

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۴۷۲۱ - ۲۰۲۱۲۴۴



دانشگاه شیراز

دانشکده کشاورزی

گروه اقتصاد کشاورزی

### پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته اقتصاد کشاورزی

**تعیین میزان برداشت بهینه اقتصادی آب از منابع زیرزمینی**

(مطالعه موردی: دشت عجب‌شیر)

استاد راهنما

**دکتر جواد مسین زاد**

اساتید مشاور

**دکتر باب‌اله میاتی**

**دکتر اسماعیل پیش بهار**

پژوهشگر

**اکرم جوادی بجمی**

شهریور ۸۹

وزارت کشاورزی و منابع طبیعی  
شیراز

۱۳۸۹/۹/۲۸

۱۴۷۶۶۱

تقدیم به

پروردگارم

که نعمت وجود پدر و مادر را بر من ارزانی داشت.

## تهدروسپاس:

سپاس خالق هستی را که نعمت به تکامل رسیدن و شدن را در پیش پای انسان نهاد و ما را در راه رسیدن به فهم و شعور رهنمون ساخت.

تحقیق حاضر در پرتو عنایت پروردگار و در سایه همکاری و یاری اساتید بزرگوار و دوستان گرامی انجام گرفته است. از این رو بر خود واجب می‌دانم که مراتب قدردانی و تشکر خود را نسبت به آنها ابراز دارم.

در آغاز این پژوهش از پیشگاه استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر جواد حسین‌زاد تشکر و قدردانی می‌کنم که در کنار این تحقیق، درس زندگی نیز از ایشان آموختم. امیدوارم قادر به درک زیبایی‌های وجودشان باشم. همچنین از اساتید محترم گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تبریز جناب آقای دکتر محمد رضایی، دکتر راحلی، مهندس رضایی، دکتر کوهستانی و دکتر قهرمانزاده که در طول تحصیل همواره بنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده و راهگشای مشکلات اینجانب بوده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از زحمات اساتید مشاور، جناب آقای دکتر حیاتی و دکتر پیش بهار تشکر فراوان می‌نمایم. همچنین از داور محترم، جناب آقای دکتر دشتی که زحمت بازخوانی پایان‌نامه را بر عهده داشتند، سپاسگزارم.

بر خود لازم می‌دانم از مدیریت و کارکنان اداره آبیاری شهرستان عجب‌شیر بخصوص آقای مهندس آقاجانی و نیز کارکنان محترم اداره جهاد کشاورزی این شهرستان به خاطر همکاری‌های بسیار صمیمانه‌شان با اینجانب تشکر کنم. همچنین از کارکنان سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، واحد آبهای زیرزمینی، آقای مهندس زینالی به خاطر در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات تشکر می‌کنم.

از دانشجویان دوره دکتری، آقای ندیری از گروه زمین‌شناسی، آقای فشاری از گروه اقتصاد، آقای اسمعیلی از گروه روانشناسی و همچنین تمامی دانشجویان کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی به خصوص از دوستان عزیزم خانم مریم حق جو، سمیه شرفا، الهام کاه‌فروشان و همچنین تمام دوستان دانشگاهی که در به ثمر رسیدن این پایان‌نامه همکاری‌هایی را با بنده داشتند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

از مسئولین سایت دانشکده آقای مهندس سلطانی، آقای دکتر حمید پایا و دوستان بزرگوام در گروه علوم دامی به جهت کمک‌های بی‌دریغ‌شان سپاسگزارم.

از دوستان خوبم خانم مهندس فاطمه صالحی، سولماز تجدد، رویا فردوسی، هدی ناصری و برادر بسیار عزیزم حسین که همواره در تمام دوران زندگی‌ام امید را در من زنده نگه داشتند، بی‌نهایت سپاسگزارم و آرزوی توفیق‌شان را دارم.

در نهایت از پدر و مادرم، برادرم علی و خواهرانم بهناز و سیمین که در طول دوران تحصیلی اینجانب متحمل زحمات فراوان شدند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

نام خانوادگی دانشجو : جوادی بجفی	نام : اکرم
عنوان پایان نامه : تعیین میزان برداشت بهینه اقتصادی آب از منابع زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب شیر)	
استاد راهنما : دکتر جواد حسین زاد	
اساتید مشاور : دکتر باب الله حیاتی - دکتر اسماعیل پیش بهار	
مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد	رشته : اقتصاد کشاورزی
تاریخ فارغ التحصیلی : ۳۰-۶-۸۹	دانشکده : کشاورزی
تعداد صفحه : ۱۰۱	
کلید واژه‌ها : برداشت بهینه اقتصادی، دشت عجب شیر، مدل کنترل بهینه، منابع آب زیرزمینی	
<p><b>چکیده</b></p> <p>با افزایش فعالیت‌های کشاورزی برای تامین غذای جمعیت رو به رشد جهان، مصرف منابع آبی برای انجام این فعالیت‌ها نیز افزایش یافته است. این درحالی است که پیش‌بینی‌های سازمان ملل نشان دهنده آن است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی محدودیت منابع آبی، اصلی‌ترین موضوع مورد بحث جهانی خواهد بود. در مواجهه با چنین کمبودی، منابع آب زیرزمینی به دلیل کیفیت و قابل دسترس بودن آن، یکی از مهم‌ترین منابع عرضه آب در بسیاری از مناطق می‌باشد. حال آنکه به سبب روش‌های نادرست و غیرعلمی برداشت و مصرف آب، از این منبع محدود به درستی استفاده نمی‌شود. بطوری که در اکثر نواحی کشور سطح سفره‌های آب زیرزمینی به شدت افت نموده و تراز آن منفی است. بنابراین به کار بردن یک برنامه مدیریت مناسب برای استفاده بهینه از این منابع ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه اثرات تخلیه آب زیرزمینی در طول زمان انباشته می‌شود، زمان به عنوان یک متغیر اساسی در حل مسائل بهینه سازی برای چنین منابعی مطرح است و استفاده از مدل‌های پویا مانند روش کنترل بهینه را برای چنین مواردی و به منظور در نظر گرفتن افق‌های زمانی، ضروری می‌نماید. هدف عمده در این مدل‌ها، یافتن حداکثر منافع خالص اجتماعی با توجه به پایداری سفره می‌باشد. به عبارت</p>	

ادامه چکیده پایان نامه ..

دیگر استخراج آب طوری انجام می‌گیرد که برداشت برابر و یا حتی کمتر از میزان جایگزینی به سفره باشد. بدین ترتیب آسیبی به سفره زیرزمینی نرسیده و مورد استفاده آیندگان نیز قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر مدل کنترل بهینه برای برداشت آب‌های زیرزمینی دشت عجب‌شیر که از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی می‌باشد، بکار رفته است. این دشت از جمله مناطقی است که با مشکل کمبود و تراز منفی منابع آب زیرزمینی مواجه می‌باشد. با اجرای مدل کنترل بهینه در این منطقه، مسیر بهینه استخراج آب از منبع زیرزمینی آن تعیین گردید. از طرفی سناریویی که بتواند تا حدی وضعیت موجود را بیان کند، تحت عنوان قیمت‌گذاری بر پایه هزینه استخراج مطرح شد. نتایج به دست آمده از طریق بهینه‌سازی با نتایج وضعیت موجود مقایسه گردید که نشان می‌دهد چنانچه وضعیت موجود ادامه یابد نه تنها بهبودی در وضعیت سفره بوجود نخواهد آمد بلکه طی ۸ سال تخریب شده و به لایه شور برخورد خواهد کرد. در حالیکه روش کنترل بهینه مسیری برای استخراج آب به دست می‌دهد که باعث می‌شود حدود ۳۶ سال بعد، ارتفاع آب در سفره زیرزمینی بالا آمده و در سطح ایستابی بهینه خود قرار گیرد. در این مدت میزان برداشت آب از سفره کاهش یافته و از یک منبع جایگزین مناسب که در این مطالعه فاضلاب تصفیه شده می‌باشد، برای تأمین اضافه نیاز کشاورزان استفاده می‌شود. به این ترتیب رعایت حد تعیین شده از یک طرف موجب حفظ و پایداری سفره شده و از طرف دیگر توسعه و ادامه پایدار فعالیت‌های کشاورزی و افزایش درآمد کشاورزان منطقه را به دنبال خواهد داشت.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
<b>فصل اول : کلیات</b>	
۱-۱ مقدمه .....	۱
۲-۱ بیان مسئله .....	۴
۳-۱ اهداف تحقیق .....	۸
۴-۱ سوالات تحقیق .....	۹
<b>فصل دوم : مبانی نظری و پیشینه تحقیق</b>	
۱-۲ اهمیت منابع آبهای زیرزمینی در کشاورزی .....	۱۰
۲-۲ محاسن آبهای زیرزمینی .....	۱۱
۳-۲ پیامدهای برداشت بی‌رویه آبهای زیرزمینی .....	۱۲
۴-۲ انواع سفره‌های زیرزمینی به لحاظ بهره‌برداری .....	۱۲
۵-۲ ماهیت بهینه یابی پویا .....	۱۴
۶-۲ متغیر کنترل .....	۱۷
۷-۲ متغیر وضعیت .....	۱۸
۸-۲ تابعی هدف .....	۲۰
۹-۲ روش های مختلف حل مسئله بهینه یابی پویا .....	۲۱
۱-۹-۲ برنامه ریزی ریاضی .....	۲۲
۲-۹-۲ حساب تغییرات .....	۲۲
۱-۲-۹-۲ معادله اولر .....	۲۳
۳-۹-۲ نظریه کنترل بهینه .....	۲۵
۱۰-۲ پیشینه تحقیق .....	۲۳
۱-۱۰-۲ مطالعات داخلی .....	۲۴
۲-۱۰-۲ مطالعات خارجی .....	۲۷



## فصل سوم : متدولوژی

۴۵	۱-۳ متدولوژی
۴۵	۱-۱-۳ تابع هدف
۴۶	۱-۱-۱-۳ تابع تقاضا
۴۷	۲-۱-۱-۳ رابطه هزینه
۴۹	۲-۱-۳ معادله حرکت
۵۱	۳-۱-۳ تابع همپلتن
۶۱	۲-۳ الگوی تجربی
۶۳	۳-۳ اطلاعات و آمار مورد نیاز
۶۴	۴-۳ ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه
۶۴	۱-۴-۳ موقعیت جغرافیایی شهرستان عجب شیر
۶۵	۲-۴-۳ آب و هوای منطقه مورد مطالعه
۶۶	۳-۴-۳ وضعیت تولیدات کشاورزی
۶۶	۵-۴-۳ وضعیت منابع آبی شهرستان عجب شیر
۷۰	۱-۵-۴-۳ وضعیت بارندگی منطقه

## فصل چهارم : نتایج و بحث

۷۲	۱-۴ نتایج مربوط به روند مصرف و جایگزینی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه
۷۴	۲-۴ نتایج الگوی تجربی کنترل بهینه
۷۷	۳-۴ نتایج مدیریت بر پایه هزینه استخراج
۸۲	۴-۴ نتایج مدیریت بر اساس تئوری کنترل بهینه

## فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادها

۹۰	نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۶	فهرست منابع مورد استفاده

## فهرست جداول، نمودارها و اشکال داخل متن

صفحه

جدول (۱-۲): دشت‌های ممنوعه استان آذربایجان شرقی در سال ۱۳۸۸	۱۳
جدول (۲-۲): دشت‌های غیر ممنوعه استان آذربایجان شرقی	۱۴
جدول (۱-۳): منابع تغذیه سفره آب زیرزمینی	۷۰
جدول (۱-۴): جایگزینی و میزان برداشت تحت سناریوی قیمت‌گذاری بر پایه هزینه استخراج	۸۱
جدول (۲-۴): جایگزینی و میزان برداشت تحت سناریوی مدیریت کارا (کنترل بهینه)	۸۷
نمودار (۱-۱): روند افزایش تعداد چاه‌های کشور	۲
نمودار (۲-۱): روند افزایش استخراج آب زیرزمینی کشور	۳
نمودار (۱-۳): نمودار مسیرهای پویای سطح و قیمت آب	۵۸
نمودار (۲-۳): قیمت بازاری هر واحد آب زیرزمینی (سال‌های ۱۳۷۴ الی ۱۳۸۷)	۶۴
نمودار (۳-۳): متوسط بارندگی بر حسب میلی‌متر (سال‌های ۱۳۷۴ الی ۱۳۸۷)	۷۱
نمودار (۱-۴): مقایسه برداشت آب زیرزمینی و میزان جایگزینی از سال‌های ۱۳۷۴ الی ۱۳۸۷	۷۲
نمودار (۲-۴): هیدروگراف واحد سطح آب زیر زمینی دشت عجب شیر برای یک دوره ۲۴ ساله	۷۳
نمودار (۳-۴): روند افزایش قیمت بر طبق قیمت‌گذاری بر پایه هزینه استخراج	۷۸
نمودار (۴-۴): روند کاهش سطح سفره آب زیرزمینی تحت قیمت‌گذاری بر پایه هزینه استخراج	۷۹
نمودار (۵-۴): میزان برداشت آب از منبع زیرزمینی طبق قیمت‌گذاری بر پایه هزینه استخراج	۸۰
نمودار (۶-۴): مسیر بهینه سطح سفره آب زیرزمینی بر اساس الگوی کنترل بهینه	۸۴
نمودار (۷-۴): مسیر بهینه قیمت آب بر اساس الگوی کنترل بهینه	۸۵
نمودار (۸-۴): مسیر بهینه استخراج آب از سفره بر اساس الگوی کنترل بهینه	۸۶
نمودار (۹-۴): میزان تقاضای آب بر حسب قیمت‌های بهینه	۸۸
نمودار (۱۰-۴): میزان اضافه تقاضای آب، تأمین شده از منبع جایگزین	۸۹

- شکل (۱-۳): نمودار کلی حرکت آب در سفره آب زیرزمینی..... ۴۹
- شکل (۲-۳): موقعیت منطقه مورد مطالعه (سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۸۸)..... ۶۷
- شکل (۳-۳): نواحی سه گانه منطقه از نظر مصرف آب زیرزمینی..... ۶۹

# فصل اول

کلمات

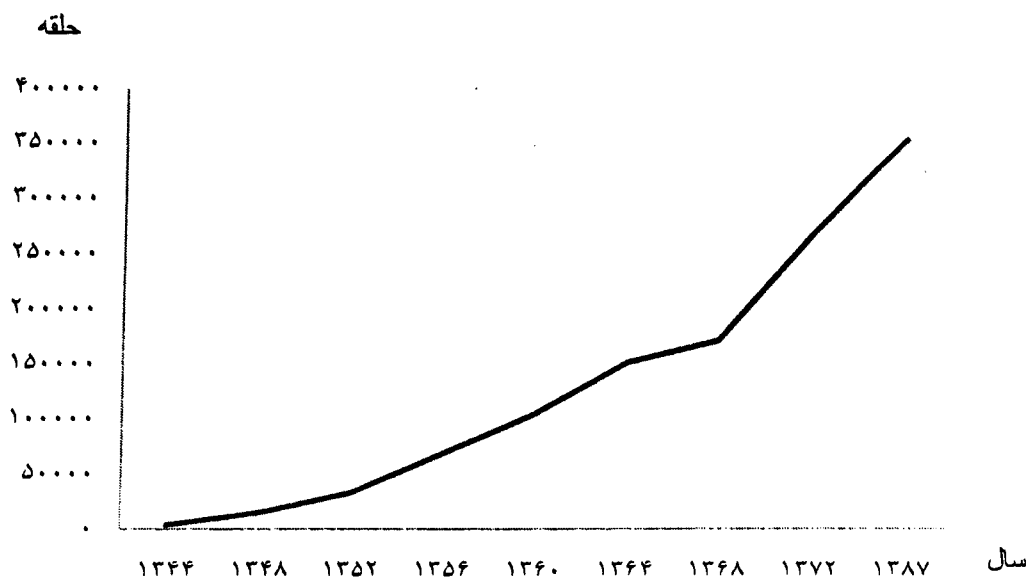


افزایش روزافزون جمعیت جهان و در نتیجه تامین نیازهای غذایی آنها، سبب شده تا فعالیت-های کشاورزی نیز رو به افزایش باشد. انجام چنین فعالیت‌هایی به منابع متنابهی از آب وابسته است. از طرفی پیش‌بینی‌های سازمان ملل نشان‌دهنده آن است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی محدودیت منابع آبی، اصلی‌ترین موضوع مورد بحث جهانی خواهد بود. زیرا تا آن زمان جمعیت جهان به مرز ۹/۴ میلیارد نفر خواهد رسید و در نتیجه تامین آب، مواد غذایی و حفظ محیط زیست، مهم‌ترین دغدغه رهبران کشورها خواهد بود. شرایطی که گفته شد به ویژه برای کشورهای خاورمیانه با پنج درصد جمعیت جهان و دسترسی به تنها یک درصد از آبهای شیرین هشدار دهنده‌تر است (وزارت نیرو، ۱۳۸۶). کشور ما بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده از سوی سازمان ملل متحد (در صورت تداوم وضعیت موجود) تا سال ۲۰۲۵ به لیست کشورهای با وضعیت کمبود آب خواهد پیوست. در حال حاضر نیز به علت قرار گرفتن ایران در کمربند خشک آب و هوایی جهان، بارندگی‌های آن دارای دو ویژگی پایین بودن میزان نزولات جوی (متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در مقایسه با متوسط بارندگی ۷۵۰ میلی‌متر جهان) و پراکندگی نامتناسب زمانی و مکانی ریزش‌های جوی با نیازهای کشاورزی و زمان‌های پرمصرف آبی (حداقل ۷۴ میلی‌متر در مناطق کویری و ۸۴۰ میلی‌متر در بعضی مناطق غرب و شمال کشور) می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۷) که باعث شده است آب هم‌چنان به عنوان مهم‌ترین محدودکننده‌ترین نهاده تولیدی در اغلب مناطق کشاورزی ایران شناخته شود (حسین‌زاد، ۱۳۸۳). در مواجهه با چنین کمیابی، منابع آب زیرزمینی<sup>۱</sup> به دلیل کیفیت و قابل دسترس بودن آن، یکی از مهم-

<sup>۱</sup>Groundwater

ترین منابع عرضه آب، در کنار آب‌های سطحی، در بسیاری از مناطق می‌باشد. در ایران نیز به دلیل اقلیم خشک و بیابانی، استفاده از منابع آب زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است.

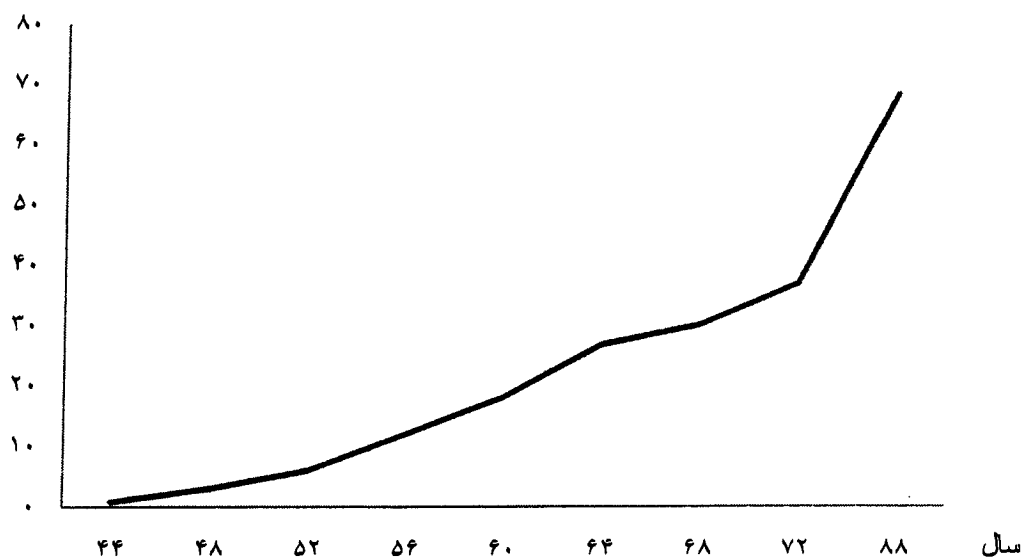
با توجه به رشد سریع جمعیت در سال‌های اخیر، توسعه مناطق شهری و کشاورزی و محدودیت منابع آب سطحی، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی به عمل آمده است به-طوریکه به استناد گزارش‌هایی که از طریق وزارت نیرو منتشر می‌شود، سفره‌های آب زیرزمینی در اغلب دشت‌های کشور وضعیت مطلوبی ندارند. بر اساس گزارش وزارت نیرو در سال ۱۳۸۶، میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی معادل ۵۶/۵ میلیارد مترمکعب، ولی برداشت معادل ۶۱/۳ میلیارد مترمکعب بوده است. بنابراین سالانه ۴/۸ میلیارد مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی در سطح کشور وجود دارد. بطوری که در اکثر نواحی کشور سطح سفره‌های آب زیرزمینی به شدت افت نموده و باعث به وجود آمدن خسارات جبران ناپذیری به منابع آب زیرزمینی کشور و نهایتاً به فرونشست و شکاف زمین می‌انجامد. روند افزایش تعداد چاه‌ها و تخلیه آب‌های زیرزمینی کشور بر حسب میلیارد مترمکعب، در دهه‌های اخیر در نمودارهای (۱-۱) و (۲-۱) مشخص شده است.



نمودار (۱-۱): روند افزایش تعداد چاه‌های کشور (مأخذ: وزارت نیرو، ۱۳۸۷)

همانطور که نمودار (۱-۱) نشان می‌دهد، تعداد چاه‌های کشور از حدود ۵ هزار حلقه در سال ۱۳۴۴ به حدود ۳۵۰ هزار حلقه در سال ۱۳۸۷ رسیده است. این روند افزایشی، در ۲۰ سال اخیر سرعت بیشتری به خود گرفته است که مهم‌ترین دلیل آن را می‌توان به کاهش نزولات جوی و نیز عدم استفاده صحیح از آب‌های سطحی و هدر دادن بیش از حد آن‌ها نسبت داد.

میلیارد متر مکعب



نمودار (۱-۲): روند افزایش استخراج آب زیرزمینی کشور (مأخذ: وزارت نیرو، ۱۳۸۷)

چنانچه از نمودار (۱-۲) نیز مشخص است، با زیاد شدن تعداد چاه‌ها، میزان تخلیه آب از منابع زیرزمینی توسط آن‌ها نیز افزایش یافته است. به‌طوریکه میزان برداشت از این منابع حدود ۱ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۴۴ بود که به حدود ۷۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۸۷ رسیده است. این روند افزایشی همانند تعداد چاه‌ها، در ۲۰ سال اخیر سرعت بیشتری به خود گرفته است.

بهرحال اهمیت بالای منابع آب و روش‌های نادرست و غیرعلمی برداشت و مصرف آن<sup>۱</sup>، سبب شده تا تلاش‌های بسیاری برای یافتن یک برنامه بهینه در استفاده از این منابع انجام گیرد. با توجه به اینکه اثرات تخلیه آب زیرزمینی در طول زمان انباشته می‌شود، زمان به عنوان یک متغیر اساسی در حل مسائل بهینه‌سازی برای چنین منابعی مطرح است و استفاده از مدل‌های پویا را برای چنین مواردی و به منظور در نظر گرفتن افق‌های زمانی، ضروری می‌نماید (پانگ کیج ووراسین<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). در ادبیات اقتصادی جهان، کاربرد رهیافت‌های بهینه‌سازی پویا<sup>۳</sup> برای ایجاد مدیریت بهینه در استفاده از منابع طبیعی، بخصوص آب‌های زیرزمینی، رایج می‌باشد. عمده روش حل چنین مدل‌هایی، تئوری کنترل بهینه<sup>۴</sup> می‌باشد که به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این در حالی است که در کشور ایران، روش‌های بهینه‌سازی برای مصرف منابع، عمدتاً تکیه بر رهیافت‌های برنامه‌ریزی خطی دارد. کاربرد این روش‌ها عمدتاً برای تخصیص منبع مورد نظر و ارائه الگوهای مناسب کشت می‌باشد.

#### ۲-۱ بیان مسئله

همانطور که گفته شد فعالیت‌های کشاورزی در جهت تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهان، گسترده‌تر می‌شود. لذا استفاده از منابع آبی برای انجام این فعالیت‌ها افزایش یافته است. میانگین مصرف آب بخش کشاورزی در جهان، حدود ۷۰ درصد کل مصارف آب می‌باشد (سازمان خوار و بار جهانی، ۲۰۰۸). در حالیکه سهم این بخش در مصرف آب در ایران، بیش از ۹۰ درصد می‌باشد (حیدری و همکاران، ۱۳۸۵). در واقع به دلیل راندمان پایین استفاده از آب در اکثر کشورهای در حال

<sup>۱</sup> راندمان روش‌های آبیاری و انتقال آب در اکثر مناطق کشور ۳۰-۳۵ درصد می‌باشد (شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۱۳۸۸).

<sup>۲</sup> pongkijvorasin

<sup>۳</sup> Dynamic Optimazation

<sup>۴</sup> Optimal Control Theory



توسعه، مصرف آب در این کشورها به مراتب بیشتر از سایر نقاط جهان می باشد. براساس آمار اعلام شده، میانگین آب مصرفی سرانه جهان (صنعتی، کشاورزی و آشامیدنی) در حدود ۵۸۰ مترمکعب برای هر نفر در سال است در حالیکه این رقم در ایران حدود ۱۳۰۰ مترمکعب می باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). در کشور ما ۷۰ درصد بیشتر از الگوی جهانی آب مصرف می شود. رشد نسبتاً بالای جمعیت کشور و رشد کشاورزی، صنعت و شهرنشینی در سال های اخیر، موجب شده است که متوسط سرانه آب قابل تجدید کشور تقلیل یابد. این رقم از حدود ۵۵۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۴۰ به حدود ۳۴۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۵۷، حدود ۲۵۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۶۷، ۲۱۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۷۶ و حدود ۱۷۵۰ متر مکعب در سال ۱۳۸۵ کاهش یافته است و اکنون حدود ۱۳۰۰ مترمکعب در سال می باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۸).

منابع آب زیرزمینی، بزرگترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین در کره زمین را تشکیل می دهند. به دلیل اینکه ۹۷ درصد منابع آبی، شور بوده و مقدار بسیار محدودی از آنها به طور مستقیم از سوی انسان مورد استفاده قرار گرفته است. افزون بر آن، کمی بیش از ۱/۷۶ درصد از آب های کره زمین به صورت بلور یا رودخانه های یخی از دسترس خارج شده آنچه تقریباً باقی مانده، در عمق زمین ذخیره شده است (خلیلیان و مهرجردی، ۱۳۸۴). لذا در مناطقی که منابع آب سطحی محدود بوده و یا به راحتی در دسترس انسان قرار ندارد، می توان نیاز انسان ها را به آب از طریق آب های زیرزمینی مرتفع نمود. آب های زیرزمینی برخلاف آب های سطحی، تحت تأثیر تغییرات سریع دما و تغییر بارندگی های فصلی قرار نمی گیرند، لذا منبع قابل اتکاتری است؛ از سوی دیگر آب در مسیری که برای پیوستن به سفره آب زیرزمینی طی می کند، از لایه های متعدد خاک عبور می کند و همین، به نوعی به تصفیه

طبیعی آب منجر می‌گردد. ضمناً آب زیرزمینی، سریعاً تحت تأثیر آلودگی‌های سطحی قرار نمی‌گیرد (کاظمی آذر، ۱۳۸۵).

آب‌های زیرزمینی در ایران که دارای اقلیم خشک و بیابانی است، از اهمیت زیادی برخوردار است. میزان برداشت سالانه حدود ۶۱ میلیارد متر مکعب آب از منابع زیرزمینی کشور، اهمیت این منبع پرارزش را نشان می‌دهد (وزارت نیرو، ۱۳۸۶). بنابراین اهمیت مسئله اساسی، جلوگیری و کاهش تخریب این منابع می‌باشد که با اعمال مدیریت صحیح بهره‌برداری از آنها امکان‌پذیر می‌باشد. از جمله راهکارهای مدیریتی اتخاذ رهیافت‌های مناسب جهت تعیین میزان بهینه برداشت از منابع آب علی‌الخصوص منابع زیرزمینی می‌باشد. مناسب‌ترین گام برای این کار، به‌کارگیری انواع روش‌های بهینه‌سازی می‌باشد که در مورد منبع آب زیرزمینی به دلیل پویایی آن و انباشتگی اثرات استخراج و جایگزینی آن در طول زمان، روش‌های بهینه‌یابی پویا اهمیت بیشتری پیدا می‌کند ( کاظمی آذر، ۱۳۸۵).

تئوری کنترل بهینه یکی از مهم‌ترین رهیافت‌های حل مسائل بهینه‌یابی پویا برای چنین مواردی است که مورد استفاده اقتصاددانان بسیاری قرار گرفته است. به عنوان مثال می‌توان از مطالعات تولی و هاستینگ<sup>۱</sup> (۱۹۶۰)، بورت<sup>۲</sup> (۱۹۶۳، ۱۹۶۷، ۱۹۷۰)، فینرمن و کی‌ناپ<sup>۳</sup> (۱۹۸۳)، پروونچر<sup>۴</sup> (۱۹۹۳)، چاکراوورتی و اوماتسو<sup>۵</sup> (۲۰۰۳) و ری نلت<sup>۶</sup> (۲۰۰۵) نام برد. این پژوهشگران، مساله استخراج و تخصیص منابع آب زیرزمینی را در زمینه تئوری استخراج مورد مطالعه قرار دادند. به این معنی که

<sup>1</sup> Tolley & Hastings

<sup>2</sup> Burt

<sup>3</sup> Feinerman & Knapp

<sup>4</sup> Provencher

<sup>5</sup> Chakravorty & Umetsu

<sup>6</sup> Reinelt

سفره آب زیرزمینی به عنوان یک منبع قابل تجدید با یک نرخ ثابت جایگزینی در نظر گرفته شده و از روش بهره برداری بهینه منابع تجدید ناپذیر (کنترل بهینه)، به منظور تخصیص کارآمد آن در طول زمان بهره گرفته می‌شود. هدف عمده در این مطالعات، یافتن حداکثر درآمد خالص اجتماعی در استفاده از منبع بوده تا بهره‌برداری کارآمد در طول زمان حاصل آید.

همانطور که اشاره شد، بیشتر دشت‌های کشور از نظر منابع آب زیرزمینی در وضعیت مناسبی نمی‌باشند. در واقع به علت برداشت بیش از حد از این منابع و عدم مدیریت صحیح آن‌ها، سطح بیشتر سفره‌های آب زیرزمینی افت زیادی داشته است. دشت عجب‌شیر که به عنوان منطقه تحت بررسی این مطالعه در نظر گرفته شده است نیز از این قاعده مستثنی نیست. این دشت به عنوان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی می‌باشد. سطح اراضی کشاورزی آن حدود ۷۰۰۰ هکتار می‌باشد که ۶۱ درصد آن به زراعت (گندم، پیاز و سیب‌زمینی)، ۳۳ درصد آن به باغات (بادام و گردو) اختصاص دارد و حدود ۶ درصد آن را تاکستان‌ها پوشش می‌دهند. با توجه به آماری که از مطالعات مربوط به منابع آب کشاورزی دشت عجب‌شیر به دست آمده است، میانگین برداشت از آب‌های سطحی در حدود ۲۷/۷ میلیون مترمکعب و میانگین استخراج از منابع آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی در حدود ۳۶/۷ میلیون مترمکعب می‌باشد. بنابراین کل آب مصرفی کشاورزی سالیانه در این منطقه حدود ۶۴/۴ میلیون مترمکعب می‌باشد. به عبارت دیگر از کل آب کشاورزی، سالیانه حدود ۵۷ درصد از منابع زیرزمینی و حدود ۴۳ درصد از منابع سطحی که مهم‌ترین منبع آن رودخانه قلعه‌چای می‌باشد، تأمین می‌گردد. منابع آب زیرزمینی از طریق حفر چاه‌ها که مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش برداشت آب از این منابع هستند، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. تعداد ۹۹۸ حلقه

چاه در این منطقه گزارش شده است که ۹۳۴ حلقه آن به مصارف کشاورزی اختصاص دارد، البته تنها حدود ۵۷۰ حلقه آن فعال می‌باشد (مطالعات اجتماعی تکمیلی منطقه بهبود عجب شیر، ۱۳۸۴). اما به دلیل وابستگی درآمد منطقه به کشاورزی و استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی به دلیل عدم دسترسی مناسب به آب‌های سطحی، تراز آب سفره زیرزمینی آب در طول ۲۰ سال اخیر، حدود ۶ متر افت داشته است. (سطح سفره آب زیرزمینی از حدود ۱۲۹۶/۵ متر در سال ۱۳۶۴ به ۱۲۹۰/۴ متر در سال ۱۳۸۷ رسیده است). لذا دشت عجب شیر به عنوان منطقه ممنوعه در سال‌های اخیر، اعلام شده است. به این معنی که مجوز احداث چاه جدید در این دشت صادر نمی‌شود (سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۴).

مطمئناً استفاده از یک روش پویای مناسب برنامه‌ریزی مانند کنترل بهینه برای ساماندهی و برنامه‌ریزی صحیح برداشت از منابع آب زیرزمینی این منطقه، می‌تواند از یک طرف موجب حفظ و پایداری سفره شده و از طرف دیگر توسعه و ادامه پایدار فعالیت‌های کشاورزی و افزایش درآمد کشاورزان منطقه را به دنبال داشته باشد.

### ۱-۳ اهداف تحقیق

بنابر اهمیت و ضرورتی که در رابطه با منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از تخریب آن‌ها گفته شد، هدف اصلی مطالعه حاضر، تعیین میزان برداشت بهینه آب از منابع آب زیرزمینی منطقه عجب-شیر جهت حصول به بیشینه درآمد از مصرف آب، می‌باشد. در این راستا میزان بهینه استخراج آب با روند فعلی برداشت مقایسه و تحلیل خواهد شد.