

## بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب انتقال حرارت نانو سیالات

مصطفی عصاره

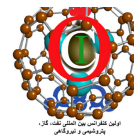
دانشجوی کارشناسی ارشد - گروه مهندسی شیمی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

[M.asareh@mahshahriau.ac.ir](mailto:M.asareh@mahshahriau.ac.ir)

### چکیده

امروزه نیاز به انتقال حرارت با شدت حرارتی بالا در زمان کوتاه مورد توجه بسیاری از صنایع قرار گرفته است. بدین منظور محیط های نانو سیال که معمولاً شامل ذرات فلزی، غیر فلزی یا اکسید فلزات به همراه سیال پایه می باشند، قادرند تا ضریب انتقال حرارت را به میزان قابل توجهی افزایش دهند که این افزایش در ضریب انتقال حرارت به عوامل مختلفی وابسته است. در این مقاله به بررسی عوامل موثر در افزایش یا کاهش ضریب انتقال حرارت نانوسیالات همچون دما، غلظت، اندازه ذرات، اثر PH در نانوسیال، ماده فعال سطحی، نوسانات فراصوت، لایه بین وجهین، تأثیر خوشه ای شدن ذرات و اثر میدان مغناطیسی پرداخته می شود.

واژه های کلیدی: ضریب انتقال حرارت - نانوسیال - نانوذرات



## 1- مقدمه

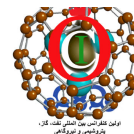
سرمایش و گرمایش سیالات برای بسیاری از فرآیندهای صنعتی شامل منابع حرارتی، فرآیندهای تولیدی، حمل و نقل و الکترونیک نقش مهمی دارد و منابع بسیار زیادی در مورد روش های افزایش نرخ انتقال حرارت در فرآیندها گزارش داده اند. بیشتر این روش ها بر مبنای تغییرات در ساختار تجهیزات، نظیر افزایش سطوح حرارتی (پره ها) ، لرزش سطوح حرارتی، تزریق یا مکش سیال و اعمال جریان الکتریکی یا مغناطیسی متمرکز می باشند. این تکنیک ها به سختی می توانند از عهده تقاضای روز افزون انتقال حرارت و فشرده سازی در تجهیزاتی شامل تراشه های الکترونیکی، سیستمهای لیزری و فرآیندهای با انرژی بالا برآیند. در این میان موضوعی که کمتر به آن توجه شده است، تأثیر ضریب انتقال حرارت سیالات در توسعه تجهیزات انتقال حرارت با بازدهی بالاست. محیط های انتقال حرارت معمولاً از سیالاتی نظیر آب، اتیلن گلیکول یا روغن تشکیل شده اند. این سیالات ضریب انتقال حرارت بسیار پائینی در مقایسه با فلزات و حتی اکسیدهای فلزی دارند. بنابراین انتظار می رود سیالاتی که شامل ذرات بسیار ریز این ترکیبات باشند در مقایسه با سیالات خالص خواص حرارتی بهتری از خود نشان دهند. به خاطر مشکلات تکنولوژیکی مطالعات انجام گرفته در این زمینه بیشتر بر روی سوسپانسیون هایی متمرکز بوده که شامل ذرات جامد معلق در حد میلی متر یا حداکثر میکرو متر هستند. ذرات در این مقیاس مشکلات جدی در تجهیزات انتقال حرارت ایجاد می کنند. به طوری که این ذرات به سرعت در سیستم ته نشین می شوند و در صورتیکه کانال از قطر کمتری برخوردار باشد مشکل جدی تر خواهد بود. به طور مثال در هنگام عبور از میکرو کانال ها کلوخه شده و باعث گرفتگی مسیر می گردند که در نتیجه افت فشار زیادی ایجاد می کنند، به علاوه بر خورد این ذرات با یکدیگر و همچنین با دیواره سیستم و تجهیزات ایجاد سایش می کند. بدون شک پیشرفت های اخیر در تولید نانو ذرات را می توان یک تحول در روش های افزایش انتقال حرارت دانست زیرا اندازه کوچک ذرات و کسر حجمی پایین مورد استفاده مسائلی نظیر خوردگی و کلوخه شدن و افت فشار را حل می کند. علاوه بر این سطح نسبی بزرگ ذرات نانو، پایداری ذرات را افزایش داده و مسئله ته نشینی را کاهش می دهد و هزینه های لازم برای نگهداری و انتقال سیالات را کم می کند [1].

جوی (1995) [2] اولین کسی بود که در آزمایشگاه ملی آرگونه در ایالات متحده سوسپانسیون حاوی ذرات نانو در سیال پایه را نانوسیال نامید و افزایش فوق العاده در ضریب انتقال حرارت این سیالات را نشان داد.

تاکنون مدل های بسیاری جهت محاسبه ضریب انتقال حرارت نانو سیالات ارائه شده اند اما تاکنون مدلی دقیقی که در برگیرنده تمامی پارامترهای موثر بر ضریب انتقال حرارت سیال نانو سیال باشد ارائه نشده و تحقیقات در زمینه ادامه دارد. هدف از این مطالعه تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب انتقال حرارت نانو سیالات، معرفی و مورد بررسی قرار گرفته است.

## 2- اثر دما و غلظت نانو ذرات در نانو سیالات

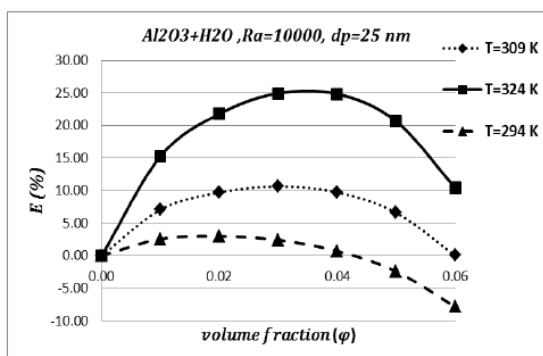
اثر افزایش غلظت (کسر حجمی) نانوذرات مختلف بر ضریب هدایت حرارتی در سیالات پایه مختلف توسط لی و همکاران [3] مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به طور کلی افزایش غلظت نانو ذرات مختلف افزایش ضریب هدایت



حرارتی موثر را در بر خواهد داشت و این افزایش در غلظت های پایین روندی نسبتاً خطی دارد که در شکل (1) نشان داده شده است.

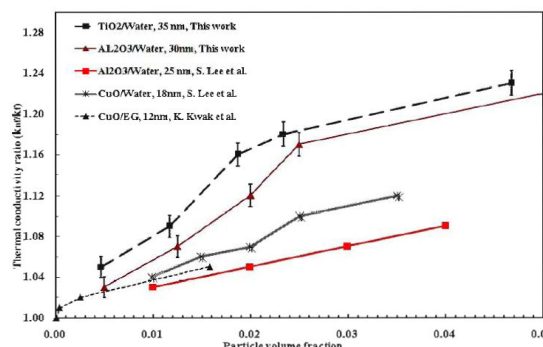
در بررسی دیگری که توسط مددی و همکاران [4] انجام شد اثر افزایش غلظت نانو ذرات مختلف بر افزایش میزان انتقال حرارت مورد ارزیابی قرار گرفت که در شکل (2) نشان داده شده است. همان طور که از شکل (2) مشخص است افزایش میزان انتقال حرارت با افزایش غلظت نانوذرات  $Al_2O_3$  یک مقدار بهینه دارد به این معنا که افزایش میزان نانوذرات به سیال پایه تا حدی افزایش انتقال حرارت را در بر خواهد داشت و بعد از آن سبب کاهش میزان انتقال حرارت خواهد شد.

همچنین مطابق شکل (2) افزایش میزان انتقال حرارت با افزایش غلظت نانو ذرات در دماهای بالا بیشتر است. آنچه که اثر دما را محسوس می کند تأثیر آن بر عواملی همچون حرکات براونی نانو ذرات در نانو سیالات، تأثیر بر تشکیل ضخامت نانو لایه ها در اطراف نانو ذرات، تأثیر بر مکانسیم خوسه ای شدن و تأثیر بر روی نفوذ حرارتی در نانو سیال است.



شکل 2- اثر افزایش کسر حجمی (غلظت) نانو ذرات  $Al_2O_3$

بر میزان افزایش انتقال حرارت دبرای دماهای مختلف [4].

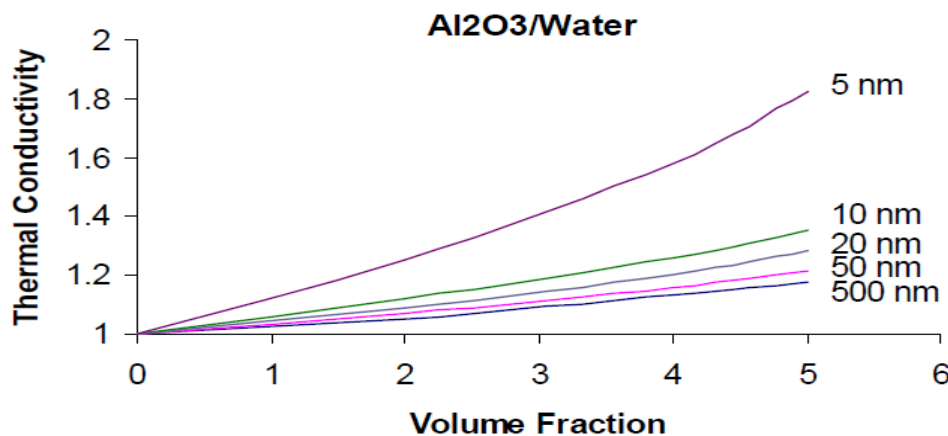


شکل 1 - نمودار تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال بر

سیال پایه [3].

### 3- اثر اندازه نانو ذرات

هر چه اندازه نانو ذرات کوچکتر باشد، سطح بزرگتری از ذرات در معرض تماس یا سیال پایه می باشد و در نتیجه افزایش بیشتری در ضریب هدایت حرارتی نانوسیال مشاهده می شود. ماکسول [5] اثر اندازه ذره بر افزایش ضریب انتقال



حرارت هدایتی را در نانو ذرات  $Al_2O_3$  بر پایه آب را در شکل (3) نشان داد.

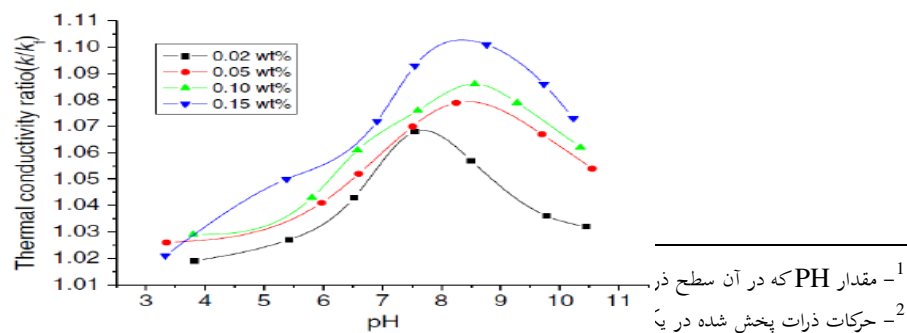
شکل 3- تأثیر اندازه نانوذرات  $Al_2O_3$  در سیال پایه آبی بر ضریب انتقال حرارت هدایتی [5].

### 4- اثر PH

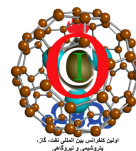
وقتی نانو ذرات در سیال پایه آبی پخش می شوند رفتار کلی برهمکنش آب - ذره به خواص سطحی ذره بر می گردد. در مورد هر ذره یک PH معین تحت عنوان PH نقطه ایزوالکتریک<sup>1</sup> ( Isoelectric Point ) وجود دارد. در این مقدار PH نیروهای دافعه بین ذرات صفر بوده و در نتیجه ذرات به هم می چسبند. بنابراین وقتی PH نزدیک یا مساوی PH نقطه ایزوالکتریک باشد، سوسپانسیون ناپایدار است. با افزایش اختلاف PH نسبت به این نقطه نیروهای آب پوشی بین ذرات افزایش می یابند. در نتیجه تحرک نانو ذرات در سوسپانسیون افزایش یافته و موجب پایداری بیشتر نانو ذرات می شود [6,7].

مطالعه رفتار الکتروفوریتیک<sup>2</sup> (Electrophoretic) از طریق اندازه گیری پتانسیا زتا<sup>3</sup> (Zeta potential) برای فهمیدن رفتار پراکندگی نانو ذرات در محیط بسیار مهم است. در PH زیر 2، پتانسیل زتا سطح ذره در پایین ترین مقدار است، بنابراین نیروی دفع الکترواستاتیکی (Electrostatic) بین نانو ذرات برای غلبه بر نیروی جاذبه بین نانو ذرات کافی نیست، جذب پذیری کوچکتر شده و پایداری پراکندگی ضعیف می شود. هنگامی که PH افزایش می یابد پتانسیل زتا سطح ذرات افزایش می یابد، بنابراین نیروی دافعه الکترواستاتیکی بین ذرات برای جلوگیری از جذب و برخورد بین ذرات که از حرکات براونی نتیجه می شود، کافی است. همچنین نیروی الکترواستاتیکی بیشتر می تواند به ذرات آزاد بیشتر بوسیله افزایش فاصله ذره - ذره منجر شود. بطوریکه این فاصله بر محدوده پیوند هیدروژنی بین ذرات غلبه کرده و احتمال انباشتگی و ته نشینی ذرات را کاهش داده است. جذب پذیری با افزایش PH زیادتر می شود و باعث بهتر شدن پایداری نانو ذرات می شود. در PH بهینه (PH که در آن بیشترین مقدار انتقال حرارت را خواهیم داشت) نیروی دفع الکترواستاتیکی بین ذرات قوی تر است و ذرات لخته شده می توانند از طریق نیروی مکانیکی دوباره پراکنده شوند. هنگامی مقدار PH زیادتر از مقدار بهینه شود غلظت معرف تنظیم PH (در اینجا NaOH)، در سیستم افزایش می یابد که باعث تراکم لایه دوگانه الکتریکی ( Electrical double layer) شده، بنابراین باعث کم کردن نیروی دفع الکترواستاتیکی می شود، و سوسپانسیون پراکندگی ضعیف تری را نشان می دهد [6].

در شکل (4) تأثیر PH بر روی ضریب هدایت حرارتی نانوذره  $Al_2O_3$  بر پایه آب با ماده فعال سطحی SDBS نمایش داده



<sup>1</sup> - مقدار PH که در آن سطح ذره  
<sup>2</sup> - حرکات ذرات پخش شده در ی  
<sup>3</sup> - پتانسیل الکتریکی روی سطح نانو ذرات است.



شده است [8].

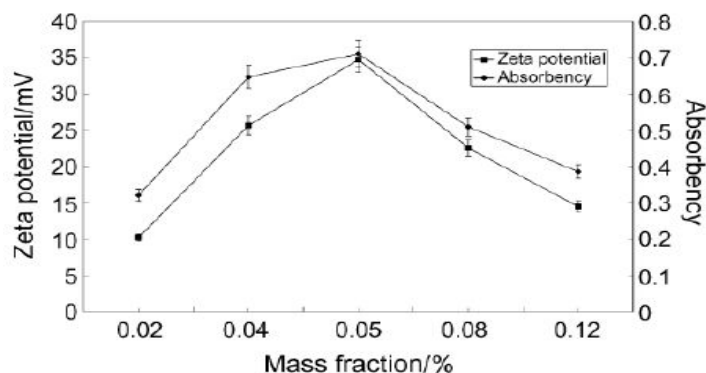
شکل 4- تأثیر PH بر روی هدایت حرارتی  $Al_2O_3-H_2O$  با سورفکتانت SDBS [9].

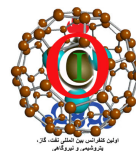
بنابراین با افزایش PH و در نتیجه افزایش فاصله از نقطه ایزوالکتریک نیروی هیدروژنی بین نانو ذرات افزایش یافته که این افزایش سبب جنبش بیشتر نانوذرات می گردد. همچنین با افزایش فاصله از نقطه ایزوالکتریک بار سطح افزایش می یابد زیرا فرکانس بیشتری به سطح گروه هیدروکسی و فنیل سولفونیک به وسیله یون ها (گروه سولفونیک  $H^+$  و  $OH^-$ ) حمله می کند که این امر افزایش جنبش ناو ذرات را در بر دارد.

### 5- اثر ماده فعال سطحی

مواد فعال سطحی (سورفکتانت) در سال 1950 از واژه Surface Active Agent به معنای فعال کننده سطح استخراج شده است و به موادی گفته می شوند که سبب کاهش کشش سطحی می شوند. مولوکل سورفکتانت از دو نیمه تشکیل شده است: لیئوفیل یا هیدروفوب که شامل رادیکال هیدروکربنی است و نامحلول در آب است. هیدروفیل که شامل ترکیبات فلزات قلیایی یا بنیان های دیگر است و در آب محلول می باشد. بر حسب اینکه بار نیمه فعال (گروه بزرگتر) روی سطح چه باشد، به 4 دسته تقسیم می شوند: آنیونی، کاتیونی، آمفوتری، غیر یونی. هر ماده فعال سطحی در هر نانو سیال یک غلظت بهینه دارد. وقتی غلظت ماده فعال سطحی بسیار پایین است، ماده پراکنده کننده جذب شده روی سطح ذرات کم است که باعث پراکندگی ضعیف در سیستم می شود. با افزایش غلظت ماده فعال سطحی در نانو سیال ماده پراکنده کننده جذب شده زیاد شده و پتانسیل زتا نیز زیاد می شود که باعث بهتر شدن پایداری پراکندگی نانو ذرات و افزایش میزان انتقال حرارت هدایتی می شود. در صورتی که غلظت ماده فعال سطحی بیشتر از مقدار بهینه آن شود به علت افزایش قدرت یونی، لایه دوگانه الکتریکی فشرده شده و باعث کاهش پایداری پراکندگی نانو ذرات و در نتیجه کاهش میزان انتقال حرارت هدایتی می شود [6].

لی و همکاران در سال 2007 [6] اثر غلظت سورفکتانت کاتیونی CTAB روی پایداری نانوسوسپانسیون مس 0.1 % جرمی در  $PH=9.5$  را نشان دادند شکل (5) .





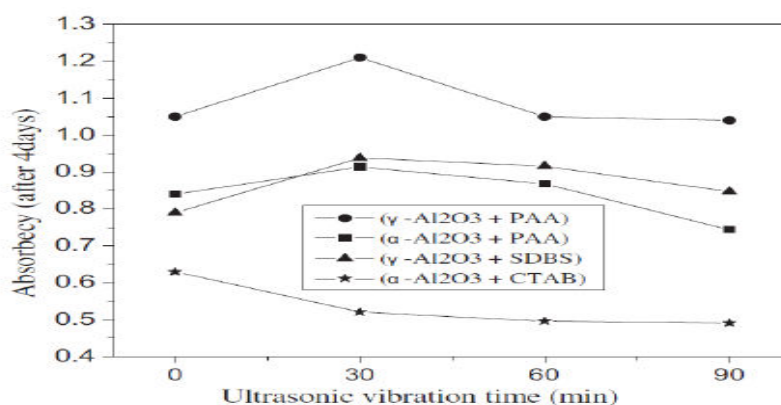
شکل 5- تأثیر غلظت CTAB روی پتانسیل زتا و جذب پذیری در PH=9.5 [6].

نتایج نشان داد با افزایش غلظت سورفکتانت CTAB بارهای سطح روی ذرات مس مثبت باقی می ماند و پتانسیل زتا و جذب پذیری هر دو در ابتدا افزایش یافته و سپس به همان نسبت کاهش می یابد. پایداری پراکندگی نیز در ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد. غلظت بهینه CTAB 0.05% جرمی مشخص شد.

## 6- اثر نوسانات فرا صوت

عملیات فراصوت (آلتراسونیک) یک انرژی مکانیکی خارجی است که به ذرات برای غلبه بر نیروی جذب واندروالس در سطح تماس کمک می کند. حتی اگر عملیات فراصوت نتواند نانوذرات را به دانه های جداگانه تبدیل کند باعث شکستن انباشتگی نانو ذرات به تراکم های کوچکتر و در نتیجه افزایش پایداری می شود که این پایداری به رسانش حرارتی بیشتر نانوسیال ختم می شود. وقتی نانوذرات توسط امواج فراصوت نوسان می یابند، موج های فراصوت با شدت بالا به ترکیب مایع جامد فرستاده می شوند، جایی که حبابهای کاویتاسیون توسعه پیدا کرده و در طول چندین دوره رشد پیدا می کنند تا به قطر بحرانی رسیده که باعث ترکیدن حباب ها می شود. این متلاشی شدن باعث ایجاد شرایط موضعی شدید مثل دما و فشار موضعی بسیار زیاد شده که به این شرایط نقاط داغ گویند. به علت این نقاط داغ یک جدایشی بین تراکم های ذرات اتفاق می افتد. امواجی که از متلاشی شدن حباب های کاویتاسیون منجر می شود با ترکیب با جریان های میکرو تولید شده توسط نوسانات کاویتاسیون به اثرات پراکندگی ختم می شوند. اگر چه نانو سیال بعد از نوسان فراصوت مناسب پایدارتر می شود، اما اگر نوسان فراصوت از زمان بهینه (هر محیط نانو سیال، مقدار زمان بهینه نوسان فراصوت مخصوص به خود را دارد) افزایش یابد، با افزایش دمای محلول، نانو ذرات توسط نوسان های شدید امواج فراصوت شتابدار می شوند که باعث تصادف و برخورد نانو ذرات می شود و احتمال انباشتگی را زیاد می کند [9,10].

شکل (6) جذب پذیری هر کدام از نانوسیال های  $Al_2O_3$  را در زمان های مختلف نوسان فراصوت بعد از 4 روز ذخیره ایستایی نشان می دهد [9].

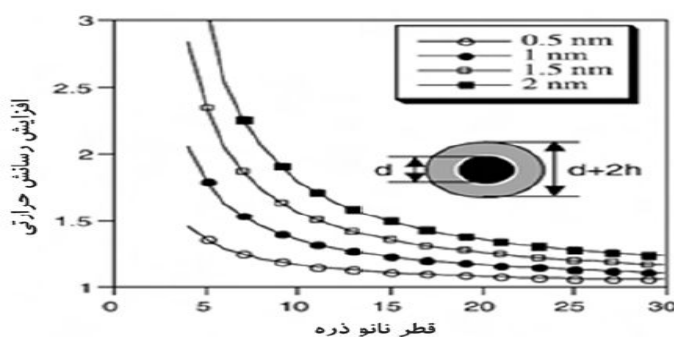


شکل 6- جذب پذیری نانوسیال با  $Al_2O_3$  با زمان های مختلف نوسان فراصوت بعد از 4 روز ذخیره ایستایی [9].

## 7- تأثیر لایه بین وجهین و ضخامت آن

حضور لایه ای از سیال در سطح مشترک مایع - ذره می تواند به عنوان یک پل یا مانع در انتقال گرما عمل کند. تحقیقات نشان داده اند که این لایه باعث افزایش رسانش می شود و دارای رسانشی شبیه به جامد می باشد. ساختمان اتمی این لایه که ضخامت حدود 5 تا 6 مولوکل در حد نانومتر را دارد اهمیت زیادی نسبت به توده سیالی دارد و افزایش ضخامت این نانو لایه در افزایش ضخامت نانوسیال موثر است. البته با توجه به سطح زیاد نانو ذرات این سطح مشترک نیز افزایش می یابد. شکل (7).

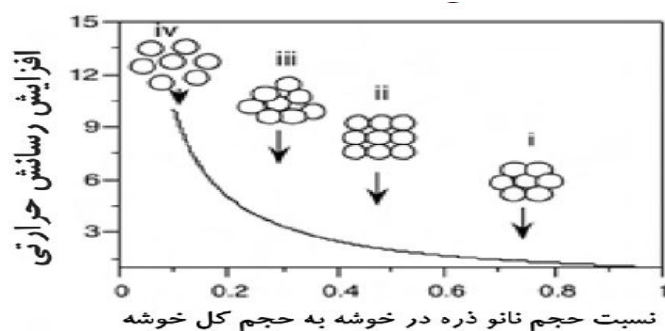
نانو ذراتی که در سوسپانسیون، چنین لایه سازی روی آنها انجام گرفته، نانوذرات کمپلکس نام دارند که شامل ذره جامد و لایه اطراف آن معروف به لایه بین وجهین<sup>4</sup> می باشند [11]



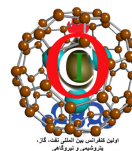
شکل 7- هدایت گرمایی به صورت تابعی از قطر ذره  $d$  و ضخامت سطح مشترک  $h$  [11].

## 8- تأثیر خوشه ای شدن نانوذرات

در اثر نیروهای جذب وان دروالس، نانوذرات خوشه ای به وجود می آید که در اثر این پدیده محل عبوری با مقاومت گرمایی کمتر برای انتقال گرما به وجود می آید. البته پدیده خوشه شدن هم از دو جهت ممکن است اثر منفی روی نانوسیال داشته باشد این پدیده با ایجاد توده های بزرگ ممکن است باعث عدم پایای سوسپانسیون شود و همچنین با ایجاد نواحی خالی از ذرات نانو در مایع و بالا رفتن مقاومت گرمایی باعث کاهش انتقال گرما شود. اما در کل خوشه ای شدن باعث بالا رفتن درصد حجمی می شود و هر چه درصد حجمی نانو ذره بیشتر باشد افزایش بیشتری در هدایت حرارتی نانوسیال مشاهده می شود که علت آن هم خوشه هایی نامتراکم تر و افزایش درصد حجمی موثر می باشد. در خوشه هایی که آزادتر (شُل تر<sup>5</sup>) ذرات به وسیله نانو لایه ای از مایع احاطه می شوند که این لایه تأثیر بسزایی در افزایش رسانش خوشه دارد [12].



4- Interfacial Shell  
5- Loosely



شکل 8- اثر خوشه ای شدن و درصد حجمی موثر بر روی افزایش هدایت گرمایی [12].

### 9- تأثیر میدان مغناطیسی بر عملکرد نانوذرات

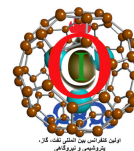
در صورتی که یک محیط نانوسیال در برابر یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، سرهای مثبت و منفی ذرات به هم نزدیک شده و در نتیجه ذرات به هم پیوستگی بیشتری پیدا می کنند که علت را می توان در جهت گیری ذرات در برابر میدان مغناطیسی دانست که این پیوستگی و جهت گیری سبب افزایش انتقال حرارت در نانوسیال خواهد شد [13].

### نتیجه گیری

در این مقاله تأثیر پارامترهای مختلف بر روی ضریب انتقال حرارت نانوسیالات مختلف معرفی و بررسی گردید که اهم نتایج حاصل به صورت زیر می باشد:

1. با افزایش کسر حجمی نانوسیال (غلظت) انتقال حرارت در نانوسیالات افزایش می یابد که این افزایش انتقال حرارت تا نقطه غلظت بهینه ادامه دارد و پس از آن کاهش در میزان انتقال حرارت مشاهده خواهد شد.
2. در تمامی محیط های نانوسیال افزایش دما، افزایش میزان انتقال حرارت را در بر خواهد داشت.
3. میزان انتقال حرارت در نانوذرات با اندازه کوچکتر، به علت افزایش سطح تماس بیشتر خواهد بود.
4. در تمامی محیط های نانوسیال یک PH خاص، تحت عنوان PH بهینه وجود دارد که حداکثر میزان انتقال حرارت در این نقطه می باشد.
5. با افزایش غلظت ماده فعال سطحی میزان پتانسیل زتا و در نتیجه پایداری پراکندگی نانوذرات افزایش یافته و باعث افزایش میزان انتقال حرارت محیط نانوسیال می گردد. این افزایش غلظت ماده فعال سطحی تا مقدار بهینه آن سبب افزایش میزان انتقال حرارت شده و پس از آن کاهش در میزان انتقال حرارت مشاهده می گردد.
6. امواج فراصوتی که با شدت بالا به محیط نانوسیال فرستاده می شوند سبب ایجاد نقاط داغ شده که در نتیجه تراکم ذرات از بین رفته و سبب پایداری و افزایش میزان انتقال حرارت نانوسیال می گردند. در صورتی که زمان ارسال امواج فراصوت از زمان بهینه محیط نانوسیال بیشتر شود سبب انباشتگی نانوذرات شده و میزان انتقال حرارت را کاهش می دهند.
7. به وجود آمدن لایه از سیال در سطح مشترک سیال - جامد با ضخامتی در حد نانومتر سبب افزایش میزان هدایت حرارت نانوسیال می شود.





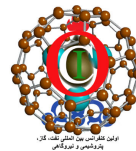
8. نانوذراتی که به شکل خوشه های نامتراکم در می آیند به علت افزایش کسر حجمی محیط نانو سیال تا حدودی سبب افزایش میزان انتقال حرارت در محیط های نانو سیال می گردند.

9. در صورتی که ذرات در محیط نانوسیال در برابر میدان مغناطیسی قرار گیرند به علت پیوستگی ذرات افزایش در میزان انتقال حرارت را خواهیم داشت.

## مراجع

- [1] زینالی هریس ،سعید ،اعتماد ،سید غلامرضا ،نصر اصفهانی ،محسن ، " **بررسی انتقال حرارت جابه جایی اجباری نانوسیال در جریان آرام داخل لوله با دمای دیواره ثابت** "، دهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان ،آبان ماه 1384.
- [2] S.U.S. Choi, " **Enhancing thermal conductivity of fluid with nanoparticles Development and Applications of Non-Newtonian flows**", D.A. Siginer and H.P. Wang eds., FED, V.231/MD,V.66, Page 99, 1995.
- [3] D.Lee, J.Kim, B.G Kim, " **A new parameter to control heat transport in nanofluid: Surface charge state of the particle in suspension**" Journal of physical chemistry B 110, Page 4323-4328, 2006.
- [4] ممدی اورگانی ، وحید ،سلیمانی نظر ،علیرضا ، " بررسی روابط تجربی مربوط به خواص نانو ذرات مختلف و افزایش میزان انتقال حرارت در یک محفظه افقی " سومین همایش ملی تحقیقات نوین در شیمی و مهندسی شیمی ، ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر، آذرماه 1390.
- [5] J.C. Maxwell, " **A Treatise on Electricity and magnetism** ", second edition , Oxford University Press, Cambridge,UK, 1904. P.435.
- [6] Xinfang Li, Dongsheng Zhu, Xianju Wang, " **Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions**", Journal of Colloid and Interface Science, 310 , 456-463 ,2007.
- [7] Kaufui V. Wong and Michael J. Castillo, " **Heat Transfer Mechanisms and Clustering in Nanofluids**", Volume, Article ID 79547, pages 8 and 9 , 2010.
- [8] Dongsheng , Zhu , Xinfang Li, Nan Wang , Xianju Wang , Jinwei Gao , Hua Li, " **Dispersion behavior and thermal conductivity characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O nanofluids**", Current Applied Physics 9 , P.131-139 , 2009.
- [9] L. Yang, et al., " **Preparation and stability of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-particle**", Applied Thermal Engineering 2010, doi:10.1016/j.applthermaleng.2010.
- [10] Sajjad Habibzadeha, Amin Kazemi-Beydokhti, Abbas Ali Khodadadi, Yadollah Mortazavi, Sasha Omanovic, Mojtaba Sharia t- Niassar , " **Stability and thermal conductivity of nanofluids of tin dioxide synthesized via microwave-induced combustion route**", Chemical Engineering Journal 156 (2010) 471-4.
- [11] P. Keblinski P , SR. Phillpot , SUS. Choi , J.A. Eastman . " **Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles(nanofluids)**" . Int J Heat Mass Transfer;45:855-63. 2002.

# اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی



مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

- [12] حمیدی، علی اصغر، امراللهی، آزاده، رشیدی، علیمراد، مقدسی، عبدالرضا، حسینی، سید مسعود، " بررسی مدل‌های ریاضی ارائه شده برای محاسبه ضریب رسانش گرمایی نانوسیالات "، تهران، مجله مهندسی شیمی ایران، جلد هشتم، شماره 40 سال 2009.
- [13] حلالی پور، علی، هزاوه ای، هادی، غفار نژاد پرتو، سهیلا، طاووسی اصل، سیامک " تأثیر شدت میدان مغناطیسی بر ضریب انتقال حرارت نانوسیالات " دوازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، آبان ماه 1387.