

بررسی ویژگی‌های گرمافیزیکی و شارش‌شناسی نانوذره‌های هیبریدی اکسیدهای فلزی آهن - نقره- مس بر پایه ساختار کربنی نقاط کوانتومی برای استفاده در سامانه‌های انتقال گرما در الگوی جریان آشفته

حمید موسوی^۱، سیدمصطفی طباطبائی‌قمشه^{۲*}، علیمراد رشیدی^۳ و معصومه میرزائی^۴


۱. دانشجوی دکترا گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران.


۲. استادیار گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران.

۳. استاد مهندسی شیمی، پژوهشکده نانو، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران.

۴. دانشیار گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران.

دریافت: فروردین ۱۴۰۰ بازنگری: مرداد ۱۴۰۰ پذیرش: شهریور ۱۴۰۰

 10.30495/JACR.2022.694116

 20.1001.1.17359937.1401.16.2.3.7

چکیده

در این پژوهش، نانوهیبریدهای آهن-نقاط کوانتوم کربنی، نقره-نقاط کوانتوم کربنی و مس-نقاط کوانتوم کربنی با روش شیمیایی تر تهیه شدند. نمونه‌های تهیه‌شده با روش‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف‌سنجی فروسخ تبدیل فوریه (FTIR)، میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپی الکترونی عبوری (TEM) شناسایی شدند. همچنین، آزمون‌های پایداری پراکندگی نور پویا (DLS) و زتا (Zeta) نیز انجام شد. پس از تهیه نقاط کوانتوم کربنی (CQDs)، این مواد با آهن، نقره و مس هیبرید و در سیال پایه (آب) به‌طور یکنواخت با دستگاه فراصوت (کاوندی) پراکنده شدند. همچنین، گران‌روی و چگالی به‌صورت تابعی از غلظت نانوذره‌ها و دما بررسی شدند. با توجه به نتیجه‌های به‌دست‌آمده، تغییرهای چگالی و گران‌روی در غلظت‌های پایین نانوذره‌ها، قابل چشم‌پوشی بود. ضریب رسانندگی گرمایی (k) و ضریب انتقال گرما جابه‌جایی (h) اندازه‌گیری شد تا بهبود انتقال گرما با نانوذره‌های تهیه‌شده ارزیابی شود. غلظت‌های تهی‌شده از این نانوذره‌ها به ترتیب ۰/۵، ۰/۱، و ۰/۵ درصد وزنی بودند. بیشترین بهبود در ضریب رسانندگی گرمایی ۲۵ درصد در غلظت ۰/۵ درصد وزنی در دمای ۴۵ °C برای نانوذره‌های هیبرید شده مس-نقاط کوانتوم کربنی گزارش شد. همچنین، بیشترین بهبود در ضریب انتقال گرما جابه‌جایی در عدد رینولدز ۱۵۵۲۹ برای نانوذره‌های نقره-نقاط کوانتوم کربنی ۲۹ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: نانوسیال‌های پایه نقاط کوانتوم کربنی، ضریب رسانندگی گرمایی، ضریب انتقال گرما جابه‌جایی، نانوذره‌های

هیبریدی

مقدمه

نانوذره‌ها در یک مایع برای مدت طولانی نیستند. روش شیمیایی مانند استفاده از ماده سطح‌فعال یا عامل‌دارشدن سطح نانوذره‌ها با واکنش شیمیایی همراه است. مطالعه‌های زیادی برای ارزیابی ویژگی‌های انتقال گرما جابه‌جایی نانوسیال‌ها انجام شده است. در پژوهشی [۱۳، ۱۶ و ۲۱] در مورد انتقال گرما نانوصفحه گرافن اکسید، با افزایش غلظت نانوذره‌ها، رسانندگی گرمایی از ۱۵ درصد به ۲۵ درصد افزایش داشته است. پژوهش‌های زیادی نشان می‌دهد که نانولوله‌های کربنی پراکنده موجب افزایش رسانندگی گرمایی آب و مواد نانو بر پایه اتیلن گلیکول می‌شوند [۱۷، ۱۹ و ۲۰]. پاتل و همکاران [۱۴ و ۲۳] برای بهبود خواص انتقال گرما، بر پراکندگی نانوذره‌های فلزی و اکسید فلزی در مایع‌های پایه متمرکز شده‌اند. احسان‌الله و دیگران [۱۵ و ۲۴] ضریب رسانندگی و ضریب انتقال گرما جابه‌جایی را با استفاده از نقاط کوانتوم کربنی بررسی کردند که بهبود ۷/۵ و ۱۶/۲ درصدی به ترتیب برای رسانندگی گرمایی و ضریب انتقال گرما جابه‌جایی در غلظت ۲۰۰ ppm در مقایسه با مایع پایه را گزارش کردند. با توجه به پژوهش‌های به عمل آمده، هیچ گزارش موفقیتی برای حل مشکل اصلی تولید نانوسیال در مقیاس صنعتی یافت نشده است [۲۵ تا ۲۷]. از آنجا که فرایند تولید نانوذره‌ها به‌طور معمول فرایند زمان‌بر و پرهزینه‌ای است، بنابراین، تولید نانوسیال‌ها در مقیاس صنعتی اقتصادی نیستند. با این حال، هیچ‌کس نمی‌تواند منافع بزرگی که نانوسیال‌ها در صنایع به همراه دارد را انکار کند.

در این پژوهش، نانوچندسازه فلزی-نقاط کوانتوم کربنی (CQDs) با یک روش شیمیایی ساده تهیه شدند. یکی از دلایل مهم استفاده از این نانوهیبریدها، ویژگی‌های انتقال گرما هر دو نانوذره فلزی و نقاط کوانتوم کربنی با هم هستند. در این راستا، رسانندگی گرمایی، انتقال گرما

نانوسیال‌ها به‌عنوان نوع جدیدی از سیال‌ها بشمار می‌آیند که متشکل از ذره‌های جامد با اندازه نانو بوده و در یک مایع پایه مانند آب، اتیلن گلیکول و روغن پخش و معلق هستند [۱ و ۲]. نانوسیال‌ها به‌دلیل ویژگی‌های گرمایی برتر نسبت به مایع‌های معمولی برای بسیاری از کاربردهای بالقوه، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته‌اند [۳ تا ۵]. در مقایسه با ذره‌ها با اندازه میلی‌متر یا حتی میکرومتر، نانوذره‌ها دارای چندین مزیت مانند پایداری طولانی مدت، رسانندگی گرمایی بالاتر، افت فشار کمتر و میزان خوردگی کمتر هستند [۶ و ۷]. در این راستا، یک پیشرفت سریع در حوزه نانوسیال‌ها از جنبه‌های متفاوت اتفاق افتاده است. پژوهشگران به‌طور عمده بر ویژگی‌های انتقال گرما این سیال‌ها متمرکز شده‌اند. با این حال، ساخت یک نانوسیال پایدار یکی از مشکل‌های همیشگی بوده که توجه بسیاری را به خود جلب کرده است [۸]. نانوذره‌های فلزی و اکسیدهای آن‌ها از رسانندگی گرمایی بالایی برخوردار هستند، بنابراین، استفاده از نانوسیال‌های مبتنی بر فلز توجه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است. در میان انواع نانوذره‌های فلزی و اکسیدهای آن‌ها، مس (Cu) و نقره (Ag) از رسانندگی گرمایی بالایی برخوردار هستند. از طرف دیگر، نانوکربن‌هایی مانند گرافن رسانندگی گرمایی بالایی را نشان می‌دهند [۹ و ۱۰]. بنابراین، استفاده از گرافن‌ها به‌عنوان یک نانوساختار دو بعدی برای تولید نانوسیال‌ها بسیار جالب است. با این حال، ساختن یک نانوسیال پایدار با ویژگی‌های برجسته گرمایی-فیزیکی مانعی بزرگ برای به‌کارگیری نانوسیال‌ها در سامانه‌های انتقال گرما معمولی هستند. بنابراین، پژوهشگران از روش‌های مکانیکی و شیمیایی برای ساخت نانوسیال با پایداری مناسب استفاده کرده‌اند [۱۱ و ۱۲]. روش‌های مکانیکی شامل استفاده از مخلوط‌کن مکانیکی یا دستگاه فراصوت است. با این حال، روش‌های مکانیکی به‌تنهایی قادر به پراکنده کردن

نانوذره‌های جامد تهیه‌شده با صافی جدا و شسته شد تا pH محلول زیر صافی خنثی شود. ماده سیاه به‌دست‌آمده در کوره خلأ در مدت ۸ ساعت در دمای 80°C خشک شد.

تهیه نقره-نقاط کوانتوم کربنی

برای تهیه نانوهیبرید نقره-نقاط کوانتوم کربنی، ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبی نترات (۰/۰۰۱ میلی‌لیتر) به ۱۰۰ میلی‌لیتر CQDs (۰/۰۰۱ مولار) افزوده شد. سپس، مخلوط به‌دست‌آمده را به دمای جوش رسانده و ۱ میلی‌لیتر محلول KOH به آن افزوده شد. مخلوط به رنگ زرد تغییر رنگ داد که نشان‌دهنده تشکیل نانوذره‌های نقره بود. پس از ۳۰ دقیقه، محلول به‌طور طبیعی در دمای 25°C سرد شد. محلول زرد رنگ سردشده با یک تبخیرکننده چرخان تحت خلأ تبخیر و خشک شد [۳۲].

تهیه مس-نقاط کوانتوم کربنی

برای تهیه نانوجندسازه CuO-CQDs، ۰/۳ گرم مس سولفات به ۳۰ میلی‌لیتر آب یون‌زدوده افزوده و هم‌زده شد تا یک محلول همگن به‌دست‌آید. سپس، ۳۰ میلی‌لیتر (۲ میلی‌گرم بر لیتر) محلول CQDs به سولفات مس افزوده شد. در ادامه ۲ گرم تارتاریک اسید و ۲ گرم سدیم هیدروکسید به محلول افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه فراصوت گذاشته شد. سپس، ۰/۵ میلی‌لیتر فرمالدئید به آرامی افزوده و محلول در دمای 60°C به مدت ۱/۵ ساعت گرمادهی شد. نانوذره‌های تهیه‌شده با آب و اتانول شسته و صاف شدند. نانوجندسازه به‌دست‌آمده در کوره خلأ با دمای 50°C در مدت ۸ ساعت خشک شد.

تهیه نانوسیال از نانوذره‌های تهیه‌شده

برای تهیه نانوسیال‌ها، مقادیر ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۵ درصد وزنی از نانوذره‌های تهیه‌شده با آب یون‌زدوده مخلوط شد تا محلول همگن به‌دست‌آید. پس از آن، محلول به مدت ۱۰ دقیقه با دستگاه فراصوت (کاوندی) همگن شد.

جابه‌جایی در الگوی جریان آشفته و شارش‌شناسی نانوسیال‌های ساخته‌شده به‌عنوان تابعی از غلظت نانوذره‌ها و دمای سیال بررسی شدند.

بخش تجربی

مواد

سیتریک اسید ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)، اوره ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)، آهن-کلرید دو و سه ظرفیتی ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ و $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)، مس نترات ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)، پتاس (KOH)، محلول آمونیاک (NH_4OH)، فرمالدهید (CH_2O)، نقره نترات (AgNO_3) و آب یون‌زدوده، که همه مواد تهیه‌شده از شرکت مرک و فاقد ناخالصی بودند.

تهیه نقاط کربن کوانتومی

برای تهیه نانوذره‌های نقطه کوانتومی کربن، ۶ گرم سیتریک اسید و ۶ گرم اوره به ۳۰ میلی‌لیتر آب یون‌زدوده افزوده و محلول هم‌زده شد تا یک محلول همگن به‌دست‌آید. سپس، محلول به یک دم‌فشار از جنس فولاد ضد زنگ با روکش تفلون منتقل شد. پس‌از آن، به درون کوره منتقل و ۶ ساعت در دمای 200°C نگه داشته شد [۲۴].

تهیه آهن-نقاط کوانتوم کربنی

برای تهیه نانوجندسازه Fe_3O_4 -CQDs، در ابتدا ۱۰ گرم $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ و ۲/۷ گرم $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ به ۳۰ میلی‌لیتر آب یون‌زدوده افزوده و مخلوط ۱۰ دقیقه هم‌زده شد. با حل شدن کامل در آب، ۳۰ میلی‌لیتر از مخلوط CQDs (۲ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) به محلول به‌دست‌آمده افزوده و به مدت ۵ دقیقه هم‌زده شد تا مخلوط همگنی به‌دست‌آید. سپس، ۲ میلی‌لیتر محلول آمونیاک به آرامی به مخلوط افزوده شد. در این مرحله pH مخلوط در مقدار ۹ تنظیم شد. افزودن آمونیاک، رنگ محلول را از قهوه‌ای به سیاه تبدیل کرد. برای حذف آمونیاک باقی‌مانده، محلول به مدت ۱ ساعت در دمای 80°C گرم شد. پس از خنک کردن محلول،

آزمون‌های مشخصه‌یابی

الگوهای پراش پرتو ایکس (XRD) با دستگاه فیلیپس مدل X'Pert MPD ساخت هلند به دست آمد. طیف‌های فرسوخ تبدیل فوریه (FTIR) با طیف‌سنج Perkin-Elmer ثبت شد. تصاویرهای TEM با میکروسکوپ الکترونی عبوری EOL JEM-2010F و تصاویرهای SEM با میکروسکوپ الکترونی روبشی S-3700N ساخت هیتاچی ژاپن تهیه شدند. برای ارزیابی پایداری نانوسیال‌ها، پتانسیل زتا با دستگاه Malvern Instrument Inc اندازه‌گیری شد. ضریب رسانندگی گرمایی (k) با تجزیه‌گر ویژگی‌های گرمایی KD2 Pro ساخت شرکت Decagon devices آمریکا اندازه‌گیری شد.

سامانه آزمایشگاهی تعیین ضریب انتقال گرما جابه‌جایی (h) برای بررسی ضریب انتقال گرما جابه‌جایی، یک سامانه آزمایشگاهی به کار برده شد. شکل ۱ این سامانه را نشان می‌دهد. سامانه شامل یک بخش گرمایش، یک مبدل گرمایی (پوسته و لوله)، یک پمپ گریزانه (-MullerHV)، یک مخزن (۳۰۰ میلی‌لیتری)، یک

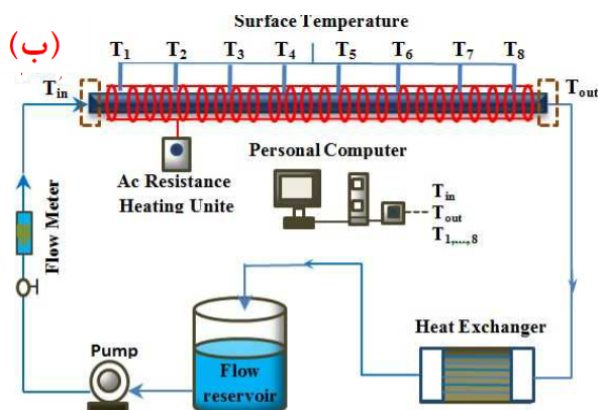
حمام گردشی Poly-Science و شش گرماجفت از نوع K (امگا) است. در بخش گرم سامانه آزمایشگاه‌هایی با فاصله ۱۰۰ میلی‌متر از یکدیگر نصب می‌شوند. بخش گرم آزمایش از یک لوله مسی به طول ۸۵۰ میلی‌متر و قطر داخلی ۷ میلی‌متر ساخته شده است. دبی جرمی با سامانه واپایش جریان می‌تواند در گستره ۱٫۵ تا ۹ لیتر در دقیقه واپایش شود. برای محاسبه ضریب انتقال گرما از معادله ۱، ۲ و ۳ استفاده شد.

$$h(x) = q'' / (T_s(x) - T_m(x)) \quad (1)$$

$$T_m(x) = T_{m,i} + (q'' \pi d l / m C_p) \quad (2)$$

$$q'' = m C_p (T_{in} - T_{out}) \quad (3)$$

که در آن‌ها h ، C_p ، d ، d ، $T_m(x)$ ، $T_s(x)$ و q'' به ترتیب ظرفیت گرمایی، دبی جرمی سیال، قطر لوله، طول لوله، دمای دیواره، دمای میانگین سیال درون لوله، شدت جریان گرمایی و ضریب انتقال گرما جابه‌جایی هستند.



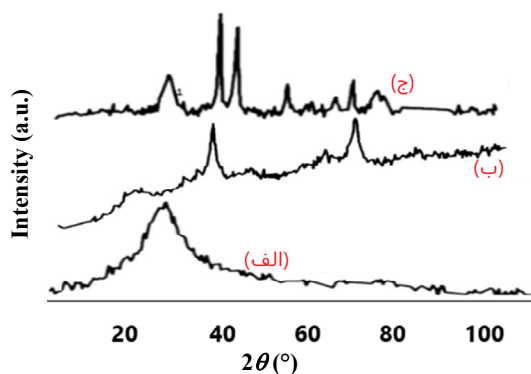
شکل ۱ سامانه آزمایشگاهی تعیین ضریب انتقال گرما جابه‌جایی (الف) و نمودار جریان مربوط (ب)

نتیجه‌ها و بحث

برای مشخص شدن ترکیب فاز و ساختار بلوری، نوارهای جذب کششی نانوذره‌های تهیه شده با طیف‌سنجی فرسوخ تبدیل فوریه، بررسی شد. همچنین، پراش پرتو

ویژگی‌های ترکیبی نقاط کوانتوم کربنی و گروه‌های عامل

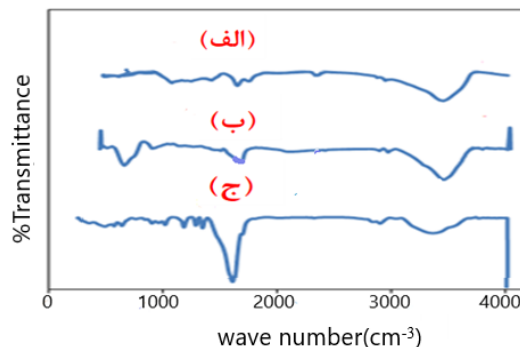
الگوی XRD نانوجندسازه CuO-CQDs است. پیک‌های 2θ ۲۹٫۶، ۳۶٫۵، ۴۲٫۴۴، ۶۱٫۵، ۶۵٫۲ و 68.6° تأییدکننده چندسازه حاوی نانوذره‌های مس اکسید هستند [۵۸]. افزون‌براین، یک پیک ضعیف در 2θ حدود 26° (۰۰۲) مربوط به ساختار کربنی CQD است [۵۶]. لازم به ذکر است که در الگوی XRD هر دو نانوجندسازه Fe₃O₄-CQD و CuO-CQD پیک دیگری وجود ندارد که بتوان نتیجه گرفت که نانوجندسازه دیگری به غیر از نانوذره‌های آهن اکسید و مس اکسید خالص و همچنین، نانوذره‌های CQDs تشکیل شده است.



شکل ۳ الگوهای XRD نانوذره‌های CQDs (الف)، Fe₃O₄-CQDs (ب) و CuO-CQDs (ج)

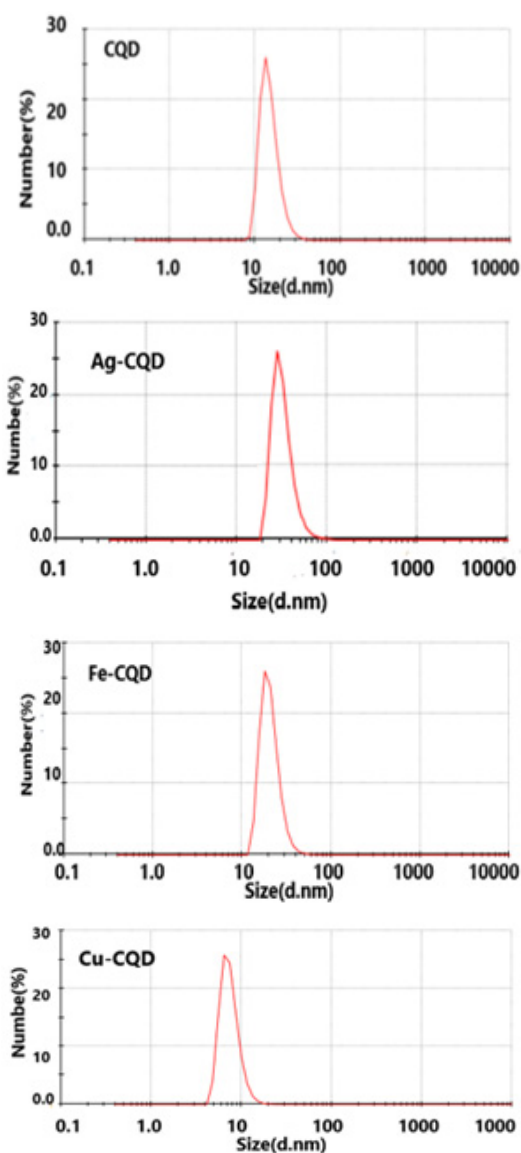
شکل ۴ تصویرهای SEM نمونه‌های CQDs و AgO-CQDs را نشان می‌دهد. ریخت نانوذره‌های تهیه‌شده در این تصویرها مشاهده می‌شود. این تصویرها به تقریب نیم‌بلوری بودن نانوذرات تهیه‌شده را نشان می‌دهد و اندازه آن‌ها حدود ۵ تا ۱۵ نانومتر برای CQDs و ۵۰ تا ۷۰ نانومتر برای AgO-CQDs است.

ایکس (XRD) برای بررسی ساختار بلوری نمونه‌ها به کار گرفته شد. شکل ۲ طیف‌های FTIR این نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در این طیف‌ها پیک 3434 cm^{-1} مربوط به ارتعاش‌های کششی O-H، پیک 1732 cm^{-1} مربوط به کشش گروه‌های C=O (کشش O گروه‌های کربنیل و کربوکسیل) و پیک 1656 cm^{-1} بیانگر ارتعاش کششی گروه‌های اپوکسید (C-O) است [۵۵ و ۵۴]. پیک‌های موجود در 1320 cm^{-1} و 3200 cm^{-1} به C-N و NH_2 نسبت داده می‌شوند [۵۶] در شکل ۲-ب پیک 617 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی Fe-O است. این پیک ارتباط بین Fe₃O₄ با پیوند -COO- در ساختار CQDs را نشان می‌دهد. در طیف CuO-CQDs (شکل ۲-ج) پیک‌های 608 cm^{-1} و 497 cm^{-1} بیانگر پیوند Cu-O است [۵۷]. پیک‌های موجود اثر متقابل بین CuO و گروه‌های اکسیژن را در ساختار CQDs تأیید می‌کند که حاکی از پیوند Cu-O-C است.

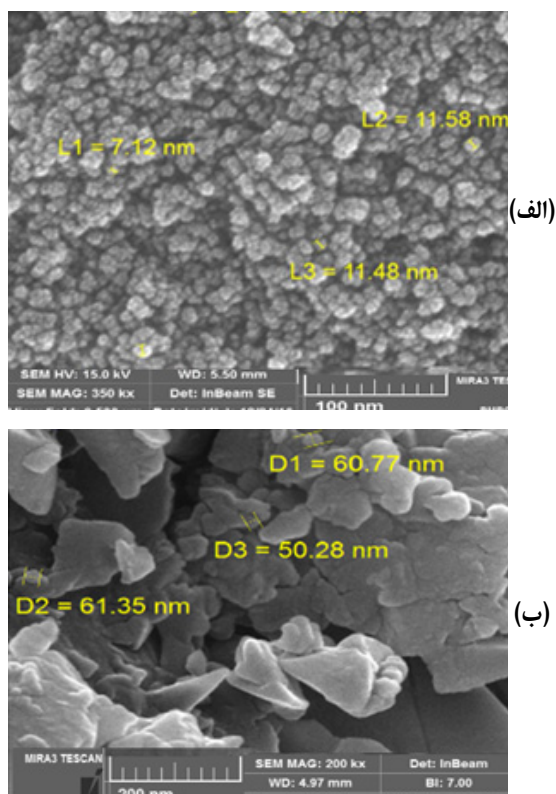


شکل ۲ طیف‌های FTIR نمونه CQDs (الف)، هیبرید-Fe₃O₄ CQD (ب) و هیبرید CuO-CQD (ج) (غلظت ۰٫۵ وزنی)

شکل ۳ الگوهای XRD، نانوذره‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۳-ب الگوی XRD مربوط به Fe₃O₄-CQDs با 2θ برابر با 34.6° ، 41.4° ، 50.8° ، 67.6° و 74.7° تأییدکننده ساختار بلوری نانوذره‌های Fe₃O₄ است [۵۶]. همچنین، یک پیک ضعیف در حدود 26° وجود نانوذره‌های CQDs را تأیید می‌کند. شکل ۳-ج نشان‌دهنده



شکل ۵ نمودارهای DLS نانوذره‌های تهیه شده در غلظت ۰/۵ درصد وزنی



شکل ۴ تصویرهای SEM مربوط به نانوذره‌های

CQDs (الف) و AgO-CQDs (ب) (غلظت ۰/۵ درصد وزنی)

از آزمون‌های شناسایی که برای تعیین اندازه ذره‌ها و توزیع آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت آزمایش پراکندگی نور دینامیکی (DLS^۱) بود. شکل ۵ به روشنی نمودارهای توزیع اندازه ذره‌های نانوذره‌های تهیه شده را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود اندازه نانوذره‌های تهیه شده در مقیاس نانو هستند.

ارزیابی پایداری

پایداری یکی از مهم‌ترین عوامل استفاده از نانوسیال‌ها است [۳۵]. با داشتن چشم‌انداز صنعتی، نانوذره‌ها در درون سیال پایه باید برای مدت طولانی پایدار بمانند. در صورتی که

1. Dynamic light scattering (DLS)

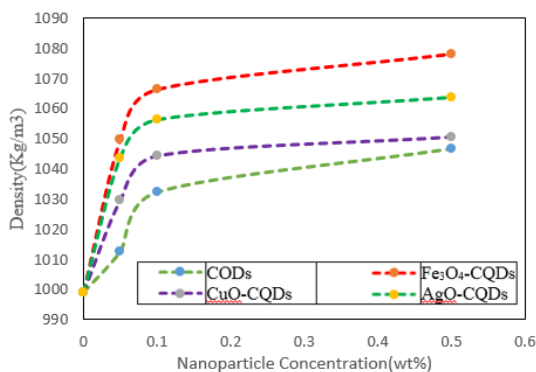
عامل‌ها هستند [۴۳ و ۴۴]. شکل ۶ تغییرهای گران‌روی را به‌صورت تابعی از غلظت نانوذره‌ها با درصد وزنی ۰/۵ تا ۰/۰۵ در سه دمای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ °C نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود، افزایش غلظت نانوذره‌ها موجب افزایش گران‌روی شده است. به‌طور کلی، نانوذره‌ها تمایل زیادی به تجمع و خوشه‌ای شدن دارند که این تمایل به دلیل وجود نیروهای جاذبه و اندروالس است. با این حال، نیروهای تثبیت‌کننده دافعه که با گروه‌های عاملی ایجاد می‌شوند از تجمع ذره‌ها جلوگیری می‌کنند. هنگامی که غلظت نانوذره‌های معلق افزایش می‌یابد، نیروی جاذبه و اندروالس به نیروی تثبیت‌کننده دافعه غلبه می‌کند. بنابراین، نرخ تجمع سرعت می‌گیرد و خوشه‌های بزرگی ایجاد می‌شود. در این شرایط، تنش برشی داخلی و مقاومت سطحی در بین لایه‌های مایع افزایش می‌یابد [۴۵]. کاهش گران‌روی در اثر افزایش دما به دلیل تضعیف نیروهای بین ذره‌ای و چسبندگی بین مولکولی است [۴۶ تا ۴۸]. همان‌طوری‌که در شکل ۶ مشخص است، گران‌روی نانوسیال‌های CQDs و AgO-CQDs در ۰/۱ درصد وزنی و ۲۵ °C به ترتیب ۱/۱۶۹ cP و ۱/۳۰۹ cP بوده است، ولی با افزایش غلظت به ۰/۵ درصد وزنی، مقدار گران‌روی به ترتیب به ۱/۲۱ cP و ۱/۴۵ cP افزایش پیدا کرده است. همچنین، همان‌طوری‌که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، گران‌روی در ۰/۱ درصد وزنی و دمای ۲۵ °C برای نانوسیال‌های Fe₃O₄-CQDs و CuO-CQDs به ترتیب ۱/۳ cP و ۱/۳۹ cP است، ولی با افزایش غلظت به ۰/۵ درصد وزنی این مقادیر به ۱/۳۷ cP و ۱/۵۷ cP تغییر پیدا کرده است. همچنین، افزایش گران‌روی در غلظت‌های پایین به اندازه‌ای کم است که می‌توان از آن صرف نظر کرد، ولی در غلظت‌های بالا ممکن است منجر به افزایش تنش برشی لایه‌ای و مقاومت سطحی شود.

این ذره‌ها ثبات مناسبی نداشته و ته‌نشین شوند عواقب زیان بار و جبران ناپذیری خواهند داشت. در این راستا، سعی شد در این پژوهش با تولید ترکیبی از هیبریدهای فلزی و CQDs یک نانوسیال پایدار ایجاد شود. یکی از بارزترین ویژگی‌های این نانوسیال ثابت‌ماندن بدون استفاده از ماده سطح‌فعال است. برای ارزیابی پایداری نانوسیال‌های تهیه‌شده، دو روش به‌کارگرفته شد: (الف) روش چشمی که در این روش، تصاویری در زمان‌های متفاوت گرفته شد که حکایت از پایداری و عدم ته‌نشینی نانوذره‌ها در سیال پایه داشت و (ب) اندازه‌گیری پتانسیل زتا [۳۵ تا ۳۸] که یکی از مهم‌ترین تحلیل‌هایی است که در اکثر پژوهش‌ها برای تأیید پایداری نانوسیال‌ها به‌کارگرفته شده است [۳۹ و ۴۰]. در بیشتر منابع، یک نانوسیال با پتانسیل زتا بالای ۴۰ (قدر مطلق) به‌طور کامل پایدار تلقی می‌شود [۵ و ۴۱]. با اشاره به این واقعیت، پتانسیل زتا نانوسیال‌های ساخته شده ۴۵/۴، ۴۰/۲ - و ۵۵ - میلی‌ولت گزارش شد که حکایت از پایداری همه نانوذره‌های تهیه‌شده دارد. در واقع، نانوذره‌های CQDs در طی فرایند تهیه به گروه‌های نیتروژن و اکسیژن متصل و موجب ایجاد پیوند در میان آب و سطح ذره‌ها می‌شوند که نتیجه آن جلوگیری از تجمع نانوذره‌ها است [۴۲]. بنابراین، برپایه همه ارزیابی‌ها، نانوسیال‌های ساخته‌شده پایداری قابل‌قبولی دارند که می‌توانند بدون هرگونه نگرانی در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرند.

اندازه‌گیری گران‌روی و چگالی

نانوسیال‌ها با عملکرد گرمایی بالا در بسیاری از صنایع می‌توانند نقش بسزایی داشته باشند. از طرفی، نانوذره‌های پراکنده در یک سیال پایه می‌توانند ویژگی‌هایی مانند گران‌روی و چگالی را افزایش دهند که این پدیده می‌تواند به‌عنوان نقطه ضعف تلقی شود و مشکلاتی را به‌وجود آورد. عامل‌های متفاوتی تأثیر مستقیمی بر گران‌روی و چگالی نانوسیال‌ها دارند. گران‌روی سیال پایه، شکل و اندازه نانوذره‌ها، غلظت نانوذره‌ها و دما و از این

بیشینه افزایش چگالی نانوسیال‌های تهیه‌شده در بالاترین غلظت (۰٫۵ درصد) ۱۰۴۶، ۱۰۵۰، ۱۰۶۳، و ۱۰۷۸ به ترتیب برای CQDs، CuO-CQDs، AgO-CQDs و Fe₃O₄-CQDs در دمای ۲۵ °C است که به طور مقایسه‌ای و نسبی بسیار کم و قابل چشم‌پوشی است. از طرفی می‌توان گفت، چگالی نانوذره‌های CQDs کمتر از سایر نانوذره‌ها است. از این رو، ترکیبی از نانوذره‌های CQDs با سایر نانوذره‌های فلزی موجب افزایش چگالی نانوسیال‌های هیبرید فلزی شده است. به طور کلی، نانوذره‌ها در میان لایه‌های سیال پایه قرار می‌گیرند و بدون تغییر حجم واحد، جرم سامانه افزایش می‌یابد که این افزایش، چگالی نانوسیال‌ها را نسبت به مایع پایه افزایش می‌دهد.

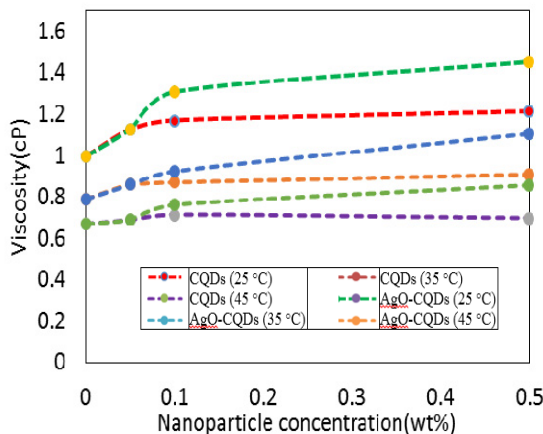


شکل ۸ تغییرهای چگالی نانوذره‌های تهیه‌شده در دمای ۲۵ °C

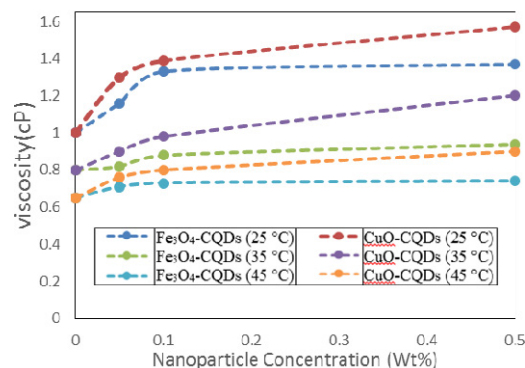
ارزیابی ضریب رسانندگی گرمایی (k)

یکی از مزایای برجسته نانوسیال‌ها، بهبود رسانندگی گرمایی مایعاتی است که به عنوان انتقال‌دهنده گرما مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این راستا، رسانندگی گرمایی نانوسیال‌های تهیه شده به عنوان تابعی از دما در گستره ۲۵ تا ۴۵ °C و در ۳ غلظت ۰٫۰۵، ۰٫۱، و ۰٫۵ درصد وزنی از نانوذره‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این مقایسه و بررسی در شکل ۹ نشان داده شده است.

سال شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱



۶ تغییرهای گرانروی نسبت به غلظت برای نانوسیال‌های CQDs و AgO-CQDs در دماهای متفاوت

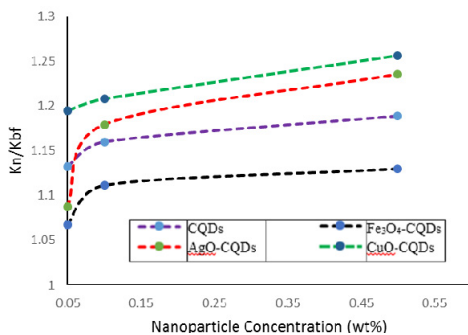


شکل ۷ تغییرهای گرانروی نسبت به غلظت برای نانوسیال‌های Fe₃O₄-CQDs و CuO-CQDs در دماهای متفاوت

شکل ۸ تغییرهای چگالی به عنوان تابعی از غلظت نانوذره‌ها در دمای ۲۵ °C را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود چگالی همه نانوسیال‌ها با افزایش غلظت نانوذره‌ها افزایشی است. با این حال، چگالی نانوسیال‌ها وابستگی بسیار کمی به غلظت نانوذره‌ها دارد زیرا افزایش چگالی حتی در غلظت بالاتر از ۰٫۵ درصد وزنی به طور کامل ناچیز گزارش شده است. به طوری که در شکل نمایان است،

نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی (JARC)

این افزایش در دمای 45°C و غلظت 0.5 درصد وزنی نسبت به سیال پایه 25 درصد بوده است.



شکل ۹ تغییرهای نسبت ضریب رسانندگی گرمایی نانوسیال به سیال پایه در غلظت‌های متفاوت در دمای 35°C

ضریب انتقال گرما (h)

ضریب انتقال گرما جابه‌جایی (h) عامل دیگری است که در صورت استفاده از نانوسیال‌ها مقدار آن بهبود پیدا می‌کند و بازده گرمایی و کارایی تجهیزات انتقال گرما مانند مبدل‌های گرمایی، چیلرها، برج‌های خنک‌کننده، رادیاتورها و... را افزایش می‌دهد. در این راستا، تأثیر نانوسیال‌ها بر ضریب انتقال گرما جابه‌جایی به‌طور عمیق در این بخش از مقاله بررسی شده است. پیش از هرگونه اندازه‌گیری، درستی سامانه آزمایشگاهی ساخته شده با مقایسه داده‌های به‌دست آمده با مدل معادله ۴، معادله جنیلینسکی^۱، برای یک الگوی جریان آشفتنه و سیال آب ارزیابی شد [۵۱].

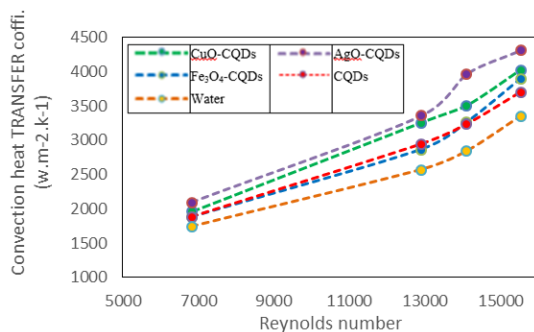
$$\text{Nu} = \frac{\frac{f}{8} (\text{Re} - 1000) \text{Pr}}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0.5} (\text{Pr}^{2/3} - 1)} \quad (4)$$

$(1.5 < \text{Pr} < 2000 \ \& \ 3000 < \text{Re} < 5 \times 10^6)$

همان‌طوری که در شکل مشخص است دما و غلظت تأثیر مستقیمی بر رسانندگی گرمایی تمام نانوسیال‌های تهیه شده داشته است. ضریب رسانندگی گرمایی آب در دمای 35°C برابر با $0.686 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ است که پس از افزودن نانوذره‌های هیبریدی به سیال پایه در همین دما و غلظت 0.5 درصد وزنی 1.189 ، 1.130 ، 1.235 و $1.256 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ به ترتیب برای نانوسیال‌های CQDs، $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CQDs}$ ، AgO-CQDs و CuO-CQDs گزارش شده است. همچنین، در سایر غلظت‌ها نیز افزایش قابل توجهی مشاهده می‌شود. با توجه به پژوهش‌های انجام شده، افزایش رسانایی گرمایی به‌عنوان تابعی از دما و غلظت نانوذره‌ها به‌طور کامل غیرخطی است. دلیل اصلی این پدیده را می‌توان در ذات مایع‌های پایه و ویژگی‌های نانوذره‌ها جستجو کرد [۴۹].

در تمام گستره‌های دما و غلظت، نانوسیال‌ها رسانندگی گرمایی بالاتری نسبت به مایع‌های پایه دارند. چندین نظریه برای توضیح این پدیده وجود دارد. از آنجا که نانوذره‌های جامد رسانندگی گرمایی بالایی دارند، بدیهی است که افزودن مقدار کمی از آن‌ها در یک مایع می‌تواند ویژگی‌های گرمایی سیال پایه را تغییر دهد. نانوذره‌های معلق به‌طور مداوم حرکت‌های تصادفی دارند که حرکت براونی نامیده می‌شوند. حرکت براونی منجر به افزایش آشفتگی سامانه در سطح مولکولی می‌شود. افزایش غلظت نانوذره‌ها موجب کاهش میانگین مسیر ذره‌ها می‌شود و فرکانس ارتعاش شبکه را افزایش می‌دهد که به‌عنوان تأثیر تراوش در انتقال گرما در نظر گرفته می‌شود [۵۰]. افزون‌براین، افزایش دما موجب ضعیف شدن نیروهای بین مولکولی ذره‌ها می‌شود و حرکت براونی را افزایش می‌دهد که همه این عوامل منجر به افزایش رسانندگی گرمایی می‌شود. شکل ۹ به‌روشنی نشان می‌دهد که نانوذره‌های CuO-CQDs رسانندگی گرمایی بالاتری نسبت به سیال پایه و سایر نانوذره‌های تهیه شده دارد که

پایه و نانوسیال‌های دیگر که در این پژوهش تهیه شده‌اند، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. نانوذره‌ها ترکیبی به‌طور معمول در مایع‌ها از خود رفتارهای استثنایی مانند تغییر قابلیت ترشوندگی، حرکت براونی، تغییر در رسانایی گرمایی و غیره نشان می‌دهند.



شکل ۱۰ نمودار ضریب انتقال گرما جابه‌جایی (h) به‌صورت تابعی از عدد رینولدز برای سیال پایه و نانوذره‌های تهیه‌شده در غلظت ۰/۱ (درصدوزنی)

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه، در این پژوهش از یک روش ساده برای تهیه نانوذره‌های فلزی آهن-نقره و مس، بر نانوساختار نقاط کوانتوم کربنی استفاده شد. رسانندگی گرمایی سیال پایه و همه نانوسیال‌های تهیه‌شده به‌صورت تابعی از دما در گستره دمایی ۲۵ تا ۴۵ C° و غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۵ درصد وزنی بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد که رسانایی گرمایی نانوسیال‌ها با دما و غلظت رابطه مستقیم دارد. از میان نانوسیال‌های تهیه‌شده، نانوسیال CuO-CQDs در ۴۵ C° و غلظت ۰/۵ درصد وزنی دارای بالاترین رسانندگی گرمایی (k) به مقدار ۲۴ درصد بهبود نسبت به سیال پایه گزارش شد که این مقدار برابر با $W.m^{-2}.k^{-1}$ بود. اثر نانوسیال‌ها بر انتقال گرما جابه‌جایی نیز با استفاده از یک سامانه آزمایشگاهی ساخته‌شده به‌عنوان تابعی از عدد رینولدز مورد بررسی قرار گرفت. در عدد رینولدز

قابل ذکر است که ضریب اصطکاک برای جریان آشفتنه به-طور کامل توسعه یافته از معادله کلبروک^۱ یا معادله ۵ به‌دست می‌آید [۵۲].

$$f = \frac{1}{(1.82 \log_{10} Re - 1.64)^2} \quad (5)$$

مقایسه عدد ناسلت^۲ به‌دست آمده از آزمایش و عدد ناسلت محاسبه‌شده نشان داده است که همخوانی خوبی بین اعداد ناسلت محاسباتی و نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمایش وجود دارد. افزون‌براین، با توجه به پژوهش‌های پیشین [۴ و ۳۹]، سامانه طراحی‌شده دقت مناسبی برای ارزیابی ضریب انتقال گرما جابه‌جایی نانوسیال‌ها دارد. پس از به‌دست‌آوردن داده‌های آزمایشی از سامانه آزمایشگاهی شکل ۱، ضریب انتقال گرما با معادله‌های ۱، ۲ و ۳ محاسبه شد. بنابراین، ضریب انتقال گرما جابه‌جایی در الگوهای آشفتنه برای آب و همه نانوسیال‌های تهیه‌شده، به‌صورت تابعی از عدد رینولدز بررسی شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از این آزمایش‌ها در شکل ۱۰ آورده شده است. در این شکل نتیجه‌ها نشان می‌دهد که نانوسیال‌های تهیه‌شده موجب افزایش مقدار انتقال گرما جابه‌جایی نسبت به سیال پایه در همه گستره‌های عدد رینولدز شده‌اند. برای روشن‌شدن موضوع، ضریب انتقال گرما جابه‌جایی آب در عدد رینولدز ۱۵۵۲۹ برابر با $W.m^{-2}.k^{-1}$ ۳۳۴۹/۹۰ گزارش شده است که در زمان استفاده از نانوسیال‌های تهیه‌شده در همین مقدار از عدد رینولدز، ضریب انتقال گرما جابه‌جایی به مقادیر ۳۷۰۵/۱، ۳۸۳۹، ۴۳۱۵۴/۴ و $W.m^{-2}.k^{-1}$ 4.027×10^3 به‌ترتیب برای نانوسیال‌های AgO-Fe₃O₄-CQDs، CuO-CQDs و CQDs افزایش پیدا کرده است. برای توجیه این افزایش می‌توان گفت، نانوذره‌های معلق موجب افزایش سطح و در نتیجه انتقال گرما می‌شوند. با توجه شکل ۱۰، ضریب انتقال گرما نانوسیال AgO-CQDs نسبت به سیال

1. Colebrook

2. Nusselt number

به‌ویژه ویژگی‌های گرمایی مانند ضریب رسانندگی گرمایی (k) و ضریب انتقال گرما جابه‌جایی (h) می‌توان گفت به‌کارگیری این مواد به‌صورت هیبرید فلزی AgO-CQDs به‌عنوان اولویت اول و CuO-CQDs به‌عنوان اولویت دوم در سامانه‌های انتقال گرما می‌تواند بازده گرمایی و کارایی آن‌ها را افزایش دهد.

۱۵۵۲۹ ضریب انتقال گرما جابه‌جایی آب ۳۳۴۹٫۹۲ است که در غلظت ۰/۱ درصد وزنی به‌ترتیب برای نانوسیال‌های CQDs ، CuO-CQDs و AgO-CQDs ، $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CQDs}$ ، ۳۷۰۵/۱، ۳۸۳۹، ۴۳۱۵۴/۴ و $۴۰۲۷/۳ \text{ W.m}^{-2}.\text{k}^{-1}$ به‌دست آمد. با توجه به نتیجه‌های به‌دست‌آمده از ویژگی‌های این نانوذره‌ها

مراجع

- [1] Sidik, N.A.C.; Mohammed, H.A.; Alawi, O.A.; Samion, S.; Inter.Comm. in H&M Transf. 54, 115-25, 2014.
- [2] Haddad, Z.; Abid, C.; Oztop, H.F.; Mataoui, A.; J. Therm. Sci. 76, 168-89, 2014.
- [3] Keblinski, P.; Eastman, J.A.; Cahill, D.G.; Materials Today 8(6), 36-44, 2005.
- [4] Askari, S.; Lotfi, R.; Rashidi, A.; Koolivand, H.; Koolivand-Salooki, M.; Energy convers.& manag 128, 134-44, 2016.
- [5] Cacua, K.; Ordoñez, F.; Zapata, C.; Herrera, B.; Pabón, E.; Buitrago-Sierra, R.; Physicochemical and Eng. Aspects 583, 123960, 2016.
- [6] Xue, L.; Keblinski, P.; Phillpot, S.R.; Choi, S.U.S.; Eastman, J.A.; J. H.&M Transf. 47(19-20), 4277-84, 2004.
- [7] Ilyas, S.U.; Ridha, S.; Kareem, F.A.A.; A Physicochemical and Eng. Aspects 592, 124584, 2005.
- [8] Keblinski, P.; Phillpot, S.R.; Choi, S.U.S.; Eastman, J.A.; J. H & M Trans. 45(4), 855-63, 2002.
- [9] Safaei, A.; Nezhad, A.H.; Rashidi, A.; App. Therm. Eng. 170, 114991, 2020.
- [10] Ahmed, M.S.; Elsaid, A.M.; App. Therm. Eng. 163, 114398, 2019.
- [11] Chakraborty, S.; Panigrahi, P.K.; App. Therm. Eng. 115259, 2020.
- [12] Choi, S.; Zhang, Z.; Yu, W.; Lockwood, F.; Grulke, E.; App. Physics Letters 79(14), 2252-4, 2001.
- [13] Eastman, J.; Choi, S.; Li, S.; Yu, W.; Thompson, L.; App. Physics Letters 78(6), 718-20, 2001.
- [14] Sadeghinezhad, E.; Togun, H.; Mehrali, M.; Sadeghi Nejad, P.; Ahan Latibari, S.; Abdulrazzaq, T.; Inter. J. of H & M Trans. 81, 41-51, 2015.
- [15] Ghozatloo, A.; Rashidi, A.; Shariaty Niassar, M.; Exper. Therm. and Fluid Sci. 53, 136-41, 2014.
- [16] Sudeep, P.M.; Taha Tijerina, J.; Ajayan, P.M.; Narayanan, T.N.; R.S.C Advances 4(47), 24887, 2014.
- [17] Aravind, S.S.J.; Baskar, P.; Baby, T.T.; Sabareesh, R.K.; Das, S.; Ramaprabhu, S.; J. Physical Chemistry 11(34), 16737-44, 2011.
- [18] Meibodi, M.E.; Vafaie Sefti, M.; Rashidi, A.M.; Amrollahi, A.; Tabasi, M.; Kalal, H.S.; Inter. Comm. in H & M Trans. 37(3), 319-23, 2010.
- [19] Talaei, Z.; Mahjoub, A.R.; Rashidi, A.M.; Amrollahi, A.; Emami Meibodi, M.; International Comm. in H & M Trans. 38(4), 513-7, 2011.
- [20] Sawai, O.; Oshima, Y.; J. Supercritical Fluids 47(2), 240-6, 2008.
- [21] Jha, N.; Ramaprabhu, S.; J. Physical Chemistry 112(25), 9315-9, 2008.
- [22] Theres Baby, T.; Sundara, R.; AIP Adv. 3(1), 012111, 2013.
- [23] Patel, H.E.; Das, S.K.; Sundararajan, T.; Nair, A.S.; George, B.; Pradeep, T.; App. Physics Letters 83(14), 2931-3, 2003.
- [24] Etefaghi, E.; Rashidi, A.M.; Gobadian, B.; Najafi, M.H.; Sidik, C.; Yadegari, A.; Wei Xian, H.; Inter. comm. in H & M trans. 90, 85-92, 2018.
- [25] Jha, N.; Ramaprabhu, S.; J. Appl. Physics 106(8), 084317, 2009.
- [26] Ahmadu, T.O.; Dandajeh, H.A.; FUOYE J. of Eng. and Tech. 4(2), 203-225, 2019.
- [27] Chen, X.; Sun, F.; Lyu, D.; App. Therm. Eng. 162, 114252, 2019.
- [28] Amini, M.; Zareh, M.; Maleki, S.; App.

- Therm. Eng. 175, 115268, 2020.
- [29] Askari, S.; Lotfi, R.; Seifkordi, A.; Rashidi, A.M.; Koolivand, H.; Energy Conv. and Manag. 109, 10-8, 20016.
- [30] Imani Mofrad, P.; Saeed, Z.H.; Shanbedi, M.; Energy Conv. and Management. 127, 199-207, 2016.
- [31] Xie, X.; Zhang, Y.; He, C.; Xu, T.; Zhang, B.; Chen, Q.; Indus. & Eng. Chemistry Res. 56(20), 6022-34, 2017.
- [32] Lee, P.; Meisel, D.; J. Phy. Che. 86(17), 3391-5, 1982.
- [33] Stankovich, S.; Dikin, D.A.; Piner, R.D.; Kohlhaas, K.A.; Kleinhammes, A.; Jia, Y.; Carbon. 45(7), 158-65, 2007.
- [34] Szabó, T.; Berkesi, O.; Forgó, P.; Josepovits, K.; Sanakis, Y.; Petridis, D.; Chem. Mater. 18(11), 2740-9, 2006.
- [35] Sarsam, W.S.; Amiri, A.; Kazi, S.; Badarudin, A.; Energy Conv. & Manag. 116, 101-11, 2016.
- [36] Li, Y.; Tung, S.; Schneider, E.; Xi, S.; Powder Tec. 196(2), 89-101, 2009.
- [37] Noroozi, M.; Zakaria, A.; Moxsin, M.M.; Wahab, Z.A.; Abedini, A.; Inter. J molecular Sci. 13 (7), 8086-96, 2012.
- [38] Sadeghi, R.; Etemad, S.G.; Keshavarzi, E.; Haghshenasfard, M.; Microfluidics and Nanofluidics 18(5-6), 1023-30, 2014.
- [39] Askari, S.; Koolivand, H.; Pourkhalil, M.; Lotfi, R.; Rashidi, A.; J. Comm. in H & M Trans. 87, 30-9, 2017.
- [40] Huang, J.; Wang, C.; Zhang, X.; Jia, W.; Ma, R.; Yang, Z.; Physicochemical and Eng. Aspects 581, 123805, 2019.
- [41] Bazmi, M.; Askari, S.; Ghasemy, E.; Rashidi, A.; Etefaghi, E.; J. Therm. Analysis & Cal. 138(1), 69-79, 2019.
- [42] Shima, P.D.; Philip, J.; Ind. & Eng. Chemistry Res. 53(2), 980-8, 2014.
- [43] Mahbulul, I.; Saidur, R.; Amalina, M.; J. H & M Transf. 55(4), 874-85, 2012.
- [44] Mishra, P.C.; Mukherjee, S.; Nayak, S.K.; Panda, A.; Inter. Nano Letters 4(4), 109-20, 2014.
- [45] Agarwal, D.K.; Vaidyanathan, A.; Kumar, S.S.; Applied Thermal Engineering, 84, 64-73, 2015.
- [46] Singh, R.; Sanchez, O.; Ghosh, S.; Kadimcherla, N.; Sen, S.; Balasubramanian, G.; Physics Letters 379(40), 2641-4, 2015.
- [47] Estellé, P.; Materials Letters 138, 162-3, 2015.
- [48] Kole, M.; Dey, T.; J. of App. Physics 113(8), 084307, 2013.
- [49] Baby, T.T.; Sundara, R.; J. Phy. Chem. 115(17), 8527-33, 2011.
- [50] Mukesh Kumar, P.; Kumar, J.; Tamilarasan, R.; Sendhilmathan, S.; Suresh, S.; Eng. J. 19(1), 67-83, 2015.
- [51] Gnielinski, V.; Inter. Chemical Eng. 16(2), 359-68, 1976.
- [52] Sadeghinezhad, E.; Mehrali, M.; Tahan Latibari, S.; Mehrali, M.; Kazi, S.; Oon, C.S.; Ind. & Eng. Chemistry Res. 53(31), 12455-65, 2014.
- [53] Moffat, R.; J. Fluids Eng. 104(2), 250-258, 1982.
- [54] Yi, Y.; Jing, C.; Ning, W.; Donghu, M.; Lina, W.; Guohua, R.; Rongxin, Y.; Ning, Z.; Molecules 24(6), 1103, 2019.
- [55] Xu, Y.; Bai, H.; Lu, G.; Li, C.; Shi, G.; J. American Chem. Society 130, 5856-5857, 2008.
- [56] Pourhashem, S.; Ghasemy, E.; Rashidi, A.M.; Vaezi, M.R.; J. Alloys and Comp. 731, 1112-1118, 2018.
- [57] Ardelean, I.; Cora, S.; J. Materials Sci. 19, 584-588, 2008.
- [58] Reddy, K.; Sin, B.; Yoo, C.H.; Park, W.; Ryu, K.S.; Lee, J.; Sohn, D.; Lee, Y.; Scripta Materialia 58, 1010-1013, 2008.

Investigation of thermophysical properties and rheology of iron-silver-copper metal oxide hybrid nanoparticles based on carbon structure of quantum dots

H. Mousavi¹, S.M. Tabatabaee Ghomsheh^{2,*}, A. Rashidi³, M. Mirzaei⁴

1. Ph.D Student of Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.
2. Assistant Prof. of Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.
3. Professor of Chemical Engineering, Nanotechnology Research Center, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran.
4. Associate Prof. of Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.

Abstract: In this work, nano-hybrids of iron-carbon quantum dots, silver-carbon quantum dots, and copper-carbon quantum dots were synthesized and prepared by a wet chemical method. After examining their thermal and thermophysical properties, the thermal conductivity (k) was measured and the heat transfer coefficient (h) for turbulent flow was compared. The synthesized samples were characterized with Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), tunneling electron microscopy (TEM), and scanning electron microscopy (SEM). Zeta, and dynamic light scattering (DLS) stability tests were also performed for the synthesized samples. The prepared carbon quantum dots and hybridized-iron, silver, and copper samples were distributed in the base fluid (water) by ultrasonic probe device. Viscosity and density were examined as a measure of nanoparticle concentration and temperature. Also, the heat capacity of synthesized nanoparticles was measured at different temperatures, but the changes in density and heat capacity at low concentrations of nanoparticles were not significant. Then the thermal conductivity (k) and the heat transfer coefficient (h) were measured to improve the heat transfer by the synthesized nanoparticles. The synthesized nanoparticles were prepared and analyzed for three different concentrations of 0.05, 0.1, and 0.5 wt. %. The greatest improvement in thermal conductivity 25 % at a concentration 0.5 wt. % and 45 °C was for hybridized copper nanoparticles-carbon quantum dots. Also, the highest improvement in heat transfer coefficient (h) was reported in Reynolds number 15529 for silver nanoparticles-carbon quantum dots improvement was about 29 %. In addition, copper nanoparticles-carbon quantum dots with a 20 % improvement in transfer heat transfer coefficient reported.

Keywords: Carbon quantum dots base fluids, thermal conductivity, heat transfer coefficient, hybrid nanoparticles