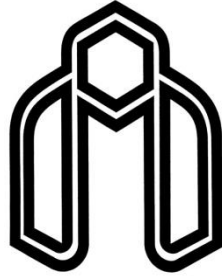


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی مکانیک
گروه حرارت و سیالات

حل عددی انتقال حرارت جابجایی آزاد در یک محفظه حاوی ماده متخلخل به روش شبکه بولتزمن

دانشجو: آلاله انارکی حاجی باقری

استاد راهنما:

دکتر محمد حسن کیهانی

استاد مشاور:

دکتر محسن نظری

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۱



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صور تجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم آلاله انارکی حاجی باقری رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی تحت عنوان حل عددی انتقال حرارت جابجایی آزاد در یک محفظه حاوی ماده متخلخل به روش شبکه بولنژمن که در تاریخ ۹۱/۱۱/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> عالی (امتیاز ۲۰)
--------------------------------	------------------------------------	--

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

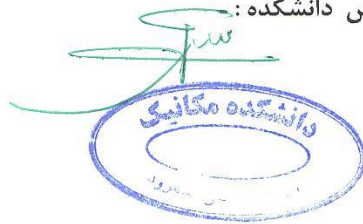
۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر محمد حسن کیهانی	۱- استاد راهنما
	استاد	دکتر محسن نظری	۲- استاد مشاور
	استاد	دکتر مجید هاشمیان	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استاد	دکتر محمد محسن شاهمردان	۴- استاد ممتحن
	استاد	دکتر محمود نوروزی	۵- استاد ممتحن

رئیس دانشکده:



تقدیم به

خانواده ام

و

تمام عزیزانی

که من را در این مسیر همراهی کردند.

تشکر و قدردانی

بسیار خدایم که آدمی را به نعمت تفکر آراست و اساتید فرزانه را
چون دکتر محمد صبح کیهانر و دکتر مصبح نظر را در مسیر راهم قرار
داد تا از اندیشه نابشاخ بهره گیرم و دانش و بینششاخ را ره توشه خویشتن
سازم. پاسرم دارم اندیشه بلندشاخ را و ارج مرزهم همک و لایشاخ را.

تشکر مر نمایم از همسر مهربانم و پدر و مادر یگانه ام، که وجودشاخ
تقیه گاهر بر اتمام لحظه هار صفت من و دعاهايشاخ تنها سرمایه بال
گشودنم بسور خوشبختی است.

تعهد نامه

اینجانب **آلاله انارکی حاجی باقری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک - گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه حل عددی انتقال حرارت جابجایی آزاد در یک محفظه حاوی ماده متخلخل به روش شبکه بولتزمن تحت راهنمایی آقای **دکتر محمد حسن کیهانی** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۹۱/۱۱/۲۹

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

بررسی جریان سیال و انتقال حرارت در مواد متخلخل دارای کاربردهای متنوعی در زمینه‌های مختلف صنعتی می‌باشد. برای مدلسازی صحیح جریان در داخل ماده متخلخل، مدل‌های مختلفی ارائه شده است. بر همین اساس علاوه بر تحقیقات آزمایشگاهی در این زمینه، تحلیل‌های تحلیلی و عددی بسیاری در این خصوص بر این مدل‌ها صورت گرفته است. در این تحقیق، جریان سیال و انتقال حرارت جابجایی آزاد در یک محفظه دارای لایه متخلخل مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی الگوی جریان و انتقال حرارت در موقعیت‌های مختلف لایه متخلخل و نیز اثر ضخامت لایه متخلخل بر انتقال حرارت می‌باشد. برای این منظور، مدل تعمیم یافته ناویر-استوکس به کار گرفته شده است تا اثر تمام نیروهای وارد بر سیال از طرف ماده متخلخل در نظر گرفته شود.

بر خلاف اکثر تحقیقات گذشته که در حل عددی خود از روش‌های رایج دینامیک سیالات محاسباتی استفاده کرده‌اند، در این پژوهش از روش شبکه بولترمن استفاده شده است. از جمله مزایای این روش می‌توان به تولید شبکه آسان و کم هزینه، سرعت همگرایی مناسب در مقایسه با سایر روش‌های عددی و توانایی این روش در مدلسازی صحیح جریان در مرز بین سیال و لایه متخلخل اشاره کرد. در کد عددی حاضر پس از بررسی استقلال از شبکه محاسباتی، به بررسی صحت نتایج حاصل از حل عددی پرداخته شد. به این منظور، نتایج بدست آمده در سه حالت مختلف با نتایج عددی گزارش شده در این زمینه مقایسه شدند. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج عددی منتشر شده قبلی نشان می‌دهد که این روش از دقت بالایی برخوردار می‌باشد. سپس به بررسی اثر موقعیت و ضخامت لایه متخلخل بر الگوی جریان و انتقال حرارت جابجایی آزاد پرداخته شده و اثر پارامترهایی نظیر عدد رایلی، عدد دارسی، ضریب تخلخل ماده متخلخل مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد، لایه متخلخل به مقدار زیادی بر میزان حرارت منتقل شده از محفظه تأثیر می‌گذارد. همچنین با تغییر عدد دارسی و یا به عبارتی عدد رایلی اصلاح شده در لایه متخلخل، رژیم‌های مختلف انتقال حرارت در این لایه مشاهده می‌شود. بعلاوه با مقایسه موقعیت‌های مختلف لایه

متخلخل در حالت‌های افقی و عمودی در محفظه نشان داده شده که بیشترین مقدار انتقال حرارت برای لایه متخلخل افقی برای حالتی است که لایه متخلخل در قسمت بالای محفظه و یا به عبارتی در کنار دیواره عایق قرار دارد. همچنین برای حالتی که محفظه دارای لایه متخلخل عمودی می‌باشد، در حالتی که لایه متخلخل در قسمت میانی محفظه قرار دارد، بیشترین مقدار انتقال حرارت از محفظه منتقل می‌شود. همچنین با بررسی اثر ضخامت لایه متخلخل عمودی در وسط محفظه می‌توان به اثرات ناشی از ضخامت لایه متخلخل پی برد. از جمله این اثرات می‌توان به روند کاهشی میزان انتقال حرارت با افزایش ضخامت لایه متخلخل و نیز اثرات همزمان ضریب تخلخل و ضخامت لایه متخلخل و مشاهده $(\frac{S}{L})_{cr}$ در عدد رایلی اصلاح شده متوسط اشاره کرد.

کلمات کلیدی: انتقال حرارت جابجایی آزاد، محفظه، لایه متخلخل، حل عددی، روش شبکه بولترمن.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۱-۲- مروری بر تحقیقات گذشته.....
۱۲	۱-۳- تحقیق حاضر.....
۱۲	۱-۳-۱- مشخصات کلی.....
۱۳	۲-۳-۱- ساختار کلی.....
۱۵	۲- معادلات حاکم
۱۶	۲-۱- مقدمه.....
۱۶	۲-۲- مدلسازی جریان در ماده متخلخل.....
۱۸	۳-۲- پارامترهای موثر در محیط متخلخل.....
۱۸	۱-۳-۲- ضریب تخلخل.....
۱۸	۲-۳-۲- سرعت واقعی، سرعت متوسط واقعی و سرعت داریسی.....
۲۰	۴-۲- معادلات حاکم.....
۲۰	۱-۴-۲- معادله پیوستگی.....
۲۱	۲-۴-۲- معادلات اندازه حرکت.....
۲۱	۱-۲-۴-۲- معادله داریسی.....
۲۳	۲-۲-۴-۲- معادله فورچیمر.....
۲۴	۳-۲-۴-۲- معادله برینکمن.....
۲۵	۴-۲-۴-۲- معادله تعمیم یافته ناویر- استوکس.....
۲۶	۳-۴-۲- معادله انرژی.....
۲۸	۵-۲- معرفی پارامترهای بی بعد.....
۳۰	۳- روش عددی
۳۱	۱-۳- مقدمه.....
۳۱	۲-۳- روند روآوری به روش شبکه بولتزمن.....
۳۱	۱-۲-۳- دیدگاه ماکروسکوپیک.....
۳۲	۲-۲-۳- دیدگاه میکروسکوپیک.....
۳۳	۳-۲-۳- روش‌های شبکه‌ای.....
۳۴	۳-۳- روش شبکه گاز.....
۳۸	۴-۳- روش شبکه بولتزمن.....

۳۸	۳-۴-۱- تابع توزیع.....
۳۸	۳-۵- معادله انتقال بولتزمن.....
۳۹	۳-۵-۱- تقریب BGKW.....
۴۱	۳-۵-۲- آرایش شبکه.....
۴۲	۳-۶- معادله بولتزمن برای مدلسازی سرعت.....
۴۳	۳-۷- معادله بولتزمن برای مدلسازی دما.....
۴۴	۳-۸- شرایط مرزی.....
۴۵	۳-۸-۱- شرط مرزی برای جریان.....
۴۵	۳-۸-۱-۱- شرط مرزی عدم لغزش.....
۴۶	۳-۸-۲- شرایط مرزی برای دما.....
۴۶	۳-۸-۲-۱- شرط مرزی آدیاباتیک.....
۴۷	۳-۸-۲-۲- شرط مرزی دیوار با دمای مشخص.....
۴۷	۳-۹- الگوریتم تحلیل.....
۴۹	۳-۱۰- مزایای روش شبکه بولتزمن.....
۴۹	۳-۱۱- جزئیات حل عددی.....
۵۲	۴- نتایج عددی
۵۳	۴-۱- مقدمه.....
۵۳	۴-۲- هندسه مورد بررسی.....
۵۴	۴-۳- شرایط و الگوی همگرایی.....
۵۶	۴-۴- مطالعه استقلال حل عددی از شبکه محاسباتی.....
۵۸	۴-۵- ارزیابی صحت نتایج.....
۵۹	۴-۵-۱- حالت اول: انتقال حرارت و جریان سیال در یک محفظه متخلخل.....
۶۲	۴-۵-۲- حالت دوم: انتقال حرارت و جریان سیال در محفظه در غیاب ماده متخلخل.....
	۴-۵-۳- حالت سوم: انتقال حرارت و جریان سیال در یک محفظه دارای دو لایه متخلخل
۶۶	افقی.....
۶۹	۴-۶- بررسی انتقال حرارت جابجایی آزاد در محفظه‌های دارای لایه متخلخل.....
۶۹	۴-۶-۱- اثر موقعیت لایه متخلخل.....
۸۰	۴-۶-۲- اثر ضخامت لایه متخلخل.....
۸۸	۵- نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۹	۵-۱- مقدمه.....
۸۹	۵-۲- نتیجه گیری.....
۹۲	۵-۳- پیشنهادات.....

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) هندسه محفظه مورد بررسی.....	۳
شکل (۲-۱) مقایسه مقادیر عدد ناسلت متوسط بر اساس مدل‌های مختلف در $Pr = 4$ ، $[16] Ra^* = 5.333 \varepsilon = 0.4$	۵
شکل (۳-۱) هندسه مورد بررسی در تحقیق بکرمن و همکاران [۱۹].....	۸
شکل (۴-۱) هندسه مورد بررسی در تحقیق چن و همکاران [۲۶].....	۹
شکل (۵-۱) هندسه مورد بررسی در تحقیق رانگ و همکاران [۳۸].....	۱۲
شکل (۶-۱) هندسه مورد بررسی محفظه مربعی دارای یک لایه متخلخل عمودی به ضخامت S	۱۳
شکل (۱-۲) نمونه هایی از مواد متخلخل طبیعی (الف) شن، (ب) چوب و (ج) شش انسان [۱۵].....	۱۷
شکل (۲-۲) ارتباط المان با اندازه ناحیه سیال و ناحیه متخلخل در المان حجم مشخص در مقیاس متوسط حجمی [۱۵].....	۱۸
شکل (۳-۲) توزیع سرعت در محیط متخلخل (الف) سرعت داریسی (ب) سرعت متوسط واقعی (ج) سرعت واقعی	۲۰
شکل (۴-۲) المان مورد بررسی از ماده متخلخل.....	۲۱
شکل (۵-۲) آزمایش داریسی و سه مدل ممکن برای تخمین K [۱۵].....	۲۳
شکل (۶-۲) جریان یک بعدی در محیط متخلخل همگن [۱۵].....	۲۷
شکل (۱-۳) روشهای مختلف شبیه سازی جریان [۴۹].....	۳۶
شکل (۲-۳) شبکه FHP در روش شبکه گاز [۲۹].....	۳۷
شکل (۳-۳) مؤلفه های سرعت موضعی ذرات در شبکه D_2Q_9 [۲۹].....	۴۲
شکل (۴-۳) مقادیر مجهول توابع توزیع (خطوط هاشور خورده) در ناحیه محاسباتی [۴۹].....	۴۶
شکل (۵-۳) شرط مرزی بازگشت به عقب کامل.....	۴۶
شکل (۶-۳) فلوجارت الگوریتم روش شبکه بولتزمن.....	۵۲
شکل (۱-۴) هندسه مورد بررسی و نحوه قرارگیری لایه متخلخل در محفظه و دستگاه مختصات مربوطه	۵۵
شکل (۲-۴) نمونه ای از تاریخچه همگرایی در $Pr = 1, Da = 10^{-2}, Ra = 10^5$ و $\varepsilon = 0.6$	۵۶
شکل (۳-۴) نمونه ای از همگرایی کد عددی در $Pr = 1, Da = 10^{-2}, Ra = 10^5$ و $\varepsilon = 0.6$ (الف) مقدار خطای نسبی عدد ناسلت متوسط نسبت به مقادیر θ و θ' [۳۶] (ب) مقدار عدد ناسلت متوسط	۵۷

- شکل (۴-۴) مقادیر خطای نسبی عدد ناسلت متوسط در شبکه های مختلف نسبت به شبکه
 ۵۹ ۲۱۲×۲۱۲
- شکل (۵-۴) مقایسه خطوط جریان و همدمما (الف) تحقیق حاضر (ب) ژو و ژائو [۳۶] در
 ۶۱ $\varepsilon = 0.4$ و $Pr = 1, Da = 10^{-2}, Ra = 10^5$
- شکل (۶-۴) مقایسه (الف) دمای بی بعد (ب) سرعت عمودی بی بعد در مقطع میانی محفظه
 ۶۲ در $\varepsilon = 0.4$ و $Pr = 1, Da = 10^{-2}, Ra = 10^5$
- شکل (۷-۴) مقایسه خطوط جریان و همدمما (الف) تحقیق حاضر (ب) دیگزیت و بابو [۳۲] در
 ۶۵ $Pr = 0.71, Ra = 10^4$
- شکل (۸-۴) مقایسه خطوط جریان و همدمما (الف) تحقیق حاضر (ب) دیگزیت و بابو [۳۲] در
 ۶۵ $Pr = 0.71, Ra = 10^4$
- شکل (۹-۴) نمودار دمای بی بعد در مقطع میانی محفظه در غیاب ماده متخلخل
 ۶۶ شکل (۱۰-۴) مقایسه خطوط جریان و همدمما (الف) تحقیق حاضر (ب) مرجع [۲۶] در
 ۶۸ $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, Da = 10^{-5}, Ra = 10^5$
- شکل (۱۱-۴) مقایسه خطوط جریان و همدمما (الف) تحقیق حاضر (ب) مرجع [۲۶] در
 ۶۹ $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, Da = 10^{-1}, Ra = 10^5$
- شکل (۱۲-۴) مقایسه مقادیر عدد ناسلت در دیواره سرد برای حل عددی حاضر و نتایج چن و
 ۷۰ همکاران [۲۶]
- شکل (۱۳-۴) خطوط جریان برای $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, Da = 10^{-6}, Ra = 10^5$ (الف) لایه متخلخل
 ۷۱ عمودی در حالت ۲ (ب) لایه متخلخل افقی در حالت ۵
- شکل (۱۴-۴) خطوط جریان و همدمما در $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, Da = 10^{-4}, Ra = 10^5$ (الف) ۱ (ب)
 ۷۳ ۲ (ج) ۳
- شکل (۱۵-۴) خطوط جریان و همدمما در $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, Da = 10^{-4}, Ra = 10^5$ (الف) ۴ (ب)
 ۷۴ ۵ (ج) ۶
- شکل (۱۶-۴) خطوط جریان و همدمما در $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, Da = 10^{-2}, Ra = 10^5$ (الف) ۱ (ب)
 ۷۵ ۳ (ج) ۳
- شکل (۱۷-۴) خطوط جریان و همدمما در $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, Da = 10^{-2}, Ra = 10^5$ (الف) ۴ (ب)
 ۷۶ ۵ (ج) ۶
- ۷۹ (ب)
- شکل (۱۸-۴) نمودار (الف) سرعت بی بعد عمودی (ب) دمای بی بعد در مقطع میانی محفظه در
 ۷۹ راستای محور X ها در $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, Da = 10^{-2}, Ra = 10^5$
- شکل (۱۹-۴) خطوط جریان و همدمما در $Pr = 1$ و $\varepsilon = 0.4, \frac{S}{L} = \frac{4}{6}, Ra = 10^5$ (الف) $Da = 10^{-2}$ (ب)
 ۸۲ $Da = 10^{-4}$ (ج) $Da = 10^{-2}$

شکل (۴-۲۰) تاثیر ضخامت لایه متخلخل بر مقادیر عدد ناسلت متوسط (الف) $Ra = 10^4$ (ب)

۸۶ $Ra = 10^5$

شکل (۴-۲۱) خطوط جریان و همدمای در $Pr = 1$ ، $\varepsilon = 0.4$ ، $\frac{S}{L} = 1$ (الف) $Ra = 10^4$ و $Da = 10^{-7}$ (ب)

۸۷ $Ra = 10^5$ و $Da = 10^{-7}$

شکل (۴-۲۲) نمودار (الف) سرعت عمودی بی بعد (ب) دمای بی بعد در مقطع میانی محفظه در

۸۸ $\frac{S}{L} = 1$ ، $\varepsilon = 0.4$ ، $Pr = 1$

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۶	جدول (۱-۱) مقایسه عدد ناسلت متوسط بر اساس مدل برینکمن و بررسی اثر ترم جابجایی در معادله مومنوم [۱۶].....
۵۸	جدول (۱-۴) مقادیر عدد ناسلت متوسط در شبکه‌های مختلف در $Ra = 10^5$ ، $\varepsilon = 0/6$ و $Pr = 1$
۵۹	جدول (۲-۴) شبکه‌های مختلف استفاده شده در تحقیق حاضر.....
۶۲	جدول (۳-۴) مقایسه عدد ناسلت متوسط در داخل محفظه متخلخل.....
۶۶	جدول (۴-۴) مقادیر عدد ناسلت متوسط در غیاب ماده متخلخل.....
۷۸	جدول (۵-۴) مقادیر عدد ناسلت متوسط در موقعیت‌های مختلف لایه متخلخل.....
۸۳	جدول (۶-۴) اثر ضخامت لایه متخلخل بر مقادیر عدد ناسلت متوسط در $Ra = 10^4$ و $Pr = 1$
۸۳	جدول (۷-۴) اثر ضخامت لایه متخلخل بر مقادیر عدد ناسلت متوسط در $Ra = 10^5$ و $Pr = 1$

فهرست علائم اختصاری

مساحت (m^2)	A
سرعت در مقیاس شبکه بولتزمن	c
ظرفیت گرمایی ویژه	c_p
سرعت صوت در مقیاس شبکه بولتزمن	c_s
عددی دارسی	Da
سرعت موضعی ذرات در روش شبکه بولتزمن	\vec{e}_i
تابع توزیع سرعت	f_i
نیروی خارجی (N)	\vec{F}
ترم نیرو در روش شبکه بولتزمن	F_i
تابع هندسی	F_ε
تابع توزیع دما	g_i
شتاب جاذبه (m/s^2)	\vec{g}
نفوذپذیری ماده متخلخل	K
عدد ناسلت متوسط در محفظه	\overline{Nu}
فشار (Pa)	P
عدد رایلی	Ra
عدد رایلی اصلاح شده	Ra_m
زمان (s)	t
دمای مرجع (K)	T_0
دما (K)	T
بردار سرعت دارسی (m/s)	\vec{u}
مولفه افقی سرعت (m/s)	u
مولفه افقی سرعت دارسی (m/s)	\bar{u}
مولفه عمودی سرعت (m/s)	v

\bar{v}	مؤلفه عمودی سرعت دارسی (m/s)
x	مؤلفه افقی مکان (m)
y	مؤلفه عمودی مکان (m)
نمادهای یونانی	
α	ضریب پخش حرارتی (m^2/s)
β	ضریب انبساط حجمی هوا (1/K)
δ_t	گام زمانی در شبکه بولتزمن
δ_x	گام مکانی در شبکه بولتزمن
ε	ضریب تخلخل
θ	دمای بی بعد
ρ	جرم حجمی (kg/m^3)
σ	نسبت ظرفیت گرمایی فاز جامد به فاز سیال در ماده متخلخل
τ	زمان آرامش مربوط به سرعت در روش شبکه بولتزمن
τ'	زمان آرامش مربوط به دما در روش شبکه بولتزمن
μ	ویسکوزیته دینامیکی (kg/m.s)
ν	ویسکوزیته سینماتیکی (m^2/s)
ω	ضریب وزنی
زیر نویس ها	
c	سرد
eff	مؤثر
f	سیال
h	گرم
i	اندیس جهت حرکت ذره در شبکه بولتزمن
Real	واقعی
s	جامد
بالانویس ها	
eq	تعادلی

	مقادیر بی بعد *
--	-----------------

فصل اول

مقدمه