



ارایه مدلی برای تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران

ابراهیم یوسفیان^۱، فواد مکوندی^{۲*}، آرش جمال‌منش^۳، وحید چناری^۴ و علی افروس^۵
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۳

چکیده

این تحقیق به ارایه مدلی برای تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران با توجه به تغییرات اقلیمی و جمعیتی در افق بیست ساله با رویکرد پویایی سیستم پرداخته است. این مدل منطبق با چرخه هیدرولوژیکی آب و نمایش مؤثر امنیت منابع آبی در کشور با نرم‌افزار ونسیم طراحی شد. منابع آب سطحی، آب زیرزمینی، آب سدها و جمعیت به‌عنوان متغیرهای انباشت مدل در نظر گرفته شده‌اند. آمار مورد نیاز از مرکز آمار ایران، وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی برای افق ۲۰ ساله ۱۳۹۶-۱۴۱۶ استخراج شد. براساس مدل تحقیق، وضعیت منابع آبی در کشور طی افق زمانی مذکور روند نزولی را نشان می‌دهد. در ادامه سیاست‌های مختلف در خصوص مقابله با بحران آب و تأثیر آن بر امنیت منابع آبی کشور با استفاده از مدل طراحی شده مورد بررسی قرار گرفت. آزمون اعتبار سنجی مدل از نظر ساختاری بررسی شد. ابعاد مختلف مدل تحت ۵ سناریو تغییر داده شد و تأثیر آن بر امنیت منابع آبی 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، بهره‌وری پایین آب در بخش‌های مختلف، افزایش جمعیت و بازگشت آب از بخش‌های مختلف است. این سناریوها حسب ماهیت خود موجب تغییر امنیت منابع آب می‌شود. در پایان نیز مدل مفهومی تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب ارایه شده و پیشنهادات کاربردی با تلفیق مدیریت عرضه و تقاضای آب برای مقابله با این بحران اتخاذ شد.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، روش پویایی سیستم و سیاست‌های مقابله با بحران آب.

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مدیریت دولتی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران؛

Ebrahim.yousefian55@gmail.com

^۲ استادیار، گروه مدیریت دولتی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران، (نویسنده مسئول)؛ foad.makvandi@iau.ir

^۳ استادیار، گروه مدیریت دولتی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران؛ Jamalmanesharash@gmail.com

^۴ استادیار، گروه مدیریت دولتی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران؛ vahid.chenari@iau.ac.ir

^۵ استادیار، گروه مهندسی آب، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران؛ ali.afrous@gmail.com

مقدمه

بحران آب به عنوان یک مسئله جهانی مطرح شده است. در زمان کمبود آب، منابع آبی محدود می‌شوند و این موضوع می‌تواند باعث ایجاد رقابت و تنش بین کشورها، مناطق و جوامع شود. بحران آب منجر به تنش‌ها و تعارضات متعدد در سطح جهانی، منطقه‌ای و محلی می‌شود. این تنش‌ها شامل موارد روبرو است: اول؛ تنش بین کشورها: کمبود منابع آبی و تقاضای رو به افزایش برای آب، می‌تواند به تنش‌ها و تعارضات بین کشورها منجر شود. در برخی موارد، منابع آبی مشترک بین دو یا چند کشور قرار دارد و این می‌تواند به منازعات و تنش‌های مربوط به تقسیم منابع آبی منجر شود. دوم؛ تنش بین مناطق: مناطق مختلف داخل یک کشور نیز ممکن است با تنش‌های آبی مواجه شوند. مناطق خشک و نیازمند آبی بیشتر ممکن است با مناطق دیگر در تقاضای منابع آبی رقابت کنند و این می‌تواند به تنش‌ها و تعارضات داخلی منجر شود. سوم؛ تنش بین کشاورزی و صنعت: تقاضای بالا برای آب در بخش کشاورزی و صنعت می‌تواند به تنش‌ها و تعارضات بین این دو بخش منجر شود. تقسیم منابع آبی بین این دو بخش می‌تواند به تنش‌ها و تعارضات مربوط به استفاده از آب برای کشاورزی و صنعت منجر شود. چهارم؛ تنش بین محیط‌زیست و توسعه: بحران آب و استفاده بیش از حد از منابع آبی می‌تواند به تنش‌ها و تعارضات بین محیط‌زیست و توسعه انسانی منجر شود. کاهش جریان آب در رودخانه‌ها، خشک شدن دریاچه‌ها و کاهش بیابان‌زایی می‌تواند تأثیرات منفی بر روی محیط‌زیست داشته باشد و منازعات بین حفظ محیط‌زیست و توسعه انسانی را ایجاد کند. پنجم؛ تنش اجتماعی: بحران آب و کمبود منابع آبی می‌تواند به تنش‌ها و تعارضات اجتماعی منجر شود. کمبود آب می‌تواند به تأثیرات جدی بر روی سلامت، تغذیه و امنیت غذایی افراد داشته باشد و منازعات بین افراد و جوامع را ایجاد کند (آراجو و همکاران، ۲۰۱۹). تحقیق درباره تنش‌ها و تعارضات مربوط به بحران آب اهمیت بسیاری دارد. این تحقیقات می‌توانند به شناسایی علل و عوامل تنش‌ها، تحلیل تأثیرات آنها و ارائه راه‌کارهای مناسب برای مدیریت بهینه منابع آبی و کاهش تعارضات کمک کنند. همچنین، این تحقیقات می‌توانند اول؛ شناسایی و پیش‌بینی منازعات: تحقیق درباره منازعات ناشی از بحران آب می‌تواند به ما کمک کند تا عوامل موثر در بروز منازعات را شناسایی کنیم و آنها را پیش‌بینی کنیم. با ارائه تحلیل‌های دقیق و عمیق، می‌توانیم

به شناخت عواملی مانند افزایش جمعیت، تغییرات آب و هوا، نیازهای آبی متفاوت و توزیع ناعادلانه منابع آبی پرداخته و منازعات پیشگیرانه ایجاد کنیم. دوم؛ ارزیابی تأثیرات اجتماعی و اقتصادی: تحقیق درباره منازعات ناشی از بحران آب می‌تواند به ما کمک کند تا تأثیرات اجتماعی و اقتصادی این منازعات را ارزیابی کنیم. این تحقیقات می‌تواند شامل ارزیابی تأثیرات بر روی توسعه اقتصادی، امنیت غذایی، تغذیه و سلامتی، مهاجرت و تحقق توسعه پایدار باشند. سوم؛ توسعه راه‌کارهای صلح آمیز: تحقیق درباره منازعات ناشی از بحران آب می‌تواند به ما کمک کند تا راه‌کارهای صلح آمیز برای حل این منازعات را توسعه دهیم. با بررسی تجربیات موفق و شکست‌های گذشته، می‌توانیم الگوها و راه‌کارهایی را برای جلوگیری از منازعات و ایجاد تعادل منابع آبی پیدا کنیم. چهارم؛ تقویت همکاری و هماهنگی: تحقیق درباره منازعات ناشی از بحران آب می‌تواند به تقویت همکاری و هماهنگی بین کشورها، مناطق و جوامع کمک کند. با تبادل اطلاعات، تجربیات و توافق‌های مشترک، می‌توانیم بهبودهای لازم را در مدیریت منابع آبی و پیشگیری از منازعات ایجاد کنیم. پنجم؛ حفظ صلح و استقرار امنیت: تحقیق درباره منازعات ناشی از بحران آب می‌تواند به حفظ صلح و استقرار امنیت کمک کند. با توجه به اهمیت استفاده مشترک از منابع آبی و تبادل منافع مشترک، می‌توانیم راه‌کارهایی برای حل صلح آمیز منازعات پیدا کنیم و تحقق استقرار امنیت را ترویج دهیم (خلیلی و احمدلو، ۱۳۹۳).

با توجه به مقدمه ارائه‌شده هدف از این تحقیق تحلیل سیاست‌ها، قوانین و شیوه‌های مدیریت بحران منابع آبی در کشور است که از جنبه اطلاعاتی اسناد بالادستی و نظرات خبرگان این حوزه برگرفته خواهد شد. مرور بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد عمده این مطالعات به بررسی موضوع به لحاظ کیفی و مروری پرداخته‌اند و یا موضوع را از جنبه‌های مدیریتی مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند. بنابراین با در نظر داشت اهمیت آب در کشور و ضرورت اتخاذ تدابیر پیشگیرانه از بحران آب در کشور، یک خلا مطالعاتی در حوزه بررسی موضوع از جنبه سیاست‌گذاری و ارزیابی سیاست‌های مقابله با بحران قابل شناسایی است 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 خلا مطالعاتی نیز مدنظر قرار گیرد تا از این طریق بتوان دید بهتری برای سیاست‌گذاران حوزه بحران آب در کشور فراهم شود. استفاد از روش پویایی سیستم مزایای بسیاری برای این موضوع دارد. اول؛ روش پویایی سیستم کمک می‌کند تا به طور جامع و جزئی به فهم عمیق‌تری از روابط و تعاملات بین عناصر مختلف یک سیستم (سیستم آب کشور) با در نظر تمامی

بخش‌ها پرداخته شود. این روش این امکان را فراهم می‌کند تا عوامل متعدد و پیچیده را که در مدیریت بحران آب در ایران نقش دارند، شناسایی و تأثیر آنها را درک کنیم. دوم؛ با استفاده از روش پویایی سیستم، می‌توانیم مدل‌های شبیه‌سازی را برای تحلیل تغییرات مختلف در سیاست‌های مقابله با بحران آب ساخته و اثرات آنها را پیش‌بینی کنیم. این امر به ما کمک می‌کند تا بهبود مدیریت بحران آب و انتخاب سیاست‌های مناسب‌تر داشته باشیم. سوم؛ روش پویایی سیستم به ما امکان می‌دهد تا سیاست‌های مختلف مقابله با بحران آب را ارزیابی کنیم و نتایج آنها را بررسی کنیم. با استفاده از این روش، می‌توانیم تأثیر هر سیاست بر عملکرد سیستم را به صورت کمی و کیفی بسنجیم و بهبودهای لازم را در مدیریت بحران آب ایجاد کنیم. چهارم؛ روش پویایی سیستم به ما امکان می‌دهد تا همکاری و هماهنگی بین نهادها و افراد مختلف را در مدیریت بحران آب ارتقا دهیم. این روش به ما کمک می‌کند تا با تأکید بر تعاملات و ارتباطات بین عوامل مختلف، راه‌کارهای مناسب‌تری برای مدیریت بحران آب پیدا کنیم. به طور کلی، استفاده از روش پویایی سیستم در تحقیق درباره مدل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران، به ما کمک می‌کند تا بهبودهای لازم را در مدیریت بحران آب داشته باشیم و راه‌کارهای مناسب‌تری را برای حفظ منابع آبی و کاهش بحران آب پیدا کنیم. لازم به توضیح است با توجه به اهمیت پیشگیری از بحران آب در کشور، وجود مطالعات در این حوزه از ارزش مطالعات آتی نخواهد کاست و این مطالعات در نهایت موجب بررسی جامع موضوع و کمک به هم‌افزایی در حوزه تدوین راه‌کارهای موثر خواهد شد.

با توجه به مقدمه فوق، 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.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

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 به عنوان حقی انسانی به رسمیت شناخته است (گوپتا و دیگران، ۲۰۱۰). بر پایه گزارش این سازمان تا سال ۲۰۳۰، تنها ۶۰ درصد مردم جهان به آب سالم دسترسی خواهند داشت (یونسکو، ۲۰۱۵). این پیش‌بینی مبتنی بر افزایش 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، ۲۰۱۷). پیش‌بینی می‌شود مصرف آب تا سال ۲۰۵۰، در بخش ساخت‌وساز و صنعت تا ۴۰ درصد و در بخش خانگی و داخلی تا ۱۳۰ درصد افزایش یابد (مونتفورد، 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 به مراتب دشوارتری قرار دارد. لازم به ذکر است صرف متوسط بارش به تنهایی 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 و بسیاری از عوامل دیگر نقش غیرقابل‌انکاری در کاهش سطح منابع آبی کشور داشته‌اند (مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۶). این مسئله به خوبی در آمار ارائه شده توسط وزارت نیرو نیز مشخص است؛ به عنوان 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

^۱Gupta et al

^۲UNESCO

^۳Fao

^۴Mountford

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 به صورت خاموش هستند و هنگامی که به صورت 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 مدت‌زمانی 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 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 بیاید 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.

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 بازمی‌گردد، 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 اظهار نظر 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 قابل‌توجهی 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 سفره‌های 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 شکل‌گیری این وضعیت دارد. آب‌های زیرزمینی برای همه مصرف‌کنندگان رایگان بوده و هزینه‌های برای آبیاری پرداخت نمی‌کنند. همچنین، یارانه‌های دولتی قیمت‌های 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 فرارگیری در کمربند خشک و نیمه‌خشک، منابع آبی و نزولات جوی اندکی دارد. این مسئله با توجه به رشد جمعیت و توسعه کشاورزی، شرب و صنعت باید با مدیریت منابع آب و با استفاده روش‌های 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 می‌آید که مشکلات ناشی از وقوع بحران آب و ابعاد مختلف آن، نظر مدیران و مسئولین سطوح و دستگاه‌های مختلف را به خود جلب کرده است و نزدیک دو دهه است که تبدیل به مسئله‌ای مهم برای مردم و سیاست‌مداران شده است. ولیکن دولت در قبال این موضوع مهم‌ترین نقش را در ایران دارد که باید سیاست‌گذاری مناسبی در جهت مدیریت آب انجام دهد. اما در حال حاضر به بحران آب به عنوان یکی از اولویت‌های اصلی کشور توجه کافی نمی‌شود و نبود برنامه مدون و کارکرد بخشی سازمان‌های 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 برنامه‌ریزی صحیح جهت مقابله با آن کمک خواهد کرد. به دلیل گسترده بودن بخش آب و طیف وسیع‌تر آن بر سایر بخش‌های زیربنایی، اقتصادی و تولیدی کشور، بررسی سیاست‌گذاری‌ها، قوانین و تصمیمات مدیریتی و همچنین شناخت روندهای موجود در این بخش، امری مهم و ضروری می‌باشد. همچنین به علت تکرر 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 سیاست‌گذار و اجرایی تقسیم می‌شوند. نهادها یکی از عوامل عدم مقابله با بحران آب در کشور هستند. نهادهای سیاست‌گذار در زمینه منابع آب در کشور ما هنوز نتوانسته‌اند به سیاست‌های منسجم و مشخص در زمینه درک بحران آب و چاره‌جویی اصولی بحران دست یابند. در بخش نهادهای اجرایی نیز هر نهاد مرتبط با آب در کشور بدون توجه به بحران آب و تبعات اجرای سیاست‌های بخشی بر منابع آب، سعی در تأمین آب بیشتر در راستای اهداف سازمانی دارد. نبود سیاست‌های

منسجم و کارشناسی برای مواجهه با بحران آب و اجرای سیاست‌های بخشی بدون توجه کافی به کمبود منابع آب باعث شده که سیاست‌های توسعه‌ای کشور بر منابع آب فشار زیادی وارد کرده و چالش‌های 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 می‌تواند ضمن تاکید بر اهمیت این چالش، از طریق تحلیل سیاست‌های 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 شکل‌گیری بحران می‌تواند موجب به‌کارگیری اقدامات موثر در این حوزه از قبیل تغییرات بنیادین از طریق اصلاحات قانونی، اتخاذ برنامه‌های موثر و ایجاد ساختارهای کارآمد شود و در نهایت مدیریت بخش آب در کشور را بهبود بخشد.

جدول ۱- راه‌کارها، سیاست‌ها و اقدامات در راستای مقابله با بحران آب

سیاست‌ها و اقدامات پیشنهادی	مطالعه
تدوین الگوی سنجش تاب‌آوری در مدیریت بحران آب در کلان‌شهرها	بشیری و همکاران (۱۴۰۰)
در نظر گرفتن آمایش سرزمین در احداث کارخانه‌های جدید صنایع آب بر، استفاده از آب‌های نامتعارف در مصارف غیرشرب شهری، تاکید بر مشارکت تمام دستگاه‌ها برای برخورد با چاه‌های غیرمجاز و اضافه برداشت از چاه‌های 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 به‌کارگیری فناوری با آب بری کمتر به‌منظور مدیریت وضعیت بحرانی کمبود آب در کشور	احمدی (۱۴۰۰)
سیاست‌گذاری 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 ^۱ (۲۰۲۰)
خصوصی سازی بخش آب	گوپتا ^۲ (۲۰۲۰)
قیمت‌گذاری مناسب که استفاده منطقی از آب مبتنی بر کمبود آن را تشویق می‌کند و به نوبه خود باعث افزایش درآمد و سرمایه‌گذاری در سایر استراتژی‌های مدیریت آب می‌شود.	آراوج و همکاران ^۳ (۲۰۱۹)
تدوین طرح مدیریت منابع آب همراه با یک مدل اقتصادی برای ارزیابی امکان‌سنجی اقتصادی سناریوهای مدیریتی	اسلامیان و دالزس ^۴ (۲۰۱۸)
تغییر و جابجایی از دولت (که بازیگران دولتی تجویز و شرکتها، 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 ^۵ (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:

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.

نقض حقوق محیط‌زیست: انتقاد دیگری که مطرح می‌شود، نقض حقوق محیط‌زیست در سیاست‌های آبی ایران است. در برخی موارد، تصمیمات سیاسی ممکن است به نقض حقوق محیط‌زیست و تخریب منابع آبی منجر شود.

^۱Muñoz et al

^۲Gupta

^۳Araujo et al

^۴Eslamian & Dalezios

^۵Yazdanpanah

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.

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.

با توجه به موارد فوق، حال این سوال مطرح می‌شود که نقش سیاست‌های مقابله با بحران آب در شکل‌گیری وضعیت کنونی چیست و چرا به نتیجه مطلوب نرسیده است. براین اساس، در مطالعه حاضر، سعی خواهد شد نقش سیاست‌های مقابله با بحران آب و سایر عوامل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا علاوه بر بهره‌گیری از آمار و اطلاعات موجود، در خصوص برخی مؤلفه‌ها و شاخص‌ها از نظرات خبرگان این حوزه نیز بهره گرفته خواهد شد.

روش‌شناسی پژوهش

همان‌طور که در فصول قبلی اشاره شد، هدف از این مطالعه تدوین مدل جامع مدیریت منابع سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران است تا از طریق آن بتوان به ارزیابی سیاست‌ها و راه‌کارهای ارائه‌شده پرداخت. در ادامه مراحل تدوین مدل تبیین خواهد شد. تعیین مرز مدل و متغیرهای آن از جمله اصلی‌ترین مراحل مدل‌سازی پویا می‌باشد؛ زیرا اگر مرز مدل بزرگ در نظر گرفته شود، متغیرهای مختلف و شاید کم‌اهمیتی در آن قرار گیرد و تنها مدل را پیچیده نماید (استرمن، ۲۰۰۰). با توجه به محدوده مطالعه حاضر در بخش سیاست‌های 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 بخش‌ها نظیر مصارف صنعتی وارد نمی‌شود و این بخش‌ها صرفاً برای یکپارچگی بیشتر مدل و درک بازخوردهای صحیح این بخش در مدل وارد می‌شوند. لازم به ذکر است مدل به گونه‌ای طراحی شده که در تحقیقات آتی، محققان بتوانند مدل را تکمیل و دیگر بخش‌ها را به آن اضافه کنند؛ بنابراین بخش‌های مربوط به آب در کشور که مرتبط با راه‌کارها، سناریوها و برنامه‌های گوناگون در این بخش می‌باشد به‌واقع تعیین‌کننده‌های اصلی مرز سیستم

هستند. در راستای تعیین مرز سیستم باید متغیرهای فرعی (متغیرهای اثرگذار بر متغیرهای اصلی) شناسایی شوند. به‌عنوان مثال عوامل مؤثر بر برداشت آب نظیر الگوی رشد جمعیت و غیره تحت عنوان متغیرهای فرعی مسئله محسوب می‌شوند و بر این اساس مرز سیستم شامل تمامی متغیرهای درون‌زا و برون‌زایی خواهد بود که بر این بحران تأثیر گذاشته و از آن‌ها تأثیر می‌گیرد. چارچوب کلی مدل مفهومی این تحقیق شامل شش زیرسیستم عرضه و تقاضای آب، اجتماعی شامل جمعیت و تأمین غذا، زیست‌محیطی شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی، پساب‌های بخش‌های مختلف و آب‌های برگشتی، منابع آبی تجدیدپذیر 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 می‌گیرند و هم بر سیستم اثر گذاشته و هم از آن تأثیر می‌پذیرند؛ اما متغیرهای برون‌زا متغیرهایی هستند که در بیرون از مرز سیستم قرار دارند و بر سیستم اثرگذارند اما از سیستم اثر نمی‌پذیرند. این متغیرها در بخش‌های بعدی به تفکیک زیرسیستم‌ها تشریح می‌شوند. 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 حالت‌ها که انباشتگی‌های سیستم نامیده می‌شوند وضعیت سیستم را نشان می‌دهند و تصمیمات و فعالیت‌های سیستم حول آن‌ها شکل می‌گیرد. جریان‌ها هم نرخ‌های تغییر و فرآیندهایی را نشان می‌دهند که متغیر حالت را کم‌وزیاد می‌کنند. می‌توان گفت در یک سیستم، بر اساس متغیر حالت، تصمیمات اتخاذ شده و با تغییر متغیرهای جریان اعمال می‌شود. در این مطالعه از محیط نرم‌افزار ونسیم برای ترسیم ساختار حالت و جریان مدل و تدوین مدل پویا استفاده شده است. این نرم‌افزار قابلیت شبیه‌سازی دارد و روابط بین اجزای گوناگون سیستم را برقرار می‌کند. این نرم‌افزار امکان ترسیم مدل‌های پیچیده را با سهولت بیشتری در مقایسه با زبانهای برنامه‌نویسی متداول فراهم می‌کند (نظری، ۱۳۹۲). کاربرد این نرم‌افزار در نظامنامه تخصیص آب وزارت نیرو هم مورد اشاره قرار گرفته است. با تدوین فرضیه‌های پویا، بر اساس این فرضیات و الهامات از نظریه‌های معتبر در مبانی نظری مدیریت منابع آب، روابط بین متغیرهای هر زیرسیستم با یکدیگر و همچنین با سایر زیرسیستم‌ها در قالب نمودارهای علی شامل حلقه‌ها، بازخوردهای مثبت و منفی شناسایی شد. سپس به‌منظور 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، به‌صورت ریاضی تدوین شدند. جمع‌آوری داده‌های 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 می‌گذارد. نرخ رشد جمعیت سالانه با استفاده از داده‌های سری زمانی (۲۰۱۱ - ۲۰۱۶) بر اساس معادله (۱) ۰,۰۱ محاسبه شده است و تابع جمعیت مبتنی بر معادله (۲) است.

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

$$P(t) = \int_{t_0}^t r \times P(t) dt, P(t_0) = ۴,۷۶ \times ۱۰^۶ \quad \text{رابطه (۲)}$$

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 می‌شود. از سوی دیگر، تبخیر و تعرق (WEV)، حجم ورودی سد (WID)، مصرف آب سطحی (WSC) به دلیل تقاضای کلی آب، نیاز زیست‌محیطی (WEN) و نفوذ در خاک (WIS) خاک به عنوان نرخ‌های کاهش منابع آب سطحی موجود در نظر گرفته شده‌اند. رابطه مربوط به منابع آب سطحی را نشان می‌دهد:

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

مجموع بارش نیز بر اساس رابطه (۴) به دست آمده است. در این رابطه P مجموع بارش در حوضه است. \bar{P} نشان‌دهنده تقسیم‌بندی حوضه است، P_i مقدار بارش در ایستگاه i است و A_i مساحت ایستگاه i را با توجه به معادله نشان می‌دهد.

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

همچنین حجم کل سالانه منابع آب سد بر اساس تعادل هیدرولوژیکی با توجه به معادله (۵) نشان داده شده است. در این رابطه ΔS_D مجموع حجم آب سالانه ۶ سد اصلی است، I_{Di} و O_{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 می‌یابد و با نرخ مصرف آب زیرزمینی (WGC) به دلیل تقاضا برای آب زیرزمینی و حجمی که به‌طور غیرقابل کنترل (WIG) در معادله است، کاهش می‌یابد. این رابطه به‌صورت 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. به‌جز صنایع، تأمین آب از طریق تجمع منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود و امنیت آب WS تفاوت بین عرضه و تقاضا آب در نظر گرفته شده است روابط (۷)، (۸) و (۹). روابط مذکور به‌صورت زیر فرموله می‌شوند:

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

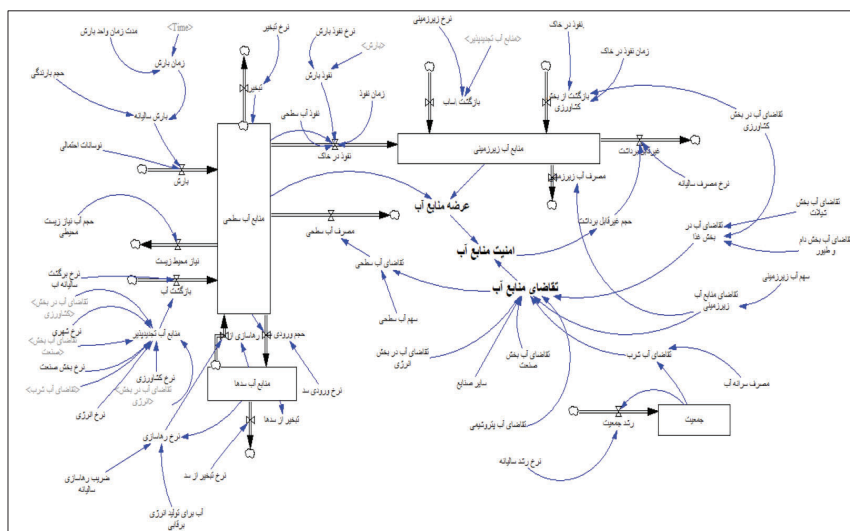
$$W_{Demand} = GWR + SWR \quad \text{رابطه (۸)}$$

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

در محیط نرم‌افزار ونسیم با استفاده از روابط علی و معمولی و با فرموله کردن روابط میان متغیرهای مدل در دوره مورد مطالعه در چندین بخش مدل شبیه‌سازی 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 برنامه‌نویسی Vensim می‌توان صحت ساختار مدل

را کنترل کرد. به عبارت دیگر می‌توان بررسی نمود مدل نوشته شده از لحاظ ابعادی و هم‌خوانی واحدها درست باشد. مدل تهیه شده فوق نیز که در این محیط نوشته شده است توسط این برنامه آزمون گردید. مدل طراحی شده در این مطالعه منطبق با چرخه هیدرولوژیکی آب و در راستای نمایش مؤثر امنیت منابع آبی در کشور طراحی شده است.

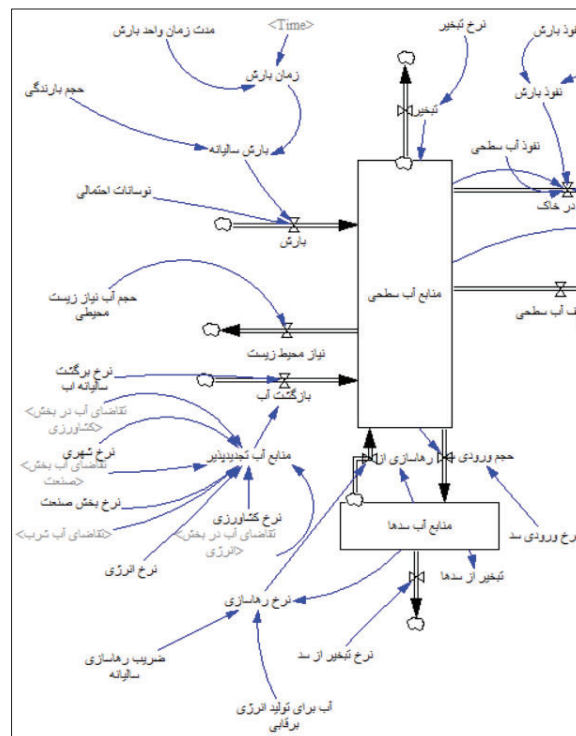
شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق



ماخذ: یافته‌های تحقیق

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

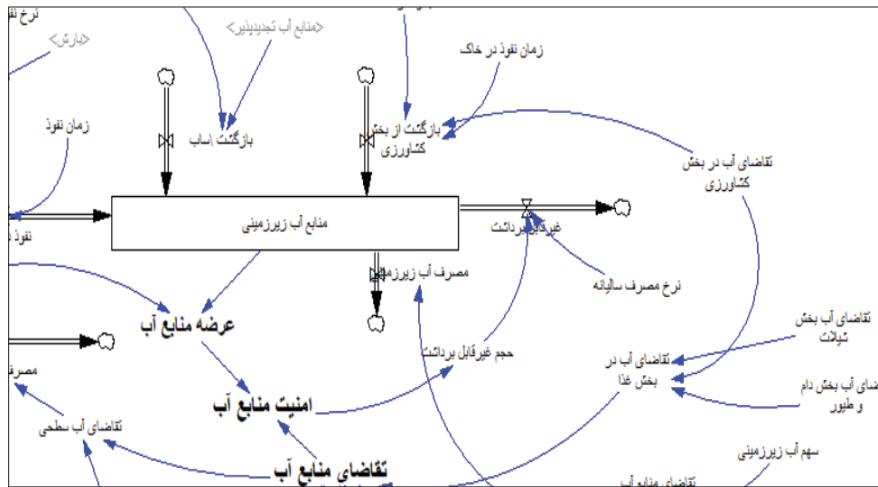
شکل ۲- متغیر انباره منابع آبی سطحی تحقیق



ماخذ: یافته‌های تحقیق

منابع آب زیرزمینی دیگر متغیر انباشت می‌باشد 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 غیرقابل برداشت کاهش می‌یابد.

شکل ۳- متغیر انباره منابع آبی زیرزمینی تحقیق



جدول ۲- 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
عرضه منابع آب	منابع آب زیرزمینی + منابع آب سطحی	بارش	بارش سالیانه * نوسانات احتمالی
آب غیرقابل برداشت	حجم غیرقابل برداشت * نرخ مصرف سالیانه	بارش سالیانه	حجم بارندگی * زمان بارش
منابع آب تجدید پذیر	(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)	بازگشت پس آب	منابع آب تجدید پذیر * نرخ زیرزمینی
منابع آب زیرزمینی	INTEGER (بازگشت از بخش کشاورزی + پساب + نفوذ در خاک - غیرقابل برداشت - مصرف آب زیرزمینی)	باز یافت آب	منابع آب تجدید پذیر * نرخ زیرزمینی
منابع آب سدها	INTEGER (حجم ورودی سد - تبخیر از سدها - منابع آب سدها)	بازگشت آب از بخش کشاورزی	(تقاضای آب در بخش کشاورزی * "نفوذ در خاک" * ۰,۰۶ * زمان نفوذ در خاک) SMOOTH
منابع آب سطحی	INTEGER (بارش + رهاسازی از سد + بازگشت آب - حجم ورودی سد - نیاز محیط زیست - نفوذ در خاک - تبخیر - مصرف آب سطحی)	تبخیر از سدها	منابع آب سدها * نرخ تبخیر از سد

نرخ رهاسازی	IF THEN ELSE (منابع آب سدها) = آب برای تولید انرژی برقایی، (منابع آب سدها- آب برای تولید انرژی برقایی) / منابع آب سدها، ۰) * ضرب رهاسازی سالیانه	تقاضای آب در بخش غذا	تقاضای آب بخش شیلات+تقاضای آب بخش دام و طیور+تقاضای آب در بخش کشاورزی
نفوذ بارش	بارش * نرخ نفوذ بارش	تقاضای آب سطحی	تقاضای منابع آب+ سهم آب سطحی
نفوذ در خاک	SMOOTH (منابع آب سطحی * نفوذ آب سطحی + نفوذ بارش، زمان نفوذ)	تقاضای آب شرب	مصرف آب/جمعیت
امنیت منابع آبی	عرضه منابع آب- تقاضای منابع آب	تقاضای منابع آب	تقاضای آب بخش صنعت+تقاضای آب در بخش انرژی+تقاضای آب در بخش غذا+تقاضای آب شرب+تقاضای آب پتروشیمی+تقاضای منابع آب
تبخیر	نرخ تبخیر * منابع آب سطحی		

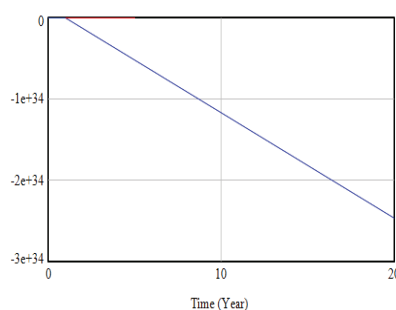
ماخذ: یافته‌های تحقیق

یافته‌های پژوهش

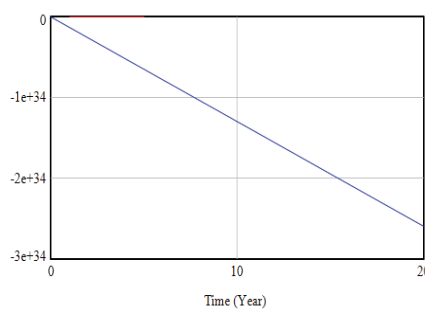
رفتار متغیرهای مدل در افق شبیه‌سازی شده ۲۰ ساله (۱۳۹۶-۱۴۱۶)

با پشت سر گذاشتن موفقیت‌آمیز اعتبار سنجی، شبیه‌سازی 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.

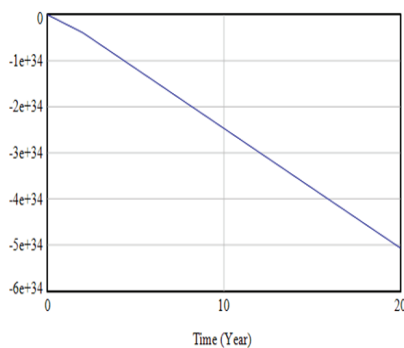
نمودار ۲- پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی در ایران (مترمکعب)



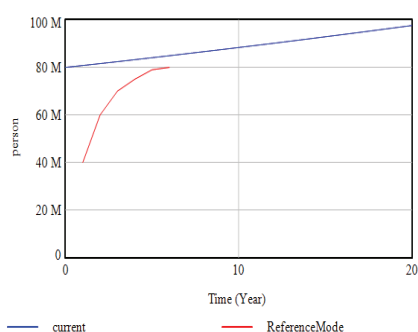
نمودار ۱- پیش‌بینی وضعیت منابع آب سطحی در ایران (مترمکعب)



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 مورد بررسی روند به شدت نزولی را طی می‌کند. 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 به صورت سالانه در ایران (۲۵۲ میلی‌متر) به صورت باران و مابقی به صورت 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 به صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود و حدود ۱۳ میلیارد مترمکعب از طریق رودخانه‌های مرزی به ایران وارد می‌شود، کل حجم آب تجدید پذیر (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 تجدید پذیر 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. به طوری که

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 مورد بررسی قرار می‌گیرد. 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 ۳- 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 وجود پتانسیل پروانه داده شود	ترغیب مردم به تخلف

ماخذ: 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 به‌موازات موضوع برنامه‌ریزی و مدیریت ناکارآمد، نیز نقش و آثار مهمی در دامن زدن به ابعاد بحران آب در کشور داشته‌اند.

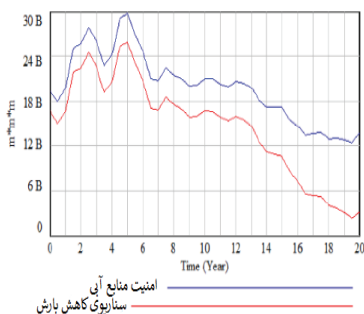
همان‌گونه که جدول (۴) نشان می‌دهد، نخستین قانونی که به‌طور خاص و نسبتاً جامع به مسائل مربوط به بخش آب می‌پرداخت، قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب ۱۳۴۷ است. قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱ نیز بعد از این به‌عنوان قانون جامع مرتبط با منابع آب مطرح و قانون پیشین از درجه اعتبار خارج گردید. بعد از سال ۱۳۶۱ 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 ماده‌واحد 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 تعرفه گذاری 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 درحالی‌که 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.

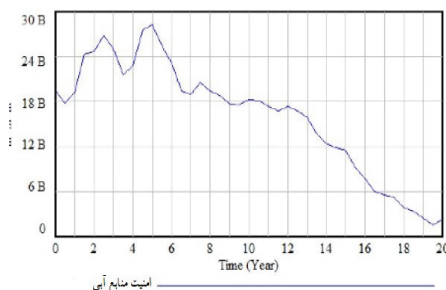
در بخش سیاست مدیریت عرضه منابع آب بر مدیریت عرضه منابع آب متمرکز شده است و در تلاش است منابع آب در دسترس را افزایش دهند. به عنوان مثال با کاهش ظرفیت توسعه نیروگاه برقابی، حجم آب ذخیره شده در پشت سدهای منطقه کاهش یافته و سبب افزایش منابع آب در دسترس می گردد. در بخش سیاست مدیریت تقاضای منابع آب بر مدیریت تقاضای منابع آب تمرکز شده است. به عنوان مثال بزرگترین متقاضی آب بخش کشاورزی است و این دسته راهکار متمرکز بر افزایش راندمان آبیاری به واسطه توسعه فناوری سیستم آبیاری و زهکشی و نیز اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی مدنظر قرار گرفته است. لذا با توجه به دو سیاست فوق الذکر، در ادامه به سناریوهای پیش بینی شده و پیامدهای آن بر اساس مدل طراحی شده پرداخته می شود

با توجه به مدل طراحی شده در این تحقیق، ذخایر آبی کشور در افق ۲۰ ساله مورد پیش بینی قرار گرفته است که نتایج آن در نمودار (۵) قابل مشاهده است.

نمودار ۶- سناریوی کاهش میزان بارش در ۲۰ سال آینده و وضعیت امنیت غذایی



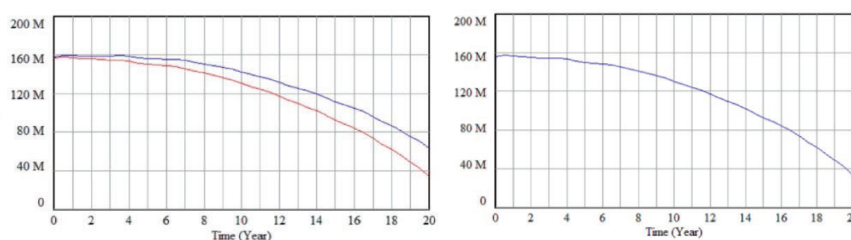
نمودار ۵- پیش بینی ذخایر آبی طی ۲۰ سال آینده (خروجی نرم افزار ونسیم)



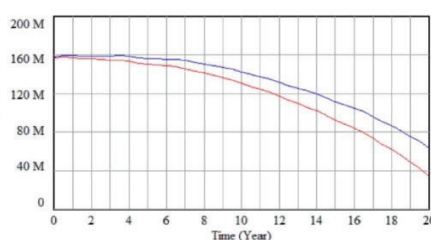
بر اساس سناریوی فوق در صورتی که حجم بارش روند نزولی داشته باشد، امنیت منابع آبی در کشور به صورت نمودار (۸) قابل نمایش است. همان گونه که نمودار نشان می دهد در صورتی که سناریوی کاهش بارش در مدل تحقیق

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.

نمودار ۷- راندمان بخش آب در کشور



نمودار ۸- پیش‌بینی راندمان بخش آب در کشور



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

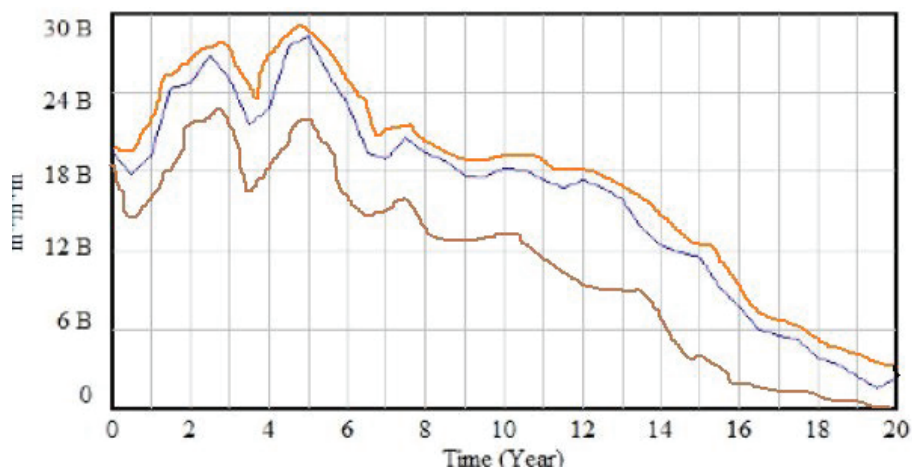
همان‌گونه که نمودار (۱۰) نشان می‌دهد، با توجه به پیش‌بینی راندمان آب در کشور، در صورتی که مصرف آب در بخش‌های مختلف به‌ویژه بخش کشاورزی با همین راندمان افزایش پیدا کند، راندمان آب در افق ۲۰ ساله به‌صورت نمودار فوق قابل پیش‌بینی است. بر اساس نمودار، راندمان آب با افزایش مصرف در بخش کشاورزی، به شکلی قابل 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.

بر اساس پیش‌بینی انجام‌شده 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.

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

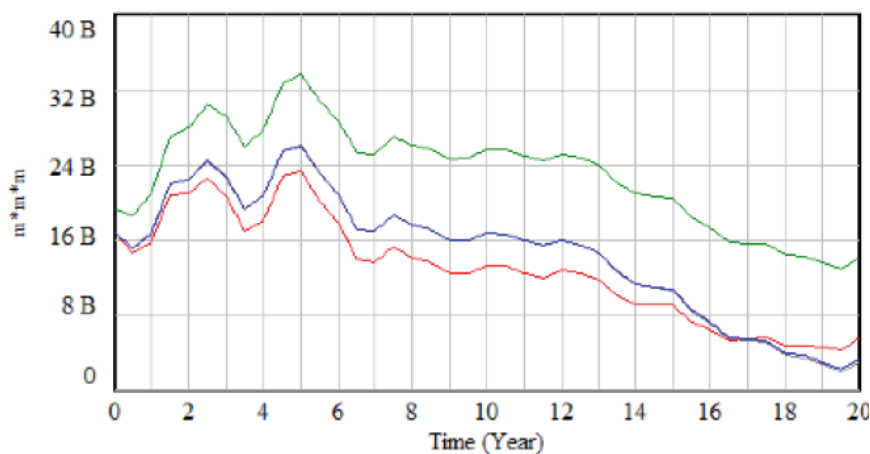


ماخذ: یافته‌های تحقیق ** لازم به توضیح است مقادیر دو سناریوی در نظر گرفته شده مربوط به نمودار بالایی و پایینی است. در نمودار بالایی کاهش جمعیت و نمودار پایینی افزایش جمعیت مدنظر قرار گرفته است.

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. 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. افزایش نرخ بازگشت آب از بخش‌های مختلف می‌تواند به‌عنوان یکی از

عوامل کاهش دهنده و تسکین دهنده 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 ۱۰- بررسی تأثیر بهبود نرخ بازگشت آب از بخش‌های مختلف بر امنیت منابع آبی



ماخذ: یافته‌های تحقیق** نمودار بالایی (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
 با توجه به موارد مذکور و نتایج به‌دست‌آمده این نکته قابل‌ذکر است که در خصوص سیاست‌های مقابله با بحران آب هر سیاستی از طرق اجزای ثابت مدل این تحقیق قابل‌اعمال در مدل و قابل‌بررسی است بنابراین سیاست‌های اعمال‌شده از سوی دولت یا طرف عرضه آب را تغییر می‌دهد یا طرف تقاضای آب را؛ بنابراین بایستی به‌منظور 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 طراحی‌شده، چالش‌های فعلی مقابله با بحران آب و پیامدهای آن به شرح جدول زیر خلاصه‌شده است:

جدول ۴- چالش‌های فعلی منابع آبی در ایران و تاثیر آن بواسطه بُعد عرضه و تقاضا در مدل

طرف تقاضا	طرف عرضه	چالش‌های فعلی
	■	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 خشک‌سالی
	■	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 بارانه‌ای 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

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

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 محیط‌زیست، اقتصاد و جامعه دارد و برای مقابله با آن نیاز به سیاست‌های

مؤثری داریم. تحلیل سیاست‌های مقابله با بحران آب در ایران از اهمیت بسیاری برخوردار است (العمری، ۲۰۲۰). این تحلیل نیازمند بررسی و تحلیل عوامل اصلی مؤثر 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 مؤثر 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.

منابع و مأخذ

- 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
- بشیری، سعید، بیات، بهرام، جمشیدی، شروین، صالح زاده، رضا (۱۴۰۰). تبیین ابعاد و مولفه‌های تاب‌آوری در مدیریت بحران آب (مورد مطالعه: شهر تهران). مطالعات بین رشته‌ای دانش راهبردی، پاییز ۱۴۰۰ - شماره ۴۴ علمی-پژوهشی/ISC (۳۶ صفحه - از ۶۱ تا ۹۶)

خدایی، مصطفی، میرفخرایی، سیدحسین (۱۴۰۰). بحران آب و چارچوب‌های حقوقی نوین منطقه‌ای و بین‌المللی. پژوهش نامه ایرانی سیاست بین الملل « بهار و تابستان ۱۴۰۰ - شماره ۱۸ علمی-پژوهشی/ISC (۲۷ صفحه - از ۳۰۷ تا ۳۳۳) (

خلیلی، عبدالرضا، احمدلو، اشرف (۱۳۹۳). بررسی وضعیت بحران آب در ایران و جهان. دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط‌زیست)، شهرکرد.

دهشیری، محمدرضا، افشار، ماهرخ (۱۳۹۸). بحران آب در خاورمیانه (نوع مقاله: پژوهشی)، راهبرد سیاسی « زمستان ۱۳۹۸ - شماره ۱۱ (۱۹ صفحه - از ۹۹ تا ۱۱۷) (

سازمان هواشناسی کشور «بولتن پیش‌بینی فصلی»، ۱۴۰۰.

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 (۲۸ 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)، آسیب شناسی 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.

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*

Mountford, J. (2020). Wetland Assessment Methods: Biological Assessment. 10.1007/978-90-481-9659-3_287.

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

Sterman, 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

Presenting a model for the analysis of policies to deal with the water crisis in Iran

Ebrahim Yousefian^۱, Foad Makvandi^۲, Arash Jamalmanesh^۳, Vahid Chenari^۴ and Ali Afrous^۵

Abstract

This research has provided a model for analyzing policies to deal with the water crisis in Iran with regard to climate and population changes in a twenty-year horizon with a system dynamics approach. model was designed according to the hydrological cycle of water and the effective representation of the security of water resources in the country with Vansim software. Surface water sources, underground water, dam water and population are considered as accumulation variables of model. The required statistics were extracted from the Iranian Statistics Center, the Ministry of Energy and the Ministry of Agricultural Jihad for 2017-2037. Based on the research model, the state of water resources in the country shows a downward trend during the mentioned time horizon. various policies regarding dealing with the water crisis and its impact on the security of country's water resources were examined using the designed model. dimensions of the model were changed under 5 scenarios and its effect on the security of water resources was investigated. 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, low water productivity in different sectors, population increase and water return from different sectors. These scenarios change the security of water resources according to their nature. At the end, the conceptual model of analysis of policies to deal with the water crisis is presented and practical suggestions were adopted by integrating water supply and demand management to deal with this crisis.

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

Ph.D. Student, Department of Public Administration, Shushtar Branch, Islamic Azad University, Shushtar, Iran. Email Address: Ebrahim.yousefian55@gmail.com.

Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Public Administration, Shushtar Branch, Islamic Azad University, Shushtar, Iran. Email Address: foad.makvandi@iau.ir.

Assistant Professor, Department of Public Administration, Shushtar Branch, Islamic Azad University, Shushtar, Iran. Email Address: Jamalmanesharash@gmail.com.

Assistant Professor, Department of Public Administration, Shushtar Branch, Islamic Azad University, Shushtar, Iran. Email Address: vahid.chenari@iau.ac.ir.

Assistant Professor, Department of Water Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran. Email Address: ali.afrous@gmail.com.