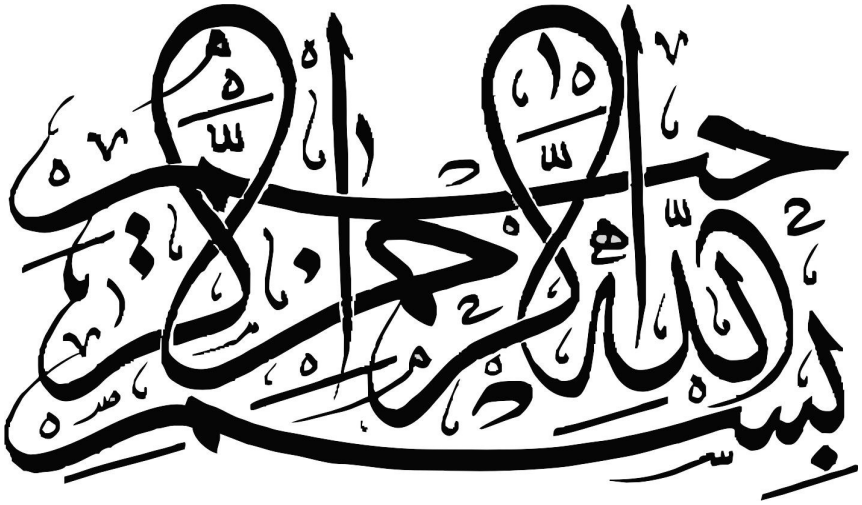

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

انتقال حرارت ترکیبی جابجایی آزاد وهدایت در محفظه متخلخل حاوی قطعه جامد

استاد راهنما

دکتر بهزاد قاسمی

استاد مشاور

دکتر افراسیاب رئیسی

پژوهشگر

مجید طهماسبی کهیانی

مهر ماه ۱۳۸۹

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه آقای مجید طهماسبی کهیانی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی با عنوان: انتقال حرارت ترکیبی جابجایی آزاد وهدایت در محفظه متخلخل حاوی قطعه جامد در تاریخ: ۱۳۸۹/۷/۲۴ با حضور هیئت داوران بررسی و با نمر۱۹/۷مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان نامه دکتر بهزاد قاسمی با مرتبه علمی دانشیار امضاء

۲. استاد مشاور پایان نامه دکترافراسیاب رئیسی با مرتبه علمی استاد یار امضاء

۳. استاد داور پایان نامه دکترعلیرضا شاطری با مرتبه علمی استاد یار امضاء

۴. استاد داور پایان نامه دکترمسعود ضیائی راد با مرتبه علمی استاد یار امضاء

دکتر بهزاد قاسمی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده فنی مهندسی

چکیده

پروژه حاضر به منظور بررسی عددی انتقال حرارت ترکیبی جابجایی آزاد وهدایت در محفظه های متخلخل وتولید انرژی در محیط متخلخل یا جسم جامد تعریف شده است. بدین منظورابتدا برای یک محفظه ساده مربعی متخلخل اثر تولید انرژی یکنواخت بررسی گردید. سپس اثر قرار گرفتن یک قطعه جامد دراین محفظه متخلخل بررسی شد. در این حالت علاوه بر وجوداختلاف دمای دیوار های عمودی تولید انرژی یکنواخت در قطعه جامد نیز مطرح گردید. در این شرایط دو پارامتر مهم گرادیان دما در دیوارهای عمودی در قالب عدد Ra وتولید انرژی در قطعه جامد در قالب λ_{sb} وجود داشت که نتیجه تغییر در هر کدام جدا گانه بررسی شد. در ادامه این بررسی حالتی مطالعه شد که قطعه جامد دارای تولید انرژی درونی به صورت یک منبع گرمازا عمل کرده وحرارت آن از طریق محیط متخلخل با دیوارهای عمودی وافقی در دمای T_c به خارج دفع می شد. در این حالت پارامتر مهم عدد Ra بود وبه تولید انرژی در قطعه جامد وابسته بود. علاوه بر تغییرات Ra اثر قرار گرفتن قطعه جامد در مکان های مختلف محفظه متخلخل وتغییر ابعادآن نیز در این حالت بررسی شد. به عنوان آخرین بررسی محفظه متخلخل به صورت مثلثی در نظر گرفته شد و اثر تولید انرژی در قطعه جامد درون آن بررسی و با محفظه مربعی مقایسه شد. در کلیه حالات برای استخراج معادلات حاکم از مدل دارسی استفاده شد و برای حل این معادلات از روش حجم کنترل استفاده شده است. با توجه به بررسی های انجام گرفته ذکر نکاتی قابل اهمیت می باشد از جمله آن که، وجود شرایط مرزی مختلف در یک مسئله می تواند به ایجاد پارامتر های اثر گذار مختلف در آن مسئله بیانجامد. وجود قطعه جامد در یک محیط متخلخل بر شرایط انتقال حرارت و قدرت گردابه ها به شدت تاثیر گذار خواهد بودو باعث کاهش آن ها نسبت به یک محفظه متخلخل ساده می شود. همچنین تولید انرژی در جسم جامد ویا محیط متخلخل تاثیر به سزایی در نتایج مسئله می گذاردو افزایش چشمگیر انتقال حرارت و قدرت گردابه ها را در پی خواهد داشت. در نهایت می توان اثرات تغییر هندسه را هم از عوامل مهم اثر گذار بر شرایط مسئله دانست.

مقدمه

محیط های متخلخل و بررسی پدیده انتقال در آنها جایگاه ویژه ای در تکنولوژی و صنعت دارد. به عنوان مثال می توان به مبدل های زیرزمینی برای ذخیره انرژی، بازیابی وکنترل دمای راکتورها، خنک کاری قطعات الکترونیکی، عایق های حرارتی، انرژی های زمین گرمایی و ... اشاره کرد. به همین دلیل انتقال حرارت در محیط های متخلخل یکی از موضوعاتی است که در میان تحقیقات مربوط به انتقال حرارت رشد ناگهانی داشته است. مکانیک حرکت سیال در یک محیط متخلخل برای بیش از یک قرن محققان را به خود مشغول کرده و در چند دهه گذشته مطالعات مربوط به انتقال حرارت در این محیط ها خود به شاخه ای جدید تبدیل شده است. با توجه به اهمییت موضوع در این پایان نامه در چهار بخش مجزا به بررسی نتایج بدست آمده از، انتقال حرارت جابجای آزاد درمحفظه متخلخل دوبعدی با تولید انرژی داخلی درون آن، انتقال حرارت ترکیبی جابجایی آزاد و هدایت در محفظه متخلخل حاوی قطعه جامد نفوذ ناپذیر با قابلیت هدایت، محفظه متخلخل حاوی قطعه جامد نفوذ ناپذیر که قابلیت هدایت دارد و انرژی داخلی در آن تولید می شودومحفظه متخلخل مثلثی حاوی قطعه جامد نفوذ ناپذیر که قابلیت هدایت دارد و انرژی داخلی در آن تولید می شود پرداخته شده است. در هر قسمت اثر پارامترهای مهم بر میدان جریان و دما، نرخ انتقال حرارت از محفظه و پارامتر هایی مثل دماوتابع جریان بیشینه در مسئله بررسی شد. لازم به ذکر است کلیه این بررسی ها برای محفظه متخلخل با نسبت طول به ارتفاع یک انجام گرفته است. این رساله در چهار فصل گرد آوری شده است. در فصل اول به منظور آشنایی با محیط متخلخل مقدمه ای در رابطه با جریان سیال درون این محیط آورده شده است. به منظور آشنایی با معادلات حاکم بر محیط متخلخل، در فصل دوم بررسی نکات اساسی ومعادلات حاکم بر محیط های متخلخل مورد توجه قرار گرفته است. در فصل سوم علاوه بر آوردن شماتیک چهار مسئله ذکر شده در بالا به بی بعد سازی معادلات حالات مختلف وروش های حل عددی پرداخته شده است. نهایتا، در فصل چهارم نتایج بدست آمده از حل مسائل ذکر شده به روش کامپیوتری همراه با تشریح کامل این نتایج آمده است.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

فصل اول- مقدمه

۱-۱ جریان سیال در محیط متخلخل ۹
۱-۱-۱ تعریف محیط متخلخل ۱۰
۱-۲ پیشینه تحقیق و بررسی منابع ۱۱
۱-۲-۱ محیط متخلخل ساده ۱۲
۱-۲-۲محیط متخلخل با حضورجسم جامد ۱۲
۱-۲-۳محیط متخلخل دارای تولید انرژی یا در معرض تشعشع ۱۳
۱-۲-۴محیط متخلخل مثلثی ۱۴
۱-۳پروژه حاضر وجایگاه آن ۱۴

فصل دوم- تئوری محیط های متخلخل

۲-۱ مباحث بنیادی در محیط های متخلخل ۱۶
۲-۱-۱ فرضیات محیط متخلخل ۱۶
۲-۱-۲ شیوه نگرش به یک مسئله در محیط متخلخل ۱۷
۲-۱-۳حجم بنیادی وتعریف تخلخل ۱۷
۲-۱-۴ضریب نفوذپذیری(K) ۱۹
۲-۲پیوستگی وسرعت دارسی ۲۰
۲-۳ اولین معادله ممنتوم قابل استفاده در محیط های متخلخل ۲۲
۲-۳-۱ قانون دارسی ۲۲
۲-۴توسعه قانون دارسی ۲۲
۲-۴-۱ معادله برینکمن ۲۲
۲-۴-۲ معادله فورچهایمر ۲۳
۲- ۵ اثرات تغییر تخلخل(Φ) ۲۴
۲ – ۶ انتقال حرارت در محیط متخلخل ۲۵
۲- ۶-۱ ساده ترین حالت انتقال حرارت در یک محیط متخلخل ۲۵
۲-۶-۲ ضریب هدایت حرارتی کلی یک محیط متخلخل ۲۶
۲-۶-۳ اثرتغییر فشار، اتلاف اصطکاکی و در نظر نگرفتن تعادل دمایی محلی ۲۷

فصل سوم- بیان مسئله وروش حل

۳-۱ بیان مسئله ۳۰
۳-۱-۱ محفظه متخلخل با تولید یکنواخت انرژی درداخل آن ۳۰
۳-۱-۲ محفظه متخلخل با حضور قطعه جامد درون آن ۳۰
۳-۱-۳ محفظه متخلخل حاوی قطعه جامد گرما زا ۳۱

عنوان شماره صفحه

۳-۱-۴ محفظه متخلخل مثلثی حاوی قطعه جامد گرمازا..... ۳۱
۳-۲ معادلات حاکم..... ۳۳
۳-۳ روش حل عددی..... ۳۶

فصل چهارم- بحث و نتایج

۴-۱ مقدمه..... ۴۳
۴-۲ بررسی صحت کد کامپیوتری..... ۴۳
۴-۳محفظه متخلخل ساده با تولید انرژی داخلی درون آن..... ۴۵
۴-۴محفظه متخلخل حاوی قطعه جامد..... ۵۲
۴-۵ محفظه متخلخل ،حاوی قطعه جامد دارای تولید انرژی..... ۵۶
۴- ۵-۱محفظه متخلخل با چهار وجه در دمای T_Cوحاوی قطعه جامد گرمازا..... ۶۱
۴- ۶ محفظه مثلثی حاوی قطعه جامد دارای تولید انرژی..... ۶۹
۴- ۷ مقایسه محفظه مثلثی و مستطیلی در شرایط مشابه..... ۷۵
۴- ۸ نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۷۶
۴- ۸-۱ ارائه پیشنهادات کاربردی..... ۷۷
۴- ۸-۲ پیشنهادات جهت ادامه تحقیق..... ۷۸

پیوست الف..... ۷۹

فهرست شکل ها

عنوان شماره صفحه

فصل اول

۱-۱ نمونه هایی از محیط متخلخل..... ۱۰

۱-۲- الف. محیط های متخلخل یک فازی ودو فازی..... ۱۱

۱-۲- ب. محیط متخلخل چند فازی..... ۱۱

فصل دوم

۲-۱ مقیاس های مختلف ماکروسکوپی، میکروسکپی و ملکولی ۱۷

۲-۲ حجم بنیادی نمونه..... ۱۸

۲-۳ $\Phi(x_0)$ برحسب ضخامت های مختلف $\Omega_0(x_0)$..... ۱۸

۲- ۴ تغییر رژیم جریان دارسی به جریان فورچهایمر در جریان یک بعدی سیال ایزوترمال[۱]..... ۲۴

۲- ۵ پروفیل سرعت درنزدیکی دیوارنفوذ ناپذیر یک کانال پرشده از محیط متخلخل..... ۲۴

۲- ۶ تغییرات تخلخل در نزدیکی دیواره[۱]..... ۲۵

فصل سوم

۳-۱ نمایی از محفظه حاوی محیط متخلخل با تولید انرژی داخلی..... ۳۱

۳ – ۲ نمایی از محفظه متخلخل با قطعه جامد نفوذ ناپذیر..... ۳۲

۳ – ۳ نمایی از محفظه متخلخل با قطعه جامد نفوذ ناپذیردارای تولید انرژی داخلی..... ۳۲

۳ – ۴ نمایی از محفظه متخلخل مثلثی حاوی قطعه جامد نفوذ ناپذیرگرمازا..... ۳۲

۳ – ۵ نمایی از حجم کنترل استفاده شده..... ۳۷

۳– ۶ نمایی از شبکه بندی استفاده شده در مسئله محفظه متخلخل با تولیدانرژی..... ۴۱

۳ – ۷ نمایی از شبکه بندی مسئله محفظه متخلخل حاوی قطعه جامد..... ۴۱

۳ – ۸ نمایی از شبکه بندی استفاده شده در محفظه متخلخل مثلثی حاوی قطعه جامد..... ۴۲

فصل چهارم

۴-۱مقایسه خطوط جریانوهمدمادر محفظه دارای تولید انرژی با مرجع[۲۰]..... ۴۴

۴-۲ مقایسه خطوط جریان و دما ثابت در محفظه متخلخل حاوی دیوار جامد با مرجع[۱۸]..... ۴۵

۴-۳ عدم وابستگی حل به تعداد نقاط شبکه..... ۴۵

۴-۴ خطوط جریان و دما ثابت در محفظه ساده دارای تولید انرژی..... ۴۶

۴-۵ خطوط جریان و دما ثابت در محفظه ساده دارای تولید انرژی به ازای $\lambda_p = 100$ ۴۸

۴-۶ خطوط جریانو دما ثابتدر محفظه ساده دارای تولیدبه ازای Ra=1000 ..... ۴۹

عنوان شماره صفحه

۴-۷ تغییرات $\overline{Nu}$ درمرزهای گرم وسرد با Ra به ازای $\lambda_p = ۱۰۰$ ۵۰

۴-۸ تغییرات ψ در نزدیکی دیوار دما بالا با Ra به ازای $\lambda_p = ۱۰۰$ ۵۰

۴-۹ تغییرات $\overline{Nu}$ درمرزهای گرم وسرد با λ_p در Ra=۱۰۰۰ ..... ۵۱

۴-۱۰ تغییرات ψ در نزدیکی مرز گرم با λ_p در Ra=۱۰۰۰ ..... ۵۱

۴-۱۱ تغییر دما در خط تقارن عمودی برای محفظه ساده دارای تولید انرژی ۵۲

۴-۱۲ تغییرات عدد نوسلت میانگین وبیشینه تابع جریان با تعدادنقاط شبکه($\Gamma = 1, Ra=1000$) ۵۲

۴-۱۳ خطوط دما ثابت و جریان در اعداد رایلی مختلف برای محفظه حاوی قطعه جامد ۵۳

۴-۱۴ تغییرات مقادیر $\overline{Nu}$ و ψ_{max} با Ra ۵۴

۴-۱۵ تغییرات نوسلت موضعی در دیوارهای گرم و سردبا Ra(قطعه جامد در مرکز محفظه متخلخل) ۵۵

۴-۱۶ تغییرات دمابا Ra در خط تقارن عمودی محفظه، X=0.5 ، در حالت قطعه جامد در مرکز ۵۶

۴-۱۷ خطوط جریان(راست)وهمدما(چپ)به ازای λ_{sb} متغیرو Ra =۱۰۰۰ ..... ۵۷

۴-۱۸ خطوط جریان(راست)وهمدما(چپ)به ازای Ra متغیرو λ_{sb} =۵۰۰۰ ..... ۵۸

۴-۱۹ تغییرات $\overline{Nu}$ درمرزهای گرم وسرد با Ra به ازای λ_{Sb} =۵۰۰۰ ..... ۵۹

۴-۲۰ تغییرات $\overline{Nu}$ درمرزهای گرم وسرد با λ_{Sb} به ازای Ra =۱۰۰۰ ..... ۵۹

۴-۲۱ تغییرات دما در خط تقارن عمودی محفظه باتغییر λ_{sb} در Ra ثابت(۱۰۰۰) ۶۰

۴-۲۲ تغییرات دما در خط تقارن عمودی محفظه باتغییر Ra در λ_{sb} ثابت(۵۰۰۰) ۶۰

۴-۲۳ خطوط همدماو جریان در $Ra = 10^4$ برای مکان های مختلف قطعه گرمازا(دمای وجوه T_c) ۶۱

۴-۲۴ خطوط همدماو جریان در $Ra = 10^6$ برای مکان های مختلف قطعه گرمازا(دمای وجوه T_c) ۶۲

۴-۲۵ تغییرات دما در خط تقارن عمودی(دمای وجوه T_c) ۶۳

۴-۲۶ تغییرات Nu در دیواره های محفظه با Ra ، قطعه جامد در مرکزودمای وجوه T_c ۶۴

۴-۲۷ تغییرات $\overline{Nu}$ در دیواره های محفظه با Ra ، قطعه جامد در مرکزودمای وجوه T_c ۶۵

۴-۲۸ اثرات افزایش مساحت قطعه به ازای Ra= ۱۰۰۰ برشکل خطوط دما ثابت وجریان ۶۶

۴-۲۹ تغییرات $\overline{Nu}$ با افزایش ابعاد قطعه جامد گرمازا به ازای Ra= ۱۰۰۰ ..... ۶۷

۴-۳۰ تغییرات دمای بیشینه با افزایش ابعاد قطعه جامد گرمازا به ازای Ra= ۱۰۰۰ ..... ۶۷

۴-۳۱ تغییرات بیشینه تابع جریان با افزایش ابعاد قطعه جامد گرمازا به ازای Ra= ۱۰۰۰ ..... ۶۷

۴-۳۲ تغییرات خطوط دما ثابت و جریان با افزایش Ra به ازای D=۰.۷ ..... ۶۸

۴-۳۳ تغییرات خطوط جریان ودما ثابت با افزایش Ra ($D_X = D_Y = 0.1$) ۷۰

۴-۳۴ تغییرات نوسلت موضعی در دیوار افقی محفظه مثلثی در اعداد رایلی مختلف ۷۱

۴-۳۵ تغییرات نوسلت موضعی در دیوارعمودی محفظه مثلثی در اعداد رایلی مختلف ۷۱

عنوان شماره صفحه

۴-۳۶ تغییرات خطوط جریان ودماثابت با افزایش D_X ($Ra = 10^4, D_Y = 0.1$)..... ۷۲
۴-۳۷ تغییرات خطوط جریان ودماثابت با افزایش D_Y ($Ra = 10^4, D_X = 0.1$)..... ۷۳
۴-۳۸ تغییرات نوسلت میانگین، $\overline{Nu}$، با افزایش D_X در محفظه مثلثی..... ۷۴
۴-۳۹ تغییرات نوسلت میانگین، $\overline{Nu}$، با افزایش D_Y در محفظه مثلثی..... ۷۴

فهرست جداول

عنوان شماره صفحه

فصل اول

فاقد جدول

فصل دوم

۲-۱ مقادیر تخلخل Φ برای برخی مواد[۵]..... ۱۹

۲-۲ برخی از خصوصیات مواد متخلخل متداول[۱]..... ۲۱

فصل سوم

فاقد جدول

فصل چهارم

۴- ۱ مقایسه نتایج با کارهای دیگران برای محفظه متخلخل ساده..... ۴۴

۴-۲ مقایسه مقادیر عدد نوسلت میانگین در عدد رایلی ۱۰۰۰در ضخامت های مختلف..... ۴۴

۴-۳ مقادیر بیشینه تابع جریان و دما و کمینه تابع جریان در اعداد رایلی مختلف..... ۴۷

۴-۴ تغییرات پارامتر هاباعدد رایلی به ازای $\lambda_p = 100$ ۴۸

۴-۵ تغییرات پارامتر ها با λ_p به ازای Ra=1000..... ۴۹

۴-۶ تغییر پارامتر هابه ازای اعداد رایلی مختلف برای محفظه حاوی قطعه جامد..... ۵۴

۴-۷ تغییر پارامتر های دردوعدد Ra ، $10^6, 10^4$،و مکان های مختلف قطعه گرمازادرون محفظه..... ۶۲

۴-۸ تغییرات $\overline{Nu}$ در وجوه محفظه با افزایش عدد رایلی به ازای D=۰/۷ ..... ۶۹

۴-۹ تغییرات نوسلت میانگین با افزایش Ra به ازای $D_X = D_Y = 0.1$ در محفظه مثلثی ۷۱

۴-۱۰مقایسه محفظه های مستطیلی و مثلثی..... ۷۵

فهرست علائم

c_f	ضریب فورچهایمر
c_p	گرمای ویژه در فشار ثابت
D	ضخامت بی بعد قطعه جامد نفوذ ناپذیر
Da	عدد دارسی، K/H^2
d_p	قطر اجزای جامد محیط متخلخل
g	ضریب گرانش
H	ابعاد محفظه
k	ضریب هدایت حرارت
K	ضریب نفوذ پذیری محیط متخلخل
Nu	عدد نوسلت، $-\partial\theta/\partial X$
P	فشار
Pe	عدد پکلت
q'''	نرخ حرارت بر واحد حجم
Ra	عدد ریلی ، $gH\beta K(q'''H^2/k)/(\upsilon\alpha)$ ، $gH\beta K(T_h - T_c)/(\upsilon\alpha)$
Re	عدد رینولدز، LU_m / υ
T	دما
T_c	دمای دیواره سرد
T_h	دمای دیواره گرم
u, v	مؤلفه های سرعت در راستای x و y
U, V	مؤلفه های بدون بعد سرعت در راستا x و y
x, y	مختصات کارتزین
X, Y	مختصات کارتزین بی بعد

علائم یونانی

α	ضریب پخش حرارت
β	ضریب انبساط حرارت
υ	ویسکوزیته سینماتیک
θ	دمای بدون بعد، $(T - T_c)/(T_h - T_c)$ ، $(T - T_c)/(q'''H^2/k)$
μ	ویسکوزیته دینامیک
ρ	چگالی
ψ	تابع جریان
Ψ	تابع جریان بی بعد، ψ/α

زیرنویس

eff	مؤثر
f	سیال
p	محیط متخلخل
r	نسبی
s_b	قطعه جامد

فصل اول

مقدمه

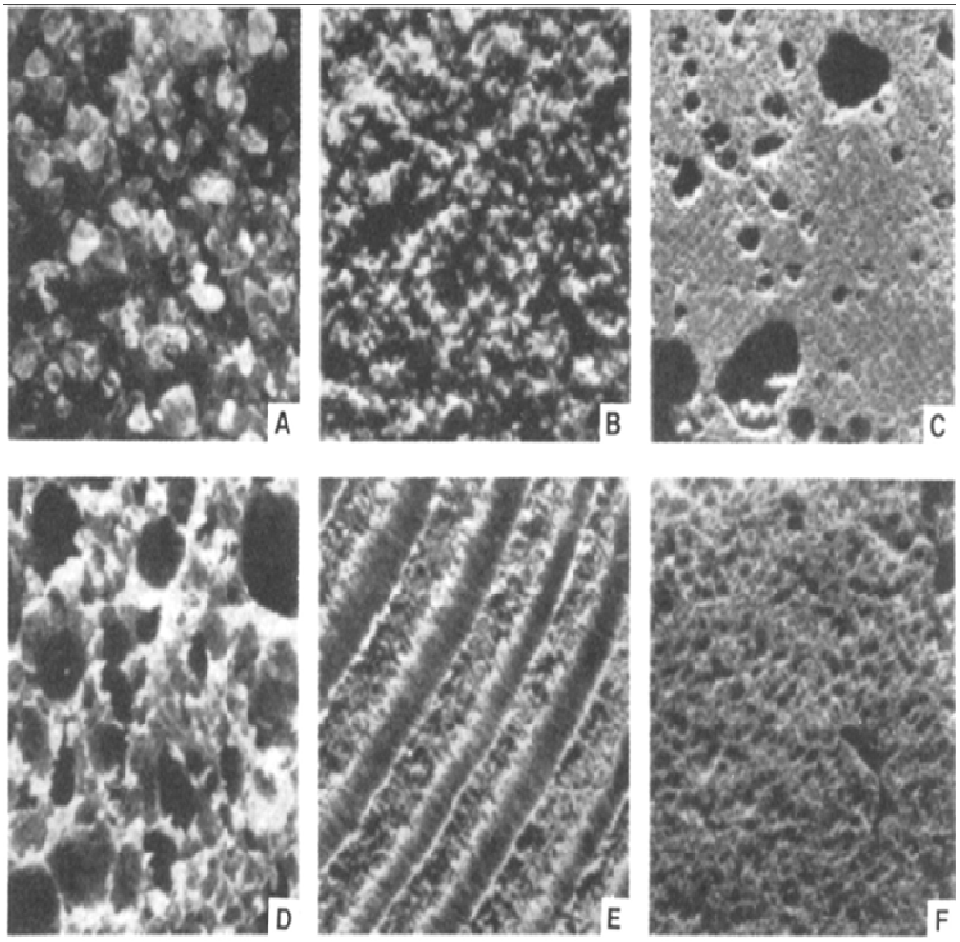
۱-۱ جریان سیال در محیط متخلخل

انتقال حرارت در محیط های متخلخل یکی از موضوعاتی است که در میان تحقیقات مربوط به انتقال حرارت رشد ناگهانی داشته است. مکانیک حرکت سیال در یک محیط متخلخل برای بیش از یک قرن محققان را به خود مشغول کرده و در چند دهه گذشته مطالعات مربوط به انتقال حرارت در این محیط ها خود به شاخه ای جدید تبدیل شده است.محیط های متخلخل و بررسی پدیده انتقال در آنها جایگاه ویژه ای در تکنولوژی و صنعت دارد. به عنوان مثال می توان به مبدل های زیرزمینی برای ذخیره انرژی، بازیابی وکنترل دمای راکتورها، خنک کاری قطعات الکترونیکی، عایق های حرارتی، انرژی های زمین گرمایی و ... اشاره کرد.

برای بررسی جریان و انتقال حرارت در محیط های متخلخل نیاز به تعریف مفاهیم جدیدی است که در محیط های بدون تخلخل ظاهر نمی شوند. به عنوان مثال ضریب تخلخل(ϕ)، که به صورت نسبت فضای خالی جسم به کل حجم جسم تعریف می شود، و یا قابلیت نفوذ (K) که یک ثابت تجربی بوده و معیاری از نفوذ پذیری سیال در فضاهای خالی است. این ضریب را می توان با اندازه گیری افت فشار و نرخ جریان از میان نمونه ای ستونی شکل از محیط متخلخل به دست آورد[۱-۵]. با تعریف انواع محیط متخلخل شروع می کنیم ودرفصل بعد به خواص اساسی آن و مدل های میکروسکپی، ماکروسکپی وملکولی اشاره خواهیم کرد، که به طور مستقیم به ابعادی که در آن مسئله مطرح می شود، وابسته است.

۱-۱-۱ تعریف محیط متخلخل

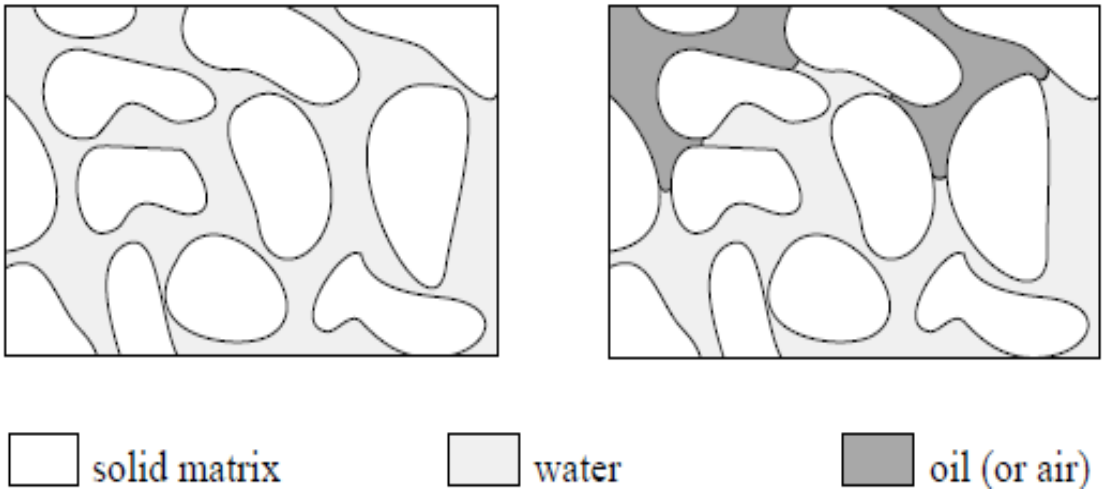
یک محیط متخلخل از اجزاء جامد پایدار تشکیل شده است که شبکه جامد نامیده می شوند.فضا های خالی باقی مانده می تواند توسط یک یا چند سیال اشغال شود.از انواع متداول محیط متخلخل می توان به خاک، شن و ماسه ،سنگ های آهکی،اسفنج های پلاستیکی ،شش وکلیه ها اشاره نمود.در شکل (۱-۱)برخی موارد را مشاهده می کنید.



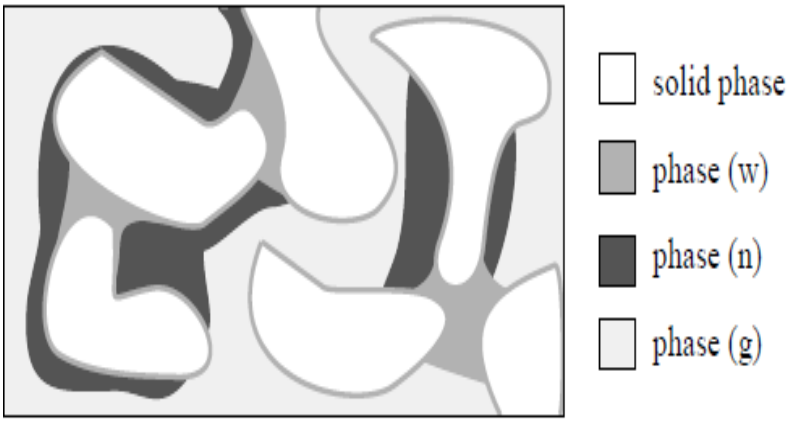
شکل۱-۱ . نمونه هایی از محیط متخلخل آشنا، A شنهای ساحلی، B سنگ ماسه، C سنگ آهک، D نان گندم، E چوب، F ریه انسان.

فاز به یک حالت همگن شیمیایی از ماده گفته می شود که بتوان با مرز فیزیکی آن را از قسمت های دیگر جدا نمود.در سیستم های تک فازی فضا های خالی محیط متخلخل توسط یک سیال یا چند نوع سیال که به صورت کامل در یکدیگر مخلوط شده وهمگن شده باشند پر شده است.اما در سیستم های چند فازی فضاهای خالی محیط متخلخل توسط چند نوع سیال مخلوط نشده پر شده است و مرز میان آنها قابل تشخیص می باشد.اگر قسمت جامد یا به اصطلاح دیگر فاز جامد از بیش از یک نوع ماده تشکیل شده باشد به آن

محیط متخلخل چند جزئی می گویند.در شکل۱-۲برش مقطعی از محیط های متخلخل یک یا چند فازی قابل مشاهده می باشد.



شکل ۱-۲. الف محیط های متخلخل یک فازی(چپ) ودو فازی(راست)



شکل ۱-۲ .ب محیط متخلخل چند فازی

۱-۲ پیشینه تحقیق و بررسی منابع

انتقال حرارت جابجایی طبیعی در محفظه حاوی محیط متخلخل که توسط سیال اشباع شده ، در دهه های اخیر مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است که دلیل این امر کاربرد های فراوان آن در تکنولوژی وصنعت است. به عنوان مثال می توان به مبدل های زیرزمینی برای ذخیره انرژی، بازیابی وکنترل دمای راکتورها، خنک کاری قطعات الکترونیکی، عایق های حرارتی، انرژی های زمین گرمایی و.... اشاره کرد. مرورکاملی ازکاربردهای جابجایی آزاد در محیط های متخلخل در کتبی نظیر اینگهام و پاپ[۱]، نیلد و بیجن[۲]، وفایی[۳]، بیجن و کراس[۴] وباستیین[۵]، آورده شده است. از این میان حل مسئله جابه جایی طبیعی در محفظه مربعی دو بعدی که دیوارهای آن در شرایط مرزی مختلف است، یکی از مسائل کلاسیک در محیط متخلخل می باشد و مقالات زیادی در این زمینه موجود است.در قسمت ۱-۲-۱ به تعدادی از این

تحقیقات اشاره شده است.درقسمت ۱-۲-۲ اثرات حضور دیوارهای جامددر محفظه های مربعی بررسی شده است.در بخش۱-۲-۳ به مقالاتی اشاره شده است که در آنهاتولید حرارت در محیط متخلخل مورد توجه قرار گرفته است.در نهایت در بخش ۱-۲-۴ چند مقاله با موضوع محفظه های مثلثی آمده است.قابل ذکر است که تنها تعداد محدودی از مقالات مربوط به هر مبحث آورده شده است.

۱-۲-۱محیط متخلخل ساده

ایوین پپ و نواف سعید[۶]جابجایی آزاد غیر دائم در محفظه مربعی حاوی محیط متخلخل را بررسی کرده و نشان داده اند که با افزایش عدد رایلی زمان رسیدن به عدد نوسلت ثابت کمتر می شود. این محققین همچنین نشان داده اند که با کاهش عدد دارسی اختلاف بین دو مدل میکروسکپی و ماکروسکپی زیاد می شود. چائو و اوزی[۷]به بررسی جابجایی طبیعی در یک محفظه مورب که نیمی از کف آن عایق و به نیم دیگر شار گرمایی وارد شده است و دیوار بالایی نیز خنک شده است پرداخته اند. میدان های جریان و دما در اعداد ریلی مختلف در این مقاله به دست آمده است. اندرسن و لاریت [۸] جابجایی طبیعی در یک محفظه که دارای دیواره های عمودی سردو دیواره کف گرم در دمای یکنواخت می باشد رابررسی نموده اند.کیمورا و بیجن[۹] به صورت عددی جابجایی طبیعی را در یک محفظه مستطیلی که سطح کف آن خنک نگه داشته شده است و به یکی از دیواره های عمودی نیز شار وارد می شود را بررسی نموده اند. گرانزارولی و میلانز[۱۰] به بررسی محفظه ای که دارای دیواره های عمودی سرد در دمای یکنواخت بوده و شار حرارتی نیز از کف محفظه وارد می شود، پرداختند. افزایش انتقال حرارت از محفظه و افزایش قدرت گردابه ها با افزایش عدد رایلی را می توان از نتایج مشترک همه کار های انجام گرفته در این زمینه دانست.

۱-۲-۲محیط متخلخل با حضورجسم جامد

اخیراً در خصوص انتقال حرارت ترکیبی جابجایی آزاد و هدایت در محفظه های متخلخل نیز مطالعات زیادی صورت گرفته است که در این قسمت به برخی اشاره می شود. نواف سعید[۱۱] انتقال حرارت جا به جایی در یک محیط متخلخل که توسط دو لایه با ضخامت محدود احاطه شده است را مورد بررسی قرار داده است که از جمله نتایجاین بررسی می توان به افزایش مقدار سیرکولیشن با دو عامل کاهش ضخامت دیواره ها و افزایش نسبت ضریب رسانش دیواره ها به ضریب رسانش محیط متخلخل(Kr) اشاره کرد . در این مقاله همچنین نشان داده شده است که که با افزایش Kr عدد نوسلت و گرادیان دمای افقی افزایش می یابد . ایون پپ و نواف سعید[۱۲] به بررسی انتقال حرارت جابجایی در یک محیط متخلخل عمودی با دو منبع حرارتی پرداخته اندکه در آن تغییرات پارامتر هایی از جمله اعداد رایلی و پکلت و فاصله میان منابع گرمایی بر نرخ انتقال حرارت مورد توجه واقع شده است .در بررسی دیگری انتقال حرارت جابجایی طبیعی در محفظه متخلخل که با دیوارهای جامد احاطه شده بود، توسط چانگ و لین [۱۳] مورد بررسی قرار گرفت. آنها به این نتیجه رسیدند که مقاومت هدایتی دیوارهای جامد باعث کاهش انتقال حرارت کلی از محفظه می شود. بیتاس و همکارانش[۱۴] به بررسی جابجایی طبیعی در یک لایه متخلخل که مابین دو دیوار افقی جامد با ضخامت محدود قرار گرفته بود، پرداختند. دیوار های عمودی چپ و راست محفظه به ترتیب در دماهای یکنواخت T_h و T_c است. این در حالی است که شرط مرزی آدیاباتیک دیوارهای افقی، روی دو تیغه جامد با ضخامت یکسان اعمال می شد. آنها برای حل از شبکه بندی غیر یکنواخت برای شبکه بندی محفظه استفاده

نمودند. این محققین دریافتند که دمای مرز مشترک دیوار و محیط متخلخل با افزایش ضریب هدایت دیوار جامد کاهش می یابد. سعید[۱۵] به بررسی انتقال حرارت ترکیبی جابجایی طبیعی وهدایت در یک محفظه مربعی متخلخل با دمای دیواره های متفاوت پرداخت. در این بررسی شرط مرزی دمای یکنواخت در دیوار عمودی سمت چپ آن روی یک دیوار جامد با ضخامت محدود اعمال می شد. از جمله فرضیاتی که توسط سعید در نظر گرفته شد می توان به پیوستگی دمایی و شار گرمایی در محل تماس دیوار جامد با محیط متخلخل اشاره نمود. در این مقاله برای جبری سازی معادلات حاکم از تقریب کوئیک برای جملات جابجایی – پخش و از تقریب تفاضل مرکزی برای جبری کردن جملات پخش استفاده شده است. با توجه به این فرضیات رابطه ای برای دمای سطح مشترک دیوار جامد و محیط متخلخل استخراج شده است. شبکه بندی دامنه حل به صورت یکنواخت انجام شده است. وی نتیجه گرفت زمانی که ضریب هدایت حرارتی دیوار جامد از لایه متخلخل بیشتر است، میزان انتقال حرارت از محفظه متخلخل به طور همزمان به ضخامت دیوار و عدد ریلی وابسته است. این محقق در مقاله ای دیگر[۱۶] ، جابجایی طبیعی را در یک لایه متخلخل که با دو دیوار جامد عمودی با ضخامت یکسان و محدود احاطه شده است، بررسی نمود. شرایط مرزی این محفظه نیز همانند بررسی قبل در نظر گرفته شده است.از بررسی های فوق دیده شد که در اعداد ریلی پایین ، مثلا در $Ra=۱۰$ ، میزان انتقال حرارت با تغییر ضخامت دیواره تقریباً ثابت می ماند. ال امیری و همکارانش [۱۷] به صورت عددی به بررسی جابجایی طبیعی در یک محفظه متخلخل که با دیوار های جامد نفوذ ناپذیر احاطه شده بود، پرداختند.نواف سعید[۱۸] در تحقیق دیگری آثار تغییر ضخامت یک دیوار جامد نفوذ ناپذیر با قابلییت هدایت را که به یکی از دیوار های عمودی متصل بود مورد بررسی قرار داد ونشان داد با افزایش ضخامت دیوار میزان نوسلت میانگین کاهش می یابد.

۱-۲-۳محیط متخلخل دارای تولید انرژی یا در معرض تشعشع

با رونق گرفتن استفاده از منابع انرژی زمین گرمایی و به کار گیری کلکتور های خورشیدی برای تامین انرژی ونیز لزوم افزایش انتقال حرارت در قطعات الکترونیکی به منظور خنک کاری آنها در سال های اخیر توجه ویژه ای به انتقال حرارت درمحیط متخلخل دارای تولید انرژی یا در معرض تشعشع شده است. به عنوان نمونه علی چمخا و همکارانش[۱۹] یک محفظه متخلخل در معرض تشعشع را مورد بررسی قرار دادندکه نتایج کار آنها حاکی از افزایش قدرت گردابه ها باافزایش میزان تشعشع در مرزها می باشد. گروسان وهمکارانش[۲۰] به بررسی اثرات تولید حرارت داخلی ومیدان مغناطیسی در یک محیط متخلخل پرداخته اند و نشان داده اند که میزان انتقال حرارت جابجایی به شدت به پارامتر هایی از جمله عدد رایلی و عدد هارتمن (تابعی از شدت میدان مغناطیسی)وابسته است. همچنین نشان داده اند که عدد نوسلت موضعی در دیوارهای افقی باتغییر زاویه میدان مغناطیسی از حالت افقی به عمودی تغییر قابل ملاحظه ای دارد. میلی ومرکین[۲۱] انتقال حرارت جابجایی در محیط متخلخل باتولید انرژی داخلی را مورد مطالعه قرار داده اند.آنها نشان داده اند که در اعداد رایلی بزرگ لایه های مرزی با گردابه های ادی در نواحی مرکزی دیواره های عمودی ایجاد می شود. از دیگر نتایج آن می توان به دستیابی به دمایی بالا تر از دمای دیوار گرم توسط تولید انرژی داخلی درون محیط متخلخل اشاره کرد.

۱-۲-۴محیط متخلخل مثلثی

همان گونه که در بخش های قبلی اشاره شد، اکثر تحقیقات انجام گرفته در زمینه محیط های متخلخل برای محفظه هایی با شکل مربعی صورت پذیرفته است. برای به دست آوردن نتایج درمحفظه های غیر مربعی در

این رساله محفظه مثلثی مورد بررسی قرار گرفته است. از معدود کار ها در این زمینه می توان به تحقیق یاسین وارل و همکارانش[۲۲] اشاره کرد که به بررسی اثرات وجود یک منبع دما ثابت با ابعاد متغییر درون محفظه متخلخل مثلثی پرداختند. آنها مسئله را در اعداد ریلی و ابعاد مختلف منبع مختلف بررسی کردند و نشان دادند که تغییرات بیشینه دما و تابع جریان کاملا به این پارامتر ها وابسته است. وارل و همکارانش[۲۳] همچنین به بررسی اثر جسم جامد مربعی درون یک محفظه مثلثی حاوی محیط متخلخل پرداختند و اثرات شرط مرزی اعمال شده روی جسم، نظیر دمای یکنواخت و یا شرط مرزی آدیاباتیک، را در اعداد ریلی مختلف بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که میدان جریان و دما تا حد زیادی متاثر از شرط مرزی اعمال شده روی جسم جامد است.

۱-۳پروژه حاضر وجایگاه آن

همان طور که در قسمت قبلی مشاهده کردید در سالهای اخیرمطالعات زیادی در زمینه محفظه های بسته پر شده با محیط متخلخل انجام شده است. در اکثر این تحقیقات اثر شرایط مرزی مختلف بر جریان جابجایی آزاد بر قرار شده در محفظه، بدون حضور اجسام جامد نفوذ ناپذیر بررسی شده است. این در حالی است که حضور جسم جامد در محیط متخلخل و تولید انرژی در جسم یا محیط متخلخل می تواند بر حرکتهای جابجایی آزاد ودر نتیجه بر رفتار حرارتی تاثیر گذار باشد. در این راستا پروژه حاضر به منظور بررسی انتقال حرارت ترکیبی جابجایی آزاد وهدایت در محفظه های متخلخل وتولید انرژی در محیط متخلخل یا جسم جامد تعریف شده است. بدین منظور معادلات حاکم بر رفتار جریان جبری شده وبرنامه کامپیوتری مناسبی جهت حل آنها تهیه شده است. در قدم اول نتایج این برنامه کامپیوتری برای محفظه متخلخل ساده با مراجع [۱۴،۶،۲]، محفظه متخلخل دارای تولید انرژی با مرجع[۲۰]و محفظه متخلخل حاوی جسم جامد با مرجع [۱۸]مقایسه شده است.

اکثر کارهای انجام شده در حالت محفظه متخلخل دارای تولید انرژی دارای شرط مرزی دما ثابت T_c روی دیوار ها می باشند. در این صورت تنها پارامترمهم عدد رایلی می باشدو معرف میزان تولید انرژی در محفظه است(مراجع[۲۰،۲۱]). حال در ادامه بررسی های فوق می توان مسئله جدیدی مطرح کرد. اگر دمای دیوار های محفظه حاوی محیط متخلخل با تولید انرژی در دو دمای مختلف واقع شوند،دو پارامتر مهم بدون بعد مطرح می شود. یکی از این پارامتر ها معرف نرخ تولید انرژی و دیگری اختلاف دماهای دیواره ها است. بررسی اثر متقابل این دو پارامتر از اهداف دیگر این پروژه است. در قدم بعدی در ادامه کار مرجع [۱۸] اثر قرار گرفتن یک قطعه جامد در مرکزومکان های دیگر محفظه متخلخل با دیوار های عمودی در دو دمای مختلف T_c و T_h و دیوارهای افقی عایق بررسی می شود. به منظور تکمیل این مسئله آن را با حالت تولید انرژی یکنواخت در قطعه جامد حل خواهیم کرد. در این شرایط نیز دو پارامتر مهم اختلاف دما در دیوارهای عمودی در قالب عدد Ra وتولید انرژی در قطعه جامد در قالب λ_{sb} وجود داردو نتیجه تغییر در هر کدام جدا گانه بررسی می شود. در حالت بعدی که بررسی می شود، قطعه جامد دارای تولید انرژی درونی به صورت یک منبع گرمازابا تولید انرژی عمل کرده و حرارت آن از طریق محیط متخلخل با دیوارهای عمودی وافقی در دمای T_c به خارج دفع می شود. در این حالت پارامتر مهم عدد Ra است که به تولید انرژی در قطعه جامد وابسته می باشد. علاوه بر تغییرات Ra اثر قرار گرفتن قطعه جامد در مکان های مختلف محفظه متخلخل وتغییر ابعادآن نیز در این حالت بررسی می شود. در پایان اثر وجود یک قطعه با تولید انرژی درونی که ابعاد