



بحران کم آبی و کنترل منابع آبی کشور

علیرضا جباری^۱، مریم شریفی لاری^۲، مریم ناصرپناه تیرگانی^۳

^۱ دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه Eng.AlirezaJabbari@Gmail

^۲ دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه Eng.SharifilariMaryam@Gmail

^۳ دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه Eng.M_Nasserpanah@Yahoo

چکیده

مدیریت منابع آب همواره نقش کلیدی در تمدن ایرانیان ایفا کرده است. بر همین اساس، برنامه ریزی و مدیریت منابع آب باتوجه به ساختارهای سیاسی و اقتصادی در کشور از پیشینه تاریخی بلندمدت برخوردار می باشد. در چهار دهه اخیر، تکنیک های تحلیل سیستم ها در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب مورد توجه محققان مهندسی منابع آب قرار گرفته است. در این پروژه، هدف، کنترل منابع آبی کشور از منظر دینامیک سیستم ها می باشد. در گزارش اول این پروژه با به کارگیری علم دینامیک سیستم ها، متغیرهای سیستم و سپس مدل و ساختار سیستم توسط حلقه های علی تعیین گردیده است.

برای تحلیل یک سیستم، در ابتدا نیاز است که مدلی از سیستم را که بیانگر متغیرهای سیستم و روابط بین آنها می باشد، معرفی گردد. علم دینامیک سیستم ها، یک ابزار مدیریتی می باشد که قادر به مدلسازی سیستم های پیچیده می باشد. به کمک این روش می توان ارتباط بین عناصر مختلف سیستم را به صورت روابط علت و معلولی درآورد و نیز امکان مدیریت پارامترها و ساختارهایی که برای بهبود رفتار نیاز به تغییر دارند، میسر می شود. براساس نظریه سیستماتیک و فرضیه مدل سازی ذهنی در نرم افزار ونسیم و همچنین روابط ریاضی در نرم افزار ونسیم داده شده و نتایج حاصل شده است.

ایران با مساحتی در حدود ۱/۶۴۵/۱۹۵ کیلومتر مربع در بین دریاهای خزر، عمان و خلیج فارس در محدوده خشک و نیمه خشک از خاورمیانه واقع گردیده است. بیش از نیمی از مساحت ایران را بیابان ها تشکیل می دهند و مابقی آن به صورت جنگل ها، مراتع و سطح زیر کشت می باشد. باتوجه به مطالعات تاریخی در کشور، در هر محدوده ای که کشاورزان نیاز به آبیاری برای کشت داشته اند، مدیریت سیستم های منابع آب مطرح شده است و بر همین اساس همواره نظارت و کنترل بر بهره برداری از منابع اصلی مانند رودخانه ها برعهده دولت مرکزی و منابع کوچکتر برعهده سیاستگذاران و یا مسئولین محلی بوده است. سیستم های طبیعی و اجتماعی دارای سطح بالایی از پیچیدگی هستند و زمانی که این دو ترکیب شوند، میزان این پیچیدگی به طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. به دلیل ماهیت خاص سیاسی و با ارزشی که آب در شرایط فعلی پیدا کرده، عوامل موثر زیادی هستند که بر این جریان تأثیر می گذارند.

تأمین کسری آب، مشکل رفع آلودگی آب، مشکل کمبود بارش و منابع آبی در کشور مسئله پیچیده علمی است و کنترل و مدیریت آن نیازمند به کارگیری سیاست های مناسب است. نتایج شبیه سازی مدل نشان می دهد که با گذر زمان میزان عرضه آب کاهش یافته و این دلیلی بر کمبود منابع آب خواهد بود.

واژه های کلیدی: شبیه سازی، سیستم، مدلسازی، بحران کم آبی، کنترل منابع آبی



۱. مقدمه

بحران آب در ایران سلسله چالش‌ها و مشکلات ناشی از کمبود آب و استفاده نادرست از منابع آب در کشور ایران است. ایران هم‌اکنون در حال تجربه مشکلات جدی آب است. خشک‌سالی‌های مکرر توأم با برداشت بیش از حد آب‌های سطحی و زیرزمینی از طریق شبکه بزرگی از زیرساخت‌های هیدرولیکی و چاه‌های عمیق، وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده‌است. از نشانه‌های این وضعیت خشک‌شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، تخریب کیفیت آب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و طوفان‌های گرد و غبار بیشتر است. در اوت ۲۰۱۹ برابر با مرداد ۱۳۹۸ طبق جدیدترین برآورد «مؤسسه منابع جهان» در «اطلس خطرات آبی» ایران در رده چهارم بعد از قطر، اسرائیل و لبنان در نزدیک شدن به «روز آخر» یعنی روزی که منابع آبی در آن ممکن است به پایان برسد، قرار دارد.

۲. عوامل تاثیرگذار

بحران آب در ایران تحت تأثیر سه عامل عمده است:

۱. رشد سریع و الگوی نامناسب استقرار جمعیت

۲. کشاورزی ناکارآمد

۳. سوء مدیریت و عطش توسعه

۱.۲. رشد سریع و الگوی نامناسب استقرار جمعیت

جمعیت ایران در قرن نوزدهم میلادی زیر ۱۰ میلیون نفر تخمین زده می‌شود. در حالی که در سال ۱۹۷۹ جمعیت ایران به ۳۵ میلیون نفر و در دو دهه بعد از آن جمعیت ایران به دو برابر یعنی ۷۰ میلیون نفر افزایش پیدا می‌کند. جمعیت بیشتر به غذای بیشتری نیاز دارد. به همین دلیل تولید محصولات کشاورزی به شدت افزایش یافته و آب‌های زیرزمینی و روان به سرعت مصرف شدند. محصول ساده این رشد سریع جمعیت، افزایش تقاضای آب و متناسب با آن کاهش شدید سرانه آب در دسترس است. سرانه کنونی آب در دسترس ایران با ۱/۳۰۰ متر مکعب، کمی بالاتر از متوسط خاورمیانه و شمال آفریقا است. اما این مقدار بسیار پائین‌تر از متوسط جهانی (۷/۰۰۰ متر مکعب) است. با این حال مصرف خانگی مردم از آب‌های زیرزمینی تنها هشت تا هفت درصد است که رقم بالایی محسوب نمی‌شود. باتوجه به این که بیشتر مصرف آب ایران در بخش کشاورزی است و مصرف خانگی سهم کمی در استفاده از آب دارد، صرفه‌جویی مردم ایران تأثیر زیادی بر بحران کمبود آب کشور ندارد. خانه‌ها تنها ۷ درصد آب موجود در کل کشور را استفاده می‌کنند و اگر بیست درصد صرفه‌جویی در مصرف آنها محقق شود صرفاً ۱/۵ درصد آب کشور نجات پیدا می‌کند. ولی صرفه‌جویی در مصرف غذایی می‌تواند تأثیر زیادی بر مصرف آب در بخش کشاورزی بگذارد.

توزیع مکانی جمعیت افزون بر رشد جمعیت از عوامل عدم تطابق میان آب در دسترس و تقاضای آب است. نابرابری اقتصادی، فرصت‌های شغلی و شرایط زندگی بهتر در مناطق شهری باعث افزایش شهرنشینی و مهاجرت از مناطق روستایی و شهرهای کوچک به مناطق عمده شهری شده‌است، مانند تهران بزرگ، که میزبان ۱۸ درصد از جمعیت کشور است. در حال حاضر ۷۰ درصد از جمعیت ایران شهرنشین است. توزیع مکانی موجود و افزایش و تمرکز جمعیت در شهرهای بزرگ‌تر که هم‌اکنون نیز برای تأمین آب مورد نیاز خود دچار مشکل هستند، توازن عرضه و تقاضای آب در مناطق شهری را با چالش روبرو کرده‌است. هشدار در مورد خطر جیره‌بندی در عرضه آب در ماه‌های تابستان در شهرهای بزرگ‌تر رایج است. سرعت شهرنشینی، مهاجرت به شهرهای بزرگ و توسعه اراضی مستلزم افزایش مداوم در تأمین آب با رشد سریع تقاضای آب در مناطق شهری است. افزایش مداوم تقاضای آب بسیار نگران‌کننده است. با گسترش سریع شهرنشینی، تمایل به توسعه بخش صنعت و تلاش‌ها برای شناسایی منابع اضافی تأمین آب، تقاضای آب را افزایش داده‌است.

۲.۲. کشاورزی ناکارآمد

در حالی که تنها ۱۲ درصد از مساحت ایران زیر کشت می‌رفته، حدود ۹۳ درصد از مصرف آب ایران در بخش کشاورزی صورت گرفته‌است. این در حالیست که تنها ۱۰ درصد تولید ناخالص ملی کشور از راه کشاورزی به دست می‌آید و ۱۷ درصد نیروی کار کشور در این بخش مشغول هستند. ایران به دلیل تکیه بر اقتصاد مبتنی بر نفت، بهره‌وری اقتصادی خود در بخش کشاورزی را در تاریخ معاصر



نادیده گرفته‌است. تمایل برای افزایش تولید کشاورزی، توسعه مناطق تحت کشت را در سراسر کشور تشویق کرده‌است. بخش کشاورزی در ایران از لحاظ اقتصادی ناکارآمد است و سهم این بخش در تولید ناخالص ملی در طول زمان کاهش یافته‌است. این بخش هنوز صنعتی نشده و کشور از شیوه‌های منسوخ شده کشاورزی و منتهی به بهره‌وری بسیار کم در آبیاری و تولید رنج می‌برد. شیوه غالب کشاورزی در ایران، کشاورزی آبی است و بازده اقتصادی حاصل از مصرف آب کشاورزی پائین است. الگوهای محصول در سراسر کشور نامناسب و در بسیاری از مناطق با شرایط دسترسی به آب ناسازگار است.

توجه به خودکفایی در تولید محصولات عمده استراتژیک مانند گندم پس از انقلاب ۱۳۵۷ و طی سال‌های جنگ با عراق و تحریم‌های اقتصادی افزایش یافت و منجر به تحمیل یارانه‌های سنگین در بخش توسعه کشاورزی شد و باعث فشار بیش از حد در بخش آب گردید. نه تنها برنامه‌ها برای ساخت کشوری با خودکفایی در مواد غذایی شکست خورده، بلکه آرمان دستیابی به امنیت غذایی باعث ناامنی در بخش آب گردیده است. در حالی که بسیاری از کارشناسان معتقدند که ایران ظرفیت مورد نیاز برای تبدیل شدن به خودکفایی در مواد غذایی را ندارد، نگرانی‌های جدی در مورد وابستگی کشور به واردات مواد غذایی وجود دارد و امنیت غذایی و خودکفایی هنوز هم از موضوعات بحث‌برانگیز در ایران هستند.

۳.۲. سوء مدیریت و عطش توسعه

منابع آب ایران به طور جدی از ساختار نامناسب حکمرانی و مدیریت آب رنج می‌برد. در بخش آب، تعدد ذی‌نفعان و تنظیم منابع آب به صورت طبیعی با درگیری‌ها و رقابت‌ها همراه است. سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، مسئول حفاظت از محیط‌زیست کشور، قدرت سیاسی محدودی دارد و فاقد ظرفیت مورد انتظار برای اجرای مقررات جلوگیری از آسیب‌های محیط‌زیستی است. همچنین ساختار سلسله‌مراتبی سیستم مدیریت آب در ایران فرصت‌هایی را برای فساد و ناکارآمدی جدی در تبدیل تصمیمات به عمل، ایجاد می‌کند. سازمان محیط‌زیست سرعت استفاده از منابع آب زیرزمینی در ایران را در قیاس با استاندارد جهانی سه برابر بیشتر تخمین می‌زند. این برداشت بی‌رویه عامل خشکیدن ۲۹۷ دشت از ۶۰۰ دشت ایران می‌باشد. همچنین بخاطر عدم رسیدگی به شبکه انتقال آب ۳۵ میلیارد مترمکعب آب در مسیر انتقال هدر می‌رود.

مطابق گزارش شرکت آب و فاضلاب، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران تا تاریخ شهریورماه سال ۹۴، ۴۰ درصد از شبکه آب کشور فرسوده اعلام شد. ۱۳ درصد از کل هدر رفتن آب ایران تا این تاریخ به موجب همین فرسودگی بوده است. تلاش ایران برای مدرنیزه شدن، در کنار پیشرفت‌های قابل توجه در توسعه زیرساخت‌ها قبل و بعد از انقلاب اسلامی، باعث توجه کمتر به اثرات محیط‌زیستی طولانی مدت به دلیل تعجیل برای ساخت زیرساخت‌ها و توسعه فناوری شد. در نتیجه این وضعیت ارتباط مهم بین توسعه و محیط‌زیست تا حد زیادی نادیده گرفته شد و اجرای پروژه‌های زیربنایی و مهندسی به طور جدی محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار داد که اثرات منفی آن بر سلامت مردم و بر سیستم‌های طبیعی مشاهده شده یا در طولانی مدت دیده خواهد شد.

با وجود اثرات محیط‌زیستی و اقتصادی، تشنگی برای توسعه فنی و تکنولوژی سریع (به جای توسعه پایدار) هنوز هم عامل اصلی تصمیم‌گیری‌های توسعه‌ای کشور است.

۳. مدلسازی

در این بخش، مدلسازی سیستم با استفاده از حلقه‌های علی صورت می‌پذیرد. وجود یک هدف مشخص، مهم‌ترین عنصر یک مدلسازی موفق و مهم‌ترین گام در مدلسازی است. در این مرحله از مدلسازی لازم است تا علاوه بر تعریف مسئله، رفتار متغیرهای مرجع نیز تبیین شوند. برای نمایان ساختن مسئله لازم است دو عامل اصلی تقاضا و عرضه آب بررسی شود.

۱.۳. تقاضای آب

آب یکی از مهمترین منابع طبیعی در اختیار بشر به شمار می‌آید. منابع آبی جهان که حدود ۴ میلیارد سال پیش به وجود آمده‌اند، حدود ۶۶ تا ۷۱ درصد از کل سطح زمین را پوشانیده‌اند. از این حجم عظیم حدود ۹۷/۵ درصد را آب‌های شور تشکیل می‌دهند و تنها ۲/۵ درصد آن آب شیرین است. از این مقدار آب شیرین نیز حدود ۶۸/۷ درصد به شکل توده‌های عظیم برف و یخ‌های دائمی در قطب‌ها و سرزمین‌های کوهستانی محبوس و نزدیک ۲۹/۶ درصد به صورت آب‌های زیرزمینی در اعماق زمین مدفون هستند. ۲۶ درصد از مجموعه



آب‌های شیرین در سطح کره زمین در دریاچه‌ها، برکه‌ها و رودخانه‌ها یافت می‌شوند که برای تأمین نیازهای اقتصادی و از آن مهم‌تر فعالیت‌های اکوسیستم طبیعی بهترین نوع به شمار می‌آیند. منابع آب یکی از با ارزش‌ترین قابلیت‌های طبیعی هر منطقه محسوب می‌شود و در بخش‌های مختلف اقتصادی بر حسب تقاضا مورد استفاده قرار می‌گیرند. تقاضای آب بر حسب کاربری‌های وسیع آن به سه دسته تقاضای آب شهری، کشاورزی و صنعتی تقسیم می‌شود که به منظور مصرف در موارد متعدد در این بخش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تقاضای آب در بخش صنعت، انرژی و کشاورزی به سرعت در حال افزایش است تا پاسخگوی تقاضای فزاینده جمعیت باشد. در بخش شرب نیز، آمار و اطلاعات بیانگر تقاضای رو به افزایش آب می‌باشد. منشاء تقاضا، نیازهای تجمیع شده انسانی است.

۲.۳. عرضه آب

منابع عرضه آب شامل آب پشت سدها (که این سدها روی رودخانه‌ها احداث می‌شوند) و آب‌های زیرزمینی (که عمدتاً توسط چاه‌ها به دست می‌آیند) می‌باشد. همچنین در ایران رودخانه‌های دائمی و فصلی متعددی وجود دارد که برای سیراب کردن دشت و استفاده آن برای کشاورزی، شرب و صنعت بهره‌برداری می‌شوند.

۴. رفتار مرجع

امروزه باتوجه به رشد روزافزون جمعیت، میزان سرانه آب آشامیدنی کاهش یافته است. راه‌حل‌های تحت بررسی؛ تولید بیشتر آب، بهبود توزیع و جلوگیری از هدر رفتن آن می‌باشد. منابع آب تجدید شونده کشور حدود ۱۳۰ میلیارد متر مکعب است که با رشد فزاینده جمعیت و به تبع آن افزایش روزافزون مصارف سهم سرانه آب مدام کاهش می‌یابد. الگوی استقرار جمعیت (به ویژه در سه دهه اخیر) نیز سازگاری خود را با توزیع زمانی و مکانی منابع آب در مناطق مختلف کشور از دست داده است. مهم‌ترین متغیری که بحران آب را نشان می‌دهد، فاصله عرضه تقاضای آب است. مقدار تقاضای آب از میزان تأمین آن در مناطق زیادی از کره زمین که نرخ رشد جمعیت بالایی دارند فراتر رفته است.

۵. فرضیه‌های دینامیکی

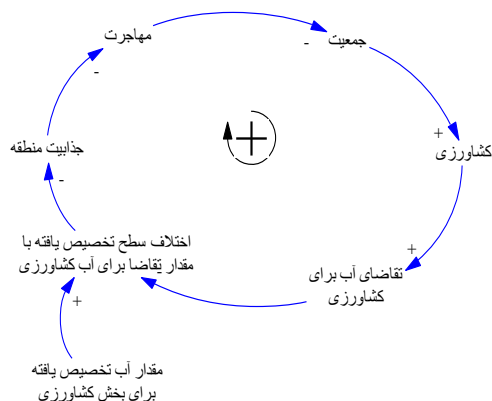
نمودارهای علت معلولی ابزاری برای ترسیم ارتباط‌های علی میان مجموعه‌ای از متغیرهای درگیر در داخل نظام هستند که با استفاده از حلقه‌های علی شکل می‌گیرند. باتوجه به اطلاعات مربوط به کنترل منابع آب کشور، زیر مجموعه‌های این سیستم یا همان زیر سیستم‌های آن به صورت زیر می‌باشند.

۱.۵. زیر سیستم‌های مرتبط با جمعیت

جمعیت یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین عواملی است که بر فرآیند چرخه آب تأثیر می‌گذارد. متغیر جمعیت اشاره به تأثیر انسان در فرآیند چرخه آب دارد. جمعیت به وسیله فرایندهای تولد، مهاجرت داخلی، مرگ، مهاجرت خارجی و مصیبت‌ها توصیف می‌شود. متغیر جمعیت، خود متأثر از عوامل مختلف اجتماعی، فرهنگی، آموزشی و... است. در ادامه کلیه زیر سیستم‌هایی که جمعیت بر آنها متأثر است مورد بررسی قرار گرفته است.

۱.۱.۵. زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب برای کشاورزی

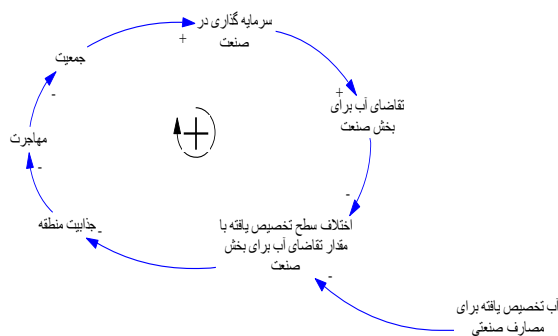
در این زیر سیستم تأثیر جمعیت در تقاضای آب مربوط به بخش کشاورزی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. حلقه علی مربوط به این زیر سیستم در شکل ۱ آمده است. همانطور که شکل ۱ (صفحه بعد) نشان می‌دهد، زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب برای کشاورزی دارای یک حلقه مثبت است. در توضیح این زیر سیستم می‌توان چنین گفت که افزایش جمعیت نیاز به کشاورزی و کشت و کار را افزایش می‌دهد، لذا تقاضای آب برای کشاورزی بیشتر می‌شود. هرچه تقاضای آب برای کشاورزی بالاتر رود، اختلاف سطح آب تخصیص یافته از طرف دولت برای بخش کشاورزی با مقدار تقاضای واقعی آب برای کشاورزی و کشت و کار بیشتر خواهد شد. بالا رفتن سطح این اختلاف نشانه‌ای از بروز بحران کم‌آبی در منطقه خواهد بود و لذا از جذابیت منطقه کاسته و میزان مهاجرت به خارج بیشتر می‌گردد که در نهایت منجر به کاهش جمعیت می‌شود.



شکل ۱. زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب برای کشاوری

۲.۱.۵. زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب برای صنعت

در این زیر سیستم تأثیر جمعیت در تقاضای آب مربوط به بخش صنعت مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. حلقه علی مربوط به این زیر سیستم در شکل ۲ آمده است. همانطور که شکل ۲ نشان می دهد، زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب برای صنعت دارای یک حلقه علی مثبت است. در توضیح این زیر سیستم می توان چنین بیان نمود که با افزایش جمعیت جهت تأمین نیازهای صنعتی افراد جامعه، سرمایه گذاری در بخش صنعت افزایش می یابد، لذا تقاضای آب برای صنعت بیشتر می شود. هر چه تقاضای آب برای صنعت بالاتر رود، اختلاف سطح آب تخصیص یافته از طرف دولت برای بخش صنعت با مقدار تقاضای واقعی آب برای صنعت بیشتر خواهد بود. بالا رفتن سطح این اختلاف نشانه ای از بروز بحران کم آبی در منطقه خواهد بود و لذا از جاذبیت منطقه کاسته و میزان مهاجرت به خارج بیشتر می شود که در نهایت منجر به کاهش جمعیت می شود.



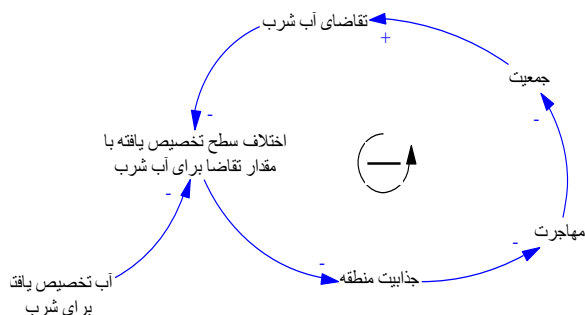
شکل ۲. زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب برای صنعت

۳.۱.۵. زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب برای شرب

در این زیر سیستم تأثیر جمعیت در میزان تقاضای آب شرب مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. حلقه علی مربوط به این زیر سیستم در شکل ۳ آمده است. همانطور که شکل ۳ (صفحه بعد) نشان می دهد، زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب شرب از یک حلقه علی مثبت تشکیل شده است. در توضیح این زیر سیستم می توان چنین بیان نمود که با افزایش جمعیت، تقاضا برای آب شرب افزایش می یابد. هر چه تقاضای آب شرب بالاتر رود، اختلاف سطح آب تخصیص یافته از طرف دولت جهت آب شرب و مصارف خانگی با مقدار تقاضای واقعی آب



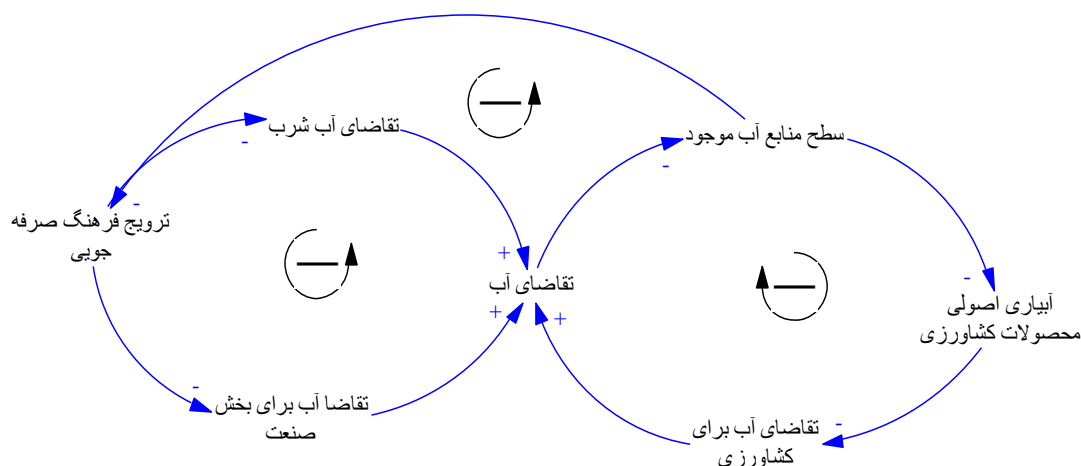
شرب بیشتر خواهد شد. بالا رفتن سطح این اختلاف نشان دهنده بروز بحران کم آبی در منطقه خواهد بود و لذا از جذابیت منطقه به دلیل کمبود آب کاسته و میزان مهاجرت به خارج را بیشتر می کند که در نهایت منجر به کاهش جمعیت می شود.



شکل ۳. زیر سیستم جمعیت-تقاضای آب برای شرب

۲.۵. زیر سیستم اعمال راهکارهای کنترل کننده سطح تقاضای آب

در این زیر سیستم تأثیر اعمال راهکارهای کنترل کننده نظیر ترویج فرهنگ صرفه جویی و آبیاری اصولی محصولات کشاورزی در میزان تقاضای آب مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. حلقه علی مربوط به این زیر سیستم در شکل ۴ آمده است. این زیر سیستم از سه حلقه تعادلی یا منفی تشکیل شده است که بیانگر این مطلب است که با ترویج فرهنگ صرفه جویی در بین مردم کشور و همچنین با استفاده از روش های اصولی و علمی جهت آبیاری زمین های کشاورزی می توان سطح تقاضا یا مصرف آب را در کشور کاهش داد. هرچه تقاضا آب برای بخش کشاورزی بیشتر باشد، تقاضای کل برای آب افزایش می یابد، با افزایش تقاضای آب یا به عبارتی افزایش مصرف آب، سطح منابع آب موجود افزایش یافته و در نتیجه مسئولان به کشاورزان فشار وارد می کنند تا زمین های زراعی را اصولی آبیاری کنند تا از هدر رفتن آب جلوگیری به عمل آید. هرچه تقاضای آب بیشتر باشد، سطح منابع آب موجود کاهش یافته و در نتیجه مسئولان بحران کم آبی را بیشتر حس کرده و در نتیجه سعی در ترویج فرهنگ صرفه جویی می نمایند که در نتیجه آن تقاضای آب شرب و تقاضای آب برای بخش صنعت کاهش یافته و در نهایت تقاضای کل برای آب کاهش می یابد.

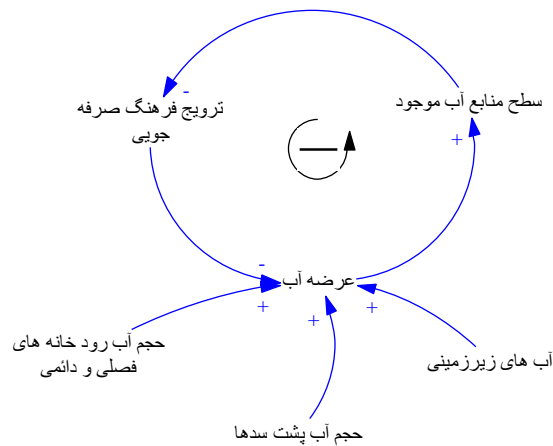


شکل ۴. زیر سیستم اعمال راهکارهای کنترل کننده سطح تقاضای آب

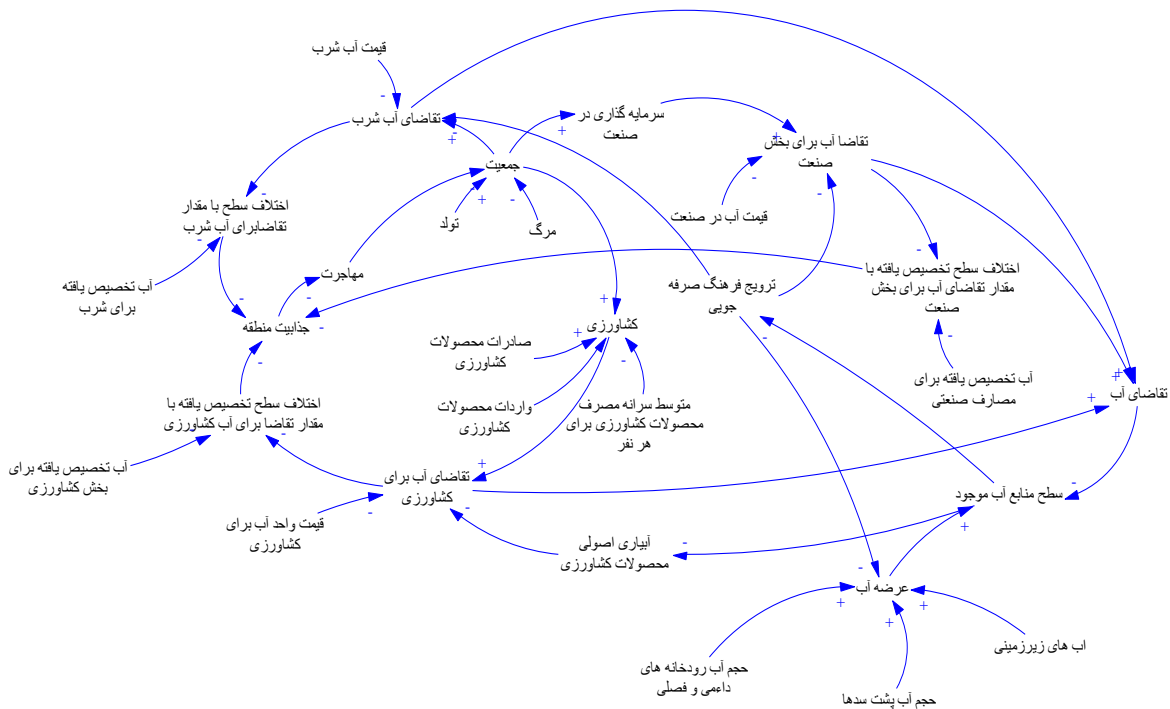


۳.۵. زیرسیستم عرضه آب

در این زیر سیستم تأثیر میزان عرضه آب بر سطح منابع آبی موجود در کشورمان مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. حلقه علی مربوط به این زیر سیستم در شکل زیر آمده است. هرچه میزان منابع آب کشور بیشتر باشد، عرضه آب افزایش یافته که منجر به افزایش سطح منابع آب موجود بالا می‌رود، با افزایش سطح منابع آب موجود تلاش مسئولان برای فرهنگ سازی در زمینه صرفه جویی کمتر شده و در نتیجه کاهش صرفه جویی، عرضه منابع آب کاهش می‌یابد.



با در کنار هم قرار دادن و ترکیب حلقه‌های به دست آمده از فرضیه‌های پویا، ساختار کلی الگو به صورت شکل ۵ به دست می‌آید.



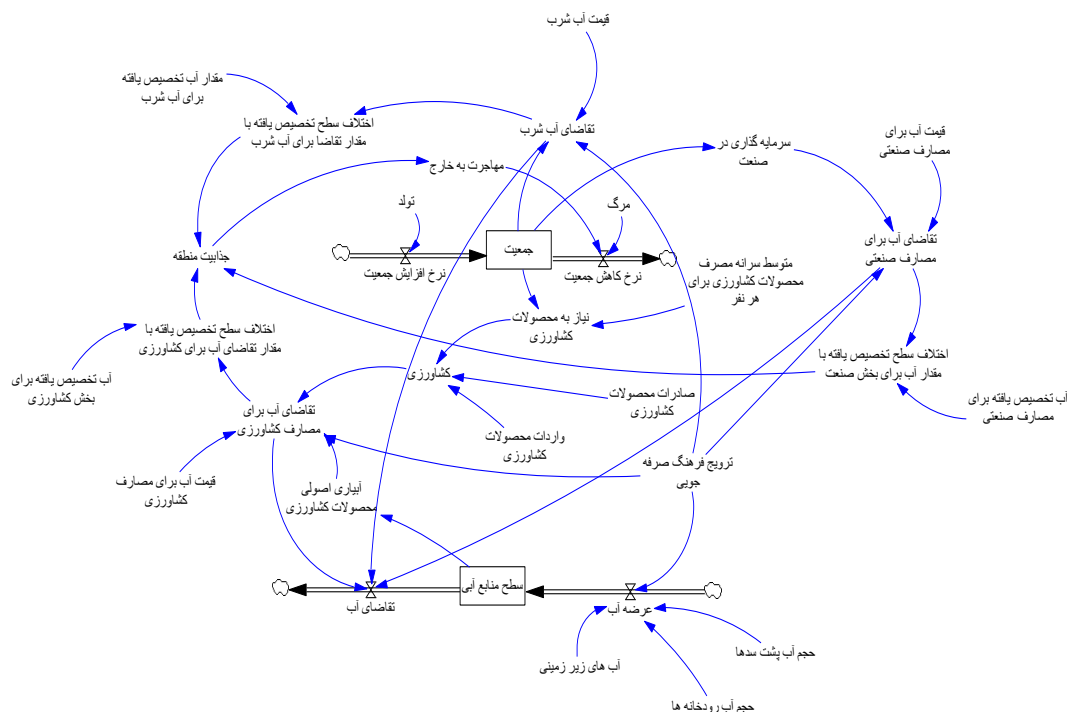
شکل ۵. ساختار کلی الگوی مدل



در این مدل، عوامل تاثیرگذار روی این سیستم که همان متغیرهای سیستم نیز می‌باشند، مشخص شده‌اند. با توجه به نمودار حلقه علی شکل ۵ متغیرهای ثابت مدل شامل مرگ، تولد، صادرات محصولات کشاورزی، واردات محصولات کشاورزی، متوسط سرانه مصرف محصولات کشاورزی برای هر نفر، قیمت آب مورد استفاده در کشاورزی، قیمت آب مورد استفاده در صنعت، قیمت آب شرب، حجم آب تخصیص یافته برای بخش کشاورزی، حجم آب تخصیص یافته برای بخش صنعت، حجم آب تخصیص یافته برای شرب، حجم آب پشت سدها، آب‌های زیرزمینی و حجم آب رودخانه‌های دائمی و فصلی هستند. متغیرهای جمعیت و سطح منابع آب موجود نیز متغیرهای سطح ما هستند. متغیرهای عرضه آب، تقاضای آب، نرخ رشد جمعیت و نرخ کاهش جمعیت متغیرهای نرخ هستند و مابقی متغیرها نیز از نوع متغیر کمکی می‌باشند.

۶. ترسیم نمودار سطح جریان مدل

سپس بر اساس نمودار علی حلقوی مربوط به مدل که در شکل ۵ آمده، نمودار سطح جریان مربوط به آن را ترسیم (شکل ۶) و فرمول‌نویسی را اعمال نموده و در نهایت شبیه‌سازی آن را انجام دادیم. متغیر سطح جمعیت تحت‌تأثیر متغیرهای نرخ رشد و کاهش جمعیت قرار دارد؛ متغیر سطح منابع آبی تحت‌تأثیر متغیرهای نرخ عرضه و تقاضای آب قرار دارد.



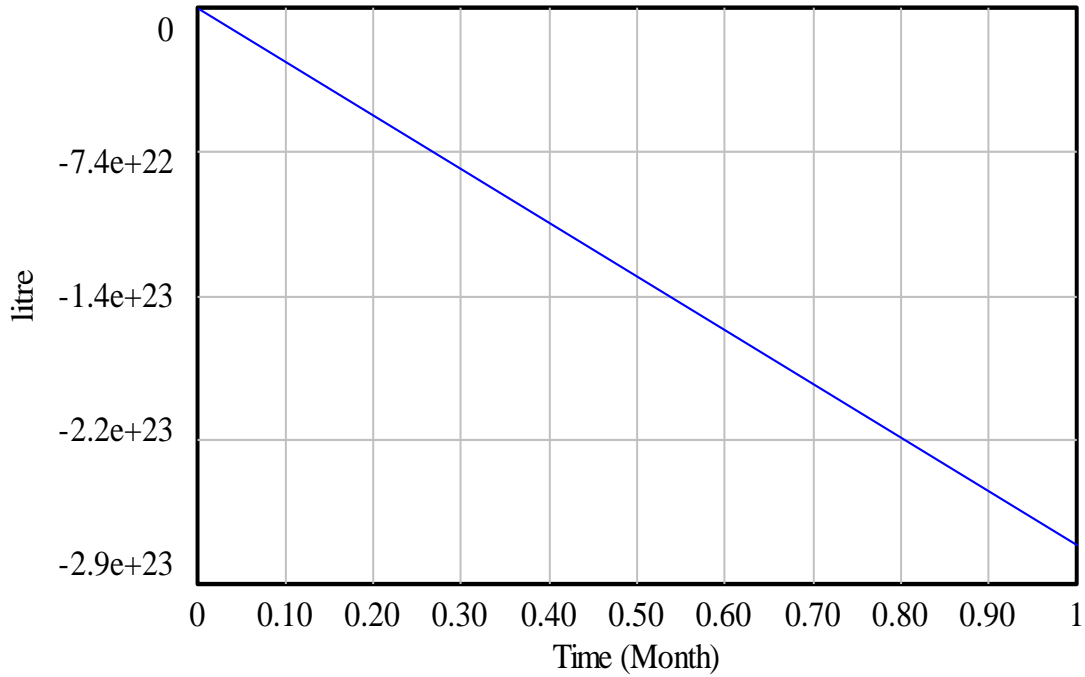
شکل ۶. نمودار سطح جریان مدل

۷. تست مدل

بعد از فرمول‌نویسی مدل در نرم‌افزار، مدل را از نظر ساختار و واحد اندازه‌گیری مورد بررسی قرار دادیم که نتایج قابل قبولی حاصل شد.

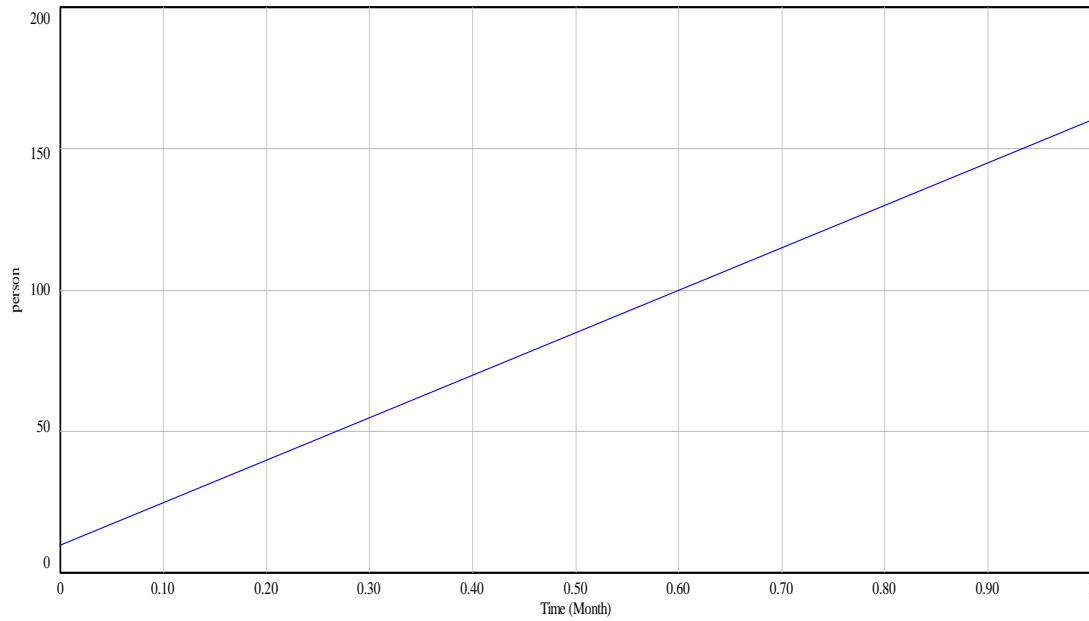
۸. نتیجه‌گیری و شبیه‌سازی مدل

نتایج شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که با گذر زمان میزان منابع آب کاهشی خواهد بود. نمودار سطح منابع آب موجود در کشور نیز در شکل‌های ۷ و ۸ (صفحه بعد) آورده شده‌است. طبق نمودارهای رسم شده و نمایش موارد تأثیرگذار و نحوه تأثیر آنها می‌توان در خصوص بهبود فرآیند و نتیجه‌گیری بهتر تصمیم‌گیری کرده و با تغییر شرایط عوامل مؤثر، این بحران را کنترل کرده و بهبود داد.



سطح منابع آبی : tnerruC

شکل ۷. نمودار سطح منابع آبی در طی زمان



جمعیت : tnerruC

شکل ۸. نمودار جمعیت در طی زمان



منابع

- [1] جمشید پژویان، سیدشمس‌الدین حسینی، ۱۳۸۲. برآورد تابع تقاضای آب خانگی (مطالعه موردی شهر تهران)، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران.
- [2] حمیدرضا فرتوک‌زاده، سمیه قجاوند، میثم رجبی نهوجی، ۱۳۹۲. الگوسازی پویای سیستم آب منطقه تهران با هدف مدیریت موثر، نشریه آب و فاضلاب.
- [3] صدیقه ببران، نازی هنربخش، ۱۳۸۶. بحران وضعیت آب در ایران و جهان، پژوهشنامه مطالعات توسعه پایدار و محیط‌زیست، شماره اول، اندیشه برتر پویا.
- [4] پرویز کردوانی، ۱۳۶۸. منابع و مسائل آب در ایران، جلد اول آب‌های سطحی و زیرزمینی و مسائل بهره برداری، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۳۴۸.
- [5] محمد مهدوی، ۱۳۸۷. هیدرولوژی کاربرد، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- [6] مصطفی کشاورزی، ابودر روستا، ۱۳۹۲. بحران آب، سدهای زیرزمینی راهکاری برای حفاظت از سفره‌های آب زیرزمینی، دومین همایش ملی بحران آب.
- [7] Christopher Ward, 2014. The water crisis in Yemen: Managing extreme water scarcity in the Middle East.
- [8] Malin Falkenmark, 1989. Middle East hydropoliticd: water scarcity and conflicts in the Middle East.
- [9] Gholamreza Zehtabian, Hassan Khosravi, Marzieh Ghodsi, 2010. High demand in a land of water scarcity: Iran