میشوند که می‌توان آن‌ها را به‌صورت عمیق، متوسط و نرم طبقه‌بندی کرد. در شکل ۳ نمونه‌هایی از چنین شیارهایی مشخص شده است. این موضوع از این جهت اهمیت دارد که هر سه ناحیه در اندازه‌گیری عرض سایش لحاظ می‌شوند اما در نظر باید داشت که روانکاری که سایش نرم بیش‌تری ایجاد می‌کند طبیعتا عملکردی مناسب‌تری خواهد داشت.

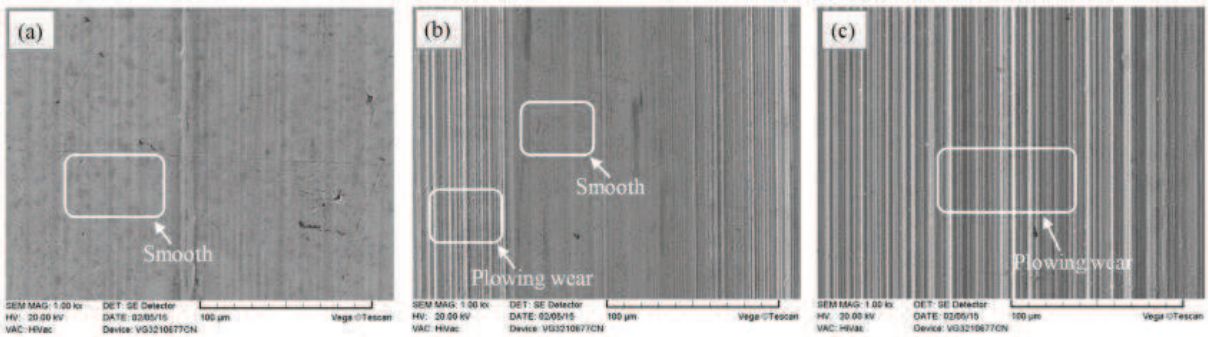
## ۲-۳- روش سنتز

دراین مقاله از روش‌های استوبر [۱۴] برای سنتز نانو سیلیس و کربن توخالی استفاده شد. نانوذرات سیلیس در اندازه‌های حدود ۳۰ نانومتر سنتز شدند. از محدوده وسیع درصدهای مولی مورد استفاده در مقالات، درصدهای مولی مشخصی انتخاب شد. در ضمن اثر دما روی توزیع اندازه ذرات نیز بررسی شد. هدف از این کار رسیدن به توزیع اندازه ذرات باریک است. سایر متغیرها نظیر سرعت هم‌زدن، pH و دما ثابت در نظر گرفته شدند [۱۵]. تترا اتیل اورتوسیلیکات (TEOS) به عنوان ماده ارگانومتالیک، آمونیا به عنوان کاتالیزور، آب به عنوان عامل هیرولیزکننده و الکل به عنوان حلال مورد استفاده قرار گرفت. نسبت مولی مواد اولیه برای سنتز ذرات سیلیس در جدول ۲ داده شده است.

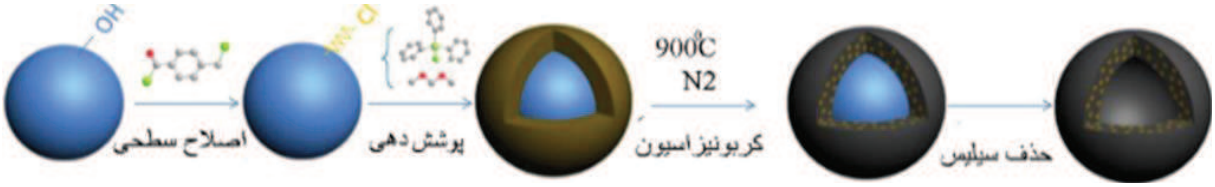
**جدول ۲- مقادیر مورد مصرف جهت سنتز سیلیس**

| مواد اولیه | TEOS (M) | آب (M) | آمونیاک (M) | اتانول (M) |
|---|---|---|---|---|
| نسبت مولی | ۰/۲۲۵ | ۵/۵ | ۲,۷ | ۱۲ |

برای سنتز کربن توخالی نیز، ابتدا ذرات سیلیس به ابعاد حدود ۲۰۰-۱۵۰ نانومتر سنتز شدند تا با پوشش آن‌ها با مواد کربنی و خروج سیلیس، کره‌های توخالی کربنی ایجاد شوند که حین عمل روانکاری خرد شوند. در این‌صورت احتمال می‌رود عملکرد سایشی را بهبود ببخشند. روش سنتز به‌طور شمایی در شکل ۴ آورده شده است.




**شکل ۳- نمایی از سه ناحیه مختلف در ساچمه متحرک [۱۳]**

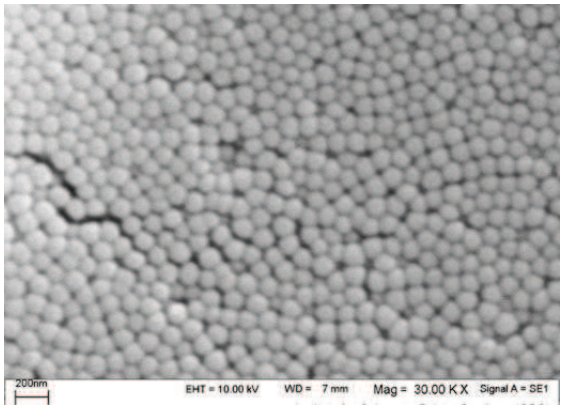



**شکل ۴- شمایی از نحوه سنتز کره‌های کربنی توخالی [۱۴]**



[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

شکل ۵ تصویر SEM ذرات سیلیس سنتز شده را نشان می دهد.



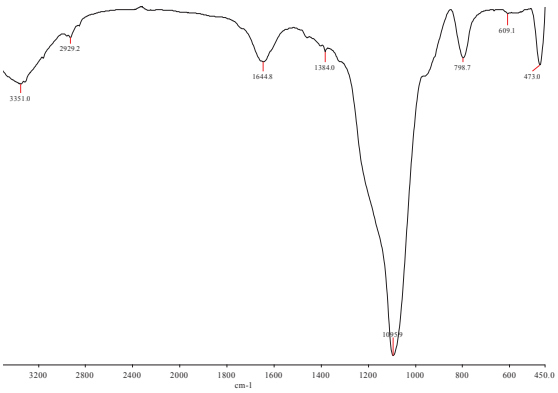

**شکل ۵- ذرات کروی سنتز شده توسط روش استوبر**

همانطور که ملاحظه می‌شود، اندازه ذرات حدود ۳۰۰ نانومتر است. برای ایجاد کربن‌های توخالی کروی در این مقاله از روش قالب‌های سخت سیلیکایی و ایجاد پوشش کربنی توسط فرمالدهید ریسورسینول استفاده شد [۱۴].

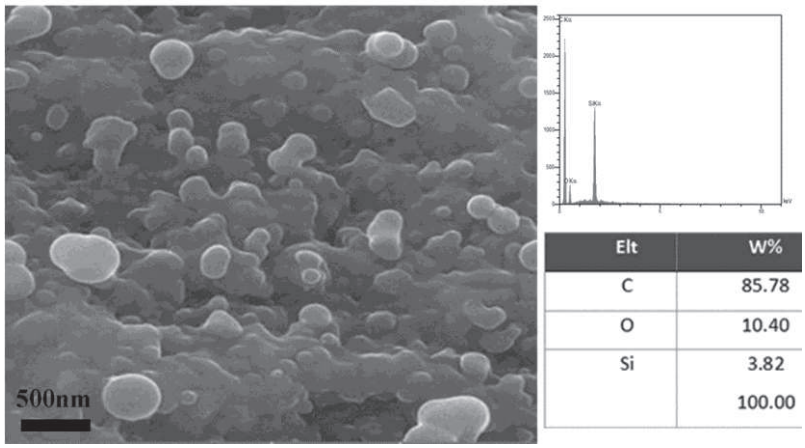
همانطور که از نمودار FTIR این ذرات بعد از اصلاح سطحی در شکل ۶ مشاهده می‌شود، پیوندهایی در ۱۳۸۴ و ۱۵۷۰ $cm^{-1}$ وجود دارند که به ترتیب نشان دهنده پیوندهای $-NH_2$، -NH هستند.

همچنین پیوند Si-OH در ۹۵۰ $cm^{-1}$ نیز ضعیف‌تر شده‌اند که نشان از عامل‌دار شدن ذرات سیلیس دارد [۱۵، ۱۶]. همانطور که از شکل ۷ مشاهده می‌شود، تمامی ذرات با ماده کربنی پوشش داده شده‌اند.

نتایج مربوط به EDX نمونه نیز بر وجود کربن و سیلیس در این نمونه دلالت دارد. کاهش شدت سیلیس نشان‌دهنده ضخامت قابل توجه پوشش کربنی است. جهت تبدیل پوشش آلی به کربن بر روی ذرات سیلیس، نمونه تحت عملیات حرارتی در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت اتمسفر نیتروژن قرار گرفت.




**شکل ۶- FTIR ذرات اصلاح سطحی شده**




| Elt | W% |
|---|---|
| C | 85.78 |
| O | 10.40 |
| Si | 3.82 |
| | 100.00 |

**شکل ۷- ذرات سیلیس پوشش داده شده با ماده آلی و نتایج EDX آن قبل از عملیات حرارتی**



[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

شکل ۸ تصویر SEM این نمونه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، ذرات سیلیس به خوبی با کربن پوشش داده شده‌اند. شکل ۸ نتایج EDX از این نمونه را نشان می دهد که نشان از وجود کربن و سیلیس در نمونه را دارد. افزایش شدت پیک سیلیس دلالت بر کاهش ضخامت پوشش آلی دارد که اکنون به کربن خالص تبدیل شده است. در مرحله آخر فرایند سنتز، سیلیس باید از نمونه حذف شود تا کره‌های کربنی توخالی به‌دست آیند. این مرحله از اهمیت فراوانی برخوردار است زیرا عدم اتخاذ فرایند مناسب باعث تخریب لایه کربنی خواهد شد. برای این کار پس از به کارگیری روش‌های متعدد، از سود سوزآور در دو غلظت ۰/۲۵ مولار و ۱ مولار استفاده شد. نتایج SEM که در شکل ۹ آورده شده‌اند، نشان می‌دهند که عملکرد سود سوزآور ۱ مولار بهتر بوده است و کره‌های کربنی توخالی به خوبی شکل گرفته‌اند. در نمونه با غلظت ۰/۲۵ مولار، هنوز بخشی از سیلیس باقی مانده است. نتایج EDX دلالت بر حذف سیلیس دارند.

## ۳- نتایج و بحث

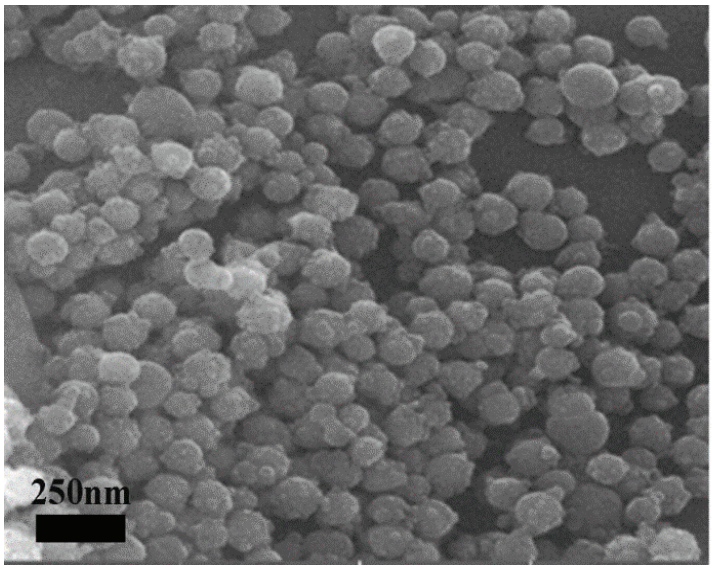
### ۳-۱- آنالیز روانکار پایه

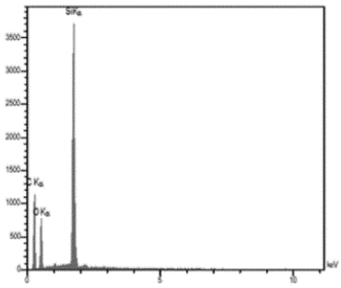
روانکار پایه مورد مصرف، روغن توربین بهران ۳۲ است. جهت ارزیابی عملکرد نانوذرات، روانکار پایه مورد ارزیابی فیزیکی و مکانیکی قرار گرفت تا نتایج نانوروانکار نهایی با این روغن مقایسه شود. شکل ۱۰ نمونه ظاهری این روغن را نشان می‌دهد. در جدول ۳ نتایج اندازه‌گیری خواص فیزیکی روانکار آورده شده است.

### ۳-۲- سیلیس

#### ۳-۲-۱- آنالیز ریزساختاری

شکل ۱۱ تصاویر SEM نمونه‌های سنتز شده سیلیس در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. یکی از روش‌های کنترل توزیع اندازه ذرات، دما است که می‌توان با افزایش کنترل‌شده دما به توزیع اندازه ذرات دلخواه رسید. جدول ۴ متوسط اندازه ذرات را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج SEM، دمای مناسب ۶۰°C تشخیص داده‌شد.



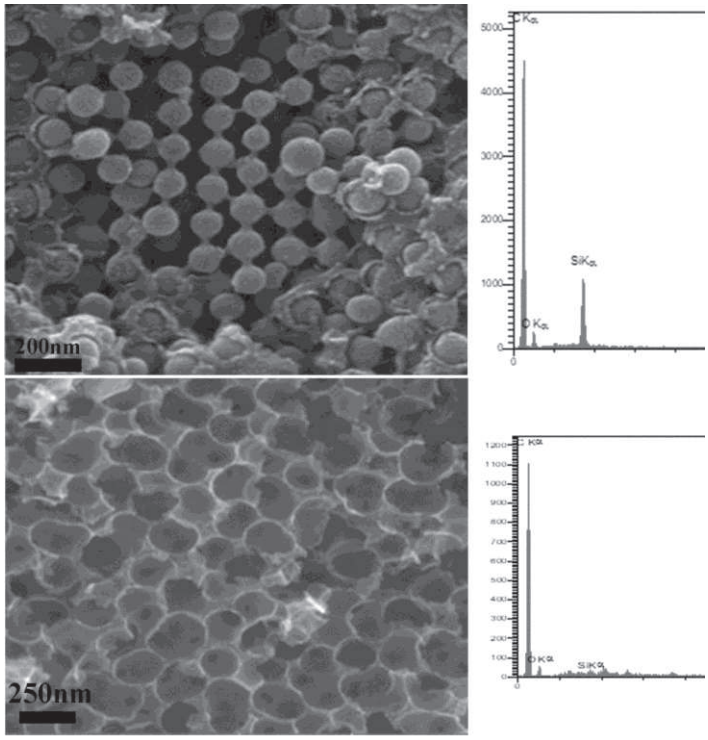
| Elt | W% |
|---|---|
| C | 56.86 |
| O | 28.42 |
| Si | 14.72 |
| | 100.00 |

**شکل ۸- سیلیس پوشش داده شده با کربن و نتایج EDX مربوطه پس از عملیات حرارتی**



[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]




**شکل ۹- نمونه کربن توخالی پس از شستشو با سودسوزآور ۰,۲۵ مولار EDX آن (بالا) و نمونه کربن توخالی پس از شستشو با سودسوزآور ۱ مولار و نتیجه EDX از آن**

**جدول ۳- نتایج خواص فیزیکی روانکار بهران توربین ۳۲**

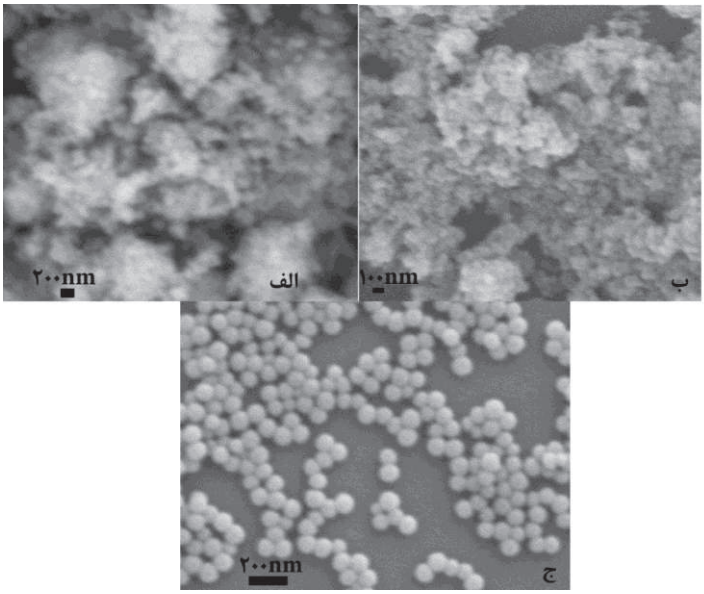
| آزمون | استاندارد ASTM | واحد | نتایج |
|---|---|---|---|
| ضریب هدایت حرارتی در دمای | | K(W/m.k) | |
| ۲۵ °C | | | 0.320 |
| ۳۵ °C | | | 0.327 |
| ۴۵ °C | | | 0.335 |
| نقطه اشتعال | D 92 | °C | 218 |
| نقطه احتراق | D 92 | °C | 256 |
| نقطه ریزش | D 97 | °C | -12 |
| ویسکوزیته سینماتیک در ۴۰ °C | D 7042 | $mm^2/s$ | 34.51 |
| ویسکوزیته سینماتیک در ۱۰۰ °C | D 7042 | $mm^2/s$ | 5.660 |
| اسیدیته کل | D 974 | mgKOH/g | 0.082 |



[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

شکل ۱۰- نمونه ظاهری روانکار بهران توربین ۳۲




شکل ۱۱- تاثیر دما بر روی اندازه ذرات سیلیس، (الف ۶۰، ب ۳۸ و ج ۲۵°C)

جدول ۴- تاثیر دما بر روی اندازه ذرات سیلیس

| دمای سنتز(°C) | ۲۵ | ۳۸ | ۶۰ |
|---|---|---|---|
| متوسط اندازه ذرات (nm) | ۱۰۰ | ۵۰ | ۲۵ |

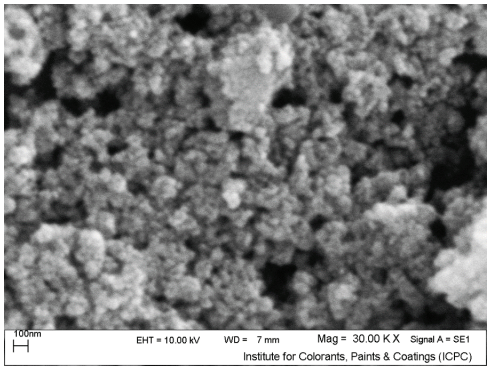
## ۳-۲-۲- عملکرد سایشی نانو سیلیس

در این تحقیق، عملکرد سایشی ذرات سیلیس کروی که با کربن (silica@carbon) پوشانده شده‌اند، بررسی شد. علت پوشش دادن سیلیس با کربن، کمک به پخش سیلیس در روانکار است. همانطور که انتظار می‌رود و در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، اندازه ذرات Silica@C کمی بیشتر از نانوذرات سیلیس بدون پوشش (شکل ۵-ب) هست. مکانیزم پیش‌بینی شده برای چنین ذرات کروی شکلی با سختی کم تر از الماس، غلطکی هست. انتظار می‌رود سطح سایش دارای شیارهایی با عمق کم باشد.



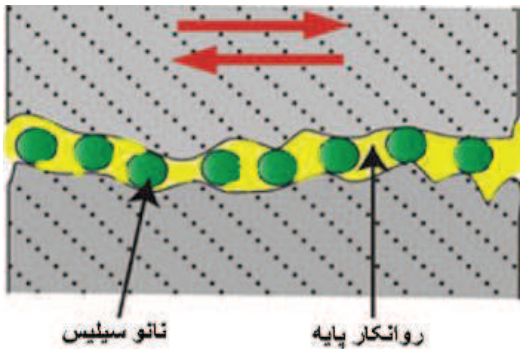
[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]



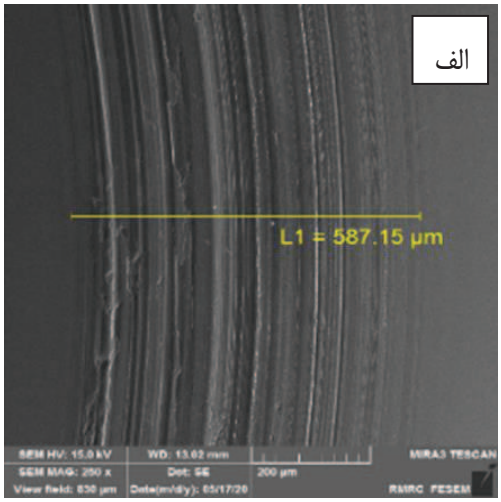

**شکل ۱۲- تصویر SEM از نمونه silica@carbon**

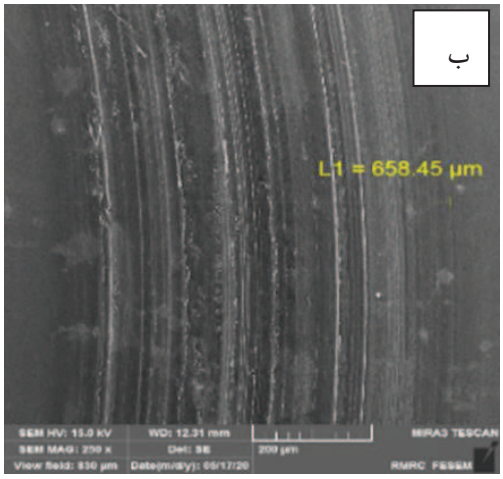
طبق شکل ۱۳، که به‌طور شمایی این مکانیزم را نشان می دهد، تا زمانی که نیروی اعمالی بین دو سطح از نیروی لازم برای خرد کردن سیلیس کم‌تر باشد، نیروی اعمالی توسط ذرات سیلیس گرفته شده و شیار کم‌تری ایجاد می‌شود. به نظر می‌رسد با افزایش نیرو کارآمدی این مکانیزم با مشکل مواجه می‌شود و عمق شیار نیز افزایش می‌یابد. همانطور که از تصویر سطح سایش (شکل ۱۴) مشاهده می‌شود، با حرکت به سمت کناره‌های رینگ که نیرو کم‌تر است، میزان عمق سایش نیزکاهش می‌یابد.



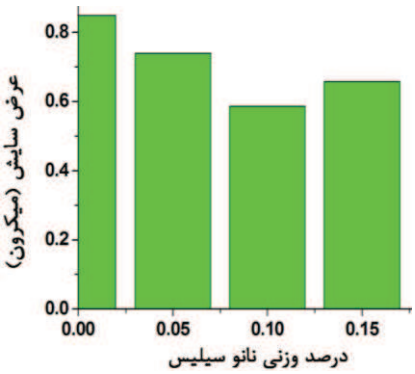

**شکل ۱۳- شمایی از مکانیزم غلطکی**

تغییرات عرض سایش ساچمه متحرک با مقدار نانوذره در شکل ۱۵ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار بهینه نانوذره، ۰/۱ درصد وزنی است.




**شکل ۱۴- تصویر SEM از محل سایش با نانوروانکار حاوی silica@carbon در دو مقدار ۰,۱ (الف) و ۰,۱۵ درصد وزنی**




**شکل ۱۵- تغییرات عرض سایش با مقدار silica@carbon**

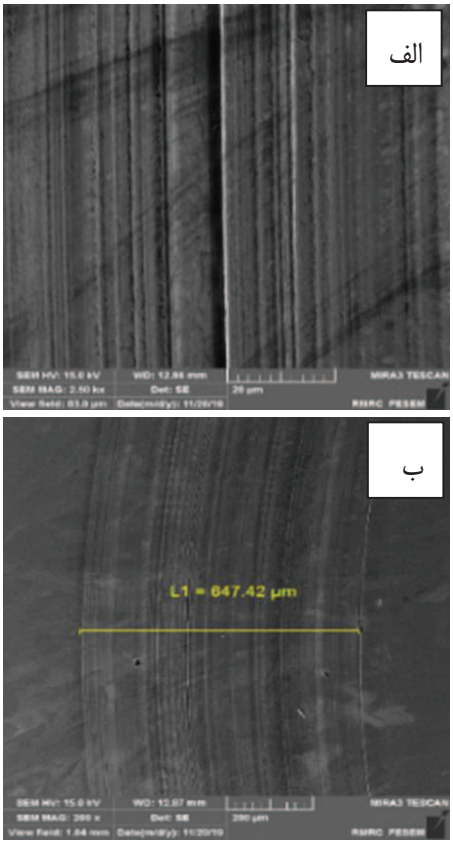


[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

## ۳-۳- عملکرد سایشی کربن توخالی

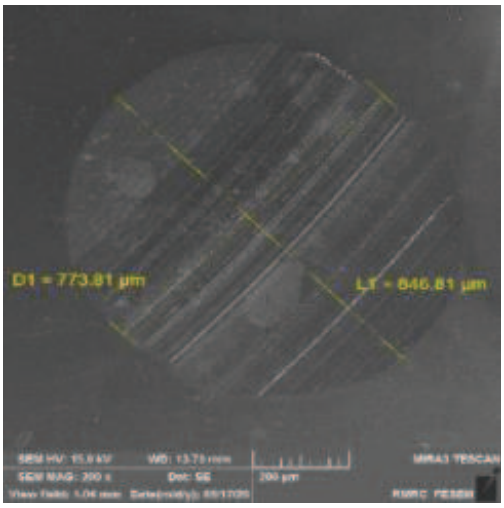
ذرات کربنی تو خالی کره‌های به قطر ۲۰۰ نانومتر هستند که از پوسته کربنی تشکیل شده‌اند. شکل۹ تصویر SEM این ذرات را نشان می‌دهد. این ذرات به این جهت استفاده شدند که ممکن است کره‌های کربنی پس از تخریب به صورت لایه‌هایی در مرز مشترک دو فلز قرار گیرند و ضریب اصطکاک را کاهش دهند و قبل از تخریب نیز از مکانیزم رولینگ باعث بهبود سایش شوند. نتایج آزمون چهار ساچمه و تصاویر SEM از سطح سایش نشان می‌دهند (شکل ۱۶) که این ذرات عملکرد سایشی مناسبی ندارند.




**شکل ۱۶- تصویر SEM از سطح سایش برای نانوروانکار حاوی ۰,۱ درصد وزنی کربن توخالی (ب) و تصویر سطح سایش در بزرگنمایی بالاتر**

حتی عمق سایش در کل عرض سایش قابل توجه است و در کناره‌های رینگ سایش نیز شیارهای عمیق دیده می شوند. تصویر در بزرگ‌نمایی بالاتر (شکل ۱۶) موید این نکته است. در ضمن همانطور که شکل ۱۷ نشان می‌دهد قطر سایش در ساچمه ثابت نیز مقدار زیادی دارد و در نمونه حاوی ۰,۱ درصد وزنی به ۸۴۷ میکرون رسیده است. در ضمن شیارهای عمیقی در سطح آن دیده می‌شود. لذا به نظر می‌رسد این ذرات مناسب برای این طرح نیستند.

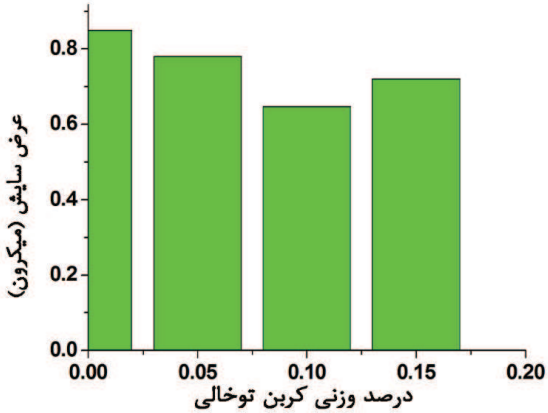
درصد بهینه مقدار کربن حدود ۱/ ۰درصد وزنی به دست آمد (شکل ۱۸). البته ذکر این نکته حائز اهمیت هست که تاکنون تحقیقی در مورد اثر روانکاری ذرات کربن توخالی انجام نشده است. الازمی و همکاران با استفاده از ذرات کربنی کروی به قطر ۴۰۰ نانومتر توانستند مقدار سایش را تا ۲۵ درصد نسبت به روانکار پایه کاهش دهند [۱۷]. پانیکار و همکاران نیز با سنتز ذرات کروی کربنی حدود ۳۰۰ نانومتری به روش CVD توانستند ضریب اصطکاک را تا ۱۱ درصد نسبت به روانکار پایه کاهش دهند [۱۸].




**شکل ۱۷- تصویر SEM از سطح سایش ساچمه ثابت در نمونه حاوی ۰,۱ درصد وزنی**



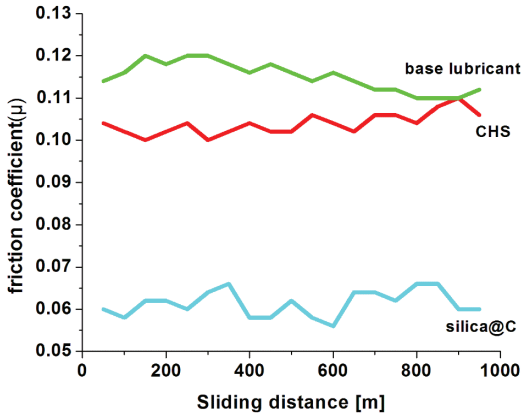
[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]




شکل ۱۸- تغییرات عرض سایش با مقدار ذره

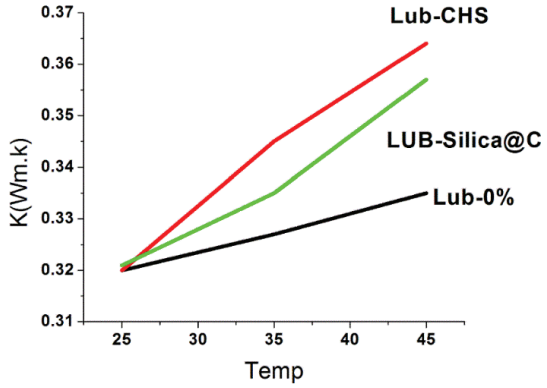
## ۳-۴- ضریب اصطکاک و هدایت حرارتی نانوروانکار

شکل ۱۹ نتایج آزمون پین بر روی دیسک را نشان می‌دهد. این آزمون در فشار مکانیکی کم‌تری نسبت به آزمون چهار ساچمه صورت گرفته است. همانطور که ملاحظه می‌شود تفاوت معنی‌داری بین ضریب اصطکاک دو نمونه نانوروانکار حاوی کربن توخالی و روانکار پایه وجود ندارد. لذا از این ذرات برای کاربردهایی که بار مکانیکی کمی بین سطوح سایش وجود دارد، می‌توانند پیشنهاد شوند. اما این مقدار در نانو روانکار حاوی silica@C به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است.




شکل ۱۹- نتایج آزمون پین بر روی دیسک

اما نتایج هدایت حرارتی نشان می‌دهد که عملکرد هدایت حرارتی این ذرات نسبت به روانکار پایه بهبود قابل توجهی پیدا کرده است. شکل ۲۰ نتایج هدایت حرارتی را در سه دمای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، با افزایش دما، اختلاف ضریب هدایت حرارتی دو نمونه اختلاف معنی‌داری پیدا می‌کنند. این موضوع از آن جهت اهمیت پیدا می‌کند که دمای روغن حین کار، معمولا بالای ۵۰ درجه است. این موضوع که آیا افزودن نانوذره در روانکار بر خواص فیزیکی آن تاثیر می‌گذارد یا نه، از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا این موضوع برای بهترین نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج در جدول ۵ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن نانوذره به روانکار پایه، خواص فیزیکی آن را تغییر معنی‌داری نداده است.




شکل ۲۰- نتایج ضریب هدایت حرارتی در دماهای مختلف

## ۴- نتیجه‌گیری

در این طرح پس از سنتز نانوذرات سیلیس، نانو سیلیس پوشش داده شده با کربن و نانوذرات کربنی توخالی عملکرد سایشی آن‌ها با آزمون چهار ساچمه اندازه‌گیری شد. همچنین ضریب اصطکاک نانوروانکار حاصل از افزودن نانوذرات نیز توسط روش pin on disk ارزیابی شد. نتایج



[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

جدول ۵- نتایج خواص فیزیکی روانکار بهران توربین ۳۲ و دو نمونه نانو روانکار

| آزمون | واحد | بهران۳۲ | silica@C | کربن توخالی |
|---|---|---|---|---|
| نقطه اشتعال | $^oC$ | ۲۱۸ | ۲۲۵ | ۲۱۶ |
| نقطه احتراق | $^oC$ | ۲۵۶ | ۲۵۶ | ۲۵۴ |
| نقطه ریزش | $^oC$ | -۱۲ | -۱۰ | -۹ |
| ویسکوزیته سینماتیک در ۴۰$^oC$ | $mm^2/s$ | ۳۴/۵ | ۳۶/۵ | ۳۴/۹ |
| ویسکوزیته سینماتیک در ۱۰۰$^oC$ | $mm^2/s$ | ۵/۶ | ۶ | ۵/۸ |
| اسیدیته کل | mgKOH/g | ۰/۰۸ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ |

نشان دادند که تمامی نانوذرات در غلظت‌های بهینه عملکرد سایشی بهتری نسبت به روانکار پایه (بهران توربین ۳۲) دارند. نتایج ضریب هدایت حرارتی نیز نشان داد که نانوذرات باعث افزایش این ضریب شده‌اند و عملکرد نانوذرات کربنی توخالی بهتر از سایر نانوذرات بوده است. با افزایش دمای روانکار اختلاف بین ضریب هدایت حرارتی ناروانکار با روانکار پایه بیشتر می‌شود.

در ضمن تمام ویژگی‌های فیزیکی روانکار قبل و بعد از افزودن نانوذرات مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که نانوذرات تغییر معناداری در خواص فیزیکی روانکار پایه ایجاد نمی‌کنند.

## مراجع


[۱] مروری بر کاربرد فناوری نانو در روانکارها، نجمه فرزین‌نژاد ، سید جمال حسنی‌راد، فصلنامه تخصصی علمی ترویجی/ زمستان ۱۳۹۳ / شماره ۴۸.

[۲] بررسی اثر ضدسایشی نانوذرات مغناطیسی آهن اکسید در روغن موتور چند درجه‌ای در مقایسه با روغن موتور معمولی، فرشته قربانی نایینی، حمیدرضا اسکندری، داود ابراهیمی/ نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی (JARC) سال دوازدهم، شماره ۱، بهار۹۷.

[3] D. X. Peng, Y. Kang, R. M. Hwang, S. S. Shyr, and Y. P. Chang, "Tribological properties of diamond and $SiO_2$ nanoparticles added in paraffin," Tribol. Int., vol. 42, no. 6, pp. 911–917, 2009.

[4] I. Ali et al., "Advances in carbon nanomaterials as lubricants modifiers," J. Mol. Liq., 2019.

[5] S. Zhang, L. Hu, D. Feng, and H. Wang, "Anti-wear and friction-reduction mechanism of Sn and Fe nanoparticles as additives of multialkylated cyclopentanes under vacuum condition," Vacuum, vol. 87, pp. 75–80, 2013.

[6] M. Sgroi et al., "Friction reduction benefits in valve-train system using IF-$MoS_2$ added engine oil," Tribol. Trans., vol. 58, no. 2, pp. 207–214, 2015.

[7] N. F. Azman and S. Samion, "Dispersion stability and lubrication mechanism of nanolubricants: A review," Int. J. Precis. Eng. Manuf. Technol., vol. 6, no. 2, pp. 393–414, 2019.

[8] V. N. Mochalin, O. Shenderova, D. Ho, and Y. Gogotsi, "The properties and applications of nanodiamonds," Nat. Nanotechnol., vol. 7, no. 1, p. 11, 2012.

[9] C.-C. Chou and S.-H. Lee, "Tribological




[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

behavior of nanodiamond-dispersed lubricants on carbon steels and aluminum alloy," Wear, vol. 269, no. 11–12, pp. 757–762, 2010.

[10] A. P. Puzyr, A. E. Burov, G. E. Selyutin, V. A. Voroshilov, and V. S. Bondar, "Modified nanodiamonds as antiwear additives to commercial oils," Tribol. Trans., vol. 55, no. 1, pp. 149–154, 2012.

[11] J. Sung, Diamond Nanotechnology: Synthesis and Applications. Pan Stanford, 2009.

[12] M. S. Hosseini, M. Rostami, and A. Mohammadi, "Study of Effects of Nano-diamond as an oil additive on engine oil properties and wear rate of the internal parts of agricultural tractors engines," 2013.

[13] H. Wu.et al., An investigation on the lubrication mechanism of $MoS_2$ nano sheet in point contact: The manner of particle entering the contact area, Tribology International, 107 (2017) 48–55.

[14] Ji BongJoo, PilKim, WooyoungKim, JongsikKim, Nam DongKim, JongheopYi, Simple preparation of hollow carbon sphere via templating method, Current Applied Physics, Volume 8, Issue 6, October 2008, Pages 814-817.

[۱۵] سنتز و بررسی خواص نورتابی ذرات $SiO_2@Y_2O_3:RE^{3+}(Eu^{3+},Dy^{3+},Sm^{3+})$ با ساختار هسته- پوسته، مهدی قهاری، پایان نامه دکتری، مواد و انرژی، مهر ۸۹.

[16] I.A.Rahman, M.Jafarzadeh, C.S.Sipaut, Synthesis of organo-functionalized nanosilica via a co-condensation modification using γ-aminopropyltriethoxysilane (APTES), Ceramics International, Volume 35, Issue 5, July 2009, Pages 1883-1888.

[17] A.A. Alazemi et. Al., Ultrasmooth Submicrometer Carbon Spheres as Lubricant Additives for Friction and Wear Reduction, ACS Appl. Mater. Interfaces 2015, 7, 9, 5514–5521.

[18] R. Panickar, C.B.Sobhan, S. Chakravorti, Investigations on tribological properties of non-catalytic CVD synthesized carbon spheres in lubricant, Diamond and Related Materials, 106, June 2020, 107834



[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]

Iranian Journal of
**Ceramic Science & Engineering**
**Vol. 10, No. 2, 2021**

# Synthesis and Investigating the Wear Property of Lubricants Based Nano-Silica and Carbon Hollow Sphere

**Gh. Mobarhan[1], M. Ghahari[1,*], A. Zolriasatein[2], M. Araghi[1]**

**[1] Department of Nanomaterials and Nanocoatings, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box 16765-654, Tehran, Iran**
**[2] Non-metallic Materials Research Group, Niroo Research Institute, P.O. Box: 14665517, Tehran, Iran**

* maghahari@icrc.ac.ir

**Abstract:** Lubricants play an essential role in lubricating moving surfaces while removing excess heat and reducing system wear and contamination. However, suitable additives need to be added to the lubricants to improve their performance. The nanotechnology approach has recently led to many experimental studies on nanoparticles' application as lubricant additives (also known as nanolubricant).
In this paper, two different types of particles were synthesized. Nanosilica and hollow carbon particles were synthesized with particle sizes below 30 and 200 nm, respectively. Also, the silica nanoparticles were coated with carbon. A four-ball test measured the wear performance of particles. The pin on disk method evaluated the nano lubricants coefficient of friction resulting from the addition of nanoparticles. The results showed that the optimal concentration for the synthesized particles is 0.1% by weight, so that at this concentration, they had the best wear performance. The wear width in the base lubricant (Behran Turbine 32) was 845 microns. In comparison, it reached 647 and 587 microns in the nanolubricants obtained by adding hollow carbon and carbon-coated nanosilica, respectively (equivalent to a reduction of 25 and 30 percent).
The results of thermal conductivity also revealed that the synthesized particles increased this coefficient, and the performance of hollow carbon particles was better than silica nanoparticles. By increasing the lubricant's temperature, the nano lubricant's thermal conductivity will be 10% higher than that of the base lubricant. In addition, all the lubricant's physical properties were evaluated before and after the addition of nanoparticles, and it was found that the nanoparticles do not cause significant changes in the base lubricant's physical properties.
**Keywords:** nanolubricant, nano silica, carbon hollow sphere particle, wear, coefficient of friction.

[ Downloaded from ijcse.ir on 2025-08-02 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.2.1.8 ]