

مقدمه‌ای بر مدل‌سازی جریان آب

زیرزمینی

روش‌های اجزاء محدود، ایزوژئومتریک و بدون شبکه

تصنیف:

ابو فضل اکبرپور

دانشیار گروه عمران دانشگاه بیرجند

علی محتشمی

دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - دانشگاه بیرجند

مهديه کلانتری

دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - دانشگاه بیرجند

ویراستار ادبی:

دکتر مهدی ملازاده



مقدمه ای بر مدل سازی جریان آب زیرزمینی روش های اجزاء محدود، ایزوژئومتریک و بدون شبکه

سرشناسه: اکبرپور، ابوالفضل، ۱۳۴۹-

عنوان و نام پدیدآور: مقدمه ای بر مدل سازی جریان آب زیرزمینی (روشهای اجزاء محدود، ایزوژئومتریک و بدون شبکه)/

تصنیف ابوالفضل اکبرپور، علی محتشمی، مهدیه کلاتری؛ ویراستار ادبی مهدی ملازاده.

مشخصات سر: ب.بند: دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۸.

مشخصات ظاهری: ۲۰۶ ص.

شابک: ۹۷۸-۶۰۲-۸۲۱۲-۴

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

موضوع: جریان آب زیرزمینی - مدل سازی ریاضی

موضوع: Groundwater flow - Mathematical models

شناسه افزوده: کلاتری، مهدیه، ۱۳۷۰-

شناسه افزوده: محتشمی، علی، ۱۳۷۱-

شناسه افزوده: دانشگاه بیرجند

رده بندی کنگره: TC۱۷۶

رده بندی دیویی: ۵۵۱/۴۹۰۷۲۴

شماره کتابشناسی ملی: ۵۹۹۹۵۶۹

خرید اینترنتی این اثر در سایت: www.fekraonline.com

ناشر: دانشگاه بیرجند

تیراژ: ۵۰۰ جلد

چاپ اول: زمستان ۱۳۹۸

امور فنی: انتشارات فکربر

صفحه آرایشی: فائزه دستگردی

طراح جلد: نفیسه شکرانی

لیتوگرافی و چاپ: واصف

قیمت: ۴۵۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۲-۶۵۸۲-۱۲-۴

فهرست مطالب

فصل اول: معادلات آب زیرزمینی

۱۹.....	۱-۱- مقدمه
۲۰.....	۲-۱- قانون داریسی
۲۳.....	۳-۱- معادله پیوستگی برای جریان دائمی
۲۵.....	۴-۱- رژیم جریان دائمی
۲۵.....	۴-۱- آبخوان محصور- معادله لاپلاس
۲۷.....	۴-۲- معادله پواسون
۲۹.....	۵-۱- آبخوان آزاد با شرایط دویونی (رژیم جریان دائمی)
۳۱.....	۶-۱- رژیم جریان غیر دائمی
۳۱.....	۶-۱-۱- آبخوان ماص
۳۲.....	۶-۲- آبخوان آزاد با شرایط دویونی (رژیم جریان غیر دائمی)

فصل دوم: کاربرد روش اجزاء محدود در آب زیرزمینی (جریان دائمی و غیر دائمی)

۳۵.....	۲-۱- مقدمه
۳۶.....	۲-۲- روش گالرکین
۳۸.....	۲-۳- انتگرال جزء به جزء
۳۹.....	۲-۴- جزء مثلثی
۴۰.....	۲-۵- شبکه اجزاء محدود
۴۱.....	۲-۶- جزء نمونه
۴۴.....	۲-۷- مجموعه ای از جزءها
۴۴.....	۲-۸- جمع ماتریسهای سختی
۴۶.....	۲-۹- ماتریس سختی جزء
۴۸.....	۲-۱۰- ماتریس سختی کل
۵۰.....	۲-۱۰-۱- شرایط مرزی
۵۳.....	۲-۱۱- معادله پواسون
۵۵.....	۲-۱۲- اجزاء محدود در جریان غیر دائمی
۵۶.....	۲-۱۳- روش گالرکین در جریان غیر دائمی
۵۶.....	۲-۱۴- روش آزمونی
۵۷.....	۲-۱۵- باقیمانده وزنی

۵۷.....	۲-۱۶-انتگرال جزء به جزء
۵۷.....	۲-۱۷-جزء مستطیلی
۶۱.....	۲-۱۸-مختصات موضعی و کلی
۶۱.....	۲-۱۹-جمع جزء ها
۶۱.....	۲-۲۰-مجموعه معادله های دیفرانسیل ماتریس
۶۲.....	۲-۲۱-ماتریس های جزئی
۶۴.....	۲-۲۲-چهارضلعی گوسین
۶۵.....	۲-۲۳-ماتریس های کلی
۶۶.....	۲-۲۴-شماره های
۶۸.....	۲-۲۵-الگوریتم مدل سازی محاسبه ارتفاع سطح آب زیرزمینی به روش اجزاء محدود

فصل سوم: روش ایزو ترمتریک

۸۵.....	۳-۱-مقدمه
۸۷.....	۳-۲-بی اسپلاین
۸۷.....	۳-۲-۱-بردارهای گرهی
۸۹.....	۳-۲-۲-توابع پایه
۹۲.....	۳-۲-۳-مشتقات توابع پایه بی اسپلاین
۹۴.....	۳-۲-۴-منحنی های بی اسپلاین
۹۸.....	۳-۲-۵-سطوح بی اسپلاین
۱۰۱.....	۳-۲-۶-بی اسپلاین حجمی
۱۰۲.....	۳-۲-۷-نرئز (بی اسپلاین غیریکنواخت نسبتی)
۱۰۲.....	۳-۲-۸-دیدگاه جبری
۱۰۴.....	۳-۲-۹-مشتقات توابع پایه نرئز
۱۰۵.....	۳-۲-۱۰-روش افزودن گره
۱۰۶.....	۳-۱۱-تعریف متغیرها در جریان دو بعدی
۱۰۹.....	۳-۱۲-حالت جریان دائمی
۱۰۹.....	۳-۱۲-۱-جریان دائمی در آبخوان محصور
۱۱۱.....	۳-۱۲-۲-الگوریتم مدل سازی در آبخوان محصور به روش ایزو ترمتریک
۱۲۸.....	۳-۱۲-۳-جریان دائمی در آبخوان آزاد
۱۳۱.....	۳-۱۳-حالت جریان غیر دائمی

فصل چهارم: روش بدون شبکه

۱۳۵.....	۴-۱-مقدمه
۱۳۶.....	۴-۲-طبقه بندی روش های بدون شبکه

۱۳۶	۲-۲-۱- طبقه بندی بر اساس فرایندهای فرمول بندی
۱۳۷	۲-۲-۲- طبقه بندی بر اساس نوع تابع تقریب
۱۳۸	۲-۲-۳- طبقه بندی بر اساس نمایش دامنه
۱۴۱	۳-۴- روش بدون شبکه پتروو-گالرکین
۱۴۳	۴-۴- تابع حداقل مربعات متحرک
۱۵۰	۵-۴- انتخاب تابع وزن
۱۵۱	۶-۴- ویژگی های تابع شکل حداقل مربعات متحرک
۱۵۱	۶-۴-۱- پیوستگی
۱۵۲	۶-۴-۲- باز تولید
۱۵۳	۶-۴-۳- پیکربندی واحد
۱۵۳	۶-۴-۴- عدم انشاء خاصیت دلتای کرونگر
۱۵۳	۶-۴-۵- مال شده مرزی ضروری (دیریچله)
۱۵۴	۶-۴-۶- تابع ریمه بنایی
۱۵۴	۷-۴- گسسته سازی مادلار آب زمینی به روش بدون شبکه
۱۵۴	۷-۴-۱- الگوریتم مدل ساز در حالت دائم
۱۵۶	۷-۴-۲- الگوریتم مدل سازی در حالت غیردائم
۱۵۶	۸-۴- آبخوان محصور در حالت دائم
۱۵۹	مثال ۱
۱۶۶	مثال ۲
۱۷۳	۹-۴- آبخوان آزاد حالت دائم
۱۷۵	مثال ۳
۱۸۱	۱۰-۴- آبخوان محصور در حالت غیردائم
۱۸۵	۱۱-۴- آبخوان آزاد حالت غیردائم

فصل پنجم: مثال کاربردی آبخوان آزاد بیرجند

۱۹۱	۱-۵- مقدمه
۱۹۲	۲-۵- خصوصیات هیدرولیکی آبخوان
۱۹۲	۲-۵-۱- آبدهی ویژه
۱۹۳	۲-۵-۲- هدایت هیدرولیکی
۱۹۳	۳-۵- چاه های مشاهده ای موجود در منطقه
۱۹۴	۴-۵- مدل سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان بیرجند به روش بدون شبکه پتروو گالرکین

- ۵-۵-۵-۵ برداشت ۱۹۵
- ۵-۶-۵ مدل سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان بیرجند به روش ایزوژئومتریک ۱۹۷
- ۵-۷-۵ ارزیابی عملکرد مدل در حالت دائم و غیر دائم ۲۰۰

۲۰۳

مراجع

www.ketab.ir

پیشگفتار:

آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی و کلیدی آب شرب در جهان به شمار آمده، برای ادامه حیات بشر بسیار ضروری است. بنابراین استفاده پایدار از این منابع به معنای برداشت محدود از آنها است. منابع آب زیرزمینی به صورت مستقیم و غیرمستقیم از آب‌های سطحی و بارندگی تغذیه می‌شوند. در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای جهان برداشت آب از منابع زیرزمینی از میزان تغذیه سالیانه آنها بیشتر شده است و این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که در طول هزاران سال در لایه‌های آبدار زمین ذخیره شده است. یکی از مشکلات پیش‌رو، عدم مدیریت صحیح در این زمینه می‌باشد. از این‌رو، مطالعات آب‌های زیرزمینی، نیازمند است. یکی از مهم‌ترین مطالعات برای مدیریت و پیش‌بینی-های مورد نیاز، مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی است. مدل ریاضی یک سیستم جریان آب زیرزمینی، شبیه‌سازی طبیعی آبخوان با استفاده از مجموعه روابط ریاضی می‌باشد. در صورتی که بتوان شبیه‌سازی یک آبخوان انجام داد و آن را با شرایط طبیعی تطبیق داد، به سادگی می‌توان با تغییر در محل و مدت زمان برداشت به بررسی اثرات بهره‌برداری از سفره پرداخت. یک مدل جریان آب زیرزمینی در واقع شکل ساده‌شده‌ای از یک سیستم واقعی جریان آب‌های زیرزمینی هست که بطور تقریبی همبستگی بین عمل و عکس‌العمل هیدرودینامیکی را در یک سیستم ارائه می‌کند. تنظیم و بررسی مدل این امکان را می‌دهد که با استفاده از کلیه داده‌ها و اطلاعات پایه‌ای که در مطالعات هیدروئیدی، هیدراسی، ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و آب‌های زیرزمینی بدست آمده‌اند یک مجموعه همخوان و مرتبط از مشخصات سیستم را طوری تعیین کرد که با قوانین حاکم بر جریان و اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در محیط طبیعی، تطابق لازم را داشته باشد.

مدل‌های ریاضی آب زیرزمینی از حدود سال ۱۸۰۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفته است. مدل ریاضی مشتمل بر مجموعه‌ای از معادله‌های دیفرانسیلی می‌باشد که رفتار جریان

را نشان می‌دهد. قطعیت پیش‌بینی‌های انجام شده بر اساس مدل‌های آب زیرزمینی در ارتباط با این مسأله است که مدل تا چه حد بتواند شرایط واقعی را تخمین بزند.

مدل‌های آب زیرزمینی با حل معادلات مربوط به آبخوان‌ها، جریان آب زیرزمینی را مدل‌سازی می‌کنند. حل این معادلات با استفاده از روش‌های تحلیلی تنها به موارد بسیار ساده با هندسه ساده و با کاربردهای عموماً آموزشی محدود است. بنابراین استفاده از روش‌های تحلیلی برای مسائل پیچیده با هندسه نامنظم کاربرد چندانی ندارد و صرفاً جهت مقایسه و بررسی نتایج عددی به منظور صحت سنجی روش و کنترل به کار گرفته می‌شوند. به منظور مدل‌سازی باید معادلات دیفرانسیل حاکم بر این سیستم را حل نمود. ترجیح آن است که این معادلات به صورت تحلیلی دقیق حل شوند اما متأسفانه، تنها بخش کوچکی از مسائل ساده را می‌توان به صورت دقیق حل نمود. اکثر مسائل کاربردی پیچیده هستند و به ناچار بایستی روش‌های حل عددی را برای محاسبه جواب‌ها استفاده نمود. روش‌های عددی را باید بخشی از ریاضیات مهندسی دانست که در آن حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر پدیده‌های فیزیکی از طریق استفاده از انواع مختلفی از تقریب‌های ریاضی به حل دستگاه معادلات جبری غیرخطی یا خطی تبدیل می‌شود. مهم‌ترین مزایای روش‌های عددی در مقایسه با سایر روش‌ها را باید در توانایی مدل‌سازی در زمان کوتاه، هزینه کم و همچنین قابلیت کاربرد آن برای مسائل متنوع دانست. ضمن این‌که استفاده از روش‌های عددی امکان تحلیل دقیق مسائل پیچیده‌ای که تحلیل آن‌ها از طریق روش‌های معمول همچون روش‌های تحلیلی یا تجربی، در دسترس نیست را به وجود می‌آورد. هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی است که کارایی آن‌ها را به مسائل خاصی محدود می‌کند. با این‌که فعلاً روش اجزاء محدود در مجموع از قابلیت بیشتری و در نتیجه حوزه گسترده‌تری نسبت به سایر روش‌های عددی مورد اشاره برخوردار است ولی تا کنون روشی که در تمامی زمینه‌های مهندسی و علوم برتری قاطعی نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد ابداع نشده است. در روش‌های عددی، معادلات حاکم بر مسئله به شکل گسسته ساده ریاضی تبدیل می‌شود و با حل این معادلات گسسته می‌توان مجهولات را محاسبه نمود. در اغلب موارد در صورتی که روش عددی

مناسبتی برای حل یک مسئله پیچیده استفاده شود، یافتن حل تقریبی عددی برای این مسئله پیچیده واقعی با یک دقت قابل قبولی ممکن می‌شود. بنابراین امروزه ضرورت دارد که مهندسين و محققين برای حل مسائل مورد نظرشان به فنون حل عددی آگاه باشند.

با توجه به پیشرفت سریع سخت افزارها و فن‌آوری‌های شبیه سازی رایانه‌ای، این روش‌ها به طور فزاینده‌ای به ابزارهای کارآمدی برای حل مسائل مهم و کاربردی در مهندسی و علوم تبدیل شده‌اند. از جمله مهم ترین روش‌های عددی می‌توان به روش‌های تفاضل محدود^۱، المان (اجزاء) محدود^۲، المان مرزی^۳ و دسته روش‌های مرسوم به روش‌های بدون شبکه^۴ اشاره نمود. این روش‌ها هر یک در پی دیگری آمده و بدنبال ایجاد کارایی، دقت، سرعت بالا^۵ و ایجاد امکاناتی جدیدتر برای حل مسائل و رفع مشکلات قبلی بوده‌اند. در این میان، روش المان محدود یکی از معروف‌ترین، پرکاربردترین و انعطاف پذیرترین روش‌های عددی به شمار می‌رود. سه مکانیک بودن روش اجزای محدود در یافتن توابع تقریب زننده، قابلیت تبدیل به الگوریتم‌ها و د‌های کامپیوتری و پیشرفت سریع کامپیوترها، از علل فراگیر شدن استفاده از این روش بوده‌است. این روش که در دهه ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ شکل گرفته‌است، در طی سالیان گذشته توسط شemندان مکانیک محاسباتی در تحلیل بسیاری از مسائل مهندسی به کار گرفته شده‌است و بر اساس آن نرم افزارهای تجاری فراوانی نوشته شده‌است که در بسیاری از پروژه‌های بزرگ صنعتی به کار گرفته می‌شوند.

این کتاب مقدمه‌ای بنیادی، کاربردی را برای استفاده از روش‌های اجزاء محدود، ایزوژئومتریک و بدون شبکه ارائه می‌نماید. هدف ما این است که مطالب این کتاب کاربران را قادر به حل کامپیوتری مسائل آب زیرزمینی نماید.

کلیه مطالب این کتاب، از دیدگاهی ارائه گردیده‌اند که مفهوم کاملی از کلیه مراحل برنامه

¹ Finite Difference Method (FDM)

² Finite Element Method (FEM)

³ Boundary Element Method (BEM)

⁴ Meshfree Methods

نویسی‌های الگویی، که در متن ادغام شده‌اند، ارائه گردد. برنامه نویسی‌ها نیز به زبان متلب نوشته شده‌اند. برای نمونه برنامه نویسی‌های متعددی در قسمت‌های مختلف کتاب ارائه گردیده است تا روش‌ها و فرضیات به کار رفته به خوبی نشان داده شود.

کتاب شامل پنج فصل می‌باشد. در فصل اول مروری بر اصول جریان آب زیرزمینی و معرفی معادلات آب‌های زیرزمینی ارائه شده است. در فصل دوم مقدمه‌ای بر مبانی استفاده از روش‌های اجزاء محدود در مورد آبهای زیرزمینی با در نظر گرفتن رژیم جریان دائمی و غیردائمی ارائه گردیده است. این روش به منظور نشان دادن دقت زیاد محاسباتی در به کارگیری روش‌های عددی انتخاب شده است. زمانی که اطمینان و اعتماد کافی و لازم در مورد روش‌های عددی به قرار گردید، می‌توان روش‌های مذکور را در مواردی که در آن استفاده از روش‌های تحلیلی انجام پذیر نیست، نیز به کار برد.

در فصل سوم روش ایزوثرم و فیزیک، ای حل مسائل جریان دائمی و غیر دائمی بررسی شده است. فصل چهارم به روش بدون شبکه با در نظر گرفتن رژیم جریان دائمی و غیر دائمی پرداخته است و مقایسه این روش با روش قبل نیز در فصل پنجم برای آبخوان آزاد بیرجند ارائه شده است.

مطالب اصلی کتاب با پیشرفت فصل‌های مختلف بتدریج تکمیل می‌گردد. کاربران این کتاب باید زمان زیادتری را برای فهم مطالب فصل‌های سوم و چهارم در مقایسه با مطالب فصل اول تا دوم صرف نمایند. این کتاب می‌تواند برای کسانی که نیاز به مطالب پیشرفته‌ای در مورد مدل‌سازی عددی سیستم‌های آب زیرزمینی دارند و همچنین برای کسانی که علاقه‌مند به درک مطالبی بنیادی در زمینه‌های منابع آب و مخصوصاً ایده‌های مدل‌سازی می‌باشند، مورد استفاده قرارگیرد. آشنایی با ریاضی، فیزیک، برنامه نویسی به زبان متلب و مقدماتی از اصول کار با ماتریس‌ها، پیش‌نیازهای استفاده از این کتاب می‌باشند.

همچنین این کتاب می‌تواند، به عنوان متن درسی در رشته‌های مهندسی عمران، مهندسی آب، آب زیرزمینی و سایر رشته‌های مرتبط در سطح فوق لیسانس و دکتری مورد استفاده قرار گیرد. مهندسين و کارشناسان مرتبط با این زمینه، مخصوصاً اگر دسترسی به کامپیوتر

داشته باشند، این کتاب را متنی با ارزش یافته و می‌توانند از آن استفاده نمایند.
از دانشجویانی که پیش نویس‌های اصلی را مورد بررسی قرار دادند، نیز سپاسگزاری می
شود.

ابوالفضل اکبرپور

بهار ۱۳۹۷

www.ketab.ir