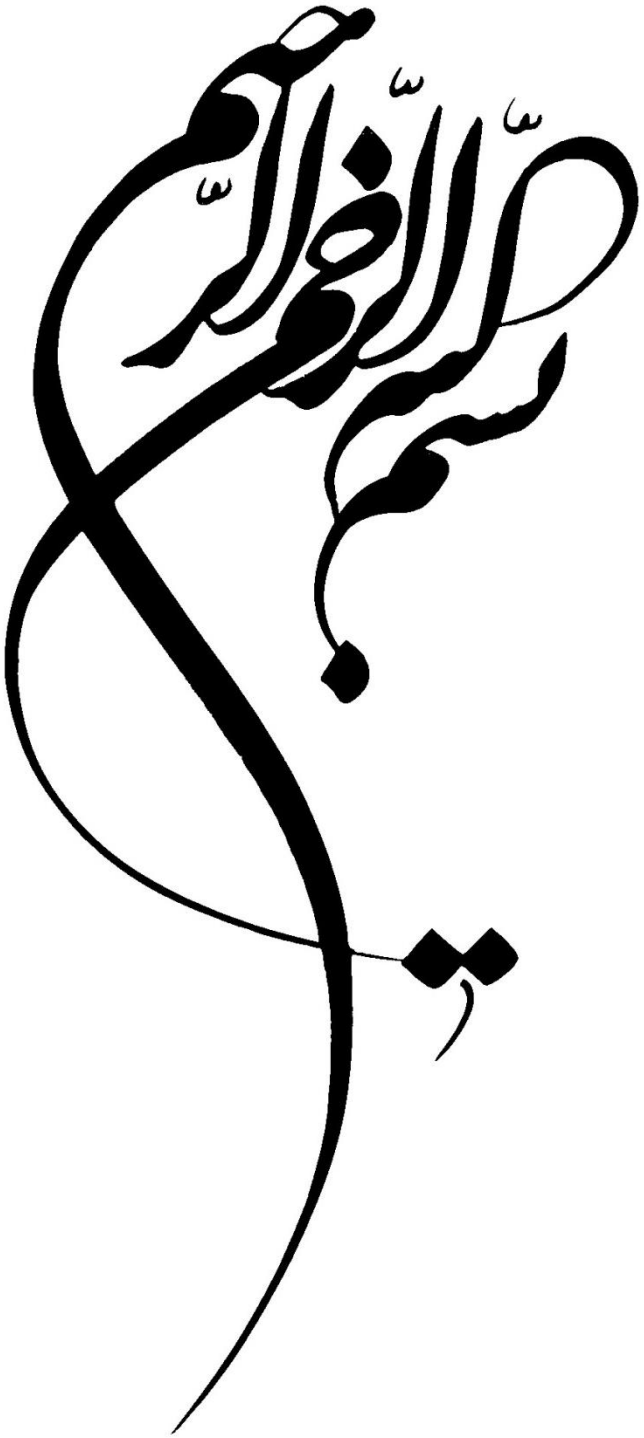

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی عمران

تدوین چارچوب مدیریت منابع آب در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود با تاکید بر جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی

رساله دکتری مهندسی عمران- آب

سجاد انتشاری نجف‌آبادی

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا صفوی

استاد مشاور

Pieter van der Zaag

۱۳۹۹

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی عمران

رساله دکترای آقای سجاد انتشاری نجف‌آبادی

تحت عنوان

تدوین چارچوب مدیریت منابع آب در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود با تاکید بر جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی

در تاریخ ۱۳۹۹/۰۶/۳۰ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای رساله — دکتر حمیدرضا صفوی

۲- استاد مشاور رساله — دکتر پیتر ون در زگت

۳- استاد داور — دکتر امید بزرگ حداد

۴- استاد داور — دکتر آزاده احمدی

۵- استاد داور — دکتر رامتین معینی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر [illegible] نژاد

«من لم یشکر الخالق، لم یشکر المخلوق»

اکنون که به یاری پروردگار، برگی دیگر از دفتر علم و دانش را ورق زده‌ام، پس از سپاس و ستایش به درگاه ایزد منان، وظیفه‌ی خود می‌دانم از تمامی عزیزانی که در این مسیر همراهی ام نموده اند، صمیمانه قدردانی نمایم:

در آغاز از استاد گرانقدر و عزیز جناب آقای دکتر حمیدرضا صفوی سپاسگزارم که علاوه بر عرصه‌ی علمی، در عرصه‌های دیگر زندگی نیز راهنمای بنده بوده اند و بدون دلسوزی های ایشان اتمام این مسیر ممکن نبود و موفقیت فعلی خود را مرهون لطف ایشان می دانم. از اساتید ارجمند، سرکار خانم دکتر آزاده احمدی، جناب آقای دکتر امید بزرگ حداد و جناب آقای دکتر رامتین معینی سپاسگزارم که با قبول داوری این رساله و با نظرات و پیشنهادات خود، در راستای غنای این رساله بنده را یاری فرمودند.

از اساتید فرزانه و دانشور آقایان دکتر مهدی امیری، دکتر امیرمظفر امینی، دکتر وحید مقدم، دکتر محمد فاضلی و دکتر علی یوسفی سپاسگزارم که در طول انجام این رساله، بی هیچ منتی، بر من عنایت ارزانی داشته و پذیرای گفتگو و بحث با حقیر بوده اند و از علم و دانش خویش بنده را مستفیض نموده‌اند. همچنین خدا را شاکرم، بابت داشتن دوستانی صمیمی در پژوهشکده شهید اعتباری که ساعات خوشی را با یکدیگر به اندیشه ورزی و مهارت افزایی سپری کردیم.

I also would like to thank prof. Pieter van der Zaag ،Dr. Janez Susnik and Dr. Poolad Karimi, the masters of IHE Delft Institute for Water Education, whose insight and knowledge into the subject matter steered me through this research.

و در پایان از زحمات بی شائبه و جبران ناپذیر کسانی قدردانی می کنم که قلم قادر به بیان محبت های بی پایان ایشان نیست.

قدردان همسری هستم که در فراز و نشیب های زندگی، همسفری محجوب بوده و با صبر و شکیبایی مرا در رسیدن به اهداف این راه یاری نموده است؛ خدا را شاکرم بابت داشتن فرزندانم زهرا و مهدیار، که در ناامیدی ها انگیزه بخش زندگی ام بوده اند؛ از پدر و مادرم، خواهرم و خانواده همسرم سپاسگزارم که در مقابل همه ی کاستی های بنده، محبت شان را نثار من نموده‌اند؛ و از شهید زنده، جانباز عزیز حاج منصور بنائی‌زاده قدردانی می‌کنم که در تمام این سال‌ها مشوق و راهنمای بنده بوده‌اند. بی گمان بدون حمایت ومدد این عزیزان، هیچ یک از موفقیت های زندگی ام حاصل نمی‌شد.

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

تقدیم به

کسانی که حضورشان به ما درس زندگی و رفتن شان به ما درس عاشقی داده است

شهید سردار حاج قاسم سلیمانی

و شهید حسن انتشاری

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب VII
فهرست اشکال XI
فهرست جداول XV
چکیده ۱
۱- فصل اول: اهداف و روش انجام تحقیق ۲
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ هدف از تحقیق ۳
۱-۳ روش انجام تحقیق ۵
۱-۴ نوآوری تحقیق ۷
۱-۵ فرضیات و محدودیت‌های تحقیق ۷
۱-۶ ساختار رساله ۸
۲- فصل دوم: ادبیات موضوع و پیشینه‌ی علمی تحقیق ۱۰
۲-۱ مقدمه ۱۰
۲-۲ تعاریف ۱۱
۲-۲-۱ ذی‌نفع، ذی‌مدخل، گرودار ۱۱
۲-۲-۲ آب تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر ۱۱
۲-۲-۳ تقاضا، مصرف و برداشت آب ۱۲
۲-۳ مدیریت منابع آب ۱۲
۲-۳-۱ مدیریت منابع آب و مسائل اجتماعی ۱۴
۲-۳-۲ مدیریت منابع آب و مسائل اقتصادی ۱۴
۲-۳-۳ مدیریت منابع آب و مسائل زیست‌محیطی ۱۵
۲-۳-۴ بستر سازمانی مدیریت منابع آب ۱۵
۲-۳-۵ کنش گران مختلف در مدیریت منابع آب ۱۶
۲-۳-۶ ضرورت انجام مطالعات میان رشته‌ای ۱۸
۲-۴ چارچوب‌های مختلف مدیریت آب ۱۸
۲-۴-۱ چارچوب مدیریت بهم پیوسته منابع آب ۱۹
۲-۴-۱ چارچوب تحلیل نهادی استروم IAD ۲۲
۲-۴-۲ چارچوب اقتصاد نهادگرایی آب ۲۴
۲-۴-۳ رویکرد حکمرانی آب ۲۵
۲-۴-۴ چارچوب دیپلماسی آب ۲۷
۲-۴-۵ چارچوب هیدرولوژی اجتماعی ۲۷
۲-۵ دو رویکرد اصلی مدل‌سازی در مدیریت آب ۳۰

۲-۵-۱ رویکرد بهینه‌سازی ۳۱
۲-۵-۲ رویکرد سناریو سازی ۳۳
۲-۶ پویایی سیستم‌ها ۳۵
۲-۶-۱ برخی مطالعات پویایی سیستم‌ها ۳۵
۲-۶-۲ چالش‌های پیش روی مدل‌های پویایی سیستم ۴۰
۲-۶-۱ صحت سنجی مدل‌های پویایی سیستم ۴۲
۲-۷ مطالعات کیفی در مدیریت منابع آب ۴۳
۲-۸ مطالعات انجام شده در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود ۴۵
۲-۹ جمع‌بندی ۵۰
۳- فصل سوم: مبانی نظری و روش شناسی تحقیق ۵۲
۳-۱ مقدمه ۵۲
۳-۲ روش مطالعه کیفی تئوری زمینه‌ای ۵۴
۳-۲-۱ تفاوت پژوهش کمی و کیفی ۵۴
۳-۲-۲ تئوری زمینه‌ای ۵۵
۳-۲-۱ جمع‌آوری داده‌ها ۵۷
۳-۲-۲ نمونه گیری کیفی ۵۷
۳-۲-۳ نگارش نتایج پژوهش کیفی ۵۹
۳-۲-۴ جمع بندی ۵۹
۳-۳ رویکرد پویایی سیستم‌ها ۶۰
۳-۳-۱ مزیت‌های رویکرد پویایی سیستم ۶۱
۳-۳-۲ مراحل مختلف مدل‌سازی ۶۱
۳-۳-۳ معرفی نرم افزار مورد استفاده ۶۲
۳-۳-۴ کالیبراسیون مدل ۶۳
۳-۳-۵ صحت سنجی مدل ۶۴
۳-۴ حذف اثر تورم در مدل ۶۵
۳-۵ ارزیابی سناریوهای سیاستی ۶۷
۳-۵-۱ معیارهای ارزیابی ۶۷
۳-۵-۲ روش استفاده از معیارهای ارزیابی ۶۹
۳-۶ معادلات تجربی مورد استفاده در بخش کشاورزی ۷۰
۳-۶-۱ محاسبه‌ی نیاز خالص آبیاری ۷۰
۳-۶-۲ محاسبه‌ی نیاز ناخالص آبیاری ۷۱
۳-۶-۳ برگشت آب در سیستم‌های کشاورزی ۷۴
۳-۶-۴ محاسبه GRP بخش کشاورزی ۷۵
۳-۷ محاسبه منابع آب تجدیدپذیر واقعی ۷۵
۳-۷-۱ مدل بهره‌برداری منابع آب ۷۶

۳-۷-۲ مدل آبدهی مطمئن ۷۶
۳-۷-۳ تخمین حجم مخزن ۷۷
۳-۸ جمع‌بندی ۷۸
٤- فصل چهارم: معرفی منطقه مورد مطالعه: حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود ۸۰
۴-۱ سیمای کلی حوضه ۸۰
۴-۲ تاریخچه‌ی خشکسالی‌ها در حوضه آبریز زاینده‌رود ۸۲
۴-۳ منابع آب حوضه زاینده‌رود ۸۲
۴-۳-۱ انتقال آب ورودی و خروجی ۸۴
۴-۴ مصارف آب در حوضه زاینده‌رود ۸۵
۴-۵ کشاورزی ۸۷
۴-۶ صنعت ۸۸
۴-۷ نظام سنتی مدیریت آب در حوضه زاینده‌رود ۹۱
۴-۸ جمع بندی ۹۲
٥- فصل پنجم: نتایج مطالعات تئوری زمینه‌ای و شبیه‌سازی پویایی سیستم ۹۳
۵-۱ مقدمه ۹۳
۵-۲ نتایج مطالعات تئوری زمینه‌ای ۹۴
۵-۲-۱ سیستم طبیعی ۹۴
۵-۲-۱ سیستم اجتماعی-اقتصادی ۹۹
۵-۲-۲ جمع‌بندی مطالعات تئوری زمینه‌ای ۱۱۱
۵-۳ توسعه مدل پویایی سیستم ۱۱۱
۵-۳-۱ زیرمدل جمعیت و آب شرب ۱۱۲
۵-۳-۲ زیرمدل بخش صنعت ۱۱۵
۵-۳-۳ زیرمدل بخش کشاورزی ۱۱۷
۵-۳-۴ زیرمدل اشتغال ۱۲۱
۵-۳-۵ زیر مدل سیستم منابع آب ۱۲۳
۵-۳-۶ محاسبه منابع آب تجدید پذیر واقعی ۱۳۰
۵-۴ نتایج مدل پویایی سیستم ۱۳۲
۵-۴-۱ نتیجه صحت سنجی مدل ۱۳۲
۵-۴-۲ طراحی سناریوهای سیاستی ۱۳۴
۵-۴-۳ تحلیل سناریوهای سیاستی ۱۳۷
۵-۴-۴ بحث ۱۴۳
۵-۵ کشف روابط بین دو سیستم هیدرولوژی و اجتماعی ۱۴۶
۵-۵-۱ انتقال آب بین حوضه‌ای و افزایش مهاجرت ۱۴۶
۵-۵-۲ رابطه بین میزان بارندگی و سطح زیر کشت اراضی دیم ۱۴۷
۵-۵-۳ رابطه بین میزان رهاسازی آب سد و سطح زیر کشت اراضی آبی ۱۴۷

۵-۵-۴ اثر قیمت و سطح زیر کشت محصولات بر یکدیگر ۱۴۸
۶- فصل ششم: جمع بندی و پیشنهادات ۱۵۱
۶-۱ جمع بندی ۱۵۱
۶-۲ نتیجه گیری ۱۵۳
۶-۳ پیشنهادات ۱۵۴
پیوست ۱: ضرایب تبدیل سطح زیرکشت شهرستان به واحد زیرحوضه ۱۵۷
مراجع ۱۵۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- تعداد مقالات نمایه شده در پایگاه علمی scopus مرتبط با موضوع آب و در مورد حوضه‌ی زاینده‌رود (دریافت شده در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۲) ٤

شکل ۱-۲- تعداد پایان نامه‌های ارشد و رساله‌های دکتری نمایه شده در پایگاه گنج مرتبط با موضوع آب و در مورد حوضه‌ی زاینده‌رود (دریافت شده در مرداد ۱۳۹۹) ٤

شکل ۱-۳- روند انجام تحقیق به صورت شماتیک ٦

شکل ۲-۱- رابطه‌ی سیستم منابع طبیعی (NRS)، سیستم اجتماعی-اقتصادی (SES) و نقش سیستم اجرایی-نهادی (AIS) در ایجاد تعادل بین آن‌ها [۵،۱۰] ۱۳

شکل ۲-۲- تصمیم‌گیری‌های مؤثر بر سیستم آب [۱۵] ۱۷

شکل ۲-۳- شمایی از قواعد چارچوب تحلیل نهادی IAD ۲٤

شکل ۲-٤- مؤلفه‌های اصلی نهاد آب، ارتباط ساختاری میان آن‌ها و اثر متقابل نهاد-عملکرد در مدل ثالث و دینار [۳۵] ۲۵

شکل ۲-۵- مدل مفهومی سیل- بشر. فلش‌های نازک پیوسته نشان دهنده تغییرات تدریجی و فلش‌های ضخیم نشان دهنده‌ی تغییرات ناگهانی ناشی از اتفاقات است. فلش خط‌چین مکانیسم‌های کنترل را نشان می‌دهند [٤۳]. ۲۸

شکل ۲-٦- مدل مفهومی هیدرولوژی اجتماعی و جایگاه حساسیت اجتماعی در آن [٤٤] ۲۹

شکل ۲-۷- میزان حساسیت اجتماعی در طول زمان و کاهش همزمان با توسعه اقتصادی و افزایش همزمان با اثرات زیست محیطی و اقتصادی [٤٤] ۲۹

شکل ۲-۸- تعداد مطالعات انجام شده با استفاده از روش پویایی سیستم در مدیریت منابع آب [٦۵] ۳۵

شکل ۲-۹- مدل مفهومی زیرسیستم هیدرولوژیکی [٦۳] ۳۷

شکل ۲-۱۰- مدل مفهومی زیرسیستم اجتماعی، سیاسی و اقتصادی [٦۳] ۳۷

شکل ۲-۱۱- ساختار مدل ANEMI: مؤلفه‌های مدل و بازخوردهای آن [٦۹] ۳۸

شکل ۲-۱۲- اصلاحاتی در سیستم که نتیجه‌ی معکوس می‌دهد [۷۰]. ۳۹

شکل ۲-۱۳- نتیجه صحت سنجی برخی مدل‌های پویایی سیستم [٦۸،۸۵،۸۱،۷۱] ٤۳

شکل ۳-۱- شماتیک فرآیند انجام پژوهش ۵۳

شکل ۳-۲- نحوه کالیبراسیون متغیر جمعیت و اشتغال ٦٤

شکل ۳-۳- نرخ تبدیل دلار به ریال و CPI در ایران (https://tradingeconomics.com) ٦٦

شکل ۳-٤- مثالی از تعیین حجم ذخیره فعال مخزن به روش دیاگرام توده‌ای [۱۰] ۷۸

شکل ٤-۱- شمای کلی حوضه‌ی زاینده‌رود [۱۰۷] ۸۱

شکل ٤-۲- منحنی هم بارش حوضه آبریز زاینده‌رود در سال آبی ۸٦-۱۳۸۵ [١٦٤] ۸۳

شکل ٤-٣- منابع آب انتقال یافته به خارج از حوضه‌ی زاینده‌رود [١٦٥] ٨٥
شکل ٤-٤- شمایی از توزیع مصارف در حوضه آبریز زاینده‌رود و رابطه‌ی مصارف با منابع آب [٦٢] ٨٦
شکل ٤-٥- نقشه اراضی کشاورزی حوضه آبریز زاینده‌رود (منبع: نقشه کاربری اراضی سال ١٣٩٤، شرکت مشاور زایندآب) ٨٧
شکل ٥-١- داده‌های تاریخی بارندگی و دما در ایستگاه هواشناسی چلگرد [١٦٤] ٩٥
شکل ٥-٢- حجم تخلیه آب و سطح آب زیرزمینی در حوضه زاینده‌رود [١٦٥] ٩٥
شکل ٥-٣- عکس‌هایی از حوضه‌ی زاینده‌رود؛ الف) فرونشست زمین در دامنه؛ ب) فرونشست زمین در دامنه؛ ج) رودخانه‌ی دائمی زاینده‌رود در دهه‌های قبل؛ د) رودخانه‌ی خشک زاینده‌رود؛ ه) تالاب گاوخونی در موقع دریافت نیاز آبی ؛ و) تالاب گاوخونی در زمان عدم دریافت نیاز آبی ٩٦
شکل ٥-٤- داده‌های تاریخی جریان رودخانه در دو ایستگاه لنج و پل چوم به عنوان معرف مرکز و پایین دست (داده‌های دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب) ٩٧
شکل ٥-٥- میزان نیاز و داده‌های تاریخی میزان تخصیص آب به تالاب گاوخونی [١٣٧،١٦٥] ٩٨
شکل ٥-٦- روند تاریخی مصرف اب سطحی و توسعه‌ی منابع آب در حوضه‌ی زاینده‌رود [٨١] ٩٩
شکل ٥-٧- دیاگرام علت و معلولی مولفه‌های سیستم طبیعی (نتایج تحقیق حاضر) ٩٩
شکل ٥-٨- داده‌های تاریخی جمعیت در حوضه‌ی زاینده‌رود (بر اساس آمار سرشماری نفوس و مسکن، مرکز آمار) ١٠٠
شکل ٥-٩- مهاجرت از دیگر استان‌های کشور به استان اصفهان بین سال‌های ١٣٩٥-١٣٨٥ (در طول ده سال) نسبت به جمعیت استان مبدا، (منبع: سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ١٣٩٠ و ١٣٩٥) ١٠١
شکل ٥-١٠- داده‌های تاریخی تعداد صنایع فعال در حوضه‌ی زاینده‌رود (آمار اداره صنعت، معدن و تجارت استان اصفهان) و مصرف آب صنایع[٦٢] ١٠٢
شکل ٥-١١- کاربری اراضی در حوضه‌ی زاینده‌رود در سال‌های ١٣٧٥ و ١٣٨٦ [١٦٨] ١٠٢
شکل ٥-١٢- سطح اراضی مجهز شده به سیستم آبیاری تحت فشار (مدیریت آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان) ١٠٣
شکل ٥-١٣- نمایی از اثرگذاری سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر افزایش مصرف آب ١٠٤
شکل ٥-١٤- روند جریان ورودی به سد زاینده‌رود [١٦٥] ١٠٥
شکل ٥-١٥- میزان کسر منابع آب از رودخانه زاینده‌رود بین سد زاینده‌رود و ایستگاه هیدرومتری پل کله [١٦٥] ١٠٥
شکل ٥-١٦- میزان منابع آب برداشتی از رودخانه بین ایستگاه‌های هیدرومتری پل کله و ورزنه [١٦٥] ١٠٦
شکل ٥-١٧- میزان GRP و اشتغال در حوضه زاینده‌رود (استخراج شده از سالنامه های آماری) ١٠٧
شکل ٥-١٨- محصولات کشاورزی که به دلیل قیمت پایین خوارک دام شده است ١٠٩
شکل ٥-١٩- دیاگرام علت و معلولی سیستم اجتماعی-اقتصادی (نتایج تحقیق حاضر) ١١١

شکل ۵-۲۰- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل جمعیت و آب شرب ۱۱۲
شکل ۵-۲۱- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل بخش صنعت ۱۱۵
شکل ۵-۲۲- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل کشاورزی ۱۱۷
شکل ۵-۲۳- رابطه سطح زیر کشت محصولات زراعی دیم و حجم بارش در حوضه زاینده‌رود ۱۱۹
شکل ۵-۲٤- رابطه بین سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی و حجم بارش در دو سال متوالی در حوضه‌ی زاینده‌رود ۱۲۰
شکل ۵-۲۵- میزان شغل ایجاد شده به ازای محصولات کشاورزی مختلف در سال ۸۵-۸٦ (منبع: معاونت بهبود تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی) ۱۲۱
شکل ۵-۲٦- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل اشتغال ۱۲۲
شکل ۵-۲۷- جمعیت بزرگسال بالای ده سال (محاسبه شده بر اساس داده‌های سالنامه‌های آماری) ۱۲۳
شکل ۵-۲۸- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل سیستم منابع آب ۱۲٤
شکل ۵-۲۹- برآورد میزان بارندگی در حوضه زاینده‌رود در سال‌های آتی بر اساس گزارش پنجم تغییر اقلیم برای سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 [۱۷۷] ۱۲٦
شکل ۵-۳۰- رابطه‌ی بین میزان بارش (محاسبه شده بر اساس داده های ایستگاه های هواشناسی) در کل حوضه‌ی زاینده‌رود و رواناب ایجاد شده ۱۲۷
شکل ۵-۳۱- رابطه‌ی بین بارش (محاسبه شده بر اساس داده های ایستگاه‌های هواشناسی) و نفوذ [٦۲] در حوضه زاینده‌رود ۱۲۷
شکل ۵-۳۲- رابطه بین میزان تبخیر سالیانه از دریاچه پشت سد زاینده‌رود و متوسط حجم ذخیره پشت سد [۱٦۵] ۱۲۸
شکل ۵-۳۳- رابطه بین میزان برداشت از منابع آب سطحی و میزان دبی سالیانه ایستگاه لنجانات [۱٦۵] ۱۲۹
شکل ۵-۳٤- حجم ذخیره فعال مخزن مورد نیاز در حوضه آبریز زاینده‌رود به روش دیاگرام توده‌ای با استفاده از داده‌های تاریخی ۲۰ ساله ۱۳۱
شکل ۵-۳۵- مقادیر مثبت حجم تجمعی کمبودها در حوضه آبریز زاینده‌رود به روش دیاگرام توده‌ای ۱۳۱
شکل ۵-۳٦- مقایسه بین داده‌های مشاهداتی و نتایج شبیه‌سازی برای مولفه‌های اصلی مدل پویایی سیستم بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱٦، الف: ذخیره آب پشت سد، ب: منابع آب زیرزمینی، پ: جمعیت، ت: اشتغال بخش کشاورزی، ث:اشتغال بخش صنعت، ج: GRP بخش کشاورزی، چ: GRP بخش صنعت، و ح:جریان رودخانه در ایستگاه لنج ۱۳٤
شکل ۵-۳۷- نتایج شبیه‌سازی سناریوی ۱ (ادامه‌ی روند موجود) در حوضه‌ی زاینده‌رود ۱۳۸
شکل ۵-۳۸- نتایج شبیه‌سازی سناریوی ۲ (مدیریت تقاضا) در حوضه‌ی زاینده‌رود ۱۳۹
شکل ۵-۳۹- نتایج شبیه‌سازی سناریوی ۳ (توسعه صنعت) در حوضه‌ی زاینده‌رود ۱٤۰
شکل ۵-٤۰- نتایج شبیه‌سازی سناریوی ٤ (مدیریت توسعه) در حوضه‌ی زاینده‌رود ۱٤۱

شکل ۵-۴۱- اثرات بلند مدت انتقال آب بین حوضه‌ای بر مهاجرت ۱۴۷
شکل ۵-۴۲ مقایسه سطح زیر کشت نسبی و قیمت نسبی دو محصول پیاز و سیب زمینی (بدون مقیاس). برای به دست آوردن سطح زیر کشت نسبی، سطح زیرکشت تقسیم بر کل سطح زیر کشت صیفی جات شده است..... ۱۴۹
شکل ۵-۴۳- اثر قیمت محصولات کشاورزی و سطح زیر کشت بر یکدیگر ۱۵۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- تقسیم بندی کالاها بر اساس استثنا پذیری و رقابت پذیری ۲۳
جدول ۲-۲- نحوه‌ی توسعه‌ی فرضیات دینامیکی در مطالعات مدیریت منابع آب ٤۱
جدول ۳-۱- نمونه ماتریس تصمیم در تصمیم‌گیری چند شاخصه ۷۰
جدول ۳-۲- راندمان مصرف آب در سیستم‌های مختلف آبیاری (درصد) ۷٤
جدول ٤-۱- مشخصات تونل‌های انتقال آب به حوضه زاینده‌رود [۱٦۱،۱٦۰،۷۰] ۸٤
جدول ٤-۲- متوسط برداشت منابع آب حوضه زاینده‌رود در طول دوره ۱۳۹۰-۱۳۷۰ [٦۲] ۸۵
جدول ٤-۳- سطح زیرکشت و میزان تولید محصولات مختلف زراعی و باغی در حوضه زاینده‌رود در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ (آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی) ۸۷
جدول ٤-٤- پوشش گیاهی حوضه آبریز زاینده‌رود (هکتار) محاسبه شده از طریق سنجش از دور [۱۵۵] ۸۸
جدول ٤-۵- مصرف آب صنایع حوضه زاینده‌رود در سال ۱۳۹۰ [۱۱۵،۱۵۲،۱۵٦،۱٦۲] ۸۹
جدول ٤-٦- صنایع بزرگ حوضه زاینده‌رود بر حسب نوع صنعت و میزان مصرف [٦۲] ۸۹
جدول ۵-۱- متوسط تعادل جرمی منابع آب حوضه زاینده‌رود در طول دوره ۱۳۹۰-۱۳۷۰ [۱۱۵] ۹٤
جدول ۵-۲- دبی زیست‌محیطی مورد نیاز بازه‌های مختلف رودخانه زاینده‌رود (m3/s) [۱۳۸] ۹۷
جدول ۵-۳- اولویت بندی کشت محصولات کشاورزی بر اساس برخی معیارهای تصمیم‌گیری در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ (محاسبه شده بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان) ۱۱۰
جدول ۵-٤- نام متغیرهای استفاده شده در زیرمدل جمعیت و آب شرب ۱۱۳
جدول ۵-۵- نام متغیرهای استفاده شده در زیرمدل بخش صنعت ۱۱٦
جدول ۵-٦- نام متغیرهای استفاده شده در زیرمدل بخش کشاورزی ۱۱۸
جدول ۵-۷- برداشت و مصرف آب در سال ۱٤۰٤ (میلیون متر مکعب) ۱٤۲
جدول ۵-۸- ماتریس تصمیم‌گیری، (مقایسه سناریوهای سیاستی از منظر معیارهای ارزیابی) ۱٤۳
جدول ۵-۹- میزان همبستگی بین متغیر قیمت نسبی و سطح زیرکشت برای محصولات پیاز و خیار ۱٤۹

چکیده

برای مدیریت موثر منابع آب، ضروری است سیستم‌های طبیعی و انسانی، به خوبی شناخته شوند و اثرات متقابل آن‌ها در نظر گرفته شود. به همین دلیل در سال‌های اخیر چارچوب هیدرولوژی اجتماعی توسعه یافته است. پویایی سیستم‌ها یکی از روش‌های سیستمی است که می‌تواند به خوبی سیستم‌های فیزیکی را با سیستم‌های انسانی در چارچوب هیدرولوژی اجتماعی کوپل کند، ولی تعریف مرزهای سیستم و توسعه‌ی فرضیات دینامیکی در رویکرد پویایی سیستم با چالش روبرو است. در این رساله، با تلفیق روش کیفی تئوری زمینه‌ای با رویکرد پویایی سیستم‌ها این ضعف پوشانده شده است. در مرحله‌ی اول تحقیق از روش کیفی تئوری زمینه‌ای برای شناخت کلی سیستم، مؤلفه‌های مهم آن و فرضیات دینامیکی حاکم بر آن استفاده شده است. طبق نتایج این مرحله، کاهش سطح آب زیرزمینی و نشست زمین، فصلی شدن رودخانه، کاهش جریان ورودی به تالاب گاوخونی و عدم تعادل بین مصارف و منابع آب مهمترین مشکلات سیستم طبیعی در حوضه‌ی زاینده‌رود هستند. این مشکلات ریشه در سیستم اجتماعی-اقتصادی دارند و به دلیل افزایش جمعیت، مهاجرت، بالا بودن سرانه مصرف آب، رشد نامناسب صنعت و کشاورزی، توسعه‌ی نامناسب سیستم‌های آبیاری تحت فشار و عدم مدیریت الگوی کشت به وجود آمده‌اند. این مشکلات همچنین پیامدهایی برای سیستم اجتماعی-اقتصادی داشته‌اند از جمله بیکاری و بی عدالتی در توزیع آب.

در قسمت دوم رساله با داشتن فرضیه‌های دینامیکی، مولفه‌های اثر گذار بر سیستم به صورت کمی وارد مدل پویایی سیستم شد تا اندرکنش بین سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی شبیه‌سازی شود. برای صحت‌سنجی مدل پویایی سیستم، از آزمون‌های ارزیابی ساختار، سازگاری واحدها و تکرار رفتار برای دوره‌ی آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۵ استفاده شد و از مدل ایجاد شده برای ارزیابی سناریوهای سیاستی برای دوره ۱۳۹۵-۱۴۰۴ استفاده شد. چهار سناریوی «ادامه روند موجود»، «مدیریت تقاضا»، «توسعه‌ی صنعت» و «مدیریت توسعه» توسط مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی سناریوهای سیاستی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه، از شاخص‌های سطح آب زیرزمینی، جریان آب ورودی به تالاب گاوخونی، میزان مصرف آب و جریان آب رودخانه به عنوان معیارهای زیست‌محیطی و از شاخص‌های ذخیره آب پشت سد، اشتغال و تولید ناخالص منطقه ای (GRP) به عنوان معیارهای اجتماعی-اقتصادی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد صرفا با اعمال اقدامات کاهش مصرف آب، سیستم منابع آب حوضه‌ی زاینده‌رود به پایداری نمی‌رسد، از طرفی طبق مطالعات قبلی انتقال آب به حوضه با چالش‌های جدی همراه است. به همین جهت ضرورت دارد سیاست‌های توسعه در این حوضه مورد بازبینی قرار گیرد. در صورتی که ۱۵ درصد اراضی کشاورزی فعلی کاهش یابد و ۳۰ درصد صنایع جدید که درخواست مجوز نموده‌اند راه اندازی شود، بیکاری به ۶ درصد کاهش پیدا می‌کند، وضعیت GRP بهبود میابد، روند کاهش سطح آب زیرزمینی متوقف می‌شود و مصرف خالص آب در سال ۱۴۰۴ به ۲۴۰۰ میلیون متر مکعب می‌رسد. البته همچنان جریان آب رودخانه در شهر اصفهان و جریان ورودی به تالاب گاوخونی، به ترتیب کمتر از ۳۰۰ و ۱۱۰ میلیون متر مکعب خواهند ماند، لذا نیاز است قواعد حاکم بر سیستم تغییر یابد. در تحقیق حاضر علاوه بر خود مدل توسعه یافته، درس‌هایی که در طول فرآیند مدل‌سازی به دست آمده است نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار است، به دلیل اینکه پروسه‌ی مدل‌سازی دانش محقق را نسبت به سیستم افزایش داده است. از جمله‌ی این درس آموخته‌ها عبارتند از اینکه انتقال آب بین حوضه ای به حوضه‌ی زاینده‌رود، مهاجرت به این حوضه را افزایش داده است و ۲۰ درصد افزایش جمعیت را می توان ناشی از انتقال آب دانست. بین میزان بارندگی و سطح زیر کشت اراضی کشاورزی دیم و همچنین بین میزان آب رها شده از سد و سطح زیر کشت اراضی کشاورزی آبی همبستگی قوی وجود دارد و ضریب تعیین آن‌ها به ترتیب ۰.۷۷ و ۰.۷۸ است. از طرفی قیمت هر محصول صیفی با ضریب همبستگی منفی از سطح زیرکشت آن محصول در همان سال اثر می پذیرد و با ضریب همبستگی مثبت بر روی سطح زیر کشت آن محصول در سال بعد اثر می گذارد.

کلمات کلیدی: ۱- مدیریت بهم پیوسته منابع آب ۲- هیدرولوژی اجتماعی ۳- سیستم اجتماعی-اقتصادی ۴- پویایی سیستم ۵- تفکر سیستمی ۶- تئوری زمینه‌ای

فصل اول:
اهداف و روش انجام تحقیق

۱-۱ مقدمه

مدیریت سیستم‌های منابع آب به دلیل تعدد مصرف کنندگان، تنوع مصارف، تعدد منابع و کمبود آب، به سادگی امکان پذیر نیست به خصوص در حوضه‌های بزرگ [۱]. به علاوه بین سیستم‌های آب با دیگر سیستم‌های اجتماعی-اقتصادی اندرکنش وجود دارد که مدیریت آب را پیچیده تر می‌کند. [۲–۴]. همچنین تصمیمات مدیریت منابع آب در یک بستر اجرایی-نهادی شکل می‌گیرد. که در موفقیت تصمیمات اثر دارد [۵]. عدم توجه به این پیچیدگی‌ها و اندرکنش‌ها می‌تواند منجر به شکست مدیریت آب شود [۶]. بنابراین برای مدیریت موفق آب نیاز است اندرکنش‌های بین سیستم منابع آب با سیستم‌های مرتبط، شناخته شود و در تصمیم‌گیری‌ها لحاظ شود و بستری که مدیریت آب در آن رخ می‌دهد مد نظر قرار گیرد. برای فهم این اندرکنش‌ها، ضروری است از مدل‌های کل نگر استفاده شود که همه‌ی سیستم‌های مرتبط و روابط بین آن‌ها را در بر داشته باشند [۷].

همچنین برای کاربردی بودن تحقیقات، ضرورت دارد روش‌ها و مدل‌های جدید بر اساس نیاز ذینفعان توسعه پیدا کند و مسئله و اهداف تحقیقات به درستی تعریف شوند در حالی که در تحقیقات پیشین این مسئله به خوبی رعایت نشده است. به عبارت دیگر، ممکن است پژوهش‌های قبلی به خوبی از نرم افزارها و مدل‌های کامپیوتری استفاده کرده باشند و به درستی به سوالِ پژوهش پاسخ دهند، لکن الزاما سوال پژوهش را به درستی

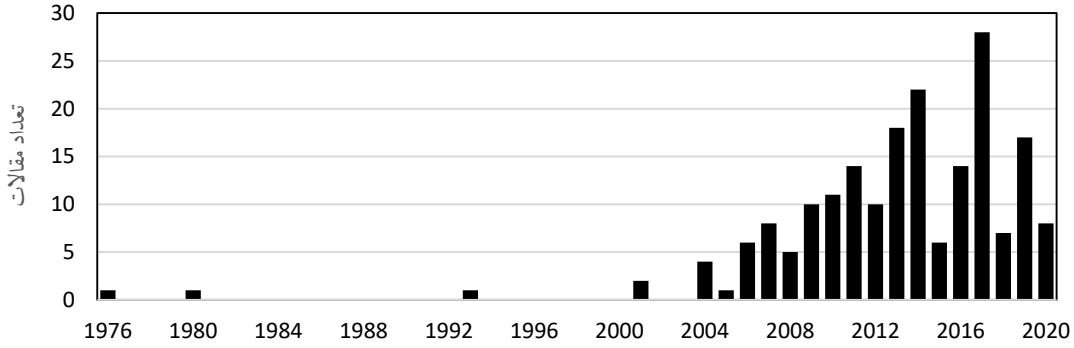
انتخاب نکرده‌اند. لاکس نیز آخرین مقالات خود (۲۰۱۷ و ۲۰۱۹) تاکید می‌کند که اگر ما مدل سازان، یک روش جدید ارائه می‌کنیم، باید مزیت‌ها و محدودیت‌های این روش را بر اساس نیاز و نگرانی‌های ذینفعان مقایسه کنیم نه صرفا بر اساس توانمندی کامپیوتری و داده‌ای آن [۸]. عدم توجه به نیازهای ذینفعان، سبب شده ما از نظر ابزار و متدولوژی پیشرفت کنیم ولی در زمینه اجرا بخصوص در بستر سیاسی (که تصمیمات آب در آن بستر گرفته می‌شود) کمتر موفقیت حاصل شده است [۹].

در ایران به دلیل کم بودن فعالیت‌های گروهی و بین رشته‌ای، این چالش‌ها دوچندان بوده است و مطالعات مبتنی بر چارچوب‌های بین رشته‌ای، نظیر هیدرولوژی اجتماعی، دیپلماسی آب، حکمرانی و تحلیل نهادی با خلا جدی مواجه است. به همین سبب ضرورت دارد، مطالعات از رویکردهای صرفا مهندسی به سمت رویکردهای انسانی و بین رشته‌ای حرکت کند.

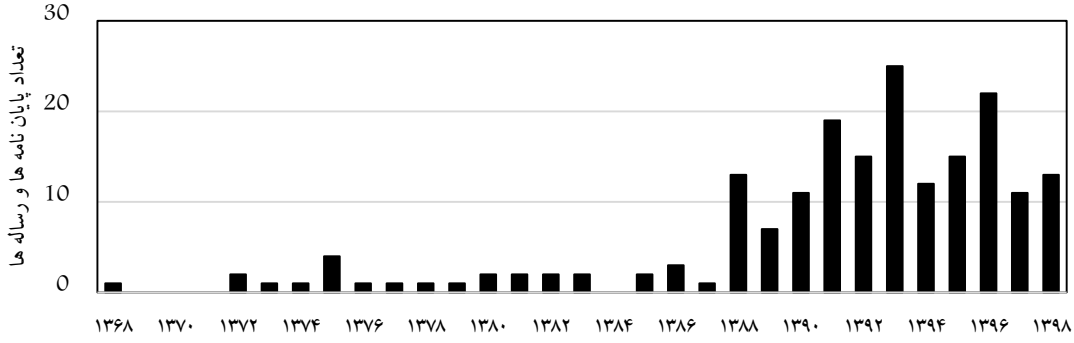
۱-۲ هدف از تحقیق

حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود یکی از حوضه‌های آبریز پیچیده و مهم کشور است که با چالش‌های متعددی مواجه است. تعارض و تنش بین کشاورزان، ناپایداری منابع آب، نشست زمین، بیابان‌زایی در شرق حوضه و بیکاری کشاورزان بخشی از چالش های موجود در حوضه ی زاینده رود هستند. در طول دهه‌های اخیر مطالعات متعددی پیرامون این حوضه انجام شده است. به عنوان مثال شکل ۱-۱ تعداد مقالات نمایه شده در پایگاه علمی اسکاپوس[1] و شکل ۱-۲ تعداد پایان نامه‌های ارشد و رساله‌های دکتری در مورد حوضه‌ی زاینده‌رود را در طول دهه‌های گذشته نشان می‌دهد که به موضوع منابع آب پرداخته‌اند. لکن با وجود این تعداد مطالعات، اثربخشی لازم در واقعیت رخ نداده است.

[1] Scopus



شکل ۱-۱- تعداد مقالات نمایه شده در پایگاه علمی scopus مرتبط با موضوع آب و در مورد حوضه‌ی زاینده‌رود (دریافت شده در تاریخ ۲۰۲۰/۰۸/۰۲)



شکل ۱-۲- تعداد پایان نامه‌های ارشد و رساله‌های دکتری نمایه شده در پایگاه گنج مرتبط با موضوع آب و در مورد حوضه‌ی زاینده‌رود (دریافت شده در مرداد ۱۳۹۹)

هدف تحقیق حاضر مدل‌سازی تعدادی از اندرکنش‌های بین سیستم اجتماعی-اقتصادی و سیستم طبیعی است. مطالعه‌ی حاضر به نوعی، پیاده سازی چارچوب هیدرولوژی اجتماعی در حوضه‌ی زاینده‌رود است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی چگونه بر یکدیگر تاثیر می‌گذارند و تصمیمات گرفته شده چه بازخوردهایی برای سیستم می‌تواند داشته باشد.

قبل از مدل‌سازی اندرکنش بین سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی، تعیین مرز سیستم، شناخت مولفه‌های موثر، شناخت اهداف و شاخص‌های ارزیابی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در قالب مطالعات کیفی انجام می‌شود. اگرچه خروجی مطالعات کیفی کمتر ملموس است، تاثیر زیادی بر تعریف دقیق‌تر مسئله و کاربردی شدن نتایج دارد، همان طور که لاکس (۲۰۰۵) بر ضرورت انجام مطالعات کیفی قبل از مطالعات کمی تاکید دارد [۱۰]. ضرورت مطالعات کیفی به این دلیل است که بسیاری از داده‌ها و اطلاعات به صورت کیفی در ذهن ذینفعان وجود دارد و یا به صورت نوشتاری موجود است و تنها بخش کمی از این داده‌ها به صورت کمی و عددی وجود دارد. به عبارتی دیگر «عمده‌ی دانش بشری به شکل توصیفی و غیر کمی است» [۱۱]. البته دیگر

تحقیقات مدیریت منابع آب نیز به نوعی مطالعات کیفی را در خود دارند. به عنوان مثال بررسی‌های اولیه محقق برای انتخاب موضوع تحقیق، صحبت با متخصصین، مدیران و کارکنان سازمان‌های متولی نوعی مطالعه‌ی کیفی محسوب می‌شوند. ولی آن مطالعات کیفی، عموما سازمان یافته و جامع نیستند، لذا در شناخت مولفه‌های موثر و اهداف، الزاما نمی‌توانند موفق عمل کنند.

به طور خلاصه در این تحقیق به سوالات زیر پاسخ داده می‌شود:

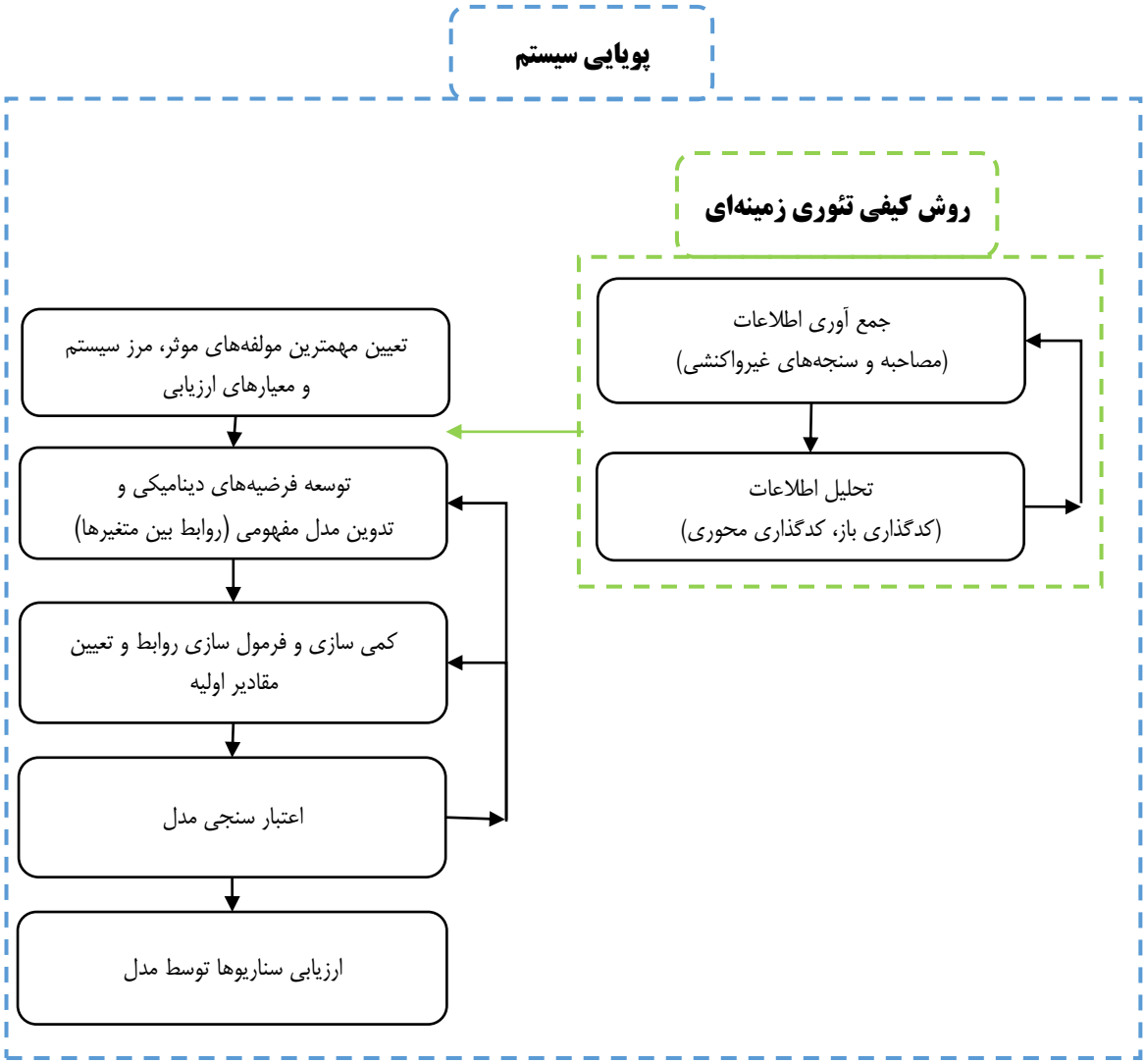
- مشکلات اصلی مدیریت منابع آب در حوضه‌ی زاینده‌رود چیست و این مشکلات چگونه بر یکدیگر موثر هستند؟
- معیارهای ارزیابی سیستم مدیریت منابع آب در حوضه‌ی زاینده‌رود با رویکرد توسعه‌ی پایدار (در سه بعد زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی) چیست؟
- مولفه‌های اصلی موثر بر مدیریت آب در دو سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی کدامند؟
- روابط بین این مولفه‌ها (از نظر کمی) در سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی چیست و چگونه بر یکدیگر اثر می‌گذارند؟
- با استفاده از مدل ایجاد شده و معیارهای ارزیابی، کدام سناریوها می‌تواند منجر به بهبود وضعیت حوضه شود؟

نتیجه‌ی این رساله برای مدیران حوضه مشخص می‌کند کدام سناریو را انتخاب کنند تا وضعیت منابع آب حوضه زاینده‌رود تا حد ممکن بهبود پیدا کند، پایداری محیط‌زیست حفظ شود و کمترین آسیب اجتماعی و بیشترین درآمد اقتصادی حاصل شود. با توجه به این واقعیت که بیش از ۹۰ درصد منابع آب حوضه در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، در این تحقیق به بخش کشاورزی با تمرکز بیشتری پرداخته شده است.

۱-۳ روش انجام تحقیق

برای شبیه‌سازی اندرکنش بین سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی، بایستی از مدل‌هایی استفاده نمود که بتواند یکپارچگی و بازخورد بین این سیستم‌ها را در نظر بگیرد. مدل‌های پویایی سیستم این توانایی را دارند که دو سیستم را به صورت یکپارچه در نظر بگیرند. مکانیسم‌های علت و معلولی و حلقه‌های بازخوردی در این مدل‌ها کمک می‌کند تا بفهمیم چه چیزی سبب مشکلات سیستم منابع آب شده است. این مدل‌ها هم قابلیت مدل‌سازی کیفی (در قالب دیاگرام علت و معلولی) و هم مدل‌سازی کمی را دارد، در نتیجه می‌تواند به صورت همزمان دانش علوم طبیعی و علوم انسانی را مدل‌سازی کند.

پنج گام اصلی برای توسعه‌ی مدل پویایی سیستم شمرده شده است که عبارتند از: ۱- شناخت مسئله و مرزهای سیستم ۲- توسعه مدل مفهومی و فرضیات دینامیکی ۳- کمی سازی و فرموله سازی مدل ۴- صحت سنجی مدل و ۵- استفاده از مدل برای ارزیابی سناریوها. با توجه به ضعف پویایی سیستم برای شناخت مرزها و فرضیات دینامیکی، در تحقیق حاضر مدل پویایی سیستم با روش تئوری زمینه‌ای تلفیق شده است. در واقع تحقیق حاضر در دومرحله انجام شده است. در مرحله‌ی اول با استفاده از روش تئوری زمینه‌ای به شناخت مشکلات، مولفه‌های اثر گذار و فرضیات دینامیکی سیستم پرداخته شده است و در مرحله‌ی دوم به مدل‌سازی کمی این فرضیات پرداخته شده است. روند انجام تحقیق به گونه‌ای که بیان شد در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۳- روند انجام تحقیق به صورت شماتیک

۱-۴ نوآوری تحقیق

- توسعه‌ی فرضیات دینامیکی یا همان حلقه‌های علت و معلولی در مدل‌های پویایی سیستم با چالش‌هایی مواجه است از جمله اینکه به دامنه‌ی وسیعی از علوم و دانش فرارشته ای نیاز است و ضرورت دارد قضاوت هایی که منجر به توسعه‌ی فرضیات می شود با بستر سیاسی و اجتماعی منطبق باشد. در مدل‌های پویایی سیستم قبلی، مدل سازان بر اساس قضاوت خود به توسعه‌ی فرضیات پرداخته اند و یا از روش مدل‌سازی مشارکتی برای توسعه حلقه‌های علت و معلولی استفاده شده است. در تحقیق حاضر از روش کیفی تئوری زمینه‌ای برای توسعه‌ی فرضیات دینامیکی استفاده شده است به گونه ای که خروجی روش کیفی تئوری زمینه ای به عنوان ورودی مدل پویایی سیستم برای توسعه‌ی فرضیات دینامیکی استفاده شده است. این روش کمک می‌کند تا مؤلفه‌های مهم سیستم از دست نرود و فرضیات دینامیکی به صورت نظام مند توسعه یابد.

- در تحقیقات قبلی، از روش کیفی تئوری زمینه‌ای برای تحلیل مشارکت در مدیریت منابع آب، تحلیل استراتژی‌های مدیریت آب در بخش کشاورزی، بررسی امکان پذیری یادگیری اجتماعی در مدیریت آب و ارزیابی کارایی مدل‌های کامپیوتری منابع آب در یادگیری اجتماعی، استفاده شده است. در تحقیق حاضر، از این روش برای شناخت روابط بین سیستم اجتماعی-اقتصادی و سیستم مدیریت منابع آب استفاده شده است.

- در مطالعات قبلی مدیریت منابع آب از شاخص‌های متنوعی برای ارزیابی سناریوها استفاده شده است. در این مطالعه برخی شاخص های قبلی مورد استفاده قرار گرفته است؛ به علاوه به صورت ابداعی شاخص «جریان آب رودخانه در شهر اصفهان» به عنوان یک شاخص اجتماعی و زیست محیطی تعریف شد.

- یکی از چالش‌های محاسبه‌ی روابط بین صنعت و کشاورزی با GRP وجود تورم و تغییر ارزش محصولات کشاورزی و صنعتی است. در تحقیق حاضر با ایده‌ی استفاده از شاخص قیمت مصرف کننده (CPI) این چالش تا حدی برطرف شده است.

- در تحقیق حاضر برخی روابط بین سیستم اجتماعی-اقتصادی و سیستم مدیریت آب یافت شده است از جمله رابطه‌ی بین سطح زیرکشت و میزان آب رها شده از سد و رابطه‌ی بین سطح زیر کشت دیم و میزان بارندگی.

۱-۵ فرضیات و محدودیت‌های تحقیق

در این رساله با توجه به ظرفیت‌های موجود و محدودیت‌ها، فرضیاتی در نظر گرفته شده که در این بخش به این محدودیت‌ها و فرضیات اشاره می‌شود:

- داده‌های مورد استفاده در این تحقیق نظیر داده‌های کشاورزی، صنعت، شرب و منابع و مصارف آب از مراجع مختلف دریافت شده است. در طول فرآیند تحقیق تلاش شد تا با مقایسه‌ی داده‌ها با یکدیگر از داده‌های با اعتبار بیشتر استفاده شود، ولی همچنان برخی داده‌های مورد استفاده می‌تواند بین ذینفعان مورد مناقشه باشد.

- داده‌های سیستم اجتماعی اقتصادی بر اساس مرزهای متفاوت شهرستانی و استانی و مرزهای زمانی متفاوت ارائه شده‌اند. به عنوان مثال آمار جمعیت تا سطح آبادی هر ۵ سال یک بار جمع‌آوری شده (سرشماری نفوس و مسکن) در حالی که آمار GRP برای هر سه ماه یک بار موجود بوده است. آمار اشتغال در برخی سالها (مانند آماربرداری کشاورزی ۱۳۹۳) به تفکیک شهرستان موجود بوده و در برخی سالها به تفکیک استان. در این مطالعه، تلاش شده است همه‌ی داده‌های مبتنی بر مرز سیاسی به داده‌های مبتنی بر مرز هیدرولوژیکی و بازه‌ی زمانی یک ساله تبدیل شود، با این وجود در برخی موارد از نسبت گیری و تخمین برای این تبدیل استفاده شده است.

- در این تحقیق فقط مسائل مرتبط با کمیت منابع آب بررسی و مدل‌سازی شده و کیفیت آب بررسی نشده است زیرا چالش‌های اجتماعی اقتصادی فعلی، پیرامون کمیت آب است و چالش‌های مرتبط با کیفیت آب، هنوز ظهور اجتماعی نداشته است.

۱-۶ ساختار رساله

در فصل دوم رساله، ادبیات موضوع و پیشینه‌ی مطالعات بیان شده است. در این فصل پس از بیان مقدمه ابتدا برخی عبارات که در پایان نامه از آن استفاده شده و مورد چالش است، تعریف شده‌اند، سپس در مورد پیچیدگی‌های مدیریت منابع آب و ضرورت یکپارچه نگری در مدیریت منابع آب توضیحاتی ارائه شده است. در بخش چهارم فصل ۲، چارچوب‌های مختلفی که در چند دهه‌ی اخیر برای مدیریت آب توسعه یافته‌اند توضیح داده شده است. چارچوب‌ها زاویه‌ی دید محقق را به موضوع مشخص می‌کنند. ذیل چهارچوب رویکردهای مختلف بهینه‌سازی و یا سناریوسازی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که در بخش پنجم فصل ۲ این رویکردها بررسی شده‌اند. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر از پویایی سیستم برای مدل‌سازی استفاده شده است در بخش ششم فصل ۲، مزیت‌ها و چالش‌ها و مطالعات قبلی پویایی سیستم توضیح داده شده است. توسعه‌ی فرضیات دینامیکی در این پژوهش از طریق روش تحقیق کیفی انجام شده، لذا در بخش هفتم فصل ۲، پیشینه و ضرورت استفاده از روش‌های

تحقیق کیفی در مطالعات مدیریت آب تبیین شده است. در انتهای فصل ۲، برخی تحقیقات مدیریت منابع آب که در حوضه زاینده‌رود انجام شده، بیان شده، سپس یک جمع بندی از این فصل ارائه شده که نقاط خلاء تحقیقات قبلی را نشان می‌دهد.

در فصل سوم رساله، مبانی نظری و روش شناسی تحقیق ارائه شده است. در این فصل پس از بیان مقدمه، در بخش دوم، تفاوت روش‌های تحقیق کمی وکیفی و مراحل روش تئوری زمینه‌ای با جزئیات بیشتری ارائه شده است. سپس در بخش سوم، مراحل مدل‌سازی پویایی سیستم و نحوه کالیبراسیون و صحت سنجی آن بیان شده است. در ادامه‌ی فصل سوم، شاخص‌های ارزیابی توضیح داده شده‌اند. یکی از شاخص‌های ارزیابی دراین مطالعه میزان مصرف آب در حوضه است که با بایستی از متوسط منابع آب تجدید پذیر واقعی کمتر باشد لذا در انتهای فصل سوم، نحوه‌ی محاسبه‌ی منابع آب تجدید پذیر واقعی بیان شده است، سپس خلاصه مباحث این فصل در قالب یک جمع بندی ارائه شده است.

در فصل چهارم رساله، حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود معرفی می‌شود. در این فصل صرفاً یک معرفی کلی ازحوضه ارائه می‌شود. آن دسته از مطالب مربوط به حوضه که جزو یافته‌های محقق محسوب می‌شود به فصل پنج موکول می‌شود. در فصل پنجم پس از مقدمه، نتایج مطالعات تئوری زمینه‌ای ارائه می‌شود. در این بخش مشکلات سیستم‌های طبیعی و اجتماعی-اقتصادی به صورت مجزا بیان شده است. در بخش سوم فصل ۵، جزئیات مدل پویایی سیستم توسعه یافته ارائه شده و در بخش چهارم فصل ۵، نتایج و بحث در مورد مدل پویایی سیستم ارائه شده است. در این بخش نتیجه‌ی صحت سنجی و تحلیل سناریوهای سیاستی بیان شده است. با توجه به اینکه یکی از اهداف توسعه‌ی مدل‌های پویایی سیستم، افزایش فهم ما از سیستم واقعی است، در بخش پنجم فصل ۵، روابط بین دو سیستم هیدرولوژی و سیستم اجتماعی که در این مطالعه کشف شده است توضیح داده شد. فصل ششم به جمع بندی و ارائه پیشنهادات می‌پردازد.

فصل دوم:
ادبیات موضوع و پیشینه‌ی علمی تحقیق

۲-۱ مقدمه

مدیریت منابع آب بسیار پیچیده است و متغیرهای زیادی در آن دخیل هستند. لذا در دهه‌های اخیر چارچوب‌های مختلفی برای بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع آب توسعه یافته است. از طرفی ذیل هر یک از این چارچوب‌ها مفاهیم متعددی شکل گرفته و مدل‌هایی معرفی شده است که به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا تصمیمات درست اتخاذ کنند. قبل از پژوهش مدیریت منابع آب، ضرورت دارد این چارچوب‌ها، مفاهیم و ابزار به خوبی شناخته شوند و هدفی که از انتخاب آن چارچوب‌ها مدنظر محققین بوده است تبیین شود.

در این فصل ابتدا برخی تعاریف اولیه که در این تحقیق استفاده شده و مورد چالش است، توضیح داده می‌شود، سپس پیچیدگی‌های مدیریت منابع آب و ضرورت یکپارچه نگری در مدیریت آب تبیین شده است. پس از آن چارچوب‌ها و رویکردهایی که در دهه‌های اخیر در مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است به تفصیل بیان می‌گردد. این چارچوب‌ها بر اساس پیچیدگی‌های منابع آب و نیازهای جدید این حوزه توسعه یافته‌اند، لذا شناخت آن‌ها به فهم بهتر موضوع مدیریت آب کمک خواهد نمود.

در تحقیق حاضر از تلفیق روش‌های تئوری زمینه‌ای و پویایی سیستم برای مدل‌سازی استفاده شده است، لذا در بخشی از فصل حاضر، پیشینه‌ی استفاده از این روش‌ها در منابع آب توضیح داده می‌شود. با توجه به اینکه

پژوهش حاضر در مورد حوضه‌ی زاینده‌رود انجام شده است، در قسمت پایانی این فصل برخی مطالعات انجام شده در حوضه زاینده‌رود معرفی می‌گردد.

۲-۲ تعاریف

در تحقیق پیش رو عباراتی استفاده شده است که نیاز است برخی از این عبارات تعریف گردد و مفهومی که از آن عبارات مد نظر است بیان گردد. در بسیاری مقالات و متون علمی، این عبارات به اشتباه به جای یکدیگر استفاده می‌گردد و یا از برخی عبارات مفاهیم متعددی برداشت می‌گردد.

۲-۲-۱ ذی‌نفع، ذی‌مدخل، گرودار[1]

ذی‌نفع به طور کلی به همه‌ی افرادی اطلاق می‌شود که یا به طور مستقیم از منابع آب منتفع می‌شوند (نظیر مصرف کنندگان آب در بخش کشاورزی، صنعت و شهری) و یا به طور غیرمستقیم از منابع آب منتفع می‌شوند (نظیر ساکنان اطراف رودخانه و یا منتفعان بخش گردشگری)، لکن در این تحقیق منظور از ذی‌نفع عمدتا مصرف کنندگان مستقیم آب بخصوص کشاورزان است. ذی‌مدخل به کلیه‌ی افرادی اطلاق می‌شود که به نحوی در مدیریت منابع آب دخیل هستند از جمله سازمان‌های دولتی و حکومتی، شرکت‌های مشاور و خصوصی، سازمان‌های مردم نهاد و افراد مؤثر در حوضه. به کلیه‌ی ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان به طور کلی گرودار گفته می‌شود. شرکت آب منطقه‌ای، شرکت آب و فاضلاب، سازمان جهاد کشاورزی و اداره کل محیط‌زیست به صورت مستقیم متولی مدیریت و حفاظت آب و خاک هستند که در این تحقیق به طور کلی با عنوان دستگاه‌های متولی از آن‌ها یاد می‌شود.

۲-۲-۲ آب تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر

منابع آب یک حوضه آبریز به دو بخش آب تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر تقسیم می‌شوند. آب موجود در آبخوان‌ها، دریاها، دریاچه‌ها و یخچالها که با بارش سالیانه تجدید نمی‌شوند منابع آب غیرقابل تجدید محسوب می‌شوند. آب تجدیدپذیر مقدار آبی است که حوضه طی یک چرخه آبی سالیانه توانایی بازیابی آن را دارد. با لحاظ محدودیت‌ها و فشارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، منابع آب تجدیدپذیر به سه دسته آب تجدیدپذیر طبیعی (NRW)[2]، تجدیدپذیر واقعی (ARW)[1] و تجدیدپذیر قابل بهره‌برداری (MRW)[2] تقسیم

[1] Stakeholder
[2] Natural renewable water

می‌گردند. آب تجدیدپذیر طبیعی شامل منابع آب تجدیدپذیر داخلی (بدون هیچ قیدی) و منابع آب ورودی به حوضه می‌شود. آب تجدید پذیر واقعی و قابل بهره‌برداری به ترتیب تحت قیود اقتصادی-تکنولوژیکی و اجتماعی-زیست‌محیطی تعیین می‌شوند [۱۲،۱۳].

۲-۲-۳ تقاضا، مصرف و برداشت آب

اصطلاحات آب مورد بهره‌برداری[3]، مصرف آب و تقاضای آب[4] معمولا در مقالات به جای یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند و به تفاوت بین آن‌ها توجه نمی‌شود [۱۴]، در حالی که با تغییر هر یک از این عبارات می‌تواند تصمیمات مدیریت آب تغییر کند. تقاضای آب کمیت و کیفیت آبی است که (در یک نقطه‌ی مشخص) توسط کاربر درخواست می‌شود هر چند ممکن است کاربر کل این تقاضا را دریافت نکند. آب مورد بهره‌برداری خود به دو دسته آب برداشتی[5] و آب غیر برداشتی[6] تقسیم می‌شود. آب برداشتی میزان آبی است که برای یک بهره‌برداری خاص از منابع آب سطحی و زیرزمینی برداشت می‌شود. آب غیر برداشتی، آبی است که در همان منابع آبی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد مانند آب مورد استفاده برای قایق رانی، ماهی گیری، تفریح و نیروگاه‌های آبی. خود آب برداشتی نیز به دو دسته‌ی، مصرفی و غیرمصرفی تقسیم می‌شود. آب مصرفی[7] میزان آبی است که از منابع آبی برداشت می‌شود و بعد از بهره‌برداری، دوباره قابل استفاده نیست زیرا به واسطه‌ی تبخیر، تعرق یا قرار گرفتن در محصولات از دسترس خارج شده است. آب غیر مصرفی[8] آبی است که برای یک بهره‌برداری خاص از منابع آبی برداشت می‌شود، لکن دوباره به سیستم بازگردانده می‌شود مانند آبی که برای خنک سازی سیستم‌های صنعتی استفاده می‌شود و دوباره به چرخه بازمی‌گردد.

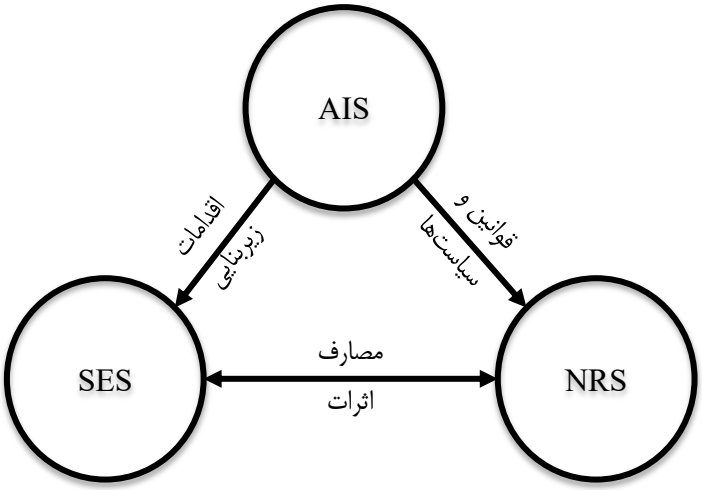
۲-۳ مدیریت منابع آب

مدیریت منابع آب، به دلیل وجود ذینفعان متعدد، اندرکنش بین سیستم‌های آبی با سیستم‌های انسانی، سطوح مختلف مدیریتی و وجود اهداف متعدد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی بسیار پیچیده است [۱۵]. لذا برای مدیریت موثر منابع آب، بایستی این پیچیدگی‌ها را لحاظ نمود. به طور کلی می‌توان سیستم مدیریت آب را

---

[1] Actual renewable water
[2] Exploitable or manageable renewable water
[3] Water use
[4] Water demand
[5] Withdrawals uses
[6] Non-Withdrawal uses
[7] Consumptive uses
[8] Non-consumptive uses

شامل سه سیستم طبیعی، سیستم اجتماعی اقتصادی و سیستم اجرایی-نهادی مرتبط با مدیریت آب در نظر گرفت. سیستم طبیعی شامل همه‌ی پروسه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، سیستم اجتماعی-اقتصادی شامل فعالیت‌های جامعه مرتبط با مصرف آب و سیستم اجرایی-نهادی شامل قوانین، سیاست‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و ساختار مدیریتی است [۵،۱۰]. سیستم اجتماعی-اقتصادی بیشتر جنبه‌های انسانی را در بر دارند در حالی که سیستم طبیعی بیشتر به چرخه‌ی آب در طبیعت و فیزیک حاکم بر آن می‌پردازد.سیستم اجرایی-نهادی وظیفه‌ی ایجاد تعادل بین این دو سیستم را به عهده دارد. شکل ۲-۱ نمایی از تأثیر این زیرسیستم‌ها بر یکدیگر را از منظر دانگ[1] نشان می‌دهد. با توجه به بهم پیوستگی بین این سیسستم ها، برای مدیریت آب، نیاز است یک فهم کل نگر از همه‌ی این سیستم‌ها به دست آورد [۴]. پایداری منابع آب تحت تاثیر مولفه‌های مختلف این سیستم‌ها است که عدم توجه به این یکپارچگی می‌تواند منجر به شکست مدیریت سیستم آب گردد [۶]. همچنین کنش گران متعددی در سیستم آب اثر می‌گذارند و مدیریت آب در مقیاس‌های مختلف تحت تاثیر قرار می‌گیرد لذا ضروری است به پیچیدگی‌های مدیریت آب توجه بیشتری شود. در ادامه برخی از این پیچیدگی‌ها تبیین می‌شود.



شکل ۲-۱- رابطه‌ی سیستم منابع طبیعی (NRS)[2]، سیستم اجتماعی-اقتصادی (SES)[3] و نقش سیستم اجرایی-نهادی (AIS)[4] در ایجاد تعادل بین آن‌ها [۵،۱۰]

[1] Dong
[2] Natural resources system
[3] Socio-economic system
[4] Administrative-institutional system

۲-۳-۱ مدیریت منابع آب و مسائل اجتماعی

از جمله اهداف اصلی همه‌ی رشته‌های مهندسی و مدیریتی ایجاد رفاه بیشتر برای جوامع است، لذا هر نوع تصمیم‌گیری که فارغ از نیازها و منافع جامعه گرفته شود ارزش ماهوی خود را از دست می‌دهد [۱۶]. رابطه‌ی بین مدیریت آب و جامعه دوطرفه است. از یک طرف همه‌ی اجتماعات انسانی به آب وابسته هستند، آب برای تولید غذا، انرژی، سلامتی، اکوسیستم و تولیدات صنعتی جامعه نیاز است. پایداری جوامع به صورت مستقیم و غیرمستقیم به کمیت، کیفیت، قابلیت اعتماد[1] و قابلیت تأمین بستگی دارد. کاهش یا افزایش بیش از حد آب یا آلودگی یا گران بودن آن برای جامعه رنج ایجاد می‌کند [۱۷]. از طرف دیگر، مصرف آب در جامعه کمیت و کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. علاوه بر خود سیستم طبیعی، تصمیم‌گیری در مورد سیستم آبی نیز می‌تواند جامعه را تحت تاثیر قرار دهد و به سمت پاسخ‌ها و جنبش‌های اجتماعی هدایت کند [۱۷]، لذا ضروری است اندرکنش بین سیستم‌های آبی و جامعه در مدیریت آب لحاظ شود. البته در نظر گرفتن مسائل اجتماعی در مدیریت منابع آب به سادگی امکان‌پذیر نیست، زیرا کمی سازی برخی معیارهای اجتماعی به سختی امکان‌پذیر است و کمی سازی برخی معیارها اصلا امکان‌پذیر نیست و هزاران مولفه‌ی سیاسی و فرهنگی و اقتصادی بر روی جامعه تاثیر می‌گذارند.

۲-۳-۲ مدیریت منابع آب و مسائل اقتصادی

در پروژه‌های مدیریت آب، ارزیابی‌های اقتصادی انجام می‌شود تا مدیران بتوانند بین گزینه‌های مختلف انتخاب انجام دهند و یا بین ذینفعان تخصیص را بهینه کنند. لذا ارزیابی اقتصادی از جنبه‌های اصلی مدیریت منابع آب است. جدای از چندهدفه نمودن تصمیم‌گیری، فرایند ارزیابی اقتصادی با پیچیدگی‌های زیادی همراه است [۱۸]. البته ارزیابی اقتصادی به تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی برای تصمیم‌گیری باشد، به عنوان مثال تفاوت قیمت آب در بخش‌های صنعت، کشاورزی و شرب، سبب می‌شود از لحاظ اقتصادی اولویت تخصیص با بخش صنعت باشد، ولی معیارهای دیگر اجتماعی از جمله تامین حداقل نیاز شرب و بهداشت سبب می‌شود شرب در اولویت قرار گیرد. حتی ارزیابی اقتصادی برخی بخش‌ها از جمله محیط‌زیست به سادگی ممکن نیست ولی تخصیص به محیط‌زیست انجام می‌شود.[۱۶].

تعیین نوع ارتباط سیستم اقتصادی و سیستم هیدرولوژیکی به راحتی امکان‌پذیر نیست. رابطه‌ی درآمد بخش‌های کشاورزی و صنعت با میزان آب تخصیص داده شده خطی نیست، ضمن اینکه این رابطه در طول زمان

[1] Reliability

هم ثابت نخواهد بود، از طرفی قیمت محصولات تولیدی در طول زمان دستخوش تورم است که ارزیابی اقتصادی را مشکل‌تر می‌کند. همچنین برخی آثار غیرمستقیم تصمیم‌گیری در مدیریت آب به سادگی قابل ارزیابی نیست، مانند افزایش قیمت املاک و مستغلات اطراف رودخانه به واسطه‌ی رهاسازی آب در رودخانه. یکی دیگر از پیچیدگی‌های ارزیابی اقتصادی در پروژه‌ها پیش بینی نرخ بهره و نوسانات آن در شرایط تورم است [۱۶].

۲-۳-۳ مدیریت منابع آب و مسائل زیست‌محیطی

حفظ اکوسیستم‌های طبیعی اطراف تالاب‌ها، محافظت از گونه‌های جانوری کمیاب، حفظ پایداری آبخوان‌ها در مناطق خشک، حفاظت از کیفیت خاک در مقابل شوری و آب‌شستگی و حفظ جنگل‌ها و مراتع بالادست سدهای بزرگ ازجمله مصداق‌های مسائل زیست‌محیطی محسوب می‌شوند که با مدیریت آب مرتبط هستند. مسائل زیست‌محیطی در مدیریت منابع آب بیشتر با نگاه به جنبه‌ی پایداری طبیعت مطرح می‌شود ولی در طولانی‌مدت می‌تواند وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه را تحت تاثیر قرار دهد. به عنوان نمونه با حفظ محیط‌زیست و نگهداری از اکوسیستم‌های طبیعی می‌توان جذابیت‌های توریستی ایجاد نمود. همچنین حفظ طبیعت می‌تواند بر سلامت اجتماعی و افزایش نشاط و شادابی جامعه مؤثر باشد. محیط‌زیست از آن جهت که متولی مستقیم ندارد و جزو منابع عمومی محسوب می‌شود معمولا در مقابل دیگر مصارف مورد غفلت قرار می‌گیرد. در صورتی که از محیط‌زیست به عنوان یک کسب‌وکار، بهره‌ی اقتصادی برده شود یا نهادهای اجتماعی برای حفظ آن تشکیل شود احتمال حفظ و نگهداری آن بیشتر می‌شود.

۲-۳-۴ بستر سازمانی مدیریت منابع آب

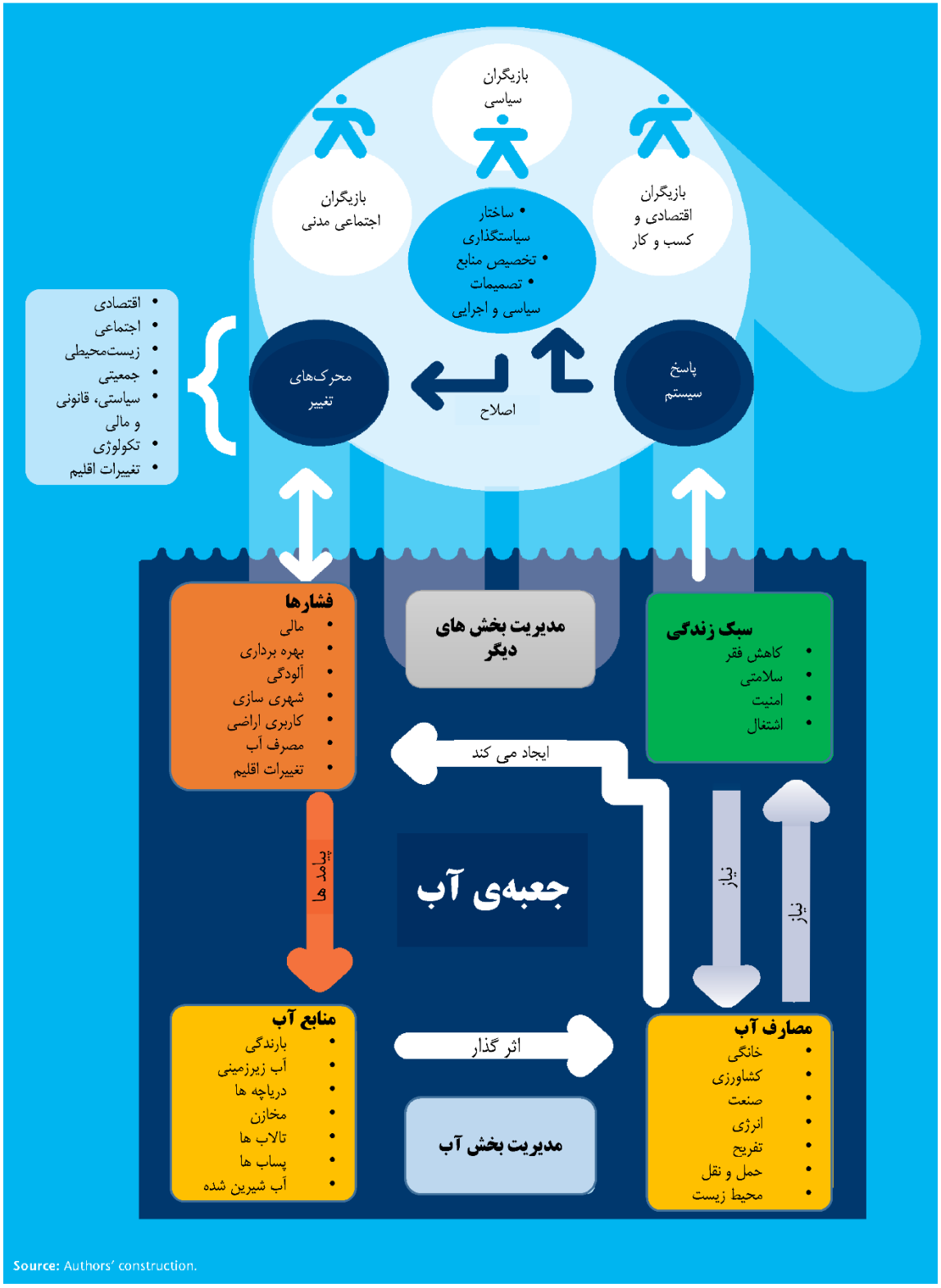
مدیریت منابع آب در یک بستر و محیط سازمانی و نهادی پیچیده و متأثر از ملاحظات سیاسی شکل می‌گیرد. تاثیر فرایندهای سازمانی و سیاسی آن‌قدر مهم است که می‌توانند بهترین طرح‌ها از نظر فنی را با شکست روبرو کنند. اجرای طرح‌ها و برنامه‌ریزی‌ها کاملاً به نهادهای تصمیم‌گیرنده در استان، قدرت آن‌ها، بودجه‌ی آن‌ها همکاری آن‌ها و نهایتاً پشتیبانی دیگر ابزار و نهادهای منطقه‌ای و استانی نظیر نمایندگان مجلس، مسئولین استانی، ائمه جمعه، نهادهای غیردولتی و نهایتاً مردم و کشاورزان وابسته است. البته این فرایندها کمتر قابل تبیین و ترجمه به زبان ریاضی و مدل‌سازی کمی است. نحوه‌ی لحاظ کردن این جنبه‌ها در درون فرآیند برنامه‌ی ریزی و مدیریت منابع آب امری بسیار پیچیده و مشکل است [۱۶].

۲-۳-۵ کنش گران مختلف در مدیریت منابع آب

تصمیم‌گیری در مورد آب فقط توسط مدیران بخش آب انجام نمی‌شود. در شکل ۲-۲ این مسئله به خوبی نشان داده شده است. قسمت پایین این شکل با نام جعبه‌ی آب[1] دایره‌ی قلمرو مدیران را نشان می‌دهد. در این قسمت اندرکنش مدیران بخش آب با مدیران دیگر بخش‌ها نشان داده شده است. در داخل دولت مدیران بخش‌های اجتماعی، اقتصادی، سلامتی، آموزش، کشاورزی، ایجاد مسکن، صنعت، انرژی و محیط‌زیست در مورد استفاده از آب تصمیم‌گیری می‌کنند. در بسیاری از کشورها تعامل بین این بخش‌ها از طریق هیئت وزیران به ریاست نخست وزیر یا رئیس جمهور اتفاق می‌افتد. همچنین مکانیسم‌های موازی ممکن است در سطح منطقه، استان یا محلی اتفاق بیافتد. نقش این ساختارهای دولتی در مدیریت آب جدی است [۱۵].

قسمت بالای شکل کنش‌گران خارج دولت که می‌توانند بر آب اثرگذار باشند را نشان می‌دهد. این کنش گران شامل کنش گران سیاسی، کنش گران اجتماعی، کنش گران اقتصادی هستند که از طریق قواعد و تصمیمات خود اثر گذار می‌شوند. در بسیاری از کشورها دولت‌ها به صورت مستقیم بخش بسیار کوچکی از اقتصاد را اداره می‌کنند ولی شرایط جذابیت یا عدم جذابیت برای سرمایه‌گذاری را دولت تعیین می‌کند. برای بیشتر مؤثر بودن، تصمیمات باید از طریق فرآیندهای تعاملی که رهبران کسب و کار (سرمایه گذاران، صنعت گران و تجار) و رهبران اجتماعی (سازمان‌های اجتماعی و غیر دولتی) را درگیر کند صورت بگیرد. ایده آل این است که دولتی‌ها، صاحبان کسب و کار و رهبران اجتماعی با هم تصمیم‌گیری کنند. بخاطر اجرای تصمیمات ایشان در مورد استفاده از آب، فهم مسئله‌ی آب برای آن‌ها ضروری است. مدیران بخش آب بایستی مطمئن شوند که این مدیران خارج از بخش آب محدودیت‌ها و گزینه‌های موجود در مورد منابع آب را می‌دانند [۱۵]. در بین تصمیمات سیاسی که روی آب اثر می‌گذارند، مهم‌ترین آن‌ها این است که در یک کشور چگونه انرژی، امنیت غذایی، اشتغال، جلوگیری از حادثه، پایداری زیست‌محیطی و اهداف اجتماعی تأمین می‌شوند. این تصمیمات در یک چارچوب وسیع‌تر سیاسی گرفته می‌شود و مدیران بخش آب با خروجی تصمیمات سرو کار دارند [۱۵].

[1] Water box



شکل ۲-۲- تصمیم‌گیری‌های مؤثر بر سیستم آب [۱۵]

۲-۳-۶ ضرورت انجام مطالعات میان رشته‌ای

نظام تقسیم‌بندی دانش به عرصه‌های مختلف رشته‌ای، در دهه‌های اخیر مورد چالش جدی قرار گرفته است. محصور ماندن دانش‌پژوهان در مرزهای غیر منعطف رشته‌ای، امکان ظهور بسیاری از خلاقیت‌ها و نوآوری‌ها را از آن‌ها گرفته است. مطالعات میان رشته‌ای از جمله مباحث نوینی است که محافل علمی پیشرو را به خود مشغول داشته است. میان رشتگی می‌تواند پژوهشگران را از نگرش‌های تک‌بعدی بر حذر دارد. میان رشته‌ای در معنای عام، همکاری و همراهی دیدگاه‌های مختلف، در راستای رسیدن به نقاط اشتراک فهم از پدیده‌ها و همچنین فراهم نمودن امکان بهره‌مندی از چشم‌اندازهای دیگری غیر از چشم‌انداز مألوف رشته‌ای برای نگریستن به پدیده‌ها را شامل می‌شود. منازعات بین رشته‌های مختلف، تفاوت در گفتمان‌ها و مفاهیم، مدیریت و هماهنگی فعالیت‌ها و مرز میان رشته‌ها و تعصب افراد بر رشته‌ی تخصصی خود از جمله مشکلات پیش روی مطالعات میان رشته‌ای است [۱۹].

هیچ رشته‌ی خاصی بهترین راه مدیریت آب را نشان نمی‌دهد. برای مثال مهندسی ارتش آمریکا[1] و اداره‌ی آبادانی آمریکا[2] بزرگ‌ترین سازمان‌های مدیریت آب در آمریکا، در کنار مهندسان و هیدرولوژیست‌ها، زیست‌شناس، بوم‌شناس، اقتصاددان، زمین‌شناس، تاریخ‌دان، وکیل، برنامه‌ریز، سیاست‌مدار و جامعه‌شناس استخدام کرده‌اند، به این دلیل که هیچ یک از رشته‌های دانشگاهی همه‌ی پاسخ‌ها را ندارد، بنابراین به رویکرد میان رشته‌ای نیاز است. با وجود عدم قطعیت در وضعیت منابع آب آینده سختی کار بیشتر خواهد شد [۱۷].به عنوان مثال برخی سؤالاتی که نیاز به پاسخ بین رشته‌ای دارد این است که سیستم‌های اجتماعی چگونه با سیستم‌های آبی مرتبط می‌شوند؟ تصمیم‌گیری‌های سیستم‌های آبی چه تأثیری بر روی تنش‌های اجتماعی می‌گذارند؟ و چگونه می‌توان با راهکارهای اجتماعی–فرهنگی وضعیت سیستم‌های آبی را بهبود بخشید؟ [۴]. دامنه‌ی وسیعی از علوم مرتبط با انسان برای حل مسائل آب نیاز است از جمله علوم مرتبط با اقتصاد، مطالعات رفتاری و ادراکی، تصمیم‌گیری، ارزش‌های اجتماعی، روانشناسی جامعه و سیاست [۲۰].

۲-۴ چارچوب‌های مختلف مدیریت آب

چارچوب به زاویه‌ی دید محقق گفته می‌شود. چارچوب مشخص می‌کند محقق از کدام زاویه به پدیده بنگرد و به چه عناصری توجه کند. عناصر درون یک چارچوب به تحلیل گر کمک می‌کنند تا سوالات ضروری را

[1] U.S. Army Corps of Engineers
[2] U.S. Bureau of Reclamation

که باید پاسخ دهد، تولید کند. به طور خلاصه چارچوب، عینکی است که محقق از آن عینک به پدیده‌ها می‌نگرد. به عنوان مثال یک هیدرولوژیست از چارچوب هیدرولوژی به عناصری مانند بارش، رواناب، تغییر اقلیم و نقوذ می‌نگرد و از چارچوب اقتصاد ، عناصری مانند تعرفه‌ی آب، عرضه و تقاضای آب مورد توجه قرار می‌گیرند.

با توجه به پیچیدگی‌های مدیریت آب که در بخش قبلی مطرح شد، در سال‌های اخیر چارچوب‌های متعددی توسعه یافته است و محققین تلاش کرده‌اند از زوایای مختلف مسئله‌ی مدیریت آب را بررسی کنند. در ادامه برخی از مهمترین چارچوب‌های توسعه یافته بیان می‌شود.

۲-۴-۱ چارچوب مدیریت بهم پیوسته منابع آب[1]

تا اواسط قرن ۲۰ زیرسیستم‌های آب از جمله تأمین آب، تصفیه، برقابی، آبیاری و کنترل سیل عموماً به صورت مستقل توسط متخصصین خودشان فعالیت می‌کردند و اندکی با هم ارتباط داشتند. با رشد جمعیت و افزایش فشار بر روی حوضه‌های آبریز، نیاز به مدیریت آب در سطح حوضه و توجه به اهداف زیست‌محیطی، اقتصاد و اجتماعی افزایش پیدا نمود. یکی از اولین پروژه‌هایی که به خوبی توانست جنبه‌های متعدد سیستم منابع آب را در نظر بگیرد ساخت سد گاردینر[2] در کانادا بوده است که به عنوان نمونه‌ای موفق از مدیریت بهم پیوسته منابع آب از آن یاد می‌شود [۲۱] هر چند در آن زمان عنوان مدیریت بهم پیوسته ذکر نمی‌شد. اولین بار مفهوم مدیریت بهم پیوسته منابع آب به صورت جهانی در سال ۱۹۷۷ در اجلاس آب کشورهای متحد[3] در آرژانتین مطرح شد. ولی تا قبل از سال ۱۹۹۰ به صورت مسنجم در هیچ یک از جلسات بین‌المللی مطرح نشد. بعد از سال ۱۹۹۰ در یک سری جلسات مهم شامل همفکری جهانی نیو دهلی در ۱۹۹۰، نوآوری آب شرب اروپای شمالی در ۱۹۹۱، اجلاس بین‌المللی آب و محیط‌زیست دوبلین در ۱۹۹۲ و اجلاس کشورهای متحد محیط‌زیست و توسعه در ۱۹۹۲ بحث مدیریت بخشی منابع آب به چالش کشیده شده و مغایرت آن با پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی مطرح شد. در این جلسات اصول و پیشنهادهایی برای مدیریت بهم پیوسته منابع آب تدوین گردید و مسائل کلیدی مدیریت بهم پیوسته منابع آب که حاصل بحث‌های بین‌المللی بود مطرح شد [۲۲]. به مرور علاقه به این بحث افزایش پیدا کرد تا آنجا که تبدیل به یک مسئله‌ی اساسی در بحث‌های بین‌المللی شد.

---

[1] Integrated Water Resources Management (IWRM)
[2] Gardiner Dam
[3] United Nations Water Conference

با توجه به پیچیدگی‌های مدیریت منابع آب و ضرورت مطالعات بین رشته‌ای، به نظر می‌رسید پیاده‌سازی مفهوم مدیریت بهم پیوسته راهکاری مناسب برای پاسخگویی به نگرانی‌های مدیریتی باشد. رهیافت مدیریت بهم پیوسته منابع آب با در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی، به طور پایدار و متعادل به مدیریت و توسعه منابع آب کمک می‌کند. این رهیافت، گروه‌های ذینفع مختلف و رقیب یکدیگر را و همچنین بخش‌های استفاده کننده و یا ضایع کننده آب و نیازهای زیست‌محیطی را مشخص می‌کند. رهیافت یکپارچه، مدیریت منابع آب را بین بخش‌ها و گروه‌های ذینفع در مقیاس‌های مختلف هماهنگ می‌کند [۲۳]. تعاریف متعددی در مورد «مدیریت بهم پیوسته منابع آب» یا همان «مدیریت یکپارچه منابع آب» (IWRM) ارائه شده است. یکی از اولین و هنوز معتبرترین تعاریف مطابق تعریف سازمان همکاری جهانی آب[1] عبارت است از: «IWRM فرآیندی است که توسعه و مدیریت منابع آب و خاک و دیگر منابع را برای بیشینه نمودن سود اقتصادی و رفاه اجتماعی به‌طور عادلانه و بدون به خطر انداختن یا لطمه زدن به پایداری اکوسیستم‌های با ارزش و مهم هماهنگ می‌سازد» [۲۴]. از این تعریف مفاهیم مختلفی استنباط می‌گردد که در بحث مدیریت بهم پیوسته بایستی لحاظ گردد. نگاه جامع به کلیه‌ی منابع (نه فقط منابع آبی)، هدف قرار دادن رفاه اقتصادی و اجتماعی، توجه ویژه به عدالت و لحاظ کردن پایداری برای اکوسیستم‌ها از جمله نکات موجود در این تعریف است.

در سال‌های بعد، محققین به بررسی و نقد این چارچوب پرداختند. . البته عمده‌ی این نقدها ناظر به اجرایی شدن و عملیاتی بودن IWRM است و نه ناظر به اهداف و یکپارچگی. آلن[2] (۲۰۰۳) بیان می‌کند که تعریف IWRM سیاست خاصی را برای اجرا دنبال نمی‌کند. وی معتقد است برای اینکه IWRM قابلیت اجرا داشته باشد، بایستی به صورت آشکار یک فرآیند سیاستی خاص نظیر تخصیص آب را دنبال کند. مری و همکاران[3] (۲۰۰۵) معتقدند برای اینکه IWRM مفید باشد باید مفهوم فقر را درون خود داشته باشد. بر اساس تعریف ایشان: «مدیریت بهم پیوسته منابع آب عبارت است از ترقی رفاه بشریت، بخصوص کاهش فقر و بهبود معیشت و رشد اقتصادی متعادل، از طریق توسعه کارآمد و دموکرات، مدیریت آب و دیگر منابع طبیعی در سطوح محلی و ملی در چارچوبی که عادلانه، پایدار و شفاف باشد و تا آنجا که ممکن است اکوسیستم‌های حیاتی حفظ گردند» [۲۵]. وندر زگ[4] (۲۰۰۵) در پاسخ به این سوال که «آیا مدیریت بهم پیوسته منابع آب یک فرایند است و یا یک چارچوب است؟» مدیریت بهم پیوسته را ایجاد یک تعادل بین اهداف اجتماعی، توسعه اقتصادی و حفاظت

[1] Global Water Partnership (GWP)
[2] Allan
[3] Merrey et al.
[4] Van der zaag

زیست‌محیطی می‌داند [۲۶]. بر اساس تعریف وی: «مدیریت بهم پیوسته منابع آب یک رویکرد، یک زاویه‌ی دید و یک روش نگاه کردن به مسائل و حل آن‌ها است» وی معتقد است سه مانع جدی در مقابل اجرای مدیریت بهم پیوسته منابع آب وجود دارد. یک مانع به این ایده برمی‌گردد که IWRM بر ایجاد نهادهای جدید، موازی با نهادهای موجود مانند سازمان‌های دولتی و مسئولین محلی دلالت می‌کند. وی معتقد است اگر نقش‌ها شفاف شود، بسیاری از کارها به خوبی انجام می‌شود در غیر این صورت به خاطر فازی بودن قلمروها کارها انجام نمی‌شوند. مانع دوم در زمینه‌ی تصمیم‌گیری است. به اعتقاد وی تصمیمات باید به صورت شورایی باشد و مدیران آب باید این توانایی را داشته باشند که اهداف مختلف آبی را بشناسند و بین آن‌ها مصالحه ایجاد کنند. مانع سوم نیز به ارتباط بین بالادست و پایین‌دست حوضه‌های آبی برمی‌گردد. جانکر (۲۰۰۷) معتقد است اهداف، معیارها و عناصر مطرح شده در تعاریف فوق بیشتر از اینکه ناظر بر آب باشد، ناظر بر مردم هستند، لذا در تعریف خود به جای مدیریت آب، مدیریت فعالیت‌های انسان‌ها را مطرح می‌کند. [۲۷]. با وجود تعاریف و نقدهای متعدد به مدیریت یکپارچه منابع آب، اکثر این مطالعات توافق دارند که برای مدیریت یکپارچه منابع آب ضروری است کلیه‌ی منابع آب و مصارف به صورت یکپارچه مدیریت شوند و سه دسته اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مدنظر قرار گیرد. ون در زگ (۲۰۰۵)، صریحا مدیریت بهم پیوسته را ایجاد یک تعادل بین اهداف اجتماعی، توسعه اقتصادی و حفاظت زیست‌محیطی می‌داند. در برخی تحقیقات دیگر از این سه دسته هدف با عناوین دیگری همچون «profit/planet/people» یا «economy/ecology/equity» نیز نام برده می‌شود [۶،۲۸–۳۱]. لذا یک توافق کلی وجود دارد که هر تصمیم‌گیری که انجام می‌شود و هر راهکاری برای مدیریت منابع آب توسعه پیدا می‌کند بایستی مبتنی بر این سه دسته اهداف باشد.

در سطح تکنیک و اجرا نیز یک ساز و کار ثابت برای مدیریت بهم پیوسته تعریف نشده است و ابزار مدیریتی در این چارچوب پیوسته در حال تکمیل است. سایت سازمان جهانی آب یکی از مهمترین مراجعی است که پیوسته در حال جمع‌آوری تجربیات مدیریت بهم پیوسته و تکمیل این تکنیک‌ها است [۳۲]. به طور کلی سه سطح مداخله برای مدیریت بهم پیوسته منابع آب تعریف شده که عبارتند از آماده سازی محیطی، ترتیبات نهادی و تمهیدات مدیریتی. به صورت خلاصه می‌توان گفت، آماده سازی محیطی به سیاست گذاری، قانون گذاری و تامین بودجه در سطح کلان می‌پردازد. ترتیبات نهادی به تنظیم گری، هماهنگ سازی، ظرفیت سازی و تسهیل گری در سطح حوضه‌ی آبریز می‌پردازد تا نهادها بتوانند به خوبی در کنار هم به مدیریت آب بپردازند و تمهیدات مدیریتی شامل همه‌ی روش‌هایی می‌شوند که به تصمیم‌گیران در مدیریت آب کمک می‌کنند از جمله ابزارهای برنامه‌ریزی، ابزارهای ارزیابی، مدل‌های پشتیبان تصمیم‌گیری، ابزارهای اقتصادی، ابزارهای ترویج گری اجتماعی.

۲-۴-۱ چارچوب تحلیل نهادی استروم IAD[1]

به طور کلی نهادگرایان معتقد هستند که نمی‌توان قواعد جهان شمول برای کنترل و مدیریت جوامع انسانی یافت. الینور استروم[2] که دانش آموخته‌ی علوم سیاسی است از زاویه‌ی «درک تنوع نهادی» توانسته است چارچوبی جهان شمول برای تحلیل منابع مشترک طراحی کند. کار علمی استروم که از رساله‌ی ایشان در سال ۱۹۶۵ با موضوع مدیریت منابع آب زیرزمینی شروع شد، بر مطالعه حکمرانی منابع مشاع متمرکز بود. ایشان در طول سالهای متمادی با گردهم آوردن افراد از رشته‌های مختلف بر روی درک تنوع نهای مطالعه کردند که نتیجه‌ی آن دریافت جایزه‌ی نوبل اقتصاد در سال ۲۰۰۹ بوده است. در ادامه فلسفه‌ی توسعه‌ی چارچوب IAD به طور خلاصه بیان می‌شود [۳۳].

یکی از سوالات اساسی در مدیریت آب این است که آیا منابع آب باید به شیوه‌ی« بازار» مدیریت شود و یا به سبک «دولتی». در ادبیات اقتصاد کالاها بر اساس استثنا پذیری و رقابت پذیری به ۴ گروه خصوصی، عمومی، باشگاهی و مشترک تقسیم بندی می‌شوند (جدول ۲-۱).منظور از رقابت پذیری در مورد یک کالا، شرایطی است که با استفاده یک نفر از کالا، منافع آن کالا برای سایرین کاهش یابد. به عبارت دیگر وقتی نفر الف از کالا استفاده می‌کند نفر ب چقدر اثر می‌پذیرد. به عنوان مثال استفاده گردشگران از تالاب‌ها منجر به کاهش این منبع طبیعی نخواهد شد ولی برداشت آب زیرزمینی منافع دیگران را تحت تاثیر قرار می‌دهد. منظور از استثناءپذیری کالا، میزان قابلیت یک منبع (و یا کالای حاصل از آن) برای مستثنی کردن افراد در استفاده از آن است. به عنوان مثال استخر ذخیره آب داخل مزرعه، دارای قابلیت بالایی در مستثنی کردن افراد در استفاده از آن است، ولی شبکه آبیاری سطحی قابلیت کم‌تری برای استثنا،پذیر کردن سایرین دارند، زیرا امکان محافظت از آن‌ها سخت‌تر است. رویکرد بازار برای کالاهای باشگاهی و خصوصی (که استثناپذیر هستند) می‌تواند موفق عمل کند. همچنین رویکرد مدیریت «دولتی» برای کالاهای عمومی که رقابت پذیر نیستند می‌تواند موفق باشد. در مورد منابع مشترک (مشاع) مانند منابع آب زیرزمینی، هر فرد انگیزه دارد که بیشتر از آن منبع بهره برداری کند و نتیجه یک تراژدی است، زیرا به نابودی آن منبع منجر می‌شود. در پاسخ به این تراژدی دو راهکار اصلی در علم اقتصاد مطرح می‌شود. ۱- نظارت دولتی و وضع مقررات از بالا به پایین ۲- افزایش استثنا پذیری منبع و خصوصی سازی (حاکمیت بازار)

[1] Institutional Analysis and Development
[2] Ostrom

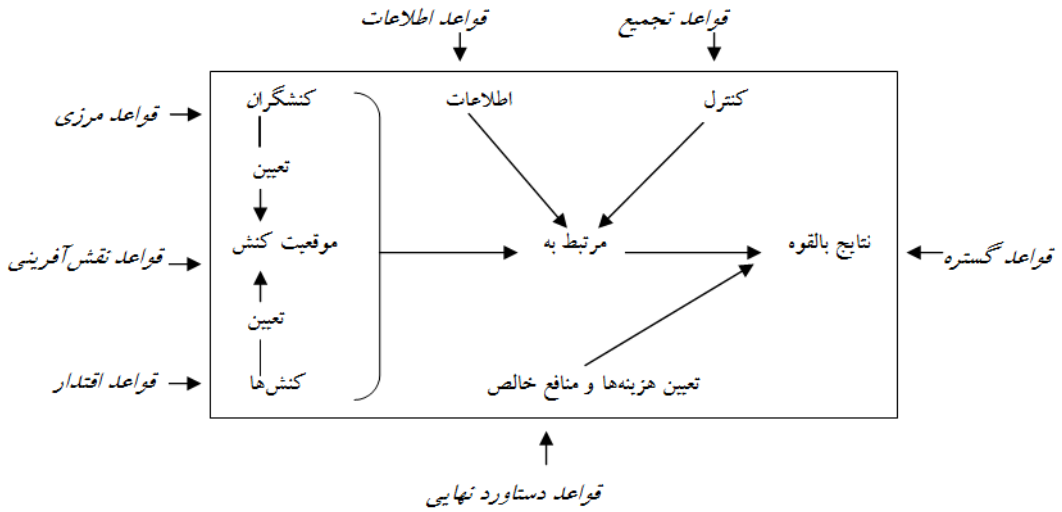
استروم بر اساس مطالعات خود، این دوگانه اندیشی را اشتباه می‌پندارد و معتقد است نهادهای جامعه (که در بیشتر مواقع از پایین به بالا ظهور می‌کنند)، گاه قادر است خود روش سازمان دهی مناسب برای استفاده کاربران از آن منبع مشاع را بیابد، آنگونه که هیچ تراژدی اتفاق نیافتد. البته اینکه کدام یک از این مکانیسم‌ها برای مدیریت آب انتخاب شود بستگی به ویژگی‌های نهادی مورد مطالعاتی دارد.

جدول ۲-۱- تقسیم بندی کالاها بر اساس استثنا پذیری و رقابت پذیری

		رقابت پذیری	
		کم	**زیاد**
استثنا پذیری	**آسان**	**کالاها و خدمات باشگاهی:** استفاده‌های تفریحی و گردشگری از مناطق تفریحی سازمانی	**کالاها و خدمات خصوصی:** مانند بطری آب معدنی- منبع ذخیره آب داخل ملک شخصی
	سخت	**کالاها و خدمات عمومی:** استفاده‌های تفریحی و گردشگری از دریا، دریاچه، تالاب و رودخانه	**کالاها و خدمات مشترک:** منابع آب زیرزمینی، منابع آب سطحی در مناطق حفاظت نشده

استروم برای اینکه حکمرانی پایدار بر منابع مشترک، حاکم باشد، هشت ویژگی ارائه می‌کند. این هشت ویژگی عبارت‌اند از وجود مرزهای مشخص، ایجاد تعادل نسبی بین منافع و هزینه‌ها، سازوکار تصمیم‌گیری جمعی، نظارت، ضمانت اجرایی قوانین، سازوکار حل اختلاف، رعایت حق دسترسی طولانی مدت برای کاربران و وجود تشکیلات تو در تو [۳۳]. چارچوب IAD. استروم، نهاد آب را مجموعه‌ای از قواعد می‌داند که بر روی رفتار کنش گران موثر است و تغییر این قواعد منجر به تغییر عملکرد سیستم می‌شود شود [۳۴]. وی هفت گروه از قواعد تأثیرگذار بر نهاد آب را بدین قرار شناسایی می‌کند: قواعد مرزی[۱]، قواعد موقعیت[۲]، قواعد اقتدار[۳]، قواعد گستره[۴]، قواعد تجمیع[۵]، قواعد اطلاعات[۶] و قواعد دستاورد نهایی[۷] (شکل ۲-۳).

[1] Boundary rules
[2] Position rules
[3] Authority rules
[4] Scope rules
[5] Aggregation rules
[6] Information rules
[7] Payoff rules

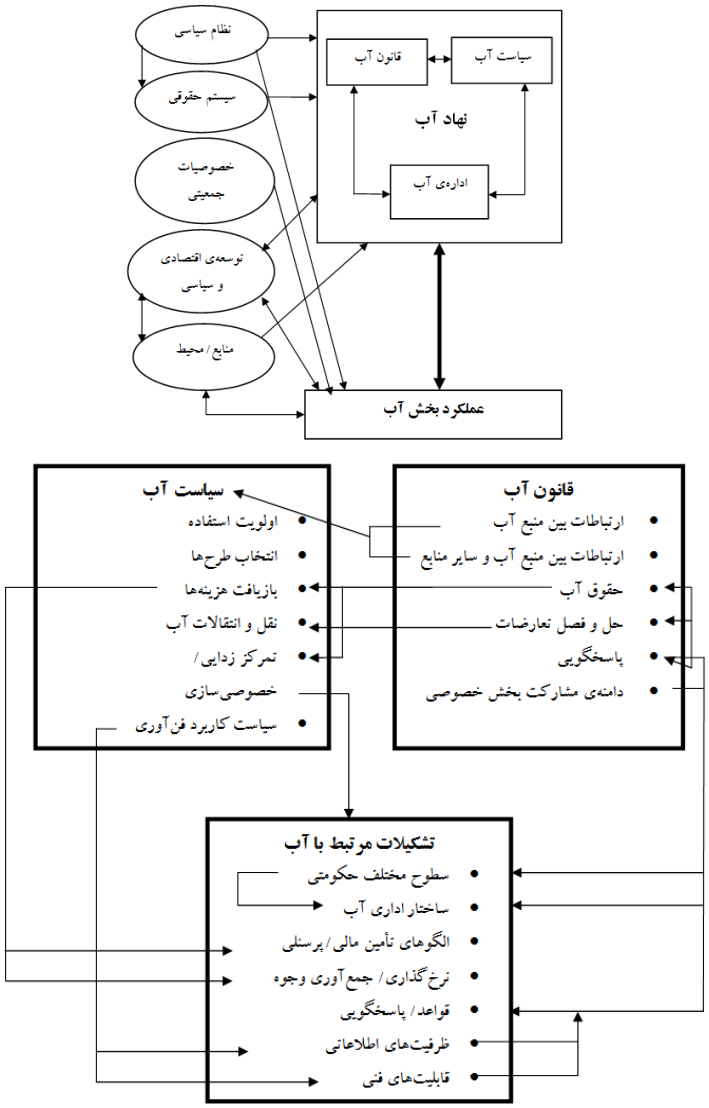


شکل ۲-۳- شمایی از قواعد چارچوب تحلیل نهادی IAD

۲-۴-۲ چارچوب اقتصاد نهادگرایی آب

یکی از مطالعات اساسی در زمینه‌ی نهادهای آب، مطالعه‌ی سالث و دینار[1] در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۴ است [۳۵]. از مهم‌ترین امتیازات این مطالعه، ارائه‌ی تحلیلی کامل از نهاد آب است. در این مطالعه از طریق نظرسنجی از یک هیئت بین‌المللی متشکل از ۱۲۷ کارشناس آب از ۴۳ کشور مختلف جهان، به منظور ارزیابی رابطه‌ی میان نهادها و عملکرد بخش آب، شاخص‌هایی را در سه جنبه‌ی نهادی در بین کشورهای مختلف مقایسه نموده‌اند. موضوع این مطالعه ماهیت نهادهاست که محصول آفرینش انسان‌ها هستند و برای افزایش شفافیت و کاهش عدم قطعیت در روابط انسانی پدید آمده‌اند. از این رو، این واقعیت که نهادها بر زندگی انسان تأثیرگذارند و با روند تغییر شخصیت انسانی تکامل می‌یابند، مبنای استفاده از ادراک ذهنی جهت ارزیابی نهادی را توجیه می‌کند. در این چارچوب، نهاد آب از سه مؤلفه‌ی اصلی: قانون آب، سیاست آب و اداره‌ی آب تشکیل شده است. قانون آب و سیاست آب، اجزای نرم‌افزاری به‌شمار می‌آیند درحالیکه اداره‌ی آب به عنوان جزء سخت‌افزاری تلقی می‌گردد. در این مطالعه هریک از سه مؤلفه‌ی کلیدی نهاد آب از متغیرهایی تشکیل شده‌اند که با یکدیگر ارتباطات ساختاری برقرار می‌کنند. در شکل ۲-۴ مؤلفه‌های اصلی نهاد آب، نحوه‌ی ارتباطات ساختاری میان اجزاء آن و تاثیر نهایی این ارتباط بر عملکرد کلی بخش آب با در نظر گرفتن تأثیر عوامل محیطی، ترسیم شده است.

[1] Saleth & Dinar



شکل ۲-٤- مؤلفه‌های اصلی نهاد آب، ارتباط ساختاری میان آن‌ها و اثر متقابل نهاد-عملکرد در مدل ثالث و دینار [۳۵]

۲-۴-۳ رویکرد حکمرانی آب

کلمه‌ی حکمرانی معادل Governance می‌باشد که در ایران معادل‌های دیگری چون نظام تدبیر، حکم روایی، حکومت داری نیز برای آن به کار می‌رود ولی ما از حکمرانی استفاده می‌کنیم. معمولا گفته می‌شود که کمبود منابع آب نتیجه‌ی بحران حکمرانی است و نه بحران منابع آب [۳۶]. یک تعریف واحد از حکمرانی وجود ندارد و رویکردهای متفاوتی ممکن است دنبال شود. ولی به طور کلی حکمرانی مجموعه‌ای از سیستم‌های سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اجرایی موجود است که توسعه و مدیریت منابع آب و ارائه خدمات آب در سطوح مختلف جامعه را تنظیم می‌کند. حکمرانی آب چیزی بیش از قانون‌گذاری است. حکمرانی آب همچنین ناظر بر فرایندهایی است که مشارکت مردم در طراحی و تصمیم‌گیری درباره سیستم‌های آب و میراث را ارتقا می‌دهد. برخی ممکن

است حکمرانی را صرفاً در پاسخ گویی مالی و راندمان اجرایی تعریف کنند. برخی دیگر ممکن است بر روی دموکراسی، حقوق بشر و فرآیندهای مشارکتی تأکید کنند [۳۷]. تنوع نگاه‌ها و رویکردها در تعاریف ارائه شده برای حکمرانی به طور عام و حکمرانی منابع آب به طور خاص، نشان می‌دهد که هنوز اجماعی بر روی این مفهوم شکل نگرفته است. علاوه بر این، مطالعات موجود در زمینه‌ی حکمرانی بیشتر از آنکه به ابعاد تحلیلی و تقویت انسجام نظری در پژوهش‌های حکمرانی معطوف باشند، عموماً به ارائه توصیف‌هایی از شرایط حکمرانی پرداخته‌اند که هر کدام با دیدگاهی متفاوت صورت گرفته است [۳۸]. با مقایسه‌ی سطوح مختلف مدیریت بهم پیوسته منابع آب و حکمرانی آب، فهمیده می‌شود که «آماده سازی محیطی» و «ترتیبات نهادی» در چارچوب IWRM شباهت زیادی به مفهوم حکمرانی دارند. به همین دلیل حکمرانی هم خود به عنوان یک مفهوم مجزا مطرح می‌شود و هم به عنوان بخشی از چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب می‌توان به آن پرداخت [۱۴،۳۲،۳۹].

یکی از روش‌های ارزیابی حکمرانی استفاده از شاخص‌های حکمرانی خوب است. راجرز و هال[1] (۲۰۰۳) شش ویژگی برای یک حکمرانی خوب آب معرفی کرده‌اند شامل جامعیت[2]، پاسخگویی[3]، مشارکت[4]، شفافیت[5]، پیش‌بینی پذیری[6] و پاسخ دهی[7] [۳۷]؛ در حالی که گزارش سازمان ملل با تکمیل این شروط، فهرستی ده‌گانه برای تحقق مدیریت کارآمد منابع آب ارائه می‌کند [۴۰]:

- مشارکت: همه شهروندان، باید در طول فرایندهای سیاست گذاری و تصمیم‌گیری، به طور مستقیم یا از طریق سازمان‌های واسطه‌ای که منافع آن‌ها را دارند، مشارکت گسترده داشته باشند.
- شفافیت: اطلاعات باید در جامعه آزادانه جریان یابد. فرایندها و اطلاعات باید به طور مستقیم برای کسانی که در معرض منفعت هستند، قابل دسترس باشد.
- مساوات: تمام گروه‌های جامعه، باید فرصت برابر برای بهبود وضعیت خود داشته باشند.
- اثربخشی و بازدهی: فرایندها و نهادها باید نتایجی را تولید کنند که متناسب با نیازهای آن‌ها باشد و بهترین استفاده را از منابع داشته باشند.
- حاکمیت قانون: چارچوب قانونی باید منصفانه و بی طرفانه برای همه اجرا شود.

---

[1] Rogers & Hall
[2] Inclusiveness
[3] Accountability
[4] Participation
[5] Transparency
[6] Presictability
[7] Responsiveness

- پاسخگویی: بایستی سازمان‌های دولتی، خصوصی و مردم نهاد به عموم مردم پاسخ گو باشند.
- یکپارچگی: حکمرانی آب باید رویکردهای یکپارچه و جامع را تقویت نموده و ترویج دهد.
- پاسخ دهی: سیستم بایستی نسبت به تغییراتی که رخ می‌دهد و یا اتفاقاتی که می‌افتد سریع واکنش نشان دهد.
- ملاحظات اخلاقی: حکمرانی آب باید بر اساس اصول اخلاقی جوامعی باشد که در آن کار می‌کند، به عنوان مثال قوانین حکمرانی بایستی به سنّت‌های محلی جوامع احترام بگذارد.
- انسجام: پیچیدگی مسائل منابع آب در نظر گرفته شود، سیاست‌ها و اقدامات انجام گرفته منسجم باشد و به سادگی قابل فهم باشند.

۲-۴-۴ چارچوب دیپلماسی آب[1]

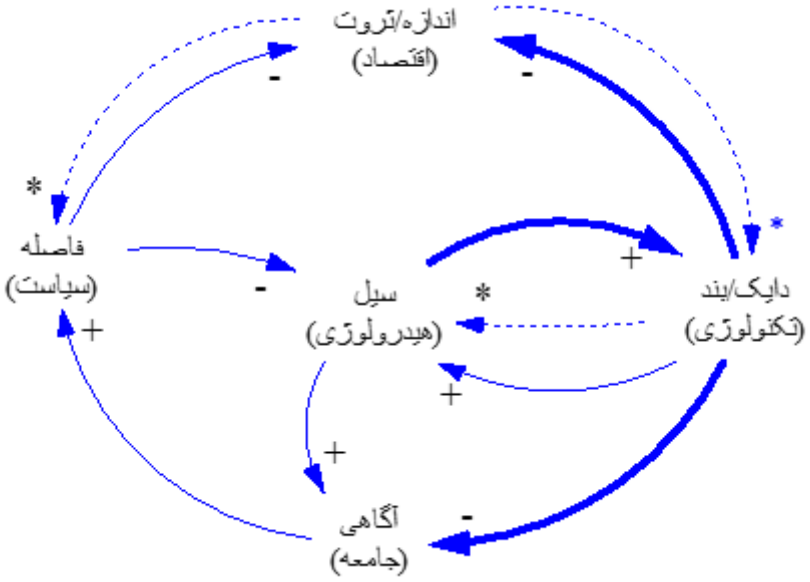
به دلیل اینکه مشکلات منابع آب، پیچیده هستند، این باور وجود دارد که تنها زمانی می‌توان از چارچوب‌های رایج مهندسی استفاده نمود که روابط علت و معلولی مشخص باشد و بتوان متغیرهای سیستم را پیش بینی و کنترل نمود. اسلام و سوسکایند[2] (۲۰۱۳) رویکرد دیپلماسی آب را به این دلیل پیشنهاد می‌دهند که بسیاری از مولفه‌های دخیل در سیستم را نه می‌توان پیش بینی کرد و نه می‌توان کنترل کرد، در نتیجه با وجود مشاع بودن منابع آب نمی‌توان منابع آب را به طور موثر مدیریت نمود [۴۱]. مشکلات مدیریت منابع آب درهم تنیده است و متخصصین منابع آب قادر نخواهند بود برای حل همه‌ی این مشکلات راهکار ارائه دهند [۴۲]. در این شرایط چالش اصلی به جای یافتن راهکار، این است که چگونه اطلاعات در شبکه‌ی آب مدیریت شود و مذاکرات شکل بگیرد تا خروجی‌های مطلوب به دست آید، لذا چارچوب دیپلماسی آب بر اساس تئوری پیچیدگی و تئوری برد-برد توسعه یافته است و به جای یافتن راهکار، به دنبال اتصال عینیت علمی با فهم محیطی است. دیپلماسی آب چارچوبی برای تعریف و حل مسئله‌ی آب است که در تمام سطوح (از سطح یک روستا تا سطح ملی) می‌تواند کارایی داشته باشد [۴۱].

۲-۴-۵ چارچوب هیدرولوژی اجتماعی[3]

چارچوب هیدرولوژی اجتماعی از سال ۲۰۱۲ توسط سیوپلن و سونیج[4] توسعه پیدا کرد و هدف آن فهم اندرکنش بین مولفه‌های هیدرولوژی و اجتماعی بوده است [۴]. یکی از اولین مطالعاتی که در چارچوب

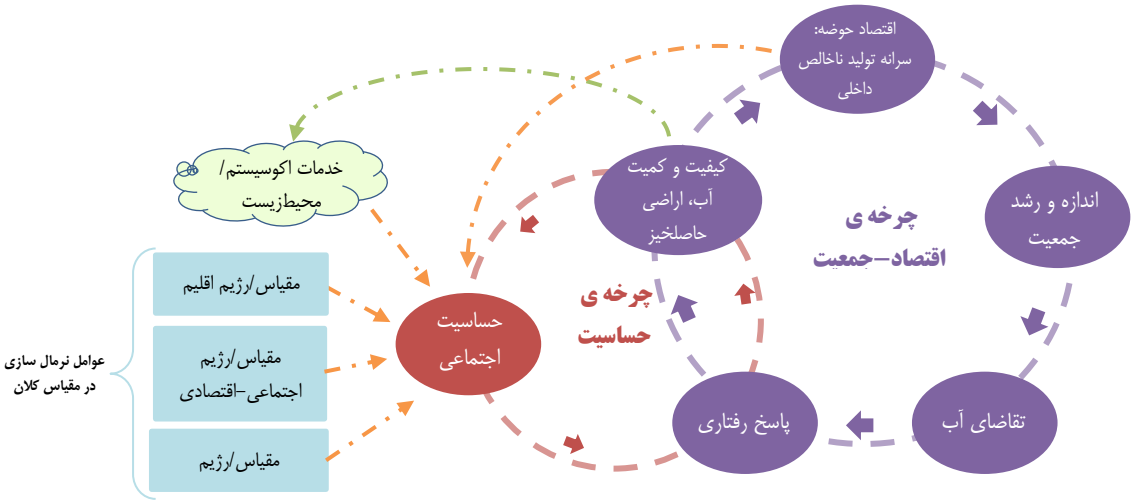
[1] Water diplomacy
[2] Islam & Susskind
[3] Socio-hydrology
[4] Sivapalan & Savenije

هیدرولوژی اجتماعی مطرح شد، کشف پویایی سیستم بشر–سیل بوده است که توسط دی بالداسار و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد. در این مطالعه به این موضوع پرداخته شده که با ساخت دایک و بند در رودخانه‌ها، جامعه نسبت به جریان رودخانه (سیل) احساس امنیت می‌کند، در نتیجه ساخت و سازها و سکونت در حاشیه‌ی رودخانه‌ها اغاز می‌شود. مردم در کوتاه مدت از خطرات سیل در امان می‌مانند ولی در مقابل سیل‌های بزرگتر با دوره برگشت بیشتر، آسیب بیشتری می‌بینند. پس از هر سیل، استحکام و میزان دایک‌ها افزایش میابد، برای مدت بیشتری مردم از سیل در امان می‌مانند، لذا آگاهی جامعه نسبت به آسیب‌های سیل کاهش می‌یابد و ساخت و سازها و سکونت در حاشیه‌ی رودخانه افزایش می‌یابد، در سیل بزرگتر با دوره برگشت طولانی‌تر، یک آسیب جدی‌تر به جامعه وارد می‌شود (شکل ۲-۵). این حلقه‌ی رشد، هر بار باعث می‌شود خسارات ناشی از سیل افزایش یابد [۴۳].

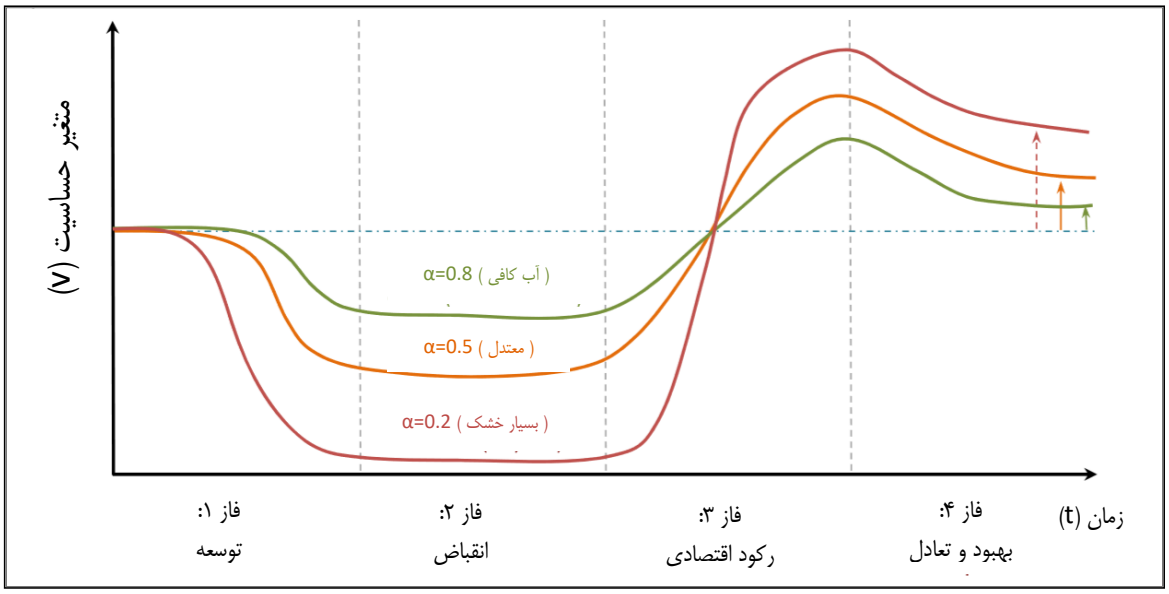


شکل ۲-۵- مدل مفهومی سیل- بشر. فلش‌های نازک پیوسته نشان دهنده تغییرات تدریجی و فلش‌های ضخیم نشان دهنده‌ی تغییرات ناگهانی ناشی از اتفاقات است. فلش خط‌چین مکانیسم‌های کنترل را نشان می‌دهند [۴۳].

در مطالعه‌ای دیگر، الشافعی و همکاران (۲۰۱۴)، مولفه‌ی حساسیت اجتماعی را وارد مدل‌های هیدرولوژی اجتماعی کردند. در این مطالعه دو مکانیسم تاثیر گذار بر منابع آب وارد شده است. از یک طرف با بهره برداری بیشتر از منابع آب، توسعه اقتصادی رخ می‌دهد که خود توسعه اقتصادی سبب می‌شود حساسیت جامعه نسبت به کم آبی کاهش یابد. از طرف دیگر این توسعه اقتصادی باعث افزایش جمعیت و افزایش تقاضای آب می‌شود. در این شرایط منابع آب رو به افول می‌رود تا جایی که اثرات زیست محیطی و اقتصادی آن هویدا شود و حساسیت جامعه را بر انگیزد. در این شرایط حساسیت‌ها افزایش میابد و بعد از آن به یک تعادل می‌رسد. در شکل ۲-۶ شمای کلی سیستم و در شکل ۲-۷ میزان حساسیت اجتماعی در طول این پروسه به تصویر کشیده شده است.



شکل ۲-۶- مدل مفهومی هیدرولوژی اجتماعی و جایگاه حساسیت اجتماعی در آن [٤٤]



شکل ۲-۷- میزان حساسیت اجتماعی در طول زمان و کاهش همزمان با توسعه اقتصادی و افزایش همزمان با اثرات زیست محیطی و اقتصادی [٤٤]

روباوانان و همکاران (۲۰۱۷) به رقابت بین کشاورزی و محیطزیست بر سر آب در حوضه‌ی رودخانه‌ی مورامبیج[1] پرداختند. در ابتدا آن‌ها مشاهده کردند که با کاهش تخصیص آب به کشاورزی (با هدف حفظ محیطزیست)، تولید کاهش یافته، ولی به طور متناقض ، نرخ بیکاری حوضه کاهش یافته و درآمد متوسط خانوار افزایش یافته است. برای درک و تفسیر این موضوع ، ابتدا داده‌های اشتغال، اقتصاد و هیدرولوژی موجود تجزیه و تحلیل شده، سپس یک مدل ساده پویا برای تفسیر الگوی مشاهده شده ارائه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که

[1] Murrumbidgee

علل احتمالی وجود پارادوکس در این حوضه، عبارتند از (الف) مهاجرت به خارج از حوضه و (ب) جذب نیروی کار در بخش‌های غیر کشاورزی که مجموعا سبب شده‌اند نرخ بیکاری کاهش یابد و سرانه درآمد افزایش یابد [۴۵]. در مطالعه‌ای دیگر (۲۰۱۷) در همان حوضه، این فرضیه تست شده که در رقابت بین توسعه اقتصادی و حفاظت زیست محیطی، تنوع اقتصادی سبب شده آب بیشتری به محیط‌زیست تخصیص یابد [۴۶]. در ادامه مطالعات (۲۰۲۰) این نتیجه حاصل شد که برای ایجاد پایداری در ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، تصمیم‌گیران بایستی بر متنوع سازی اقتصاد تمرکز کنند، البته ظرفیت جامعه را نیز برای تغییرات در نظر بگیرند [۴۷].

اندرسن[1] و همکاران (۲۰۱۹) نیز با ارائه‌ی نمونه‌های متعددی از کشورهای هند، کانادا، نیوزلند و استرالیا به بررسی رابطه بین رودخانه و مردم پرداختند [۴۸]. به طور معمول نیاز آبی رودخانه‌ها از طریق محاسبه نیاز اکولوژیکی محاسبه می‌شود در حالی که در این مطالعه تنوع و وابستگی مردم به آب از طریق مطالعات فرارشته ای بررسی شد از جمله رابطه‌ی بین جریان آب و رفاه مردم، نیاز معنوی مردم به رودخانه، هویت فرهنگی و احساس تعلق مردم.

مطالعات هیدرولوژی اجتماعی در ایران هنوز جایگاه اصلی خود را نیافته است. قلی زاده و همکاران (۱۳۹۸) و ترقی و احمدی (۱۳۹۸) به مرور مفاهیم هیدرولوژی اجتماعی پرداختند [۴۹،۵۰]. همچنین قلی زاده و همکاران (۱۳۹۸) به مطالعه‌ی حوضه‌ی آبریز مشهد با رویکرد هیدرولوژی اجتماعی پرداخته و با بررسی روند تاریخی مولفه‌های هیدرولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی این حوضه نظیر توسعه کشاورزی، اخبار، توسعه صنایع، اشتغال و مصرف آب در بخش‌های مختلف، دو فاز توسعه و انقباض را در طول زمان برای این حوضه شناسایی کردند. البته هنوز علی رغم به وجود آمدن شرایط انقباض، توسعه همچنان در این حوضه ادامه دارد [۵۱].

۲-۵ دو رویکرد اصلی مدل‌سازی در مدیریت آب

در بخش قبل، برخی چارچوب‌های رایج مدیریت منابع آب معرفی شد. این چارچوب‌ها زاویه‌ی دید محقق را مشخص می‌کند، ولی مشخص نمی‌کند چه اقدامی باید در مدیریت منابع آب انجام شود. برای پیاده سازی مفاهیم نظری عموما از مدل‌سازی استفاده تحت دو رویکرد کلی استفاده می‌شود. یک رویکرد بهینه‌سازی می‌باشد. در این رویکرد معیارهای مورد نظر محقق به صورت کمی درمی‌آید و به صورت تابع هدف و یا قید در مدل بهینه‌سازی قرار می‌گیرد و با یکی از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه بهترین پاسخ‌ها به دست می‌آید. رویکرد دیگر

[1] Anderson

سناریوسازی و مقایسه‌ی نتایج حاصل از هر سناریو بر روی مدل شبیه‌ساز می‌باشد. در این بخش، برخی از مطالعات انجام شده در زمینه مدیریت آب با دو رویکرد فوق ارائه و تحلیل می‌گردد.

۲-۵-۱ رویکرد بهینه‌سازی

کای و همکاران[1] (۲۰۰۲) یک مدل تخصیص چندهدفه برای حوضه‌ی رودخانه‌ی سیردریا[2] ارائه نمودند به طوری که کاهش ریسک تأمین آب برای ذینفعان، تأمین آب محیط‌زیست حوضه، عدالت در تخصیص آب و کارایی اقتصادی در توسعه‌ی زیرساخت‌های آبی جزو اهداف بودند [۵۲].

بابل[3] و همکاران (۲۰۰۵) یک مدل با هدف بیشینه‌سازی تأمین مجموع نیازها به علاوه‌ی بیشینه‌سازی سود اقتصادی اجرا نمودند. اگر چه محیط‌زیست به عنوان یک نیاز به حساب آمد ولی تأمین آب محیط‌زیست به عنوان هدف مد نظر قرار نگرفت [۵۳].

زوی و خان[4] (۲۰۰۵) یک مدل برای حل تعارض بین بخش کشاورزی و جریان محیط‌زیست رودخانه ارائه نمود. توابع هدف ایشان بیشینه‌سازی سود حاصل از آب، کمینه‌سازی هزینه‌ها و کمینه‌سازی پمپاژ آب زیرزمینی مکمل بود. در این مدل نیاز محیط‌زیست به عنوان قید استوار[5] در نظر گرفته شده و فاکتورهای اجتماعی در نظر گرفته نشد [۵۴].

مهمتاگلو و گیولدمن[6] (۲۰۱۰) یک مدل چندهدفه برای حوضه‌ی فرات و دجله (یک حوضه اشتراکی بین سه کشور ترکیه، عراق و سوریه) اجرا نمودند. مزیت این مدل در نظر گرفتن سود همه‌ی ذینفعان (هر سه کشور) به جای در نظر گرفتن سود حوضه بود. تابع هدف مدل، بیشینه‌سازی سود ذینفعان از مصرف آب در بخش‌های مختلف بود. در این مطالعه نیاز محیط‌زیست صرف‌نظر شد و از سه وزن مختلف برای اهداف استفاده شد در حالی که هیچ توجیه شفافی برای دلیل انتخاب وزن‌ها ارائه نشده است [۵۵].

---

[1] Cai et al.
[2] Syr Darya
[3] Babel
[4] Xevi and Khan
[5] Firm constraint
[6] Kucukmehmetoglu and Guldmann

لو[1] و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل در مناطق در معرض نفوذ آب شور[2] اجرا نمود. در این مطالعه سه هدف در نظر گرفته شد: بیشینه‌سازی سود اقتصادی، بیشینه‌سازی رضایت اجتماعی و کمینه‌سازی آلودگی. میزان تأمین آب محیط‌زیست در این مدل صرف‌نظر شد. در این تحقیق میزان تأمین نیاز، به عنوان رضایت اجتماعی در نظر گرفته شد [۵۶]. با توجه به تأثیر دیگر مسائل مانند آگاهی‌های اجتماعی، قیمت اقتصادی و ...، میزان تأمین نیاز به تنهایی نمی‌تواند ملاک خوبی برای سنجش رضایت باشد. ضمناً بایستی برای رضایت اجتماعی حد و مرز تعیین نمود، قاعدتاً در یک حوضه که با کمبود آب مواجه است هیچ‌گاه نمی‌توان نیاز همه‌ی مصرف‌کنندگان را تأمین نمود، لذا بخشی از این نیاز تأمین خواهد شد. سؤالی که باید پاسخ داده شود این است که چه مقدار تأمین نیاز یا به عبارتی چه مقدار رضایت می‌تواند کافی باشد؟

احمدی و همکاران (۲۰۱۲) یک مدل مدیریت بهم پیوسته منابع آب را با اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توسعه دادند. کمیت و کیفیت مناسب آب، بیشینه‌سازی تولیدات کشاورزی در بالادست، افزایش اشتغال و فراهم نمودن منبع آب قابل اطمینان در پایین‌دست از جمله اهداف این پژوهش است. یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه‌ی الگوریتم ژنتیک برای تعیین کاربری اراضی و تخصیص آب به زمین‌های کشاورزی حوضه استفاده شد [۵۷].

رضاپور و یزدی (۲۰۱۴) یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه بر مبنای منابع آب درون حوضه و استرداد آب خارج حوضه توسعه داد. ایشان سه هدف تخصیص را در نظر گرفتند: تأمین نیازهای درون حوضه، کاهش میزان آب خروجی از مرز کشور و افزایش انتقال آب به دریاچه ارومیه [۵۸]. در این تحقیق مسائل اقتصادی در نظر گرفته نشده است.

روزبهانی (۲۰۱۵) با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست را برای تخصیص پایدار آب در نظر گرفت. وی ابتدا ۵ شاخص برای فرمول‌بندی تخصیص آب پیشنهاد کرد، سپس یک مدل تخصیص آب چندهدفه برای تعیین سهم آب ذینفعان با تلفیق همه‌ی شاخص‌ها معرفی نمود. ۵ هدف به کار گرفته شده در این تحقیق عبارت‌اند از ۱-بیشینه‌سازی سود حاصل از تحویل آب به بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب، ۲-کمینه‌سازی کمبود نیاز محیط‌زیست داخل حوضه، ۳-بیشینه‌سازی آب تخصیص یافته به منطقه پایین‌دست، ۴-کمینه‌سازی آب انتقال یافته از بالادست و ۵-بیشینه‌سازی کمترین آب تأمین شده برای ذینفعان در

[1] Liu
[2] Saltwater intrusion areas

تمام گام‌های زمانی. برای اینکه مدل بهترین نتیجه را بدهد بایستی اهداف مستقل از یکدیگر باشند، لذا برای ارزیابی تشابه رفتار اهداف، از ضرایب همبستگی پیرسون استفاده شد. بدین منظور ۵ مدل بهینه‌سازی تک هدفه اجرا گردید. سپس با استفاده از متغیرهای تصمیم به دست آمده از هر مدل، اهداف دیگر سنجیده شد و نتایج مدل‌ها با هم مقایسه گردید [۵۹]. در این تحقیق میزان تخصیص آب به مناطق بالادست و پایین‌دست به عنوان ملاک رضایت اجتماعی در نظر گرفته شده است. به هر حال در نظر گرفتن میزان تخصیص آب به تنهایی نمی‌تواند ملاک رضایت و رفاه اجتماعی باشد، از طرفی تعیین وزن اهداف نیاز به بررسی عوامل دیگر اجتماعی مانند جمعیت مناطق بالادست، پایین‌دست و منطقه‌ی مورد مطالعه دارد که در این تحقیق در نظر گرفته نشده است.

از جمله چالش‌های مطالعات فوق که مبتنی بر بهینه‌سازی در زمینه مدیریت منابع آب بوده است، انتخاب وزن اهداف است. در مطالعات فوق نویسندگان مشخص نکرده اند اهداف بر چه اساسی وزن دهی می‌شوند و همین عامل می تواند اعتبار نتایج را خدشه دار کند. از طرفی، در صورتی که وزن اهداف بر اساس نظر نخبگان یا ذینفعان تعیین شود، رسیدن به اجماع بر سر وزنها پیچیده به نظر می رسد. مسائل نهادی و اجتماعی نیز در اکثر این مطالعات با ساده‌سازی زیاد در نظر گرفته شده‌اند.

۲-۵-۲ رویکرد سناریو سازی

بوکلیا[1] (۲۰۱۴) و همکاران تلاش کردند تا تقاضای آب در بخش شهری، کشاورزی و صنعت را با توجه به تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی به صورت یکپارچه مدیریت کنند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار WEAP با در نظر گرفتن عناصر مختلف حوضه‌ی آبریز شامل مکان‌های تقاضا و منابع تأمین آب، ارتباط جریان انتقالی و جریان برگشتی بین هر کدام از این عناصر (رواناب/نفوذ) را برقرار نمودند. همچنین قابلیت اولویت‌بندی مکان‌های تقاضا و ارجحیت گذاری منابع مصرفی را اعمال نمودند. آن‌ها میزان رشد جمعیت در آینده و در نتیجه مصرف خانگی را تخمین زده و مصرف عمومی را درصدی از مصرف خانگی در نظر گرفتند که مجموع این‌ها نیاز شرب را تعیین می‌نمود. با توجه به کمبود اطلاعات نیاز صنعت را با توجه به بزرگ بودن هر صنعت تخمین زدند. درنهایت با تخمین نرخ رشد آینده سناریوهایی را اجرا نمودند [۶۰].

[1] Bouklia

لی[1] و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به مشکلات کمبود آب و عدم توسعه‌ی پایدار در منطقه مورد مطالعه، سناریوهایی برای آینده پیش‌بینی و توسط مدل WEAP ارزیابی نمودند و درنهایت پیشنهادهایی برای کمک به تصمیم‌گیرندگان انجام شده است. سناریوهای مختلف تحت مسائل اجتماعی اقتصادی تا سال ۲۰۲۰ در نظر گرفته شده است. در این تحقیق سه سناریوی شهرسازی، تعدیل ساختار صنعتی و تغییر سیاست‌های تخصیص بررسی گردید. میزان تغییر جمعیت مناطق شهری و روستایی به عنوان یک مؤلفه‌ی اجتماعی، میزان تولید ناخالص داخلی (GDP)[2] و نرخ رشد به عنوان مؤلفه‌های اقتصادی و میزان مصرف آب به عنوان مؤلفه‌ی سیستم آبی در نظر گرفته شدند [۶۱].

گل‌محمدی (۱۳۹۴) با در نظر گرفتن همه‌ی منابع و مصارف حوضه‌ی زاینده‌رود به ارزیابی سناریوهای مختلف تخصیص در این حوضه پرداخت. وی با نظر نخبگان، شرایط اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و محیط‌زیستی زیرحوضه‌های مختلف را بررسی نموده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی AHP وزن دهی شاخص پایداری هر یک از منابع یا مصارف این حوضه را در راستای محاسبه‌ی شاخص پایداری گروهی آن‌ها انجام داد و ۴ سناریوی ادامه‌ی روند موجود، مدیریت تقاضا، مدیریت تأمین و مدیریت توأمان تأمین و تقاضا را بررسی نمود [۶۲].

با توجه به اندرکنش سیستم منابع آب با دیگر سیستم‌ها، برای شبیه‌سازی منابع آب به مدلی نیاز است که بتواند مسائل فیزیکی حاکم بر منابع آب را با مسائل اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و سیاسی جفت کند. این مدل بایستی پویا باشد و به صورت صریح بازخوردهای دینامیک بین ویژگی‌های فیزیکی، رشد جمعیت، توسعه کشاورزی و صنعت، توسعه اقتصادی و استفاده از دیگر منابع را در خود داشته باشد [۶۳]. عموم مدل‌های قبلی منحصراً روی فرآیندهای مربوط به آب تمرکز دارند و مسائل اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیستی به عنوان سناریو یا محرک خارجی اعمال شده است. در تحقیق حاضر، رویکرد سناریوسازی به کار گرفته می‌شود ولی تلاش می‌شود بازخوردهای سیستم اجتماعی-اقتصادی در آن لحاظ شود.

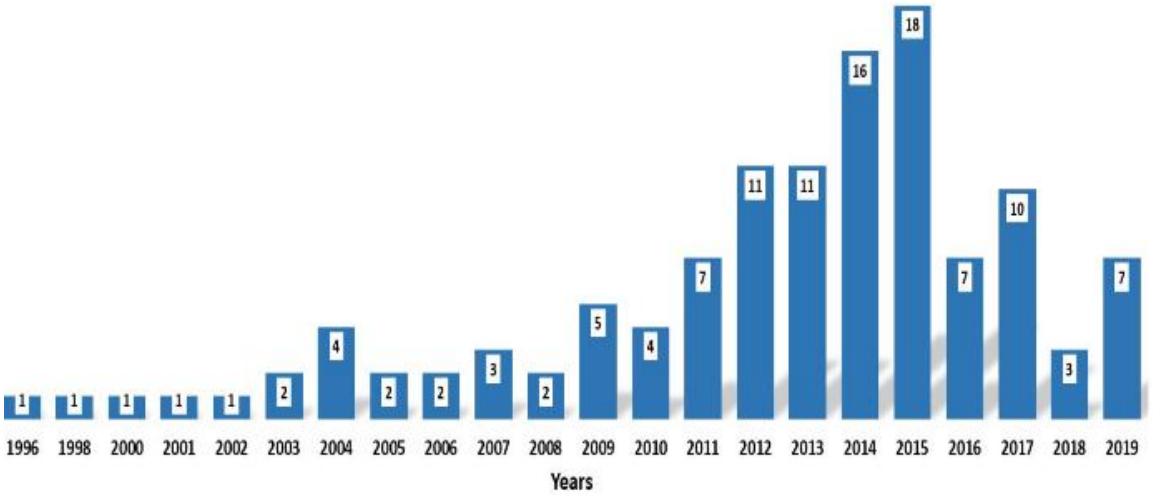
[1] Li
[2] Gross Domestic Product

۲-۶ پویایی سیستم‌ها

در قسمت‌های قبل چارچوب‌ها و رویکردهای مختلف مدیریت منابع آب تبیین شد و چارچوب هیدرولوژی اجتماعی و رویکرد سناریو سازی برای تحقیق حاضر انتخاب شد. برای شبیه‌سازی اندرکنش بین سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی اقتصادی، به مدلی نیاز است که بتواند یک دید کل نگر و یکپارچه از سیستم ارائه دهد و سیستم فیزیکی را با سیستم انسانی کوپل کند [۶۳]. بدین منظور از پویایی سیستم استفاده می‌شود [۶۴].

۲-۶-۱ برخی مطالعات پویایی سیستم‌ها

در مطالعات متعددی از مدل پویایی سیستم برای مدل‌سازی منابع آب استفاده شده است.تعداد مطالعات انجام شده در دو دهه‌ی قبل در شکل ۲-۸ نشان داده شده است.



شکل ۲-۸- تعداد مطالعات انجام شده با استفاده از روش پویایی سیستم در مدیریت منابع آب [٦٥]

استیو[1] (۲۰۰۳) جهت افزایش آگاهی ذینفعان نسبت به مشکلات منابع آب و برای فهم ایشان از نتایج اجرای سیاست‌های مختلف از مدل پویایی سیستم استفاده نمود. برخلاف باور ذینفعان مدل پویایی سیستم به آن‌ها نشان داد که کاهش تقاضا بیشتر از افزایش تأمین مؤثر است و کاهش مصارف فضای باز بیشتر از کاهش مصارف داخلی مؤثر است. وی بیان می‌کند که مدیران مایل هستند عناصر اساسی مؤثر در سیستم را برای ذینفعان با سطوح متفاوت دانش فنی توضیح دهند. وی با برگزاری کارگاه‌هایی به این نتیجه رسید که با روش پویایی سیستم مشارکت افراد در بحث افزایش پیدا می‌کند و علاقه‌مند می‌شوند سؤالات بیشتری در مورد سیستم بدانند. در این کارگاه‌ها ابتدا

[1] Stave

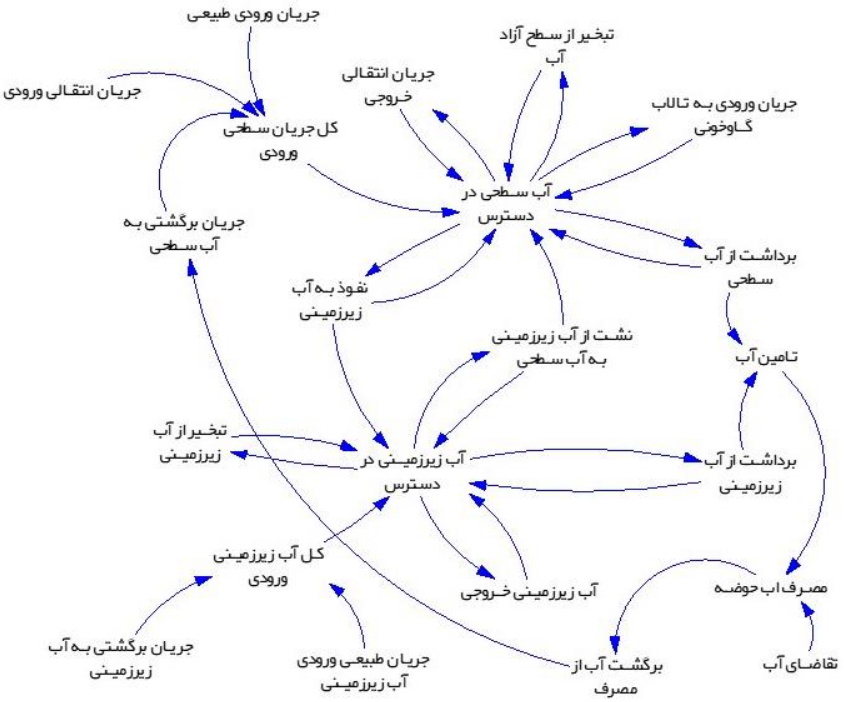
پیشنهادهای شرکت‌کنندگان گرفته شد که عموماً بر افزایش تأمین آب و کاهش مصرف هتل‌ها تأکید داشت. با اجرای پیشنهادهای آن‌ها و ارائه‌ی خروجی پویایی سیستم به صورت نمودار، نظر شرکت‌کنندگان تغییر می‌کرد و پیشنهادهای جدیدی ارائه می‌کردند [۶۶].

دیویس[1] (۲۰۰۷) یک مدل جامع شامل ۸ بخش اقلیم، چرخه‌ی کربن، اقتصاد، کاربری اراضی، جمعیت و بخش آب (شامل جریان آب سطحی، تقاضا و کیفیت آب) در مقیاس جهانی ارائه نمود و نشان داد که بازخوردهای بین این زیرسیستم‌ها رفتار کل سیستم زمین را تعیین می‌کند. در این تحقیق ابتدا هرکدام از زیرسیستم‌ها به صورت مجزا بررسی شده و مدل گردید سپس به صورت گروهی بازخوردهای بخش آب و غیر آب بیان شده است [۶۷].

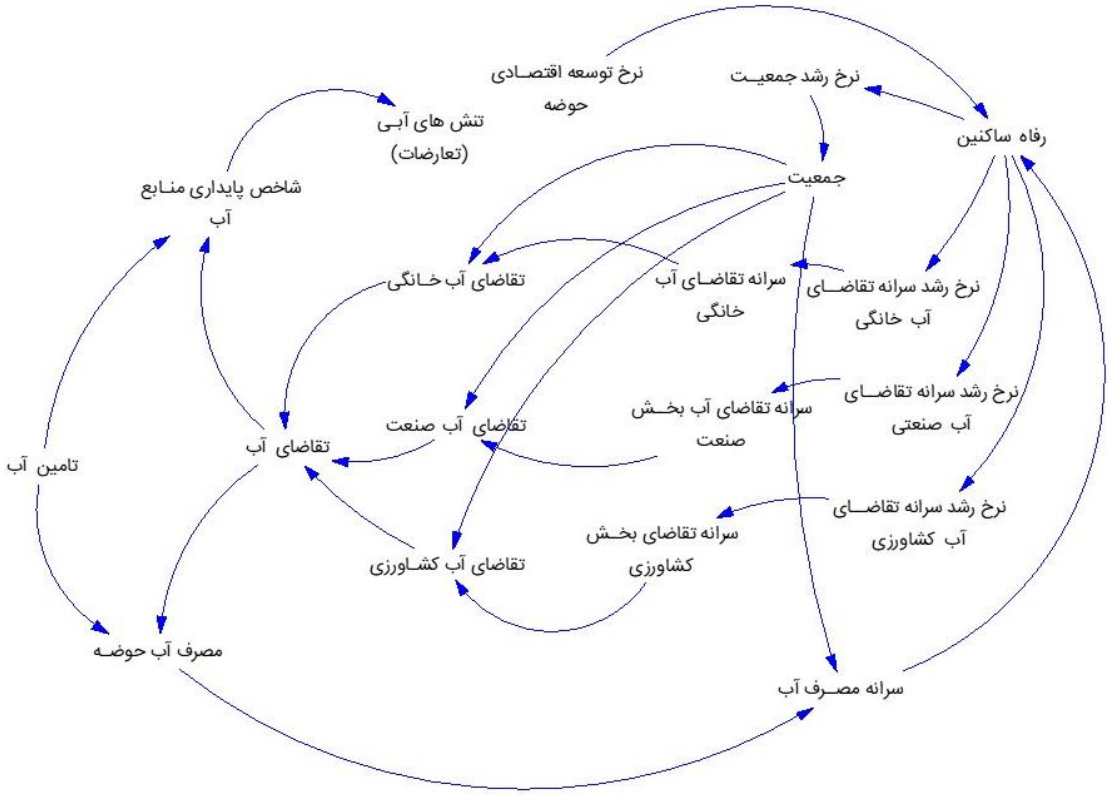
وینز و بریرلی (۲۰۰۸) استفاده از پویایی سیستم برای مدیریت منابع آب را بررسی نموده و در مورد اثرات کوتاه مدت و بلند مدت مدیریت بحث نمودند. ایشان تکامل تئوری و عملی پویایی سیستم‌ها در ۴۰ سال گذشته را دنبال نموده و تعدادی از بهترین روش‌ها و شایع‌ترین مشکلات پویایی سیستم‌ها را ارائه نمودند [۶۸].

مدنی و مارینو[2] (۲۰۰۹) یک مدل مدیریت حوضه‌ی آبریز را با رویکرد پویایی سیستم برای حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود توسعه دادند. آن‌ها ابتدا مدل مفهومی حوضه را با دیاگرام حلقه‌های علت و معلولی[3] ایجاد نموده سپس بر اساس این مدل مفهومی دیاگرام جریان و ذخیره[4] را توسعه دادند [۶۳]. در این تحقیق دو زیرسیستم با عنوان هیدرولوژیکی (شکل ۲-۹) و اجتماعی-سیاسی-اقتصادی (شکل ۲-۱۰) مدل گردید. منابع آب، تقاضای آب و مصارف آب مرزهای زیرسیستم هیدرولوژیکی و زیرسیستم اجتماعی-اقتصادی-سیاسی هستند و برای فرمول‌بندی زیرسیستم هیدرولوژیکی از معادلات بیلان جرمی استفاده شد. در این تحقیق ۸ سناریوی مختلف در نظر گرفته شد که عموم متغیرهای این سناریوها، متغیرهای سیاست‌گذاری هستند [۶۳].

[1] Davies
[2] Mariño
[3] Casual Loop Diagram (CLD)
[4] Stock Flow Diagram

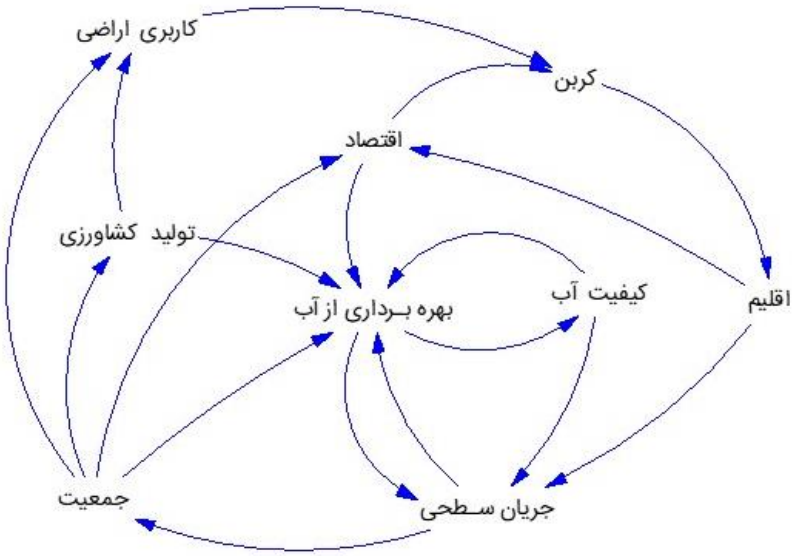


شکل ۲-۹- مدل مفهومی زیرسیستم هیدرولوژیکی [۶۳]



شکل ۲-۱۰- مدل مفهومی زیرسیستم اجتماعی، سیاسی و اقتصادی [۶۳]

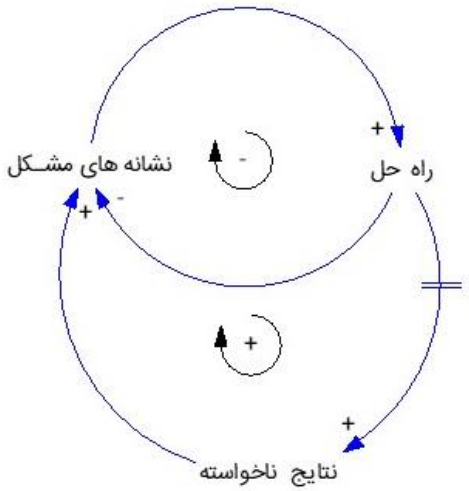
دیویس[1] (۲۰۱۱) پس از معرفی مدل ANEMI بازخوردهای سه سیاست اعمال شده در منابع آب را تحلیل نمود. مدل ANEMI بر روی بازخوردهای اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست تأکید دارد. به‌وسیله‌ی این مدل می‌توان بازخوردها و اثرات سیاست‌های مختلف منابع آب را روی سیستم اجتماعی-زیستی-اقلیمی بررسی نمود [۶۹]. مدل مفهومی ارائه شده در این تحقیق در شکل ۲-۱۱ ارائه شده است.



شکل ۲-۱۱- ساختار مدل ANEMI: مؤلفه‌های مدل و بازخوردهای آن [۶۹]

گوهری (۲۰۱۳) سه زیرسیستم هیدرولوژی، اجتماعی-اقتصادی و کشاورزی را توسط پویایی سیستم شبیه‌سازی نمود. هدف اصلی این تحقیق تعیین اثرات انتقال آب بین حوضه‌ای بود که نشان داده شد با انتقال آب به عنوان یک راهکار برای تأمین نیاز، توسعه افزایش پیدا می‌کند و وضعیت منابع آب بدتر می‌شود (شکل ۲-۱۲) [۷۰].

[1] Davies



شکل ۲-۱۲- اصلاحاتی در سیستم که نتیجه‌ی معکوس می‌دهد [۷۰].

کوتیر[1] و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل پویایی سیستم یکپارچه توسعه دادند که از آن به عنوان یک ابزار برای آموزش تصمیم‌گیران و سیاست گذاران استفاده می‌کنند. ایشان از آزمون‌های الگوهای رفتاری و ساختاری در کنار آزمون‌های آماری برای ارزیابی مدل توسعه یافته استفاده نمودند [۷۱]. در ادامه ایشان، مدل مفهومی ارائه نمودند که نسبت به مدل قبلی پارامترهای بیشتری داشت، لکن این مدل به صورت کیفی و مفهومی و با مشارکت ذینفعان توسعه یافته است. در واقع ایشان تجربیاتی ارائه نمودند که کمک می‌کند با کمک همه‌ی ذینفعان بتوان یک مدل پویایی سیستم مفهومی توسعه داد [۷۲].

حسین زاده و معین(۲۰۱۷) ابتدا یک مدل مفهومی پویایی سیستم برای نشان دادن جنبه‌های مختلف سیستم‌های کنترل اتوماتیک در شبکه‌های آبیاری قزوین توسعه دادند [۷۳]. سپس در مطالعه‌ای دیگر (۲۰۱۹) با کمی نمودن مدل، اثر مولفه‌های سیستم‌های کنترل اتوماتیک را بر رفتار بلند مدت شبکه‌های آبیاری بررسی کردند. سری داده‌های راندمان توزیع، راندمان انتقال و برداشت آب زیرزمینی برای صحت سنجی استفاده شد و تحلیل حساسیت‌ها نشان داد مدیریت انتقال و تحویل آب موثر ترین مولفه‌ها در شبکه‌های آبیاری هستند. همچنین بررسی سناریوهای متعدد نشان داد تا زمانی که اصلاح ساختار مدیریتی صورت نگیرد دیگر اقدامات نمی‌تواند زیاد مفید باشد [۷۴].

[1] Kotir

ابراهیمی و ضرغامی (۲۰۱۹) پژوهشی بر روی دریاچه ارومیه بر مبنای ارزیابی شاخص‌های پایداری به کمک شبیه‌سازی پویایی سیستم انجام دادند. دریاچه ارومیه به عنوان دومین دریاچه شور جهان شناخته می‌شود و از لحاظ پایداری نیازمند توجه است. بر اساس استراتژی‌های مدیریتی در نظر گرفته شده در این پژوهش میزان مصرف آب باید ۳۰ درصد کاهش یابد تا بتوان به احیای در یاچه ارومیه در افق دراز مدت امیدوار بود. در این پژوهش از معیارهای قابیلت اعتماد ، انعطاف‌پذیری و آسیب‌پذیری به جهت ا رزیابی سییستم استفاده شده است. هدف از پژوهش حاضر این بوده است که وضعیت دریاچه ارومیه پس از اجرای سیاست‌های مدیریتی همچون تغییر الگوی کشت، کاهش سطح زیر کشت، افزایش راندمان آبیاری، پس از ۸ سال را ارزیابی کند. [۷۵].

سروار و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از رویکرد مشارکتی به توسعه مدل مفهومی پویایی سیستم پرداختند. در این مطالعه با استفاده از روش‌های کیفی از جمله بحث گروه متمرکز[1]، روابط و حلقه‌های بازخوردی پویایی سیستم را به دست آوردند [۷۶].

۲-۶-۲ چالش‌های پیش روی مدل‌های پویایی سیستم

با وجود مزیت‌های متعدد پویایی سیستم، توسعه‌ی فرضیات دینامیکی یا همان حلقه‌های علت و معلولی در این مدل‌ها همچنان با چالش‌هایی مواجه است. دامنه‌ی وسیعی از علوم از جمله جامعه شناسی، اقتصاد، سیاست، هیدرولوژی، کشاورزی و محیط‌زیست در مدیریت منابع آب درگیر است، لذا در صورتی که محقق بخواهد خودش فرضیات دینامیکی را توسعه دهد به دانش فرارشته ای نیاز دارد [۸،۱۷،۲۰]، در حالیکه به ندرت ممکن است یک نفر به تنهایی دانش کافی برای مدل‌سازی مسائل رشته‌های مختلف را داشته باشد [۷۷]. لذا در اکثر حلقه‌های علت و معلولی توسعه یافته‌ی قبلی، سیستم اجتماعی-اقتصادی به صورت کاملا بدوی پوشش داده شده است.

اگر مدل‌های پویایی سیستم در یک رویکرد ترکیبی کمی، کیفی و یا مشارکتی استفاده شود می‌توان مطمئن شد قضاوت‌هایی که منجر به توسعه‌ی مدل شده است، با بستر سیاسی و اجتماعی منطبق است [۷۸]. نحوه‌ی توسعه‌ی فرضیات دینامیکی در برخی از مدل‌های پویایی سیستم توسعه یافته در جدول ۲-۲ نشان داده شده است.

[1] Focus group discussion

جدول ۲-۲- نحوه‌ی توسعه‌ی فرضیات دینامیکی در مطالعات مدیریت منابع آب

عنوان مطالعه	روش توسعه‌ی فرضیات دینامیکی
استیو[1] (۲۰۰۳) [۶۶]	توسعه توسط محقق
دیویس[2] (۲۰۰۷) [۶۷]	توسعه توسط محقق
مدنی و مارینو[3] (۲۰۰۹) [۶۳]	توسعه توسط محقق
دیویس[4] (۲۰۱۱)[۷۹]	توسعه توسط محقق
هالب و آداموسکی[5] (۲۰۱۱) [۸۰]	روش کیفی مصاحبه با ذینفعان
گوهری (۲۰۱۳) [۸۱]	توسعه توسط محقق
کارآموز و همکاران (۲۰۱۱) [۸۲]	توسعه توسط محقق
والترز و همکاران (۲۰۱۵) [۶]	گروه متمرکز و پرسشنامه
کوتیر[6] و همکاران (۲۰۱۶) [۷۱]	توسعه توسط محقق
کوتیر و همکاران (۲۰۱۷) [۷۲]	کارگاه مدل‌سازی مشارکتی
اینام[7] و همکاران (۲۰۱۵ و ۲۰۱۷) [۸۳]	مدل‌سازی مشارکتی
حسین زاده و همکاران (۲۰۱۷) [۷۳] حسین زاده و معین(۲۰۱۹) [۷۴]	مصاحبه و پرسشنامه
ابراهیمی و ضرغامی (۲۰۱۹) [۷۵]	توسعه توسط محقق
سروار و همکاران (۲۰۲۰) [۷۶]	روش کیفی گروه متمرکز

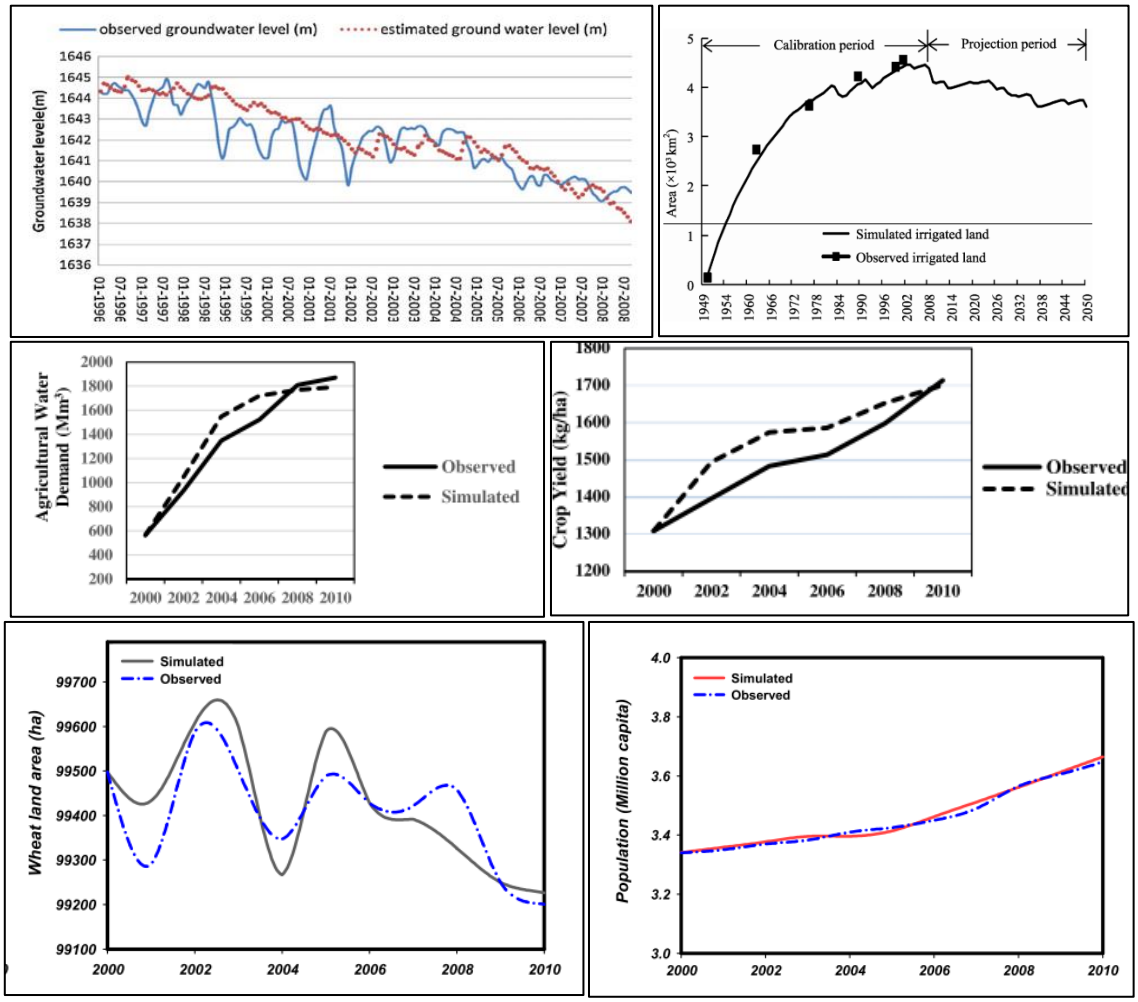
همان طور که در این جدول مشخص است، در برخی تحقیقات، محقق بر اساس دانش خود و دیگر محققان، به توسعه‌ی فرضیات پرداخته است. در حالی که مؤلفه‌های اثرگذار در سیستم منابع آب، از پیش تعیین شده نیستند. در هر منطقه‌ای اینکه چه مولفه هایی در مدل‌سازی سیستم باید مورد توجه قرار گیرد به مشکلات آن منطقه وابسته است. به قول لاکس (۲۰۱۷) اینکه چه مشکلی مطالعه می‌شود تعیین می‌کند مرز سیستم کجا باشد. وی بیان می‌کند که یکی از مشکلات کلیه‌ی مدل‌سازی‌ها این است که مرزهایی که ما تعریف می‌کنیم برای مدل سیستم آب، اغلب توسط اطلاعات موجود تعریف می‌شود و همه‌ی مؤلفه‌های اثر پذیر از تصمیمات را در بر ندارد [۸]. در واقع فرضیات مدل سازان، می‌تواند در نحوه‌ی توسعه‌ی مدل اثرگذار باشد و مدل منطبق بر بستر اجتماعی و سیاسی مورد مطالعه توسعه نیابد.

[1] Stave
[2] Davies
[3] Mariño
[4] Davies
[5] Halbe and Adamowski
[6] Kotir
[7] Inam

در برخی تحقیقات از روش مدل‌سازی مشارکتی برای توسعه حلقه‌های علت و معلولی و استخراج مولفه‌ها در مدل‌سازی سیستم منابع آب استفاده شده است. این روش کارآمدی بسیار بالایی دارد، ولی در سیستم‌های بزرگ با تعداد ذینفعان فراوان، جمع کردن ذینفعان در یک جلسه‌ی کارگاهی کار سختی خواهد بود. همچنین سوء تفاهم و سانسور خواسته یا ناخواسته‌ی اطلاعات ورودی از جمله موانع پیش روی این نوع مدل‌سازی است [۷۷]. در واقع در این نوع مدل‌سازی‌ها ممکن است مسائلی مطرح شود که گرودارن تمایلی به صحبت در مورد آن نداشته باشند یا ترس از دست دادن منافع داشته باشند. از طرفی در جلساتی که برای مدلسازی مشارکتی برگزار می‌شود، بسیاری از تعارضات اجتماعی و سیاسی، مسائل غیرمرتبط با موضوع علمی تلقی می‌شوند و با اینکه بخش مهمی از مسئله را شکل می‌دهند، نادیده گرفته می‌شود [۸۴].

۲-۶-۱ صحت سنجی مدل‌های پویایی سیستم

در مدل‌سازی پویایی سیستم بایستی توجه نمود که وقتی دقت مدل معنی‌دار می‌گردد که مدل بتواند روند کلی را پیش بینی کند و نیازی نیست تمامی نقاط شبیه‌سازی شود. در واقع در سنجش کارایی مدل بایستی بیشتر تأکید بر پیش‌بینی الگوها باشد تا پیش‌بینی نقطه‌ای، بخصوص وقتی که برخی پارامترها مبنای فیزیکی ندارد و یا به‌راحتی قابل کمی شدن نیستند [۶۳]. به عنوان مثال نتایج صحت سنجی برخی مدل‌های پویایی سیستم توسعه یافته در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشخص است این مدل‌ها تنها روند کلی را پیش بینی نموده‌اند و داده‌های شبیه‌سازی شده همپوشانی کاملی با داده‌های واقعی ندارند.



شکل ۲-۱۳- نتیجه صحت سنجی برخی مدل‌های پویایی سیستم [۷۱،۸۱،۸۵،۸۶]

۲-۷ مطالعات کیفی در مدیریت منابع آب

ضرورت استفاده از مدل‌های کیفی، در کنار مدل‌های کمی در مطالعات متعددی مطرح شده است [۸۷،۸۸]. در زمینه‌ی مدیریت منابع آب و منابع طبیعی نیز برخی محققین به ضرورت استفاده از داده‌های کیفی و مدل‌سازی کیفی تاکید نموده‌اند [۷۲،۸۹،۹۰]. مدل‌های کمی نمی‌توانند انگیزه‌ها را درک کنند و ایده‌های جدید ارائه دهند؛ لاکس (۲۰۰۵) بیان می‌کند که روش‌های کمی نمی‌توانند "گزینه‌های خارج از جعبه" پیدا کنند. همچنین به دلیل نبود داده‌های کمی کافی، استفاده‌ی صرف از مدل‌های کمی سبب می‌شود برخی جنبه‌های مهم سیستم نادیده گرفته شود [۸۹]. در واقع بسیاری از داده‌ها به صورت کیفی در ذهن ذینفعان وجود دارد و یا به صورت نوشتاری موجود است و تنها بخش کمی از این داده‌ها به صورت کمی و عددی وجود دارد [۹۱،۹۲]. به عبارتی دیگر «عمده‌ی دانش بشری به شکل توصیفی و غیر کمی است» [۱۱]. در حالی که برای تصمیم‌گیری، ضرورت دارد علاوه بر داده‌های کمی، در یک بستر بزرگتر اثرات کیفی تصمیمات بررسی شود [۳۰]. لذا در صورت اکتفا به روش‌های تحقیق

کمی، بخش زیادی از این اطلاعات نادیده گرفته می‌شود. در کل روش‌های کمی نمی‌توانند یک تصویر کلی از مسئله ارائه کنند [۷] و عمده‌ی تحقیقات کمی تنها بخش کوچکی از سیستم را مدل‌سازی می‌کنند. یکی دیگر از دلایل استفاده از روش‌های کیفی به ماهیت سیستم‌های انسانی بر می‌گردد. سیستم‌های انسانی بسیار پیچیده هستند و مدل‌سازی کمی آن‌ها به سادگی ممکن نیست. به عنوان مثال تصمیمات گرفته شده در سیستم منابع آب، می‌تواند رفتارهای ذینفعان را تحت تاثیر قرار دهد. [۱۷]. کوتیر[1] نیز تاکید می‌کند برای آگاهی از دیدگاه و دانش ذینفعان، قبل از انجام هر گونه مطالعه‌ی کمی، بایستی مطالعه‌ی کیفی یا مدل‌سازی مفهومی انجام داد [۷۲].

به همین دلایل تحقیقات متعددی به مطالعه‌ی کیفی سیستم‌های منابع آب و منابع طبیعی پرداخته‌اند [۹۳،۳۰،۶–۱۰۱]. از این میان گست[2] و همکاران در یک مطالعه‌ی کیفی، اثرات گزینه‌های زیرساختی پیش روی مدیریت فاضلاب را بر جنبه‌های مختلف پایداری بررسی نمودند. در این مطالعه برای بررسی پایداری از معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه معیار عملکرد استفاده شده است. بر اساس این مطالعه تصمیم‌گیران می‌توانند اثر یک راهبرد را رصد کنند و فهمشان از سیستم بهبود پیدا می‌کند که چطور این راهبرد بر هر یک از معیارهای پایداری اثر می‌گذارد [۳۰]. همچنین عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶) تلاش نمودند با روش کیفی تئوری زمینه‌ای نشان دهند کشاورزان حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود پدیده‌ی خشکسالی و پیامدهای مربوط به آن را چگونه درک و تفسیر می‌کنند، چه دلایلی برای آن در ذهن دارند و چگونه به آن واکنش نشان داده‌اند [۹۴].

البته روش‌های تحقیق کیفی با محدودیت‌هایی نیز مواجه است از جمله اینکه این روش‌ها عمدتا به مطالعه‌های موردی می‌پردازند و قابل تعمیم و جهان شمول نیستند و قابلیت اطمینان کمتری نسبت به روش‌های کمی دارند [۱۰۲]. البته وقتی با استفاده از روش‌های کیفی، یک تصویر کلی از مسئله به دست آمد، می‌توان از روش‌های کمی برای مدل‌سازی قسمت‌های مختلف استفاده نمود؛ در واقع بعد از آن تحلیل گران می‌توانند اولویت بندی کنند که چه چیزی را با جزئیات بیشتری مطالعه کنند [۷]. پس از انجام تحقیقات کمی، در نهایت دوباره تحلیل‌های کیفی راهکار نهایی را تعیین می‌کنند. به محض اینکه تحلیل‌های کمی انجام شد، باید به این پرداخت که پاسخ‌ها چقدر معقول هستند، آیا مطابق با پیش‌بینی‌ها هستند؟ بنابراین یک تصمیم‌گیری آگاهانه با مطالعات کیفی آغاز می‌شود، در میان راه از مدل‌های کمی استفاده می‌کند و در نهایت با تحلیل‌های کیفی پایان می‌پذیرد [۱۰].

---

[1] Kotir
[2] Guest

در مطالعات مدیریت منابع آب، شناخت مسئله، تعیین اهداف بخصوص از منظر کنش گران، شناخت معیارهای مناسب برای ارزیابی سیستم، شناخت راهکارهای پیش رو و داده‌های کمی، با توجه به جوانب حقوقی، سیاسی و اجتماعی نیاز به مطالعات کیفی را ضروری می‌کند.

۲-۸ مطالعات انجام شده در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود

کمبود آب در حوضه‌ی زاینده‌رود به یک بحران تبدیل شده است. برای برطرف نمودن این چالش از دهه‌ی ۱۳۳۰ یک سری پروژه‌های توسعه منابع آب در حوضه‌ی زاینده‌رود انجام شده که پتانسیل آب در دسترس را افزایش داده است. مطالعه‌ی حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود نشان می‌دهد تصمیم‌گیری در یک حوضه‌ی پیچیده، برای نزدیک کردن عرضه و تقاضا بدون توجه به جنبه‌های دیگر چه آسیب‌هایی دارد. در این سال‌ها بعد از هر پروژه، کمبود آب با سرعت بیشتری افزایش پیدا کرد به این دلیل که به محض افزایش آب در دسترس، منابع آب جدید به طور کامل تخصیص پیدا می‌کرد و هیچ آب ذخیره‌ای برای استفاده در خشک‌سالی‌ها باقی نمی‌ماند. افزایش تقاضا، هرچند با افزایش تامین همراه باشد، آسیب‌پذیری حوضه را در سال‌های خشک بالا می‌برد [۱۰۳]. موری راست[1] و همکاران (۲۰۰۲) نتیجه گرفتند که میزان کمبودها با افزایش تامین آب تغییر نکرده است. تنها آگاهی از اینکه ظرفیت آب بیشتری ایجاد شده است تقاضا را در صنعت و کشاورزی افزایش می‌دهد. آن‌ها بیان کردند که انتقال آب به حوضه، با بالا بردن انتظارات و درنتیجه افزایش تقاضای آب همراه است که باعث افزایش کمبودها در سال‌های خشک می‌شود و لذا انتقال آب به تنهایی راه‌حلی پایدار نیست. برای پاسخ بهتر به مسئله کمبود آب، مدیران منابع آب نیاز دارند تا اطلاعات بیشتری در مورد محرکان سیستم داشته باشند. با داشتن این دانش، آن‌ها می‌توانند بفهمند آیا برای مقابله با بحران آب، انتقال آب کافی است یا اقدامات دیگری برای فراهم کردن منبع آب پایدار نیاز است [۱۰۳].

مرید (۲۰۰۳) گزارشی از نتایج یک پروژه‌ی هلندی (ADAPT) ارائه نمود. هدف این پروژه بررسی و مقایسه‌ی استراتژی‌های انطباقی برای مقابله با اثرات تغییر اقلیم در چند نقطه‌ی جهان است. در قسمتی از این پروژه که به حوضه‌ی زاینده‌رود می‌پردازد، شرایط حال منابع آب و جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی حوضه توصیف و تحلیل شده است. در این تحقیق ابتدا حوضه‌ی زاینده‌رود توصیف شده است و بر روی برداشت‌های مستقیم از رودخانه تأکید شده است، سپس وضعیت فعلی منابع و نیازهای حوضه و جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی آن توصیف شده

[1] Murray-Rust

است. در نهایت استراتژی‌های انطباقی ممکن ارزیابی شده است. استراتژی‌ها در ۴ دسته ذیل توسعه داده شده‌اند که هدف استراتژی‌های هر دسته کاهش اثرات در یک بخش است: ۱- انطباق امنیت غذایی ۲- انطباق محیط‌زیست ۳- انطباق صنعت ۴- ترکیب ۳ دسته‌ی قبل [۱۰۴].

مدنی و مارینو (۲۰۰۹) سناریوهای مختلف روی حوضه‌ی زاینده‌رود را بررسی نمود و نشان دادند انتقال آب به حوضه بهترین راه برای کاهش بحران نیست بلکه سیاست‌های دیگر مانند مدیریت تقاضا می‌تواند مؤثرتر باشد [۶۳]. الله دادیان (۱۳۸۸) با در نظر گرفتن حق‌آبه‌ها در حوضه‌ی زاینده‌رود، اصلاح سیستم تخصیص را پیشنهاد نموده است که سیستم متمرکز کنونی را به سیستم شبه رقابتی تحت نظارت تبدیل می‌کند. سپس از اقتصاد آزمایشگاهی برای محک زدن این سیستم استفاده نموده است. در این تحقیق حقوق مالکیت آب در ایران و هزینه‌های انتقال آب (هزینه‌های داد و ستد) بررسی شده است. همچنین برای شبیه‌سازی مکانیسمِ پیشنهاد شده، کلیه‌ی عناصر مربوطه شامل بیشترین تمایل به پرداخت در بخش‌های گوناگون، عرضه کنندگان آب و توابع عرضه بررسی شده است و نرم‌افزاری به منظور انجام آزمایش طراحی شد که پارامترهای مختلف داد و ستد را در بر داشت [۱۰۵].

موله و همکاران[1] (۲۰۰۹) مسائل حوضه‌ی زاینده‌رود را تحلیل نموده و اثر مؤلفه‌های مختلف در مدیریت آب را بررسی نمودند. زمینه‌ی فیزیکی و انسانی، پیشینه‌ی تاریخی مدیریت آب، توسعه‌های بزرگ مقیاس و محلی، ارتباطات اجتماعی-هیدرولوژی، برداشت‌های بالادست و پایین‌دست، برداشت از چاه و قنات، مصارف شهری و روستایی از جمله مؤلفه‌هایی هستند که در این تحقیق بررسی شد. همچنین در بعد مدیریتی مسائلی مانند مکانیسم‌های تخصیص، کنترل آب زیرزمینی، کیفیت آب و فاضلاب و آسیب‌پذیری نسبت به خشک‌سالی تحلیل شد [۱۰۶].

توکلی (۱۳۸۹) از مدل پویایی سیستم با روش حلقه‌های بازخوردی جهت شبیه‌سازی حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود استفاده نمود. در این راستا فرضیه‌های دینامیکی موجود در حوضه شامل ساختار محدودیت رشد، ساختار پیروزی در پیروزی، ساختار انتقال فشار، ساختار گسترش تدریجی و ساختار تراژدی منابع مشترک تبیین گردید و مدل شبیه‌ساز جهت پیاده‌سازی فرضیه‌های دینامیکی توسعه یافت. وی دو مکتب اندازه‌گیری پایداری و پایش پایداری را معرفی نمود و نشان داد تفکر مدیران در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود، به مکتب اول نزدیکتر است که سبب

[1] Molle et al.

شده فعالیت‌های سازه‌ای و تامین بیشتر آب مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق برخی مسائل از سیستم اجتماعی-اقتصادی بررسی شده است که بر روی وضعیت منابع آب حوضه‌ی زاینده‌رود اثر گذار بوده است. از جمله‌ی این مسائل عبارتند از جمعیت، توسعه‌ی صنعت و کشاورزی و GDP. همچنین برخی مسائل اجتماعی به صورت کیفی بیان شده است نظیر توهم وجود آب در بین کشاورزان به دلیل توسعه‌ی شبکه‌های آبیاری. در نهایت با استفاده از مدل توسعه یافته، سناریوها و سیاست‌های اتخاذی شبیه‌سازی و رتبه بندی شدند [۱۰۷].

راست‌قلم (۱۳۹۱) با در نظر گرفتن ۴ معیار کاهش مصرف، هزینه اجرای طرح، سهولت اجرا و نگهداری، آثار زیست‌محیطی و اجتماعی و با استفاده از تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای، رویکردهای مختلف مدیریت تقاضای آب را رتبه‌بندی نمود [۱۰۸]. در این تحقیق ابعاد مختلف رویکردهای مدیریتی سنجیده شد ولی اثرات متقابل مؤلفه‌های اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی با یکدیگر و بازخورد اجتماعی و اقتصادی آن بر میزان تقاضا سنجیده نشد.

کیانی (۱۳۹۱) با انجام یک پژوهش توصیفی تحلیلی و علی و تکمیل ۴۶۷ پرسشنامه در ۵۴ روستا به جمع‌آوری اطلاعات پیرامون خشک‌سالی در حوضه‌ی زاینده‌رود پرداخت. در این تحقیق تحلیل‌هایی در خصوص ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی انجام گرفت که اثرات منفی بحران آب در منطقه را نشان داد. در نهایت به منظور امکان‌سنجی توسعه کشاورزی با روش‌های متناسب با شرایط کم‌آبی ۲۷ راهکار پیشنهاد شد که از این میان ۱۶ راهکار توسط گروه استفاده کننده به عنوان راهکارهای اثربخش برگزیده شد. همچنین برای گسترش زمینه‌های فعالیت خارج از بخش کشاورزی بر مبنای نتایج حاصل از پرسشنامه و نیز نتایج حاصل از ارزیابی توان اکولوژیک راهکارهایی مانند توسعه توریسم، صنعت، جنگلداری و آبزی‌پروری برای تضمین معیشت روستایی ارائه گردید [۱۰۹].

جلیلی (۱۳۹۴) با در نظر گرفتن هماهنگ عرضه و تقاضا به طراحی مکانیسم بازار آب پرداخت. ایشان با لحاظ ۲۴ متغیر مؤثر بر عرضه اقتصادی بلندمدت آب و تقاضای تجمیعی آب و با در نظر گرفتن دو بخش گردشگری و محیط‌زیست توابع عرضه و تقاضا در حوضه‌ی زاینده‌رود را تعیین نمود. سپس با استفاده از تئوری‌های طراحی مکانیسم بین بخشی و با در نظر گرفتن کلیه‌ی تقاضا کنندگان آب، عرضه کنندگان آب، چارچوب‌های نهادی و قوانین موجود به طراحی بازار آب پرداخت [۱۱۰].

پروژه‌ی ایرانی- آلمانی مدیریت بهم پیوسته منابع آب در اصفهان (۲۰۱۴) با همکاری عموم سازمان‌ها انجام شد تا مدیریت آب در حوضه را با توسعه‌ی گزینه‌های مدیریتی بهبود ببخشد. در این پروژه برای یکپارچه‌سازی، از مطالعات منفرد قبلی در حوزه‌های کشاورزی [۱۱۱]، گردشگری [۱۱۲]، اقتصادی [۱۱۳] و یک سری مطالعات مفهومی و فرآیندهای ارزیابی استفاده شد [۱۱۴].

گل‌محمدی (۱۳۹۴) یک مدل برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب را با رویکرد کمی برای حوضه‌ی زاینده‌رود توسعه دادند، سپس چهار سناریوی مختلف را در شرایط عدم قطعیت و تحت معیارهای عملکرد و شاخص پایداری فازی در بخش منابع و مصارف ارزیابی نمودند [۶۲]. در این تحقیق با کمک نرم‌افزار WEAP کلیه‌ی منابع سطحی و زیرزمینی و مصارف حوضه شامل شرب و بهداشت، محیط‌زیست، صنعت و کشاورزی در نظر گرفته شد و با استفاده از شبکه‌ی نرو فازی بارش-رواناب در حوضه شبیه‌سازی گردید. با استفاده از مدل شبیه‌ساز، ۴ سناریوی: ادامه‌ی روند موجود، مدیریت تأمین آب، مدیریت تقاضا و مدیریت توأمان تأمین و تقاضا بررسی شد. با نظر به تحقیقات گذشته و بررسی معیارهای عملکرد در مدیریت منابع آب، شاخص پایداری فازی برای ارزیابی عملکرد سیستم تحت شرایط عدم قطعیت توسعه یافت که از این شاخص برای سنجش سناریوها استفاده شده است. درنهایت نشان داده شد که بهترین سناریو که بتواند پایداری را هم در منابع و هم در مصارف ایجاد کند، سناریوی توأمان مدیریت تأمین و تقاضا خواهد بود. طبق نتایج این تحقیق پروژه‌های تأمین آب از حوضه‌ی کارون بایستی به بهره‌برداری برسد و با توجه به ظرفیت‌های فنی ممکن، مصرف آب شرب و صنعت کاهش پیدا کند. همچنین وی نتیجه گرفت که در جهت پایداری بیشتر بایستی مصرف آب کشاورزی به میزان ۳۰ درصد کاهش پیدا کند [۱۱۵].

رضایی (۱۳۹۵) با مدل‌سازی بهره برداری تلفیقی، یک مدل بهینه‌سازی با سه هدف افزایش پایداری آبخوان، افزایش سود کشاورز و محدودیت نمودن سطح زیرکشت برای زیرحوضه‌ی نجف آباد توسعه داد. در این مطالعه با استفاده از چند الگوریتم بهینه‌سازی ارتقا یافته شامل f-MPSO، GASPSO-III، LASPSO و VEPSO مسئله‌ی بهره برداری تلفیقی برای یک دوره ۱۰ ساله بهینه شده است. طبق نتایج این تحقیق، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی سبب شده است سود کشاورزان افزایش یافته و وضعیت پایداری آبخوان بهبود یابد [۱۱۶].

رقیبی (۱۳۹۵) با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جفت شده جو-اقیانوس[1] به مطالعات تغییر اقلیم در حوضه‌ی زاینده‌رود پرداخت، سپس با استفاده از سه روش مدیریتی جیره بندی، سیاست بهره برداری و بهینه‌ی کل، آثار تغییر بهره برداری از سد زاینده‌رود را با هدف کاهش اثرات خشکسالی تعیین نمود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد استفاده از روش مدیریتی جیره بندی در طولانی مدت نمی‌تواند موفق باشد [۱۱۷].

اوهب و احمدی (۲۰۱۸) برخی پارامترهای موثر بر رفتار عامل‌ها در بهره برداری از منابع آب زیرزمینی زیرحوضه‌ی لنجانات را شناسایی و مدل‌سازی نمودند. ایشان از مدل‌های عامل بنیان[2] برای مدل‌سازی رفتار عامل‌ها استفاده نموده و از پویایی سیستم برای تعیین رفتار عامل‌ها روی آب زیرزمینی استفاده نمودند [۱۱۸].

با بررسی مطالعات فوق، می‌توان جمع بندی زیر را در مورد مطالعات انجام شده در حوضه‌ی زاینده‌رود ارائه نمود.

- برای ارزیابی یک پژوهش دو مسئله را می‌توان مدنظر قرار داد. ۱- پژوهش به سوال درستی پاسخ داده است؛ ۲- پژوهش به سوال، به درستی پاسخ داده است. تحقیقات فوق، به خوبی از مدل‌ها و روشهای تحقیق برای حل یک مسئله استفاده نمود اند، لکن در مورد انتخاب مسئله در برخی از این پژوهش‌ها می‌توان تردید نمود به این معنی که مسئله‌ی انتخاب شده اولویت ندارد. به عنوان مثال در مورد تحقیقاتی که به بهینه‌سازی می‌پردازند می‌توان پرسید که «بهینه‌سازی تا کجا می‌تواند مفید باشد». در واقع وقتی نتایج به دست آمده توسط مدل‌های بهینه‌سازی معمولی، بتواند خط و مشی تصمیم‌گیری‌های آینده را تعیین کند، استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی پیچیده‌تر برای اندکی بهبود، چه لزومی دارد؟ باید توجه نمود که هدف مطالعه، ابزار آن را تعیین می‌کند.

- در برخی از این مطالعات، منطقه‌ی مورد مطالعه که مدل‌سازی بر روی آن انجام شده است الزاما با محدوده‌ی مورد نیاز مدیران و کارشناسان سازمان‌های متولی مدیریت آب منطبق نیست؛ و یا ممکن است شاغلان آن سازمان‌ها تمایل داشته باشند ترجیحات دیگری به مدل اضافه کنند. از طرفی همان طور که لاکس (۲۰۱۷) بیان می‌کند، شاغلان آن بخش‌ها به دلیل به روز نبودن دانش و عدم دسترسی به مدل‌ها و تکنولوژی‌های کامپیوتری نمی‌توانند از این مدل‌ها استفاده کنند، در نتیجه عموم این مدل‌ها فقط توسط جامعه‌ی دانشگاهی می‌تواند

[1] AOGCM
[2] Agent base

استفاده شود [۸]. در این شرایط استفاده از مدل‌های پیچیده‌تر، سبب می‌شود کاربرد آن درحل مسائل واقعی کمتر گردد.

- در برخی از مطالعات فوق، یک بخش از سیستم به صورت دقیق مدل‌سازی شده است، لکن به خاطر عدم کل نگری خلا هایی مترتب بر این مدل‌ها است. به عنوان مثال عدم کلی نگری سبب شده است در برخی مدل‌های بهینه‌سازی، اهداف و قیودی دنبال شود که نیازی به آن‌ها نیست و فقط مدل‌سازی را پیچیده‌تر می‌کنند و یا حتی نتایج را تحت تاثیر منفی قرار می‌دهد. همچنین عدم کل نگری و فهم دقیق نسبت به مسئله سبب شده در برخی از این مطالعات مفاهیم به اشتباه به جای یکدیگر به کار گرفته شود.

۲-۹ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا سه سیستم طبیعی، اجتماعی-اقتصادی و اجرایی-نهادی در مدیریت آب تعریف شده و پیچیدگی‌های مدیریت منابع آب ناشی از اندرکنش بین این سیستم‌ها تبیین شد. سپس چارچوب‌های مختلفی که در سال‌های اخیر توسعه یافته شامل چارچوب مدیریت بهم پیوسته منابع آب، چارچوب تحلیل نهادی استروم، چارچوب اقتصاد نهادگرایی آب، حکمرانی آب، دیپلماسی آب و چارچوب هیدرولوژی اجتماعی ارائه شد. در تحقیق حاضر از زاویه‌ی هیدرولوژی اجتماعی با هدف فهم اندرکنش بین سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی به مسئله‌ی مدیریت آب در حوضه‌ی زاینده‌رود نگریسته می‌شود.

یکی از مدل‌هایی که برای اندرکنش بین سیستم‌ها استفاده می‌شود، پویایی سیستم‌ها است. پویایی سیستم‌ها با توانایی در نظرگرفتن بازخوردهای سیستمی، امکان مدل‌سازی کمی و کیفی، امکان کوپل کردن سیستم‌های طبیعی و انسانی و امکان نشان دادن مدل به ذینفعان در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. البته یکی از چالش‌های پیش روی پویایی سیستم‌ها، توسعه‌ی فرضیات دینامیکی یا همان حلقه‌های علت و معلولی در این مدل‌ها است. ضرورت دارد بر اساس شناخت از سیستم (و نه فرضیات ذهنی محقق) مرزهای سیستم و فرضیات دینامیکی توسعه یابد. در برخی تحقیقات پیشین از روش‌های مشارکتی برای توسعه‌ی فرضیات دینامیکی استفاده شده است. یکی دیگر از روش‌های توسعه مدل مفهومی (یا همان فرضیات دینامیکی) ترکیب مدل پویایی سیستم با روش‌های تحقیق کیفی است. لذا در تحقیق حاضر از روش کیفی تئوری زمینه‌ای برای توسعه‌ی این فرضیات استفاده شده است.

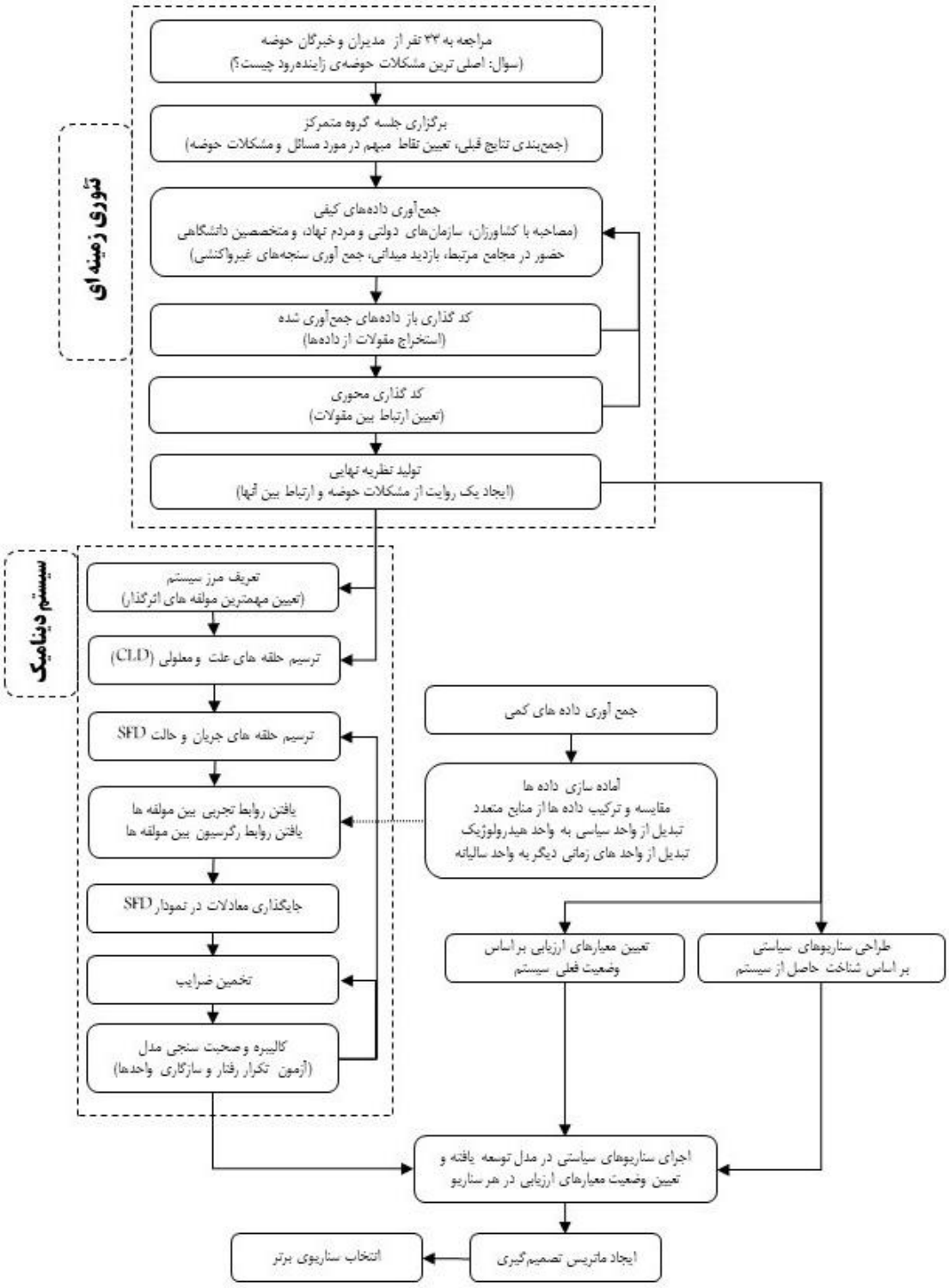
مطالعات متعددی در مورد حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود انجام شده است و خط و مشی برنامه‌ریزی آینده‌ی این حوضه را تعیین نموده‌اند، لکن اکثر این مطالعات بر مدل‌سازی سیستم طبیعی متمرکز بوده‌اند. با توجه به آسیب شناسی مطالعات قبلی، در تحقیق حاضر کل حوضه‌ی زاینده‌رود به عنوان مرز هیدرولوژیکی سیستم انتخاب می‌شود و قبل از مدل‌سازی با استفاده از روش مطالعه کیفی، تلاش می‌شود تا مشکلات و مسائل اصلی حوضه شناسایی گردد. شناخت کل نگر از مسائل حوضه کمک می‌کند تا مولفه‌های موثر به درستی انتخاب شوند و فرضیات دینامیکی به خوبی توسعه یابد، سپس بر اساس این فرضیات مدل‌سازی انجام شود.

با توجه به منابع آماری مختلف در حوضه‌ی زاینده‌رود و تعارض برخی از این داده‌ها، در قسمت مدل‌سازی کمی این تحقیق، تلاش شده است با بررسی داده‌ها از مراجع مختلف و مقایسه‌ی آن‌ها، مطمئن‌ترین داده‌ها انتخاب شود تا نتایج هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک باشد.

فصل سوم:
مبانی نظری و روش شناسی تحقیق

۳-۱ مقدمه

در هر پژوهش، متناسب با اهداف و سوالات تحقیق، چارچوب و ابزار خاصی بایستی مورد استفاده قرار گیرد. تحقیق حاضر در دو مرحله انجام شده است. در مرحله اول شناخت نظام مسائل دو سیستم طبیعی و اجتماعی-اقتصادی مدنظر است و در مرحله دوم به مدل‌سازی پویایی سیستم پرداخته می‌شود که در چارچوب هیدرولوژی اجتماعی انجام می‌شود. در این چارچوب عناصر جامعه و هیدرولوژی در کنار یکدیگر دیده می‌شود و هدف کشف و مدل‌سازی روابط بین سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی است تا فهم ما از اندرکنش بین این دو سیستم افزایش دهد. شکل ۳-۱ مراحل انجام شده در این پژوهش را به صورت شماتیک نشان می دهد. در فصل پیش رو، ابتدا روش تئوری زمینه‌ای و ضرورت استفاده از این روش بیان می‌شود. سپس رویکرد پویایی سیستم‌ها و مراحل مختلف مدل‌سازی در این رویکرد ارائه می‌گردد. در نهایت شاخص‌های ارزیابی و نحوه‌ی استفاده از این شاخص‌ها بیان می‌گردد.



شکل ۳-۱- شماتیک فرآیند انجام پژوهش

۳-۲ روش مطالعه کیفی تئوری زمینه‌ای

با توجه به توضیحاتی که در فصل دوم در مورد ضرورت استفاده از روش‌های کیفی بیان شد، بخش اول پژوهش حاضر با استفاده از روش تحقیق کیفی انجام شده است. روش‌های مختلفی برای پژوهش کیفی وجود دارد از جمله قوم نگاری، پدیده شناسی، مورد پژوهشی و تحلیل متن کیفی و تئوری زمینه‌ای. در ادامه ابتدا توضیحاتی در مورد روش‌های تحقیق کیفی و کمی و تفاوت آن‌ها ارائه می‌شود، سپس روش تئوری زمینه‌ای و دلیل استفاده از این روش به عنوان یکی از مبنایی‌ترین روش‌های کیفی تبیین می‌شود. در نهایت روش جمع‌آوری داده، روش نمونه گیری و روش نگارش نتایج بیان می‌شود.

۳-۲-۱ تفاوت پژوهش کمی و کیفی

در یک دیدگاه کلی انواع تحقیقات به دو دسته‌ی کمی و کیفی تقسیم می‌شوند. در تحقیقات کمی سعی می‌شود اطلاعات به عدد تبدیل شود، حتی تلاش می‌شود اطلاعات کیفی با دسته‌بندی و شمارش با عدد نمایش داده شود. پژوهش کیفی نظیر پژوهش کمی یک روش منظم بررسی است. در این نوع تحقیقات، اطلاعات به‌صورت شرح و توصیف پدیده‌ها ارائه می‌شود، گر چه امکان دارد نظیر پژوهش کمی از اعداد و ارقام نیز استفاده شود. از طرفی هدف عمده تحقیقات کیفی توصیف پدیده، تدوین فرضیه و ایجاد نظریه است در حالی که پژوهش‌های کمی به دنبال آزمون فرضیه هستند تا ارتباط بین متغیرهای خاص را توضیح بدهند. تحلیل اطلاعات کیفی بیشتر روش استقرایی بوده در صورتی که پژوهشگران کمی از تحلیل قیاسی بهره می‌جویند. پژوهش‌های کمی محدودیت‌هایی دارد که به وسیله‌ی آن‌ها نمی‌توان شناخت جامعی از سیستم پیدا نمود. به عنوان مثال در روش‌های پیمایشی، بستر و زمینه‌ی رفتار را نمی‌توان به صورت عمیق مورد مطالعه قرار داد و در پرسشنامه چون پاسخ افراد از قبل تنظیم شده و محدود است نمی‌توان نگرش افراد را سنجید.

نگرش پژوهشگران کمی و کیفی تا حدودی با یکدیگر متفاوت است. سندلوسکی[1] (۱۹۹۵) بیان می‌کند برخی پژوهشگران کمی، مطالعات کیفی را معتبر نمی‌شناسند و به خاطر عدم نمونه گیری آماری، چیزی بیشتر از گزارش‌های روزنامه‌ای نمی‌دانند. از آن سو برخی پژوهشگران کیفی، یافته‌های پژوهش‌های کمی را سطحی و گمراه کننده می‌دانند. این‌ها معتقدند فهم انگیزه‌ها و ارزش‌ها در توان آن دسته از روش‌های گردآوری داده است که قادر به ضبط ظرافت‌ها باشد [۱۱۹]. مکانی[2] (۱۹۹۵) تفاوت نظرات پژوهشگران کمی و کیفی را این طور جمع

[1] Sandelowski
[2] Makhani

بندی می‌کند که در نهایت هر روش کمی و کیفی که بتواند ما را به هدف نزدیک کند و در نظریه سازی کمک کند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در واقع کار کیفی باید به کار کمی جهت دهد و کار کمی به کار کیفی بازخورد [۱۱۹].

یکی دیگر از تفاوت‌های روهای تحقیق کمی و کیفی، نقش پژوهشگر در این تحقیقات است. در مطالعات کیفی، برخلاف مطالعات کمی، خود پژوهشگر در مقام ابزار، در فرآیند گردآوری و تحلیل داده‌ها نقش بسیار مهمی دارد. ویژگی‌های متعددی برای یک پژوهشگر کیفی برشمرده شده است که عبارت‌اند از: صداقت، شم قوی، قوه جذب و درک خوب، توان برقرار کردن ارتباط متقابل و حساسیت [۱۲۰]. همچنین پژوهشگران کیفی امیدوارند پژوهش‌شان مستقیماً به کار دانشگاهیان و عموم مردم، هردو بخورد. این بدان جهت است که این افراد قویاً بر جدی گرفتن کلام و عمل کسانی که مورد مطالعه قرار می‌گیرند، تأکید دارند. ویژگی دیگر پژوهشگران کیفی این است که مجذوب موضوع پژوهش هستند، این حس جذب شدگی، موجب می‌شود به فرایند کار پایبند باشند [۱۱۹].

۳-۲-۲ تئوری زمینه‌ای[1]

نظریه زمینه‌ای اولین بار توسط گلسر و استراوس[2] (۱۹۶۷) با این هدف ارائه شده است که بتوان از جمع‌آوری، مقایسه و تحلیل داده‌ها، به صورت نظام‌مند نظریه استخراج نمود [۱۲۱]. نظریه‌ی زمینه‌ای روشی برای کشف نظریه از میان داده‌هاست که به صورت استقرایی تولید می‌شود. تولید یک نظریه به کمک اطلاعات تحقیق به این معناست که به جای استفاده از نظریات موجود، بیشتر فرضیات و مفاهیم از اطلاعات میدانی گرفته می‌شوند و به صورت نظام مند شکل می‌گیرند. بدین ترتیب بر خلاف روش‌هایی که تأکید آن‌ها اساساً اثبات فرضیه‌ها و قضایای نظری است، تأکید این روش بر تولید نظریه است [۱۲۲] در واقع هرگاه غرض آن باشد که فهم‌های تازه‌ای پیدا شود، نظریه‌ی زمینه‌ای ضرورت میابد. ارزش نظریه زمینه‌ای توانایی آن در قراردادن پایه نظریه بر داده‌هاست [۱۱۹]. نظریه‌ی زمینه‌ای وقتی استفاده می‌شود که محقق نظریه‌ای در مورد جامعه‌ی هدف ندارد و یا نمی‌خواهد از نظریات قبلی استفاده کند [۱۲۱]. نظریه‌ی زمینه‌ای یکی از سخت‌ترین و مبنایی‌ترین روش‌های تحقیق است. با توجه به اینکه هدف تحقیق حاضر شناخت کل سیستم است و استفاده از نظریات قبلی برای تحلیل کل سیستم نیاز به

[1] Grounded theory
[2] Glaser and Strauss

دانش وسیعی دارد، ترجیح داده شد از روش نظریه‌ی زمینه‌ای استفاده شود تا قواعد سیستم، در جریان تحقیق بروز پیدا کند.

پیش از این، نظریه‌ی زمینه‌ای در مطالعات مدیریت آب مورد استفاده قرار گرفته است. از این روش برای بررسی جامع مشکلات بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری استان خوزستان [۱۲۲]، امکان‌سنجی یادگیری اجتماعی در مدیریت آب اسکاتلند [۱۲۳]، بررسی نظام معنایی پدیده‌ی خشک‌سالی در استان اصفهان [۹۴] و تحلیل ذینفعان و مشارکت عمومی در حوضه‌ی رودخانه‌ی کریواجا[1] [۹۳] استفاده شده است.

کتب مرجع، روش‌های متعددی برای نظریه‌ی زمینه‌ای معرفی می‌کنند که در جزئیات با هم تفاوت دارند [۱۱۹،۱۲۴]. فاضلی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی با روش نظریه‌ی زمینه‌ای، نظام بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری استان خوزستان را تحلیل نمودند که در قسمت کیفی پژوهش حاضر، از روش ایشان الگو برداری شد [۱۲۲]. در این روش بعد از آماده‌سازی طرح تحقیق، ۴ مرحله‌ی گردآوری داده‌ها، مرتب نمودن داده‌ها و تحلیل داده‌ها و در نهایت مقایسه با مکتوبات انجام می‌شود. در بخش آماده‌سازی طرح تحقیق، پرسش پژوهش به صورت باز و گسترده آغاز می‌شود؛ اما به تدریج در جریان پژوهش با کشف مفهوم‌ها و روابطشان با یکدیگر محدودتر و متمرکزتر می‌شود [۱۱۹]. در مرحله‌ی تحلیل از سه نوع کد گذاری استفاده می‌شود. کد گذاری باز، کدگزاری محوری و کدگذاری انتخابی. در کدگذاری باز محقق به برچسب زنی و مقوله بندی پدیده‌ها می‌پردازد تا مفاهیم به دست آید. این مفاهیم ممکن است مفاهیمی باشد که در متون تخصصی به آن اشاره شده بود یا مفاهیم جدیدی باشد که توسط محقق یا مصاحبه شوندگان مطرح شده باشد. در حالی که کدگذاری باز، داده‌ها را به مفاهیم و مقولات می‌شکند، کدگذاری محوری داده‌ها را با ساختن ارتباط بین مقوله‌ها و زیرمقوله‌ها مرتبط می‌کند. در کدگذاری محوری، محقق به دنبال کشف روابط میان مقولات است. کدگذاری انتخابی در واقع ادغام مقولاتی است که به فرم چارچوب نظری اولیه درآمده‌اند. در قسمت مقایسه‌ی مکتوبات، نظریه‌ی درحال پیدایش با متون موجود مقایسه می‌شود و موارد مشابه و متضاد مورد توجه قرار می‌گیرد. در مجموع مقایسه‌ی نظریه با متون موجود، اعتبار درونی، توانایی تعمیم و مراحل نظری ساختن تئوری را بهبود می‌بخشد [۱۲۲].

[1] Krivaja River

۳-۲-۱ جمع‌آوری داده‌ها

همه‌ی طرح‌های تحقیق کیفی از مجموعه‌ای از روش‌های متعارف و عمده برای گردآوری داده‌ها استفاده می‌کنند. مهم‌ترین این روش‌ها عبارت‌اند از مصاحبه، مشاهده (بخصوص مشاهده‌ی مشارکتی) و گروه متمرکز که هر کدام به زیرروش‌های متنوعی تقسیم بندی می‌شود و اصول خاصی را می‌طلبد [۱۲۴]. هریک از روش‌های سه گانه‌ی پرسشنامه، مصاحبه و مشاهده، به عنوان یک عنصر خارجی به ایجاد اختلال در میدان یا پدیده‌ی مورد مطالعه می‌انجامد و فرآیند طبیعی گردآوری داده‌ها را مخدوش می‌کند. لذا سنجه‌های غیر مزاحم[1] یا غیر واکنشی[2] از سوی برخی محققین برای پوشش ضعف‌ها و نقایص روش‌های قبلی جهت گردآوری داده‌ها مطرح شد. روش‌های غیرواکنشی شامل هرگونه مطالعه‌ی رفتار انسانی است که بر گفتگوی مستقیم با افراد (مانند مصاحبه) یا مشاهده‌ی آن‌ها (مانند مشاهده‌ی مشارکتی) مبتنی نباشد. این روش می‌تواند شامل آثار فیزیکی به جا مانده از انسان‌ها، اسناد و مدارک مکتوب و یا اینترنت باشد. در این روش افراد مورد مطالعه از این که مورد مطالعه یا مشاهده قرار دارند آگاه نیستند و بنابراین هیچ واکنشی به فعالیت‌های تحقیقی محقق ندارند. این روش‌ها از این رو اهمیت دارند که در روش‌های مصاحبه و مشاهده، افراد به خود-سانسوری تمایل دارند و بسیاری از رفتارها و ذهنیت‌های خود را در معرض شناخت محقق قرار نمی‌دهند. در قسمت اول این تحقیق از روش‌های مصاحبه و سنجه‌های غیر واکنشی برای گردآوری اطلاعات کیفی استفاده گردید.

۳-۲-۲ نمونه گیری کیفی

در قسمت کیفی این تحقیق نیاز بود افرادی انتخاب شوند و مصاحبه‌هایی با ایشان صورت گیرد. در مطالعات و پژوهش‌های کمی تأکید زیادی بر انتخاب نمونه تصادفی و شانس برابر اعضای جامعه وجود دارد، اما نمونه گیری در پژوهش‌های کیفی بسیار متفاوت از پژوهش‌های کمی است، زیرا هدف آن به جای تعمیم یافته‌ها، کسب درک عمیق‌تر از پدیده مورد بررسی است. در این مطالعه به عنوان یک پژوهش کیفی به منظور شناسایی افراد مورد نظر از روش نمونه گیری هدفمند استفاده گردید. منطق و قدرت این نوع از انتخاب به این مفهوم باز می‌گردد که نمونه‌های انتخاب شده بیشترین میزان اطلاعات را بر اساس سوال پژوهش فراهم آورند. سه نوع نمونه گیری هدفمند، نمونه گیری برای رسیدن به معرف بودن یا قابلیت مقایسه۳، نمونه گیری موارد خاص٤ و نمونه

---

[1] Unobtrusive measures
[2] Nonreactive measures
[3] Sampling to Achieve Representativeness or Comparability
[4] Sampling Special or Unique Cases

گیری متوالی[1] است. «نمونه گیری برای رسیدن به معرف بودن یا قابلیت مقایسه» توسط پژوهشگرانی مورد استفاده قرار می گیرد که هدف آن‌ها رسیدن به نمونه ای است که معرف یک گروه وسیع تر از نمونه‌ها بوده و تا حد امکان به آن نزدیک باشد و یا اینکه به دنبال مقایسه بین گروه‌های مختلف موردها باشند. روش نمونه گیری موارد خاص در پژوهش‌های انسان شناسی و جامعه شناسی مورد استفاده قرار می گیرد و در آن خود فرد مهمتر از موضوع مورد بررسی است. لذا در این مطالعه از نمونه گیری متوالی استفاده گردید که در این روش حجم نمونه آن قدر افزایش میابد که دیگر با افزایش تعداد نمونه، اطلاعات جدیدی به دست نیاید و به اصطلاح اشباع داده به عنوان استاندارد پایان نمونه گیری رخ دهد. این روش خود، شامل نمونه گیری نظری، موارد تأیید یا رد کننده، نمونه گیری فرصت طلبانه و نمونه گیری گلوله برفی[2] می‌باشد. در این مطالعه از روش گلوله برفی جهت انتخاب اعضای شرکت داده شونده استفاده گردید. روش نمونه گیری گلوله برفی در مواردی استفاده می شود که اعضای یک گروه یا جامعه از قبل قابل شناسایی نباشند. این روش همچنین برای شناسایی افراد متخصص در یک زمینه خاص مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش پژوهشگر ابتدا افرادی را شناسایی می کند و پس از دریافت اطلاعات از آن‌ها می خواهد تا فرد یا افراد دیگری را به وی معرفی کنند. در تئوری زمینه‌ای ابتدا نمونه گیری به صورت آسان آغاز می‌شود و سپس به صورت هدفمند در جهت بیشترین تفاوت برای مفاهیم ایجاد شده حرکت می‌کند. رنجبر و همکاران (۱۳۹۱) روش‌های مختلف نمونه گیری و دلیل انتخاب این روش‌ها را توضیح داده‌اند [۱۲۵].

در این تحقیق در دو گام به ذینفعان مراجعه و مصاحبه انجام شد. در گام اول به منظور شناخت دیدگاه کلی گروداران، با ۳۳ نفر از مدیران، کارشناسان و فعالین صاحب‌نظر که شناخت کامل نسبت به حوضه آبریز داشتند، مصاحبه انجام شد. شرایط عمومی جهت انتخاب این افراد اشراف داشتن به حوضه‌ی زاینده‌رود بوده؛ و به عنوان شرایط اختصاصی مدیران فعلی و گذشته (ستادی و اجرایی) و کارشناسانی که ۱۰ سال سابقه کار داشتند انتخاب شدند. در این مصاحبه‌ها، سوالی با عنوان، «سه مشکل و چالش اصلی در حوضه زاینده‌رود را بر اساس اولویت مطرح کنید»، طرح گردید که با توجه به تخصص و شناخت حوضه، هریک از این افراد مهم‌ترین مشکلات از منظر خویش را ارائه نمودند. علاوه بر این، مجموعه‌ای بالغ بر صد مقاله تحلیلی و ترویجی در مورد حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود مطالعه گردید و مشکلات مطرح شده در این مقالات گردآوری شد [۱۲۶–۱۲۹]. از مجموع مصاحبه‌های صورت گرفته و مطالعات انجام شده بالغ بر ۱۰۰ مسئله گرد آوری شد که پس از حذف موارد تکراری، تحلیل و دسته‌بندی، مسائل اصلی مشخص شد. در گام دوم در گام دوم بیش از ۶۰ نفر از کارشناسان و مدیران میانی

[1] Sequential Sampling
[2] Snowball Sampling

دستگاه‌های دولتی، بخش خصوصی و نهادهای مردم نهاد به مرور زمان انتخاب شده و اطلاعات مورد نیاز تحقیق با مصاحبه با ایشان به دست آمد.

۳-۲-۳ نگارش نتایج پژوهش کیفی

در نگارش نتایج و خروجی‌های پژوهش کیفی، دو روش کلی وجود دارد. در روش نخست، نگارش مقاله به گونه‌ای است که خواننده، خود بتواند از خلال اطلاعات ارائه شده به سوال تحقیق پاسخ دهد. در این روش انبوهی از اطلاعات منتخب، مرتبط و نظام‌مند به خواننده ارائه می‌شود به گونه‌ای که به طور ضمنی نتیجه‌گیری‌های محقق را نشان دهد. در روش دوم، ابتدا مختصری از نتیجه‌گیری‌های اصلی محقق ارائه شده و پس از آن، نمونه‌هایی از یافته‌ها که تایید کننده‌ی آن نتیجه‌گیری‌ها هستند ارائه می‌شود.

۴-۲-۳ جمع بندی

شرحی که از روش تحقیق کیفی و نظریه‌ی زمینه‌ای داده شد اگر چه با سادگی نوشته شده است ولی ممکن است برای کسانی که زیاد با روش تحقیق کیفی آشنا نیستند، نامانوس باشد، بنابراین بهتر است این روش را آنگونه که در این تحقیق تجربه شده است، تشریح کنیم.

۱- بر مبنای مطالعه‌ی متون مربوط به مدیریت منابع آب و مشکلات آن و همچنین مراجعه به **۳۳** نفر از متخصصین بخش آب، لیست اولیه‌ای از مشکلات تهیه گردید که نشان می‌داد عمده‌ترین مشکلات احتمالی حوضه چیست.

۲- با روش گروه متمرکز، مشکلات مطرح شده در مرحله‌ی قبل جمع بندی شد، سپس فهرست گسترده‌ای از سؤالات تهیه شده تا با استفاده از آن‌ها اطلاعات لازم درباره‌ی مشکلات و مسائل حوضه‌ی زاینده‌رود جمع‌آوری گردد. این سؤالات، بر اساس موضوع و کنش گران دسته‌بندی شده، به گونه‌ای که مشخص باشد هر سؤال را از کدام کنش گران بایستی پرسید.

۳- در طول مدت چند ماه، به مرور به کنش گران آب در حوضه‌ی زاینده‌رود مراجعه شد و با ایشان در مورد مشکلات استخراج شده در مرحله‌ی قبل مصاحبه صورت گرفت. سوالاتی که قبلاً طراحی شده بود، مبنای مصاحبه‌ها بودند ولی مصاحبه‌ها به صورت نیمه باز صورت گرفت و به افراد اجازه داده می‌شد تا جایی که از مساله‌ی کلی دور نشوند در مورد مشکلات صحبت کنند علاوه بر متن صحبت

کنش گران، سنجه‌های غیر واکنشی نیز برای پاسخگویی به سوالات جمع‌آوری شد. به علاوه، تلاش گردید قوانین مرتبط با مدیریت آب (به عنوان جنبه‌ی حقوقی) و اخبار روزنامه‌ها و مطالب اینترنتی (به عنوان جنبه‌ی اجتماعی و سیاسی) مورد بررسی قرار گیرد.

۴- در مورد متن مصاحبه‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده کدگزاری باز و کدگزاری محوری انجام شد، مولفه‌های اصلی از بین این کدها استخراج شد، روابط بین این مولفه‌ها تعیین شد و یک مدل مفهومی اولیه ایجاد شد. به مرور زمان اطلاعات بیشتری استخراج شد که مدل را تائید و تکمیل کرده و یا آن را تغییر می‌داد. در روش تئوری زمینه‌ای از مقایسه‌ی داده‌های جمع‌آوری شده برای صحت سنجی و اعتبار سنجی مطالب استفاده می‌شود.

۵- در نهایت نظریه‌ی نهایی، برای توضیح وضعیت مدیریت آب در حوضه‌ی زاینده‌رود نگارش می‌شود. روایتی که توضیح می‌دهد چه عواملی، با چه مدلی از ترکیب متغیرها، وضعیت موجود را ایجاد کرده‌اند.

۳-۳ رویکرد پویایی سیستم‌ها

تفکر سیستمی به تغییر از نگرش مبتنی بر تفکیک علوم به حوزه‌های تخصصی مجزا، به نگرشی مبتنی بر ترکیب یافته‌های رشته‌های گوناگون علمی تأکید دارد و به جای تفکر تحلیلی تجزیه گرا، بر تفکر تحلیلی ترکیب‌گرا تأکید می‌ورزد. تفکر سیستمی اسلوبی برای شناخت ساختارهایی است که شرایط و موقعیت‌های پیچیده را به وجود می‌آورند و از طریق آن می‌توان تغییرات عمده و یا ناچیز را تمیز داد [۱۳۰]. تفکر سیستمی محقق را تشویق و ترغیب می‌کند که به تغییر ذهنیت و الگوهای ذهنی خود روی آورده و به جای جستجوی اطلاعات بیشتر، به ساماندهی اطلاعات موجود بپردازد. به عبارتی دیگر تفکر سیستمی راه و روشی برای کل‌نگری به شمار می‌رود و چارچوبی است که تأکید آن بر دریافت روابط داخلی پدیده‌ها است نه شناسایی تک‌تک آن‌ها. تفکر سیستمی به خودی خود تنها موجب ایجاد یک مدل ذهنی می‌شود. برای پیاده سازی تفکر سیستمی در قالب مدل ریاضی، از پویایی سیستم استفاده می‌شود. پویایی سیستم یکی از روش‌های سیستمیک است که حدود ۴۰ سال پیش در

دانشگاه MIT توسط فارستر[1] ابداع گردید [۶۴]. پویایی سیستم‌ها برای مسائل چند رشته‌ای و چند-عاملی کاملا مناسب هستند. در مطالعات پویایی سیستم بیشتر تأکید بر فهم روند و رفتار است تا اعداد و مقادیر [۶۸].

۳-۳-۱ مزیت‌های رویکرد پویایی سیستم

مدل‌های پویایی سیستم‌ها این توانایی را دارد که دو سیستم را به صورت یکپارچه در نظر بگیرد، لذا برای مسائل چند رشته‌ای کاملا مناسب هستند [۶۸]. مدل‌های پویایی سیستم کمک می‌کند تا روابط علت و معلولی بین مؤلفه‌های مختلف و بازخورد این مولفه‌ها درک شود. مکانیسم‌های علت و معلولی و حلقه‌های بازخوردی موجود در این مدل‌ها کمک می‌کند تا بفهمیم چه چیزی محرک خروجی‌ها بوده است [۶]، یا به طور ویژه چه چیزی سبب مشکلات سیستم منابع آب شده است. مدل‌های پویایی سیستم می‌توانند به صورت همزمان دانش علوم طبیعی و دانش علوم انسانی را مدل‌سازی کنند [۷۷]، در نتیجه می‌تواند دینامیک درونی و بین دو سیستم اجتماعی-اقتصادی و طبیعی را به طور همزمان در نظر بگیرد. یکی از مزیت‌های مدل‌های پویایی سیستم که آن را از برخی مدل‌های منابع آب دیگر متمایز می‌کند این است که می‌توان مدل ایجاد شده را به راحتی به ذینفعان نشان داد و آگاهی آن‌ها را در مورد سیستم افزایش داد و یا آن‌ها را در پروسه‌ی تصمیم‌گیری دخیل نمود [۶۶،۷۷،۸۴]. یکی دیگر از ویژگی‌های مهم مدل‌های پویایی سیستم که سبب شده این مدل‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه قرار بگیرد، این است که هم قابلیت مدل‌سازی کمی و هم مدل‌سازی کیفی را دارد [۷،۳۰،۷۸]. توانایی پویایی سیستم برای مدل‌سازی کمی و کیفی، به محققان این امکان را داده است تا دانش حاصل از پایگاه‌های دانش ذهنی و دانش نوشتاری را در قالب حلقه‌های علت و معلولی به صورت گرافیکی ترسیم کنند، سپس توسط معادلات ریاضی و داده‌های عددی، مدل کمی را توسعه دهند.

از مدل‌های پویایی سیستم با سه رویکرد کلی در مدیریت منابع آب و منابع طبیعی استفاده می‌شود: ۱- پویایی سیستم به عنوان ابزار پیش بینی کننده، ۲- پویایی سیستم به عنوان یک ابزار توصیف کننده یا به عبارتی یک چارچوب کلی برای در نظر گرفتن یکپارچگی بین سیستم‌ها بخصوص بین سیستم‌های انسانی و طبیعی و ۳- پویایی سیستم به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی مشارکتی به منظور درگیر کردن ذی‌مدخلان[۷،۷۷،۱۳۱].

۳-۳-۲ مراحل مختلف مدل‌سازی

مدل‌سازی با رویکرد دینامیک سیستم‌ها شامل چند مرحله‌ی اصلی است [۶۶]:

[1] Forrester

مر مرحله‌ی اول (تعریف مسئله) نیاز است مشکلات موجود در سیستم شناسایی گردد و نسبت به رفتار سیستم آگاهی ایجاد شود. در این مرحله می‌توان متغیرهای مرجع را تعریف نمود. متغیرهای مرجع روند تغییر مشکل در سیستم را نشان می‌دهند. در واقع می‌توان گفت سیستم حول این متغیرها ساخته می‌شود. در مرحله‌ی بعدی مرز سیستم مشخص می‌شود، مرز سیستم اجزای سیستم را نشان می‌دهند. در واقع اجزای یک سیستم شامل متغیرهای مرجع و متغیرهای فرعی است که بر متغیر مرجع اثر می‌گذارند. پس از تعیین مرز سیستم، فرضیه‌های دینامیکی که رفتار متغیرها را نشان می‌دهند، تبیین می‌شود. برای نشان دادن این فرضیه‌های دینامیکی از مدل‌های تشریحی و یا نمودار علت و معلولی استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر، مطالعات کیفی تئوری زمینه‌ای، گام‌های اولیه‌ی مدل‌سازی پویایی سیستم را پوشش داده است. به عبارتی مطالعات کیفی تئوری زمینه‌ای، به تعریف مسئله، شناخت متغیرهای اساسی سیستم و شناخت فرضیه‌های دینامیکی حاکم بر سیستم کمک نموده است.

مرحله‌ی بعدی مدل‌سازی با رویکرد دینامیک سیستم‌ها، توسعه‌ی کمی مدل است. در این مرحله از نمودارهای علی و معلولی ذکر شده و یا مدل تشریحی استفاده می‌شود و نمودارهای جریان–حالت سیستم رسم می‌شوند. در این مرحله روابط بین متغیرها وارد مدل می‌شوند. البته ممکن است برخی پارامترها و روابط رفتاری باشد که تخمین زده می‌شود. در نهایت مدل ایجاد شده صحت سنجی و اصلاح می‌شود. در صورتی که از پویایی سیستم به عنوان یک ابزار پیش بینی کننده استفاده شود، در مرحله‌ی آخر، از مدل توسعه یافته برای شبیه‌سازی سناریوها و ارزیابی نتایج آن استفاده می‌شود.

۳-۳-۳ معرفی نرم افزار مورد استفاده

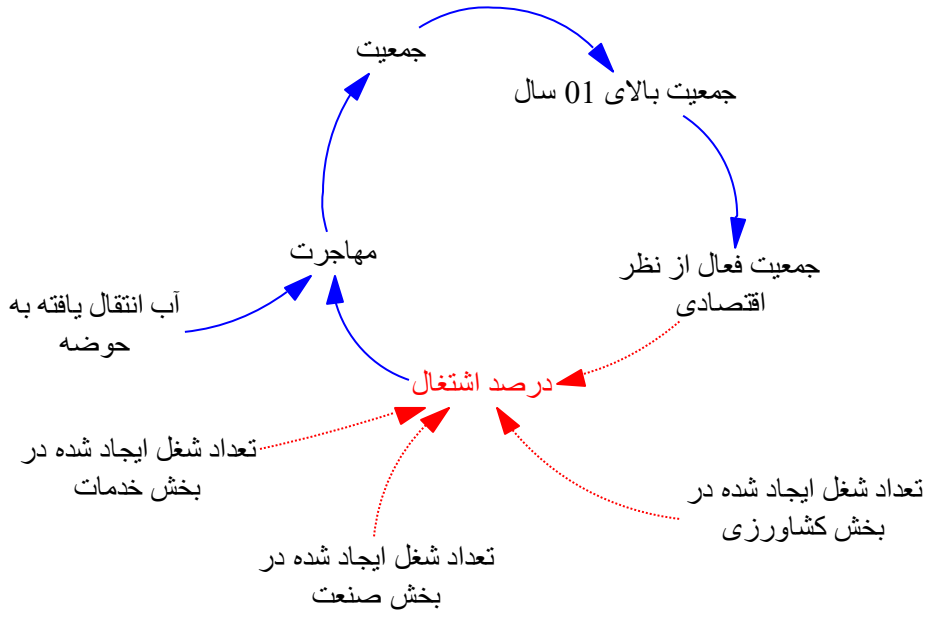
نرم افزارهای گرافیکی متعددی از جمله Ithink، Stella، Vensim و Powersim برای مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنها دو نرم افزار Vensim و Ithink در دسترس بود که با توجه به امکانات آن، در این تحقیق از نسخه‌ی ۹ نرم افزار Ithink استفاده شده است. این نرم افزار قابلیت اتصال با اکسل را داشته و داده‌های ورودی را از فایل اکسل فراخوانی می‌کند و پس از اجرا نتایج را دوباره در یک فایل اکسل بارگذاری می‌کند. یکی از ویژگی‌های نرم افزار Ithink که آن را از دیگر نرم افزارهای مشابه متمایز می‌کند، قابلیت تعریف متغیرها به صورت چند لایه است؛ به عبارت دیگر می‌توان یک متغیر تعریف نمود ولی لایه‌های متعددی برای آن در نظر گرفت و برای هر لایه مقادیر اولیه و معادلات مجزایی وارد نمود. به عنوان مثال یک متغیر تحت عنوان تعداد صنایع تعریف می‌شود، سپس سه لایه در نظر گرفته می‌شود؛ در یک لایه تعداد صنایع بزرگ، در یک لایه تعداد صنایع متوسط و کوچک و در یک لایه تعداد صنایع کشاورزی مدل‌سازی می‌شود که ضرایب و

داده‌های این صنایع با یکدیگر متفاوت است. این امکان کمک می‌کند تا تعداد متغیرهایی که در نمای گرافیکی نمایش داده می‌شوند کمتر شود و مدل، ساگی لازم را داشته باشد.

یکی دیگر از ویژگی‌های نرم افزار Ithink امکان تجمیع متغیرها است. توسط این نرم افزار می‌توان چند متغیر را در یک مولفه تجمیع نمود و از به هم ریختگی ظاهری مدل جلوگیری نمود. از دیگر ویژگی‌های این نرم افزار، امکان نمایش راحت‌تر مدل به گرودارن و قابلیت استفاده در کارگاه‌های آموزشی است. در واقع این نرم افزار به گونه‌ای طراحی شده است که می‌توان داده‌های اولیه و معادلات بین متغیرها را به صورت گرافیکی تغییر داد. هر چند هنگام مدل‌سازی توسط محقق، از این قابلیت استفاده نمی‌شود، لکن هنگام ارائه نتایج به متخصصان و شاغلان سازمان‌ها، می‌توان از این قابلیت بهره برد. این قابلیت بخصوص برای توسعه‌ی مدل‌های مشارکتی می‌تواند مفید باشد.

۳-۳-۴ کالیبراسیون مدل

در مدل‌های پویایی سیستم به دلیل اینکه حلقه‌های بازخوردی وجود دارد، کالیبره نمودن مدل با پیچیدگی بیشتری همراه است، زیرا با تغییر یک متغیر، علاوه بر تغییر متغیرهای بعدی، متغیرهای پیشین نیز تغییر می‌کنند و دوباره بر روی همان مولفه اثر می گذارند. در نتیجه برای کالیبره کردن یک حلقه‌ی بازخوردی بایستی به صورت همزمان چندین رابطه کالیبره شود. در تحقیق حاضر، برای رفع این پیچیدگی، در مرحله‌ی اول کالیبراسیون، متغیرهایی که داخل حلقه‌های بازخوردی قرار گرفته بودند، به عنوان یک سری زمانی ثابت فرض شدند. به عنوان مثال، برای کالیبراسیون زیرسیستم آب شرب، این پیچیدگی وجود داشت که متغیر اشتغال بر متغیر جمعیت تاثیر می‌گذارد ولی همزمان از متغیر جمعیت و همچنین از زیرسیستم‌های صنعت و کشاورزی تاثیر می‌پذیرد. در نیتجه بایستی به صورت همزمان همه‌ی روابط داخل حلقه کالیبره می شد. بنابراین در مرحله‌ی اول کالیبراسیون، اشتغال به عنوان یک سری داده مشاهداتی وارد مدل شد. بدین طریق اتصال مولفه‌ی اشتغال، از مولفه‌های اثرگذار بر آن قطع شد و بقیه‌ی متغیرهای زیرسیستم آب شرب که از اشتغال تاثیر می پذیرند کالیبره شدند (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- نحوه کالیبراسیون متغیر جمعیت و اشتغال

این روش خطایی ایجاد نمی کند، زیرا در مرحله‌ی دوم کلیه‌ی مولفه‌ها از حالت سری زمانی خارج شده و این اتصالات دوباره برقرار شده است. در مرحله‌ی دوم، همچنین بازخوردهای بین زیرسیستم‌ها کالیبره شدند. در این مرحله متغیرهای دخیل در بازخوردها، یکی یکی بررسی شده و روابط ریاضی آن متغیرها جایگزین داده‌های مشاهداتی شد. به عنوان مثال معادله‌های ریاضی برای محاسبه‌ی اشتغال جایگزین سری داده‌ها گردید و میزان اشتغال شبیه‌سازی شد. روابط متغیرهای سطح زیر کشت اراضی دیم، سطح زیر کشت اراضی آبی، رواناب، نفوذ و تبخیر از سد، از طریق رگرسیون به دست آمد و مولفه‌ی نیاز خالص آبیاری از طریق معادلات تجربی به دست آمد.

۳-۳-۵ صحت سنجی مدل

مدل‌ها یک بازسازی از جهان واقعی هستند تا بتوانند رفتار جهان واقعی را شبیه‌سازی کنند و به ما برای درک پدیده‌های پیچیده و چگونگی رخ دادن این پدیده‌ها کمک کنند ولی نمی‌توانند به طور کامل و بدون نقص واقعیت را نشان دهند. هر مدلی با توجه به هدفی که دنبال می‌کند، بایستی سودمندی لازم را داشته باشد. قبل از استفاده از مدل برای آزمون گزینه‌های تصمیم‌گیری باید نسبت به عملکرد صحیح مدل اطمینان حاصل نمود. آزمون‌های رایج برای صحت سنجی مدل‌های سیستم دینامیک عبارتند از آزمون تکرار رفتار، آزمون ارزیابی ساختار و آزمون سازگاری واحدها [۱۳۲]. البته باید توجه نمود که درجه اطمینان از صحت مدل وابسته به دید و اهداف مورد نظر مدل ساز از مدل دینامیکی طراحی شده می‌باشد [۱۳۳].

در آزمون ارزیابی ساختار، مطابقت ساز و کارهای طراحی شده در مدل، با قوانین فیزیکی و قوانین حاکم بر سیستم واقعی ارزیابی می‌شود. در آزمون سازگاری واحدها، واحدهای اندازه گیری برای هر متغیر تولید شده در مدل بررسی می‌گردد. نرم‌افزار Ithink قابلیت ارزیابی واحدهای اندازه گیری متغیرهای کل مدل را دارد تا واحدهای اندازه گیری در دو طرف معادلات پویایی سیستم یکسان باشد. البته در مواردی که از رگرسیون‌گیری و معادلات تجربی برای شبیه‌سازی یک متغیر استفاده می‌شود، نیاز به سازگاری واحدها نیست. در آزمون تکرار رفتار، خروجی مدل طی سال‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی مقایسه می‌گردد. در آزمون الگوی رفتاری، مولفه‌های منابع آب زیرزمینی، ذخیره آب پشت سد، جمعیت، اشتغال در بخش‌های کشاورزی و صنعت، GRP در بخش‌های کشاورزی و صنعت و جریان آب رودخانه انتخاب شدند که بخشی از داده‌های این مولفه‌ها برای دوره‌ی زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۶ موجود بوده و مورد استفاده قرار گرفت.

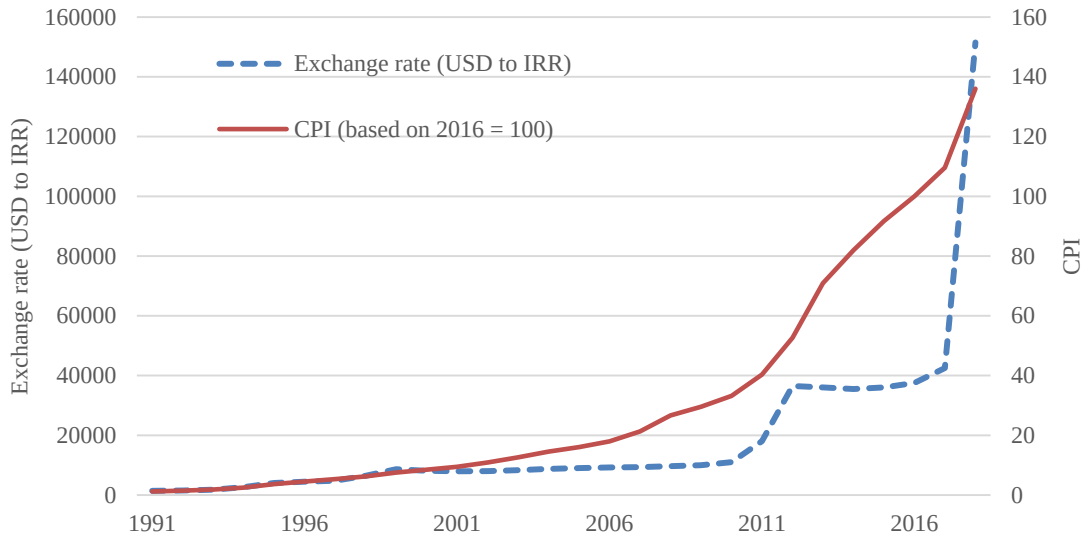
همچنین برای افزایش اطمینان از صحت مدل، ضریب تعیین بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی برای این مولفه‌ها به دست آمد. ضریب تعیین (R^2) مربع ضریب همبستگی (R) است. ضریب همبستگی نشان می‌دهد دو متغیر همبستگی مثبت (R=1) یا همبستگی منفی (R=-1) و یا عدم همبستگی (R=0) دارند. در صورتی که رابطه‌ی بین دو متغیر خطی باشد می‌توان از ضریب همبستگی استفاده نمود ولی در صورتی که رابطه دو متغیر خطی نباشد تفسیر ضریب همبستگی سخت است. در این شرایط استفاده از ضریب تعیین ساده است. مقادیر ضریب تعیین می‌تواند بین ۰ و ۱ باشد و دقت مدل‌های شبیه‌سازی را نشان دهد. در تحقیقات مختلف حدود متفاوتی به عنوان حد قابل قبول از ضریب تعیین بیان شده است. به عنوان مثال روباوانان و همکاران (۲۰۱۷) حد R^2=0.6 را قابل قبول دانسته‌اند [۴۵].

۳-۴ حذف اثر تورم در مدل

هنر توسعه‌ی یک مدل پویایی سیستم بایستی این باشد که بتواند بین متغیرهای مختلف سیستم رابطه برقرار کند. با توجه به اینکه در کشور ایران نرخ تورم بالا است و قیمت محصولات کشاورزی و صنعتی تغیرات زیادی دارد، یافتن رابطه بین صنعت، کشاورزی و GRP سخت بوده است. راه حل اول، برای حل این مسئله استفاده از ارزهای جایگزین نظیر دلار است که تغییرات کمتری دارد. لکن به دلیل مداخله دولت در تنظیم بازار، قیمت

محصولات کشاورزی و محصولات صنعتی همزمان با قیمت دلار تغییر نمی‌کند. لذا برای لحاظ نمودن دیگر اثرات اقتصادی از شاخص بهای مصرف کننده (CPI)[1] استفاده شد.

شاخص بهای مصرف کننده یکی از مؤثرترین شاخص‌ها برای نشان‌دادن وضعیت تورم است. این شاخص تجزیه و تحلیلی از سطح مخارج مصرف‌کننده برای خرید یک مجموعه از سبد کالاها و خدمات است. اگر شاخص بهای مصرف‌کننده برای دوره جاری ۱۱۲ باشد، نشان‌دهنده این است که در حال حاضر برای خرید سبد کالا، ۱۲ درصد بیشتر از زمانی که شاخص ۱۰۰ بود، باید پرداخت شود. شاخص CPI و نرخ تبدیل دلار به ریال برای کشور ایران در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشخص است، به دلیل سیاست‌های مداخله گرانه دولت در بازار، نرخ تبدیل دلار و CPI به صورت همگون افزایش نیافته‌اند، لذا در صورتی که صرفا از نرخ تبدیل ریال به دلار استفاده می‌شد، مدل نمی‌توانست میزان GRP ایجاد شده به ازای صنعت و کشاورزی را شبیه‌سازی کند.



شکل ۳-۳- نرخ تبدیل دلار به ریال و CPI در ایران (https://tradingeconomics.com)

[1] Consumer price index

۳-۵ ارزیابی سناریوهای سیاستی

۳-۵-۱ معیارهای ارزیابی

به طور کلی در هر زمینه‌ای، تصمیم‌گیری مدیران برای رسیدن به اهدافی انجام می‌شود. مدیران تلاش می‌کنند که با تصمیمات درست هر چه بیشتر اهداف مدنظرشان تامین شود. در سیستم‌های واقعی، اغلب مدیران به صورت ذهنی میزان تحقق اهداف را بررسی می‌کنند و به تصمیم‌گیری می‌پردازند. از آنجایی که تصمیم‌گیری ذهنی در بسیاری مواقع دقت کافی ندارد، بایستی معیارهایی ایجاد شود که توسط این معیارها تصمیمات ارزیابی شود. توسط این معیارها تصمیم‌گیران می‌توانند مطمئن شوند تصمیمات به درستی اتخاذ شده است. اولین سوال این است که در مدیریت منابع آب چه معیارهایی برای ارزیابی تصمیمات بایستی مورد استفاده قرار گیرد؟ در دهه‌های اخیر با ظهور رویکردهای توسعه‌ی پایدار، عموما توجه به سه بعد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی در مدیریت منابع آب و خاک مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱۸،۲۴،۱۳۴]. لذا به طور کلی می‌توان سه دسته معیار اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی را برای ارزیابی تصمیمات در نظر گرفت.

البته انتخاب معیارهای ارزیابی به سادگی ممکن نیست و تعیین معیارهای ارزیابی چالش‌هایی به همراه دارد. از جمله‌ی این چالش‌ها عبارتند از ایجاد توافق بین ذینفعان بر سر معیارها و کمی سازی معیارها [۱۷،۱۳۵،۱۳۶]، به همین جهت برای هر منطقه ممکن است این معیارها متفاوت باشند. بر اساس نتایج مطالعات کیفی در حوضه‌ی زاینده‌رود، معیارهای زیر برای ارزیابی سناریوها استفاده می‌شود:

۱. در حوضه‌ی زاینده‌رود مهم‌ترین مولفه‌ی اجتماعی متاثر از مدیریت آب که در اعتراضات توسط مردم مطرح می‌شود، بیکاری است، لذا درصد اشتغال به عنوان مهم‌ترین شاخص اجتماعی حوضه‌ی زاینده‌رود برای ارزیابی سناریوها استفاده می‌شود.

۲. یکی از شاخص‌های مالی برای اندازه گیری فعالیت‌های اقتصادی یک کشور تولید ناخالص داخلی (GDP)[1] است. GDP ارزش مالی کلیه‌ی محصولات و خدمات تولید شده در یک کشور را نشان می‌دهد. برای اندازه گیری ارزش محصولات و خدمات تولید شده در سطح یک منطقه یا استان از تولید ناخالص

[1] Gross domestic products

منطقه‌ای (GRP)[1] استفاده می‌شود [۷۰]. در این مطالعه GRP حاصل از صنعت و کشاورزی به عنوان یک شاخص اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۳. در همه‌ی حوضه‌های آبریز، افت سطح آب زیرزمینی مشهودترین نماینده ناپایداری منابع آب است. در حوضه زاینده‌رود نیز در سال‌های اخیر کاهش سطح آب زیرزمینی تا حدی پیش رفته است که در برخی مناطق منجر به نشست زمین شده است. لذا سطح آب زیرزمینی به عنوان معیار پایداری منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴. در سال‌هایی که حجم آب سطحی موجود در مخزن سد زاینده‌رود کمتر از ۳۰۰ میلیون متر مکعب می‌شود، پایداری مصارف آب، بخصوص مصرف آب شرب با تهدید مواجه می‌شود. لذا حجم آب پشت سد به عنوان یک معیار اجتماعی و نشان دهنده‌ی پایداری مصارف آب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵. از سال ۱۹۹۳ میزان دبی ورودی به تالاب گاوخونی در شرق حوضه بسیار کاهش پیدا نموده و در برخی سال‌ها به کمتر از ۵ میلیون متر مکعب رسیده است درحالی‌که این تالاب به ۶۰، ۱۴۰ و ۱۷۵ میلیون متر مکعب آب در سال به ترتیب برای حفظ حیات پرندگان، حفظ حیات جانداران آبی و حفظ همه‌ی کارکردهای اکولوژیک نیاز دارد [۱۰۴،۱۳۷]. میزان دبی عبوری از ایستگاه هیدرومتری ورزنه به عنوان میزان آب ورودی به این تالاب یکی از شاخص‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته شد.

۶. بازه‌های مختلف رودخانه‌ی زاینده‌رود به مقداری از جریان آب نیاز دارد تا کارکردهای اکولوژیک آن حفظ شود. یکی از مهم‌ترین بازه‌های رودخانه، بازه‌ی بین ایستگاه هیدرومتری لنج تا ایستگاه هیدرومتری پل چوم است که رودخانه در این بازه از شهر اصفهان می‌گذرد. به همین جهت جریان آب در ایستگاه هیدرومتری لنج هم به عنوان یک شاخص اجتماعی و هم به عنوان یک شاخص زیست‌محیطی استفاده می‌شود که دبی زیست‌محیطی مورد نیاز آن برای حفظ کارکرد اکولوژیک رودخانه حدود ۱۰ متر مکعب برثانیه معادل ۳۱۵ میلیون متر مکعب در سال است [۱۳۸].

۷. در صورتی که در حوضه آبریز، میزان مصارف آب و میزان آب خارج شده از حوضه، بیش از میزان منابع آب تجدید پذیر واقعی باشند ناپایداری منابع آب در طولانی مدت باعث می‌شود که حوضه اصطلاحا بسته

[1] Gross regional products

(یا به تعبیری ورشکسته) شود. لذا یکی از شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه، میزان مصارف آب است. بدین منظور ابتدا لازم است منابع آب تجدید پذیر واقعی محاسبه شود و میزان مصارف آب در داخل حوضه به علاوه منابع آب خروجی از حوضه، در هر سال با آن مقایسه گردد. برای محاسبه‌ی میزان منابع آب تجدید پذیر قابل بهره برداری از روش مدل آبدهی مطمئن استفاده شده که در انتهای این فصل توضیح داده می‌شود.

۳-۵-۲ روش استفاده از معیارهای ارزیابی

پس از تعیین معیارهای تصمیم‌گیری، چالش بعدی نحوه‌ی استفاده از این معیارها برای تصمیم‌گیری است. در مواقعی که چندین معیار برای ارزیابی تصمیمات وجود دارد، انتخاب بهترین تصمیم ممکن است پیچیده باشد. به همین دلیل روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره توسعه یافته‌اند تا بتوان معیارهای تصمیم‌گیری را به صورت نظام مند در پروسه‌ی تصمیم‌گیری وارد نمود [۱۳۹].

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به دو دسته تصمیم‌گیری چند هدفه و تصمیم‌گیری چند شاخصه تقسیم می‌شوند. معیارهای تصمیم یا در قالب اهداف و قیود در روش‌های تصمیم‌گیری چند هدفه (مدل‌های بهینه‌سازی) لحاظ می‌شوند و یا در قالب شاخص در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه لحاظ می‌شوند [۱۴۰]. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر از مدل بهینه‌سازی استفاده نشده است، از تصمیم‌گیری چندشاخصه برای انتخاب و اولویت بندی سناریوها استفاده می‌شود.

یکی از چالش‌های اصلی تصمیم‌گیری چند معیاره، وزن دهی به معیارهاست. به طور معمول وزن دهی به معیارها یک فرآیند ذهنی قلمداد می‌شود که وابسته به دانش و ترجیحات تصمیم‌گیران است [۱۴۱]. لکن از یک طرف توافق بین ذینفعان بر سر وزن دهی به معیارها به سختی صورت می‌گیرد و از طرف دیگر با تغییر اوزان، نتایج می‌تواند به کلی تغییر یابد. لذا ضرورت دارد مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره، همزمان با مذاکرات بین ذینفعان صورت گیرد تا نتایج مورد قبول باشد. در غیر این صورت اولویت بندی معیارها و وزن دهی به معیارها و انتخاب گزینه‌ی نهایی بر اساس این اولویت، در واقعیت نمی‌تواند مورد استفاده‌ی مدیران و تصمیم‌گیران قرار گیرد.

با توجه به توضیحات فوق، در مطالعه‌ی حاضر، ترجیح داده می‌شود از آن روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده شود که نیاز به وزن دهی و اولویت بندی معیارها ندارند. عموما روش‌های چندمعیاره‌ی غیرجبرانی نیاز به وزن دهی ندارند. در مدلهای غیر جبرانی، تصمیم‌گیرنده حاضر به تبادل بین معیارها نمی‌باشد؛

نقطه ضعف موجود در یک شاخص توسط مزیت موجود در یک شاخص دیگر جبران نمی‌شود؛ و هر شاخص جدا از سایر شاخص‌ها مبنای ارزیابی گزینه‌های رقیب قرار می‌گیرد. از جمله روش‌های غیرجبرانی عبارتند از: روش تسلط، بیشترین کمینه، بیشترین بیشینه، رضایت بخش عطفی، رضایت بخش خاص و روش حذف صفر و یک که با توجه به شرایط هر مطالعه یکی این روش‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در روش تسلط، گزینه برتر آن است که در تمام معیارها برتر از سایر گزینه‌ها باشد. در روش بیشترین کمینه، نقاط ضعف گزینه‌ها با یکدیگر مقایسه می شود. در روش بیشترین بیشینه، نقاط قوت گزینه‌ها با یکدیگر مقایسه می شود. در روش رضایت بخش عطفی یک حد پذیرش تعریف می‌شود که اگر گزینه‌ای حتی در یکی از معیارها از حد پذیرش کمتر باشد، رد می‌شود. در روش رضایت بخش خاص، حداکثر مطلوب برای هر معیار مشخص می شود که اگر گزینه ای تنها در یکی از معیارهایش به این حد مطلوب برسد یا از آن بگذرد آن را انتخاب می کنیم. در تحقیق حاضر ابتدا توسط مدل پویایی سیستم، سناریوها ارزیابی شده است. سپس یک ماتریس تصمیم ایجاد شده است که وضعیت هر معیار در مقابل هر سناریو را نشان می‌دهد (جدول ۳-۱). در نهایت با استفاده از روش‌های تسلط و رضایت بخش عطفی می‌توان به حذف سناریوهای غیربرتر و انتخاب سناریوهای برتر پرداخت.

جدول ۳-۱- نمونه ماتریس تصمیم در تصمیم‌گیری چند شاخصه

	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳
گزینه ۱			
گزینه ۲			
گزینه ۳			

۳-۶ معادلات تجربی مورد استفاده در بخش کشاورزی

برای شبیه‌سازی برخی متغیرهای بخش کشاورزی از معادلات تجربی استفاده شده که در این بخش به تفصیل توضیح داده می شود.

۳-۶-۱ محاسبه‌ی نیاز خالص آبیاری

برای محاسبه مصرف آب بخش کشاورزی، از معادلات زیر استفاده شد:

$$GIWN = NIWN/E_p \quad (۳-۱)$$

$$NIWN = \left(\sum_{c=1}^{n} CWR_c \times A_c\right) \times 10 \quad (۳-۲)$$

که در آن GIWN نیاز ناخالص آبیاری کل محصولات کشاورزی (m3)، Ep راندمان آبیاری (٪)، NIWN نیاز خالص آبیاری کل محصولات کشاورزی (m3)، CWRc نیاز آبیاری محصول c در طول دوره‌ی کشت (mm)، Ac سطح زیر کشت محصول c (ha) و n تعداد محصولات کشاورزی هستند.

نیاز آبیاری محصولات کشاورزی عموماً از معادله‌ی ۳-۳ و ۳-۴ به دست می‌آید [۱۴۲،۱۴۳]. در این معادلات CWR_c نیاز آبیاری محصول c، ET_c نیاز آب مصرفی، P_c بارش مؤثر، ET_o نیاز آبی مرجع و K_c ضریب گیاهی را نشان می‌دهد. ET_o بر اساس پارامترهای اقلیمی منطقه و K_c بر اساس نوع گیاه مورد نظر به دست می‌آیند. در تحقیق حاضر برای محاسبه‌ی ET_c از اطلاعات نرم‌افزار NETWAT توسعه یافته توسط سازمان هواشناسی ایران استفاده گردید. با توجه به اینکه مدیریت آب در سطح حوضه‌ی آبریز مدنظر این پژوهش است، در این مرحله از سایر مؤلفه‌های مؤثر در نیاز خالص آبیاری نظیر آب مورد نیاز برای آبشویی، آب مورد نیاز برای آماده‌سازی زمین و رطوبت اولیه خاک صرف نظر گردید.

$$CWR_c = ET_c - P_e \qquad ۳-۳$$

$$ET_C = ET_o \times K_c \qquad ٤-۳$$

در حوضه‌ی زاینده‌رود به دلیل تنوع اقلیمی، نیاز آبی محصولات کشاورزی در زیرحوضه‌ها، متفاوت است؛ لذا جهت ساده‌سازی، نیاز آبی هر محصول کشاورزی بر اساس زیرحوضه ای محاسبه شد که کشت آن محصول به صورت غالب در آن زیرحوضه رخ می‌دهد. به عنوان مثال برای محاسبه نیاز آبی برنج، زیرحوضه مبارکه معیار محاسبات قرار داده شد. در مورد محصولاتی مانند گندم که در چند زیرحوضه کشت می‌شود، متوسط نیاز آبی در آن زیرحوضه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نیاز خالص آبیاری میانگین برای محصولات کشاورزی زراعی ۶۴۰ میلی‌متر در دوره‌ی کشت و برای محصولات باغی ۸۳۵ میلی‌متر در سال است.

۳-۶-۲ محاسبه‌ی نیاز ناخالص آبیاری

نیاز ناخالص آبیاری مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری گیاه با در نظر گرفتن تلفات آب است. بدین منظور از عبارات متعددی ذیل مفهوم راندمان استفاده می‌شود. هدف و مقیاس مدیریت تعیین می‌کند از چه شاخصی استفاده شود، لذا ضروری است این شاخص‌ها به خوبی شناخته و به درستی از آن‌ها استفاده شود. توجه به این جزئیات از آن جهت اهمیت دارد که با تفاوت تعاریف، راندمان محاسبه شده می‌تواند بسیار تغییر کند. به عنوان مثال در مطالعه‌ای در اصفهان، راندمان کاربرد آب در مزرعه با احتساب آبشویی به عنوان تلفات، ۴۶ درصد و با عدم احتساب آبشویی به عنوان تلفات ۶۸ درصد به دست آمد [۱۴۴].

مفهوم راندمان

به طور کلی نسبت خروجی به ورودی سیستم را راندمان سیستم می‌گویند. برای سیستم‌های آبیاری، میزان آبی که به مصرف مفید گیاه رسیده است تقسیم بر کل آب ورودی در ابتدای طرح، راندمان را نشان می‌دهد [۱۴۵]. در سیستم‌های آبیاری حرکت آب از منبع تا زمانی که به مصرف گیاه برسد در سه سیستم انتقال، سیستم توزیع و سیستم آبیاری مزرعه انجام می‌شود. راندمان کلی آبیاری به صورت رابطه‌ی ۳-۵ محاسبه می‌شود که در آن E_p راندمان کلی آبیاری، E_c راندمان انتقال[1]، E_d راندمان توزیع[2] و E_a راندمان کاربرد آب در مزرعه[3] هستند [۱۴۵]. در برخی مطالعات مخزن آب نیز جزو سیستم آبیاری محسوب شده و راندمان ذخیره‌ی مخزن نیز در این رابطه ضرب شده است [۱۴۶].

$$E_p = E_c \times E_d \times E_a \qquad ۵\text{-}۳$$

انتقال آب آبیاری فرآیند حرکت آب از محل منابع آب به وسیله‌ی کانال‌های اصلی درجه یک و دو تعریف می‌شود و بر اساس بیلان ورودی و خروجی از سامانه‌ی انتقال به صورت رابطه‌ی ۳-۶ محاسبه می‌شود. در این رابطه v_c حجم آب منحرف شده و یا پمپ شده از رودخانه و یا مخازن، v_d حجم آب تحویل داده شده به شبکه توزیع آب، v_1 حجم آب ورودی از منابع دیگر به شبکه انتقال و v_2 حجم آب تحویل داده شده از سیستم انتقال به منظور استفاده غیرآبیاری است [۱۴۶]. این راندمان بیانگر نشت از مجاری انتقال آب، تبخیر مستقیم از سطح آب و یا تبخیر غیرمستقیم ناشی از تعرق گیاهان پوششی و علف‌های هرز است.

$$E_c = \frac{v_d + v_2}{v_c + v_1} \times 100 \qquad ٦\text{-}۳$$

توزیع آب به فرایند حرکت آب در مجاری بسته و یا کانال‌های درجه سه و چهار و هدایت آن به سمت قطعات زراعی گفته می‌شود. راندمان توزیع آب طبق رابطه‌ی ۳-۷ محاسبه می‌شود که در آن v_f حجم آب تحویل داده شده به مزرعه و v_3 حجم آب استفاده شده برای مصارف غیر آبیاری است.

$$E_d = \frac{v_f + v_3}{v_d} \times 100 \qquad ۷\text{-}۳$$

مفهوم راندمان کاربرد آب در مزرعه، بخشی از آب تحویل شده به مزرعه می‌باشد که به طور مفید توسط گیاه مصرف شود. در برخی مطالعات علاوه بر آب مورد نیاز تبخیر و تعرق گیاهان، نیاز آب شویی، آب مورد نیاز

[1] Conveyance efficiency
[2] Distribution efficiency
[3] Irrigation application efficiency

کنترل سرما یا گرما، تهیه بستر کشت و مبارزه با آفات نیز در نظر گرفته می‌شود [۱۴۶]. در صورتی که سیستم‌های آبیاری به خوبی طراحی و اجرا شوند، این راندمان در سیستم‌های آبیاری سطحی می‌تواند تا ۸۰ درصد و در سیستم‌های آبیاری تحت فشار می‌تواند تا ۹۰ درصد باشد [۱۴۴]. در یک تعریف ساده، راندمان کاربرد آب در مزرعه طبق رابطه ۳-۸ محاسبه می‌شود [۱۴۶]. در این رابطه V_m حجم آب ذخیره شده در محدوده توسعه ریشه گیاه و V_f حجم آب ورودی به واحدهای زراعی یا مزارع است.

$$E_a = \frac{v_m}{v_f} \times 100 \qquad ۸-۳$$

راندمان کاربرد، یکنواختی و کفایت آبیاری را در تمام نقاط مزرعه نشان نمی‌دهد و فرض می‌شود که تمام مزرعه به اندازه کافی آب خورده است. این راندمان نمی‌تواند معرف راندمان واقعی آبیاری باشد. به همین جهت عمق آب در یک چهارم مساحت اراضی که کمترین عمق نفوذ آب را داشته، به عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود [۱۴۷].

در نگاه کلاسیک و در بعد مزرعه، به آبی که به صورت نفوذ، رواناب یا تبخیر از سیستم آبیاری خارج می‌گردد و به مصرف گیاه نمی‌رسد، تلفات آب اطلاق می‌شود. لکن در بعد حوضه‌ی آبریز، بخشی از آب به صورت رواناب یا نفوذ به سیستم منابع آب بر می‌گردد و لذا تلفات محسوب نمی‌شود. اگر چه راندمان آبیاری شاخص مناسبی برای مقایسه‌ی فنی سامانه‌های مختلف آبیاری در مزرعه است، در مقیاس‌های فراتر از مزرعه و بخصوص برای مدیریت آب در مقیاس حوضه آبریز شاخص مناسبی نیست [۱۴۴].

راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی حوضه‌ی زاینده‌رود

برای محاسبه‌ی راندمان ابتدا میزان راندمان در سه بخش انتقال، توزیع و کاربرد مزرعه از مطالعات قبلی استخراج شده است (جدول ۳-۲). در این جدول نتیجه‌ی مطالعاتی ارائه شده است که به ارزیابی راندمان در سیستم‌های واقعی پرداخته‌اند. اعداد جدول یک بازه از راندمان‌های محتمل به دست می دهد، سپس در هنگام کالیبراسیون، میزان راندمان آب در سیستم‌های کشاورزی حوضه‌ی زاینده‌رود تخمین زده شده و سطر آخر جدول زیر به دست آمده است.

جدول ۳-۲- راندمان مصرف آب در سیستم‌های مختلف آبیاری (درصد)

عنوان تحقیق	توضیحات	راندمان انتقال	راندمان توزیع	راندمان کاربرد (چارک پایین)	راندمان کلی
ارزیابی راندمان سیستم‌های آبیاری مشهد [۱۴۸]	آبیاری قطره‌ای		۸۸	۶۷	
	آبیاری غرقابی		۷۰	۵۶	
ارزیابی طرح‌های آبیاری تحت فشار اجرا شده در اصفهان [۱۴۹]	سیستم‌های آبیاری بارانی (ویلمو، کلاسیک)			۵۱	
	آبیاری قطره‌ای			۳۷	
بررسی راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی استان یزد [۱۵۰]	آبیاری سطحی گندم و پسته	۷۵		۵۲	
برآورد راندمان انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری شاوور [۱۵۱]		۶۰	۷۱		
مشاور یکم حوضه زاینده‌رود [۱۵۲]					۴۴.۴
آمار آب منطقه‌ای استان اصفهان	کانال‌های انتقال آب	۶۶			
ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران [۱۴۵]	بارانی			۶۲.۱	
	قطره‌ای			۷۱.۱	
	سطحی			۵۳.۶	
	شبکه‌های مدرن		۸۲.۵		
	شبکه‌های سنتی		۶۵		
جمع بندی (کالیبراسیون)	**تحت فشار**	***۶۷**	**۸۸**	**۶۷**	**۴۰**
	سطحی		**۷۰**	**۵۳**	**۲۵**

* راندمان انتقال فقط برای مصارفی که از منبع آب سطحی برداشت می‌شود اعمال می‌گردد.

طبق گزارش مطالعات بهنگام سازی حوضه گاوخونی، میانگین مصرف آب در هر هکتار از اراضی کشاورزی این حوضه برابر ۱۷۱۸۵ مترمکعب است [۱۵۲]. با در نظر گرفتن ۶۴۰۰ مترمکعب در هکتار به عنوان متوسط نیاز خالص، ۰.۵۳ درصد راندمان کاربرد آب در مزرعه و ۰.۷۰ درصد راندمان توزیع آب برای سیستم آبیاری سطحی، میانگین مصرف آب در هکتار معادل ۱۷۲۵۰ مترمکعب به دست می‌آید که با نتیجه‌ی گزارش فوق همخوان است.

۳-۶-۳ برگشت آب در سیستم‌های کشاورزی

در کشاورزی با آبیاری سطحی به شیوه‌ی سنتی، بخش زیادی از منابع آب تخصیص یافته به اراضی کشاورزی از طریق نفوذ عمقی به آبخوان‌ها، نفوذ زیرسطحی و یا رواناب، به منابع آب برگشت داده می‌شود و ضروری است این برگشت آب در محاسبات لحاظ گردد. سیستم‌های آبیاری تحت فشار، اگر به صورت اصولی طراحی شوند، به گونه‌ای عمل می‌کنند که اولاً میزان آب رها شده روی خاک کمتر از سرعت نفوذ آب در خاک

باشد، فلذا رواناب در مزرعه و باغات ایجاد نمی‌شود؛ ثانیاً ساعت کارکرد سیستم‌های آبیاری به گونه‌ای تنظیم می‌شود که بیشتر از عمق ریشه‌ی گیاه مرطوب نشود، فلذا نفوذ عمقی اتفاق نمی‌افتد. در نتیجه در این سیستم‌ها هیچ برگشت آبی رخ نخواهد داد. لکن در حوضه‌ی زاینده‌رود این سیستم‌ها راندمان بالایی ندارد و بخشی از مصرف آب در این سیستم‌ها به منابع آب بر می‌گردد. برای هر یک از سیستم‌های آبیاری تحت فشار و سطحی در هر یک از مراحل انتقال، توزیع و کاربرد یک ضریب برگشت آب تخمین زده شد. در کل به طور متوسط حدود ۳۱ درصد از برداشت آب کشاورزی به منابع آب زیرزمینی بر می‌گردد.

۳-۶-۴ محاسبه GRP بخش کشاورزی

برای محاسبه GRP بخش کشاورزی ابتدا سطح زیرکشت هر محصول کشاورزی در عملکرد آن محصول ضرب شده است و میزان تولید آن محصول

از معادلات زیر استفاده شده است:

$$\mathrm{GRP}_c = \mathrm{Production}_c \times Price_c \qquad ۹\text{-}۳$$

$$Production_c = \mathrm{Area}_c \times Yield_c \qquad ۱۰\text{-}۳$$

که در آن GRPc میزان تولید ناخالص محصول c (دلار)، Productionc میزان تولید محصول c (کیلوگرم)، Price c قیمت محصول c (دلار بر کیلوگرم)، Area c سطح زیر کشت محصول c (هکتار) و Yield c میزان عمکرد محصول c (کیلوگرم بر هکتار) هستند. با توجه به تغییر قیمت محصولات کشاورزی در طول زمان از شاخص CPI برای تعدیل قیمت استفاده شده است. با توجه به تعداد زیاد محصولات کشاورزی، ابتدا محاسبات فوق در نرم افزار اکسل انجام شده و متوسط وزنی متغیرهای فوق وارد مدل پویایی سیستم شده است.

۳-۷ محاسبه منابع آب تجدیدپذیر واقعی

همان طور که در قسمت شاخص‌ها بیان شد، یکی از شاخص‌های پایداری حوضه، میزان مصارف آب است که بایستی از میزان منابع آب تجدید پذیر واقعی کمتر باشد. بدین منظور نیاز است حجم منابع آب تجدیدپذیر واقعی محاسبه شود. باید دقت نمود که میزان برداشت تجمعی از منابع آب در طول زمان، نمی‌تواند از میزان ورودی تجمعی بیشتر شود [۱۰]؛ در واقع حوضه نمی‌تواند آب تولید کند؛ لذا منابع آب تجدیدپذیر واقعی، حداکثر می‌تواند برابر با متوسط آب تجدیدپذیر باشد.

۳-۷-۱ مدل بهره‌برداری منابع آب

تحقیقات متعدد، مدل‌های کامپیوتر محور نوینی را برای مدیریت و بهره‌برداری از مخازن و سیستم‌های رودخانه‌ها توسعه داده‌اند. این سیستم‌ها عمدتا بر اساس اصول مهندسی بهره‌برداری مخزن عمل می‌کنند به این صورت که تلاش می‌کنند مخزن به اندازه کافی پر باشد تا بتواند نیازها را تأمین کند و به اندازه‌ی کافی خالی باشد تا بتواند برای کنترل سیل مورد استفاده قرار گیرد. در حال حاضر اکثر سیستم‌های بهره‌برداری و برنامه‌ریزی مخازن، با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی صورت می‌گیرد و می‌تواند تحت مقادیر جریان ورودی متعدد، شرایط ذخیره و تقاضای متعدد، منعطف عمل کند. در هر دو نوع مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی نیاز است که مشکلات برنامه‌ریزی یا بهره‌برداری به صورت ریاضی فرموله شوند. نوونتا[1] و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که با وجود اینکه اکثر مسائل مرتبط با برنامه‌ریزی و بهره‌برداری مخزن می‌تواند به صورت فرمول‌های ریاضی بیان شود (تحت عنوان ساختاریافته) برخی مسائل نمی‌توانند به صورت فرمول بیان شوند (تحت عنوان نیمه ساختار یافته یا ساختار نیافته). مسائل دیگر نیمه ساختار یافته یا ساختار نیافته، وقتی اتفاق می‌افتد که کمبود داده یا دانش وجود داشته باشد، متغیرها قابل کمی شدن نباشند و یا بسیار پیچیده باشند و شاید اندرکنش نامشخصی داشته باشند. همچنین وجود ذینفعان متعدد با ارزش‌های متفاوت و نگاه‌های متفاوت به مسئله می‌تواند کار را سخت‌تر کند. وی پیشنهاد می‌کند در این شرایط مدل آبدهی مطمئن بهتر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۱۵۳]. در حوضه زاینده‌رود به دلیل اینکه ذینفعان متعدد، با نگاه‌های متفاوت به مسئله وجود دارند، داده‌های دقیق از میزان مصارف در دست نیست و مسائل اجتماعی در مدیریت آب نقش به سزایی دارند، از مدل آبدهی مطمئن برای تعیین بهره برداری از منابع آب استفاده می‌گردد.

۳-۷-۲ مدل آبدهی مطمئن

اگرچه مدل آبدهی مطمئن معمولا برای بهره‌برداری از مخازن سد استفاده می‌شود، ولی با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود می‌توان برای کلیه منابع از جمله منابع آب زیرزمینی استفاده نمود. آبدهی به جریانی اطلاق می‌شود که در دوره‌های آینده با اعتبار نسبتا بالا به منظور تأمین نیازها از مخزن قابل رهاسازی باشد. بیشترین جریانی که مخزن سد با تنظیم جریان‌های ورودی به آن برای نیازهای پایین‌دست می‌تواند تأمین کند و همواره قادر به تأمین آن باشد را آبدهی مطمئن یا قابل اطمینان می‌گویند. البته آبدهی مطمئن تنها در صورتی صد در صد قابل اعتماد

[1] Nkwonta

است که در سال‌های آینده بهره‌برداری از مخزن، دوره‌هایی بحرانی‌تر از دوره‌های کم آبی که در آمار گذشته وجود داشته و آبدهی مطمئن بر اساس آن تعیین شده است، بوجود نیاید.

در مدل آبدهی، دو نوع رابطه برای برقراری تعادل حجمی در ذخیره‌ی برون سالی و درون سالی وجود دارد. وقتی یک مخزن، آب ذخیره شده در انتهای هر سال را برای سال بعد استفاده نماید، نیاز به تحلیل دراز مدت داده‌های سالانه، یا تحلیل‌های برون سالی است. در این تحقیق به واسطه‌ی اینکه تعیین بهره‌برداری ماهانه مورد نظر نیست، از تحلیل درون سالی صرف نظر گردید.

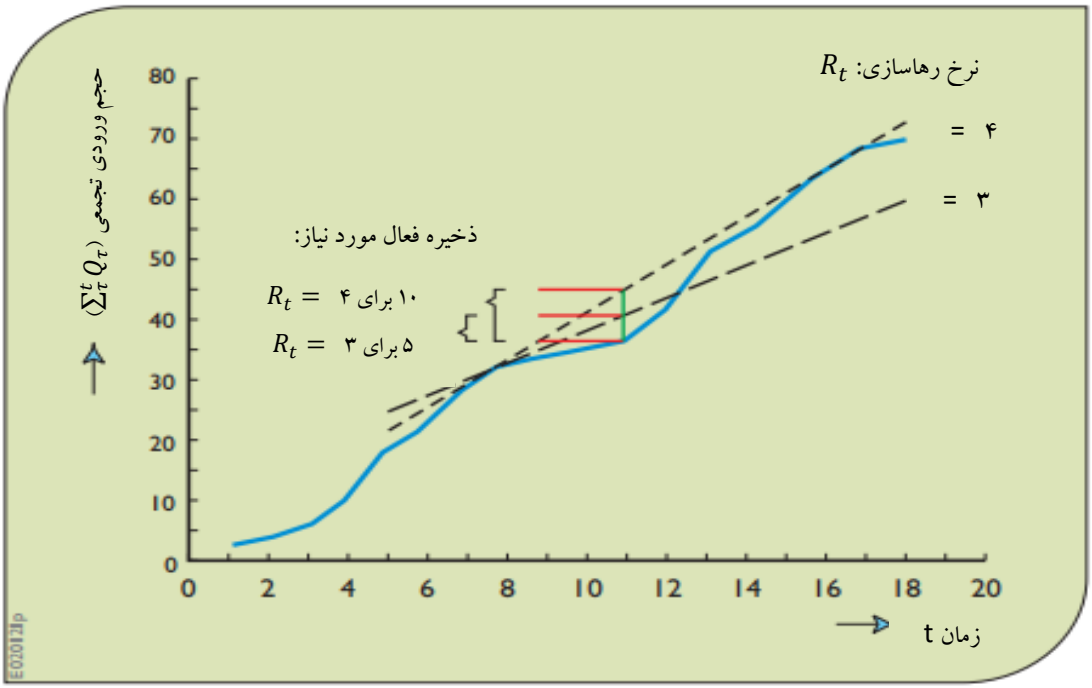
میزان آبدهی مطمئن قابل دسترسی از مخازن به مجموع ظرفیت ذخیره فعال مخازن، سری زمانی جریان ورودی و نیازها بستگی دارد. در سیستم‌های منابع آب ساده، سه روش دیاگرام توده‌ای[1] تحلیل قله متوالی[2] و بهینه‌سازی را می‌توان جهت تعیین بیشینه آبدهی مطمئن به کار برد [۱۰]. در اینجا به دلیل اینکه مدل آبدهی برای یک حوضه‌ی آبریز استفاده می‌شود (نه یک مخزن آب)، ابتدا آبدهی مطمئن برابر با متوسط منابع آب تجدیدپذیر سالیانه (بیشینه آبدهی مطمئن ممکن) در نظر گرفته می‌شود، سپس بر اساس این آبدهی مطمئن، حجم مخزن مورد نیاز تعیین می‌گردد. در صورتی که محدودیت‌های موجود امکان استفاده از چنین ظرفیتی را بدهد، نیازها بر اساس این حجم آب تعیین می‌گردد. در غیر این صورت بایستی بر اساس حجم مخزن موجود، میزان آبدهی مطمئن را محاسبه کنیم.

۳-۷-۳ تخمین حجم مخزن

یکی از روش‌های تعیین حجم ذخیره فعال مخزن، روش دیاگرام توده‌ای بوده است. این روش در واقع پیدا نمودن بیشترین فاصله‌ی تجمعی مثبت بین رهاسازی از مخزن (به میزان مطلوب) و جریان ورودی به مخزن است. در این روش با یک مخزن پر شبیه‌سازی شروع می‌شود و هر مرحله، جریان ورودی و رهاسازی جمع و تفریق می‌شود. انجام این فرآیند به مدت دو دوره از داده‌های ورودی موجود، بیشترین حجم کمبود را تعیین می‌کند. این مقدار معادل حجم ذخیره‌ی مورد نیاز مخزن است. منطق روش بیان شده به عنوان یک مثال در شکل ۳-۴ نشان داده شده است [۱۰]. در این مثال، در صورتی که نرخ رهاسازی ۴ باشد، حجم مورد نیاز مخزن ۱۰ می شود و در صورتی که نرخ رهاسازی ۳ باشد، حجم مورد نیاز مخزن ۵ می شود.

---

[1] Mass diagram
[2] Sequent peak analysis



شکل ۳-٤- مثالی از تعیین حجم ذخیره فعال مخزن به روش دیاگرام توده‌ای [۱۰]

برای به دست آوردن این حجم از معادله‌ی ۳-۱۱ استفاده می‌شود.

$$K_a = maximum\left[\sum_{t=i}^{j}(R_t - Q_t)\right] \qquad where\ 1 \le i \le j \le 2T \qquad ۱۱\text{-}۳$$

در این معادله k_a ظرفیت فعال مورد نیاز مخزن، R_t میزان برداشت از مخزن در گام زمانی t، Q_t میزان ورودی به مخزن در گام زمانی t و T تعداد گام‌های زمانی را نشان می‌دهند. طبق این معادله، در واقع حجم فعال مخزن برابر است با بیشینه‌ی کمبودهای تجمعی که بین دو بازه ممکن است رخ دهد.

۳-۸ جمع‌بندی

در پژوهش حاضر ابتدا تلاش می‌شود وضعیت کلی سیستم منابع آب شناخته شود، سپس مهمترین بخش این سیستم مدل‌سازی گردد و در نهایت با استفاده از شاخص‌های ارزیابی، سناریویی انتخاب شود که اهداف اجتماعی، توسعه اقتصادی و حفاظت زیست‌محیطی را بهبود دهد. با توجه به محدودیت‌های روش‌های کمی، برای شناخت کل سیستم از روش کیفی تئوری زمینه‌ای استفاده شده است. در این روش از نمونه گیری متوالی گلوله برفی برای انتخاب کارشناسان، مدیران و ذینفعان استفاده شده و به از مصاحبه و سنجه‌های غیر واکنشی برای جمع‌آوری داده استفاده شده است. در نهایت خروجی این مرحله گزارشی است که وضعیت کلی سیستم را نشان می‌دهد. این مطالعات کیفی به تعریف مسئله، شناخت مرزهای سیستم و تشخیص فرضیه‌های دینامیکی سیستم

کمک می‌کند. در ادامه پس از شناخت سیستم، فرضیه‌های دینامیکی کشف شده در مرحله‌ی قبل و روابط بین سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی شبیه‌سازی شده است. در این مرحله از نرم افزار Ithink برای مدل‌سازی استفاده شده و از آزمون تکرار رفتار، ارزیابی ساختار و سازگاری واحدها برای صحت سنجی استفاده شده است.

مدل توسعه یافته برای ارزیابی سناریوهای متعدد سیاستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای ارزیابی این سناریوها، شاخص‌های اشتغال، GRP، جریان آب در رودخانه، جریان ورودی به تالاب گاوخونی، سطح آب زیرزمینی، ذخیره آب پشت سد و میزان مصارف آب در نظر گرفته شده‌اند. برای حذف اثر تورم در محاسبه‌ی GRP نیز از شاخص CPI استفاده شده است. همچنین برای استفاده از شاخص میزان مصرف آب، نیازاست میزان آب تجدید پذیر واقعی در حوضه به دست آید، لذا با استفاده از مدل آبدهی مطمئن میزان منابع آب تجدیدپذیر قابل بهره برداری محاسبه شد.

فصل چهارم:
معرفی منطقه مورد مطالعه: حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود

۴-۱ سیمای کلی حوضه

حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود با مساحت ۲۶۹۷۲ کیلومترمربع، حدود ۶۳٪ وسعت حوضه آبریز گاوخونی را شامل می‌شود. حوضه گاوخونی نیز خود جزئی از حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی ایران است [۱۱۵]. این حوضه از شمال به حوضه‌ی آبریز دریاچه نمک، از شرق به حوضه‌های دق سرخ و کویر سیاه کوه، از جنوب به حوضه‌ی کویر ابرقو و از غرب و جنوب به حوضه‌ی آبریز کارون و تا حدودی حوضه‌ی آبریز بختگان-مهارلو محدود می‌شود. حوضه آبریز گاوخونی به چهار زیرحوضه تقسیم می‌شود که یکی از آن‌ها حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود است. خود حوضه‌ی زاینده‌رود به ۱۶ محدوده مطالعاتی با کد ۴ رقمی تقسیم‌بندی شده است (شکل ۴-۱). از این ۱۶ محدوده‌ی مطالعاتی، سه محدوده در غرب حوضه آبخوان غیرفعال دارند و ۴ محدوده‌ی نجف‌آباد، لنجانات، اصفهان-برخوار و کوهپایه-سگزی فعال‌ترین آبخوان‌ها را دارا هستند. مرتفع‌ترین نقطه‌ی حوضه کوه کربوش با ارتفاع ۳۹۷۴ متر از سطح دریا و کم ارتفاع‌ترین نقطه حوضه تالاب گاوخونی با ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد [۱۰۷].

بیشترین بارش در حوضه در ایستگاه چلگرد با میانگین بارش سالانه بلند مدت ۱۴۶۳ و کمترین بارش در ایستگاه‌های ورزنه و کوهپایه با میانگین سالانه بلندمدت به ترتیب ۷۹ و ۸۳ میلیمتر اتفاق افتاده است. میانگین بارش کل حوضه‌ی آبریز حدود ۱۹۰ میلی متر است که ۴۰ درصد سهم مناطق کوهستانی و ۶۰ درصد سهم مناطق دشت

می‌باشد. کمترین دمای متوسط سالانه‌ی حوضه ۹.۱ سانتیگراد در ایستگاه تبخیر سنجی قلعه شاهرخ و بیشترین دمای متوسط سالانه ۱۷.۹ سانتی گراد در ایستگاه تبخیرسنجی حسن آباد محاسبه شده است. دمای متوسط سالانه بلند مدت کل حوضه ۱۳.۵ درجه سانتیگراد است. با توجه به متوسط بارش و دما در حوضه مطالعاتی، این حوضه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک سرد می‌باشد [۱۵۴].

شکل ٤-۱- شمای کلی حوضه‌ی زاینده‌رود [۱۰۷]

سد زاینده‌رود در سال ۱۳۴۹ مورد بهره‌برداری قرار گرفت که در ۱۱۰ کیلومتری غرب اصفهان قرار دارد. حجم مخزن این سد ۱۴۵۰ میلیون مترمکعب، مساحت دریاچه‌ی آن ۴۸ کیلومترمربع و حجم مؤثر آن ۱۲۶۰ میلیون مترمکعب است. رودخانه‌ی زاینده‌رود که مهم‌ترین رودخانه‌ی مرکزی ایران است از ارتفاعات زردکوه بختیاری در حوضه‌ی آبریز سد زاینده‌رود سرچشمه گرفته و نهایتاً با عبور از شهر اصفهان به باتلاق گاوخونی ختم می‌گردد [۱۰۷]. در سال ۱۳۶۴ مساحت دارای آب کلیه‌ی پهنه‌های آبی از سرچشمه‌ها تا تالاب گاوخونی، ۴۹۴۷۴ هکتار بوده است، لکن در طول دهه‌های گذشته به دلیل خشک شدن رودخانه، این مساحت کاهش یافته است به طوری که بعد از ۱۸ سال در سال ۱۳۸۲ این مساحت به ۷۲۵۶ هکتار و در سال ۱۳۹۲ این مساحت به ۴۱۹۶ هکتار رسیده است [۱۵۵].

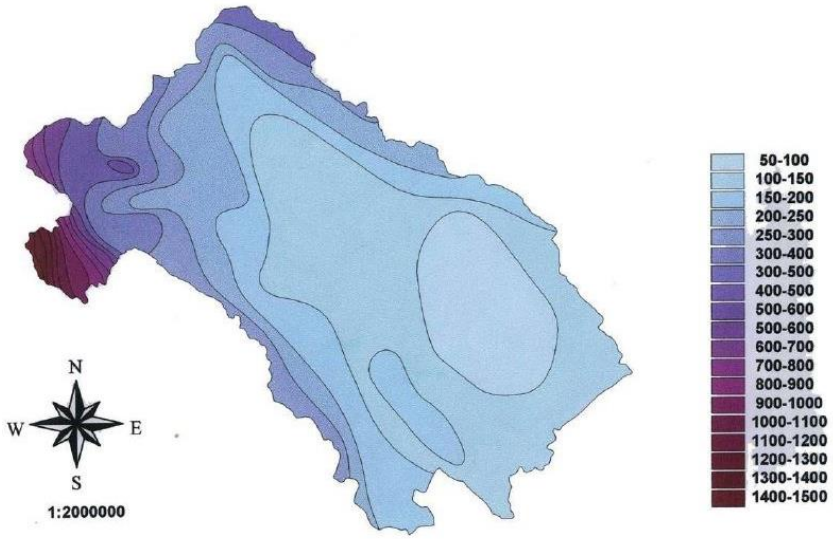
از ۲۶۹۷۲ کیلومترمربع مساحت حوضه زاینده‌رود، حدود ۹۳٪ در محدوده‌ی استان اصفهان و ۷٪ آن نیز در محدوده‌ی استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. بر طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت حوضه حدود ۴۱۷۴۰۰۰ نفر بوده است که تنها ۲٪ آن در محدوده‌ی استان چهارمحال و بختیاری ساکن هستند [۱۵۶].

۴-۲ تاریخچه‌ی خشکسالی‌ها در حوضه آبریز زاینده‌رود

شناخت تاریخچه‌ی خشک سالی‌های اصفهان و حوضه‌ی زاینده‌رود، کمک می‌کند تا وضعیت منابع آب این حوضه بهتر تحلیل گردد و می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد. در طول تاریخ، خشکسالی‌های متعددی در اصفهان ثبت شده است از جمله خشک سالی ۳۴۵ هجری شمسی که منجر به شیوع وبا گردید، خشک‌سالی ۱۱۱۶ که منجر به قحطی شدید شد، خشک‌سالی ۱۱۵۰ که باغات در آن خشکید و خشکسالی‌های سده‌ی اخیر که قحطی به همراه داشتند [۱۵۷]. مثال در سال ۱۲۴۹ (۱۲۸۷ قمری) خشک سالی شدیدی در کل ایران رخ داد. از یکی دو سال پیش از این قحطی بارندگی کم شده بود، ولی در زمستان ۱۲۴۹ هیچ مقدار بارشی رخ نداده و در برخی نقاط حتی یک قطره باران نیامد تا جایی که در این قحطی اصفهان بر اثر مرگ و میر ناشی از گرسنگی و مهاجرت یک سوم جمعیت خود را از دست داد. علت اصلی این قحطی خشکسالی‌های پی در پی بوده است ولی در کتب تاریخی احتکار، فقدان اعتماد و همدلی بین مردم و حاکمان و بی کفایتی و فساد عمال حکومت از جمله علل جانبی این قحطی قلمداد شده است که پیامدهای اجتماعی و اقتصادی قحطی را افزایش داده است و نا امنی به وجود آورده است. این قحطی به قدری شدید بود که مواردی از خوردن اجساد و دزدیدن و خوردن زنان و کودکان در آن گزارش شده است [۱۵۸]. وجود این موارد در تاریخ زاینده‌رود نشان می‌دهد کم آبی‌های رخ داده در طول چند دهه‌ی اخیر می‌تواند نوعی خشکسالی باشد و نباید این کم آبی‌ها را الزاما به تغییرات اقلیم نسبت داد.

۴-۳ منابع آب حوضه زاینده‌رود

میزان بارش در کل حوضه زاینده‌رود حدود ۵۷۸۷ میلیون مترمکعب در سال است که از این مقدار ۲۲۷۱ میلیون مترمکعب در بالادست سد زاینده‌رود در منطقه‌ای به وسعت ۴۱۱۲ کیلومترمربع و ۳۵۱۶ میلیون مترمکعب در پایین‌دست سد در منطقه‌ای به وسعت ۲۲۸۵۰ کیلو مترمربع رخ می‌دهد [۶۲]. شکل ۴-۲ نمایی کلی از منحنی هم بارش در حوضه آبریز زاینده‌رود برای سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ را نشان می‌دهد.



شکل ٤-۲- منحنی هم بارش حوضه آبریز زاینده‌رود در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ [١٦٤]

سه رودخانه‌ی زاینده‌رود، پلاسجان و سمندگان از شاخه‌های اصلی رودخانه‌ی زاینده‌رود هستند که جمعاً به طور متوسط حدود ۹۹۷ میلیون مترمکعب آب در سال آورده دارند. آورده‌ی این رودخانه‌ها به سد زاینده‌رود می‌ریزد. به طور متوسط سالیانه ۳۴۶ میلیون مترمکعب از بارندگی رخ داده در بالادست سد زاینده‌رود، به منابع آب زیرزمینی نفوذ می‌کند. در پائین‌دست سد زاینده‌رود چند رودخانه‌های فصلی از جمله مرغاب و شور وجود دارند که به رودخانه‌ی زاینده‌رود می‌ریخته‌اند، اما در دهه‌های اخیر هم به علت خشک‌سالی و هم به دلیل طرح‌های آبخیزداری و احداث بندهای انحرافی، عملاً این رودخانه‌های فصلی به رودخانه‌ی زاینده‌رود نمی‌ریزند، بنابراین در مطالعات از اهمیت بالایی برخوردار نیستند. در مقابل در پایین‌دست سد زاینده‌رود، تغذیه آبخوان از بارش و رودخانه و اندرکنش بین رودخانه و آبخوان‌ها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از مجموع بارش رخ داده در پایین‌دست سد زاینده‌رود، به طور متوسط ۹۳۳ میلیون مترمکعب به منابع آب زیرزمینی نفود می‌کند [۶۲].

توزیع آب سطحی در حوضه توسط دو شبکه‌ی قدیمی نکوآباد و آبشار و ۳ شبکه‌ی جدید برخوار رودشت و مهیار و رودخانه صورت می‌گیرد. همچنین شبکه‌ی رودشت یک شبکه‌ی انتقال آب سنتی بود که با یک سیستم جدید جایگزین شده است [۱۵۹].

منابع آب زیرزمینی از منابع بسیار مهم و حیاتی حوضه آبریز زاینده‌رود به شمار می‌روند که از طریق چاه‌ها، قنوات و چشمه‌ها بهره‌برداری می‌شوند. در کل محدوده مطالعاتی حوضه آبریز زاینده‌رود از ۱۶ محدوده مطالعاتی ۱۳ محدوده، دارای آبخوان‌های فعال هستند. آبخوان‌های سه زیرحوضه چلگرد-قلعه شاهرخ، یان چشمه و بن و سامان به دلیل قرار گرفتن در منطقه کوهستانی و ضخامت آبرفت‌های کم عملاً در محاسبات حوضه از اهمیت

زیادی برخوردار نیستند و به همین علت آبخوان‌های آن‌ها غیر فعال در نظر گرفته می‌شود. همچنین ۴ آبخوان لنجانات، نجف آباد، اصفهان-برخوار و کوهپایه سگزی بیشترین اندرکنش را با رودخانه‌ی زاینده‌رود داشته و بیشترین بهره‌برداری در این محدوده‌ها صورت می‌گیرد. مساحت کل آبخوان‌های حوضه زاینده‌رود ۹۷۴۵ کیلومترمربع است که با در نظر گرفتن ضخامت متوسط و ضریب ذخیره هر آبخوان، ظرفیت ذخیره کل آبخوان‌های حوضه‌ی زاینده‌رود حدود ۵۶۵۵۰ میلیون مترمکعب به دست می‌آید. البته بخش زیادی از منابع آب زیرزمینی بخصوص در زیرحوضه‌ی کوهپایه-سگزی شور بوده و قابلیت استفاده ندارند.

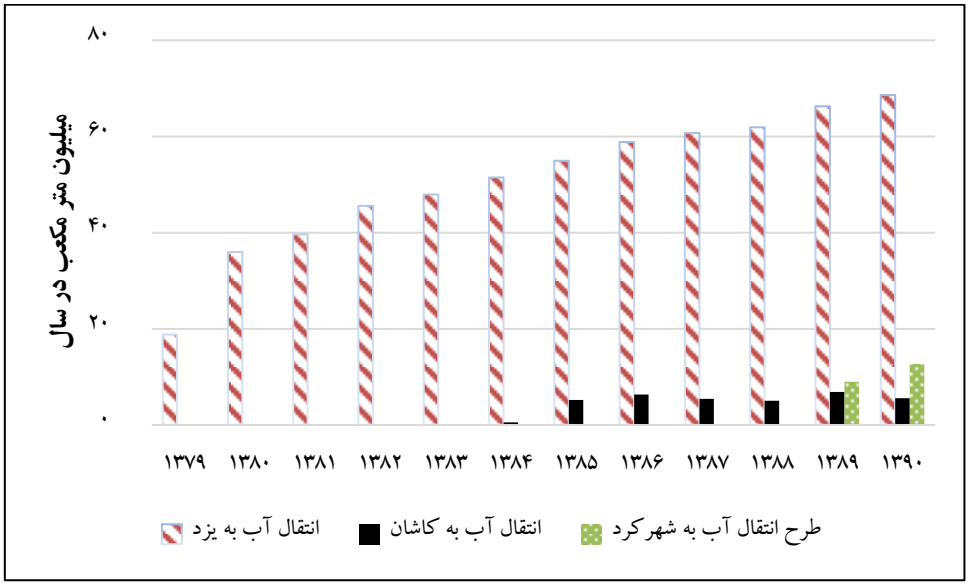
۴-۳-۱ انتقال آب ورودی و خروجی

در حال حاضر پروژه‌های انتقال آب به طور میانگین ۶۳۳ میلیون مترمکعب آب را سالیانه به حوضه آبریز زاینده‌رود منتقل نموده‌اند. مشخصات تونل‌های انتقال آب در حال بهره‌برداری و در طراحی شده در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱- مشخصات تونل‌های انتقال آب به حوضه زاینده‌رود [۱۶۱،۱۶۰،۷۰]

نام تونل	طول تونل (متر)	سال بهره‌برداری	میانگین ظرفیت انتقال (میلیون مترمکعب)
تونل اول کوهرنگ	۲۷۰۰	۱۳۳۲	۳۴۰
تونل دوم کوهرنگ و تونل ماربران	۱۳۱۸۷	۱۳۶۵	۲۵۰
تونل چشمه لنگان	۲۵۰۶۵	۱۳۸۸	۱۶۴
تونل سوم کوهرنگ	۲۴۰۰۰	-	۲۶۸
تونل بهشت آباد	۶۰۰۰۰	-	۲۵۰
جمع			۱۲۷۲

حوضه زاینده‌رود یک حوضه‌ی بسته است، لکن بخشی از منابع آب این حوضه توسط خطوط انتقال آب به شهرهای دیگر منتقل می‌گردد. در مجموع سالیانه حدود ۸۷ میلیون مترمکعب آب به شهرهای یزد، کاشان و شهرکرد منتقل می‌شود. نمودار شکل ۴-۳ میزان منابع آب انتقال یافته این شهرها طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد.



شکل ٤-۳- منابع آب انتقال یافته به خارج از حوضه‌ی زاینده‌رود [۱٦٥]

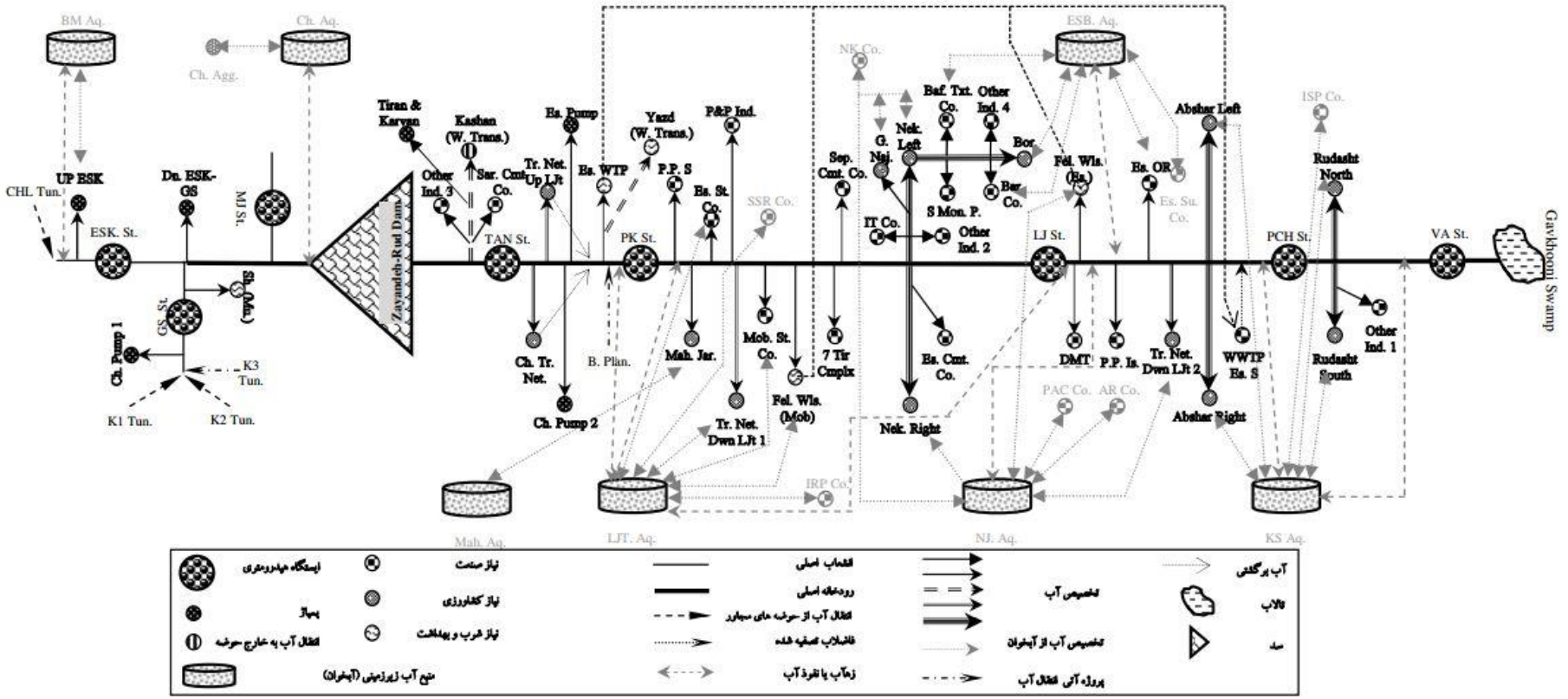
همچنین طرح انتقال آب بن-بروجن در دست اجراست که هدف این طرح انتقال سالیانه ۴۱ میلیون مترمکعب آب از پایین‌دست سد زاینده‌رود (محدوده شهرهای بن و سامان) به حوضه کارون با هدف تأمین آب شرب و صنعت شهرهای بروجن، فرادنبه، سفید دشت و سایر روستاهای مسیر می‌باشد.

۴-۴ مصارف آب در حوضه زاینده‌رود

در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود، همه‌ی انواع مصارف کشاورزی، صنعت، شهری و محیط‌زیست وجود دارد. متوسط میزان برداشت آب برای انواع مصارف حوضه زاینده‌رود در دوره زمانی ۹۰-۱۳۷۰ در جدول ۴-۲ ارائه شده است. همچنین شکل ۴-۴ نمایی کلی ازمصرف کننده‌ها و منابع آب حوضه‌ی زاینده‌رود را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲- متوسط برداشت منابع آب حوضه زاینده‌رود در طول دوره ۱۳۹۰-۱۳۷۰ [۶۲]

مصرف کننده	کشاورزی	شرب	صنعت	محیط‌زیست	مجموع
میانگین برداشت (میلیون مترمکعب)	۳۸۹۴.۸۶	۲۵۶.۸۹	۷۰.۷۱	۹۷.۳۱	۴۳۱۹.۷۷
درصد برداشت	۹۰.۱۶	۵.۹۴	۱.۶۴	۲.۲۵	۱۰۰

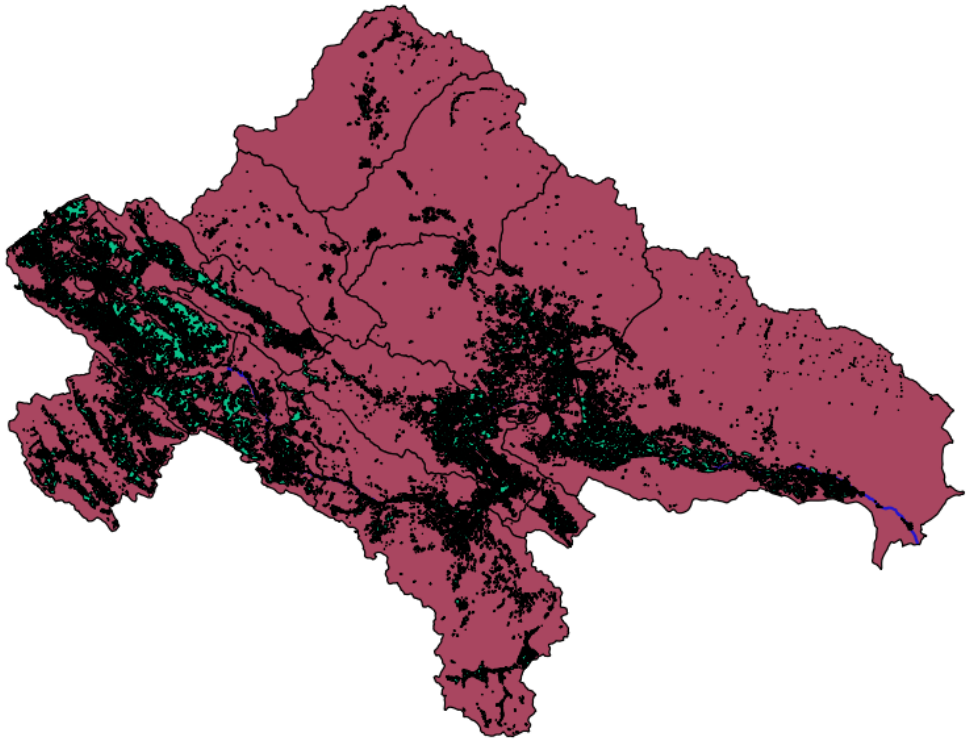


علامت اختصاری	توضیح	علامت اختصاری	توضیح	علامت اختصاری	توضیح	علامت اختصاری	توضیح
Ki Tun.	تونل کوهرنگ شماره i	Es. St. Co.	ذوب آهن اصفهان	Nek. Right	کانال راست نکوآباد	VA St.	ایستگاه ورزنه
CHL Tun.	تونل چشمه‌لنگان	P&P Ind.	شرکت صنایع خمیر و کاغذ اترک	Es. Cmt. Co.	شرکت سیمان اصفهان	Aq.	آبخوان
Ch. Pump i	پمپاژ iام در استان چهارمحال و بختیاری	Tr. Net. UP LJt	انهار سنتی بالادست لنجانات	DMT	شرکت تولید مواد اولیه الیاف مصنوعی (دی‌ام‌تی)	BM	بوبین-میاندشت
Sh. (Mu.)	شهرکرد (نیاز شرب و بهداشت)	Mob. St. Co.	مجتمع فولاد مبارکه	P.P. Is.	نیروگاه اسلام‌آباد	IRP	شرکت فرآورده‌های نسوز ایران
Kashan (W. Trans.)	کاشان (انتقال آب)	Fel. Wls. (Mob) , (Es.)	چاه‌های فلمن (مبارکه) ، (اصفهان)	WWTP Es. S	تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان	SSR	شرکت سبا فولاد احیاء
Other Ind.	دیگر صنایع	7Tir Cmplx	مجتمع ۷ تیر	Es. OR	پالایشگاه اصفهان	NK	کاشی نیلو
Sar. Cmt. Co.	شرکت سیمان ساروج	Sep. Cmt. Co.	شرکت سیمان سپاهان	G.W.	آب زیرزمینی (آبخوان)	PAC	شرکت پلی‌اکریل
Tr. Net.	انهار سنتی	Tr. Net. Dwn LJt	انهار سنتی پایین‌دست لنجانات	GS St.	ایستگاه قلعه‌شاهرخ	AR	شرکت نسوزآذر
Ch.	چهارمحال و بختیاری	Nek. Left	کانال چپ نکوآباد	ESK. St.	ایستگاه اسکندری	Es. B.	اصفهان-برخوار
Es. Pump	پمپاژ اصفهان	IT Co.	شرکت مخابرات ایران	MJ St.	ایستگاه مندرجان	Es. Su.	شرکت قند اصفهان
Es. WTP	تصفیه‌خانه آب اصفهان (باباشیخعلی)	G. Naj.	منطقه بزرگ صنعتی نجف‌آباد	TAN St.	ایستگاه سد تنظیمی	KS	کوهپایه-سگزی
Yazd (W. Trans.)	یزد (انتقال آب)	Bor.	کانال برخوار	PK St.	ایستگاه پل کله	ISP	شرکت ایران اسپیرال
B. Plan.	طرح بهشت‌آباد	S. Mont. P.	نیروگاه شهید منتظری	DIZ St.	ایستگاه دیزیجه		
P. P. S	نیروگاه جنوب اصفهان	Baf. Txt. Co.	شرکت ریسندگی و بافندگی بافتاز	L.J St.	ایستگاه لنج		
Mah. Jar.	مهیار-جرقویه	Bar. Co.	شرکت بارش	PCH St.	ایستگاه پل چوم		

شکل ٤-٤- شمایی از توزیع مصارف در حوضه آبریز زاینده‌رود و رابطه‌ی مصارف با منابع آب [٦٢]

۴-۵ کشاورزی

شکل ۴-۵ نمایی از سطوح زیرکشت در حوضه زاینده‌رود را نشان می‌دهد. در حوضه‌ی زاینده‌رود بیش از ۵۰ نوع محصول زراعی و بیش از ۳۰ نوع محصول باغی کشت می‌شود. در این تحقیق از محصولات زراعی که کمتر از ۵۰۰ هکتار کشت شده‌اند و محصولات باغی که کمتر از ۱۰۰ هکتار کشت شده‌اند صرف نظر شده است. آمار سطح زیر کشت این محصولات در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ در حوضه زاینده‌رود به ترتیب مقدار در جدول ۴-۳ نشان داده شده است.



شکل ٤-۵- نقشه اراضی کشاورزی حوضه آبریز زاینده‌رود (منبع: نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۴، شرکت مشاور زایندآب)

جدول ۴-۳- سطح زیرکشت و میزان تولید محصولات مختلف زراعی و باغی در حوضه زاینده‌رود در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ (آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی)

ردیف	نام محصول زراعی	سطح زیر کشت (هکتار)	میزان تولید (تن)	نام محصول باغی	سطح زیر کشت (هکتار)	میزان تولید (تن)
۱	گندم	۳۷۷۶۰	۱۷۲۱۲۷	بادام آبی	۸۲۱۰	۱۰۸۷۸
۲	جو	۲۷۸۶۳	۱۱۲۷۹٤	بادام دیم	٤۸۱٦	۱۲۵٦
۳	یونجه	۱۹۳۳۳	۲۰۰۵۲۵	انگور آبی	٤٦۲۵	٥٦٥۰۳
٤	گندم دیم	۱۷۱۰۵	۱۳۵۹۸	انار	۲۷٤۸	۲٤٦۸۲
٥	سیب‌زمینی	۱٦۹۲۷	٤٤۸۳٦۰	گردو	۲٦٥٤	٦٤٦۱
٦	ذرت علوفه‌ای	۱٤۹۳۱	۸۲٤۷٤۰	هلو شلیل و شفتالو	۲۳۱٥	۲۳۷۷٦
۷	جو دیم	۸۰٥۹	٥۳۸٤	زردآلو و قیسی	۱٥٤٦	۷۳۲۳

ردیف	نام محصول زراعی	سطح زیر کشت (هکتار)	میزان تولید (تن)	نام محصول باغی	سطح زیر کشت (هکتار)	میزان تولید (تن)
۸	برنج (شلتوک)	٤٩٩٧	٢٦٩٠٨	سیب	١٥٤٤	٢٤٤٥٦
۹	اسپرس	٤٩٣١	٤٠١٢٣	پسته	١٢٥٧	١٠٢٠
١٠	پیاز	٣٣٩٦	٢٣١٥٢٧	آلو	٩٨١	٧٨٨٢
١١	سایر سبزیجات	٢٩٥١	١٠٣١١٦	آلبالو	٩٨١	٦٨٩٨
١٢	انواع لوبیا	١٥٧٧	٣٤٥٣	به	٩٢٩	٨٢٤٩
١٣	آفتابگردان آجیلی	١٤٤٠	٢٨٧٧	گیلاس	٨١٢	٥٧٩٠
١٤	پنبه	١٣٨٦	٣٣٩٩	گلابی	٦٣٤	١١٢٤٠
١٥	خربزه	١٢٠٦	٣١٨٢٥	زیتون	٥٩٣	٣٩١
١٦	سایر علوفه‌ها	١١١٨	١٩٥٢٢	سایر باغات مثمر	٤٢٠	٢٢٩٣
١٧	شبدر	١٠٤٢	٥١٦٦	گل محمدی (آبی)	٣٢١	٧١٥
١٨	گوجه‌فرنگی	٩٩٧	٣١٤٧٣	گیاهان داروئی آبی	٢٧٠	١٠١٤٣
١٩	گلرنگ	٩٦٢	١٥١٣	زعفران	٢٥٩	١.١٢٧
٢٠	چغندرقند	٩٢٦	٣٥٩١٥			
٢١	عدس دیم	٨٤٣	٤٣٧			
٢٢	خیار	٨٤١	٢١٣٠٨			
٢٣	طالبی و گرمک	٨١٧	٢٦١١٣			
٢٤	ارزن	٧٤٠	١٩٠٥			
٢٥	هندوانه	٥٠٠	١٨٨٦٨			

در طول دهه‌های اخیر، تغییرات زیادی در کاربری اراضی حوضه‌ی زاینده‌رود رخ داده است. پوشش گیاهی این حوضه که از طریق سنجش از دور محاسبه شده است، در جدول ۴-۴ نشان داده شده است.

جدول ۴-۴- پوشش گیاهی حوضه آبریز زاینده‌رود (هکتار) محاسبه شده از طریق سنجش از دور [۱۵۵]

سال	اراضی کشاورزی	جنگل	دیم	مراتع	اراضی بایر و پوشش پراکنده
۱۳۶۲	۲۱۴۴۴۱	۳۵۳۱۷	۲۱۶۷۲	۳۱۸۶۷۷	۱۴۲۲۰۶۰
۱۳۸۲	۲۴۶۸۰۵	۴۶۷۱۳	۲۲۹۵۶	۳۱۱۳۸۸	۱۳۳۶۲۵۰
۱۳۹۲	۲۹۴۲۰۷	۳۹۵۰۱	۳۸۶۳۷	۱۷۸۳۹۴	۱۲۸۵۳۶۰

۴-۶ صنعت

حوضه‌ی زاینده‌رود به عنوان دومین حوضه‌ی صنعتی کشور شناخته می‌شود. اولین مجوز تاسیس صنعت در حوضه‌ی زاینده‌رود در سال ۱۳۳۸ صادر شده است و تا سال ۱۳۹۷ تعداد ۹۳۸۵ واحد صنعتی در حوضه ایجاد شده است (سایت سازمان صنعت، معدن و تجارت). بزرگ‌ترین صنایع این حوضه به میزان ترتیب مصرف آب عبارت‌اند از صنعت فولاد و آهن، نیروگاه تولید برق، پالایشگاه و پتروشیمی. در این حوضه تعداد ۳۰ واحد صنعتی بزرگ با مصرف آب بیش از ۰.۵ میلیون مترمکعب در سال، تعدادی صنایع کوچک و متوسط در ۲۹ شهرک

صنعتی، تعدادی واحد صنعتی دیگر به صورت پراکنده در شهرها و تعدادی صنایع کشاورزی وجود دارند. با جمع بندی کلیه‌ی منابع در دسترس [۱۱۵،۱۵۲،۱۵۶،۱۶۲]، به نظر می‌رسد مصرف صنایع حوضه زاینده‌رود در سال ۱۳۹۰ طبق جدول ۴-۵ بوده است. در ادامه وضعیت این صنایع به تفکیک بیان می‌شود.

جدول ۴-۵- مصرف آب صنایع حوضه زاینده‌رود در سال ۱۳۹۰ [۱۱۵،۱۵۲،۱۵۶،۱۶۲]

زیربخش	مصرف (میلیون مترمکعب در سال)
واحدهای صنعتی بزرگ	۱۱۴
واحدهای صنعتی کوچک و متوسط	۲۷.۶
دیگر صنایع پراکنده	۱۰.۴
صنایع کشاورزی	۴۸
جمع	**۲۰۰**

صنایع بزرگ

در جدول ۴-۶ صنایع بزرگ حوضه زاینده‌رود، به تفکیک نوع بیان شده است. همچنین میزان برداشت آب سطحی و زیرزمینی این صنایع در سال ۱۳۸۶ در این جدول ارائه شده است. طبق مصاحبه‌های انجام شده، میزان مصرف آب صنایع، تنها تا حدی از استانداردهای جهانی برخوردار است و در برخی موارد به جای تصفیه و بازچرخانی آب، پساب آن‌ها در حوضچه‌های باز، تبخیر می‌شود و یا صرف آبیاری فضای سبز می‌شود.

جدول ۴-۶- صنایع بزرگ حوضه زاینده‌رود بر حسب نوع صنعت و میزان مصرف [۶۲]

نوع صنعت	نام صنعت	برداشت از منابع آب زیرزمینی	برداشت از منابع آب سطحی
صنایع نساجی	شرکت صنایع خمیر و کاغذ اترک	۰	۱.۴۲
	شرکت ریسندگی و بافندگی بافناز	۰.۳	۰.۴۸
	شرکت نساجی بارش	۰.۳۳	۰.۱۲
صنایع فلزی	فولاد مبارکه	۰.۲۷	۲۴.۶
	ذوب آهن اصفهان	۰.۲۷	۲۵.۸۳
	مجتمع ۷ تیر	۰	۰.۹۷
	شرکت سبا فولاد احیاء	۱.۲	۰
	شرکت ایران اسپیرال	۱.۵۲	۰
نیروگاه	نیروگاه جنوب اصفهان	۰	۱.۲۶
	نیروگاه شهید منتظری	۰	۰.۹۵
	نیروگاه اسلام آباد	۰	۱۲
صنایع پتروشیمی	شرکت پتروشیمی اصفهان	۰	۲.۵
	شرکت تولید مواد اولیه الیاف مصنوعی	۰	۱.۷۵

نوع صنعت	نام صنعت	برداشت از منابع آب زیرزمینی	برداشت از منابع آب سطحی
	(دی‌ام تی)		
	پالایشگاه اصفهان	۰.۶۳	٦.٥
	شرکت فرآورده‌های نسوز ایران	۲.۵	۰
	شرکت پلی اکریل	۲.۳۴	۰
	شرکت نسوز آذر	۰.۸	۰
مصالح ساختمانی	شرکت سیمان ساروج	۰	۰.٤٧
	شرکت سیمان اصفهان	۰	۰.۹۵
	شرکت سیمان سپاهان	۰	۱
	کاشی نیلو	۰.۵	۰
صنایع وابسته به کشاورزی	شرکت کشت و صنعت روغن نباتی سپاهان	۱.۳	۰
	شرکت روغن نباتی ناز	۰.۵۶	۰
	شرکت پاستوریزه پگاه	۰.۴۴	۰
	شرکت قند اصفهان	۱.۱۳	۰
صنعت مخابرات	شرکت مخابرات ایران	۰	۲.۳۹
دیگر صنایع	سایر صنایع ۱	۰	٦.٥
	سایر صنایع ۲	۰	۷.۹
	سایر صنایع ۳	۰	۱.۵۸
	سایر صنایع ٤	۰	۰.۸۱
جمع		**١٤.٠٩**	**۹۹.۹۸**

شهرک‌های صنعتی

تعداد ۲۹ شهرک صنعتی بزرگ در اصفهان وجود دارد که عبارتند از شهرک‌های صنعتی خمینی شهر، محمود آباد، دولت آباد، مورچه خورت، فریدن، سه راه مبارکه، تیران، کرون، اسفیدوجان، اشترجان، نجف آباد ۱، نجف آباد ۲، جی، سگزی، کوهپایه، هرند، ورزنه، اژیه، میمه، علویجه، دهق، کمشچه، محمدآباد، جرقویه، چادگان، پوده، تودشک، منتظریه و شهرک صنعتی اصفهان بزرگ. منابع آب این شهرک‌ها از چندین منبع تأمین می‌شود، آب سطحی برداشت شده از رودخانه، آب زیرزمینی برداشت شده از چاه‌ها و آب اختصاص یافته توسط شرکت آب و فاضلاب. شرکت آب و فاضلاب در سال‌های خشک آب بیشتری به شهرک‌های صنعتی اختصاص می‌دهد ولی کل آب مصرف شده‌ی این شهرک‌ها در سال‌های خشک و تر یکسان است. میزان ۹۲ درصد از این مصارف آب از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. از لحاظ کیفی داده‌های دقیقی در دسترس نیست ولی ۶ شهرک

صنعتی محمودآباد، سه راه مبارکه، اشترجان، نجف آباد ۱، علویجه و مورچه خورت مجهز به تصفیه خانه‌ی فاضلاب هستند و یک تصفیه خانه در شهرک جی در حال ساخت است.

صنایع کشاورزی

شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، واحدهای پرورش ماکیان، دامداری‌ها، گلخانه‌ها و آبزی پروری‌ها را به دلیل الگوی مصرف مشابه با صنایع (مصرف مستمر)، به عنوان صنایع کشاورزی تعریف نموده است. در حوضه زاینده‌رود بر اساس مجوزهای شرکت آب منطقه‌ای میزان منابع آب اختصاص یافته به صنایع کشاورزی به دست آمده است. طبق نظر آب منطقه‌ای کل این برداشت‌ها از آب زیرزمینی رخ می‌دهد لکن مشخص نیست پساب آن‌ها چگونه استفاده می‌شود. البته علاوه بر واحدهایی که به صورت مستقیم از آب منطقه‌ای مجوز برداشت آب دارند، در مناطقی از حوضه پرورش دام و ماکیان به صورت سنتی صورت می‌گیرد که از دیگر منابع آبی استفاده می‌کنند.

۴-۷ نظام سنتی مدیریت آب در حوضه زاینده‌رود

در حوضه‌ی زاینده‌رود نظام سنتی مدیریت آب طبق طومار معروف به شیخ بهایی، از سده‌های پیش برقرار بوده است. آب زاینده‌رود طبیعی قبل از الحاق تونل‌ها جهت مصارف کشاورزی بلوکات هفتگانه بر اساس این طومار به سی و سه سهم تقسیم شده و بین حق‌آبه داران توزیع می‌شده است. پس از احداث تونل اول، مقداری از هزینه احداث تونل توسط کشاورزان و حق‌آبه داران پرداخت شد و منابع آب این تونل نیز تقریبا به همان شیوه‌ی طومار تقسیم گردید. بر اساس این تقسیم نامه کل آب رودخانه به ۳۳ سهم بر روی هفت بلوک از اراضی مسیر (از پل کله تا حاشیه‌ی گاوخونی) تقسیم می‌شد. هر یک از این ۳۳ سهم در بین چند مادی (نهر اصلی) تقسیم می‌شد که جمعا به ۲۷۵ مادی می‌رسید. هر مادی در بین چند روستا تقسیم می‌شد که جمعا به ۳۰۹۸ سهم می‌رسید. در هر روستا نیز (فارغ از طومار) در داخل مزارع تقسیم بندی‌هایی انجام شده بود که جمعا ۵۶۰ هزار سهم می‌شد. این نظام بهره‌برداری برای نیمی از سال از ۱۳ خرداد تا نهم آبان تنظیم شده بود. برای حسن اجرای آن نیز ساختار مدیریتی منسجمی در نظر گرفته شده بود که به ترتیب جایگاه عبارتند از: حکومت، دیوان آبیاری، نمایندگان ۳۳ سهم (۳۳ نفر)، میراب (یک نفر از طرف نمایندگان)، کشیک (۶ نماینده‌ی میراب در هفت بلوک آبخور)، مادی سالار (نماینده‌ی میراب بر آب مادی‌ها)، مردان قاصد و سرجوی‌ها [۱۶۳].

۸-۴ جمع بندی

قرار گرفتن حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود در دو استان، وجود مناطق کوهستانی و دشت در این حوضه، تفاوت اقلیم در شرق و غرب حوضه، وجود منابع مختلف سطحی و زیرزمینی، انتقال آب ورودی و خروجی از حوضه و وجود مصارف مختلف شرب، صنعت، کشاورزی و محیط‌زیست این حوضه را به یک حوضه‌ی بسیار پیچیده تبدیل نموده است. از طرفی تعداد صنایع موجود، تنوع محصولات کشاورزی و قرارگرفتن این حوضه در مرکز ایران، آن را به یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز کشور تبدیل نموده است. همچنین نظام سنتی مدیریت آب در حوضه‌ی زاینده‌رود و عدم به روزرسانی آن متناسب با وضعیت فعلی مصارف حوضه، پیچیدگی‌های این حوضه را افزایش داده است.

اعتراضات اخیر کشاورزان شرق اصفهان و آسیب دیدن عده‌ای در این اعتراضات، در گیری‌های متعدد ذینفعان با نیروی انتظامی، تعارض بین نمایندگان مجلس دو استان، استعفای نمایندگان استان اصفهان در سال ۱۳۹۸ در رابطه با موضوع آب، ورود پرونده‌های آب این استان به شورای عالی امنیت ملی و پویش‌های مردمی برای حفاظت از رودخانه‌ی زاینده‌رود در سال‌های اخیر، میزان پیچیدگی مدیریت آب در این حوضه را بهتر نشان می‌دهد. از طرفی با شواهدی که از خشکسالی‌های سده‌های گذشته موجود است، نمی‌توان به راحتی مشکلات حوضه‌ی زاینده‌رود را به تغییر اقلیم نسبت داد، بلکه این میزان پیچیدگی و اهمیت، ضرورت شناخت سیستم انسانی مرتبط با آب و فهم اندرکنش‌های بین سیستم آب و سیستم انسانی را نشان می‌دهد.

فصل پنجم:
نتایج مطالعات تئوری زمینه‌ای و شبیه‌سازی پویایی سیستم

۵-۱ مقدمه

در این فصل، نتایج پژوهش در چهار بخش ارائه می‌گردد. در بخش اول پس از مقدمه، نتایج مطالعات تئوری زمینه‌ای برای دو زیرسیستم طبیعی و زیرسیستم اجتماعی-اقتصادی ارائه می‌شود. با توجه به اینکه هدف مطالعات تئوری زمینه‌ای، صرفا شناخت بهتر سیستم بوده است، نتایج این قسمت به صورت یک روایت منسجم از حوضه بیان می‌شود که در این روایت مهمترین مسائل حوضه از ابعاد مختلف نشان داده می‌شود. تلاش شده است با استفاده از آمار کمی نتایج این بخش حتی الامکان ملموس ارائه گردد. در بخش بعدی این فصل جزئیات بیشتری در مورد مدل پویایی سیستم توسعه یافته ارائه می‌شود. در این بخش، مولفه‌های مختلف پویایی سیستم و نحوه‌ی ارتباط بین این مولفه‌ها بیان می‌گردد. در بخش بعد نتایج مدل شبیه‌سازی پویایی سیستم ارائه می‌شود. در این بخش نتیجه‌ی صحت سنجی مدل، نتیجه‌ی ارزیابی سناریوها توسط مدل، انتخاب بهترین سناریو و بحث بر سر سناریوها انجام می‌گیرد. در آخرین بخش این فصل روابط کشف شده بین سیستم طبیعی و سیستم اجتماعی-اقتصادی در حوضه‌ی زاینده‌رود تبیین می‌شود و در نهایت یک جمع بندی از فصل ارائه می‌گردد.

در این مطالعه گام‌های زمانی به صورت سالیانه در نظر گرفته شده است. هر سال آبی از مهرماه شروع وتا شهریور ادامه دارد. به عنوان مثال مهر ۱۳۹۲ الی شهریور ۱۳۹۳ یک سال آبی است که تحت نام سال آبی۱۳۹۳ شمسی یا ۲۰۱۴ میلادی به آن اشاره می‌شود.

۵-۲ نتایج مطالعات تئوری زمینه‌ای

۵-۲-۱ سیستم طبیعی

سیستم طبیعی اولین سیستمی است که وضعیت ظاهری حوضه را نشان می‌دهد. عدم تعادل بین منابع و مصارف آب، کاهش سطح آب زیرزمینی، فصلی شدن رودخانه و کاهش جریان ورودی به تالاب گاوخونیی اولین مشکلات حوضه‌ی زاینده‌رود هستند که در سیستم طبیعی دیده می‌شوند. در ادامه این مشکلات تبیین می‌شوند و شواهدی در اثبات آن‌ها ارائه می‌گردد.

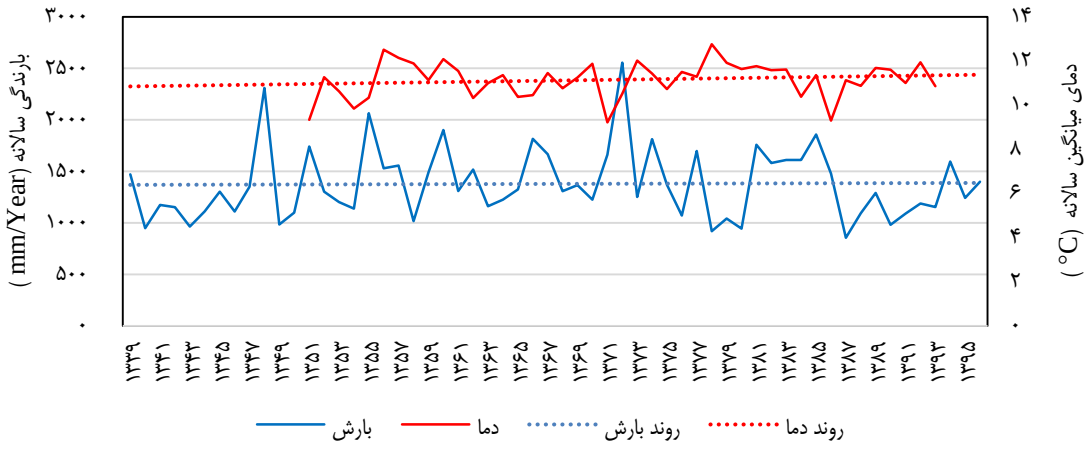
در طول دهه‌های اخیر، حوضه‌ی زاینده‌رود با عدم تعادل بین منابع و مصارف آب مواجه بوده است. جدول ۵-۱ بیلان آبی در حوضه‌ی زاینده‌رود را در ۲۰ سال گذشته نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، با احتساب گردش آب درون حوضه‌ای، به طور متوسط ۲۷۶۵ میلیون متر مکعب آب سالانه مصرف شده است که ۲۷۱ میلیون متر مکعب آن از منابع آب زیرزمینی کسر شده است.

جدول ۵-۱- متوسط تعادل جرمی منابع آب حوضه زاینده‌رود در طول دوره ۱۳۷۰-۱۳۹۰ [۱۱۵]

منابع آب تجدیدپذیر طبیعی			کل برداشت از منابع آب	کل برگشت آب به آبخوان	کل مصرف خالص آب	کمبود آب
آب سطحی	آب زیرزمینی	جمع				
۱۵۶۱	۹۳۳	۲٤۹٤	٤۳۲۰	۱۵۵٤	۲۷٦٦	۲۷۲

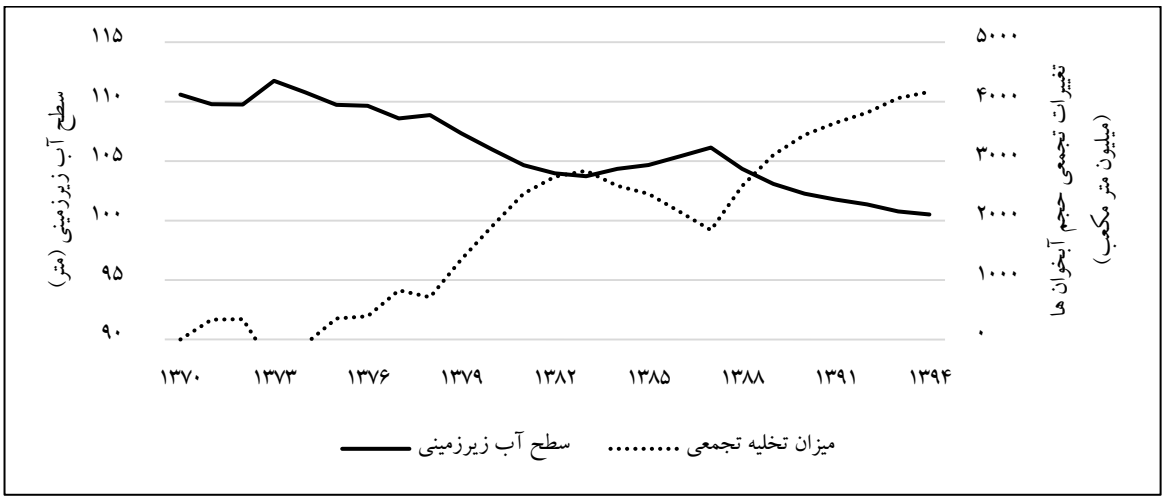
برخی مدیران تغییرات اقلیم را عامل اصلی این مشکلات بیان می‌کنند در حالی که در سالهای گذشته روند تغییرات بارش در حوضه‌ی زاینده‌رود کاهشی نبوده است. شکل ۵-۱ میزان بارندگی و دما در ایستگاه هواشناسی چلگرد را به عنوان مهمترین ایستگاه حوضه‌ی زاینده‌رود نشان می‌دهد. البته افزایش دما در این سال‌ها را می توان به تغییرات اقلیم نسبت داد. همچنین تغییر اقلیم، الگوی بارش و توزیع زمانی جریان‌های سطحی و زیرزمینی ورودی به منابع آب را نیز تغییر داده است. این طور پیش‌بینی شده که در مناطق غربی حوضه‌ی زاینده‌رود (که نقش مهمی در تولید منابع آبی حوضه دارند)، بیشترین کاهش بارش مربوط به فصل زمستان و بیشترین افزایش دما مربوط به فصل بهار است. کاهش بارش در زمستان (که عمدتاً به صورت برف صورت می‌گیرد)، ریزش برف را تحت تأثیر قرار

می‌دهد و افزایش دما در بهار، آب شدن توده‌های برفی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مسئله به علاوه‌ی افزایش اندک دما در فصل زمستان سبب می‌شود الگوی بارش برف به باران تغییر پیدا کند و زمان بیشینه دبی آب ورودی به مخزن سد نیز به زمان جلوتری منتقل گردد [۱۵۴].

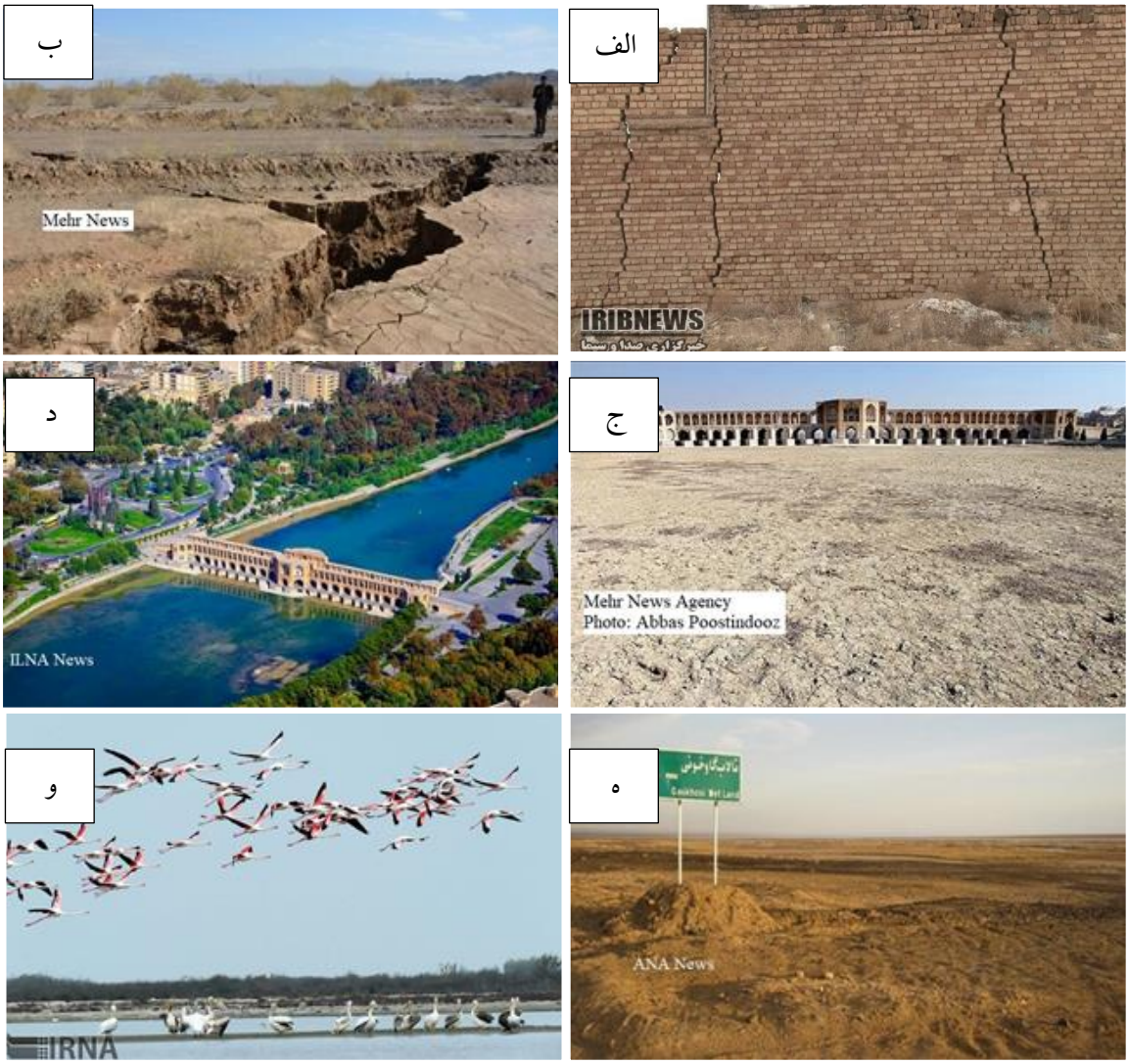


شکل ۵-۱- داده‌های تاریخی بارندگی و دما در ایستگاه هواشناسی چلگرد [۱٦٤]

بخشی از کمبود آب از محل حق‌آبه‌های کشاورزان تأمین می‌شود. و برای جبران بخش دیگری از کمبود آب برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی رخ داده است که منجر به افت شدید آب زیرزمینی شده است. شکل ۵-۲ سطح آب زیرزمینی و تخلیه تجمعی از سفره‌های آب زیرزمینی را در طول ۲۵ سال گذشته نشان می‌دهد. کاهش سطح اب زیرزمینی باعث فرونشست زمین و در نتیجه ترک خودن جاده‌ها و کانال‌ها و تخریب ساختمان‌ها بخصوص در غرب حوضه شده است (شکل ۵-۳- الف و ب).



شکل ۵-۲- حجم تخلیه آب و سطح آب زیرزمینی در حوضه زاینده‌رود [۱٦٥]

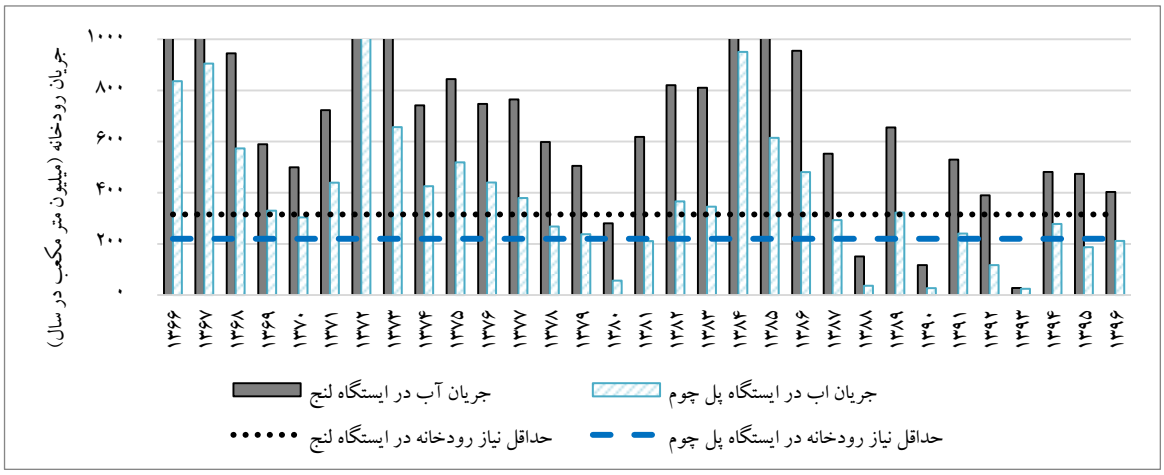


شکل ۵-۳- عکس‌هایی از حوضه‌ی زاینده‌رود؛ الف) فرونشست زمین در دامنه؛ ب) فرونشست زمین در دامنه؛ ج) رودخانه‌ی دائمی زاینده‌رود در دهه‌های قبل؛ د) رودخانه‌ی خشک زاینده‌رود؛ ه) تالاب گاوخونی در موقع دریافت نیاز آبی ؛ و) تالاب گاوخونی در زمان عدم دریافت نیاز آبی

کمبود آب همچنین بر منابع آب سطحی اثر گذاشته است و سبب شده که رودخانه‌ی دائمی زاینده‌رود به یک رودخانه‌ی فصلی تبدیل شود (شکل ۵-۳- ج و د). فصلی شدن رودخانه علاوه بر اثرات اجتماعی بر مردم شهر اصفهان، بر روی صنعت توریسم، اقتصاد منطقه و اکوسیستم وابسته به رودخانه تاثیر منفی گذاشته است. بازه‌های مختلف رودخانه‌ی زاینده‌رود به مقداری از جریان نیاز دارد تا کارکردهای اکولوژیک آن حفظ شود. دبی زیست‌محیطی مورد نیاز برای بازه‌های مختلف رودخانه زاینده‌رود جدول ۵-۲ درج شده است. ولی در مرکز و پایین دست حوضه حداقل نیاز زیست محیطی رودخانه تامین نشده است (شکل ۵-۴). بر اساس این شکل در حالی که حداقل نیاز زیست محیطی در ایستگاه لنج و پل چوم به ترتیب ۳۱۵ و ۲۲۰ میلیون مترمکعب در سال است [۱۳۸]، در سال‌های اخیر، این حداقل نیاز تامین نشده است.

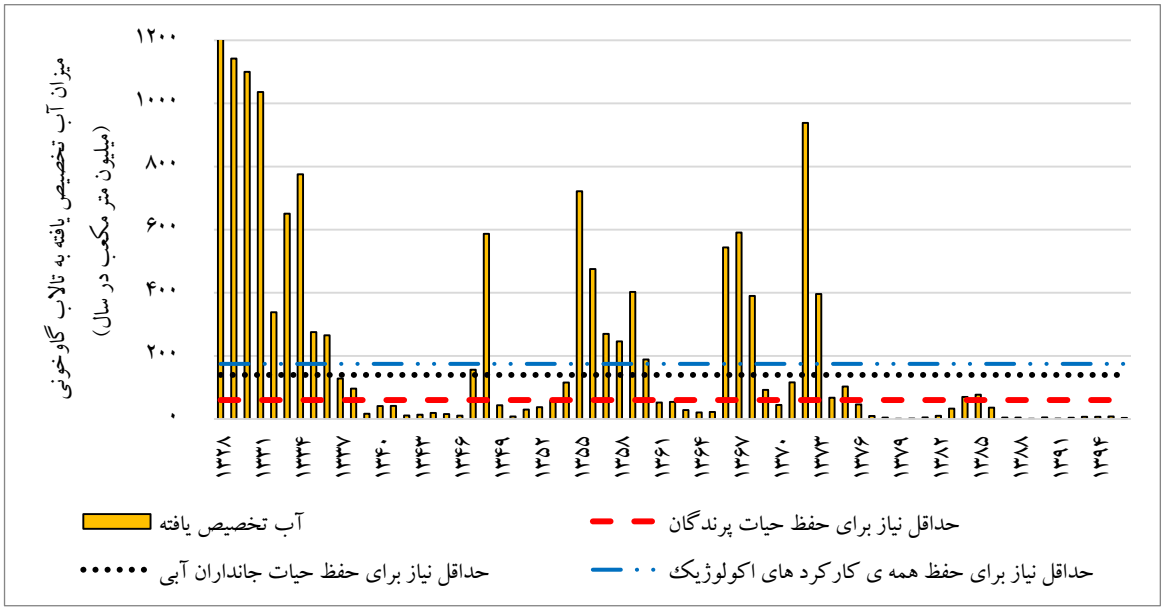
جدول ۵-۲- دبی زیست‌محیطی مورد نیاز بازه‌های مختلف رودخانه زاینده‌رود (m3/s) [۱۳۸]

بازه	بالادست سد زاینده‌رود	سد تنظیمی تا سد نکوآباد	سد نکوآباد تا سد آبشار	سد آبشار تا ورزنه
ایستگاه معرف	قلعه شاهرخ	پل زمانخان	لنج	پل چوم
دبی زیست‌محیطی	۱۰	۱۰	۱۰	۷



شکل ۵-٤- داده‌های تاریخی جریان رودخانه در دو ایستگاه لنج و پل چوم به عنوان معرف مرکز و پایین دست (داده‌های دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب)

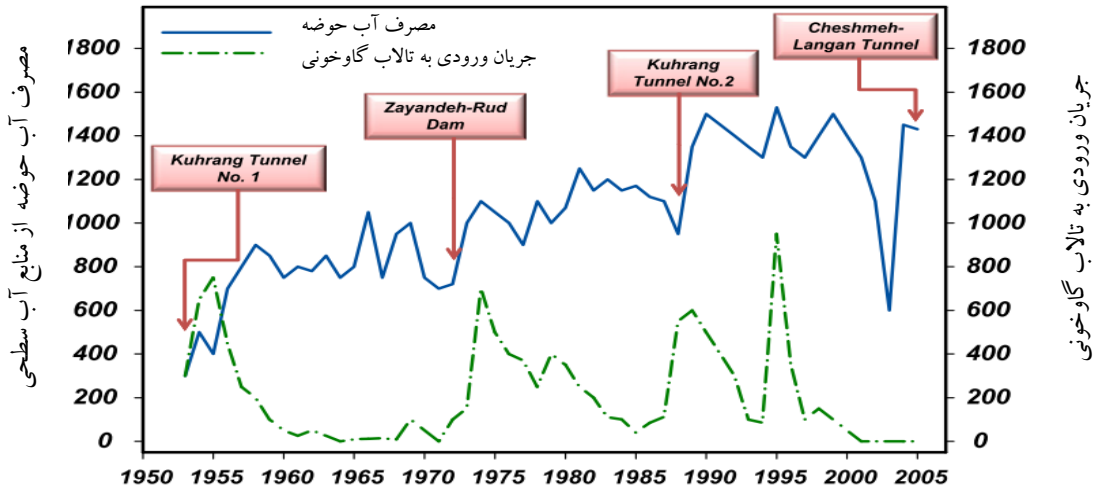
یکی دیگر از سیستم‌های اکولوژیک حوضه که تحت فشار قرار دارد، تالاب گاوخونی است. تالاب گاوخونی با مساحت ۴۳۰۰۰ هکتار برای حفظ حداقل حیات پرندگان، بایستی دست‌کم ۱۵ سانتی‌متر عمق داشته باشد که این میزان با دبی ورودی ۲.۲ مترمکعب بر ثانیه (حدود ۷۰ میلیون مترمکعب در سال) تأمین می‌شود. عمق بهینه برای حفظ زندگی جانداران آبی و پستانداران کوچک ۳۰ سانتی‌متر است که با دبی ورودی ۴.۵ مترمکعب بر ثانیه (حدود ۱۴۱ میلیون مترمکعب در سال) تأمین می‌گردد [۱۰۴]. دبی بهینه‌ی مورد نیاز تالاب گاوخونی برای حفظ همه‌ی کارکردهای اکولوژیکی آن حدود ۵.۵ مترمکعب بر ثانیه (۱۷۶ میلیون مترمکعب بر ثانیه) است [۱۳۸] که با حق‌آبه‌ی این تالاب نیز مطابقت دارد. در دهه‌های اخیر حتی در ترسالی‌ها این تالاب مقادیر بسیار کمتری آب دریافت کرده است (شکل ۵-۵) و در اکثر سال‌ها خشک بوده است (شکل ۵-۳-ه و و).



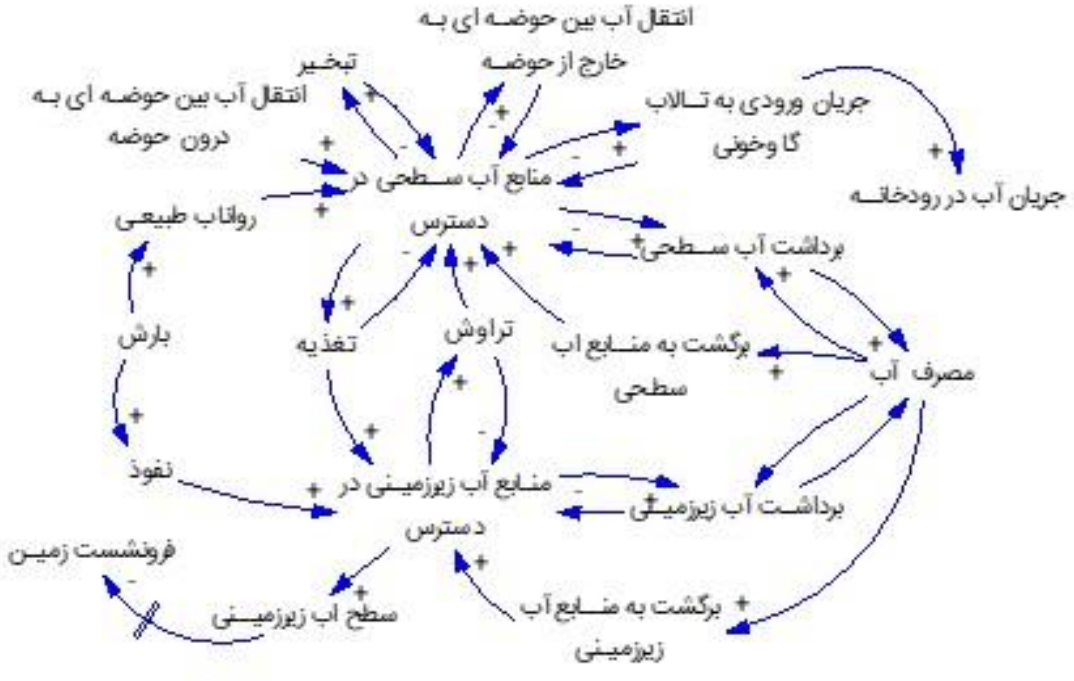
شکل ۵-۵- میزان نیاز و داده‌های تاریخی میزان تخصیص آب به تالاب گاوخونی [۱۳۷،۱۶۵]

یکی دیگر از مشکلات سیستم طبیعی، انتقال آب بین حوضه‌ای است. از یک طرف انتقال آب به خارج از حوضه، منابع آب در دسترس را کاهش می‌دهد و از طرف دیگر جریان آب به داخل حوضه وابستگی به آب را افزایش می‌دهد. ذینفعان و ذی مدخلان احساس می‌کنند که با توسعه‌ی منابع آب (بخصوص انتقال آب به درون حوضه) مشکل کمبود آب حل می‌شود ولی هر بار، حتی قبل از اینکه تونل انتقال آب تکمیل شود بیش از ظرفیت انتقال برای توسعه، برنامه‌ریزی صورت گرفته است. این پدیده، معروف به «اثر مخزن[1]»، به طور مشابه در حوضه‌های دیگری نیز رخ داده است که توسط بالداسار (۲۰۱۸) تبیین شده است [۱۶۶]. بر اساس مشکلات سیستم طبیعی که در این بخش مطرح شد یک دیاگرام علت و معلولی توسعه پیدا نمود که در شکل ۵-۷ نشان داده شده است.

[1] Reservoir effect



شکل ۵-۶- روند تاریخی مصرف اب سطحی و توسعه‌ی منابع آب در حوضه‌ی زاینده‌رود [۸۱]



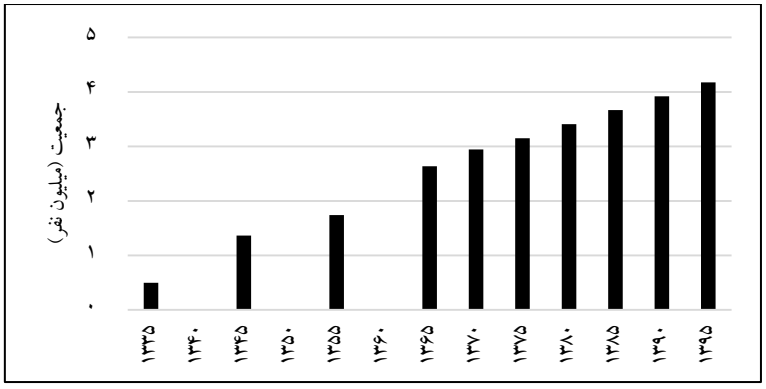
شکل ۵-۷- دیاگرام علت و معلولی مولفه‌های سیستم طبیعی (نتایج تحقیق حاضر)

۵-۲-۱ سیستم اجتماعی-اقتصادی

برجسته‌ترین مشکل سیستم طبیعی در حوضه زاینده‌رود «عدم تعادل» بیلان آبی است که خود عامل به وجود آمدن دیگر مشکلات آن سیستم شده است. بنابراین ضروری است دلایل اصلی این عدم تعادل فهمیده شود که عمدتا در سیستم اجتماعی-اقتصادی ریشه دارند. حین بررسی سیستم اجتماعی-اقتصادی و رابطه‌ی آن با سیستم

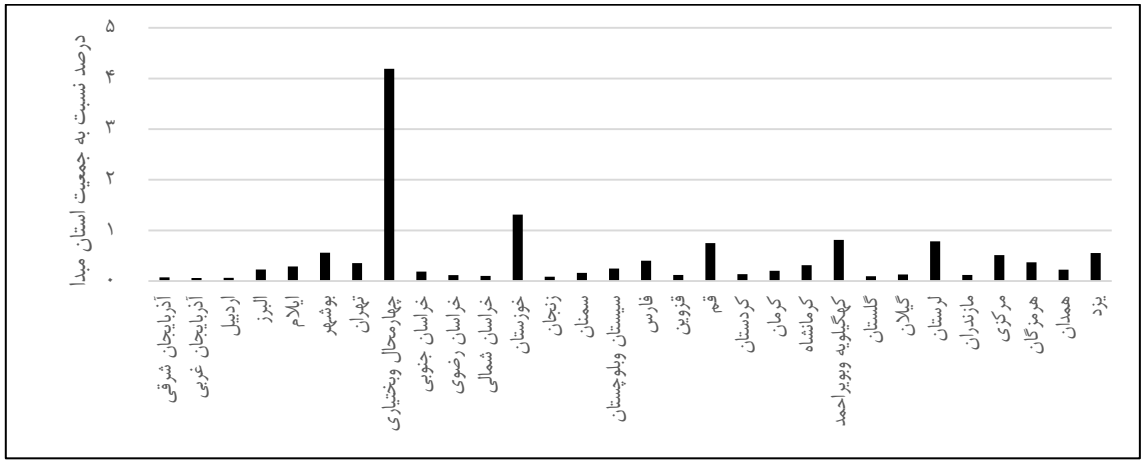
طبیعی مولفه هایی به دست آمد ازجمله رشد جمعیت، مهاجرت، بالا بودن سرانه مصرف آب، رشد صنعت و کشاورزی، توسعه‌ی نامناسب سیستم‌های آبیاری تحت فشار، تخصیص ناعادلانه منابع آب، افزایش بیکاری و عدم مدیریت الگوی کشت.

رشد جمعیت در حوضه زاینده‌رود (شکل ۵-۸) باعث شده است که سرانه آب تجدید پذیر از ۵۰۰۰ متر مکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۳۵ و ۸۴۷ متر مکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۷۰ به ۶۰۰ متر مکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۹۵ کاهش یابد (محاسبه بر اساس داده های منابع آب و جمعیت). البته این افزایش جمعیت فقط به دلیل زاد و ولد نبوده بلکه حدود ۲۰ درصد از این افزایش جمعیت به دلیل مهاجرت رخ داده است. برای ترسیم نمودار شکل ۵-۸ ابتدا بر اساس آمار جمعیت سال ۱۳۸۵ به تفکیک آبادی، جمعیت دقیق حوضه‌ی زاینده‌رود محاسبه شده و درصد جمعیت حوضه‌ی زاینده‌رود نسبت به استان اصفهان و استان چهارمحال و بختیاری به دست آمد. سپس نتایج کلیه‌ی سرشماری‌های استانی انجام شده از سال ۱۳۳۵ تا سال ۱۳۹۵جمع آوری شده است. در نهایت بر اساس نسبت به دست آمده در مرحله ی قبل، جمعیت حوضه ی زاینده‌رود از سال ۱۳۳۵ تا سال ۱۳۹۵ تخمین زده شده است.



شکل ۵-۸- داده‌های تاریخی جمعیت در حوضه‌ی زاینده‌رود (بر اساس آمار سرشماری نفوس و مسکن، مرکز آمار)

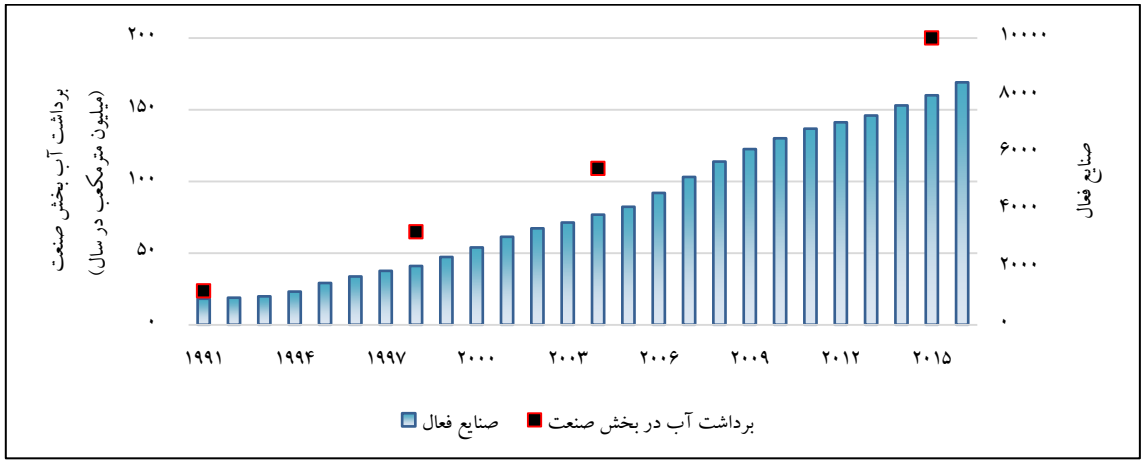
شکل ۵-۹ درصد مهاجرت از دیگر استان‌های کشور به استان اصفهان، نسبت به جمعیت استان مبدا را نشان می‌دهد. نکته‌ی قابل توجه این است که در طول این سال‌ها بخش زیادی از مهاجرت ورودی به استان اصفهان از استان‌های چهارمحال و بختیاری و خوزستان صورت گرفته است، به طوری که بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ حدود ۳۶ درصد از کل مهاجرت ورودی به استان اصفهان، از این دو استان رخ داده است (شکل ۵-۹). با توجه به اینکه منابع آب ورودی به حوضه‌ی زاینده‌رود از سرچشمه‌های این دو استان نشئت می‌گیرد، می‌توان ادعا نمود انتقال آب بین حوضه‌ای، بر روی مهاجرت اثر داشته است.



شکل ۵-۹- مهاجرت از دیگر استان‌های کشور به استان اصفهان بین سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۵ (در طول ده سال) نسبت به جمعیت استان مبدا، (منبع: سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵)

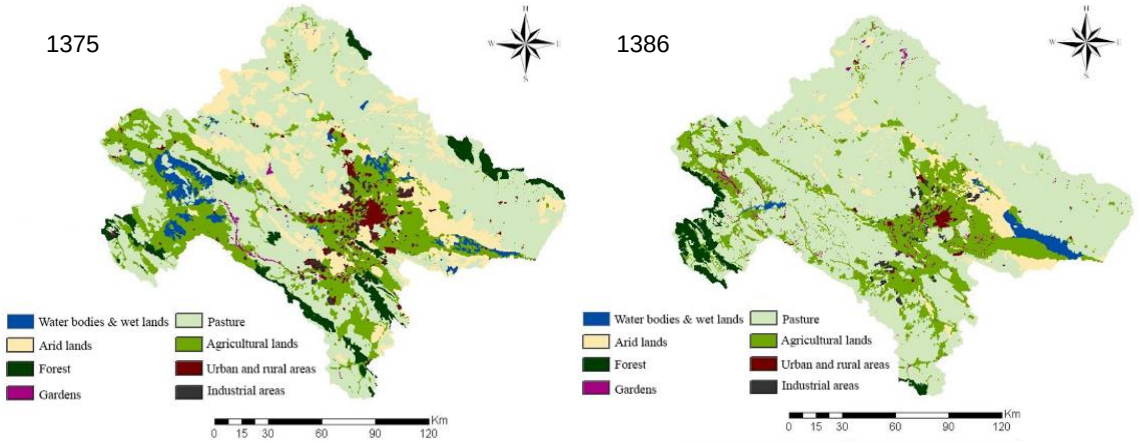
علاوه بر افزایش جمعیت، بالا بودن سرانه مصرف آب یکی دیگر از مشکلات مرتبط با سیستم آب است. سرانه مصرف خانگی در سال ۱۳۹۵، ۱۵۹ لیتر در روز به ازای هر نفر بوده و متوسط سرانه مصرف آب شهری و روستایی در کل حوضه (شامل مصارف خانگی، مصارف تجاری، مصارف عمومی، آب بدون درآمد و صنایع شهری) در سال ۱۳۹۵، ۲۹۰ لیتر در روز به ازای هر نفر بوده است (آمار سازمان آب و فاضلاب شهری و روستایی). قیمت پایین آب در مقایسه با سبد هزینه‌های خانوار و برخی مولفه‌های فرهنگی نظیر سبک زندگی عوامل اصلی بالا بودن سرانه مصرف آب عنوان شده‌اند. در حال حاضر قیمت فروش آب شهری و روستایی در ایران از قیمت تولید و خدمات مرتبط با آن نیز کمتر است.

میزان آب برداشت شده برای بخش صنعت نیز در طول این سالها افزایش یافته است و از ۲۰ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۷۰ به ۲۰۰ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۹۵ رسیده است (شکل ۵-۱۰). بر اساس این شکل میزان مصرف آب به ازای هر صنعت افزایش زیادی نداشته است. به عبارتی تعداد صنایع فعال در حوضه‌ی زاینده‌رود بین سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ حدود ۸.۵ برابر شده است در حالی که میزان مصرف آب کل صنایع حوضه حدود ۱۰ برابر شده است. البته انتظار می‌رود با رشد تکنولوژی و افزایش راندمان مصرف آب و بازچرخانی و بازگردانی آب، متوسط مصرف آب در صنایع در طول این سالها کاهش یافته باشد.



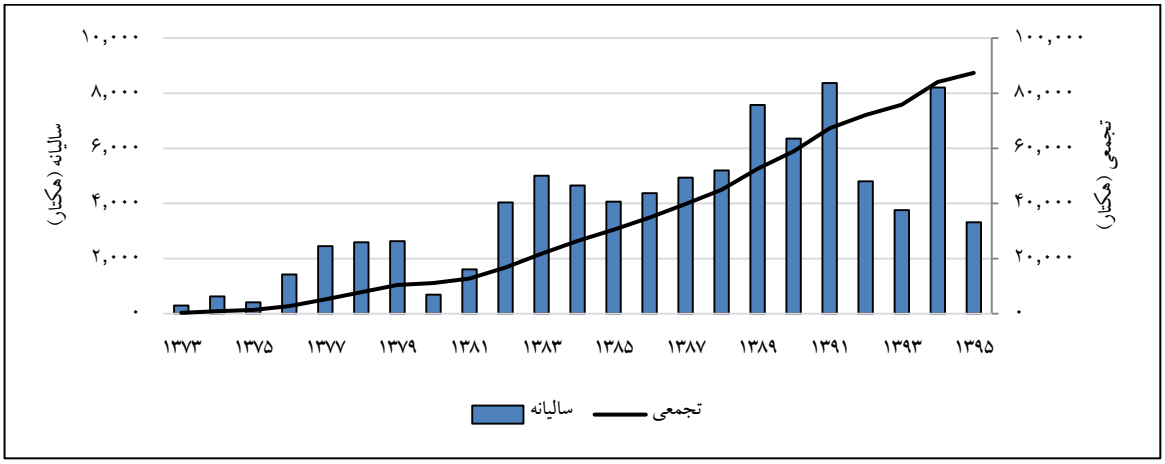
شکل ۵-۱۰- داده‌های تاریخی تعداد صنایع فعال در حوضه‌ی زاینده‌رود (آمار اداره صنعت، معدن و تجارت استان اصفهان) و مصرف آب صنایع[۶۲]

در بخش کشاورزی که بزرگترین مصرف کننده‌ی آب در حوضه‌ی زاینده‌رود است و حدود ۹۰ درصد از منابع آب در طول ۳ دهه‌ی گذشته به این بخش اختصاص یافته است، نیز تغییرات مهمی رخ داده است. شکل ۵-۱۱ توسعه‌ی اراضی کشاورزی طی یک دهه در این حوضه را نشان می‌دهد. در طول یک دهه، حدود ۱۶۵۰۰۰ هکتار از اراضی (عمدتا مراتع) به اراضی کشاورزی تغییر کاربری یافته‌اند که حدود ۱۳۵۰۰۰ هکتار آن در منطقه بالادست (قبل از ایستگاه پل کله) و حدود ۳۰۰۰۰ هکتار در منطقه پایین دست رخ داده است [۱۶۷].



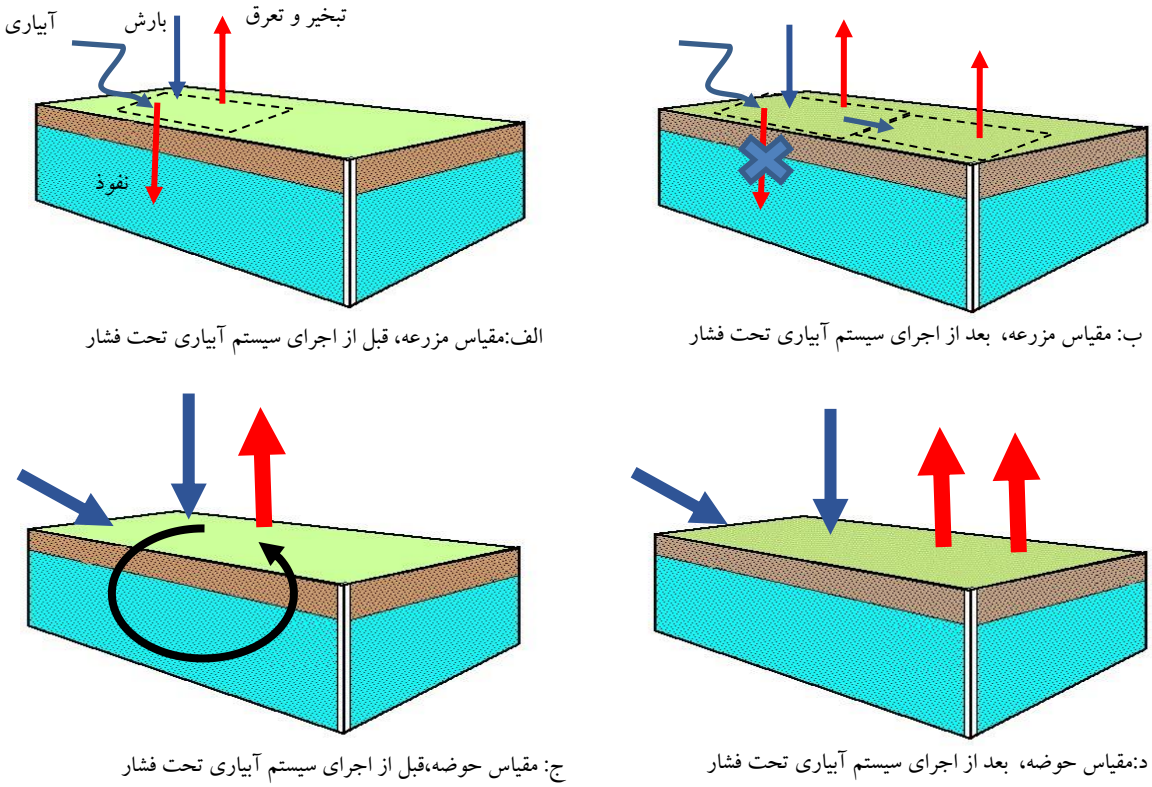
شکل ۵-۱۱- کاربری اراضی در حوضه‌ی زاینده‌رود در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۶ [۱۶۸]

یکی از دلایل اصلی افزایش اراضی کشاورزی، توسعه‌ی سیستم‌های آبیاری تحت فشار بوده است. توسعه‌ی سیستم‌های آبیاری در حوضه‌ی زاینده‌رود از سال ۱۳۷۳ در دستور کار دولت قرار گرفته است. نمودار شکل ۵-۱۲ میزان اراضی که در طول این سال‌ها به سیستم‌های آبیاری تحت فشار مجهز شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۲- سطح اراضی مجهز شده به سیستم آبیاری تحت فشار (مدیریت آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان)

هدف اصلی توسعه‌ی سیستم‌های تحت فشار این بوده است که استفاده‌ی مؤثر گیاه از آب افزایش یابد و زمان و اعتمادپذیری تحویل آب بهبود بخشیده شود. در حالی که در کشور ما به اشتباه، این سیستم‌ها با هدف کاهش مصرف آب توسعه یافته است. استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در حوضه‌ی زاینده‌رود نه تنها منجر به کاهش مصرف آب نشده است، بلکه مصرف آب را افزایش داده است. این مسئله به طور شماتیک در شکل ۵-۱۳ نشان داده شده است. با استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار مقدار نفوذ کاهش می‌یابد و راندمان در سطح مزرعه افزایش پیدا می‌کند، در نتیجه کشاورز آب کمتری برای آبیاری استفاده می‌کند و مازاد آب را صرف افزایش سطح زیرکشت می‌کند و زمین‌های آیش را زیرکشت می‌برد؛ با افزایش سطح زیر کشت میزان تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد در نتیجه مصرف آب در سطح حوضه افزایش می‌یابد. همان طور که در این شکل مشخص است با استفاده از سیستم آبیاری تحت فشار، مصرف آب در مقیاس مزرعه بهینه می‌شود ولی مصرف آب در مقیاس حوضه افزایش می‌یابد. البته قاعدتا استفاده از این سیستم‌ها مزایایی دارد زیرا می‌تواند هزینه پمپاژ، مصرف سم و کود، و هزینه‌های کارگری را کاهش دهد، لکن تعریف درست اهداف نحوه‌ی توسعه‌ی این سیستم‌ها را مشخص خواهد کرد.



الف:مقیاس مزرعه، قبل از اجرای سیستم آبیاری تحت فشار

ب: مقیاس مزرعه، بعد از اجرای سیستم آبیاری تحت فشار

ج: مقیاس حوضه،قبل از اجرای سیستم آبیاری تحت فشار

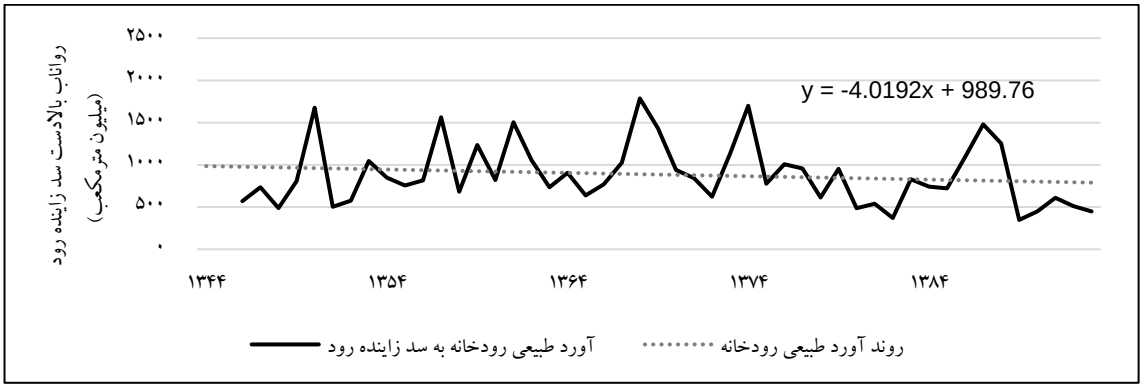
د:مقیاس حوضه، بعد از اجرای سیستم آبیاری تحت فشار

شکل ۵-۱۳- نمایی از اثرگذاری سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر افزایش مصرف آب

برخی تحقیقات داخلی (نشست متخصصین پیرامون توسعه‌ی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در معاونت برنامه‌ریزی استراتژیک ریاست جمهوری، ۱۳۹۵) و تحقیقات بین‌المللی نیز نشان می‌دهد بهره‌وری واقعی آب در سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار کمتر و یا مساوی با بهره‌وری در سیستم‌های آبیاری سطحی است. تنها استثنا مربوط به باغات بوده که استفاده از آبیاری قطره‌ای در مقایسه با غرقابی تا ٦ درصد باعث کاهش مصرف آب شده است [۱٦۹،۱۷۰]. مطابق با این تحقیقات «افزایش راندمان آبیاری نه تنها منجر به کاهش مصارف آب نمی‌شود؛ بلکه ممکن است موجب افزایش مصارف آب شود» [۱۷۱]، [۱۷۲] و [۱۷۳]. در واقع این تحقیقات بیان می‌کنند، استفاده از سیستم‌های تحت‌فشار، نه برای افزایش بهره‌وری (میزان تولید به ازای هر واحد حجم آب) و نه برای کاهش مصرف آب مفید نبوده است، بلکه اهداف دیگری از جمله افزایش تولید محصول در واحد سطح کشت را دنبال کرده است. این موضوع به ویژه در مناطقی که پتانسیل اراضی قابل کشت بیشتر از منابع آب در دسترس است به وضوح نمایان می‌باشد.

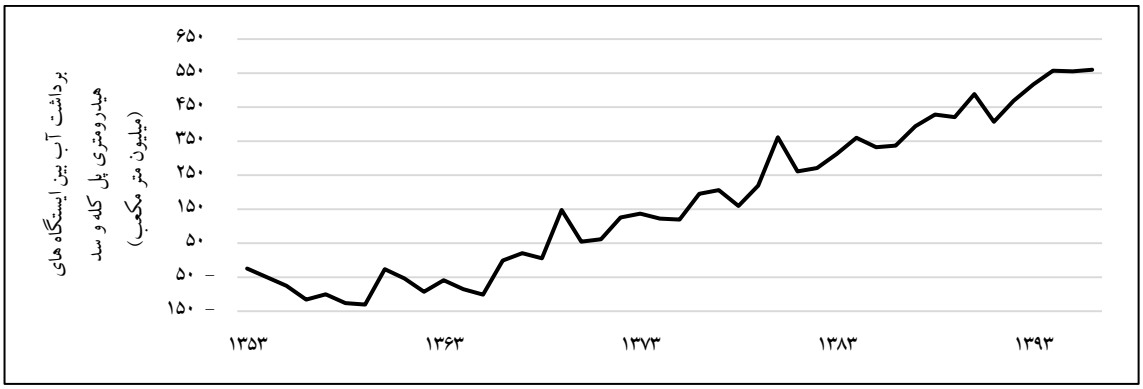
یکی دیگر ازمولفه‌های اجتماعی–اقتصادی مهم در حوضه‌ی زاینده‌رود عدالت در تخصیص آب است. به دلیل توسعه‌ی نامتوازن کشاورزی در بالادست و پایین دست، الگوی تخصیص آب در این حوضه تغییر یافته است.

در مناطق بالادست حوضه (قبل از سد زاینده‌رود) توسعه‌ی اراضی کشاورزی، میزان رواناب ورودی به سد را تحت تاثیر قرار داده است. با وجود اینکه روند بارش در ایستگاه چلگرد در طول سال‌های گذشته تغییر چندانی نداشته است (شکل ۵-۱)، روند جریان ورودی به سد زاینده‌رود در همین سالها نزولی بوده است (شکل ۵-۱۴).



شکل ۵-۱۴- روند جریان ورودی به سد زاینده‌رود [۱۶۵]

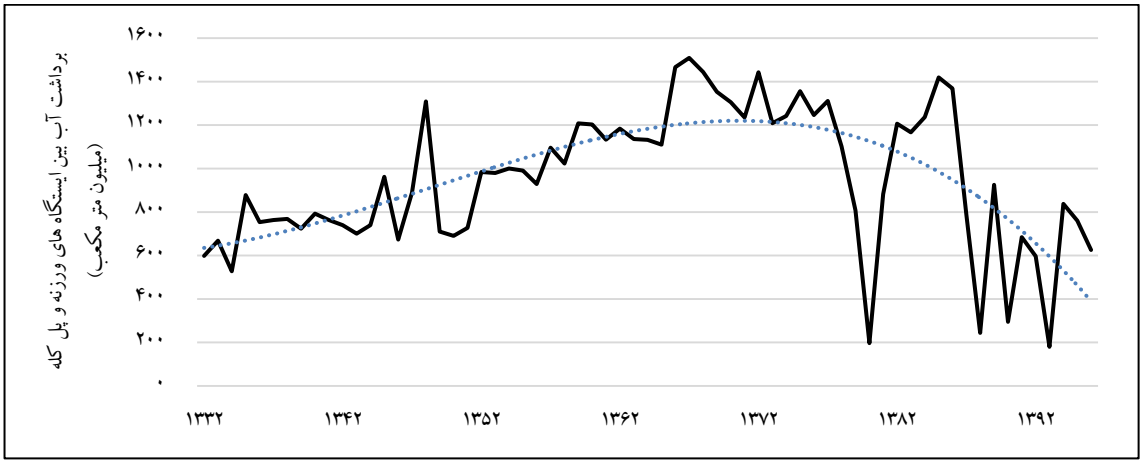
در مناطق بالادست حوضه (بعد از سد زاینده‌رود تا پل کله) نیز توسعه‌ی کشاورزی سبب شده مصرف آب در این مناطق افزایش یابد. شکل ۵-۱۵ میزان برداشت آب از رودخانه بین سد و ایستگاه هیدرومتری پل کله را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشخص است، قبل از سال ۱۳۶۶ در این بازه‌ی رودخانه شاخه‌های فرعی به رودخانه متصل می‌شده و این منطقه جزو سرچشمه‌های رودخانه محسوب می‌شده است، لکن به مرور زمان مصرف آب در این منطقه افزایش یافته و آن را به یکی از مصرف کننده‌های مهم منابع آب رودخانه تبدیل نموده است.



شکل ۵-۱۵- میزان کسر منابع آب از رودخانه زاینده‌رود بین سد زاینده‌رود و ایستگاه هیدرومتری پل کله [۱۶۵]

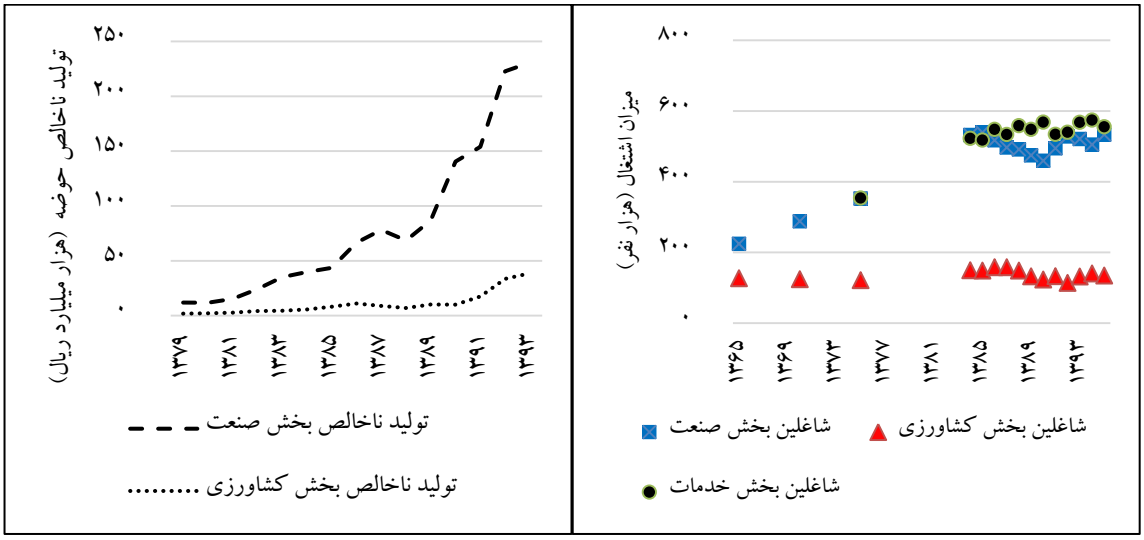
با تغییر الگوی تخصیص آب بیشترین آسیب در مناطق پایین دست حوضه ایجاد شده است. میزان منابع آب تخصیص یافته به مناطق پایین دست حوضه در شکل ۵-۱۶ نشان داده شده است. همان طور ه در این شکل مشخص

است تا سال ۱۳۷۳ (احتمالا به دلیل ترسالی و طرح‌های توسعه منابع آب) میزان آب برداشتی در این منطقه افزایش یافته است ولی بعد از آن، هم میزان آب تخصیص یافته و هم پایداری آن به شدت کاهش یافته است.



شکل ۵-۱۶- میزان منابع آب برداشتی از رودخانه بین ایستگاه‌های هیدرومتری پل کله و ورزنه [۱۶۵]

با توجه به اینکه تغییر الگوی تخصیص با قانون تعارض دارد، می‌توان این تغییر را نوعی بی عدالتی در توزیع آب محسوب نمود. تغییر الگوی تخصیص آب، رفاه جامعه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تولید ناخالص داخلی یکی از شاخص‌هایی است که می‌تواند وضعیت رفاه جامعه را نشان دهد. میزان تغییرات GRP در حوضه‌ی زاینده‌رود در شکل ۵-۱۷ نشان داده شده است. البته شاخص GRP نماینده‌ی کاملی از وضعیت رفاه در جامعه نیست زیرا نمی‌تواند تولید بخش غیر نقدی را حساب کند. به عنوان مثال مقدار محصولات کشاورزی که افراد برای مصرف خودشان تولید می‌کنند در این شاخص در نظر گرفته نمی‌شود. از طرفی این شاخص هیچ اطلاعاتی در مورد توزیع تولید و پیامدهای آن ارائه نمی‌کند. به عنوان مثال یک واحد کاهش در تولید ۱۰ کشاورز و ۱۰ واحد افزایش در یک صنعت هیچ تغییری در میزان GRP ایجاد نمی‌کند. بنابراین افزایش این شاخص الزاما منجر به رضایت بیشتر جامعه نخوهد شد.



شکل ۵-۱۷- میزان GRP و اشتغال در حوضه زاینده‌رود (استخراج شده از سالنامه های آماری)

اشتغال یکی دیگر از شاخص‌های نشاندهنده‌ی رفاه در جامعه است. در سال‌های اخیر مشکل اصلی برخی مناطق کشاورزی حوضه، بخصوص مناطق شرقی، عدم تخصیص آب و بیکاری کشاورزان بوده است. روند تعداد مشاغل حوضه زاینده‌رود (شکل ۵-۱۷) نیز نشان می‌دهد که مشاغل صنعتی و خدماتی در طول سال‌های گذشته افزایش یافته‌اند در حالی که تعداد اشتغال بخش کشاورزی تقریبا ثابت باقی مانده است. عدم افزایش اشتغال در بخش کشاورزی، با وجود توسعه‌ی اراضی کشاورزی، اثبات می‌کند که مشاغل کشاورزی جدید بخصوص در بالادست حوضه ایجاد شده است در حالی که برخی کشاورزان قبلی در پایین دست حوضه شغل خود را از دست داده‌اند. همچنین باید توجه شود که توسعه‌ی صنعت و خدمات، عموما در شهرهای بزرگ رخ می‌دهد در حالی که جایگاه مشاغل کشاورزی مناطق روستایی است، لذا مشاغل صنعتی و خدماتی نمی‌توانند جایگزین مشاغل کشاورزی محسوب شوند. عدم تخصیص حق‌آبه‌ها به کشاورزان (بی عدالتی) و افزایش بیکاری، بخصوص در مناطق پایین دست، سرمایه‌ی اجتماعی را کاهش داده که همین مسئله تنش‌های اجتماعی را در منطقه افزایش داده است.

یکی دیگر از مشکلات سیستم، عدم مدیریت الگوی کشت در منطقه است. این مسئله از یک طرف سبب شده تعادل بین عرضه و تقاضا وجود نداشته باشد و در هر سال، قیمت یکی از محصولات کشاورزی (عموما صیفی جات) کاهش پیدا می‌کند (شکل ۵-۱۸). از طرف دیگر با سیاست گذاری اشتباه مصرف آب غیربهینه می‌شود. برای تصمیم‌گیری در مورد الگوی کشت معیارهای متعددی می تواند مورد استفاده قرار گیرد از جمله عملکرد (میزان تولید به ازای هر هکتار)، میزان درآمد به ازای هر هکتار، بهره وری فیزیکی (میزان تولید به ازای هر متر مکعب آب)، بهره وری اقتصادی (میزان درآمد حاصل به ازای هر متر مکعب آب) و غیره. استفاده از هر یک از این

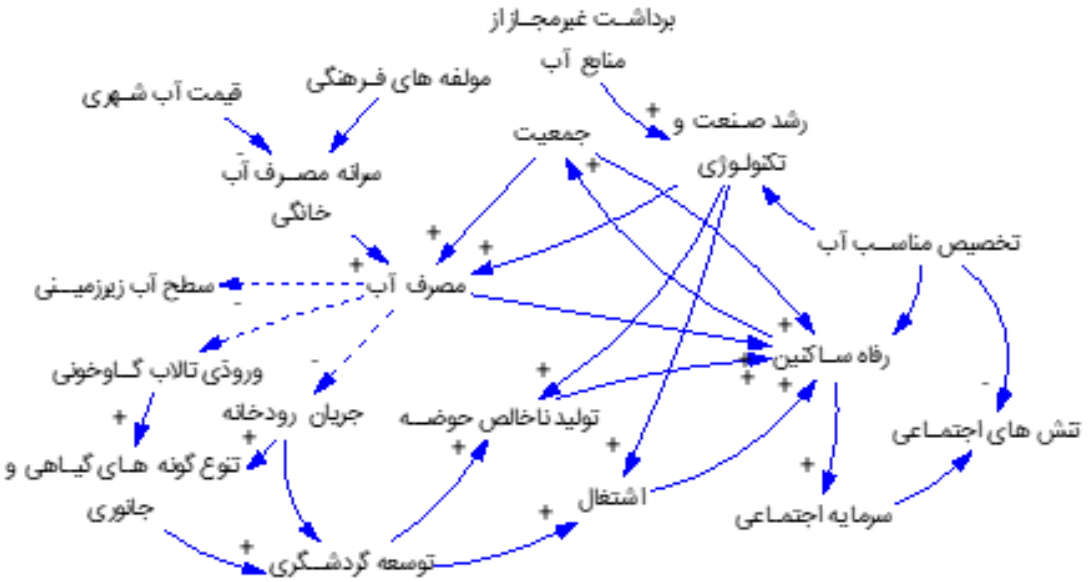
شاخص‌ها می تواند نتایج متفاوتی داشته باشد. اینکه از چه شاخصی استفاده شود بستگی به اهداف سیاست‌گذاران دارد. به عنوان مثال در مناطقی که محدودیت زمین وجود دارد، اهداف بایستی بر اساس زمین سنجیده شوند یعنی «تولید به ازای هر هکتار» یا «درآمد به ازای هر هکتار» مدنظر قرار بگیرد. در مناطقی که محدودیت زمین وجود ندارد و محدودیت آب وجود دارد، اهداف بایستی بر اساس آب سنجیده شوند یعنی «تولید به ازای هر مترمکعب آب» یا «درآمد به ازای هر متر مکعب آب» مدنظر قرار بگیرد. قاعدتا در حوضه ی زاینده رود به دلیل محدودیت آب و عدم محدودیت زمین، بایستی اهداف بر اساس آب سنجیده شوند. در این صورت اگر هدف سیاست‌گذاران ایجاد درآمد بیشتر برای کشاورز باشد، بایستی «درآمد به ازای هر متر مکعب آب» مدنظر قرار گیرد، ولی اگر هدف سیاست‌گذاران امنیت غذایی یا خودکفایی باشد بایستی «تولید به ازای هر متر مکعب آب» مد نظر قرار بگیرد. سیاست‌گذاران ممکن است اهداف دیگری مانند اشتغال زایی را دنبال کنند یا ممکن است چند هدف به صورت همزمان انتخاب شود ولی انتخاب اشتباه اهداف می تواند منجر به سیاست گذاری اشتباه شود. به عنوان مثال به اشتباه کشت محصولاتی مانند برنج در حوضه‌ی زاینده‌رود ممنوع شده است. جدول ۵-۳ اولویت بندی محصولات کشاورزی حوضه‌ی زاینده‌رود را بر اساس برخی معیارها نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشخص است کشت برنج از نظر بهره‌وری اقتصادی و بهره‌وری اشتغال در رتبه‌ی ۶ قرار دارد و کشت آن از بسیاری از محصولات دیگر اولویت دارد. در حالی که سیاست گذاران، مقدار مصرف آب به ازای هر هکتار را معیار ارزیابی قرار داده اند و کشت این محصول را ممنوع کرده اند. در مجموع عدم مدیریت الگوی کشت سبب شده بهره‌وری اقتصادی از منابع آب کاهش یابد. افزایش بهره‌وری اقتصادی کمک می‌کنند تا با مصرف میزان کمتری آب، همان درآمد قبلی ایجاد شود. البته رنبه بندی محصولات جدول ۵-۳ برای یک سال مشخص انجام شده است و نمی توان به کل سال ها تعمیم داد زیرا میزان بهره‌وری اقتصادی محصولات بخصوص محصولات صیفی وابسته به سطح زیرکشت محصولات در کل کشور است.

شکل ۵-۱۸- محصولات کشاورزی که به دلیل قیمت پایین خوارک دام شده است

دو ساز وکار عمده برای تثبیت الگوی کشت وجود دارد: الگوی هدایت شده و الگوی بازار آزاد. در الگوی هدایت شده از سیاست‌های تنظیمی (نظیر نهاده و یارانه) برای سوق دادن کشاورزان به سمت محصولات خاص استفاده می‌شود، اما الگوی بازار آزاد بر رقابت برای تأمین نیاز بازار با کمترین هزینه و بیشترین بهره‌وری استوار است به گونه‌ای که در منطقه‌ای که محصولی نتواند با مزیت نسبی زیاد تولید شود از گردونه‌ی تولید خارج می‌شود و از طرفی امکانات زیرساختی منطقه برای تولید محصول خاصی شکل می‌گیرد و نهایتاً بر تثبیت الگوی کشت منجر می‌شود. الگوی هدایت شده فقط در خصوص محصولات استراتژیک که دولت‌ها مایل به کنترل آن‌ها هستند قابل اجرا است و برای دیگر محصولات مطلوبیتی از نظر دولت ندارد [۱۲۲]. در حال حاضر هر دو الگوی فوق در حوضه آبریز زاینده‌رود با شکست مواجه شده است؛ که دلایل متعددی دارد از جمله نبود بیمه‌های قوی، نبود اطلاعات دقیق از الگوی کشت فعلی، عدم شفافیت در بازار محصولات کشاورزی، عدم ایجاد زنجیره‌های تامین. بر اساس مسائل و مشکلات بیان شده در این فصل یک دیاگرام علت و معلولی برای سیستم اجتماعی-اقتصادی توسعه یافته و در شکل ۵-۱۹ نشان داده شده است.

جدول ۵-۳- اولویت بندی کشت محصولات کشاورزی بر اساس برخی معیارهای تصمیم‌گیری در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ (محاسبه شده بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان)

اولویت کشت	سطح زیر کشت فعلی (هکتار)	بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر متر مکعب)	بهره‌وری اقتصادی (ریال بر متر مکعب)	اشتغال به ازای واحد آب (تعداد شغل بر متر مکعب)
۱	گندم	ذرت علوفه‌ای	سیب زمینی	خربزه
۲	جو	پیاز	پیاز	خیار
۳	یونجه	خربزه	خیار	طالبی وگرمک
٤	گندم دیم	طالبی وگرمک	خربزه	گوجه فرنگی
٥	سیب زمینی	هندوانه	گوجه فرنگی	پیاز
٦	ذرت علوفه‌ای	خیار	برنج (شلتوک)	برنج (شلتوک)
۷	جو دیم	گوجه فرنگی	طالبی وگرمک	سیب زمینی
۸	برنج (شلتوک)	سیب زمینی	هندوانه	هندوانه
۹	اسپرس	چغندرقند	ذرت علوفه‌ای	جو
۱۰	پیاز	جو	انواع لوبیا	انواع لوبیا
۱۱	سایر سبزیجات	یونجه	جو	چغندرقند
۱۲	انواع لوبیا	گندم	گندم	افتابگردان آجیلی
۱۳	افتابگردان آجیلی	برنج (شلتوک)	چغندرقند	پنبه
١٤	پنبه	اسپرس	ارزن	گندم
١٥	خربزه	شبدر	یونجه	شبدر
١٦	سایرعلوفه ها	ارزن	افتابگردان آجیلی	یونجه
۱۷	شبدر	انواع لوبیا	اسپرس	اسپرس
۱۸	گوجه فرنگی	افتابگردان آجیلی	پنبه	ذرت علوفه‌ای
۱۹	گلرنگ	پنبه	گلرنگ	ارزن
۲۰	چغندرقند	گلرنگ	شبدر	گلرنگ



شکل ۵-۱۹- دیاگرام علت و معلولی سیستم اجتماعی-اقتصادی (نتایج تحقیق حاضر)

۵-۲-۲ جمع‌بندی مطالعات تئوری زمینه‌ای

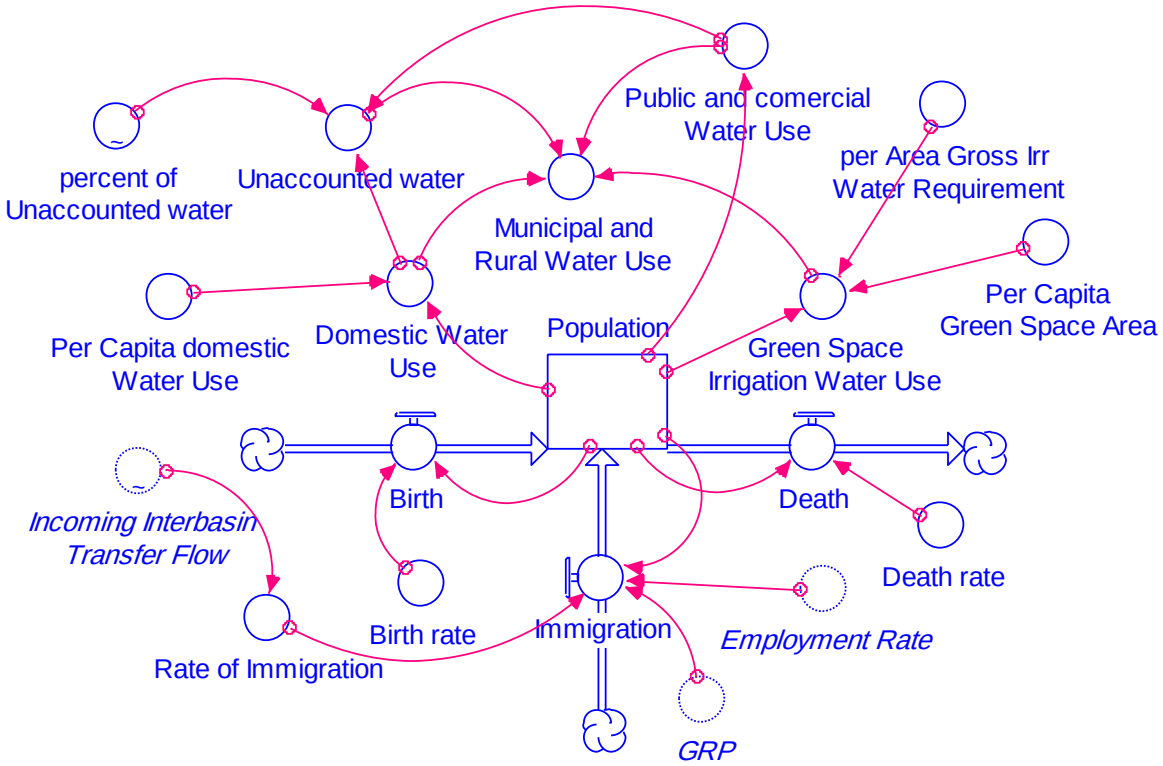
در این بخش، مشکلات سیستم‌های طبیعی و اجتماعی-اقتصادی بیان شد. بر اساس مطالعات انجام شده و مصاحبه‌های صورت گرفته، مهم‌ترین مشکلات از منظر ذینفعان و مدیران در این بخش ارائه شد. البته قطعا مشکلات متعدد دیگری در این سیستمها وجود دارد. به طور کلی می‌توان گفت که مشکلات سیستم طبیعی عموما، ریشه در سیستم اجتماعی اقتصادی دارند. با توجه به اینکه در مطالعات کیفی، مهم‌ترین مولفه‌های اثرگذار بر سیستم شناسایی شد، در ادامه تلاش گردید تا این مولفه‌ها به صورت کمی وارد مدل پویایی سیستم گردد.

۵-۳ توسعه مدل پویایی سیستم

جهت فهم ساده‌تر، مدل پویایی سیستم تحت قالب چند زیرمدل با عناوین جمعیت و آب شرب، صنعت، کشاورزی، اشتغال و منابع آب نشان داده می‌شود. زیرسیستم منابع آب مهم‌ترین بخش مدل است که کلیه‌ی منابع و مصارف در آن لینک شده‌اند. اشتغال و GRP در زیرسیستم‌های صنعت و کشاورزی محاسبه می‌شوند و اشتغال در زیرسیستم اشتغال جمع بندی می‌شود. برخی از این زیرسیستم‌ها چند لایه طراحی شده‌اند به این معنی که هر متغیر به چند بخش تقسیم می‌شود. مرزهای مکانی مدل بر اساس مرزهای حوضه و افق زمانی مدل برای یک دوره‌ی ۳۵ ساله است (۱۹۹۱-۲۰۲۵). در ادامه هر یک از این زیرمدل‌ها به تفصیل ارائه می‌شود.

۵-۳-۱ زیرمدل جمعیت و آب شرب

نمودار جریان–حالت زیرمدل آب شرب در شکل ۵-۲۰ ارائه شده است و متغیرهای آن در جدول ۵-۴ معرفی شده‌اند. این زیرمدل، به شبیه‌سازی مصرف آب در شهرها و روستاهای حوضه‌ی زاینده‌رود می‌پردازد. در این زیرمدل جمعیت به عنوان متغیر حالت در نظر گرفته شده است که از طریق زاد و ولد، مرگ و میر و مهاجرت تغییر می‌کند. با استفاده از جمعیت حوضه و سرانه مصرف آب خانگی، تقاضای آب خانگی در هر سال تعیین می‌شود. کل تقاضای آب شهری و روستایی شامل تقاضای آب خانگی، تقاضای بخش تجاری و عمومی، تقاضای صنایع شهری و آب بدون درآمد می‌شود که از شبکه‌ی آب و فاضلاب شهری و روستایی تأمین می‌شود. نیاز آبیاری فضای سبز نیز یکی دیگر از تقاضاهای آب، در شهرها و روستاهاست که عمدتاً خارج از شبکه آب و فاضلاب تأمین می‌شود. در ادامه هر یک از این بخش‌ها به تفصیل توضیح داده می‌شود.



شکل ۵-۲۰- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل جمعیت و آب شرب

جدول ۵-۴- نام متغیرهای استفاده شده در زیرمدل جمعیت و آب شرب

نماد متغیر در مدل	متغیر	نماد متغیر در مدل	متغیر
Population	جمعیت	Percent of Unaccounted water	درصد آب بدون درآمد
Unaccounted water	مقدار آب بدون درآمد	Municipal and Rural Water Use	آب مورد بهره برداری بخش شهری و روستایی (کل حوضه)
Public and Comercial sector Water Use	آب مورد بهره برداری بخش عمومی و تجاری	Urban Industries Water Use	آب مورد بهره برداری توسط صنایع شهری
G.S Water Use per Area	آب مورد بهره برداری هر واحد سطح از فضای سبز	Per Capita Green Space Area	سرانه فضای سبز (متر مربع به ازای هر نفر)
Green space Irrigation Water Use	آب آبیاری کل فضای سبز	Per Capita Water Use	سرانه آب خانگی به ازای هر نفر
Birth	میزان تولد در هر سال	Birth Rate	نرخ تولد
Death	میزان مرگ و میر در هر سال	Death Rate	نرخ مرگ و میر
Immigration	میزان مهاجرت ورودی در هر سال	Rate of Immigration	نرخ مهاجرت به حوضه زاینده‌رود
Employment Rate	نرخ اشتغال در حوضه	GRP	تولید ناخالص داخلی حوضه

جمعیت

همان طور که در شکل ۵-۸ مشخص است، از سال ۱۳۷۰ الی ۱۳۹۰ جمعیت ساکن در حوضه‌ی زاینده‌رود حدود ۳۳ درصد افزایش یافته است. افزایش جمعیت ناشی از دو عامل «رشد جمعیت در خود حوضه» و «مهاجرت از حوضه‌های دیگر» است. برای محاسبه‌ی میزان جمعیت نیاز است میزان ولادت، مرگ و میر و مهاجرت در هر سال محاسبه شود. درصد ولادت و مرگ و میر در سال ۱۳۹۰ به ترتیب برابر ۱.۵۴۱ درصد و ۰.۵۴۸ درصد بوده است (سایت سازمان ثبت احوال). مهاجرت ورودی و خروجی به استان اصفهان نیز طی دهه‌ی اخیر به طور متوسط ۰.۵۹ درصد و ۰.۳۹ درصد در سال بوده است [۱۷۴]. برای محاسبه‌ی میزان مهاجرت ورودی به استان، با توجه به اندرکنش بین مهاجرت و انتقال آب بین حوضه‌ای، در مدل توسعه یافته، فرض شده است که نرخ مهاجرت از میزان آب انتقال یافته بین حوضه‌ای تاثیر می‌پذیرد. همچنین با توجه به اینکه میزان مهاجرت از میزان اشتغال حوضه تاثیر می‌پذیرد [۱۰۷] فرض شده است که با افزایش نرخ اشتغال (بیشتر از متوسط نرخ اشتغال کشور) میزان مهاجرت افزایش یافته و با کاهش نرخ اشتغال مهاجرت کاهش میابد.

تقاضای آب شهری و روستایی

تقاضای آب خانگی کل حوضه، از حاصل‌ضرب سرانه مصرف آب خانگی در جمعیت حوضه به دست می‌آید. با توجه به شرایط اجتماعی و آب و هوایی حوضه زاینده‌رود، استاندارد مصرف سرانه خانگی در این حوضه، بین ۷۵ تا ۱۵۰ لیتر بر روز به ازای هر نفر تخمین زده شده است [۱۵۶]؛ لکن متوسط سرانه خانگی در حوضه زاینده‌رود در طول سال‌های گذشته (برای مجموع مناطق شهری و روستایی) معادل ۱۶۶.۳ لیتر در روز به ازای هر نفر بوده است (منبع: آمار و اطلاعات سایت شرکت آب و فاضلاب شهری و روستایی استان اصفهان). همچنین متوسط مصرف سرانه‌ی عمومی و متوسط مصرف سرانه تجاری و صنعتی در حوضه زاینده‌رود در بخش شهری به ترتیب حدود ۱۵ و ۳۰ لیتر در روز به ازای هر نفر و در بخش روستایی به ترتیب ۴ و ۴ لیتر در روز به ازای هر نفر تخمین زده شده است [۱۵۶].

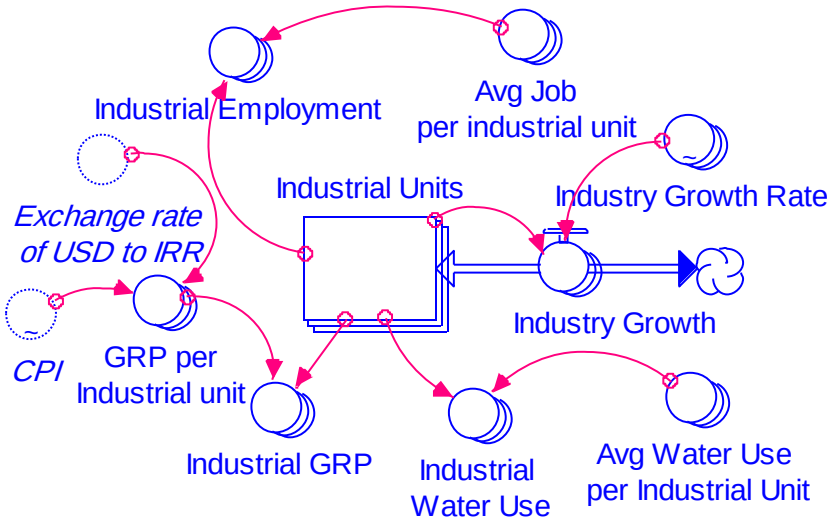
میزان آب بدون درآمد در سال ۱۳۸۶ در بخش آب شرب شهری ۲۹.۷۹ درصد بوده است. این مقدار به مرور کاهش پیدا نموده تا سال ۱۳۹۵ به ۱۷ درصد رسیده است (شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، سامانه webmis). میزان آب بدون درآمد در بخش آب شرب روستایی در سال ۱۳۹۱ حدود ۳۶ درصد بوده است. این مقدار به مرور کاهش پیدا نموده است تا در سال ۱۳۹۵ به حدود ۲۹ درصد رسیده است (آمار شرکت آب و فاضلاب روستایی). در مجموع متوسط سرانه آب شرب شهری و روستایی بدون احتساب آب استفاده شده برای آبیاری فضای سبز به ازای هر نفر حدود ۲۶۰ لیتر در روز است.

سرانه فضای سبز شهر اصفهان ۵.۲۶ مترمربع به ازای هر نفر است (مدیرعامل سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری اصفهان، ۱۳۹۷) و نیاز خالص فضای سبز در حوضه زاینده‌رود ۸۰۰۰ مترمکعب به ازای هر هکتار در سال تعیین شده است [۱۵۶]، در نتیجه میزان نیاز خالص فضای سبز ۲.۱۹ لیتر در روز به ازای هر مترمربع خواهد بود. نیاز ناخالص فضای سبز از حاصلضرب نیاز خالص در راندمان سیستم آبیاری به دست می‌آید، لذا بایستی راندمان سیستم‌های آبیاری فضای سبز نیز محاسبه شود. کفایتی (۱۳۸۴) ۹ سیستم آبیاری فضای سبز شامل سه سیستم آبیاری سطحی، سه سیستم آبیاری بارانی و سه سیستم آبیاری قطره‌ای در اصفهان را مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد و راندمان کاربرد آب را در این سیستم‌ها را بین ۳۲ الی ۶۶ درصد به دست آورد. البته به دلیل اینکه عدم توزیع مناسب آب یکی از مشکلات شایع سیستم‌های آبیاری است، راندمان کاربرد آب نمی‌تواند راندمان واقعی آب را نشان دهد. به عبارت دیگر به دلیل اینکه قسمت‌هایی از فضای سبز دچار کم آبیاری می‌شود، در مجموع آب کمتری استفاده شده است. لذا راندمان آب در فضای سبز حوضه در مدل پویایی سیستم حدود ۶۶ درصد در نظر

گرفته شد. در این صورت نیاز ناخالص آب در حوضه زاینده‌رود حدود ۳.۲۹ لیتر در روز به ازای هر مترمربع به دست خواهد آمد.

۵-۳-۲ زیرمدل بخش صنعت

در زیرمدل بخش صنعت تلاش می‌شود تعداد صنایع، میزان مصرف آب صنایع، میزان اشتغال ایجاد شده در صنایع و GRP حاصل از صنایع حوضه‌ی زاینده‌رود محاسبه گردد. نمودار جریان–حالت این زیرمدل در شکل ۵-۲۱ و معرفی مولفه‌های آن در جدول ۵-۵ ارائه شده است. در این زیرمدل تعداد صنایع به عنوان متغیر حالت در نظر گرفته شده است. این متغیر حالت، سه لایه است که در یک لایه صنایع بزرگ بررسی می‌شود، در لایه‌ی دوم صنایع کوچک و متوسط موجود در شهرک‌های صنعتی بررسی می‌شود و در لایه‌ی سوم صنایع کشاورزی بررسی می‌شوند. مصرف آب صنایعِ شهری، در زیرمدل آب شرب محاسبه شده است.



شکل ۵-۲۱- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل بخش صنعت

جدول ۵-۵- نام متغیرهای استفاده شده در زیرمدل بخش صنعت

نماد متغیر در مدل	متغیر	نماد متغیر در مدل	متغیر
Avg Job per Industrial unit	متوسط تعداد شغل به ازای هر واحد صنعتی	Industrial Employment	میزان اشتغال بخش صنعت
Industry Growth Rate	نرخ رشد صنعت	Industrial units	تعداد واحدهای صنعتی
Exchange rate of USD to IRR	نرخ تبدیل دلار به ریال	GRP per Industrial Unit	متوسط میزان تولید ناخالص به ازای هر صنعت
Industry Growth	میزان افزایش واحدهای صنعتی	Avg water use per Industrial unit	متوسط مصرف آب به ازای هر واحد صنعتی
Industial GRP	کل تولید ناخالص صنایع	Industrial Water Use	آب مورد بهره برداری بخش صنعت
CPI	شاخص قیمت مصرف کننده		

تعداد صنایع اضافه شده به حوضه، به صورت سری تاریخی وارد مدل پویایی سیستم شده است. تعداد مجوز اشتغال صادر شده در این سالها نیز توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت گزارش شده است. از طرفی تعداد اشتغال کل صنعت در حوضه‌ی زاینده‌رود در سالنامه‌های آماری گزارش شده است. با جمع بندی این آمار تعداد اشتغال در هر واحد صنعتی بزرگ و متوسط به طور میانگین به ترتیب ۴۶۰ و ۲۵ نفر در نظر گرفته شد. در مورد صنایع کشاورزی از یک طرف می‌توان میزان اشتغال را به ازای محصولات به دست آورد. به عنوان مثال در حوضه زاینده‌رود به ازای هر ۱۰۰۰ متر گلخانه، ۴۱ راس دام سبک و ۱۳ راس دام سنگین یک شغل ایجاد می‌شود. از طرفی می‌توان تعداد اشتغال ایجاد شده را به ازای واحد بهره برداری به دست آورد (از طریق مقایسه تعداد مشاغل با تعداد واحدهای بهره برداری). با توجه به اینکه عمده‌ی مالکان صنایع کشاورزی کوچک چند شغله محسوب می‌شوند (آماربرداری کشاورزی، ۱۳۹۳)، از روش دوم متوسط اشتغال ایجاد شده در هر واحد کشاورزی ۱ نفر به دست آمد.

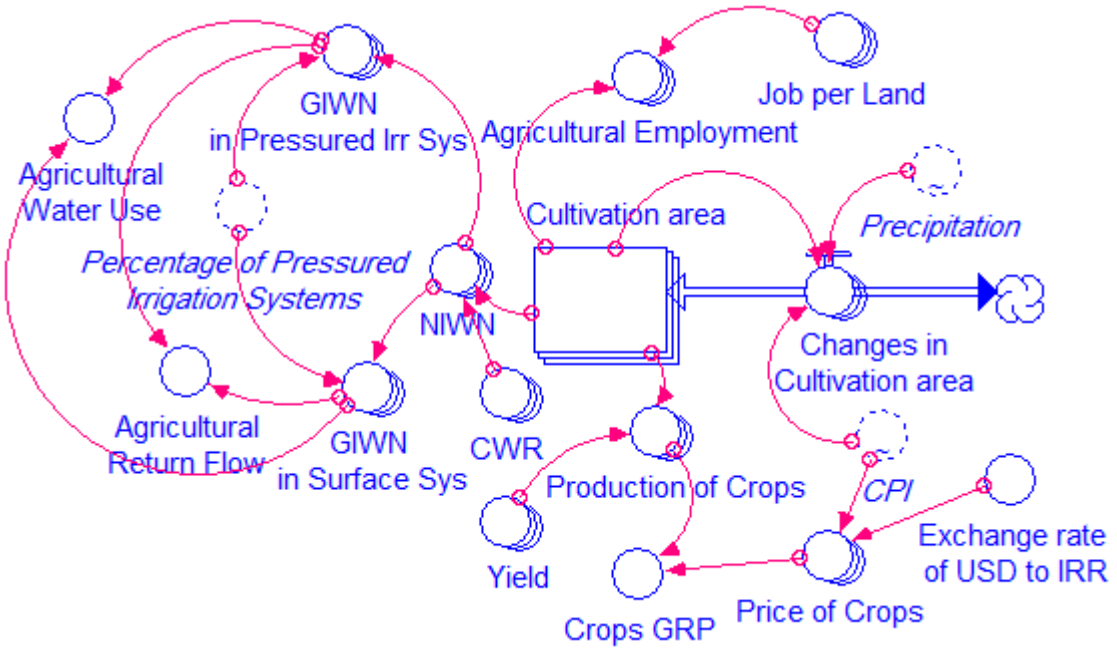
میزان GRP ایجاد شده در بخش صنعت در استان اصفهان، از ۱۲۰۰۰ میلیارد ریال در سال ۱۳۷۹ به ۲۳۰،۰۰۰ میلیارد ریال در سال ۱۳۹۳ رسیده است (سازمان برنامه و بودجه استان اصفهان). در مجموع میزان GRP ایجاد شده به ازای هر واحد صنعتی بزرگ، متوسط و واحد کشاورزی به ترتیب ۱۲۰۰۰، ۳۹ و ۴.۸۱ برابر CPI به دست آمد.

طبق آمار ارائه شده از تعداد واحدهای صنعتی (منبع: سالنامه‌های آماری) و میزان مصرف آب این صنایع (منبع: داده‌های شرکت آب منطقه‌ای اصفهان)، هر واحد صنعتی کشاورزی (شامل پرورش ماکیان، دامداری‌ها،

گلخانه‌ها و آبزی‌پروری‌ها) به طور متوسط ۲۸۰۰ مترمکعب آب در سال مصرف می‌کند. هر واحد صنعتی متوسط و کوچک به طور میانگین ۲۰۰۰ متر مکعب و هر واحد صنعتی بزرگ به طور متوسط ۳.۸ میلیون متر مکعب آب در سال مصرف می‌کند.

۵-۳-۳ زیرمدل بخش کشاورزی

در زیرسیستم کشاورزی، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به عنوان متغیر حالت در نظر گرفته شده است و میزان تولید محصولات، میزان مصرف آب، GRP و میزان اشتغال ایجاد شده در بخش کشاورزی مهم‌ترین مولفه‌های این زیرسیستم را تشکیل می‌دهند. این زیرسیستم شامل سه لایه است که در هر لایه یک دسته اراضی کشاورزی مدلسازی شده‌اند. این دسته‌ها عبارتند از اراضی زراعی دیم، اراضی زراعی آبی و باغات، زیرا هر یک از این دسته‌ها از نظر وابستگی به آب، سود اقتصادی و اشتغال ایجاد شده تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای دارند. شمای کلی این زیرمدل در شکل ۵-۲۲ و متغیرهای آن در جدول ۵-۶ معرفی شده‌اند. در ادامه ابتدا نحوه‌ی انطباق داده‌های کشاورزی با داده‌های منابع آب بیان می‌شود، سپس رابطه‌ی اشتغال و کشاورزی ارائه می‌شود. نحوه‌ی محاسبه‌ی نیاز خالص و ناخالص، GRP و برگشت آب در سیستم کشاورزی در فصل سوم به تفصیل بیان گردید.



شکل ۵-۲۲- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل کشاورزی

جدول ۵-۶- نام متغیرهای استفاده شده در زیرمدل بخش کشاورزی

نماد متغیر در مدل	متغیر	نماد متغیر در مدل	متغیر
Job per Land	تعداد شغل ایجاد شده به ازای هر هکتار	Changes in Cultivated Area	تغییرات اراضی کشت شده
Cultivation Area	اراضی کشت شده	Agricultural Employment	اشتغال ایجاد شده در بخش کشاورزی
Production of Crops	میزان تولید محصولات کشاورزی	Yields	متوسط عملکرد محصولات کشاورزی
Crops GRP	تولید ناخالص بخش کشاورزی	Price of Crops	قیمت محصولات کشاورزی
CWR	نیاز آبیاری محصولات کشاورزی	NIWN	نیاز خالص آبیاری کل محصولات کشاورزی
GIWN in Surface Irr Sys	نیاز ناخالص محصولات کشاورزی در سیستم‌های آبیاری سطحی	GIWN in Pressured Irr Sys	نیاز ناخالص محصولات کشاورزی در سیستم‌های آبیاری تحت فشار
Percentage of Pressured Irrigation Systems	درصد اراضی مجهز شده به سیستم‌های آبیاری تحت فشار	Agricultural Return Flow	جریان آب برگشتی از اراضی کشاورزی
Agricultural Water Use	آب مورد بهره برداری محصولات کشاورزی		

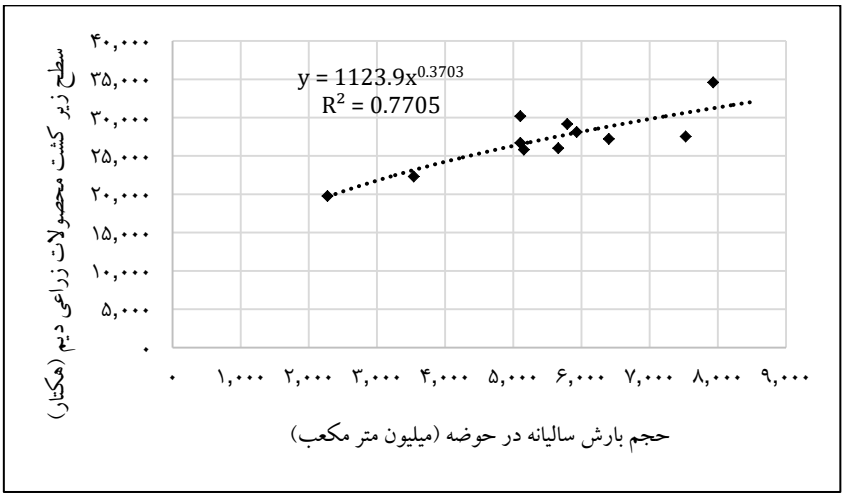
انطباق اطلاعات شهرستانی متناسب با زیرحوضه‌ها

یکی از چالش‌های مدیریت منابع آب ناهمگونی مرزهای هیدرولوژی و مرزهای سیاسی است. در حوضه‌ی زاینده‌رود نیز اطلاعات کشاورزی بر اساس واحدهای سیاسی جمع‌آوری می‌شوند و بر واحدهای هیدرولوژیک منطبق نیستند. بدین معنی که سازمان جهاد کشاورزی داده‌های کشاورزی از جمله سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات کشاورزی را بر حسب شهرستان جمع‌آوری و ارائه می‌کند. در حالی که شرکت آب منطقه‌ای واحد هیدرولوژیکی را به عنوان واحد آماربرداری و محاسبه‌ی بیلان در نظر می‌گیرد. در این راستا می‌توان با محاسبه‌ی سطوح زیر کشت در شهرستان‌ها و زیر حوضه‌های مختلف، ضرایبی برای تبدیل اطلاعات از مرزهای سیاسی به مرزهای هیدرولوژیک استخراج نمود. اولین بار سالی و مآمن پوش در سال ۲۰۰۱ برای تبدیل میزان سطوح زیرکشت از واحد شهرستان به واحد شبکه‌های آبیاری ضرایبی ارائه نمودند [۱۷۵]. در گزارش زایندآب و همچنین گزارش شرکت مشاوره یکم نیز مقدار زمین‌های کشاورزی در هر زیرحوضه ذکر شده است ولی چگونگی تبدیل مقادیر مبهم است [۱۵۲،۱۵۶]، ضمن اینکه طبق گزارش فلمدن، سازمان جهاد کشاورزی آمار و ارقام ارائه شده در

این گزارش‌ها را تائید نکرده است [۱۱۱]. فلمدن در سال ۲۰۱۴ بر اساس جلساتی که با سازمان جهاد کشاورزی و شرکت‌های مشاوره برگزار نمود، ضرایب جدیدی برای تبدیل سطوح زیر کشت از واحد شهرستان به شبکه‌های آبیاری به دست آورد. لکن وی تنها درصدی از زمین‌های کشاورزی هر شهرستان را به حساب آورد که تحت شبکه‌های آبیاری هستند و دیگر زمین‌های کشاورزی که به صورت پراکنده در شهرستان وجود دارد و عمدتاً از منابع آب زیرزمینی تغذیه می‌کنند را در محاسبات وارد نکرد. همچنین کشت دیم در این گزارش بررسی نشد [۱۱۱]. در تحقیق حاضر تلاش شد، ضرایب تبدیل به گونه‌ای به دست آید که بتوان داده‌های کشاورزی مربوط به استان و شهرستان را بر حسب واحد حوضه و زیرحوضه به دست آورد. در این راستا ابتدا تمامی داده‌های ارائه شده در گزارش‌های سالی، فلمن و شرکت‌های مشاوره‌ای بررسی و با یکدیگر مقایسه گردید و با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ مربوط به کل حوضه زاینده‌رود، درصدی از اراضی کشاورزی هر شهرستان که در هر زیرحوضه قرار دارد تعیین شد (این ضرایب در پیوست ۱ ارائه شده است).

سطح زیر کشت محصولات کشاورزی

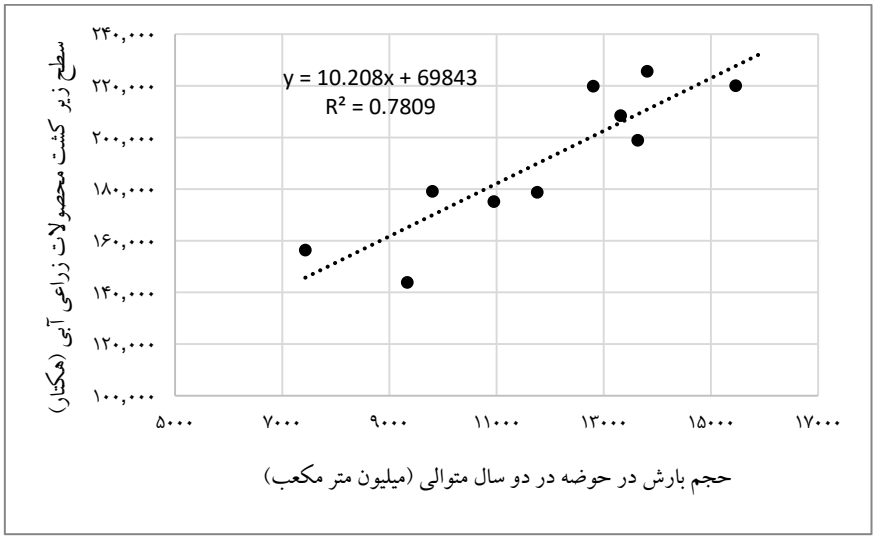
در حین تحلیل داده‌ها، مشخص شد سطح زیر کشت محصولات زراعی دیم، رابطه‌ی مستقیمی با حجم بارش در حوضه‌ی زاینده‌رود دارد. رگرسیون بین این دو متغیر در شکل ۵-۲۳ نشان داده شده است. در واقع این نمودار نشان می‌دهد تصمیم کشاورزان برای کشت دیم در هر سال، از میزان بارش آن سال تأثیر می‌پذیرد.



شکل ۵-۲۳- رابطه سطح زیر کشت محصولات زراعی دیم و حجم بارش در حوضه زاینده‌رود

همچنین تحلیل داده‌ها نشان داد، بین «سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی» و «میزان آب رها شده از سد»، همبستگی وجود دارد به طوری که ضریب تعیین آن $R^2=0.91$ است. از طرفی بین «میزان آب رها شده از سد» و «مجموع بارش در دو سال متوالی» نیز همبستگی وجود دارد و ضریب تعیین آن $R^2=0.79$ است که نشان

می‌دهد میزان رهاسازی آب در هر سال از مجموع بارش طی دو سال متوالی تأثیر می‌پذیرد. لذا می‌توان برای تخمین سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی از مجموع بارش طی دو سال متوالی استفاده نمود. نمودار شکل ۵-۲۴ رابطه‌ی رگرسیون بین این دو متغیر را نشان می‌دهد.

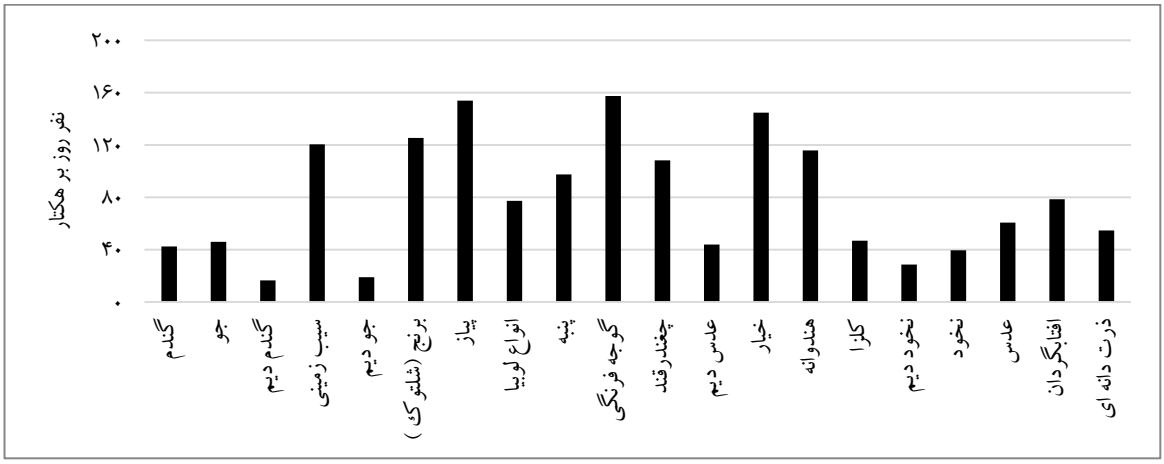


شکل ۵-۲٤- رابطه بین سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی و حجم بارش در دو سال متوالی در حوضه‌ی زاینده‌رود

سطح زیرکشت محصولات باغی ضمن تأثیرپذیری اندک از میزان بارش، در طول زمان رشد داشته است، لذا با استفاده از دو متغیر زمان و بارش تخمین زده شد.

رابطه کشاورزی و اشتغال

میزان شغلی که بخش کشاورزی می‌تواند ایجاد کند به مؤلفه‌های متعددی بستگی دارد. نوع کشاورزی (زراعت، باغبانی)، نوع محصول کشت شده، و نوع کشت (دیم یا آبی) بر میزان اشتغال بخش کشاورزی اثرگذار است. به طور کلی در کشت باغبانی اشتغال بیشتری ایجاد می‌شود و در کشت دیم بخشی از مراحل کشت انجام نمی‌شود و انتظار می‌رود میزان شغلی که ایجاد می‌شود کمتر از کشت آبی باشد. میزان اشتغال ایجاد شده برای برخی محصولات کشاورزی در نمودار شکل ۵-۲۵ ارائه شده است. برای محاسبه‌ی میزان اشتغال در این نمودار، زمان لازم (نفر روز) برای هر یک از مراحل کشاورزی شامل کوددهی، شخم زدن زمین، کاشت، آبیاری، سم‌پاشی و برداشت محاسبه شده و با جمع این زمان‌ها، میزان اشتغال برای محصول مورد نظر به دست آمده است.

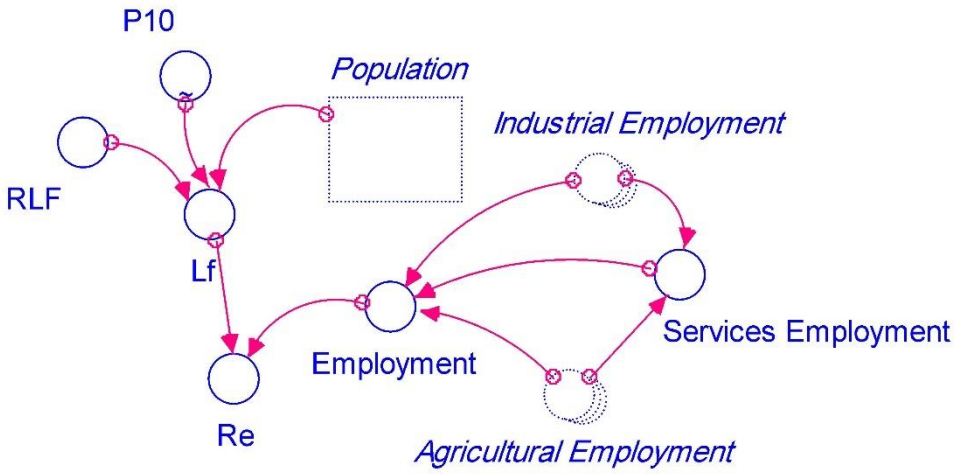


شکل ۵-۲۵- میزان شغل ایجاد شده به ازای محصولات کشاورزی مختلف در سال ۸۵-۸۶ (منبع: معاونت بهبود تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی)

برای بخش دیگری از محصولات کشاورزی که اطلاعات اشتغال موجود نبود، با مراجعه به خبرگان بخش کشاورزی، این اطلاعات تکمیل گردید. به طور میانگین برای انواع عملیات کشت در یک هکتار محصولات زراعی آبی ۸۵ نفر روز کار، در یک هکتار محصولات زراعی دیم ۳۰ نفر روز کار و در یک هکتار محصولات باغی ۱۱۴ نفر روز کار اشتغال ایجاد می‌شود. در حین کالیبره کردن مدل فهمیده شد که به طور متوسط هر ۱۵۵ روز کار کشاورزی در سال یک شغل ایجاد می‌کند. البته تعداد شغل ایجاد شده در مزرعه با تعداد بهره برداری‌های صورت گرفته متفاوت است. به ازای هر هکتار اراضی زراعی ۰.۳۵ و به ازای هر هکتار اراضی باغی ۱ بهره برداری صورت گرفته است (آمار برداری کشاورزی، ۱۳۹۳).

۵-۳-۴ زیرمدل اشتغال

برای اینکه بتوان میزان اشتغال ایجاد شده در سال‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه نمود، بایستی از نسبت اشتغال ایجاد شده استفاده نمود. بدین منظور میزان اشتغال ایجاد شده در بخش صنعت و کشاورزی در زیر مدل اشتغال جمع بندی و نسبت اشتغال محاسبه شده است. شمایی از این زیرمدل در شکل ۵-۲۶ نشان داده شده است.



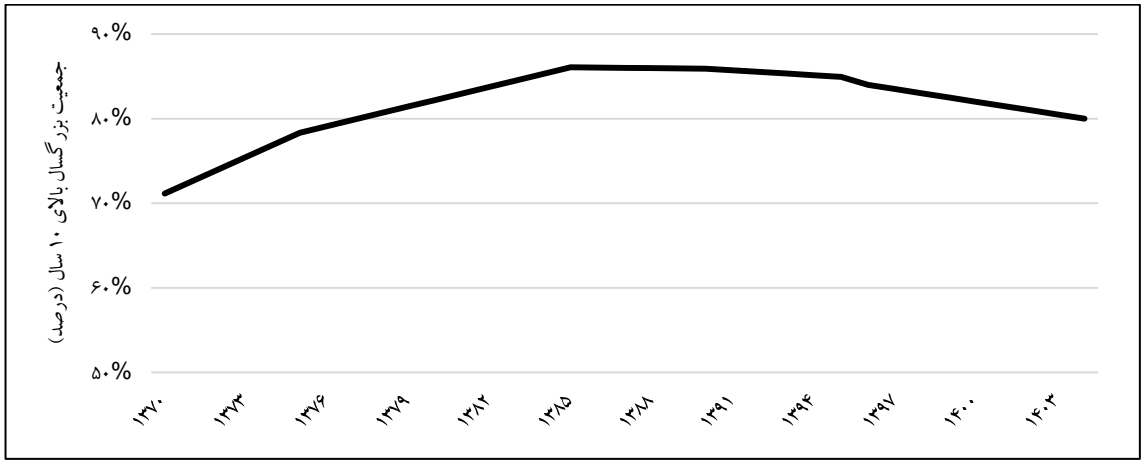
شکل ۵-۲۶- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل اشتغال

در این زیرمدل نسبت اشتغال از روابط زیر به دست می‌آید (منبع: داده‌های مرکز آمار):

$$R_E = {}^{E}/_{Lf} \qquad ۱-۵$$

$$Lf = P_{10} \times R_{Lf} \times P \qquad ۲-۵$$

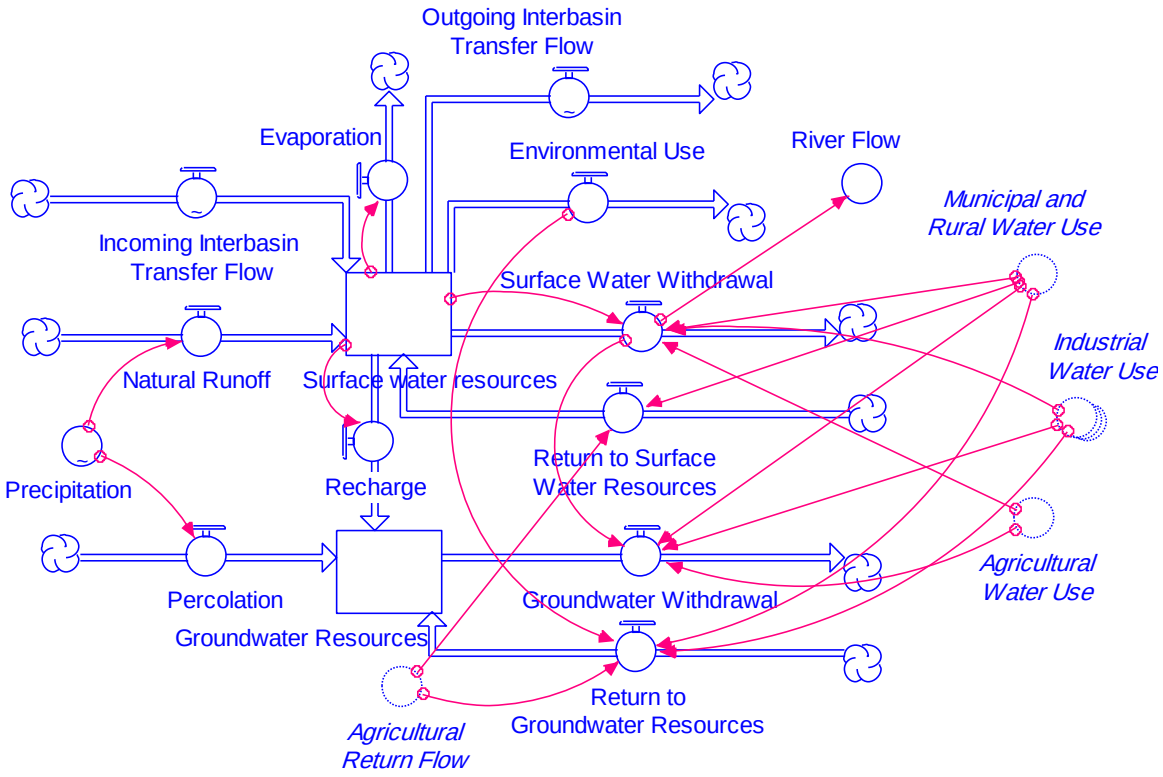
که در آن R_E نسبت اشتغال (درصد)، E میزان اشتغال ایجاد شده (نفر) و Lf جمعیت فعال از نظر اقتصادی (نفر)، P_{10} درصد جمعیت بالای ۱۰ سال، P جمعیت (نفر) و R_{Lf} درصد جمعیت فعال حوضه است. جمعیت فعال از نظر اقتصادی به کلیه‌ی افراد بزرگسال گفته می‌شود که یا شاغل هستند و یا در جستجوی شغل بوده و یا درآمد بدون شغل دارند و می‌تواند در هر منطقه‌ای متفاوت باشد. در دنیا عموما ۱۶ سال را سن بزرگسالی در نظر می‌گیرند به همین دلیل متوسط نرخ مشارکت اقتصادی (یا همان درصد جمعیت فعال از نظر اقتصادی) نزدیک به ۶۰ است. ولی در ایران ۱۰ سال سن بزرگسالی در نظرگرفته شده و آماربرداری‌ها بر این اساس انجام شده است لذا جمعیت فعال در حوضه‌ی زاینده‌رود در طول ۲۰ سال گذشته به طور متوسط ۴۰.۴ درصد بوده است (سالنامه‌های آماری). درصد افراد بزرگسال (بالای ۱۰ سال) در طول سال‌های مختلف متغیر بوده است و برای سال‌های ۱۳۷۰ الی ۱۳۹۸ از سالنامه‌های آماری استخراج شده است. همچنین بر اساس میزان تولدها، درصد افراد بالای ۱۰ سال در سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۴ (۲۰۱۹-۲۰۲۵) پیش بینی شده است (شکل ۵-۲۷).



شکل ۵-۲۷- جمعیت بزرگسال بالای ده سال (محاسبه شده بر اساس داده‌های سالنامه‌های آماری)

۵-۳-۵ زیر مدل سیستم منابع آب

در زیرسیستم منابع آب، دو منبع آب سطحی و زیرزمینی به عنوان متغیرهای حالت در نظر گرفته شده‌اند. خروجی منابع آب عبارتند از انتقال به خارج از حوضه، تبخیر از سطح آب و برداشت برای مصارف شرب و بهداشت، صنعت، کشاورزی و محیط‌زیست. ورودی‌های منابع آب نیز عبارتند از رواناب، نفوذ، منابع آب انتقال یافته به حوضه و منابع آب برگشتی از مصارف. در شکل ۵-۲۸ شمایی از زیرمدل سیستم منابع آب ارائه شده است. میزان منابع آب ورودی و خروجی از حوضه، به صورت سری زمانی وارد مدل شده است و نحوه‌ی محاسبه‌ی دیگر متغیرها در ادامه توضیح داده می‌شود.



شکل ۵-۲۸- دیاگرام جریان و ذخیره زیرمدل سیستم منابع آب

بارش

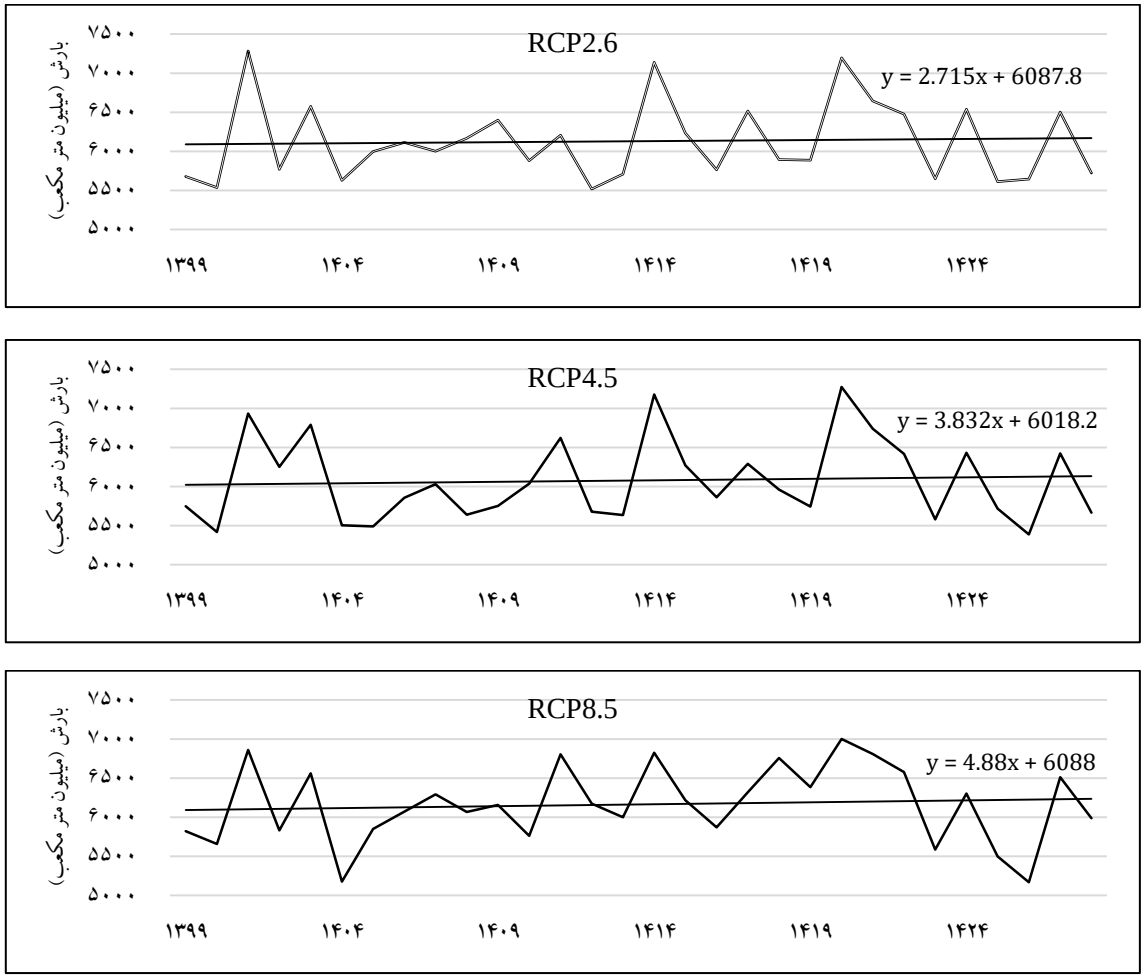
داده‌های بارش برای دوره ۱۳۷۰ الی ۱۳۹۸ (۱۹۹۱–۲۰۱۹) به صورت سری تاریخی وارد مدل شده است. در مورد دوره‌ی ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۴ (۲۰۲۰–۲۰۲۵)، علی رغم تاثیر گذاری تغییرات اقلیم بر میزان بارش، نمی توان به سادگی اثر تغییر اقلیم را در مدل در نظر گرفت زیرا مطالعات تغییر اقلیم عموما میزان بارندگی را در آینده پیش بینی[1] نمی‌کنند، بلکه برآورد[2] می‌کنند. عموما برآوردهای تغییر اقلیم بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس[3] (GCMs) انجام می‌شود. تصمیم‌گیران، تمایل دارند تا از این برآوردها به عنوان پیش‌بینی استفاده کنند و برخی محققان نیز به اشتباه از این برآوردها جهت پیش بینی آینده استفاده می‌کنند، لکن این مدل‌ها محدودیت‌هایی دارد و نمی‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های آینده به سادگی مورد استفاده قرار گیرد. این مدل‌ها بیان می‌کنند که تحت شرایط خاصی، چه اتفاقی ممکن است بیافتد، ولی احتمال پیامدهای دیگر را نفی نمی‌کنند و حتی تعیین نمی‌کنند که احتمال وقوع یک حالت خاص نسبت به دیگر حالات کمتر یا بیشتر است[۱۷۶].

[1] Prediction
[2] Projection
[3] General Circulation Models (GCMs)

در موارد غیر از تغییرات اقلیم، در شرایط عدم قطعیت، تصمیم‌گیران سناریوهای مختلف را بررسی می‌کنند تا دامنه‌ای از حالات ممکن در آینده و عدم قطعیت‌های مؤثر بر تصمیماتشان را کشف کنند. ولی برآوردهای مبتنی بر GCMs برای این هدف نیز مناسب نیستند، زیرا این مدل‌ها معمولا تنها بخش بسیار کوچکی از حالات ممکن برای آینده را برآورد می‌کنند، در نتیجه نمی‌تواند ملاک تصمیم‌گیری قرار گیرند [۱۷۶].

در مورد حوضه‌ی زاینده‌رود نیز نمی توان از مطالعات تغییر اقلیم سنگستانی (۱۳۹۸) بر اساس گزارش پنجم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم[1]، برآورد نمود که میزان بارندگی در این حوضه در سال‌های آتی افزایش خواهد یافت [۱۷۷]. نتایج این مطالعه برای کل حوضه‌ی زاینده‌رود در نمودار شکل ۵-۲۹ نشان داده شده است. همان طور که بیان شد این مطالعات نمی‌تواند ملاک پیش بینی میزان بارش در آینده قرار گیرد، ولی با توجه به اینکه نتایج سناریوی RCP2.6 در مطالعه‌ی اخیر، به داده‌های تاریخی بسیار نزدیک است، از این سناریو (صرفا به عنوان یک نمونه) به عنوان داده‌های ورودی در دوره‌ی ۱۳۹۹-۱۴۰۴ استفاده شد.

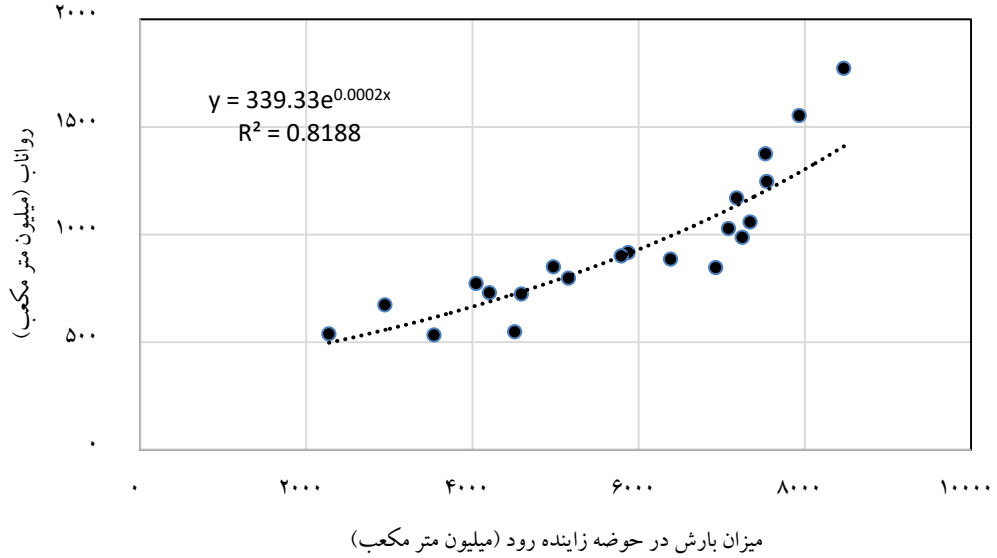
[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)



شکل ۵-۲۹- برآورد میزان بارندگی در حوضه زاینده‌رود در سال‌های آتی بر اساس گزارش پنجم تغییر اقلیم برای سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 [۱۷۷]

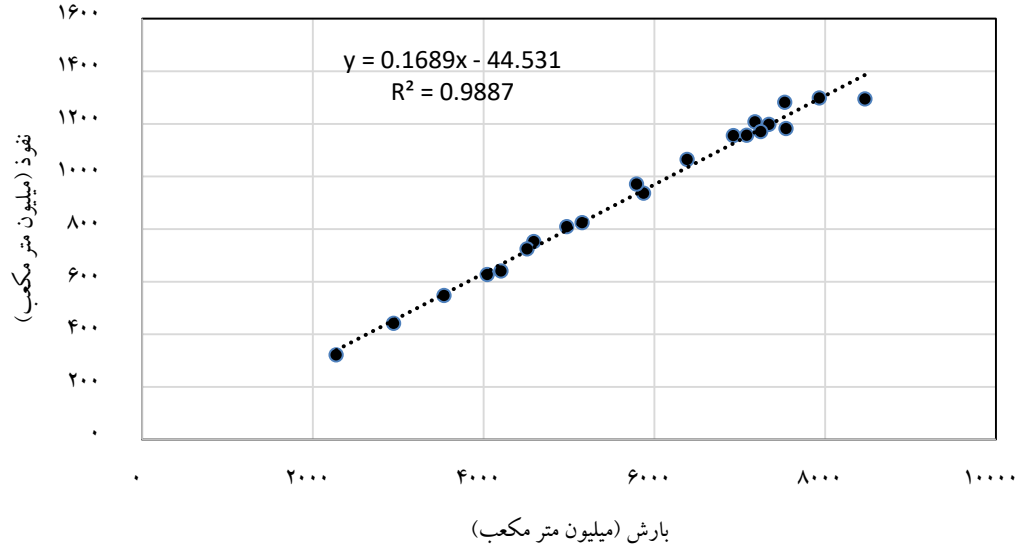
رواناب و نفوذ

علی رغم اینکه در حوضه‌ی زاینده‌رود هرساله بیش از ۵ میلیارد مترمکعب، بارندگی رخ می‌دهد، بخش زیادی از این بارش در همان ساعات ابتدایی تبخیر می‌شود. بخشی با عنوان آب سبز در خاک ذخیره می‌شود و توسط گیاهان استفاده می‌گردد و بخشی به عنوان منابع آب آبی از طریق رواناب و یا نفوذ به منابع آب حوضه افزوده می‌گردد. برای محاسبه‌ی میزان نفوذ و رواناب در مدل پویایی سیستم از رگرسیون گیری استفاده شد. رابطه‌ی بین میزان رواناب نسبت به میزان بارندگی رخ داده در حوضه در شکل ۵-۳۰ ارائه شده است. طبق این شکل رابطه‌ی بین بارندگی و بارش، تابع نمایی است. این رابطه از نظر فیزیکی معقول به نظر می‌رسد و نشان می‌دهد با افزایش مقدار بارندگی، درصد بیشتری از منابع آب به رواناب تبدیل می‌شود و درصد کمتری صرف تبخیر و تعرق و ذخیره‌ی آب سبز می‌شود.



شکل ۵-۳۰- رابطه‌ی بین میزان بارش (محاسبه شده بر اساس داده های ایستگاه های هواشناسی) در کل حوضه‌ی زاینده‌رود و رواناب ایجاد شده

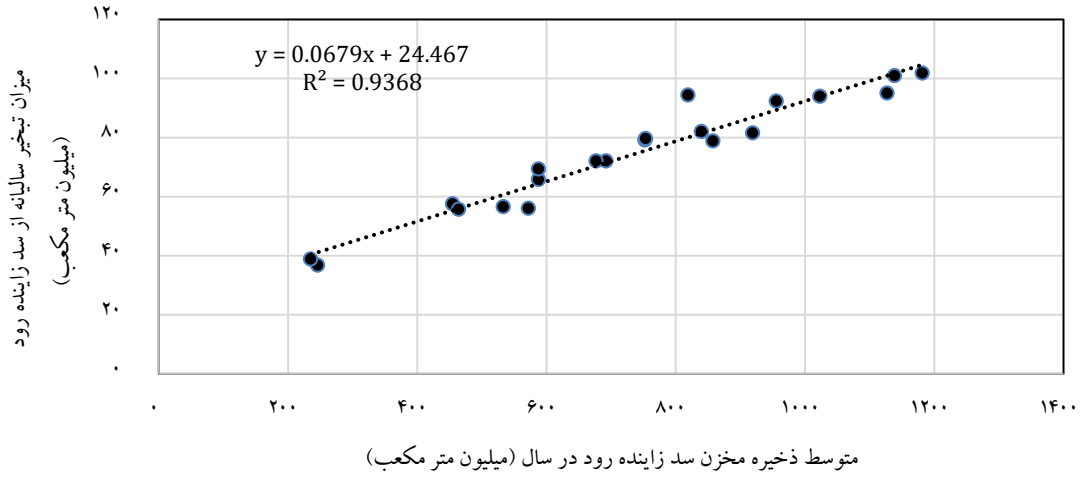
در بالادست سد زاینده‌رود، هم رواناب ایجاد می‌شود و هم نفوذ به منابع آب زیرزمینی رخ می‌دهد. در پایین‌دست سد زاینده‌رود تنها نفوذ به منابع آب زیرزمینی رخ می‌دهد. رابطه‌ی بین میزان بارش و نفوذ در حوضه‌ی زاینده‌رود در شکل ۵-۳۱ نشان داده شده است. داده‌های نفوذ از مطالعه‌ی گل محمدی (۱۳۹۴) برداشت شده است[۶۲].



شکل ۵-۳۱- رابطه‌ی بین بارش (محاسبه شده بر اساس داده های ایستگاه‌های هواشناسی) و نفوذ [۶۲] در حوضه زاینده‌رود

تبخیر از ذخیره آب پشت سد

مهم‌ترین بخش تبخیر آب، از سطح دریاچه سد زاینده‌رود صورت می‌گیرد. میزان تبخیر از سد به عوامل متعددی از جمله دما و ارتفاع آب در مخزن سد زاینده‌رود بستگی دارد. درتحقیق حاضر بر اساس داده‌های سالیانه تبخیر ۱۳۹۰-۱۳۷۰، رگرسیون بین تبخیر از دریاچه پشت سد و حجم آب ذخیره‌ی پشت سد به دست آمد. نتایج این رگرسیون در شکل ۵-۳۲ نشان می‌دهد با تخمین نسبتاً مناسبی می‌توان میزان تبخیر را تابعی از حجم آب پشت سد در نظر گرفت.



شکل ۵-۳۲- رابطه بین میزان تبخیر سالیانه از دریاچه پشت سد زاینده‌رود و متوسط حجم ذخیره پشت سد [۱۶۵]

مصارف حوضه زاینده‌رود

میزان آب مورد بهره برداری در هر یک از زیرمدل‌های شرب، کشاورزی و صنعت محاسبه شده است. در این زیرمدل بایستی نسبت بهره برداری از منابع آب سطحی به منابع آب زیرزمینی مشخص شود. بر اساس آمار حدود ۷۹ درصد آب شرب شهری از منابع آب سطحی تامین می‌شود (منبع:سامانه WEBMIS). مابقی نیاز شرب شهری و کل نیاز شرب روستایی از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. در مدل توسعه یافته فرض شده است ۸۰ درصد نیاز شرب شهری و روستایی از منابع آب سطحی تامین می‌شود. همچنین در این مدل ۳۰ درصد نیاز بخش کشاورزی و ۶۸ درصد نیاز بخش صنعت از منابع آب سطحی تامین می‌گردد. مابقی نیاز کشاورزی و صنعت از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. البته در سال‌هایی که حجم ذخیره پشت سد کم است، آب سطحی کمتری به بخش کشاورزی اختصاص یافته است و کمبود نیاز کشاورزی از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود طبق معادله‌ی زیر:

$$Awu_s = \begin{cases} 0.30 \times Awu & if\ SWR > 300 \\ 0.30\ \times Awu * SWR/300 & if\ SWR < 300 \end{cases} \quad ۳-۵$$

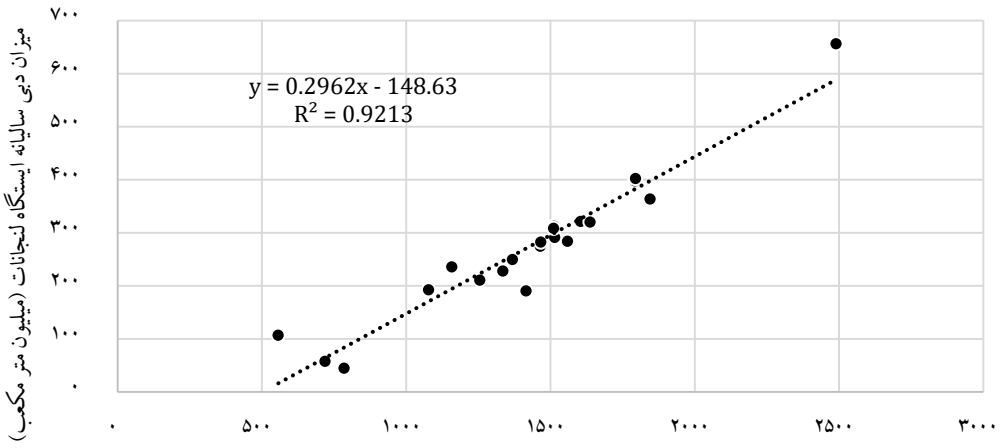
که در آن Awu میزان نیاز آب بخش کشاورزی، Awu_s میزان نیاز آب بخش کشاورزی تأمین شده از منابع آب سطحی و SWR حجم آب سطحی همگی بر حسب میلیون متر مکعب هستند.

برگشت آب

در حال حاضر تنها ۷۱ درصد مشترکین شهری به شبکه فاضلاب متصل هستند که باعث شده در سال ۱۳۹۶ تنها ۳۷ درصد از کل آب شرب برداشت شده (معادل ۱۶۴ میلیون مترمکعب) به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بازگردد (شرکت آب و فاضلاب شهری و روستایی اصفهان). با توجه به فراگیر بودن چاه‌های جذبی در حوضه‌ی زاینده‌رود، فرض می‌گردد ۴۰ درصد از آب شرب برداشت شده نیز به منابع آب زیرزمینی نفوذ می‌کند و ۲۳ درصد از منابع آب شرب برداشت شده مصرف می‌شود. ۴۴ درصد از منابع برداشت شده توسط صنعت مصرف شده و ۵۶ درصد از آن به منابع آب زیرزمینی بازگشت داده می‌شود [۱۵۲]. برگشت آب از اراضی کشاورزی بر اساس میزان راندمان سیستم‌های مختلف آبیاری در زیرسیستم کشاورزی محاسبه گردید.

جریان رودخانه و نیاز تالاب گاوخونی

با توجه به اینکه یکی از شاخص‌های ارزیابی سناریوها، میزان جریان آب در ایستگاه لنجانات به عنوان معرف جریان آب در شهر اصفهان بوده است، ضروری است این متغیر به خوبی مدل‌سازی شود. برای محاسبه‌ی این متغیر از رگرسیون گیری استفاده شد. همان طور که در شکل ۵-۳۳ نشان داده شده است، همبستگی قوی بین میزان آب برداشتی از منابع آب سطحی و جریان آب در ایستگاه لنجانات وجود دارد.



شکل ۵-۳۳- رابطه بین میزان برداشت از منابع آب سطحی و میزان دبی سالیانه ایستگاه لنجانات [۱۶۵]

میزان آب تخصیص یافته به تالاب گاوخونی در مدل پویایی سیستم نسبتی از منابع موجود در مخزن سد زاینده‌رود فرض شده است که از معادله زیر به دست آمده است:

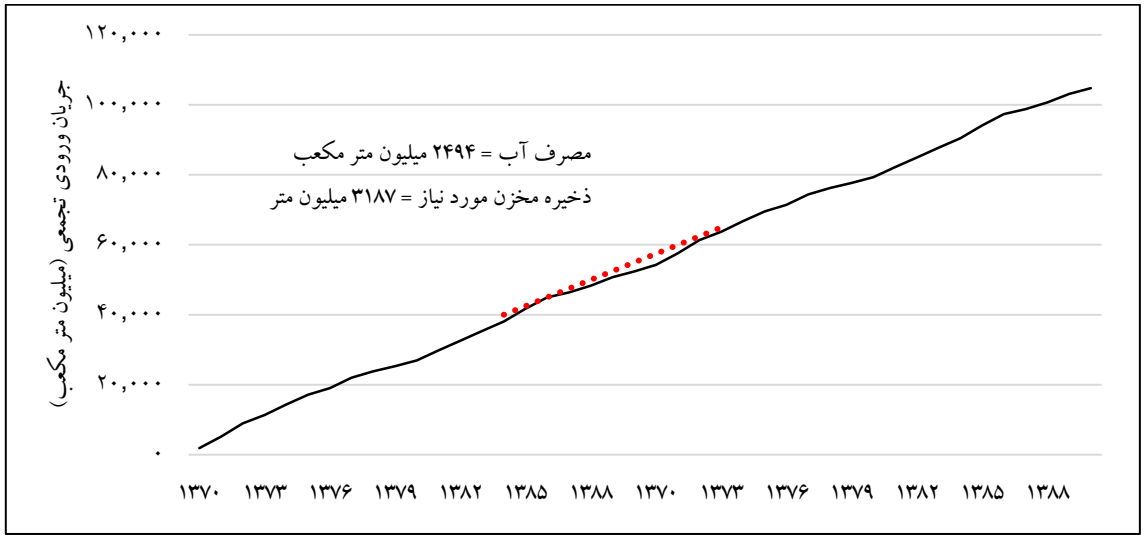
$$\mathrm{GWS} = \begin{cases} 0 & if\ SWR < 300 \\ \frac{SWR}{1250} * 170 & if\ 300 < SWR < 1250 \\ SWR - 1250 + 170 & if\ 1250 < SWR \end{cases} \qquad ٤\text{-}٥$$

که در این معادله GWS، میزان تخصیص آب به تالاب گاوخونی (میلیون متر مکعب) و SWR ذخیره سد زاینده‌رود (میلیون متر مکعب) هستند.

۵-۳-۶ محاسبه منابع آب تجدید پذیر واقعی

همان طور که بیان شد، یکی از شاخصه‌های ارزیابی مقایسه‌ی مصارف آب حوضه با منابع آب تجدید پذیر واقعی حوضه بوده است. در صورتی که میزان مصرف آب بیش از منابع آب تجدیدپذیر واقعی باشد، الگوی مدیریت منابع آب حوضه پایدار نخواهد بود. متوسط ۲۰ ساله‌ی منابع آب تجدیدپذیر طبیعی در حوضه‌ی زاینده‌رود (شامل رواناب حاصل از بارش، نفوذ حاصل از بارش به منابع آب زیرزمینی و منابع آب ورودی از حوضه‌های دیگر) برابر با ۲۵۰۰ میلیون مترمکعب است. در ادامه باید تعیین شود، چه مقدار از این منابع آب، تجدیدپذیر واقعی است بدین معنی که از نظر تکنولوژیکی و اقتصادی قابل بهره برداری است.

همان طور که در فصل ۳ بیان شد، در این تحقیق از روش آبدهی مطمئن برای محاسبه منابع آب تجدیدپذیر واقعی در حوضه‌ی زاینده‌رود استفاده شده است. بر اساس داده‌های سالهای ۱۳۷۰ الی ۱۳۹۰ (۱۹۹۱–۲۰۱۱) در صورتی که مخزنی با حجم ۳۱۸۷ میلیون متر مکعب آب وجود داشته باشد(شکل ۵-۳۴)، منابع آب تجدید پذیر واقعی برابر با منابع آب تجدید پذیر طبیعی خواهد بود. مقادیر مثبت حجم تجمعی کمبودها در شکل ۵-۳۵ ارائه شده است.



شکل ۵-۳٤- حجم ذخیره فعال مخزن مورد نیاز در حوضه آبریز زاینده‌رود به روش دیاگرام توده‌ای با استفاده از داده‌های تاریخی ۲۰ ساله

شکل ۵-۳۵- مقادیر مثبت حجم تجمعی کمبودها در حوضه آبریز زاینده‌رود به روش دیاگرام توده‌ای

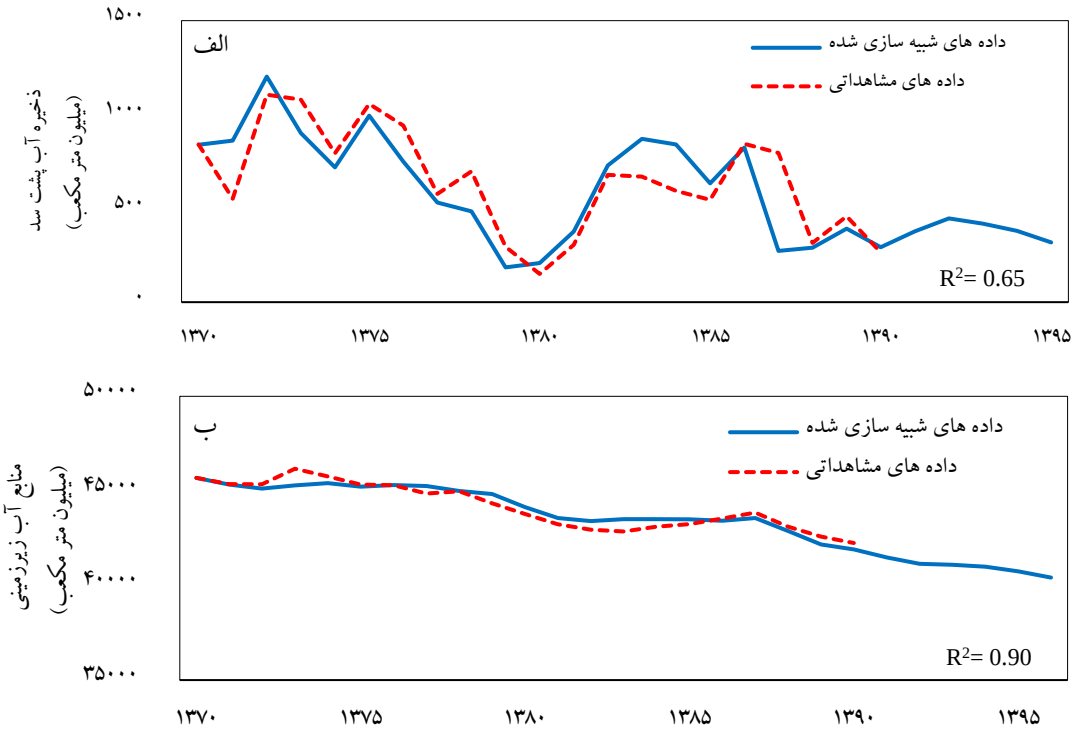
در حال حاضر ظرفیت مفید مخزن سد زاینده‌رود ۱۲۶۰ میلیون مترمکعب است و ۱۹۲۷ میلیون متر مکعب دیگر نیاز است تا حجم ۳۱۸۷ میلیون متر مکعب تامین شود و بتوان از کل منابع آب تجدیدپذیر استفاده نمود. طبق داده‌های ۲۰ سال گذشته، بیشترین تغییر حجم منابع آب زیرزمینی که در طول یک سال رخ داده، ۱۰۷۷ میلیون مترمکعب بوده است. لکن با توجه به اینکه طبق نمودار شکل ۵-۳۵، میزان کمبود آب به میزان ۳۱۸۷ میلیون مترمکعب در طول ۵ سال رخ داده است، به نظر می‌رسد سفره‌های آب زیرزمینی می‌توانند نقش یک مخزن طبیعی را برای حوضه ایفا کنند. در مجموع می‌توان میزان آبدهی کل حوضه‌ی زاینده‌رود را ۲۵۰۰ میلیون متر مکعب در سال در نظر گرفت و مصارف حوضه را با این مقدار مقایسه نمود.

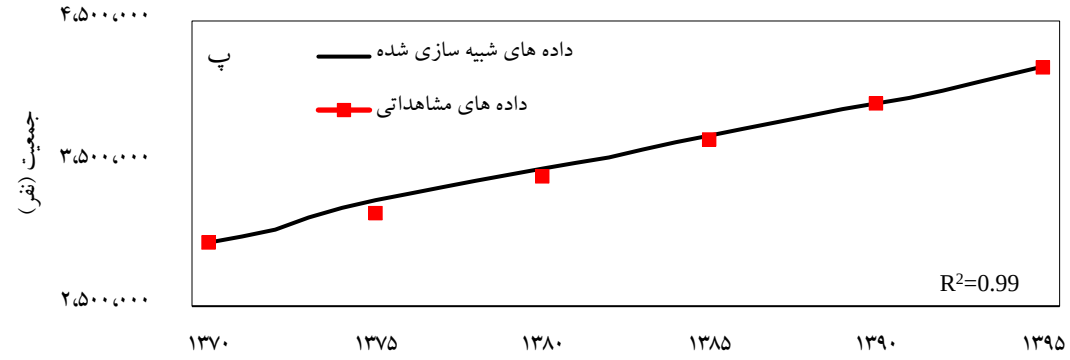
۵-۴ نتایج مدل پویایی سیستم

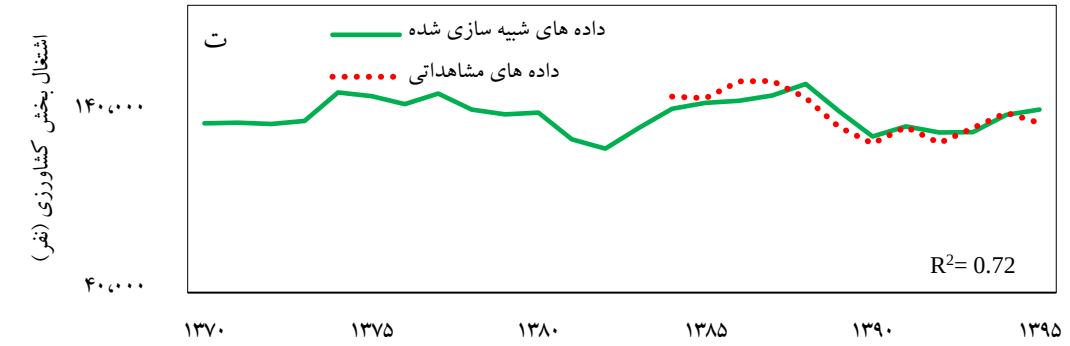
در این بخش ابتدا نتیجه‌ی صحت سنجی مدل ارائه می‌شود تا از صحت عملکرد مدل مطمئن شویم، سپس ۴ سناریوی سیاستی تبیین می‌شود و تفاوت بین آن‌ها بیان می‌گردد. پس از ارائه‌ی نتایج مدل پویایی سیستم و ارزیابی سناریوهای سیاستی، به بحث در مورد نتایج پرداخته می‌شود.

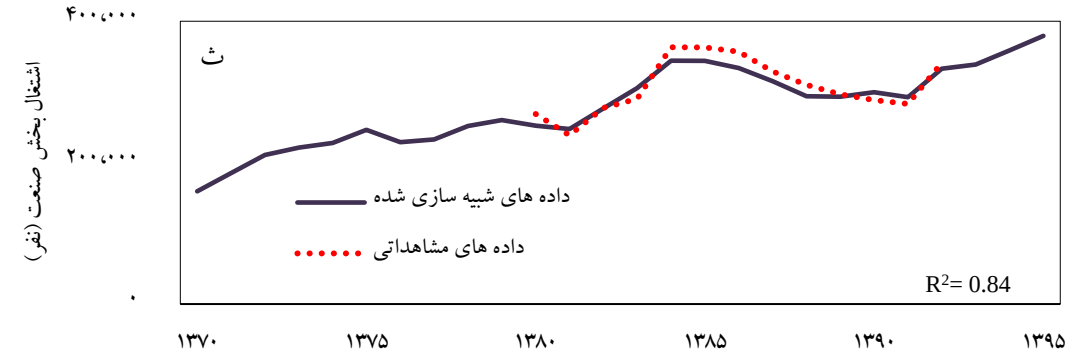
۵-۴-۱ نتیجه صحت سنجی مدل

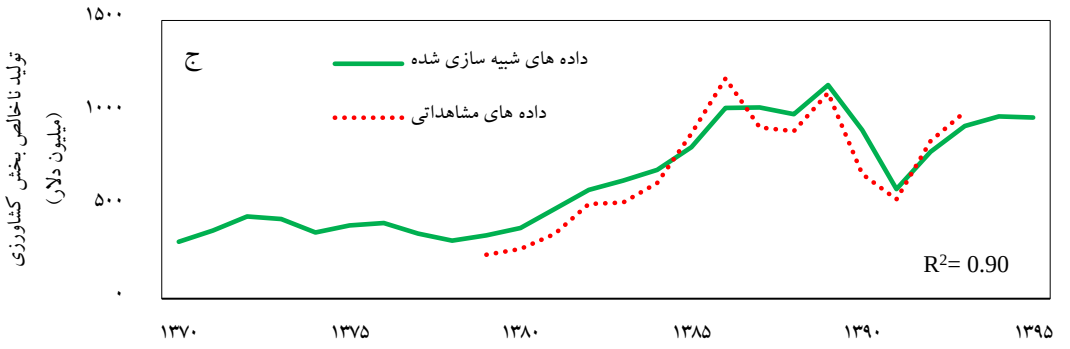
برای ارزیابی مدل، آزمون ارزیابی ساختار از طریق مطالعات کیفی انجام شد و آزمون سازگاری واحدها توسط نرم افزار Ithink انجام شد. برای آزمون الگوهای رفتاری، مولفه‌های منابع آب زیرزمینی، ذخیره آب پشت سد، جریان آب رودخانه، جمعیت، اشتغال و GRP در بخش کشاورزی و صنعت بین سالهای ۱۳۷۰ الی ۱۳۹۵ (۱۹۹۱-۲۰۱۶) مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵-۳۶). ضریب تعیین داده‌های شبیه‌سازی و داده‌های مشاهداتی برای این مولفه‌ها بیشتر از ۰.۶ به دست آمده که در مطالعات قبلی قابل قبول بیان شده است [۴۵].

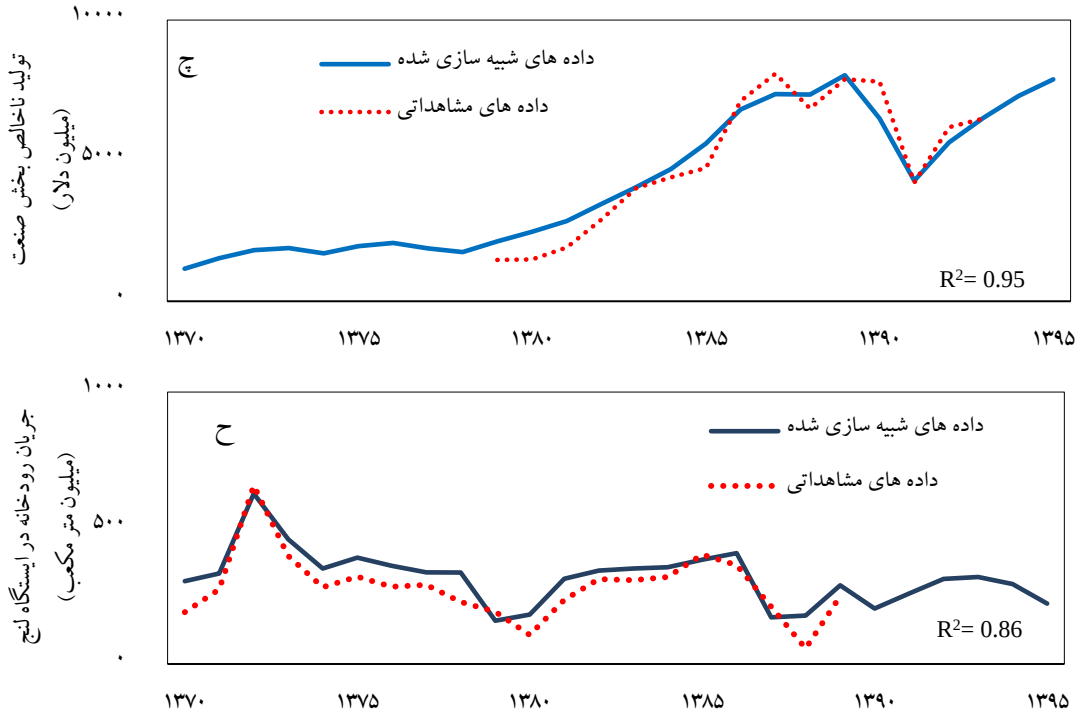



پ
داده های شبیه سازی شده
داده های مشاهداتی
جمعیت (نفر)
۴،۵۰۰،۰۰۰
۳،۵۰۰،۰۰۰
۲،۵۰۰،۰۰۰
R2=0.99
۱۳۷۰
۱۳۷۵
۱۳۸۰
۱۳۸۵
۱۳۹۰
۱۳۹۵


ت
داده های شبیه سازی شده
داده های مشاهداتی
اشتغال بخش کشاورزی (نفر)
۱۴۰،۰۰۰
۴۰،۰۰۰
R2= 0.72
۱۳۷۰
۱۳۷۵
۱۳۸۰
۱۳۸۵
۱۳۹۰
۱۳۹۵


ث
داده های شبیه سازی شده
داده های مشاهداتی
اشتغال بخش صنعت (نفر)
۴۰۰،۰۰۰
۲۰۰،۰۰۰
۰
R2= 0.84
۱۳۷۰
۱۳۷۵
۱۳۸۰
۱۳۸۵
۱۳۹۰
۱۳۹۵


ج
داده های شبیه سازی شده
داده های مشاهداتی
تولید ناخالص بخش کشاورزی
(میلیون دلار)
۱۵۰۰
۱۰۰۰
۵۰۰
۰
R2= 0.90
۱۳۷۰
۱۳۷۵
۱۳۸۰
۱۳۸۵
۱۳۹۰
۱۳۹۵



شکل ۵-۳٦- مقایسه بین داده‌های مشاهداتی و نتایج شبیه‌سازی برای مولفه‌های اصلی مدل پویایی سیستم بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱٦، الف: ذخیره آب پشت سد، ب: منابع آب زیرزمینی، پ: جمعیت، ت: اشتغال بخش کشاورزی، ث:اشتغال بخش صنعت، ج: GRP بخش کشاورزی، چ: GRP بخش صنعت، و ح:جریان رودخانه در ایستگاه لنج

در برخی نمودارها بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده، یک تاخیر مشاهده می‌شود. با این وجود تقریبا همه جا نتایج مدل شبیه‌سازی رفتاری شبیه به داده‌های مشاهداتی از خود نشان داده‌اند. حتی با وجود این که داده‌های منابع آب، صنعت، کشاورزی، GRP و اشتغال، از منابع مستقل جمع‌آوری شده‌اند، مدل به خوبی توانسته رابطه‌ی بین این متغیرها را شبیه‌سازی کند.

۵-۴-۲ طراحی سناریوهای سیاستی

همان طور که کوتیر و همکاران (۲۰۱۶) و گوهری و همکاران (۲۰۱۳) اشاره نمودند، طراحی سناریوها بر اساس سعی و خطا و فرضیاتی که در مورد کارایی سیاست‌ها داریم انجام می‌شود. البته قضاوت تخصصی خوب می‌تواند تعداد سناریوهای آزمایشی را کاهش دهد [۷۰،۷۱]. در اینجا بر اساس وضعیت حوضه‌ی زاینده‌رود ۴ سناریو برای دوره زمانی ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۴ (۲۰۱۶-۲۰۲۵) طراحی و اجرا شد. هر سناریو با تغییر تعدادی از مولفه‌های سیستم تعریف می‌شود.

در کلیه‌ی سناریوها میزان بارندگی در سالهای ۱۳۹۵ الی ۱۳۹۸ (۲۰۱۶ – ۲۰۱۹) بر اساس داده‌های موجود وارد شده است. با توجه به اینکه در دهه‌ی اخیر اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه‌ی زاینده‌رود مشهود بوده است، ضروری است این اثرات در مدل‌های مدیریت آب لحاظ شود. بدین منظور برای شبیه‌سازی میزان بارندگی در آینده یک مطالعه‌ی تغییر اقلیم بر روی حوضه‌ی زاینده‌رود توسط سنگستانی، بر اساس گزارش پنجم پنل بین المللی تغییر اقلیم (۲۰۱۵) انجام شد [۱۷۷]. در مدل پویایی سیستم، میزان بارندگی بین سال‌های ۱۳۹۸-۱۴۰۴ (۲۰۲۰-۲۰۲۵) بر اساس نتایج سناریوی تغییر اقلیم RCP 2.6 وارد شد. در ادامه هر یک از سناریوها توصیف می‌شود.

سناریو ۱ (ادامه روند موجود): این سناریو به عنوان یک مرجع برای مقایسه‌ی دیگر سناریوها طراحی شده است. در این سناریو جمعیت و در نتیجه مصرف آب شهری و روستایی طبق روند قبلی افزایش می‌یابد. شاخص قیمت مصرف کننده و نرخ تبدیل دلار به ریال، با یک نرخ ثابت افزایش یافته و درصد آب بدون درآمد با یک نرخ ثابت کاهش یافته است. دیگر مولفه‌های مدل شامل نرخ تولد، نرخ مرگ و میر، سرانه مصرف اب شرب، سرانه مصرف آب تجاری و عمومی، سرانه فضای سبز، مصرف آب صنایع به ازای هر صنعت، بهره‌وری محصولات کشاورزی، جریان ورودی و خروجی از حوضه و مقدار اراضی کشاورزی همچون گذشته و ثابت در نظر گرفته شد.

سناریو ۲ (مدیریت تقاضا): بر اساس مطالعه‌ی راست قلم (۱۳۹۲)، با انجام اقدامات تکنیکی، فرهنگی، آموزشی، اقتصادی و قانونی، می‌توان آب بدون درآمد را ۳۵ درصد، سرانه مصرف آب خانگی و تجاری را ۱۱ درصد و سرانه مصرف صنایع بزرگ را ۱۰٪ کاهش داد. در این سناریو علاوه بر کاهش مصرف آب شرب و صنعت، فرض می‌شود، کلیه‌ی اراضی کشاورزی حوضه به سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار مجهز شده‌اند. دیگر مولفه‌های این سناریو همچون سناریوی روند خواهد بود.

سناریو ۳ (توسعه صنعت): با توجه به محدودیت‌های منابع آب، رشد صنعت در حوضه زاینده‌رود در سال‌های اخیر محدود شده است. در حال حاضر برای ایجاد صنایع جدید بایستی یک پروسه‌ی اداری پیچیده بین اداره صنعت و معدن و تجارت و شرکت آب منطقه‌ای طی شود و درخواست‌های جدید سرمایه‌گذاری ارائه شده به شرکت آب منطقه‌ای در انتظار مانده است. بر اساس وضعیت این درخواست‌ها مواردی برای رشد صنعت تا سال ۱۴۰۴ (۲۰۲۵) پیش‌بینی می‌شود که به تفکیک برای صنایع بزرگ، شهرک‌های صنعتی و صنایع کشاورزی بیان می‌شود.

در مورد رشد صنایع بزرگ در حوضه زاینده‌رود، حالت‌های متعددی پیش‌بینی شده است [۱۵۶،۱۶۲]. در حالت اول این احتمال می‌رود که ایجاد صنایع جدید به صورت محدود شکل بگیرد و منابعش را از افزایش بازدهی در صنایع فعلی، بازچرخانی آب و استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری تأمین کند؛ و تنها برخی صنایع افزایش مصرف داشته باشند. طبق مصاحبه با سازمان صنایع، این احتمال وجود دارد که ۴ صنعت بزرگ فلزی و پتروشیمی با مصرف ۳۰ میلیون مترمکعب در سال در شرق اصفهان ایجاد شود (نحوه تأمین آب نامشخص است). سه صنعت فولاد مبارکه، ذوب‌آهن و پلی‌اکریل که در حال حاضر کمتر از مجوز قانونی خود برداشت می‌کنند تا سال ۱۴۰۴ به اندازه‌ی مجوز خود برداشت خواهند نمود. پالایشگاه اصفهان یک رشد قابل توجه خواهد داشت که مصرفش حدود دو برابر افزایش می‌یابد (حدود ۱۷ میلیون مترمکعب در سال) و به خاطر افزایش جمعیت، نیروگاه اسلام‌آباد ظرفیت خود را ۱۰ درصد افزایش خواهد داد. نیروگاه شهید منتظری مستقیم به پالایشگاه وصل است و لذا ظرفیت خودش را ۶۰ درصد افزایش خواهد داد. در کل در سناریوی اول میزان مصارف آب صنایع بزرگ تا سال ۱۴۰۴ حدود ۱۸۷ میلیون مترمکعب بر سال افزایش خواهد یافت [۱۶۲].

در حالت دوم این طور به نظر می‌رسد که اگر طبق تصمیم‌گیری‌های ملی صنایع جدید شکل بگیرد، مصرف آب صنعت افزایش چشم‌گیری داشته باشد. هر چند در صنایع فعلی افزایش مصرف رخ ندهد. ۱۲ صنعت جدید (بخصوص در بخش فلزی و پتروشیمی) با مصرف ۹۸ میلیون مترمکعب در سال ایجاد خواهد شد (محل و نحوه‌ی تأمین آب هنوز نامشخص است). سه صنعت فولاد مبارکه، ذوب آهن و پلی‌اکریل در سال ۱۴۰۴ به اندازه‌ی مجوزشان برداشت خواهند نمود و دو صنعت فولاد مبارکه و ذوب آهن با هم دیگر به مقدار ۲۸ میلیون مترمکعب فراتر از مجوز خود نیز برداشت خواهند نمود. پتروشیمی اصفهان رشد خواهد یافت و مصرفش را به اندازه‌ی ۲۰ میلیون مترمکعب افزایش خواهد داد؛ و دو نیروگاه اسلام‌آباد و شهید منتظری مصرف خود را تقریباً دو برابر خواهند نمود. در حالت دوم مصرف آب صنایع بزرگ با ۱۶۰ درصد افزایش به ۲۹۴ میلیون مترمکعب خواهد رسید [۱۶۲].

در حالت سوم، طبق مجوزها و درخواست‌های موجود تا سال ۱۴۰۴ تعداد صنایع بزرگ با مصرف بیش از ۰.۵ میلیون مترمکعب در سال به ۷۲ صنعت خواهد رسید و میزان مصرف آب به حدود ۲۳۵ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد [۱۵۶]. در این پژوهش حالت سوم برای پیش بینی رشد صنایع بزرگ مورد استفاده قرار گرفت.

در حال حاضر بخشی از سطح شهرک‌های صنعتی در حوضه زاینده‌رود ساخته شده است. تخمین زده می‌شود که در سال ۱۴۰۴ کل سطح شهرک‌های صنعتی ساخته شده باشد. در این صورت، میزان مصرف این شهرک‌ها به ۶۲ میلیون مترمکعب خواهد رسید که انتظار می‌رود ۸۳ درصد آن از منابع آب زیرزمینی تأمین

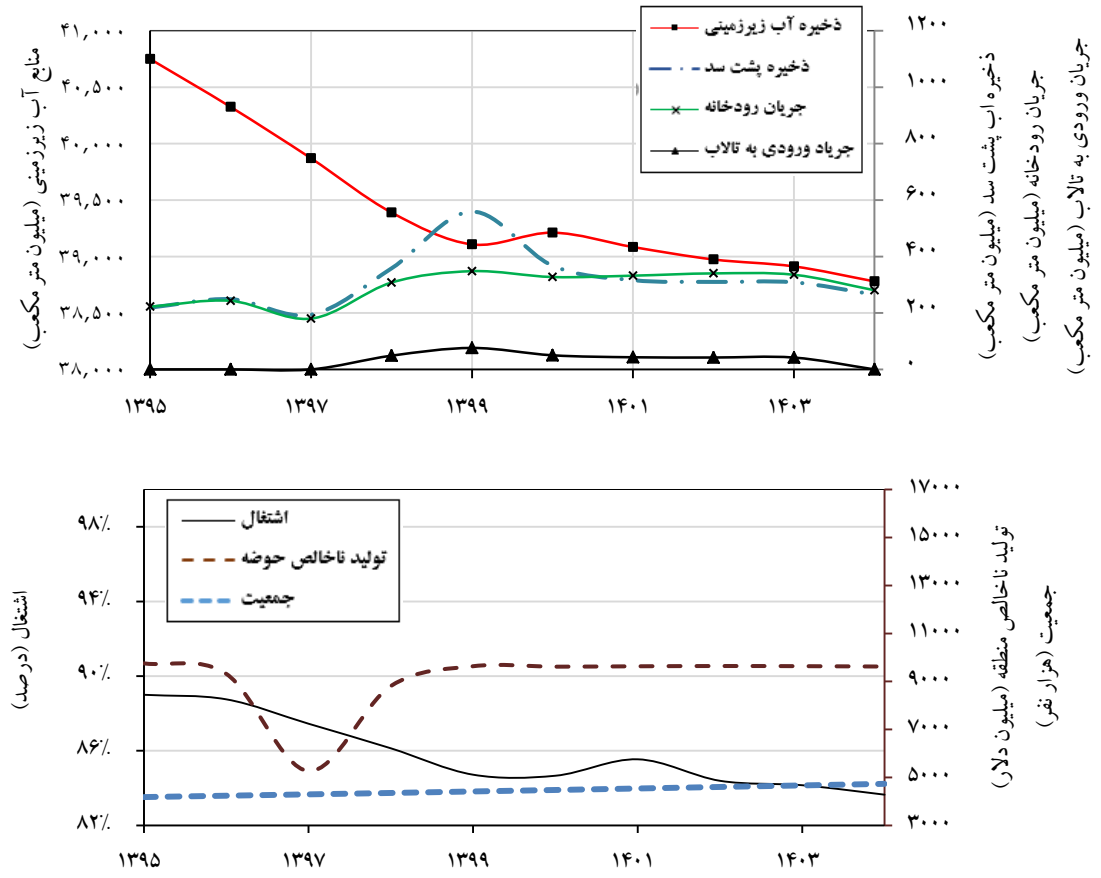
گردد [۱۶۲]. طبق نظر شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، مصرف صنایع کشاورزی در سال ۱۴۰۴ برای صنایع آبزی‌پروری، گلخانه‌ها، دامداری‌ها و پرورش ماکیان، به ترتیب به ۳۰، ۳۰/۴، ۱۹/۳ و ۷/۷ میلیون مترمکعب خواهد رسید؛ یعنی مجموع نیاز صنایع کشاورزی حدود ۸۷ میلیون مترمکعب در سال خواهد شد.

در مورد صنایع کشاورزی، درخواست‌های متعددی در حوضه‌ی زاینده‌رود وجود دارد. در صورت توسعه‌ی صنعت بر اساس این درخواست‌ها تا سال ۱۴۰۴ به طور متوسط هر سال ۵ صنعت بزرگ [۱۵۶] حدود ۸۰۰ صنعت کوچک و متوسط و حدود ۱۲۰۰ صنعت کشاورزی جدید در حوضه ایجاد خواهد شد [۱۶۲]. دیگر مولفه‌ها در این سناریو شبیه سناریو روند خواهد بود.

سناریو ۴ (مدیریت توسعه): پس از تحلیل سناریو روند و سناریو توسعه صنعت، سناریوی مدیریت توسعه به عنوان یک سیاست میانه طراحی شد. در این سناریو فرض می‌شود سطح زیرکشت اراضی کشاورزی ۱۵ درصد از مقدار فعلی کاهش یابد و تنها ۳۰ درصد صنایعی جدید که درخواست مجوز نموده‌اند راه اندازی شوند. برای به دست آوردن مقادیر ۱۵ و ۳۰، سناریوهای متعدد با گسستگی ۵ درصد تست شد و بهترین سناریو که بتواند شاخص‌های پایداری را تامین کند به دست آمد.

۵-۴-۳ تحلیل سناریوهای سیاستی

برای ارزیابی نتیجه‌ی سناریوها، پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حوضه‌ی آبریز از طریق رصد شاخص‌های تعیین شده بررسی می‌شود. در ادامه شاخص‌های اشتغال، GRP، سطح آب زیرزمینی، ذخیره آب سطحی پشت سد زاینده‌رود، جریان آب رودخانه و جریان ورودی به تالاب گاوخونی به صورت نمودار ارائه می‌شوند و شاخص میزان مصرف آب به صورت جدول ارائه می‌شود. نتیجه‌ی سناریوی ۱ (ادامه‌ی روند موجود) در شکل ۵-۳۷ نشان داده شده است.

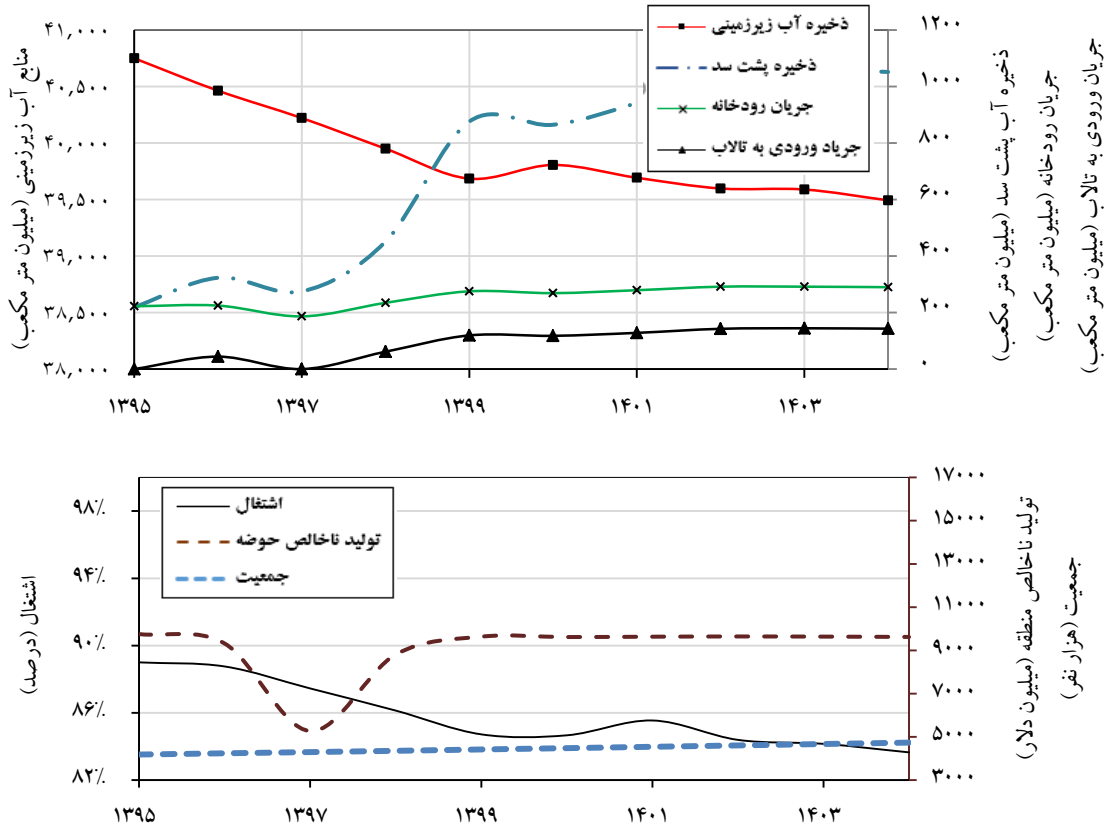


شکل ۵-۳۷- نتایج شبیه‌سازی سناریوی ۱ (ادامه‌ی روند موجود) در حوضه‌ی زاینده‌رود

بر اساس داده‌های هیدرولوژیک وارد شده به مدل، در سال ۱۳۹۸ (۲۰۱۹) ترسالی رخداده است که سبب شده در سناریوی ۱ (سناریوی روند) ذخیره آب پشت سد در ابتدای سال ۱۳۹۹ (۲۰۲۰) و حجم آب زیرزمینی در ابتدای سال ۱۴۰۰ (۲۰۲۱) افزیش یابد. در دیگر سالها حجم آب زیرزمینی پیوسته در حال کاهش بوده و حجم ذخیره آب پشت سد پیرامون حد بحرانی (۳۰۰ میلیون متر مکعب) نوسان دارد؛ به عبارت دیگر منابع و مصارف آب در این سناریو پایدار نیست. طبق این سناریو تنها در سال ۱۴۰۰ حداقل نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی برای حفظ حیات پرندگان تأمین شده است و در دیگر سالها حتی حداقل نیاز این تالاب هم تأمین نشده است. حداقل جریان مورد نیاز رودخانه در بازه‌ی شهر اصفهان (ایستگاه لنج) برای حفظ کارکردهای اکولوژیک، در ۵ سال تأمین شده است و در کل جریان آب در این ایستگاه بین ۱۸۶ تا ۳۴۸ میلیون متر مکعب در سال در نوسان بوده است.

در این سناریو جمعیت حوضه در سال ۱۴۰۴ (۲۰۲۵) به حدود ۴.۷ میلیون نفر می‌رسد. افزایش جمعیت از یک طرف و عدم توسعه‌ی صنعت از طرف دیگر، سبب شده اشتغال از ۰.۸۹ به حدود ۰.۸۴ درصد کاهش یابد. این کاهش اشتغال می‌تواند تنش‌های اجتماعی و اعتراضات را بیشتر کرده و مشکلات جامعه را افزایش دهد. در سال

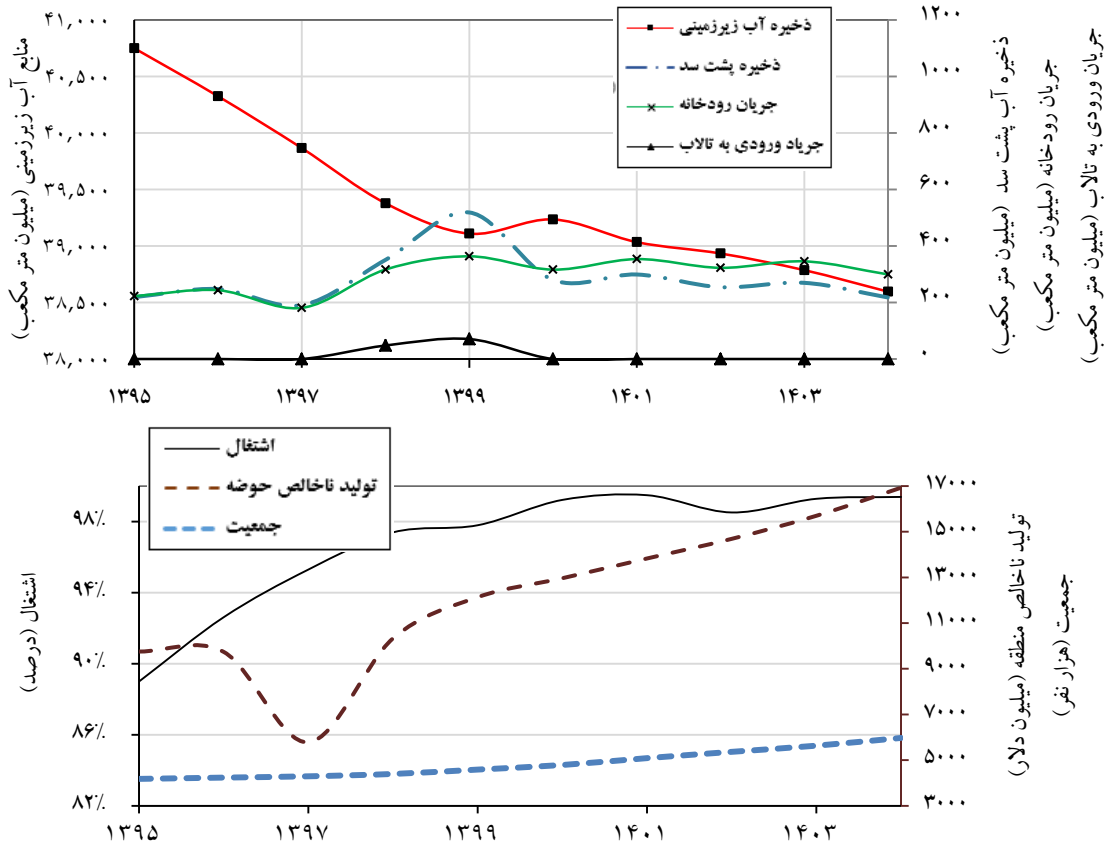
۱۳۹۷ (۲۰۱۸) به دلیل افزایش ناگهانی نرخ تبدیل دلار به ریال، میزان GRP کاهش قابل توجهی داشته است، ولی به مرور به حالت نرمال برگشته است. در کل می‌توان گفت در این سناریو پایداری زیست محیطی به طور کامل تامین نشده است، وضعیت اجتماعی بدتر شده است و شاخص اقتصادی حوضه ناشی از سیاست‌های توسعه در طول این سناریو تغییر چندانی نداشته است. نتایج دیگر سناریوها در شکل ۵-۳۸ تا شکل ۵-۴۰ نشان داده شده است.



شکل ۵-۳۸- نتایج شبیه‌سازی سناریوی ۲ (مدیریت تقاضا) در حوضه‌ی زاینده‌رود

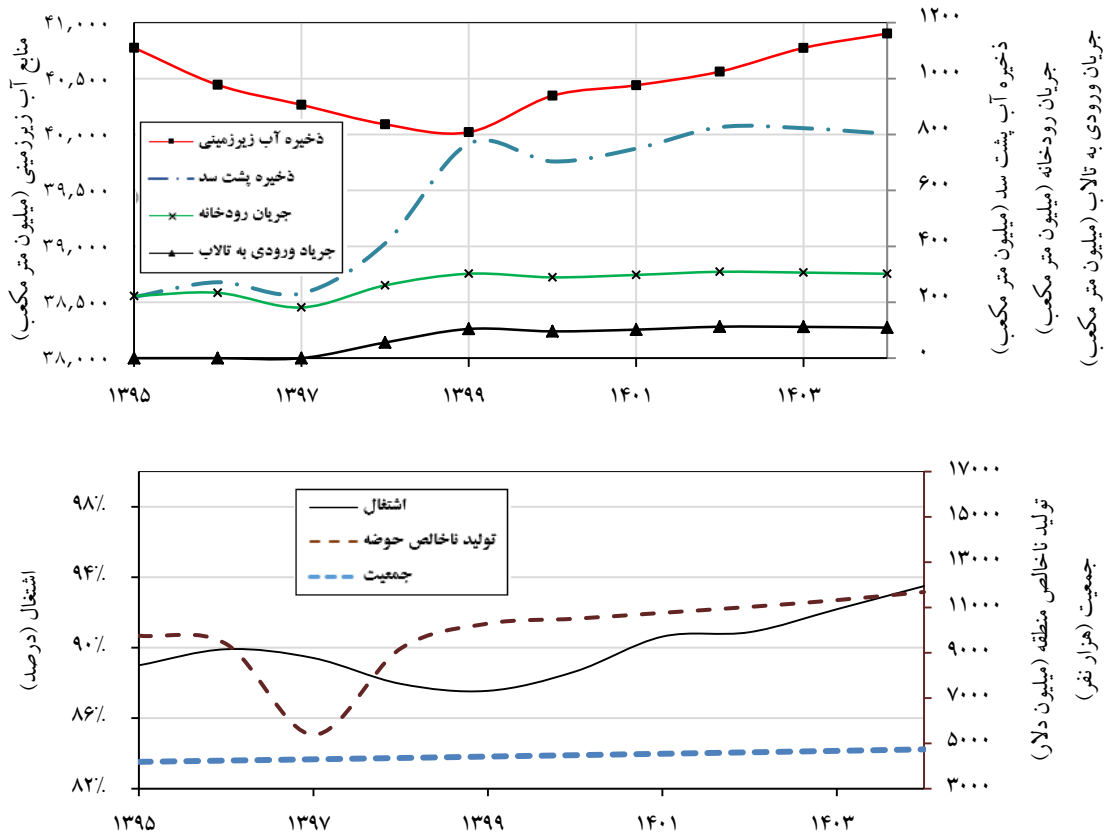
در سناریوی ۲ (کاهش مصرف آب)، مولفه‌های اجتماعی-اقتصادی نسبت به سناریوی روند تفاوتی ندارند؛ حداقل نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی برای حفظ حیات پرندگان در اکثر سال‌ها تأمین شده است، ولی حداقل نیاز تالاب برای حفظ همه‌ی کارکردهای اکولوژیک تالاب تامین نشده و حداکثر تامین نیاز تالاب ۱۴۴ میلیون متر مکعب در سال است؛ به دلیل کاهش مصرف آب و در نتیجه رهاسازی آب کمتر از سد، نیاز آبی رودخانه کمتر از سناریو روند تأمین شده است و جریان رودخانه بین ۱۸۶ الی ۲۹۰ میلیون متر مکعب در سال نوسان دارد، لذا در این سناریو در هیچ سالی حداقل نیاز رودخانه تامین نشده است. میزان ذخیره منابع آب پشت سد افزایش یافته است، ولی ناپایداری منابع آب زیرزمینی همچنان مشهود است. به طور کلی می‌توان گفت در این سناریو وضعیت اجتماعی-

اقتصادی نسبت به سناریوی روند تغییری ندارد؛ پایداری منابع و مصارف آب اندکی بهبود یافته و همچنان پایداری زیست‌محیطی به طور کامل حاصل نشده است.



شکل ۵-۳۹- نتایج شبیه‌سازی سناریوی ۳ (توسعه صنعت) در حوضه‌ی زاینده‌رود

در سناریوی ۳ (توسعه صنعت)، میزان GRP حدود ۲ برابر شده است و نرخ اشتغال به حدود ۰.۹۹ رسیده که سبب شده جمعیت مهاجر به حوضه افزایش یابد و جمعیت در سال ۱۴۰۴ به حدود ۶ میلیون نفر برسد. اگر چه افزایش GRP و اشتغال نشان از بهبود رفاه ساکنین دارد، ولی افزایش جمعیت می‌تواند اثرات نامطلوبی در دیگر ابعاد زندگی ساکنین حوضه داشته باشد، به عنوان مثال ممکن است حاشیه نشینی افزایش یابد؛ لذا نمی‌توان گفت به طور قطعی پایداری اجتماعی-اقتصادی در این سناریو حاصل شده است. در این سناریو بیشترین کاهش منابع آب رخ داده و تالاب گاوخونی فقط در ترسالی آب دریافت می‌کند؛ از طرفی تنها در ۶ سال حداقل جریان رودخانه تامین شده است. به عبارت دیگر وضعیت پایداری منابع و مصارف آب و شاخص‌های زیست‌محیطی در این سناریو به شدت بدتر شده است.



شکل ٥-٤٠- نتایج شبیه‌سازی سناریوی ٤ (مدیریت توسعه) در حوضه‌ی زاینده‌رود

در سناریوی ۴ (مدیریت توسعه)، کاهش ۱۵٪ اراضی کشاورزی نسبت به سناریو روند، تاثیر چشم گیری بر منابع آب داشته و موجب پایداری این منابع شده است. از طرفی توسعه ۳۰ درصد صنایع، سبب شده اشتغال تا ۰.۹۴ درصد بهبود یابد. این توسعه‌ی صنعت به قدری زیاد نبوده که موجب افزایش جمعیت حوضه شود. البته در این سناریو نیز تنها حداقل نیاز آبی تالاب برای حفظ حیات پرندگان تأمین شده است و جریان آب رودخانه بین ۱۸۶ تا ۳۰۹ میلیون مترمکعب در سال نوسان دارد. می‌توان گفت در این سناریو وضعیت شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی زیست‌محیطی اندکی بهبود یافته است.

میزان برداشت آب در انتهای دوره برنامه‌ریزی (سال ۱۴۰۴) برای هر ۴ سناریو در جدول ۵-۷ ارائه شده است. با توجه به اینکه متوسط منابع آب تجدید پذیر در حوضه‌ی زاینده‌رود حدود ۲۵۰۰ میلیون متر مکعب و برداشت خالص آب در سناریوی ۴ از این مقدار کمتر است، این سناریو می‌تواند به پایداری منابع آب منجر شود.

جدول ۵-۷- برداشت و مصرف آب در سال ۱۴۰۴ (میلیون متر مکعب)

	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ٤
برداشت آب شهری	٤٦٨	٤١٢	٥٩١	٤٦٨
برداشت آب بخش صنعت	۲۰۵	۱۸۵	٤۰۰	۲٦٤
برداشت آب بخش کشاورزی	۳،٥۱٦	۲،۹۳۳	۳،٥۱٦	۲،۸٥۰
مصرف محیط‌زیست	۰	۱٤۳	۰	۱۰۹
برداشت از منابع آب سطحی	۱،٤٤٦	۱،٤۷۸	۱،٥۱۰	۱،٥۱۸
برداشت از منابع آب زیرزمینی	۲،۷٤۳	۲،۱۹٤	۲،۹۹۷	۲،۱۷٤
آب برگشتی	۱،٥۰۳	۱،۰٦٦	۱،۷۰٦	۱،۲۹۱
مصرف خالص آب	۲،٦۸۷	۲،٦۰۷	۲،۸۰۱	۲،٤۰۱

با مقایسه‌ی سناریوها مشاهده می‌شود که منابع آب سطحی در سناریوی ۲ و منابع آب زیرزمینی در سناریوی ۴ بیشترین بهبود را یافته‌اند. این بدین دلیل است که بخش صنعت و شرب به منابع آب سطحی و عمده‌ی اراضی کشاورزی به منابع آب زیرزمینی وابسته هستند. همچنین نقطه‌ی اهرمی برای ایجاد اشتغال و افزایش GRP توسعه‌ی صنعت است درحالی‌که نقطه‌ی اهرمی برای کاهش فشار بر منابع آب، کاهش کشاورزی است. در هیچ یک از سناریوها، حداقل نیاز زیست‌محیطی تالاب گاوخونی برای حفظ کلیه‌ی کارکردهای اکولوژیک آن تأمین نشده است، زیرا تالاب گاوخونی در انتهای رودخانه واقع شده است و در ساز و کار تصمیم‌گیری فعلی آخرین دریافت کننده‌ی آب است. برای تأمین نیاز این تالاب بایستی قواعد حاکم بر سیستم تغییر کند و محیط‌زیست جایگاه مهمتری در تصمیمات پیدا کند. برای مقایسه‌ی ساده‌تر سناریوهای سیاستی وضعیت شاخص‌های ارزیابی در این سناریوها در جدول ۵-۸ نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد وضعیت شاخص‌های ارزیابی در سناریوی ۴ بهتر از دیگر سناریوها است هرچند تامین نیاز تالاب گاوخونی و جریان آب در رودخانه به طور کامل تامین نشده‌اند.

جدول ۵-۸- ماتریس تصمیم‌گیری، (مقایسه سناریوهای سیاستی از منظر معیارهای ارزیابی)

شاخص	اهداف زیست محیطی				اهداف اجتماعی		اهداف اقتصادی
	متوسط تامین نیاز گاوخونی (MCM)	متوسط جریان آب در رودخانه (MCM)	مصرف خالص آب (MCM)	تغییرات آب زیرزمینی (MCM)	ریسک مصرف آب شرب	اشتغال	GRP
سناریو ۱ (ادامه روند موجود)	۳۳	۲۹۹	۲،۶۸۷	-۱،۹۷۰	⊘	⊘	⊘
سناریو ۲ (مدیریت تقاضا)	۱۰۰	۲۶۰	۲،۶۰۷	-۱،۲۵۷	✓	⊘	⊘
سناریو ۳ (توسعه صنعت)	۱۳	۲۷۹	۲،۸۰۱	-۲،۱۵۰	⊘	✓	✓
سناریو ۴ (مدیریت توسعه)	۷۶	۲۷۶	۲،۴۰۱	+۱۲۷	✓	✓	✓

۵-۴-۴ بحث

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاهش مصرف آب در بخش‌های صنعت، شرب و کشاورزی به‌تنهایی نمی‌تواند منجر به پایداری منابع و مصارف آب در حوضه‌ی زاینده‌رود شود. در مطالعات قبلی نیز به این مسئله اشاره شده است و برای ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب در حوضه‌ی زاینده‌رود پیشنهاد شده است که کاهش مصرف آب در بخش‌های صنعت کشاورزی و شرب همزمان با انتقال آب بین حوضه‌ای (مدیریت تأمین) صورت گیرد [۱۷۸] ولی سیاست انتقال آب در این حوضه با چالش‌های متعدد زیست‌محیطی و اجتماعی همراه است [۷۰]. لذا در این مطالعه به جای انتقال آب، سیاست مدیریت توسعه بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد برای افزایش پایداری منابع و مصارف آب و بهبود وضعیت اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم، می‌توان سطح زیرکشت کشاورزی را کاهش داد و به توسعه صنایع جدید پرداخت؛ به عبارت دیگر حوضه به سمت صنعتی شدن پیش برود. البته مهارت، دانش بومی و سرمایه‌های زیرساختی متناسب با کشاورزی که در طول صدها سال به وجود آمده‌اند را نباید نادیده گرفت؛ به همین جهت توسعه‌ی صنایع کشاورزی (گلخانه، پرورش دام، پرورش ماکیان و پرورش ماهی) نسبت به صنایع بزرگ و متوسط بایستی در اولویت قرار گیرد.

ضرورت کاهش کشاورزی و توسعه‌ی صنعت، نشان می‌دهد که مدیریت منابع آب صرفا توسط مدیران بخش آب انجام نمی‌شود و مدیران بخش‌های دیگر از جمله اقتصاد، کشاورزی و صنعت در مدیریت آب موثر هستند. مدیران آب ممکن است بر کاهش مصرف آب از طریق اقدامات فنی، حقوقی، اقتصادی، تعرفه و آموزش تمرکز کنند درحالی‌که نیاز است در یک بستر بزرگ‌تر سیاست‌های توسعه‌ی منطقه مورد بازبینی قرار گیرد.

در مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها علاوه بر ارزیابی سناریوها، درس‌هایی که در طول فرآیند مدل‌سازی به دست می‌آید نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار است [۷۲]. از جمله‌ی این درس‌ها فهم لینک‌هایی بین سیستم اجتماعی-اقتصادی و سیستم هیدرولوژیکی است. یکی از لینک‌های بین سیستم هیدرولوژی و سیستم اجتماعی اقتصادی این است که با انتقال آب بین حوضه‌ای، جمعیت حوضه نیز افزایش پیدا می‌کند. این ارتباط بین سیستم هیدرولوژی و سیستم اجتماعی اقتصادی در مطالعات دیگری اثبات شده است که از آن تحت عنوان اثر مخزن[1] یاد می‌شود [۱۶۶،۱۷۹]. اگرچه در مطالعات قبلی به وجود این اندرکنش در حوضه‌ی زاینده‌رود اشاره شده است [۶۳]، لکن میزان اثرگذاری انتقال آب بر مهاجرت در حوضه‌ی زاینده‌رود بررسی نشده است. در این تحقیق فهمیده شد که بیشترین مهاجرت به حوضه‌ی زاینده‌رود از دو استان چهارمحال و بختیاری و خوزستان رخ داده است که منابع آب انتقال یافته به حوضه‌ی زاینده‌رود نیز از همین دو استان انجام شده است. به عبارتی می‌توان گفت «جریان جمعیت با جریان آب همراه شده است». نرخ افزایش جمعیت در حوضه‌ی زاینده‌رود حدود ۱ درصد است که یک پنجم آن معادل ۰.۲ درصد را می‌توان به مهاجرت ناشی از انتقال آب بین حوضه‌ای نسبت داد. برای حل این مسئله روباوانان[2] و همکاران (۲۰۱۷) اثبات نموده اند که کاهش تخصیص آب می‌تواند منجر به مهاجرت به خارج از حوضه و کاهش جمعیت شود [۴۵].

این درس آموخته‌ها از مطالعات هیدرولوژی اجتماعی یک هشدار جدی در پی دارد که بارها تکرار شده است: تلاش برای حل مسئله کمبود آب با تمرکز بر راه حل‌های سازه‌ای، منجر به پیامدهایی ناخواسته‌ای می‌شود که حاصل غفلت از مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است [۷۰،۱۶۶،۱۷۹]. در مقابل راه حل‌های سازه‌ای، مطالعات هیدرولوژی اجتماعی، کمک می‌کند تا راه حل‌ها از شناخت روابط بین سیستم آب و سیستم اجتماعی-اقتصادی پیدا گردد.

[1] Reservoir effect
[2] Roobavannan

به همین دلیل، مولفه‌های اجتماعی-اقتصادی نظیر صنعت، کشاورزی، محیط‌زیست، اشتغال، GRP، جمعیت، مهاجرت، سکونت، حساسیت اجتماعی، و آگاهی رسانی در مطالعات هیدرولوژی اجتماعی متعدد مورد بررسی قرار گرفته‌اند. [۴۳–۴۶،۱۷۹]. راه حل‌هایی که از این طریق به دست بیاید، نقاط اهرمی سیستم را عموما از طریق مداخلات نرم تغییر می‌دهند. به عنوان مثال متنوع سازی اقتصاد، [۴۶،۴۷]، طراحی محل سکونت افراد دور از رودخانه‌ها، [۴۳]، محدودیت توسعه جمعیت و کاهش سرانه مصرف اب[۱۷۹] و تغییر سیاست‌های بهره برداری از مخازن [۱۸۰]. از جمله مداخلات نرمی هستند که از طریق مطالعات هیدرولوژی اجتماعی به دست آمده‌اند.

به طور مشابه، راه حل محوری به دست آمده در مطالعه حاضر، «مدیریت توسعه» است. نتایج نشان می‌دهد که این امکان وجود دارد که با کاهش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی و توسعه‌ی صنایع جدید، پایداری منابع آب و مصارف افزایش یابد و وضعیت اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی سیستم بهبود یابد. البته این سوال که چگونه اراضی کشاورزی کاهش یابد و مکان یابی آن نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

مقایسه‌ی سناریوها، نیز نشان می‌دهد انتخاب معیارهای مناسب به شدت بر تصمیمات اثرگذار است. اگرچه در این مطالعه تلاش شد تا جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی، در نظر گرفته شود، ولی همچنان معیارهای مهمی وجود دارد که برای مدیریت منابع آب حوضه‌ی زاینده‌رود باید مورد توجه قرار گیرند و ضرورت دارد در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد. از جمله‌ی این معیارها عبارتند از سلامت عمومی، بیابان زدایی، عدالت اجتماعی، تنوع جانوری و کیفیت آب.

بحث در مورد معیارهای ارزیابی

مقایسه‌ی سناریوها نشان می‌دهد انتخاب معیارهای صحیح تاثیر زیادی بر تصمیمات دارد. هر چند در اینجا به هر سه جنبه‌ی اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی توجه شد، ولی همچنان معیارهای دیگری وجود دارد که در حوضه‌ی زاینده‌رود اهمیت دارند و بایستی در تحقیقات آینده پوشش داده شوند از جمله سلامت عمومی، بیابان زدایی، عدالت اجتماعی، فقر، تنوع جانوری و کیفیت آب.

در مورد معیارهای انتخاب شده نیز نمی‌توان ادعا نمود این معیارها اهداف مدنظر را به طور کامل پوشش داده‌اند. به عنوان مثال، یکی از اهداف ایجاد جریان دائمی آب در رودخانه بوده تا هم اثرات اجتماعی خشکی رودخانه کاسته شود و هم کارکردهای اکولوژیک رودخانه حفظ شود که از طریق شاخص «جریان سالانه آب در

ایستگاه لنج» به ارزیابی این هدف پرداخته شده است. لکن تامین حداقل جریان ۳۱۵ میلیون مترمکعب در سال در ایستگاه لنج، الزاما نشان دهنده‌ی جریان دائمی رودخانه نخواهد بود.

۵-۵ کشف روابط بین دو سیستم هیدرولوژی و اجتماعی

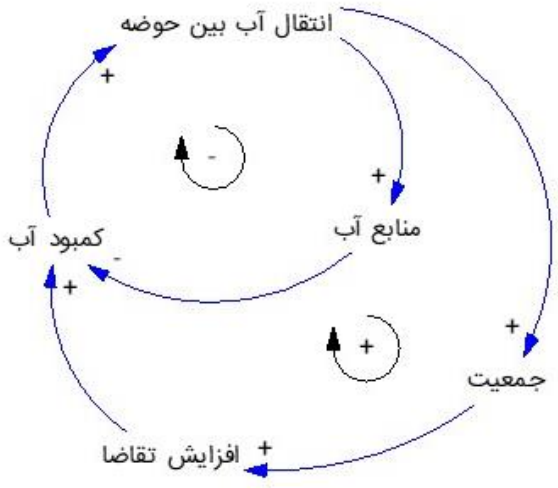
در مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها علاوه بر خود مدل توسعه یافته، درس‌هایی که در طول فرآیند مدل‌سازی به دست می‌آید نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار است، به دلیل اینکه پروسه‌ی مدل‌سازی دانش محقق را نسبت به سیستم افزایش می‌دهد. این آموخته‌ها حین پروسه‌ی مدل‌سازی می‌تواند کمک کند تا مدل‌های توسعه یافته در آینده، ارتقا یابند و همچنین کمک می‌کند تا مدیران و تصمیم‌گیران شناخت بهتری از سیستم پیدا کنند. از جمله درس‌هایی که مدل ایجاد شده در این تحقیق به دست می‌دهد، فهم لینک‌هایی بین سیستم اجتماعی-اقتصادی و سیستم طبیعی است. در ادامه برخی از این لینک‌ها بیان می‌گردد.

در مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها علاوه بر ارزیابی سناریوها، درس‌هایی که در طول فرآیند مدل‌سازی به دست می‌آید نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار است [۷۲]. از جمله‌ی این درس‌ها فهم لینک‌هایی بین سیستم اجتماعی-اقتصادی و سیستم هیدرولوژیکی است. یکی از لینک‌های بین سیستم هیدرولوژی و سیستم اجتماعی اقتصادی این است که با انتقال آب بین حوضه‌ای، جمعیت حوضه نیز افزایش پیدا می‌کند. اگرچه در مطالعات قبلی به وجود این اندرکنش در حوضه‌ی زاینده‌رود اشاره شده است [۶۳]، لکن میزان اثرگذاری انتقال آب بر مهاجرت در حوضه‌ی زاینده‌رود بررسی نشده است.

۵-۵-۱ انتقال آب بین حوضه‌ای و افزایش مهاجرت

یکی از لینک‌های بین سیستم هیدرولوژی و سیستم اجتماعی اقتصادی این است که با انتقال آب بین حوضه‌ای، جمعیت حوضه نیز افزایش پیدا می‌کند. انتقال آب به حوضه، در تفکر خطی منابع آب را افزایش می‌دهد و در نتیجه کمبودها را کاهش می‌دهد لکن اثرات ثانویه‌ی آن که مهاجرت و افزایش جمعیت است، می‌تواند در طولانی مدت کمبود آب در حوضه را تشدید کند (شکل ۵-۴۱). در واقع با انتقال آب یک حلقه‌ی تعادلی ایجاد می‌شود، لکن اثرات جانبی آن منجر به ایجاد یک حلقه‌ی رشد دیگر می‌گردد. اگرچه در مطالعات قبلی به وجود این اندرکنش در حوضه‌ی زاینده‌رود اشاره شده است [۶۳]، لکن میزان اثرگذاری انتقال آب بر مهاجرت در حوضه‌ی زاینده‌رود اندازه گیری نشده است. در این تحقیق فهمیده شد که بیشترین مهاجرت به حوضه‌ی زاینده‌رود از دو استان چهارمحال و بختیاری و خوزستان رخ داده است که منابع آب انتقال یافته به حوضه‌ی زاینده‌رود نیز از

همین دو استان انجام شده است. به عبارتی می‌توان گفت جریان جمعیت با جریان آب همراه شده است. نرخ افزایش جمعیت در حوضه‌ی زاینده‌رود حدود ۱ درصد است که یک پنجم آن معادل ۰.۲ درصد را می‌توان به مهاجرت ناشی از انتقال آب بین حوضه‌ای نسبت داد.



شکل ۵-۴۱- اثرات بلند مدت انتقال آب بین حوضه‌ای بر مهاجرت

۵-۵-۲ رابطه بین میزان بارندگی و سطح زیر کشت اراضی دیم

یکی دیگر از اندرکنش‌های بین سیستم اجتماعی-اقتصادی و هیدرولوژی، تاثیر پذیری مصرف آب از میزان منابع آب موجود است. در حوضه‌ی زاینده‌رود بین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی دیم و میزان بارندگی در هر سال همبستگی قوی وجود دارد و ضریب همبستگی بین آن‌ها ۰.۸۴ است. می‌توان گفت کشاورزان بر اساس میزان بارندگی که در پائیز و زمستان رخ می‌دهد تصمیم می‌گیرند چه مقدار از اراضی دیم را کشت کنند.

۵-۵-۳ رابطه بین میزان رهاسازی آب سد و سطح زیر کشت اراضی آبی

از یک طرف بین سطح زیرکشت اراضی کشاورزی آبی و آب رها شده از سد زاینده‌رود در هر سال همبستگی قوی وجود دارد و از طرف دیگر بین آب رها شده از سد و جمع بارندگی دوساله همبستگی وجود دارد. برای توجیه این همبستگی‌ها دو فرضیه می‌توان مطرح نمود: ۱- در اراضی کشاورزی آبی، از منابع آب مخزن سد زاینده‌رود و منابع آب سفره‌های آب زیرزمینی برای آبیاری استفاده می‌شود. دلیل همبستگی سطح اراضی کشاورزی با بارش دوساله می‌تواند این باشد که بارندگی با تاخیر بر روی منابع آب آبی اثر می‌گذارد و در نتیجه جمع بارندگی دو سال متوالی تعیین می‌کند در هر سال چه مقدار امکان کشت آبی وجود دارد. ۲- فرضیه دوم این

است که سطح زیر کشت اراضی آبی از میزان آب رها شده از سد تاثیر می‌پذیرد که خود مدیران نیز بر اساس بازندگی دو سال اخیر تصمیم‌گیری می‌کنند که چه مقدار آب از سد رها شود.

۵-۵-۴ اثر قیمت و سطح زیر کشت محصولات بر یکدیگر

در سیستم اجتماعی-اقتصادی، قیمت محصولات کشاورزی و سطح زیرکشت این محصولات بر یکدیگر اثر می‌گذارند. از قیمت محصولات کشاورزی و سطح زیر کشت برای محاسبه‌ی تولید ناخالص کشاورزی استفاده می‌شود طبق معادله‌ی زیر [۱۸۱–۱۸۴].

$$Z = \sum_{c=1}^{m} CPr_c \times Y_c \times A_c \qquad ۵-۵$$

که در آن CPrc قیمت محصول c (دلار بر کیلوگرم)، Yc عملکرد محصول c (کیلوگرم در هکتار)، Ac سطح زیرکشت محصول c (هکتار)، m تعداد محصولات زراعی مورد نظر و Z درآمد ناخالص کشت محصولات کشاورزی هستند. متغیر CPrc استاتیک نبوده و از سطح زیرکشت اثر می‌پذیرد. به عبارت ساده طبق تئوری عرضه و تقاضا، با افزایش عرضه‌ی یک محصول، قیمت آن کاهش می‌یابد و بالعکس. در حوضه‌ی زاینده‌رود نیز با افزایش سطح زیر کشت محصول X و در نتیجه افزایش تولید محصول X قیمت آن کاهش می‌یابد و بالعکس. این مسئله بخصوص برای محصولاتی مانند صیفی جات رخ می‌دهد که صادرات و واردات آن‌ها با پیچیدگی بیشتری مواجه است و در نتیجه نمی‌توان با صادرات و واردات محصول و یا ذخیره‌ی آن قیمت آن را تعدیل نمود.

نمودار سطح زیرکشت نسبی و قیمت نسبی ، برای دو محصول پیاز و سیب زمینی در شکل ۵-۴۲ نشان داده شده است. برای حذف اثر متغیرهای دیگر در رابطه بین قیمت و سطح زیرکشت در این نمودار از قیمت نسبی و سطح زیر کشت نسبی استفاده شده است. سطح زیرکشت نسبی برابر است با سطح زیرکشت محصول X تقسیم بر کل سطح زیرکشت اراضی کشاورزی در آن سال. قیمت نسبی نیز برابر است با قیمت محصول X تقسیم بر متوسط قیمت محصولات کشاورزی در آن سال. همان طور که در این شکل مشخص است سطح زیرکشت و قیمت در خلاف جهت یکدیگر حرکت می‌کنند (یکی بالا می‌رود و دیگری پائین می‌آید). میزان همبستگی بین سطح زیرکشت نسبی و قیمت نسبی این دو محصول در جدول ۵-۹ نشان داده شده است.

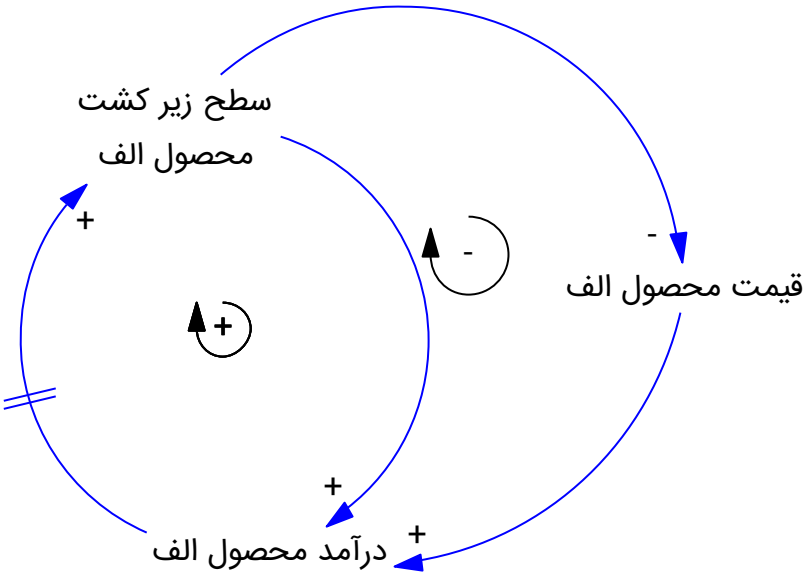
از طرف دیگر قیمت هر محصول کشاورزی در هر سال بر روی سطح زیر کشت آن محصول در سال بعد اثر می‌گذارد. این احتمالا به این دلیل است که کشاورزان بر اساس میزان سود حاصل از هر محصول در هر سال،

برای کشت سال بعد تصمیم می‌گیرند. ضریب همبستگی بین قیمت نسبی و سطح زیر کشت نسبی سال بعد دو محصول پیاز و خیار در جدول ۵-۹ ارائه شده است. تاثیر سطح زیرکشت بر قیمت محصولات کشاورزی و تاثیر قیمت محصولات بر سطح زیرکشت سال بعد، یک حلقه‌ی تعادلی را شکل می‌دهد (شکل ۵-۴۳). بخاطر وجود این حلقه‌ی تعادلی سیستم تلاش می‌کند شرایط فعلی خود را حفظ کند، لذا تحقیقاتی که تلاش می‌کنند با تغییر سطح زیرکشت میزان سود ناخالص نهایی را بهینه کنند، بایستی به این نکته توجه کنند که در سیستم واقعی این بهینه‌سازی به سادگی رخ نمی‌دهد و این حلقه‌ی تعادلی سعی می‌کند وضعیت فعلی را حفظ کند.

جدول ۵-۹- میزان همبستگی بین متغیر قیمت نسبی و سطح زیرکشت برای محصولات پیاز و خیار

محصول	ضریب همبستگی بین سطح زیر کشت نسبی و قیمت نسبی	ضریب همبستگی بین قیمت محصول کشاورزی و سطح زیر کشت سال بعد
پیاز	۰.۸۳۱-	۰.۵۶۴
خیار	۰.۶۳۱.-	۰.۵۴۱

شکل ۵-۴۲ مقایسه سطح زیر کشت نسبی و قیمت نسبی دو محصول پیاز و سیب زمینی (بدون مقیاس). برای به دست آوردن سطح زیر کشت نسبی، سطح زیرکشت تقسیم بر کل سطح زیر کشت صیفی جات شده است.



شکل ۵-۴۳- اثر قیمت محصولات کشاورزی و سطح زیر کشت بر یکدیگر

فصل ششم:
جمع بندی و پیشنهادات

۶-۱ جمع بندی

با توجه به پیچیدگی‌های سیستم‌های منابع آب و اندرکنش این سیستم‌ها با سیستم‌های انسانی، تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع آب بایستی بر مبنای یک رویکرد کل‌نگر انجام شود؛ بخصوص برای توسعه پایدار، توجه همزمان به جنبه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی ضروری است. در مطالعه‌ی حاضر ابتدا تلاش شد تا از طریق مطالعات کیفی و با روش تئوری زمینه ای، یک شناخت جامع از سیستم هیدلوژی و سیستم اجتماعی-اقتصادی حوضه زاینده‌رود به دست بیاید و مولفه‌های اثرگذار در این سیستم‌ها شناسایی شوند. نتایج این قسمت از پژوهش کمک نموده است تا مهمترین مشکلات و مولفه‌های اثر گذار بر حوضه‌ی زاینده‌رود شناسایی شوند. بر اساس این نتایج، ریشه‌ی اصلی مشکلات مدیریت منابع آب در حوضه‌ی زاینده‌رود خارج از سیستم آب است و به سیستم اجتماعی-اقتصادی مرتبط است.

در قسمت دوم پژوهش، یک مدل پویایی سیستم توسعه یافت که مولفه‌های اصلی اثر گذار در حوضه زاینده‌رود و اندرکنش بین این مولفه‌ها را شبیه‌سازی نموده است. پویایی سیستم در این مطالعه به عنوان یک ابزار یادگیری برای افزایش فهم ما نسبت به رفتار سیستم و همچنین به عنوان یک ابزار برای ارزیابی سناریوهای سیاستی مورد استفاده قرار گرفت. مدل توسط آزمون الگوهای رفتاری، آزمون سازگاری واحدها و آزمون ساختاری مورد تست قرار گرفت.

پس از طراحی مدل و صحت سنجی آن، از مدل ایجاد شده برای ارزیابی ۴ سناریوی مختلف استفاده شد. این سناریوها عبارتند از: ۱- سناریو روند که ادامه‌ی روند موجود را نشان می‌دهد. ۲- سناریو مدیریت تقاضا که فرض می‌کند با انجام اقدامات فنی، آموزشی، فرهنگ سازی و اقتصادی مصرف آب در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی و شرب کاهش پیدا می‌کند. ۳- سناریو توسعه صنعت، که فرض می‌کند با تقاضاهای فعلی برای توسعه‌ی صنعت موافقت شود و ۴- سناریوی مدیریت توسعه که کاهش ۱۵ درصد اراضی کشاورزی و موافقت با توسعه‌ی ۳۰ درصد صنایع را مفروض خود قرار داده است. برای ارزیابی سناریوهای سیاستی از شاخص‌های حجم آب‌های زیرزمینی، جریان آب ورودی به تالاب گاوخونی و جریان آب رودخانه به عنوان معیارهای زیست‌محیطی و از شاخص‌های امنیت تامین آب شرب، اشتغال و GRP به عنوان معیارهای اجتماعی-اقتصادی استفاده شد.

نتایج نشان می‌دهد سناریوی چهارم (مدیریت توسعه) می‌تواند بیشترین بهبود را در شاخص‌های ارزیابی ایجاد کند. بر اساس این نتایج صرفا با اعمال اقدامات کاهش مصرف آب، سیستم منابع آب حوضه‌ی زاینده‌رود به پایداری نمی‌رسد، از طرفی طبق مطالعات قبلی انتقال آب به حوضه با چالش‌های جدی همراه است. به همین جهت ضرورت دارد سیاست‌های توسعه در این حوضه مورد بازبینی قرار گیرد به گونه‌ای که صنایع جدید بخصوص صنایع کشاورزی (نظیر گلخانه) جایگزین بخشی از اراضی کشاورزی حوضه شوند. با فرض اجرای سناریوی مدیریت توسعه، رشد جمعیت روند فعلی را ادامه خواهد داد، اشتغال و GRP افزایش خواهد یافت و به طور کلی وضعیت شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی بهبود میابد. همچنین با اجرای این سناریو مصرف خالص آب در حوضه‌ی زاینده‌رود در سال ۱۴۰۴ به ۲۴۰۰ میلیون متر مکعب خواهد رسید که از مقدار منابع آب تجدید پذیر حوضه کمتر است. همچنین تغییرات حجم آب زیرزمینی در این حوضه مثبت خواهد بود، به عبارتی پایداری منابع آب افزایش می‌یابد. البته در این سناریو نیز همچنان جریان آب رودخانه و جریان ورودی به تالاب گاوخونی نتوانسته حداقل جریان مورد نیاز را تامین کند و چالش‌های زیست محیطی در حوضه ادامه خواهد داشت.

علاوه بر نتایج مدل، فهم بخشی از اندرکنش‌های بین سیستم هیدرولوژی و سیستم اجتماعی-اقتصادی در این پژوهش برجسته است. رابطه‌ی بین انتقال آب و مهاجرت، رابطه‌ی بین سطح زیر کشت دیم و بارندگی، رابطه‌ی بین سطح زیر کشت آبی و آب رها شده از سد و رابطه‌ی بین قیمت محصولات کشاورزی و سطح زیر کشت این محصولات، از جمله روابطی است که در این پژوهش به دست آمده است.

۶-۲ نتیجه گیری

بر اساس نتایج بدست آمده از مدل و همچنین بر اساس فهمی که در طول پروسه‌ی مدل‌سازی به دست آمده است می توان موارد متعددی را به عنوان نتیجه گیری بیان نمود.

بر اساس نتایج این تحقیق، با تامین بیشتر آب و یا با افزایش راندمان مصرف آب نمی توان مشکل کمبود آب در حوضه‌ی زاینده‌رود را حل نمود، بلکه نیاز است در یک بستر بزرگتر سیاست‌های توسعه در این حوضه مورد بازبینی قرار گیرد. این نتیجه نشان میدهد تصمیمات موثر بر مدیریت آب، خارج از بخش آب گرفته می شود و ضرورت یکپارچکی تصمیم‌گیری‌ها را نشان می دهد. بر اساس نتیجه‌ی مدل، وضعیت زیست محیطی حوضه‌ی زاینده‌رود به شدت آسیب دیده است و هیچ یک از سناریوهای بررسی شده در این تحقیق نتوانست وضعیت زیست محیطی در این حوضه را بهبود دهد، لذا نیاز است ساختار تصمیم‌گیری تغییر یابد.

در تحقیق حاضر، علی رغم تلاش برای کل نگری، نمی‌توان ادعا نمود که سناریوی ۴، گزینه‌ی ایده آل است، زیرا برخی از مولفه‌ها و معیارهای مهم سیستم در نظر گرفته نشده است. به عنوان مثال کیفیت آب، سلامت عمومی، عدالت و .... در این مدل بررسی نشده‌اند. البته مدل از نظر فهم اندرکنش‌ها مفید بوده است. این مسئله برای دیگر مطالعات دانشگاهی مدیریت منابع آب نیز رخ می‌دهد. در عموم مطالعات، مدل‌ها با هدف بهینه‌سازی و یا سناریوسازی توسعه پیدا می‌کند. خروجی این مدل‌ها اعداد و ارقامی است که به صورت جزئی و دقیق تصمیمات پیش رو را تعیین می‌کند ولی به دلیل اینکه در این مدل‌ها همه‌ی مولفه‌های مهم وارد نشده‌اند و شاخص‌های ارزیابی جامع نیستند، خروجی این مدل‌ها نمی‌تواند به صورت کاربردی مورد استفاده قرار گیرد و اتلاف زمان و انرژی محققین کشور است. لذا به جای مدل‌های با هدف بهینه‌سازی و سناریوسازی (رویکرد تجویزی)، مدل‌های با هدف افزایش شناخت سیستم (رویکرد توصیفی) می‌تواند توسعه یابند. مطالعات سیوپلن که در فصل ۲ معرفی شد از جمله تحقیقاتی است که عمدتا به شناخت سیستم می‌پردازند ولی به بهینه‌سازی یا سناریوسازی نمی‌پردازند.

محققین در طول انجام تحقیق حاضر، با آمار و داده‌های متضاد در منابع مختلف مواجه بوده‌اند. در صورتی که اختلاف آمارها کم باشد می‌توان آن را ناشی از خطا دانست ولی در صورتی که اختلاف آن بسیار زیاد باشد، به عبارتی داده‌ها متناقض باشد، آمار منابع مختلف قابل جمع نیست. در این شرایط اعتماد پذیری نتایج مطالعات کاهش می‌یابد و به عبارت دیگر، تحقیقات برای مدیران قابل استفاده نخواهد بود، لذا ضروت دارد جمع‌آوری و ساماندهی داده‌ها در اولویت قرار گیرد.

برای مطالعه‌ی جوانب انسانی مدیریت منابع آب امکان مدل‌سازی و بخصوص صحت سنجی مدل‌ها به سادگی وجود ندارد. در این نوع مطالعات نیاز است از جهان واقعی بازخورد گرفته شود و نتایج مطالعات پس از اجرا صحت سنجی شود. از طرفی محدود شدن تحقیقات مدیریت منابع آب به مطالعات کتابخانه‌ای و مدل‌سازی، سبب شده کاربرد این تحقیقات پایین باشد. استفاده از روش‌های اقدام پژوهشی (Action-Research) در مدیریت منابع آب به افزایش دانش محققان نسبت به سیستم مدیریت آب کمک خواهد نمود. قطعا بازخورد مطالعات در میدان عمل، می‌تواند تحول عظیمی در دانشگاه‌های کشور ایجاد کند.

یکی دیگر از مسائلی که کمک می‌کند مطالعات مدیریت آب کاربردی شود، همکاری متخصصان از رشته‌های مختلف فنی و مهندسی و علوم انسانی است. عدم همکاری بین این رشته‌ها سبب شده از یک طرف مطالعات علوم انسانی در مفاهیم باقی بماند و به راهکارهای دقیق مهندسی منجر نشود. از طرفی مطالعات مهندسی بدون شناخت مبانی و مفاهیم انسانی انجام شود، در نتیجه نتایج منجر به حل مسئله نشود. به عنوان مثال یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر برای بهبود مدیریت آب پیشنهاد شده و توسط مهندسان در حال مطالعه است، ایجاد بازار آب است. بر اساس مبانی علوم انسانی (رشته اقتصاد) بازار اساسا در مواردی می‌تواند موفق عمل کند که کالای با ویژگی «کالای خصوصی» وارد بازار شود. در برخی کشورها نظیر استرالیا، شرایط مدیریت آب به گونه‌ای تغییر یافته است که آب به مثابه یک کالای خصوصی عمل می‌کند و بازار توانسته در آن کشورها موفق عمل کند. لکن در حوضه‌ی زاینده‌رود آب ویژگی‌های یک کالای مشترک را داراست. لذا ایجاد بازار آب منجر به افزایش برداشت و افزایش کمبود آب خواهد شد. برای ایجاد بازار آب در این حوضه، ابتدا ضرورت دارد بستر مورد نیاز ایجاد شود و خصوصی سازی اتفاق بیافتد تا آب ویژگی‌های یک کالای خصوصی را پیدا کند، سپس به ایجاد بازار آب اقدام شود.

۶-۳ پیشنهادات

۱. یکی از محدودیت‌های مدل‌های پویایی سیستم، غیرمکانی بودن آن‌ها است. در تحقیق حاضر، کل سیستم حوضه‌ی زاینده‌رود به صورت توده‌ای مدل‌سازی شده است، لذا بر اساس این مدل می‌توان اندرکنش‌های مربوط به کل حوضه‌ی زاینده‌رود را بررسی نمود، ولی نمی‌توان سیستم را به تفکیک زیرحوضه‌ها و اندرکنش‌های بین زیرحوضه‌ها تحلیل نمود. نرم افزار Ithink این قابلیت را دارد که متغیرهای دو بعدی ایجاد کند. لذا توسط این نرم افزار می‌توان یک مدل حوضه‌ی زاینده‌رود ایجاد کرد که در هر لایه یکی از

زیرحوضه‌ها شبیه‌سازی شود. پیشنهاد می‌شود با ایجاد چنین مدلی، امکان تحلیل به تفکیک زیرحوضه‌ها فراهم گردد.

۲. یکی از دغدغه‌ها در حین پژوهش حاضر، به دست آوردن رابطه‌ی بین مولفه‌های مختلف سیستم منابع آب و سیستم اجتماعی-اقتصادی بوده است. در این پژوهش بین چند مولفه تحلیل رگرسیون خطی، نمایی و دوجمله‌ای گرفته شد و به صورت تصادفی رابطه‌ی بین برخی از مولفه‌ها کشف شد. به عنوان مثال رابطه‌ی بین رهاسازی آب سد و سطح زیر کشت از همین روش به دست آمد. با استفاده از روش‌های نوین نظیر برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی، و با بررسی همه‌ی سری داده‌های موجود می‌توان به صورت نظام مند همبستگی‌ها را کشف نمود.

۳. پیشنهاد می‌شود «شاخص عدالت» به عنوان یک معیار ارزیابی در حوضه زاینده‌رود تعریف و اندازه گیری شود. برای اندازه گیری مفهوم عدالت، می‌توان میزان حق‌آبه‌ی هر منطقه، (ثبت شده در اسنادی نظیر طومار شیخ بهایی) را با میزان منابع آب تخصیص یافته به آن منطقه در حال حاضر مقایسه نمود. مقایسه شاخص جینی و میزان اشتغال و درآمد ایجاد شده در زیرحوضه‌های مختلف (ناشی از مدیریت آب) نیز می‌تواند به نحوی عدالت در توزیع آب را نشان دهد

۴. پیشنهاد می‌شود تنش‌های اجتماعی (بخصوص بین بالادست و پایین دست) و رابطه‌ی آن با مدیریت آب اندازه گیری شود. برای اندازه گیری آن می‌توان تعداد تجمعات، تعداد افراد حاضر در تجمعات، و محتوای تنش‌زا بین ذینفعان را در شبکه‌های اجتماعی تحلیل نمود.

۵. یکی دیگر از مولفه‌های اجتماعی-اقتصادی مرتبط با آب که در دیگر حوضه‌ها بررسی شده است، حساسیت اجتماعی است. پیشنهاد می‌شود این مولفه در حوضه‌ی زاینده‌رود مطالعه شود. این مولفه نشان می‌دهد حساسیت‌های جامعه، چقدر می‌تواند در کاهش مصرف آب موثر باشد.

۶. پیشنهاد می‌گردد برای اصلاح نظام جمع‌آوری داده، روش‌های نوین جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها بررسی شود. یکی از روش‌های جمع‌آوری داده که در سال‌های اخیر تحول عظیمی در علوم طبیعی و انسانی ایجاد کرده است، روش دانش شهروندی (citizen science) است. این روش که مردم محور است و با هزینه‌ی بسیار پایین به جمع‌آوری داده‌ها کمک می‌کند در ایران کمتر مطالعه شده و نیاز است نرم افزارهای مرتبط با آن، انگیزه‌های مخاطبان و روش صحت سنجی داده‌ها در آن مورد مطالعه قرار گیرد. به عنوان مثال این روش در

هلند برای مطالعه‌ی کیفیت آب رودخانه، در آمریکا برای مطالعه پرندگان و در شمال کشور هلند برای مطالعه‌ی پروانه‌ها استفاده شده است.

۷. در صورتی که مطالعات مدیریت آب بر اساس دانش علوم انسانی نظیر روانشناسی، اقتصاد و جامعه شناسی انجام شود، می‌توان از مدل‌های Agent-base برای شبیه‌سازی سیستم استفاده نمود. مدل‌های Agent-base اطلاعات دقیق‌تری از رفتار عامل‌ها در اختیار پژوهشگر می‌گذارد، هرچند به دلیل افزایش هزینه محاسباتی، قابلیت توسعه در مقیاس‌های بزرگ (نظیر حوضه آبریز) را ندارند.

۸. یکی از مشکلات سیستم اجتماعی-اقتصادی که قابلیت مدل‌سازی با مدل‌های Agent-base دارد، مدیریت الگوی کشت در حوضه است. عوامل متعددی در انتخاب الگوی کشت توسط کشاورزان موثر است از جمله سودآوری، ریسک، دانش، تکنولوژی و مصرف آب. شناخت عوامل موثر بر انتخاب الگوی کشت (از طریق رشته‌های علوم انسانی) و مدل‌سازی این عوامل با مدل Agent-base بسیار می‌تواند جذاب باشد.

پیوست ۱: ضرایب تبدیل سطح زیرکشت شهرستان به واحد زیرحوضه

با توجه به اینکه داده‌های سازمان جهاد کشاورزی بر اساس مرزهای سیاسی (شهرستان) و داده‌های شرکت آب منطقه ای بر اساس مرزهای هیدرولوژیک (حوضه‌ی آبریز) جمع‌آوری و ارائه میگردد، نیاز است این اطلاعات به یکدیگر تبدیل شود. در تحقیق حاضر با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، ضرایبی به دست آمده است که با استفاده از آن‌ها میتوان اطلاعات سطح زیرکشت هر شهرستان را به واحد زیرحوضه تبدیل نمود. با توجه به اینکه اطلاعات کشاورزی شهرستان بوئین میاندشت، قبل از سال ۹۲-۹۳ موجود نیست، ضرائب این شهرستان وارد نشده است. البته بخش زیادی از اراضی این شهرستان خارج از حوضه قرار میگیرد.

جدول ضرایب تبدیل داده‌های کشاورزی شهرستان به واحد زیرحوضه برای باغات

زیرحوضه/ شهرستان	کوهپایه-سگزی	اصفهان-برخوار	مورچه خورت	علویجه-دهق	میمه	نجف آباد	کرون	مهیار شمالی	لنجانات	بن و سامان	چادگان	بوئین-میاندشت	چهل خانه	دامنه-داران	یان چشمه	چلگرد-قلعه شامرخ	خارج از حوضه	**جمع (حوضه زاینده‌رود)**
اردستان																		۰
اصفهان	۰.۵۱	۰.۴۸															۰.۰۱	**۰.۹۹**
خمینی شهر		۰.۳				۰.۷												۱
خوانسار																		۰
سمیرم																		۰
فریدن											۰	۰.۴۳	۰	۰.۴۵			۰.۱۲	**۰.۸۸**
فریدونشهر												۰.۸۱				۰.۰۹	۰.۱	**۰.۹**
فلاورجان						۱												۱
شهرضا								۰.۶									۰.۴	**۰.۶**
کاشان					۰.۱۱												۰.۸۹	**۰.۱۱**
گلپایگان																		۰
لنجان						۰.۰۲			۰.۸۳	۰.۱۵								۱
نائین																		۰
نجف آباد			۰	۰.۲۳		۰.۷۷												۱
نطنز																		۰
شاهین شهر		۰.۲۹	۰.۲۸		۰.۴۳													۱
مبارکه						۰.۳۴		۰	۰.۶۶									۱
آران و بیدگل																		۰
تیران و کرون		۰		۰.۰۸		۰.۴	۰.۴۹		۰.۰۳	۰				۰				۱
چادگان										۰.۲۹	۰.۳۳	۰.۰۲			۰.۰۷	۰.۲۹		۱
دهاقان									۰.۸								۰.۲	**۰.۸**
برخوار	۰.۰۳	۰.۹۳	۰.۰۴															۱
خور و بیابانک																		۰
استان چهارمحال و بختیاری										؟					؟	؟		؟

جدول ضرایب تبدیل داده‌های کشاورزی شهرستان به واحد زیرحوضه برای اراضی زراعی دیم

زیرحوضه/ شهرستان	کوهپایه-سگزی	اصفهان-برخوار	مورچه خورت	علویجه-دهق	میمه	نجف آباد	کرون	مهیار شمالی	لنجانات	بن و سامان	چادگان	بوئین-میاندشت	چهل خانه	دامنه-داران	یان چشمه	چلگرد-قلعه شاهرخ	خارج از حوضه	**جمع (حوضه زاینده‌رود)**
اردستان																	۱	
اصفهان	۱	۰															۰	**۱**
خمینی شهر		۰				۰												**۰**
خوانسار																	۱	**۰**
سمیرم																	۱	**۰**
فریدن											۰.۰۱	۰.٤٥	۰.۱۳	۰.۲۹			۰.۱۲	**۰.۸۸**
فریدونشهر												۰.۹				۰	۰.۱	**۰.۹**
فلاورجان						۱											۰	**۱**
شهرضا								۰.٦									۰.٤	**۰.٦**
کاشان					۰.۱												۰.۹	**۰.۱**
گلپایگان																	۱	**۰**
لنجان									۰.۷	۰.۳							۰	**۱**
نائین																		**۰**
نجف آباد			۰	۱		۰											۰	**۱**
نطنز																		**۰**
شاهین شهر		۰	۰		۰													**۰**
مبارکه						۰.۰۹		۰	۰.۹۱								۰	**۱**
آران و بیدگل																		**۰**
تیران و کرون		۰		۰		۰.۱۵	۰.۵۹		۰.۱۸	۰				۰.۰۸				**۱**
چادگان											۰.٦۱	۰.۱۵			۰.۰٦	۰.۱۸		**۱**
دهاقان									۰.۸								۰.۲	**۰.۸**
برخوار	۰	۱	۰														۰	**۱**
خور و بیابانک																		**۰**
استان چهارمحال و بختیاری										?					?	?		?

به عنوان مثال سطح زیر کشت اراضی آبی در زیرحوضه کوهپایه سگزی برابر است با ۷۹ درصد اراضی شهرستان اصفهان به علاوه‌ی ۴ درصد اراضی شهرستان برخوار، همچنین سطح زیرکشت اراضی آبی زیرحوضه بن و سامان برابر است با ۵ درصد اراضی آبی شهرستان لنجان و بخشی از اراضی آبی استان چهارمحال و بختیاری.

جدول ضرایب تبدیل داده‌های کشاورزی شهرستان به واحد زیرحوضه برای اراضی زراعی آبی

زیرحوضه/ شهرستان	کوهپایه-سگزی	اصفهان-برخوار	مورچه خورت	علویجه-دهق	میمه	نجف آباد	کرون	مهیار شمالی	لنجانات	بن و سامان	چادگان	بوئین-میاندشت	چهل خانه	دامنه-داران	یان چشمه	چلگرد-قلعه شاهرخ	خارج از حوضه	جمع (حوضه زاینده‌رود)
اردستان																		
اصفهان	۰.۷۹	۰.۲															۰.۰۱	۰.۹۹
خمینی شهر		۰.۳۴				۰.۶۶												۱
خوانسار																		۰
سمیرم																		۰
فریدن											۰	۰.۴۶	۰.۰۷	۰.۳۴			۰.۱۳	۰.۸۷
فریدونشهر												۰.۸۲				۰.۰۸	۰.۱	۰.۹
فلاورجان						۱												۱
شهرضا*								۰.۶									۰.۴	۰.۶
کاشان					۰.۱۱												۰.۸۹	۰.۱۱
گلپایگان																		۰
لنجان						۰.۰۲			۰.۹۳	۰.۰۵								۱
نائین																		۰
نجف آباد			۰.۰۹	۰.۱۵		۰.۷۶												۱
نطنز																		۰
شاهین شهر		۰.۴۹	۰.۲۸		۰.۲۳													۱
مبارکه						۰.۳۶		۰.۰۵	۰.۵۹									۱
آران و بیدگل																		۰
تیران و کرون		۰		۰.۰۴		۰.۰۶	۰.۷۶		۰.۰۲	۰				۰.۱۲				۱
چادگان										۰	۰.۳۷	۰.۲۲			۰.۰۹	۰.۳۲		۱
دهاقان									۰.۸								۰.۲	۰.۸
برخوار	۰.۰۴	۰.۹۴	۰.۰۲															۱
خور و بیابانک																		۰
استان چهارمحال و بختیاری**										?					?	?		?

*۶۰ درصد اراضی شهرستان شهرضا متعلق به شبکه‌ی مهیار است که ۳۰ درصد آن درون زیرحوضه مهیار شمالی قرار دارد و ۳۰ درصد آن خارج زیرحوضه قرار دارد، ولی به این دلیل که از منابع آب سطحی زیرحوضه استفاده می‌کند جزو زیرحوزه درنظر گرفته شد.

**بخشی از سه زیرحوضه‌ی بن و سامان، یان‌چشمه و چلگرد- قلعه‌شاهرخ در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد، ولی آمار و اطلاعات سطح زیر کشت و تولید محصولات کشاورزی از استان چهارمحال و بختیاری در دسترس نیست.

مراجع

[1] Sandoval-Solis, S. and McKinney, D.C. (2014). “Integrated water management for environmental flows in the rio grande.” *Journal of Water Resources Planning and Management*. 140(3), 355–364.

[2] Montanari, A. (2015). “Debates-perspectives on socio-hydrology: introduction.” *Water Resources Research*. 51(6), 4768–4769.

[3] Ogilvie, A., Riaux, J., Massuel, S., Mulligan, M., Belaud, G., Le Goulven, P., et al. (2019). “Socio-hydrological drivers of agricultural water use in small reservoirs.” *Agricultural Water Management*. 218, 17–29.

[4] Sivapalan, M., Savenije, H.H.G., and Blöschl, G. (2012). “Socio-hydrology: a new science of people and water.” *Hydrological Processes*. 26(8), 1270–1276.

[5] Dong, C., Schoups, G., and Van de Giesen, N. (2013). “Scenario development for water resource planning and management: a review.” *Technological Forecasting and Social Change*. 80(4), 749–761.

[6] Walters, J.P. and Javernick-Will, A.N. (2015). “Long-term functionality of rural water services in developing countries: a system dynamics approach to understanding the dynamic interaction of factors.” *Environmental Science and Technology*. 49(8), 5035–5043.

[7] Mirchi, A., Madani, K., Watkins, D., and Ahmad, S. (2012). “Synthesis of system dynamics tools for holistic conceptualization of water resources problems.” *Water Resources Management*. 26(9), 2421–2442.

[8] Loucks, D.P. (2017). “Managing water as a critical component of a changing world.” *Water Resource Management*. 31, 2905–2916.

[9] Loucks, D.P. (2020). “From analyses to implementation and innovation.” *Water (Switzerland)*. 12(4), 1–11.

[10] Loucks, D.P. and van Beek, E. (2005). Water resources systems planning and management. UNESCO, Turin.

[11] Randers, J. (1980). “Guidelines for model conceptualization.” in: Elements of the Systems Dynamics Method, MIT Press, Massachusettspp. 117–139.

[12] FAO (2003). Review of world water resources by country. Food and agriculture organization of the united nations, Rome.

[13] Margat, J., Frenken, K., and Faures, J.M. (2005). “Key water resources statistics in aquastat.” in: *International Work Session on Water Statistics*. vienna.

[14] Van Der Zaag, P. and Savenije, H.H.G. (2012). Principles of integrated water resources management. UNESCO-IHE, Delft.

[15] Cassardo, C. and Jones, J.A.A. (2011). Managing water in a changing world. Paris.

[16] موسوی، س.ج. (۱۳۹۴). مدیریت منابع آب: رویکرد سیستمی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران .

[17] Walker, W.E., Loucks, D.P., and Carr, G. (2015). “Social responses to water management decisions.” *Environmental Processes*. 2(3), 485–509.

[18] Simonovic, S.P. (2009). Managing water resources: methods and tools for a system approach. UNESCO, London.

[19] علوی پور، م. (۱۳۸۷). مبانی نظری و روش شناسی مطالعات میان رشته ای. پژوهشکده مطالعات فرهنگی و اجتماعی، تهران .

[20] Reddy, V.R. and Syme, G.J. (2014). “Social sciences and hydrology: an introduction.” *Journal of Hydrology*. 518(PA), 1–4.

[21] Mitchell, B. (2006). “IWRM in practice: lessons from Canadian experiences.” *Journal of Contemporary Water Research & Education*. 135(1), 51–55.

[22] Rahaman, M.M. and Varis, O. (2005). “Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges.” *Sustainability: Science, Practice & Policy*. 1(1), 15–21.

[23] Global Water Partnership (GWP) and International Network of Basin Organizations (INBO) (2009). A handbook for integrated water resources management in basins. Elanders, Sweden.

[24] Global Water Partnership (GWP) (2000). Integrated water resources management. Global Water Partnership Technical Committee (TEC), Denmark.

[25] Merrey, D.J., Drechsel, P., Penning De Vries, F.W.T., and Sally, H. (2005). “Integrating ‘livelihoods’ into integrated water resources management: taking the integration paradigm to its logical next step for developing countries.” *Regional Environmental Change*. 5(4), 197–204.

[26] van der Zaag, P. (2005). “Integrated water resources management: relevant concept or irrelevant buzzword? a capacity building and research agenda for southern Africa.” *Physics and Chemistry of the Earth*. 30, 867–871.

[27] Jonker, L. (2007). “Integrated water resources management: the theory–praxis–nexus, a south african perspective.” *Physics and Chemistry of the Earth*. 32(15), 1257–1263.

[28] Jafari, H.R., Seifbarghy, M., and Omidvari, M. (2017). “Sustainable supply chain design with water environmental impacts and justice-oriented employment considerations: a case study in textile industry.” *Scientia Iranica*. 24(4), 2119–2137.

[29] Chao, C., Ahmad, S., Kalra, A., and Xu, Z.X. (2017). “A dynamic model for exploring water-resource management scenarios in an inland arid area: shanshan county, northwestern China.” *Journal of Mountain Science*. 14(6), 1039–1057.

[30] Guest, J.S., Skerlos, S.J., Daigger, G.T., Corbett, J.R.E., and Love, N.G. (2010). “The use of qualitative system dynamics to identify sustainability characteristics of decentralized wastewater management alternatives.” *Water Science & Technology*. 61(6), 1637–1644.

[31] Tortajada, C. (2014). “IWRM revisited: from concept to implementation.” *International Journal of Water Resources Development*. 30(3), 361–363.

[32] Thalmeinerova, D. (2017). “IWRM toolbox.” *Global Water Partnership (GWP)*. available at https://www.gwp.org/en/learn/iwrm-toolbox/About_IWRM_ToolBox/.

[33] Ostrom, E. (2009). Understanding institutional diversity. Princeton University Press Princeton, New Jersey.

[34] Ostrom, E. (2011). “Background on the institutional analysis and development framework.” *Policy Studies Journal*. 39(1), 7–27.

[35] Saleth, R.M. and Dinar, A. (2004). The institutional economics of water: a cross-country analysis of institutions and performance. The World Bank, Washington DC.

[36] Swatuk, L., Mengiste, A., and Jembere, K. (2008). Conflict resolution and negotiation skills for integrated water resources management. CAP-Net, Bangladesh.

[37] Van de Meene, S.J., Brown, R.R., and Farrelly, M.A. (2011). Towards understanding governance for sustainable urban water management. Elanders, Sweden.

[38] Pahl-Wostl, C. (2017). “An evolutionary perspective on water governance: from understanding to transformation.” *Water Resources Management*. 31(10), 2917–2932.

[39] Grigg, N.S. (2016). Integrated water resource management: an interdisciplinary approach. Springer, London.

[40] UN-Water (2006). Water a shared responsibility: the united nations world water development report 2. UNESCO, Paris.

[41] Islam, S. and Susskind, L.E. (2013). Water diplomacy: a negotiated approach to managing complex water networks. Routledge, New York.

[42] Islam, S. and Madani, K. (2017). Water diplomacy in action contingent approaches to managing complex water problems. Anthem Press, .

[43] Di-Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J.L., and Bl??schl, G. (2013). “Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions.” *Hydrology and Earth System Sciences*. 17(8), 3295–3303.

[44] Elshafei, Y., Sivapalan, M., Tonts, M., and Hipsey, M.R. (2014). “A prototype framework for models of socio-hydrology: identification of key feedback loops and parameterisation approach.” *Hydrology and Earth System Sciences*. 18(6), 2141–2166.

[45] Roobavannan, M., Kandasamy, J., Pande, S., Vigneswaran, S., and Sivapalan, M. (2017). “Allocating environmental water and impact on basin unemployment: role of a diversified economy.” *Ecological Economics*. 136, 178–188.

[46] Roobavannan, M., Kandasamy, J., Pande, S., Vigneswaran, S., and Sivapalan, M. (2017). “Role of sectoral transformation in the evolution of water management norms in agricultural catchments: a sociohydrologic modeling analysis.” *Water Resources Research*. 53(10), 8344–8365.

[47] Roobavannan, M., Kandasamy, J., Pande, S., Vigneswaran, S., and Sivapalan, M. (2020). “Sustainability of agricultural basin development under uncertain future

climate and economic conditions: a socio-hydrological analysis." *Ecological Economics*. 174, 106665.

[48] Anderson, E.P., Jackson, S., Tharme, R.E., Douglas, M., Flotemersch, J.E., Zwarteveen, M., et al. (2019). "Understanding rivers and their social relations: a critical step to advance environmental water management." *WIREs Water*. 6(6), e1381.

[49] قلی زاده سرابی، ش.، قهرمان، ب. و شفیعی، م. (۱۳۹۷). "علم جدید هیدرولوژی اجتماعی: در جستجوی درک مفهوم هم تکاملی انسان و آب." *تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۴(۵)، ۳۵۱–۳۵۹ .

[50] ترقی، م. و احمدی، آ. (۱۳۹۸). "همبست آب و انسان: لزوم نگرشی جدید در مدیریت منابع آب." *در: سومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران*. دانشگاه تبریز، تبریز.

[51] قلی زاده سرابی، ش.، داوری، ک.، قهرمان، ب.، شفیعی، م. و سرابی، ق.ز. (۱۳۹۸). "مطالعه تاریخی سیستم پیوسته انسان آب از منظر هیدرولوژی اجتماعی، محدوده مورد مطالعه: حوضه آبریز مشهد." *تحقیقات منابع آب ایران*. ۱۵(۴)، ۱۴۸–۱۷۰ .

[52] Cai, X., McKinney, D.C., and Lasdon, L.S. (2002). "A framework for sustainability analysis in water resources management and application to the syr darya basin." *Water Resources Research*. 38(6), 21 (1–14).

[53] Babel, M.S., Das Gupta, A., and Nayak, D.K. (2005). "A model for optimal allocation of water to competing demands." *Water Resources Management*. 19(6), 693–712.

[54] Xevi, E. and Khan, S. (2005). "A multi-objective optimisation approach to water management." *Journal of Environmental Management*. 77(4), 269–277.

[55] Kucukmehmetoglu, M. and Guldmann, J.M. (2010). "Multiobjective allocation of transboundary water resources: case of the euphrates and tigris." *Journal of Water Resources Planning and Management*. 136(1), 95–105.

[56] Liu, D., Chen, X., and Lou, Z. (2010). "A model for the optimal allocation of water resources in a saltwater intrusion area: a case study in pearl river delta in china." *Water Resources Management*. 24(1), 63–81.

[57] Ahmadi, A., Karamouz, M.F., Moridi, A., and Han, D. (2012). "Integrated planning of land use and water allocation on a watershed scale considering social and water quality issues." *Journal of Water Resources Planning and Management*. 136(6), 671–681.

[58] Rezapour Tabari, M.M. and Yazdi, A. (2014). "Conjunctive use of surface and groundwater with inter-basin transfer approach: case study piranshahr." *Water Resources Management*. 28, 1887–1906.

[59] Roozbahani, R., Schreider, S., and Abbasi, B. (2015). "Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences." *Environmental Modelling and Software*. 64, 18–30.

[60] Bouklia-Hassane, R., Yebdri, D., and Tidjani, A.E.-B. (2014). "Prospects for a larger integration of the water resources system using weap model: a case study of

oran province." *Desalination and Water Treatment*. 57(13), 5971–5980.

[61] Li, X., Zhao, Y., Shi, C., Sha, J., Wang, Z.L., and Wang, Y. (2015). "Application of water evaluation and planning (weap) model for water resources management strategy estimation in coastal binhai new area, china." *Ocean and Coastal Management*. 106, 97–109.

[62] گل محمدی، م. (۱۳۹۴). تحلیل سناریوهای برنامه ریزی و مدیریت جامع منابع آب در حوضه زاینده رودتحت شرایط عدم قطعیت بر اساس معیارهای عملکرد و شاخص پایداری فازی، دانشگاه صنعتی اصفهان .

[63] Madani, K. and Mariño, M. a. (2009). "System dynamics analysis for managing iran's zayandeh-rud river basin." *Water Resources Management*. 23(11), 2163–2187.

[64] Misa, T.J. (2015). Industrial dynamics. The MIT Press, Cambridge.

[65] Mashaly, A.F. and Fernald, A.G. (2020). "Identifying capabilities and potentials of system dynamics in hydrology and water resources as a promising modeling approach for water management." *Water (Switzerland)*. 12(5), 1–24.

[66] Stave, K. a. (2003). "A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in las vegas, nevada." *Journal of Environmental Management*. 67(4), 303–313.

[67] Davies, E.G.R. (2007). Modelling Feedback in the Society-Biosphere-Climate System, The University of Western Ontario.

[68] Winz, I., Brierley, G., and Trowsdale, S. (2008). "The use of system dynamics simulation in integrated water resources management." *Water Resources Management*. 23(7), 1301–1323.

[69] Davies, E.G.R. and Simonovic, S.P. (2011). "Global water resources modeling with an integrated model of the social-economic-environmental system." *Advances in Water Resources*. 34(6), 684–700.

[70] Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., and Madani, K. (2013). "Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire." *Journal of Hydrology*. 491(1), 23–39.

[71] Kotir, J.H., Smith, C., Brown, G., Marshall, N., and Johnstone, R. (2016). "A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the volta river basin, ghana." *Science of the Total Environment*. 573, 444–457.

[72] Kotir, J.H., Brown, G., Marshall, N., and Johnstone, R. (2017). "Systemic feedback modelling for sustainable water resources management and agricultural development : an application of participatory modelling approach in the volta river basin." *Environmental Modelling and Software*. 88, 106–118.

[73] Hosseinzadeh, Z., Monem, M.J., Nahavandi, N., and Tehrani, M.V. (2017). "Development of a conceptual model for application of hydro- mechanical gates in irrigation networks by a system dynamic." *Irrigation and Drainage*. 66(5), 808–819.

[74] Hosseinzadeh Ghazichaki, Z. and Monem, M.J. (2019). "Development of quantified model for application of control systems in irrigation networks by system dynamic approach." *Irrigation and Drainage*. 68(3), 433–442.

[75] Sarindizaj, E.E. and Zarghami, M. (2018). "Sustainability assessment of restoration plans under climate change by using system dynamics: application on urmia lake, iran." *Journal of Water and Climate Change*. 10(4), 938–952.

[76] Hossain, M.S., Ramirez, J., Szabo, S., Eigenbrod, F., Johnson, F.A., Speranza, C.I., et al. (2020). "Participatory modelling for conceptualizing social-ecological system dynamics in the bangladesh delta." *Regional Environmental Change*. 20(1), 28.

[77] Zomorodian, M., Lai, S.H., Homayounfar, M., Ibrahim, S., Fatemi, S.E., and El-Shafie, A. (2018). "The state-of-the-art system dynamics application in integrated water resources modeling." *Journal of Environmental Management*. 227, 294–304.

[78] Nabavi, E., Daniell, K.A., and Najafi, H. (2017). "Boundary matters: the potential of system dynamics to support sustainability?" *Journal of Cleaner Production*. 140, 312–323.

[79] Davies, E.G.R. and Simonovic, S. p. (2011). "Global water resources modeling with an integrated model of the social–economic–environmental system." *Advances in Water Resources*. 34(6), 684–700.

[80] Halbe, J. and Adamowski, J. (2011). "Use of participatory system dynamics modelling for collaborative watershed management in québec, canada." *Journal of Agricultural Engineering (New Delhi)*. 48(2), 23–29.

[81] Madani, K., Gohari, A., and Mirchi, A. (2013). "Water transfer: a fix that may fail." in: *World Environmental and Water Resources Congress 2013: Showcasing the Future*. ASCE, Orlando, FL.

[82] Karamouz, M., Semsar, M. S., Ahmadi, B., Zahraie, B., (2011). "A System Dynamics Approach to Economic Assessment of Water Supply and Demand Strategies." In: *World Environmental and Water Resources Congress*. Palm Springs, California.

[83] Inam, A., Adamowski, J., Halbe, J., and Prasher, S. (2015). "Using causal loop diagrams for the initialization of stakeholder engagement in soil salinity management in agricultural watersheds in developing countries: a case study in the rechna doab watershed, pakistan." *Journal of Environmental Management*. 152, 251–267.

[84] Butler, C. and Adamowski, J. (2015). "Empowering marginalized communities in water resources management : addressing inequitable practices in participatory model building." *Journal of Environmental Management*. 153, 153–162.

[85] Dai, S., Li, L., Xu, H., Pan, X., and Li, X. (2013). "A system dynamics approach for water resources policy analysis in arid land : a model for manas river basin." 5, 118–131.

[86] Zarghami, M. and Akbariyeh, S. (2012). "Resources , conservation and recycling system dynamics modeling for complex urban water systems : application to the city of tabriz , iran." *"Resources, Conservation & Recycling."* 60, 99–106.

[87] Wolstenholme, E. (1998). "'Qualitative v . quantitative modelling: the evolving balance.'" *1998 International System Dynamics Conference*. 422–428.

[88] Little, J.C., Hester, E.T., Elsawah, S., Filz, G.M., Sandu, A., Carey, C.C., et al. (2019). "A tiered, system-of-systems modeling framework for resolving complex socio-environmental policy issues." *Environmental Modelling and Software*. 112, 82–94.

[89] Herr, A., Dambacher, J.M., Pinkard, E., Glen, M., Mohammed, C., and Wardlaw, T. (2016). "The uncertain impact of climate change on forest ecosystems - how qualitative modelling can guide future research for quantitative model development." *Environmental Modelling and Software*. 76, 95–107.

[90] Argent, R.M., Sojda, R.S., Giupponi, C., McIntosh, B., Voinov, A.A., and Maier, H.R. (2016). "Best practices for conceptual modelling in environmental planning and management." *Environmental Modelling & Software*. 80, 113–121.

[91] Forrester, J.W. (1992). "Policies, decisions and information sources for modeling." *European Journal of Operational Research*. 59(1), 42–63.

[92] Luna-Reyes, L.F. and Andersen, D.L. (2003). "Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: methods and models." *System Dynamics Review*. 19(4), 271–296.

[93] Srdjevic, Z., Funamizu, N., Srdjevic, B., and Baj, R. (2018). "Public participation in water management of krivaja river , serbia : understanding the problem through grounded theory methodology." *Water Resources Management*. 32(15), 5081–5092.

[94] عبداللهی، ع.ا.، زاهدی مازندرانی، م.، صالحی، ص. و ذکایی، م. (۱۳۹۵). "نظام معنایی پدیده خشکسالی در میان کشاورزان استان اصفهان." *توسعه محلی روستایی-شهری*. ۸(۲)، ۲۷۱–۲۹۴ .

[95] Cole, S. and Browne, M. (2015). "Tourism and water inequity in bali: a social-ecological systems analysis." *Human Ecology*. 43(3), 439–450.

[96] Loch, A., Bjornlund, H., Wheeler, S., and Connor, J. (2012). "Allocation trade in australia: a qualitative understanding of irrigator motives and behaviour." *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. 56(1), 42–60.

[97] Nerkar, S.S., Tamhankar, A.J., Johansson, E., and Lundborg, C.S. (2016). "Impact of integrated watershed management on complex interlinked factors influencing health: perceptions of professional stakeholders in a hilly tribal area of india." *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 13(3),.

[98] Withanachchi, S.S., Ghambashidze, G., Kunchulia, I., Urushadze, T., and Ploeger, A. (2018). "A paradigm shift in water quality governance in a transitional context: a critical study about the empowerment of local governance in georgia." *Water (Switzerland)*. 10(2), 1–27.

[99] Kelly, E., Shields, K.F., Cronk, R., Lee, K., Behnke, N., Klug, T., et al. (2018). "Seasonality, water use and community management of water systems in rural settings: qualitative evidence from ghana, kenya, and zambia." *Science of the Total Environment*. 628–629, 715–721.

[100] Johnson, E.S., Bell, K.P., and Leahy, J.E. (2017). "Changing course: comparing

emerging watershed institutions in river restoration contexts." *Society and Natural Resources*. 30(6), 765–781.

[101] Roshandel Arbatani, T., Labafi, S., and Robati, M. (2016). "Effects of social media on the environmental protection behaviour of the public (case study: protecting zayandeh-rood river environment)." *International Journal of Environmental Research*. 10(2), 237–244.

[102] Kvale, S. (1994). "Ten standard objections to qualitative research interviews." *Journal of Phenomenological Psychology*. 25(2), 147–173.

[103] Murray-Rust, H., Salemi, H., and Droogers, P. (2002). Water resources development and water utilization in the zayandeh rud basin, iran. IAERI-IWMI Research Reports 14, .

[104] Morid, S. (2003). Adaptation to climate change to enhance food security and environmental quality: zayandeh rud basin, iran. Tarbiat Modares University, Tehran.

[105] الله دادیان، ل. (۱۳۸۸). تخصیص مجدد اقتصادی هوشمند آب در حوضه زاینده رود بین مصارف گوناگون، دانشگاه اصفهان .

[106] Molle, F., Ghazi, I., and Murray-Rust, H. (2009). "Buying respite: esfahan and the zayandeh rud river basin, iran." in: River Basin Trajectories: Societies, Environments and Development, CAB International, Wallingfordpp. 196–213.

[107] توکلی، ا. (۱۳۸۹). تعیین و ارزیابی معیارهای پایداری در مدیریت منابع آب حوضه آبریز زاینده رود، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان .

[108] راست‌قلم، م. و راست قلم، م. (۱۳۹۱). مدیریت تقاضای منابع آب، مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده رود، دانشگاه صنعتی اصفهان .

[109] کیانی سلمی، ص. (۱۳۹۱). تاثیر بحران منابع آب کشاورزی بر ساختار اقتصادی-اجتماعی روستایی (حوضه رودخانه زاینده رود در شرق جلگه ی اصفهان)، دانشگاه اصفهان .

[110] جلیلی کامجو، پ. (۱۳۹۴). تخصیص پایدار و عملی سازی طراحی بازار آب (مطالعه موردی: حوضه آب زاینده رود)، دانشگاه اصفهان .

[111] Felmeden, J. (2014). Agriculture in the zayandeh rud catchment. Institute for Social-Ecological Research (ISOE), Frankfurt.

[112] Schramm, E. and Davoudi, A. (2014). Tourism in the zayandeh rud catchment. Institute for Social-Ecological Research (ISOE), Frankfurt.

[113] IEEM (2013). Value of water, unpublished report. IEEM (Institut für Umwelttechnik und Management an der Universität Witten-Herdecke), .

[114] Schramm, E. and Sattary, E. (2014). Scenarios for closed basin water management in the zayandeh rud catchment area. Institute for Social-Ecological Research (ISOE), Frankfurt.

[115] Safavi, H.R., Golmohammadi, M.H., and Sandoval-Solis, S. (2015). "Expert

knowledge based modeling for integrated water resources planning and management in the zayandehrud river basin." *Journal of Hydrology*. 528, 773–789.

[116] رضایی، ف. (۱۳۹۵). بهره برداری بهینه تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی: کاربرد الگوریتم های بهینه سازی تکاملی ترکیبی چند هدفه، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی عمران .

[117] رقیبی، و. (۱۳۹۵). تحلیل چند متغیره اثرات تغییر اقلیم بر مشخصات خشکسالی و کاربرد آن در مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی عمران .

[118] Ohab-Yazdi, S.A. and Ahmadi, A. (2018). "Using the agent-based model to simulate and evaluate the interaction effects of agent behaviors on groundwater resources, a case study of a sub-basin in the zayandehroud river basin." *Simulation Modelling Practice and Theory*. 87(July), 274–292.

[119] افشار، ا. (۱۳۹۳). مبانی پژوهش کیفی: فنون و مراحل تولید نظریه زمینه ای. نشر نی، تهران .

[120] Rew, L., Bechtel, D., and Sapp, A. (1993). "Self-as-instrument in qualitative research." *Nursing Research*. 42(5), 300–301.

[121] Glaser, B.G. and Strauss, A.L. (1967). The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research. AldineTransaction, New Jersey.

[122] فاضلی، م. و پاک سرشت، س. (۱۳۸۵). رویکردی جامع به بررسی مشکلات بهره برداری از شبکه های آبیاری استان خوزستان. سازمان آب و برق خوزستان . ,

[123] Ison, R. and Watson, D. (2007). "Illuminating the possibilities for social learning in the management of scotland ' s water." *Journal of Ecology And Society*. 12(1), 21.

[124] محمدپور، ا. (۱۳۹۰). روش تحقیق کیفی- ضد روش. انتشارات جامعه شناسان، تهران .

[125] رنجبر، ه.، حق دوست، ع.ا.، صلصالی، م.، خوشدل، ع.، سلیمانی، م. و بهرامی، ن. (۱۳۹۱). "نمونه گیری در پژوهش های کیفی." *مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ارتش جمهوری اسلامی ایران*. ۱۰(۳)، ۲۳۸-۲۵۰ .

[126] سازمان نظام مهندسی(1393). نشریه دانش نما: ویژه نامه زاینده رود ۲. سازمان نظام مهندسی ساختمان استان اصفهان، اصفهان .

[127] حاجیان، ن. (۱۳۹۴). مشکلات زاینده رود: پرسش ها و پاسخ ها. نشر علم آفرین، اصفهان .

[128] مرکز مطالعات و پژوهش های شورای اسلامی شهر اصفهان (1388). مجموعه مقالات همایش بررسی بحران زاینده رود. شورای شهر اصفهان، اصفهان .

[129] شرق (۱۳۹۴). ویژه نامه شرق: ایران در جستجوی آب، آب در انتظار تدبیر. روزنامه شرق . ,

[130] Richmond, B. and Peterson, S. (2001). An introduction to systems thinking. Isee Systems, Lebanon.

[131] Elsawah, S., Pierce, S.A., Hamilton, S.H., Delden, H. Van, Haase, D., Elmahdi, A., et al. (2017). "An overview of the system dynamics process for integrated modelling of socio-ecological systems : lessons on good ..." *Environmental Modelling and Software*. 93(March), 127–145.

[132] Sterman, J. (2000). Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world. Irwin/McGraw-Hill, Boston.

[133] Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., Wang, D., and Madani, K. (2013). "Climate change impacts on crop production in iran's zayandeh-rud river basin." *Science of the Total Environment*. 442, 405–419.

[134] Al-Jawad, J.Y., Alsaffar, H.M., Bertram, D., and Kalin, R.M. (2019). "A comprehensive optimum integrated water resources management approach for multidisciplinary water resources management problems." *Journal of Environmental Management*. 239(March), 211–224.

[135] Peña, H. (2011). Social equity and integrated water resources management. Global Water Partnership, Technical Committee (TEC), No. 15, .

[136] Mooney, C., Baldwin, C., Tan, P.L., and Mackenzie, J. (2012). "Transparency and trade-offs in water planning." *Journal of Hydrology*. 474, 66–73.

[137] Sarhadi, A. and Soltani, S. (2013). "Determination of water requirements of the gavkhuni wetland, iran: a hydrological approach." *Journal of Arid Environments*. 98, 27–40.

[138] دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه شهرکرد (۱۳۹۷). نیاز آبی رودخانه زاینده رود و تالاب بین المللی گاوخونی برای استمرار کارکردهای اکولوژیک آنها (نسخه چاپ نشده). اداره کل حفاظت محیط زیست اصفهان، اصفهان.

[139] امینی، ح. و راستی‌برزکی، م. (۱۳۹۵). "ارائه دو روش جدید برای مسائل تصمیم گیری با معیارهای چندگانه با وجود برهم کنش بین معیارها." *مدیریت صنعتی*. ۸(۵)، ۵۱۵–۵۳۲.

[140] Ishizaka, A. and Nemery, P. (2013). Multi-criteria decision analysis -methods and software. John Wiley & Sons, Chichester.

[141] مردانی، م.، علیرضا نیکویی، ضیایی، س. و احمدپور، م. (۱۳۹۵). "تدوین الگوی منطقه ای کشت محصولات زراعی و باغی در استان اصفهان: رویکرد برنامه ریزی ساختاری چند هدفه." *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی*. ۳۰(۳)، ۱۸۸–۲۰۶.

[142] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. FAO, Rome.

[143] Brouwer, C. and Heibloem, M. (1986). Irrigation water management: irrigation water needs. training manual, 3. FAO, Rome.

[144] حیدری، ن. (۱۳۹۶). "اصول و مبانی کاربرد شاخص راندمان آبیاری در مدیریت آب برای کشاورزی." *نشریه مدیریت آب در کشاورزی*. ۴(۱)، ۴۹–۶۶.

[145] عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. (۱۳۹۵). "ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران." *تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی*. ۱۷(۶۷)، ۱۱۳–۱۲۸.

[146] عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. (۱۳۹۴). راندمان های آبیاری- تغییرات زمانی و مکانی آن در ایران. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، تهران.

[147] کفایتی، م. (۱۳۸۴). ارزیابی سیستم های آبیاری فضای سبز شهر اصفهان و بررسی اصلاح آنها، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[148] حلمی فخرداوود، ر. (۱۳۷۵). ارزیابی راندمان سیستم های آبیاری باغ ملک آباد مشهد، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی.

[149] عطایی، م. (۱۳۷۶). ارزیابی طرح های آبیاری تحت فشار اجرا شده در منطقه اصفهان و بررسی امکان اصلاح آن ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی.

[150] مصطفوی، س.ا. (۱۳۷۹). بررسی راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی استان یزد با تاکید بر دشت یزد-اردکان، دانشگاه یزد.

[151] معروفی، ص. و سلطانی، ح. (۲۰۰۸). "برآورد راندمان های انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی شاوور با استفاده از یک رابطه نمایی." *پژوهش کشاورزی آب، خاک و گیاه در کشاورزی*. ۶(۱)، ۳۶–۴۷.

[152] مهندسین مشاور یکم (۱۳۹۲). مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، گزارش تلفیق حوضه آبریز گاوخونی.

[153] Nkwonta, O.I., Dzwairo, B., Otieno, F.A.O., and Adeyemo, J.A. (2017). "A review on water resources yield model." *South African Journal of Chemical Engineering*. 23(July), 107–115.

[154] معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۹۲). طرح مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبریز رودخانه زاینده رود (گزارش مطالعات تغییر اقلیم). اصفهان.

[155] ایرانمهر، م. (۱۳۹۳). آشکارسازی و پیش بینی تغییرات پوشش اراضی اطراف رودخانه زاینده رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی.

[156] شرکت مهندسین مشاور زایندآب (۱۳۸۷). تعیین منابع و مصارف آب حوضه زاینده رود. اصفهان.

[157] Mohajeri, S., Horlemann, L., Wendt-Schwarzburg, H., and Reyhani, M.N. (2016). Integrated water resources management zayandeh rud. german-iranian research and development cooperation for a better future. inter 3 Institute for Resource Management GmbH, .

[158] کتابی، ا. (۱۳۹۰). "درآمدی بر بررسی علل اجتماعی قحطی ها در ایران، مورد پژوهی قحطی عام و عظیم ۱۲۴۹ ش." *جامعه پژوهشی فرهنگی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی*. ۲(۱)، ۱۶۹–۱۹۰.

[159] Salemi, H.R., Mamanpoush, A., Miranzadeh, M., Akbari, M., Torabi, M., Toomanian, N., et al. (2000). Water management for sustainable irrigated agriculture in the zayandeh rud basin , esfahan province, iran. IAERI-EARC-IWMI, Isfahan.

[160] Murray-Rust, H., Sally, H., Salemi, H.R., and Mamanpoush, A. (2000). An overview of the hydrology of the zayandeh rud basin. IAERI-EARC-IWMI, Isfahan.

[161] Molle, F. and Wester, P. (2009). River basin trajectories: societies, environments and development. CABI, Wallingford.

[162] Horlemann, L. and Mohajeri, S. (2017). Reviving the dying giant: integrated water resource management in the zayandeh rud catchment, iran. Springer, Berlin.

[163] حسینی ابری، ح. (۱۳۷۹). زاینده رود از سرچشمه تا مرداب. انتشارات گلها، اصفهان.

[164] سازمان هواشناسی کل کشور (۱۳۹۷). "آمار و اطلاعات، در دسترس:www.irimo.ir .

[165] دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب (۱۳۹۸)، آمار و اطلاعات مطالعات پایه.

[166] Di-Baldassarre, G., Wanders, N., AghaKouchak, A., Kuil, L., Rangecroft, S., Veldkamp, T.I.E., et al. (2018). "Water shortages worsened by reservoir effects." *Nature Sustainability*. 1(11), 617–622.

[167] Rahmani Fazli, A. and Salehian, S. (2018). "Investigating the relationship between the spreading of human settlements and instability of agricultural water resources in the zayandeh-rud basin." *Town and Country Planning*. 10(1), 167–192.

[168] باطنی، ف. (۱۳۹۱). تاثیر تغیرات کاربری اراضی بر کیفیت آب رودخانه زاینده رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[169] Burt, C.M., Howes, D.J., and Mutziger, A. (2001). "Evaporation estimates for irrigated agriculture in california." in: *Irrigation Association Conference*. San Antonio, Texas.

[170] Perry, C., Pasquale, S., and Fawzi, K. (2017). Does improved irrigation technology save water?. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), CAIRO.

[171] Contor, B.A. and Taylor, R.G. (2013). "Why improving irrigation efficiency increases total volume of consumptive use." *Irrigation and Drainage*. 62(3), 273–280.

[172] Huffaker, R. and Whittlesey, N. (2003). "International journal of water a theoretical analysis of economic incentive policies encouraging agricultural water conservation." *Water Resources Development*. 19(1), 37–53.

[173] Scheierling, S.M., Young, R.A., and Cardon, G.E. (2004). "Can farm irrigation technology subsidies affect real water conservation?" in: *UCOWR Conference*.

[174] وارثی، ح. و باقری، ک. (۱۳۹۲). "بررسی و تحلیل جریان مهاجرت های داخل ایران طی دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۰." *فصلنامه جمعیت*. ۲۰(۸۳)، ۶۷-۸۵.

[175] Sally, H., Murray-Rust, H., Mamanpoush, A.R., and Akbari, M. (2001). Water supply and demand in four major irrigation systems in the zayandeh rud basin, iran. Iranian Agricultural Engineering Research Institute (IAERI), Karaj.

[176] Brown, C. and Wilby, R.L. (2012). "An alternate approach to assessing climate risks." *EOS Transactions American Geophysical Union*. 93(41), 401–412.

[177] سنگستانی، م. (۱۳۹۸). بررسی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و احیای آب زیرزمینی در حوضه آبریز رایند رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان .

[178] Safavi, H.R., Golmohammadi, M.H., and Sandoval-solis, S. (2016). "Scenario analysis for integrated water resources planning and management under uncertainty in the zayandehrud river basin." *Journal of Hydrology*. 539, 625–639.

[179] Li, B., Sivapalan, M., and Xu, X. (2019). "An urban sociohydrologic model for exploration of beijing's water sustainability challenges and solution spaces." *Water Resources Research*. 55(7), 5918–5940.

[180] Garcia, M., Portney, K., and Islam, S. (2016). "A question driven socio-hydrological modeling process." *Hydrology and Earth System Sciences*. 20(1), 73–92.

[181] Rezaei, F., Safavi, H.R., and Zekri, M. (2017). "A hybrid fuzzy-based multi-objective pso algorithm for conjunctive water use and optimal multi-crop pattern planning." *Water Resources Management*.

[182] Moradi-jalal, M., Bozorg, O., Karney, B.W., and Marin, M.A. (2007). "Reservoir operation in assigning optimal multi-crop irrigation areas." 90, 149–159.

[183] Paidipati, K.K. (2017). "Optimal programming problems for crop planning and agricultural resource management." 5(12), 282–293.

[184] Karamouz, M., Zahraie, B., Kerachian, R., and Eslami, A. (2010). "Crop pattern and conjunctive use management: a case study." *Irrigation and Drainage*. 59(2), 161–173.

Codifying a framework for water resources management in Zayandehrud basin with emphasis on social, economic, and environmental aspects

Sajad Enteshari Najafabadi
Enteshari.s@chmail.ir

Department of Civil Engineering
Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Degree: Ph.D Language: Farsi

Supervisor: Prof. Dr. H. R. Safavi**, hasafavi@cc.iut.ac.ir**
Adviso: Prof. Dr. P. van der Zaag,

Abstract

System dynamics is one of the modeling methods that has become popular in water resources modeling in recent years due to its ability to consider various aspects of the system. The first step in developing a dynamic system model is to develop "dynamic hypotheses" or Causal Loop Diagrams (CLDs). This step poses some challenges as follows: A wide range of knowledge is required to develop these hypotheses; the affecting and affected components in each field are not predetermined; modelers develop the CLDs based on their assumptions. These challenges may exclude the main affecting components of the system in the models. The first step of the present study aims to address these challenges through the development of dynamic hypotheses using the grounded theory approach. The grounded theory provides a holistic and comprehensive view of the system through a systematic qualitative process. Therefore, to demonstrate the effectiveness of this method, the proposed process was implemented in the Zayandehrud basin as one of the most complex basins in Iran. After developing the hypotheses, their accuracy was ensured by providing quantitative data. It is noteworthy that the proposed method has proved satisfactory in showing the main problems of the natural and socio-economic system in the Zayandehrud basin and the connection between these problems.

The natural system is the first system that shows the skin deep situation of the basin. Lack of balance between water resources and water consumption, a decrease in groundwater level, seasonalization of the river, reduction of water inflow to Gavkhouni Wetland, and inter-basin water transfer are the first problems of the Zayandehrud basin that can be seen in the natural system (figure 1).

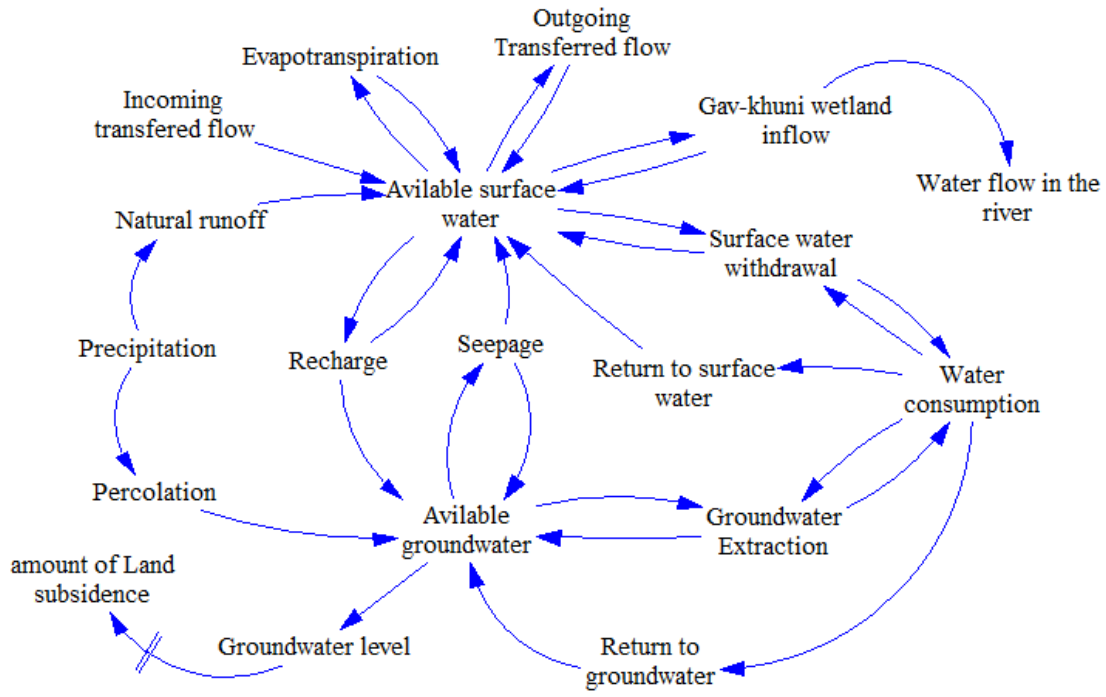


Figure 1- CLD of the problem for the natural system

During consideration of the socio-economic system and its relationships with the water resources, some factors were obtained, including population growth, immigration, rising per capita water consumption, growth of the industrial and agricultural sector, improper development of pressurized irrigation systems, changing the water allocation to an unfair pattern, and rising unemployment (figure 2).

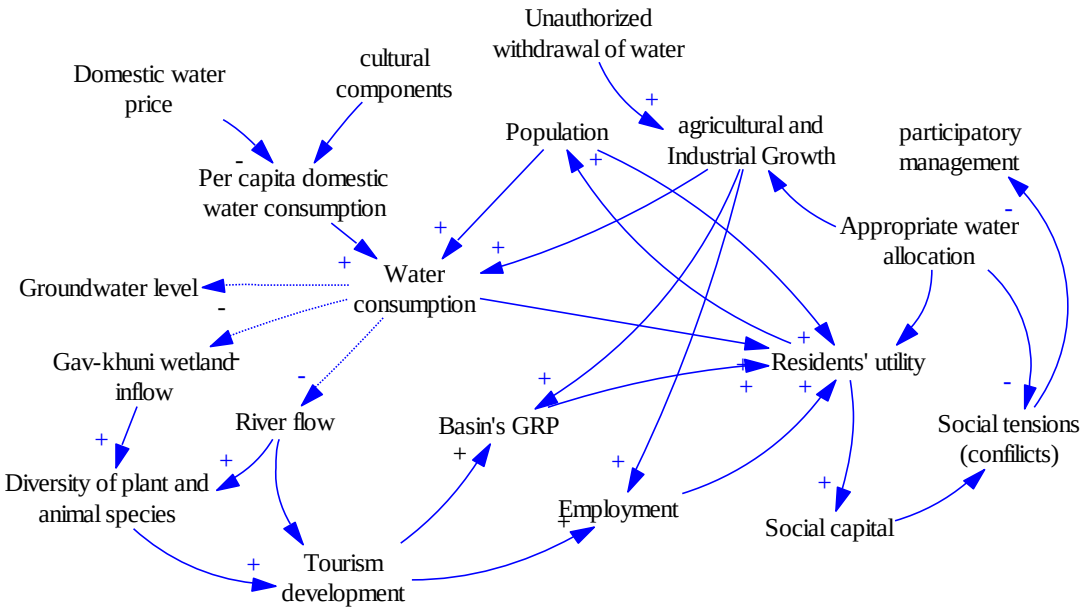


Figure 2- CLD of the problem for the socio-economic system

In summary, this method contributed to obtaining an overview of the problem, which was surely derived from the research data and not from the researcher's assumptions. The results showed that some of the components of the socio-economic system played a significant role in the problems of the Zayandehrud River basin. However, it seems impossible to solve the basin problems while ignoring these components. For example, according to the results, the components such as water allocation and employment should be considered to calculate residents' utilities. The grounded theory helps to obtain a deeper understanding of the human aspects associated with the water resources system.

In the second step of the present research, a system dynamics model, being a holistic simulation tool, was developed for the Zayandehrud basin and used to evaluate several policy scenarios. The system dynamics in this study was utilized as a learning tool for increasing our understanding of the behavior of the system and also as a tool for the evaluation of policy scenarios. The model was examined by behavioral patterns and structural tests.

Recognizing the complexities of water resources systems and their dynamic interaction with the socio-economic system, decisions of water resources management must be made based on a holistic approach. Simultaneous attention to environmental, social, and economic aspects is essential, specifically if the aim is to achieve sustainable development. To evaluate policy scenarios, the indices of the volume of groundwater, surface water storage, water flow to Gavkhuni wetland, and river water flow were used as the environmental criteria, and indices of employment and GRP served as the socio-economic criteria. In addition to the business-as-usual scenario, three scenarios of water

demand management, development of industry, and development management were developed and assessed. The findings show that applying solely the activities related to water demand management cannot achieve sustainability of the water resources system of this basin. On the other hand, the transfer of water into the basin has serious challenges based on previous studies. Hence, it is necessary to revise development policies in this basin where the new industries, specifically agricultural industries, would be substituted for some parts of the agricultural lands of the basin. By applying development management, not only the socio-economic indices but also the sustainability of water resources and their consumption would improve. It is required to reconsider the development policies of the region in a broader context. Reducing the irrigated area by 15% and developing new industries up to a certain limit may make the combined water and socio-economic system sustainable (figure 3).

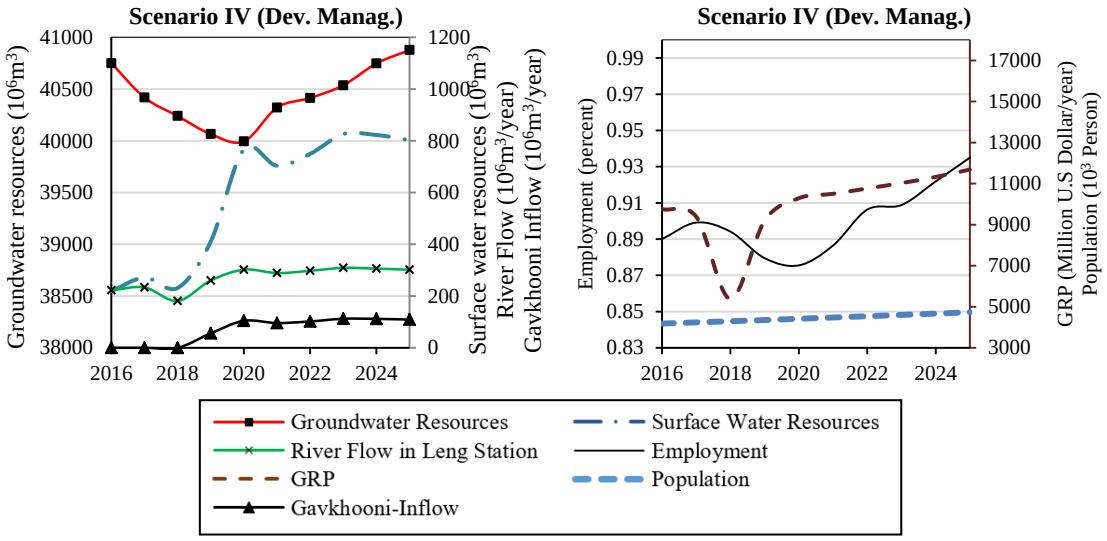


Figure 3- Behaviour of evaluation criteria under scenarios 4 (development management)

Keywords: Integrated water resources management (IWRM), Socio-hydrology, Socio-economic system, System dynamics, Systems thinking, Grounded theory.

Isfahan University of Technology
Civil Engineering Department

Codifying a framework for water resources management in Zayandehrud basin with emphasis on social, economic, and environmental aspects

A Dissertation
Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy
in Water Engineering
By

Sajad Eteshari Najafabadi

Evaluated and Approved by the Dissertation Committee, on

1- H. R. Safavi Prof. (Supervisor) H.R. Safavi
2- P. van der Zaag prof. (Advisor) B.H. H.R. Safavi
3- O. Bozorg Haddad, Prof. (Examiner) B.H. H.R. Safavi
4- A. Ahmadi Associate Prof. (Examiner) A. Ahmadi
5- R. Moeini Assistant Prof. (Examiner) R. Moeini
6- H. Hashemi_nejad Assistant Prof. (Department Graduate Coordinator) H. Hashemi nejad