

# سنتز و مشخصه یابی نانومیله های نقره و مس و بررسی هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومیله های سنتز شده

فرید نوری وطن<sup>۱</sup>، صدیقه عباسی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، کرمان، ایران

۲- استادیار، مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، اسفراین، خراسان شمالی، ایران

\*abasi\_1362@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵)

## چکیده

هدف این تحقیق، سنتز و مشخصه یابی نانومیله های مس و نقره و همچنین بررسی تغییرات میزان هدایت حرارتی نانوسیال های حاوی نانومیله های سنتز شده و آب می باشد. بدین منظور از  $\text{AgNO}_3$  و  $\text{CuCl}_2$  به عنوان پیش ساز نانومیله های نقره و مس استفاده گردید. فاز کریستالی نانومیله های سنتز شده با استفاده از طیف XRD مورد آنالیز قرار گرفت. ارزیابی میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) جهت بررسی مورفولوژی نانومیله های سنتز شده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از طیف XRD نشان داد که نانومیله های نقره و مس دارای ساختار کریستالی مکعبی می باشند. با توجه به نتایج حاصل از تصاویر TEM مشاهده شد که روش هیدروترمال سبب سنتز نقره و مس با مورفولوژی میله ای شکل می شود. نتایج حاصل از بررسی میزان هدایت حرارتی نانوسیال ها نشان داد که با افزایش دما در محدوده ۲۰ تا ۶۰°C و غلظت از ۰/۲۵ تا ۰/۵ درصد وزنی، میزان هدایت حرارتی نیز افزایش می یابد. نتایج حاصل از میزان هدایت حرارتی نشان داد کمترین و بیشترین میزان هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومیله های نقره به ترتیب برابر  $۰/۵۶ \text{ W/m.K}$  و  $۲/۹۳ \text{ W/m.K}$  و در نانوسیال حاوی نانومیله های مس به ترتیب برابر  $۰/۳۳ \text{ W/m.K}$  و  $۲/۷۴ \text{ W/m.K}$  می باشد. همچنین نتایج حاصل نشان داد که میزان هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومیله های نقره بیشتر از میزان هدایت حرارتی نانوسیال مس می باشد.

## واژه های کلیدی:

نانومیله های نقره، نانومیله های مس، هدایت حرارتی.

## ۱- مقدمه

آن ها در مقایسه با اغلب ذرات جامد بسیار ناچیز می باشد. این امر سبب کاهش توسعه و پیشرفت تجهیزات انتقال دهنده حرارت شده است. افزایش روزافزون نیاز صنایع به تکنیک های جدید جهت افزایش شار انتقال حرارت و افزایش تجهیزات انتقال دهنده حرارت سبب پیدایش نانو سیال به عنوان راهکاری جدید

سیالات انتقال دهنده حرارت از جمله آب، روغن و اتیلن گلیکول به طور گسترده در صنایع مختلف شامل فرایندهای گرمایشی و سرمایشی، سیستم های انتقالی در نیروگاه ها و تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می گیرند. در حالت کلی، عملکرد انتقال حرارت این سیالات به دلیل پایین بودن خواص حرارتی

در این زمینه شده است [۱-۲]. نانوسیال شاخه‌ای جدید از سیالات انتقال حرارت می‌باشد که از طریق معلق ساختن نانوذرات درون سیالات معمول و متداول انتقال حرارت که به عنوان سیال پایه شناخته می‌شوند حاصل می‌شود. متوسط اندازه ذرات پراکنده شده در سیال پایه جهت تولید نانوسیال در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد [۳-۴]. نانوسیال‌ها، جنبه‌های ویژه‌ای دارند که آن‌ها را کاملاً از مخلوط سیالات دو فاز می‌کند [۵]. هر چند در ابعاد میکرو و یا میلی متر هستند، متمایز می‌کند [۵]. هر چند قبل از تکنولوژی نانوسیال، اضافه شدن ذرات با اندازه میلی‌متر و یا میکرومتر در سیال پایه سبب افزایش کارایی آن می‌شد، ولی مخلوط سیالات دو فاز مرسوم به دلیل درشت‌تر بودن ذرات دارای معایبی نسبت به نانوسیال می‌باشند. از جمله مزایای نانوسیال می‌توان به انتقال حرارت و پایداری بالا، پائین بودن توان لازم برای پمپاژ سیال، کاهش گرفتگی و انسداد مجاری، کاهش سیستم‌های انتقال حرارت و کاهش هزینه اشاره نمود [۳-۶].

جدول (۱): میزان هدایت حرارتی نانوذرات فلزی

فلز	هدایت حرارتی ( $W m^{-1} K^{-1}$ )	دما (K)
آلومینیوم (Al)	۲۳۷	۲۹۳
مس (Cu)	۴۰۱	۲۷۳-۳۷۳
طلا (Au)	۳۱۸	۲۷۳-۳۷۳
آهن (Fe)	۸۴,۴۰	۲۷۳-۳۷۳
نقره (Ag)	۴۲۹	۳۰

Liu و همکارانش تاثیر نانوذرات مختلف از جمله مس (Cu) و اکسید مس (CuO) را در سیال پایه آب و اتیلن گلیکول بر روی هدایت حرارتی مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد توزیع نانوذرات در سیال پایه سبب افزایش میزان هدایت حرارتی نانوسیال می‌شود. به طوریکه در نانوسیال آب-مس در غلظت حجمی ۱٪، میزان هدایت حرارتی ۲۳/۸٪ افزایش می‌یابد [۱۴]. Jamal-Abadi و همکارانش تاثیر غلظت نانوذرات متفاوتی از جمله مس و آلومینیوم را بر روی هدایت حرارتی نانوسیال بررسی نمودند و با توجه به نتایج آزمایشگاهی مشاهده نمودند هدایت حرارتی تمام نانوسیال‌های مورد بررسی از هدایت حرارتی سیال پایه بیشتر می‌باشد. همچنین گزارش نمودند میزان

در این زمینه شده است [۱-۲]. نانوسیال شاخه‌ای جدید از سیالات انتقال حرارت می‌باشد که از طریق معلق ساختن نانوذرات درون سیالات معمول و متداول انتقال حرارت که به عنوان سیال پایه شناخته می‌شوند حاصل می‌شود. متوسط اندازه ذرات پراکنده شده در سیال پایه جهت تولید نانوسیال در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد [۳-۴]. نانوسیال‌ها، جنبه‌های ویژه‌ای دارند که آن‌ها را کاملاً از مخلوط سیالات دو فاز می‌کند [۵]. هر چند در ابعاد میکرو و یا میلی متر هستند، متمایز می‌کند [۵]. هر چند قبل از تکنولوژی نانوسیال، اضافه شدن ذرات با اندازه میلی‌متر و یا میکرومتر در سیال پایه سبب افزایش کارایی آن می‌شد، ولی مخلوط سیالات دو فاز مرسوم به دلیل درشت‌تر بودن ذرات دارای معایبی نسبت به نانوسیال می‌باشند. از جمله مزایای نانوسیال می‌توان به انتقال حرارت و پایداری بالا، پائین بودن توان لازم برای پمپاژ سیال، کاهش گرفتگی و انسداد مجاری، کاهش سیستم‌های انتقال حرارت و کاهش هزینه اشاره نمود [۳-۶].

ذرات معلق فوق ریز، خواص انتقالی و عملکرد انتقال حرارت نانوسیال را تغییر می‌دهند، بطوریکه پتانسیل بالایی در بهبود انتقال حرارت از خود نشان می‌دهند. مهم‌ترین اثر مشاهده شده در نانوسیال، افزایش قابل توجه هدایت گرمایی می‌باشد. به طوریکه این افزایش قابل توجه حتی در غلظت‌های پایین نانوسیال نیز مشاهده می‌شود [۷].

هدایت حرارتی، ویژگی ذاتی هر ماده‌ای است که سبب انتقال حرارت به صورت هدایت درون یک جسم می‌شود [۸]. مکانیسم هدایت، ممکن است به صورت برخورد مولکول‌های جسم و یا در اثر حرکات ابر الکترونی در آن‌ها باشد. در فلزات سازوکار دوم غالب بوده و به همین دلیل فلزات دارای ضریب هدایت حرارتی بالایی می‌باشند، حال آنکه مایعات غیر فلزی مانند آب، رسانای ضعیفی برای گرما هستند. بنابراین در نانوسیال که ترکیبی از یک سیال با رسانایی ضعیف و یک ذره فلزی و یا اکسید فلزی است عملکرد انتقال حرارت و به ویژه هدایت حرارتی سیال پایه به میزان قابل توجهی بهبود می‌یابد. خواص

اصلی از انجام این بررسی، تاثیر مورفولوژی نانوذرات سنتز شده بر روی رفتار هدایت حرارتی نانوسیال می باشد. بنابراین در این بررسی سعی شده است تاثیر دما و غلظت بر روی تغییرات میزان هدایت حرارتی نانوسیال های حاوی نانومپله های مس و نقره مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲- روش تحقیق

در این تحقیق جهت سنتز نانومپله های Cu و Ag مواد زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

نیترات نقره ( $\text{AgNO}_3$ , M=169.87, Merck)، پلی وینیل پیرولیدون ( $\text{PVP}$ ,  $(\text{C}_6\text{H}_9\text{NO})_n$ , Merck)، اتیلن گلیکول ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ , M=62.07, Merck)، کلرید مس ( $\text{CuCl}_2$ , M=134.42, Merck)، نمک طعام ( $\text{NaCl}$ , M=58.44, Merck)، هیدروکسید سدیم ( $\text{NaOH}$ , M=40, Merck)، ستیل تری متیل آمونیوم بروماید ( $\text{CTAB}$ ,  $\text{C}_{19}\text{H}_{42}\text{BrN}$ , M=364.46, Merck) و جهت سنتز نانومپله های Cu ابتدا ۰/۸ میلی مول از  $\text{CuCl}_2$  در ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۳ مولار NaOH حل گردید تا ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۸ میلی مولار از  $\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$  حاصل شود. سپس ۶ میلی مول CTAB تحت اختلاط سریع و دمای  $50^\circ\text{C}$  به محلول دماده شده اضافه می گردد و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی همزن قرار داده می شود تا CTAB به طور کامل حل گردد. سپس ۱ میلی لیتر هیدرازین هیدرات به مخلوط اضافه می گردد و به مدت یک ساعت بر روی همزن مغناطیسی مورد اختلاط قرار می گیرد. پودر حاصل شده با سانتریفیوژ جداسازی و با آب مقطر و اتانول شستشو داده می شود و به مدت ۱۲ ساعت تحت دمای  $80^\circ\text{C}$  خشک می شود.

جهت سنتز نانومپله های نقره، ۱/۳۴ گرم از PVP و ۰/۰۱۴ گرم از NaCl در ۸۴ میلی لیتر اتیلن گلیکول حل می شود (محلول ۱) و ۱/۳۴ گرم نیترات نقره در ۸۴ میلی لیتر اتیلن گلیکول حل می شود (محلول ۲). سپس محلول ۱ و ۲ به آرامی با هم مخلوط شده و محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار داده می شود (محلول ۳). پس از اتمام فرایند اختلاط محلول ۳ به

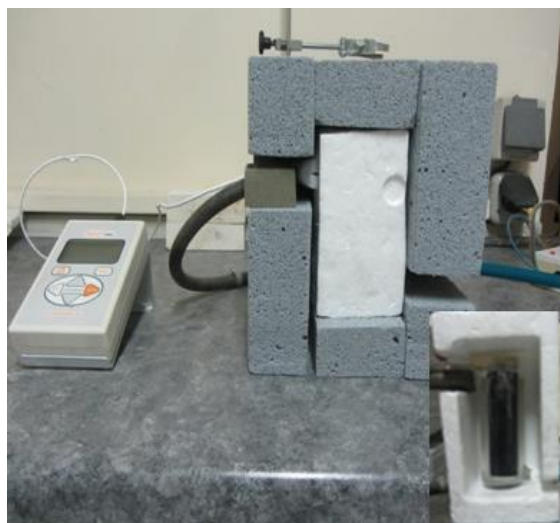
هدایت حرارتی نانوسیال حاوی مس از میزان هدایت حرارتی نانوسیال حاوی آلومینوم بیشتر می باشد که این امر ناشی از بالاتر بودن هدایت حرارتی مس نسبت به نقره می باشد [۱۵].

Fang و همکارانش میزان افزایش هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانوذرات نقره با شکل های مختلف شامل کروی و میله ای را در محدوده دمایی  $10^\circ\text{C}$  تا  $30^\circ\text{C}$  بررسی نمودند. نتایج حاصل از مطالعات ایشان نشان داد دما تاثیر قابل توجهی بر روی افزایش میزان هدایت حرارتی نانوسیال دارد. همچنین تاثیر شکل نانوذرات نیز نشان داد میزان افزایش هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانوذرات میله ای بیشتر از نانوسیال حاوی نانوذرات کروی می باشد که این امر ناشی از افزایش میزان نسبت سطح به حجم در نانوذرات میله ای می باشد [۱۶].

Godson و همکارانش تاثیر دما (بین  $50^\circ\text{C}$  تا  $90^\circ\text{C}$ ) و غلظت نانوسیال آب- نقره مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج حاصل شده نشان داد با افزایش دما و غلظت میزان هدایت حرارتی نیز افزایش می یابد [۱۷].

Saterlie و همکارانش با توزیع نانوذرات مس در سیال پایه آب نانوسیال پایداری فراهم نمودند و گزارش نمودند با افزایش غلظت نانوذرات مس از ۰/۵۵ تا ۱٪ حجمی، میزان هدایت حرارتی نانوسیال نیز از ۲۲ تا ۴۸٪ افزایش می یابد [۱۸].

مطالعات انجام شده در رابطه با تاثیر شکل نانوذرات بر روی افزایش میزان هدایت حرارتی نانوسیال نشان می دهد شکل نانوذرات، تاثیر قابل توجهی در میزان هدایت حرارتی نانوسیال دارد. بطوریکه با تغییر شکل نانوذرات از کروی به میله ای و لوله ای شکل، میزان هدایت حرارتی نانوسیال افزایش می یابد. در واقع در نانوذرات میله ای و لوله ای شکل با افزایش نسبت سطح به حجم میزان هدایت حرارتی نیز افزایش می یابد [۱۰-۱۶]. با وجود مطالعات متعددی که در زمینه هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانوذرات کروی شکل مس و نقره انجام شده است، ولی تاثیر دما و غلظت بر روی میزان هدایت حرارتی نانوسیال حاوی میله های مس هنوز مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف



شکل (۱): دستگاه KD2 Pro جهت اندازه گیری میزان هدایت حرارتی نانوسیال.

اندازه گیری میزان هدایت حرارتی برای هر نانوسیال چندین بار تکرار گردید و اندازه گیری هایی که دارای ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۹۹۹۸ بودند مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت میزان هدایت حرارتی نانوسیال در هر دما و غلظت برابر میانگین سه اندازه گیری گزارش گردید. جهت اندازه گیری دقیق هدایت حرارتی نانوسیال های مورد بررسی، کالیبراسیون دستگاه با استفاده از گلیسرول انجام شد و جهت برقراری تعادل دمایی بین سنسور اندازه گیری و گلیسرول، سنسور به مدت ۱۵ دقیقه قبل از اندازه گیری در گلیسرول به صورت ثابت قرار گرفت تا بتوان به هدایت حرارتی استاندارد گلیسرول که در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  برابر  $0.285\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  است، دست یافت.

### ۳- نتایج و بحث

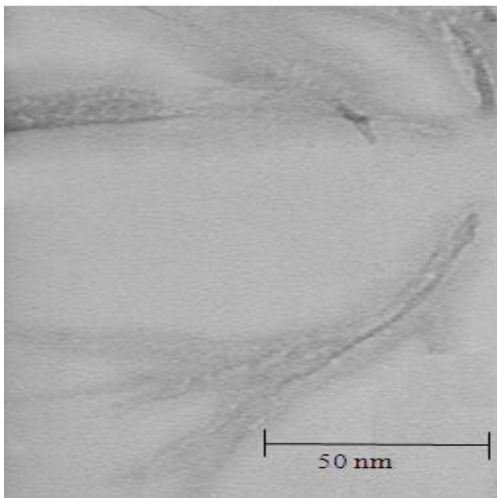
#### ۳-۱- آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) نانومیله های سنتز شده

طیف XRD نانومیله های Ag و Cu سنتز شده به ترتیب در شکل-های ۲ و ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل از شکل ۲ مشاهده می شود چندین پیک در زاویه  $2\theta$  برابر  $38/11^{\circ}$ ،  $44/27^{\circ}$  و  $64/27^{\circ}$  وجود دارد که به ترتیب به بازتاب صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰) و (۲۲۰) نانومیله های نقره با ساختار کریستالی

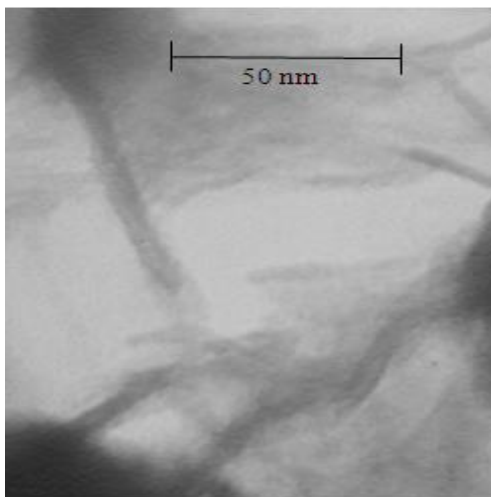
اتوکلاو منتقل شده و به مدت ۹۰ دقیقه تحت دمای  $160^{\circ}\text{C}$  در آون حرارت داده می شود. در نهایت اتوکلاو تا دمای محیط سرد و پودر حاصل شده با سانتریفیوژ جداسازی و شستشو داده می شود و به مدت ۸ ساعت تحت دمای  $80^{\circ}\text{C}$  خشک می شود. در تحقیق حاضر جهت شناسایی فاز نانومیله های سنتز شده از آنالیز اشعه ایکس استفاده گردید. آزمایش های پراش اشعه X با دستگاه Philips تحت ولتاژ ۴۰ KV و جریان ۳۰ mA صورت گرفت. لامپ دستگاه از جنس مس و در تمام آزمایش ها از اشعه  $\text{Cu}\alpha$  با طول موج  $542/1\text{A}^{\circ}$  استفاده شد. همچنین آنالیز پراش اشعه ایکس در بازه  $2\theta=4-90^{\circ}$  انجام گردید. مورفولوژی و میزان قطر و طول نانولوله های سنتز شده آن ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (TEM, PHILIPS CM-120) مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات میزان هدایت حرارتی نانوسیال در محدوده دمایی  $25-60^{\circ}\text{C}$  و غلظت  $0/5-0/25$  درصد وزنی با استفاده از دستگاه KD2 Pro انجام می شود (شکل ۱). این دستگاه مجهز به یک حمام آب گرم (Thermo Haake K10 TT4310) جهت ثابت نگه داشتن دما و همچنین سیرکولاسیون آب حول ظرف دوجداره که حاوی نمونه است، می باشد. در این بررسی سنسور (KS-1) با قطر  $1/3$  میلی متر و طول ۶۰ میلی متر انتخاب گردید. با انتخاب این سنسور، میزان هدایت حرارتی نانوسیال در بازه  $0/02\text{ W/(m K)}$  تا  $0/2\text{ W/(m K)}$  با دقت  $\pm 0/01\text{ W/(m K)}$  اندازه گیری گردید. جهت اطمینان از ثابت ماندن دما طی اندازه گیری میزان هدایت حرارتی، نانوسیال مورد بررسی در یک لوله استوانه ای شکل دو جداره مجهز به سیستم گردش آب قرار گرفت و سپس در سه مرحله عایق بندی گردید تا از ایجاد هرگونه گرادیان دمایی ممانعت شود.

### ۲-۳- آنالیز تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری

تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری حاصل از نانومیله های نقره و مس سنتز شده به ترتیب در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است. با توجه به این شکل ها (شکل ۴ و ۵) مشاهده می شود که نانوذرات نقره و مس سنتز شده، میله ای شکل می باشند. نتایج حاصل از شکل ۴ نشان می دهد که سنتز هیدروترمال نانوذرات نقره سبب تولید نانومیله هایی به طول میانگین ۱۱۵ نانومتر و قطر ۱۳ نانومتر می گردد. درحالی که تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانومیله های مس (شکل ۵) نشان می دهد نانومیله های مس دارای طول ۸۵ نانومتر و قطر ۶٫۵ نانومتر می باشند.

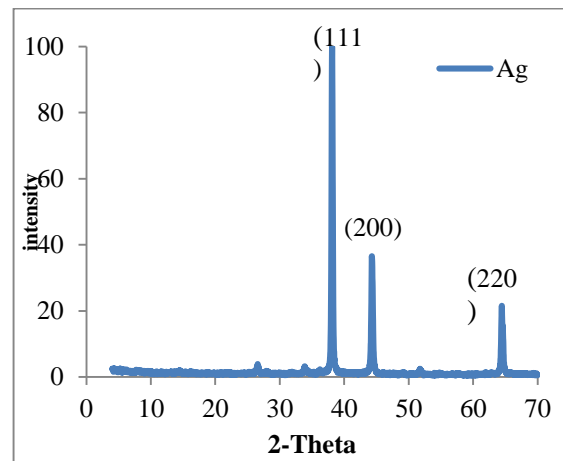


شکل (۴): تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانومیله های نقره سنتز شده

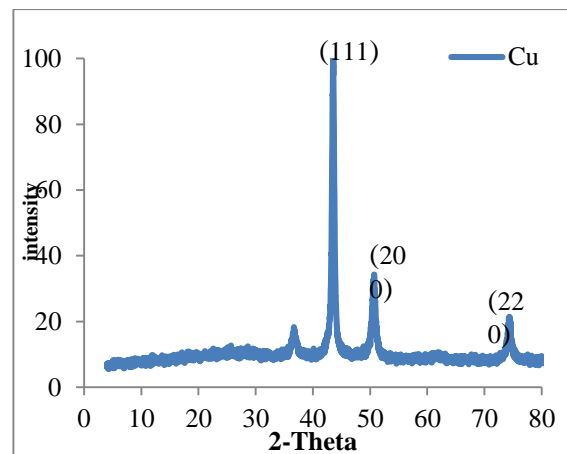


شکل (۵): تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانومیله های مس سنتز شده

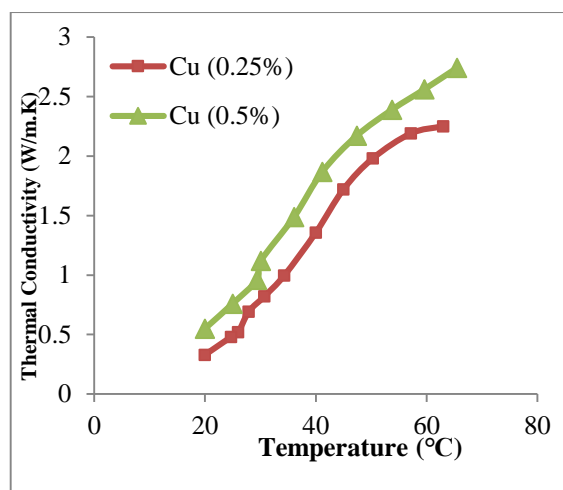
مکعبی با ثابت شبکه  $a=b=c=4/0.862 \text{ \AA}$  نسبت داده می شود [۱۹]. با توجه به طیف XRD نانومیله های Cu سنتز شده (شکل ۳) مشاهده می شود که سه پیک اصلی در زاویه  $2\theta$  برابر  $43/47^\circ$ ،  $50/67^\circ$  و  $74/67^\circ$  وجود دارد که به ترتیب به بازتاب صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰) و (۲۲۰) نانومیله های Cu می باشد. همچنین با توجه به طیف XRD نانومیله های Cu می توان نتیجه گیری نمود که نانومیله های Cu سنتز شده دارای ساختار کریستالی مکعبی با ثابت شبکه  $a=b=c=3/5.97 \text{ \AA}$  می باشد. با توجه به طیف XRD مشاهده می شود که هیچگونه پیکی مربوط به سایر ناخالصی ها از جمله  $\text{Cu}_2\text{O}$ ،  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  و پیش ساز سنتز میله های Cu مشاهده نمی شود. بنابراین می توان استنباط نمود که نانومیله های سنتز شده نانومیله های خالصی می باشند.



شکل (۲): طیف XRD نانومیله های Ag سنتز شده



شکل (۳): طیف XRD نانومیله های Cu سنتز شده



شکل (۷): وابستگی هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومیله‌های مس به دما و در غلظت‌های وزنی متفاوت

مقایسه بین هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومیله‌های نقره و نانومیله‌های مس در غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد وزنی به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. با توجه به این دو شکل می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در تمام دماها و غلظت‌های مورد بررسی هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانوذرات مختلف به میزان هدایت حرارتی ذاتی نانوذرات بستگی دارد و نانوسیال حاوی نانومیله‌های نقره دارای میزان هدایت حرارتی بیشتری نسبت نانوسیال حاوی نانومیله‌های مس می‌باشد که این امر ناشی از بالاتر بودن میزان هدایت حرارتی ذاتی نانوذرات نقره نسبت به مس می‌باشد.

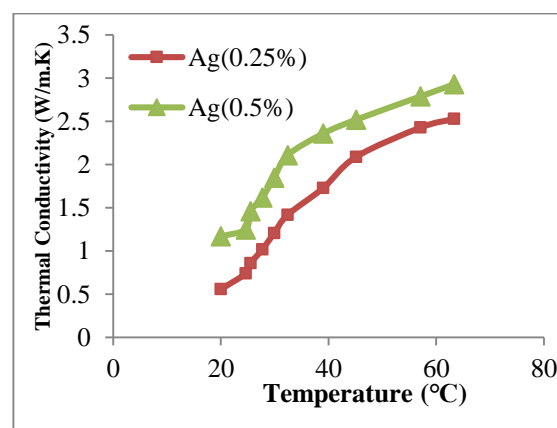
#### ۴- نتیجه‌گیری

نانومیله‌های نقره و مس به ترتیب با استفاده از روش سنتز هیدروترمال و سنتز شیمیایی حاصل گردید. نتایج حاصل از طیف XRD نشان داد که نانوذرات نقره و مس سنتز شده هر دو دارای ساختار کریستالی مکعبی می‌باشند. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات سنتز شده، مورفولوژی میله‌ای شکل را برای نانوذرات نقره و مس نشان می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات میزان هدایت حرارتی نانوسیال‌های حاوی نانومیله‌های نقره و مس نشان داد که با افزایش دما و

#### ۳-۳- تغییرات میزان هدایت حرارتی نانوسیال

با توجه به کاربرد نانوسیال در دماهای مختلف و همچنین تأثیر دما بر روی عملکرد حرارتی نانوسیال، بنابراین در این بررسی نیز افزایش هدایت حرارتی نانوسیال‌ها در دماهای متفاوت مورد مطالعه قرار می‌گیرد. شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب تغییرات میزان هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومیله‌های نقره و نانومیله‌های مس را به صورت تابعی از دما و در غلظت‌های وزنی متفاوت نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که هدایت حرارتی هر دو نانوسیال با افزایش دما و غلظت نانومیله‌های نقره و مس، زیاد می‌شود. میزان افزایش هدایت حرارتی حاصل شده به مراتب بیشتر از مقادیر گزارش شده در مطالعات پیشین [۱۵-۱۶] می‌باشد. که این افزایش را می‌توان به مورفولوژی میله‌ای شکل نانوذرات استفاده شده در این بررسی نسبت داد.

همچنین با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که تأثیر دما بر روی افزایش میزان هدایت حرارتی از تأثیر درصد وزنی نانومیله‌ها بسیار بیشتر است. زیرا با افزایش دما، پیوندهای هیدروژنی مولکول‌های آب ضعیف شده و ساختار مولکول‌های توده‌ای آب از بین می‌رود بنابراین تعداد مولکول‌های آزاد آب که حول نانومیله‌های سنتز شده آرایش می‌یابند، افزایش می‌یابد. این لایه مایع که به واسطه نیروهای واندروالس مولکول‌های آب و سطح شیمیایی نانومیله‌های سنتز شده ایجاد می‌شود دارای هدایت حرارتی بالاتری نسبت به آب توده‌ای می‌باشد [۴-۶].



شکل (۶): وابستگی هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومیله‌های نقره به دما و در غلظت‌های وزنی متفاوت

International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 53, pp. 334–344, 2010.

[۲] ص. عباسی، س. م. زبیرجد، س. ح. ن. باغبان و ع. یوسفی، "تاثیر میزان نانوذرات بر روی پایداری و هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانولوله های کربنی آرایش یافته با نانوذرات  $TiO_2$ "، فرایندهای نوین در مهندسی مواد، دوره هشتم، صفحه ۸-۱، ۱۳۹۳.

[3] S. Abbasi, S. M. Zebarjad, S. H. N. Baghban, A. Youssefi & M. S. Ekrami-Kakhki, "Experimental investigation of the rheological behavior and viscosity of decorated multi-walled carbon nanotubes with  $TiO_2$  nanoparticles/water nanofluids", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2015.

[4] S. Abbasi, S. M. Zebarjad, S. H. N. Baghban, A. Youssefi & M. S. Ekrami-Kakhki, "Thermal Conductivity of Water Based Nanofluids Containing Decorated Multi Walled Carbon Nanotubes with Different Amount of  $TiO_2$  Nanoparticles", Iranian Journal of Chemical Engineering, Vol. 12, pp. 30-41, 2015.

[5] A. K. Singh, "Thermal Conductivity of Nanofluids", Defence Science, Vol. 58, pp. 600-607, 2008.

[6] S. Abbasi, S. M. Zebarjad, S. H. N. Baghban & A. Youssefi, "Statistical analysis of thermal conductivity of nanofluid containing decorated multi-walled carbon nanotubes with  $TiO_2$  nanoparticles", Bulletin of Materials Science, Vol. 37, pp. 1439–1445, 2014.

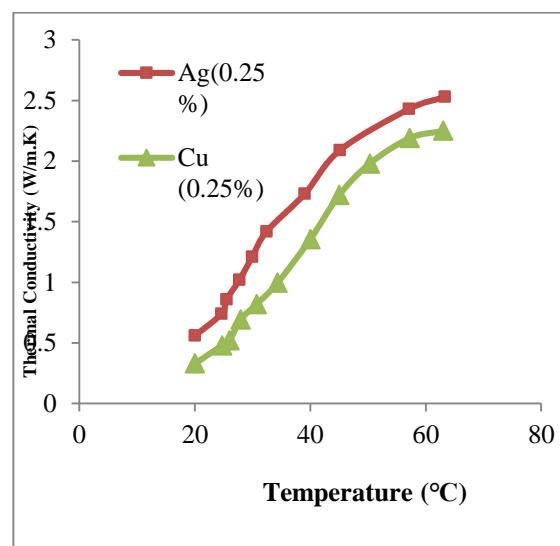
[7] Y. Xuan & W. Roetzel, "Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids", Heat and Mass Transfer, vol. 43, pp. 3701-3707, 2000.

[8] M. Tahari, M. shamanian & M. salehi, "The effect of heat treatment and thermal spray processes on the grain growth of nanostructured composite  $CoNiCrAlY/YSZ$  powders", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 646, pp. 372–379, 2015

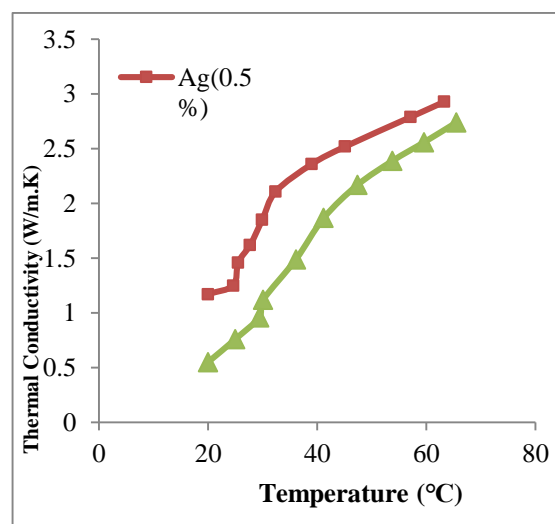
[9] M. Abareshi, E. Goharshadi, S. M. Zebarjad, H. K. Fadafan & A. Youssefi, "Fabrication, characterization and measurement of thermal conductivity of  $Fe_3O_4$  nanofluids", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 322, pp. 3895–3901, 2010.

[10] S. M. S. Murshed, K. C. Leong & C. Yang, "Enhanced thermal conductivity of  $TiO_2$ -water

درصد وزنی نانومپله های نقره و مس، میزان هدایت حرارتی نانوسیال افزایش می یابد. بطوریکه تاثیر دما بر روی هدایت حرارتی بیشتر از تاثیر غلظت می باشد.



شکل (۸): مقایسه بین هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومپله های نقره و نانومپله های مس در غلظت ۰/۲۵ درصد وزنی



شکل (۹): مقایسه بین هدایت حرارتی نانوسیال حاوی نانومپله های نقره و نانومپله های مس در غلظت ۰/۵ درصد وزنی

## ۵- مراجع

[1] W. Duangthongsuk & S. Wongwises, "An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of  $TiO_2$ -water nanofluids flowing under a turbulent flow regime",

## ۶- پی نوشت

## [1] Conduction

based nanofluids”, *Thermal Sciences*, Vol. 44, pp. 367–373, 2005.

[11] H. Masuda, A. Ebata, K. Teramae & N. Hishinuma, “Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  and  $TiO_2$  ultra-fine particles)”, *Netsu Bussei*, Vol. 4, pp. 227–233, 1993.

[12] L. P. Zhou and B. X. Wang, *Annu. Proc. Chin. Eng. Thermophys*, pp. 889–892, 2002.

[13] E. K. Goharshadi, H. Ahmadzadeh, S. Samiee & M. Hadadian, “Nanofluids for Heat Transfer Enhancement-A Review”, *Physical chemistry research*, Vol. 1, pp. 1-33, 2013.

[14] M. Liu, M. C. Lin & C. Wang, “Enhancements of thermal conductivities with Cu, CuO, and carbon nanotube nanofluids and application of MWNT/water nanofluid on a water chiller system”, *Nanoscale Research Letters*, Vol. 6, pp. 297-310, 2011.

[15] M. T. Jamal-Abadi & A. H. Zamzamin, “Thermal Conductivity of Cu and Al-Water Nanofluids”, *International Journal of Engineering*, Vol. 26, pp. 821-828, 2013.

[16] X. Fang, Q. Ding, L. W. Fan, Z. T. Yu, X. Xu, G. H. Cheng, Y. C. Hu & K. F. Cen, “Thermal Conductivity Enhancement of Ethylene Glycol-Based Suspensions in the Presence of Silver Nanoparticles of Various Shapes”, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 136, pp. 034501-034507, 2014.

[17] L. Godson, B. Raja, D. M. Lal & S. Wongwises, “Experimental Investigation on the Thermal Conductivity and Viscosity of Silver-Deionized Water Nanofluid”, *Experimental Heat Transfer*, Vol. 23, pp. 317–332, 2010.

[18] M. Saterlie, H. Sahin, B. Kavlicoglu, Y. Liu & O. Graeve, “Particle size effects in the thermal conductivity enhancement of copper-based nanofluids”, *Nanoscale Research Letters*, Vol. 6, pp. 217-223, 2011.

[۱۹] م. ابارشی و س. م. شاهرودی، "بررسی اثر حضور نانو ذرات نقره بر بلورینگی پلی اتیلن"، فرایندهای نوین در مهندسی مواد، دوره دهم، صفحه ۱۰۵-۱۱۳، ۱۳۹۵.