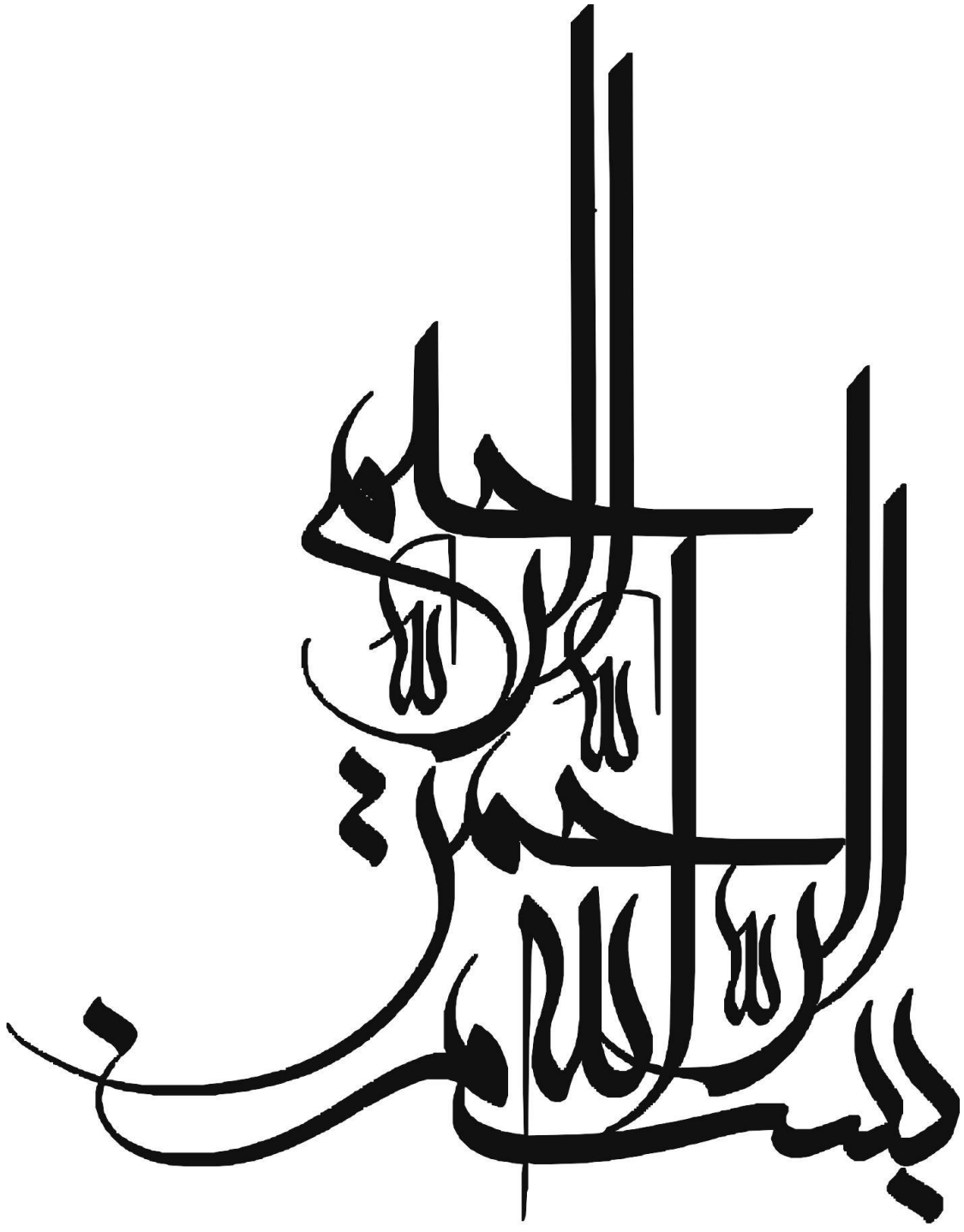
بسم الله الرحمن الرحيم

`

دانشکده کشاورزی

**پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی**

# ارزیابی عملکرد سد زاینده‌رود در دوره خشکسالی با استفاده از مدل WEAP


**استاد راهنما:**

**دکتر حسین صمدی بروجنی**

**استادان مشاور**

**دکتر حسین منصوری**

**دکتر محمدرضا نوری امامزاده‌ئی**

**پژوهشگر:**

**فائزه موحدیان عطار**


**شهریور ماه ۱۳۹۱**

`

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه خانم فائزه موحدیان عطار جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی با عنوان **ارزیابی عملکرد سد زاینده رود در دوره خشکسالی با استفاده از مدل WEAP** در تاریخ ۱۳۹۱/۰۷/۲۳ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با نمره ۱۹/۱۰ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. **استاد راهنمای پایان‌نامه**

**دکتر حسین صمدی بروجنی (استادیار)** .....

۲. **استادان مشاور پایان‌نامه**

**دکتر حسین منصوری (استادیار)** .....

**دکتر محمدرضا نوری امامزاده‌ئی (استادیار)** .....

۳. **استادان داور پایان‌نامه**

**دکتر مهدی رادفر (استادیار)** .....

**دکتر افشین هنربخش (استادیار)** .....

**دکتر سید حسن طباطبائی**

**معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی**

`

**کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات**

**و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه**

**متعلق به دانشگاه شهرکرد است.**

`

## تقدیر و تشکر

در اینجا لازمست صمیمانه‌ترین احترامات و خالصانه‌ترین سپاسگزاری‌ها را به یکایک کسانی که مرا در تهیه این مجموعه یاری و مساعدت فرمودند تقدیم نمایم، به خصوص به:

**- اساتید محترم**

- ❖ **جناب آقای دکتر حسین صمدی بروجنی** که با نهایت سخاوت، تجربیات خویش را در اختیار من قرار دادند و با صبر و حوصله مرا در به اتمام رسانیدن این تحقیق مساعدت نمودند.
- ❖ **جناب آقای دکتر حسین منصوری**، یکی از اساتید مجرب دانشگاه شهرکرد، که در تهیه این پایان‌نامه راهنمائی‌های ارزشمندی نمودند.
- ❖ **جناب آقای دکتر محمدرضا نوری امامزاده‌ئی**، یکی از بهترین اساتید دوران تحصیلم، که از مشاوره‌های ارزشمند ایشان بهره گرفتم.
- ❖ همچنین سایر اساتید گروه مهندسی آب که دانش و تجربیات خود را در اختیارم گذاردند.

- و بالاخره **پدر و مادر و خانواده مهربانم** که همواره بار مشکلات اینجانب را با گشاده رویی به دوش کشیدند و پناه و پشتیبانم بوده‌اند.

**به امید جبران زحمات...**

تقدیم به:

پدر، مادر و خواهر و برادرای عزیزم لیلا، نفیسه، محمدرضا و امیر

`


## چکیده

امروزه حفظ و صیانت از منابع آب و بهره‌برداری بهینه از آن یک مسأله جهانی است و به همین جهت در قرن حاضر از آب به عنوان یک چالش فراگیر بشری یاد می‌شود. هدف این تحقیق ارائه یک چهارچوب برای چگونگی ارزیابی عملکرد سد زاینده‌رود در شرایط خشکسالی می‌باشد. بدین منظور این تحقیق از روش مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد استفاده می‌شود. مدلWEAP به طور قابل قبولی سیستم‌های منابع آب را شبیه‌سازی می‌کند. بدین صورت که پس از جمع‌آوری و تکمیل اطلاعات مورد نیاز، فایل ورودی مدل WEAP را تشکیل داده و مدل برای یک دوره آماری کالیبره می‌گردد. مرحله بعد از آن تدوین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از مخزن سد در سناریوهای مختلف الگوی مصرف آب در حوضه است و در هر حالت مدل WEAP اجرا شده و نتایج بدست آمده ارزیابی می‌شود. در این تحقیق ۱۲ سناریو مورد ارزیابی قرار گرفت که چهار سناریو کاهش سطح زیر کشت گیاهان پرمصرف و سه سناریو افزایش رشد نیاز آبی صنعت و دو سناریو در مورد کاهش نیاز آبی شرب و دو سناریو تلفیقی از این سناریوها می‌باشد.نتایج نشان داد که در زمان خشکسالی بهترین شرایط ممکن با کاهش ۶۰٪ سطح زیر کشت گیاهان پرمصرف و جایگزینی با گیاهان کم‌مصرف و نرخ رشد صنعت برابر ۱٪ و وسرانه مصرف آب برای هر نفر معادل ۱۲۰ لیتر در روز بدست می‌آید



**واژگان کلیدی**: خشکسالی، سناریو، شبیه‌سازی، کالیبراسیون، WEAP

## فهرست مطالب

عنوان

صفحه


**فصل اول- کلیات** ..... ۸
۱-۱- مقدمه ..... ۸
۱-۲- اهداف پژوهش ..... ۱۱
۱-۳- سؤالات و فرضیه‌ها ..... ۱۲
۱-۴- فصل‌بندی پایان‌نامه ..... ۱۲
**فصل دوم - بررسی منابع** ..... ۱۳
۲-۱- روش‌های مدل‌سازی حوضه رودخانه ..... ۱۳
۲-۱-۱- شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب ..... ۱۳
۲-۱-۲- بهینه‌سازی سیستم‌های منابع آب ..... ۱۴
۲-۱-۳- شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب بر اساس بهینه سازی ..... ۱۴
۲-۲- انواع دسته بندی مدل‌های شبیه سازی ..... ۱۴
۲-۲-۱- آماری یا فرآیندگرا: ..... ۱۴
۲-۲-۲- دسته بندی بر اساس کاربرد ..... ۱۵
۲-۲-۳- دسته بندی بر اساس مقیاس مکانی ..... ۱۵
۲-۲-۴- مدل‌های پویا و ایستا ..... ۱۵
۲-۲-۵- مدل‌های تحلیلی و عددی ..... ۱۵
۲-۲-۶- دسته بندی بر اساس اطلاعات مورد نیاز ..... ۱۵
۲-۳- دسته بندی مدل‌های شبیه سازی هیدرولوژیکی ..... ۱۶
۲-۴- بررسی مدل‌های قابل دسترس ..... ۱۶
۲-۴-۱- مدل WEAP ..... ۱۶
۲-۴-۲- مدل RIBASIM ..... ۱۸
۲-۴-۳- مدل MIKE BASIN ..... ۱۹
۲-۴-۴- مدل WBALMO ..... ۲۰
۲-۴-۵- مدل MODSIM ..... ۲۰
۲-۴-۶- مقایسه مدل‌ها ..... ۲۱
۲-۵- سابقه پژوهش ..... ۲۳
۲-۵-۱- پژوهش‌های داخلی ..... ۲۳
۲-۵-۲- پژوهش‌های خارجی ..... ۲۶
**فصل سوم - مواد و روش‌ها** ..... ۳۲
۳-۱- موقعیت و مشخصات منطقه مورد مطالعه ..... ۳۲
۳-۱-۱- معرفی منطقه ..... ۳۲
۳-۱-۲- اقلیم منطقه ..... ۳۵
۳-۲- طرح‌های سد و تونل در حال بهره‌برداری حوضه زاینده رود ..... ۳۵

۳-۳- آمار و اطلاعات مورد استفاده در مدل WEAP: ..... ۳۸

**عنوان**

صفحه

۳-۳-۱- لایه‌های GIS حوزه: ..... ۳۹
۳-۳-۲- دبی ماهانه سر شاخه‌ها: ..... ۳۹
۳-۳-۳- ایستگاه‌های هیدرومتری (آب سنجی): ..... ۴۱
۳-۳-۴- منابع اطلاعاتی مصارف آب ..... ۴۲
۳-۳-۵- اطلاعات مخازن سدها ..... ۶۷
۳-۴- کالیبراسیون مدل WEAP: ..... ۶۹
۳-۴-۱- دوره زمانی ..... ۶۹
۳-۴-۲- مقایسه احجام مشاهده‌ای و شبیه سازی ایستگاه‌های آبسنجی ..... ۶۹
۳-۴-۲-۱- ایستگاه آبسنجی قلعه شاهرخ بر روی رودخانه زاینده رود ..... ۶۹
۳-۴-۲-۲- ایستگاه آبسنجی سد تنظیمی بر روی رودخانه زاینده رود ..... ۷۱
۳-۴-۲-۳- ایستگاه آبسنجی پل زمانخان بر روی رودخانه زاینده رود ..... ۷۲
۳-۴-۲-۴- ایستگاه آبسنجی پل کله بر روی رودخانه زاینده رود ..... ۷۳
۳-۴-۲-۵- ایستگاه آبسنجی اسکندری بر روی رودخانه پلاسجان ..... ۷۵
۳-۴-۳- مقایسه احجام مشاهده‌ای و شبیه سازی در مخزن سد زاینده رود ..... ۷۷
۳-۴-۴- عوامل موثر در بروز تفاوت بین حالات شبیه‌سازی و مشاهده شده ..... ۷۹
**فصل چهارم- نتایج و بحث** ..... ۸۰
۴-۱- تعریف سناریو ..... ۸۰
۴-۲- افق زمانی ارزیابی سناریوها ..... ۸۱
۴-۳- شاخص‌های ارزیابی سناریوها: ..... ۸۱
۴-۴- تدوین سناریوها ..... ۸۱
۴-۴-۱- سناریوی پایه SC1 (وضع موجود) ..... ۸۲
۴-۴-۲- سناریوهای بخش کشاورزی ..... ۸۶
۴-۴-۲-۱- سناریوی طرح توسعه SC2 ..... ۸۷
۴-۴-۲-۲- سناریوی طرح توسعه SC3 ..... ۸۹
۴-۴-۲-۳-سناریوی طرح توسعه SC4 ..... ۹۲
۴-۴-۲-۴- سناریوی طرح توسعه SC5 ..... ۹۴
۴-۴-۳- سناریوهای بخش صنعت ..... ۹۷
۴-۴-۳-۱- سناریوی طرح توسعه SC6 رشد ۲ درصدی صنعت ..... ۹۷
۴-۴-۳-۲- سناریوی طرح توسعه SC7 رشد ۴ درصدی صنعت ..... ۹۹
۴-۴-۳-۳- سناریوی طرح توسعه SC8 رشد ۶درصدی صنعت ..... ۱۰۰
۴-۴-۴- سناریوهای بخش شرب ..... ۱۰۳
۴-۴-۴-۱- سناریوی طرح توسعه SC9 (حداقل مصرف) ..... ۱۰۳
۴-۴-۴-۲- سناریوی طرح توسعه SC10 طبق استاندارد بانک جهانی ..... ۱۰۵
۴-۴-۵- سناریوهای تلفیقی ..... ۱۰۷

۴-۴-۵-۱- سناریوی طرح توسعه SC11 (سناریو تلفیقی) ..... ۱۰۸
۴-۴-۵-۲- سناریوی طرح توسعه SC12 (سناریو تلفیقی) ..... ۱۰۹

عنوان

صفحه

۴-۵- مقایسه سناریوها ..... ۱۱۱
۴-۵-۱- مقایسه از نظر تامین نیازهای حوضه ..... ۱۱۱
۴-۵-۲- مقایسه از نظر وضعیت مخزن سد زاینده‌رود ..... ۱۱۴
۴-۶- جمع‌بندی تحقیق ..... ۱۱۶
۴-۷- ارائه نتایج مدل‌سازی ..... ۱۱۶
۴-۸- نتیجه گیری ..... ۱۱۷
۴-۹- پیشنهادات ..... ۱۱۷
پیوست الف ..... ۱۱۹
منابع ..... ۱۳۰

## فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه


شکل۳-۱ موقعیت کلی منطقه ..... ۳۳
شکل ۳-۲ نقشه شیب و موقعیت حوضه زاینده‌رود ..... ۳۳
شکل۳-۳ نمایی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه زاینده‌رود ..... ۳۴
شکل ۳-۴ نمایی از بازه بندی حوضه زاینده رود ..... ۳۴
شکل ۳-۵ پیکر بندی سیستم منابع آب حوضه زاینده‌رود ..... ۳۸
شکل۳-۶ نمایی از محدوده مورد مطالعه ..... ۳۹
شکل ۳-۷ نحوه ورود داده‌های یک سرشاخه ..... ۴۰
شکل ۳-۲ نیاز خالص محصولات بازه شماره دو ..... ۴۸
شکل ۳-۳ نیاز خالص محصولات بازه شماره (۱-۳) چادگان ..... ۵۰
شکل ۳-۴ نیاز خالص محصولات بازه شماره (۲-۳) یان‌چشمه ..... ۵۲
شکل ۳-۵ نیاز خالص محصولات بازه شماره (۱-۴) بن-سامان ..... ۵۴
شکل ۳-۶ نیاز خالص محصولات بازه شماره (۲-۴) لنجانات ..... ۵۶
شکل ۳-۷ نیاز خالص محصولات بازه شماره (۱-۵) کرون ..... ۵۸
شکل ۳-۸ نیاز خالص محصولات بازه شماره (۲-۵) نکوآباد ..... ۶۰
شکل ۳-۱۱ نیاز خالص محصولات بازه شماره شش ..... ۶۶
شکل ۳-۱۲ منحنی حجم- ارتفاع سد زاینده رود ..... ۶۸
شکل ۳-۱۳ منحنی حجم- ارتفاع سد خمیران ..... ۶۸
شکل ۳-۱۴ منحنی حجم- ارتفاع سد ایزدخواست ..... ۶۹
شکل ۳-۱۵ مقایسه حجم جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در ایستگاه آبسنجی قلعه شاهرخ ..... ۷۰
شکل ۳-۱۶ میانگین ماهانه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ایستگاه آبسنجی قلعه شاهرخ بر حسب MCM ..... ۷۰
شکل ۳-۱۷:مقایسه حجم جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در ایستگاه آبسنجی سد تنظیمی ..... ۷۱
شکل ۳-۱۸ میانگین ماهانه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ایستگاه آبسنجی سد تنظیمی بر حسب MCM ..... ۷۲
شکل ۳-۱۹ مقایسه حجم جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در ایستگاه آبسنجی پل زمانخان ..... ۷۳
شکل ۳-۲۰ میانگین ماهانه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ایستگاه آبسنجی پل زمانخان بر حسب MCM ..... ۷۳
شکل ۳-۲۱:مقایسه حجم جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در ایستگاه آبسنجی پل کله ..... ۷۴
شکل ۳-۲۲ میانگین ماهانه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ایستگاه آبسنجی پل کله بر حسب MCM ..... ۷۵
شکل۳-۲۳ مقایسه حجم جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در ایستگاه آبسنجی اسکندری ..... ۷۶
شکل ۳-۲۴ میانگین ماهانه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ایستگاه آبسنجی اسکندری بر حسب MCM ..... ۷۶
شکل ۳-۲۵ :مقایسه احجام شبیه‌سازی و مشاهده‌ای مخزن سد زاینده رود ..... ۷۷
شکل ۳-۲۶ میانگین ماهانه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی حجم مخزن زاینده رود بر حسبMCM ..... ۷۸
شکل۳-۲۷وضعیت آبدهی رودخانه زاینده رود در شرایط خشکسالی ..... ۷۸
شکل ۴-۱- مدل مفهومی حوضه، سناریوی مرجع SC1 (وضع موجود) ..... ۸۳

شکل ۴-۲- وضعیت مخزن سد زاینده رود در بازه سی ساله در سناریوی پایه بر حسب MCM..... ۸۵
شکل ۴-۳- میانگین تغییرات ماهانه حجم مخزن سد زاینده رود در سناریوی پایه بر حسب MCM ..... ۸۶

عنوان صفحه

شکل ۴-۴- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریوSC2 ..... ۸۹
شکل۴-۵- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریو SC3 ..... ۹۱
شکل ۴-۶- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریو SC4 ..... ۹۴
شکل ۴-۷- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریو SC5 ..... ۹۶
شکل ۴-۸- منحنی حجم –ارتفاع مخزن ماهانه در سناریوهای بخش کشاورزی ..... ۹۷
شکل ۴-۹- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریو SC6 ..... ۹۸
شکل ۴-۱۰- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریو SC7 ..... ۱۰۰
شکل ۴-۱۱- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریو SC8 ..... ۱۰۲
شکل ۴-۱۲- منحنی حجم - ارتفاع مخزن ماهانه در سناریوهای بخش صنعت ..... ۱۰۳
شکل ۴-۱۳- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریو SC9 ..... ۱۰۵
شکل ۴-۱۴- منحنی حجم -ارتفاع مخزن ماهانه در سناریوهای بخش شرب ..... ۱۰۷
شکل ۴-۱۵- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریو SC11 ..... ۱۰۷
شکل ۴-۱۶- وضعیت بلند مدت مخزن سد زاینده‌رود در سناریوSC12 ..... ۱۰۹
شکل ۴-۱۷- منحنی حجم- ارتفاع مخزن ماهانه در سناریوهای تلفیقی..... ۱۱۰
شکل ۴-۱۸- میزان آب قابل تامین برای شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود..... ۱۱۱
شکل ۴-۱۹- مقایسه درصد تامین آب مورد نیاز شبکه‌های آبیاری در شرایط خشکسالی در سناریوها..... ۱۱۲
شکل ۴-۲۰- مقایسه حجم سالانه مخزن در سناریوهای مختلف..... ۱۱۳
شکل۴-۲۱- مقایسه حجم سالانه مخزن در سناریوهای مختلف کشاورزی و سناریو پایه..... ۱۱۴
شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین حجم ماهانه مخزن در کل دوره در سناریوهای مختلف..... ۱۱۵
شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین حداکثر و حداقل حجم آبگیری مخزن در دوره آماری در سناریوهای مختلف..... ۱۱۵
شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین حداکثر و حداقل حجم آبگیری مخزن در دوره آماری در سناریوهای مختلف..... ۱۱۶

## فهرست جدول‌ها

عنوان | صفحه


جدول ۲-۱- مقایسه مدل‌ها ..... ۲۲
جدول۳-۱- معرفی بازه‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۳۵
جدول ۳-۲- طرح‌های سد و تونل در حال بهره‌برداری حوضه زاینده رود ..... ۳۶
جدول۳-۲- منابع اطلاعاتی برای استخراج داده‌های اولیه مورد نیاز مدل ..... ۳۸
جدول ۳-۳- میانگین آبدهی سالانه سر شاخه‌ها ..... ۴۱
جدول ۳-۴- مشخصات ایستگاه‌های آبسنجی مورد استفاده در منطقه ..... ۴۲
جدول ۳-۵- آب تحویلی به مصارف کشاورزی حوضه زاینده رود در دوره واسنجی مدل بر حسب MCM ..... ۴۳
جدول ۳-۶- مصارف شرب و صنعت حوضه زاینده رود در دوره واسنجی مدل بر حسب MCM ..... ۴۳
جدول ۳-۷- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در بازه شماره یک ..... ۴۵
جدول ۳-۸- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در بازه شماره دو ..... ۴۷
جدول ۳-۹- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در زیر بازه شماره (۱-۳) چادگان ..... ۴۹
جدول ۳-۱۰- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در زیر بازه شماره (۲-۳) یان‌چشمه ..... ۵۱
جدول ۳-۱۱- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در زیر بازه (۱-۴) بن-سامان ..... ۵۳
جدول ۳-۱۲- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در زیر بازه (۲-۴) لنجانات ..... ۵۵
جدول ۳-۱۳- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در زیر بازه (۱-۵) کرون ..... ۵۷
جدول ۳-۱۴- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در زیر بازه شماره (۲-۵) نکوآباد ..... ۵۹
جدول ۳-۱۵- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در زیر بازه شماره (۴-۵) مهیار شمالی ..... ۶۱
جدول شماره ۳-۱۶- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در زیر بازه شماره (۸-۵) برخوار ..... ۶۳
جدول ۳-۱۷- سطح زیر کشت، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب میلیمتر)، نیاز خالص و نیاز ناخالص ماهانه الگوی کشت (بر حسب مترمکعب در هر هکتار) در بازه شماره شش ..... ۶۵
جدول ۳-۱۹- اطلاعات مخازن سدها ..... ۶۸
جدول ۴-۱- ارزیابی سناریوی پایه SC1 (وضع موجود و شرایط نرمال) ..... ۸۴
جدول ۴-۲- گروه محصولات پرمصرف و کم مصرف براساس اطلاعات نیاز آبی ..... ۸۶

جدول ۴-۳- سناریوهای بخش کشاورزی ..... ۸۷

**عنوان** صفحه

جدول ۴-۴- تفاوت نیاز ناخالص آب مورد نیاز در سناریو SC2 نسبت به سناریو پایه ..... ۸۷
جدول ۴-۵- ارزیابی سناریوی تامین آب SC2 ..... ۸۸
جدول ۴-۶- تفاوت نیاز ناخالص آب مورد نیاز در سناریوSC3 نسبت به سناریو پایه ..... ۹۰
جدول ۴-۷- ارزیابی سناریوی تامین آب SC3 ..... ۹۱
جدول ۴-۸- تفاوت نیاز ناخالص آب مورد نیاز در سناریو SC4 نسبت به سناریو پایه ..... ۹۲
جدول ۴-۹- ارزیابی سناریوی تامین آب SC4 ..... ۹۳
جدول ۴-۱۰- تفاوت نیاز ناخالص آب مورد نیاز در سناریو SC5 نسبت به سناریو پایه برای تمام نیازهای کشاورزی. ۹۴
جدول ۴-۱۱- ارزیابی سناریوی تامین آب SC5 ..... ۹۵
جدول ۴-۱۲- ارزیابی سناریوی تامین آب SC6 ..... ۹۸
جدول ۴-۱۳- ارزیابی سناریوی تامین آب SC7 ..... ۱۰۰
جدول ۴-۱۴- ارزیابی سناریوی تامین آب SC8 ..... ۱۰۲
جدول ۴-۱۵- ارزیابی سناریوی تامین آب SC9 ..... ۱۰۴
جدول ۴-۱۶- ارزیابی سناریوی تامین آب SC10 ..... ۱۰۶
جدول ۴-۱۷- ارزیابی سناریوی تامین آب SC11 ..... ۱۰۸
جدول ۴-۱۸- ارزیابی سناریوی تامین آب SC12 ..... ۱۱۰
جدول۴-۱۹- مقایسه نتایج مدل در سناریوهای مختلف شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده رود در شرایط خشکسالی. ۱۱۳

`

# فصل اول

## کلیات

### ۱-۱- مقدمه

امروزه آب این منبع حیات‌بخش، به عنوان یکی از سه عامل تشکیل و بقای محیط‌زیست (خاک، هوا و آب) بیش از هر زمان دیگر مورد توجه می‌باشد. بی‌شک امروزه حفظ و صیانت از منابع آب و بهره‌برداری بهینه و اقتصادی و عادلانه از آب یک مسأله جهانی است و به همین جهت در قرن حاضر از آب به عنوان یک چالش فراگیر بشری یاد می‌شود. در تایید این موضوع می‌توان به جهت‌گیری دولت‌های متعددی به سوی تغییر و بازبینی سیاست‌های مربوط به طرح‌های مدیریت منابع آب و سوق آن در راستای مدیریت یکپارچه منابع (IWRM) اشاره نمود(کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵).

منابع آب اگرچه تجدیدپذیر هستند ولیکن حجم آن‌ها ثابت بوده و در مقابل، تقاضای بشری برای آن روبه افزایش است به گونه‌ای که طی صد سال اخیر تقاضای جهانی برای آب بیش از شش برابر شده است در صورتی که جمعیت سه برابر شده است. به این ترتیب سرانه آبی برای مردم جهان روبه کاهش است (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵).

در کشور ایران آب شیرین از ارزش بسیار بالایی برخوردار است. به جز نوار باریکی در حاشیه دریای خزر که از بارش‌های مناسبی برخوردار است و بارش‌های آن دارای توزیع زمانی و مکانی نسبتاً مناسبی می‌باشند در سایر مناطق کشور قسمت عمده بارش‌ها به نواحی کوهستانی و مرتفع محدود می‌گردد. در حالی که با توجه به مشکلات زندگی در نواحی کوهستانی نظیر سردی آب و هوا، کمبود زمین‌های کشاورزی مناسب و سختی عبور و مرور، از دیر باز مراکز مهم جمعیتی در مکان‌هایی دورتر از مناطق مرتفع یعنی در کوهپایه‌ها شکل گرفته‌اند؛ بنابراین مشکل کمبود آب در این مراکز جمعیتی روز به روز بیشتر خواهد شد. در فلات مرکزی ایران این وضعیت به وضوح قابل مشاهده است که نمونه بارز آن کلان شهر اصفهان و نواحی اطراف آن در حوزه زاینده‌رود می‌باشد.

`

استفاده بهینه از منابع آب از اهمیت بسیاری برخوردار است به خصوص در ایران که در منطقه معتدل شمالی بین مدار ۲۵ تا ۴۵ درجه شمالی واقع شده است، به علت موقعیت خاص جغرافیایی و ناهمواری‌های بسیار پراکنده میزان بارندگی سالانه جزء مناطق خشک جهان به‌شمار می‌آید، در این راستا با توجه به خشکسالی‌های اخیر و محدودیت منابع آب در سطح کشور، ضرورت بهره‌برداری بهینه از منابع آبی کشور امری اجتناب ناپذیر است.

به عنوان مثال در کویر مرکزی ایران، مهاجرت کویرنشینان به دلیل کمبود آب و زندگی طاقت‌فرسا در کویر و در نتیجه گسترش نواحی خالی از سکنه، امنیت کل کشور را با خطر جدی روبرو کرده است. تأمین آب لازم برای نواحی کویری می‌تواند علاوه بر رفع مشکلات آن‌ها، ضریب اطمینان امنیتی کشور را نیز افزایش دهد و حوزه زاینده‌رود در این زمینه از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

بنابراین مواردی از قبیل اقلیم، وجود زیرساخت‌های مناسب، موقعیت و غیره سبب جذب جمعیت مهاجر به منطقه شده که همراه با توسعه صنعتی مشکل کمبود آب را نمایان‌تر ساخته است.

بیشتر نقاط کشورمان در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته و دارای منابع آب محدودی است، بنابراین آب اولین عامل محدودیت در افزایش تولید کشاورزی است. بنابراین نیاز به استفاده بهینه از منابع آبی کشور به ویژه در مصرف کشاورزی که قسمت عمده مصرف منابع آبی کشور را تشکیل می‌دهد احساس می‌شود. لذا از دلایل عمده تنش‌های آبی می‌توان موارد زیر را برشمرد :

- محدودیت منابع آب در دسترس و توزیع ناهمگون منابع.
- افزایش روزافزون جمعیت.
- افزایش میزان آسیب‌پذیری سیستم‌های مختلف تأمین آب با توجه به پیچیده‌تر شدن آن‌ها.
- افزایش میزان مصرف سرانه آب به دلیل بالا رفتن سطح رفاه و بهداشت مردم.
- افزایش نیاز در بخش‌های مختلف صنعتی و کشاورزی با توجه به روند توسعه این بخش‌ها.
- تغییرات اقلیمی و ضرورت پیش‌بینی‌های بلند مدت.
- آلودگی منابع آب.
- تخریب منابع به خصوص آب‌های زیرزمینی به علت برداشت بیش از حد و عدم مدیریت صحیح.

طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و منطقی را در یک قالب به هم پیوسته گردآوری نماید. این همان مفهوم مدیریت جامع منابع آب است که باید اصلی‌ترین روش برای دست‌یابی به منابع پایدار آب در سطح ملی و بین‌المللی باشد. مدیریت جامع باید نیاز تمامی ذینفعان و بهره‌برداران آب را لحاظ نماید (علیزاده، ۱۳۸۵).

عدم توجه کافی به شرایط خشکسالی‌ها در تعیین ظرفیت طرح‌های تامین آب باعث می‌شود ظرفیت طرح‌ها بیش از حد در نظر گرفته شود و در نتیجه در زمان وقوع خشکسالی، مشکلات کم آبی بخش زیادی از جامعه را تحت تأثیر قرار دهد. در این شرایط، به دلیل کمبود آب، تامین آب برای مصرف‌کنندگان نسبت به تامین سهم زیست‌محیطی رودخانه اولویت پیدا کرده و عدم در نظر گرفتن سهم زیست محیطی رودخانه نیز موجب وقوع بحران در مناطق پایین دست می‌شود. در چنان شرایطی ناچاراً بایستی در میزان تخصیص آب به مصرف کنندگان کاهش اعمال شود و انجام چنین کاری بسیار دشوار خواهد بود. بنابراین بهتر است از همان ابتدای کار، سهم زیست‌محیطی رودخانه‌ها در حد کافی در نظر گرفته شود و در تعیین ظرفیت طرح‌ها، شرایط خشکسالی لحاظ شود. بدیهی است در این صورت، میزان آب تامین شده کمتر می‌شود لذا مصرف‌کنندگان انگیزه لازم را برای انجام اقدامات بهینه‌سازی مصرف آب بدست

می‌آورند. در این ارتباط یکی از موارد مهم، بهره‌برداری صحیح از مخازن سدها به ویژه در مواقع خشکسالی است که در این تحقیق مورد توجه بوده و برای انجام این مهم، سد زاینده‌رود که یکی از سدهای مهم کشور است، به عنوان مطالعه موردی سعی شده سیاست بهره‌برداری از مخزن سد زاینده‌رود برای کاهش بحران کم آبی حوضه در شرایط خشکسالی مورد توجه قرار گیرد و توصیه‌های کاربردی در این زمینه ارائه شود.

مدیریت منابع آب به عنوان اصلی‌ترین راهکار ممکن برای رفع معضلات ناشی از کاهش کمیت و افت کیفیت آب مطرح است. طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی و منطقی را در یک قالب به هم پیوسته گرد آوری نماید. این همان مفهوم مدیریت جامع آب است که باید اصلی‌ترین روش برای دست‌یابی به منابع پایدار آب در سطح ملی و بین‌المللی باشد. مدیریت جامع باید نیاز تمامی بهره‌برداران آب را لحاظ نماید. مدیریت جامع منابع آب باید در سطح حوزه آبریز انجام گیرد.

حوزه آبریز به عنوان یک واحد مناسب برای تحلیل مسائل مدیریت منابع آب شناخته شده و در کنفرانس سازمان ملل متحد در مورد محیط زیست و توسعه (UNCED) به عنوان یک واحد مناسب جهت تحلیل مسائل مدیریت جامع منابع آب نام‌گذاری شده است.

به طور کلی استفاده از آب به دو دسته عمده تقسیم می‌گردد:

۱) استفاده‌های مصرف کننده آب (آبیاری کشاورزی، صنعتی و شهری).

۲) استفاده‌های غیر مصرف کننده آب (برق آبی، تفریحی و زیست محیطی).

در کشورهای در حال توسعه از بین استفاده‌های مصرف کننده آب، آبیاری بیشترین سهم را داراست (به طور متوسط ۷۰ درصد). این در حالی است که با رشد جمعیت علاوه بر مصارف آبیاری، نیاز مصارف شهری و صنعتی نیز در حال افزایش است. این مسئله سبب رقابت بین مصرف کنندگان آب شده، که طبعاً نیازمند راهکارهای جدیدی است. استفاده و به عبارت دیگر تخصیص بیش از اندازه آب سبب بالا آمدن بیش از حد سطح سفره آب زیر زمینی در برخی از نقاط و کاهش بیش از حد سطح سفره آب زیر زمینی در نقاط دیگری از جهان گردیده است. شور شدن و آلودگی آب، فشارهایی را به کیفیت آب و زمین اعمال می‌نماید که این مسئله اغلب از مصرف زیاد آب جهت مصارف کشاورزی و آبیاری ناشی می‌شود. آلودگی آب ناشی از فاضلاب‌های صنعتی، پساب‌های کشاورزی حاوی مواد شیمیایی، به همراه بهداشت ضعیف اجتماعی و خانوادگی عوامل اصلی ایجاد بیماری‌ها و سوء تغذیه می‌باشد.

عدم توجه به مدیریت آب در سطح حوزه آبریز باعث ایجاد مسائلی از قبیل تأثیرات نامناسب مصارف بالادست بر مصرف کنندگان پایین، عدم رعایت عدالت اجتماعی و بروز نابرابری‌ها، تأمین نشدن نیازهای حداقل زیست محیطی، تخریب محیط زیست و بهینه نبودن برآیندهای اقتصادی می‌شود. مدیریت کارای آب در سطح حوزه آبریز با اهداف افزایش بهره‌وری آب (Water Productivity) و تولید غذا، عدالت اجتماعی و حفاظت اکو سیستم‌ها و محیط زیست مستلزم شناخت و درک مجموعه‌ای از اندر کنش‌های مرتبط با آب در سطوح (Scale) مختلف مکانی و زمانی و در نقاط مختلف حوزه است. عدم شناخت این اندر کنش‌ها و نبود ساختار کارای مدیریت آب که بتواند این درک و شناخت را در تدوین سیاست‌ها، استراتژی‌ها، تصمیمات و اقدامات مدیریتی لحاظ کند، مسئله اصلی در بسیاری از حوزه‌هاست.

هنگامی که شناخت اندر کنش‌ها وجود نداشته باشد، مدیریت منابع آب به صورت جامع و یکپارچه در سطح حوزه آبریز انجام نشده و سیاست‌ها و اقداماتی که در جهت بهبود شرایط برخی از بخش‌های مصرف

کننده یا متقاضی آب (شهری، کشاورزی، صنعتی، محیط زیست و اکوسیستم‌ها) در برخی از نقاط حوزه تدوین می‌شود، می‌تواند موجب اثرات سوء بر دیگر متقاضیان آب گردد. به بیان دیگر، استفاده از آب در یک بخش یا در یک سطح و مکان در حوزه آبریز، اثرات مستقیمی بر کیفیت و کمیت آب برای دیگر بخش‌ها و دیگر سطوح و مناطق حوزه دارد. یکی از ابعاد این اندر کنش‌ها، اثرات فعالیت‌ها در بالادست بر وضعیت پایین دست و دیگری تأثیرپذیری متقابل اقدامات بر وضعیت بین سطوح مختلف حوزه است. از این‌رو لازم است که در مدیریت جامع منابع آب اثرات توسعه منابع آب در بالادست حوزه بر شرایط پایین دست بررسی شود.

برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت صحیح سامانه‌های منابع آب برای تحقق اهداف توسعه پایدار در یک منطقه، نیازمند مشارکت همگانی است. در این ارتباط یکی از موارد مهم، بهره برداری صحیح از مخازن سدهاست، در راستای انجام این مهم و با در نظر داشتن آنکه حوضهٔ زاینده‌رود به دلیل پیچیدگی‌های خاص آن از قبیل تفاوت اقلیمی در آن، تفاوت بین محدوده آبخور زاینده‌رود و دیگر مناطق، هجوم صنایع بزرگ آب‌بر، تبادلات آبی، تنها رودخانه دائمی موجود در کویر مرکزی و غیره علل اصلی بررسی موضوع‌های بالا خواهند بود. سد زاینده رود که یکی از سدهای مهم کشور است، به عنوان مطالعه موردی انتخاب و سعی شده اثرات طرح‌های توسعه منابع آب بر بهره‌برداری از مخزن سد زاینده‌رود به منظور کاهش بحران کم آبی حوزه مورد توجه قرار گیرد و توصیه‌های کاربردی در این زمینه ارائه شود.

## ۱-۲- اهداف پژوهش

هدف این تحقیق ارائه یک الگوریتم برای چگونگی ارزیابی عملکرد سد زاینده‌رود با تاکید بر محوریت آب می‌باشد.

اهداف این تحقیق عبارتند از:

۱- بررسی منابع آب

۲- بررسی مصارف آب

۳- بررسی ناهماهنگی منابع و مصارف در حوزه

۴- کمبودهای آبی

برای رسیدن به اهداف این تحقیق از روش مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد استفاده می‌شود. مدل WEAP به طور قابل قبولی سیستم‌های منابع آب را شبیه‌سازی می‌کند. یکی از وظایف مهم مدل‌های شبیه‌سازی ارزیابی سناریوها است، نمونه‌ای از سناریوها که با این نرم‌افزار قابل بررسی است عبارتند از: رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، تغییر سیاست بهره‌برداری از مخازن، صرفه جویی آب، تخصیص نیاز اکوسیستم، استفاده تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی، استفاده مجدد از آب، تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی؛ لذا با توجه به قابلیت‌های این مدل، در تحقیق حاضر از این مدل استفاده می‌شود.

پس از جمع‌آوری و تکمیل اطلاعات مورد نیاز، فایل ورودی مدل WEAP را تشکیل داده و مدل برای یک دوره آماری کالیبره می‌گردد. مرحله بعد از آن تدوین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از مخزن سد در سناریوهای مختلف الگوی مصرف آب در حوزه است و در هر حالت مدل WEAP اجرا شده و نتایج بدست آمده ارزیابی می‌شود. به منظور مقایسه بهتر در هر حالت بهره‌برداری از مخزن سد، میزان کمبودهای اعمال شده و میزان بهره‌وری استفاده از آب (Water Productivity) برآورد شده و در نهایت بهترین سیاست مدیریت و بهره‌برداری از مخزن سد زاینده رود انتخاب و توصیه می‌شود.

از آنجا که کلیه مدل‌های کار شده در ایران وارداتی بوده و برای شرایط فیزیوگرافی و اقلیمی غیر از شرایط ایران طراحی شده‌اند، لذا در این تحقیق سعی می‌شود تا حد امکان مدل شبیه‌سازی مخزن واسنجی شده و برای شرایط حاکم بر منطقه مطالعاتی ارتقاء یابد.

## ۱-۳- سؤالات و فرضیه‌ها

در خصوص بهره‌برداری از سد مخزنی زاینده رود همواره سوالاتی مطرح می‌شود که پاسخ به این سوالات می‌تواند ما را در مدیریت صحیح و بهینه یاری رساند. این سوالات عبارتند از :

بهترین شیوه مدیریت منابع آب با توجه به بیلان آبی سد در این منطقه چگونه است؟

جهت کاهش خسارات بحران و تنش کم آبی در حوزه زاینده رود چه تمهیداتی می‌توان اندیشید؟

آیا تجدید نظر در الگوی کشت تقویم زراعی اراضی تحت پوشش می‌تواند در کاهش بحران موثر باشد؟

آیا تغییر روش آبیاری در اراضی این حوزه می‌تواند در افزایش اثرات مثبت تأثیر گذار باشد؟

از جمله فرضیه‌ی تحقیق موجود به شرح زیر می‌باشد:

با تغییر در سیاست بهره‌برداری از مخزن سد زاینده رود نمی‌توان بحران کم آبی حوزه را کاهش داد.

## ۱-۴- فصل‌بندی پایان‌نامه

این پایان‌نامه در چهار فصل تنظیم شده است. در فصل اول با عنوان کلیات مقدمه‌ای بر اهمیت مسئله در زمینه مدیریت منابع آب در منطقه مورد مطالعه بیان شد.

در فصل دوم سابقه و پیشینه تحقیق[1] شامل بررسی منابع و تئوری مسئله و مطالعه‌های انجام شده در زمینه مدیریت منابع آب و نرم افزارهای مربوط به این مسئله و آشنایی با آن‌ها ارائه شده است.

در فصل سوم مواد و روش‌ها، شامل معرفی منطقه مورد مطالعه، داده‌های مورد نیاز برای نرم‌افزار و بازسازی آن‌ها و سرانجام کالیبراسیون مدل WEAP ارائه شده است. در فصل چهارم نتایج و بحث؛ شامل سناریوهای مورد مطالعه و اجرای مدلWEAP برای هر یک از سناریوها و ارائه نتایج حاصل از سناریوها با شکل، جداول و شکل‌ها ارائه شده است. در ضمن در این فصل در پایان، جمع بندی و نتیجه‌گیری نهایی ارائه شده است.

`

# فصل دوم

## بررسی منابع

### ۲-۱- روش‌های مدل‌سازی حوضه رودخانه

به طور کلی روش‌های مدل‌سازی حوضه رودخانه و مخازن سدها را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد: الف) شبیه‌سازی ب) بهینه‌سازی ج) شبیه‌سازی بر اساس بهینه‌سازی. همه این روش‌ها نیازمند بیان رفتار سیستم طبیعی و زیر ساخت‌های مرتبط با آن و همچنین روابط اقتصادی- اجتماعی موجود در سیستم می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۵).

### ۲-۱-۱- شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب

مدل‌های شبیه‌سازی مشخص می‌نمایند که اگر از یک گزینه و سیاست خاص استفاده شد، در طول زمان و در گستره مکان احتمالاً، چه اتفاقی خواهد افتاد. به همین دلیل در شبیه‌سازی، مسائل به صورت سناریوهای اگر- آنگاه چه مطرح می‌گردند. بنابراین به کمک شبیه‌سازی می‌توان یک مسئله را بهتر مورد ارزیابی قرار داد (لوکس و همکاران، ۲۰۰۵).

بسته‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی سیستم حوضه رودخانه را به صورت گره- یال مدل می‌نمایند. گره‌ها بیانگر مخازن سدها، آب بندها، پمپ‌ها، ایستگاه‌های برقآبی، کاربران آب، ورودی‌های جریان، دریاچه‌های طبیعی و مانند آن است. یال‌ها آب را بین گره‌های مختلف انتقال می‌دهند (لوکس و همکاران، ۲۰۰۵).