بسم الله الرحمن الرحیم

# دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده فنی و مهندسی

شماره پایان نامه : ۹۲٤۰۳٤٤۱

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران

گرایش سازه‌های هیدرولیکی

**عنوان :**

**ارتقاء مدل آب‌های زیرزمینی و کالیبراسیون خودکار با استفاده از الگوریتم ژنتیک**


**استاد راهنما:**

**دکتر حمیدرضا غفوری**

**استاد مشاور:**

**دکتر حسین محمد ولی سامانی**

**نگارنده :**

**رضا قایدنظامی**


بهمن ماه سال ۱۳۹۲

**باسمه تعالی**

**دانشگاه شهید چمران اهواز**
**دانشکده مهندسی**

**(نتیجه ارزشیابی پایان نامه دکتری / ارشد )**

**پایان نامه خانم/ آقای رضا قایدنظامی دانشجوی رشته: مهندسی عمران گرایش: سازه‌های هیدرولیکی**

**دانشکده مهندسی به شماره دانشجویی ۹۰۴۰۳۰۷**

## با عنوان :

# ارتقاء مدل آب‌های زیرزمینی و کالیبراسیون خودکار با استفاده از الگوریتم ژنتیک

**جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : ۱۳۹۳/۱/۲۷ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه عالی تصویب گردید.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| ۱. | اعضا ی هیأت داوران : | رتبه علمی | امضاء |
| | استاد راهنما: دکتر حمیدرضا غفوری | استاد | ..... |
| | استاد مشاور : دکتر حسین محمد ولی سامانی | استاد | ..... |
| | استاد داور : دکتر علی حقیقی | استادیار | ..... |
| | استاد داور : دکتر آرش ادیب | دانشیار | ..... |
| | نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر رضا باهوش کازرونی | استادیار | ..... |
| ۲. | مدیرگروه : سیدعبدالله حسینی دهدشتی | مربی | ..... |
| ۳. | معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر علی حقیقی | استادیار | ..... |
| ۴. | مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر عبدالرحمان راسخ | استاد | ..... |

تقدیم به تمام دارایی زندگانی‌ام

پدرم، تندیس ایستادگی و تلاش

مادرم، تجلّی عشق و احساس

خواهرم، جلوه‌ی مهربانی و محبت

برادرم، نماد دوستی و صداقت

## تقدیروسپاس

حال که به لطف ایزد منّان به این موفقّیت نائل شده‌ام به رسم ادب و شاگردی، بر خود لازم می‌دارم، زحمات بیشائبه و رهنمون‌های راهگشای استاد عزیز ، جناب آقای دکتر حمیدرضا غفوری را قدردان شوم و از استاتید بزرگوار، جناب آقای دکتر حسین محمد ولی سامانی و آقای دکتر علی حقیقی که افتخار شاگردیشان را داشته‌ام،نیز قدر دانی کنم. همچنین از دوست عزیز جناب آقای مهندس علی رئیسی عیسی آبادی نیز بخاطر همکاریشان کمال تشکر را دارم.

در نهایت لازم است از همه‌ی عزیزانی که دلگرمیشان نقطه‌ی قوتی در پیمودن این راه بود تشکر کنم.

# فـهـرست مـطـالـب

## ۱ فصل اوّل: مقدمه

۱-۱ مقدمه..... ۱
۱-۲ طرح مسئله..... ۲
۱-۳ ساختار پایان‌نامه..... ۴

## ۲ فصل دوّم: مروری بر پژوهش‌های پیشین

۲-۱ مقدمه..... ۵
۲-۲ حل معکوس..... ۷
۲-۳ کالیبراسیون خودکار..... ۱۰
۲-۴ مرورمطالعات پیشین..... ۱۲
۲-۵ نرم‌افزارهای کالیبراسیون..... ۲۳
۲-۶ مبنای پژوهشی حاضر..... ۲۶

## ۳ فصل سوّم: مبانی نظری، الگوریتم ژنتیک و روش اجزا محدود

۳-۱ نگاهی به الگوریتم ژنتیک..... ۲۸
۳-۲ اجزای الگوریتم ژنتیک حقیقی..... ۳۱
۳-۲-۱ متغیّرها، تابع هدف، دقت، قیود..... ۳۳
۳-۲-۲ جمعیّت اولیّه..... ۳۴
۳-۲-۳ مقیاس‌گذاری برازندگی..... ۳۵
۳-۲-۳-۱ رتبه‌بندی..... ۳۶
۳-۲-۳-۲ تناسب..... ۳۶
۳-۲-۳-۳ خطی..... ۳۷
۳-۲-۴ انتخاب..... ۳۸
۳-۲-۴-۱ یکنواخت احتمالاتی..... ۳۸

۳-۲-۴-۲ چرخ گردان ۳۸
۳-۲-۴-۳ باقی‌مانده ۳۹
۳-۲-۴-۴ مسابقه ۳۹
۳-۲-۴-۵ طبیعی ۳۹
۳-۲-۵ نخبه‌سالاری ۴۰
۳-۲-۶ جفت‌کردن ۴۰
۳-۲-۷ اختلاط ۴۰
۳-۲-۷-۱ پراکنده ۴۱
۳-۲-۷-۲ نقطه‌ایی ۴۱
۳-۲-۷-۳ میانه ۴۲
۳-۲-۷-۴ اکتشافی ۴۳
۳-۲-۷-۵ حسابی ۴۳
۳-۲-۷-۶ مخلوط ۴۳
۳-۲-۸ جهش ۴۴
۳-۲-۸-۱ یکنواخت ۴۵
۳-۲-۸-۲ امکان انطباقی ۴۵
۳-۲-۸-۳ گائوسی ۴۶
۳-۲-۹ همگرایی ونسل بعد ۴۶
۳-۳ مباحث تکمیلی در الگوریتم ژنتیک ۴۷
۳-۳-۱ توابع هدف ۴۷
۳-۳-۲ انتخاب پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۴۹
۳-۴ روش اجزاء محدود ۵۰
۳-۴-۱ انفصال معادله پیوستگی جریان ۵۱
۳-۴-۲ توابع ۵۳
۳-۵ سخن آخر فصل ۵۴

# ۴ ارزیابی مدل

۴-۱ الگوریتم ژنتیک به کار رفته ۵۵

۴-۲ مراحل حل مسئله..... ۵۶
۴-۳ حل مسائل کالیبراسیون..... ۵۷
۴-۴ حل مسئله ۱- کالیبراسیون خودکار ضریب نفوذپذیری و ذخیره سفره‌ی همگن..... ۵۷
۴-۴-۱ آنالیز حساسیت مسئله ۱..... ۶۶
۴-۵ حل مسئله ۲ - کالیبراسیون خودکار ضرایب نفوذپذیری و ذخیره سفره‌ی ناهمگن..... ۶۸
۴-۶ حل مسئله ۳ - کالیبراسیون مدل با استفاده از ارتفاع هیدرولیکی وابسته به زمان..... ۷۶
۴-۷ حل مسئله ۴- کالیبره کردن دبی چاه‌های پمپاژ..... ۸۷
۴-۸ حل مسئله ۵ - کالیبره کردن موقعیت و دبی چاه‌های پمپاژ..... ۹۱
۴-۹ حل مسئله ۶ - کالیبره کردن شرایط مرزی مدل..... ۹۵
۴-۱۰ سخن آخر فصل..... ۱۰۴

## ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ خلاصه موضوع وروش انجام کار..... ۱۰۵
۵-۲ نتیجه‌گیری..... ۱۰۸
۵-۳ پیشنهادات..... ۱۰۹

## ۶ منابع..... ۱۱۱

## پیوست آ: توابع شکل روش اجزاء محدود..... ۱۱۴

## پیوست ب: مدل رایانه‌ایی

ب -۱ مدل شبیه‌ساز CONTA2000..... ۱۱۹
ب -۲ ارتباط مدل شبیه‌ساز و بهینه‌ساز..... ۱۲۴
ب -۳ مدل بهینه‌ساز MATLAB..... ۱۲۵

# فـهـرست شکـل‌هـا

شکل ۲-۲-۱: روش حل پیشرو و معکوس در مدل سازی ..... ۷
شکل ۳-۱-۱: نمودار گردش کار الگوریتم ژنتیک..... ۳۲
شکل ۴-۴-۱: المان بندی مسئله‌ی یک..... ۵۸
شکل ۴-۴-۲: خطوط هم تراز هیدرولیکی پس از ۴۸ ساعت..... ۵۹
شکل ۴-۴-۳ : موقعیت چاه‌های مشاهده‌ایی و سطح آب زیرزمینی پس از ۴۸ ساعت..... ۶۰
شکل ۴-۴-۴: تغییرات تراز آب در چاه های پمپاژ..... ۶۱
شکل ۴-۴-۵ : اختلاف بین خطوط تراز مشاهداتی خط ممتد و محاسباتی خط‌چین..... ۶۳
شکل ۴-۴-۶ : نمونه نتایج الگوریتم ژنتیک مسئله اول..... ۶۴
شکل ۴-۴-۷: تطابق خطوط تراز مشاهداتی خط ممتد و محاسباتی خط‌چین پس از کالیبراسیون..... ۶۵
شکل ۴-۴-۸ : آنالیز حساسیت برای ضریب ذخیره..... ۶۷
شکل ۴-۴-۹ : آنالیز حساسیت برای ضریب نفوذپذیری..... ۶۷
شکل ۴-۵- ۱ : ناحیه بندی آبخوان مسئله ۲..... ۶۸
شکل ۴-۵- ۲: خطوط هم تراز هیدرولیکی پس از ۱۰۰ ساعت..... ۷۱
شکل ۴-۵- ۳: سطح آب زیرزمینی پس از ۱۰۰ ساعت..... ۷۱
شکل ۴-۵- ۴: روند همگرایی الگوریتم ژنتیک..... ۷۳
شکل ۴-۵- ۵: اختلاف بین خطوط تراز مشاهداتی خط ممتد و محاسباتی خط‌چین..... ۷۵
شکل ۴-۵- :۶ تطابق بین خطوط تراز مشاهداتی و محاسباتی بعد از کالیبراسیون..... ۷۵
شکل ۴-۶- ۱: ناحیه بندی آبخوان مسئله ۳..... ۷۷
شکل ۴-۶- ۲ : خطوط هم‌تراز ارتفاع هیدرولیکی پس از ۲۴ ساعت..... ۷۸
شکل ۴-۶- ۳ : خطوط هم‌تراز ارتفاع هیدرولیکی پس از ۴۸ ساعت..... ۷۸
شکل ۴-۶- ۴ : سطح آب زیرزمینی پس از ۴۸ ساعت..... ۷۹
شکل ۴-۶- ۵ : تغییرات سطح آب چاه‌های برداشت پس از ۴۸ ساعت..... ۸۰
شکل ۴-۶- ۶ : روند همگرایی جواب‌های الگوریتم ژنتیک..... ۸۲
شکل ۴-۶- ۷ : اختلاف بین خطوط تراز مشاهداتی خط ممتد و محاسباتی خط‌چین پس از ۲۴ ساعت..... ۸۵
شکل ۴-۶- ۸ : تطابق بین خطوط تراز مشاهداتی و محاسباتی بعد از کالیبراسیون، پس از ۲۴ ساعت..... ۸۵
شکل ۴-۶- ۹: اختلاف بین خطوط تراز مشاهداتی خط ممتد و محاسباتی خط‌چین پس از ۴۸ ساعت..... ۸۶
شکل ۴-۶- ۱۰ : تطابق بین خطوط تراز مشاهداتی و محاسباتی بعد از کالیبراسیون، پس از ۴۸ ساعت..... ۸۶
شکل ۴-۷- ۱: روند همگرایی جواب‌های الگوریتم ژنتیک..... ۸۹
شکل ۴-۷- ۲: اختلاف بین خطوط تراز مشاهداتی خط ممتد و محاسباتی قبل از کالیبراسیون..... ۹۰

شکل ۴-۷- ۳ : انطباق خطوط تراز مشاهداتی خط ممتد و محاسباتی بعد از کالیبراسیون.....۹۱
شکل ۴-۸- ۱ : ناحیه بندی آبخوان مسئله ۵.....۹۱
شکل ۴-۸- ۲ : روند همگرایی جواب‌های الگوریتم ژنتیک..... ۹۴
شکل ۴-۹- ۱ : ناحیه بندی آبخوان مسئله ۶.....۹۶
شکل ۴-۹- ۲ : سهم هر گره از دبی وارده به المان.....۹۷
شکل ۴-۹- ۳ : خطوط هم تراز هیدرولیکی پس از ۱۰۰ ساعت.....۹۹
شکل ۴-۹- ۴ : روند همگرایی جواب‌های الگوریتم ژنتیک.....۱۰۱
شکل ۴-۹- ۵ : اختلاف بین خطوط تراز مشاهداتی خط ممتد و محاسباتی خط‌چین پس از ۴۸ ساعت.....۱۰۳
شکل ۴-۹- ۶ : تطابق بین خطوط تراز مشاهداتی و محاسباتی بعد از کالیبراسیون، پس از ۴۸ ساعت.....۱۰۳
شکل آ-۱: المان مستطیلی ۴ گرهی.....۱۱۴
شکل آ-۲: المان مستطیلی ۸ گرهی.....۱۱۵
شکل آ-۳: المان مثلثی ۳ گرهی.....۱۱۶
شکل آ-۴ : المان مثلثی ۶ گرهی.....۱۱۶
شکل آ-۵ : المان ۶ وجهی ۸ گرهی.....۱۱۷
شکل ب-۳-۱: جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک.....۱۲۶
شکل ب-۳-۲: جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک.....۱۲۷

# فـهـرست جـدا ول

جدول ۴-۴- ۱: مشخصات مسئله و تنضیمات الگوریتم ژنتیک..... ۶۲
جدول ۴-۴- ۲: بررسی جواب ها..... ۶۴
جدول ۴-۵- ۱: مقادیر نفوذپذیری هر ناحیه..... ۶۹
جدول ۴-۵-۲ : دبی پمپاژ چاه های برداشت..... ۷۰
جدول ۴-۵- ۳: مشخصات الگوریتم‌ژنتیک..... ۷۲
جدول ۴-۵- ۴: مقایسه‌ی مقادیر بدست آمده و واقعی مسئله ۲..... ۷۴
جدول ۴-۶- ۱: شماره و دبی چاه‌های برداشت..... ۷۷
جدول ۴-۶- ۲: تنظیمات الگوریتم ژنتیک..... ۸۱
جدول ۴-۶- ۳: بررسی جواب‌ها و مقادیر واقعی..... ۸۳
جدول ۴-۷- ۱: تنظیمات الگوریتم ژنتیک..... ۸۷
جدول ۴-۷- ۲: مقادیر حدس اولیّه، واقعی و محاسباتی پارامترها..... ۸۸
جدول ۴-۸- ۱: تنظیمات الگوریتم ژنتیک..... ۹۳
جدول ۴-۸- ۲: مقادیر حدس اولیّه، واقعی و محاسباتی پارامترها..... ۹۵
جدول ۴-۹- ۱: تنظیمات الگوریتم ژنتیک..... ۱۰۰
جدول ۴-۹- ۲: مقادیر حدس اولیّه، واقعی و محاسباتی پارامترها..... ۱۰۲

| | | |
|---|---|---|
| **نام خانوادگی :** قایدنظامی | **نام:** رضا | **شماره دانشجویی :** ۹۰۴۰۳۰۷ |
| **عنوان پایان نامه :** ارتقاء مدل آب‌های زیرزمینی و کالیبراسیون خودکار با استفاده از الگوریتم ژنتیک | | |
| **استاد/ اساتیدراهنما:** دکتر حمیدرضا غفوری | | |
| **استاد/ اساتید مشاور:** دکتر حسین محمد ولی سامانی | | |
| **درجه تحصیلی:** کارشناسی ارشد | **رشته:** عمران | **گرایش:** سازه‌های هیدرولیکی |
| **دانشگاه :** شهید چمران اهواز | **دانشکده:** مهندسی | **گروه :** عمران |
| **تاریخ فارغ التحصیلی :** | | **تعداد صفحه:۱۲۹** |
| **کلید واژه ها :** آب‌های زیرزمینی، کالیبراسیون خودکار، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی-شبیه‌سازی، حل معکوس | | |


**چکیده:**

یکی از مهمترین مراحلی که در مدل‌سازی مسائل آب‌های زیرزمینی بایستی انجام شود، کالیبراسیون مدل می‌باشد. با توجه به وقت‌گیر بودن فرآیند کالیبراسیون به صورت دستی، ارائه‌ی مدل‌های قابل اطمینان برای خودکارسازی این فرآیند بسیار قابل توجه می‌باشد.

در این پایان‌نامه چگونگی استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز-بهینه‌ساز جهت کالیبراسیون مدل‌ها با ارتباط خارجی میان دو قسمت، تشریح شده است. مدل شبیه‌ساز بر اساس روش المان محدود بوده و توانایی مدل کردن آبخوان‌های محصور و غیرمحصور را دارا می‌باشد. مدل بهینه‌ساز نیز از الگوریتم ژنتیک حقیقی برای کالیبره کردن پارامترهای مورد نظر استفاده می‌کند.

طی فرآیند حل مسئله، مدل شبیه‌ساز با استفاده از پارامترهای حدس زده شده توسط الگوریتم ژنتیک، مقادیر ارتفاع هیدرولیکی در نقاط مشاهداتی را شبیه‌سازی کرده و این مقادیر برای محاسبه‌ی مقدار تابع هدف استفاده شده است. تابع هدفی که معیّار سنجش حل‌ها بوده، شامل تفاضل مربعات ارتفاع هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی بوده است.

در طی فرآیند کالیبراسیون سعی شده است مدل برای کالیبره کردن انواع مختلف پارامترهای ورودی مدل شامل، ضریب ذخیره، ضریب نفوذپذیری، دبی چاه‌های برداشت و محل آن‌ها و همچنین شرایط مرزی آبخوان آزموده شود.

با بررسی خطای نسبی بین مقادیر دقیق و مقادیر تخمین زده شده توسط مدل بهینه‌ساز ملاحظه می‌شود که مدل مذکور عملکرد مناسبی دارد و در اکثر مسائل جواب‌های قابل اعتمادی ارائه می‌دهد.

# فصل اول

# کـلـیـا ت

## ۱-۱ مقدمه

بی شک اساسی‌ترین نیاز برای برپایی تمدن‌های اولیه آب بوده است. شکل‌گیری تمدن مصر در حاشیه رود نیل، تمدن‌سومر در بین‌النهرین، تمدن بابلیان و آشوریان در کنار دجله و فرات و بسیاری از تمدن‌های دیگر نشان دهنده اهمیت این ماده حیاتی است. آب نه تنها اساسی‌ترین نیاز تمدن‌های اولیه بلکه امروزه نیز از مهمترین نگرانی‌های بشر می‌باشد.

اگرچه ۷۵٪ از سطح زمین را آب پوشانده است ولی حدود ۹۷٪ از این آب‌ها شور، ۲٪ دیگر بصورت جامد در یخچال‌ها طبیعی و تنها ۱٪ از آب‌ها شیرین هستند. از این مقدار آب شیرین موجود، ۹۶٪ بصورت منابع آب زیرزمینی می باشد. این موضوع به خودی خود، بخوبی اهمیت مطالعه دقیق آب‌های زیرزمینی را به نشان می‌دهد[۱].

آب زیرزمینی به آبی اطلاق می‌گردد که در زیر سطح زمین قرار دارد و می توان آن را در چاه‌ها، تونل‌ها و گالری‌های زهکشی جمع‌آوری و برداشت کرد. در طی قرون و اعصار، آب‌های زیرزمینی منبع مهم تامین آب برای انسان بوده‌اند. امروز نیز آب‌های زیرزمینی برای مصارف شهری، صنعتی و کشاورزی در شهرها و روستاها، منبع مهمی به شمار می‌آیند. منابع آب‌های زیرزمینی

محدود و تجدیدپذیر هستند. بنابراین در بهره‌برداری از آن‌ها باید مدبرانه عمل نمود و آن‌ها را در مقابل استخراج بی‌رویه و آلودگی بوسیله آب‌های آلوده یا مواد آلوده کننده محافظت کرد[۲].

متاسفانه از سال ۱۹٤۰ تا ۱۹۹۰، پس رفت آب شیرین از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن طبیعی و دیگر منابع، چهار برابر افزایش یافته است. هر چند، امروزه دیگر کمیت تنها مشکل موجود نیست و کیفیت آب آشامیدنی نیز جای نگرانی دارد. چنان‌که این منبع حیاتی، مستعد آلودگی می‌باشد. با پیشرفت فناوری، فعالیت‌های انسانی هر چه بیشتر سبب آلودگی چرخه‌ی آب شده است [۱]. در ایران نیز بیش از ۵۵٪ نیازهای آبی و ۷۰٪ نیاز آب شرب از منابع زیرزمینی تامین می‌شود. این باعث شده است که سالانه ۵ میلیارد متر مکعب بیش از چرخه‌ی بازگشتی از این منابع برداشت شود، به طوری که طی ۱۵ سال اخیر به طور متوسط، هر ساله ۰/۵ متر سطح آب سفره‌های زیرزمینی پایین رفته است[رقیبی]. کاهش سطح آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بعلاوه افزایش هزینه پمپاژ، هجوم آب‌های شور به سفره‌های ساحلی، نشست زمین در ابعاد وسیع و مشکلات عدیده‌ی زیست محیطی دیگر تنها بخشی از اثرات زیان‌بار استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

بنابراین، موارد فوق لزوم مطالعه دقیق این منابع ارزشمند، در سراسر جهان و بـه خصـوص در ایران را آشکار می‌سازد. هدف اصلی در ارائه این پایان‌نامه برداشتن گام کوچکی در جهـت ایـن مهـم می باشد.

## ۱-۲ طرح مسئله

در دهه‌های اخیر ظهور کامپیوترها با قدرت محاسباتی بالا از یک طرف و گسـترش روش‌هـای عددی برای حل معادلات دیفرانسیل جزیی از طرفی دیگر، باعث پیشرفت و تحولی شـگرف در علـم

آب‌های زیرزمینی شده است. امروزه استفاده از مدل‌های عددی و بسته‌های نرم‌افزاری از اصلی‌ترین راه‌های مطالعه، مدیریت و پیش‌بینی رفتار منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

اما استفاده از مدل‌های عددی نیز خالی از مشکل نخواهد بود و اصلی‌ترین موضوع در استفاده از این مدل‌ها عدم تطابق کامل خروجی‌های مدل و مشاهدات میدانی می‌باشد. علت اصلی این امر این است که سفره‌های آب زیرزمینی از لحاظ زمین شناسی به شکل غیرهمگن، غیریکنواخت و اغلب اوقات از لحاظ توزیع پارامترها، ناشناخته هستند. بنابراین از مهمترین مراحل استفاده از هر مدل عددی، کالیبراسیون می‌باشد. کالیبراسیون عبارت است از تغییر پارامترهای ورودی مدل بنحوی که بیشترین تطابق بین خروجی مدل و مشاهدات میدانی حاصل شود.

در این پایان‌نامه از مدل شبیه‌ساز کنتا۲۰۰۰ [۱] استفاده خواهد شد. مدل فوق بر اساس روش اجزاء محدود می باشد که هم توانایی شبیه‌سازی انواع سفره‌های آب‌زیرزمینی و هم شبیه‌سازی آلودگی را دارا می باشد و طی فرآیند کالیبراسیون نهایت سعی خواهد شد که با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی تابع هدفی که عبارت از حداقل مربع [۲] خطا، بین ارتفاع هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی است به حداقل مقدار خود برسد و نهایتا بهترین مقادیر پارامترهای کالیبره شونده ورودی برای مدل‌های مورد نظر ارایه شود. فرآیند فوق اصطلاحاً شبیه‌سازی- بهینه‌سازی [۳] خوانده می‌شود. یعنی شبیه‌سازی بر اساس پارامترهای ورودی حدسی انجام گرفته و سپس خروجی مورد نظر به

[1] Conta2000
[2] Least square
[3] Simulation-optimization

برنامه بهینه‌سازی برگشته و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این پژوهش از تکنیک الگوریتم ژنتیک[1] حقیقی برای انجام فرآیند بهینه‌سازی استفاده خواهد شد.

### ۱-۳ ساختار پایان نامه

این پژوهش مشتمل بر ۵ فصل می‌باشد. بخش حاضر یک دید کلی از مسئله‌ی کالیبراسیون ارائه می‌کند. در فصل دوم به طور مفصل‌تر به مفاهیم کالیبراسیون و حل معکوس پرداخته شده است و مطالعات انجام شده مرتبط با موضوع مرور خواهد شد. در فصل سوم الگوریتم ژنتیک و پارامترهای آن معرفی شده‌اند. فصل چهارم نشان دهنده‌ی نتایج مدل‌سازی و واسنجی مدل تهیه شده می‌باشد. فصل پنجم که آخرین فصل این نوشته است، خلاصه نتایج و پیشنهادات برای تحقیقات آتی را پیشنهاد می‌کند.

[1] Genetic algorithm

# فصل دوم

# مقدمه

در فصل قبل چهارچوب کلی موضوع و مقدمات آن بحث شد و ابعاد مسئله، جایگاه و اهمیت موضوع تحقیق و بررسی شد. در ادامه بحث، در این فصل مفاهیم اصلی مدل‌سازی و کالیبراسیون آب‌های زیرزمینی ارائه شده و به مرور پژوهش‌های پیشین در این زمینه پرداخته شده است.

## ۲-۱ مقدمه

یکی از بهترین روش‌ها برای مطالعه منابع آب زیرزمینی استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز – بهینه‌ساز می باشد. بدین شکل که در بخش شبیه‌ساز معادله‌ی حاکم بر آب‌های زیرزمینی حل می‌شود و قسمت بهینه‌ساز با توجه به هدف و استراتژی حل مسئله بکار گرفته می‌شود. با ظهور و گسترش روش‌های عددی در حل مسائل مهندسی، از این ابزار قدرتمند جهت شبیه‌سازی و حل معادله‌ی حاکم بر آب‌های زیرزمینی استفاده شد. روش‌های عددی چون اجزاء محدود[1] و اختلاف محدود[2] پرکاربردترین روش‌ها در حل و مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی می‌باشند، بسته نرم افزاری مادفلو[3] از معروف‌ترین مدل‌های آب زیرزمینی به روش اختلاف محدود است.

در آغاز یک پروسه شبیه‌سازی، پس از انتخاب کد کامپیوتری مناسب باید داده‌ها و پارامترهای مورد نیاز به شبیه‌ساز معرفی شده و مدل مفهومی سیستم مورد مطالعه ساخته شود. پس از اجرای

[1] Finite element
[2] Finite difference
[3] Modflow

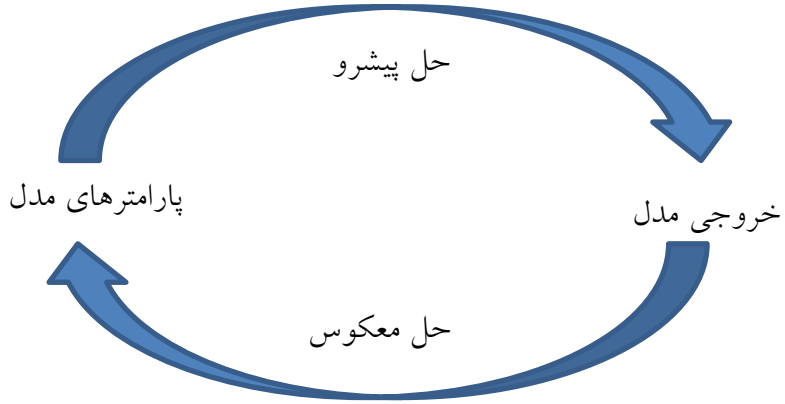
مدل شبیه‌ساز خروجی‌های مورد نظر بدست خواهند آمد. خروجی‌ها ممکن است هد هیدرولیکی، سرعت در نقاط مختلف و حتی غلظت آلاینده‌ها در نقاط مختلف آبخوان باشد. این نوع مدل‌سازی را اصطلاحا پیشرو[1] می‌نامند. ولی متاسفانه بندرت تطابق خوبی بین جواب‌های شبیه‌ساز و مشاهدات میدانی بدست خواهد آمد.

این اختلاف ما را ناچار به انجام فرآیند کالیبراسیون خواهد کرد. کالیبراسیون فرآیندی است که طی آن با تغییر دادن پارامترهای ورودی مدل، اختلاف بین مشاهدات و محاسبات به حداقل می‌رسد. این مرحله در تمام شبیه‌سازها انجام می شود. عمده‌ترین علت این اختلاف، عدم صحت مقادیر ورودی به شبیه‌ساز می باشد. از اصلی ترین پارامترهای ورودی که در پروسه کالیبراسیون یک مدل آب زیرزمینی نقش دارند ضریب نفوذپذیری[2] ، ضریب ذخیره[3] ، نرخ پمپاژ، شرایط مرزی و غیره می باشند. استفاده از روش سعی و خطا شاید از ابتدایی‌ترین ابزارهای کالیبراسیون باشد که کاربر با استفاده از تجربه خود، با تغییر دادن متغیرهای اساسی مدل به بیشترین هم‌خوانی میان مشاهدات و محاسبات برسد. اما امروزه ظهور کامپیوترها با قدرت محاسباتی بالا و تئوری‌های بسیار قوی بهینه‌سازی، ما را به سمت خودکارسازی فرآیند کالیبراسیون سوق می‌دهند. در فرآیند خودکارسازی کالیبراسیون مدل مورد مطالعه به تنهایی و بدون دخالت کاربر کالیبره خواهد شد. فرآیند فوق به کالیبراسیون خودکار[4] معروف است.

[1] Forward solution
[2] Coefficient of permeability
[3] Coefficient of storage
[4] Auto calibration

## ۲-۲ حل معکوس

بدست آوردن مشخصات سیستم با استفاده از یک سری اطلاعات محدود مشاهداتی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری را اصطلاحاً حل معکوس[1] می‌نامند . مسئله معکوس نقطه مقابل حل پیشرو می‌باشد[۳].




شکل ۲-۲-۱ روش حل پیشرو و معکوس در مدل سازی

حل مسئله معکوس به علت ویژگی‌های خاص این‌گونه مسائل، به نسبت پیچیده می‌باشد که در اصطلاح به آن ناجور بودن[2] گفته می‌شود[۳]. مسائل معکوس به وسیله‌ی معادلات دیفرانسیلی جزیی که اغلب غیر خطی هستند، بیان می‌شود و این معادلات نمایانگر رابطه‌ی بین ورودی و خروجی سیستم می‌باشند. در مسائل معمولی با در نظر گرفتن اطلاعات ورودی معلوم و معادلات دیفرانسیل حاکم، اطلاعات خروجی لازم بدست می‌آیند. اما در مسائل معکوس که عمدتاً در هنگام کالیبراسیون مدل‌های ریاضی پدیده‌های طبیعی پیش می‌آید، سعی می‌شود که با در دست داشتن

[1] Inverse solution
[2] Ill-posedness

اطلاعات خروجی و بر اساس معادلات حاکم، اطلاعات ورودی سیستم تعیین گـردد. پیچیـدگی حـل اینگونه مسائل به‌طور مستقیم متناسب با تعداد ورودی‌های مجهول می‌باشد. حل این معادلات مستلزم صرف هزینه‌ی چشمگیری است که در مقام مقایسه می‌تواند چندین برابر هزینه‌ی حل پیشـرو باشـد. علت این امر نیاز به محاسبات پیشرو متعدد است.

هر چند در این تحقیق به مسئله‌ی معکوس در آب‌های زیرزمینی پرداخته شده اما، ایـن مسـئله در شاخه‌های مختلف دیگر نیز مورد توجه قـرار گرفتـه اسـت. از ایـن قبیـل مـی‌تـوان از اکتشـافات ژئوفیزیکی[۱]، تصویر نگـاری پزشـکی[۲]، مسـائل معکـوس در انتقـال و پخشـیدگی گرمـا[۳]، آزمایشـات غیرمخرب[٤] و پردازش امواج[٥] نام برد. در پردازش امواج و تصویر، سعی بر این است که مـوج اصـلی سالم را از موج فیلتر شده پارازیت‌دار احیا کنند. اکتشافات نفت با دانستن هدایت الکتریکی تشکیلات سنگی امکان پذیر می‌شود. هدایت الکتریکی از اندازه‌گیری جریان القایی ناشی از برقراری یک میـدان مغناطیسی در تشکیلات سنگی، معین می‌شود. تحقیقات زلزله شناسی به وسیله اندازه‌گیری ارتعاشاتی انجام می‌شود که بروی سطح زمین ثبت شده است. این اندازه گیری‌ها فقط به صورت غیر مستقیم بـا ساختارهای زمین‌شناختی زیر سطحی که باید تعیین شوند، ارتباط دارند [٤].

تعیین پارامترهای مکانی و یا زمانی که به طور مثال معادلات دیفرانسیلی جزیی ظاهر می‌شوند، با اندازه‌گیری یک متغیر وابسته انجام می‌گیرد که می‌توانـد در کـل دامنـه و یـا فقـط بـر روی مرزهـا موجود باشد. مسائل گوناگون در مکانیک جامدات مانند تعیـین ثابـت‌هـای مربـوط بـه جـنس مـواد، جداسازی انرژی‌های گوناگون در جامدات و بررسی وجود تنش‌های باقیمانده را می‌توان نـام بـرد. از

[1] Geophysical Exploration
[2] Medical Imaging
[3] Inverse Heat conduction and Diffusion problem
[4] Non-destructive Evaluation
[5] Signal Processing