بسم الله الرحمن الرحيم

٣٩٨٤١

016832

۱۳۸۰ /۱۲/ ۲۲

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده علوم - بخش فیزیک

پایان نامه برای دریافت کارشناسی ارشد

موضوع :

اثر ضریب انبساط منفی در حوالی عمق ۶۷۰ کیلومتری سطح زمین بر روی جریانهای همرفتی درون زمین

نگارش :
سیروس طوفان

استاد راهنما :
دکتر حسین امیری

شهریور ۱۳۸۰

ب
۳۹۸۴۱

بسمه تعالی

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد

به

بخش فیزیک

دانشکده علوم ، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

امضـــاء

دانشجو : آقای سیروس طوفان

استادراهنما: آقای دکتر حسین امیری

داور۱: آقای دکتر عباسعلی علی اکبر بیدختی

داور۲: آقای دکتر سید جلیل الدین فاطمی

داور۳:

داور٤:

حق چاپ محفوظ و متعلق به مولف است.

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تجهیزات تکمیلی

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که بنده را در تمام
مراحل زندگی یاری فرموده اند.

خداوند بلندمرتبه را سپاس می‌گویم که مرا توفیق اهتمام و انجام این مجموعه عنایت فرمود.

بدین وسیله مراتب امتنان و سپاس بی‌پایان خود را از دکتر حسین امیری که راهنماییها و پشتیبانی‌های همجانبه‌ی ایشان در زمان انجام پایان‌نامه همواره رهگشای من بوده است، اعلام می‌دارم. همچنین وظیفه خود می‌دانم از آقای علی‌اکبر بیدختی و آقای دکتر سیدجلیل‌الدین‌فاطمی که زحمت داوری این پایان‌نامه را برعهده داشتند و با حسن‌ظن خویش متن را مورد بازبینی قرار دادند، تشکر کنم.

چکیده

در این پروژه ابتدا اثر ضریب انبساط حرارتی را در معادلات جریانهای همرفتی درون زمین،از طریق روابط ترمودینامیکی بررسی کردیم. سپس با توجه به ماهیت گذار فاز در ناپیوستگی عمق ۶۷۰ کیلومتری زمین ضریب انبساط حرارتی منفی را در این عمق در نظر گرفته واثر آن را در جریانهای همرفتی درون زمین مطالعه نمودیم. برای اولین بار از طریق حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان همرفتی درون گوشته با ضریب انبساط منفی در گذار فاز ۶۷۰ کیلومتری ، نشان داده می شود احتمال دو لایه بودن جریان همرفتی نسبت به نظریه‌هایی که همرفتی را در گوشته یک لایه ای فرض نموده اند،بیشتر است.

≈ بسمه تعالی ↔

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول :	
مقدمه	
۱-۱- اهمیت موضوع	۲
۱-۲- امواج P	۳
۱-۳- معرفی درون زمین	۴
۱-۴- فرورانش	۱۰
فصل دوم :	
بلورها و روابط ترمودینامیکی آنها	
۲-۱- بلور و علت بررسی آن	۱۴
۲-۲- آنتروپی و تعادل و برخی کمیتهای ترمودینامیکی	۱۵
۲-۳- تابع افراز بلور	۲۰
۲-۴- محاسبه تابع افراز و توابع ترمودینامیکی بلور	۲۴
فصل سوم :	
ضریب انبساط به عنوان اثری از برهمکنش های ناهماهنگ	
۳-۱- هدف کلی	۳۱
۳-۲- پتانسیل بین اتمی در یک بلور در حالت کلی	۳۲
۳-۳- تقریب ناهماهنگ و هماهنگ با توجه به بسط پتانسیل و ضریب انبساط خطی	۳۴
۳-۳-۱- بسط پتانسیل و جابجایی فاصله تعادل	۳۴
۳-۳-۲- تابع افراز و تابع هلمهولتز در تقریب ناهماهنگ	۳۸
۳-۴- معادله حالت می-گرونایزن	۴۰
۳-۵- ضریب انبساط حجمی	۴۳

فهرست مطالب (ادامه)

عنوان	صفحه
فصل چهارم:	
معادلات حالت مواد در شرایط درونی زمین	
۴-۱- معادلات ترمودینامیکی ماکسول	۴۶
۴-۱-۱- کمیت های گسترشی ومتمرکز وپتانسیل های ترمودینامیکی	۴۶
۴-۱-۲- بدست آوردن معادلات ماکسول	۴۸
۴-۲- مفهوم تنش وکرنش	۴۹
۴-۳- قانون هوک ومدول تراکم ناپذیری(k)	۵۰
۴-۴- معادله حالت مورگان	۵۱
۴-۵- معادلات مرتبه دوم وسوم بیرچ مورگان	۵۳
۴-۶- معادله حالت گرمایی	۵۷
فصل پنجم:	
روشهای انتقال حرارت ونقش آنها در مورد انتقال حرارت درون زمین	
۵-۱- مقدمه	۶۱
۵-۲- مفاهیم فیزیکی و معادلات نرخ انتقال حرارت	۶۲
۵-۲-۱- هدایت(رسانش)	۶۲
۵-۲-۲- جابجایی(همرفتی)	۶۵
۵-۲-۳- تشعشع	۷۰
۵-۳- شرایط خاص در مورد زمین	۷۳
۵-۳-۱- گرادین دمایی بی دررو	۷۴
۵-۳-۲- نقش رسانش در زمین	۷۶
۵-۴- جریان همرفتی آزاد	۷۷

فهرست مطالب (ادامه)

عنوان	صفحه
فصل ششم:	
معادلات حاکم بر جریان همرفتی و نا پیوستگی عمق ۶۷۰ کیلومتری	
۶-۱- مقدمه و هدف کلی این فصل	۸۱
۶-۱-۱- معادله پیوستگی یا بقای جرم	۸۱
۶-۱-۲- معادله اندازه حرکت یا قانون بقای اندازه حرکت	۸۳
۶-۱-۳- معادله بقای انرژی	۸۹
۶-۱-۴- تابع جریان	۹۱
۶-۲- ناپیوستگی عمق ۶۷۰ کیلومتری سطح زمین	۹۴
فصل هفتم:	
روش حل معادلات انتقال حرارت	
مقدمه	۹۷
۷-۱- روشهای عددی حل معادلات دیفرانسیل	۹۷
۷-۲- مفهوم انفصال	۹۸
۷-۳- روشهای بدست آوردن معادلات انفصال	۹۸
۷-۳-۱- استفاده از سری تیلور	۹۸
۷-۳-۲- روش باقی مانده وزنی	۹۹
۷-۳-۳- فرموله کردن با استفاده از حجم کنترلی	۱۰۰
۷-۴- الگوریتم حل معادلت به روش سیمپلر	۱۰۶
فصل هشتم:	
بحث و نتیجه گیری	۱۰۹
مراجع	۱۱۸

فصل اول

مقدمه

مقدمه

۱ـ۱) اهمیت موضوع:

ترمودینامیک آن شاخه از علوم فیزیکی است که پدیده‌های مربوط به انرژی و سایر خواص ماده را به طور عام و قوانین تبدیل گرما به سایر انواع انرژی و بالعکس را بطور خاص مورد بررسی قرار می‌دهد. قوانین مورد بحث که به قانون اول و دوم ترمودینامیک معروف‌اند در هر موردی که پدیده انتقال انرژی در میان باشد صادق بوده و به همین سبب است که می‌توان به کمک آن فرایندهای ممکن و غیر ممکن را تشخیص داد.

استفاده از علم ترمودینامیک و پارامترهای ترمودینامیکی در علم زمین‌شناسی[1] به طور خاص شاید به سال ۱۹۵۱ قدمت داشته باشد و کاربرد جنبی آن در همین علم به سال ۱۹۱۱ می‌رسد.

همانطوری که می‌دانیم، در دهه اخیر تئوری محاسبات و آزمایش‌ها در فیزیک فشار بالا مورد توجه قرار گرفته است و اکنون در آستانه تعیین بعضی خواص فیزیکی تحت شرایط فشار و دمای خیلی بالا هستیم[۱]. یکی از پارامترهای مهم ترمودینامیکی که اهمیت مقدار آن برای مواد داخل گوشته[2] زمین بخوبی شناخته شده است ضریب انبساط گرمایی (α)می‌باشد[۲]. گزارشات کاهش شدید (α) با افزایش عمق در مقاله‌ها کاربرد وسیعی در دینامیک زمین پیدا کرده است بطوریکه نوع جریان همرفتی گوشته به شدت تحت تأثیر تغییرات ضریب انبساط گرمایی با عمق است. کاربرد مهم دیگر ضریب انبساط گرمایی در فاز و دمای بالا، در محاسبه دقیق چگالی کانی‌ها در شرایط فشار و دمای گوشته پایینی است که با محاسبه آنها مدلهای ترکیباتی گوشته تعیین می‌شود[۳].

1-*Geology*

2-*Mantle*

فیزیک مواد درون سیارات [1] از جمله زمین بطور دقیق معلوم نمی‌شود ولی تقریباً باترمودینامیک و مکانیک شاره‌ها و با اعمال ویسکوزیته خیلی بالا تا حدی بطور رضایت بخش قابل بررسی می‌باشد[۷].

۱ـ۲) امواج P (اولیه[2]) و S (دومی[3])

موقعی که در یک محیط کشسان آشفتگی ایجاد می‌شود این آشفتگی به سایر نقاط محیط هم منتقل می‌شود که انتشار این نوع آشفتگی در محیط را موج می‌نامند. دستگاههای لرزه‌نگار به هنگام وقوع زلزله، امواجی را در روی کاغذ، فیلم یا نوار مغناطیسی ثبت می‌کنند که به آن لرزه‌نگاشت می‌گویند. امواجی که لرزه‌نگاشت ثبت می‌کند مشابه نیستند، بلکه هر کدام سرعتی ویژهٔ خود دارند و در زمانهای متفاوت به لرزه نگار می‌رسند. نخستین امواجی که دستگاه دریافت می‌کند، امواج طولی[4] P (اولیه) هستند و به امواج صوتی شبیهند و ذراتی را که در مسیرشان قرار می‌گیرد، در جهت حرکت خود به جلو و عقب حرکت می‌دهند (مانند باز و بسته شدن فنر) و دومین امواجی که دستگاه دریافت می‌کند، امواج S (دومین) هستند که به امواج عرضی[5] موسومند که جهت ارتعاش ذرات توسط آن ، عمود بر امتداد انتشار آن است . ضمناً لازم به تذکر است که، امواج P از هر جسمی (جامد و مایع و گاز) و حتی از هوا هم می‌تواند، عبور کند ولی امواج S فقط از جامدات می‌تواند، عبور کند. چگونگی انتشار و انعکاس امواج لرزه‌ای مانند سایر امواج می‌باشد، پس به کمک رفتار امواج S و P می‌توانیم حالت و ساختار مواد درون زمین را تشخیص دهیم.(شکل ۱-۱).

1- *Planets*
2- *Primary*
3- *Secondary*
4- *Longitudinal*
5- *Transverse*

۱-۳) معرفی درون زمین

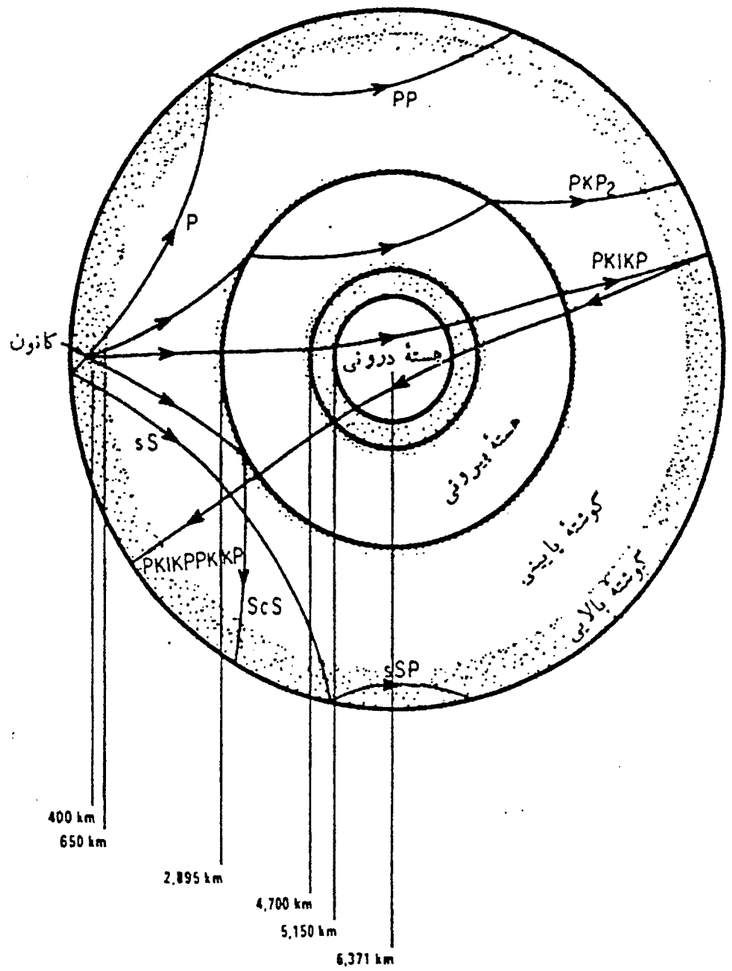
مطالعه درون زمینی بطور مستقیم امکان‌پذیر نیست، چون عمیق‌ترین چاهی کـه تابـه امـروز حفـر شده در حدود ۱۲ کیلومتر عمق دارد، حال آنکه اگر بخواهیم به مرکز زمین برسـیم، بـاید چـاهی بـه عمق تقریبی ۶۴۰۰ کیلومتر حفر کنیم! با این حال راههایی وجود دارد که براسـاس آنـها می‌تـوان تـا حدودی از ساختمان درونی زمین آگاه شد. ژئوفیزیکدانها آتشفشـانها[1] و امـواج لـرزه‌ای را بـه عنـوان وسیله‌ای برای مطالعه درون زمین مورد استفاده قرارمی‌دهنـد. اطلاعـات مـا از درون زمیـن بیشـتر از لرزه‌شناسی[2] حاصل شده است، کلمه لرزه‌شناسی به معنای مطالعـه زمیـن لرزه‌هاسـت، ولـی امـروزه لرزه‌شناسی، مطالعه امواج کشسانی را که اصولاً از زمین لرزه‌ها و انفجارهای مصنوعی ایجاد می‌شوند و نیز بررسی تمام پارامترهایی را که می‌توان از انتشار این امواج استنتاج کرد، در برمی‌گیرد.

بررسی توزیع زمین لرزه‌ها که بیانگر آزاد شدن ناگهانی تنش درون زمین است، می‌تواند اطلاعاتی از ماهیت درون زمین را به ما بدهد. این توزیع به ویژه با توجه به عمق زیر سـطحی کـه ضربـه‌ها در آن اتفاق می‌افتد به هیچ وجه کتره‌ای نیست. هنگامی که زمین لرزه‌ای اتفاق می‌افتد، انواع مختلف امـواج ارتعاشی کشسان هم در درون و هم در روی سطح، انتشـار می‌یـابند، از روی زمـان سـیر ایـن امـواج می‌توان سرعتشان را بصورت تابعی از عمق تعیین کرد، از آنجا که مرزهای درون زمین موجب بازتـاب و شکست امواج می‌شوند، جای این مرزها را می‌توان تعیین کرد. مـاهیت امـواج وارد بـه ایسـتگاههای لرزه‌نگاری را می‌توان برای تعیین ساز و کار چشمه زمین لرزه مورد استفاده قرار داد، که این بـه نوبـه خود ما را با مجموعه تنش ایجاد کننده آن آشنا می‌کند. با اندازه‌گیری سـرعت عبـور امـواج از داخـل سنگها میزان تراکم یا سختی سنگ و بدین ترتیب میزان تراکم مواد درونی زمین تعیین می‌شود. چون ما فقط تعداد زیادی مشاهدات داریم که در آنها همیشه خطاء وجود دارد، بنابراین اطلاعـات در مـورد

1- *Volcanics*

2- *Seismology*

اعماق زمین مقادیر هموار شده یا میانگین هستند و مقدار دقیقی در یک عمق ویژه نمی‌دهند. سرعت امواج (P) و امواج (S) از رابطه‌های (۱-۱) و (۱-۲) حساب می‌شوند.



شکل (۱-۱): علامتهای موجهای لرزه‌ای که به گوشته، هسته یا هسته درونی نفوذ کرده‌اند.

نقطه چین‌ها پیچیدگی احتمالی را در گوشته نشان می‌دهد. [۲۶]

$$V_P = \left(\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۱\text{ـ}۱)$$

$$V_S = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۱\text{ـ}۲)$$

در روابط فوق k مدول کپه‌ای (تراکم ناپذیری) و μ مدول برشی (ضریب الاستیکی) یا ثابت لـم یـا ضریب سختی است، پس سرعت امواج به پارامترهای الاستیکی و چگالی ماده‌ای که مـوج از آن عبـور کند، بستگی دارند. در مورد مدول کپه‌ای در فصل‌های بعد بحث خواهد شد. توجه داشـته باشـید کـه برای مایع‌ها $\mu=0$ است، اما این به آن معنی نیست، که مایع تراکم‌نـاپذیـر اسـت. کـه بـا فـرض $\mu=0$ می‌توان گفت که $V_s=0$ می‌شود، و این هم مطلبی را که در بخش (۱ـ۲) در مورد انتشار مـوج (S) گفته شد تائید می‌کند یعنی تائید می‌کند که امواج از نوع (S) از مایعات عبور نمی‌کنـد ولـی امـواج عرضی با سرعتی معادل $V_P = \left(\frac{k}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$ از مایعات عبور می‌کند. وقتی یک موج الاستیک به مرز میان دو ناحیه با خواص متفاوت می‌رسد، قسمتی منعکس و قسمتی دیگر شکسته می‌شود، که قوانین انکسار و انعکاس آنها شبیه امواج نور می‌باشد و به کمک اینها جای مرزها مشخص می‌شود(شـکل ۱ـ۱). چـهار مرز یا سه ناپیوستگی مهم در زمین وجود دارد یکی در قسمت جدا کننده پوسته از گوشـته اسـت و دومی ناپیوستگی گذار فاز بین دو گوشته در عمق ۶۷۰ کیلومتری می‌باشـد، سـومی در حـدود عمـق ۲۹۰۰ کیلومتری کـه گوشـته و هسـته را از هـم جـدا می‌کنـد و چـهارمی در حـدود عمـق ۵۱۵۰ کیلومتری هسته را به دو قسمت داخلی و خارجی تقسیم می‌کند. [۴]

جدول (۱ـ۱) در زیر تقسیم‌بندی نواحی زمین را بطور دقیق براساس نـاپیوسـتگی‌های مـهم نشـان می‌دهد، و جدول (۱ـ۲) کانی‌های مهم تشکیل دهند پوسته را به همراه چگالی و سرعت امـواج (S) و (P) را در آنها نشان می‌دهد.