بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه حرارت و سیالات

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

عنوان:

مطالعه عددی تاثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر میدان جریان و انتقال حرارت نانوسیال آب اکسیدآلومینیوم درون محفظه

استاد راهنما:

دکتر علی اکبر عباسیان آرانی

توسط:

نیلوفر دانشیار

آذرماه ۱۳۹۲

تقدیم به:

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم، آن دو فرشته‌ای که سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات نمودند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام دست یابم و تقدیم به همسر مهربانم که در طی این مدت و در برابر مشکلات، یاور و پشتیبانی محکم برایم بوده و هست.

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار و به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول تحصیل مرا در کسب علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند، تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار **جناب آقای دکتر علی اکبر عباسیان** که مسئولیت راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده و با دقت و سعه‌صدر، با راهنمایی‌های ارزنده و دلسوزانه به من یاری رسانده‌اند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از تشریک مساعی اساتید گرامی و بزرگوار **جناب آقای دکتر علی عارف‌منش** و **جناب آقای دکتر قنبرعلی شیخ‌زاده** به عنوان اساتید داور که این پایان نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

در این تحقیق میدان جریان و انتقال حرارت جابه‌جایی طبیعی، ترکیبی و اجباری نانوسیال آب-اکسیدآلومینیوم درون محفظه‌ای مربع شکل با فرض توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات معلق در نانوسیال به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در هر سه جریان، دیواره‌های بالا و پایین محفظه عایق بوده و دیواره سمت چپ در دمای ثابت گرم قرار دارد. در جریان‌های طبیعی و ترکیبی دیواره سمت راست در دمای ثابت سرد و در جریان اجباری در دمای ثابت گرم قرار دارد. معادلات ناویراستوکس و انرژی حاکم بر جریان با شرط عدم لغزش در نانوسیال و با استفاده از روش حجم محدود و الگوریتم سیمپلر حل شده‌اند. ضریب هدایت حرارتی نانوسیال براساس فرض توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات (توزیعی موسوم به توزیع فرکتالی)، مدل شده است. نتایج برای پارامترهای مختلف نسبت کمینه به بیشینه قطر نانوذرات (۰/۰۰۷-۰/۰۰۱)، قطرهای متوسط نانوذرات (۵ و ۴۷ نانومتر) و کسرهای حجمی (۰/۰۵-۰) بیان شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نسبت کمینه به بیشینه قطر نانوذرات در یک قطر متوسط ثابت، ضریب هدایت حرارتی مؤثر نانوسیال افزایش می‌یابد، در حالیکه افزایش قطر متوسط نانوذرات از ۵ به ۴۷ نانومتر باعث کاهش ضریب هدایت حرارتی می‌شود. بررسی نمودارهای ناسلت متوسط روی دیواره گرم نشان می‌دهد که با افزایش نسبت کمینه به بیشینه قطر نانوذرات، ناسلت متوسط و در نتیجه نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر مؤلفه‌های جریان از جمله سرعت، در جریان جابه‌جایی طبیعی مشهودتر از جریان‌های جابه‌جایی ترکیبی و اجباری می‌باشد.

کلمات کلیدی: نانوسیال، توزیع غیریکنواخت، قطر نانوذرات، ضریب هدایت حرارتی، مطالعه عددی، ویسکوزیته.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه انتقال حرارت جابه‌جایی در نانوسیال ۳

۱-۲-۱- مطالعات انجام شده در زمینه انتقال حرارت جابه‌جایی طبیعی درون محفظه ۴

۱-۲-۲- مطالعات انجام شده در زمینه انتقال حرارت جابه‌جایی ترکیبی درون محفظه ۶

۱-۲-۳- مطالعات انجام شده در زمینه انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری ۱۰

۱-۳- هدف و موضوع تحقیق حاضر ۱۳

۱-۴- روش انجام تحقیق ۱۴

۱-۵- محتوای فصول بعد ۱۵

فصل دوم: فناوری نانو و نانوسیال ۱۷

۲-۱- پیشگفتار ۱۸

۲-۲- فناوری نانو ۱۸

۲-۳- نانوسیال ۱۹

۲-۴- خواص متفاوت نانوسیال ۲۰

۲-۴-۱- چگالی نانوسیال ۲۱

۲-۴-۲- ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیال..... ۲۲

۲-۴-۳- ضریب انبساط حجمی نانوسیال..... ۲۲

۲-۴-۴- ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۲۳

۲-۴-۵- ویسکوزیته..... ۲۸

۲-۵- جمع‌بندی..... ۳۱

فصل سوم: توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات و تأثیر آن بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال..... ۳۲

۳-۱- پیشگفتار..... ۳۳

۳-۲- هندسه فرکتالی..... ۳۳

۳-۳- هندسه فرکتالی در نانوسیال..... ۳۶

۳-۴- مدلی برای ضریب هدایت حرارتی نانوسیال بر پایه توزیع فرکتالی نانوذرات..... ۳۸

۳-۵- جمع‌بندی..... ۴۳

فصل چهارم: معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت..... ۴۴

۴-۱- پیشگفتار..... ۴۵

۴-۲- فرضیات حاکم بر مسئله..... ۴۵

۴-۳- معادلات بابعد حاکم بر جریان در حالت کلی..... ۴۶

۴-۳-۱- شرایط مرزی بابعد..... ۴۷

۴-۳-۱-الف- شرایط مرزی محفظه برای نانوسیال با جریان جابه‌جایی طبیعی..... ۴۸

۴-۳-۱-ب- شرایط مرزی محفظه با درپوش متحرک برای سیال با جریان جابه‌جایی ترکیبی..... ۴۹
۴-۳-۱-ج- شرایط مرزی محفظه دارای ورودی و خروجی برای سیال با جریان جابجایی اجباری..... ۵۰
۴-۴- معادلات حاکم بر جریان در حالت بی‌بعد..... ۵۱
۴-۴-۱- شرایط مرزی بی‌بعد محفظه برای سیال با جریان جابه‌جایی طبیعی..... ۵۴
۴-۴-۲- شرایط مرزی بی‌بعد محفظه با درپوش متحرک برای سیال با جریان جابه‌جایی ترکیبی..... ۵۴
۴-۴-۳- شرایط مرزی بی‌بعد محفظه دارای ورودی و خروجی برای سیال با جریان جابه‌جایی اجباری..... ۵۴
۴-۵- سایر کمیت‌های بی‌بعد..... ۵۵
۴-۵-۱-عدد رینولدز..... ۵۵
۴-۵-۲- عدد رایلی..... ۵۵
۴-۵-۳- عدد پرانتل..... ۵۶
۴-۵-۴- عدد گراشف..... ۵۶
۴-۵-۵- عدد ریچاردسون..... ۵۶
۴-۵-۶- عدد ناسلت..... ۵۷
۴-۶- تابع جریان..... ۵۷
۴-۶-۱- قدرت جریان..... ۵۸

۴-۷- جمع‌بندی ۵۸

فصل پنجم: حل عددی معادلات حاکم ۶۳

۵-۱- پیشگفتار ۶۰

۵-۲- روش‌های انفصال ۶۰

۵-۲-۱- روش اختلاف محدود ۶۱

۵-۲-۲- روش اجزا محدود ۶۱

۵-۲-۳-روش حجم محدود ۶۳

۵-۳- شکل کلی معادلات دیفرانسیل ۶۴

۵-۴- به‌دست آوردن معادله انفصال ۶۵

۵-۴-۱- شکل تفاضل محدود معادله کلی ϕ ۶۵

۵-۴-۲- طرح تفاضل مرکزی ۶۶

۵-۴-۳- طرح بالادست ۶۸

۵-۴-۴- طرح پیوندی ۶۹

۵-۴-۵- طرح قاعده توانی ۶۹

۵-۴-۶ -تکمیل معادله انفصال ۷۰

۵-۵- محاسبه میدان جریان و میدان دما ۷۰

۵-۵-۱- شبکه جابه‌جا شده ۷۱

۵-۵-۲- الگوریتم سیمپلر ۷۲

۵-۶- نحوه اعمال شرایط مرزی ۷۳
۵-۶-۱- شرایط مرزی معادله سرعت ۷۳
۵-۶-۱-الف- مؤلفه افقی سرعت u ۷۴
۵-۶-۱-ب- مؤلفه عمودی سرعت v ۷۵
۵-۶-۲- شرایط مرزی معادله دما ۷۵
۵-۷- حل دستگاه معادلات خطی ۷۶
۵-۸- برنامه کامپیوتری ۷۶
۵-۹- جمع‌بندی ۷۸
فصل ششم: تحلیل و بررسی نتایج ۷۹
۶-۱- پیشگفتار ۸۰
۶-۲- اعتبارسنجی برنامه ۸۰
۶-۲-۱- بررسی صحت عملکرد برنامه برای آب خالص ۸۱
۶-۲-۲- بررسی صحت عملکرد برنامه برای نانوسیال ۸۱
۶-۳- استقلال نتایج از شبکه ۸۳
۶-۴- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر ضریب هدایت حرارتی بی‌بعد ۸۵
۶-۵- میدان جریان و انتقال حرارت جابه‌جایی طبیعی ۸۸
۶-۵-۱- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر مؤلفه‌های سرعت در خط مرکزی محفظه ۸۸
۶-۵-۲-تأثیر تغییر قطر متوسط نانوذرات بر مؤلفه‌های سرعت در خط مرکزی محفظه ۹۰

۶-۵-۳- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر خطوط جریان و همدما..... ۹۲
۶-۵-۴- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر بیشینه قدرت جریان..... ۹۵
۶-۵-۵- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر ناسلت متوسط روی دیواره گرم..... ۹۶
۶-۵-۶- مقایسه مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم با استفاده از مدل خنافر و وفایی و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات..... ۹۷
۶-۶- میدان جریان و انتقال حرارت جابه‌جایی ترکیبی..... ۹۹
۶-۶-۱- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر مؤلفه‌های سرعت در خط مرکزی محفظه..... ۹۹
۶-۶-۲- تأثیر تغییر قطر متوسط نانوذرات بر مؤلفه‌های سرعت در خط مرکزی محفظه.. ۱۰۱
۶-۶-۳- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر خطوط جریان و همدما..... ۱۰۱
۶-۶-۴- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر بیشینه قدرت جریان..... ۱۰۵
۶-۶-۵- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر ناسلت متوسط روی دیواره گرم..... ۱۰۶
۶-۶-۶- مقایسه مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم با استفاده از مدل خنافر و وفایی و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات..... ۱۰۷
۶-۷- میدان جریان و انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری..... ۱۰۸
۶-۷-۱- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر مؤلفه‌های سرعت در خط مرکزی محفظه..... ۱۰۹
۶-۷-۲- تأثیر تغییر قطر متوسط نانوذرات بر مؤلفه‌های سرعت در خط مرکزی محفظه.. ۱۰۹
۶-۷-۳- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر خطوط جریان و همدما..... ۱۱۲

۶-۷-۴- تأثیر درنظرگرفتن توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر بیشینه قدرت جریان..... ۱۱۵

۶-۷-۵- تأثیر توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات بر ناسلت متوسط روی دیواره گرم..... ۱۱۶

۶-۷-۶- مقایسه مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم با استفاده از مدل خنافر و وفایی و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات..... ۱۱۷

فصل هفتم: جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها..... ۱۱۹

۷-۱- پیشگفتار..... ۱۲۰

۷-۲- جمع‌بندی..... ۱۲۰

۷-۳- ارائه پیشنهادها..... ۱۲۲

منابع و مراجع..... ۱۲۳

فهرست شکل‌ها

شکل(۲-۱): الف) شکل شماتیک نانوذرات سوسپانسیون شده در سیال پایه ب) ذره کروی منفرد با رویه لایه‌ای [۶۲]..... ۲۶

شکل (۳-۱): نمونه‌ای از فرکتال‌های موجود در طبیعت..... ۳۵

شکل (۳-۲): اندازه فرکتالی بخشی از سطح خوشه SiO_2 ـ اتانول [۴۱]..... ۳۷

شکل (۳-۳): اندازه فرکتالی توزیع فضای شعاعی خوشه‌ها [۴۱]..... ۳۷

شکل (۴-۱): هندسه مسئله برای جریان جابه‌جایی طبیعی..... ۴۸

شکل (۴-۲): هندسه مسئله برای جریان جابه‌جایی ترکیبی با درپوش متحرک..... ۴۹

شکل (۴-۳): هندسه مسئله برای جریان جابه‌جایی اجباری دارای ورودی و خروجی..... ۵۰

شکل (۵-۱): حجم کنترل اصلی برای حالت دو بعدی..... ۶۵

شکل (۵-۲): شکل شماتیک شبکه جابه‌جاشده..... ۷۲

شکل (۵-۳): سلول سرعت u در مجاورت دیواره پایینی محفظه..... ۷۴

شکل (۵-۴): نمایش روش خط به خط..... ۷۶

شکل (۶-۱): پروفیل سرعت در خط مرکزی محفظه برای سیال خالص (ـــــ) و نانوسیال آب‌ـAl_2O_3 با R=۰/۰۰۱(ـ ـ ـ) و R=۰/۰۰۷ (ـــ .. ـــ)، Pr=۶، dp=۵ nm و φ=۰/۰۴..... ۸۹

شکل (۶-۲): پروفیل سرعت در خط مرکزی محفظه برای سیال خالص (ـــــ) و نانوسیال آب‌ـAl_2O_3 با dp= ۵ nm (ـ ـ ـ) و dp=۴۷ nm (ـــ .. ـــ)، Pr=۶، R=۰/۰۰۱ وφ=۰/۰۴..... ۹۱

شکل(۶-۳): خطوط جریان و همدما برای سیال خالص (ـــــ) و نانوسیال آب‌ـAl_2O_3 (ـ ـ ـ) با ۰/۰۰۷ و R=۰/۰۰۱ ، 10^6، 10^5، Ra=10^4، dp=۵ nm و φ=۰/۰۲ و Pr=۶..... ۹۴

شکل (۶-۴): پروفیل سرعت در خط مرکزی محفظه برای سیال خالص (ـــــ) و نانوسیال آب‌ـAl_2O_3 با R=۰/۰۰۱(ـ ـ ـ) و R=۰/۰۰۷ (ـــ .. ـــ)، dp= ۵ nm و φ=۰/۰۴..... ۱۰۰

شکل (۶- ۵): پروفیل سرعت در خط مرکزی محفظه برای سیال خالص (ـــ) و نانوسیال آب-Al_2O_3 با dp=۵ nm (ـ ـ ـ) و dp=۴۷ nm (ـــ .. ـــ) با R=۰/۰۰۱ و φ=۰/۰۴..... ۱۰۲

شکل(۶-۶): خطوط جریان و همدما برای سیال خالص (ـ ـ ـ) و نانوسیال آب-Al_2O_3 (ـــ) با ۰/۰۰۷ و R=۰/۰۰۱، ۱۰، ۱، Ri=۰/۱ ، dp=۵ nm و φ=۰/۰۴..... ۱۰۳

شکل (۶-۷): پروفیل سرعت در خط مرکزی محفظه برای سیال خالص (ـــ) و نانوسیال آب-Al_2O_3 با R=۰/۰۰۱(ـ ـ ـ) و R=۰/۰۰۷ (ـــ .. ـــ)، dp=۵ nm و φ=۰/۰۴..... ۱۱۰

شکل (۶-۸): پروفیل سرعت در خط مرکزی محفظه برای سیال خالص (ـــ) و نانوسیال آب-Al_2O_3 با dp=۵ nm (ـ ـ ـ) و dp= ۴۷nm (ـــ .. ـــ)،R=۰/۰۰۱ و φ=۰/۰۴..... ۱۱۱

شکل(۶-۹): خطوط جریان و همدما برای سیال خالص (ـ ـ ـ) و نانوسیال آب-Al_2O_3 (ـــ) با ۰/۰۰۷ و R=۰/۰۰۱، ۱۰۰۰ ، ۵۰۰، Re=۵۰ ، dp=۵ nm و φ=۰/۰۴..... ۱۱۳

فهرست جدول‌ها

جدول (۴-۱): خواص ترموفیزیکی نانوذرات و سیال پایه در دمای c ۲۵° [۴۴]..... ۵۲

جدول(۶-۱): مقایسه مقادیر ناسلت متوسط در Re=۱۰ و در رایلی‌های مختلف، برای سیال خالص..... ۸۱

جدول(۶-۲): مقایسه مقادیر ناسلت متوسط کار حاضر با نتایج عددی موجود در مرجع [۸۶] با درنظرگرفتن مدل ماکسول و برینکمن در Re=۱۰، رایلی‌ها و کسرهای حجمی مختلف..... ۸۲

جدول(۶-۳): مقایسه مقادیر ناسلت متوسط کار حاضر با نتایج عددی موجود در مرجع [۸۶] با در نظرگرفتن مدل چون و همکاران [۸۷] در Re=۱۰، رایلی‌ها و کسرهای حجمی مختلف.... ۸۳

جدول (۶-۴): مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم برای جریان جابه‌جایی طبیعی با Ra=۱۰^{۴} ، φ=۰/۰۲، R=۰/۰۰۱ و dp= ۵ nm..... ۸۴

جدول (۶-۵): مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم برای جریان جابه‌جایی اجباری با Re=۵۰، φ=۰/۰۲، R=۰/۰۰۱ و dp=۵ nm..... ۸۴

جدول (۶-۶): مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم برای جریان جابه‌جایی ترکیبی با Ri=۰/۱، φ=۰/۰۲، R=۰/۰۰۱ و dp=۵ nm..... ۸۴

جدول (۶-۷): مقادیر ضریب هدایت حرارتی بی‌بعد نانوسیال آب-Al_2O_3 برای ۰/۰۰۷ و R=۰/۰۰۱ با قطر متوسط نانوذرات dp=۵ nm..... ۸۶

جدول (۶-۸): مقادیر ضریب هدایت حرارتی بی‌بعد نانوسیال آب- Al_2O_3 برای ۰/۰۰۷ و R=۰/۰۰۱ با قطر متوسط نانوذرات dp=۴۷ nm..... ۸۷

جدول (۶-۹): مقادیر بیشینه قدرت تابع جریان برای رایلی‌های متفاوت درdp=۵ nm و φ=۰/۰۴..... ۹۵

جدول (۶-۱۰): مقایسه مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم با استفاده از مدل خنافر و وفایی [۵۴] و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات در کسرهای حجمی و رایلی‌های متفاوت.....۹۸

جدول (۶-۱۱): مقادیر بیشینه قدرت تابع جریان برای ریچاردسون‌های متفاوت در $dp=$ ۵ nm و $\varphi=$۰/۰۴.....۱۰۵

جدول (۶-۱۲): مقایسه مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم با استفاده از مدل خنافر و وفایی [۵۴] و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات در کسرهای حجمی و ریچاردسون‌های متفاوت ۱۰۷

جدول (۶-۱۳): مقادیر بیشینه قدرت تابع جریان برای رینولدزهای متفاوت در $dp=$ ۵ nm و $\varphi=$۰/۰۴.....۱۱۵

جدول (۶-۱۴): مقایسه مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم با استفاده از مدل خنافر و وفایی [۵۴] و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات در کسرهای حجمی و رینولدزهای متفاوت ۱۱۷

فهرست نمودارها

نمودار (۶-۱): نمودار ضریب هدایت حرارتی بی‌بعد نانوسیال آب-Al_2O_3 بر حسب کسر حجمی برای ۰/۰۰۷ و R=۰/۰۰۱ با قطرهای متوسط نانوذرات nm ۴۷ و dp=۵ ..... ۸۷

نمودار (۶-۲): مقادیر بیشینه قدرت تابع جریان برای رایلی‌های متفاوت در dp=۵ nm و φ =۰/۰۴ ..... ۹۶

نمودار(۶-۳) : نمودار مقادیر ناسلت متوسط بر حسب ۰/۰۰۷ تا R =۰/۰۰۱ در 10^6 تا Ra=10^3 و dp=۵ nm و φ=۰/۰۴ ..... ۹۷

نمودار (۶-۴): مقایسه مقادیر ناسلت متوسط بین مدل خنافر [۵۴] و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات [۴۲] برای dp=۵ nm و Ra=10^3،10^4،10^5 ..... ۹۸

نمودار(۶-۵): نمودار مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم محفظه بر حسب ۰/۰۰۷ تا R =۰/۰۰۱ در ۱۰ تا Ri=۰/۰۱ و dp= ۵ nm و φ=۰/۰۴ ..... ۱۰۶

نمودار (۶-۶): مقایسه مقادیر عدد ناسلت متوسط بین مدل خنافر [۵۴] و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات [۴۲] برای dp=۵ nm و ۱، ۰/۱، Ri=۰/۰۱ ..... ۱۰۸

نمودار(۶-۷): نمودار مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم محفظه بر حسب R های متفاوت برای Re های مختلف و d_p= ۵ nm و φ=۰/۰۴ ..... ۱۱۶

نمودار (۶-۸): مقایسه مقادیر عدد ناسلت متوسط بین مدل خنافر [۵۴] و مدل توزیع غیریکنواخت قطر نانوذرات [۴۲] برای dp= ۵ nm و ۱۰۰۰ و ۵۰۰، Re=۵۰ ..... ۱۱۸

فهرست علائم و اختصارات

مساحت سطح (m^2)	A
ضریب ثابت	c
ظرفیت گرمای ویژه ($KJkg^{-1}K^{-1}$)	c_p
اندازه فرکتالی	D_f
قطر متوسط مولکول	d
کنداکتانس پخش	D
قدرت جابه‌جایی	F
شتاب ثقل (ms^{-2})	g
عدد گراشف	Gr
ارتفاع محفظه (m)	H
ضریب انتقال حرارت (Wm^2K)	h
ضریب هدایت حرارتی ($Wm^{-1}K^{-1}$)	k
طول محفظه (m)	L
جرم (kg)	m
عدد ناسلت موضعی	$Nu(X)$
عدد ناسلت متوسط	$\overline{Nu}$
فشار	p
فشار بی‌بعد	P
عدد پکلت	Pe
عدد پرانتل	Pr

شار حرارتی	q
نسبت کمینه به بیشینه قطر نانوذرات	R
عدد رایلی	Ra
عدد رینولدز	Re
عدد ریچاردسون	Ri
دما (K)	T
مؤلفه سرعت در راستای x	u
مؤلفه سرعت در راستای y	v
سرعت بدون بعد در راستای X	U
سرعت بدون بعد در راستای Y/ حجم	V
مختصات بابعد (m)	x و y
مختصات بدون بعد	X و Y

علائم یونانی

ضریب نفوذ گرمایی (m^2s^{-1}) / ضریب زیر تخفیف	α
ضریب انبساط گرمایی (K^{-1})	β
ضریب پخش	Γ
ضرایب ثابت	γ و η و ε
ضخامت لایه مرزی	δ
دمای بی‌بعد	θ
قطر ذره	λ

ویسکوزیته دینامیکی (NSM^{-2})	μ
ویسکوزیته سینماتیکی (m^2S^{-1})	υ
چگالی (kg/m^3)	ρ
تنش برشی روی دیواره	τ_w
کسرحجمی نانوذرات	φ
کمیت وابسته‌ی معادله دیفرانسیل کلی	ϕ
مقدار کمیت ϕ در نقطه P	ϕ_P
مقدار کمیت ϕ_P از تکرار قبلی	ϕ_P^*
تابع جریان بابعد	ψ
تابع جریان بی‌بعد	Ψ

زیرنویس‌ها

مقدار متوسط	*ave*
ناشی از گرمای جابه‌جایی / سرد	*c*
وجه شرقی حجم کنترل	*e*
گره شرقی	*E*
مؤثر	*eff*
سیال پایه	*f*
گرم	*H*
بیشینه	*Max*
کمینه	*Min*