

## تحلیل تجربی تاثیر نانوصفحات گرافن اکساید/آب دیونیزه بر عملکرد یک گردآورنده جذب مستقیم خورشیدی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران  
 استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران  
 استادیار، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

سهیلا خسروجردی  
 آرش میر عبدالله لواسانی\*  
 شهرام دلفانی

### چکیده

از آنجا که انرژی خورشید یکی از شناخته شده ترین منابع مهم انرژی تجدیدپذیر می باشد راهکارهای افزایش جذب انرژی خورشیدی نقش قابل توجهی را در اثربخشی سیستم گردآورنده گرمایی ایفا می کند. هدف از این مطالعه تحلیل تجربی عملکرد گردآورنده جذب مستقیم خورشیدی با استفاده از نانوسیال نانوصفحات گرافن اکساید بر پایه آب دیونیزه می باشد. درصد وزنی گرافن اکساید در سیال پایه آب دیونیزه به ترتیب درصدهای ۰/۰۰۵، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۴۵ انتخاب شده است. گردآورنده مورد استفاده مطابق با استاندارد EN 12975-2 در دماهای مختلف سیال ورودی و در دبی های ۰/۰۰۷۵، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۲۲۵ کیلوگرم بر ثانیه مورد آزمون قرار گرفته است. نتایج حاصل از این آزمایش نشان می دهد با افزایش درصد وزنی نانوسیال، کارایی گردآورنده افزایش یافته است و همچنین راندمان گردآورنده در بیشترین مقدار و در دبی ۰/۰۱۵ kg/s و در درصد وزنی ۰/۰۰۵، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۴۵ به ترتیب ۶۳/۲۸، ۷۲/۵۹ و ۷۵/۰۷ است که این مقدار برای سیال پایه ۵۸/۲۵ می باشد.

واژه های کلیدی: گردآورنده جذب مستقیم خورشیدی، نانوسیال، نانوصفحات گرافن اکساید، کارایی.

## An experimental analysis of the effect of graphene oxide nanoplatelets / deionized water on the direct absorption solar collector performance

S. Khosrojerdi

Department of Mechanical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

A. Mirabdollah Lavasani

Department of Mechanical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Sh. Delfani

Department of Installation, Building and Housing Research Center (BHRC), Tehran, Iran

### Abstract

Since solar energy is known as one of the most important and renewable energy resources, increasing the absorption of solar energy plays significant roles in the effectiveness of thermal collector systems. This research aims to analyze empirically the function of direct absorption solar collectors with the use of graphene oxide nanoplatelets /deionized water. Weight percent's of the graphene oxide in the deionized water are selected **0.005**, **0.015** and **0.045**. Collectors have been examined according to **EN 12975-2** standard in various intern fluid temperature and with flow rates of **0.0075**, **0.015** and **0.0225**. Results show by increasing the weight percent of Nanofluid, collector's performance is increased. Moreover, the maximum efficiencies of collector with the flow rate of **0.045** are determined **63.28%**, **72.59%** and **75.07%**. This amount for the normal fluid is **58.25%**.

**Keywords:** Direct absorption solar collector, Nanofluids, Graphene oxide Nanoplatelets, Efficiency.

### ۱-مقدمه

در سیستم های حرارتی خورشیدی، گردآورنده ها و جاذب ها به عنوان مهمترین بخش در تبدیل فوتوترمال می باشند. در میان انواع گردآورنده های خورشیدی، جاذب حجمی و یا گردآورنده جذب مستقیم با توجه به عبور نور از حجم سیال به جای محدود کردن آن به سطح و همچنین دریافت گرمای منتشر شده از سطوح گرم، دارای کارایی بالایی می باشد [۵]. ذرات جامد معلق در سوسپانسیون مورد استفاده در گردآورنده های حجمی، موجب افزایش توانایی جذب انرژی خورشید می شود [۶].

یک قرن پیش، به منظور افزایش انتقال حرارت و خواص ترموفیزیکی سیالات، ایده پراکنده سازی ذرات جامد در سیالات بیان شد که این سوسپانسیون نانوسیال نام گرفت [۷]. مطالعات صورت گرفته نشان داد که نانوسیال ها دارای خواص ترموفیزیکی بهتری در مقایسه با سیال پایه مانند آب یا اتیلن گلیکول و روغن است [۱۰-۸].

انرژی به عنوان یکی از کلیدهای زندگی مدرن امروز که همواره زیربنای مورد نیاز برای توسعه اقتصادی جوامع را فراهم می نماید، همیشه به عنوان یکی از موضوعات مهم و با ارزش در جهان مطرح بوده است. افزایش قیمت انرژی، کاهش دسترسی و عدم امنیت آن و همچنین نگرانی های زیست محیطی در قرن بیست و یکم، باعث شده است که در چشم انداز انرژی جهان نگاه ویژه ای به استفاده از فن آوری انرژی های تجدیدپذیر شده باشد [۱].

بررسی انواع تکنولوژی های انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی وسیع و تجدیدپذیر نشان می دهد، که تبدیل و استفاده از فوتوترمال از اهمیت ویژه ای برخوردار است چرا که همراه با استفاده در سیستم های حرارتی [۲]، در تولید برق [۳] و فن آوری شیمیایی [۴] مورد استفاده واقع شده است.

خود نشان می‌دهد و همچنین به دلیل سوسپانسیون بالا و پایداری بسیار مناسب این نانوسیال جهت تست در گردآورنده خورشیدی استفاده شده است. نمونه ی ۲۰۰ میلی تهیه شده ی آن توسط نویسندگان پس از ۹ ماه پایداری خود را حفظ نموده است. که از این رو این نانوسیال در کنار خصوصیات افزایش دهنده انتقال گرما جهت تست انتخاب گردید که می تواند در این نوع گردآورنده گزینه ی مناسبی از لحاظ پایداری جهت کاربردی شدن داشته باشد که با بررسی سایر جنبه ها می توان نظر قطعی در این مورد داد. با تهیه نانوسیال حاوی نانوصفحات گرافن اکساید بر پایه آب دیونیزه با سه درصد وزنی (GO1) ۰/۰۰۵، (GO2) ۰/۰۱۵ و (GO3) ۰/۰۴۵ به بررسی عملکرد و تحلیل تجربی گردآورنده خورشیدی جذب مستقیم با هدف کاربری در آبگرمکن خورشیدی خانگی پرداخته شده است.

## ۲- روش تجربی

### ۲-۱- مواد

در این مطالعه از نانوصفحات گرافن اکساید چندلایه<sup>۱</sup> می باشد به عنوان ذره عامل استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین سیال پایه مورد استفاده، آب دیونیزه می باشد.

جدول ۱- مشخصات نانوذرات

مشخصات	خواص
Graphene Oxide	Type
Brown yellow or Black powder	Appearance
99%	Purity
6-10 Layers	Layers
10-50 um	Diameter
$100-300 \frac{m^3}{gr}$	SSA
	Thickness:
$1gr/om^3$	Density
$4x10^{-4} ohm.cm$	Volume Resistivity

با توجه به ماهیت نانوسیال که مخلوطی از نانوذرات و سیال پایه می باشد، خواص ترموفیزیکی یک نانوسیال تابعی از خواص اجزاء تشکیل دهنده آن می‌باشد. لذا شناخت صحیح از خواص نانوذرات یک ضرورت می باشد. از این رو در این مطالعه، آنالیز نانوذرات و بررسی ساختار آنها با استفاده از دو روش میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۲</sup> و پراش اشعه ایکس<sup>۳</sup> و در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه صنعتی امیرکبیر صورت گرفته است. جهت بررسی مورفولوژی ساختار نانوصفحات گرافن اکساید از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شده است. در شکل ۱ نتایج آن نشان داده شده است.

اتانیکار و همکارانش [۱۱] اولین مطالعه تجربی را بر روی گردآورنده‌های جذب مستقیم به کمک نانوسیال های گرافیت، نانولوله های کربنی و نقره بر پایه آب انجام دادند که نتایج آزمایشات آنها نشان داد استفاده از نانوسیال ها باعث افزایش کارایی گردآورنده حجمی خورشیدی تا حدود ۵ درصد بیشتر از گردآورنده‌های متداول می‌شود.

تیلور و همکارانش [۱۲] با بررسی خواص نوری نانوسیال هایی که حاوی ذرات گرافیت، طلا، مس، آلومینیوم و نقره بودند، نشان دادند که در شرایط مختلف، نانوسیال ها توانایی جذب ۹۵ درصد از انرژی تابشی را دارا می باشند.

مو و همکارانش [۱۳] با استفاده از نانوسیال های اکسید تیتانیوم، اکسید سیلیسیم و زیرکونیوم کاربرد بر پایه آب در گردآورنده های حجمی نشان دادند استفاده از نانوذرات زیرکونیوم کاربرد در آب تاثیر چشمگیری در افزایش میزان انرژی خورشیدی در مقایسه با دیگر نانوسیال ها خواهد داشت.

شده و همکاری جهت کاربرد گردآورنده های جذب مستقیم در دمای کاری پایین از نانوسیال که ذرات آن متشکل از نانولوله های کربن چند جداره و گرافن اکساید که توسط نیتروژن تقویت شده اند استفاده نمود. نتایج تحقیقات آنها نشان داد استفاده از این نوع ذره در آب با کسر حجمی ۰/۰۲ درصد موجب افزایش ۱۷/۷ درصدی رسانایی گرمایی و استفاده از این نوع ذره در اتیلن گلیکول با کسر حجمی ۰/۰۳ درصد موجب افزایش ۱۵/۱ درصدی خواهد شد [۱۴].

سید و همکارانش [۱۵] با اندازه گیری تجربی و بررسی خواص نوری نانوسیال ها با ذرات اکسید فلزی نشان دادند که اکسید تیتانیوم در مقایسه با اکسید آلومینیوم دارای خواص نوری بهتری هستند.

کرمی و همکارانش [۱۶] با معرفی کاربرد جدید نانوسیال حاوی نانولوله های کربنی در گردآورنده های جذب مستقیم خورشید نشان دادند استفاده از این نانوذرات در کسر حجمی ۱۵۰ پی پی ام موجب افزایش ۳۲ درصدی رسانایی گرمایی خواهد شد.

لنرت و همکارانش با استفاده از مدل انتقال گرمای گذرا یک بعدی به حل عددی یک دریافت کننده حجمی در دمای کاری بالا، با محیط جذب حاوی نانوسیال پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد نانوسیال حاوی نانوذره کربن پوشش داده شده با کبالت، توانایی جذب ۹۸ درصد از تابش خورشید را خواهد داشت [۱۷].

باندارا و همکارانش با استفاده از نانوذرات نقره در یک سیستم جذب مستقیم خورشید به بررسی اهمیت استفاده از این نوع ذره در افزایش کارایی سیستم پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که نانوسیال با کسر حجمی ۶/۵ پی پی ام می تواند موجب افزایش ۱۴۴ درصدی کارایی سیستم جذب شود [۱۸].

با توجه به اهمیت سیال عامل و ذرات معلق در گردآورنده های حجمی و یا جذب مستقیم، زمانی بهینه سازی گردآورنده های خورشیدی توسط مکانیزم جذب مستقیم اتفاق می افتد که سیال عامل مناسبی به کار رود. از این رو در این مقاله به بررسی اهمیت استفاده از نانو صفحات گرافن اکساید به عنوان ذره عامل در آب پرداخته شده است.

در این مطالعه از اکسید گرافن دارای ساختار لانه زنبوری که به دلیل داشتن الکترون های آزاد خاصیت رسانای الکتریکی بالایی از

1 US Research Nanomaterials, Inc., USA محصول شرکت

2 Scanning Electron Microscope (SEM)

3 X-Ray Diffraction

۲۰ کیلوهرتز، استفاده شد. مدت زمان کارکرد دستگاه التراسونیک برای ساخت نمونه ها ۴۵ دقیقه با توان ۵۰ درصد می باشد. در شکل ۳ نمونه های تهیه شده نشان داده شده است.



شکل ۳- نمونه های نانوسیال با درصد وزنی های مختلف

### ۲-۳- مشخصات تجهیزات آزمون

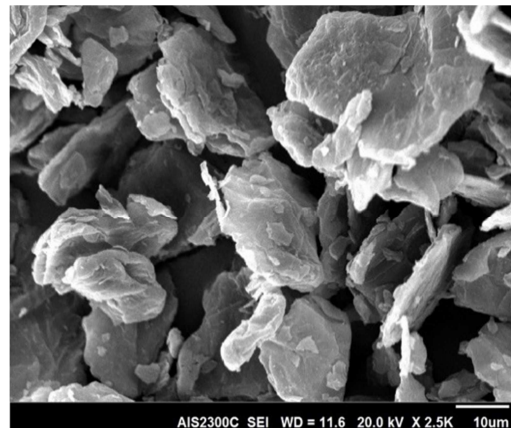
به منظور مطالعه تجربی عملکرد گردآورنده جذب مستقیم یک نمونه از گردآورنده جذب مستقیم با هدف کاربری در آبگرمکن خورشیدی خانگی واقع در شهر تهران، که در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (E 35.6961° N, 51.4231°) تهیه و نصب بوده، استفاده شده است. زاویه نصب گردآورنده جهت دریافت بیشترین تابش خورشیدی در این سیستم برابر با عرض جغرافیایی شهر تهران، ۳۵° طراحی و ساخته شده است که در شکل ۴ تصویر سیستم ساخته شده قابل مشاهده است.



شکل ۴- تصویر تجهیزات مورد آزمایش

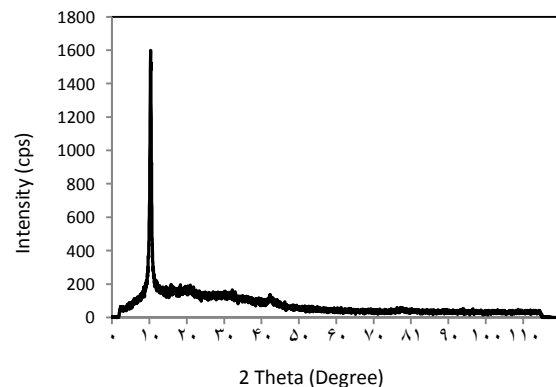
در گردآورنده جذب مستقیم از حجم سیال به جای سطح استفاده می شود که این باعث شده استفاده از نانوسیال جهت جذب مستقیم خورشید در این نوع گردآورنده و انتخاب این نوع گردآورنده مدنظر نویسندگان باشد.

مطابق با تصویر نشان داده شده گردآورنده جذب مستقیم دارای ابعاد ۶۰ در ۶۰ سانتی متر مربع و به عمق ۱۰ میلی متر و بدنه ای از جنس آلومینیوم بوده که کل بدنه گردآورنده با استفاده از عایق پلی یورتان به ضخامت ۱۰ میلی متر جهت محدود کردن اتلاف گرما به محیط بیرون از پشت و دیواره های جانبی عایق کاری شده است.



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوصفحات گرافن اکساید

جهت بررسی ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالی نانوذرات از دستگاهی که دارای گستره اندازه گیری ۵-۱۲۰ درجه می باشد، استفاده شده است. نتایج حاصل مطابق با شکل ۲ نشان می دهد که ماده مورد آزمون در زاویه ۱۰/۴۶ بیشترین پیک را داشته است و وجود یک پیک در نمودار نشان از خلوص بالای ماده موردنظر می باشد.



شکل ۲- نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس نانو صفحات گرافن اکساید

### ۲-۲- روش تهیه نانوسیال

از آنجایی که میزان پراکندگی نانوذرات در سیال پایه حائز اهمیت می باشد، فرآیندی که به وسیله آن ذرات در داخل سیال پراکنده می شود، نقش مهمی را در تعیین خصوصیات نانوسیال به عهده دارد. با توجه به فرآیندهای مختلف تهیه نانوسیال، در این مطالعه از فرآیند دو مرحله ای جهت آماده سازی نانوسیال استفاده شده است. در این روش در ابتدا نانوذرات تهیه شده و سپس با درصد وزنی های ۰/۰۰۵، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۴۵ در سیال که آب دیونیزه می باشد، پراکنده می شود. این فرآیند نیاز به هم زدن طولانی و استفاده از سیستم های مافوق صوت به منظور اطمینان از پراکندگی یکنواخت داشت. به همین دلیل جهت پراکنده سازی نانوذرات از یک دستگاه التراسونیک<sup>۱</sup> که دارای توان ۷۰۰ وات و دارای فرکانس

2 Q700 Sonicator, Qsonica, LLC., USA

جدول ۲- پارامترهای استاندارد جهت رسیدن به حالت پایا

مقدار	متغیر
۷۰۰	حداقل تابش خورشید جهت انجام آزمون (W/m <sup>2</sup> )
±۵۰	تغییرات تابش عمود بر سطح (W/m <sup>2</sup> )
±۱/۵	تغییرات دمای محیط (°C)
±۱	تغییرات دبی حجمی جریان (%)
±۰/۱	تغییرات دمای سیال ورودی (°C)
±۰/۱	تغییرات دمای سیال خروجی (°C)
۲-۴	سرعت باد (m/s)

روش آزمون بدین صورت است که ابتدا پس از اطمینان از وجود شرایط مناسب، گردآورنده با استفاده از یک پوشش بازتابنده (فویل آلومینیومی) و چتر سایبان در مقابل تابش خورشید محافظت می شود تا شرایط پایا حاصل و دمای ورودی و خروج یکسان شود، سپس پوشش به سرعت از روی گردآورنده برداشته می شود و اندازه گیری ها تا رسیدن به شرایط پایای ثانویه ادامه می یابد.

### ۳-۱- مدت زمان انجام آزمون

مدت زمان آزمون برای دستیابی به نقاط داده پایا باید شامل بازه پیش داده حداقل ۴ برابر ثابت زمانی گردآورنده (یا حداقل ۱۵ دقیقه در صورتی که ثابت زمانی معلوم نباشد) و بازه داده یا مدت زمان آزمون حداقل ۴ برابر ثابت زمانی گردآورنده (یا حداقل ۱۰ دقیقه در صورتی که ثابت زمانی معلوم نباشد) باشد. ثابت زمانی گردآورنده  $\tau_c$ ، به صورت طی شده تا اختلاف دمای هوای محیط و سیال خروجی از گردآورنده به ۶۳/۲ درصد برابر حاصل تفریق اختلاف دمای هوای محیط و دمای خروجی اولیه و اختلاف دمای هوای محیط و دمای خروجی ثانویه برسد. ثابت زمانی گردآورنده با استفاده از رابطه ۱ بدست می آید.

$$\tau = 0.632 \times ((T_{out} - T_{amb})_2 - (T_{out} - T_{amb})_0) \quad (1)$$

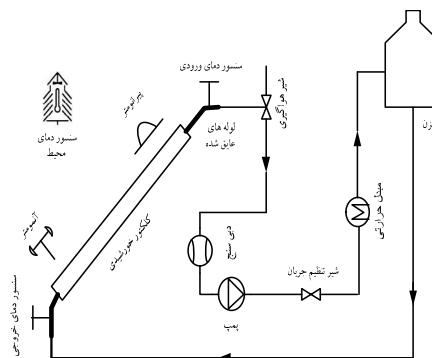
با توجه به شکل ۶ و نتایج حاصل از اندازه گیری، ثابت زمانی برابر با ۳/۵۳ می باشد که مطابق با استاندارد زمان پیش آزمون و آزمون برابر با ۴ برابر آن است که برای هر یک از مراحل پیش آزمون و آزمون حدود ۱۴ تا ۱۵ دقیقه خواهد بود.

برای اندازه گیری تابش خورشیدی نیمکره ای، پیرانومتر<sup>۱</sup> با عدم قطعیت ±۳/۵٪ بکار رفته است، دمای سیال در ورود و خروج گردآورنده با عدم قطعیت ±۰/۱ °C اندازه گیری شده است. از آنجا که اندازه گیری در محیط بیرون انجام می شود، حسگر اندازه گیری دمای هوای محیط از تابش خورشیدی مستقیم و بازتاب شده توسط سایبان بازتابنده (با روکش فویل آلومینیومی) محافظت می شود. حسگر اندازه گیری دما بیشتر از ۲۰۰ میلی متر از ورودی گردآورنده فاصله ندارد و عایقکاری کامل پیرامون لوله حسگر بالادست و پایین دست آن انجام گردیده است.

دبی حجمی سیال عامل با استفاده از دبی سنج توربینی اندازه گیری می شود. عدم قطعیت استاندارد اندازه گیری نرخ جریان ±۱٪ مقدار اندازه گیری شده است و سرعت هوای اطراف روی دهانه گردآورنده با دقت ±۰/۰۳ m/s اندازه گیری می شود. مقدار میانگین سرعت هوای موازی با دهانه گردآورنده اندازه گیری شده در مدت زمان آزمون، برای تمام آزمون ها، طبق استاندارد در محدوده ۲ تا ۴ متر بر ثانیه است.

### ۳- روش آزمون

در میان انواع استانداردها و روشهای آزمون در این تحقیق، آزمون مطابق با استاندارد EN 12975-2 صورت گرفته است که شکل طرحواره دستگاه آزمون به همراه چیدمان تجهیزات در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- طرحواره از تجهیزات آزمایشی

آزمون گردآورنده در محدوده دمای کاری ۳۵ تا ۵۰ درجه سلسیوس، تحت شرایط آسمان صاف و مطابق با شرایطی که می بایستی در طول آزمون ثابت نگه داشته شود مطابق جدول ۲ انجام شده است.

می آید. محل برخورد نمودار کارایی با محور عمودی، نشان دهنده  $\eta_0$  و یا همان بیشترین کارایی می باشد. از طرفی شیب نمودار کارایی برابر با  $a_1$  یعنی ضریب اتلاف گرما از گردآورنده خواهد بود [۲۱].

از آنجایی که میزان کارایی گردآورنده به دبی جرمی، دمای خروجی و ورودی و همچنین میزان تابش خورشید وابسته است، جهت بررسی عدم قطعیت ترکیبی نتایج تجربی از معادله (۸) استفاده شده است که این مقدار با توجه به محاسبات صورت گرفته ۴/۷ درصد می باشد:

$$U_{\eta} = \sqrt{U_m^2 + U_{G_T}^2 + U_{\Delta T}^2} \quad (8)$$

عدم قطعیت هر پارامتر شامل خطای ثابت و متغیر می باشد. خطای اندازه گیری دبی جرمی که مربوط به تجهیز اندازه گیری می باشد و به عنوان خطای ثابت شناخته می شود برابر با  $\pm 1.0\%$  و خطای تصادفی که ناشی از شیوه اندازه گیری و آزمون می باشد برابر با  $< 1.9\%$  می باشد. خطای ثابت جهت دستگاه های اندازه گیری دمای خروجی و ورودی معادل  $\pm 0.1^\circ C$  و خطای تصادفی  $\Delta T < 1^\circ C$  می باشد. در نهایت میزان تابش خورشید با خطای ثابت  $\pm 3.5\%$  و خطای تصادفی  $< 2\%$  در این آزمون مورد استفاده واقع شده اند که در جدول ۳ خلاصه ای از این نتایج نشان داده شده است.

جدول ۳- عدم قطعیت نتایج اندازه گیری پارامترها

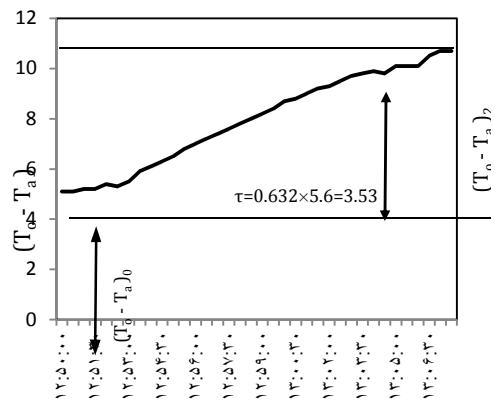
Complex uncertainty (U)	Fixed Error	Random Error	parameters
2.17%	$\pm 1.0\%$	$< 1.9\%$	Mass Flow rate ( $\dot{m}$ )
1.01°C	$\pm 0.1^\circ C$	$< 1^\circ C$	Temperature ( $\Delta T$ )
4.06%	$\pm 3.5\%$	$< 2\%$	Solar Radiation (G)

#### ۴- نتایج

##### ۴-۱- عملکرد سیال پایه

از آنجا که در این کار تجربی از آب دیونیزه به عنوان سیال پایه استفاده شده است، در این بخش به بررسی عملکرد و نتایج حاصل از تست آب دیونیزه بدون حضور ذرات عامل در گردآورنده پرداخته شده است.

نتایج حاصل از تست در دبی های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. مطابق با نتایج حاصل از بررسی کارایی گردآورنده با آب دیونیزه می توان نتیجه گرفت کارایی در دبی  $0.075$  کیلوگرم بر ثانیه، کمترین مقدار و در دبی  $0.15$  کیلوگرم بر ثانیه دارای بیشترین مقدار خواهد بود. همانطور که از نتایج پیداست، لزوماً افزایش دبی موجب افزایش کارایی گردآورنده نخواهد بود، چرا که با افزایش بیش از مقدار بهینه، سیال فرصت کمتری را برای در معرض بودن تابش خورشید پیدا می کند. از این رو می توان به این نتیجه رسید که مقدار بهینه دبی در میان مقادیر انتخابی،  $0.15$  کیلوگرم بر ثانیه می باشد.



شکل ۶- نمودار ثابت زمانی

##### ۳-۲- محاسبه کارایی گردآورنده

برای محاسبه کارایی گردآورنده، نقاط داده برای حداقل ۴ دمای ورودی که به صورت یکنواخت در محدوده دمای کاری گردآورنده انتخاب شده اند، استفاده شده است. برای تعیین دقیق بیشترین کارایی، اولین دمای ورودی برابر با دمای هوای محیط انتخاب شده است. جهت ترسیم برازش منحنی کارایی گردآورنده از ۴ نقطه داده مستقل برای هر دمای ورودی که در مجموع ۱۶ نقطه داده در ۴ دمای ورودی می شود در این مطالعه بهره برده شده است. توان مفید واقعی استخراج شده از رابطه (۲) محاسبه می شود:

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in}) \quad (2)$$

با استفاده از روابط نظری می توان گرمای ویژه نانوسیال را محاسبه نمود. با توجه به بررسی های صورت گرفته توسط هائلی [۲۱] بر روی مدل ها و روابط مورد استفاده جهت پیش بینی گرمای ویژه، در این تحقیق از رابطه ۳ جهت محاسبه استفاده شده است:

$$c_{p,nf} = \frac{\phi(\rho c_p)_n + (1 - \phi)(\rho c_p)_f}{\phi \rho_n + (1 - \phi)\rho_f} \quad (3)$$

انرژی خورشیدی دریافت شده توسط گردآورنده  $A_G \cdot G_T$  است که در آن  $A_G$  سطح ناخالص گردآورنده است. توان مفید گردآورنده را می توان با در نظر گرفتن کارایی به صورت زیر نوشت:

$$\eta_G = \frac{\dot{m} c_p (T_{out} - T_{in})}{A_G \cdot G_T} \quad (4)$$

جهت بررسی عملکرد گردآورنده، ترسیم نمودار کارایی بر حسب تابعی از اختلاف دمای کاهش یافته صورت می پذیرد:

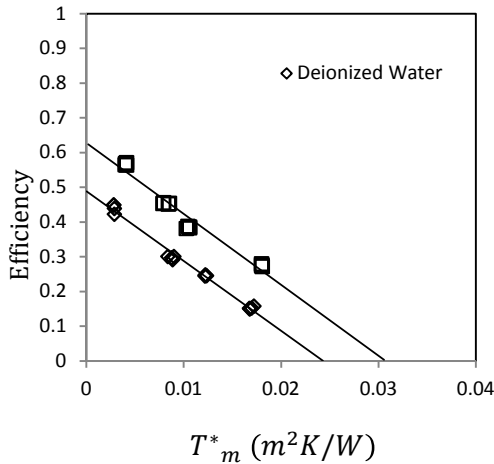
$$T_m = T_{in} + \frac{T_{out} - T_{in}}{2} \quad (5)$$

$$T^*_m = \frac{T_m - T_a}{G_T} \quad (6)$$

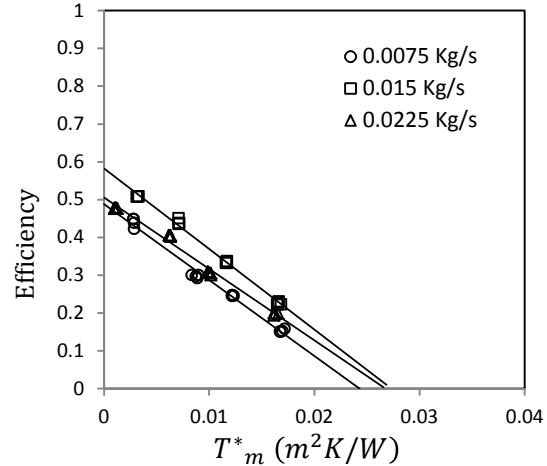
مطابق با استاندارد EN-12975-2، کارایی گرمایی لحظه ای بر حسب اختلاف دمای کاهش یافته به صورت زیر بیان می شود:

$$\eta = \eta_0 - a_1 T^*_m - a_2 G_T (T^*_m)^2 \quad (7)$$

دو مجهول  $a_1$  و  $a_2$  با استفاده از برازش منحنی داده های تجربی با روش حداقل مربعات به صورت خطی و یا درجه دوم بدست



شکل ۸- تاثیر سیال عامل بر کارایی گردآورنده جذب مستقیم ( در دبی ۰/۰۰۷۵ kg/s)

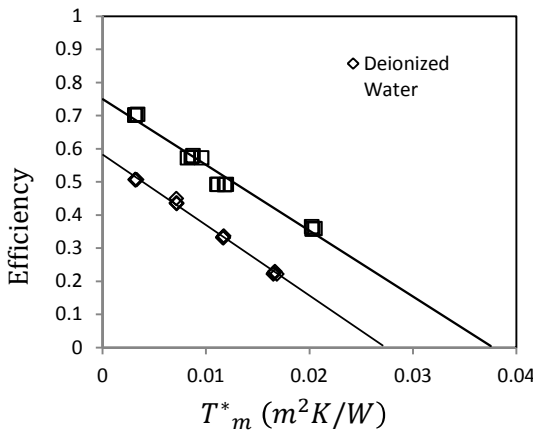


شکل ۷- کارایی گردآورنده با سیال پایه در دبی های مختلف

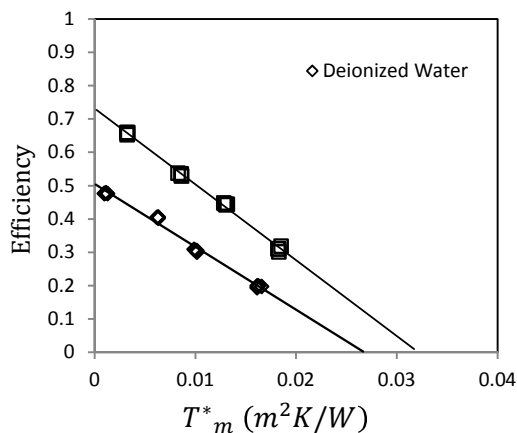
با توجه به ترسیم برازش منحنی و استفاده از ارتباط خطی بین نتایج، ضرایب ثابت و بیشترین کارایی هر یک از دبی ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- ضرایب نمودار کارایی گردآورنده با سیال پایه در دبی های مختلف

رابطه کارایی لحظه ای	$R^2$	$a_1$	$\eta_0$	دبی جرمی (Kg/s)
$\eta = 0.48 - 20.08 T^*_m$	۰/۹۸۸	۲۰/۰۸	۰/۴۸	۰/۰۰۷۵
$\eta = 0.58 - 21.29 T^*_m$	۰/۹۹۵	۲۱/۲۹	۰/۵۸	۰/۰۱۵
$\eta = 0.50 - 18.88 T^*_m$	۰/۹۸۸	۱۸/۸۸	۰/۵۰	۰/۰۲۲۵



شکل ۹- تاثیر سیال عامل بر کارایی گردآورنده جذب مستقیم ( در دبی ۰/۰۱۵)



شکل ۱۰- تاثیر سیال عامل بر کارایی گردآورنده جذب مستقیم (در دبی ۰/۰۲۲۵ kg/s)

#### ۴-۲- بررسی عملکرد نانوسیال در مقایسه با سیال پایه

تاثیر استفاده از نانوسیال (با درصد وزنی ۰/۰۴۵) به عنوان سیال عامل گردآورنده در مقایسه با سیال پایه در سه دبی مختلف در شکل های ۸ تا ۱۰ بررسی شده است.

نتایج نشان می دهد که در تمامی دبی های ورودی، با استفاده از نانوسیال نانوصفحات گرافن اکساید، کارایی نسبت به سیال پایه افزایش خواهد یافت.

بیشترین کارایی با استفاده از سیال پایه و نانوسیال در دبی ۰/۰۰۷۵ kg/s، به ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۶۲ درصد و در دبی ۰/۰۱۵ kg/s به ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۷۵ درصد و در دبی ۰/۰۲۲۵ kg/s به ترتیب ۰/۵۰ و ۰/۷۳ درصد می باشد.

نانوسیال در بیشترین درصد وزنی خود (۰/۰۴۵ Wt.%) و در دبی ۰/۰۰۷۵ kg/s موجب افزایش ۲۹/۱۶ درصدی، در دبی ۰/۰۱۵ kg/s موجب افزایش ۲۹/۳۱ درصدی و در دبی ۰/۰۲۲۵ kg/s موجب افزایش ۴۶/۰۱ درصدی کارایی شده است. این امر توانایی بیشتر نانوسیال را در جذب تابش خورشید نسبت به سیال پایه را تایید می کند.

با توجه به ترسیم برازش منحنی و استفاده از ارتباط خطی بین نتایج، ضرایب ثابت و بیشترین کارایی هر یک از دبی ها در درصد وزنی های مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است.

**جدول ۵- ضرایب نمودار کارایی گردآورنده با نانوسیال ها در دبی های مختلف**

دبی جرمی (Kg/s)								
۰/۰۲۲۵			۰/۰۱۵			۰/۰۰۷۵		
$R^2$	$a_1$	$\eta_0$	$R^2$	$a_1$	$\eta_0$	$R^2$	$a_1$	$\eta_0$
نمونه G1								
۰/۹۷	۲۰/۶۶	۰/۵۹	۰/۹۸	۲۱/۹۵	۰/۶۳	۰/۹۱	۲۰/۴۵	۰/۵۱
$\eta = 0.59 - 20.66 T_m^*$			$\eta = 0.63 - 21.95 T_m^*$			$\eta = 0.51 - 20.45 T_m^*$		
نمونه G2								
۰/۹۸	۲۴/۱۳	۰/۶۹	۰/۹۹	۲۲/۴۲	۰/۷۲	۰/۹۹	۱۹/۲۱	۰/۵۷
$\eta = 0.69 - 24.13 T_m^*$			$\eta = 0.72 - 22.42 T_m^*$			$\eta = 0.57 - 19.21 T_m^*$		
نمونه G3								
۰/۹۹	۲۲/۷۷	۰/۷۳	۰/۹۷	۱۹/۸۸	۰/۷۵	۰/۹۶	۲۰/۴۳	۰/۶۲
$\eta = 0.73 - 22.77 T_m^*$			$\eta = 0.75 - 19.88 T_m^*$			$\eta = 0.62 - 20.43 T_m^*$		

بیشترین کارایی گردآورنده در تمامی شرایط مربوط به نانوسیال GO3 در دبی ۰/۰۱۵ kg/s می باشد که این مقدار برابر با ۷۵ درصد است. مقدار ضریب اتلاف گرمایی  $a_1$ ، در دبی های ۰/۰۱۵kg/s، ۰/۰۲۲۵ kg/s و ۰/۰۰۷۵ kg/s اختلاف حدود ۲ درصدی نسبت به هم دارند که این مقدار ناچیز می باشد. بیشترین ضریب اتلاف گرمایی مربوط به نانوسیال GO2 در دبی ۰/۰۲۲۵ kg/s می باشد.

### ۵- نتیجه گیری

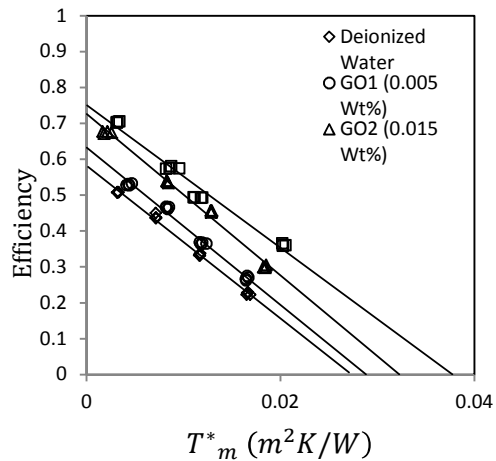
در این مطالعه، عملکرد گردآورنده خورشیدی جذب مستقیم با هدف کاربری در آبگرمکن خورشیدی خانگی و با استفاده از نانوسیال نانوسفحات گرافن اکساید با درصد وزنی های مختلف به عنوان سیال عامل مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاصل از تحلیل تجربی به شرح ذیل می باشد:

- کارایی گردآورنده با استفاده از نانوسیال در تمامی دبی های ورودی، نسب به سیال پایه افزایش یافته است.
- کارایی گردآورنده با استفاده از نانوسیال، با افزایش درصد وزنی نانوسیال، افزایش داشته است.
- بررسی نتایج نشان می دهد که افزایش دبی موجب افزایش کارایی گردآورنده نشده است. چرا که با افزایش دبی، سیال عامل فرصت کمتری برای دریافت تابش خورشید دارد.
- اثر دبی بر میزان کارایی گردآورنده با استفاده از نانوسیال مطابق با نتایج حاصل از سیال پایه می باشد، بدین معنا که کارایی گردآورنده در دبی ۰/۰۰۷۵ kg/s، کمترین مقدار و کارایی در دبی ۰/۰۱۵ kg/s دارای بیشترین مقدار خواهد بود.

### ۳-۴- بررسی اثر درصد وزنی نانوسیال

در شکل ۱۱ تاثیر درصد وزنی نانوسیال بر کارایی گردآورنده جذب مستقیم در دبی جرمی ۰/۰۱۵ kg/s نشان داده شده است. مطابق با نتایج حاصل از تست گردآورنده، هرچه نانوسیال غلیظتر باشد، میزان جذب انرژی خورشید بیشتر بوده و در مجموع کارایی افزایش بیشتری می یابد.

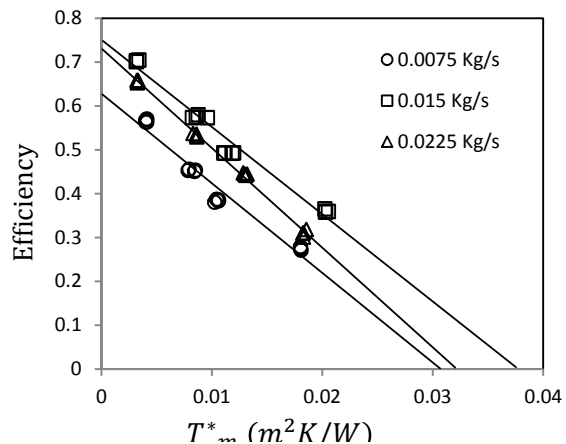
کارایی گردآورنده در بیشترین مقدار خود با استفاده از نانوسیال GO1، GO2 و GO3 در دبی ۰/۰۱۵ kg/s به ترتیب ۶۳/۲۸، ۷۲/۵۹ و ۷۵/۰۷ بوده که این مقدار برای سیال پایه ۵۸/۲۵ می باشد.



شکل ۱۱- تاثیر درصد وزنی نانوسیال بر کارایی گردآورنده (دبی ۰/۰۱۵ kg/s)

### ۴-۴- بررسی اثر دبی ورودی

شکل ۱۲ تغییرات کارایی بر حسب اختلاف دمای کاهش یافته را برای دبی های مختلف ۰/۰۰۷۵ kg/s، ۰/۰۱۵ kg/s و ۰/۰۲۲۵ kg/s نشان می دهد. بررسی نتایج نشان می دهد اثر دبی بر میزان کارایی گردآورنده با استفاده از نانوسیال مطابق با نتایج حاصل از سیال پایه می باشد، بدین معنا که کارایی گردآورنده در دبی ۰/۰۱۵ kg/s، کمترین مقدار و کارایی در دبی ۰/۰۱۵ kg/s دارای بیشترین مقدار خواهد بود.



شکل ۱۲- تاثیر سیال عامل بر کارایی گردآورنده جذب مستقیم (درصد وزنی ۰/۰۴۵)

[7] S.Das, S.U.S. Choi, W. Yu, T. Pradeep, NANOFUIDS Science and Technology, JOHN WILEY & SONS, New Jersey, 2008

[8] Beheshti A., Shanbedi M., Heris S.Z., Heat transfer and rheological properties of transformer oil-oxidized MWCNT nanofluid, *J Therm Anal Calorim*, Vol.118, pp.1451-1460, 2014.

[9] Gachuiee M.S., Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Chabi A., Experimental investigation of convective heat transfer of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water Nanofluid through the micro heat exchanger, *Modares Mechanical Engineering*, Vol.15, No. 2, pp. 270-280, 2015(in Persian).

[10] Mehrali M., Sadeghinezhad E., TahanLatibari S., NewazKazi S., Mehrali M., Mohd Zubir M., CornelisMetselaar H.S., Investigation of thermal conductivity and rheological properties of nanofluids containing graphenenanoplatelets, *Nanoscale Research Letters*, pp. 9:15, 2014.

[11] Otanicar T.P., Phelan P.E., Prasher R.S., G.Rosengarten., R.A.Taylor, Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2(3), 2010.

[12] Otanicar T.P., Phelan P.E., Prasher R.S., G.Rosengarten., R.A.Taylor, Nanofluid optical property characterization: towards efficient direct absorption solar collectors, *Nanoscale Research Letters*, Vol. 6, pp. 225.,2011.

[13] Mu L., Zhu Q., Si L., Radiative properties of nanofluids and performance of a direct solar absorption using nanofluids, *Proceedings of the ASME 2nd Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference*, Shanghai, China, 2009,

[14] Shende R., Sundara R., Nitrogen doped hybrid carbon based composited is persed nanofluids as working fluid forlow-temperature direct absorption solar collectors *Solar EnergyMaterials&SolarCells*, pp9-16, 2015

[15] Said Z., Saidur R., Rahim N.A., Optical properties of metal oxides based nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol 59,pp.46-54, 2014.

[16] Karami M., AkhavanBahabadi M.A., Delfani S., Ghozatloo A., A new application of carbon nanotubesnanofluid as working fluid of low temperature direct absorption solar collector, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol 121,pp.114-118, 2014.

[17] Lenert A., Perez Zuniga Y. S., Wang E.N., NANOFUID-BASED ABSORBERS FOR HIGH TEMPERATURE DIRECT SOLAR COLLECTORS, *14th International Heat Transfer Conference IHTC14*, USA, 2010.

[18] P.BandarraFilho E.,Mendoza O. S.H, LinsBeicker C.L., Menezes A., Wen D., Experimental investigation of a silver nanoparticle-based directabsorption solar thermal system, *Energy Conversion and Management*, Vol 84, pp.261-267, 2014.

[19] Shokrieh M. M., Joneidi V. A., Manufacturing an Graphene /Polypropylene nanocomposites, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 13, No.11, pp 55-67, 2014(in Persian)

[20] O'Hanley H., Buongiorno J., McKrell T. and Hu L.-W., Measurement and model validation of nanofluid specific heat capacity with differential scanning calorimetry, *Advances in Mechanical Engineering*, 2012

[21] M. karami, *Numerical and experimental nanofluid based on direct absorbtion solar collector*, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Teahan University, Tehran, 2014. (in Persian)

[22] Abernethy R. B., Benedict R. P. Dowdell and R. B., ASME measurement uncertainty, *Journal of Fluids Engineering* 107.2, pp. 161-164, 1985.

[24] Araghinejad S., Data-Driven Modeling: Using MATLABin Water Resources and Environmental Engineering, *Water Science and Technology Library*, Vol 67, 2014

[25] TessaTheres Baby, S. Ramaprabhu, Investigation of thermal and electrical conductivity of graphene Basednanofluids, *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, ,108, 124308, 2010

- بیشترین کارایی گردآورنده در تمامی شرایط مربوط به نانوسیال GO3 در دبی ۰/۰۱۵ kg/s می‌باشد که برابر با ۷۵ درصد است و بیشترین ضریب اتلاف گرمایی مربوط به نانوسیال GO2 دبی ۰/۰۲۲۵ kg/s می‌باشد.

**جدول ۵** ضرایب نمودار کارایی گردآورنده با نانوسیال‌ها در دبی های مختلف

### ۶- فهرست علائم

A	مساحت گردآورنده ( $m^2$ )
a	ضرایب ثابت (بی بعد)
$C_p$	گرمای ویژه ( $J/Kg.K$ )
G	میزان تابش خورشید ( $W/m^2$ )
$\dot{m}$	دبی جرمی ( $kg/s$ )
$\dot{Q}$	توان مفید واقعی گردآورنده ( $W$ )
T	دما ( $^{\circ}C$ )
$T^*$	اختلاف دمای کاهش یافته ( $^{\circ}C$ )

### علائم یونانی

$\varphi$	کسر حجمی (%)
$\rho$	چگالی ( $gr/cm^3$ )
$\eta$	کارایی گردآورنده (بی بعد)
$\tau$	ثابت زمانی (min)

### زیر نویس‌ها

amb	محیط
f	سیال
G	ناخالص
in	ورودی
m	متوسط
n	نانوذرات
nf	نانو سیال
o	مقدار بیشینه
out	خروجی
T	کلی

### ۷- مراجع

[1] Organization for Economic Co-Operation and Development, World Energy Outlook 2014, *Organization for Economic Cooperation & Devel*, 2014.

[2] Duffie J.A., Beckman W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, Fourth Edition, *John Wiley & Sons*, 2013.

[3] Lu J.P., Chow T., He W., Pei G., A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/thermal water-heating system with natural circulation, *Applied Energy*, pp.222-237, 2007.

[4] Kamat P.V., Meeting the Clean Energy Demand: Nanostructure Architectures for Solar Energy Conversion, *J. Phys. Chem.*, Vol 111, pp2834-2860, 2007.

[5] Otanicar T., Golden J., Comparative Environmental and Economic Analysis of Conventional and Nanofluid Solar Hot Water Technologies, *Environmental Science & Technology*, Vol. 43, NO. 15, 2009.

[6] Minkowycz W. J., Sparrow E. M., Abraham J. P., *Nano particle Heat transfer and fluid flow*, Taylor & Francis Group, LLC, 2013



[26] Buongiorno, Jacopo; Venerus, David C.; Prabhat, Naveen; McKrell, Thomas; Townsend, Jessica and etc, A Benchmark Study on the Thermal Conductivity of Nanofluids, *American Institute of Physics*, 2009.

[27] Wei Yu, HuaqingXie, Xiaoping Wang, Xinwei Wang, Significant thermal conductivity enhancement for nanofluids containing grapheme Nanosheets, *Physics Letters A* 375, pp. 1323–132, 2011.