# الگوسازی پویای سیستم آب منطقه تهران با هدف مدیریت مؤثر

حمیدرضا فرتوک‌زاده[1]  سمیه قجاوند[2]  میثم رجبی نهوجی[3]

(دریافت ۹۲/۵/۱۲  پذیرش ۹۲/۱۲/۲۶)

## چکیده

**کمبود منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های حیاتی برای اغلب کشورهای جهان است. تهران به‌عنوان پایتخت و پر جمعیت‌ترین شهر ایران نیز با مسئله کمبود منابع آبی در سال‌های اخیر مواجه شده است که در صورت عدم مدیریت صحیح آن به یک بحران تهدیدآمیز برای منطقه تبدیل خواهد شد. در پژوهش حاضر با به‌کارگیری مدل‌سازی پویا و روش تحلیل پویایی‌های سیستم، تلاش شد با دیدی جامع نسبت به سیستم آب منطقه تهران و با استفاده از شبیه‌سازی رفتاری در محیط نرم‌افزار ون‌سیم به مدیریت یکپارچه منابع آب در این حوضه آبریز کمک شود. پس از اعتبارسنجی الگو، سیاست‌هایی در جهت بهبود فاصله موجود میان عرضه و تقاضای آب، که به‌عنوان متغیر اصلی و رفتار مرجع سیستم شناخته شده بود، آزموده شدند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که سیاست‌های کنترل جمعیت و فناوری نسبت به سایر سیاست‌ها تأثیر قابل توجهی بر بهبود وضعیت آب منطقه دارند؛ با این حال سیاست‌های کنترل جمعیت و فناوری می‌توانند همزمان با سیاست‌هایی همچون اعمال مالیات و تعرفه‌ها همراه شوند تا مؤثرتر عمل نمایند.**

***واژه‌های کلیدی:*** بحران آب، شبیه‌سازی رایانه‌ای، الگوسازی دینامیکی، تحلیل پویایی‌های سیستم

# Dynamic Modeling of the Water Supply System in Tehran Region Aimed at a More Effective Management

*H.R. Fartookzadeh [1]  S. Ghojavand [2]  M. Rajabi Nohooji [3]*

*(Received Aug. 3, 2013  Accepted March 17, 2014)*

## Abstract

Water scarcity is now one of the most vital challenges in most countries around the world.Tehran, as the most populated city and the capital of Iran, has also been recently experiencing a shortage of water, which may turn into a threatening crisis for the region if a proper water management system is not put in place. Employing dynamic modeling and the dynamic system analysis method, the present study was conducted to address the integrated water resources management in Tehran region taking advantage of a comprehensive outlook of the water resources system in the region and implementing a behavioral simulation in the Vensim software. Once pattern validation was accomplished, the policies developed to decrease the gap between water demand and supply regarded as the main variable and the reference behavior of the system were examined. The simulation results showed that, compared to other policies, population control and technological development polices seemed to have more significant effects on improving the water situation in the region. However, it is also observed that if combined with such other polices as taxation and pricing, the above-mentioned policies will work more effectively.

***Keywords:*** Water Crisis, Computer-Based Simulation, Dynamic Modeling, System Dynamics Analysis.

۱- دانشیار، دانشکده مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
۲- دانشجوی دکترا، دانشکده مدیریت، دانشگاه شهید بهشتی تهران (نویسنده مسؤل)
ghojavand.so@gmail.com ۰۹۱۲۳۰۹۳۳۰۲
۳- دانشجوی دکترا، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران

1. Assoc. Prof., School of Management, Malek-e-Ashtar University of Tech., Tehran
2. PhD Student, School of Management, Shahid Beheshti University, Tehran (Corresponding Author) 09123093302 ghojavand.so@gmail.com
3. PhD Student, School of Management, Tehran University, Tehran

## ۱- مقدمه

توزیع ناهمگون زمانی و مکانی آب شیرین به‌لحاظ کمّی از یک طرف و محدودیت‌ها و مشکلات روزافزون کیفی از طرف دیگر، تأمین منابع آب را در بسیاری از کشورها به یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر تبدیل کرده است[۱].

ایران و اساساً خاورمیانه در کمربند خشک جهان قرار گرفته‌اند و ایران ده سال پی‌درپی با خشکسالی روبه‌رو بوده است که باعث شده تا میزان بارش‌ها به ۷۵ درصد بارش‌های نرمال، کاهش پیدا کند[۲]. کاهش منابع آبی در سال‌های اخیر ضرورت استفاده و به‌کارگیری بهینه و کارآمد این منابع را بیش از پیش کرده است. امروزه با رشد روزافزون جمعیت، رشد کمّی و کیفی بخش کشاورزی و گسترش شهرنشینی، برداشت از منابع آب زیرزمینی در اغلب منطقه‌ها از حد نصاب و مجاز گذشته و هزینه‌های نهایی تأمین آب اضافی از منابع سطحی و آلودگی منابع آب، رو به افزایش است[ ۳].

سیستم‌های طبیعی و اجتماعی دارای سطح بالایی از پیچیدگی هستند و زمانی که این دو ترکیب شوند، میزان این پیچیدگی به‌طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. به‌دلیل ماهیت خاص سیاسی و با ارزشی که آب در شرایط فعلی پیدا کرده، عوامل مؤثر زیادی هستند که بر این جریان تأثیر می‌گذارند. 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 به‌کارگیری سیاست‌های مناسب است. شناخت و درک پیچیده و یا ساده بودن مسئله، هم به تشریح مناسب‌تر مسئله و هم به استفاده از سیاست‌های مناسب برای مدیریت آن کمک خواهد کرد.

پژوهش حاضر با به‌کارگیری مدل‌سازی پویا و روش تحلیل پویایی‌های سیستم، به‌دنبال آن است که با دیدی جامع به سیستم آب منطقه تهران، به مدیریت یکپارچه منابع آب در این حوضه آبریز کمک کند. در این پژوهش، پس از بیان مسئله و متغیرهای اصلی آن، به ارائه مدل و راهبردهای پیشنهادی در مدیریت سیستم آبی این حوضه آبریز پرداخته شد.

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 شود[۴]. تهران به‌عنوان پایتخت و پرجمعیت‌ترین شهر ایران، با مسائل شدید کمبود منابع آبی در سال‌های اخیر مواجه شده است. تهران به‌طور فزاینده در حال گسترش است. به‌طوری که جمعیت آن از ۷ میلیون در سال ۱۹۹۶ به بیش از ۱۵ میلیون نفر در حال حاضر رسیده است و به‌عنوان پرجمعیت‌ترین منطقه ایران محسوب می‌شود. منابع آب موجود نمی‌تواند پاسخگوی مصرف فزاینده آب در این استان باشد. شرایط جوی، خشکسالی‌های اخیر و نیز آلودگی‌های آب، این استان را با وضعیت بحران‌زا و تهدیدآمیزی روبه‌رو ساخته که باید برنامه‌هایی برای جلوگیری از وخیم‌تر شدن وضعیت و کاهش مصرف تدوین کرد. برای نمایان ساختن مسئله لازم است دو عامل اصلی تقاضا و عرضه آب در منطقه تهران بررسی شود.

### ۱-۱- تقاضای آب

تقاضای آب برحسب کاربری‌های وسیع آن به سه دسته تقاضای آب شهری، کشاورزی و صنعتی تقسیم می‌شود. تقاضای آب در بخش صنعت، انرژی و کشاورزی به‌سرعت درحال افزایش است تا پاسخگوی تقاضای فزاینده جمعیت باشد[ ۵]. در بخش شرب نیز، آمار و اطلاعات بیانگر تقاضای رو به افزایش آب در تهران هستند[۶]. منشاء تقاضا، نیازهای تجمیع‌شده انسانی است. در مدل پژوهش حاضر تأکید بر واقعیت‌های رفتاری بشر بود و به تقاضای آب برای محیط زیست و کنترل کیفی، به‌طور مستقل توجه نشد. تقاضای آب برای محیط زیست و کنترل کیفی، زمانی که به آستانه بحران برسد، زنگ خطرهایی را به صدا در می‌آورد که باعث می‌شود تقاضا برای آن در تصمیم‌ها تأثیر بگذارد. در این پژوهش و در مدل این زنگ خطرها مد نظر قرار گرفتند.

### ۱-۲- عرضه آب

منبع اصلی آب شرب تهران رودهای کرج، جاجرود و لار است که توسط سدهایی که بر روی آنها نصب شده تأمین می‌شود. با افزایش مصرف، بخشی از آب شرب نیز از آب‌های زیرزمینی توسط چاه‌های عمیق به‌دست می‌آید[۷]. در حال حاضر پنج سد شامل سد کرج بر روی رودخانه کرج، سد لار بر روی رودخانه لار، سدهای لتیان و ماملو بر روی رودخانه جاجرود و سد طالقان بر روی رودخانه شاهرود قرار دارند که بخشی از آب شرب تهران را تأمین می‌کنند.

به‌طور کلی رودخانه‌های دائمی و فصلی متعددی در استان وجود دارد که برای سیراب کردن دشت و استفاده آن برای کشاورزی، شرب و صنعت بهره‌برداری می‌شوند. حبله‌رود، رود شور یا ابهررود، رود لار، جاجرود، رود طالقان (شاهرود) و رودخانه کرج از مهم‌ترین جریان‌های سطحی استان به‌شمار می‌روند[۸].

جدول ۱ میزان آب تأمین شده را از هر یک از منابع موجود در تهران طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. همچنین در این جدول، اطلاعات مربوط به حجم آب به‌حساب نیامده که از اختلاف کل آب تأمین شده و حجم آب جاری صورت‌حساب شده به‌دست می‌آید، آورده شده است.

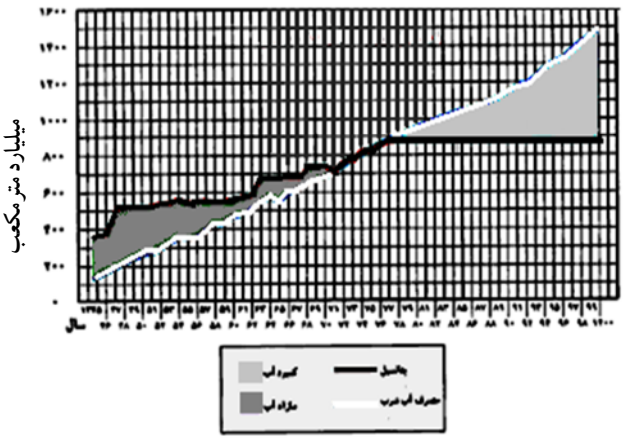
**جدول۱**- حجم آب تولیدی به تفکیک منابع در استان تهران در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۹، برحسب مترمکعب

| | ۱۳۸۴ | ۱۳۸۵ | ۱۳۸۶ | ۱۳۸۷ | ۱۳۸۸ | ۱۳۸۹ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حجم آب تولیدی زیرزمینی | ۷۰۲،۷۷۳،۰۰۰ | ۷۰۵،۳۷۹،۳۱۹ | ۷۷۱،۰۹۷،۲۹۸ | ۸۸۳،۵۰۵،۳۵۴ | ۸۳۱،۰۴۸،۸۴۶ | ۶۶۹،۳۳۳،۹۵۲ |
| حجم آب تولید سطحی | ۷۰۱،۳۶۵،۰۰۰ | ۷۳۸،۵۵۷،۳۸۰ | ۷۴۴،۰۷۱،۵۰۰ | ۶۰۰،۹۳۳،۳۲۸ | ۶۹۷،۱۴۷،۲۱۹ | ۶۸۷،۴۶۵،۹۴۹ |
| چاههای جاجرود | ۱،۸۷۵،۰۰۰ | ۶،۶۳۰،۰۸۰ | ۵،۱۷۷،۱۰۰ | ۱۵،۵۷۰،۸۹۹ | ۵،۵۲۱،۲۷۸ | ۹،۲۵۸،۸۷۲ |
| سایر- خریداری شده از تهران | ۲۳،۵۶۷،۰۰۰ | ۱۸،۵۰۳،۲۴۹ | ۱۹،۹۳۵،۳۰۰ | ۲۳،۸۷۱،۸۰۹ | ۲۲،۰۴۵،۶۴۴ | ۱۰،۳۸۴،۸۸۰ |
| کل آب تأمین شده | ۱،۴۰۶،۰۱۳،۰۰۰ | ۱،۴۵۰،۵۶۶،۷۷۹ | ۱،۵۲۰،۳۴۵،۸۹۸ | ۱،۵۰۰،۰۰۹،۵۸۱ | ۱،۵۳۳،۷۱۷،۳۴۳ | ۱،۳۵۶،۷۹۹،۹۰۱ |
| حجم آب جاری صورتحساب شده | ۱،۰۰۳،۸۱۲،۰۰۰ | ۱،۰۴۱،۹۴۶،۳۷۱ | ۱،۱۷۴،۳۷۰،۱۸۴ | ۱،۰۹۹،۴۷۵،۶۸۳ | ۱،۱۳۲،۸۸۰،۱۱۲ | ۹۸۰،۵۶۱،۷۸۲ |
| حجم آب به‌حساب نیامده | ۴۰۲۲۰۱۰۰۰ | ۴۰۸۶۲۰۴۰۸ | ۳۴۵۹۷۵۷۱۴ | ۴۰۰۵۳۳۸۹۸ | ۴۰۰۸۳۷۲۳۱ | ۳۷۶۲۳۸۱۱۹ |

منبع: شرکت آب و فاضلاب استان تهران

### ۱-۳- رفتار مرجع

مهم‌ترین متغیری که بحران آب را نشان می‌دهد، فاصله عرضه- تقاضای آب است. شکل ۱ میزان پتانسیل و مصرف آب شرب شهر تهران را طی سال‌های ۱۳۴۵ تا سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تا سال ۱۳۷۰ مازاد آب وجود داشته، از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۵ برابری مصرف و عرضه آب وجود داشته و از سال ۱۳۷۵ به بعد مصرف از میزان پتانسیل آب بیشتر شده است[۹].




**شکل۱**- مقایسه میزان پتانسیل آب و مصرف آب در کلان‌شهر تهران[۹]

پتانسیل آب، اشاره به ظرفیت موجودی دارد. موجودی آب تا یک دوره زمانی، میزان مصرف آب را پوشش می‌دهد، اما از یک دوره زمانی به بعد ثابت می‌شود(شکل۱)؛ زیرا از این دوره ظرفیت موجودی، دیگر قادر به پاسخگویی تقاضای آب نبوده و به‌همین دلیل ثابت می‌شود. رفتار مرجع سیستم، فاصله عرضه- تقاضای آب است (شکل۲).

## ۲- روش تحقیق

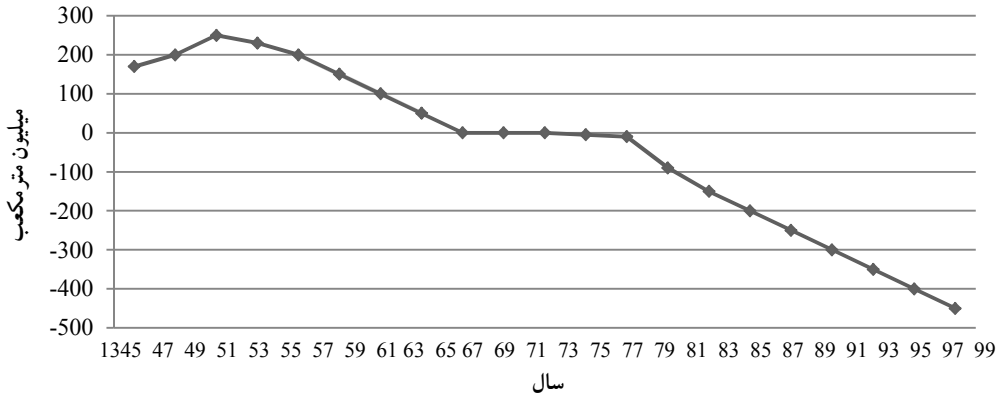
در این پژوهش از روش تلفیقی استفاده شد که شامل دو بخش کیفی و کمّی می‌شود. این روش که روش‌شناسی پویایی‌های سیستم نام دارد، در اواخر دهه ۱۹۵۰، در نتیجه تلاش‌هایی برای بررسی و رفع مسائل پویا و مرتبط با سیاست‌ها شکل گرفت[۱۰]. بخش کیفی روش پژوهش با ارائه الگویی بصری، مبتنی بر فرضیه‌های پویا صورت پذیرفت. ابتدا با انجام مصاحبه با خبرگان و مطالعه آمار، فرضیات پویای پژوهش مشخص شدند. در بخش کمّی نیز به توسعه الگوی نرم‌افزار و فرموله‌کردن آن پرداخته شد. روش پژوهش حاضر بر مبنای یک فرایند منظم الگوسازی صورت پذیرفت که در ادامه به تفصیل بیان می‌شود.

### ۲-۱- فرایند مدل‌سازی

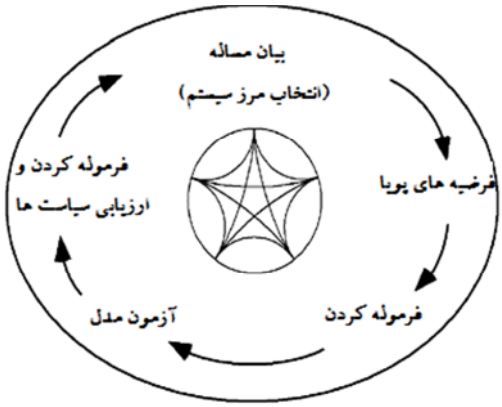
اغلب مدل‌سازها از یک فرایند منظم پیروی می‌کنند که اقدامات زیر را شامل می‌شود (شکل ۳): ۱- بیان مسئله،۲- فرموله‌کردن فرضیه‌های پویا یا تئوری در مورد علل مسئله، ۳- فرموله‌کردن یک مدل شبیه‌سازی شده برای آزمون فرضیه‌های پویا، ۴- آزمون مدل زمانی که متناسب با هدف‌ها یافته شود و ۵- طراحی و ارزیابی سیاست‌ها برای بهبود مدل[۴].

### ۲-۲- فرضیه‌های دینامیکی

نمودارهای علت-معلولی ابزاری برای ترسیم ارتباط‌های علّی، میان مجموعه‌ای از متغیرهای درگیر در داخل نظام هستند که با استفاده از حلقه‌های علّی شکل می‌گیرند[۹]. با توجه به اطلاعات موجود در ادبیات و آمار و اطلاعات مربوطه، فرضیات پویای پژوهش به‌صورت زیر مطرح شدند.




**شکل۲**- رفتار متغیر مرجع با توجه به فاصله میان عرضه و تقاضای آب



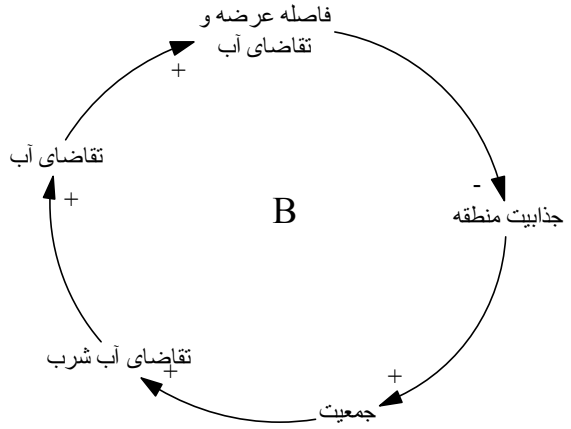

**شکل۳**- پنج گام مدل‌سازی[۴]

### ۲-۲-۱- فرضیه تغییرات جمعیت

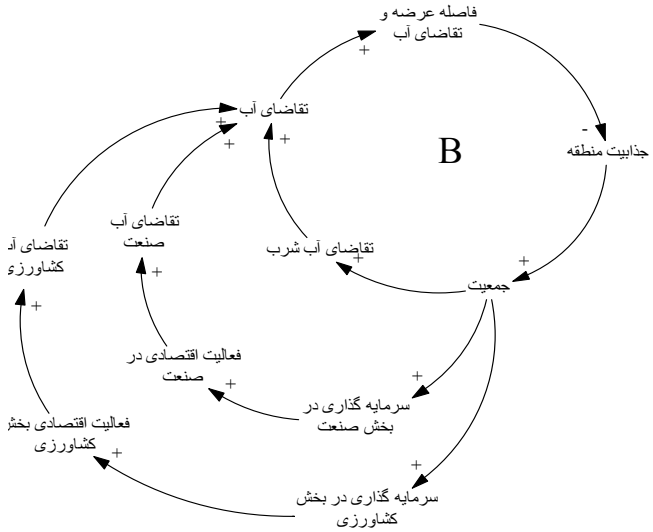
جمعیت، یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عواملی است که بر فرایند چرخه آب تأثیر می‌گذارد. متغیر جمعیت اشاره به تأثیر انسان در فرایند چرخه آب دارد. جمعیت به‌وسیله فرایندهای تولد، مهاجرت داخلی، مرگ، مهاجرت خارجی و مصیبت‌ها توصیف می‌شود. متغیر جمعیت، خود متأثر از عوامل مختلف اجتماعی، فرهنگی، آموزشی و غیره است؛ اما در فرضیه بالا به حلقه تقاضای آب و جمعیت توجه شده است (شکل ۴).

### ۲-۲-۲- فرضیه تقاضای آب

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، تقاضای آب شامل تقاضای آب شرب، تقاضای آب در صنعت و تقاضای آب در بخش کشاورزی است. با افزایش جمعیت، تقاضا برای آب شهری افزایش یافته و سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های اقتصادی، هم در صنعت و هم در بخش کشاورزی برای تأمین نیازهای جمعیت بالا افزایش می‌یابد، که این خود باعث افزایش تقاضای آب صنعت و کشاورزی و در نهایت افزایش تقاضای کل در هر سه بخش می‌شود. با بالا رفتن تقاضای آب، فاصله عرضه و تقاضای آب به‌طور منفی افزایش می‌یابد و این باعث می‌شود تا به‌علت کمبود آب، جذابیت منطقه برای مهاجرت و همچنین زاد و ولد کم شود و در نتیجه جمعیت نیز کاهش یابد.



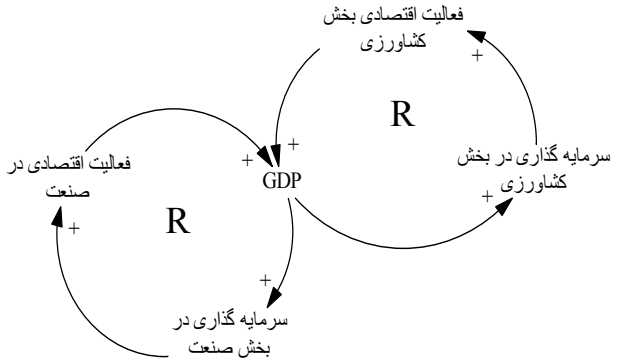

**شکل۴**- حلقه بسته جمعیت




**شکل۵**- حلقه بسته تقاضا

**۲-۲-۳- فرضیه فعالیت اقتصادی**

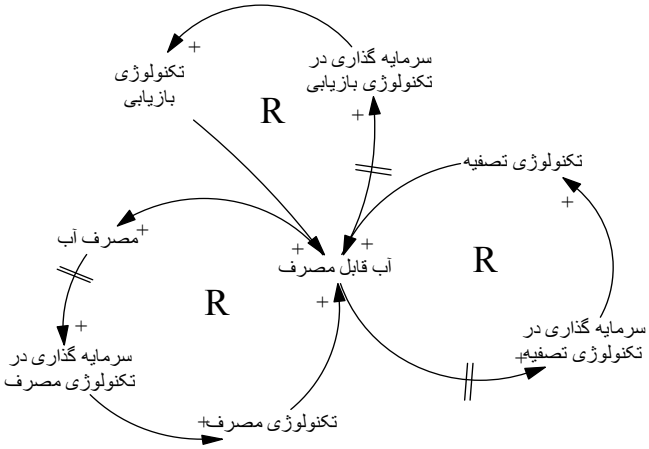
سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی و صنعت باعث افزایش فعالیت اقتصادی هم در بخش کشاورزی و هم در حوزه صنعت می‌شود. درنتیجه GDP منطقه افزایش یافته و این خود باعث افزایش سرمایه‌گذاری در هر دو بخش کشاورزی و صنعت می‌شود (شکل ۶).




**شکل۶**- حلقه بسته فعالیت اقتصادی

**۲-۲-۴- فرضیه تغییرات فناوری**

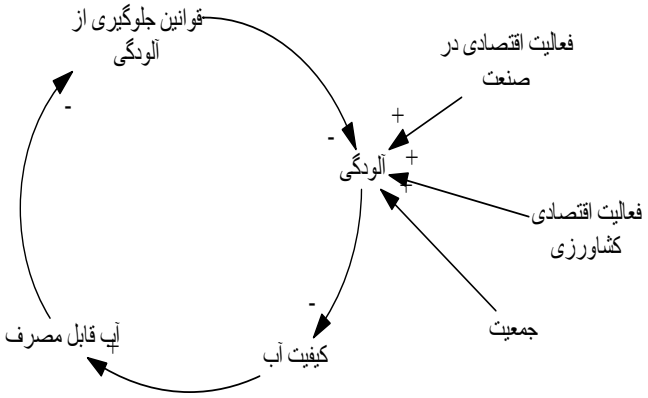
فناوری یکی از عوامل مؤثر در سطح تقاضای آب در سه بخش کشاورزی، شرب و صنعت است. سرمایه‌گذاری در زمینه فناوری در هر سه بخش منجر به بهبود فناوری و در نتیجه افزایش آب قابل مصرف خواهد شد و مصرف آب را افزایش خواهد داد که در شکل ۷ پیداست.




**شکل۷**- حلقه بسته فناوری

**۲-۲-۵- فرضیه آلودگی آب**

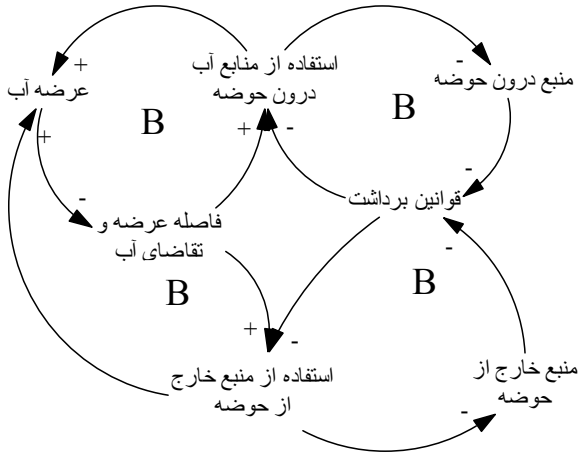
افزایش جمعیت و فعالیت اقتصادی در دو بخش کشاورزی و صنعت باعث افزایش آلودگی آب می‌شود و در نتیجه کیفیت آب را کاهش خواهد داد. با کاهش کیفیت آب، آب مصرفی کاهش می‌یابد که منجر به اعمال قوانین جلوگیری از آلودگی می‌شود که باعث کاهش آلودگی می‌شود (شکل ۸).




**شکل۸**- حلقه بسته آلودگی

**۲-۲-۶- فرضیه تأمین آب**

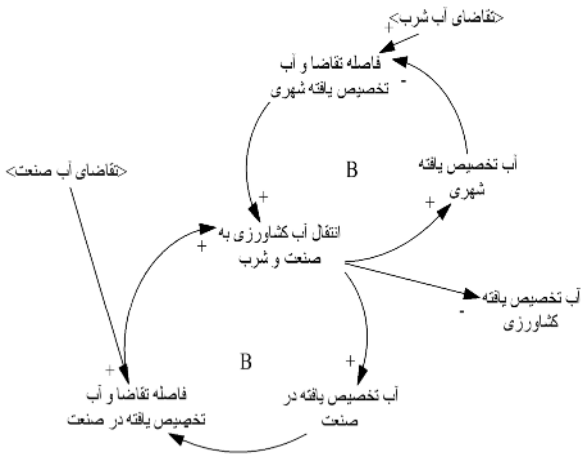
با افزایش فاصله عرضه و تقاضای آب، استفاده از منبع درون حوضه افزایش یافته و این باعث کاهش منبع درون حوضه می‌شود (شکل ۹). با کاهش منبع درون حوضه، استفاده از منبع خارج از حوضه افزایش یافته و باعث کاهش منبع خارج از حوضه می‌شود. همچنین افزایش استفاده از منبع درون حوضه و خارج از حوضه، باعث افزایش عرضه آب شده که این فاصله عرضه و تقاضای آب را کاهش می‌دهد.




**شکل۹**- حلقه بسته تأمین آب

**۲-۲-۷- فرضیه انتقال آب کشاورزی به صنعت و شرب**

معمولاً با توجه به روند نیازهایی که در سه بخش شهری کشاورزی، صنعت و شرب وجود دارد و اهمیت هر سه حوزه، منابع آب به آنها تخصیص می‌یابند (شکل ۱۰). اگر اختلاف تقاضای آب شرب و آب تخصیص یافته، افزایش یابد، انتقال آب از بخش کشاورزی به شهری نیز افزایش یافته و این منجر به افزایش آب تخصیص یافته شهری شده و در نتیجه فاصله تقاضا و آب تخصیص یافته کاهش می‌یابد. این حلقه برای بخش صنعت نیز وجود دارد.




**شکل ۱۰**- حلقه بسته انتقال آب

با در کنار هم قرار دادن و ترکیب حلقه‌های به‌دست آمده از فرضیه‌های پویا، ساختار کلی الگو به‌صورت شکل ۱۱ به‌دست می‌آید.

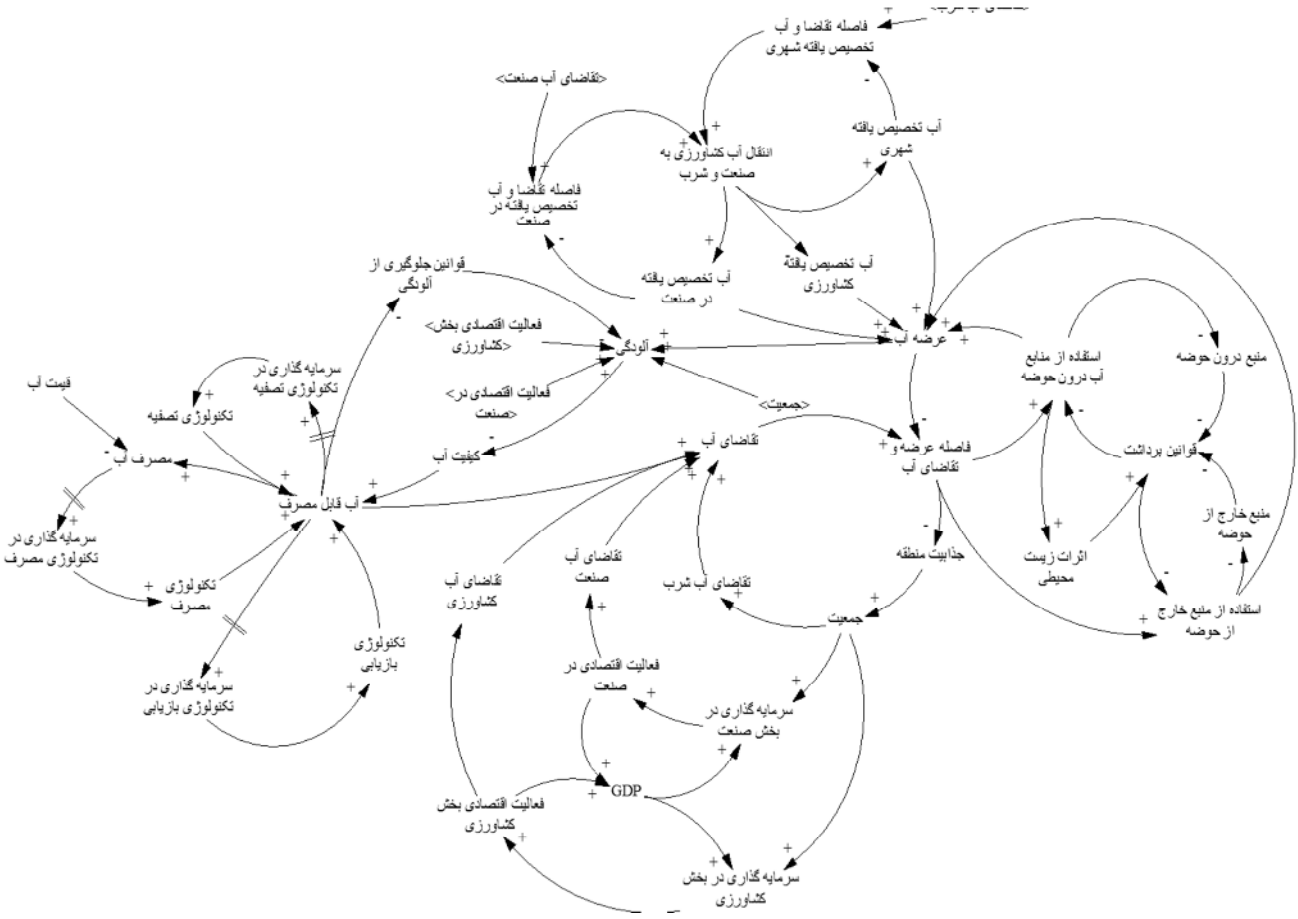
### ۲-۳- مرز مدل

محدوده مکانی این پژوهش منطقه تهران بود. مرز زمانی مدل نیز از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۴۱۵ در نظر گرفته شد که یک محدوده زمانی ۳۰ ساله است.

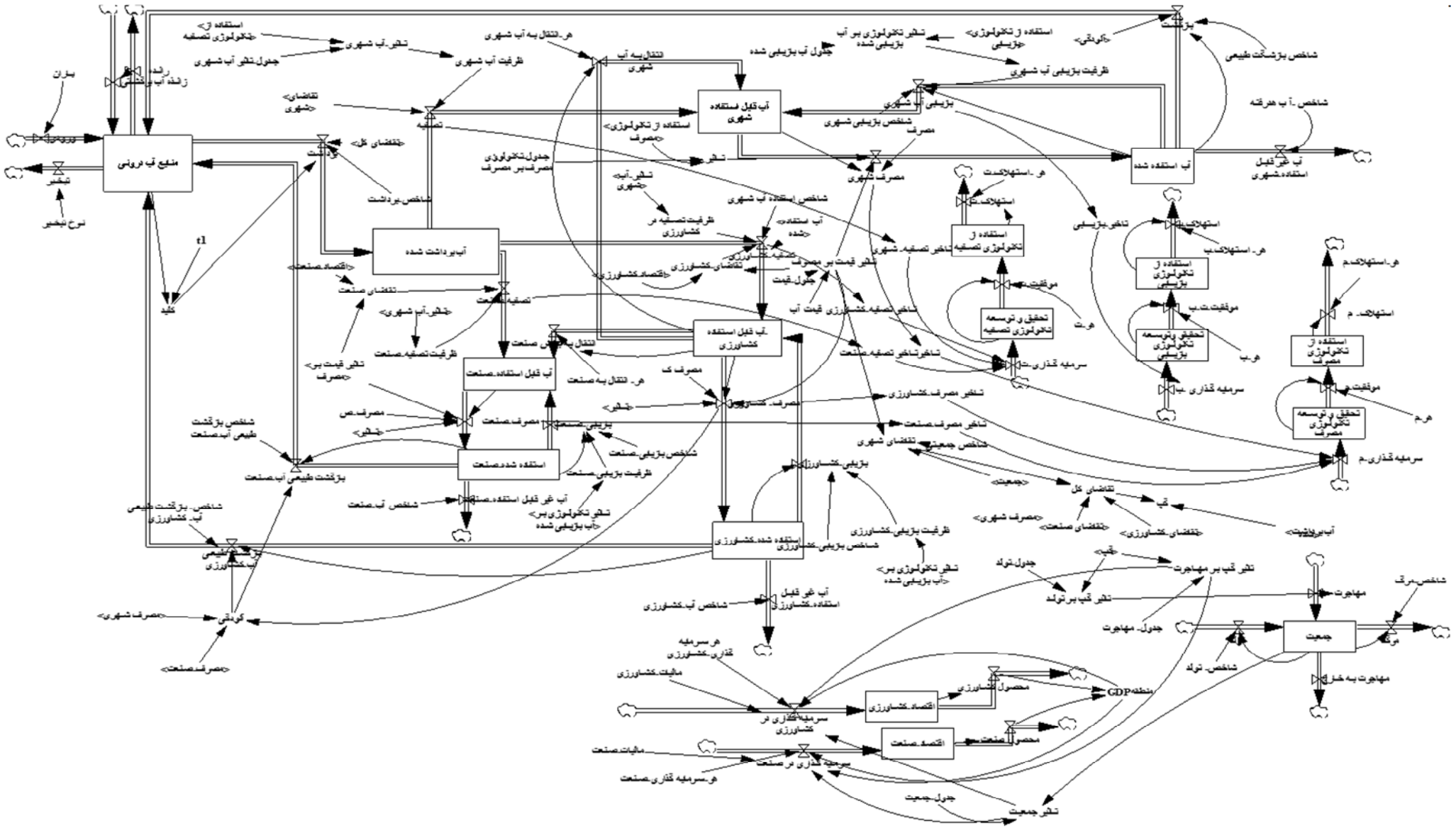
## ۳- الگوی (نمودار جریان) شبیه‌سازی[1]

نمودارهای علت- معلولی، ادراکی تصویری از ساختار الگو ارائه می‌کنند. برای درک از رفتار نظام لازم است روابط بین متغیرهای نظام تدوین شده و با استفاده از رایانه، مقادیر متغیرها در طول زمان شبیه‌سازی شود[۱۰]. شکل ۱۲ رفتار شبیه‌سازی شده متغیرهای الگو را در محیط نرم‌افزار ون‌سیم[2] نمایان می‌سازد.

[1] Stock-Flow Diagram
[2] Vensim




**شکل ۱۱**- الگوی حلقه‌های بسته عوامل تأثیرگذار بر سیستم آب



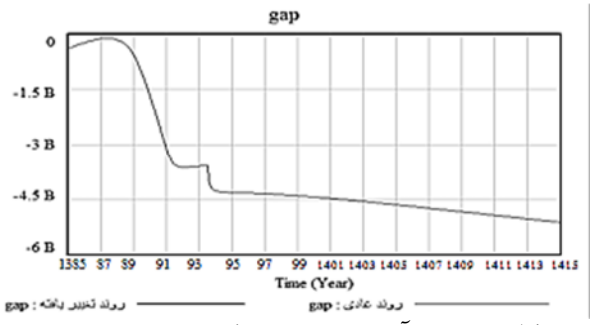

**شکل۱۲**- الگوی سیستم آب منطقه تهران در نرم‌افزار ون‌سیم

### ۳-۱- اعتبار سنجی الگو

در الگوهای پویایی نظام، اعتبار ساختاری الگو بر اعتبار رفتاری آن اولویت دارد و تنها زمانی که ساختار الگو معتبر است، می‌توان اعتبار رفتار الگو را بررسی کرد. سنجش اعتبار ساختار الگو، با برگزاری جلسات کانونی و تحلیل متغیرهای درونی مدل و ساختار روابط صورت پذیرفت. در سنجش اعتبار رفتاری الگو نیز از چندین روش استفاده شد که در ادامه به چند مورد اشاره می‌شود.

#### ۳-۱-۱- شبیه‌سازی رفتار حدی

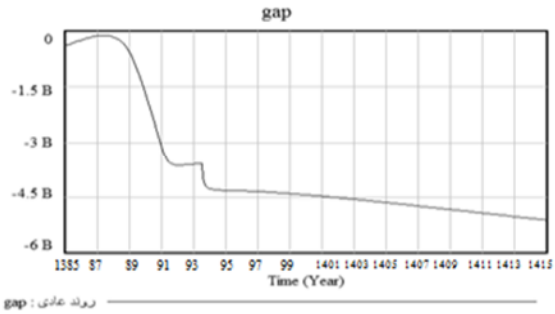
در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، اعتبار رفتاری الگو، بر اساس آزمون شبیه‌سازی رفتار حدی به‌دست آمد. فاصله عرضه- تقاضا، اختلاف آب تقاضا شده و آب تأمین شده را نشان می‌دهد. با تأمین تمامی آب تقاضا شده، همان‌طور که در شکل ۱۳ نیز نمایان است، فاصله عرضه-تقاضا صفر می‌شود و این همان رفتاری است که در صورت برابر شدن تقاضای آب و آب تأمین شده، انتظار می‌رفت مشاهده شود.




**شکل۱۳**- نتیجه آزمون حدی رفتار الگو در خروجی شبیه‌سازی

#### ۳-۱-۲- بازسازی رفتار مرجع

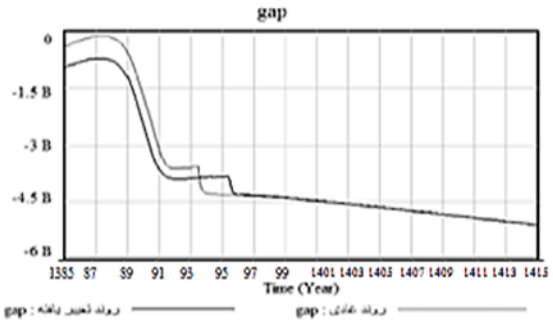
پس از شبیه‌سازی مدل، یکی از مواردی که لازم است مورد توجه قرار گیرد، این است که آیا مدل طراحی‌شده، رفتاری مشابه با روند گذشته و موجود به‌دست می‌دهد. با توجه به شکل ۱۴، می‌توان گفت رفتار متغیر مرجع در محیط شبیه‌سازی شده در این پژوهش، طبق رفتار پیش‌بینی شده بود.




**شکل۱۴**- نتیجه آزمون بازسازی رفتار مرجع، توسط الگو در خروجی شبیه‌سازی

#### ۳-۱-۳- آزمون حساسیت

یکی از روش‌های سنجش اعتبار، آزمون حساسیت است. بر اساس این آزمون، تغییرهای کوچک و قابل پیش‌بینی در پارامترهای الگو، در حالت عادی، نباید تغییرهای شدید و غیرقابل پیش‌بینی در رفتار الگو ایجاد کند[۱۰]. در مدل پژوهش، با ۳ درصد افزایش تقاضا، تغییر چشمگیری در فاصله عرضه- تقاضای آب دیده نشد (شکل ۱۵).




**شکل۱۵**- نتیجه آزمون آنالیز حساسیت الگو در خروجی شبیه‌سازی

### ۳-۲- سیاست‌ها

در رابطه با موضوع آب، باید به این نکته اشاره کرد که آب به‌عنوان کالایی با ارزش، از نظر اجتماعی از حساسیت زیادی برخوردار است. به‌همین علت در زمان مواجه شدن با کمبود آب، سیاست‌های به‌کار گرفته شده در این راستا بودند که این احساس خطر به جامعه منتقل نشود. در زمان کمبود آب، جیره‌بندی از جمله سیاست‌هایی است که به‌دلیل حساسیت اجتماعی آب به‌عنوان یک کالای با ارزش، کمتر به آن توجه شده است. تا به حال عمده سیاست‌های به‌کار گرفته شده در زمان مواجه‌شدن با کمبود شدید آب، افت فشار و یا دست زدن به ذخایر استراتژیک آب بوده است که مسلماً سیاست‌های بالا نمی‌توانند مسئله را در بلند مدت حل نمایند و نیاز به اتخاذ سیاست‌های اثربخش‌تری است. با مشاهده و بررسی تغییراتی که در اثر اعمال سیاست‌های مختلف بر رفتار مرجع سیستم که همان فاصله عرضه- تقاضا است، مهم‌ترین سیاست‌ها و سناریوهای تأثیرگذار تبیین شدند.

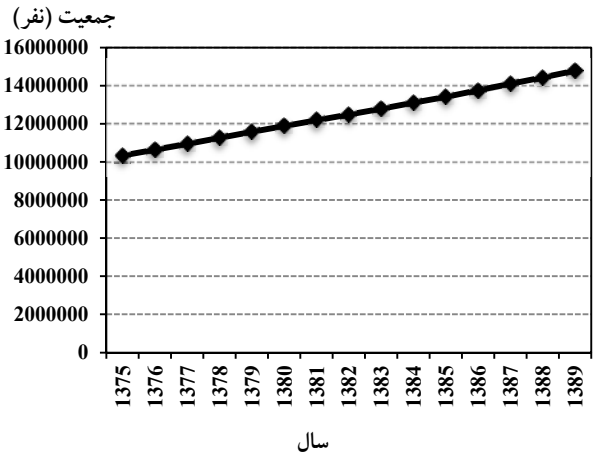
#### ۳-۲-۱- سیاست‌های مرتبط با جمعیت

همان‌طور که در اطلاعات مندرج در جدول ۲ مشاهده می‌شود، جمعیت تهران از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۵ روند افزایشی قابل‌توجهی را داشته است. برای شفاف‌تر نمودن روند افزایشی جمعیت تهران، اطلاعات مربوط به جمعیت از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۸۹ به‌تفکیک با استفاده از اطلاعات ارائه شده در مرکز آمار ایران در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

**جدول۲**- تغییرات جمعیتی تهران در دوره‌های مختلف برحسب نفر

| سال | ۱۳۴۵ | ۱۳۵۵ | ۱۳۶۵ | ۱۳۷۵ | ۱۳۸۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| جمعیت تهران | ۳۴۵۵۵۱۶ | ۵۳۰۲۸۰۱ | ۷۹۲۸۹۳۶ | ۱۰۳۴۳۷۸۶ | ۱۳۴۱۳۳۴۸ |

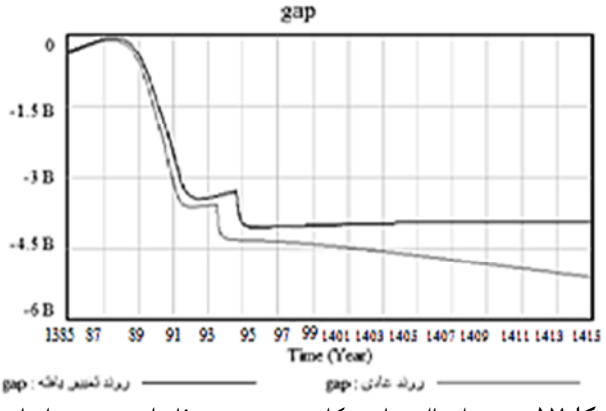
منبع: مرکز آمار ایران ۱۳۸۵




**شکل۱۶**- تغییرات جمعیتی تهران از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۹(بر حسب نفر)
منبع: مرکز آمار ایران

با افزایش جمعیت، سطح تقاضای آب به‌طور قابل توجهی روند افزایشی داشته است. میزان رشد جمعیت به‌طور مستقیم باعث افزایش تقاضای آب شرب می‌شود و به‌طور غیرمستقیم بر تقاضای آب در بخش صنعت و کشاورزی تأثیر می‌گذارد.

با اعمال سیاست‌های کاهش جمعیت، می‌توان نرخ تولد در منطقه را کاهش داد. درصورتی که نرخ تولد کاهش یابد، فاصله عرضه و تقاضای آب همان‌طور که در شکل ۱۷ نمایان است، کاهش می‌یابد.




**شکل۱۷**- نتیجه اعمال سیاست کاهش جمعیت بر فاصله عرضه- تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی

**۳-۲-۲- سیاست‌های مرتبط با قیمت آب**

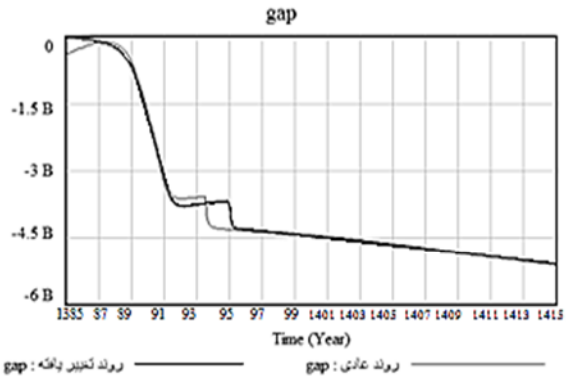
تغییر قیمت یکی از ابزارهای مدیریت اقتصادی در بخش آب است که در کنار ابزارهای نهادی همچون اقدام‌های قانونی، سیاسی، اطلاع‌رسانی و ابزارهای فنی و فناوری اثر انکارناپذیری دارد و از جمله ابزارهای مهم مالی است. در حال حاضر، نظام قیمت‌گذاری و تعیین تعرفه‌ها در مدیریت منابع آب کشورهای مختلف جهان، نقش بسیار با اهمیتی پیدا کرده است. هدف‌های مهم نظام قیمت‌گذاری عبارت‌اند از:

۱- ایجاد انگیزه و احساس مسئولیت برای اصلاح الگوی مصرف و افزایش میزان بهره‌وری آب؛

۲- رعایت ضوابط و جلوگیری از تخلفات، برای ایجاد انگیزه برای رعایت حدود و ضوابط تعیین شده، در راستای توسعه بدون تخریب محیط زیست و حفظ حقوق و منافع گسترده آیندگان و دیگران؛

۳- تأمین یا بازپرداخت تمام یا بخشی از سرمایه‌گذاری اولیه و نیز بازپرداخت هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری توسط مصرف‌کنندگان[۱۱] .

قیمت‌گذاری مناسب آب به‌طور معنی‌داری وضعیت عملیات مدیریت آب را بهبود می‌بخشد و به‌طور جزئی یا کلی بر هزینه‌های خدمات آب تأثیر می‌گذارد و از طریق تأثیر بر رفتار مصرف‌کنندگان، امکان استفاده منطقی از آب را فراهم می‌کند[۱۲]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با دو برابر نمودن قیمت آب، فاصله میان عرضه و تقاضای آب تغییر می‌کند، اما این تغییر چشمگیر نیست (شکل ۱۸).



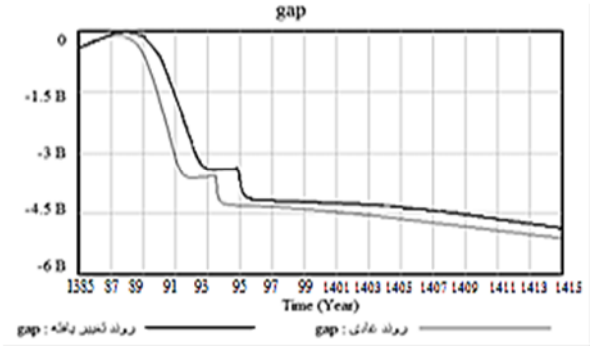

**شکل۱۸**-نتیجه اعمال سیاست افزایش قیمت آب بر فاصله عرضه- تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی

عمده‌ترین دلایل بی‌کشش بودن تقاضای آب نسبت به قیمت، در پژوهش‌های انجام شده در سطح ملی و بین‌المللی، نبود جانشین مشابه آب در بیشتر مصارف و از جمله شرب، کم بودن هزینه آب در بودجه خانوار و مکمل بودن آب در بیشتر مصارف با سایر کالاها بیان شده است[۱۳].

آب یک منبع حیاتی و ضروری در هر سه بخش شرب، صنعت و کشاورزی محسوب می‌شود؛ به‌همین دلیل، افزایش قیمت آن اگرچه تقاضا را کاهش داده، اما به‌تنهایی نمی‌تواند کاهش چشمگیری در تقاضای آب ایجاد کند.

**۳-۲-۳- سیاست‌های مرتبط با افزایش مالیات بر فعالیت‌های اقتصادی در بخش کشاورزی و صنعت (اعمال محدودیت‌های قانونی)**

یکی از محدودیت‌های قانونی که در زمان مواجه‌شدن با بحران آب در منطقه، به آن توجه نمی‌شود، مالیات بر سرمایه‌گذاری‌هایی است که در حوزه کشاورزی و صنعت وضع می‌شود، تا از سرمایه‌گذاری‌های غیرمولد در این دو حوزه جلوگیری شود. بنابراین تعرفه‌بندی مناسب علاوه بر ایجاد منابع درآمد، در تنظیم الگوی مصرف و حفظ منابع آب نقش بسیار مهمی دارد. قرار دادن مالیات همان‌طور که در شکل ۱۹ نیز نیز نشان داده شده است، با کاهش فعالیت‌های اقتصادی در منطقه، فاصله میان تقاضا و عرضه آب را کاهش می‌دهد. معمولاً در زمان مواجه شدن با بحران آب، وضع کردن مالیات یکی از راهکارهایی است که برای کنترل فعالیت اقتصادی در منطقه به آن توجه می‌شود.

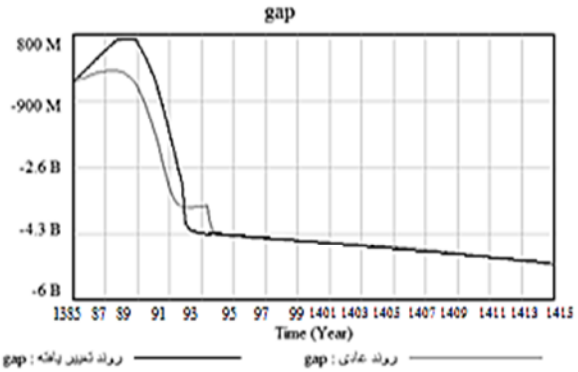



**شکل ۱۹**- نتیجه اعمال سیاست افزایش مالیات بر فاصله عرضه- تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی

پژوهش‌های مختلفی که در زمینه بررسی تأثیر مالیات به‌عنوان یک ابزار و خط مشی برای کاهش مصرف آب در مناطق مختلف انجام شده‌اند نیز بیانگر آن هستند که مالیات علاوه بر کاهش مصرف می‌تواند الگوی مصرف، تولید و الگوهای تجاری یک منطقه را نیز تغییر دهد[۱۴ و ۱۵].

**۳-۲-۴- سیاست‌های مرتبط با قوانین برداشت**

برداشت از منابع آب زیرزمینی و ذخایر آبی موجود در حوضه، معمولاً با اعمال مجموعه‌ای از قوانین کنترلی صورت می‌پذیرد. به‌طوری که برداشت بیش از حد مجاز با فشارهای قانونی همراه خواهد بود. در وضعیتی که حل بحران آب از موارد بسیار مهم باشد، کاهش فشارهای قانونی، می‌تواند از راهبردهای مورد توجه باشد. همان‌طور که در شکل ۲۰ نشان داده شده است، کاهش فشارهای قانونی، در برداشت از منابع آب، تنها موجب کاهش فاصله عرضه- تقاضای آب به‌طور جزئی شده و در بلندمدت نمی‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر به‌کار گرفته شود؛ زیرا برداشت بیش از حد منابع آب امکان‌پذیر نیست.




**شکل ۲۰**- نتیجه اعمال سیاست افزایش درصد برداشت آب بر فاصله عرضه- تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی

**۳-۲-۵- سیاست‌های مربوط به فناوری**

انواع مختلفی از فناوری‌ها در زمینه بهبود، انتقال و نظارت بر آب به‌وجود آمده‌اند و درحال پیشرفت هستند. فناوری می‌تواند فرصت‌های جدیدی را پیش روی دولت‌ها قرار دهد[۱۶].

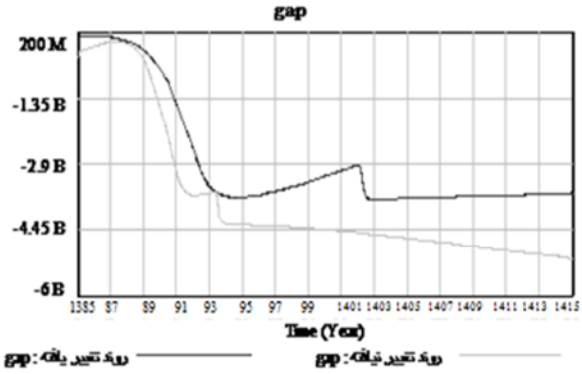
یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب، استفاده از آب دریا و تبدیل آن به آب آشامیدنی است. فناوری مربوط به این زمینه درحال بهبود یافتن و ارزان‌تر شدن است. نمک‌زدایی یکی از فناوری‌های است که به‌دلیل بهبود آب آشامیدنی در مکان‌هایی که آب دریا و آب‌های زیرزمینی شور وجود دارد، می‌تواند استفاده شود. انتظار می‌رود که هزینه‌های استفاده از فناوری آب یک روند رو به کاهش را دنبال کند. یکی از فناوری‌هایی که در آینده امکان استفاده از آن وجود دارد، نمک‌زدایی خورشیدی است. همچنین در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشم‌گیری در زمینه انواع فناوری‌های خانگی صورت گرفته است که کارایی را در استفاده از آب افزایش می‌دهند[۱۶]. فناوری‌های آبیاری یکی دیگر از مهم‌ترین نوع فناوری‌هایی هستند که بر کمّیت آب تأثیر گذاشته و آن را کاهش می‌دهند. استفاده از این فناوری‌ها در بخش کشاورزی، کارایی مصرف آب را به‌طور

قابل توجهی افزایش می‌دهد. از دیگر فناوری‌هایی که اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته است، فناوری بارورسازی ابرها است. بارورسازی ابرها دانش پیشرفته‌ای است که با دو روش باروری ابر گرم و سرد انجام می‌شود. باروری ابر گرم بیشتر در مناطق گرم شرجی با درجه حرارت بالاتر از صفر درجه صورت می‌گیرد که در کشور ایران کمتر رخ می‌دهد؛ اما در باروری ابر سرد که روش معمول در ایران است، در صورتی که درجه حرارت هوا زیر صفر باشد، در زمستان و پاییز یا در ابتدای فصل بارش این کار صورت می‌گیرد. باروری ابرها با ایجاد هسته‌های یخ‌ساز در داخل ابرها صورت می‌گیرد[۱۷]. با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کاهش مخازن سدهای تهران، طرح باروری ابرها در تهران نیز طی سال‌های اخیر در برنامه‌های وزارت نیرو قرار گرفته است[۱۸].

البته باید به این نکته اشاره نمود که بارورسازی ابرها تنها در مناطق مستعد می‌تواند باعث افزایش بارش شود و در هر منطقه‌ای جواب نمی‌دهد. برای مثال در مناطقی که آلودگی هوا زیاد است، ممکن است ذرات ریز داخل ابرها آن‌قدر زیاد باشد که نه تنها آلودگی هوا رفع نشود بلکه ابرها عقیم شوند، پس با توجه به هزینه‌های کلان پروژه‌های بارورسازی ابرها، باید به‌میزان منافع حاصل از آن توجه نمود[۱۹]. بنابراین استفاده از عملیات بارورسازی در تهران همیشه با موفقیت همراه نبوده است.

استفاده از این فناوری در کلان‌شهرهایی همچون تهران باید با توجه به شرایط منطقه و هزینه‌های اجرایی آن صورت پذیرد، در غیر این صورت نمی‌توان انتظار داشت که نتیجه دلخواه ایجاد شود.

با افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های آب که شامل انواع فناوری مصرف، بازیافت و تصفیه در هر سه حوزه کشاورزی، صنعت و شرب می‌شوند، فاصله عرضه- تقاضای آب به‌طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت (شکل ۲۱). این امر، بیانگر ارزش و اهمیت سیاست‌های مربوط به تغییر سطح فناوری در مدیریت منابع آب است.




**شکل ۲۱**- نتیجه اعمال سیاست افزایش فناوری آب بر فاصله عرضه تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی شده

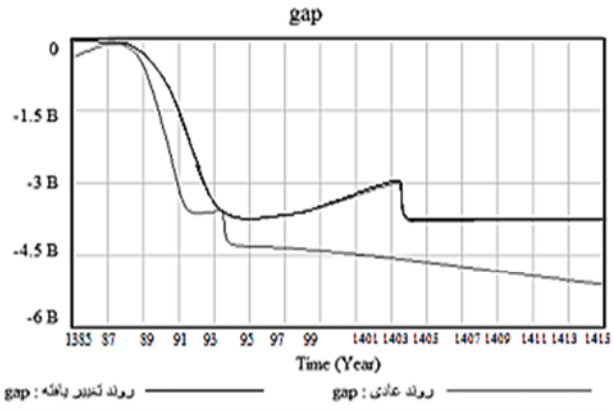
تصفیه و بازیافت آب‌های مصرف شده در هر سه چرخه آب شهری، صنعت و کشاورزی، از جمله منابعی است که بسیار به آن توجه شده است و فناوری‌های جدید می‌توانند نقش قابل توجهی در این زمینه ایفا کنند[۲۰ و ۲۱].

یکی از نمودهای فناوری جدید، کاربردهای نانوفناوری در تهیه آب پاک است که از آن جمله می‌توان به غشاهای لوله کربنی، زئولیت‌ها، پلیمرها، فیلترهای NF، نانومواد، نانوکاتالیست‌ها، نانوذرات، نانوحسگرهای زیستی برای تشخیص سریع آلودگی آب و روش‌های سازگار با محیط زیست برای تصفیه آب‌های زیرزمینی، به‌وسیله اجزای معدنی و آلی اشاره نمود[۲۲، ۲۳ و ۲۴]. هر یک از فناوری‌های بالا می‌تواند در نمک‌زدایی، افزایش کیفیت آب، حذف آلاینده‌ها و به‌طور کلی در تصفیه آب نقش مهمی را ایفا کنند.

### ۳-۳- بسته‌های سیاستی

#### ۳-۳-۱- سیاست ترکیبی اعمال همزمان مالیات به‌همراه افزایش قیمت و کاهش جمعیت

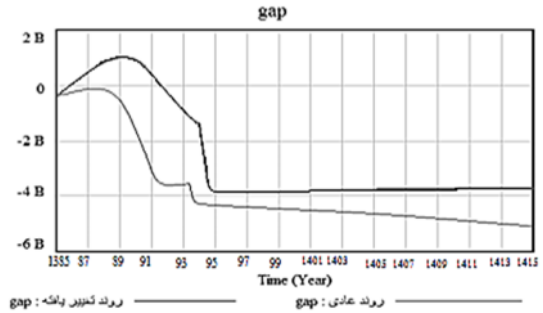
درصورتی که سه سیاست اعمال مالیات، افزایش قیمت و کاهش جمعیت همزمان اعمال شود، تغییر قابل توجهی در فاصله عرضه و تقاضای آب به‌وجود می‌آید. وضع مالیات بر سرمایه‌گذاری‌هایی که در منطقه صورت می‌گیرد، تأثیر گذاشته و افزایش قیمت نیز تقاضای آب را در سه حوزه صنعت، کشاورزی و شرب کاهش خواهد داد. در بسته سیاستی بالا، افزایش قیمت در کنار سایر سیاست‌ها در نظر گرفته شده است. علت آن هم این است که مالیات و اصلاح قیمت با تأخیری از نظر فرهنگی بر جامعه تأثیر می‌گذارند و خود دارای اثرات جمعیتی نیز هستند که تأثیر جمعیت را بیشتر می‌کنند (شکل ۲۲).




**شکل ۲۲**- نتیجه سیاست ترکیبی اعمال همزمان مالیات به‌همراه افزایش قیمت و کاهش جمعیت بر فاصله عرضه و تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی

**۳-۳-۲- سیاست ترکیبی اعمال همزمان کاهش فشار قوانین برداشت به‌همراه افزایش قیمت و کاهش جمعیت**

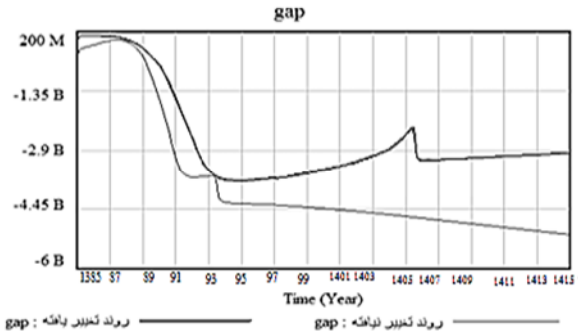
در میان سیاست‌های بالا، کاهش جمعیت و افزایش قیمت منجر به ثابت نگه‌داشتن روند فاصله عرضه- تقاضای آب در بلندمدت می‌شوند. درصورتی که همزمان با این دو راهکار از فشار قوانین برداشت هم کاسته شود، به‌صورتی که حد مجاز برای برداشت آب تا حدی افزیش پیدا کند، نه تنها از فاصله میان عرضه و تقاضای آب کاسته می‌شود، بلکه در بلند مدت به‌طور مثبت روند کاهشی خواهد داشت (شکل ۲۳).




**شکل۲۳**- نتیجه سیاست ترکیبی اعمال همزمان کاهش فشار قوانین برداشت به‌همراه افزایش قیمت و کاهش جمعیت بر فاصله عرضه- تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی

**۳-۳-۳- سیاست‌های مرتبط با فناوری و جمعیت**

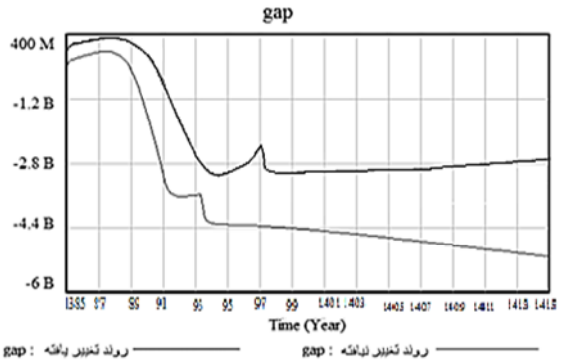
به‌کارگیری فناوری‌های نوین در بهبود مصرف آب، جلوگیری از آلودگی و تلفات آبی در هر سه بخش شرب، کشاورزی و صنعتی دارای اهمیت است و همان‌طور که نشان داده شد، فناوری، تأثیر قابل توجهی در کاهش فاصله عرضه- تقاضای آب دارد. یکی دیگر از سیاست‌های مؤثر در کاهش فاصله موجود، سیاست کنترل جمعیت است. با اعمال همزمان این دو سیاست با هم تغییر چشمگیر و قابل توجهی در فاصله عرضه- تقاضای آب دیده شد. همان‌طور که در شکل ۲۴ مشاهده می‌شود، اعمال همزمان این سیاست در بلندمدت باعث می‌شود که این فاصله روند رو به کاهشی را دنبال کند.




**شکل۲۴**- نتیجه اعمال سیاست افزایش همزمان قیمت و کاهش جمعیت بر فاصله عرضه- تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی

**۳-۳-۴- سیاست ترکیبی اعمال همزمان مالیات، کاهش فشار قوانین برداشت به‌همراه افزایش قیمت، کاهش جمعیت و بهبود فناوری**

حل بحران آب نیازمند در پیش‌گرفتن یک رویکرد جامع و یکپارچه است و سیاست‌های مطرح شده لازم است در کنار یکدیگر اعمال شوند، تا نتیجه اثربخش‌تری را از طریق این هم‌افزایی ایجاد نمایند. شکل ۲۵ نمایی از اعمال همزمان تمامی سیاست‌های ترکیبی در کنار هم را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فاصله عرضه- تقاضای آب به‌طور چشمگیری کاهش یافته و شیب نزولی آن نیز به یک شیب صعودی تبدیل شده است. به‌این معنا که این روند کاهشی در بلندمدت ادامه خواهد یافت.




**شکل۲۵**- نتیجه سیاست ترکیبی اعمال مالیات، کاهش فشار قوانین برداشت به‌همراه افزایش قیمت، کاهش جمعیت و بهبود فناوری بر فاصله عرضه- تقاضای آب در خروجی شبیه‌سازی

## ۴- نتیجه‌گیری

ایجاد نگرش سیستمی در تحلیل مسائل، منجر به شناخت همه جانبه و درک بهتر مسئله می‌شود. چنین رویکردی در شناخت مسئله آب نیز به درک پویایی‌ها و پیچیدگی‌های نهفته در آن کمک کرده و با درک متغیرهای تأثیرگذار به تدوین سیاست‌های مؤثرتر در حل آن منجر شد. مدل ارائه شده در پژوهش علاوه بر مدل‌کردن چرخه آب، با اضافه نمودن عوامل اقتصادی و ساختارهای تصمیم ناشی از انگاره‌ها و مدل‌های ذهنی بازیگران مسئله، با هدف مدل‌سازی کاربردی‌تر از یک مدل عینی، به مدل ترکیبی عینی- ذهنی نزدیک‌تر شد و در نتیجه قابلیت شناخت بهتری را از لایه‌های پنهان فراهم نمود که سرمنشاء مقاومت در برابر تصمیم‌ها هستند.

یکی از انگاره‌های سیستم آب، نگاه تصمیم‌گیران در خصوص تأمین آب مورد نیاز شهری و صنعت، با انتقال آب از بخش کشاورزی است. این انگاره به‌منظور کاهش فشار ناشی از فاصله عرضه- تقاضا در این دو بخش است. انتقال آب از بخش کشاورزی برای تأمین آب مورد نیاز بخش کشاورزی و صنعت،

یکی از سیاست‌هایی است که در بسیاری از مناطق از آن استفاده می‌شود و ضررهای بیشماری را برای کشاورزان به‌همراه خواهد داشت. آنچه در این مقاله به آن پرداخته شد، تمرکز بر سرمایه‌گذاری بر فناوری‌هایی بود که امکان استفاده مجدد از آب‌های بخش کشاورزی و آب‌های هدر رفته در این بخش را برای سایر بخش‌ها فراهم نمایند. انگاره دیگر، اتمام‌ناپذیری منابع آب و انگاره حاکمیت انسان بر طبیعت از منظر تصمیم‌سازان و مصرف‌کنندگان است که منجر به نادیده گرفتن محیط زیست می‌شود و استفاده بیش از حد مجاز از منابع آبی را به‌همراه خواهد داشت. یکی از نتایج این انگاره افزایش میزان برداشت از منبع و کاهش میزان ذخیره استراتژیک آب منبع است که علاوه بر تخریب محیط زیست، تنها در کوتاه مدت می‌تواند پاسخگوی نیازهای منطقه باشد. همچنین استفاده از راه‌حل‌های مبتنی بر فناوری و تجدید ساختار سیستم‌های تصفیه، انتقال و بازیابی، شامل هزینه‌های اولیه‌ای می‌شود که مقرون به‌صرفه نیست. مدل پویای ارائه شده با در نظر گرفتن گستره زمانی مناسب نشان داد که اعمال این هزینه‌ها در بلندمدت مقرون به‌صرفه بوده و بر ضرورت توسعه فناوری تأکید می‌نماید.

در این مقاله یک مدل یکپارچه ارائه شد که در آن، اثر کنشگران نه تنها در سطح آثار، بلکه در سطح نمودها، ساختار و انگاره‌ها با هم در نظر گرفته شدند. پژوهش حاضر همچنین محیط شبیه‌سازی شده‌ای ارائه نمود که در آن، می‌توان اثر سیاست‌ها را حدس زد و پیش‌بینی کرد و پیش از آنکه در عمل اجرا شوند، می‌توان آثار آنها را در مدل مشاهده کرد.

مدل پیشنهادی لازم است بهبود یابد. به‌همین دلیل مدل، هم در سطح مفاهیم و هم از نظر روابط شبیه‌سازی‌شده ارتقا یابد. هرچه مدل به واقعیت نزدیک‌تر باشد و متغیرهای تأثیرگذار بر مسئله با دیدی جامع‌تر در نظر گرفته شوند، دقت نتایج حاصل از مدل بالاتر خواهد رفت. در این راستا لازم است در پژوهش‌های آتی، تلاش‌ها در راستای سنجش تأثیر سایر متغیرهایی باشد که در پژوهش حاضر ثابت فرض شد و یا در نظر گرفته نشد.

## ۵- مراجع


1. Ghaderi, K., Islami, H., and Mousavi, S.J. (2006). "Optimal combining exploitation of surface and groundwater resources of Tehran-Shahriyar plain." *2nd Water Resources Conference*, Tehran. (In Persian)
2. Daeemi, A. (2013). <http://hamshahrionline.ir/details/214182>. (May 2013).
3. Zargarpour, R., and Nourzad, A. (2010). "A conceptual model of integrated water resources management for national water security." *Iran J. of Water Resources Research*, 5(3), 1-13. (In Persian)
4. Sterman, J.D. (2000). *Business dynamics, system thinking and modeling for a complex world*, Irwin: McGraw-Hill, New York.
5. Larijani, K.M. (2005). "Iran's water crisis; inducers, challenges and Counter-Measures." *ERSA 45th Congress of the European Regional Science Association*, Tehran, (In Persian)
6. Nozari Pour, A. (2013). "Tehran province water and wastewater." <http://www.tpww.co.ir/fa /news/ 19298>. (Oct. 2013)
7. Golmehr, E. (2012). "Investigation of water supply systems in semi-arid regions of Iran: A case study of western part of Tehran province." *Int. J. of Environmental Sciences*, 2(3), 1435-1448.
8. Atlas of Tehran Metropolis. (2006). "water resources." <http://atlas.tehran.ir/Default. aspx?tabid=174>. (May 2013)
9. Mozafari, G. A. (2011). "Water crisis in Tehran metropolis-challenges and solutions." *First Conf. of Sustainable Urban Development*, Center of Excellence of Sustainable Urbon Development, Tehran. (In Persian)
10. Fartokzadeh, H.R., and Rajabi Nahoji, M. (2009). "Dynamic modeling of entrepreneurship opportunity "Urban physical distribution underlying metropolises traffic." *J. of Entrepreneurship Development*, 2(6), 97-124. (In Persian)
11. Water Economic Office. (2003). *Rules and regulation of water tariffs*, Iran Water Resources Management Company, Report code: A-83-03-112. (In Persian)
12. Jalil Piran, H. (2012). "The role of water pricing on water resources balancing in agriculture." *Monthly J. of Economic Issues and Policies*, 2, 119-128. (In Persian)

13. Bostani, A., and Ansari, H. (2011). “Studying consumable approach in urban water demand management.” *J. of Agricultural Engineering and Natural Resources*, 33, 48-22. (In Persian)
14. Berrittella, M., Rehanz, K., Roson, R., and Tol, R.S.J. (2008). “The Economic Impact of water taxes: A Computable general equilibrium analysis with an international data set.” Working Papers ,Department of Economics Ca’ Foscari University of Venice.
15. Qin, C., Yangwen, J., Su, Z., Bressers, H.T.A., and Wang, H. (2012). “The economic impact of water tax charges in China: a static computable general equilibrium analysis.” *J. of Water International*, 37, 279-292.
16. Prime Minister’s Science, Engineering and Innovation Council. (2003). “Recycling water for our Cities.” <http://www.innovation.gov.au/Science/PMSEIC/Documents/RecyclingWaterForOurCities.pdf>. (May 2013)
17. Javadian Zadeh, M.M. (2010). “Everything about cloud seeding.” <http://www.jahannews.com /vdcaiwn6y49nm01.k5k4.html.> (May 2013)
18. Erteghayi, Kh. (2013). *Clouds’ fertilization in Tehran is necessary*, Tehran Capital, Tehran. (In Persian)
19. Fahmi, H. (2014). “Why water fertilization is not effective for Tehran climate pollution.” <http://www.parsnews.com/fa/tiny/news-110615/?redcode=Z2hhdHJlaC5jb20%3D> (May 2013)
20. Abdolghafoorian, A., Tajrishy, M., and Abrishamchi A. (2011). “Urban water management considering reclaimed wastewater and runoff as a new water resource for city of Tehran, Iran.” *J. of Water and Wastewater*, 84, 29-42. (In Persian)
21. Xiang, N., Sha, J., Yan, J., and Xu, F. (2014). “Dynamic modeling and simulation of water environment management with a focus on water recycling.” *J. of Water*, 6, 17-31.
22. Mehrab, M., and Mir Shojaee, S.M. (2007). “Water refinement by nano technology.” *J. of Exploration and Production Oil and Gas*, 47, 40-44. (In Persian)
23. Jafari Tehrani, A. (2010). “Nano technology and some of its applications in water industry.” <http://www.biotech.blogsky.com> (Feb. 24, 2011)
24. Paymozd, S., Morid, S., and Moghadasi, M. (2010). “Nonlinear planning and systems dynamic in agricultural water allocation (case study: The basin of Zayanderood).” *J. of Irrigation and Drainage*, 1(4), 42-55. (In Persian)