

# ارایه نقشه راه هوشمند به منظور مقابله با بحران های آب در ایران با استفاده از پویایی های سیستم

## چکیده

این تحقیق به بررسی پویای سیاست های مقابله با بحران آب با توجه به تغییرات اقلیمی و جمعیتی در افق بیست ساله با رویکرد پویایی سیستم پرداخته است. مدل طراحی شده در این مطالعه منطبق با چرخه هیدرولوژیکی آب و در راستای نمایش مؤثر امنیت منابع آبی در کشور با نرم افزار ونسیم است. در این مدل، منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی، منابع آب سدها و جمعیت به عنوان متغیرهای انباشت مدل در نظر گرفته شده اند. آمار مورد نیاز در این تحقیق از مرکز آمار ایران، وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی برای بکارگیری در افق ۲۰ ساله ۱۳۹۶-۱۴۱۶ استخراج شد. براساس مدل تحقیق، وضعیت منابع آبی در کشور طی افق زمانی مذکور روند نزولی را نشان می دهد. در ادامه سیاست های مختلف در خصوص مقابله با بحران آب و تأثیر آن بر امنیت منابع آبی کشور مورد بررسی قرار گرفت. آزمون اعتبار سنجی مدل از نظر ساختاری توسط این نرم افزار بررسی شد. سناریوهای مورد بررسی در دو بخش مدیریت عرضه و تقاضای منابع آبی است. این سناریوها شامل تغییر اقلیم و کاهش منابع آب تجدید پذیر، بهره وری پایین آب در بخش های مختلف، افزایش جمعیت، بازگشت آب از بخش های مختلف و کاهش ظرفیت توسعه نیروگاه برقابی برای کاهش حجم آب ذخیره شده در پشت سدها است. این سناریوها حسب ماهیت خود موجب تغییر امنیت منابع آب میشود. هدف از انجام تحلیل های ارائه شده این است که در صورت وقوع هر یک از سناریوهای پیش بینی شده در آینده، کدام سیاست مدنظر قرار بگیرد تا بهترین نتیجه ممکن حاصل شود.

**واژگان کلیدی:** بحران آب؛ روش پویایی سیستم؛ سیاست های مقابله با بحران آب

## Providing a Smart Road Map to Deal with Water Crises in Iran using System Dynamics

### Abstract

This research has investigated the dynamics of policies to deal with the water crisis with regard to climate and demographic changes in a twenty-year horizon with a system dynamics approach. The model designed is consistent with hydrological cycle of water and in line with the effective representation of the security of water resources. In this model, surface water sources, underground water sources, dam water sources and population are considered as accumulation variables. The statistics needed were extracted from Iran Statistics Center, Ministry of Energy and Ministry of Agricultural to be used in the 20-year horizon of 2017-2037. Based on model, state of water resources in country shows a downward trend during the mentioned time horizon. In the following, various policies regarding dealing with the water crisis and its effect on the security of the country's water resources were examined. The model validation test was checked structurally by this software. The investigated scenarios are in the two sectors of supply and demand management of water resources. These scenarios include climate change and reduction of renewable water resources, low water productivity in different sectors, population increase, water return from different sectors and reduced capacity of electric power plant development to reduce the volume of water stored behind the dams. These scenarios change the security of water resources according to their nature. The purpose of presented analysis is to determine which policy should be considered in the event of any of the predicted scenarios in the future to achieve the best possible result.

**Keywords:** water crisis; system dynamics method; Policies to deal with the water crisis

## ۱- مقدمه

در میان کشورهای گوناگون جهان، کشورهای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا بیشتر از سایر نقاط درگیر چالش‌های ناشی از کم‌آبی و بی‌آبی هستند. ایران نیز به‌عنوان یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک در منطقه خاورمیانه، از جمله کشورهایی است که با بحران آب روبرو است، به‌نحوی که روزبه‌روز شرایط مربوط به آب بحرانی‌تر می‌شود. در ایران سرانه منابع آب حدود ۴۰ سال قبل بیشتر از ۸۶۰۰ مترمکعب برای هر نفر بوده و با جمعیت بیش از ۸۰ میلیونی فعلی به رقمی در حدود ۲۲۰۰ مترمکعب در سال برای هر نفر کاهش یافته است و اگر این شاخص به ۲۰۰۰ مترمکعب در سال برای هر نفر برسد، کشور از منظر بخش آب بحران‌زده محسوب می‌شود. در کشورهایی نظیر ایران که سیستم بوروکراتیک بر آن حاکم است دولت‌ها معمولاً مجبور به ارائه خدمات به مراکز مسکونی پرجمعیت می‌شوند بدین طریق که بیشترین سرمایه‌گذاری‌های ملی، اغلب برای پاسخگویی به نیازهای مردم ساکن در شهرهای بزرگ نظیر پایتخت تخصیص داده می‌شود که یکی از ابعاد آن تأمین آب شرب شهرهاست. همین فرایند موجب کاهش تمرکز بر نقاط کوچک‌تر به‌ویژه روستاها شده و در نتیجه سیل عظیم جمعیت مهاجر از روستاها و شهرهای کوچک به مناطقی شده است که مورد توجه بیشتری هستند. در نتیجه دولت‌ها در شهرهای بزرگ به شکلی روزافزون با افزایش تقاضای آب مواجه می‌شوند که این امر سرمایه‌گذاری بالاتری را طلب می‌کند و این چرخه تکرار می‌شود (احسانی فر و همکاران، ۱۳۹۶).

از مهم‌ترین دلایل بحران آبی می‌توان از افزایش جمعیت، محدودیت منابع، آسیب‌پذیری سیستم‌ها، آلودگی منابع و برنامه‌ریزی‌های ناصحیح در توسعه‌ی بخش کشاورزی و صنعتی نام برد. منابع آب هرچند تجدیدپذیر هستند اما حجم آن‌ها ثابت است و در طرف دیگر تقاضا برای آن رو به افزایش است؛ به‌نحوی که طی صدسال گذشته تقاضای جهانی برای آب بیش از شش برابر شده و این در حالی است که جمعیت سه برابر شده است. علی‌ایحال با توجه به مقدمه فوق، بنابراین این سؤال مطرح می‌شود که به‌واقع وضعیت سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران چگونه است و آیا کارآمدی و اثربخشی کافی و لازم را دارد. بر این اساس در این تحقیق تلاش شده است با مدل‌سازی تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران با استفاده از رویکرد پویایی سیستم این خلأ مطالعاتی نیز مدنظر قرار گیرد تا از این طریق بتوان دید بهتری برای سیاست‌گذاران حوزه بحران آب در کشور فراهم شود.

## ۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

امروزه، مسئله آب به یک چالش بین‌المللی و فراگیر تبدیل شده و هرروز بر ابعاد و پیچیدگی‌های آن افزوده می‌شود. اهمیت این چالش به حدی رسیده است که سازمان ملل در سال ۲۰۱۰ با تصویب قطعنامه‌ای، حق نوشیدن آب سالم را به‌عنوان حقی انسانی به رسمیت شناخته است (گوپتا و دیگران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰). بر پایه گزارش این سازمان تا سال ۲۰۳۰، تنها ۶۰ درصد مردم جهان به آب سالم دسترسی خواهند داشت (یونسکو<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵). این پیش‌بینی مبتنی برافزایش برداشت از منابع آبی است، چرا که در حال حاضر میزان برداشت آب از منابع ۷/۱ برابر رشد جمعیت جهان است. این در شرایطی است که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ سطح برداشت آب برای تأمین نیازها، نسبت به سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷، ۶۰ درصد افزایش پیدا کند (فائو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۷). پیش‌بینی می‌شود مصرف آب تا سال ۲۰۵۰، در بخش ساخت‌وساز و صنعت تا ۴۰۰ درصد و در بخش خانگی و داخلی تا ۱۳۰ درصد افزایش یابد (مونتفورد<sup>۴</sup>، ۲۰۲۰).

در یک چنین شرایطی، ایران نیز یکی از کشورهای پر تنش آبی جهان است. طبق آمار اعلامی وزارت نیرو، میزان متوسط بارش سالانه در سطح کشور، ۱/۲۴۸ میلی‌متر است که از متوسط بارش جهانی (۹۶۰ میلی‌متر) بسیار فاصله دارد (وزارت نیرو، ۱۳۹۹)؛ بر این اساس در شرایطی که دنیا با مشکل و بحران آب روبه‌رو است، ایران در وضعیت به‌مراتب دشوارتری قرار دارد. لازم به ذکر است صرف متوسط بارش به‌تنهایی علت وضعیت بحرانی منابع آب در ایران نیست، بلکه علل و عوامل دیگری از جمله برداشت بی‌رویه، رشد جمعیت، کاهش منابع آب زیرزمینی، استفاده از آب‌های سطحی در بخش کشاورزی

<sup>1</sup> Gupta et.al

<sup>2</sup> UNESCO

<sup>3</sup> Fao

<sup>4</sup> Mountford

و بسیاری از عوامل دیگر نقش غیرقابل انکاری در کاهش سطح منابع آبی کشور داشته‌اند (مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۶). این مسئله به‌خوبی در آمار ارائه‌شده توسط وزارت نیرو نیز مشخص است؛ به‌عنوان مثال، در سال آبی ۱۳۹۸ ارتفاع بارش‌ها نسبت به میانگین بلندمدت، ۱۳ درصد افزایش داشته و سبب افزایش ۱۲ درصدی آب موجود در مخازن کشور شده است، این در حالی است که آب خروجی از سدهای کشور در اسفندماه همان سال افزایش ۲۸ درصدی داشته است (دفتر فناوری اطلاعات و آمار وزارت نیرو، ۱۳۹۸). بنابراین افزایش برداشت از منابع آبی بیش از مقدار بارش‌ها است و این امر نشان‌دهنده ضعف در سیاست‌گذاری منابع آب در کشور می‌باشد (امیری و همکاران، ۱۳۹۹). بحران آب یکی از چالش‌هایی است که امروزه گریبان‌گیر اغلب کشورها از جمله کشور ماست.

بحران موقعیتی است که بیانگر سطحی از تهدید جان مردم، سلامتی و امکانات زندگی افراد است. اغلب بحران‌ها به‌صورت خاموش هستند و هنگامی که به‌صورت فعال درمی‌آیند، پاسخی سریع را ضروری می‌نمایند. بحران‌ها ممکن است آهسته و یا سریع باشند. بحران‌های آهسته همچون خشک‌سالی، قحطی و جنگ در طول یک دوره زمانی نسبتاً طولانی اتفاق می‌افتند و پاسخ طولانی و فرسایشی را نیز طلب می‌کنند. بحران‌های سریع، بحران‌هایی از قبیل زلزله و سیل که در مدت زمانی کوتاه، خسارات و خرابی‌های بسیاری را به‌جا می‌گذارند. این بحران‌ها خسارات و شدت تأثیرات قابل پیش‌بینی و بسیاری دارند؛ بنابراین، برنامه‌ریزی برای مقابله با آن‌ها امکان‌پذیر است. بررسی بحران منابع آب امروزه به یکی از مباحث مهم در حوزه جغرافیای سیاسی بدل شده است. همچنین تنش و رقابت بین کشورها بر سر منابع آبی محتمل است و این در حالی است که در سطوح ملی و محلی نیز ممکن است بر سر استفاده از منابع آب، تنش‌ها و درگیری‌هایی به وقوع بپیاید که در نهایت تأثیری سوء بر امنیت داخل کشور داشته باشد. نمونه این موضوع در ایران در شهرآبادان در اعتراض به انتقال آب کارون به فلات مرکزی در سال ۱۳۷۹ به وقوع پیوست (افشار و دهشیری، ۱۳۹۸).

با توجه به موارد فوق، وضعیت کنونی آب در ایران نشان می‌دهد فرایند سیاست‌گذاری آب در کشور با ایرادات جدی روبه‌رو است؛ در سیاست‌گذاری عمومی، در صورتی که از ابتدا در خصوص شناسایی و تعریف مسئله، اشتباه صورت بگیرد در تمام مراحل آن اشتباه وجود خواهد داشت و این خطاها صرفاً به مرحله تصمیم‌گیری محدود نمی‌شود. در ایران نیز به علت تداخل مسائل و گستردگی نهادها و سازمان‌های تصمیم‌گیر در حوزه سیاست‌گذاری آب، امکان خطا در مراحل گوناگون چرخه سیاست‌گذاری وجود دارد که در نهایت، می‌تواند سبب تشدید بحران آب شود؛ بنابراین این سؤال مطرح می‌شود که به‌واقع وضعیت سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران چگونه است و آیا کارآمدی و اثربخشی کافی و لازم را دارد. در این راستا عمده تأکید بر سیاست‌ها، تصمیم‌ها و قوانین و مقرراتی است که توسط مراجع ذی‌صلاح بخش آب وضع شده و به‌عنوان برون‌داد نظام سیاست‌گذاری آب کشور مطرح هستند. سیاست‌های بحران آب در ایران به عنوان یک مسئله مهم و پیچیده مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به شدت کاهش منابع آبی در کشور، دولت و سازمان‌های ذی‌ربط در ایران سعی در تدوین و اجرای سیاست‌هایی دارند که به تأمین و مدیریت بهینه منابع آب کمک کنند. در ادامه، به برخی از سیاست‌های بحران آب در ایران می‌پردازیم:

۱. تقسیم منابع آب: یکی از سیاست‌های اصلی در بحران آب در ایران، تقسیم منابع آب است. برای این منظور، در کشور نظامی و قوانینی تعیین شده است که منابع آبی را به‌طور منصفانه بین کشاورزی، صنعت و شهری تقسیم کند. هدف این سیاست افزایش کارایی استفاده از منابع آب و جلوگیری از تلفات غیرضروری است.

۲. ترویج آبیاری مکانیزه: یکی از راه‌حل‌های مهم برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی، ترویج آبیاری مکانیزه است. با استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری مکانیزه مانند قطره‌ای، سیستم‌های آبیاری بهینه‌تر و دقیق‌تر می‌شوند و مصرف آب کاهش می‌یابد.

۳. ارتقاء مدیریت منابع آب: یکی از عوامل اصلی بحران آب در ایران، نقص در مدیریت منابع آب است. برای حل این مسئله، سیاست‌هایی اتخاذ شده است که بهبود مدیریت منابع آب را هدف دارند. این سیاست‌ها شامل ترویج استفاده از فناوری‌های نوین مدیریت آب، تحقیقات و توسعه در زمینه مدیریت آب، و ایجاد سازمان‌ها و نهادهای مستقل برای مدیریت منابع آب می‌شوند.

۴. توسعه آب شیرین‌کن: به دلیل کمبود منابع آبی، یکی از سیاست‌هایی که در ایران پیشنهاد شده است، توسعه آب شیرین‌کن است. این فناوری به تصفیه آب‌های شور و تبدیل آنها به آب شیرین کمک می‌کند. با استفاده از آب شیرین‌کن‌ها، منابع آب قابل استفاده بیشتری فراهم می‌شود.

۵. آموزش و ارتقاء آگاهی عمومی: یکی از سیاست‌های مهم در بحران آب، آموزش و ارتقاء آگاهی عمومی است. با آگاهی بیشتر جامعه نسبت به ذخیره و صرفه‌جویی در آب، می‌توان مصرف آب را کاهش داد و به مدیریت بهتر منابع آب کمک کرد. همچنین اسناد بالادستی متعددی در رابطه با بخش آب وجود دارد. برخی از اسناد بالادستی مذکور با توجه به شرایط فعلی آب در کشور، متناسب با نیازهای فعلی این بخش نیستند. اسناد بالادستی عمدتاً شامل سیاست‌های کلی، قوانین مصوب مجلس شورای اسلامی، راهبردها و برنامه‌های توسعه پنج‌ساله هستند. اهم این اسناد به شرح ذیل می‌باشند:

#### جدول ۱- اسناد بالادستی بخش منابع آبی در کشور

| سیاست‌های کلی                                                         | قوانین مصوب مجلس شورای اسلامی                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| سیاست‌های کلی نظام در بخش آب (۱۳۷۹)                                   | قانون توزیع عادلانه آب (۱۳۶۱)                                                 |
| سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف (۱۳۸۹)                                 | قانون حفظ و تثبیت کناره و بستر رودخانه‌های مرزی (۱۳۶۲)                        |
| سیاست‌های کلی نظام در بخش کشاورزی (۱۳۹۱)                              | قانون تشویق سرمایه‌گذاری در طرح‌های آب کشور (۱۳۸۱)                            |
| سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی (۱۳۹۲)                                   | قانون تأمین منابع مالی برای جبران خسارات ناشی از خشکسالی و یا سرمازدگی (۱۳۸۳) |
| سیاست‌های کلی نظام در محیط زیست (۱۳۹۴)                                | قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی (۱۳۸۹)                        |
| <b>راهبردها</b>                                                       | قانون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه بهره‌برداری (۱۳۸۹)                      |
| راهبردهای توسعه بلندمدت آب کشور (۱۳۸۲)                                | <b>برنامه‌های توسعه پنج ساله</b>                                              |
| راهبردهای بخش آب و بخش آب و فاضلاب در سند چشم‌انداز وزارت نیرو (۱۳۹۲) | قوانین برنامه‌های توسعه اول تا ششم                                            |

همان‌طور که مشخص است تعداد اسناد بالادستی مرتبط با بخش آب نسبتاً زیاد است. حال این سؤال مطرح می‌گردد که چرا علیرغم تعدد این اسناد وضعیت فعلی بخش آب مطلوب نیست؟ یکی از دلایل این امر به وجود مشکل و عدم تطابق اسناد بالادستی با وضعیت موجود بخش آب باز می‌گردد. در مورد قوانین، مصداق بارز این موضوع قانون تأمین منابع مالی برای جبران خسارات ناشی از خشکسالی و یا سرمازدگی (۱۳۸۳) و قانون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه بهره‌برداری (۱۳۸۹) می‌باشد که طی آن‌ها نخست دریافت حق‌النظاره آب‌های زیرزمینی لغو شد و سپس دریافت پروانه برای چاه‌های غیرمجاز تا سال ۱۳۸۵ نیز امکان‌پذیر گردید. مهم‌ترین نکته‌ای که در مقابله با بحران آب باید مدنظر قرار گیرد، این است که بحران مذکور طی چندین سال (چند ۱۰ سال) ایجاد شده است و طبعاً رفع آن نیز زمان‌بر خواهد بود. باید دقت کرد که سهمی از وضعیت نامطلوب فعلی بخش آب که به نحوه مدیریت این بخش باز می‌گردد، حاصل سوء مدیریت‌های انباشته از سال‌های پیشین تاکنون است (مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۶). بر این اساس به دلیل وجود متغیرهای تصادفی طبیعی (عمدتاً بارش و دما)، نمی‌توان در مورد زمان رفع بحران آب و کیفیت آن به‌طور دقیق اظهارنظر کرد.

در مورد برنامه‌های توسعه پنج‌ساله نیز باید گفت که این برنامه‌ها متأسفانه علاوه بر اینکه در مواردی متناسب با نیازهای روز بخش آب نیستند، نمی‌توان یک ارتباط منطقی بین آن‌ها و یک برنامه بلندمدت مدون برقرار کرد. شاید اصلی‌ترین دلیل این موضوع عدم وجود یک برنامه بلندمدت و موردقبول همه بخش‌ها در مورد آب (سند جامع آب) باشد. به‌عنوان مثال مواد برنامه ششم توسعه در بخش آب عمدتاً با برنامه‌های توسعه پیشین تفاوت ماهوی چندانی نداشته و حتی در مورد موارد و نیازهای بسیاری، این برنامه نسخه قابل توجهی را ارائه نمی‌کند. این امر در حالی است که طرح پارادایم «بحران آب» تقریباً از اواسط برنامه سوم توسعه (سال ۱۳۸۱) صورت گرفته است و قویاً انتظار می‌رود که قوانین برنامه توسعه جدید علاوه بر پوشش دادن خلأهای برنامه‌های توسعه پیشین، نسخه‌های جدی‌تری را برای چالش بحران آب مطرح نمایند (ستاد احیای دریاچه ارومیه، ۱۴۰۰). متأسفانه چنین روندی در قوانین برنامه توسعه در بخش آب مشاهده نمی‌گردد.

سیاست‌های اقتصادی با تأکید بر اصلاحات ارضی، توسعه اقتصادی در بیابان و قیمت‌گذاری آب در ۵۰ سال اخیر، از جمله عواملی هستند که کمبود آب در ایران را تشدید کرده‌اند. توزیع مجدد زمین به کشاورزان پس از انقلاب، باعث تغییر سیستم کشاورزی در ایران شده و آبیاری را فراتر از ظرفیت سیستم‌های آب سنتی گسترش داده است و سبب افزایش مصرف کود و آفتکش‌ها شده است. حفر چاه‌های قابل توجه در سرتاسر نقاط کشور باعث

کاهش سطح آب در مناطق آبیاری و رقابت در عمیقتر کردن چاهها شده است. برداشت حداقل ۱۰۰ میلیارد متر مکعب آب از سفره های آب زیرزمینی در سالهای اخیر موجب به شوری چاه زمینهای کشاورزی و کاهش دسترسی به آبهای زیرزمینی شده است. قیمتگذاری آب هم نقش مهمی در شکل گیری این وضعیت دارد. آبهای زیرزمینی برای همه مصرف کنندگان رایگان بوده و هزینههای برای آبیاری پرداخت نمی کنند. همچنین، یارانه های دولتی قیمت های انرژی را به طور قابل توجهی کاهش داده و این به معنای استخراج آبهای زیرزمینی ارزان است و باعث بهره برداری بیش از حد منابع آب شده است (اسلامی و رحیمی، ۱۳۹۸).

ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه خشک، منابع آبی و نزولات جوئی اندکی دارد. این مسئله با توجه به رشد جمعیت و توسعه کشاورزی، شرب و صنعت باید با مدیریت منابع آب و با استفاده روش های متنوع جبران شود. دلیل انتخاب موضوع بحران آب در ایران در تحقیق حاضر بر این اساس است با توجه به شرایط فعلی منابع آبی کشور این نتیجه به دست می آید که مشکلات ناشی از وقوع بحران آب و ابعاد مختلف آن، نظر مدیران و مسئولین سطوح و دستگاه های مختلف را به خود جلب کرده است و نزدیک دو دهه است که تبدیل به مسئله ای مهم برای مردم و سیاستمداران شده است. ولیکن دولت در قبال این موضوع مهم ترین نقش را در ایران دارد که باید سیاست گذاری مناسبی در جهت مدیریت آب انجام دهد. اما در حال حاضر به بحران آب به عنوان یکی از اولویتهای اصلی کشور توجه کافی نمی شود و نبود برنامه مدون و کارکرد بخشی سازمان های مختلف در زمینه آب باعث بدتر شدن وضعیت منابع آبی کشور شده است. تردیدی وجود ندارد اطلاع دقیق و کارشناسی از مقوله بحران آب، به درک بهتر و در نتیجه برنامه ریزی صحیح جهت مقابله با آن کمک خواهد کرد. به دلیل گسترده بودن بخش آب و طیف وسیع اثر آن بر سایر بخش های زیربنایی، اقتصادی و تولیدی کشور، بررسی سیاست گذاری ها، قوانین و تصمیمات مدیریتی و همچنین شناخت روندهای موجود در این بخش، امری مهم و ضروری می باشد. همچنین به علت تکثر آمار و ارقام مرتبط با منابع آب و اهمیت آنها، لازم است تا آمار این بخش از صحت کافی برخوردار بوده و همچنین راهکارهای مقابله با بحران آب باید کارشناسی صحیح ارائه شوند. از منظری نهادگرایان، نهادهای مختلفی در مدیریت منابع آب دخیل هستند که به صورت کلی به نهادهای سیاست گذار و اجرایی تقسیم می شوند. نهادها یکی از عوامل عدم مقابله با بحران آب در کشور هستند. نهادهای سیاست گذار در زمینه منابع آب در کشور ما هنوز نتوانسته اند به سیاست های منسجم و مشخص در زمینه درک بحران آب و چاره جویی اصولی بحران دست یابند. در بخش نهادهای اجرایی نیز هر نهاد مرتبط با آب در کشور بدون توجه به بحران آب و تبعات اجرای سیاست های بخشی بر منابع آب، سعی در تأمین آب بیشتر در راستای اهداف سازمانی دارد. نبود سیاست های منسجم و کارشناسی برای مواجهه با بحران آب و اجرای سیاست های بخشی بدون توجه کافی به کمبود منابع آب باعث شده که سیاست های توسعه ای کشور بر منابع آب فشار زیادی وارد کرده و چالش های بحران آب هر روز بیشتر شوند (اسلامی و رحیمی، ۱۳۹۷). انجام تحقیقات گسترده در این حوزه از جمله تحقیقات دانشگاهی در هر سطح کارشناسی ارشد و دکتری می تواند ضمن تأکید بر اهمیت این چالش، از طریق تحلیل سیاست های مقابله با بحران آب در ایران دید بهتری برای سیاستگذاران و مسئولین این حوزه فراهم کند. چرا که بحران آبی به معنای عدم تعادل بین منابع و مصارف آبی علاوه بر منشأ طبیعی، دارای علل و عوامل مدیریتی نیز است. بنابراین با واکاوی موضوع و احصا گلوگاههای شکل گیری بحران می تواند موجب بکارگیری اقدامات موثر در این حوزه از قبیل تغییرات بنیادین از طریق اصلاحات قانونی، اتخاذ برنامه های موثر و ایجاد ساختارهای کارآمد شود و در نهایت مدیریت بخش آب در کشور را بهبود بخشد.

## جدول ۲- راهکارها، سیاست ها و اقدامات در راستای مقابله با بحران آب

| مطالعه                 | سیاست ها و اقدامات پیشنهادی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| بشیری و همکاران (۱۴۰۰) | تدوین الگوی سنجش تاب آوری در مدیریت بحران آب در کلان شهرها                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| احمدی (۱۴۰۰)           | در نظر گرفتن آمایش سرزمین در احداث کارخانه های جدید صنایع آب بر، استفاده از آب های نامتعارف در مصارف غیر شرب شهری، تأکید بر مشارکت تمام دستگاه ها برای برخورد با چاه های غیرمجاز و اضافه برداشت از چاه های مجاز، آزادسازی قیمت آب برای صنایع پرمصرف و آب بر، استفاده از پساب در آبیاری اراضی کشاورزی، استفاده از پساب در صنایع داخلی، حمایت دولت از |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| صنایع برای خرید و نصب تجهیزات و فناوری‌های کارآمد آبی و ارائه مشوق‌های اثرگذار در بخش کشاورزی برای به کارگیری فناوری با آب بری کمتر به منظور مدیریت وضعیت بحرانی کمبود آب در کشور                                                                                                                                   |                                          |
| سیاست گذاری بر مبنای مدل نهادی، منجر به شناخت بهتر ناکارآمدی قوانین گذشته و بازتعریف رابطه نهادهای دخیل در مدیریت آب از طریق وضع قانون جدید، بهبود حکمرانی و اقتصاد سیاسی آب و در نتیجه کاهش پیامدهای امنیتی ناشی از بحران آب خواهد شد                                                                              | شیاری و همکاران (۱۴۰۰)                   |
| تعهد دولت‌ها به فراهم کردن دسترسی منصفانه همه شهروندان به آب، روند تکامل حقوق بین‌الملل در شناسایی حق آب و عدم مداخله تبعیض‌آمیز برای تحقق این حق به‌ویژه در شرایط بحران آب                                                                                                                                         | خدایی و میرفخرایی (۱۴۰۰)                 |
| کشف راه‌حل‌های جایگزین منابع آب، مانند اقدامات غیرمتعارف مربوط به آب‌های حاشیه‌ای، از جمله افزایش باران، نمک‌زدایی، تصفیه آب و پتانسیل استفاده مجدد، برداشت آب، روندها و اقدامات تحت شرایط خشکسالی و کمبود آب و تدوین طرح مدیریت منابع آب همراه با یک مدل اقتصادی برای ارزیابی امکان‌سنجی اقتصادی سناریوهای مدیریتی | مانوز و همکاران <sup>۵</sup> (۲۰۲۰)      |
| خصوصی سازی بخش آب                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | گوپتا <sup>۶</sup> (۲۰۲۰)                |
| قیمت گذاری مناسب که استفاده منطقی از آب مبتنی بر کمبود آن را تشویق می‌کند و به نوبه خود باعث افزایش درآمد و سرمایه گذاری در سایر استراتژی‌های مدیریت آب می‌شود.                                                                                                                                                     | آرائوج و همکاران <sup>۷</sup> (۲۰۱۹)     |
| تدوین طرح مدیریت منابع آب همراه با یک مدل اقتصادی برای ارزیابی امکان‌سنجی اقتصادی سناریوهای مدیریتی                                                                                                                                                                                                                 | اسلامیان و دالزس <sup>۸</sup> (۲۰۱۸)     |
| تغییر و جابجایی از دولت (که بازیگران دولتی تجویز و شرکتهای، مزارع و خانوارها موافقت می‌کنند) به بخش حاکمیت (که بازیگران دولتی با بازیگران بازار و جامعه داخلی مشارکت سازنده و دو طرفه دارند).                                                                                                                       | یزدان پناه و همکاران <sup>۹</sup> (۲۰۱۳) |

با توجه به مرور بر مبانی نظری و گزارشات مرتبط با بحران آب در کشور، برخی از انتقادات درباره سیاست‌های آبی ایران به شرح ذیل است:

۱. **عدم مدیریت کارآمد منابع آبی:** یکی از انتقادات مهم درباره سیاست‌های آبی ایران، عدم مدیریت کارآمد منابع آبی است. برنامه‌ریزی ناکافی و عدم اجرای صحیح سیاست‌ها می‌تواند منجر به تلف کردن منابع آبی، تلفات آبی در طول مسیر توزیع، و عدم بهره‌وری از منابع آبی شود.
۲. **نقض حقوق محیط زیست:** انتقاد دیگری که مطرح می‌شود، نقض حقوق محیط زیست در سیاست‌های آبی ایران است. در برخی موارد، تصمیمات سیاسی ممکن است به نقض حقوق محیط زیست و تخریب منابع آبی منجر شود.
۳. **نادیده گرفتن تغییرات آب و هوا:** تغییرات آب و هوا بر روی منابع آبی تأثیر قابل توجهی دارد، اما برخی از سیاست‌های آبی ایران این تغییرات را نادیده می‌گیرند. عدم توجه به تغییرات آب و هوا و عدم تطبیق سیاست‌ها با آنها می‌تواند منجر به تنش‌ها و تعارضات بیشتر در مصرف آب شود.
۴. **عدم شفافیت و مشارکت عمومی:** یکی از انتقادات دیگر درباره سیاست‌های آبی ایران، عدم شفافیت و مشارکت عمومی است. در فرآیند تصمیم‌گیری و اجرای سیاست‌های آبی، عموم مردم و جوامع محلی مشارکت کافی ندارند و این می‌تواند به احساس ناامنی و عدم رضایت منجر شود.

<sup>5</sup> Muñoz et al

<sup>6</sup> Gupta

<sup>7</sup> Araujo et al

<sup>8</sup> Eslamian & Dalezios

<sup>9</sup> Yazdanpanah

با توجه به موارد فوق، حال این سوال مطرح میشود که نقش سیاست های مقابله با بحران آب در شکل گیری وضعیت کنونی چیست و چرا به نتیجه مطلوب نرسیده است. براین اساس، در مطالعه حاضر، سعی خواهد شد نقش سیاست های مقابله با بحران آب و سایر عوامل زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا علاوه بر بهره گیری از آمار و اطلاعات موجود، در خصوص برخی مؤلفه ها و شاخص ها از نظرات خبرگان این حوزه نیز بهره گرفته خواهد شد.

### ۳- روش تحقیق

همانطور که در فصول قبلی اشاره شد، هدف از این مطالعه تدوین مدل جامع مدیریت منابع سیاست های مقابله با بحران آب در ایران است تا از طریق آن بتوان به ارزیابی سیاست ها و راهکارهای ارائه شده پرداخت. در ادامه مراحل تدوین مدل تبیین خواهد شد. تعیین مرز مدل و متغیرهای آن از جمله اصلی ترین مراحل مدل سازی پویا می باشد؛ زیرا اگر مرز مدل بزرگ در نظر گرفته شود، متغیرهای مختلف و شاید کم اهمیتی در آن قرار گیرد و تنها مدل را پیچیده نماید (استرمن، ۲۰۰۰). با توجه به محدوده مطالعه حاضر در بخش سیاست های مقابله با بحران آب در ایران، توسعه مدل بر اساس اهداف تحقیق بر مسائل مرتبط با آب در این بخش متمرکز است و به مباحث تفصیلی در مورد بخش ها نظیر مصارف صنعتی وارد نمی شود و این بخش ها صرفاً برای یکپارچگی بیشتر مدل و درک بازخوردهای صحیح این بخش در مدل وارد می شوند. لازم به ذکر است مدل به گونه ای طراحی شده که در تحقیقات آتی، محققان بتوانند مدل را تکمیل و دیگر بخش ها را به آن اضافه کنند؛ بنابراین بخشهای مربوط به آب در کشور که مرتبط با راهکارها، سناریوها و برنامه های گوناگون در این بخش می باشد به واقع تعیین کننده های اصلی مرز سیستم هستند. در راستای تعیین مرز سیستم باید متغیرهای فرعی (متغیرهای اثر گذار بر متغیرهای اصلی) شناسایی شوند. به عنوان مثال عوامل مؤثر بر برداشت آب نظیر الگوی رشد جمعیت و غیره تحت عنوان متغیرهای فرعی مسئله محسوب می شوند و بر این اساس مرز سیستم شامل تمامی متغیرهای درونزا و برونزایی خواهد بود که بر این بحران تأثیر گذاشته و از آن ها تأثیر می گیرد. چارچوب کلی مدل مفهومی این تحقیق شامل شش زیرسیستم عرضه و تقاضای آب، اجتماعی شامل جمعیت و تأمین غذا، زیست محیطی شامل آب های سطحی و زیرزمینی، پساب های بخش های مختلف و آب های برگشتی، منابع آبی تجدید پذیر و امنیت منابع آبی کشور است. این شش زیرسیستم تحت تأثیر متغیرهای درونزا و برونزای سیستم هستند. متغیرهای درونزا متغیرهایی هستند که در درون مرز سیستم قرار می گیرند و هم بر سیستم اثر گذاشته و هم از آن تأثیر می پذیرند؛ اما متغیرهای برونزا متغیرهایی هستند که در بیرون از مرز سیستم قرار دارند و بر سیستم اثر گذارند اما از سیستم اثر نمی پذیرند. این متغیرها در بخش های بعدی به تفکیک زیرسیستم ها تشریح می شوند.

در این بخش روابط و معادلات بین متغیرهای اصلی و کمکی و مقادیر متغیرهای ثابت در قالب ساختار حالت و جریان ترسیم شد. حالت و جریان در نظریه تحلیل پویایی سیستم دو مفهوم اصلی است. این حالت ها که انباشتگی های سیستم نامیده می شوند وضعیت سیستم را نشان می دهند و تصمیمات و فعالیت های سیستم حول آن ها شکل می گیرد. جریان ها هم نرخ های تغییر و فرآیندهایی را نشان می دهند که متغیر حالت را کم و زیاد می کنند. می توان گفت در یک سیستم، بر اساس متغیر حالت، تصمیمات اتخاذ شده و با تغییر متغیرهای جریان اعمال می شود. در این مطالعه از محیط نرم افزار ونسیم برای ترسیم ساختار حالت و جریان مدل و تدوین مدل پویا استفاده شده است. این نرم افزار قابلیت شبیه سازی دارد و روابط بین اجزای گوناگون سیستم را برقرار می کنند. این نرم افزار امکان ترسیم مدل های پیچیده را با سهولت بیشتری در مقایسه با زبانهای برنامه نویسی متداول فراهم می کند (نظری، ۱۳۹۲). کاربرد این نرم افزار در نظامنامه تخصیص آب وزارت نیرو هم مورد اشاره قرار گرفته است. با تدوین فرضیه های پویا، بر اساس این فرضیات و الهامات از نظریه های معتبر در مبانی نظری مدیریت منابع آب، روابط بین متغیرهای هر زیرسیستم با یکدیگر و همچنین با سایر زیرسیستم ها در قالب نمودارهای علی شامل حلقه ها، بازخوردهای مثبت و منفی شناسایی شد. سپس به منظور ساخت مدل جریان، روند متغیرها در طول زمان و رابطه بین متغیرها در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن روندها و مطابق با قواعد موجود، به صورت ریاضی تدوین شدند. جمع آوری داده های سری زمانی بر اساس منابع آماری وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی، مرکز آمار ایران، وزارت انرژی و وزارت نفت انجام شده است. جمعیت یک عامل مستقیم است که بر عرضه و تقاضای منابع آب تأثیر می گذارد. نرخ رشد جمعیت سالانه با استفاده از داده های سری زمانی (۲۰۱۱ - ۲۰۱۶) بر اساس معادله (۱) ۰.۰۱ محاسبه شده است و تابع جمعیت مبتنی بر معادله (۲) است.

$$P_{t+n} = P_t(1+r)^n \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$P(t) = \int_{t_0}^t r \times P(t)dt, P(t_0) = 4.76 \times 10^6 \quad \text{رابطه (۲)}$$

بر اساس مدل طراحی شده در این تحقیق، نمودار جریان زیرسیستم منابع آب برای سازگاری با چرخه هیدرولوژیکی آب طراحی شده است به طوری که منابع آب سطحی (SWR)، متغیر ذخیره و بارش (WRF)، متغیرهای نرخ بازگشت آب از منابع تجدید پذیر (WRS) و انتشار آب از سد (WRD) منجر به افزایش نرخ سالانه منابع آب سطحی می شود. از سوی دیگر، تبخیر و تعرق (WEV)، حجم ورودی سد (WID)، مصرف آب سطحی (WSC) به دلیل تقاضای کلی آب، نیاز زیست محیطی (WEN) و نفوذ در خاک (WIS) خاک به عنوان نرخ های کاهش منابع آب سطحی موجود در نظر گرفته شده اند. رابطه (۳) رابطه مربوط به منابع آب سطحی را نشان می دهد:

$$SWR(t) = \int_{t_0}^t (W_{RF} + W_{RS} + W_{RD} - W_{EV} - W_{ID} - W_{SC} - W_{IS} - W_{EN})DT \quad \text{رابطه (۳)}$$

مجموع بارش نیز بر اساس رابطه (۴) به دست آمده است. در این رابطه P مجموع بارش در حوضه است. I نشان دهنده تقسیم بندی حوضه است، Pi مقدار بارش در ایستگاه i است و Ai مساحت ایستگاه i را با توجه به معادله نشان می دهد.

$$\bar{P} = \frac{\sum A_i \times P_i}{\sum A_i} \quad \text{رابطه (۴)}$$

همچنین حجم کل سالانه منابع آب سد بر اساس تعادل هیدرولوژیکی با توجه به معادله (۵) نشان داده شده است. در این رابطه  $\Delta S_D$  مجموع حجم آب سالانه ۶ سد اصلی است،  $O_{Di}$  و  $I_{Di}$  جریان ورودی و خروجی به مخزن سد i هستند که در مدل در نظر گرفته شده است:

$$\Delta S_D = \sum_{i=1}^6 (I_{Di} - O_{Di}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

متغیر دیگر منابع آب زیرزمینی (GWR) است که با نرخ نفوذ بر خاک (WIS)، بازگشت پساب (WWR) و بازگشت از بخش کشاورزی (WRA) افزایش می یابد و با نرخ مصرف آب زیرزمینی (WGC) به دلیل تقاضا برای آب زیرزمینی و حجمی که به طور غیرقابل کنترل (WIG) در معادله است، کاهش می یابد. این رابطه به صورت رابطه (۶) نشان داده شده است:

$$GWR(t) = \int_{t_0}^t (W_{RA} + W_{WR} + W_{IS} - W_{IG} - W_{GC})dt \quad \text{رابطه (۶)}$$

تقاضای آب ناشی از تقاضای شهری برای آب شرب است که مربوط به سطح جمعیت و مصرف سرانه آب است و همچنین ناشی از تقاضای بخش انرژی برای آب شرب، تقاضای غذا برای آب شرب و تقاضای صنعتی برای آب شرب. به جز صنایع، تأمین آب از طریق تجمع منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می شود و امنیت آب WS تفاوت بین عرضه و تقاضا آب در نظر گرفته شده است روابط (۷)، (۸) و (۹). روابط مذکور به صورت زیر فرموله می شوند:

$$W_{Demand} = W_{Dwater} + W_{Denergy} + W_{Dfood} + W_{Dind} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$W_{Demand} = GWR + SWR \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$WS = W_{Supply} - W_{Demand} \quad \text{رابطه (۹)}$$

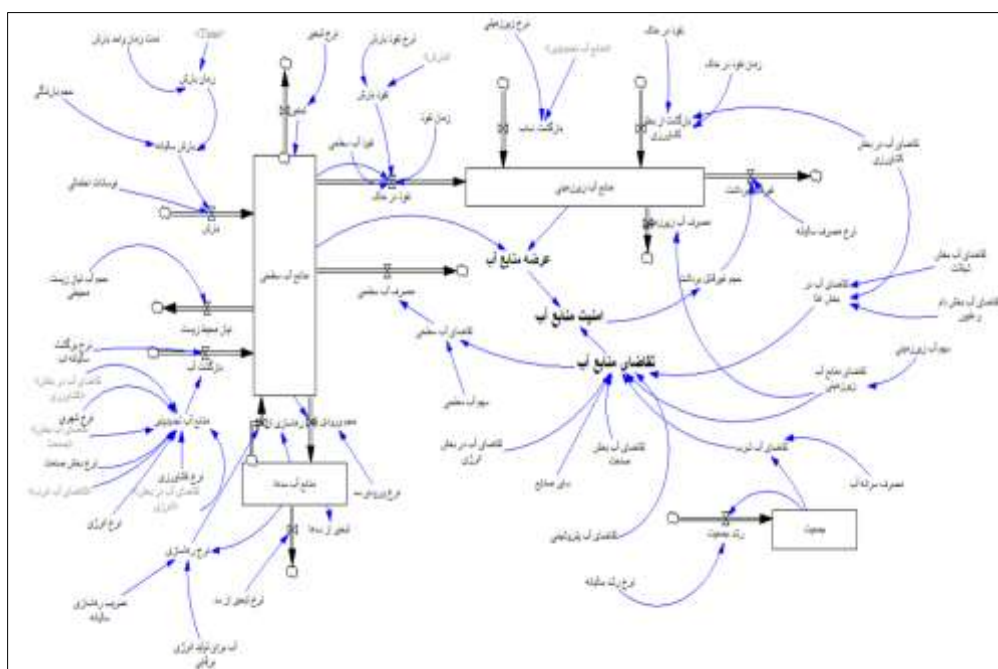
## ۴- نتایج و بحث

در محیط نرم افزار ونسیم با استفاده از روابط علی و معمولی و با فرموله کردن روابط میان متغیرهای مدل در دوره مورد مطالعه در چندین بخش مدل شبیه سازی شده است که در فصل سوم به طور کامل توضیح داده شده است: مدل پویای مدیریت بخش آب کشور شامل شش زیر مدل و هر زیر مدل دارای ۶۸ متغیر اصلی و فرعی است. در محیط برنامه نویسی Vensim گزینه ای وجود دارد که به کمک آن می توان صحت ساختار مدل را کنترل کرد. به عبارت دیگر می توان بررسی نمود مدل نوشته شده از لحاظ ابعادی و هم خوانی واحدها درست باشد. مدل تهیه شده فوق نیز که در این محیط نوشته شده است توسط این گزینه آزمون گردید و نتیجه به دست آمد.

### ۴-۱- طراحی مدل امنیت منابع آب در ایران

مدل طراحی شده در این مطالعه منطبق با چرخه هیدرولوژیکی آب و در راستای نمایش مؤثر امنیت منابع آبی در کشور طراحی شده است.

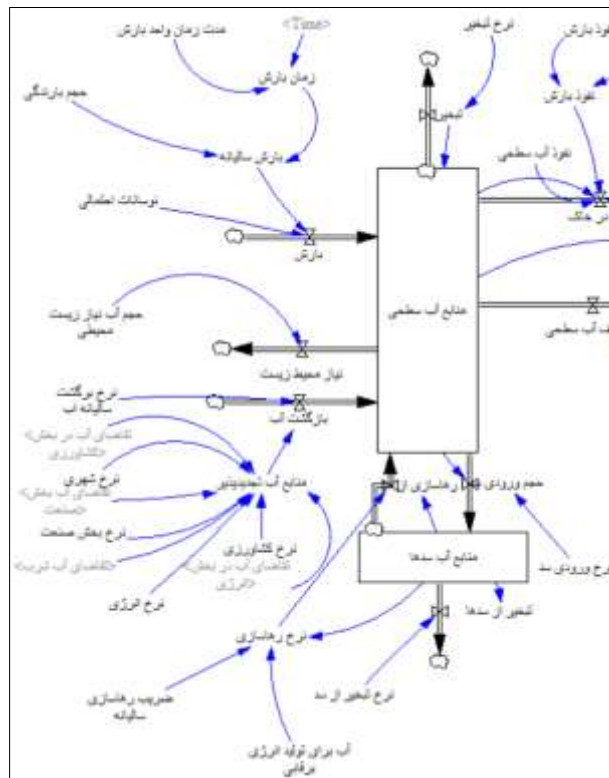
شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق



منبع: تحقیق حاضر

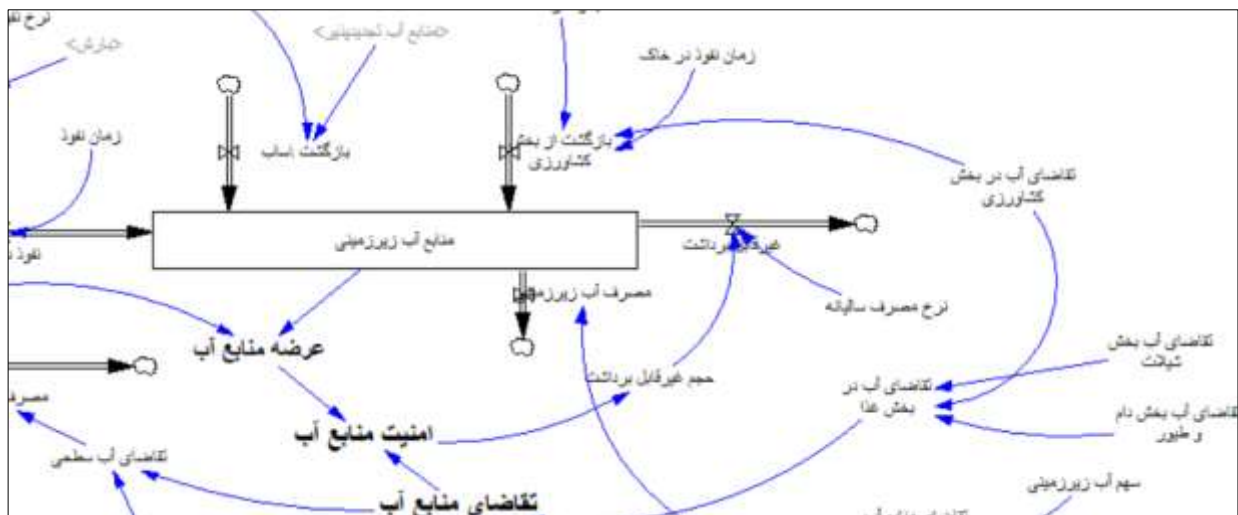
در این مدل، منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی، منابع آب سدها و جمعیت به عنوان متغیرهای انباشت مدل در نظر گرفته شده اند. به عنوان مثال در خصوص منابع آب سطحی، متغیرهای نرخ بارش، بازگشت آب ناشی از منابع تجدید پذیر و نیز انتشار آب از سدها به عنوان متغیرهای جریان منجر به افزایش نرخ سالیانه منابع آب سطحی می گردند و از طرف دیگر حجم آب ورودی سدها، تبخیر و تعرق، آب نیاز زیست محیطی، مصرف آب سطحی ناشی از تقاضای کل و نفوذ در خاک به عنوان متغیرهای جریان موجب کاهش منابع آب سطحی در دسترس مدنظر قرار گرفتند.

شکل ۲- متغیر انباره منابع آبی سطحی تحقیق



منابع آب زیرزمینی دیگر متغیر انباشت می باشد که با نرخ نفوذ در خاک و بازگشت پساب و بازگشت از کشاورزی افزایش و با نرخ مصرف آب زیرزمینی ناشی از تقاضای آب زیرزمینی و نیز حجم غیر قابل برداشت کاهش می یابد.

شکل ۳- متغیر انباره منابع آبی زیرزمینی تحقیق



جدول ۳- روابط حاکم بر مدل دینامیکی مدیریت منابع آب در کشور

| متغیر         | روابط ریاضی                  | متغیر     | روابط ریاضی             |
|---------------|------------------------------|-----------|-------------------------|
| حجم ورودی سطح | منابع آب سطحی * نرخ ورودی سد | جمعیت     | (رشد جمعیت) INTEGER     |
| رهاسازی از سد | نرخ رهاسازی * منابع آب سدها  | رشد جمعیت | نرخ رشد سالیانه * جمعیت |

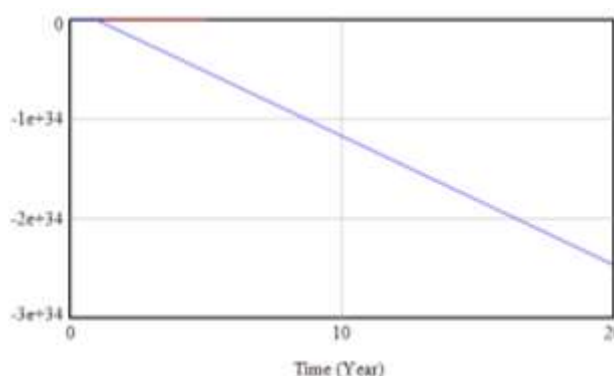
|                                                                                                                 |                             |                                                                                                                                           |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| بارش سالیانه*نوسانات احتمالی                                                                                    | بارش                        | منابع آب زیرزمینی+منابع آب سطحی                                                                                                           | عرضه منابع آب        |
| حجم بارندگی*زمان بارش                                                                                           | بارش سالیانه                | حجم غیرقابل برداشت+نرخ مصرف سالیانه                                                                                                       | آب<br>غیرقابل برداشت |
| منابع آب تجدید پذیر*نرخ زیرزمینی                                                                                | بازگشت پس<br>آب             | (تقاضای آب بخش صنعت*نرخ بخش صنعت)+(تقاضای آب در بخش انرژی*نرخ انرژی)+(تقاضای آب در بخش کشاورزی*نرخ کشاورزی)+(تقاضای آب شرب*نرخ شهری)      | منابع آب تجدید پذیر  |
| منابع آب تجدید پذیر*نرخ زیرزمینی                                                                                | بازیافت آب                  | INTEGER(بازگشت از بخش کشاورزی+پساب+نفوذ در خاک-غیرقابل برداشت-مصرف آب زیرزمینی)                                                           | منابع آب<br>زیرزمینی |
| (تقاضای آب در بخش کشاورزی*نفوذ در خاک. ۰.۶*، زمان نفوذ در خاک) SMOOTH                                           | بازگشت آب از<br>بخش کشاورزی | INTEGER(حجم ورودی سد-تبخیر از سدها-منابع آب سدها)                                                                                         | منابع آب سدها        |
| منابع آب سدها+نرخ تبخیر از سد                                                                                   | تبخیر از سدها               | INTEGER(بارش+رهاسازی از سد+بازگشت آب-حجم ورودی سد-نیاز محیط زیست-نفوذ در خاک-تبخیر-مصرف آب سطحی)                                          | منابع آب سطحی        |
| تقاضای آب بخش شیلات+تقاضای آب بخش دام و طیور+تقاضای آب در بخش کشاورزی                                           | تقاضای آب در<br>بخش غذا     | IF THEN ELSE(منابع آب سدها<=آب برای تولید انرژی برقایی،(منابع آب سدها-آب برای تولید انرژی برقایی)/(منابع آب سدها، ۰)*ضریب رهاسازی سالیانه | نرخ رهاسازی          |
| تقاضای منابع آب+سهم آب سطحی                                                                                     | تقاضای آب<br>سطحی           | بارش*نرخ نفوذ بارش                                                                                                                        | نفوذ بارش            |
| مصرف آب/جمعیت                                                                                                   | تقاضای آب<br>شرب            | SMOOTH(منابع آب سطحی*نفوذ آب سطحی+نفوذ بارش، زمان نفوذ)                                                                                   | نفوذ در خاک          |
| تقاضای آب بخش صنعت+تقاضای آب در بخش انرژی+تقاضای آب در بخش غذا+تقاضای آب شرب+تقاضای آب پتروشیمی+تقاضای منابع آب | تقاضای منابع<br>آب          | عرضه منابع آب-تقاضای منابع آب                                                                                                             | امنیت منابع آبی      |
|                                                                                                                 |                             | نرخ تبخیر*منابع آب سطحی                                                                                                                   | تبخیر                |

منبع: تحقیق حاضر

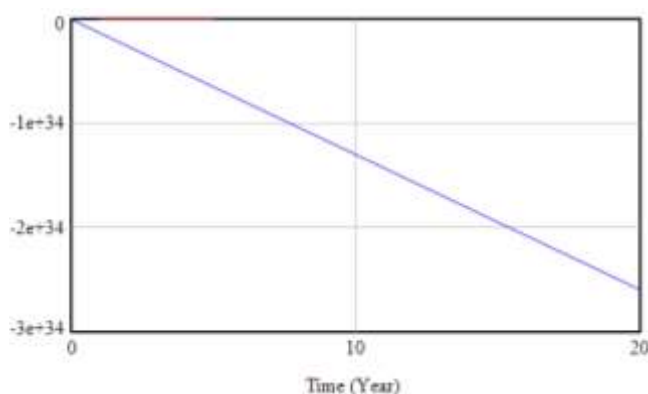
#### ۴-۲- رفتار متغیرهای مدل در افق شبیه سازی شده ۲۰ ساله (۱۳۹۶-۱۴۱۶)

با پشت سر گذاشتن موفقیت آمیز اعتبار سنجی، شبیه سازی اولیه در افق ۲۰ ساله انجام شد در نمودارهای (۱)، (۲)، (۳) و (۴) تغییرات هر یک از متغیرهای کلیدی مدل که رفتار آن‌ها برای تعیین وضعیت کلی پردازش و اهمیت دارد، ارائه شده است.

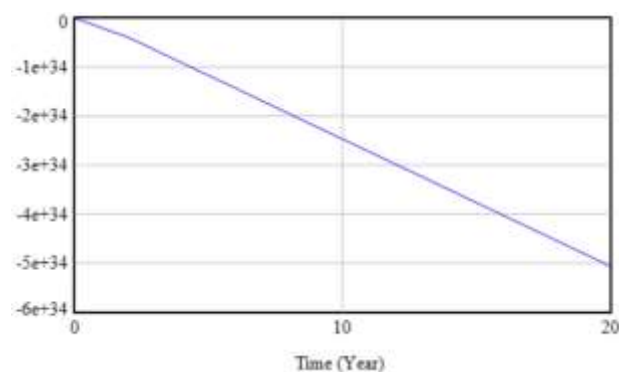
نمودار ۲- پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی در ایران  
(مترمکعب)



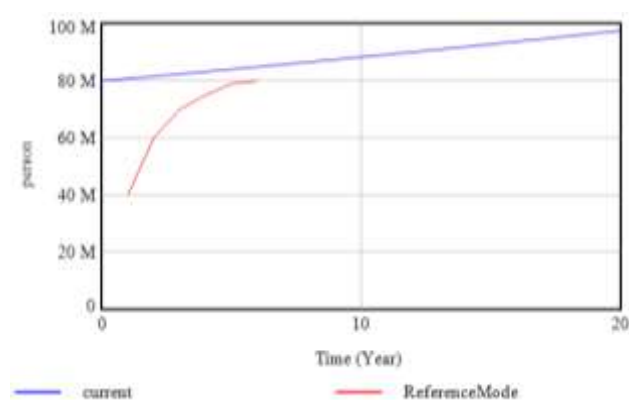
نمودار ۱- پیش‌بینی وضعیت منابع آب سطحی در ایران (مترمکعب)



نمودار ۴- پیش‌بینی وضعیت عرضه منابع آب در ایران  
(مترمکعب)

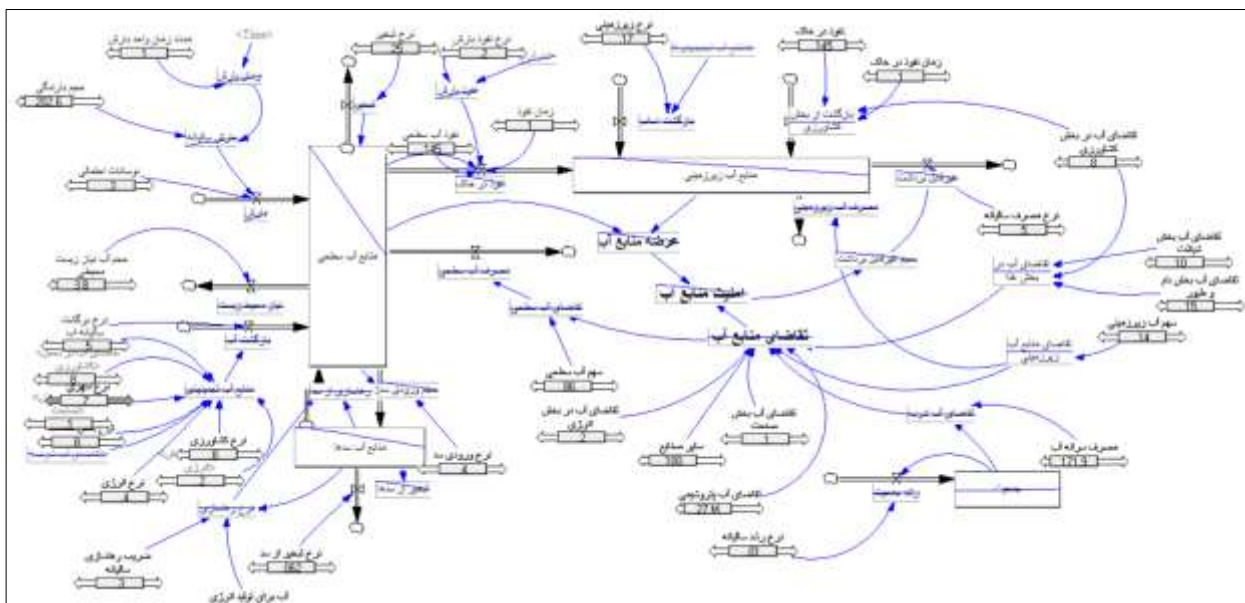


نمودار ۳- پیش‌بینی وضعیت جمعیت در ایران (نفر)



همان‌گونه که نمودارهای فوق نشان می‌دهد، وضعیت منابع آبی در کشور طی پیش‌بینی بر اساس ۲۰ سال موردبررسی روند به‌شدت نزولی را طی می‌کنند. این شبیه‌سازی منطبق با واقعیات پیش‌بینی شده در دیگر مطالعات و بررسی‌هاست. بطوریکه بر اساس آمار و اطلاعات موجود، نزدیک به ۷۰ درصد مقدار متوسط بلندمدت نزولات جوی از جمله باران و برف به‌صورت سالانه در ایران (۲۵۲ میلی‌متر) به‌صورت باران و مابقی به‌صورت برف صورت می‌گیرد. بدین ترتیب با در نظر گرفتن مساحت عرصه ایران در حدود ۱۶۵ میلیون هکتار، حجم نزولات جوی معادل ۴۱۳ میلیارد مترمکعب تخمین زده می‌شود. با توجه به اینکه ۲۹۰ میلیارد مترمکعب یا حدود ۷۰ درصد از کل مقدار بارش به‌صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود و حدود ۱۳ میلیارد مترمکعب از طریق رودخانه‌های مرزی به ایران وارد می‌شود، کل حجم آب تجدیدپذیر (در صورت تحقق حدود ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی در کشور) حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. با توجه به ارقام فوق و پیش‌بینی جمعیت یک‌صد میلیونی برای سال‌های آتی (که در نمودار شبیه‌سازی شده هم نشان داده شده است) نه‌چندان دور، سرانه آب تجدیدپذیر حدود ۱۰۰۰ الی ۱۳۰۰ مترمکعب خواهد بود که با شاخص جهانی وضعیت تنش آبی برای ایران حتمی است. از سوی دیگر، آمارها نشان می‌دهد میزان متوسط بارندگی و تبخیر سالانه کشور به ترتیب یک‌سوم و سه برابر متوسط جهانی آن‌هاست. همچنین توزیع زمانی و مکانی نزولات جوی در ایران بسیار نامتوازن است. به‌طوری‌که از نظر توزیع مکانی ۷۰ درصد نزولات جوی در ۲۵ درصد اراضی و ۳۰ درصد آن در ۷۰ درصد اراضی کشور روی می‌دهد. ضمن اینکه توزیع زمانی نیز به نحوی است که تنها ۲۵ درصد بارندگی‌ها در فصول زراعی و ۷۵ درصد آن در فصول غیر زراعی رخ می‌دهد؛ بنابراین تمامی شبیه‌سازی‌های فوق برای دوره ۲۰ ساله بر اساس اطلاعات در دسترس قابل تأیید است. در ادامه با توجه به مدل طراحی شده در این تحقیق سیاست‌های مختلف در خصوص مقابله با بحران آب و تأثیر آن بر امنیت منابع آبی کشور موردبررسی قرار می‌گیرد. همان‌گونه که از شکل (۴) قابل مشاهده است، می‌توان ابعاد مختلف مدل را تحت سناریوهای گوناگون تغییر داد و تأثیر آن را متغیرهای مختلف که در این مطالعه بیشتر امنیت منابع آبی است بررسی نمود.

شکل ۴-مدل شبیه‌سازی شده



برای اعلام نظر در خصوص سیاست‌های مقابله با بحران آب بایستی در وهله نخست چالش‌ها و پتانسیل‌های منابع آب در کشور مورد تدقیق و بررسی قرار گیرد. براین اساس در این بخش مهم‌ترین چالش‌های بخش آب کشور از ابعاد مختلف مطرح می‌گردد. پیش از ورود به بحث، به برخی قوانین و مقرراتی که موجب تشدید وضعیت بحرانی آب را فراهم نمودند اشاره می‌شود:

جدول ۴-تصویب قوانین نامناسب و پیامدهای آن

| سال  | قانون                                                   | متن                                                                        | نتیجه                                          |
|------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| ۱۳۴۷ | قانون ملی شدن آب                                        | کلیه چاه‌های غیرمجاز بدون پرداخت خسارت در حضور نماینده دادستان مسدود گردد. | صدور بیش از ۱۵۰۰۰۰ پروانه برای چاه‌های غیرمجاز |
| ۱۳۶۱ | تبصره ذیل ماده ۳ قانون توزیع عادلانه آب                 | چاه‌های محفوره قبل از ۶۱ در صورت عدم اضرار و حریم پروانه صادر گردد         |                                                |
| ۱۳۸۳ | قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت                    | حذف حق النظاره آب کشاورزی                                                  | رایگان نمودن آب کشاورزی                        |
| ۱۳۸۴ | قانون الحاق یک ماده به قانون وصول برخی از درآمدهای دولت | چاه‌های باقیمانده تعیین تکلیف و تبصره ذیل ماده ۳ حذف شود.                  | لغو تبصره ذیل ماده ۳                           |
| ۱۳۸۹ | قانون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه                   | چاه‌های قبل از ۸۵ در صورت عدم اضرار و حریم و وجود پتانسیل پروانه داده شود  | ترغیب مردم به تخلف                             |

منبع: ستاد احیای دریاچه ارومیه (۱۳۹۴)

در حوزه قوانین و مقررات حوزه آب متأسفانه به لزوم بهره‌گیری از یک برنامه‌ریزی ملی و منطقه‌ای بر اساس پتانسیل‌ها و برد اکولوژیکی مناطق مختلف آن‌طور که شایسته است توجه نشده است. سند آمایش سرزمین مهم‌ترین سند قانونی در این حوزه است که از سوی دولت‌ها و حاکمیت مورد غفلت و بی‌توجهی مدیریتی قرار گرفته است. فقدان هماهنگی بین دستگاه‌های متولی علاوه بر حرکت بدون برنامه و نقشه راه بلندمدت، شرایط مدیریت آب در

کشور را روزبه‌روز دشوارتر نموده است. مباحث تحولات قوانین و مقررات طی ۴۰ سال گذشته به موازات موضوع برنامه‌ریزی و مدیریت ناکارآمد، نیز نقش و آثار مهمی در دامن زدن به ابعاد بحران آب در کشور داشته‌اند.

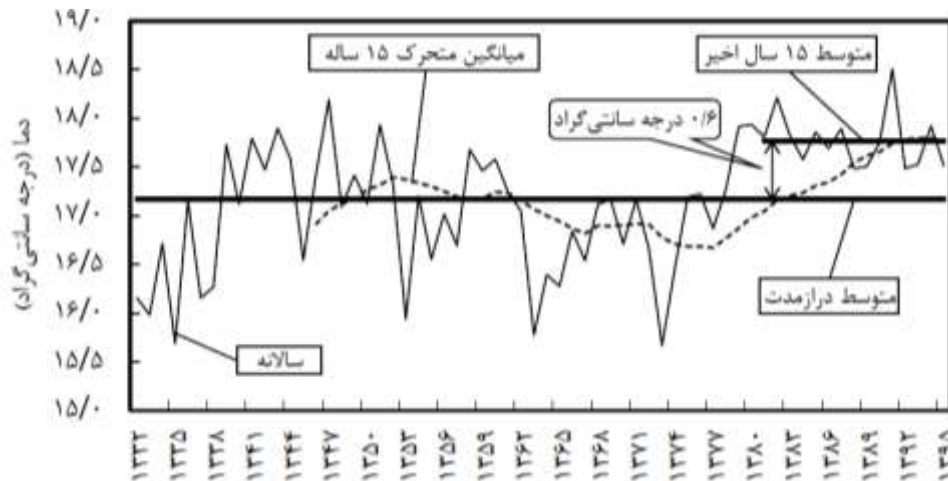
همان‌گونه که جدول (۴) نشان می‌دهد، نخستین قانونی که به‌طور خاص و نسبتاً جامع به مسائل مربوط به بخش آب می‌پرداخت، قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب ۱۳۴۷ است. قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱ نیز بعداً این به‌عنوان قانون جامع مرتبط با منابع آب مطرح و قانون پیشین از درجه اعتبار خارج گردید. بعد از سال ۱۳۶۱ و به‌طور پراکنده و خلاصه قوانینی مرتبط با منابع آب زیرزمینی مصوب شدند که عمدتاً در راستای حفظ و صیانت از منابع آب زیرزمینی نبوده و حتی روند آسیب‌پذیری آن‌ها را نیز تشدید کردند. ایجاد انگیزه برای متخلفان از قوانین بازدارنده قبلی با اعمال بخشودگی‌های ناصحیح، عدم تعیین زمان و محدودیت زمانی برای تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه، عدم توجه به شرایط بحرانی آبخوان‌های کشور و عدم توجه به ارزش اقتصاد آب را می‌توان از جمله ایرادات قوانین مهم مرتبط با منابع آب زیرزمینی ذکر کرد. در این خصوص می‌توان مسیری که قانون‌گذار برای متخلفان در رسیدگی به وضعیت آنان و احتمال شمول صدور پروانه به ایشان با وضع تبصره ماده (۳) قانون توزیع عادلانه آب در سال ۱۳۶۱ و به‌ویژه ماده واحده قانون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه در سال ۱۳۸۹ که پس از لغو تبصره مذکور در سال ۱۳۸۴ ایجاد شده اشاره کرد. پروسه‌ای که انگیزه‌ای مضاعف برای متخلفان در اقدام به حفر چاه‌های غیرمجاز ایجاد کرده است. از دیگر چالش‌های مرتبط با قوانین مربوط به منابع آب زیرزمینی می‌توان به بی‌انگیزگی در بهره‌برداران برای تغییر در نگرش و برخورد با منابع آب زیرزمینی و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مصرف به علت عدم توجه به ارزش اقتصادی آب و تعرفه‌گذاری متناسب و در نظر گرفتن معافیت‌های آب زیرزمینی و نیز عدم تناسب بین جرم تخلفات (آبی) و مجازات مقرر در قوانین اشاره نمود. به‌عنوان مثال ماده (۳) قانون تأمین منابع مالی برای جبران خسارات ناشی از خشک‌سالی و یا سرمازدگی مصوب سال ۱۳۸۳ قابل ذکر است. این قانون آب نزد کشاورزان که مصرف‌کننده ۹۰ درصد آب زیرزمینی کشور هستند را رایگان نموده شده درحالی که می‌بایست ایشان را در راستای افزایش بهره‌وری، صیانت از منابع آب زیرزمینی و یا گذار از کشاورزی سنتی ترغیب می‌نمود؛ بنابراین مدیریت ناصحیح منابع آب زیرزمینی وضع نامطلوب آن‌ها را تشدید کرده است؛ بنابراین با توجه به وارد فوق، چالش‌های قوانین و مقررات حوزه آب به‌عنوان یکی از عوامل تشدیدکننده این بحران مدنظر قرار دارد و در تقریباً تمامی مطالعات مورد اشاره قرار گرفته است. در این مطالعه سناریوهای مورد بررسی در دو بخش مدیریت عرضه و تقاضای منابع آبی در نظر گرفته شده است.

در بخش سیاست مدیریت عرضه منابع آب بر مدیریت عرضه منابع آب متمرکز شده است و در تلاش است منابع آب در دسترس را افزایش دهند. به‌عنوان مثال با کاهش ظرفیت توسعه نیروگاه برقابی، حجم آب ذخیره‌شده در پشت سدهای منطقه کاهش یافته و سبب افزایش منابع آب در دسترس می‌گردد. در بخش سیاست مدیریت تقاضای منابع آب بر مدیریت تقاضای منابع آب تمرکز شده است. به‌عنوان مثال بزرگ‌ترین متقاضی آب بخش کشاورزی است و این دسته راهکار متمرکز بر افزایش راندمان آبیاری به‌واسطه توسعه فناوری سیستم آبیاری و زهکشی و نیز اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی مدنظر قرار گرفته است. لذا با توجه به دو سیاست فوق‌الذکر، در ادامه به سناریوهای پیش‌بینی شده و پیامدهای آن بر اساس مدل طراحی شده پرداخته می‌شود:

#### ۴-۳- تغییر اقلیم و کاهش منابع آب تجدید پذیر (سناریوی اول)

بر اساس آمار و اطلاعات موجود، در چند دهه اخیر دمای کره زمین نسبت به حالت معمول خود افزایش یافته است. این پدیده که به‌عنوان تغییر اقلیم و گرمایش جهانی از آن یاد می‌شود، منشأ انسانی دارد و به علت تولید بیش از معمول گازهای گلخانه‌ای انجام شده است. ایران نیز به دلیل موقعیت اقلیمی و جغرافیایی خود با شدت بالاتری از این پدیده متأثر می‌شود و آثار آن عمدتاً به شکل خشک‌سالی‌های بلندمدت و سیل‌های شدید نمایان می‌شود. بر اساس آمار ارائه شده از سوی سازمان هواشناسی کشور، نمودار (۵) متوسط دمای کشور را در ۶۰ سال اخیر نشان می‌دهد.

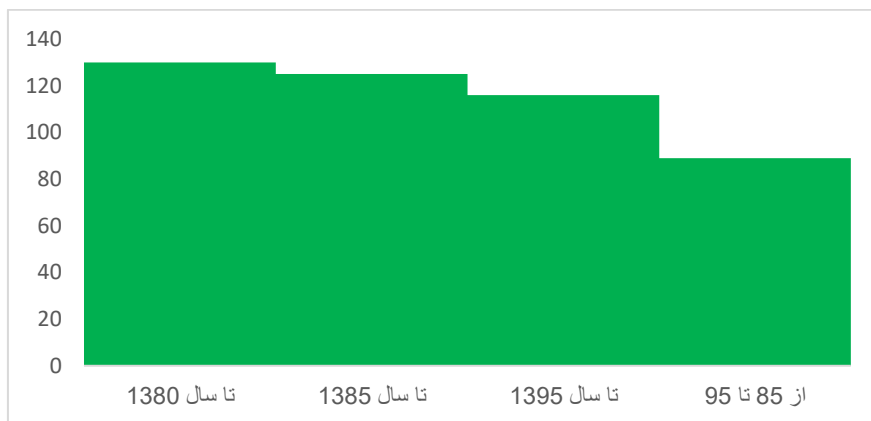
#### نمودار ۵- وضعیت دمای کشور طی ۶۰ سال گذشته



منبع: سازمان هواشناسی کشور

همچنین در نمودار (۶) ذخایر آب تجدیدپذیر کشور طی دوره‌های مختلف به تصویر کشیده شده است. آب تجدیدپذیر میزان آبی است که حوضه آبریز طی چرخه آبی سالیانه، امکان و پتانسیل بازیابی آن را دارد.

#### نمودار ۶- روند تغییر ذخایر آب تجدیدپذیر کشور طی سال‌های اخیر (میلیارد مترمکعب)

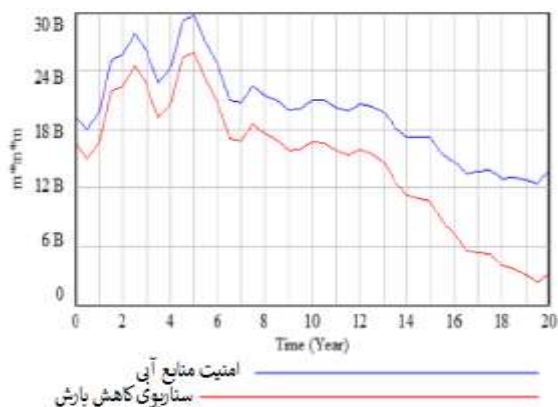


منبع: سازمان هواشناسی کشور

بر اساس نمودار مذکور تا سال ۱۳۸۵، متوسط ذخایر آب تجدیدپذیر معادل با ۱۳۰ میلیارد مترمکعب بوده است. این رقم برای تا سال ۱۳۸۵ به ۱۲۵ و تا سال ۱۳۹۵ به ۱۱۶ میلیارد مترمکعب رسیده است. همچنین از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۵ این رقم ۸۹ میلیارد مترمکعب بوده است. به عبارت دیگر میزان آب تجدیدپذیر کشور در سال‌های اخیر نسبت به متوسط بلندمدت حدود ۳۲ درصد کاهش داشته است که رقم بسیار چشمگیری است. حال با توجه به مدل طراحی شده در این تحقیق، ذخایر آبی کشور در افق ۲۰ ساله مورد پیش‌بینی قرار گرفته است که نتایج آن در نمودار (۷) قابل مشاهده است.

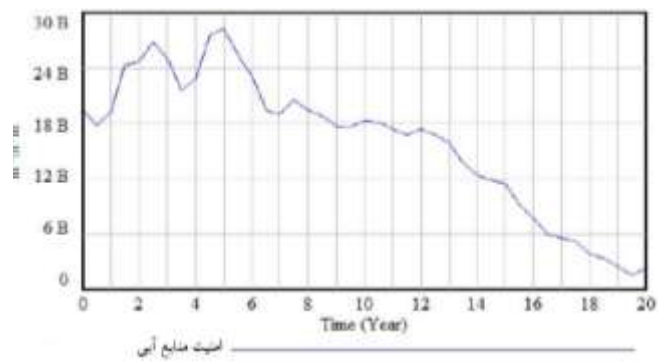
نمودار ۸- سناریوی کاهش میزان بارش در ۲۰ سال آینده و

وضعیت امنیت غذایی



نمودار ۷- پیش‌بینی ذخایر آبی طی ۲۰ سال آینده (خروجی

نرم‌افزار ونسیم)



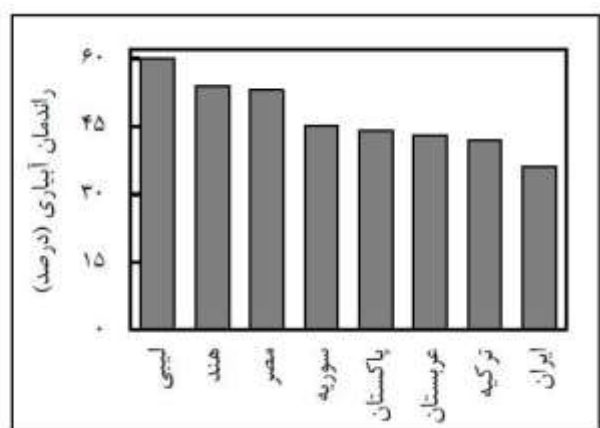
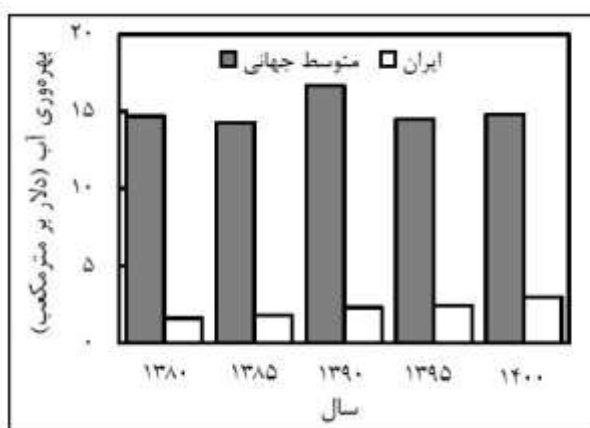
منبع: تحقیق حاضر

بر اساس سناریوی فوق در صورتی که حجم بارش روند نزولی داشته باشد، امنیت منابع آبی در کشور به صورت نمودار (۸) قابل نمایش است. همان گونه که نمودار نشان می‌دهد در صورتی که سناریوی کاهش بارش در مدل تحقیق اعمال شود، امنیت منابع آبی طی افق ۲۰ ساله با کاهش قابل توجهی همراه است بنابراین با توجه به نتایج این بخش و این فرض که وضعیت موجود کاهش بارش طی سال‌های آتی به دلایل مختلف از جمله ماهیت و شرایط اقلیمی کشور، می‌توان پیامدهای سناریوی اول را کاهش منابع آب موجود و تشدید بحران آب در کشور دانست.

#### ۴-۴- بهره‌وری پایین آب در بخش‌های مختلف (سناریوی دوم)

یکی از چالش‌هایی که بحران آب در کشور را وخیم‌تر می‌کند، بهره‌وری پایین آب در بخش‌های مختلف مصرف است. لازم به توضیح است قسمت اعظم آب در کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و بهره‌وری پایین آب در این بخش نسبت به سایر بخش‌ها با چالش بیشتری همراه است. بر اساس اعلام وزارت جهاد کشاورزی (۱۴۰۰)، میزان تولید ماده خشک به ازای هر مترمکعب آب در کشور برابر با ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط جهانی این شاخص ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد؛ بنابراین ترتیب شاخص مذکور در کشور نسبت به متوسط جهانی ۴۳ درصد است. در نمودار (۹) راندمان و بهره‌وری آب در کشور با برخی کشورها مقایسه شده است:

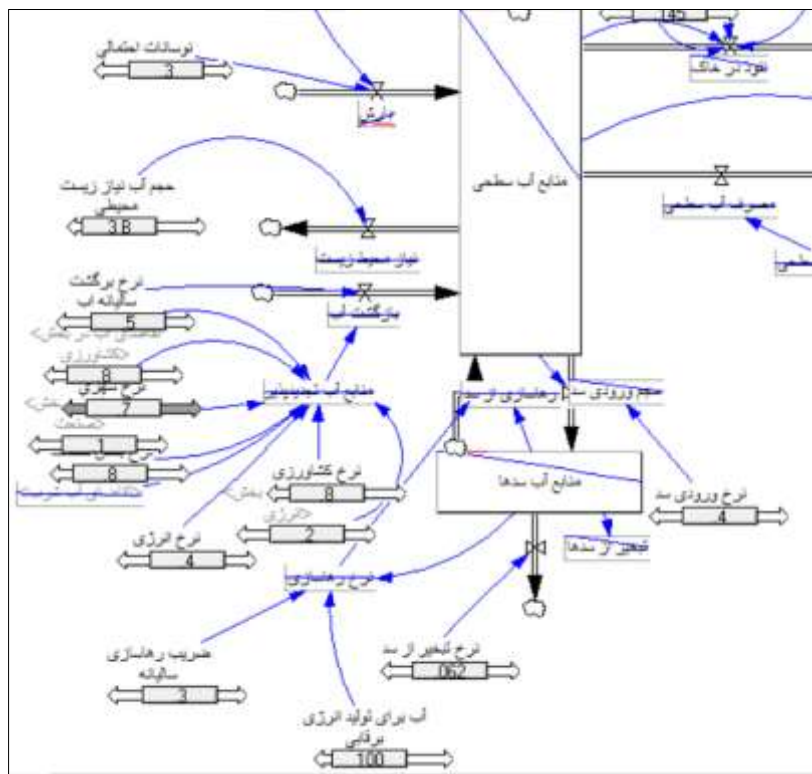
#### نمودار ۹- مقایسه راندمان آبیاری و بهره‌وری آب در ایران و کشورهای مختلف



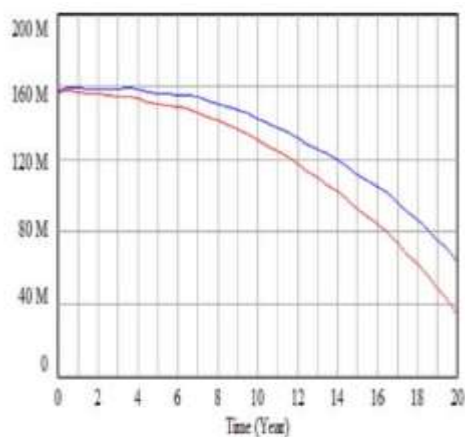
منبع: مرکز پژوهش‌های مجلس (۱۴۰۱)

نمودار (۹) مقایسه راندمان آبیاری و بهره‌وری آب در ایران و کشورهای مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، راندمان آبیاری کشور از کشورهای مشابه کمتر است. بر اساس بررسی به عمل آمده و مدل طراحی شده در این تحقیق، راندمان آب در بخش‌های کشاورزی، شیلات و دام و طیور که در نهایت تقاضای آب در بخش غذا را شکل می‌دهد به شرح نمودار زیر است:

شکل ۵- روابط مربوط به منابع آب سدها

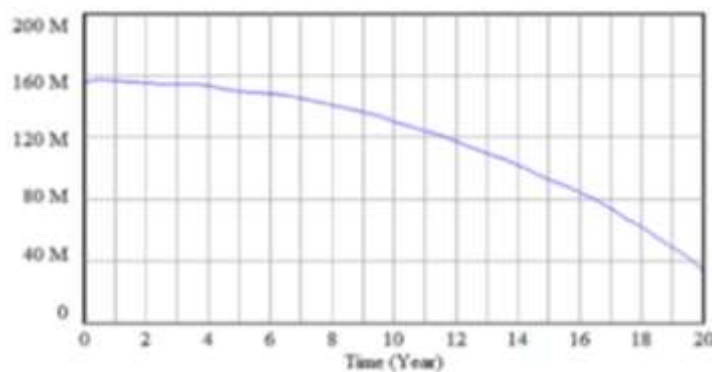


نمودار ۱۱- پیش‌بینی راندمان بخش آب در کشور



منبع: تحقیق حاضر \*نمودار بالا (آبی) مربوط به پیش‌بینی بر اساس شرایط فعلی است و نمودار پایین (قرمز) بر اساس افزایش مصرف در بخش کشاورزی است

نمودار ۱۰- راندمان بخش آب در کشور

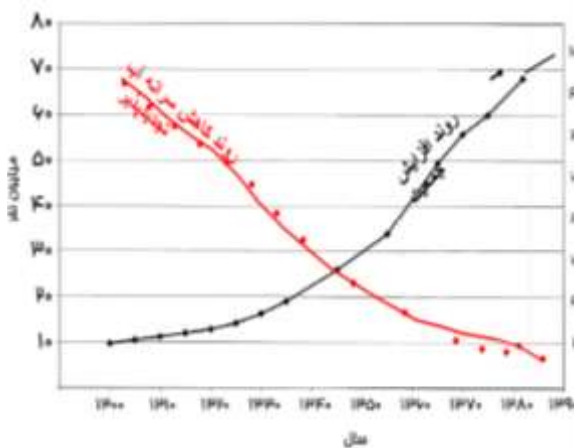


همان‌گونه که نمودار (۱۰) نشان می‌دهد، با توجه به پیش‌بینی راندمان آب در کشور، در صورتی که مصرف آب در بخش‌های مختلف به‌ویژه بخش کشاورزی با همین راندمان افزایش پیدا کند، راندمان آب در افق ۲۰ ساله به‌صورت نمودار فوق قابل پیش‌بینی است. بر اساس نمودار، راندمان آب با افزایش مصرف در بخش کشاورزی، به شکلی قابل توجه کاهش خواهد یافت؛ بنابراین با توجه به نتایج این بخش می‌توان سناریوی دوم را با پیامد کاهش بیشتر ذخایر آب زیرزمینی و تبعات آن، نابودی بیشتر زیست بوم‌های آبی، از بین رفتن منابع طبیعی کشور و تشدید بحران آب دانست.

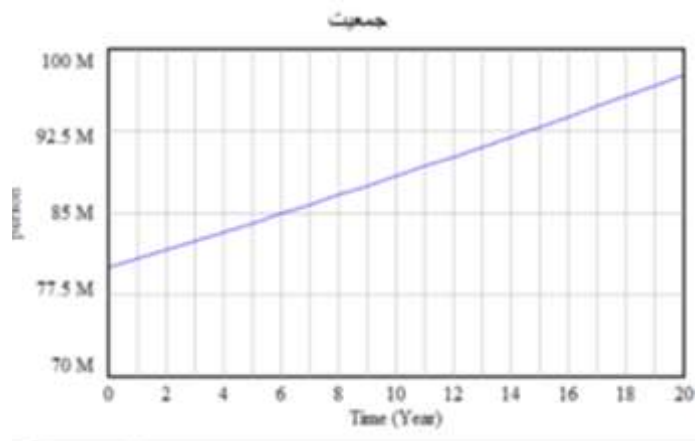
#### ۴-۵- افزایش جمعیت (سناریوی سوم)

افزایش مصرف آب ناشی از رشد جمعیت از دیگر مواردی می‌باشد که باعث تشدید بحران آب در ایران شده است. به‌خصوص در دهه شصت و هفتاد، رشد جمعیت نیاز به منابع آبی را افزایش داده و در مقابل خشک‌سالی نیز با آن همسو شده و در نهایت موجب کاهش آب‌های زیرزمینی و ذخایر آبی در سدها شده است. عدم رعایت استانداردها در بخش‌های مختلف بخصوص زندگی شهری باعث شده تا مصرف آب در ایران بی‌رویه و غیرقابل مقایسه با دیگر کشورها باشد. استفاده از روش‌های آبیاری غرقابی، آبیاری فضای سبز شهری و شستشوی معابر و غیره با آب آشامیدنی از بزرگ‌ترین مشکلات در ایران می‌باشند که همه‌ساله بحران آب را جدی‌تر می‌کنند. علاوه بر این، در کارخانجات و کارگاه‌های تولیدی و معادن نیز آب زیادی مصرف و آلوده شده و در نهایت به‌عنوان آب غیرقابل استفاده از چرخه خارج خواهند شد. در ادامه به بررسی تأثیر رشد جمعیت بر بحران آب در ایران پرداخته می‌شود. جمعیت به‌عنوان یکی از متغیرهای انبار در مدل در نظر گرفته شده است. در فصل سوم، روابط علی و معلولی آن نشان داده شده است. بر اساس پیش‌بینی انجام شده طبق نمودار (۱۲) در مدل برای افق ۲۰ ساله، جمعیت تا ۱۰۰ میلیون نفر افزایش خواهد یافت و این افزایش با در نظر داشتن شرایط فعلی منابع آبی در کشور، می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل تشدیدکننده بحران مدنظر قرار گیرد.

شکل ۱۳- روند افزایش جمعیت و کاهش سرانه آب تجدیدپذیر کشور در مدت ۸۰ سال گذشته



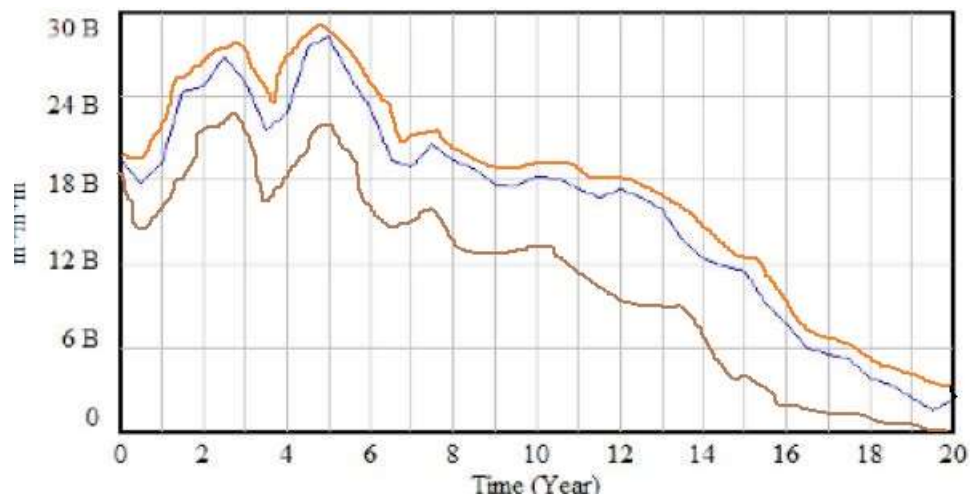
نمودار ۱۲- سناریوی مربوط به رشد جمعیت در افق ۲۰ ساله



پیش‌بینی فوق در حالی است که بر اساس نمودار (۱۳) روند افزایش جمعیت از سال‌های گذشته در کشور به‌صورت صعودی با شیب فزاینده و خطی بوده است. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۹).

با توجه به نتایج تحقیق، همان‌گونه که در نمودار نشان داده شده است، پیش‌بینی می‌شود تا بیست سال آینده، نرخ رشد جمعیت به شکلی قابل ملاحظه صعودی افزایش پیدا کند؛ بنابراین تأثیر این افزایش بر امنیت منابع آبی به شرح نمودار (۱۴) قابل مشاهده است:

نمودار ۱۴- پیش‌بینی امنیت منابع آبی در کشور بر اساس سناریوی افزایش و کاهش جمعیت (مترمکعب)



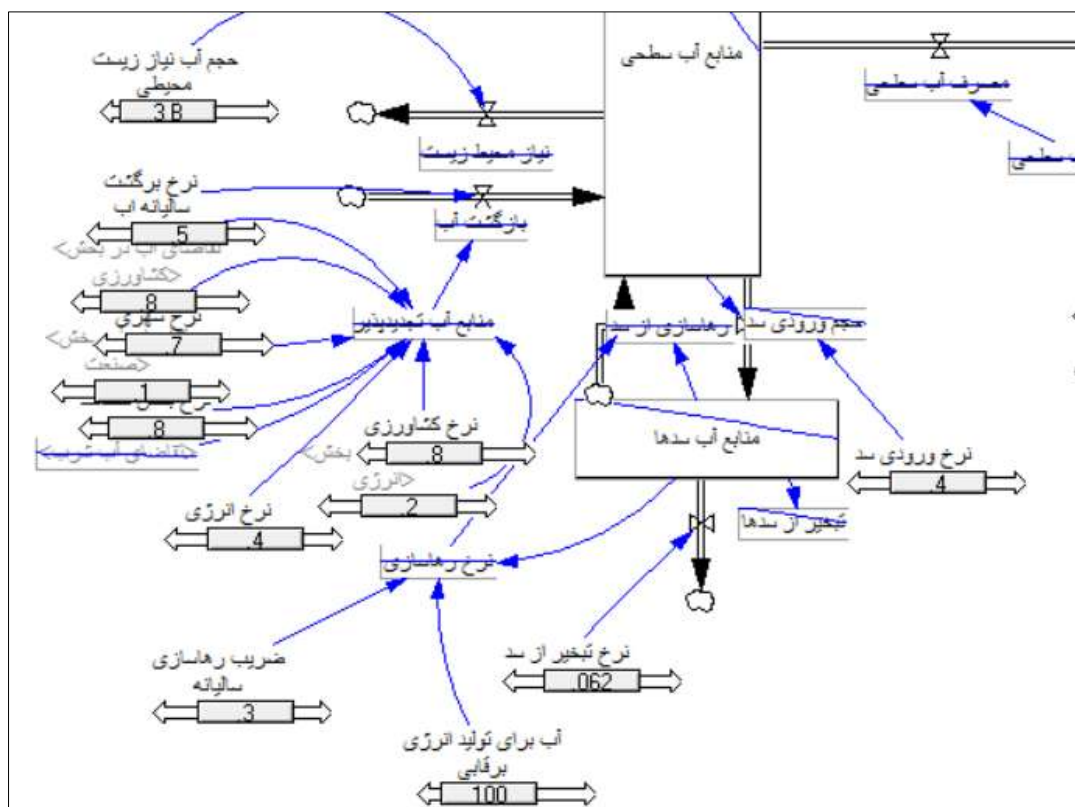
منبع: تحقیق حاضر \*\* لازم به توضیح است مقادیر دو سناریوی در نظر گرفته شده مربوط به نمودار بالایی و پایینی است. در نمودار بالایی کاهش جمعیت و نمودار پایینی افزایش جمعیت مدنظر قرار گرفته است.

همانطور که نمودار نشان می‌دهد با تداوم وضع موجود منابع آبی و راندمان آب در بخش‌های گوناگون، افزایش جمعیت یکی از عواملی است که بر بحران آب دامن خواهد زد. این نتیجه در اغلب مطالعات مورد تأکید قرار گرفته است؛ بنابراین پیامدهای سناریوی افزایش جمعیت شامل افزایش جمعیت، افزایش نیاز به بخش‌های مختلف، آلودگی فزاینده آب و کاهش کیفیت، استهلاک تاسیسات و کاهش بهره‌وری، تهدید امنیت آبی و غذایی کشور و بحران آب در کشور است.

#### ۴-۶- بازگشت آب از بخش‌های مختلف و تأثیر آن بر آب سطحی و در نهایت امنیت منابع آبی (سناریوی چهارم)

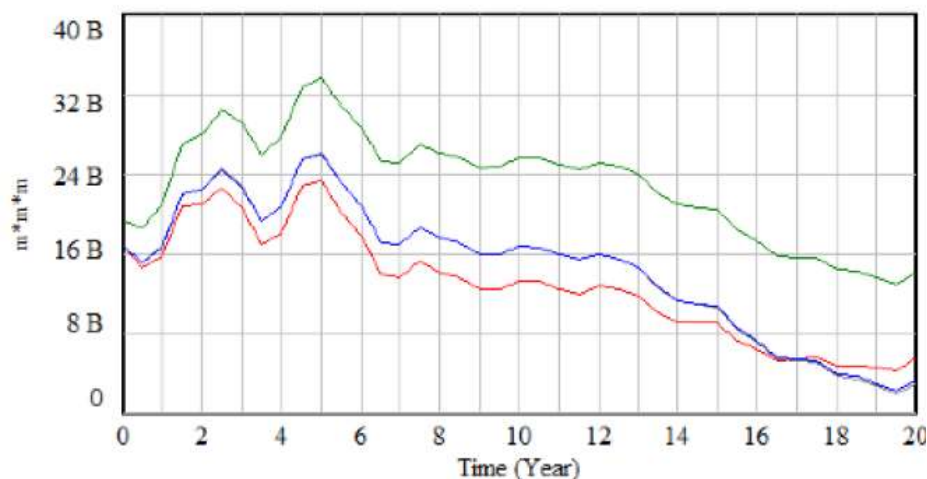
آب برگشتی به آن بخش از آب برداشتی گفته می‌شود که به مصرف نرسیده و دوباره به مخازن آب‌های سطحی و یا زیرزمینی بازمی‌گردد. به عبارتی تمام آب برداشتی در یک فعالیت شهری، صنعتی و یا کشاورزی و غیره در فرآیند تولید استفاده نمی‌شوند. بر این اساس و در محاسبات مربوط به آب تجدیدپذیر در نظر گرفتن آب برگشتی شرب، کشاورزی و صنعت دارای اهمیت است. در ایران به‌طور متوسط حدود ۷۵٪ برداشت‌ها در مصارف شهری و ۲۰٪ در کشاورزی آب برگشتی در نظر گرفته می‌شود. نکته قابل توجه دیگر این است که تمام آب برگشتی قابل استفاده مجدد نیست؛ چراکه بخشی از آن بدیل آلودگی ایجاد شده در فرآیند تولید از حیث ارتفاع خارج شده و بایستی از حوضه خارج شود (شاهدی و طالبی، ۱۳۹۹). در شکل (۶) و مدل شبیه‌سازی شده در این تحقیق، مفاهیم برداشت، مصرف و آب برگشتی در سیستم منابع آبی نشان داده شده است.

شکل ۶- روابط مربوط به سناریوی بازگشت آب از بخش‌های مختلف



با توجه به موارد مذکور، افزایش نرخ بازگشت آب از بخش‌های مختلف می‌تواند به عنوان یکی از عوامل کاهش دهنده و تسکین‌دهنده بحران آب مدنظر قرار گیرد. بر این اساس طبق نمودار (۱۵) پیش‌بینی شده است در افق ۲۰ ساله با کاهش بازگشت آب از بخش‌های مختلف، امنیت منابع آبی کاهش پیدا کند.

#### نمودار ۱۵- بررسی تأثیر بهبود نرخ بازگشت آب از بخش‌های مختلف بر امنیت منابع آبی

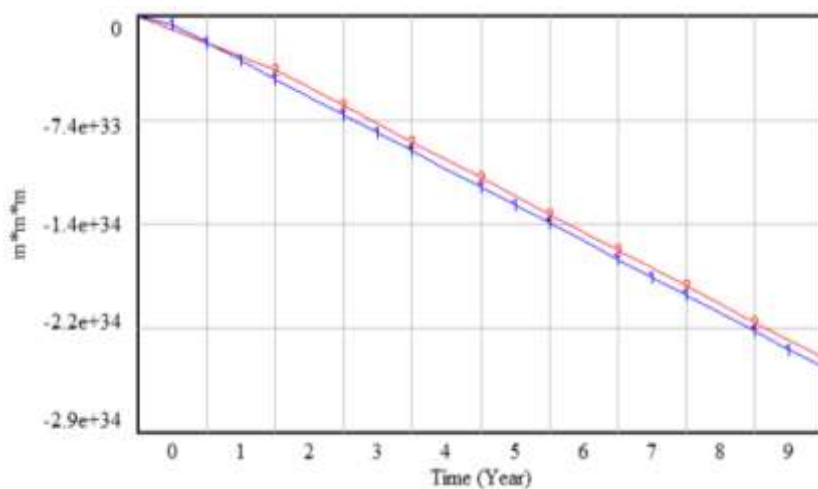


منبع: تحقیق حاضر \*\* نمودار بالای (سبز) نشان‌دهنده بهبود نرخ بازگشت آب؛ نمودار میانی (آبی) نشان‌دهنده پیش‌بینی بر اساس تداوم وضعیت فعلی و نمودار پایینی (قرمز) کاهش نرخ بازگشت آب را نشان می‌دهد

#### ۴-۷- کاهش ظرفیت توسعه نیروگاه‌های برقابی برای کاهش حجم آب ذخیره‌شده در پشت سدها (سناریوی پنجم)

پتانسیل و ظرفیت عملی تولید انرژی برق آبی در ایران ۵۰ میلیارد کیلووات ساعت به‌صورت سالیانه است که می‌تواند ۶۰ درصد برق موردنیاز کنونی کشور را تأمین کند. بر اساس مطالعات انجام‌شده، بیشترین امکانات تولید برق آبی مربوط به حوضه آبریز رودخانه کارون با ۳۰ میلیارد کیلووات ساعت در سال، حوضه آبریز دز با ۹ میلیارد کیلووات ساعت در سال و حوضه آبریز کرخه با ۶ میلیارد کیلووات ساعت در سال است. ۵ میلیارد کیلووات ساعت بازمانده آن مربوط به دیگر حوضه‌ها می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۴۰۰). یکی از سیاست‌های پیشنهادی جهت مدیریت عرضه منابع آبی، کاهش ظرفیت توسعه نیروگاه برقابی برای کاهش حجم آب ذخیره‌شده در پشت سدها می‌باشد که در این مطالعه به‌عنوان سناریوی پنجم مدنظر قرار گرفته است. همان‌گونه که در نمودار (۱۶) نشان داده‌شده است، امنیت منابع آبی در کشور با سناریوی مذکور بهبود یافته است ولیکن در عین حال این امنیت در هر دو حالت به‌صورت نزولی است.

#### نمودار ۱۶- کاهش ظرفیت توسعه نیروگاه برقابی بر امنیت منابع آبی



منبع: تحقیق حاضر \*\* نمودار بالا بارنگ قرمز نشان‌دهنده امنیت منابع آبی تحت سناریوی کاهش آب برای تولید انرژی برقابی و نمودار پایین شرایط پایه با فرض تداوم وضعیت موجود است.

با توجه به موارد مذکور و نتایج به دست آمده این نکته قابل ذکر است که در خصوص سیاست‌های مقابله با بحران آب هر سیاستی از طرق اجزای ثابت مدل این تحقیق قابل اعمال در مدل و قابل بررسی است بنابراین سیاست‌های اعمال شده از سوی دولت یا طرف عرضه آب را تغییر می‌دهد یا طرف تقاضای آب را؛ بنابراین بایستی به منظور تدوین سیاست‌های مقابله با بحران آب با مدنظر قرار دادن این شاخص‌های تأثیرگذار بر وضعیت منابع آبی و اهداف مختلف بهره‌برداری از آن‌ها بهره گرفت. بر این اساس می‌توان مدل تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران را با مدنظر قرار دادن ابعاد ذیل ارائه نمود؛ بنابراین با توجه به مدل طراحی شده، چالش‌های فعلی مقابله با بحران آب و پیامدهای آن به شرح جدول زیر خلاصه شده است:

**جدول ۵-چالش‌های فعلی منابع آبی در ایران و تأثیر آن بواسطه بُعد عرضه و تقاضا در مدل**

| چالش‌های فعلی                                               | طرف عرضه | طرف تقاضا |
|-------------------------------------------------------------|----------|-----------|
| افت بارندگی در مقایسه با روند بلندمدت                       | ■        |           |
| افت حجم جریان‌های سطحی آب در کشور نسبت به روند بلندمدت      | ■        |           |
| بهره برداری بی رویه و افت منابع آب‌های زیرزمینی             | ■        |           |
| نبود مدیریت کارآمد چاه‌های کشور                             | ■        |           |
| وضعیت دشت‌های کشور به عنوان شاخص بحران آب                   | ■        |           |
| توزیع نامتقارن منطقه‌ای منابع آب و بارندگی در کشور          | ■        |           |
| مهار آب‌های سطحی از طریق ایجاد سد                           | ■        |           |
| پدیده‌های طبیعی خشک سالی                                    | ■        |           |
| انتشار پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری                       | ■        |           |
| بهره‌وری پایین آب در بخش کشاورزی                            |          | ■         |
| ساختار نظام مالکیت در بخش کشاورزی و تأثیر آن بر بهره‌وری آب |          | ■         |
| سطح سواد پایین بهره‌برداران و تأثیر آن بر بهره‌وری آب       |          | ■         |
| قیمت یارانه‌ای آب در بخش کشاورزی                            |          | ■         |
| رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای منابع آب کشور                 |          | ■         |
| نبود شناخت کافی اهمیت استفاده از تجارت آب مجازی             |          | ■         |
| حوزه مصارف آب شرب و بهداشتی                                 |          | ■         |
| حوزه مصارف صنعتی                                            |          | ■         |

#### ۴-۸-جمع بندی و نتیجه گیری

بحران آب یکی از چالش‌های بزرگی است که در حال حاضر در سراسر جهان و به ویژه در کشورهایی با شرایط آب و هوایی خشک و نواحی دچار کمبود آب، از جمله ایران، وجود دارد. ایران با مشکل کمبود منابع آبی مواجه است که ناشی از عواملی مانند کاهش بارش‌های طبیعی، تغییر الگوی بارش‌ها، افزایش جمعیت و توسعه صنعتی است. این بحران آب تأثیرات عمیقی بر محیط زیست، اقتصاد و جامعه دارد و برای مقابله با آن نیاز به سیاست‌های موثری داریم. تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران از اهمیت بسیاری برخوردار است (العمری<sup>۱۰</sup>، ۲۰۲۰). این تحلیل نیازمند بررسی و تحلیل عوامل اصلی موثر بر بحران آب در کشور است و همچنین شناخت و بررسی سیاست‌های مختلفی که تاکنون در جهت مقابله با این بحران آب اتخاذ شده

است. سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران شامل اقدامات گسترده‌ای است که به منظور مدیریت منابع آب، توسعه فناوری‌های صرفه‌جویی و بازیافت آب، ترویج فرهنگ صرفه‌جویی در مصرف آب و توسعه زیرساخت‌های آبی به منظور تأمین نیازهای آبی جامعه اتخاذ شده است. این سیاست‌ها تلاش می‌کنند تا با توجه به محدودیت منابع آبی، مدیریت منابع آب را بهبود بخشند و بهره‌برداری بهینه از آب را ترویج دهند. در این تحلیل، سیاست‌های مختلفی که در جهت مقابله با بحران آب در ایران اتخاذ شده است، بررسی و ارزیابی شد. همچنین، عوامل موثر بر بحران آب در کشور مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران می‌تواند به مسئولان و تصمیم‌گیران در حوزه مدیریت آب کمک کند تا سیاست‌های مؤثرتری را جهت مقابله با بحران آب اتخاذ کنند و بهبود وضعیت منابع آبی کشور را بهبود بخشند. با توجه به این تحلیل، می‌توان تأثیر و کارایی سیاست‌های مختلف بررسی و راهکارهای بهبود و توسعه آن‌ها و به عبارتی خط‌مشی‌ها و پیشنهاد‌های مرتبط در جدول (۳) ارائه شد.

#### جدول ۶- تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران

| سناریو | تحلیل / تحلیل                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ارائه خط‌مشی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| اول    | تغییر اقلیم و کاهش منابع آب تجدید پذیر / در صورتی که سناریوی کاهش بارش در مدل تحقیق اعمال شود، امنیت منابع آبی طی افق ۲۰ ساله با کاهش قابل توجهی همراه است؛ بنابراین با توجه به نتایج این بخش و این فرض که وضعیت موجود کاهش بارش طی سال‌های آتی به دلایل مختلف از جمله ماهیت و شرایط اقلیمی کشور، می‌توان پیامدهای سناریوی اول را کاهش منابع آبی موجود و تشدید بحران آب در نظر گرفت. | خط‌مشی مقابله با بحران آب ناشی از تغییر اقلیم و کاهش منابع آب تجدید پذیر در ایران باید بر اساس رویکردهایی مبتنی بر پایداری و همکاری‌های بین‌المللی باشد. در ادامه، خط‌مشی ممکن برای مقابله با این بحران آب در ایران را شرح می‌دهم:<br><b>۱. توسعه منابع آب تجدید پذیر:</b> برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری در توسعه منابع آب تجدید پذیر مانند آب‌های زیرزمینی، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های سطحی بسیار حائز اهمیت است. این شامل احداث سد و نیروگاه‌های آبی، بهبود زیرساخت‌های آبیاری و آب شرب و ترویج استفاده از منابع آب شور می‌شود. |
|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>۲. ترویج بهره‌وری آب:</b> ترویج بهره‌وری آب در همه قطعات از جمله کشاورزی، صنعت، شهری و خانگی بسیار مهم است. این شامل اصلاح الگوی کشاورزی به سمت کشاورزی پایدار، استفاده از فناوری‌های آبیاری هوشمند، کاهش تلفات آبی و ارتقاء آگاهی عمومی درباره مصرف مسئولانه آب است.                                                                                                                                                                                                                                                           |
|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>۳. حفاظت از منابع آبی:</b> حفاظت از منابع آبی از جمله رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبگیرها بسیار حائز اهمیت است. این شامل ایجاد مناطق حفاظت شده، کنترل استخراج آب زیرزمینی، حفظ تنوع زیستی و برنامه‌ریزی منابع آبی در شرایط تغییر اقلیم است.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>۴. توسعه فناوری‌های مربوط به آب:</b> تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌های مربوط به آب، از جمله تصفیه آب، استفاده از آب‌های شور، ذخیره و استفاده مجدد آب و هوشمندسازی مدیریت آب، بسیار ضروری است. این فناوری‌ها می‌توانند به بهبود کارایی استفاده از آب، مدیریت بهتر منابع آب و افزایش قابلیت مقابله با تغییر اقلیم کمک کنند.                                                                                                                                                                                                       |
|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>۵. همکاری و هماهنگی بین‌المللی:</b> بحران آب تغییر اقلیم و کاهش منابع آب تجدید پذیر مسئله‌ای جهانی است و نیاز به همکاری و هماهنگی بین‌المللی دارد. برنامه‌ها و پروژه‌های مشترک با سایر کشورها و سازمان‌های بین‌المللی می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آب و توسعه فناوری‌های مربوط به آب کمک کند.                                                                                                                                                                                                                                 |
|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>۶. آموزش و افزایش آگاهی:</b> آموزش و افزایش آگاهی عمومی درباره مسائل آب، تغییر اقلیم و اهمیت حفظ منابع آبی بسیار مهم است. این شامل آموزش دانش‌آموزان، ارتقاء آگاهی جامعه و ترویج فرهنگ مصرف مسئولانه آب می‌شود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>۷. مدیریت کمیت و کیفیت آب:</b> مدیریت دقیق و کمیت و کیفیت آب در سطح ملی و مناطق مختلف ایران بسیار حائز اهمیت است. این شامل برنامه‌ریزی منابع آب، مانیتورینگ و کنترل کیفیت آب و ایجاد سازوکارهای مدیریتی مناسب است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><b>۸. اصلاح سیاست‌ها و قوانین:</b> اصلاح سیاست‌ها و قوانین مربوط به مدیریت منابع آب و استفاده از آب به صورت پایدار و مسئولانه بسیار ضروری است. این شامل تعیین سیاست‌های ملی و منطقه‌ای، ایجاد انگیزه‌ها و تشویق‌ها برای حفظ و بهره‌برداری بهینه از آب است. به طور کلی، خط‌مشی مقابله با بحران آب ناشی از تغییر اقلیم و کاهش منابع آب تجدیدپذیر در ایران باید بر پایه توسعه پایدار، همکاری بین‌المللی، بهره‌وری آب، حفاظت از منابع آبی، توسعه فناوری‌های مربوط به آب، آموزش و افزایش آگاهی، مدیریت کمیت و کیفیت آب، اصلاح سیاست‌ها و قوانین و هماهنگی بین‌المللی قرار بگیرد</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>بهره‌وری پایین آب در بخش‌های مختلف / کاهش راندمان آب با افزایش مصرف در بخش کشاورزی؛ استفاده بیشتر از ذخایر استاتیک و نابودی آن‌ها؛ کاهش بیشتر ذخایر آب زیرزمینی و تبعات آن؛ نابودی بیشتر زیست‌بوم‌های آبی؛ از بین رفتن منابع طبیعی کشور و تشدید بحران آب</p> | <p>۱. کشاورزی: - ترویج کشاورزی پایدار و بهینه با استفاده از فناوری‌های آبیاری هوشمند مانند قطره‌بارانی و اسپرینکلر. - ارتقاء کشاورزی بومی و اصلاح الگوی کشاورزی به سمت کاشت محصولات کم آب و مقاوم به خشکی. - استفاده از مدیریت منابع آبی بهینه مانند توزیع منابع آب بر اساس نیاز و تقاضا.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>دوم</p>                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>۲. صنعت: - بهبود بهره‌وری آب در صنایع از طریق انجام تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌های صنعتی پایدار. - استفاده از سیستم‌های بازیافت آب و استفاده مجدد آب در فرآیندهای صنعتی. - اجرای سیستم‌های مدیریت آب در صنایع بر اساس استانداردهای بین‌المللی.</p> <p>۳. شهری و خانگی: - ترویج فرهنگ مصرف مسئولانه آب در خانواده‌ها و جامعه. - استفاده از تکنولوژی‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در ساختمان‌ها مانند توالت‌های صرفه‌جو و دستشویی‌های خشک. - ارتقاء آگاهی عمومی درباره روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و اهمیت حفظ منابع آبی.</p> <p>۴. گردشگری: - استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در هتل‌ها، رستوران‌ها و مراکز گردشگری. - ترویج تورسم پایدار و مدیریت هوشمند منابع آب در محل‌های گردشگری</p> <p>۵. مدیریت منابع آب: - اصلاح سیاست‌ها و قوانین مربوط به مدیریت منابع آب با تأکید بر بهره‌برداری مسئولانه و پایدار. - استفاده از سیستم‌های هوشمند مدیریت آب بر اساس داده‌های سنسورها و شبکه‌های اینترنت اشیا. - ارتقاء هماهنگی بین سازمان‌ها و نهادهای مختلف در مدیریت منابع آب و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها. با اجرای این خط‌مشی‌ها، می‌توان به بهره‌وری پایین آب در بخش‌های مختلف ناشی از بحران آب در ایران دست یافت و منابع آب را بهبود بخشید</p> |
| <p>سوم</p>                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>۸. افزایش آگاهی عمومی: ارتقاء آگاهی عمومی درباره اهمیت حفظ منابع آب و مصرف مسئولانه آب در جامعه به منظور ترویج فرهنگ صرفه‌جویی و بهره‌برداری پایدار از آب.</p> <p>۱. توسعه زیرساخت‌های آبی: سرمایه‌گذاری در توسعه زیرساخت‌های آبی مانند سدسازی، شبکه آبیاری، تصفیه آب و توزیع منابع آب، به منظور تأمین نیازهای آبی جمعیت رشد کننده.</p> <p>۲. ترویج بهره‌وری آب: ترویج فرهنگ مصرف مسئولانه آب در جامعه و آموزش روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب به منظور کاهش تلفات و افزایش بهره‌وری آب.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>منابع آبی و راندمان آب در بخش‌های گوناگون، افزایش جمعیت یکی از عواملی است که بر بحران آب دامن خواهد زد.</p>                                                                                                         | <p>۳. توسعه فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب: تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب مانند توالتهای صرفه‌جو، سیستم‌های ریزشی و هوشمندسازی مصرف آب در ساختمان‌ها.</p> <p>۴. برنامه‌ریزی شهری: برنامه‌ریزی شهری هوشمند و پایدار با تأکید بر مدیریت منابع آب و استفاده بهینه از آب در شهرها و شهرستان‌ها.</p> <p>۵. ترویج کنترل تولید: ترویج سیاست‌ها و برنامه‌ها برای کنترل رشد جمعیت و تعادل بین تقاضا و عرضه منابع آب در مراکز شهری و روستایی.</p> <p>۶. مدیریت منابع آب: برنامه‌ریزی منابع آب به‌صورت مستدام و بهره‌برداری از تکنولوژی‌های مدیریت منابع آب بر اساس نیاز و تقاضا.</p> <p>۷. همکاری بین‌المللی: برقراری همکاری و هماهنگی با سایر کشورها و سازمان‌های بین‌المللی در زمینه مدیریت منابع آب و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>چهارم</p> <p>بازگشت آب از بخش‌های مختلف و تأثیر آن بر آب سطحی و در نهایت امنیت منابع آبی // افزایش نرخ بازگشت آب از بخش‌های مختلف می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل کاهنده و تسکین‌دهنده بحران آب مدنظر قرار گیرد.</p> | <p>۱. ترویج استفاده از سیستم‌های بازیافت آب: ترویج و استفاده از سیستم‌های بازیافت آب در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت و شهری به‌منظور استفاده مجدد از آب و کاهش مصرف آب تا حد امکان.</p> <p>۲. تحقیق و توسعه در فناوری‌های بازیافت آب: تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌های جدید و نوآورانه برای بازیافت آب در بخش‌های مختلف، به‌منظور افزایش نرخ بازگشت آب و کاهش تلفات آب.</p> <p>۳. ارتقاء آموزش و آگاهی: ارتقاء آموزش و آگاهی درباره اهمیت بازیافت آب و روش‌های صحیح استفاده از آب در بخش‌های مختلف، به‌منظور تشویق به استفاده از سیستم‌های بازیافت و کاهش تلفات آب.</p> <p>۴. تشویق به استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب: تشویق به استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش‌های مختلف مانند فناوری‌های آبیاری هوشمند و سیستم‌های مدیریت آب، به‌منظور کاهش مصرف آب و افزایش بازگشت آب.</p> <p>۵. تنظیم قوانین و مقررات: تنظیم قوانین و مقررات مناسب درباره بازیافت آب و کاهش تلفات آب در بخش‌های مختلف، به‌منظور تشویق به استفاده از سیستم‌های بازیافت آب و تنظیم استانداردهای بازگشت آب.</p>                                                                                                           |
| <p>پنجم</p> <p>کاهش ظرفیت توسعه نیروگاه برقابی برای کاهش حجم آب ذخیره‌شده در پشت سدها/ کاهش آب برای تولید انرژی برقابی</p>                                                                                             | <p>۱. توسعه نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر دیگر: توسعه نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر مانند نیروگاه‌های بادی و خورشیدی به‌منظور کاهش وابستگی به نیروگاه‌های برق آبی و کاهش مصرف آب در تولید برق.</p> <p>۲. ترویج استفاده از منابع انرژی دیگر: ترویج و استفاده از منابع انرژی دیگر مانند نیروگاه‌های برق حرارتی، هسته‌ای و گازی که نیاز کمتری به آب برای تولید برق دارند.</p> <p>۳. بهره‌برداری بهینه از نیروگاه‌های برق آبی موجود: بهره‌برداری بهینه از نیروگاه‌های برق آبی موجود به‌منظور افزایش بازدهی و بهره‌وری آب در تولید برق.</p> <p>۴. ترویج صرفه‌جویی در مصرف برق: ترویج فرهنگ مصرف مسئولانه برق در جامعه و ارتقاء آگاهی عمومی درباره روش‌های صرفه‌جویی در مصرف برق، به‌منظور کاهش نیاز به توسعه نیروگاه‌های جدید.</p> <p>۵. تنظیم قوانین و مقررات: تنظیم قوانین و مقررات مناسب درباره توسعه نیروگاه‌های برق آبی و محدود کردن ظرفیت توسعه آن‌ها، به‌منظور کاهش تأثیرات منفی بر مصرف آب و حفظ منابع آبی.</p> <p>۶. تشویق به استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در تولید برق: تشویق به استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در تولید برق مانند توربین‌های بازیافت حرارتی و استفاده بهینه از نیروگاه‌های مشترک تولید گرما و برق (CHP).</p> |

- احسانی فر، محمد، همتا، نیما، عبدالهیان، مهرانگیز، (۱۳۹۸)، مدیریت بحران آب شهر اراک با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم، دو فصلنامه علمی-پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱۳
- احمدی، سعیده (۱۴۰۰). آثار و پیامدهای اقتصادی و امنیتی بحران آب در کشور. امنیت اقتصادی، آبان ۱۴۰۰ - شماره ۹۱، ص ۲۵ - ۳۶
- اسلامی، روح‌الله، رحیمی، احمد، (۱۳۹۸). سیاست‌گذاری و بحران آب در ایران، فصلنامه سیاست‌های راهبردی و کلان، دوره ۷ شماره ۳
- امیری، آرشد، مدیر شانه جی، محسن، گلشنی، علیرضا (۱۳۹۹). تاثیر فرآیند سیاست‌گذاری عمومی بر بحران آب در جمهوری اسلامی ایران. نشریه پژوهشنامه علوم سیاسی، شماره ۶۰.
- بشیری، سعید، بیات، بهرام، جمشیدی، شروین، صالح زاده، رضا (۱۴۰۰). تبیین ابعاد و مولفه‌های تاب آوری در مدیریت بحران آب (مورد مطالعه: شهر تهران). مطالعات بین رشته‌ای دانش راهبردی، پاییز ۱۴۰۰ - شماره ۴۴ علمی-پژوهشی/ISC (36 صفحه - از ۶۱ تا ۹۶)
- خدایی، مصطفی، میرفخرایی، سیدحسن (۱۴۰۰). بحران آب و چارچوب‌های حقوقی نوین منطقه‌ای و بین‌المللی. پژوهش‌نامه ایرانی سیاست بین‌الملل «بهار و تابستان ۱۴۰۰ - شماره ۱۸ علمی-پژوهشی/ISC (27 صفحه - از ۳۰۷ تا ۳۳۳)
- سازمان هواشناسی کشور «بولتن پیش‌بینی فصلی»، ۱۴۰۰.
- شاهدی، مهری، طالبی، فاطمه، (۱۳۹۹)، آشنایی با مفاهیم پایه در سیستم منابع آب، نشریه آب و توسعه پایدار، سال سوم، شماره ۲
- شیاری، علی، باقری، رضا، احدی، پرویز، اسمعیل‌زاده، علیرضا (۱۴۰۰). حکمرانی و اقتصاد سیاسی بحران آب در جمهوری اسلامی ایران. سیاست جهانی «تابستان ۱۴۰۰ - شماره ۳۶ علمی-پژوهشی/ISC (28 صفحه - از ۱۸۵ تا ۲۱۲)
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۸)، اصلاحات نهادی به منظور ارتقای ظرفیت سیستم حکمران برای انطباق با شرایط جدید آبی (۲ دفتر زیربنایی، ۱۳۹۸)
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۸)، آسیب‌شناسی حوزه قانونگذاری ایران از منظر سازوکارهای تأثیرگذار بر منابع آب (۲ دفتر زیربنایی، ۱۳۹۸).
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۸) بررسی تحولات قوانین بخش آب و تأثیر آن بر منابع زیرزمینی، دفتر زیربنایی، ۱۳۹۸.
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۴۰۰)، بررسی تحلیلی شرایط موجود و تبیین وضعیت آینده بحران آب در کشور، دفتر مطالعات زیربنایی
- وزارت نیرو، (۱۳۹۹)، گزارش آماری سالانه صنعت آب و برق ۱۳۹۸.
- وزارت نیرو شرکت مدیریت منابع آب ایران تنش آبی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰، ۱۴۰۰.
- Al Omari, H., (2020), Water Management in Jordan and its Impact on Water Scarcity, Thesis submitted to the University of Ottawa in partial Fulfillment of the requirements for the Master of Science of Environmental Sustainability
- Araujo, W.C., Esquerre, K. P. O. Sahin, O., (2019). building a System Dynamics Model to Support Water Management: A Case Study of the Semiarid Region in the Brazilian Northeast, Water 2019, 11(12), 2513; <https://doi.org/10.3390/w11122513>
- Eslamian, S., Dalezios, N.R., (2018), Water scarcity management: part 1: methodological framework, Int. J. Global Environmental Issues, Vol. 17, No. 1, 2018.
- Gupta, Joyeeta, Ahlers, Rhodante and Lawal, Ahmed (2010), The Human Right to Water: Moving Towards Consensus in a Fragmented World, Review of European Community & International Environmental Law, Vol.19, Issue.3.
- Gupta, E., (2020), AN ANALYSIS OF THE INDIAN WATER CRISIS AND PRIVATIZATION, SAE/No.148/February 2020
- Muñoz, A. A. Klock-Barría, K., Alvarez-Garretón, C., Aguilera-Betti, I., González-Reyes, Á., A. Lastra J., O. Chávez R., Barría, P., (2020), Water Crisis in Petorca Basin, Chile: The Combined Effects of a Mega-Drought and Water Management, Water 2020, 12, 648; doi:10.3390/w12030648
- Stermann, J. D. (2000). "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a system dynamics approach". Futures, 38: 74-92.

- Yazdanpanah, M., Thompson, M., Hayati ., D. Zamani., Gh.H. (2013). A new enemy at the gate: Tackling Iran's water super-crisis by way of a transition from government to governance, Progress in Development Studies 2013 13: 177