

راهنمای محیط‌های متخلخل

www.ketab9.ir

مترجمان:

دکتر سمیرا حبیبی، مهندس حامد فاتح، مهندس محمدعلی فاتح، دکتر فریدون اسماعیل زاده

عنوان و نام پدیدآور	: راهنمای محیط‌های متخلخل / [ویراستار کامبیز وفايي]؛ مترجمان سمیرا حیدری ... [و دیگران].
مشخصات نشر	: شیراز: تخت جمشید، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۶۷۸ ص: مصور، جدول، نمودار؛ ۲۹×۲۲ س.م.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۲۸۳-۳۵۰-۱
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Handbook of porous media, 2nd ed, ۲۰۰۵.
یادداشت	: مترجمان سمیرا حیدری، حامد فاتح، محمدعلی فاتح، فریدون اسماعیل‌زاده.
موضوع	: مواد متخلخل -- دستنامه‌ها
موضوع	: Porous materials -- Handbooks, manuals, etc
شناسه افزوده	: وفايي، کامبیز، ویراستار
شناسه افزوده	: (Vafai, K. (Kambiz
شناسه افزوده	: حیدری، سمیرا، ۱۳۶۴ - مترجم
رده بندی کنگره	: TA۴۱۸/۹
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۱۱۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۷۶۰۸۳۶



راهنمای محیط‌های متخلخل

مترجمان:

دکتر سمیرا حیدری، مهندس حامد فاتح، مهندس محمدعلی فاتح، دکتر فریدون اسماعیل‌زاده

ویرایش: کامبیز وفايي

ناشر: انتشارات تخت‌جمشید



نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۸

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۲۸۳-۳۵۰-۱ □ تیراژ: ۵۰۰ نسخه

صفحه‌آرا: مریم رعیتی □ طراح جلد: مهسا عمادی

چاپ و صحافی: پورسهراب

قیمت: ۱۰۰۰۰۰ تومان



مرکز نشر: شیراز، خیابان پیروزی، انتشارات تخت‌جمشید، تلفن: ۰۷۱۳۲۲۴۵۴۰۱

مراکز پخش: انتشارات قشقایی - انتشارات نگارستان ادب، تلفن: ۰۷۱۳۲۲۲۶۲۷۰

Web Site: www.parsnashr.ir
E-mail: nashershiraz@yahoo.com

مقدمه

تحقیقات کاربردی و تئوری در رابطه با انتقال جریان، حرارت و جرم در محیط متخلخل توجه بسیاری را در سه دهه‌ی گذشته به خود جلب کرده است. دلیل این امر اهمیت این مطالعات در کاربردهای مهندسی می‌باشد. این پیشرفت‌های مهم در حیطه‌ی مدل‌سازی انتقال جریان سیال، حرارت و جرم از میان یک محیط متخلخل به همراه بیان چندین پدیده فیزیکی مهم مطرح شده‌اند. به عنوان مثال، اثرات غیرداریسی^۱ روی انتقال مومنتوم، انرژی و جرم در محیط متخلخل در انواع شکل‌های هندسی و شرایط مرزی مختلف مورد مطالعه عمیق قرار گرفته‌اند. بسیاری از کارهای تحقیقاتی در حیطه محیط‌های متخلخل طی دهه‌ی گذشته، امروزه تحت عنوان مدل برینکمن-فرچهایمر-تعمیم یافته داریسی^۲ یا مدل تعمیم یافته، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

موضوعات مهمی که توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، عبارت هستند از تغییر تخلخل، پراکندگی گرمایی، تأثیرات تعادل گرمایی محلی بین فاز سیال و فاز جامد، شکل‌های متخلخل نیمه پر شده و محیط متخلخل ناهمسانگرد، در میان دیگران. روش‌های اندازه گیری پیشرفته نیز با اندازه گیری‌های کارآمدتر رسانایی حرارتی موثر، اندازه گیری انتقال حرارت و جریان و تجسم جریان، توسعه داده شده‌اند. هدف اصلی از این کتاب راهنما، گردآوری و ارائه اطلاعات تحقیقاتی اخیر مرتبط، مربوط به انتقال حرارت و جرم شامل کاربردهای عملی جهت تجزیه و تحلیل و طراحی وسایل و سیستم‌های مهندسی با محیط متخلخل می‌باشد. هر دو چاپ این دوم کتاب راهنمای محیط متخلخل با هدف در فراهم کردن محققان با مرتبط ترین و پیشرفت‌های به روز در مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل انتقال جریان، حرارت و جرم در محیط‌های متخلخل گردآوری شده است. چاپ دوم کتاب راهنمای محیط متخلخل که اساساً مجموعه‌ی متفاوتی از موضوعات مقایسه شده با چاپ اول را ارائه داده‌است، شامل مطالعات اخیر مرتبط با چالش‌های حاضر و آینده و پیشرفت‌هایی در حیطه‌ی جوانب اصلی محیط‌های متخلخل، اتلاف ویسکوزیته، انتقال حرارت همرفتی نفوذ اجباری و دوگانه در محیط‌های متخلخل، جریان آشفته، پراکندگی، مهاجرت ذره و رسوب در محیط متخلخل، مدل‌سازی دینامیکی انتقال همرفتی از میان محیط متخلخل و تعدادی از دیگر موضوعات مهم می‌باشند.

آنچه که مهم است، یافتن مدل‌های مختلفی در زمینه‌ی انتقال جریان، حرارت و جرم در محیط‌های متخلخل، در منابع و کتاب راهنمای حاضر می‌باشد. تجزیه و تحلیل عمیق این مدل‌ها جهت رفع هرگونه شک و تردید در استفاده از آنها بسیار ضروری می‌باشد (ببینید تین^۳، سی. ال. و وفایی^۴، کی. ^۵، ۱۹۸۹، انتقال حرارت تابشی و همرفتی در محیط متخلخل، مکانیک کاربردی پیشرفته^۶، ۲۷، ۲۲۵-۲۸۲؛ هدیم^۷، اچ. و وفایی^۸، کی.). بررسی اجمالی از مطالعات

^۱ non-Darcy

^۲ Brinkman-Forchheimer-extended Darcy

^۳ Tien

^۴ C.L. and Vafai

^۵ K.

^۶ Adv. Appl. Mech.

^۷ Iladim

^۸ H. and Vafai

محاسباتی فعلی انتقال حرارت در محیط متخلخل و کاربردهای آنها - همرفت اجباری و انتقال چندفازی، در دابلیو. جی. مینکویز^۱ و ای. ام. اسپرو^۲، پیشرفت در انتقال حرارت عددی، تیلور و فرنسیس، جلد دوم، فصل نهم، صفحه ۲۹۱-۳۳۰، تیلور و فرنسیس، نیویورک (۲۰۰۰)؛ وفایی، کی. و هدیم^۳، اچ.، بررسی اجمالی از مطالعات محاسباتی فعلی انتقال حرارت در محیط متخلخل و کاربردهای آنها - همرفت طبیعی و همرفت مخلوط، در دابلیو. جی. مینکویز^۴ و ای. ام. اسپرو^۵، پیشرفت در انتقال حرارت عددی، تیلور و فرنسیس، جلد دوم، فصل نهم، صفحه ۳۷۱-۳۳۱، تیلور و فرنسیس، نیویورک (۲۰۰۰)؛ علاوه بر این، مدل‌های رقابتی برای مدل‌های انتقال چندفازی در محیط‌های متخلخل با جزئیات کامل در وفایی^۶ و سوزن^۷ (وفایی، کی. و سوزن، ام.، ۱۹۹۰، یک آنالیز مقایسه‌ای مدل‌های انتقال چند فازی در محیط متخلخل، انتقال حرارت، ۳، ۱۶۲-۱۴۵) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است. در آن کار یک آنالیز بحرانی از مدل‌های چندفازی مختلف به همراه فرآیند تغییر فاز ارائه شد. این مطالعات گذشته، وضوح و بینش مناسبی جهت درک و فهم جوانب مهم مدل‌سازی پدیده‌ی انتقال در محیط‌های متخلخل که در منابع و در این کتاب استفاده شده است را محیا کرده است.

در مطالعه‌ای دیگر، آنالیز دقیقی از تغییرات مدل‌های انتقالی برای انتقال جریان سیال و حرارت در محیط‌های متخلخل ارائه شده است (ببینید العزمی^۸، بی. و وفایی، کی.، ۲۰۰۰، تجزیه و تحلیل متغیرها در مدل‌های انتقال محیط متخلخل، ASME نشریه انتقال حرارت، ۱۲، ۳، ۳۲۶-۳۲۷). در این کار مدل برجسته‌ای برای انتقال جریان سیال و حرارت در محیط‌های متخلخل برای چهار گروهی است. مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است. جنبه مهم دیگر از مدل‌سازی محیط‌های متخلخل، مربوط به شرایط سطح مشترک بین محیط متخلخل و یک لایه سیال می‌باشد. همچنین تجزیه و تحلیل انتقال جریان سیال و حرارت در جرم یک ماده از سطح مشترک برای مدل‌های بین سطحی مهم در العزمی و وفایی ارائه شده است (ببینید العزمی، بی. و وفایی، کی.، ۲۰۰۰، تجزیه و تحلیل جریان سیال و شرایط بین سطحی انتقال حرارت بین سطحی یک محیط متخلخل و یک لایه سیال، نشریه بین‌المللی انتقال حرارت جرم، ۴۴، ۱۷۳۵-۱۷۴۹). تعیین شرایط مرزی حرارتی مناسب برای فازهای حامل در سال در داخل یک محیط متخلخل، یکی از جنبه‌های مهم مدل‌سازی در محیط متخلخل می‌باشد. این نوع از مدل‌سازی برای زمانی که شرایط مرزی شار حرارتی دیواره و اثرات غیر تعادلی حرارتی محلی تعیین شده، مورد نیاز می‌باشد. همچنین العزمی و وفایی (۲۰۰۰) انواع مهم مختلفی از شرایط مرزی شار حرارتی ثابت را ارائه داده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. ببینید العزمی، بی. و وفایی، کی.، ۲۰۰۰، شرایط مرزی شار حرارتی دیواره ثابت در محیط متخلخل تحت شرایط غیر تعادلی گرمایی محلی، نشریه بین‌المللی انتقال حرارت جرم، ۴۵، ۳۰۸۷-۳۰۷۱).

پیشرفت‌ها در مدل‌سازی پدیده انتقال در محیط متخلخل در چندین زمینه مهم ارائه شده‌اند. همانند زیست‌شناسی (ببینید خالد، ای. - آر. ای. و وفایی، کی.، ۲۰۰۳، نقش محیط متخلخل در مدل‌سازی جریان و انتقال حرارت در بافت‌های بیولوژیکی، نشریه بین‌المللی انتقال حرارت جرم، ۴۶، ۴۹۸۹-۵۰۰۳). در این کار زمینه‌های زیستی مختلفی مانند نفوذ در بافت‌های مغزی، نفوذ حین فرآیند تولید بافت، استفاده از عکس‌برداری رزونانس مغناطیسی (MRI) جهت مشخص کردن خصوصیات بافت، تزریق خون به بافت‌های انسانی، جریان خون در تومورها، انتقال زیست حرارتی در

^۱ W. J. Minkowycz

^۲ E. M. Sparrow

^۳ K. and Hadim

^۴ W. J. Minkowycz

^۵ E. M. Sparrow

^۶ Vafin K

^۷ Sozen M

^۸ Al-Sayid

بافت‌ها و جابه‌جایی زیستی با هم ترکیب می‌شوند و در این راستا، مدل‌های انتقالی مختلفی در محیط‌های متخلخل به کار گرفته می‌شوند. مدل‌های آشفته‌ی مختلف جهت انتقال در محیط متخلخل به تفصیل توسط وفایی و همکارانش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است (وفایی و همکاران، ۲۰۰۵، ترکیب مدل‌ها برای انتقال آشفته از میان محیط متخلخل، در دابلیو. جی. مینکوز^۱ و ای. ام. اسپارو^۲، کتاب راهنمای انتقال حرارت عددی، جان ویلی و پسران^۳، نیویورک). در این کار خصوصیات، استحکام و ضعف‌های مختلفی از مدل‌های آشفته‌ی مهم برای جریان در محیط‌های متخلخل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند و فرمولاسیونی از یک مدل تعمیم‌یافته برای یک مدل مناسب‌تر، ایجاد گردیده و توضیح داده شده‌است. پیشرفت‌های بیشتر در حیطه‌ی محیط‌های متخلخل شامل مدل‌سازی انتقال حرارت و جریان سیال سطح آزاد در محیط متخلخل می‌باشد. این موضوع در تعدادی از کاربردهای مهندسی مانند ژئوفیزیک، فرآیند فلز، پرکندگی حدیده‌ای، توزیع آب‌های صنعتی و کشاورزی، روش‌های بازیافت نفت و قالب‌سازی تزریقی مهم است. در نتیجه یک آنالیز جامع از انتقال حرارت و جریان سیال سطح آزاد در محیط متخلخل در کار اخیر العزیمی و وفایی ارائه شده است (ببینید العزیمی، بی. و وفایی، کی، ۲۰۰۴، تجزیه و تحلیل تخلخل متغیر، پراکندگی گرمایی و اثرات غیر تعادلی گرمایی، علی‌بر روی جریان‌های سطح آزاد از میان محیط متخلخل، نشریه انتقال حرارت، ۱۲۶، ۳۸۹-۳۹۹).

این کتاب راهنما با هدف استفادی محققان و تمرین مهندسان و نیز مبتدیان در این زمینه ارائه شده‌است. یک متخصص برجسته در حوزه موضوعی مرتبط، هر چه سریع‌تر را ارائه می‌دهد. تلاش شده‌است که مباحث به صورت منسجم، روشی مختصر ولی بصورت کامل با فرمت رایج ارائه شود. فهرست واژگان و اصطلاحات رایج برای بخش‌های مختلف در حدامکان مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

کتاب راهنمای محیط‌های متخلخل، چاپ دوم، به ۸ بخش و در مجموع ۱۷ فصل مرتب شده‌است. مطالب در بخش I شامل موضوعات اصلی انتقال در محیط‌های متخلخل به همراه مدل‌های تئوری جریان سیال، روش میانگین‌گیری حجمی محلی و مدل‌سازی دینامیکی و ویسکوز انتقال حرارت، همرفت و پراکندگی در محیط‌های متخلخل می‌باشد. بخش II شامل مباحث مختلفی از همرفت اجباری در محیط‌های متخلخل، همراه مدل‌سازی عددی، جریان‌های توسعه حرارتی و جریان سه‌بعدی و انتقال حرارت در محیط‌های متخلخل که با ناهمسانگرد می‌باشند. همرفت طبیعی، همرفت نفوذی دوگانه و جریان‌های ناشی شده توسط هر دو لرزش‌ها و همرفت طبیعی در محیط‌های متخلخل در بخش III ارائه شده‌اند. بخش VI اثرات اتلاف ویسکوزیته در محیط متخلخل بر روی کاربردهای همرفت طبیعی، مخلوط و اجباری را ارائه می‌دهد. بخش V شامل آشفته‌گی در محیط متخلخل می‌باشد. مهاجرت و رسوب ذرات در محیط متخلخل - متشکل از دو بخش - در بخش IV ارائه شده‌است. بخش آخر یعنی بخش IIIV شامل چندین کاربرد مهم از انتقال در محیط‌های متخلخل شامل سیستم‌های زمین گرمایی، قالب‌سازی کامپوزیت مایع، احتراق در محیط متخلخل خنثی و کاربردهای جابه‌جایی زیستی در محیط‌های متخلخل می‌باشد. بنابراین بخش آخر شامل کاربرد الگوریتم‌های ژنتیک (Gas) برای شناسایی خصوصیات هیدرولیک مواد متخلخل در زمینه مهندسی نفت، عمران و معدن می‌باشد.

فصل ۱ مشکل کلی انتقال غیرخطی جفتی را با واکنش ناهمگن در محیط متخلخل بررسی می‌کند. این شرایط هنگامی اتفاق می‌افتد که کسر مولی گونه‌های در حال نفوذ، در مقایسه با عدد یک کوچک نباشند. تحت این شرایط، شار هم به کسر مولی و هم به گرادینان کسر مولی سایر گونه‌های موجود وابسته است. برای اکثر فرآیندهای نفوذ و واکنش در محیط متخلخل، معادلات حاکم می‌توانند بر روی حجم میانگین خطی‌سازی شوند و این اجازه می‌دهد برای روش

¹ in W. J. Minkowycz

² E. M. Sparrow

³ John Wiley & Sons

حجم میانگین در روش مرسوم بکار برده شود. نتیجه اصلی از این کار آن است که یک تانسور پیچش منفرد، تاثیر محیط متخلخل را روی فرآیند نفوذ همی گونه‌های موجود در سیستم بیان می‌کند.

در فصل ۲، توضیحات ماکروسکوپی انتقال جریان‌ها و حرارت همرفتی در محیط متخلخل با استفاده از میانگین‌گیری معادلات میکروسکوپی ناویر-استوکس^۱ و انرژی به صورت حجمی بر فازهای سیال و جامد به ترتیب به دست آورده شده‌اند. این روش میانگین‌گیری، با مرتبط ساختن مجهولات به مقادیر جریان میانگین، منجر به مسئله‌ی نهایی در جایی که مجهولات جدید نیاز به مدل‌سازی دارند، می‌شود. مدل‌سازی دینامیکی نهایی برای جریان‌های تراکم‌ناپذیر بر اساس اصل اول همرفت حرارتی میکروسکوپی بر جامدات، انجام شده‌است. ضرائب موجود در روابط نهایی که تنها به میکروساختارهای جامدات بستگی دارند، به صورت تجربی و / یا عددی برای تعدادی از میکروشکل‌های خاص همانند محیط تناوبی در دو و سه بعد، ارزیابی شده‌اند. مقایسه‌ی انتقال جریان‌ها و حرارت در محیط متخلخل برای سلول‌های هل-شاو^۲ که صفحات موازی ورقه‌ای را نشان می‌دهند، انجام شده‌اند. خصوصیات انتقال حرارت همرفتی ماکروسکوپی در محیط متخلخل با همرفت‌های اجباری یکنواخت و انتقال حرارت افزایش یافته به وسیله‌ی جریان‌های نوسانی گذرنده از استوانه‌ی دایره‌ای گرم شده در سلول‌های هل-شاو، نشان داده شده‌اند.

فصل ۳ با معادلات انتقال حجم میانگین کلی شروع می‌شود: معادله مومنتوم جریان سیال، معادله موازنه انرژی، معادله موازنه جرم. در این معادلات رمی، هیچ وجود دارد که برای جریان درون سیستم در جایی که ماتریس متخلخل حضور ندارد، موجود نمی‌باشد که نا ایزر تم پراکندگی است. مطابق با قوانین ریاضی، منشأ پراکندگی به سبب تغییر سرعت فضایی میکروسکوپی (نوسان خالص) می‌باشد. مطابق با علوم فیزیکی، پراکندگی به دلیل پیوستن و شکافتن ثابت جریان‌های جریان زمانی که سیال از ساختار متخلخل عبور می‌کند، اتفاق می‌افتد. بحث در مورد پراکندگی و اثراتش بر روی جریان سیال منفرد (و سیالات چندتایی)، انتقال حرارت و انتقال جرم ارائه شد. همچنین مدل‌های پراکندگی در این فصل ارزیابی شده‌اند.

فصل ۴ با مطالعات تحلیلی اخیر در مورد همرفت اجباری در کانال‌ها و مجراها سروکار دارد. این مطالعات به دو سرفصل تقسیم می‌شوند، توسعه‌ی حرارتی و ناهمگونی متقاطع (نشان عرضی). توسعه‌های مرتبط با حالت غیر تعادلی حرارتی محلی نیز مطالعه شده‌اند. همچنین توسعه‌ی موردی که در آن جابه‌جایی رسانایی محوری و اتلاف ویسکوز قابل چشم‌پوشی نیستند نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است. در این فصل اثر ناهمگونی متقاطع با توجه به نفوذ پذیری یا رسانایی حرارتی (یا هر دو) نیز برای مورد همرفت اجباری کاملاً توسعه‌یافته در یک کانال صفحه موازی و یک مجرای دایره‌ای، با دیواره‌هایی در دمای یک نواخت یا شار حرارتی یک نواخت، بحث شده‌است.

فصل ۵ مروری از مطالعات اخیر روی اثرات هیدرودینامیک و انتقال حرارت جریان‌های ویسکوزیته متغیر (با دما) در یک کانال متخلخل اشباع شده با مایع را ارائه می‌دهد. بخش هیدرودینامیک به تفصیل اصلاحات اساسی لازم برای مدل‌های صحیح موجود را به منظور ایجاد مدل اصلاح شده HDD که به تازگی پیشنهاد شده است، مورد بحث قرار می‌دهد. تاثیر ویسکوزیته‌ی متغیر بر روی عدد ناسلت، توان پمپ و سایر جوانب مرتبط با افزایش انتقال حرارت در بخش انتقال حرارت مرور می‌شوند. یک بخش مدل‌های آشفته‌گی، تلاش‌های دیگری را ارائه می‌دهد برای مسئله‌ی ترموهیدرولیک به صورت تحلیلی مرور می‌کند. قبل از نتیجه‌گیری، یک بخش مختصر به اعتبار تجربی مدل‌های پیشنهاد شده اختصاص یافته‌است.

یک مدل عددی برای حرارت و جریان سیال سه بعدی از میان دسته‌ای از استوانه‌های در انحراف بی نهایت طولانی،

جهت بررسی خصوصیات پیچیده‌ی انتقال جریان و حرارت مرتبط با محیط‌های متخلخل ناهمسانگرد ساخته شده توسط انسان همانند پره‌های گسترده و پره‌های صفحه‌ای در تجهیزات انتقال حرارت، در فصل ۶ پیشنهاد شده است. با استفاده از حالت تناوبی ساختار، یک واحد ساختاری جهت ارائه‌ی دامنه محاسباتی یافت شده است. یک روش محاسبات شبه سه بعدی اقتصادی جهت جایگزین شدن بر حل عددی سه بعدی کامل، در این فصل پیشنهاد شده است. محاسبات عددی گسترده، برای مجموعه‌ی مختلفی از تخلخل، درجه‌ی ناهمسانگردی، عدد رینولدز و جهت جریان ماکروسکوپی در یک فضای سه بعدی، در این فصل انجام شده است. پس از بررسی داده‌های عددی، یک مجموعه‌ی مفید از عبارات صریح برای تانسور نفوذپذیری و ضریب انتقال حرارت بین سطحی جهت دار، جهت مشخص ساختن انتقال جریان و حرارت از میان دسته‌ای از استوانه‌ها، برقرار شده اند. روش مدل‌سازی سیستماتیک پیشنهاد شده در این مطالعه، می‌تواند برای انجام مدل‌سازی‌های مقیاس کوچک ساختارهای دست ساز مورد نیاز در کاربردهای ممکن تئوری حجم میانگین که جهت بررسی انتقال جریان و حرارت درون تجهیزات پیچیده جریان سیال و حرارت شامل المان‌های کوچک، مورد استفاده قرار گیرند.

فصل ۷ اساساً شامل موارد جدیدی نظر شده بر همرفت نفوذ دوتایی (دوگانه) از چاپ اول کتاب راهنمای محیط‌های متخلخل می‌باشد. بنابراین این فصل شامل موارد جدیدی همانند نتایج جدید درباره‌ی اثر سورت^۱ در همرفت نفوذ دوگانه در محیط‌های متخلخل می‌شود.

فصل ۸ یک آنالیز پایدار خطی و غیرخطی ضعیف (مطالعه تحلیلی و عددی)، از رژیم نفوذ حرارتی، تحت عمل لرزش‌های هارمونیک مکانیکی ارائه می‌دهد. در این فصل، تاثیر فرکانس‌های بالا و ارتعاشات با دامنه‌ی کوچک بر روی شروع همرفت در یک لایه‌ی افقی متخلخل نامحدود و در حفره مستطیلی پر شده با محیط متخلخل اشباع شده مورد مطالعه قرار گرفته است. تاثیر جهت لرزش در زمانی که حل تعالی و یا شبه تعادلی وجود دارد، مطالعه شده است. در این فصل از یک فرمولاسیونی که به اصطلاح زمان میانگین نام دارد، استفاده شده است. دو دیواره‌ی افقی سلول در دماهای مختلف اما یکنواخت حفظ شده‌اند، در حالی که دیواره‌های عمودی در شرایط آدیاباتیک قرار دارند.

فصل ۹ پیشرفت‌های تحقیقاتی اخیر در رابطه با اثر اتلاف ویسکوزیته‌ی جریان‌های همرفتی پایدار آزاد، اجبار و مخلوط بر روی یک سطح صفحه‌ی عمودی قرار داده شده در یک محیط متخلخل اشباع شده سیال مرور می‌شود. حضور اتلاف ویسکوزیته، تعادل معمول میان جریان همرفت آزاد رو به بالا از یک صفحه تخت عمودی گرم شده و از همتای آن جریان سرد شده‌ی رو به پایین را از بین می‌برد. در مورد اخیر، اثر مخالاف نیروهای شناوری که به علت آزاد شدن گرمایی ناشی از اتلاف ویسکوزیته ایجاد می‌شوند، می‌توانند سبب بالا رفتن جریان به صورت موازی شوند. در مورد جریان‌های همرفت اجباری و مخلوط، شرایط گرمایی مجانبی معمول، زمانی که اتلاف ویسکوزیته در نظر گرفته شود، با معادله‌ی انرژی تناقض دارد. شرایط مجانبی که به منظور رسیدن به ثبات با معادله انرژی، نیاز به جایگزین شدن دارند، چهارمین مجموعه هستند. که نشان داده شده است هر اختلال محلی تعادل استاتیکی یک سیال (در حال استراحت)، به یک آزاد شدن گرمایی محلی ناشی از اتلاف ویسکوزیته منجر می‌شود و به نوبه خود به علت نیروی گرانش، حتی اگر صفحه در دمای محیطی ثابت سیال قرار گرفته باشد، به یک جریان شناور خودنگهدارنده منجر می‌شود. با کمک مکش جانبی یکنواخت سیال، این جریان شناور خودنگهدارنده نشان داده شده به صورت یک جت پایدار مونتوم و لایه‌ی مرزی حرارتی رفتار می‌کند. این به یک جریان کلی تبدیل می‌شود به این مفهوم که مشخصات آن به خصوصیات ترموفیزیکی سیال و اسکلت جامد وابسته نباشد. این نوع از جریان‌ها به تفصیل در این فصل مطرح شده است.

در فصل ۱۰ مفهوم تجزیه‌ی دوگانه‌ارائه شد و به طور کامل پیش از به دست آوردن معادلات ماکروسکوپی مطرح شده‌است (پدراس^۱، ام. اچ. جی.^۲ و دی لموس^۳، ام. جی. اس.^۴، نشریه بین‌المللی انتقال حرارت جرم^۵، ۴۴(۶)، ۱۰۸۱-۱۰۹۳، ۲۰۰۱). معادلاتی برای انتقال مومتموم آشفته در محیط متخلخل، برای مقادیر حالت میانی و آشفته با نشان دادن جزئیات کامل روش به دست آوردن آن‌ها بیان شده‌اند. مدل استاتیکی $\varepsilon-K$ برای ناحیه‌ی آشکار، استفاده می‌شود برای مدل کردن اثرات آشفته‌گی ماکروسکوپی، همچنین به عنوان اصلی برای مدل‌سازی انتقال حرارت آشفته بکار برده می‌شود. همچنین این فصل کاربردهایی در محیط هیبریدی (ترکیبی) شامل جریان بر روی لایه‌های متخلخل موج در کانال‌ها و حفره‌های بصورت جزئی پر شده با ماده متخلخل مطرح می‌کند.

یک مدل پدیده‌شناسی میکروسکوپی پیشرفته و شبیه‌سازی آن و اعتبارسنجی تجربی برای مهاجرت و رسوب ذرات ریز در محیط متخلخل در فصل ۱۱ ارائه شده‌است. مدل ریاضی گرواسبک^۶ و کولینز^۷ با اصلاحات و توسعه‌های پیشنهادشده توسط سیوان^۸ در این کار مورد استفاده قرار گرفته‌است (گرواسبک، سی. و کولینز، آر. ای، ۱۹۸۲، حرکت و رسوب ذرات ریز در محیط متخلخل، SPEJ، ۲۲(۶)، ۸۴۷-۸۵۶) با بهبودسازی و تکمیل پیشنهاد شده توسط سیوان (سیوان، اف.، ۲۰۰۰، آرایب تشکیل مخزن - بنیادی، مدل‌سازی، ارزیابی، کاهش، کمپانی انتشارت خلیج^۹، هوستون^{۱۰}، تکزاس^{۱۱}، و باترورس - شیمن^{۱۲}، و برن^{۱۳}، ماساچوست^{۱۴}) مورد استفاده قرار گرفت در این کار. گروهی از مسیرهای موئین موازی متصل و غیرمتصل جهت ارائه‌ی فرآیندهای انتقال سیال و ذرات مرتبط با جریان سوپرانسیون ذره-سیال از میان محیط متخلخل، توسعه داده شده‌است. این مدل اجازه می‌دهد برای انتقال ذرات بین مسیرهای متصل (مسیرهای بسیار پر پیچ و خم جریان) و غیرمتصل (مسیرهای هموارتر جریان) به وسیله‌ی جریان متقاطع می‌شود، و تلاش برای شبیه‌سازی کاهش تخلخل و نفوذپذیری، در تکامل سیرهای متصل و غیرمتصل توسط رسوب ذرات در محیط متخلخل.

در فصل ۱۲ مدل‌های پدیده‌شناسی ماکروسکوپی شعاعی و مستقیم‌الخط با حل‌های تحلیلی و کاربردهایی برای اختلال محیط متخلخل توسط مهاجرت و رسوب ذرات ریز ارائه شده‌است. مکانیزم و سنتیک رسوب ذرات ریز در محیط متخلخل برای دو مدل متفاوت ذکر شده‌است. دو مدل، مقایسه شده‌اند و یک رویکرد پدیده‌شناسی برای ارائه‌ی ترم منبع / مصرف (چشمه یا چاه)^{۱۵} رسوبی و برای فراهم کردن روابط ساختاری، به کار برده شده‌است. برای این مدل‌ها، مجموعه‌ای جفتی از معادلات غیرخطی در متغیرهای نرمال شده، بیان شده و به صورت تحلیلی به وسیله‌ی روش مشخصات برای جریان‌های شعاعی و مستقیم‌الخط در محیط متخلخل حل شده‌اند. راه‌حل‌های تحلیلی برای هر دو نرخ رسوب ثابت و متغیر ارائه شده‌است. تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته در این فصل، راه‌حل‌ها و نتایج دو مدل را به همراه تفسیر و ارائه‌ی داده‌های تجربی مقایسه کرده‌است.

¹ Pedras

² M.H.J.

³ de Lemos

⁴ M.J.S.

⁵ JHMT

⁶ Gruesbeck

⁷ Collins

⁸ Civan

⁹ Gulf Pub. Co

¹⁰ Houston

¹¹ TX

¹² Butterworth-Heinemann

¹³ Woburn

¹⁴ MA

فصل ۱۳ فرآیند مدل‌سازی ریاضی بکار برده شده برای سیستم‌های فیزیکی را بیان می‌کند. به طوری که سیالات درون ساختارهای زمین متخلخل گرم شده حرکت می‌کنند. پارامترهایی که جهت توضیح خصوصیات ترمودینامیکی فازهای سیال و جامد مورد نیاز هستند ذکر و توضیح داده شده‌اند. روش‌هایی جهت حل سیستم غیرخطی معادلات دیفرانسیل که از فرآیند مدل‌سازی مرسوم به دست می‌آیند، بیان شده‌اند و برخی از پیشرفت‌های اخیر و مرکز توجه تحقیقات در این زمینه، مطرح شده است.

فصل ۱۴ با فرآیندهای قالب‌ریزی کامپوزیت مایع (LCM) همانند قالب ریزی انتقال رزین (RTM)، قالب ریزی انتقال رزین تحت خلا (VARTM)، قالب‌ریزی انتقال رزین تزریقی (CIRTM)، قالب‌ریزی تزریق واکنش ساختاری (SRIM) سروکار دارد. این فرآیندها جهت ساخت کامپوزیت‌های پلیمری پیشرفته استفاده می‌شوند. در چنین فرآیندهایی، شبکه آلیاف تشکیل شده درون محفظه قالب قرار می‌گیرد و یک رزین ترموست جهت تر کردن آلیاف تشکیل شده، به درون قالب تزریق می‌شود. رزین پرورده (پخته) شده و اتصال عرضی شده تا تشکیل دهد یک ماده کامپوزیتی جامد. جهت درک فرایندهای اشباع‌سازی و پروردن (پختن) در حین ساخت کامپوزیت، تحقیقاتی برای مدل کردن پدیده‌ی حرارت و جریان در فرآیندهای LCM انجام گرفته است. نظریه‌های انتقال در محیط متخلخل و معادلات واکنش شیمیایی جهت مدل‌سازی رفتار سیال و حرارت استفاده شده است.

فصل ۱۵ این کتاب راهنما در رابطه با اسراق پیش آمیخته سوخت‌های گازی و هوا که در محیط متخلخل خنثی (PIM) واکنش می‌دهند و به عنوان "گیرنده‌های معد" برای مشعل‌ها می‌باشند، بحث می‌کند. جفت سازی تنگاتنگ انرژی شیمیایی محلی آزاد شده در حین واکنش، انتقال حرارت توسط جابه‌جایی رسانایی، همرفت و تابش در ماتریس جامد نتیجه می‌دهد در گردش (بازگشت) بخشی از گرما و واکنش و اثرات سرعت شعله، پایداری شعله، دمای پیک (قله) شعله و انتشار آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارد. طراحی، تئوری، مدل‌سازی و مشخصات سیستم‌های احتراقی انتخاب شده که در آن واکنش دهنده‌ها با استفاده از گرمای بازیافتی از خارج از ناحیه شعله، بدون مخلوط شدن دو جریان، پیش گرم می‌شوند، در این فصل مطرح می‌شوند. کاربردهایی از وسایلی که پتانسیل برای بازده‌های بالا، انتشار کم آلاینده‌ها و امکان سوزاندن سوخت‌های گازی با ارزش گرمایی کم و احتراق مخدع‌های ضعیف از هیدروژن / هوا را دارند، در اینجا بیان شده‌اند.

فصل ۱۶ با جابه‌جایی زیستی در محیط‌های متخلخل سروکار دارد این زمینه‌ای است که با تعدادی کاربردهای زیستی مهم مرتبط است. یکی از کاربردهای محیط متخلخل در کنترل و جلوگیری جابه‌جایی زیستی است. این مسئله به عنوان مثال، در جداسازی بین سلول‌های مرده و زنده در سوسپانسیون میکروارگانیسم‌های (ریزجانداران) متحرک شناور مهم است. از آنجایی که میکروارگانیسم‌های زنده سنگین تر از آب می‌باشند، شناور شدن آن‌ها افزایش در چگالی لایه‌ی سیال بالایی نتیجه می‌دهد. این امر منجر به ناپایداری جابه‌جایی همرفتی شده که ناشی از حرکت جابه‌جایی همرفتی در لایه‌ی سیال است. این حرکت جابه‌جایی همرفتی، که جابه‌جایی زیستی خوانده می‌شود، سلول‌های مرده را از بخش پایین‌تر لایه سیال حرکت می‌دهد و آن‌ها را به بخش‌های بالاتر لایه‌ی سیال انتقال می‌دهد و سبب مخلوط شدن سلول‌های زنده و مرده می‌شوند. با استفاده از زیرلایه‌های متخلخل امکان کنترل یا حتی جلوگیری به طور کامل جابه‌جایی زیستی وجود دارد. یک بخش زیادی از فصل به بدست آوردن معیار پایداری برای جابه‌جایی زیستی در محیط‌های متخلخل اختصاص داده شده است. اثر رسوب و از لختگی درآوردن سلول و همچنین اثر گرفتگی محیط متخلخل روی نفوذپذیری بحرانی بررسی شده‌اند. در آخر، این فصل یک تئوری از یک دنباله‌ی زیستی جابه‌جایی در یک سوسپانسیون از باکتری اکسی تاکتیکی در یک محفظه‌ی عمیق پر شده با یک محیط متخلخل اشباع شده سیال ارائه می‌دهد.

فصل آخر در این کتاب راهنما مسئله‌ی معکوس از تعیین خصوصیات هیدرولیکی مواد متخلخل در زمینه‌ی مهندسی نفت، عمران و معدن ارائه می‌دهد. کاربرد الگوریتم‌های ژنتیک GAS که سعی بر پیروی مبانی تکامل بیولوژیکی (زیستی) در ساختار روش‌های بهینه‌سازی دارد و منجر به توسعه‌ی ابزار بهینه‌سازی کارآمد و قدرتمند می‌شود، برای چنین اهدافی بررسی شده‌اند. در این فصل، یک روش معکوس به منظور اصلاح و بازیابی ضرایب وابسته‌ی خواص ماده‌ی همگن و غیرهمگن فرموله شده‌است. اندازه‌گیری‌های سطحی با استفاده از رابط‌های (پورت‌های) شبیه‌سازی شده در طول مرزهای آب‌بندی شده‌ی (بسته) مواد بعنوان اطلاعات برای روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک GA استفاده می‌شود. بنابراین با قادر ساختن تابع حداقل مربعات اصلاح شده جهت مینیم کردن اختلافات مشاهده شده و بصورت عددی پیش‌بینی شده میان اندازه‌گیری‌های فشار مرزی و/یا شار هیدرولیکی میانگین تحت تانسور رسانایی هیدرولیکی معمول و ظرفیت مخصوص پیش‌بینی شده، می‌شود. مواد ناهمسانگرد کامپوزیتی به این معنی که، ترکیبی از گسل‌ها می‌باشند نیز بررسی شده‌اند. تعیین پارامتر در مسائل معکوس به صورت عددی بررسی شده‌اند و نتایجی به منظور فراهم کردن بازیابی یک مفهوم دقیق از خصوصیات ماده مورد نیاز، حاصل شد. مقایسه‌ای بر روی عملکرد فواید برجسته فرایند معکوس روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک GA در برابر یک روش بهینه‌سازی مرسوم براساس گرادیان صورت گرفته است.

در هر کدام از این فصل‌ها هر زمان که ابواب مهم مناسب از کار تجربی یا روش‌های عددی مطرح شده‌اند. متخصصان در این زمینه هر فصل از این کتاب را مطالعه می‌کنند. به طور کلی، تعداد بسیاری مرورگر وجود داشتند که در این کار همکاری کرده‌اند. نویسندگان و من برای طراوت با ارزش و سازنده که دریافت شده‌اند بسیار سپاسگزاریم.

کامیاز وفایی

فهرست مطالب

۳	مقدمه
بخش I:	
خصوصیات کلی و مدل سازی محیط متخلخل	
۲۷	فصل ۱-۱: انتقال جرم، پخش، جفتی و واکنش ناهمگن در محیط های متخلخل
۲۷	۱-۱ مقدمه
۲۸	۲-۱ انتقال جرم
۳۱	۳-۱ شار نفوذی
۳۳	۴-۱ میانگین گیری حجمی
۳۵	۵-۱ واکنش های شیمیایی
۳۶	۶-۱ انتقال نفوذی و همرفتی
۳۹	۷-۱ نفوذ غلیظ
۴۰	۱-۷-۱ غلظت مولار کلی ثابت
۴۰	۲-۷-۱ میانگین حجمی شار نفوذی
۴۱	۸-۱ نهایی
۴۸	۱-۸-۱ شکل بسته
۵۱	۹-۱ نتیجه گیری ها
۵۳	اصطلاحات
۵۵	منابع
۵۷	فصل ۲-۱: مدل سازی دینامیکی انتقال حرارت همرفتی در محیط متخلخل
۵۷	خلاصه
۵۷	۱-۲ مقدمه
۵۸	۱-۱-۲ جریان ها در محیط متخلخل
۵۹	۲-۱-۲ انتقال حرارت در محیط متخلخل

۶۱	۲-۲ معادلات حاکم ماکروسکوپی
۶۲	۱-۲-۲ قانون مقیاس گذاری
۶۲	۲-۲-۲ معادلات انتقال میکروسکوپی
۶۳	۳-۲-۲ میانگین‌های سطحی و حجمی
۶۵	۴-۲-۲ معادلات انتقال ماکروسکوپی
۶۷	۳-۲ مدل سازی نهایی
۶۷	۱-۳-۲ روابط نهایی برای پراکندگی مومنتوم و نیروی سطحی
۶۸	۲-۳-۲ روابط نهایی برای پراکندگی گرمایی، پیچش حرارتی و انتقال حرارت سطحی
۷۰	۴-۲ انتقال حرارت و جریان‌های ظاهری
۷۰	۱-۴-۲ معادلات حاکم برای جریان‌های ظاهری
۷۲	۲-۴-۲ انتقال حرارت در جریان‌های ظاهری
۷۲	۵-۲ ارزیابی ضرائب نهایی
۷۲	۱-۵-۲ آزمایش‌های هیدرودینامیک
۷۶	۲-۵-۲ آزمایش‌های انتقال حرارت
۸۰	۶-۲ انتقال حرارت و جریان‌ها در سلول‌ها و شاو
۸۲	۱-۶-۲ جریان‌های یکنواخت گذرنده از یک استوانه‌ی مدور در یک سلول هل-شاو
۸۴	۲-۶-۲ جریان‌های نوسانی گذرنده از یک استوانه‌ی مدور گرد شده در یک سلول هل-شاو
۸۶	۷-۲ نتیجه‌گیری
۸۸	منابع
۹۱	فصل ۳- پراکندگی در محیط متخلخل
۹۱	۱-۳ تعریف پراکندگی
۹۴	۲-۳ میانگین‌گیری حجمی
۱۰۱	۳-۳ میانگین‌گیری حجمی معادله‌ی انتقال و روابط نهایی برای محیط متخلخل همسانگرد
۱۰۳	۴-۳ پیچش و اندازه‌گیری
۱۰۴	۱-۴-۳ میانگین‌گیری حجمی معادله‌ی رسانایی الکتریکی
۱۰۷	۲-۴-۳ انتشار موج‌های با دامنه کوچک و فرکانس کم
۱۰۸	۳-۴-۳ روابط پیچش
۱۱۴	۵-۳ معادله‌ی ناویر-استوک حجم میانگین برای یک ماده‌ی متخلخل همسانگرد
۱۱۹	۶-۳ معادله‌ی پراکندگی یا نفوذ-جابجایی افقی حجم میانگین

۱۲۱	۷-۳ معادله‌ی حرارت حجم میانگین
۱۲۴	۸-۳ اینرسی میکروسکوپی و پراکندگی کاهش یافته‌ی جریان
۱۳۲	۹-۳ خلاصه و بحث
۱۳۴	اصطلاحات
۱۳۸	منابع

بخش II:

همرفت اجباری

۱۴۷	فصل ۴-: همرفت اجباری در محیط متخلخل: اثرات ناهمگنی مقاطع و توسعه حرارتی
۱۴۷	خلاصه
۱۴۷	۱-۴ ناهمگنی مقاطع
۱۴۷	۱-۱-۴ مقدمه
۱۴۷	۲-۱-۴ کانال صفحه‌ی موازی
۱۴۹	۱-۲-۱-۴ مدل داریسی
۱۶۱	۳-۱-۴ کانال دایره‌ای
۱۶۳	۲-۴ توسعه حرارتی
۱۶۳	۱-۲-۴ مقدمه
۱۶۴	۲-۲-۴ دیواره‌ها در دمای یکنواخت
۱۶۸	۳-۲-۴ دیواره‌ها در شار حرارتی یکنواخت
۱۷۲	۴-۲-۴ عدم تعادل حرارتی محلی
۱۷۹	۵-۲-۴ اثر رسانایی محوری و ائتلاف ویسکوز
۱۸۷	اصطلاحات
۱۹۱	فصل ۵-: همرفت اجباری با ویسکوزیته متغیر در کانال‌های محیط متخلخل
۱۹۱	خلاصه
۱۹۱	۱-۵ مقدمه
۱۹۲	۲-۵ هیدرودینامیک‌ها
۱۹۲	۱-۲-۵ مدل HDD و ویسکوزیته وابسته به دما
۱۹۴	۲-۲-۵ مدل HDD و پروفایل‌های سرعت برای ویسکوزیته وابسته به دما
۱۹۶	۳-۲-۵ حالت محدود مدل HDD
۱۹۶	۴-۲-۵ مدل HDD اصلاح شده برای جریان‌های ویسکوزیته وابسته به دما

۱۹۸	۵-۲-۵ ضرایب مدل M-HDD
۱۹۹	۶-۲-۵ هیدرودینامیک‌های جریان‌های کانالی با ویسکوزیته وابسته به دما
۲۰۱	۷-۲-۵ انتقال از جریان دارسی
۲۰۴	۸-۲-۵ پیش بینی انتقال در جریان‌های با ویسکوزیته وابسته به دما
۲۰۵	۳-۵ انتقال حرارت
۲۰۵	۱-۳-۵ عدد ناسلت
۲۰۶	۲-۳-۵ پروفایل‌های دما برای $\mu(T)$ در محیط متخلخل
۲۰۷	۳-۳-۵ عدد ناسلت و $\mu(T)$ در محیط متخلخل
۲۱۰	۴-۳-۵ ویسکوزیته وابسته به دما و توان پمپ
۲۱۱	۴-۵ مدل‌های اغتشاش
۲۱۲	۱-۴-۵ مدل فیزیکی و راه‌حل اغتشاش مرتبه صفر
۲۱۳	۲-۴-۵ راه‌حل آشفتگی مرتبه یک و دو
۲۱۴	۳-۴-۵ پروفایل‌های سرعت و شیب فشار
۲۱۸	۴-۴-۵ پروفایل‌های دما و اعداد ناسلت
۲۱۹	۵-۵ اعتبارسنجی تجربی
۲۲۱	۶-۵ نتیجه گیری
۲۲۲	اصطلاحات
۲۲۵	منابع

فصل ۶: انتقال حرارت و جریان سه بعدی درون محیط متخلخل کاهنده‌ها: تعیین عددی تانسور نفوذ،

۲۲۷	تانسور اینرسی و ضریب انتقال حرارت سطحی
۲۲۷	۱-۶ مقدمه
۲۲۹	۲-۶ معادلات حاکم با حجم متوسط
۲۳۰	۳-۶ بررسی مقدماتی ماکروسکوپی جریان یکنواخت از میان یک محیط متخلخل هم دما
۲۳۲	۴-۶ شرایط مرزی تناوبی برای ساختار سه بعدی تناوبی
۲۳۴	۵-۶ روش محاسبات عددی شبه سه بعدی
۲۳۶	۶-۶ روش محاسبه و ملاحظات عددی مقدماتی
۲۳۷	۷-۶ اعتبارسنجی روش محاسبه شبه سه بعدی
۲۳۹	۸-۶ تعیین نفوذپذیری تانسور
۲۴۱	۹-۶ تعیین تانسور فرجه‌هم
۲۴۴	۱۰-۶ تعیین ضریب انتقال حرارت سطحی

۲۴۹	۱۱-۶ نتیجه گیری
۲۵۱	اصطلاحات
۲۵۳	منابع

بخش III:

جریان ناشی از همرفت طبیعی و ارتعاشات و نفوذکننده همرفتی دوگانه در محیط متخلخل

۲۵۷	فصل ۷-۱: نفوذکننده همرفتی دوگانه در محیط متخلخل
۲۵۷	۱-۷ مقدمه
۲۵۷	۱-۱-۷ تعاریف
۲۵۸	۲-۱-۷ مطالعات تجربی
۲۵۹	۳-۱-۷ تحلیل پایا ری خطی
۲۶۱	۴-۱-۷ مطالعات عددی و تحلیلی
۲۶۶	۵-۱-۷ دیگر پیکربندی های هئسی
۲۶۷	۶-۱-۷ سایر فرمول ها و مسئله ی نزدیک
۲۷۰	۲-۷ فرمول بندی ریاضی
۲۷۰	۱-۲-۷ معادلات حاکم بر توصیف قوانین
۲۷۱	۳-۱-۲-۷ معادله انرژی
۲۷۳	۲-۲-۷ معادلات بی بعد (نمونه مدل داری)
۲۷۳	۳-۷ شروع نفوذکننده همرفتی دوگانه در یک حفره مایل
۲۷۳	۱-۳-۷ تحلیل پایداری خطی
۲۸۱	۲-۳-۷ تحلیل ضعیف غیرخطی
۲۸۶	۳-۳-۷ نتایج عددی
۲۸۹	۴-۳-۷ تحلیل مقیاس
۲۹۱	۴-۷ اثر سورت و نفوذکننده حرارت گرانشی در سیستم های چند جزئی
۲۹۱	۱-۴-۷ اثر سورت
۲۹۴	۲-۴-۷ نفوذکننده حرارت گرانشی
۲۹۵	۵-۷ نتیجه گیری و چشم انداز
۲۹۷	اصطلاحات
۲۹۹	منابع

۳۰۴	فصل ۱: تاثیر ارتعاشات مکانیکی بر روی شناوری ناشی از همرفت در محیط متخلخل
۳۰۴	۱-۸ مقدمه
۳۰۴	۱-۱-۸ تعریف
۳۰۵	۲-۱-۸ تحلیل پایداری خطی
۳۰۸	۳-۱-۸ سایر هندسه‌ها
۳۱۳	۲-۸ تاثیر ارتعاش بر روی لایه ی متخلخل اشباع توسط سیال خالص
۳۱۳	۱-۲-۸ لایه متخلخل بی نهایت
۳۲۸	۲-۲-۸ حفره محدود شده
۳۳۱	۳-۸ تاثیر ارتعاش روی یک لایه متخلخل اشباع شده توسط یک سیال دوتایی
۳۳۱	۱-۳-۸ لایه افقی بی نهایت
۳۳۷	۲-۳-۸ حفره محدود شده
۳۴۱	۴-۸ نتیجه گیری و چشم انداز
۳۴۳	اصطلاحات
۳۴۵	منابع

بخش IV:

اتلاف ویسکوزیته در محیط متخلخل

۳۴۹	فصل ۹: تاثیر اتلاف ویسکوزیته بر جریان در سیال اشباع شده در محیط متخلخل
۳۴۹	۱-۹ مقدمه
۳۵۱	۲-۹ معادلات انرژی حرارتی اساسی
۳۵۱	۱-۲-۹ عبارت داریسی
۳۵۲	۲-۲-۹ عبارت فرجه‌یمر
۳۵۲	۳-۲-۹ عبارت برینکمن
۳۵۳	۴-۲-۹ تخمین مرتبه بزرگی
۳۵۴	۳-۹ همرفت آزاد لایه‌های مرزی
۳۵۴	۱-۳-۹ معادله حرکت
۳۵۶	۲-۳-۹ هم ارزی شکسته جریان بالا/پایین
۳۵۶	۳-۳-۹ پروفایل اتلاف مجانبی
۳۵۸	۴-۳-۹ توسعه جریان به سمت ADP
۳۶۰	۵-۳-۹ دیگر جریان‌های همرفتی آزاد

۳۶۱	۴-۹ همرفت اجباری با مثال ها
۳۶۱	۴-۹-۱ تحلیل لایه مرزی
۳۶۵	۴-۹-۲ جریان های کانال
۳۶۶	۵-۹ همرفت ترکیبی
۳۶۶	۵-۹-۱ جریان دارسی فرجه‌یمر
۳۶۸	۵-۹-۲ روش اغتشاش برای عدد گبرت کوچک
۳۶۹	۵-۹-۳ جریان های کمکی رو به بالا و پایین
۳۷۲	۵-۹-۴ جریان های کانال
۳۷۲	۶-۹ ملاحظات پایداری
۳۷۳	۷-۹ فرصت های پژوهش
۳۷۴	اصطلاحات
۳۷۷	منابع

بخش ۷:

آشنایی با محیط متخلخل

۳۸۱	فصل ۱۰-۱: مدل سازی ریاضی و کاربردهای انتقال جرم، حرارت آشفته در محیط متخلخل
۳۸۱	خلاصه
۳۸۲	۱۰-۱-۱ مقدمه
۳۸۲	۱۰-۲-۱ معادلات حاکم لحظه ای محلی
۳۸۴	۱۰-۳-۱ عملگرهای متوسط حجم و زمان
۳۸۵	۱۰-۴-۱ معادلات انتقال متوسط زمانی
۳۸۶	۱۰-۵-۱ مفهوم تجزیه دو گانه
۳۸۶	۱۰-۵-۱-۱ روابط اساسی
۳۸۸	۱۰-۶-۱ انتقال مومنتوم آشفته در محیط متخلخل
۳۸۸	۱۰-۶-۱-۱ معادلات جریان متوسط
۳۹۲	۱۰-۶-۲ معادلات برای سرعت نوسانی
۳۹۴	۱۰-۶-۳ انرژی جنبشی آشفته
۳۹۸	۱۰-۷ انتقال حرارت متلاطم (آشفته)
۳۹۸	۱۰-۷-۱ معادلات حاکم
۴۰۰	۱۰-۷-۲ پراکندگی حرارتی متلاطم (آشفته)

۴۰۲	۱۰.۷.۳ فرضیه تعادل گرمایی محلی
۴۰۲	۱۰.۷.۴ اثرات شناوری ماکروسکوپی
۴۰۵	۱۰.۸ انتقال جرم آشفته (متلاطم)
۴۰۵	۱۰.۸.۱ میدان‌های متوسط و آشفته (متلاطم)
۴۰۶	۱۰.۸.۲ پراکندگی جرمی متلاطم (آشفته)
۴۰۷	۱۰.۹ کاربردها در محیط هیبریدی (ترکیبی)
۴۰۸	۱۰.۹.۱ شرایط پرش تنش در سطح مشترک
۴۰۹	۱۰.۹.۲ جریان‌های شناور در حفرات نیمه پر شده با تزریق متخلخل
۴۱۱	۱۰.۹.۳ جریان اطراف سطح مشترک سینوسی در یک کانال
۴۱۱	۱۰.۱۰ جمع بندی و نتیجه گیری
۴۱۲	اصطلاحات
۴۱۴	منابع

بخش VI:

مهاجرت ذرات و رسوب کردن در محیط متخلخل

۴۲۱	فصل ۱۱: مدل سازی مهاجرت ذرات و رسوب کردن در محیط متخلخل بوسیله مسیرهای موازی همراه با تبادل
۴۲۱	خلاصه
۴۲۲	۱۱.۱ مقدمه
۴۲۳	۱۱.۲ مدل بهبود یافته مسیرهای موازی متصل و غیر متصل
۴۲۳	۱۱.۲.۱ مسیرهای متصل و غیرمتصل با مدل تبدیلی محیط متخلخل
۴۲۴	۱۱.۲.۲ تخلخل
۴۲۴	۱۱.۲.۳ کسر محیط متخلخل شامل مسیرهای متصل و غیرمتصل
۴۲۴	۱۱.۲.۴ نفوذپذیری
۴۲۵	۱۱.۲.۵ شار حجمی سوسپانسیون سیال حامل ذرات
۴۲۵	۱۱.۲.۶ سینتیک رسوب ذرات
۴۲۸	۱۱.۲.۷ انتقال ذرات
۴۲۸	۱۱.۲.۸ میانگین رسوب ذرات و تفاوت فشار کلی در یک مغزه
۴۲۹	۱۱.۳ راه حل عددی
۴۳۰	۱۱.۴ اعتبار تجربی
۴۳۸	۱۱.۵ بحث

۴۳۹	۱۱.۶ نتیجه گیری
۴۴۰	اصطلاحات
۴۴۲	ضمیمه: ارزیابی مشتقات فضایی و انتگرال ها
۴۴۵	منابع
۴۴۷	فصل ۱۲-۱: مدل های تحلیلی برای محیط متخلخل اختلال توسط ذرات در جریان های مسیر مستقیم (خطی) و شعاعی
۴۴۷	خلاصه
۴۴۷	۱۲.۱ مقدمه
۴۴۹	۱۲.۲ فرمول سازی
۴۴۹	۱۲.۲.۱ معادله انتقال اساسی
۴۵۲	۱۲.۲.۲ مدل سازی برای تابع نرخ رسوب گذاری
۴۵۵	۱۲.۲.۳ اختلال نفوذپذیری، نسبت تزریق، و شاخص امیدانس (مقاومت ظاهری)
۴۵۶	۱۲.۳ مسأله یک بعدی خطی همراه با نرخ تزریق ثابت
۴۵۶	۱۲.۳.۱ معادله انتقال
۴۵۷	۱۲.۳.۲ ضریب نرخ ثابت
۴۶۵	۱۲.۳.۳ ضریب نرخ متغیر
۴۷۶	۱۲.۴ مسأله خطی یک بعدی با نرخ تزریق وابسته به زمان
۴۷۷	۱۲.۵ مسأله شعاعی همراه با نرخ تزریق ثابت
۴۷۸	۱۲.۵.۱ معادله انتقال
۴۷۸	۱۲.۵.۲ ضریب نرخ ثابت
۴۸۲	۱۲.۵.۳ ضریب نرخ متغیر
۴۸۵	۱۲.۶ مسأله شعاعی همراه با نرخ تزریق وابسته به زمان
۴۸۵	۱۲.۷ کاربردها و ارزیابی راه حل های تحلیلی
۴۸۵	۱۲.۷.۱ نمونه خطی یک بعدی
۴۸۹	۱۲.۸ جمع بندی و نتیجه گیری

بخش VII:

کاربردهای زمین-گرمایی، ساخت، احتراق و زیست جابجایی در محیط های متخلخل

۴۹۷	فصل ۱۳-۱: مدل سازی فرآیندهای انتقال جرم و حرارت در سیستم های زمین - گرمایی
۴۹۷	۱۳-۱ مقدمه
۴۹۹	۱۳-۲ فرآیندهای فیزیکی

۵۰۰	۱۳-۳. معادلات بقاء.....
۵۰۱	۱۳-۳-۱. بقا جرم.....
۵۰۱	۱۳-۳-۲. بقای مومستوم خطی (قانون دارسی).....
۵۰۲	۱۳-۳-۳. بقای انرژی.....
۵۰۳	۱۳-۳-۴. پارامترهای ساختاری.....
۵۰۷	۱۳-۳-۵. پارامترهای سیال.....
۵۱۰	۱۳-۳-۶. قانون‌های توزیع.....
۵۱۲	۱۳-۳-۷. شرایط مرزی.....
۵۱۲	۱۳-۴. جریان‌های یک بعدی پایا.....
۵۱۲	۱۳-۴-۱. جریان‌های انتالی: آنتالپی جریان و ویسکوزیته کلی.....
۵۱۳	۱۳-۴-۲. جریان‌های عمودی پایا: لوله‌های حرارتی.....
۵۱۶	۱۳-۵. شبیه سازی عددی.....
۵۱۸	۱۳-۶. برخی تلاش‌های تحقیقاتی در نی.....
۵۱۹	۱۳-۷. خلاصه.....
۵۲۱	منابع.....
۵۲۳	فصل ۱۴: پدیده‌های انتقال در کامپوزیت‌های مایع فرآیندهای قالب ریزی و نقش آنها در بهینه‌سازی و کنترل فرآیند.....
۵۲۳	۱۴-۱. مقدمه.....
۵۲۳	۱۴-۱-۱. فرآیندهای قالب ریزی کامپوزیت‌های مایع (LCM).....
۵۲۶	۱۴-۱-۲. فیزیک در قالب ریزی کامپوزیت‌های مایع (LCM).....
۵۲۷	۱۴-۱-۳. شبیه سازی‌های LCM برای کنترل و بهینه سازی فرآیند.....
۵۲۸	۱۴-۲. مدل‌سازی و کارهای آزمایشگاهی.....
۵۲۸	۱۴-۲-۱. جریان در LCM.....
۵۲۹	۱۴-۲-۲. انتقال حرارت در فرآیند LCM.....
۵۳۴	۱۴-۲-۳. واکنش شیمیایی.....
۵۳۷	۱۴-۳. بهینه‌سازی و کنترل فرآیند.....
۵۳۸	۱۴-۳-۱. محل‌های ورودی و خروجی تزریق و بهینه‌سازی شبکه توزیع جریان.....
۵۴۲	۱۴-۳-۲. تعیین نفوذپذیری به صورت لحظه‌ای.....
۵۴۴	۱۴-۳-۳. کنترل جریان.....
۵۴۶	۱۴-۳-۴. دما و بهینه‌سازی چرخه یخت رزین پلیمری.....

۵۴۸	۱۴-۴. نتیجه گیری و چشم انداز.....
۵۵۰	اصطلاحات.....
۵۵۳	منابع.....
۵۵۷	فصل ۱۵: احتراق و انتقال حرارت در محیط های متخلخل خنثی.....
۵۵۷	۱۵-۱. مقدمه.....
۵۶۰	۱۵-۲. توصیف فیزیکی و ریاضی فرآیند احتراق در محیط های متخلخل خنثی (PIM).....
۵۶۰	۱۵-۲-۱. توصیف فیزیکی.....
۵۶۳	۱۵-۲-۲. توصیف ریاضی.....
۵۶۴	۱۵-۳. انتقال حرارت در محیط های متخلخل.....
۵۶۴	۱۵-۳-۱. رسانایی گازی، موثر.....
۵۶۶	۱۵-۳-۲. ضریب انتقال حرارت همرفتی.....
۵۶۸	۱۵-۳-۳. مشخصه های تابش.....
۵۶۹	۱۵-۳-۳-۱. مشخصه های تابشی سرامیک آکنده.....
۵۷۱	۱۵-۴. مروری بر محیط متخلخل بر اساس حفظ احتراق.....
۵۷۲	۱۵-۵. محفظه های احتراق محیط متخلخل پیش آمده.....
۵۷۷	۱۵-۶. گرمکن های محفظه احتراقی (مشعلی)-تابشی محیط متخلخل.....
۵۸۲	۱۵-۷. گرمکن ها - محفظه های احتراق محیط متخلخل پیش آمده.....
۵۸۵	۱۵-۸. جمع بندی و نتیجه گیری.....
۵۹۳	فصل ۱۶: مدل سازی زیست جابجایی در محیط های متخلخل.....
۵۹۴	۱۶-۱. مقدمه.....
۵۹۵	۱۶-۲. پایداری یک سوسپانسیون ریز جانداران ژیروتاکیکی در یک سیال اشباع شده محیط متخلخل.....
۵۹۵	۱۶-۲-۱. تجزیه و تحلیل پایداری با فرض اینکه یک ماتریس متخلخل ریز جانداران را جذب نمی کند.....
۶۰۲	۱۶-۲-۲. بررسی تجزیه و تحلیل پایداری سیستم برای جذب ریز جانداران توسط ماتریس متخلخل و کاهش نفوذپذیری آن.....
۶۰۵	۱۶-۲-۳. تجزیه و تحلیل پایداری زیست جابجایی ریز جانداران ژیروتاکیکی در یک لایه از عمق نهایی.....
۶۰۹	۱۶-۳. پایداری سوسپانسیون ریز جانداران اوکسی تاکیکی در یک محیط متخلخل اشباع شده سیال و تحلیل یک دنباله زیست جابجایی ناشی از این ریز جانداران.....
۶۰۹	۱۶-۳-۱. پایداری یک لایه کم عمق.....
۶۱۶	۱۶-۳-۲. راه حل خود همسانی برای یک دنباله زیست جابجایی باکتری اوکسی تاکیک در یک لایه متخلخل عمیق اشباع شده سیال.....

۶۲۵	اصطلاحات.....
۶۳۰	منابع.....
۶۳۲	فصل ۱۷- تعیین پارامتر در یک محیط متخلخل با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....
۶۳۲	خلاصه.....
۶۳۳	۱۷-۱ مقدمه.....
۶۳۷	۱۷-۲ معادلات جریان سیال.....
۶۳۷	۱۷-۲-۱ سیستم‌های سیال چند فازی در محیط‌های متخلخل.....
۶۳۸	۱۷-۲-۲ جریان تک فاز.....
۶۳۹	۱۷-۲-۳ جریان چند فازی.....
۶۴۲	۱۷-۳ معرفی الگوریتم‌های ژنتیک.....
۶۴۲	۱۷-۳-۱ الگوریتم‌های ژنتیک چه هستند؟.....
۶۴۳	۱۷-۳-۲ فواید استفاده از الگوریتم‌های ژنتیکی.....
۶۴۴	۱۷-۳-۳ اجزاء یک الگوریتم ژنتیک.....
۶۴۷	۱۷-۳-۴ یک مبنای تئوری برای روش کورتیم ژنتیک.....
۶۴۸	۱۷-۳-۵ جزئیات و مثالی از تکنیک الگوریتم ژنتیک به کار رفته در این فصل.....
۶۵۲	۱۷-۴ تعیین پارامتر در نمونه‌های سنگی.....
۶۵۲	۱۷-۴-۱ مقدمه.....
۶۵۴	۱۷-۴-۲ روش تجربی.....
۶۵۶	۱۷-۴-۳ فرمول سازی ریاضی.....
۶۵۷	۱۷-۴-۴ فرمولاسیون مسئله معکوس.....
۶۵۸	۱۷-۴-۵ ضرایب حساسیت.....
۶۵۹	۱۷-۴-۶ مورد رسانایی هیدرولیکی همگن، $kx=k0$ ثابت.....
۶۶۰	۱۷-۴-۷ رسانایی هیدرولیکی خطی، $kx=k0+k1x$
۶۶۰	۱۷-۴-۸ رسانایی هیدرولیکی درجه دوم، $kx=k0+k1x+k2x^2$
۶۶۰	۱۷-۴-۹ بازیابی همزمان رسانایی هیدرولیکی ثابت و ظرفیت مخصوص ثابت.....
۶۶۰	۱۷-۵ اندازه‌گیری‌های رسانایی هیدرولیکی در سنگ‌های مخزن همگن کامپوزیتی.....
۶۶۱	۱۷-۵-۱ دستگاه آزمایشگاهی و محدودیت‌ها.....
۶۶۲	۱۷-۵-۲ فرمول سازی ریاضی.....
۶۶۳	۱۷-۵-۳ آنالیز ریاضی حالت پایدار.....

۶۶۳	۱۷-۵-۴. شرایط و وضعیت کامپوزیت همگن.....
۶۶۴	۱۷-۵-۵. بازیابی رسانایی های هیدرولیکی.....
۶۶۵	۱۷-۵-۶. بازیابی همزمان ظرفیت فشرده مخزن جریان بالادستی و ظرفیت های مخصوص نمونه ها.....
۶۶۵	۱۷-۵-۷. مقایسه با داده های تجربی.....
۶۶۶	۱۷-۶. اندازه گیری های رسانایی هیدرولیکی در سنگ های مخزن غیرمتقارن (ناهمسانگرد).....
۶۶۶	۱۷-۶-۱. مقدمه.....
۶۶۷	۱۷-۶-۲. فرمول سازی ریاضی.....
۶۶۹	۱۷-۶-۳. فرمول سازی مسئله معکوس.....
۶۶۹	۱۷-۶-۴. نتایج عددی.....
۶۶۹	۱۷-۷. اندازه گیری های رسانایی هیدرولیکی در سنگ های مخزن غیرمتقارن.....
۶۷۰	۱۷-۷-۱. فرمول سازی ریاضی.....
۶۷۰	۱۷-۷-۲. فرمول سازی مسئله معکوس.....
۶۷۱	۱۷-۷-۳. نتایج عددی و بحث.....
۶۷۳	۱۷-۸. مقایسه روش ها.....
۶۷۵	۱۷-۹. نتیجه گیری.....
۶۷۷	منابع.....