



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده عمران

پایان نامه به عنوان تحقق بخشی از شرایط دریافت درجه کارشناسی ارشد گرایش مهندسی آب

استفاده بهینه از منابع طبیعی در برنامه ریزی و تعیین الگوی کشت (مطالعه موردی: دشت میاندوآب)

نگارش

حمید فرهمند

استاد راهنما

دکتر مسعود تجریشی

دی ۱۳۹۴

به نام خدا
دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه با عنوان: استفاده بهینه از منابع طبیعی در برنامه ریزی و تعیین الگوی کشت (مطالعه موردی: دشت میاندوآب)، نگارش حمید فرهمند در جلسه مورخ ۱۳۹۴/۱۰/۰۶ در کمیته داوران متشکل از استادان به اسامی زیر مورد تأیید قرار گرفت.

- دکتر محمد مسعود آقا محمدحسین تجریشی

- دکتر احمد ابریشمچی

- دکتر جمشید موسوی

امضای استاد راهنما

۹۴/۱۱/۱۴

تاریخ

Approval sheet

In the name of God
Sharif University of Technology
Civil Engineering

M.Sc. Thesis

This is certified that the thesis with the title Optimal utilization of natural resources in crop planning (case study: Miandoab plain) written by Hamid Farahmand has been approved in the below Thesis Referees Committee in the date of 06/10/1394.

- Dr. Masoud Agha Mohammad Hossein Tajrishi
- Dr. Ahmad Abrishamchi
- Dr. Jamshid Mosavi

Advisor Signature

masoud 

Date:

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیز و کرانِ قدم

بہ پاس زحمات و محبت ہاں بی حسابشان

تشکر و قدردانی

خدای را سپاس گزارم که به من توفیق داد تا به عنوان شاگرد استاد گران قدرم جناب آقای دکتر مسعود تجریشی، رساله‌ای را با هدف کمک به حل یکی از معضلات زیست‌محیطی کشور، انجام دهم. از خدا خواستار خیر بسیار برای ایشان هستم که در این مسیر، زحمات بسیاری متحمل شده‌اند. از جناب آقای مهندس آقای (دانشجوی دکتری دکتر تجریشی)، مهندس روزبهانی و مهندس حاجی مرادی که در تهیه این پایان‌نامه، بنده را همراهی نمودند تشکر و قدردانی به عمل می‌آورم.

چکیده

بخش کشاورزی در ایران، بیشترین میزان مصرف منابع آب سطحی و زیرزمینی را به خود اختصاص داده است. عدم مدیریت صحیح مصرف آب در این بخش باعث شده است تا علیرغم مصرف زیاد آب، نتوان به میزان قابل قبولی از تولید محصولات کشاورزی دست یافت. بعلاوه، وقوع مشکلات زیست‌محیطی بسیار در اثر مصرف بیش از اندازه‌ی منابع آب سطحی و زیرزمینی، توجه مسئولین ذی‌ربط نسبت به مدیریت مصارف آب را به خود جلب کرده است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه یکی از مناطقی است که در آن، طی دو دهه اخیر به دلیل عدم مدیریت صحیح منابع آب، با مشکلات بسیاری از جمله کاهش سطح آب دریاچه ارومیه روبرو شده است. هرگونه بهبود در نحوه بهره‌برداری از منابع آب این حوضه می‌تواند به روند تأمین نیاز آبی دریاچه کمک شایان نماید.

عبور حدود ۵۰ درصد از تمامی آب‌های سطحی واردشده به دریاچه ارومیه از بخش جنوبی آن، نشان از اهمیت بالای دشت میاندوآب به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه برای احیای این دریاچه است. مجموع میزان آب مصرفی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در این دشت برای تأمین نیاز آبی زمین‌های زراعی و باغی، تقریباً برابر با ۵۴۰ میلیون مترمکعب در سال است. هدف از انجام این مطالعه، تخصیص مناسب سطح زیر کشت و منابع آب به گیاهان زراعی با هدف بیشینه کردن درآمد حاصل از تولید آن‌ها و کمینه کردن آب موردنیاز آبیاری آن‌ها است تا از این روش، با بهبود وضعیت معیشت مردم منطقه، حجم آب قابل توجهی برای کمک به احیای دریاچه ارومیه ذخیره شود.

برنامه‌ریزی برای تأمین نیاز آبی گیاهان زراعی، نیازمند شبیه‌سازی رفتار گیاه برای تولید محصول زراعی است. لذا، با استفاده از تابع تولید گیاه، میزان تولید گیاه و نیاز آبی آن به ازای تاریخ‌های مختلف کشت و درجه‌های مختلف کم آبیاری مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از تابع شبیه‌ساز تولید گیاه، به‌عنوان اطلاعات ورودی الگوریتم بهینه‌سازی عمل خواهند کرد. از آنجاکه دو تابع هدف موردنظر در این رساله (بیشینه کردن درآمد حاصل از تولید محصول زراعی و کمینه کردن نیاز آبیاری)، رفتار متضاد نسبت به هم دارند، ارضای هر دوی آن‌ها به صورت همزمان امکان ندارد. در نتیجه، به جای یافتن یک جواب خاص، مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه به دست خواهند آمد. الگوریتم ژنتیک چندهدفه، از جمله روش‌های معمول تعیین مجموعه جواب بهینه است که به دلیل دقت و سهولت استفاده از آن در نرم‌افزار MATLAB، برای یافتن مجموعه جواب بهینه در این رساله انتخاب شده است.

نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه نشان داد که برنامه‌ریزی برای کاهش نیاز آبیاری و افزایش درآمد تولید محصولات زراعی، کاملاً امکان‌پذیر است و در بهترین حالت می‌توان با وجود کاهش حدود ۶۰ درصد در تخصیص آب آبیاری، درآمد را نیز در حدود ۳۰ درصد افزایش داد. با این وجود، اجرای بسیار مشکل بخشی از سناریوهای مورد بررسی در این مطالعه، مانع

از انتخاب سناریوی برتر (شامل تنظیم تاریخ آبیاری، تغییر تاریخ کشت، اعمال کم آبیاری و تغییر سطح زیر کشت) به عنوان راه حل عملی از جانب سیاست گذاران خواهد شد. با این حال، کاهش مصرف آب در اثر تغییر تاریخ کشت گیاهان برای استفاده‌ی بیشتر از بارش باران، عدم مطلوبیت کشت یونجه، چغندر و ذرت دانه‌ای و مطلوبیت نسبی کشت گندم و گوجه‌فرنگی از جمله نتایجی است که می‌تواند راهنمای سیاست گذاران برای انتخاب سیاست مناسب باشد.

کلمات کلیدی: تخصیص بهینه، تابع تولید گیاه، الگوریتم ژنتیک، دشت میاندوآب، الگوی کشت، کم آبیاری، درآمد

اقتصادی

فهرست

۱	۱. فصل اول: پیشگفتار
۱-۱	۱-۱ مقدمه
۱۱	۲-۱ اهداف تحقیق
۱۱	۳-۱ مراحل انجام تحقیق
۱۳	۴-۱ دامنه و فرضیات تحقیق
۱۴	۵-۱ نرم افزارهای مورد استفاده
۱۵	۶-۱ مروری بر مطالب فصل ها
۱۶	۲. فصل دوم: مرور بر ادبیات
۲۴	۳. فصل سوم: معرفی منطقه
۲۴	۱-۳ اطلاعات هواشناسی
۲۷	۲-۳ وضعیت منابع آب سطحی
۲۷	۱-۲-۳ رودخانه زرینه رود
۲۹	۲-۲-۳ رودخانه سیمینه رود
۳۱	۳-۳ سد بوکان
۳۲	۴-۳ خاک شناسی
۳۲	۵-۳ کاربری اراضی
۳۳	۶-۳ تولیدات کشاورزی
۴۰	۷-۳ منبع تأمین آب کشاورزی دشت میاندوآب
۴۰	۱-۷-۳ شبکه آبیاری زرینه رود
۴۷	۲-۷-۳ حفر چاه و استخراج آب زیرزمینی
۴۸	۸-۳ هزینه تولید و قیمت فروش محصولات زراعی
۵۰	۴. فصل چهارم: ابزار مدل سازی
۵۰	۱-۴ بیان آب در خاک محیط ریشه گیاه و شبیه سازی رفتار گیاه برای تولید محصول
۵۱	۱-۱-۴ نرم افزار شبیه ساز CROPWAT
۵۳	۲-۱-۴ نرم افزار شبیه ساز CropSyst
۵۴	۳-۱-۴ نرم افزار AquaCrop
۵۵	۴-۱-۴ مدل پیشنهادی (دستی)
۷۱	۲-۴ بهینه سازی اختصاص منابع آب و سطح زمین به محصولات کشاورزی
۷۱	۳-۴ الگوریتم بهینه سازی
۷۲	۱-۳-۴ تعریف ۱:
۷۳	۲-۳-۴ تعریف ۲:

۳-۳-۴	تعریف ۳:	۷۳
۴-۳-۴	تعریف ۴ (غلبه‌ی Pareto):	۷۳
۵-۳-۴	تعریف ۵ (بهینگی Pareto):	۷۳
۶-۳-۴	تعریف ۶ (مرز و دامنه‌ای که مغلوب نمی‌شوند):	۷۴
۷-۳-۴	تعریف ۷:	۷۴
۸-۳-۴	الگوریتم ژنتیک	۷۷
۹-۳-۴	الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار MATLAB	۸۴
۴-۴	تصمیم‌گیری درباره‌ی اطلاعاتی که موجود نبود	۸۷

۵. فصل پنجم: نتایج ۹۰

۱-۵	محاسبه‌ی هفت پارامتر برای هر گیاه (طول چهار بخش دوره‌ی رشد و سه ضریب تبخیر و تعرق برای کل دوره‌ی رشد گیاه)	۹۱
۲-۵	محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مینا	۹۱
۳-۵	نحوه عملکرد مدل شبیه‌ساز رفتار گیاه	۹۱
۴-۵	محاسبه‌ی میزان آب موردنیاز هر گیاه	۹۲
۱-۴-۵	میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه	۹۴
۲-۴-۵	میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۷۵ درصد از نیاز آبی گیاه	۹۸
۳-۴-۵	میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۵۰ درصد از نیاز آبی گیاه	۱۰۱
۵-۵	وضعیت درآمد و آب آبیاری در یک هکتار از محصولات زراعی	۱۰۶
۶-۵	تعیین کمترین سطح موردنیاز گیاه برای ارضای قید عدم کاهش تولید گیاه بیش از ۲۵ درصد	۱۰۸
۷-۵	تنظیم تاریخ و میزان آبیاری	۱۰۹
۸-۵	پارامترهای منتخب الگوریتم ژنتیک	۱۱۰
۹-۵	بررسی نتایج سناریوهای موردنظر	۱۱۱
۱-۹-۵	بررسی صحت نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک	۱۱۱
۲-۹-۵	سناریو اول: تغییر تاریخ کشت بدون اعمال کم آبیاری و بدون تغییر سطح کشت	۱۱۲
۳-۹-۵	سناریو دوم: اعمال کم آبیاری بدون تغییر تاریخ کشت و بدون تغییر سطح کشت	۱۱۳
۴-۹-۵	سناریو سوم: تغییر سطح کشت بدون تغییر تاریخ کشت و بدون اعمال کم آبیاری	۱۱۴
۵-۹-۵	سناریو چهارم: اعمال توأمان تغییر سطح کشت و کم آبیاری بدون تغییر تاریخ کشت	۱۲۲
۶-۹-۵	سناریو پنجم: تغییر تاریخ کشت، تغییر سطح کشت و اعمال کم آبیاری	۱۳۰

۶. فصل ششم: جمع‌بندی نتایج و ارائه پیشنهادات ۱۴۰

۱-۶	مقدمه	۱۴۰
۱-۱-۶	سناریو اول: تغییر تاریخ کشت بدون اعمال کم آبیاری و بدون تغییر سطح کشت	۱۴۰
۲-۱-۶	سناریو دوم: اعمال کم آبیاری بدون تغییر تاریخ کشت و بدون تغییر سطح کشت	۱۴۱
۳-۱-۶	سناریو سوم: تغییر سطح کشت بدون تغییر تاریخ کشت و بدون اعمال کم آبیاری	۱۴۲
۴-۱-۶	سناریو چهارم: اعمال توأمان تغییر سطح کشت و کم آبیاری بدون تغییر تاریخ کشت	۱۴۴
۵-۱-۶	سناریو پنجم: تغییر تاریخ کشت، تغییر سطح کشت و اعمال کم آبیاری	۱۴۵
۲-۶	پیشنهادات برای ادامه انجام مطالعات پایان‌نامه	۱۴۹

٧. مراجع ١٥١

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ تغییرات سطح زمین‌های زراعی و باغی در ایران از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا سال آبی ۹۲-۱۳۹۱..... ۲
- جدول ۲-۱ ارتفاع ریزش جوی در کل کشور..... ۴
- جدول ۳-۱ آمار و اطلاعات بهره‌برداری از سدهای مخزنی کشور..... ۵
- جدول ۴-۱ مقایسه تولید گندم در چهار کشور منتخب در سال ۲۰۱۱ میلادی..... ۶
- جدول ۵-۱ مقایسه تولید غلات در چهار کشور منتخب در سال ۲۰۱۱ میلادی..... ۶
- جدول ۶-۱ مقایسه تولید میوه در چهار کشور منتخب در سال ۲۰۱۱ میلادی..... ۶
- جدول ۷-۱ مقایسه میزان مصرف آب در بخش کشاورزی در چهار کشور منتخب در سال ۲۰۱۰ میلادی..... ۷
- جدول ۸-۱ سطح زمین کشاورزی، تولید کشاورزی و مصرف آب کشاورزی سه کشور..... ۷
- جدول ۹-۱ شاخص بهره‌وری در چهار کشور منتخب..... ۸
- جدول ۱۰-۱ - سطح محصولات زراعی و باغی در دو استان آذربایجان غربی و شرقی..... ۱۰
- جدول ۱-۳ مشخصات کلی سد بوکان بعد از افزایش ارتفاع..... ۳۱
- جدول ۲-۳ اطلاعات بهره‌برداری سد بوکان..... ۳۳
- جدول ۳-۳ وضعیت اراضی زراعی شهرستان بناب..... ۳۴
- جدول ۴-۳ وضعیت اراضی باغی شهرستان بناب..... ۳۵
- جدول ۵-۳ وضعیت اراضی زراعی شهرستان ملکان..... ۳۶
- جدول ۶-۳ وضعیت اراضی باغی شهرستان ملکان..... ۳۶
- جدول ۷-۳ وضعیت اراضی باغی شهرستان میاندوآب..... ۳۷
- جدول ۸-۳ وضعیت اراضی زراعی شهرستان میاندوآب..... ۳۸
- جدول ۹-۳ وضعیت اراضی زراعی دشت میاندوآب..... ۳۹
- جدول ۱۰-۳ وضعیت طرح‌های خاتمه یافته، در دست اجرا و باقیمانده در شبکه زرينه‌رود (تا پایان سال ۱۳۹۲)..... ۴۲
- جدول ۱۱-۳ میزان آب رهاسازی شده و تحویلی در شبکه آبیاری زرينه‌رود در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹..... ۴۳
- جدول ۱۲-۳ میزان آب رهاسازی شده و تحویلی در شبکه آبیاری زرينه‌رود در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰..... ۴۴

- جدول ۳-۱۳ آب رهاسازی شده از سد بوکان، آب رهاسازی شده در شبکه آبیاری زرینه‌رود و آب مصرف شده (مقادیر مثبت) یا تولیدشده (مقادیر منفی) در میان حوضه (میلیون مترمکعب)..... ۴۵
- جدول ۳-۱۴ میانگین آب مصرف‌شده (مقادیر مثبت) یا تولیدشده (مقادیر منفی) میانگین در میان حوضه (میلیون مترمکعب)..... ۴۶
- جدول ۳-۱۵ قیمت تضمینی خرید بعضی از محصولات زراعی برای سال ۹۴-۱۳۹۳..... ۴۹
- جدول ۳-۱۶ متوسط هزینه‌ی تولید یک هکتار محصولات کشاورزی در دشت میاندوآب..... ۴۹
- جدول ۴-۱ - اطلاعات ورودی و خروجی در مدل CROPWAT..... ۵۳
- جدول ۴-۲ گروه‌بندی گیاهان طبق کمبود بحرانی رطوبت در نشریه‌ی *FAO Irrigation and Drainage Paper* No. 33..... ۶۱
- جدول ۴-۳ ضریب کمبود بحرانی رطوبت برای گروه گیاهان و بر اساس تبخیر و تعرق بیشینه در نشریه‌ی *FAO Irrigation and Drainage Paper* No. 33..... ۶۱
- جدول ۴-۴ ضریب پاسخ گیاه برای کل دوره‌ی رشد آن..... ۶۳
- جدول ۵-۱ مشخصات گیاهان زراعی موردنظر در دشت میاندوآب..... ۹۰
- جدول ۵-۲ منبع تهیه‌ی مشخصات گیاهان زراعی موردنظر در دشت میاندوآب..... ۹۳
- جدول ۵-۳ هفت پارامتر محاسبه‌شده برای گیاهان زراعی دشت میاندوآب..... ۹۴
- جدول ۴-۵ مقدار ماهانه‌ی تبخیر و تعرق مبنا (میلی‌متر) در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ میلادی..... ۹۵
- جدول ۵-۵ میزان تولید گیاه و آب موردنیاز برای آبیاری در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۵..... ۹۵
- جدول ۵-۶ میزان تولید گیاه و آب موردنیاز برای آبیاری در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۶..... ۹۶
- جدول ۵-۷ میزان تولید گیاه و آب موردنیاز برای آبیاری در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۷..... ۹۶
- جدول ۵-۸ میزان تولید گیاه و آب موردنیاز برای آبیاری در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۸..... ۹۷
- جدول ۵-۹ میزان تولید گیاه و آب موردنیاز برای آبیاری در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۹..... ۹۷
- جدول ۵-۱۰ تغییر مطلوب تاریخ کشت گیاه در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی آن در هر سال..... ۹۸
- جدول ۵-۱۱ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۵..... ۹۹
- جدول ۵-۱۲ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۶..... ۹۹
- جدول ۵-۱۳ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۷..... ۱۰۰

- جدول ۵-۱۴ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۸ ۱۰۰
- جدول ۵-۱۵ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۹ ۱۰۱
- جدول ۵-۱۶ تغییر مطلوب تاریخ کشت گیاه در حالت تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی آن در هر سال ۱۰۲
- جدول ۵-۱۷ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۵ ۱۰۲
- جدول ۵-۱۸ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۶ ۱۰۳
- جدول ۵-۱۹ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۷ ۱۰۳
- جدول ۵-۲۰ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۸ ۱۰۴
- جدول ۵-۲۱ میزان تولید گیاه در حالت تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال ۲۰۱۹ ۱۰۴
- جدول ۵-۲۲ تغییر مطلوب تاریخ کشت گیاه در حالت تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی آن در هر سال ۱۰۵
- جدول ۵-۲۳ تغییر مطلوب تاریخ کشت گیاه در سطوح مختلف آبیاری ۱۰۶
- جدول ۵-۲۴ درآمد و مصرف آب در یک هکتار در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه ۱۰۷
- جدول ۵-۲۵ درآمد یک هکتار در حالت سطح کم آبیاری ۵۰ درصد ۱۰۷
- جدول ۵-۲۶ مصرف آب یک هکتار در حالت سطح کم آبیاری ۵۰ درصد ۱۰۷
- جدول ۵-۲۷ کمترین سطح کشت موردنیاز برای ارضای قید جلوگیری از کاهش ۲۵ درصدی تولید محصول گیاه در حالت تأمین تمام نیاز آبی آن ۱۰۸
- جدول ۵-۲۸ کمترین سطح کشت موردنیاز برای ارضای قید جلوگیری از کاهش ۲۵ درصدی تولید محصول گیاه در حالت تأمین تمام نیاز آبی آن ۱۰۹
- جدول ۵-۲۹ محاسبه اثر تعیین تاریخ و میزان آبیاری مناسب گیاه بر توابع هدف ۱۰۹
- جدول ۵-۳۰ مقادیر منتخب پارامترهای اجرای الگوریتم ژنتیک ۱۱۱
- جدول ۵-۳۱ تأثیر تغییر تاریخ کشت گیاهان بر میزان آب مصرفی در سناریو اول ۱۱۳
- جدول ۵-۳۲ محاسبه تأثیر اعمال کم آبیاری بر توابع هدف مورد نظر در سناریو دوم ۱۱۳
- جدول ۵-۳۳ مقایسه توابع هدف در جواب برتر زیست‌محیطی با شرایط موجود در سناریو سوم ۱۱۶
- جدول ۵-۳۴ مقایسه توابع هدف در جواب برتر اقتصادی با شرایط موجود در سناریو سوم ۱۱۶
- جدول ۵-۳۵ سطح زیر کشت گیاهان متناظر با برترین جواب زیست‌محیطی در سناریو سوم ۱۱۷
- جدول ۵-۳۶ سطح زیر کشت گیاهان متناظر با برترین جواب اقتصادی در سناریو سوم ۱۱۷

- جدول ۳۷-۵ تغییرات سطح زیر کشت جواب برتر زیست‌محیطی نسبت به وضع موجود (درصد) در سناریو سوم ۱۱۸
- جدول ۳۸-۵ تغییرات سطح زیر کشت جواب برتر اقتصادی نسبت به وضع موجود (درصد) در سناریو سوم ۱۱۸
- جدول ۳۹-۵ سطح زیر کشت گیاهان برای رسیدن به بیشترین درآمد ۱۱۹
- جدول ۴۰-۵ آب ماهانه موردنیاز برای آبیاری در سناریو سوم (میلیون مترمکعب) ۱۲۰
- جدول ۴۱-۵ منحنی بهره‌برداری سد بوکان در سناریو سوم (میلیون مترمکعب) ۱۲۰
- جدول ۴۲-۵ مقایسه توابع هدف در پنج جواب برتر زیست‌محیطی با شرایط موجود در سناریوی چهارم ۱۲۳
- جدول ۴۳-۵ مقایسه توابع هدف در پنج جواب برتر اقتصادی با شرایط موجود در سناریو چهارم ۱۲۴
- جدول ۴۴-۵ مقدار متغیرهای تصمیم متناظر با برترین جواب زیست‌محیطی در سناریو چهارم ۱۲۵
- جدول ۴۵-۵ مقدار متغیرهای تصمیم متناظر با برترین جواب اقتصادی در سناریو چهارم ۱۲۶
- جدول ۴۶-۵ تغییرات سطح زیر کشت جواب برتر زیست‌محیطی نسبت به وضع موجود (درصد) در سناریو چهارم ۱۲۶
- جدول ۴۷-۵ تغییرات سطح زیر کشت جواب برتر اقتصادی نسبت به وضع موجود (درصد) در سناریو چهارم ۱۲۷
- جدول ۴۸-۵ آب ماهانه موردنیاز برای آبیاری در سناریو چهارم (میلیون مترمکعب) ۱۲۸
- جدول ۴۹-۵ منحنی بهره‌برداری سد بوکان در سناریو چهارم (میلیون مترمکعب) ۱۲۸
- جدول ۵۰-۵ پنج جواب برتر از نظر زیست‌محیطی با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی ۱۳۱
- جدول ۵۱-۵ پنج جواب برتر از نظر اقتصادی با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی ۱۳۱
- جدول ۵۲-۵ مقایسه توابع هدف در پنج جواب برتر زیست‌محیطی و شرایط موجود با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی ۱۳۲
- جدول ۵۳-۵ مقایسه توابع هدف در پنج جواب برتر اقتصادی و شرایط موجود با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی ۱۳۳
- جدول ۵۴-۵ مقدار متغیرهای تصمیم متناظر با برترین جواب زیست‌محیطی با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی ۱۳۳
- جدول ۵۵-۵ مقدار متغیرهای تصمیم متناظر با برترین جواب اقتصادی با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی ۱۳۴

- جدول ۵-۵۶ تغییرات سطح زیر کشت جواب برتر زیست‌محیطی نسبت به وضع موجود (درصد) با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی..... ۱۳۵
- جدول ۵-۵۷ تغییرات سطح زیر کشت جواب برتر اقتصادی نسبت به وضع موجود (درصد) با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی..... ۱۳۵
- جدول ۵-۵۸ آب ماهانه موردنیاز برای آبیاری در سناریو پنجم (میلیون مترمکعب)..... ۱۳۶
- جدول ۵-۵۹ منحنی بهره‌برداری سد بوکان در سناریو پنجم (میلیون مترمکعب)..... ۱۳۷
- جدول ۶-۱ محاسبه‌ی تأثیر اعمال کم آبیاری بر توابع هدف موردنظر در سناریو دوم..... ۱۴۱
- جدول ۶-۲ مقایسه توابع هدف در جواب برتر زیست‌محیطی با شرایط موجود در سناریو سوم..... ۱۴۳
- جدول ۶-۳ تغییرات سطح زیر کشت نسبت به وضع موجود (درصد) در سناریو سوم..... ۱۴۳
- جدول ۶-۴ مقایسه توابع هدف با شرایط موجود در سناریوی چهارم..... ۱۴۴
- جدول ۶-۵ تغییرات سطح زیر کشت نسبت به وضع موجود (درصد) در سناریو چهارم..... ۱۴۵
- جدول ۶-۶ مقایسه توابع هدف در پنج جواب برتر زیست‌محیطی و شرایط موجود با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی..... ۱۴۶
- جدول ۶-۷ تغییرات سطح زیر کشت نسبت به وضع موجود (درصد) در سناریو پنجم..... ۱۴۷

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ تغییرات مساحت اراضی کشاورزی در کل ایران ۳
- شکل ۲-۱ آمار و اطلاعات بهره‌برداری از سدهای مخزنی کشور ۵
- شکل ۳-۱ حوضه آبریز دریاچه ارومیه و تقسیمات شهرستانی در هر استان ۹
- شکل ۴-۱ موقعیت سدهای ساخته‌شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۱۰
- شکل ۵-۱ فلوجارت مراحل انجام تحقیق ۱۳
- شکل ۱-۳ تصویر ماهواره‌ای موقعیت دشت میاندوآب نسبت به دریاچه ارومیه ۲۴
- شکل ۲-۳ موقعیت مکانی ایستگاه میاندوآب ۲۵
- شکل ۳-۳ تغییرات میانگین ماهانه‌ی دمای بیشینه، کمینه و میانگین از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ میلادی ۲۵
- شکل ۴-۳ تغییرات میانگین رطوبت ماهانه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ میلادی ۲۶
- شکل ۵-۳ تغییرات میانگین ماهانه‌ی بارش از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ میلادی ۲۶
- شکل ۶-۳ تغییرات میانگین ماهانه‌ی سرعت باد از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ میلادی ۲۷
- شکل ۷-۳ سهم رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه در تأمین آب دریاچه ۲۸
- شکل ۸-۳ زیر حوضه‌ی رودخانه‌های زرينه‌رود و سيمينه‌رود ۲۸
- شکل ۹-۳ میانگین دبی رودخانه زرينه‌رود در ایستگاه ساری قمیش ۲۹
- شکل ۱۰-۳ میانگین دبی رودخانه سيمينه‌رود در ایستگاه میاندوآب ۳۰
- شکل ۱۱-۳ موقعیت سدهای روی سيمينه‌رود و زرينه‌رود ۳۰
- شکل ۱۲-۳ کاربری اراضی در حوضه آبریز زرينه‌رود و سيمينه‌رود ۳۴
- شکل ۱۳-۳ نقشه‌ی تغییر سطح و تراکم پوشش گیاهی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۸ ۳۵
- شکل ۱۴-۳ اراضی واحد عمرانی شبکه آبیاری زرينه‌رود ۴۲
- شکل ۱۵-۳ تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت میاندوآب از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ ۴۸
- شکل ۱۶-۳ رشد تعداد حلقه‌های چاه موجود در دشت میاندوآب از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۲ ۴۸
- شکل ۱-۴ اطلاعات ورودی و نتایج خروجی مدل‌های شبیه‌ساز تولید گیاه ۵۰
- شکل ۲-۴ اطلاعات ورودی برای محاسبه تبخیر و تعرق مبنا در CROPWAT ۵۶

- شکل ۳-۴ تغییرات ضریب تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاه ۵۸
- شکل ۴-۴ تغییرات نقطه‌ی پژمردگی و ظرفیت نگهداری آب برای شش گروه خاکی (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24) ۵۹
- شکل ۵-۴ رابطه‌ی بین نسبت تبخیر و تعرق واقعی به بیشینه‌ی مقدار تبخیر و تعرق با میزان رطوبت در خاک (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56) ۶۲
- شکل ۶-۴ مدل رشد ریشه گیاه ۶۵
- شکل ۷-۴ اجزای شرکت کننده در معادله‌ی بیلان آب (برگرفته شده از دستورالعمل CROPWAT) ۶۶
- شکل ۸-۴ فاصله‌ی سطح آب زیرزمینی از سطح زمین ۶۷
- شکل ۹-۴ میزان تبخیر از آب زیرزمینی ۶۸
- شکل ۱۰-۴ شکل بیلان آب در خاک دو دوره‌ی t و $t+1$ ۶۸
- شکل ۱۱-۴ اطلاعات ورودی و نتایج خروجی مدل بیلان آب در خاک محیط ریشه گیاه ۷۰
- شکل ۱۲-۴ اطلاعات ورودی و نتایج خروجی الگوریتم بهینه‌سازی ۷۱
- شکل ۱۳-۴ - مثالی از بهینگی Pareto در فضای هدف (تصویر سمت چپ) و ارتباط بین جواب‌های در فضای هدف (سمت راست) ۷۵
- شکل ۱۴-۴ - نمایش ژنوتیپ و فنوتیپ ۸۰
- شکل ۱۵-۴ - جابجایی چند نقطه ۸۲
- شکل ۱۶-۴ - فلوجارت الگوریتم ژنتیک ۸۳
- شکل ۱۷-۴ اطلاعات ورودی و نتایج خروجی نرم‌افزار NETWAT ۸۸
- شکل ۱۸-۴ صفحه ورودی نرم‌افزار NETWAT ۸۸
- شکل ۱۹-۴ خروجی نرم‌افزار NETWAT برای محصول گندم در دشت میاندوآب ۸۹
- شکل ۱-۵ فرآیند کارکرد مدل شبیه‌ساز رفتار گیاه در حالت کم آبیاری ۵۰ درصد ۹۲
- شکل ۲-۵ نمودار همگرایی مجموعه جواب الگوریتم بهینه‌سازی به جواب بهینه نهایی در سناریو سوم ۱۱۵
- شکل ۳-۵ مجموعه جواب بهینه با در نظر گرفتن سطح زیر کشت گیاهان به‌عنوان تنها متغیرهای تصمیم ۱۱۶
- شکل ۴-۵ توزیع زمانی آب رهاسازی از سد بوکان در سناریو سوم و وضع موجود ۱۲۱
- شکل ۵-۵ نمودار همگرایی مجموعه جواب الگوریتم بهینه‌سازی به جواب بهینه نهایی در سناریو چهارم ۱۲۲

- شکل ۵-۶ نمودار توابع هدف متناظر با مجموعه جواب بهینه در سناریو چهارم ۱۲۳
- شکل ۵-۷ توزیع زمانی آب رهاسازی از سد بوکان در سناریو چهارم و وضع موجود ۱۲۹
- شکل ۵-۸ نمودار همگرایی مجموعه جواب الگوریتم بهینه‌سازی به جواب بهینه نهایی در سناریو پنجم ۱۳۰
- شکل ۵-۹ نمودار جواب pareto با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی ۱۳۲
- شکل ۵-۱۰ توزیع زمانی آب رهاسازی از سد بوکان در سناریو پنجم و وضع موجود ۱۳۸
- شکل ۶-۱ مجموعه جواب بهینه با در نظر گرفتن سطح زیر کشت گیاهان به‌عنوان تنها متغیرهای تصمیم ۱۴۲
- شکل ۶-۲ نمودار توابع هدف متناظر با مجموعه جواب بهینه در سناریو چهارم ۱۴۴
- شکل ۶-۳ نمودار جواب pareto با فرض محدودیت ۲۵ درصدی در کاهش تولید محصولات زراعی ۱۴۶
- شکل ۶-۴ تغییرات توزیع زمانی و حجم آب سالانه رهاسازی شده از سد بوکان در سناریوهای سوم، چهارم، پنجم و وضع موجود ۱۴۸

۱. فصل اول: پیشگفتار

۱-۱ مقدمه

خطر کمیاب شدن آب به دلیل افزایش روزافزون جمعیت و وجود منابع محدود آب سال‌هاست که نگرانی سیاست‌گذاران ارشد و محققان دنیا را به دنبال داشته است. طبق گزارش مندرج در سالنامه آماری سال ۲۰۱۴ سازمان خواربار و کشاورزی (FAO)^۱، سرانه آب در دسترس در خاورمیانه و شمال آفریقا ۱۰۵۰ مترمکعب در سال است و طبق برآوردهای انجام‌شده، این مقدار تا سال ۲۰۵۰ نصف خواهد شد [۱]. در این راستا اهمیت ویژه‌ای به مفهوم افزایش بهره‌وری (میزان تولید در واحد سطح زمین کشاورزی) از طریق تخصیص مناسب منابع آب به فعالیت‌های مختلف کشاورزی داده شده است؛ به‌خصوص آن‌که طبق برآوردهای صورت گرفته، حدود ۶۵ درصد از مصارف آب در دنیا مربوط به بخش کشاورزی است. این عدد در خاورمیانه و شمال آفریقا به ۷۸ درصد می‌رسد. نبود دقت در بعضی کشورها برای مدیریت مناسب و پایدار مصرف منابع آبی به‌طور حتم آن‌ها را با مشکل تأمین امنیت غذایی و رفع نیازهای آبی در آینده‌ای نه‌چندان دور روبرو خواهد کرد.

طبق گزارش همین سالنامه آماری، سرانه منابع آب در ایران از مقدار ۲۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۹۹۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب در سال ۲۰۰۰ و ۱۸۶۰ مترمکعب در سال ۲۰۱۰ میلادی رسیده است. روند رو به کاهش سرانه آب (که حاصل از رشد مصرف و کاهش بارندگی در ایران است)، خطر کمیابی منابع آب در آینده را جدی‌تر می‌کند. این گزارش بیان می‌کند که ایران، بیشترین مقدار سطح زمین‌های تحت آبیاری (حدود ۹ میلیون هکتار) را در بین کشورهای خاورمیانه و آفریقای شمالی داراست و در نتیجه حدود ۹۲ درصد از مصرف منابع آب در ایران به بخش کشاورزی متعلق است. پتانسیل توسعه‌ی آبیاری نیز در ایران بیشتر از بقیه‌ی کشورهای منطقه است.

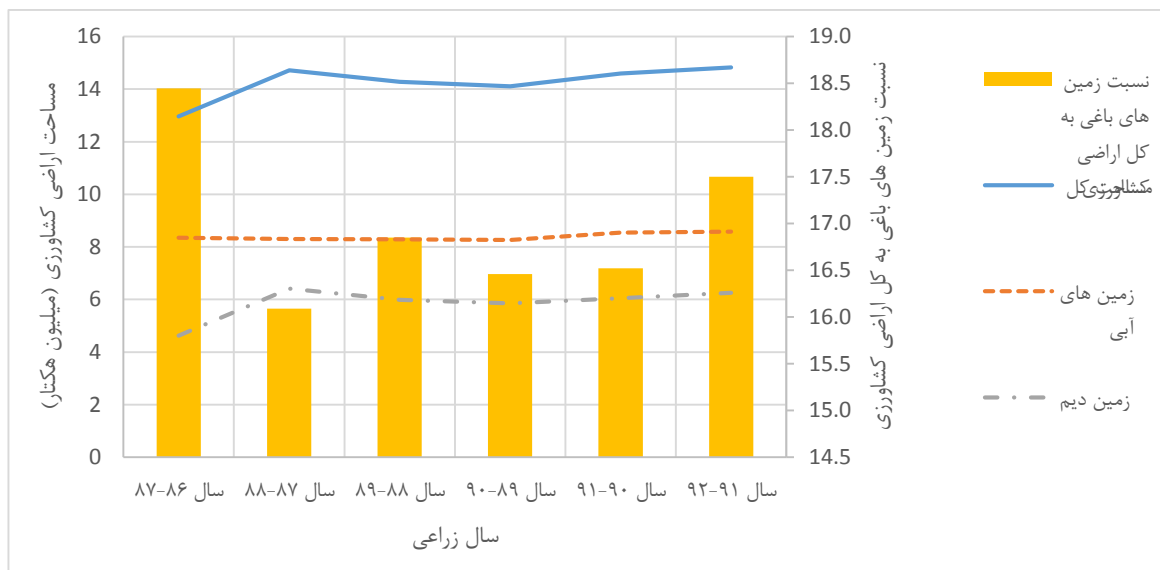
^۱ Food and Agriculture Organization of the United Nations

جدول ۱-۱ با استفاده از آمارنامه محصولات زراعی و باغی [۳۰] تهیه شده است. این جدول، بیان‌کننده‌ی تغییرات میزان مساحت زمین‌های زراعی و باغی از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ است.

جدول ۱-۱ تغییرات سطح زمین‌های زراعی و باغی در ایران از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا سال آبی ۹۲-۱۳۹۱

سال آبی	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲
مساحت کل زمین‌های باغی و زراعی (میلیون هکتار)	۱۲/۹۷	۱۴/۷۱	۱۴/۲۸	۱۴/۱۱	۱۴/۶۰	۱۴/۸۳
مساحت زمین‌های آبی (میلیون هکتار)	۸/۳۵	۸/۳۰	۸/۲۹	۸/۲۶	۸/۵۵	۸/۵۷
مساحت زمین‌های دیم (میلیون هکتار)	۴/۶۲	۶/۴۲	۵/۹۹	۵/۸۵	۶/۰۵	۶/۲۳
درصد زمین‌های آبی از کل زمین‌ها	۶۴/۴	۵۶/۴	۵۸/۰	۵۸/۵	۵۸/۶	۵۷/۸
درصد زمین‌های دیم از کل زمین‌ها	۳۵/۶	۴۳/۶	۴۲/۰	۴۱/۵	۴۱/۴	۴۲/۲
درصد زمین‌های باغی نسبت به کل زمین‌ها	۱۸/۴	۱۶/۱	۱۶/۸	۱۶/۵	۱۶/۵	۱۷/۵

نمودار شکل ۱-۱ با استفاده از جدول ۱-۱ تهیه شده است. این نمودار نشان می‌دهد که چگونه مقدار کل زمین‌های باغی و زراعی در ایران و در طول ۶ سال گذشته افزایش پیدا کرده است. بعلاوه این نمودار نشان می‌دهد که نسبت مساحت زمین‌های باغی به کل اراضی کشاورزی، در طول سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ تا ۹۲-۱۳۹۱ افزایش پیدا کرده است. کاهش این نسبت از مقدار حدود ۱۸/۵ درصد در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ به مقدار حدود ۱۶ درصد در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷، در اثر افزایش مساحت زمین‌های زراعی رخ داده است. در واقع، اگرچه تغییر سطح زمین‌های باغی از مقدار ۲/۳۹ میلیون هکتار در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ به مقدار ۲/۳۷ میلیون هکتار در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷، ناچیز است اما افزایش چشم‌گیر سطح زمین‌های زراعی از مقدار ۱۲/۹۷ میلیون هکتار به ۱۴/۷۱ میلیون هکتار در طی همین دوره باعث شده است تا نسبت زمین‌های باغی به کل اراضی کشاورزی در دو سال مذکور، کاهش زیاد داشته باشد.



شکل ۱-۱ تغییرات مساحت اراضی کشاورزی در کل ایران

با وجود آنکه افزایش سطح زیر کشت زمین های باغی و زراعی می تواند منجر به افزایش میزان تولید محصولات زراعی و باغی و موقعیت شغلی شود، اما نیاز به استفاده از منابع آب تجدید پذیر را در بخش کشاورزی افزون خواهد کرد. از آنجاکه آب موردنیاز برای آبیاری زمین های باغی، بیشتر از آب موردنیاز برای آبیاری زمین های زراعی است، رشد نسبت زمین های باغی به کل اراضی کشاورزی در طول ۵ سال ۸۸-۱۳۸۷ تا ۹۲-۱۳۹۱، اثر منفی بیشتری را بر منابع تأمین آب موردنیاز آبیاری در کشاورزی به وجود آورده است. پایین بودن راندمان آبیاری که در اثر عدم استفاده از فناوری های مناسب در مزارع حاصل شده است، کشاورزان را ملزم به استفاده ی بیشتر از منابع آب می کند تا بتوانند نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی را تأمین کنند. بعلاوه، عدم توجه به تاریخ مناسب کشت گیاهان زراعی باعث شده است که نتوان حداکثر استفاده را از آب حاصل از بارش باران صورت داد، به عبارت دیگر، به جای استفاده از کشت دیم، مجبور به استفاده از کشت آبی شده ایم. عدم توجه به ویژگی های آب و هوایی و خاک موردنیاز گیاهان نیز موجب شده است تا گیاهان در شرایط مناسب پرورش داده نشوند و در نتیجه، تولید مناسب (از نظر کیفی و کمی) به دست نیاید. استفاده از بذور نامناسب گیاهان نیز باعث شده است که با وجود افزایش آبیاری، نتوان به میزان قابل قبول تولیدات دست یافت.

جدول ۱-۲ اطلاعات مربوط به میزان بارش جوی در کل کشور را نشان می‌دهد. اطلاعات این جدول از سالنامه آماری آب کشور در سال ۸۷-۱۳۸۶ و سالنامه آماری آب کشور ۹۰-۱۳۸۹ تهیه شده است [۳۱] و [۳۲]. این جدول به خوبی نشان می‌دهد که بارش در سال‌های ۸۷-۱۳۸۶ و ۹۰-۱۳۸۹ کمتر از بارش متوسط درازمدت و این وضعیت در سال ۸۷-۱۳۸۶ حادث است.

تغییرات در میزان بارش باران در کل کشور، بر میزان آب ورودی به مخازن کلیه سدهای کشور تأثیرگذار بوده است. جدول ۱-۳ آمار و اطلاعات بهره‌برداری از سدهای مخزنی کشور در سالیان مختلف را نشان می‌دهد [۳۲]. مقایسه‌ی نمودارها در شکل ۱-۲ (بر اساس اطلاعات جدول ۱-۳) نشان می‌دهد که کاهش شدید بارش‌ها در سال ۱۳۸۶ تأثیر منفی عمیقی بر حجم آب ورودی به سدها و خروجی از آن‌ها گذاشته است. بیشتر بودن حجم آب خروجی از سدها در مقایسه با حجم آب واردشده به آن‌ها نیز بیان می‌کند که از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ حجم آب ذخیره‌شده در مخازن سدها کاهش یافته است.

جدول ۱-۲ ارتفاع ریزش جوی در کل کشور

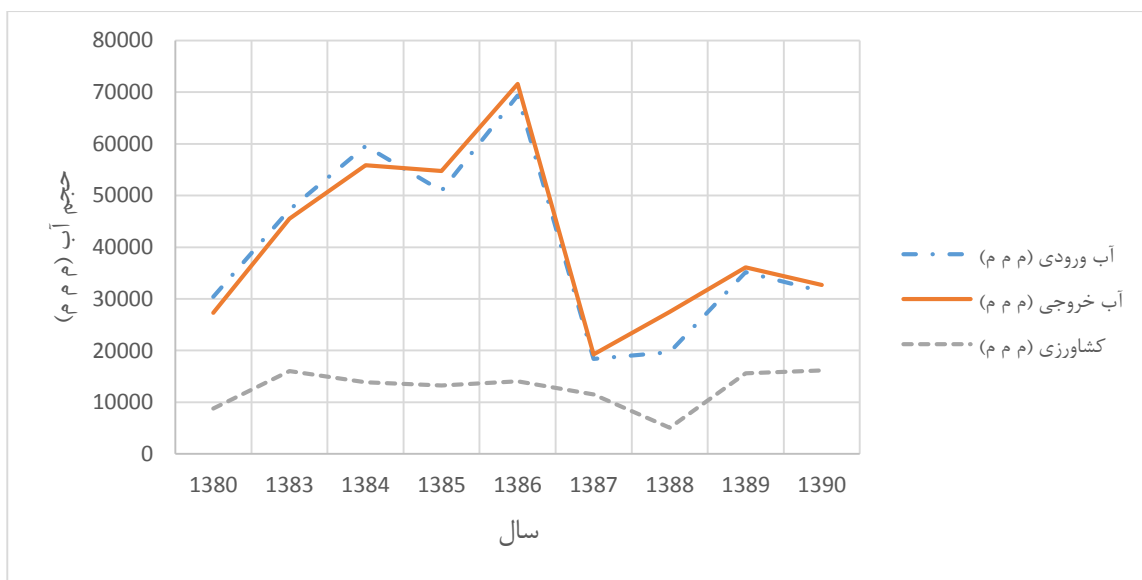
حوضه آبریز اصلی	سال آبی ۸۵-۸۶	سال آبی ۸۶-۸۷	سال آبی ۸۸-۸۹	سال آبی ۸۹-۹۰	متوسط درازمدت
دریای خزر	۴۷۰/۷	۳۰۳/۳	۴۴۷/۷	۳۸۳	۴۲۱/۹
خلیج فارس	۳۷۸/۷	۱۸۶/۷	۳۵۰/۶	۲۷۸	۳۶۳/۹
دریاچه ارومیه	۳۷۷/۳	۱۹۱/۹	۳۸۳	۲۹۴/۲	۳۳۷/۷
فلات مرکزی	۱۹۷/۷	۸۵/۷	۱۴۴/۸	۱۳۲	۱۶۱/۸
مرزی شرق	۱۴۹/۴	۶۷/۷	۹۹	۷۹/۵	۱۰۴/۲
قره قوم	۲۴۵/۷	۱۱۷/۱	۲۰۱/۴	۱۴۷/۴	۲۱۸/۴
کل کشور	۲۷۸/۱	۱۳۸/۳	۲۳۷/۱	۱۹۹/۱	۲۴۵/۹

از دست رفتن حجم آب ذخیره‌شده در سدها که برای شرایط آب و هوایی گرم و خشک موجود در ایران بسیار حیاتی است، زنگ خطر بزرگی برای آیندگان به شمار می‌آید. با وجود رخ داد چنین وضع بحرانی، نه تنها سهم آب مصرف‌شده در بخش کشاورزی تغییر نکرده است، بلکه در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ نیز افزایش یافته است؛ بدان معنا که توسعه‌ی کشاورزی و مصرف منابع آب برای تأمین نیازهای آن بدون توجه به پتانسیل منابع آب موجود بوده است و می‌توان انتظار داشت که ادامه‌ی چنین روندی در آینده‌ی نه چندان دور، وضعیت شدیداً بحرانی را ایجاد کند.

جدول ۴-۱ تا جدول ۶-۱، سطح زیر کشت و میزان تولید گندم، غلات و میوه و جدول ۷-۱ میزان مصرف آب را بین ۴ کشور ایران، مصر، ترکیه و اسپانیا نشان می‌دهد [۱ و ۵]. ذکر این نکته اهمیت دارد که سازمان خواروبار جهانی، حجم آب قابل تجدیدپذیر ایران (جدول ۷-۱) را حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب تخمین زده است.

جدول ۳-۱ آمار و اطلاعات بهره‌برداری از سدهای مخزنی کشور

سال	آب ورودی (م م م)	آب خروجی (م م م)	مصرف کشاورزی (م م م)
۱۳۸۰	۳۰۴۰۰	۲۷۳۱۱	۸۸۱۹
۱۳۸۳	۴۷۲۶۷	۴۵۴۸۲	۱۶۰۰۸
۱۳۸۴	۵۹۵۴۷	۵۵۸۵۸	۱۳۸۵۵
۱۳۸۵	۵۰۸۷۳	۵۴۷۱۶	۱۳۲۳۳
۱۳۸۶	۶۹۳۶۹	۷۱۵۶۰	۱۴۰۲۷
۱۳۸۷	۱۸۳۹۹	۱۹۲۲۷	۱۱۴۹۴
۱۳۸۸	۱۹۷۱۲	۲۷۴۷۵	۵۰۵۹
۱۳۸۹	۳۵۱۸۹	۳۶۰۸۷	۱۵۵۹۰
۱۳۹۰	۳۱۴۴۲	۳۲۶۷۸	۱۶۱۷۵



شکل ۳-۱ آمار و اطلاعات بهره‌برداری از سدهای مخزنی کشور

علت انتخاب این سه کشور برای انجام مقایسه‌ی میزان تولیدات کشاورزی آن‌ها با ایران، مشابهت شرایط آب و هوایی آن‌ها با شرایط آب و هوایی ایران است.

جدول ۴-۱ مقایسه تولید گندم در چهار کشور منتخب در سال ۲۰۱۱ میلادی

نام کشور	سطح زمین کشاورزی در سال ۲۰۱۱ (هزار هکتار)	نرخ رشد اراضی کشاورزی نسبت به سال ۲۰۰۰	میزان تولید محصول در هر هکتار در سال ۲۰۱۱ (کیلوگرم)	نرخ رشد تولید در هر هکتار نسبت به سال ۲۰۰۰	کل تولید محصول در سال ۲۰۱۱ (هزار تن)	نرخ رشد کل تولید نسبت به سال ۲۰۰۰
ایران	۷۰۸۵	+۳	۱۹۱۰	+۱/۷	۱۳۵۰۰	+۴/۸
مصر	۱۲۸۵	+۲	۶۵۴۰	+۰/۳	۸۴۰۷	+۲/۳
ترکیه	۸۰۹۶	-۱/۳	۲۶۹۰	+۱/۵	۲۱۸۰۰	+۰/۳
اسپانیا	۱۹۹۵	-۱/۵	۳۴۵۰	+۱/۱	۶۸۷۷	-۰/۵

جدول ۵-۱ مقایسه تولید غلات در چهار کشور منتخب در سال ۲۰۱۱ میلادی

نام کشور	سطح زمین کشاورزی در سال ۲۰۱۱ (هزار هکتار)	نرخ رشد اراضی کشاورزی نسبت به سال ۲۰۰۰	میزان تولید محصول در هر هکتار در سال ۲۰۱۱ (کیلوگرم)	نرخ رشد تولید در هر هکتار نسبت به سال ۲۰۰۰	کل تولید محصول در سال ۲۰۱۱ (هزار تن)	نرخ رشد کل تولید نسبت به سال ۲۰۰۰
ایران	۱۶۸۹	+۰/۱	۲۵۵۰	+۲	۴۳۰۵	+۲/۱۰
مصر	۱۱۶۰	+۰/۸	۶۸۴۰	+۰/۳	۷۹۳۳	+۱/۱
ترکیه	۳۷۰۵	-۱/۷	۳۳۷۰	+۳/۰۵	۱۲۴۹۵	+۱/۳
اسپانیا	۳۸۲۷	-۱/۱	۳۷۲۰	-۰/۲	۱۴۲۳۶	-۱/۳

جدول ۶-۱ مقایسه تولید میوه در چهار کشور منتخب در سال ۲۰۱۱ میلادی

نام کشور	سطح زمین کشاورزی در سال ۲۰۱۱ (هزار هکتار)	نرخ رشد اراضی کشاورزی نسبت به سال ۲۰۰۰	میزان تولید محصول در هر هکتار در سال ۲۰۱۱ (کیلوگرم)	نرخ رشد تولید در هر هکتار نسبت به سال ۲۰۰۰	کل تولید محصول در سال ۲۰۱۱ (هزار تن)	نرخ رشد کل تولید نسبت به سال ۲۰۰۰
ایران	۱۰۵۵	-۰/۶	۱۱۱۶۰	+۰/۲	۱۱۷۷۱	-۰/۴
مصر	۴۹۱	+۱/۵	۲۰۲۱۰	+۱/۷	۹۹۲۲	+۳/۳
ترکیه	۶۰۶	+۲/۳	۲۳۶۹۰	+۰/۳	۱۴۳۵۹	+۲/۶
اسپانیا	۶۳۳	-۰/۴	۱۹۳۸۰	+۰/۶	۱۲۲۶۶	+۰/۲

جدول ۷-۱ مقایسه میزان مصرف آب در بخش کشاورزی در چهار کشور منتخب در سال ۲۰۱۰ میلادی

نام کشور	کل مصرف آب (میلیون مترمکعب)	درصد کل مصرف از منابع آب تجدید پذیر	سهم کشاورزی از کل آب مصرف شده (درصد)	حجم آب مصرف شده در بخش کشاورزی (میلیون مترمکعب)	درصد مصرف بخش کشاورزی از منابع آب تجدید پذیر
ایران	۹۳۳۰۰	۶۷/۷	۹۲/۲	۸۶۰۲۳	۶۲/۶
مصر	۶۸۳۰۰	۹۴/۷	۸۶/۴	۵۹۰۱۱	۱۰۳
ترکیه	۴۰۱۰۰	۱۸/۳	۷۳/۸	۲۹۵۹۴	۱۳/۹
اسپانیا	۳۲۴۶۱	۲۹	۶۰/۵	۱۹۶۳۹	۱۷/۶

مهم‌ترین پارامتر در جداول بالا، میزان تولید محصول کشاورزی در هر هکتار است؛ زیرا نشان‌دهنده‌ی میزان بهره‌وری است و بیان می‌کند که تا چه اندازه از منابع آب مصرفی به خوبی مورد استفاده قرار گرفته است. اگرچه نرخ رشد تولید گندم و غلات در هر هکتار برای ایران در سال ۲۰۱۱ نسبت به سال ۲۰۰۰، بیشتر از مقدار متناظر برای کشورهای دیگر است، اما متأسفانه میزان تولید کشاورزی در هر هکتار در ایران، کمترین مقدار را نشان می‌دهد. مقایسه‌ی صورت گرفته بین مقدار تولید محصولات کشاورزی و میزان مصرف آب در بخش کشاورزی توسط سه کشور منتخب نسبت به ایران (جدول ۸-۱) وضعیت نامطلوب موجود در ایران را بهتر نشان می‌دهد. طبق اطلاعات موجود در این جدول، با وجود مصرف کمتر آب در بخش کشاورزی در این سه کشور، میزان تولیدات کشاورزی آن‌ها بسیار بیشتر از ایران است. این امر نشان می‌دهد که پتانسیل فزاینده‌ای برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی و افزایش تولیدات کشاورزی در ایران وجود دارد.

جدول ۸-۱ سطح زمین کشاورزی، تولید کشاورزی و مصرف آب کشاورزی سه کشور

نام کشور	سطح اراضی کشت گندم نسبت به ایران (سال ۲۰۱۱ میلادی)	تولید گندم نسبت به ایران (سال ۲۰۱۱ میلادی)	سطح زمین کشت غلات نسبت به ایران (سال ۲۰۱۱ میلادی)	تولید غلات نسبت به ایران (سال ۲۰۱۱ میلادی)	سطح زمین کشت باغی نسبت به ایران (سال ۲۰۱۱ میلادی)	تولید میوه نسبت به ایران (سال ۲۰۱۱ میلادی)	حجم آب مصرف شده کشاورزی نسبت به ایران (سال ۲۰۱۰ میلادی)
مصر	۱۸	۶۲	۶۹	۱۸۴	۴۷	۸۴	۶۹
ترکیه	۱۱۴	۱۶۱	۳۱۹	۲۹۰	۵۷	۱۲۲	۳۴
اسپانیا	۲۸	۵۱	۱۰۳	۳۳۱	۶۰	۱۰۴	۲۳

میزان تولید محصول کشاورزی به ازای مصرف یک واحد آب (بهره‌وری) شاخص و نشان‌دهنده‌ی سطح مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی در کشورهای مذکور است. اگرچه میزان مصرف آب در بخش کشاورزی به تفکیک تولیدات زراعی و باغی گزارش نشده و نمی‌توان با دقت بیان نمود که مدیریت هر کدام از تولیدات زراعی و باغی با چه دقتی صورت می‌گیرد، اما محاسبه‌ی این شاخص برای کل تولیدات کشاورزی (جدول ۹-۱) به خوبی مطالب بیان‌شده در جداول گذشته را تأکید می‌کند.

جدول ۹-۱ شاخص بهره‌وری در چهار کشور منتخب

نام کشور	کل تولیدات کشاورزی (گندم، غلات و میوه) - هزار تن	بهره‌وری (کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب)
ایران	۲۹۵۷۶	۰/۳۲
مصر	۲۶۲۶۲	۰/۳۸
ترکیه	۴۸۶۵۴	۱/۱۲
اسپانیا	۳۳۳۷۹	۱/۰۳

از مطالب اشاره‌شده در بالا می‌توان نتیجه گرفت که تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در بخش کشاورزی کمک بسیار مؤثری در کاهش میزان مصرف منابع آب دارد و به این ترتیب، می‌توان مشکلات شدید زیست‌محیطی به وجود آمده در کل کشور را تا حد بسیار زیادی کاهش داد. یکی از مشکلات زیست‌محیطی به وجود آمده، خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه است که موضوع رساله‌ی پیش رو در ارتباط مستقیم با آن است.

کاهش عمق و سطح دریاچه‌ی ارومیه، در اثر کاهش آب ورودی به آن عمدتاً به واسطه توسعه کشاورزی در بالادست دریاچه به وجود آمده است. در واقع، کاهش میزان بارندگی (وقوع خشک‌سالی) و افزایش مصرف آب در حوضه آبی دریاچه ارومیه که شامل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و بخش کوچکی از کردستان است (شکل ۱-۳)، منجر به کاهش آب ورودی به دریاچه شده است.



شکل ۳-۱ حوضه آبریز دریاچه ارومیه و تقسیمات شهرستانی در هر استان

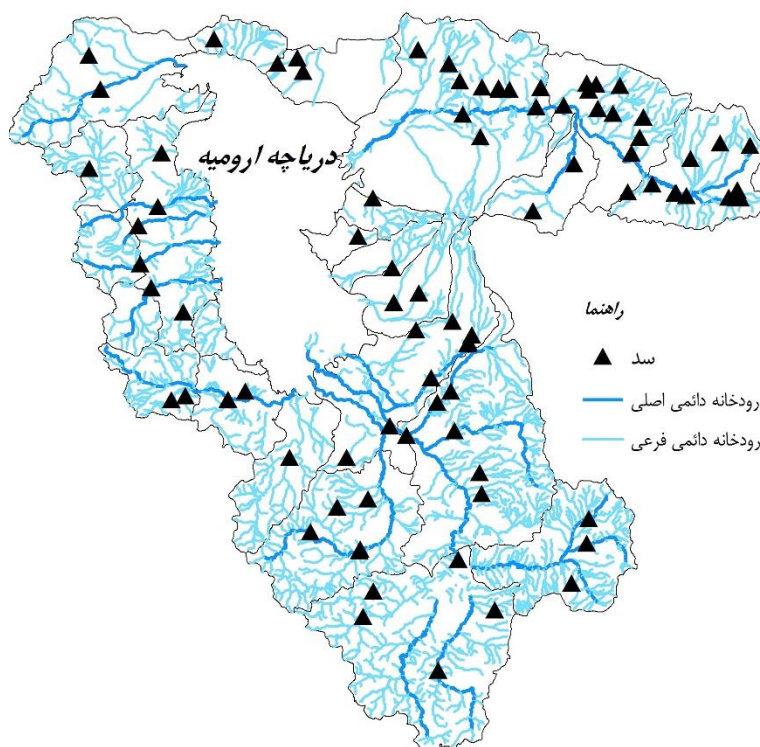
جدول ۱-۱۰، تغییرات در سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی را برای هر دو استان آذربایجان

غربی و آذربایجان شرقی نشان می‌دهد [۳۱ و ۳۳ و ۳۴ و ۳۶].

اگرچه هم سطح اراضی کشاورزی زیر کشت محصولات زراعی آبی و هم عملکرد زمین‌های زراعی آبی افزایش یافته است، اما از آنجاکه پروژه‌ای برای اصلاح الگوی کشت و بهبود فناوری آبیاری در این منطقه انجام نشده است، می‌توان نتیجه گرفت که رشد تولید در اثر افزایش مصرف آب حاصل شده است. کاهش عملکرد محصولات باغی آبی نیز نشان می‌دهد که استفاده‌ی مطلوب و بهینه از منابع آب صورت نمی‌پذیرد. افزایش نیاز آب منجر به ساخت سدهای مخزنی بیشتر در آن حوضه آبریز شده (شکل ۱-۴) و در نتیجه، میزان آب ورودی به دریاچه‌ی ارومیه کاهش یافته است. با افزایش سطح محصولات زراعی و باغی دیم، میزان بیشتری از آب باران توسط گیاهان مصرف می‌شود و در نتیجه، آب کمتری به دریاچه‌ی ارومیه و منابع آب زیرزمینی می‌رسد.

جدول ۱-۱ - سطح محصولات زراعی و باغی در دو استان آذربایجان غربی و شرقی

سال			
۱۳۹۱	۱۳۸۷		
۹۱۰۵۱۰	۴۸۷۹۸۷	دیم	سطح محصولات زراعی (هکتار)
۵۶۳۱۶۴	۴۹۵۸۰۰	آبی	
۸۰۴۵۴۹	۲۷۲۸۰۳	دیم	تولید محصولات زراعی (تن)
۶۰۷۳۳۴۳	۴۱۳۷۴۰۶	آبی	
۰/۸۸	۰/۵۶	دیم	عملکرد زراعی (تن در هکتار)
۱۰/۸	۸/۳۴	آبی	
۱۲۵۲۲	۲۲۶۹	دیم	سطح محصولات باغی (هکتار)
۱۸۲۰۹۰	۱۸۵۶۵۰	آبی	
۱۳۹۸۲	۸۲۵۶	دیم	تولید محصولات باغی (تن)
۱۷۳۲۸۴۷	۱۸۲۱۸۲۲	آبی	
۱/۱۱	۳/۶۴	دیم	عملکرد باغی (تن در هکتار)
۹/۵۲	۹/۸۱	آبی	



شکل ۴-۱ موقعیت سدهای ساخته شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

وقوع پدیده‌ی خشک‌سالی در سال‌های اخیر نیز شرایط بد زیست‌محیطی حاکم در این حوضه آبریز را

تشدید کرده است. طبق گزارش سالنامه آماری، شاخص آسیب‌پذیری منابع آب در سه استان آذربایجان

غربی، آذربایجان شرقی و کردستان در ۷ ماهه سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ وضعیت کمبود شدید آبی را در این سه استان نشان می‌دهد [۳۱]. همچنین، بر اساس این سالنامه‌ی آماری، حجم مخازن آب زیرزمینی در حوضه دریاچه ارومیه در سال ۱۳۸۷، به میزان ۲۰۲/۵- میلیون مترمکعب کاهش یافته است. بی‌توجهی به شرایط زیست‌محیطی در حوضه آبریز دریاچه‌ی ارومیه و توسعه‌ی کنترل نشده و بدون برنامه‌ریزی در صنعت کشاورزی باعث شده است که حجم آب دریاچه‌ی ارومیه کاهش یابد. به عبارت بهتر، دریاچه‌ی ارومیه در حال خشک شدن است. چنانچه این وضعیت ادامه یابد، دریاچه خشک خواهد شد و اقلیم منطقه دچار تغییرات شدید می‌شود؛ وقوع طوفان نمک حاصل از خشک شدن دریاچه و دشوار شدن شرایط زندگی مردم شهرهای اطراف، یکی از انواع بحران‌هایی است که پیش‌بینی می‌شود.

۱-۲ اهداف تحقیق

این پایان‌نامه اهداف زیر را دنبال می‌کند:

۱. تخصیص مناسب منابع آبی (سطحی و زیرزمینی) و اراضی زراعی با انتخاب محصول مناسب به منظور افزایش میزان درآمد حاصل از تولید محصولات زراعی و کاهش مصرف آب.
۲. توصیه منحنی جدید بهره‌برداری از سد بوکان به منظور مدیریت پایدار استفاده از منابع آبی.

همچنین در این رساله به سؤالات زیر پاسخ داده خواهد شد:

۱. آیا تغییر تاریخ کشت گیاهان می‌تواند باعث کاهش آبیاری موردنیاز آنان بشود؟
۲. زمان مناسب هر دوره آبیاری گیاه چه تاریخی است؟
۳. چگونه می‌توان آبیاری موردنیاز گیاه را متناسب با دوره‌ی رشد گیاه تعیین کرد؟
۴. کم آبیاری اعمال‌شده به هر گیاه، چگونه بر میزان تولید آن تأثیر می‌گذارد؟

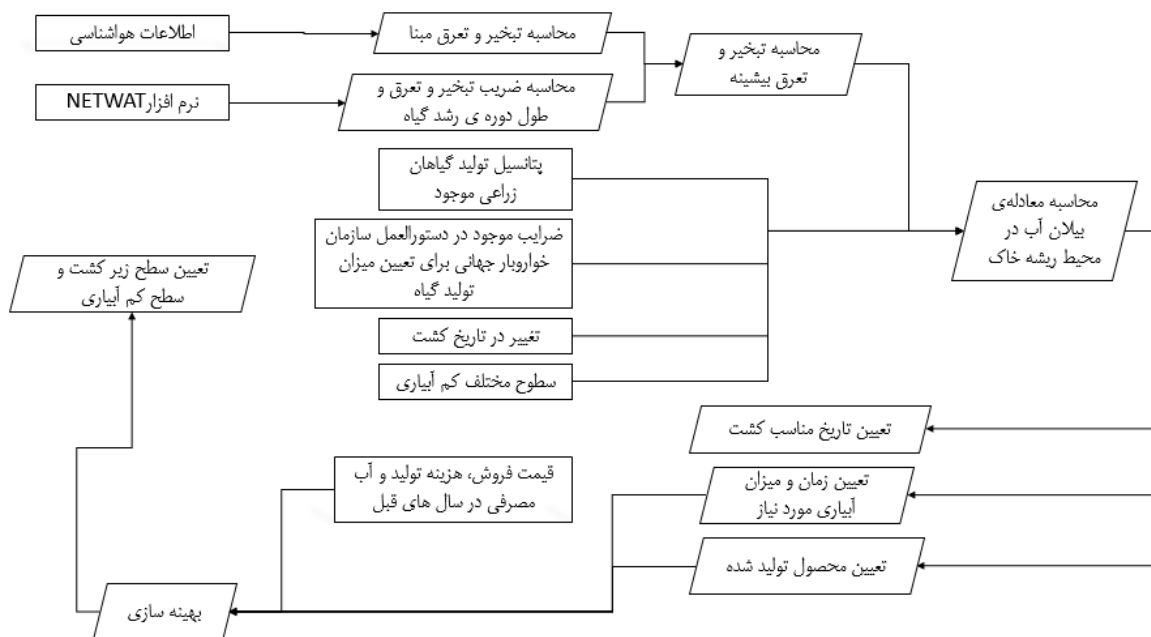
۱-۳ مراحل انجام تحقیق

پس از جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی (دمای بیشینه و کمینه، بارش باران، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد) از سازمان هواشناسی و برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ میلادی، این اطلاعات به‌عنوان داده‌های

ورودی به نرم‌افزار CROPWAT ارائه می‌شوند تا میزان تبخیر و تعرق مبنا در منطقه‌ی مطالعاتی، مورد محاسبه قرار بگیرد. با استفاده از نتایج خروجی CROPWAT و ضرایب تبخیر و تعرق، باید میزان تبخیر و تعرق بیشینه‌ی هر گیاه محاسبه بشود. از آنجاکه این ضرایب و دوره‌ی رشد گیاهان برای منطقه‌ی مطالعاتی مورد نظر وجود ندارد، باید آن‌ها را محاسبه کرد. این ضرایب و طول دوره‌ی رشد به‌گونه‌ای تعیین می‌شوند که اختلاف بین تبخیر و تعرق بیشینه‌ی محاسباتی با مقدار تبخیر و تعرق بیشینه‌ی ارائه‌شده در نرم‌افزار NETWAT کمترین اختلاف را داشته باشد.

در مرحله‌ی بعد باید اطلاعات درباره‌ی تاریخ کشت گیاهان از نرم‌افزار NETWAT جمع‌آوری بشود. بعلاوه، نوع محصولات و جنس خاک موجود در منطقه نیز از سازمان‌های مربوطه گردآوری می‌شود. سپس، با نوشتن معادله‌ی بیلان آب در محیط خاک ریشه‌ی گیاهان زمان و میزان آبیاری موردنیاز گیاه تعیین می‌شود. از آنجاکه تغییر تاریخ کشت گیاه به‌عنوان یکی از گزینه‌های کاهش میزان آبیاری موردنیاز گیاه مطرح است، معادله‌ی بیلان آب در محیط ریشه‌ی گیاه برای زمان‌های مختلف کشت گیاه محاسبه می‌شود. با استفاده از نتایج معادله‌ی بیلان آب در مرحله‌ی قبل و اطلاعات مربوط به پتانسیل تولید گیاهان (جمع‌آوری‌شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی در شهرستان میاندوآب) می‌توان میزان تولید محصول گیاه را در سطوح مختلف کم آبیاری تعیین نمود.

تعیین محصول تولیدشده‌ی گیاه و آبیاری موردنیاز آن با استفاده از مدل ساخته‌شده در مراحل مختلف رشد آن، مقدمه‌ی اجرای الگوریتم بهینه‌سازی است تا با تخصیص مقدار متغیرهای تصمیم موردنظر، دو هدف تعیین‌شده در الگوریتم بهینه‌سازی حاصل بشود. از آنجاکه افزایش درآمد اقتصادی حاصل از تولید محصولات زراعی یکی از اهداف الگوریتم بهینه‌سازی است، باید اطلاعات مربوط به هزینه‌ی تولید و قیمت فروش هر گیاه زراعی را از وزارت جهاد کشاورزی تهیه نمود. بعلاوه، میزان مصرف آب برای آبیاری گیاهان زراعی نباید بیشتر از میزان مصرف آب سطحی و زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه و در سال‌های گذشته باشد. بنابراین، ضروری است تا اطلاعات مربوط به مقدار آب مصرفی از سازمان‌های متولی جمع‌آوری بشود. مراحل طی شده برای انجام این مطالعه در فلوچارت شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵ فلوجارت مراحل انجام تحقیق

۴-۱ دامنه و فرضیات تحقیق

فرضیات در نظر گرفته شده در این تحقیق به منظور تهیه تابع تولید گیاهان زراعی و استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی به شرح زیر است:

۱. نتایج ارائه شده در این پایان‌نامه مربوط به سال‌های آبی ۸۹-۱۳۸۸ تا ۹۴-۱۳۹۳ خواهد بود.
۲. سال آبی دقیقاً برابر با سال میلادی در نظر گرفته شده است. یعنی سه ماه ابتدای سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ برابر با سه ماه انتهای سال ۲۰۱۵ میلادی در نظر گرفته شده است.
۳. ضریب تابع تولید گیاه متناسب با شرایط آب و هوایی هر منطقه، تغییر خواهد کرد. در نتیجه، باید این ضریب به وسیله‌ی آزمایش‌های تجربی و در محل مورد نظر به دست بیاید. از آنجاکه چنین آزمایش‌هایی برای منطقه‌ی مورد مطالعه وجود نداشت، از مقادیر نرمال آن که توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) منتشر شده است [۹]، استفاده شد.
۴. عوامل گوناگونی به‌غیر از آب در دسترس گیاه، از جمله تنش دمایی یا کمبود مواد غذایی، می‌توانند بر میزان تولید گیاهان تأثیر داشته باشند. در این رساله، تنها به آب در دسترس گیاه توجه شده و بنابراین فرض شده است که بقیه‌ی عوامل به مقدار مناسب در اختیار گیاه قرار دارند و در نتیجه، در تابع تولید گیاه حضور ندارند.
۵. رطوبت اولیه‌ی خاک در زمان کشت هر گیاه، متناسب با تاریخ کشت آن فرض شده است؛ یعنی، اگر زمان کشت گیاه در ماهی باشد که احتمالاً در آن بارش باران به مقدار کافی باشد، رطوبت اولیه‌ی خاک برابر ۱۰۰ درصد

ظرفیت نگهداری آب در نظر گرفته می‌شود. اگر ماه کشت گیاه در تاریخی باشد که باران کم بیارد، رطوبت اولیه‌ی خاک ۵۰ درصد ظرفیت آن و اگر تاریخ کشت گیاه در ماهی باشد که بارندگی وجود ندارد، رطوبت اولیه‌ی خاک، صفر در نظر گرفته شده است.

۶. مقدار راندمان آبیاری در دشت میاندوآب، ۳۵ درصد در نظر گرفته شده و این عدد در نرم‌افزار OPTIWAT (بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی مصرف آب کشاورزی) ارائه شده است.

۷. آب موردنیاز برای آبیاری زمین‌های زراعی و باغی در دشت میاندوآب، از منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود. از آنجاکه الگوی آبیاری زمین‌های باغی در این رساله مورد تحقیق قرار نگرفته‌اند، فرض شده است که تمام نیاز آبی آن‌ها با استفاده از منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین شده است و باقیمانده‌ی منابع، برای زمین‌های زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۸. مدت زمان دوره رشد گیاه و ضریب تبخیر و تعرق آن در هر دوره با کمک نتایج نرم‌افزار NETWAT به دست آمده است. اگرچه نتایج این نرم‌افزار برای بازه زمانی مورد نظر در این مطالعه، به‌روزرسانی نشده است، اما فرض می‌شود که نتایج آن قابل استفاده باشد.

۹. سطح آب زیرزمینی در شمال و شمال غرب دشت میاندوآب به سطح زمین نزدیک است و آب بالآمده از آن در اثر خاصیت موینگی بر معادله‌ی بیلان آب در محیط خاک زیر گیاه تأثیر خواهد گذاشت. طبق مطالعه‌ای که به‌طور همزمان توسط آقای حمزه خانی بر روی آب زیرزمینی دشت میاندوآب صورت می‌گیرد [۳۵]، میزان مصرف از آب زیرزمینی در شمال و شمال غرب دشت باید افزایش بیابد تا با کاهش سطح آب زیرزمینی، میزان تبخیر از آن صفر بشود. در نتیجه، طبق این سناریو، می‌توان فرض کرد که سطح آب زیرزمینی به اندازه‌ای پایین می‌رود که آب بالآمده از آن در اثر خاصیت موینگی، در معادله‌ی بیلان تأثیر نخواهد داشت و امکان حذف آن‌ها از معادله وجود دارد.

۱۰. میزان آب رهاسازی شده از سد بوکان و میزان آب تحویل داده شده از بند انحرافی نوروزلو به شبکه آبیاری زربینه‌رود در طول مدت ۵ سال مورد نظر، ثابت و یکسان فرض می‌شود.

۱-۵ نرم‌افزارهای مورد استفاده

برخی اطلاعات موردنیاز درباره‌ی گیاهان زراعی موجود در منطقه‌ی مطالعاتی از نرم‌افزارهای NETWAT و OPTIWAT تهیه شده است. این نرم‌افزارها به سفارش سازمان هواشناسی کشور و وزارت جهاد

کشاورزی و توسط دکتر امین علیزاده و گروه همکار ایشان به منظور بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی الگوی مصرف آب کشاورزی ایران تهیه شده‌اند. محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مینا نیز با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT صورت گرفته است. این نرم‌افزار توسط سازمان خواربار جهانی (FAO) ارائه شده است. مدل بیلان آبی ساخته‌شده در این پایان‌نامه، با استفاده از نرم‌افزار EXCEL اجرا شده است.

برای انجام بهینه‌سازی، از نرم‌افزار MATLAB R2014b استفاده شده است. مزیت استفاده از این نرم‌افزار، ابزار موجود در آن به منظور انجام الگوریتم ژنتیک چند هدفه است که اجرای آن را بسیار آسان می‌سازد.

۱-۶ مروری بر مطالب فصل‌ها

در فصل دوم، مروری بر مطالعات و پروژه‌های مشابه داخلی و خارجی که تاکنون انجام شده‌اند صورت می‌گیرد. در فصل سوم به معرفی منطقه‌ی موردنظر (دشت میاندوآب) پرداخته می‌شود. در این فصل، از آمار و اطلاعات اخذشده از سازمان‌های مرجع تولید داده، از جمله شرکت مادر تخصصی منابع آب و سازمان هواشناسی، و همچنین اطلاعات مندرج در گزارش‌ها و مقالاتی که به بررسی وضعیت منابع آب منطقه مورد مطالعه پرداخته‌اند، استفاده شده است. در فصل چهارم، مفاهیم پایه به کار برده شده در معادلات بیلان آبی برای محاسبه‌ی زمان و مقدار آبیاری موردنیاز گیاه، به صورت مختصر توضیح داده خواهند شد و مراحل مدل‌سازی نیز بیان می‌گردد. بعلاوه، توضیح الگوریتم ژنتیک و توابع مورد استفاده در این پایان‌نامه نیز در این فصل ارائه می‌شوند. در فصل پنجم، به نتایج حاصل از مدل‌سازی بیلان آب در محیط ریشه خاک پرداخته و جواب‌های مطلوب حاصل از بهینه‌سازی بیان خواهند شد. جمع‌بندی و پیشنهادها برای ادامه تکمیل و بهبود مطالعه نیز در فصل آخر گنجانده شده‌اند.