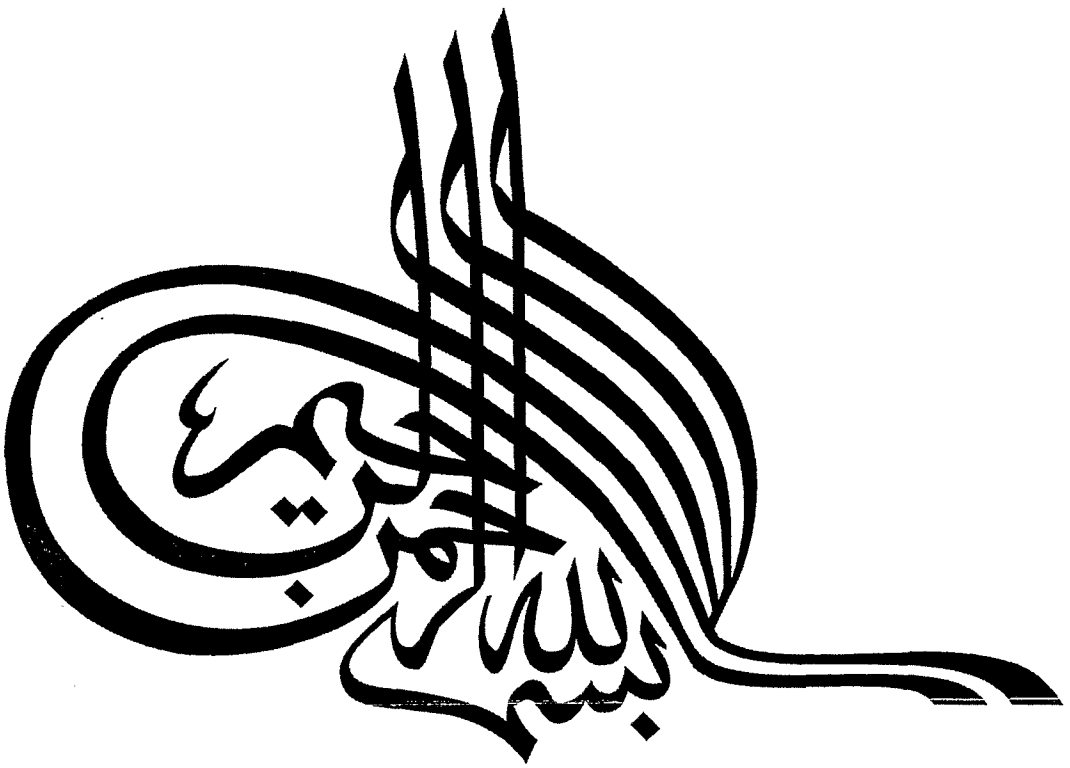

٤٨٨٠٤

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

تعیین مدل ریاضی جریان آب زیرزمینی دشت کرون به روشهای عددی در رژیم‌های پایدار و گذرا

پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

سعید چراغی

اساتید راهنما

دکتر حمید هاشم‌الحسینی - دکتر نادر فتحیان‌پور

ع. ۸۸۴

۱۳۸۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف معدن آقای سعید چراغی

تحت عنوان

تعیین مدل ریاضی جریان آب زیرزمینی دشت کرون به روشهای عددی در رژیم‌های پایدار و گذرا

در تاریخ ۱۳۸۱/۸/٤ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای اول پایان‌نامه	دکتر حمید هاشم‌الحسینی
۲- استاد راهنمای دوم پایان‌نامه	دکتر نادر فتحیان‌پور
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر فیروز صدقیانی اول
٤- استاد داور	دکتر مهدی زمانی
٥- استاد داور	دکتر کیوان اصغری
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر نادر فتحیان‌پور

کلیه حقوق مادی متربت بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است

تقدیم به پدر، مادر

خواهر و برادران عزیزم

به پاس محبتی که به من داشته‌اند

فهرست مطالب

عنـــوان	صفحـــه
فهرست	هفت
چکیده	۱
فصل اول: مقدمه و اهداف پایان‌نامه	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- اهداف پایان‌نامه	٤
فصل دوم: معادلات اساسی و روش‌های حل عددی جریان آب زیرزمینی	
۲-۱- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار تحت فشار در جریان پایدار	٦
۲-۲- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار تحت فشار در حالت جریان ناپایدار	۹
۲-۳- فرضیات دوپوئی و فورشهایمر در لایه‌های آبدار آزاد	۱۳
۲-٤- معادله عمومی جریان آب زیرزمینی در لایه آبدار آزاد در حالت جریان پایدار	۱۵
۲-۵- معرفی شرایط مرزی در روش‌های حل عددی	۱۷
۲-٦- حل عددی به روش تفاضل محدود	۱۸
۲-۷- حل عددی معادله جریان پایدار در لایه آبدار تحت فشار به روش تفاضل‌های محدود	۱۹
۲-۸- استفاده از روش‌های تکرار در حل عددی معادلات تفاضل‌های محدود	۲۰
۲-۸-۱- روش تکرار گوس – سیدل	۲۲
۲-۸-۲- روش تکرار (SOR)	۲۲
۲-۹- حل عددی معادله آب زیرزمینی با جریان پایدار در لایه تحت فشار تغذیه شونده به روش تفاضل‌های محدود	۲۳
۲-۱۰- حل عددی معادله آب زیرزمینی با جریان پایدار در لایه آبدار آزاد به روش تفاضل‌های محدود	۲۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۱۱- حل عددی معادله آب زیرزمینی با جریان ناپایدار در لایه آبدار تحت فشار به روش تفاضل‌های محدود	۲٤
۲-۱۱-۱- حل عددی به روش ضمنی	۲٥
۲-۱۱- ۲- حل عددی به روش صریح	۲٦
۲-۱۲- حل عددی معادلات آب زیرزمینی به روش اجزای محدود	۲۷
فصل سوم: آشنایی با محدوده مورد مطالعه	
۳-۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه	۲۸
۳-۲- وضعیت زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه	۳۰
۳-۳- مشخصات آب و هوایی محدوده مورد مطالعه	۳۱
۳-٤- منابع آبی حوزه کرون	۳۱
۳-٤-۱ منابع آب سطحی حوزه کرون	۳۱
۳-٤-۲- منابع آب زیرزمینی حوزه کرون	۳۲
فصل چهارم: مدلسازی پیشرو آب زیرزمینی در حوزه کرون	
٤-۱- آشنایی با مدلسازی ریاضی در هیدروژئولوژی	۳۸
٤-۲- اهداف مدلسازی پیشرو در حوزه آبی کرون	۳۹
٤-۳- بررسی داده‌های آزمایش پمپاژ در حوزه آبی کرون	۳۹
٤-۳-۱- روش حل کوپر - ژاکوب در تجزیه و تحلیل آزمایش‌های پمپاژ	٤۰
٤-۳-۲-مدل بولتون برای چاه کامل در لایه آبدار آزاد	٤۱
٤-۳-۳- انجام آزمایش پمپاژ در چاه ۱S – ۱۵S	٤۳
٤-۳-٤- انجام آزمایش پمپاژ در چاه ۱S – ۱۸T	٤٥
٤-٤- محاسبه تخلیه سالانه چاه‌ها با استفاده از چاه‌های معرف	٤۷

فهرست مطالب

عنـــوان	صفحـــه
٤-٥ محاسبه تخلیهٔ سالانه قنات‌ها در حوزه آبی کرون	٥٠
٤-٦- محاسبه تخلیه سالانه چشمه مرغاب در حوزه آبی کرون	٥٠
٤-٧- مدلسازی پیشرو در حالت جریان پایدار در حوزه آبی کرون	٥١
٤-٧-١- اطلاعات استفاده شده در مدلسازی جریان پایدار	٥١
٤-٧-٢- شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه برای مدلسازی جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤ — ١٣٧٣	٥١
٤-٧-٣- تعداد و نوع لایه آبداردر مدلسازی جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤ — ١٣٧٣	٥٢
٤-٧-٤- مشخصات سطوح پایینی و بالایی لایه آبدار در مدلسازی جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤-١٣٧٣	٥٢
٤-٧-٥- اعمال شرایط مرزی به مدل جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤ — ١٣٧٣	٥٢
٤-٧-٦- ضریب انتقال‌پذیری و ضریب هدایت هیدرولیکی در مدل جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤ — ١٣٧٣	٥٣
٤-٧-٧- مقدار بازدهی ویژه لایه آبدار در مدل جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤— ١٣٧٣	٥٣
٤-٧-٨- اعمال منابع تخلیه به مدل جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤-١٣٧٣	٥٦
٤-٧-٩- اعمال منابع تغذیه به مدل جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤-١٣٧٣	٥٦
٤-٧-١٠- تبادل آب زیرزمینی در مرزهای فعال در مدل جریان پایدار سال آبی ١٣٧٤-١٣٧٣	٦١
٤-٧-١١- مدل بدست آمده برای جریان پایدار آب زیرزمینی در سال آبی ١٣٧٤ — ١٣٧٣	٦٤
٤-٨- مدلسازی پیشرو در حالت جریان ناپایدار در یک دوره ١٠ ساله در حوزه آبی کرون	٦٤
٤-٨-١- اطلاعات استفاده شده در مدل جریان ناپایدار آب زیرزمینی در یک دوره ١٠ ساله	٦٤
٤-٨-٢- شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه برای مدلسازی جریان ناپایدار ١٠ ساله	٦٤

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
٤-٨-٣- بازدهی ویژه لایه آبدار در مدل جریان ناپایدار ١٠ ساله	٦٤
٤-٨-٤- تخلخل مؤثر در مدل جریان ناپایدار ١٠ساله	٦٦
٤-٨-٥- اعمال منابع تخلیه به مدل جریان ناپایدار ١٠ ساله	٦٦
٤-٨-٦- اعمال منابع تغذیه به مدل جریان ناپایدار ١٠ ساله	٦٦
٤-٨-٧- تبادل آب زیرزمینی در مرزهای شرقی و غربی در مدل جریان ناپایدار ١٠ ساله	٦٦
٤-٨-٨- مدل بدست آمده برای جریان ناپایدار آب زیرزمینی در دوره ١٠ ساله	٦٩
٤-٩- مدلسازی پیشرو در حالت جریان ناپایدار در یک دوره یکساله در حوزه آبی کرون	٧٠
٤-٩-١- اطلاعات لازم در مدلسازی جریان ناپایدار یکساله در حوزه آبی کرون	٧٠
٤-٩-٢- شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه برای مدلسازی جریان ناپایدار سال آبی ١٣٦٥ – ١٣٦٤	٧٠
٤-٩-٣- بازدهی ویژه لایه آبدار در مدل جریان ناپایدار سال آبی ١٣٦٥ - ١٣٦٤	٧١
٤-٩-٤- تخلخل مؤثر لایه آبدار در مدل جریان ناپایدار سال آبی ١٣٦٥ – ١٣٦٤	٧١
٤-٩-٥- اعمال منابع تخلیه به مدل جریان ناپایدار سال آبی ١٣٦٥ – ١٣٦٤	٧١
٤-٩-٦- اعمال منابع تغذیه به مدل جریان ناپایدار سال آبی ١٣٦٥ – ١٣٦٤	٧٢
٤-٩-٧- تبادل آب زیرزمینی در مرزهای فعال شرقی و غربی حوزه در مدل جریان ناپایدار سال آبی ١٣٦٥ – ١٣٦٤	٧٢
٤-٩-٨- مدل جریان ناپایدار آب زیرزمینی سال آبی ١٣٦٥ – ١٣٦٤ با در نظر گرفتن تغییرات ماهانه	٧٦
فصل پنجم: مدلسازی معکوس در حوزه آبی کرون	
٥-١- استفاده از مدلسازی معکوس جهت کالیبراسیون مدل	٧٨

فهرست مطالب

عنـــوان	صفحـــه
۵-۲- مبانی مدلسازی معکوس خطی	۷۹
۵-۲-۱- وزن مشاهدات	۸۱
۵-۳- تخمین‌زنهای غیرخطی پارامترها	۸۳
۵-۳-۱- پارامترمارکارت	۸۵
۵-۳-۲- مقیاس‌بندی	۸۶
۵-۳-۳- تعیین ضریب مارکارت	۸۷
۵-۳-٤- طول بهینه بردار تصحیح پارامترها	۸۷
۵-٤- کالیبراسیون مدل جریان آب زیرزمینی در حوزه کرون	۸۸
۵-۵- کالیبراسیون مدل جریان ناپایدار ۱۰ ساله حوزه کرون با استفاده از مدلسازی معکوس	۸۹
۵-٦- کالیبراسیون مدل جریان ناپایدار یکساله حوزه کرون با استفاده از مدلسازی معکوس	۹٤
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
٦-۱- نتیجه‌گیری	۱۰۰
٦-۲- پیشنهادات	۱۰۲
پیوست‌ها	
پیوست ۱: مشخصات چاه‌های بهره‌برداری حوزه کرون با توجه به داده‌های آماری سال آبی ۱۳٦٤-۱۳٦۳	۱۰۵
پیوست ۲: چاه‌های هم‌رژیم با هر چاه‌های معرف در حوزه کرون	۱۱۱
پیوست ۳: ضرایب تخلیه چاه‌های معرف حوزه کرون نسبت به سال مبنا در (۱۳٦٤-۱۳٦۳)در فاصله سالهای آبی ۱۳٦۵-۱۳٦٤ تا ۱۳۷٤-۱۳۷۳	۱۱۹
پیوست ٤: تخلیه چاه‌های معادل حوزه کرون در سال آبی ۱۳۷٤-۱۳۷۳	۱۲۳
پیوست ۵: مدل جریان ناپایدار آب زیرزمینی در فاصله سالهای آبی ۱۳٦۵-۱۳٦٤ تا ۱۳۷٤-۱۳۷۳	۱۲٦

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیوست ٦: ضرایب تخلیه ماهانه چاه‌های معرف در حوزه کرون در سال آبی ١٣٦٥-١٣٦٤	١٣٦
پیوست ٧: تخلیه چاه‌های معادل حوزه کرون در مهرماه سال ١٣٦٤	١٣٧
پیوست ٨: مدل تغیرات ماهانه جریان ناپایدار آب زیرزمینی در سال آبی ١٣٦٥-١٣٦٤	١٤٠
پیوست ٩: نتایج کالیبراسیون جریان ناپایدار ١٠ ساله در حوزه کرون با استفاده از نرم‌افزار PEST	١٥٢
پیوست ١٠: مدل کالیبره شده جریان ناپایدار آب زیرزمینی در فاصله سالهای آبی ١٣٦٥-١٣٦٤ تا ١٣٧٤-١٣٧٣	١٥٤
پیوست ١١: نتایج کالیبراسیون مدل جریان ناپایدار یکساله در حوزه کرون با استفاده از نرم‌افزار PEST	١٥٨
پیوست ١٢: مدل کالیبره شده تغییرات ماهانه جریان ناپایدار آب زیرزمینی در سال آبی ١٣٦٥-١٣٦٤	١٦٠
منابع و مراجع	١٦٤

چکیده

افزایش بهره‌برداری و خشکسال‌های متوالی چند ساله اخیر در دشت کرون باعث شده است که اعمال مدیریت بر مصرف بهینه اهمیت دو چندان یابد. از آنجائیکه تا کنون در این دشت مطالعات جامع علمی صورت نگرفته، لزوم مطالعه دقیق و تعیین مدل رفتاری سفره آبدار در دشت مذکور احساس می‌شود.

در این پایان‌نامه برای تعیین مدل رفتاری سفره آبدار در دشت کرون، ابتدا میزان برداشت از منابع تخلیه‌ای شامل چاه‌ها و قناتها، میزان تغذیه (تغذیه مستقیم از بارندگی، تغذیه از آب بازگشتی از کشاورزی و تغذیه از آب زهکشی شده از ارتفاعات) در یک دوره ۱۰ساله شامل سال آبی ۱۳٦٥-۱۳٦٤ تا سال آبی ۱۳۷٤-۱۳۷۳ برآورد شده و سپس صحت ضرایب هیدرودینامیکی نتیجه شده از آزمایش‌های پمپاژ بررسی می‌شود. بدلیل گستردگی حوزه دشت کرون و کمبود اطلاعات در مورد ضرایب هیدرودینامیکی سطح دشت به ٥ منطقه تقسیم شده و با اعمال ضرایب هیدرودینامیکی به این مناطق مدل جریان پایدار سال آبی ۱۳۷٤-۱۳۷۳، مدل جریان ناپایدار ۱۰ساله (سال آبی ۱۳٦٥-۱۳٦٤ تا سال آبی ۱۳۷٤-۱۳۷۳) و مدل جریان ناپایدار در سال آبی ۱۳٦٥-۱۳٦٤ طراحی می‌شود. برای صحت‌سنجی و تنظیم مدل از مدلسازی معکوس استفاده می‌شود و با مقایسه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و سطح آب زیرزمینی محاسبه شده در مدلسازی با هدف کمینه کردن اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و پاسخ مدل ضرایب هیدرودینامیکی در کل دشت تعیین می‌گردند و مدل سفره بر اساس مقادیر صحت‌سنجی شده مجددا بازسازی می‌شود.

مدل بدست آمده در حوزه کرون جهت اعمال مدیریت بر مصرف بهینه و تصمیم‌گیری در طرح‌های توسعه آبی آینده در این دشت و مشخص کردن مناطق حساس از نظر بهره‌برداری در دوره‌های خشکسالی و ترسالی قابل کاربرد می‌باشد.

فصل اول

مقدمه و اهداف پایان‌نامه

۱-۱- مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و پیشرفتهای صنعتی باعث شده است انسان امروزی از منابع طبیعی در دسترس خود استفاده بیشتری کند. از آنجائیکه این منابع محدود هستند، روشهائی جهت حفظ و کنترل آنها از یکطرف و مصرف صحیح و کنترل شده آنها از طرف دیگر مطرح می‌شود. به این معنی که کشوری که دارای توانایی علمی و فنی بیشتری باشد، منابع مورد احتیاج خود را آسانتر و با هزینه‌های کمتر تأمین می‌کند و با اعمال مدیریت صحیح مصرف از هدر رفتن و استفاده نادرست منابع طبیعی جلوگیری می‌کند.

مطالعه منابع آب به عنوان نیاز اولیه هر تمدن بشری از حساسیت ویژه‌ای برخوردار است و توجه به آن در مناطق کم‌آب همانند کشور ما اهمیت زیادی دارد. مطالعه منابع آب سطحی همانند رودخانه‌ها، نهرها و چشمه‌ها به علت امکان مشاهده مستقیم، به مراتب آسانتر از مطالعه منابع آب زیرزمینی است که بر اساس مشاهده غیرمستقیم می‌باشد.

منابع آب زیرزمینی از دو جنبه قابل مطالعه هستند: یکی اکتشاف و پی‌جویی آب زیرزمینی بر اساس روش‌های ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی و دیگری بررسی رفتار سفره‌های موجود تحت تأثیر برداشت‌ها

و تغذیه‌ها در دوره‌های زمانی مشخص و بدست آوردن مدل رفتاری سفره. اکتشاف و پی‌جویی منابع آب زیرزمینی یک مبحث مفصل علمی و فنی است و طرح آن خارج از حوصله این نوشتار است و در اینجا فقط در مورد مدل رفتاری سفره بحث می‌شود.

مدل رفتاری سفره باید ما را قادر سازد تا پارامترهای هیدرودینامیکی سفره مانند ضریب هدایت هیدرولیکی[1]، ضریب ذخیره[2]، آبدهی ویژه[3]، ضخامت لایه آبدار و ضریب انتقال‌پذیری[4] را برای هر نقطه از سفره تخمین و تغییرات سطح آب زیرزمینی در هر نقطه از سفره را تحت تأثیر برداشت‌ها و تغذیه‌های هر دوره زمانی[5] مشخص برآورد نمائیم.

یک راه بدست آوردن مدل رفتاری سفره آب زیرزمینی آن است که پارامترهای هیدرودینامیکی، ضخامت لایه آبدار و تغییرات سطح آب زیرزمینی در یک دوره زمانی طولانی (مثلاً ۱۰ سال) برای نقاط متعدد از سفره اندازه‌گیری و بر اساس آنها مدل تهیه شود. اینکار مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است و عملاً امکان‌پذیر نیست.

روش دیگر برای تهیه مدل رفتاری سفره آن است که با استفاده از داده‌های موجود در مورد تغییرات سطح آب زیرزمینی در دوره‌های زمانی مشخص برای نقاط محدودی از سفره و بدست آوردن ضخامت لایه آبدار و پارامترهای هیدرودینامیکی برای بعضی از نقاط سفره و استفاده از مدل‌های ریاضی، مدل رفتاری کل سفره را بدست آورد.

مدلهای ریاضی آب زیرزمینی به دو دسته تحلیلی[6] و عددی[7] تقسیم می‌شوند. در مدلهای تحلیلی برای هر نقطه با معلوم بودن برداشت‌ها و تغذیه‌ها و پارامترهای هیدرودینامیکی برای نقطه موردنظر سطح آب زیرزمینی محاسبه می‌شود. سپس با معلوم بودن سطح آب زیرزمینی برای اینگونه نقاط، مدلی برای سفره آب زیرزمینی ارائه می‌شود. چون در اینگونه مدلها تأثیر نقاط مجاور بر یکدیگر در نظر گرفته نمی‌شود و به

1- Hydraulic Conductivity

2- Storage Coefficient

3- Specific Yield

4- Transmissivity

5- Stress Period

6- Analytic

7- Numeric

عبارت دیگر سطح آب زیرزمینی فقط با اطلاعات موجود در مورد هر نقطه محاسبه می‌شود، اینگونه مدلها در مورد سفره‌های واقعی دقت زیادی ندارند.

در مدلهای عددی با تقسیم‌بندی دامنه مسئله به سطوح کوچک و استفاده از روابط ریاضی و معادلات حاکم بر جریان که به شکل مشتقات جزئی می‌باشند، می‌توان برای محاسبه سطح آب زیرزمینی در هر نقطه یک معادله بدست آورد. در این روش تأثیر نقاط مجاور و همچنین شرایط مرزی سفره در نظر گرفته می‌شود. با حل دستگاه معادلات مجموعه نقاط مورد مطالعه بطور همزمان، سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف با دقتی به مراتب بسیار بالاتر از مدلهای تحلیلی برآورد می‌شود. یکی از مزیت‌های مدلهای عددی آن است که با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای در بعضی از نقاط امکان مدلسازی معکوس و کالیبراسیون مدل در کلیه نقاط فضای مدل شبکه‌بندی شده وجود دارد. به عبارت دیگر مدلهای عددی این امکان را دارند که جوابهای محاسبه‌شده را با تغییر پارامترهای مدل، طوری تغییر دهند که پاسخ محاسبه شده بوسیله مدل و داده‌های مشاهده‌ای با دقت دلخواه بهم نزدیک شوند.

منطقه مورد مطالعه در این پایان‌نامه حوزه آبی دشت کرون در شمال‌غرب اصفهان بوده و علیرغم اینکه حوزه کرون از سال ۱۳۵۹ منطقه ممنوعه بوده است ولیکن ممنوعیت بهره‌برداری مورد توجه قرار نگرفته است و در حال حاضر بدون مطالعه و شناخت کافی از ظرفیت آبی حوزه برداشت از چاه‌های بهره‌برداری صورت می‌گیرد ولذا ضروری است لایه آبدار در این حوزه با دقت مطالعه شده و با تهیه مدل ریاضی تغییرات سطح آب زیرزمینی بر استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی در این حوزه مدیریت نمود.

۱-۲- اهداف پایان‌نامه

هدف از انجام این پایان‌نامه تعیین مدل ریاضی سفره آب زیرزمینی در حوزه کرون به روش تفاضلهای محدود می‌باشد. اطلاعات موجود عبارتند از:

الف: تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای، میزان تخلیه چاه‌های بهره‌برداری و قنات‌ها و میزان بارندگی سالانه برای یک دوره ده‌ساله مشتمل بر سال آبی ۱۳٦٥-۱۳٦٤ تا سال آبی ۱۳۷٤-۱۳۷۳.

ب: اندازه ضرایب هیدرودینامیکی: آزمایش پمپاژ در دو نقطه مرکزی و شرقی حوزه انجام شده است و مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی[1] و آبدهی ویژه[1] در این نقاط محاسبه شده است.

1- Hydraulic Conductivity