دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک گرایش حالت جامد

شبیه سازی انتشار امواج آکوستیک در محیط های ترک دار نامنظم

دانشجو:

مهدی خوشحالی رودپشتی

استاد راهنما:

دکتر حسین حمزه پور

شهریور ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر و قدردانی:

از راهنمایی ها و زحمات بی دریغ استاد ارجمند جناب آقای دکتر حسین حمزه پور که در یادگیری روش تحقیق و پیمودن مسیر این مطالعه مرا یاری نمودند، قدردانی و سپاسگذاری می نمایم و آرزوی سلامتی و سعادت برای ایشان دارم.

تقدیم به:

امام حسین علیه السلام و یاران راستینش

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول: محیط های نامنظم متخلخل و ترک دار

۱-۱ محیط های متخلخل ۷

۱-۱-۱ محیط های متخلخل مصنوعی ۸
۱-۱-۲ محیط های متخلخل زیستی ۱۰
۱-۱-۳ محیط های متخلخل زمین شناختی ۱۰
۱-۱-٤ فراکتال، مقدمه ای بر ساختار های بی نظم ۱۳

۱-۲ محیط های ترک دار ۱۵

۱-۲-۱ شبکه ترک ۱۶

۱-۳ ارتباط محیط های متخلخل و ترک دار با صنعت ۱۶

۱-۳-۱ مخازن زیرزمینی نفت ۱۷
۱-۳-۲ کامپوزیت ها ۱۷
۱-۳-۳ استفاده از صوت به عنوان ابزار در علم پزشکی ۱۹
۱-۳-۴ کاربرد امواج صوتی در علم دریا ۲۱

۱-۴ از سیستم های طبیعی تا مدل های عددی ۲۲

۱-۵ ساختارهای تصادفی ۲۳

فصل دوم: شبیه سازی محیط ترک دار

۲-۱ تولید محیط ترک دار ۲۵

۲-۱-۱ بی بعد سازی کمیت ها ۲۶

۲-۱-۲ شرایط مرزی تناوبی ۲۹

۲-۲ تولید محیط ترک دار ناهمسانگرد..... ۳۲

فصل سوم: معادله ی موج در محیط ترک دار

۳-۱ معادله ی موج ۳۳

۳-۱-۱ بدست آوردن معادله موج از معادله ی نیوتن(محیط یکنواخت) ۳۳
۳-۱-۲ بررسی عبور و بازتاب موج در حدواسط بین دو محیط الاستیک..... ۳۷
۳-۱-۳ بدست آوردن معادله ی موج آکوستیک در محیط بی نظم..... ۳۹

۳-۲جدا سازی معادله ی موج.....۳۹

۳-۲-۱ معرفی روش های عددی متداول ۳۹
۳-۲-۲ جداسازی معادله ی موج..... ۴۱
۳-۲-۳ شرط پایداری جواب ها در انتشار موج آکوستیک..... ۴۷

۳-۳ کمیت های دینامیک محیط..... ۴۷

۳-۴-۱ زبری جبهه ی موج.....۴۷
۳-۴-۲ تابع همبستگی جبهه ی موج.....۵۰
۳-۴-۳ طول همبستگی..... ۵۰

فصل چهارم: رشد سطح

۴-۱ رشد سطح ۵۲

۴-۲لایه نشانی تصادفی ۵۳

۴-۳ لایه نشانی پرتابی..... ۵۷

فصل پنجم: نتایج عددی

۵-۱ مقدمه ۵۹

۵-۲ زبری جبه ی موج..... ۶۰

۵-۳ تابع همبستگی جبهه ی موج..... ۶۶

۵-۴ طول همبستگی..... ۹۶

۵-۵ بررسی اثر نا همسانگردی ۱۰۷

۵-۶ بحث و نتیجه‌گیری ۱۰۹

مراجع ۱۱۲

فصل اول

محیط های نامنظم متخلخل و ترک دار

فصل دوم

شبیه سازی محیط ترک دار

فصل سوم

معادلات موج در محیط ترک دار

فصل چهارم

رشد سطح

فصل پنجم

نتایج عددی

مراجع

مقدمه

مطالعه ی مساله ی انتشار موج [۱] و بررسی ارتباط بین خواص دینامیک محیط های ترک دار[۲] وخواص استاتیک این محیط ها، بواسطه اهمیت نظری و صنعتی آن ها از جمله منابع زیر زمینی نفت، مورد توجه طیف وسیعی از محققان قرار گرفته است. می توان مراجع متعددی را ذکر کرد که دانشی که در مورد این موضوع در طول سال ها، انباشته شده است را خلاصه کرده اند [1-4]. در این بخش ابتدا مقدمه ای در رابطه با نحوه ی شبیه سازی محیط های ترک دار و مدل هایی که تا کنون به صورت کاربردی بررسی شده اند و در مقالات گوناگون مورد بررسی قرار گرفته اند، بیان می شود. سپس به مقدمه ای بر کارهای علمی که به بررسی جبهه ی سطوح رشد صورت گرفته پرداخته می شود. در انتها چند نمونه ازکارهایی که به انتشار موج در محیط و بررسی دامنه و جبهه ی موج تا کنون پرداخته اند بیان می شود.

در مطالعات اولیه محیط های ترک دار سه بعدی با مدل مویین[۳]، جایگزین شده است و در آن تقاطع ترک ها با کانالی که مرکز آنها را به هم وصل می کند، شبیه سازی می شود. این کانال دارای خواص سیالی مشخص می باشد که از استدلال های ساده هندسی نتیجه می شود [5-7]. مدل های لوله های مویین دو نقص اصلی دارند؛ اول اینکه، نسبت دادن ضریب هدایت به یک اتصال، تا حدی اختیاری است و این فرض که سیال از یک مرکز به مرکز دیگر شارش می یابد، غیر واقعی است. دوم اینکه تنها تقاطع های حاصل از دو ترک، به حساب می آیند.

در روش دیگر شبکه دو بعدی[۴] روی ترک ها ساخته می شود[8-9]. تعداد خیلی کمی از مدل ها یک توصیف سه بعدی کامل را از هر دوی ترک ها و ماتریس ارائه می دهند. گرنت[۵] [10]، ماتریس و ترک ها

[1] Wave propagation
[2] Fracture networks
[3] Capillary model
[4] Two-dimensional mesh
[5] Granet

را شبکه بندی می کند اما شبکه بندی فقط در دو بعد است، بوگدانوف[1] [11]، توصیف سه بعدی دقیق تری را از محیط ارائه می دهد.

اولین بررسی محیط ترک دار دو بعدی از خطوط، مطالعه پایک[2] و سیگر[3][12] است که مطالعه ای در مورد پرکولاسیون به روش مونت کارلو[4] ست. آن‌ها حالت همسانگرد توزیع تصادفی خطوط را در نظر گرفته اند و بررسی آن‌ها فقط در مورد آستانه پرکولاسیون[5] محیط است. بالبرگ[6][13]، آستانه پرکولاسیون را به همان روش در مورد حالت ناهمسانگرد که بوسیله جهت گیری تصادفی حول یک محور خاص تشکیل شده است، را بررسی کرده است. طول خطوط به صورت نرمال یا نرمال لگاریتمی[7] توزیع و پهنای آن ها صفر فرض شده است. استفاده از نوعی محیط های ترک دار در صنعت آلیاژ توسط استوجا مطرح شد[14] . استوجا وهمکارانش یک مدل ترک دار با جهت گیری و توزیع تصادفی پیشنهاد کردند . البته این ترک ها که با هندسه ی شبه بیضی گون ساخته می شدند در صنعت آلیاژ کار برد های متعدد دارند. در این محیط ها فرض شده است که کلاستر ها همدیگر را قطع نمی کنند.

در کنار کارهای متعددی که در بررسی جبهه ی سطوح رشد یافته، آزمایشات ساده ای نیز وجود دارد که به درک مساله های مختلف کمک بسزایی می کنند . با بررسی یک آزمایش ساده و مشاهده ی نحوه ی گسترش مایعی رنگ دار مانند قهوه بر روی یک صفحه ی متخلخل مانند پارچه یا کاغذ و اندازه گیری خواص جبهه ی شاره ی عبوری می توان اطلاعاتی به دست آورد که در بررسی نحوه ی شارش نفت در میادین نفتی می تواند دارای اهمیت باشد[15]. آزمایش متعارف دیگر بررسی نحوه ی انتشار شعله بر سطح بافت متخلخل کاغذ[16] وبررسی نحوه ی رشد دانه های برف بر روی شیشه ی پنجره آزمایش

[1] Bogdanov
[2] Pike
[3] Seagar
[4] Monte Carlo
[5] Percolation threshold
[6] Balberg
[7] Log-normal

دیگری است که به بررسی نحوه ی رشد سطوح که معمولا با STMویاTEM صورت می گیرد کمک می نماید[17-20]. در بررسی همه ی مسائل گوناگون(پخش و انتشار و ترابرد و رشد) تلاش می شود که به یک سوال اساسی پاسخ داده شود، مکانیزم فرایند زبر شدن چیست وچگونه می تواند به پارامتر های مختلف موجود در مسئله مربوط گردد؟ در واقع چگونه می توان نحوه ی زبر شدن را به پارامتر ها ی فیزیکی مرتبط با مساله مربوط کرد؟ مقالات بسیاری وجود دارند که به بررسی این سوال اساسی می پردازند[21-29].

باراباسی[1] در کتاب خود [30] روش های مختلف شبیه سازی رشد سطوح را توضیح می دهد. از آنجایی که در فرایند های رشد سطوح از فرایند های تصادفی در ابعاد مختلف استفاده می شود و از طرفی چون در طی فرایند لایه نشانی جبهه ی سطوح مورد بررسی قرار می گیرد مطالعه ی نتایج تجربی و شبیه سازی بدست آمده از روش های مختلف رشد سطح از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود. تاکنون روابط ریاضی بسیاری برای رشد سطح مطرح شده است، یکی از مهمترین روابطی که در زمینه ی رشد سطح کاربرد دارد رابطه ها ی معروفEW[2] [31] (با فرض خطی بودن به معادله ی رشد سطح پرداخته است) و KPZ[3] [32] (جمله مربوط به فرض غیر خطی بودن را در معادله ی رشد وارد کرده است)می باشد . این این رابطه ها در ابعاد مختلف بررسی شده ودر مقالات بسیاری درستی آنها مورد تایید واقع شده است. انتشار جبهه ی موج در محیط های همگن وپیوسته اولین بار با مطرح شدن تئوری الاستیسیته مطرح شد[33] افراد مختلفی به بررسی انتشار موج در محیط های مختلف پرداختند، انتشار جبهه ی موج در شبکه های خاص نیز توسط فتر[4] و والکا[5] [34] مطرح گردید. در مدل های مطرح شده به دلیل

[1] Barabasi
[2] Edwards- Wilkinson
[3] Kardar-Parisi-zhang
[4] Fetter
[5] Walecka

پیچیدگی زیاد در حل مساله بی نظمی هایی چون میکروترک ها در نظر گرفته نشدند. آستورم [1] با استفاده از مدل خاصی از فنر ها به بررسی جبهه ی موج در محیط رندوم معمولی پرداخت[35] او در پاسخ به این سوال اساسی که آیا زبر شدن موج نیز مانند رشد سطح از یک کلاس جهانی معمول تبعیت می کند یا نه، به تحقیق پرداخت. واعظ و سهیمی[36] نشان دادند با انتشار امواج آکوستیک در محیط های همبسته ی آماری (سهیمی و تاجر[37] با تحقیق بر روی ذخایر نفتی نشان دادند که ساختار ذخایر نفتی از تابع توزیع همبسته ی آماری FBM[2] تبعیت می کنند) جبهه ی موج [3] می تواند خواص محیطی که درآن منتشر می شود را بازگو نماید. واعظ و سهیمی با سه مدل مختلف نشان دادند جبهه ی موج خاصیت همبسته بودن توزیع آماری FBM محیط را احساس می کند. لاستوس[4] به بررسی تاثیر توزیع ترک های محیط و طول ترک بر روی دامنه ی موج انتشاری پرداخت[38]. در حالت کلی هدف از حل مساله های گوناگون از جمله شارش سیال ، انتشار موج ، مساله ی پخش در محیط های بی نظم بررسی خواص ماکروسکوپی ویا دینامیک محیط برحسب خواص هندسی واستاتیک محیط می باشد.

در این پایان نامه محیط های دو بعدی را که از ترک های مستطیل شکل (دارای پهنا)، با توزیع یکنواخت و طول ثابت تشکیل شده اند ، شبیه سازی کرده ایم. هدف ما بررسی رفتار خواص دینامیک اینگونه محیط ها به صورت تابعی از ساختار ریز هندسی تشکیل دهنده آن‌ها می باشد. با استفاده از گسسته سازی کل محیط به همراه ترک ها به شبکه مربعی و روش تفاضل محدود[5]، معادلات موج در این محیط حل شده اند و تابعیت جبهه ی موج بدست آمده و بستگی آن به کمیت های فیزیکی چگالی ترک ها، پهنای ترک و تاثیر اندازه ی محیط بررسی شده است. و به این سوال اساسی که آیا زبر شدن موج نیزمی تواند مانند رشد سطح از یک کلاس جهانی معمول تبعیت می کند یا نه پاسخ داده شد.

[1] Asturm
[2] Fraction Brownian motion
[3] Wave front
[4] Vlastos
[5] Finite volume method

با توجه به اینکه در موارد آزمایشگاهی محیط های ترک دار بصورت برش هایی دو بعدی قابل مشاهده هستند و یا حتی در مواردی می توان از اثرات بعد سوم چشم‌پوشی کرد، مطالعات دو بعدی اهمیت پیدا می کنند. علاوه بر موارد قبلی از دیگر اهداف این مطالعه بدست آوردن روابط فیزیکی در حالت دو بعدی برای استفاده در ایجاد ارتباط بین نتایج دو بعدی و سه بعدی در کارهای آینده خواهد بود. به عبارت دیگر با بررسی خواص محیط های دو بعدی و بررسی شباهت ها و تفاوت های آن با محیط های شبیه سازی شده سه بعدی، می توان به مسئله اصلی یعنی شبیه سازی کامل یک محیط طبیعی نزدیکتر شد. به این معنا که اگر مدلی دقیق برای شبیه سازی سنگ های حامل نفت در مخازن نفتی ایجاد شود، با نمونه گیری از مخازن نفتی می توان با توجه به خواص نمونه، اطلاعات نسبتا دقیقی از خواص منابع زیر زمینی نفت بدست آورد [39].

ساختار این پایان نامه به صورت زیر طبقه بندی شده است:

فصل اول به معرفی و تشریح محیط های متخلخل و ترک دار اختصاص یافته است، و کمیت های فیزیکی مهم از محیط ترک دار تشریح می شودو کاربردهایی از این محیط ها و انتشار موج در صنعت به اختصار بیان می شود.

در فصل دوم شبیه سازی محیط ترک دار و گسسته کردن آن انجام می شود. کمیت هایی همچون چگالی بی بعد شده[1] وضخامت بی بعد شده ترک ها معرفی می شوند و نمونه هایی از محیط های شبیه سازی شده با ابعاد ترک و چگالی مشخص ارائه می شود.

در فصل سوم به بررسی مسئله انتشار موج می پردازیم، دراین فصل معادله ی موج با استفاده از معادله ی نیوتن برای محیط های یکنواخت ورندوم به دست می آید و عبور و بازتاب موج از مرز ها تحلیل می شود معادله ی موج آکوستیک در محیط های شبیه سازی شده با استفاده از روش متداول تفاضل

[1] Dimensionless density

محدود[1] حل می شوند و ضمن بررسی شرط پایداری دراین فصل زبری جبهه ی موج ، تابع همبستگی، وطول همبستگی تعریف می شوند. و در فصل چهار پس از معرفی اجمالی مساله ی رشد سطح در یک بعد که معادل با انتشار موج در دو بعد می باشد به بررسی مساله رشد سطح می پردازیم و در فصل پنجم به ارائه نتایج حاصل از محاسبات عددی اختصاص یافته است، نتایج مربوط به زبری جبهه ی موج و تابع همبستگی جبهه ی موج و طول همبستگی که از حل معادله ی موج برای تعدادی نمونه بدست آمده بررسی می شود. تاثیر هندسه ی محیط و اندازه ی محیط واثر فیزیکی ناهمسانگردی تحلیل می گردد. در پایان نتایج بدست آمده با نتایج تجربی افراد دیگر مقایسه می شود وبه ارتباط بین این نتایج ونتایج حاصل از مساله ی کاربردی رشد سطح به عنوان مساله ای معادل ، پرداخته می شود.

[1] Finite difference

چکیده

محیط های ترک دار به عنوان زیر مجموعه ای از محیط های متخلخل از زمان استخراج و اکتشاف منابع نفتی، توجه فراوانی را به سمت خود جلب کرده اند. بررسی ارتباط بین خواص دینامیک محیط های متخلخل وخواص استاتیک آن در چند دهه ی اخیر توسط دانشمندان در حوزه های مختلف علوم ومهندسی صورت گرفته است. این مطالعات علاوه بر اکتشاف ذخایر هیدروکربنی کاربرد های فراوانی در زمین شناسی، اقیانوس شناسی، علوم پزشکی، وعلم مواد دارد. در این پایان نامه شبکه های ترک دوبعدی نامنظم شبیه سازی و تولید شده‌اند. ترک ها به صورت مستطیل هایی با طول ثابت هستند که جهت گیری و مکان مرکز آن‌ها به طور تصادفی و با تابع توزیع یکنواخت توزیع شده اند. با حل معادله ی موج آکوستیک در این محیط‌های ترک‌دار و بررسی جبهه ی موج انتشاری دراین محیط ها ، زبری جبهه ی موج وتابع همبستگی جبهه ی موج به صورت تابعی از خواص هندسی محیط مانند چگالی تعداد و ضخامت ترک ها و زمان انتشار موج بررسی شده اند. نتایج بدست آمده وجود یک رابطه ی نمایی بین برخی از این کمیت ها را نشان می دهد. تابعیت طول همبستگی با زمان برای چگالی تعداد ترک های مختلف وضخامت ترک متفاوت بدست آمده است. نتایج حاصل از این شبیه سازی با نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها ی دیگر وکار های تجربی مرتبط بررسی شده است.

کلمات کلیدی: انتشار موج آکوستیک، محیط ترک دار، معادله موج، زبری جبهه ی موج، تابع همبستگی، طول همبستگی ، شبیه سازی