

A14/5 - 1185

بهینه سازی مصرف سوخت کامیون ها با کاربرد سیالات جدید در رادیاتور آنها

ساعت: ۱۵:۲۰

زمان: پنجشنبه ۱۳۸۶/۲۱

نویسندگان:

سید زینالی هریس: دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده مهندسی

## چکیده

وجود رادیاتور بزرگ در جلوی کامیون های سنگین امکان طراحی آپرودینامیکی این وسایل نقلیه را مشکل می کند و در نتیجه موتورهای دیزل نیاز به مصرف سوخت بالایی دارند و بهره وری سوخت در این وسایل نقلیه بسیار پایین می باشد. در این بررسی در مورد عوامل کاهش بهره وری انرژی موتور کامیون های سنگین بحث شده و راهکارهای جدیدی که بوسیله فن آوری نانو امکان استفاده از آنها در سیستم رادیاتور کامیون ها ایجاد شده پیشنهاد گردیده است. نتایج حاصل بیانگر آن است که در صورت کاربرد نانوسیال به عنوان عامل خنک کننده در رادیاتور کامیون ها، با طراحی آپرودینامیکی کامیون علاوه بر بهبود وضعیت دید راننده حداقل ۵ درصد امکان بهره وری در مصرف سوخت وجود دارد. همچنین مشکلات احتمالی استفاده از این سیستم ها مورد بررسی قرار گرفته است.

# بهینه سازی مصرف سوخت کامیون ها با کاربرد سیالات جدید در رادیاتور آنها

سعید زینالی هریس

مشهد- دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده مهندسی - گروه مهندسی شیمی

E-mail:zeinali@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده- وجود رادیاتور بزرگ در جلوی کامیون های سنگین امکان طراحی آیرودینامیکی این وسایل نقلیه را مشکل می کند و در نتیجه موتورهای دیزل نیاز به مصرف سوخت بالایی دارند و بهره وری سوخت در این وسایل نقلیه بسیار پایین می باشد. در این بررسی در مورد عوامل کاهش بهره وری انرژی موتور کامیون های سنگین بحث شده و راهکارهای جدیدی که بوسیله فن آوری نانو امکان استفاده از آنها در سیستم رادیاتور کامیون ها ایجاد شده پیشنهاد گردیده است. نتایج حاصل بیانگر آن است که در صورت کاربرد نانوسیال به عنوان عامل خنک کننده در رادیاتور کامیون ها، با طراحی آیرودینامیکی کامیون علاوه بر بهبود وضعیت دید راننده حداقل 5 درصد امکان بهره وری در مصرف سوخت وجود دارد. همچنین مشکلات احتمالی استفاده از این سیستم ها مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه- اتلاف حرارتی، بهره وری انرژی، رادیاتور، نانوسیال، نانوذرات

## 1- مقدمه

خاطر پایین بودن سرعت تخلیه حرارت نیاز به حجم زیادی از سیال خنک کننده بوده و ابعاد رادیاتور مورد استفاده بزرگ می باشد که در جلوی وسیله نقلیه نصب می گردد. روشهایی که به منظور افزایش بازدهی انتقال حرارت در رادیاتور کامیون ها تاکنون استفاده شده، نظیر افزایش سطوح حرارتی با استفاده از پره ها، استفاده از پروانه به منظور ایجاد جریان اجباری در اطراف رادیاتور و ... بیشتر شامل تغییر در ساختار خود رادیاتور می باشد [2] و به ندرت از عهده تقاضای انتقال حرارت برای موتورهای با توان بالا برمی آیند و نیاز به روشهای جدید جهت افزایش سرعت انتقال حرارت در این سیستم ها می باشد. در این بررسی استفاده از نانوسیال به عنوان سیال خنک کننده در سیستم های رادیاتور کامیون ها مورد بررسی قرار گرفته و در مورد مزایا و معایب احتمالی آن بحث شده است.

## 2- تئوری

با توجه به مصرف بالای سوخت در کامیون های سنگین، موتور ماشین های دیزل نیاز به بهبود راندمان مصرف سوخت خود دارند. در این تجهیزات سیستم های سرمایش باید در دماهای خیلی بالا کار کنند در حالی که مقدار بسیار زیادی از حرارت را به محیط اطراف منتقل می کنند.

به خاطر نیاز به موتورهای با قدرت بالا و تکنیکهای کاهش اتلاف حرارتی سازندگان کامیون پیوسته به دنبال روشهایی برای بهبود طراحی آیرودینامیک ماشین های خود و در نتیجه افزایش بازدهی مصرف سوخت هستند. یکی از بخشهای مهم این تحقیق کاهش میزان انرژی لازم برای غلبه بر مقاومت بالا می باشد.

در سرعت 70 مایل بر ساعت حدود 65 درصد انرژی خروجی از یک موتور کامیون سنگین صرف غلبه بر نیروی درگ آیرودینامیکی می شود [1]. یکی از دلایل مقاومت بسیار زیاد هوا وجود رادیاتور بزرگ می باشد که مستقیماً در جلوی موتور کامیون جهت افزایش تاثیرات سرمایشی توسط جریان هوای در حال حرکت قرار گرفته است.

دلیل استفاده از رادیاتور بزرگ نوع سیالاتی است که در سیستم سرمایش برای گرفتن گرما از موتور و انتقال آن به رادیاتور جهت تخلیه در هوای اطراف مورد استفاده قرار می گیرند. این سیالات به خاطر ظرفیت حرارتی بسیار بالایی که دارند انتخاب می شوند. این به معنی آن است که این سیالات حرارت بسیار بالایی را جذب می کنند در حالی که افزایش دمایی کمی را نشان می دهند. با وجود این فرآیند جذب و دفع حرارت توسط این سیالات بسیار آرام است و به

از ذراتی است که ابعاد آنها در حدود 10 نانومتر است و نتیجه گروه جدیدی از محیطهای انتقال حرارت است که نانوسیال نامیده می شوند [5]. چون ذرات مورد استفاده به حدی کوچک هستند که نانوسیال در صورت پراکندگی صحیح مشکل عدم ته نشینی ذرات را ندارد همچنین این ذرات مشکل کلوخه شدن و گرفتگی مجاری عبور و افت فشار اضافی را ندارند [6]. ابعاد کوچک ذرات مورد استفاده پایداری ذرات پراکنده در داخل سیال را افزایش می دهد. سرعت ته نشینی در داخل سیال طبق رابطه استوکس [7] قابل محاسبه است:

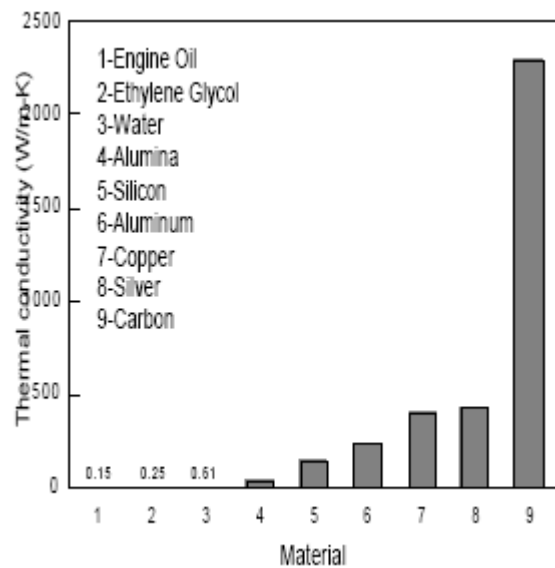
$$U = \frac{2}{9} \frac{a^2}{\mu} (\rho_p - \rho_L) g \quad (1)$$

که در این رابطه  $g$  شتاب جاذبه،  $(\rho_p - \rho_L)$  اختلاف دانسیته سیال و ذرات جامد،  $\mu$  ویسکوزیته سیال و  $a$  ابعاد نانوذرات می باشد که با کوچک شدن ابعاد سرعت ته نشینی کاهش یافته و در ابعاد نانومتری به خاطر تاثیر حرکات براونی ته نشینی متوقف می گردد.

### 3- مطالعات تجربی

نانوسیال محیطهای انتقال حرارتی را می باشد که از پراکنده کردن ذرات جامد فلزی و غیر فلزی در ابعاد نانو در سیال پایه ایجاد می شود یک نانومتر یک میلیاردمتر متر (  $\frac{1}{500000}$  قطر موی انسان ) می باشد. جهت مقایسه قابل ذکر است که هر مولکول آب 1 نانومتر می باشد [7]. پیشرفتهای جدید در زمینه نانو تکنولوژی امکان تولید نانوذرات با ابعاد کمتر از 50 نانومتر را ایجاد کرده است. نانوذرات دارای خواص منحصر بفردی هستند که می توانند در بهبود خواص حرارتی سیالات متداول به کار روند. از جمله این خواص سطح مخصوص (نسبت سطح به حجم) بسیار بالا است، بطوریکه این نسبت برای نانوذرات 3 مرتبه بالاتر از ذرات میکرومتری می باشد. همچنین با کوچکتر شدن ابعاد ذرات تعداد ذرات موجود در واحد حجم افزایش یافته و انتقال حرارت که در داخل نانوسیال بر سطح این ذرات انجام می گیرد افزایش زیادی نشان می دهد. برای نانوذرات حدود 20 درصد آنها در سطح قرار گرفته و اجازه می دهد حرارت به خوبی جذب و به صورت موثرتری انتقال یابد. به عنوان مثال محققین کشف کرده اند که ضریب

مسئله ای که بسیار حائز اهمیت است و کمتر مورد توجه قرار گرفته است سیالات خنک کننده ای است که در سیستم های سرمایش رادیاتور مورد استفاده قرار می گیرند. این سیالات معمولاً از آب یا اتیلن گلیکول و ... تشکیل شده اند. سیالات مورد استفاده برای انتقال حرارت دارای خواص حرارتی پایینی در مقایسه با فلزات و حتی اکسیدهای فلزی هستند. با توجه به شکل 1 مشخص میشود که ضریب هدایت حرارتی نانولوله کربن  $3000W/m.K$ ، مس  $890W/m.K$ ، آب  $0.613W/m.K$  و اتیلن گلیکول  $0.252W/m.K$  است [3].

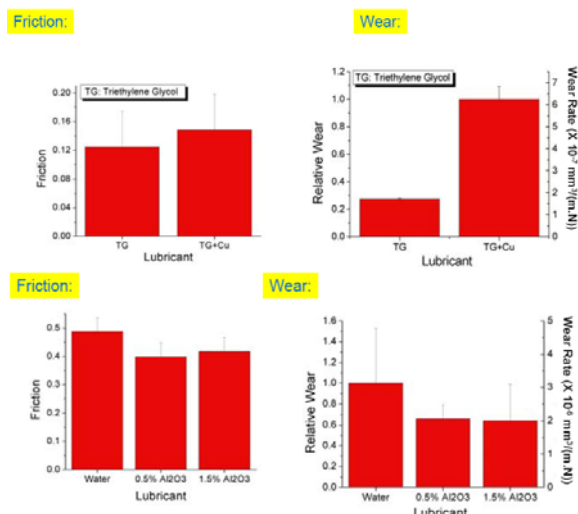


شکل 1: مقایسه ضریب هدایت حرارتی سیالات و مواد جامد مختلف [3]

در صورتی که سیالات مورد استفاده بتوانند حرارت را با سرعت بالایی انتقال دهند رادیاتور در ابعاد کوچکتر طراحی و ساخته شده و امکان طراحی آیرودینامیک را برای کامیون فراهم می نماید علاوه بر این نیاز به سیال در گردش زیادی برای انتقال حرارت نبوده و پمپهای انتقال دهنده سیال سرد کننده می توانند کوچکتر ساخته شده و انرژی کمی را مصرف کنند، همچنین موتور کامیون می تواند جهت تولید توان بیشتر در دمای بالاتری کار کند و در ضمن از عهده استانداردهای سخت لحاظ شده جهت کاهش اتلاف انرژی برآیند و نیز با کوچکتر شدن رادیاتور جلوی وسیله نقلیه وضعیت دید راننده بهتر می شود.

محققین کشف کرده اند که مقدار بسیار کمی از ذرات جامد پراکنده در داخل سیالات هدایت حرارتی آنها را به مقدار قابل توجهی افزایش می دهد [4]. اساس این روش استفاده

کاهش جرم) به صورت تابعی از غلظت نانوسیال برای نانوسیال های آب/اکسید آلومینیوم و آب/مس در شکل 3 ارائه شده است .

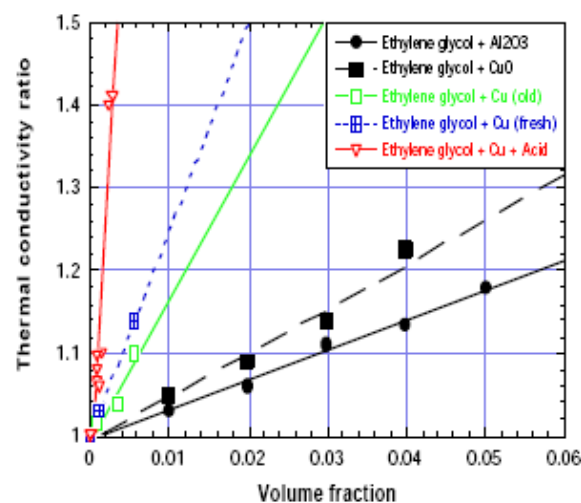


شکل 3: نمودار میزان اصطکاک و سایش برای نانوسیال های حاوی ذرات مس و اکسید آلومینیوم [13]

با توجه به شکل 3 نانوسیال حاوی ذرات اکسید آلومینیوم کاهش در میزان سایش و اصطکاک را نشان می دهد در صورتی که نانوسیال حاوی ذرات مس تغییر چندانی در اصطکاک نشان نمی دهد ولی افزایش قابل اغماضی در میزان سایش مشاهده می گردد که ممکن است به خاطر اکسید شدن ذرات مس و تولید اکسید مس باشد.

با وجود این مهم است تأکید کنیم که کاربرد نانوسیال در سیستم رادیاتور ها بیشتر برای مقاصد سرمایش در شرایط انتقال حرارت جابجایی می باشد. به همین منظور، جهت تعیین میزان توانایی نانوسیال در تخلیه حرارت، آزمایشی برای نانوسیال اتیلن گلیکول/اکسید آلومینیوم در جریان آرام و کاملاً توسعه در یک کانال مستطیل شکل انجام گرفته است [14]. نتایج تجربی بیانگر تاثیر قابل توجه افزودن نانوذرات اکسید آلومینیوم در افزایش شدت انتقال حرارت و حداکثر دمای دیواره سیستم دارد. همانطوریکه از جدول 1 مشخص است در اعداد رینولدز 2000 با افزایش غلظت نانوذرات از 0 تا 5 درصد حجمی حداکثر دمای دیواره از 82/9 به 74 درجه سانتی گراد کاهش می یابد و در عین حال میزان انتقال حرارت افزایش 40 درصدی را نشان می دهد.

هدایت حرارتی اتیلن گلیکول با افزودن تنها 10 درصد حجمی ذرات اکسید مس 35 نانومتری تا 20 درصد افزایش می یابد [8]. نتیجه مشابهی در مورد ذرات نانومتری اکسید تیتانیوم در آب مشاهده شده است [9]. با توجه به شکل 2 ایستمن و همکاران نشان داده اند که افزودن ذرات فلزی مس به اتیلن گلیکول افزایش بیشتری در ضریب هدایت حرارتی نسبت به اتیلن گلیکول حاوی ذرات اکسید فلزی نشان می دهد [10]. نتیجه آخرین بررسی ها نشان می دهد افزودن 1 درصد حجمی نانولوله کربن به سیال پایه افزایش 150 درصدی در ضریب هدایت حرارتی را نشان می دهد [11].



شکل 2: نسبت ضرایب هدایت حرارتی نانوسیال های مختلف نسبت به سیال خالص برحسب غلظت حجمی [10]

این مسئله که افزایش ذرات جامد با ابعاد نانومتری به سیالات مرسوم باعث افزایش فوق العاده در ضریب هدایت حرارتی می شود هنوز از نظر تئوریک کاملاً شناخته نشده و مطالعات تئوریک و تجربی در این زمینه ادامه دارد. مسئله مهم این است که مواد در مقیاس نانو دارای خواص فیزیکی منحصر بفردی هستند که در مواد با ابعاد متداول دیده نمی شود [12].

با توجه به اینکه سیستم در دمای بالا کار می کند مطالعه ای در مورد تاثیر افزایش نانوذرات به سیستم رادیاتور و اجزا سازنده آن از نظر خوردگی انجام گرفته است [13]. به منظور مشخص نمودن تاثیرات تخریبی احتمالی نانوسیال روی سیستم رادیاتور، میزان سایش در فلز رادیاتور ( تعیین

جدول 1: تاثیر غلظت ذرات و عدد رینولدز بر حداکثر دمای دیواره [14]

	Ethylene Glycol- $Al_2O_3$	
	Re = 1000	Re = 2000
غلظت حجمی = 0%	91.9 °C	82.9 °C
غلظت حجمی = 1.0%	90.9 °C	82.0 °C
غلظت حجمی = 2.5%	87.5 °C	79.2 °C
غلظت حجمی = 5.5%	80.4 °C	74.2 °C
غلظت حجمی = 7.0%	73.4 °C	74.0 °C

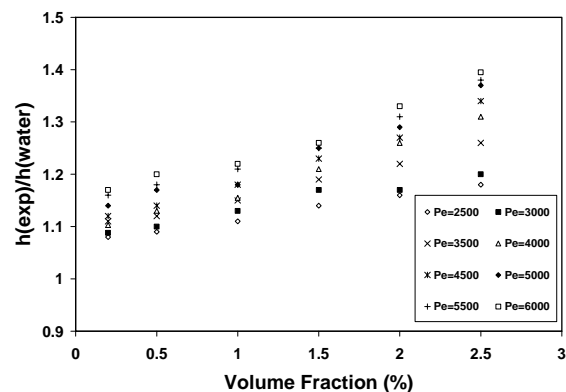
سرمایش رادیاتور کامیون های با توان بالا می تواند تا 10 درصد سطح مورد نظر رادیاتور کامیون را کاهش داده و در نتیجه تا حدود 5 درصد بهره وری در مصرف سوخت موتور به خاطر کاهش نیروی درگ آیرودینامیکی را ایجاد کند [13].

#### 4-1- روشهای پراکنده کردن نانوذرات

نانوسیال بوسیله پراکنده کردن ذرات پودر نانو در داخل سیالاتی نظیر آب، اتیلن گلیکول یا روغن موتور تولید می شود. خصوصیات نانوسیال بستگی به نوع سیال پایه، اندازه ذرات جامد معلق، شکل آنها و کیفیت پراکنده سازی ذرات در داخل مایع دارد. حالتی نظیر تجمع ذرات، به هم چسبیدگی، لخته شدن و چسبیدن به دیواره ظرف ممکن است در سوسپانسیون ها وجود داشته باشد. بنابراین تهیه نانو سیال به سادگی تولید مخلوطهای متداول جامد- مایع نمی باشد و تولید نانو سیال اولین قدم کلیدی در استفاده از ذرات نانو برای تغییر فرآیند انتقال حرارت سیالات مرسوم است عموماً سه روش برای تولید سوسپانسیون پایدار وجود دارد [17]:

1. تغییر pH سوسپانسیون
  2. استفاده از عوامل فعال سطحی یا پراکنده سازها
  3. استفاده از لرزاننده های ما فوق صوت
- هدف از تمامی این تکنیکها تغییر خواص سطحی ذرات معلق و جلوگیری از تشکیل توده های ذرات می باشد. انتخاب فعال ساز و پراکنده ساز مناسب بستگی به خواص محلول و ذرات دارد. سیستم لرزاننده ما فوق صوت در شکل 5 نشان داده شده است استفاده از این سیستم به منظور تهیه سوسپانسیون پایدار به دلیل عدم تاثیرات جانبی در خواص شیمیایی نانوسیال کاربرد وسیعی دارد.

افزایش انتقال حرارت مشابهی برای نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم توسط نویسنده گزارش شده است [15] که با افزودن تنها 2/5 درصد حجمی نانوذرات 35 نانومتری اکسید آلومینیوم به آب ضریب انتقال حرارت نسبت به آب افزایش 40 درصدی را نشان می دهد همانطوری که از شکل 4 مشخص است با افزایش غلظت ذرات و افزایش شدت جریان مخلوط نسبت انتقال حرارت نانوسیال به آب خالص افزایش زیادی را نشان می دهد.



شکل 4: نسبت ضرایب انتقال حرارت نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم به آب خاص بر حسب غلظت نانو ذرات در شدت جریان های مختلف نانوسیال [15]

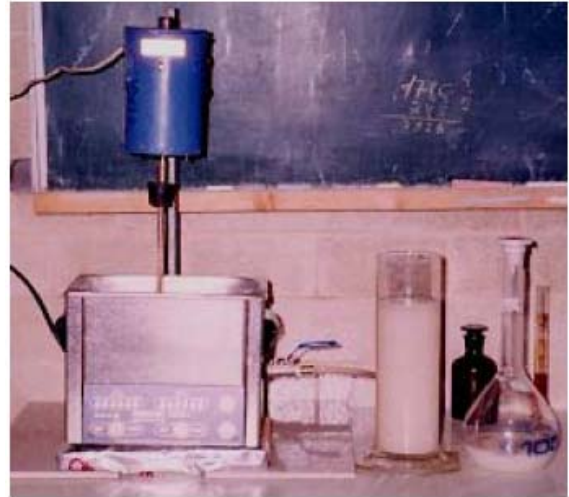
نتایج تجربی بیانگر آن است که در رادیاتورهایی که با استفاده از سیالات خنک کننده متداول کار می کنند، به منظور افزایش 2 برابری میزان انتقال حرارت توان لازم برای پمپ کردن سیال باید حدود 10 برابر شود. ولی در صورتی که از نانوسیال در این سیستم ها استفاده گردد (با فرض 3 برابر شدن ضریب هدایت حرارتی) بدون هیچ گونه افزایشی در هزینه های پمپ کردن، شدت انتقال حرارت 2 برابر می شود [16]. همچنین استفاده از نانوسیال در سیستم های

## 5- نتیجه گیری

نتایج مطالعات و بررسی های بیانگر آن است که امکان ایجاد توان سرمایشی بالا در فضایی کوچک فقط با استفاده از فن آوری های جدید ( نظیر استفاده از سیستم سرمایشی نانوسیال) امکان پذیر است. استفاده از نانوسیال با ضرایب هدایت حرارتی بالا در سیستم های سرمایش رادیاتور کامیون های با توان بالا می تواند تا 10 درصد سطح مورد نظر رادیاتور کامیون را کاهش داده و در نتیجه تا حدود 5 درصد بهره وری در مصرف سوخت موتور به خاطر کاهش نیروی درگ آیرودینامیکی را ایجاد کند. همچنین بهبود انتقال حرارت، کاهش هزینه های عملیاتی و توان لازم برای پمپ کردن، طراحی و ساخت رادیاتورهای کوچکتر و سبکتر، کاهش دبی سیال خنک کننده، کاهش اتلاف حرارتی و محیط زیست تمیزتر از مزایای استفاده از نانوسیال در سیستمهای خنک کننده کامیون ها می باشد.

## مراجع

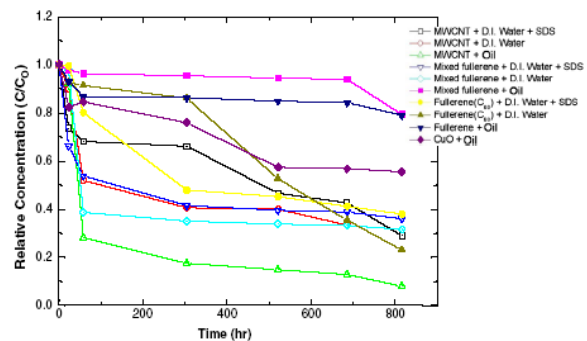
- [1] S.U.S. Choi, Nanofluid could help open door to advanced truck design, TransForum, Vol. 3, No. 4, pp. 21-23, 2007.
- [2] A.E. Bergles, Recent development in convective heat transfer augmentation, Applied Mechanics Reviews, vol. 26, pp. 675-684, 1993.
- [3] S.U.S. Choi and Z.G. Zhang, Nanofluid for thermal management, Society of Automotive engineers, LNC, vol. 01, pp. 1711-1721, 2001.
- [4] Masuda, H., Ebata A., Teramat K., Hishinuma N., "Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of  $\gamma-Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  and  $TiO_2$  ultra-fine particles)", Netsu Bussei (Japan), Vol. 4, pp. 227-233, 1993.
- [5] S.U.S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluid with nanoparticles", Developments and Applications of Non-Newtonian flows, D.A. Siginer and H.P. Wang eds., FED, V. 231/MD, Vol. 66, pp. 99, 1995.
- [6] W. Daunthongsuk and S. Wongwises, A critical review of convective heat transfer of nanofluids, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 50, pp. 2272-2281, 2007.
- [7] S.K. Das, N. Putra, P. Theisen and W. Roetzel, Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluid, J. Heat Transfer, vol. 125, pp. 567-574, 2003.
- [8] S.C. Tzeng, C.W. Lin and K.D. Huang, Heat transfer enhancement of nanofluids in rotary blade coupling of four-wheel drive vehicles, Acta Mechanica, Vol. 179, PP. 11-23, 2005.
- [9] S.M.S. Murshed, K.C. Leong, and C. Yang, Enhanced thermal conductivity of  $TiO_2$ /Water based



شکل 5: سیستم لرزاننده مافوق صوت جهت تولید نانوسیال [15]

## 4-2- بررسی پایداری نانوسیال

اگر نانوذرات به خوبی در داخل سیال پایه پراکنده نشوند در داخل سیال به هم چسبیده و سریعاً ته نشین می شوند. به منظور بررسی پایداری نانوذرات در داخل سیال مطالعاتی با نمونه های مختلف نانوذرات در سیالات پایه متفاوت انجام گرفته است [18] و نتایج در شکل 6 ارائه شده است. این نمودار که بوسیله آنالیز اسپکتروفوتومتریک  $UV-Vis$  انجام گرفته است بیانگر آن است که در مدت 800 ساعت غلظت نانوذرات در داخل سوسپانسیون بیشتر از 80 درصد غلظت اولیه می باشد. البته نانوسیال حاوی نانوتیوب کربن پایداری کمتری را نشان می دهد و این به خاطر خواص مورفولوژی الیاف گونه این ذرات است که باعث به چسبیدن این ذرات و ته نشینی آنها می شود. البته به منظور افزایش پایداری ذرات از پراکنده سازهایی نظیر سدیم دودسیل سولفات نیز می توان استفاده کرد.



شکل 6: تغییرات غلظت نانوسیال های مختلف بر حسب زمان در حالت سکون به منظور بررسی پایداری نانوسیال [18]

- nanofluids, Int. J. Thermal Science, Vol. 44, pp. 367-373, 2005.
- [10] J.A. Eastman, S.U.S. Choi, S. Li, W. Yu and L.J. Thompson, Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, Applied Physics letters, vol. 78, pp. 718-720, 2001.
- [11] S.U.S. Choi, Z.G. Zhang, W. Yu, F.E. Lockwood and E.A. Grulke, Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions, Applied Physics Letter, Vol. 79, No. 14, pp. 2252-2254, 2001.
- [12] S. Ashley, Small structure yields big property payoffs, Mechanical Engineering, pp. 52-57, Feb. 1994.
- [13] S. Lee and S.U.S. Choi, Application of metallic nanoparticle suspensions in advanced cooling system, ASME Publications PVP-Vol. 342/MD-Vol. 72, pp. 227-234, 1996.
- [14] C.T. Nguyen, G. Roy and S.E.B. Maiga, Heat transfer enhancement by using nanofluids for cooling of high heat output microprocessor, Electronics Cooling, TechBrief, pp. 1-4, 2007.
- [15] S. Zeinali Heris, M. Nasr Esfahany, and S. Gh. Etemad, Experimental investigation of convective heat transfer of  $Al_2O_3 / water$  nanofluid in circular tube, Int. J. Heat Fluid Flow, Vol. 28, pp. 203-210, 2007.
- [16] S.U.S. Choi, , Metallic nanofluids research can lead to cooler engines, Transportation Technology R&D Center, TechBrief, 2007.
- [17] S. Zeinali Heris, M. Nasr Esfahani and S. Gh. Etemad, Study the potential of Nanofluid as new kind of heat transfer fluid, Iranian Journal of Chemical Engineering, Vol. 4, No. 18, pp. 11-21, 2005.
- [18] Y. Hwang, H.S. Park, J.K. Lee and W.H. Jung, Thermal conductivity and lubrication characteristics of nanofluids, Current Applied Physics, Vol.6, pp. e67- e71, 2006.