

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

١٥٨.٤٧



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد «M.Sc»

گرایش: مهندسی شیمی

عنوان:

بررسی افزایش انتقال حرارت نانو سیالات

استاد راهنما:

دکتر حسن زارع علی آبادی

استاد مشاور:

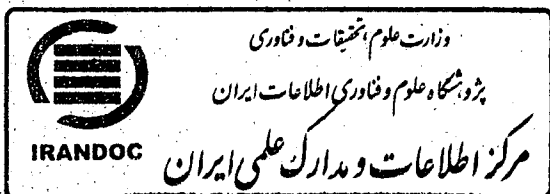
دکتر مهدی گوهر رخی

نگارش:

مریم پیوندی

زمستان ۱۳۸۹

ب



۱۵۸۰۴۷

۳۹۰/۳/ ۸



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

عنوان:

بررسی افزایش انتقال حرارت نانوسیالات

نگارش:

مریم پیوندی

زمستان ۱۳۸۹

۱. دکتر حسن زارع علی آبادی

۲. دکتر مهدی گوهر رخی

۳. دکتر مهدی پورافشاری چنار

۴. دکتر محمد حسین غضنفری

هیأت داوران:



بسمه تعالی

تعهد نامه اصالت رساله پایان نامه

اینجانب فرح میری دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته / دکتری حرفه ای / دکترای تخصصی در رشته مهندسی شیمی که در تاریخ ۲۸ از پایان نامه خود تحت عنوان " موردی، انزلی، انتقال حرارت با رسیالیت " با کسب نمره

..... و درجه دفاع نموده ام بدین وسیله متعهد می شوم:

- ۱) این پایان نامه / رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده ام.
- ۲) این پایان نامه / رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.
- ۳) چنانچه بعد از فراغت تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.
- ۴) چنانچه در هر مقطعی زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می پذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با این جانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی فرح میری
امضاء و تاریخ

سپاسگزاری

در ابتدا خداوند متعال را سپاس می گویم که هرچه دارم از اوست. آن گاه بر خود لازم می دانم تا از زحمات فراوان آقای مهندس بیات کمال تشکر را داشته باشم که اگر راهنمایی های راهگشای ایشان نبود کار حاضر به سرانجام نمی رسید. سپس از پدر و مادرم که همواره در پیشبرد اهداف زندگیم همراه و همگام من بوده اند و حمایت های بی دریغ ایشان همواره شامل حال من بوده کمال تشکر را دارم و همچنین از کلیه اساتید و دوستانی که در به پایان رساندن این پایان نامه مرا یاری نموده اند سپاسگزارم و برای ایشان آرزوی توفیق روز افزون دارم.

تقدیم به

این پایان نامه را به دستان پرمهر پدر و قلب پرعطوفت مادر تقدیم می‌کنم. پدر و مادری که مشوق اصلی و حامی بی‌نظیری در تمام دوران تحصیلاتم بوده‌اند. حال جای دارد حاصل زحمات تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد خویش را به محضر ایشان پیشکش نموده و از خداوند متعال سعادت و خیر دو دنیا را برای ایشان مسئلت نمایم.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	فصل اول
۴	۱-۱. مفهوم نانوسیالات
۶	۲-۱. مزایای بالقوه نانوسیالات
۶	۱-۲-۱. بهبود انتقال حرارت و پایداری
۷	۲-۲-۱. کاهش توان لازم برای پمپاژ سیال
۷	۳-۲-۱. کاهش گرفتگی و انسداد مجاری
۸	۴-۲-۱. کاهش اندازه سیستم های انتقال حرارت
۸	۵-۲-۱. کاهش هزینه ها
۸	۳-۱. تهیه نانوسیال
۹	۱-۳-۱. روش تک مرحله ای
۱۱	۲-۳-۱. روش دومرحله ای
۱۳	۴-۱. کاربرد نانوسیالات
۱۳	۱-۴-۱. حمل و نقل
۱۴	۲-۴-۱. الکترونیک
۱۴	۳-۴-۱. بیوتکنولوژی
۱۴	۴-۴-۱. کاربردهای دیگر
۱۵	۵-۱. پایداری نانوذرات در نانوسیالات
۱۵	۱-۵-۱. پایدار کردن نانوذرات در درون نانوسیال
۱۵	۱-۱-۵-۱. تغییر pH سوسپانسیون
۱۶	۲-۱-۵-۱. استفاده از فعال کننده های سطح و پخش کننده ها
۱۶	۳-۱-۵-۱. استفاده از نوسانات ماورای صوت
۱۷	۶-۱. ویسکوزیته نانوسیال

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۹	۷-۱. ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات.....
۱۹	۱-۷-۱. اثر غلظت نانوذرات بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال.....
۲۱	۲-۷-۱. اثر pH بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال.....
۲۲	۳-۷-۱. اثر دما بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال.....
۲۲	۴-۷-۱. اثر جنس نانوذرات، شکل ذرات، اندازه ذرات و جنس سیال پایه بر ضریب هدایت حرارتی سیال.....
۲۴	۵-۷-۱. اثر مواد افزودنی بر ضریب هدایت حرارتی سیال.....
۲۴	۸-۱. تعریف مسأله.....
۲۶	فصل دوم.....
۲۷	۱-۲. مدل سازی خواص.....
۲۷	۱-۱-۲. چگالی.....
۲۹	۲-۱-۲. ظرفیت گرمایی ویژه.....
۳۱	۳-۱-۲. ضریب هدایت حرارتی.....
۳۷	۱-۳-۱-۲. مدل هدایت گرمایی مورد استفاده در کار حاضر.....
۴۲	۴-۱-۲. ویسکوزیته.....
۴۵	۱-۴-۱-۲. مدل ویسکوزیته مورد استفاده در کار حاضر.....
۴۷	فصل سوم.....
۴۸	۱-۳. نتایج تحقیقات تجربی و مدل های ریاضی ارائه شده برای تعیین عدد ناسلت نانوسیالات.....
۵۵	فصل چهارم.....
۵۶	۱-۴. معادلات حاکم بر مسأله مورد نظر.....
۵۷	۲-۴. شرایط مرزی حاکم بر مسأله مورد نظر.....
۵۸	۳-۴. معادلات کمکی لازم برای تعیین خواص ترموفیزیکی نانوسیال.....
۶۵	۴-۴. روش حل.....
۶۷	فصل پنجم.....
۶۸	۱-۵. بررسی نتایج در اعداد رایلی 10^3 ، 10^4 و 10^5 برای خفیه مربعی.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷۲	۲-۵. بررسی نتایج در اعداد گراشهف $۱۰^۳$ ، $۱۰^۴$ و $۱۰^۵$ برای حفره مربعی
۸۲	۳-۵. بررسی نتایج در اعداد گراشهف $۱۰^۳$ ، $۱۰^۴$ و $۱۰^۵$ برای دو استوانه عمودی هم محور
۹۱	نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۳	پیوست ۱
۹۶	فهرست منابع غیرفارسی
۱۰۲	چکیده انگلیسی

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۴	۱-۱. جدول: مقایسه ضریب هدایت حرارتی چند سیال و ذرات فلزی
۳۳	۱-۲. جدول: مقادیر مختلف β برای چند نانوسیال
۶۰	۱-۴. جدول: خصوصیات ترموفیزیکی سیال پایه به صورت تابعی از درجه حرارت
۶۱	۲-۴. جدول: بررسی حل مستقل از شبکه برای حفره مربعی
۶۴	۳-۴. جدول: بررسی حل مستقل از شبکه برای دو استوانه عمودی هم محور با $A=1$ در $Gr=10^4$
۶۴	۴-۴. جدول: بررسی حل مستقل از شبکه برای دو استوانه عمودی هم محور با $A=5$ در $Gr=10^4$
۱-۵	جدول: مقایسه عدد ناسلت سیال پایه بدست آمده از کار حاضر با نتایج ارائه شده توسط هو، خانافر و کومار و
۶۸	کالام در اعداد رایلی مختلف برای حفره مربعی
۲-۵	جدول: مقایسه عدد ناسلت نانوسیال بدست آمده از کار حاضر در یک حفره مربعی نسبت به کسر حجمی های
۶۹	متفاوت نانوذره در $Ra = 10^3$ با نتایج هو و خانافر
۳-۵	جدول: مقایسه عدد ناسلت نانوسیال بدست آمده از کار حاضر در یک حفره مربعی نسبت به کسر حجمی های
۷۰	متفاوت نانوذره در $Ra = 10^4$ با نتایج هو و خانافر
۴-۵	جدول: مقایسه عدد ناسلت نانوسیال بدست آمده از کار حاضر در یک حفره مربعی نسبت به کسر حجمی های
۷۰	متفاوت نانوذره $Ra = 10^5$ با نتایج هو و خانافر
۵-۵	جدول: مقایسه عدد ناسلت سیال پایه بدست آمده از کار حاضر با نتایج ارائه شده توسط هو، خانافر و کومار و کالام
۸۱	در اعداد گراشهف مختلف برای حفره مربعی
۶-۵	جدول: مقایسه عدد ناسلت سیال پایه بدست آمده از کار حاضر با نتایج ارائه شده توسط کومار و کالام در اعداد
۸۳	گراشهف مختلف برای دو استوانه عمودی هم محور

فهرست جدول ها

عنوان

صفحه

- ۷-۵. جدول: عدد ناسلت نانوسیال بدست آمده برای دو استوانه عمودی هم محور با نسبت منظری واحد در اعداد گراشهف مختلف و کسر حجمی های متفاوت نانوذره ۱۰^۳ و ۱۰^۴ ۸۳
- ۸-۵. جدول: درصد افزایش انتقال حرارت هدایتی، درصد کاهش انتقال حرارت جابجایی و درصد کاهش عدد ناسلت، در حفره مربعی، در اعداد گراشهف ۱۰^۳ و ۱۰^۴ ۸۹
- ۹-۵. جدول: درصد افزایش انتقال حرارت هدایتی، درصد کاهش انتقال حرارت جابجایی و درصد کاهش عدد ناسلت در حفره مربعی، در اعداد رایلی ۱۰^۴ و ۱۰^۵ ۸۹

فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
۱۸.....	۱-۱. نمودار: وابستگی ویسکوزیته نانوسیال اکسید مس به شدت برش.....
۱۸.....	۲-۱. نمودار: وابستگی ویسکوزیته نانوسیال اکسید آلومینیوم به تنش برشی.....
۲۰.....	۳-۱. نمودار: نسبت ضریب هدایت حرارتی در نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم.....
۲۸.....	۱-۲. نمودار: چگالی نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم بر حسب درصد حجمی نانوذرات.....
۳۰.....	۲-۲. نمودار: ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم بر حسب درصد حجمی نانوذرات با استفاده از روابط (۹-۲) و (۱۰-۲).....
۳۴.....	۳-۲. نمودار: تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم با استفاده از مدل براونی.....
۳۶.....	۴-۲. نمودار: تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم با استفاده از مدل مایگا.....
۴۱.....	۵-۲. نمودار: نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال به ضریب هدایت حرارتی سیال پایه به صورت تابعی از غلظت نانوذره.....
۴۲.....	۶-۲. نمودار: تغییرات نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات به ضریب هدایت حرارتی سیال پایه در غلظت ثابت ۱ درصد حجمی با دما.....
۴۴.....	۷-۲. نمودار: تغییرات ویسکوزیته نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم با استفاده از مدل مایگا.....
۴۵.....	۸-۲. نمودار: بررسی ویسکوزیته نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم بر حسب دما و درصد حجمی توسط نگوین.....
۵۰.....	۱-۳. نمودار: نمودار Ω بر حسب Re برای سیالات پایه و نانوسیالات (\square) داده های تجربی برای سیالات پایه، (\circ) داده های تجربی برای نانوسیالات، (-) پیش بینی معادله باز آرای شده سیدر و تیت.....
۷۱.....	۱-۵. نمودار: مقایسه نتایج بدست آمده برای عدد ناسلت جابجایی طبیعی نانوسیال در یک حفره مربعی نسبت به کسر حجمی های متفاوت نانوذره در اعداد رایلی مختلف با نتایج ارائه شده توسط هو و خانافر.....
۷۲.....	۲-۵. نمودار: تغییرات دما نسبت به طول حفره مربعی در عدد گراشهف 10^3 برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۶.....
۷۳.....	۳-۵. نمودار: تغییرات دما نسبت به طول حفره مربعی در عدد گراشهف 10^4 برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۶.....
۷۳.....	۴-۵. نمودار: تغییرات دما نسبت به طول حفره مربعی در عدد گراشهف 10^5 برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۶.....

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
۵-۵. نمودار: مؤلفه عمودی سرعت جریان نسبت به طول حفره مربعی در عدد گراشهف 10^3 برای کسر حجمی های ۰ و 0.03 و 0.06	۷۵
۵-۶. نمودار: مؤلفه عمودی سرعت جریان نسبت به طول حفره مربعی در عدد گراشهف 10^4 برای کسر حجمی های ۰ و 0.03 و 0.06	۷۶
۵-۷. نمودار: مؤلفه عمودی سرعت جریان نسبت به طول حفره مربعی در عدد گراشهف 10^5 برای کسر حجمی های ۰ و 0.03 و 0.06	۷۶
۵-۸. نمودار: مؤلفه افقی سرعت جریان نسبت به عرض حفره مربعی در عدد گراشهف 10^3 برای کسر حجمی های ۰ و 0.03 و 0.06	۷۷
۵-۹. نمودار: مؤلفه افقی سرعت جریان نسبت به عرض حفره مربعی در عدد گراشهف 10^4 برای کسر حجمی های ۰ و 0.03 و 0.06	۷۷
۵-۱۰. نمودار: مؤلفه افقی سرعت جریان نسبت به عرض حفره مربعی در عدد گراشهف 10^5 برای کسر حجمی های ۰ و 0.03 و 0.06	۷۸
۵-۱۱. نمودار: عدد ناسلت سیال پایه و نانوسیال در اعداد گراشهف 10^3 ، 10^4 و 10^5 برای حفره مربعی.....	۸۲
۵-۱۲. نمودار: عدد ناسلت برای $Gr=10^3$ و $K=2$ و کسر حجمی های متفاوت نانوذره به صورت تابعی از نسبت منظری در دو استوانه عمودی هم محور.....	۸۴
۵-۱۳. نمودار: عدد ناسلت برای $Gr=10^4$ و $K=2$ و کسر حجمی های متفاوت نانوذره به صورت تابعی از نسبت منظری در دو استوانه عمودی هم محور.....	۸۴
۵-۱۴. نمودار: عدد ناسلت برای $Gr=10^5$ و $K=2$ و کسر حجمی های متفاوت نانوذره به صورت تابعی از نسبت منظری در دو استوانه عمودی هم محور.....	۸۵

فهرست نمودارها

عنوان

صفحه

- ۱۵-۵. نمودار: نسبت عدد ناسلت نانوسیال به سیال پایه بر حسب کسر حجمی نانوذره، برای $A \geq 1$ و $K=2$ در دو استوانه عمودی هم محور در تمامی اعداد گراشهف و نسبت منظری‌های مورد مطالعه ۸۶
- ۱۶-۵. نمودار: نسبت عدد ناسلت نانوسیال به سیال پایه بر حسب کسر حجمی نانوذره، برای حفره مربعی در تمامی اعداد گراشهف مورد مطالعه ۸۷

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۹	۱-۱. شکل: روش تک مرحله ای تهیه نانوسیال.....
۱۰	۲-۱. شکل: دستگاهی برای تهیه یک مرحله ای نانوسیال.....
۱۱	۳-۱. شکل: دستگاه مخلوط کن مافوق صوت در حال یکنواخت کردن نانوسیال.....
۱۲	۴-۱. شکل: تصویری از توده ای شدن نانوذرات اکسید آلومینیوم.....
۲۵	۵-۱. شکل: شماتیک مسأله جریان نانوسیال در حفره مربعی همراه با انتقال حرارت.....
۳۸	۱-۲. شکل: روش های مختلف انتقال انرژی در نانوسیالات.....
۵۷	۱-۴. شکل: هندسه و شرایط مرزی حفره مربعی.....
۶۱	۲-۴. شکل: حفره مربعی ساخته شده و مش بندی شده در نرم افزار گمبیت.....
۶۲	۳-۴. شکل: هندسه و شرایط مرزی دو استوانه عمودی هم محور.....
۶۳	۴-۴. شکل: شکل هندسی دو استوانه عمودی هم محور با نسبت منظری واحد.....
۶۴	۵-۴. شکل: شکل هندسی دو استوانه عمودی هم محور با نسبت منظری ۲.....
۶۵	۶-۴. شکل: شکل هندسی دو استوانه عمودی هم محور با نسبت منظری ۳.....
۷۴	۱-۵. شکل: کانتورهای دما برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۶ در عدد گراشهف 10^3
۷۴	۲-۵. شکل: کانتورهای دما برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۶ در عدد گراشهف 10^4
۷۵	۳-۵. شکل: کانتورهای دما برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۶ در عدد گراشهف 10^5
۷۸	۴-۵. شکل: کانتورهای فشار برای سیال پایه در عدد گراشهف 10^3
۷۹	۵-۵. شکل: کانتورهای فشار برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۳ در عدد گراشهف 10^3
۷۹	۶-۵. شکل: کانتورهای فشار برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۶ در عدد گراشهف 10^3
۸۰	۷-۵. شکل: کانتورهای فشار برای سیال پایه در عدد گراشهف 10^4
۸۰	۸-۵. شکل: کانتورهای فشار برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۳ در عدد گراشهف 10^4

فهرست شکل ها

صفحه

عنوان

۵-۹. شکل: کانتورهای فشار برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۶ در عدد گراشهف 10^4 ۸۱

چکیده

امروزه بررسی انتقال حرارت جابجایی طبیعی در هندسه های متفاوت به فراوانی مورد بررسی های تجربی و عددی قرار می گیرد و با توجه به مدل های متفاوتی که برای ضریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته نانوسیال به کار می رود، نتایج متناقضی مشاهده می شود. در کار حاضر با استفاده از مدل ژانگ و چوی برای ضریب هدایت حرارتی و مدل نگوین برای ویسکوزیته نانوسیال، به بررسی عددی انتقال حرارت جابجایی طبیعی نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم در یک حفره مربعی ($1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$) در حالت دو بعدی و دو استوانه عمودی هم محور با نسبت منظری های متفاوت $1 \leq A \leq 5$ در حالت سه بعدی، در محدوده عدد گراشهف $10^3 \leq Gr \leq 10^5$ و کسر حجمی ذره بین ۰ تا ۶ درصد پرداخته شده است. با بررسی نتایج بدست آمده رابطه $Nu_{hf} = 0.121Ra^{0.318}$ برای محاسبه عدد ناسلت سیال پایه بدست می آید. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزودن نانوذرات اکسید آلومینیوم ۳۶ نانومتری به سیال پایه انتقال حرارت هدایتی افزایش و انتقال حرارت جابجایی طبیعی و عدد ناسلت کاهش می یابد و با افزایش کسر حجمی ذره میزان کاهش عدد ناسلت بیشتر می شود.

همچنین مشاهده می شود به ازای کسر حجمی کمتر از ۶ درصد نسبت Nu_{nf} / Nu_{hf} کاهش خطی یکنواختی نسبت به کسر حجمی ذره با شیب های متفاوت در پی دارد و رابطه ای برای محاسبه عدد ناسلت نانوسیالات در حفره مربعی به صورت $Nu_{nf} / Nu_{hf} = -2.41\phi + 1$ بدست می آید که شیب در رابطه بدست آمده بستگی به مدل ویسکوزیته و قطر نانوذره دارد.

کلمات کلیدی: نانوسیال، آب و اکسید آلومینیوم، جابجایی طبیعی، حفره مربعی، دو استوانه عمودی هم محور، حل عددی، فلوئنت.

مقدمه

سیستم های خنک کننده، یکی از مهم ترین دغدغه های کارخانه ها و صنایعی است که به نوعی با انتقال گرما روبه رو می باشند. در این شرایط استفاده از سیستم های خنک کننده پیشرفته و بهینه، امری اجتناب ناپذیر است. بهینه سازی سیستم های انتقال حرارت موجود، در اکثر مواقع به وسیله افزایش سطح آن ها صورت می گیرد که همواره باعث افزایش حجم و اندازه این دستگاه ها می شود.

بنابراین برای افزایش بازدهی و کوچک کردن سیستمهای حرارتی به عنوان یکی از اهداف مهندسی، استفاده از نانوسیال به عنوان یکی از مهمترین راهها برای رسیدن به این هدف، در سال های اخیر مطرح شده است و تحقیقات گستردهای بر روی نانوسیالات و نحوه کاربرد آن صورت گرفته است. هدف این پروژه بررسی افزایش انتقال حرارت نانوسیالات می باشد. بنابراین ابتدا به معرفی نانوسیال پرداخته می شود و سپس روش های مختلف تولید آن و همچنین کاربرد آن در زمینه های مختلف صنعتی مورد بررسی قرار می گیرد. سپس مسأله مورد نظر به صورت کامل تعریف می گردد.

کلیات و معرفی موضوع

۱-۱. مفهوم نانوسیالات

یکی از مهمترین اهداف محققین و مهندسین، افزایش بازدهی و کوچک کردن سیستم‌های مورد استفاده در صنعت می‌باشد. بهینه کردن سیستم‌های حرارتی به عنوان یکی از متداول‌ترین سیستم‌های مورد استفاده همواره مورد توجه محققین بوده است. با افزایش بازدهی سیستم‌های حرارتی می‌توان شار حرارتی بیشتری را در یک ابعاد خاص منتقل کرد و در نتیجه دمای کاری را پایین آورد و یا می‌توان شار حرارتی مشخصی را با استفاده از یک مبدل حرارتی کوچکتر منتقل نمود. راه‌های متفاوتی برای افزایش بازدهی یک مبدل حرارتی وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان به افزایش سطح، استفاده از هندسه‌های پیچیده، تولید اغتشاش در جریان سیال و استفاده از سیال عامل مناسب اشاره نمود. از سال‌ها پیش برای بهبود خواص سیال عامل درون سیستم‌های حرارتی راه‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. یکی از راه‌ها، افزودن ذرات فلزی به سیال عامل می‌باشد. ضریب هدایت حرارتی فلزات در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر ضریب هدایت حرارتی سیالاتی مانند آب و روغن است. برای مثال می‌توان به جدول (۱-۱) که ضریب هدایت حرارتی چند سیال و فلز و اکسید فلز را مقایسه می‌کند، مراجعه نمود [۱].

جدول (۱-۱). مقایسه ضریب هدایت حرارتی چند سیال و ذرات فلزی [۱]

ماده	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	ماده	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)
آب	۰/۶۰۴	اتیلن گلیکول	۰/۲۵۸
مس	۴۰۱	اکسید مس	۶۹
آلومینیم	۲۳۷	اکسید آلومینیم	۴۶