

## بررسی وابستگی رسانندگی حرارتی به دما و زمان در نانوسیال‌های هیبریدی حاوی نانولوله‌های کربنی

در این تحقیق، رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های هیبریدی حاوی نانولوله‌های کربنی با طول‌های مختلف و غلظت ۰/۱ درصد حجمی در سیال پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول در دماهای ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه‌ی سانتیگراد اندازه‌گیری شد. به منظور تغییر طول نانولوله‌های کربنی و افزایش پخش‌شدگی آن‌ها در سیال پایه، نانولوله‌ها عامل‌دار شدند. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان دادند رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده نسبت به نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های اولیه بالاتر می‌باشد. همچنین با افزایش دما و زمان، افزایش در رسانندگی حرارتی مشاهده شد به طوری که پس از گذشت ۶۵ روز این افزایش، حدود ۲۰ درصد بود.

آمنه آهانگرپور<sup>۱</sup>

استادیار

منصور فربد<sup>۲</sup>

استاد

واژه‌های راهنما: نانوسیال، نانولوله‌های کربنی عامل‌دار، رسانندگی حرارتی، آب یون‌زدایی شده، اتیلن گلیکول.

### ۱- مقدمه

به منظور رسیدن به سیستم‌های انتقال گرمای کوچک‌تر و مؤثرتر، روش‌های متفاوتی برای افزایش انتقال گرمای سیال‌ها پیشنهاد شده است. نانوسیال‌ها نوعی از مواد مهندسی جدید هستند که شامل نانوذرات جامد با اندازه‌ی یک تا صد نانومتر معلق شده در سیال‌های پایه (معمولاً آب، اتیلن گلیکول، روغن و ...) می‌باشند. عبارت نانوسیال در سال (۱۹۹۵) توسط چوی<sup>۳</sup> [۱] برای توصیف موادی که امکان داشتن بازده بیشتری در انتقال گرما را نسبت به مایعات معمول منتقل کننده‌ی گرما دارند، ابداع شد. نانوسیال‌ها در مقایسه با سوسپانسیون‌های معمول، دارای پایداری و رسانندگی حرارتی بالاتر و اثرات خوردگی کم‌تر بوده و نیاز به توان پمپ کم‌تری دارند. حوزه‌های ممکن کاربرد آن‌ها در سیستم‌های سرمایش پیشرفته و دستگاه‌های میکرو/نانو الکترومکانیکی و همچنین در سیستم‌های مدیریت کننده حرارت مانند مبدل‌های گرمایی می‌باشند. تاکنون محققان از چندین گروه نانوذرات جامد از جمله ذرات فلزی (Al, Cu, Ag, Au, Fe)، ذرات غیرفلزی (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, TiO<sub>2</sub>, SiC) و نانولوله‌های کربنی به‌عنوان افزودنی جهت تولید نانوسیال‌ها استفاده نموده‌اند.

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول، استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران a.ahangarpour@scu.ac.ir

<sup>۲</sup> استاد، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران m\_farbod@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۱، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۷

دو روش اصلی جهت ساخت نانوسیال ها مورد استفاده قرار می گیرد: (۱) روش تبخیر مستقیم تک مرحله ای، که در آن نانوذرات مستقیماً درون سیال پایه شکل می گیرند و (۲) روش دومرحله ای، که در آن ابتدا نانوذرات تشکیل و سپس در سیال پایه پخش می گردند. در مقایسه با روش دومرحله ای، فرآیند تک مرحله ای دارای مزیت هایی از جمله اندازه ی ذره ی کوچک تر، آلودگی کم تر و پایداری پخش بالاست.

البته فرآیند تک مرحله ای فقط نانوسیال ها را در مقادیر کم تولید می کند و لذا هزینه ی تولید بالاتر است. به علاوه، غلظت حجمی نانوذرات در فرآیند تک مرحله ای بسیار محدودتر از فرآیند دومرحله ای است [۲].

نانولوله های کربنی، به دلیل رسانندگی حرارتی بسیار بالا (حدود  $3000 \text{ W/m.K}$ ) و نسبت ظاهری بسیار بزرگ، مورد توجه بیشتری بوده اند، زیرا به دلیل ساختار منحصر به فردشان دارای خواص الکتریکی، اپتیکی و مکانیکی ویژه ای هستند. البته دو مشکل اصلی در کاربرد نانولوله های کربنی وجود دارد. اولاً، درهم تنیده شدن نانولوله ها به دلیل طول بلند و شکل مارپیچی شان و همچنین وجود نیروهای واندروالسی در آن ها، رخ می دهد. ثانیاً، به دلیل سطح آب گریز نانولوله های کربنی، برهم کنش های ضعیف فصل مشترکی بین آن ها و محیط احاطه کننده شان صورت می گیرد. این گونه مشکلات می توانند با به کار بردن اکسیداسیون اسیدی (عامل دار سازی سطح نانولوله ها)، استفاده از اولتراسونیک و فرآیندهای آسیای مکانیکی سیاره ای تحت شرایط مرطوب، حل شوند. به علاوه، استفاده از یک پایدارساز مناسب می تواند روشی مؤثر برای بهبود قابلیت پخش نانوذرات در سیال های پایه باشد. پایدارساز، موجب تغییراتی در رفتار نمناکی و چسبندگی نانوذرات می شود که به کاهش تمایل آن ها برای پیوستن به یکدیگر کمک می کند [۲-۷]. نتایج آزمایشگاهی ارتباط قوی ای را بین رسانندگی حرارتی نانوسیال ها و عامل هایی مانند کسر حجمی، اندازه و شکل نانوذرات، رسانندگی حرارتی نانوذرات و سیال پایه، دما، pH، پایدارسازها و افزودنی ها مشخص کرده اند [۸-۱۸].

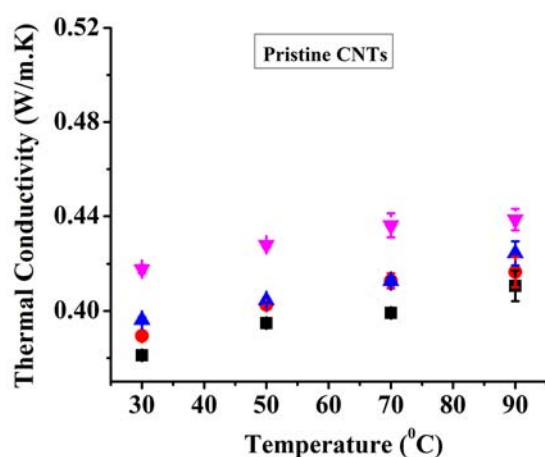
در کارهای قبلی انجام شده رسانندگی حرارتی و پایداری نانوسیال های حاوی نانولوله های کربنی در سیال های پایه آب یون زدایی شده و اتیلن گلیکول به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند [۱۹-۲۰]. در این تحقیق با استفاده از ترکیب دو سیال پایه ی آب یون زدایی شده و اتیلن گلیکول، نانوسیال های هیبریدی تهیه شدند. برای تهیه نانوسیال ها از نانولوله های کربنی با طول های مختلف و غلظت  $0.1$  درصد حجمی به عنوان افزودنی و سیال پایه ی  $50\%$  آب یون زدایی شده و  $50\%$  اتیلن گلیکول استفاده و رسانندگی حرارتی نمونه ها در دماهای  $30$ ،  $50$ ،  $70$  و  $90$  درجه ی سانتیگراد اندازه گیری شد. یکی از تفاوت های اصلی این تحقیق با تحقیقات گذشته در محدوده دمایی مورد بررسی است. در این تحقیق دماهای  $30$  تا  $90$  درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفتند. در تحقیقات مشابه معمولاً دماهای بین  $20$  تا  $50$  درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفته اند. یکی از اهداف این تحقیق، بررسی نمونه هایی بوده که امکان استفاده ی صنعتی داشته باشند. به ویژه در صنعت نفت نانوسیال در دمای نزدیک به  $90$  درجه جهت انتقال حرارت مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین لازم به ذکر است که در تحقیقات مشابه انجام شده در مورد نانوسیال های بر پایه نانولوله های کربنی، به اثر طول نانولوله های کربنی کمتر توجه شده است. در تحقیق قبلی انجام شده توسط گروه ما مشاهده شد که با تغییر زمان رفلاکس، طول نانولوله های کربنی تغییر می یابد [۱۹] به این ترتیب امکان استفاده از نانولوله های کربنی با طول های مختلف در ساخت نانوسیال ها فراهم گردید و بنابراین در این تحقیق اثر زمان رفلاکس (طول نانولوله های کربنی) بر رسانندگی حرارتی نانوسیال ها مورد بررسی قرار گرفت.

به طور کلی با انجام فرایند رفلاکس روی نانولوله‌های کربنی دو نتیجه حاصل می‌شود. اولاً فرایند رفلاکس موجب عامل‌دار شدن سطح نانولوله‌های کربنی شده و در نتیجه امکان پخش شدگی یکنواخت آن‌ها در سیال حاصل می‌شود، ثانیاً طول نانولوله‌های کربنی تغییر می‌یابد و بنابراین ساخت نانوسیال‌ها بر پایه‌ی نانولوله‌های کربنی با طول‌های مختلف فراهم می‌شود. به علاوه اثر گذشت زمان بر رسانندگی حرارتی نانوسیال‌ها نیز بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است که در این تحقیق به بررسی این عامل نیز پرداخته شده است. لازم به ذکر است که در تحقیقی که توسط گروه ما روی نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی در سیال پایه‌ی اتیلن گلیکول انجام شد [۲۰] مشاهده گردید که با گذشت زمان، مقدار رسانندگی حرارتی نانوسیال‌ها افزایش می‌یابد.

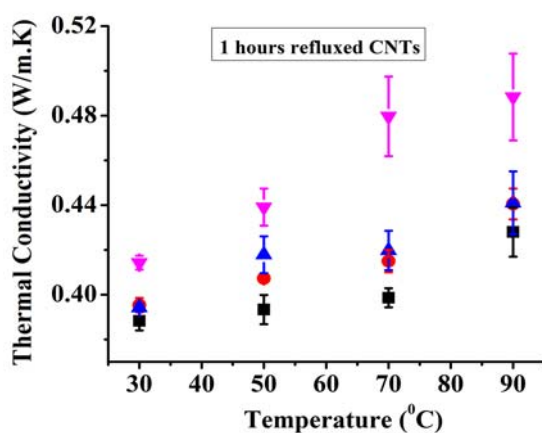
## ۲- کارهای آزمایشگاهی

جهت زدودن کربن‌های آمورف و نانو ذرات فلزی از نانولوله‌های کربنی و خالص‌سازی آن‌ها، به ازاء هر میلی‌گرم نانولوله‌ی کربنی، یک میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک اضافه شد و سپس ظرف حاوی اسید و نانولوله‌های کربنی، به مدت یک ساعت در اولتراسونیک حمامی تحت تأثیر امواج مافوق صوت قرار گرفت. پس از آن، نانولوله‌ها با استفاده از دستگاه فیلتراسیون از اسید جدا شده و چندین بار با آب یون‌زدایی شده، شستشو داده شدند تا به  $\text{pH} = 7$  برسند. مشکل اصلی استفاده از نانولوله‌های کربنی در محیط‌های آبی، تمایل آن‌ها به توده‌شدگی و انباشتگی در این محیط‌ها و بنابراین قابلیت پخش پایین آن‌هاست. عامل‌دار سازی شیمیایی یکی از روش‌های مناسب برای اکسیداسیون سطح نانولوله‌های کربنی و بهبود قابلیت پخش آن‌ها می‌باشد. جهت عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی از مخلوط اسیدهای سولفوریک و نیتریک با نسبت سه به یک استفاده شد. این مخلوط به بالن حاوی نانولوله‌های کربنی خالص‌سازی شده، اضافه گردید و نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار داده شد. سپس نمونه‌ها در زمان‌های مختلف یک، دو و چهار ساعت در دمای ۸۰ درجه‌ی سانتیگراد تحت رفلاکس قرار گرفتند. به این ترتیب نانولوله‌ها از محل نواقص و انتهای خود شکسته و گروه‌های عاملی دارای بار منفی  $\text{COOH}$  و  $\text{OH}$  به سطح آن‌ها متصل می‌گردند. در کار قبلی انجام شده [۱۹] مشاهده شد که با افزایش زمان رفلاکس طول نانولوله‌های کربنی کاهش می‌یابد، بنابراین می‌توان اثر طول نانولوله‌های کربنی یا به عبارت دیگر اثر زمان رفلاکس بر میزان تغییرات رسانندگی حرارتی نانوسیال‌ها را مورد بررسی قرار داد. جهت تهیه‌ی نانوسیال‌ها، روش دو مرحله‌ای مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور با توجه به درصد حجمی مورد نظر برای ساخت نانوسیال، نانولوله‌ها (نانولوله‌های عامل‌دار شده با زمان‌های رفلاکس یک، دو و چهار ساعت و نانولوله‌های اولیه) وزن شده و حجم مشخصی از سیال پایه‌ی مورد نظر (آب یون‌زدایی شده و اتیلن گلیکول) به آن‌ها اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در اولتراسونیک حمامی قرار داده شدند تا محلول همگنی حاصل گردد. به منظور جلوگیری از تبخیر سطحی، نمونه‌ها درون حمام آبی بسته و درپوش‌دار نگهداری شدند. اندازه‌گیری رسانندگی حرارتی برای سیال پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول با افزودن نانولوله‌های کربنی عامل‌دار و بدون عامل با غلظت ۰٫۱ درصد حجمی و در دماهای ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه KD2-probe انجام شد.

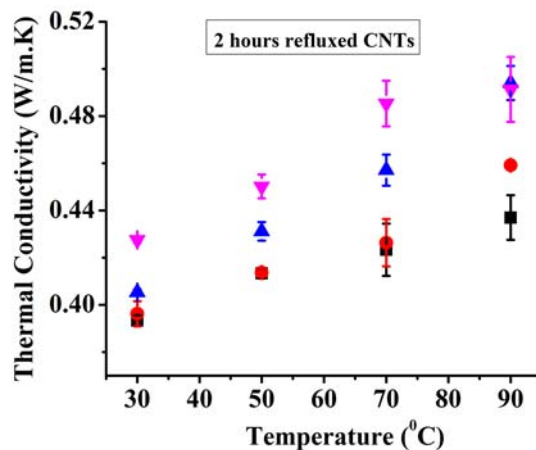
نتایج حاصل از اندازه‌گیری رسانندگی حرارتی در شکل‌های (۱-۴) آورده شده‌اند. به‌منظور حصول اطمینان از صحت اندازه‌گیری‌های انجام شده، اندازه‌گیری در هر دمایی بین ۵ تا ۱۰ مرتبه تکرار گردید. با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS متوسط مقادیر و همچنین پراکندگی مقادیر از مقدار متوسط محاسبه گردید. به این ترتیب، مقادیر گزارش شده در نمودارها در حقیقت مقدار متوسط اندازه‌گیری‌های انجام شده در هر دما می‌باشد. همچنین پراکندگی مقادیر از مقدار متوسط با استفاده از علامت خطا روی هر یک از نقاط نمودارها مشخص شده است. لازم به ذکر است که دستگاه KD2-probe علاوه بر اندازه‌گیری رسانندگی حرارتی و دما، ضریب خطایی را نیز محاسبه می‌کند. در صورتی عدد اندازه‌گیری شده برای رسانندگی حرارتی قابل قبول خواهد بود که ضریب خطا کمتر از ۰٫۰۱ باشد. تمامی مقادیر رسانندگی حرارتی با در نظر گرفتن این ضریب خطا گزارش شده‌اند.



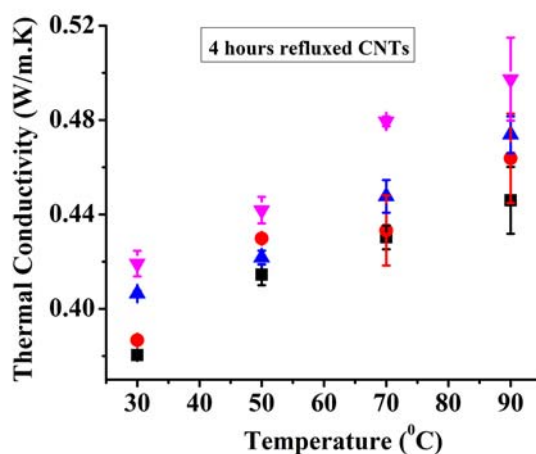
**شکل ۱-** رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های هیبریدی بر پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول حاوی نانولوله‌های کربنی اولیه پس از ۲ روز (■)، ۷ روز (●)، ۲۰ روز (▲) و ۶۵ روز (▼) از ساخت نانوسیال‌ها.



**شکل ۲-** رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های هیبریدی بر پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول حاوی نانولوله‌های کربنی یک ساعت رفلکس پس از ۲ روز (■)، ۷ روز (●)، ۲۰ روز (▲) و ۶۵ روز (▼) از ساخت نانوسیال‌ها.



شکل ۳- رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های هیبریدی بر پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول حاوی نانولوله‌های کربنی دو ساعت رفلکس پس از ۲ روز (■)، ۷ روز (●)، ۲۰ روز (▲) و ۶۵ روز (▼) از ساخت نانوسیال‌ها.



شکل ۴- رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های هیبریدی بر پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول حاوی نانولوله‌های کربنی چهار ساعت رفلکس پس از ۲ روز (■)، ۷ روز (●)، ۲۰ روز (▲) و ۶۵ روز (▼) از ساخت نانوسیال‌ها.

جدول ۱- رسانندگی حرارتی سیال پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول در دماهای ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه‌ی سانتیگراد.

دما (°C)	۳۰	۵۰	۷۰	۹۰
رسانندگی گرمایی (W/m.K)	۰٫۳۸۰۸	۰٫۳۸۹۴	۰٫۴۰۱۸	۰٫۴۰۸۹

مقادیر مربوط به رسانندگی حرارتی سیال پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول در دماهای مختلف، در جدول (۱) آورده شده‌اند. همان‌گونه که انتظار می‌رود، این مقادیر بین مقادیر رسانندگی حرارتی آب یون‌زدایی شده و اتیلن گلیکول هستند و از آن جایی که رسانندگی حرارتی آب یون‌زدایی شده با افزایش دما، افزایش می‌یابد، در این سیال پایه ترکیبی نیز افزایش رسانندگی حرارتی با افزایش دما مشاهده می‌شود.

با توجه به مقادیر رسانندگی حرارتی برای سیال پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول، می‌توان درصد افزایش رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های مختلف را با گذشت زمان محاسبه نمود. مقادیر مربوط به درصدافزایش نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی اولیه و نانولوله‌های کربنی عامل‌دار با زمان رفلاکس‌های یک، دو و چهار ساعت به‌ترتیب در جدول‌های (۲-۵) نمایش داده شده‌اند.

**جدول ۲-** درصدهای افزایش رسانندگی حرارتی نانوسیال حاوی نانولوله‌های کربنی اولیه در غلظت ۰/۱ درصد حجمی با گذشت زمان ۶۵ روز پس از ساخت آن، در دماهای ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد.

زمان (روز) / دما (°C)	۲	۷	۲۰	۶۵
۹۰	۰/۴۳	۱/۸۸	۳/۸۲	۷/۲۸
۷۰	-۰/۶۶	۲/۷۴	۲/۷۱	۸/۵۷
۵۰	۱/۴	۳/۴	۳/۸۸	۹/۹۴
۳۰	۰/۱	۲/۲۷	۴/۰۳	۹/۷۱

**جدول ۳-** درصدهای افزایش رسانندگی حرارتی نانوسیال حاوی نانولوله‌های کربنی یک ساعت رفلاکس در غلظت ۰/۱ درصد حجمی با گذشت زمان ۶۵ روز پس از ساخت آن، در دماهای ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد.

زمان (روز) / دما (°C)	۲	۷	۲۰	۶۵
۹۰	۴/۶۷	۷/۷۳	۷/۸۵	۱۹/۴۳
۷۰	-۰/۸	۳/۲۹	۴/۴۷	۱۹/۳۸
۵۰	۱/۰۱	۴/۶	۷/۳	۱۲/۷۷
۳۰	۱/۹۶	۳/۸۲	۳/۵۱	۸/۸

**جدول ۴-** درصدهای افزایش رسانندگی حرارتی نانوسیال حاوی نانولوله‌های کربنی دو ساعت رفلاکس در غلظت ۰/۱ درصد حجمی با گذشت زمان ۶۵ روز پس از ساخت آن، در دماهای ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد.

زمان (روز) / دما (°C)	۲	۷	۲۰	۶۵
۹۰	۶/۸۷	۱۲/۳	۲۰/۸۱	۲۰/۱۶
۷۰	۵/۳۷	۶/۱۱	۱۳/۷۷	۲۰/۷۹
۵۰	۶/۱۵	۶/۲۴	۱۰/۷۱	۱۵/۶۱
۳۰	۳/۲۹	۴/۰۶	۶/۴۴	۱۲/۲۸

**جدول ۵-** درصدهای افزایش رسانندگی حرارتی نانوسیال حاوی نانولوله‌های کربنی چهار ساعت رفلاکس در غلظت ۰/۱ درصد حجمی با گذشت زمان ۶۵ روز پس از ساخت آن، در دماهای ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد.

زمان (روز) دما (C)	۲	۷	۲۰	۶۵
۹۰	۹,۰۷	۱۳,۴۱	۱۵,۸۸	۲۱,۶۳
۷۰	۷,۱	۷,۸۱	۱۱,۴۲	۱۹,۳۱
۵۰	۶,۴۵	۱۰,۳۹	۸,۳	۱۳,۴۶
۳۰	-۰,۱۱	۱,۵۶	۶,۷۵	۱۰,۰۸

با مقایسه‌ی مقادیر جدول‌های (۲-۵) با مقادیر مربوط به درصدهای افزایش رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی اولیه و عامل‌دار با سیال‌های پایه‌ی آب یون‌زدایی شده و اتیلن گلیکول به تنهایی که در پژوهش‌های قبلی ما گزارش شده‌اند [۱۹-۲۰]، به روشنی می‌توان دریافت که میزان افزایش رسانندگی حرارتی با گذشت زمان در سیال پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول کم‌تر از سیال پایه‌ی اتیلن گلیکول است. این نتیجه دور از انتظار نیست، زیرا در مورد سیال پایه‌ی آب یون‌زدایی شده با گذشت زمان تغییری در رسانندگی حرارتی مشاهده نشد و فقط در مورد سیال پایه‌ی اتیلن گلیکول این رفتار مشاهده شد. از آن‌جاییکه نیمی از سیال پایه‌ی مورد بررسی را آب یون‌زدایی شده تشکیل می‌دهد و نیمی دیگر را اتیلن گلیکول، انتظار داریم مجموع رفتار حرارتی نانوسیال، ترکیبی از رفتار حرارتی هر دو ماده باشد. در مورد چگونگی تغییرات رسانندگی حرارتی با دما عوامل متعددی می‌توان ذکر نمود. از جمله فاصله ذره تا ذره که تحت عنوان مسیر آزاد شناخته می‌شود با افزایش دما، کاهش می‌یابد. این کاهش باعث می‌شود که ذرات در فاصله‌ی نزدیک‌تری نسبت به یکدیگر قرار بگیرند در نتیجه ارتعاشات شبکه افزایش یافته و منجر به افزایش رسانندگی حرارتی گردد [۲۱]. همچنین افزایش رسانندگی حرارتی با دما را می‌توان به حرکت براونی نانوذرات نسبت داد. به این معنی که با افزایش دما، تحرک پذیری نانولوله‌های کربنی و در نتیجه رسانندگی حرارتی افزایش می‌یابد [۱۹].

### ۳- بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش‌های قبلی [۱۹-۲۰] افزایش رسانندگی حرارتی و پایداری نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی در سیال‌های پایه‌ی آب یون‌زدایی شده و اتیلن گلیکول به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این پژوهش‌ها، نشان داد که در تمامی سیال‌های پایه‌ی مورد بررسی، نانو سیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی عامل‌دار، دارای رسانندگی حرارتی بالاتری نسبت به نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی اولیه (بدون عامل) هستند. همچنین در نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی در سیال پایه‌ی آب یون‌زدایی شده، تغییر دما تأثیر بیش‌تری نسبت به تغییر غلظت در افزایش رسانندگی حرارتی دارد. در این نوع نانوسیال‌ها، بیش‌ترین درصد افزایش حدود ۱۵ درصد و برای نانوسیال حاوی نانولوله‌های کربنی یک ساعت رفلاکس در دمای ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و درصد حجمی ۰/۵ بدست آمد [۱۹].

در تحقیق دیگر [۲۰] مشاهده شد که نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی در سیال پایه‌ی اتیلن گلیکول دارای رفتاری متفاوت نسبت به نانوسیال‌های بر پایه‌ی آب یون‌زدایی شده هستند. با گذشت زمان، رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی در سیال پایه‌ی اتیلن گلیکول افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که پس از گذشت حدود چهار ماه حدود ۵۰ درصد افزایش در رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی عامل‌دار مشاهده گردید. نکته‌ی قابل توجه دیگر این‌که در این‌گونه نانوسیال‌ها، وابستگی قابل ملاحظه‌ای به دما مشاهده نشد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری طیف‌سنجی UV-vis برای نانوسیال‌های بر پایه‌ی آب یون‌زدایی شده و نانوسیال‌های بر پایه‌ی اتیلن گلیکول، بهترین پایداری برای نانولوله‌های چهار ساعت رفلاکس در سیال پایه‌ی آب یون‌زدایی شده حاصل شد. در این تحقیق که ترکیب هر دو سیال پایه، مورد استفاده قرار گرفت، مشاهده شد نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی در سیال پایه‌ی ۵۰٪ آب یون‌زدایی شده و ۵۰٪ اتیلن گلیکول، ترکیبی از رفتار نانوسیال‌های بر پایه‌ی آب یون‌زدایی شده و نانوسیال‌های بر پایه‌ی اتیلن گلیکول از خود نشان می‌دهند. به‌طوری‌که با افزایش دما، مانند مورد نانوسیال‌های بر پایه‌ی آب یون‌زدایی شده افزایش در رسانندگی حرارتی مشاهده شد و با گذشت زمان نیز مانند مورد نانوسیال‌های بر پایه‌ی اتیلن گلیکول افزایش در رسانندگی حرارتی مشاهده گردید به طوری‌که پس از گذشت ۶۵ روز حدود ۲۰ درصد افزایش در رسانندگی حرارتی نانوسیال‌های حاوی نانولوله‌های کربنی عامل‌دار مشاهده شد.

## مراجع

- [1] Choi, S.U.S., "Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, in: D. A. Siginer, H. P. Wang (Eds.), *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*", the American Society of Mechanical Engineers, New York, (FED-Vol. 231/ MD-Vol. 66), pp. 99-105, (1995).
- [2] Munkhbayara, B., Tanshena, M.R., Jeouna, J., Chungb, H., and Jeong, H., "Surfactant-Free Dispersion of Silver Nanoparticles into MWCNT-Aqueous Nanofluids Prepared by One-step Technique and their Thermal Characteristics", *Ceramics International*, Vol. 39, pp. 6415-6425, (2013).
- [3] Talaei, Z., Mahjoub, A.R., Rashidi, A.M., Amrollahi, A., and Emami Meibodi, M., "The Effect of Functionalized Group Concentration on the Stability and Thermal Conductivity of Carbon Nanotube Fluid as Heat Transfer Media", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 38, pp. 513-517, (2011).
- [4] Chen, L., and Xie, H., "Silicon Oil Based Multiwalled Carbon Nanotubes Nanofluid with Optimized Thermal Conductivity Enhancement", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 352, pp. 136-140, (2009).
- [5] Munkhbayar, B., Nine, M.J., Jeoun, J., Erdene, M.B., Chung, H., and Jeong, H., "Influence of Dry and Wet Ball Milling on Dispersion Characteristics of the Multi-walled Carbon Nanotubes in Aqueous Solution with and without Surfactant", *Powder Technology*, Vol. 234, pp. 132-140, (2013).



- [6] Emami Meibodi, M., Vafaie-Sefti, M., Rashidi, A.M., Amrollahi, A., Tabasi, M., and Sid Kalal, H., "The Role of Different Parameters on the Stability and Thermal Conductivity of Carbon Nanotube/Water Nanofluids", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 37, pp. 319–323, (2010).
- [7] Rastogi, R., Kaushal, R., Tripathi, S.K., Sharma, A.L., Kaur, I., and Bharadwaj, L.M., "Comparative Study of Carbon Nanotube Dispersion using Surfactants", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 328, pp. 421–428, (2008).
- [8] Beck, M.P., Yuan, Y., Warriar, P., and Teja, A.S., "The Effect of Particle Size on the Thermal Conductivity of Alumina Nanofluids", *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 11, pp. 1129-1136, (2009).
- [9] Shima, P.D., Philip, J., and Raj, B., "Role of Microconvection Induced by Brownian Motion of Nanoparticles in the Enhanced Thermal Conductivity of Stable Nanofluids", *Applied Physics Letters*, Vol. 94, pp. 223101-223103, (2009).
- [10] Wei, X., Zhu, H., Kong, T., and Wang, L., "Synthesis and Thermal Conductivity of Cu<sub>2</sub>O Nanofluids", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 52, pp. 4371-4374, (2009).
- [11] Wang, L., and Wei, X., "Nanofluids: Synthesis, Heat Conduction, and Extension", *Journal of Heat Transfer*, Vol. 131, pp. 033102-1:033102-7, (2009).
- [12] Longo, G.A., Zilio, C., Ceseracciu, E., and Reggiani, M., "Application of Artificial Neural Network (ANN) for the Prediction of Thermal Conductivity of Oxide–water Nanofluids", *Nano Energy*, Vol. 1, pp. 290-296, (2012).
- [13] Xing, M., Yu, J., and Wang, R., "Experimental Study on the Thermal Conductivity Enhancement of Water Based Nanofluids using Different Types of Carbon Nanotubes", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 88, pp. 609-616, (2015).
- [14] Pal, B., and Pal, Bh., "Influence of CuO Nanostructures on the Thermal Conductivity of DI Water and Ethylene Glycol Based Nanofluids", *Particulate Science and Technology*, Vol. 33, pp. 224-228, (2015).
- [15] Sati, P., Shende, R.C., and Ramaprabhu, S., "An Experimental Study on Thermal Conductivity Enhancement of DI Water-EG Based ZnO(CuO)/graphene Wrapped Carbon Nanotubes Nanofluids", *Thermochimica Acta*, Vol. 666, pp. 75-81, (2018).
- [16] Naddaf, A., and Zeinali Heris, S., "Experimental Study on Thermal Conductivity and Electrical Conductivity of Diesel Oil-based Nanofluids of Graphene Nanoplatelets and Carbon Nanotubes", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 95, pp. 116-122, (2018).
- [17] Sajid, M.U., and Ali, H.M., "Thermal Conductivity of Hybrid Nanofluids: A Critical Review", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 126, pp. 211-234, (2018).

- [18] Omrani, A.N., Esmailzadeh, E., Jafari, M., and Behzadmehr, A., "Effects of Multi Walled Carbon Nanotubes Shape and Size on Thermal Conductivity and Viscosity of Nanofluids", *Diamond & Related Materials*, Vol. 93, pp. 96-104, (2019).
- [19] Farbod, M., Ahangarpour, A., and Etemad, S.Gh., "Stability and Thermal Conductivity of Water-based Carbon Nanotube Nanofluids", *Particuology*, Vol. 22, pp. 59-65, (2015).
- [20] Ahangarpour, A., and Farbod, M., "The Noble Effect of Eging on the Thermal Conductivity of Modified CNTs-Ethylene Glycol Nanofluids", *Physics and Chemistry of Liquids*, Vol. 56, pp. 9-15, (2018).
- [21] Leonga, K.Y., Ku Ahmada, K.Z., Ongb, H.C., Ghazalic, M.J., and Baharumd, A., "Synthesis and Thermal Conductivity Characteristic of Hybrid Nanofluids – A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 75, pp. 868-878, (2017).

**Abstract**

In this work, 50% deionized water and 50% ethylene glycol hybrid nanofluids containing carbon nanotubes (CNTs) with different lengths and 0.1 Vol% concentration were prepared and their thermal conductivity were measured at 30, 50, 70 and 90 °C. In order to change the CNTs lengths and enhance their dispersibility in different fluids, the CNTs were functionalized. The results showed that the thermal conductivity of nanofluids containing functionalized CNTs was higher than that of for nanofluids containing pristine CNTs.

The results showed that such nanofluids exhibited a combination behavior of the pure deionized water based nanofluids and ethylene glycol based nanofluids. It was found that the thermal conductivity was increased with increasing temperature as pure deionized water based nanofluids, and the thermal conductivity was increased with increasing time for all kind of nanofluids as the ethylene glycol based nanofluids so that after 65 days, about 21% thermal conductivity enhancement was measured.