

ساخت نانو ذره نیکل پوشش دار و بررسی کاربرد آن در روانکارها

مرضیه شکرریز^{۱*}، فروزان حاجی علی اکبری^۱ و الهه ابراهیم پور ضیایی^۲

۱- پژوهشکده توسعه فناوریهای شیمیایی، پلیمری و پتروشیمی، پردیس پژوهش و توسعه صنایع پایین دستی

نفت، پژوهشگاه صنعت نفت

۲- پردیس پژوهش و توسعه صنایع پایین دستی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۳۰

چکیده

روانکارها و مواد افزودنی به آنها که سبب افزایش طول عمر و کیفیت روغن می‌گردد، به دلیل مسایل زیست محیطی بسیار مورد توجه هستند. نانو ذرات مختلفی برای این منظور معرفی شده‌اند. استفاده از این نانو ذرات مشکلاتی همچون عدم حلالیت و یا پراکندگی مناسب در محیط روغن دارد که برای رفع این معضل از پوشش‌های آلی استفاده می‌شود. در این تحقیق نانو ذره نیکل پوشش‌دار به روش میکرومولسیون تهیه شد. از سدیم دودسیل سولفات به عنوان ماده فعال سطحی و حلال‌های آب و اتانول استفاده گردید. پارامترهای موثر نظیر نوع و میزان پوشش در واکنش بررسی شد. مشخصات فیزیکی (قطر ذره و سطح موثر) محصول، توسط تکنیک‌های دستگاهی XRD, TEM, BET بررسی گردید. نانوذره تهیه شده دارای مرفولوژی کروی، اندازه ۷-۱۳ nm و سطح موثر $30 \text{ m}^2/\text{g}$ می‌باشد. عملکرد ضد سایشی نانوذره نیکل در روغن پایه و روغن چند درجه‌ای توسط آزمون‌های چهار ساچمه و فالتکس بررسی شد. نانوذره نیکل با پوشش دی الکیل دی تیو فسفریک اسید، افزایش قدرت جوش خوردگی روغن موتور چنددرجه‌ای را در آزمون چهار ساچمه از خود نشان داد.

کلمات کلیدی: نانو ذره نیکل، پوشش دار کردن، ضد سایش، روغن موتور چند درجه‌ای، مواد افزودنی

مقدمه

ندرت از آنها به عنوان مواد افزودنی به روغن‌های روان کننده استفاده شده است چرا که لازمه این کاربرد توانایی پراکنده شدن نانوذره در روغن روان کننده می‌باشد [۳]. نانوذرات در فاصله بین دو سطح درگیر شده و در منافذ بسیار ریز سطوح قرار می‌گیرند و خواص ضد اصطکاک و ضد سایش نسبتاً بالایی در سطوح ایجاد می‌نمایند. به همین جهت می‌توان از آنها در فرمولاسیون روغن استفاده نمود. در واقع این توانایی نانوذرات به کروی بودن آنها مربوط می‌شود که بین دو سطح مانند ساچمه (بولبرینگ، شکل ۱) قرار گرفته و موجب کاهش ضریب اصطکاک می‌شود [۴].

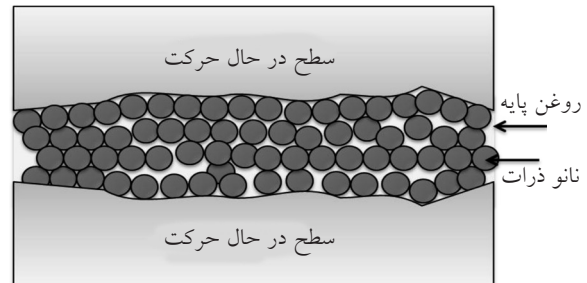
خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد نانو ذرات فلزی موجب شده این ترکیبات در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گیرد و کاربرد گسترده‌ای در صنایع اپتیک، الکترونیک، شیمیایی و پزشکی داشته باشد [۱]. این خصوصیات ناشی از اندازه بسیار کوچک و سطح ویژه بسیار زیاد این نانوذرات می‌باشد [۲]. با وجود کاربردهای گسترده‌ای که با احتساب زیر شاخه‌های هر یک از رشته‌های فوق برای نانوذرات می‌توان در نظر گرفت، به

نانوذره نیکل به عنوان یک کاتالیست مهم در فرآیندهای هیدروژناسیون^۱، هیدرودی کلراسیون^۲ و تصفیه هیدروژنی^۳ شناخته می‌شود [۹] که فعالیت کاتالیستی، انتخاب‌پذیری و پایداری آن با افزایش فلزات دیگر بهبود می‌یابد [۱۰].

به‌طور کلی ساخت نانوذرات به دلیل واکنش سریع آنها با اکسیژن و تبدیل به اکسید فلزی مشکل می‌باشد. بنابراین در روش ساخت باید به گونه‌ای عمل شود که اکسیداسیون اتفاق نیفتد [۶]. روش‌های مختلفی برای ساخت این نانوذره در منابع ذکر شده [۱۱-۱۳] که برخی از آنها عبارتند از: واکنش‌های فوتولیتیکی^۴ [۱۴]، سونوشیمی^۵ [۱۵]، احیاء استخراجی حلالی^۶ [۱۶]، میکروامولسیون^۷ [۱۷] و پیرولیز پاششی^۸ [۱۸].

یکی از روش‌های موجود، استفاده از پیرولیز به همراه اسپری کردن نیترات نیکل است. استفاده از فشار و گاز حامل در این روش برای احیا کردن اکسید نیکل به نیکل عنصری اهمیت زیادی دارد. کاربرد کمک حلال‌هایی مثل اتانل و فرمیک اسید نیز می‌تواند در این احیا نقش داشته باشد [۱۹]. در پژوهش دیگری نانوذرات نیکل در ماتریس مونتموریلونیت^۹ با استفاده از دی‌متیل آمینو بران^{۱۰} به عنوان احیا کننده تهیه شده است [۲۰]. همچنین نانوذره نیکل تثبیت شده روی کربن که سبب افزایش خصوصیت کاتالیستی آن در فرآیند هیدروژناسیون می‌شود، با استفاده از آمونیا- بوران (H_3NBH_3) ساخته شده است [۲۱].

روش میکروامولسیون یکی از روش‌های گسترده و مورد توجه برای تهیه نانو ذرات نظیر اکسیدهای فلزی، کریستال‌های نیمه‌هادی و نانو ذرات پوشش‌دار می‌باشد. واکنش رسوبی در نانوراکتورها که توسط مایسل‌ها به وجود آمده، انجام می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به سادگی، امکان کنترل اندازه ذرات و قابلیت افزایش مقیاس اشاره کرد.



شکل ۱- عملکرد نانو ذرات در روغن

به دلیل ابعاد بسیار ریز یک نانوذره، انتظار می‌رود بتواند تا حدودی در روغن به حالت معلق باقی بماند. ولی با گذشت زمان نانو ذرات به یکدیگر چسبیده و با ایجاد ذرات بزرگ‌تر، رسوب می‌کنند. پوشش‌دار کردن نانوذرات به کمک گروه‌های آلی می‌تواند پراکندگی آنها را افزایش دهد. البته این گروه‌ها باید از یک طرف قابلیت اتصال به مولکول‌های سطحی نانوذره را دارا بوده و پیوند فیزیکی نسبتاً محکمی برقرار نمایند و از طرف دیگر دارای زنجیرهای هیدروکربنی طولی باشند، به نحوی که بتوانند در روغن حل شده و نانوذره را با خود به صورت معلق نگه دارند [۳].

در برخی موارد با تشکیل نانوذره، خواصی در آن ایجاد می‌شود که مطلوب نبوده و لازم است به نحوی کنترل گردد. مثلاً نانوذرات فلزی در مقابل اکسایش ناپایدارند، تا حدی که در مجاورت هوا خود به خود آتش گرفته و سریعاً اکسید می‌شوند. بنابراین، این نانو ذرات می‌باید تحت جو بی‌اثر نگهداری شوند. پوشش‌دار کردن این نانوذرات باعث پایدار شدن آنها می‌گردد، به طوری که می‌توان آنها را به راحتی در هوا نگهداری نمود. علاوه بر این در مواردی نیز پوشش‌دهی می‌تواند خواص و کاربردهای جدیدی برای نانوذره ایجاد نماید. به تازگی نیز برای بالا بردن کیفیت ماده افزودنی، علاوه بر پوشش از موادی که خواص هم‌افزایی با نانوذره نیکل دارد، استفاده شده است [۵].

نانوذره نیکل به عنوان یک ضد سایش و ضد اصطکاک در روغن‌های روان کننده به کار می‌رود [۶-۸]. همچنین

1. HydroGenation
2. Hydrodechlorination
3. Hydrotreating
4. Photolytic Reduction
5. Sonochemical
6. Solvent Extraction Reduction
7. Microemulsion
8. Spray Pyrolysis
9. Montmorillonite
10. Dimethylaminoborane (DMAB)

ساخت نانو ذره نیکل پوشش دار

در یک بالن سه دهانه مجهز به اسپارژر و کندانسور، ۱۰۰ ml محلول آبی الکلی (۳:۱، آب:اتانول) شامل ۰/۰۳ مول نیکل کلراید شش آب و ۱۰ ml محلول آبی شامل ۰/۰۳ مول سورفکتانت SDS (۱ gr) تهیه شد. پس از رسیدن دمای مخلوط واکنش به 10°C تحت جو نیتروژن، ۷۵ ml سوسپانسیون آبی الکلی (۲:۱، آب:اتانول) شامل ۰/۰۸ مول پتاسیم بوروهیدرید توسط یک کیف دکانتور در مدت ۳۰ دقیقه به آن اضافه گردید. سپس دما به 70°C رسانده شد. ۵۰ ml محلولی اتانولی حاوی ۰/۰۳ مول پوشش (اولئیک اسید ۱/۵ gr) در مدت ۲۰ min اضافه شد. سپس یک ساعت زمان داده شد تا واکنش تکمیل شود. در ادامه رسوبات به دست آمده جداسازی شده و پس از شستشو با آب دیونیزه و استن تحت اتمسفر نیتروژن و در حرارت 50°C خشک گردید.

فرمولاسیون نانوذرات در روغن

از دستگاه همگن ساز مافوق صوت برای فرمولاسیون نانوذرات در روغن استفاده شده است. این دستگاه توسط سوندهای مخصوص از جریان الکتریکی برای تولید امواج مافوق صوت استفاده می کند. توان حداکثر دستگاه، ۴۰۰ W و توان خروجی به صورت پله ای بین ۲۰ تا ۱۰۰٪ توان حداکثر قابل تنظیم است. زمان اختلاط نانوذرات در روغن، ۳۰ min و توان خروجی دستگاه، ۶۰٪ توان حداکثر می باشد که دستگاه به صورت پالسی یک ثانیه در میان، موج ایجاد می نماید. دمای مخلوط در نتیجه اعمال امواج مافوق صوت، افزایش می یابد. لذا با ایجاد وقفه در اعمال موج، از گرم شدن مخلوط تا بیش از 80°C و تخریب احتمالی نانوذره در اثر افزایش دما، جلوگیری می گردد.

تفاوت این روش با روش رسوبی این است که اندازه ذرات با تغییر غلظت و اندازه نانو راکتور قابل تنظیم است [۲۲]. معمولاً برای روش میکرومولسیون از هیدرازین به عنوان واکنش گر کاهنده و سورفکتانت های آنیونی و کاتیونی استفاده می شود [۶].

بخش تجربی

تمامی مواد و حلال های شیمیایی به کار رفته از کمپانی Merck خریداری شد و بدون خالص سازی مجدد استفاده گردید. روانکارهای مورد استفاده شامل روغن پایه SN 600 و روغن موتور چند درجه ای SAE W 50-20 بود که مشخصات گرانروی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. نانوذرات فاقد پوشش نیکل از شرکت Inframat® Advanced Materials با قطر اسمی ۸۰ nm تهیه شد. برای شناسایی نانو ذرات تهیه شده از طیف XRD، TEM، BET استفاده گردید. طیف XRD توسط دستگاه فیلیپس مدل PW 1840 با Cu K α radiation ($\lambda=0.154\text{ nm}$) گرفته شد. تصاویر TEM توسط دستگاه فیلیپس (Philips) مدل CM 200 FEG و اندازه گیری سطح موثر نیز توسط دستگاه Quantasorb انجام گردید. همگن سازی نانوذرات در روانکارها توسط دستگاه مافوق صوت انجام شد. دستگاه همگن ساز مافوق صوت مورد استفاده محصول شرکت Hielscher^۱ مدل UP400S بود. بررسی تریبولوژیکی روانکارها توسط آزمون های چهار ساچمه و فالکس صورت گرفت.

آزمون چهار ساچمه توسط دستگاه شرکت Stanhop- Seta و طبق روش استاندارد ASTM D 2783 و آزمون فالکس توسط دستگاه Falex Pin & Vee Block Test Machine و طبق روش استاندارد ASTM D 3233 انجام شد.

جدول ۱- مشخصات گرانروی روانکارهای مورد استفاده

نام آزمایش	روش آزمون ASTM	روغن پایه SN 600	روغن موتور چند درجه ای SAE 20W-50
گرانروی سینماتیک در 40°C (cSt)	D 445	۱۴۰/۴	۱۷۰/۷
گرانروی سینماتیک در 100°C (cSt)	D 445	۱۳/۶۲	۱۸/۵۷
شاخص گرانروی	D 2270	۹۱	۱۲۲

دو سورفکتانت CTAB و SDS از نظر کیفیت، تفاوت محسوسی از خود نشان ندادند، ولی با در نظر گرفتن قیمت، SDS ارجحیت بیشتری دارد.

پوشش

نوع پوشش

یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در پراکنده شدن نانوذرات در سیالات آلی نظیر روغن، نوع پوشش آنها می‌باشد. به همین دلیل با تغییر در نوع ماده پوشش دهنده، تاثیر پوشش بر خصوصیات نهایی محصول به‌خصوص پراکنده شدن آن بررسی گردید. اولئیک اسید، الکیل سولفونیک اسید (R: C18- C22)، دی الکیل دی تیوفسفریک اسید و نمک پیریدینیوم دی الکیل دی تیوفسفریک اسید با زنجیره ۱۸ کربنی به‌عنوان پوشش بررسی شد (شکل ۲). نتایج حاصل از پوشش‌های متفاوت در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، پراکندگی پوشش‌های اولئیک اسید و DDPA در روغن مناسب بود. ولی پوشش DDP-Py پراکندگی مناسبی در روغن از خود نشان نداد.

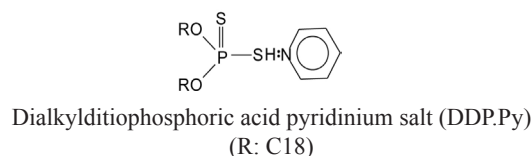
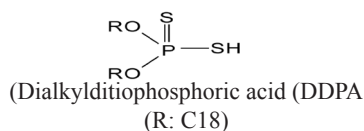
میزان پوشش

لازم است میزان پوشش مورد استفاده نیز بررسی گردد. زیرا مقادیر زیاد آن علاوه بر بالا بردن قیمت تمام شده محصول، ممکن است با سایر مواد افزودنی روغن ایجاد اختلال نماید.

جدول ۲- بررسی نوع سورفکتانت

کیفیت محصول	وزن محصول (g)	نوع سورفکتانت
غیر قابل پراکنده شدن	۳/۱	بدون سورفکتانت
مناسب	۳/۷	ستیل تری متیل آمونیوم برماید CTAB (کاتیونی)
مناسب	۳/۸	سدیم دودسیل سولفات SDS (آنیونی)
غیر قابل پراکنده شدن	۲/۶	سدیم بیس (۲-اتیل هگزیل) سولفوسوکسینات AOT (آنیونی)
غیر قابل پراکنده شدن	۳/۶	سوربیتن مونو اولئات Span ۸۰ (خشتی)

میزان سورفکتانت مصرفی ۰/۰۰۳ مول در ۲۰ ml آب

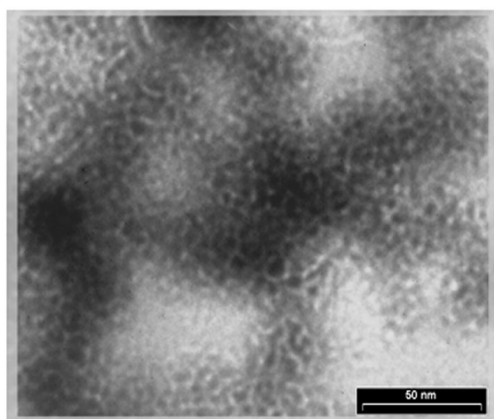
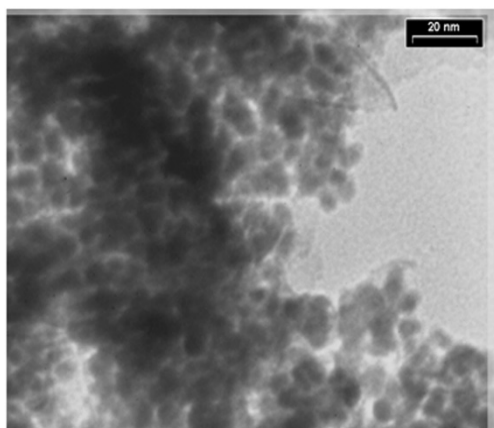


شکل ۲- ساختار پوشش‌های دی الکیل دی تیوفسفریک اسید و نمک پیریدینیوم آن

۷۰ °C، واکنش شروع به رفلاکس می نماید و افزایش دما تأثیر چندانی بر کیفیت و میزان محصول ندارد.

شناسایی و اندازه گیری قطر نانوذرات نیکل

تصاویر TEM نانوذره نیکل پوشش دار ساخته شده در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳- تصاویر TEM نانوذره نیکل در شرایط بهینه (پوشش اولئیک اسید)

همان طور که در این تصاویر قابل مشاهده است، قطر این نانوذرات در محدوده ۷-۱۳ nm می باشد. این تصاویر پوشش دهی مناسب نانوذرات توسط اولئیک اسید را نشان می دهد. مطابق شکل ذرات از یکدیگر جدا شده و هاله سفید رنگی (با ضخامت حدود ۲-۵ nm) در اطراف آنها مشاهده می شود.

طیف FT-IR نانوذره نیکل پوشش داده شده توسط اولئیک اسید در شکل ۴ آورده شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می شود، پیک ناحیه 1533 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی گروه کربنیل جذب شده روی Ni و پیک ناحیه 1711 cm^{-1} مربوط به پیوند C=O اولئیک اسید آزاد می باشد.

جدول ۳- بررسی نوع پوشش

نوع پوشش	وزن محصول (g)	کیفیت محصول
بدون پوشش	۳/۱	غیر قابل پراکنده شدن
DDPA	۳/۱	مناسب
DDP-Py	۳/۹	نامناسب
Sulfonic acid	۴/۲	مناسب
Oleic acid	۳/۸	مناسب

همچنین پوشش زیاد مانع عملکرد نانو ذره می گردد لذا ضروری است میزان آن را به اندازه ای در نظر گرفت که در روغن پراکنده شود. در جدول ۴ میزان اولئیک اسید مصرفی به عنوان پوشش و کیفیت نانوذره ساخته شده ارائه شده است.

جدول ۴- بهینه سازی میزان پوشش (اولئیک اسید)

کیفیت	وزن محصول (g)	نسبت Oleic acid به Ni (mol/mol), (gr/gr)
نامناسب	۳/۳	۰/۵ : ۱ (۰/۷۵ : ۷)
مناسب	۳/۹	۱ : ۱ (۱/۵ : ۷)
مناسب	۴/۲	۲ : ۱ (۳ : ۷)

همان گونه که در این جدول مشاهده می شود، نسبت مولی ۱ به ۰/۵ میزان پوشش کافی ایجاد نمی شود. دو مقدار ۱ به ۱ و ۱ به ۲ اولئیک اسید به نیکل محصول مناسبی دارند که با احتساب درصد نیکل، نسبت ۱ به ۱ ترجیح داده می شود.

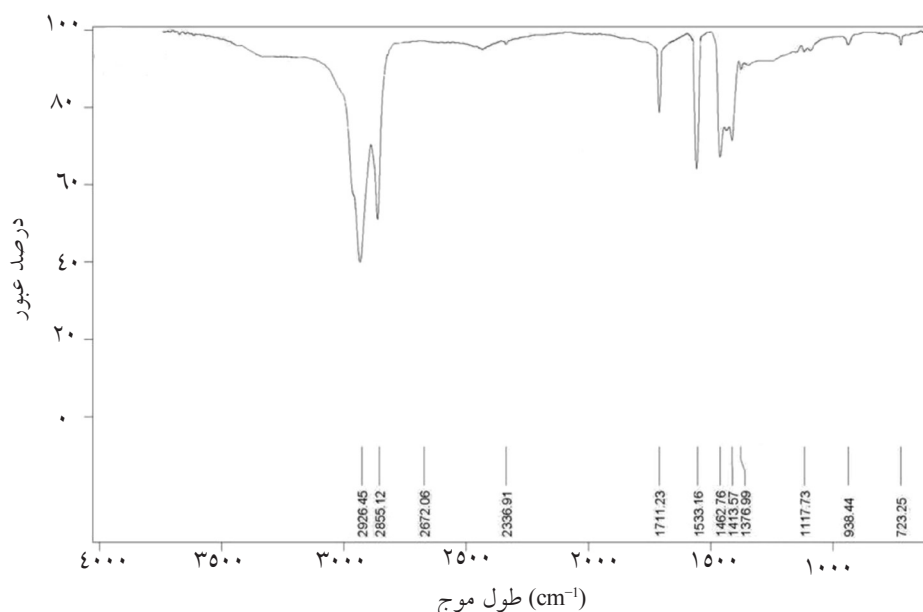
دمای آزمایش

برای بهینه سازی دمای تکمیل واکنش، واکنش های زیر طراحی و اجرا گردید که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- دمای تکمیل واکنش

دمای افزایش (°C)	وزن محصول (g)	کیفیت
دمای محیط	۲/۳	غیر قابل پراکنده شدن
۴۰	۲/۵	غیر قابل پراکنده شدن
۵۰	۲/۹	مناسب
۶۰	۳/۵	مناسب
۷۰	۳/۸	مناسب
>۷۰	۳/۹	مناسب

همان طور که در این جدول مشهود است، به دلیل میزان تولید محصول بیشتر، دمای ۷۰ °C مناسب می باشد. در دماهای پایین تر ذرات درشت بوده و پوشش دهی مناسب انجام نمی گیرد. در دماهای بالاتر از



شکل ۴- طیف FT-IR نانو ذره نیکل پوشش داده شده با اولئیک اسید

پوشش و پوشش دار توسط آزمون‌های چهار ساچمه و فالکس انجام شد.

در جدول ۶ نتایج ارزیابی روغن پایه SN 600 حاوی نانو ذرات نیکل فاقد پوشش در آزمون‌های چهار ساچمه و فالکس ارائه شده است.

نتایج به دست آمده بیانگر آن می‌باشد که افزایش نانو ذرات نیکل فاقد پوشش با غلظت ۱٪ به روغن پایه، منجر به ارتقای قابل توجه نقطه جوش خوردگی ساچمه‌ها در آزمون چهار ساچمه می‌شود. اما غلظت‌های کمتر، اثری در خاصیت ضد سایشی روغن نداشته است. همچنین افزایش نانو ذرات نیکل فاقد پوشش در محدوده غلظت‌های ۱-۱۰٪ به روغن پایه، به تغییراتی قابل ملاحظه در نتایج آزمون فالکس (حد تحمل بارهای خطی) منجر نشده است.

نتایج بررسی‌های انجام شده در خصوص اثرات افزایش نانو ذرات نیکل پوشش دار شده و بدون پوشش به روغن چند درجه‌ای در جدول ۷ آورده شده است. همان‌گونه که از این نتایج مشهود است، افزودن ۱٪ نانو ذرات نیکل بدون پوشش و پوشش دار شده به روغن چند درجه‌ای، با توجه به نوع ماده پوشش دهنده می‌تواند در آزمون فالکس با تاثیرات قابل توجهی همراه باشد، اما در آزمون چهار ساچمه تغییری مشاهده نمی‌شود. در مورد پوشش DDPA آزمون چهار ساچمه تاثیر قابل توجهی را از خود نشان داده است.

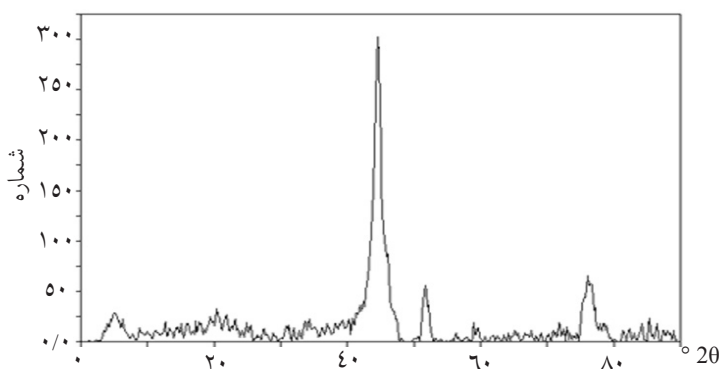
در منابع موجود [۲۳ و ۲۴] بر حضور اولئیک اسید آزاد در کنار اولئیک اسید جذب سطحی شده، تاکید شده است. پیک ناحیه 2926 cm^{-1} و 2856 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی C-H و ناحیه 1462 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات خمشی CH_2/CH_3 می‌باشد.

برای تعیین فاز کریستالی و اندازه ذره از نمونه ساخته شده، طیف XRD گرفته شد که در شکل ۵ نشان داده شده است. مقادیر 2θ برای (۱۱۱)، (۲۰۰) و (۲۲۰) در نواحی $51/9^\circ$ ، $44/5^\circ$ و $76/4^\circ$ به ترتیب پیک، ظاهر شده است که مشخص کننده فرم کریستالی نانوذره نیکل و ساختار مکعبی آن می‌باشد. با استفاده از معادله شرر و سطح زیر پیک، اندازه ذرات حدود 5 nm محاسبه گردید که تطابق خوبی با تصاویر TEM دارد.

ارزیابی سطح موثر نیز توسط دستگاه BET انجام شد که طبق نتیجه به دست آمده سطح نانو ذره در حدود $30\text{ m}^2/\text{g}$ می‌باشد.

ارزیابی خواص تریبولوژیکی نانوذرات

برای بررسی اثر پوشش بر خواص نانوذره، عملکرد تریبولوژیکی نانوذرات نیکل پوشش دار در روغن پایه و روغن چند درجه‌ای در مقایسه با نانوذرات نیکل فاقد پوشش مورد ارزیابی قرار گرفت. سنجش رفتار تریبولوژیکی روانکارهای حاوی نانو ذرات نیکل فاقد



شکل ۵- طیف XRD نانو ذره نیکل پوشش داده شده با اولئیک اسید

جدول ۶- خواص سایشی روغن پایه حاوی نانو ذرات فاقد پوشش، ارزیابی شده توسط آزمون‌های چهار ساچمه و فالکس

روانکارهای مورد آزمون	نقطه جوش در آزمون چهار ساچمه (kg)			بار شکست آزمون فالکس (lbf)		
	غلظت ۰/۱٪	غلظت ۰/۲٪	غلظت ۱٪	غلظت ۰/۱٪	غلظت ۰/۲٪	غلظت ۱٪
روغن پایه	۱۷۸			۸۵۰		
روغن پایه حاوی نانو ذره نیکل فاقد پوشش	۱۷۸	۱۷۸	۲۵۱	۷۸۰	۸۲۰	۸۶۰

جدول ۷- بررسی تاثیر افزودن نانو ذرات نیکل پوشش دار به روغن چند درجه‌ای

روانکارهای مورد آزمون	نوع عامل پوشش	نقطه جوش در آزمون چهار ساچمه (kg)	بار شکست آزمون فالکس (lbf)
		غلظت ۰/۱٪	غلظت ۰/۱٪
بدون نانوذره	-	۲۸۲	۱۲۰۰
نانوذره نیکل فاقد پوشش		۲۸۲	۱۴۲۵
نانو ذره نیکل پوشش دار	DDP Py	۲۸۲	۱۳۵۰
نانو ذره نیکل پوشش دار	DDP A	۳۱۶	۱۳۰۰
نانو ذره نیکل پوشش دار	Alkyl Sulphonic acid	۲۸۲	۱۴۱۵
نانو ذره نیکل پوشش دار	Oleic acid	۲۸۲	۱۴۱۰

مشخص گردید که از این نانوذرات می‌توان برای بالا بردن کیفیت

روغن‌های موتور استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیریت پژوهش و فناوری وزارت نفت جهت

حمایت‌های مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

با استفاده از روش معرفی شده می‌توان نانوذره نیکل همراه

با پوشش مناسب در کاربرد روانکاری تهیه نمود. طبق روش

ارائه شده نانوذره با قطر ۷-۱۳ nm و سطح موثر $30 \text{ m}^2/\text{g}$

به‌دست آمد. همچنین با استفاده از نانوذرات نیکل پوشش دار و

بدون پوشش خواص روانکاری آنها مورد بررسی قرار گرفت و

مراجع

1. Winnischofer H., Rocha T. C. R., Nunes W. C., Knobel M. and Zanchet D., *Synthesis and structural studies of nickel nanoparticles*, Activity Report, LNLS 2006.
2. Chen L., Zhang D., Chen J., Zhou H. and Wan H., "The use of CTAB to control the size of copper nanoparticles and the concentration of alkythiols on their surfaces", *Materials Science and Engineering A*, 415, pp. 156-161, 2006.
- [3]. Zhou J., Wu Z., Zhang Z., Liu W. and Xue Q., "Tribological behavior and lubricating mechanism of Cu nanoparticles in oil", *Tribology Letters*, 8, pp. 213-218, 2000.
- [4]. Liu G., Li X., Qin B., Xing D., Guo Y. and Fan R., "Investigation of mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface", *Tribol. Lett.*, 17, pp. 961-966, 2004.
- [5]. Chen M., Cheng W., Zhao Z. and Huang X., "Synergistic effect between nano-ceramic lubricating additives and electroless deposited Ni-W-P coating", *Chinese J. Mech. Eng.*, 26, pp.114-120, 2013.
- [6]. Chen D. H. and Hsieh C. H., "Synthesis of nickel nanoparticles in aqueous cationic surfactant solutions", *J. Mater. Chem.*, 12, pp. 2412-2415, 2002.
- [7]. Wu S. H. and Chen D. H., "Synthesis and characterization of nickel nanoparticles by hydrazine reduction in ethylene glycol", *J. Colloid and Inter. Sci.*, 259, pp. 282-286, 2003.
- [8]. Joly-Pottuz L., Vacher B., Mogne T., Martin J. M., Mieno T., He C. N. and Zhao N. Q., "The Role of Nickel in Ni-Containing Nanotubes and Onions as Lubricant Additives", *Tribol. Lett.*, 29, pp. 213-219, 2008.
- [9]. Nishimura S., *Handbook of Heterogeneous Catalytic Hydrogenation for Organic Synthesis*, John Wiley & Sons Inc., New York, 2001.
- [10]. Sinfelt J. H., *Bimetallic Catalysts: Discoveries, Concepts, and Application*, Wiley, New York, (p. 5), 1983.
- [11]. Lee Y., Joung J., Lee K., *Nickel Nanoparticles*, US Patent, US 2010/0078604 A1, 2010.
- [12]. Seo J., Nam H., Im A., Kim K., Lee J., *Method for Preparing Nickel Nanoparticles*, US Patent, US 2010/0031775 A1, 2010.
- [13]. K. Yamada S. Inoue H. Nomoto T. Yamauchi Y. Wada Y. Tsukahara, *Method for Preparing Nickel Nanoparticles*, US Patent, US 2013/0008286 A1, 2013.
- [14]. Amoruso S., Ausanio G., Barone A. C., Bruzzese R., Campana C. and Wang X., "Nanoparticles size modifications during femtosecond laser ablation of nickel in vacuum", *App. Sur. Sci.* 254, pp. 1012–1016, 2007.
- [15]. Ko C. H., Park J. G., Park J. C., Song H., Han S.-S. and Kim J., "Surface status and size influences of nickel nanoparticles on sulfur compound adsorption", *App. Sur. Sci.*, 253, pp. 5864–5867, 2007.
- [16]. Wang H., Kou X., Zhang J. and Li J., "Large scale synthesis and characterization of Ni nanoparticles by solution reduction method", *Bull. Mater. Sci.*, 31, pp. 97–100, 2008.
- [17]. Chen D. H. and Wu S. H., "Synthesis of Nickel Nanoparticles in Water-in-Oil Microemulsions", *Chem. Mater.*, 12, pp. 1354-1360, 2000.
- [18]. Nagashima K., Wada M. and Kato A., *Preparation of fine Ni particles by the spray-pyrolysis technique and their film forming properties in the thick film method*, *J. Mater. Res.*, 5, 2828, 1990.
19. Wang W. N., Lenggoro Y. I., I. W. and Okuyama K., "Nickel and nickel oxide nanoparticles prepared from nickel

- nitrate hexahydrate by a low pressure spray pyrolysis*", Mater. Sci. Eng.: B, 111, pp. 69-76, 2004.
- [20]. Yamauchi Y., Itagaki T., Yokoshima T. and Kuroda K., "Preparation of Ni nanoparticles between montmorillonite layers utilizing dimethylamino-borane as reducing agent", Dalton Trans., 41, pp. 1210-1215, 2012.
- [21]. Metin O., Mazumder V., Ozkar S. and Sun S., "Monodisperse, Nickel Nanoparticles and Their Catalysis in Hydrolytic Dehydrogenation of Ammonia Borane", J. Am. Chem. Soc., 132, pp. 1468-1469, 2010.
- [22]. Nalwa H. S., "Encyclopedia of Nanoscience and nanotechnology, American Scientific Publisher", California, USA, Vol. 1, pp. 687-726, 2004.
- [23]. Hong R., T. Pan, J. Qian and H. Li, "Synthesis and surface modification of ZnO nanoparticles", Chem. Eng. J., pp. 119, 71-81-2006.
- [24]. Jiangang L., Yi S., Luming P., Xuefeng G. and Weiping D., "Exclusively selective oxidation of toluene to benzaldehyde on ceria nanocubes by molecular oxygen", Chem. Commun, 46, pp. 5909-5911, 2010.