ارائه بهینه‌ی پویا به منظور بررسی مشکلات تأمین آب فضای سبز شهر شیراز

محمدحسین احمدی[۱]*، مهدی ضرغامی[۲]، یوسف حسن زاده[۲]

چکیده

با توجه به رشد سریع شهرنشینی و محدود بودن منابع آب، نیاز به مدیریت مؤثر در برنامه‌ریزی‌های کلان شهری در بخش مدیریت منابع آب بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از مهمترین دغدغه‌های برنامه ریزان شهری، تأمین آب بخش فضای سبز شهری به خصوص در فصول گرم سال است. در مقاله‌ی حاضر با استفاده از روش پویایی سامانه‌ها، شبیه منابع و مصارف شهر شیراز با تأکید ویژه بر توسعه‌ی فضای سبز ایجاد شده است. بدین منظور تمام عوامل مؤثر بر فضای سبز شهر شیراز شبیه‌سازی، و با توجه به آن پیش بینی از افزایش مصارف و میزان منابع در دسترس، ارائه می‌شود. همچنین، عوامل مؤثر کنونی و عواملی که در آینده بر سامانه تأثیرگذار خواهند بود، مانند احداث خط دوم انتقال آب از سد درودزن در شبیه سازی اعمال شده‌اند. سپس سه نمایشنامه شامل افزایش بازده آبیاری فضای سبز، تکمیل تصفیه خانه‌های شیراز و نیز احداث سد تنگ سرخ مدنظر قرار گرفته و شبیه‌سازی شده است. نتایج این تحقیق نشان دادند که افزایش بازده آبیاری و آبیاری در ساعات مناسب، تأثیر به مراتب بیشتری در مقایسه با احداث سد تنگ سرخ و استفاده از آب تصفیه شده به منظور کاهش برداشت از منابع محدود کنونی خواهد داشت. همچنین نتایج شبیه سازی نشان داد که به منظور رسیدن به پایداری سامانه باید ترکیبی از این نمایشنامه‌ها، شامل کاهش نرخ رشد جمعیت، کاهش سرانه‌ی مصرف آب فضای سبز و خانگی، افزایش بازده آبیاری و استفاده از آب تصفیه شده برای فضای سبز مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پویایی سامانه‌ها، مدیریت منابع آب، فضای سبز شهری، شهر شیراز

[۱] دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
[۲] استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
Email: Mohamadh.ahmadi@gmail.com

مقدمه

امروزه از جمعیت ۷ میلیارد نفری کره‌ی زمین، بیش از نیمی از جمعیت در شهرها زندگی می‌کنند. این میزان در کشورهای فقیر و در حال توسعه بالاتر نیز هست. با روند فعلی رشد جمعیت در جهان، در هر ۱۵-۱۰ سال ۱ میلیارد نفر به جمعیت جهان اضافه شده و پیش بینی‌ها نشان دهنده این است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی حدود ۲/۵ میلیارد نفر به جمعیت شهرها افزوده خواهد شد (گزارش سازمان ملل، ۲۰۱۴). در مقایسه با سرعت شهرنشینی در جهان، رشد شهرنشینی در ایران سرعت بیشتری داشته است، به طوری که بر اساس سرشماری جمعیتی سال ۱۳۹۰، حدود ۷۰ درصد از جمعیت کشور در شهرها ساکنند. تمرکز شدید جمعیت و تداوم روند رشد جمعیت در شهرها باعث گردیده است که زیرساختهای فعلی آب، جوابگوی نیازها نشده، و از طرف دیگر، به دلیل فرسودگی تأسیسات آبی در شهرها، میزان تلفات آب حدود دو برابر معیار جهانی باشد. علاوه بر این، توسعه‌ی اقتصادی و بالا رفتن سطح رفاه نسبی باعث گردیده است که همزمان با رشد شهرنشینی، سرانه‌ی مصرف آب نیز افزایش یافته و در کنار آن، تغییر سبک زندگی و استفاده از لوازم جدید میزان مصرف آب را بیشتر کرده است. در مقابل، به بحث فرهنگ صحیح مصرف آب و سایر منابع طبیعی نیز توجه نشده است. با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور، و به دلیل تغییرات آب و هوایی و اثرات ناشی از آن، منابع آبی روز به روز کاهش یافته است. تا به حال سیاست‌های دولت در بخش آب شرب، توجه به مقوله‌ی تأمین آب بوده است. یعنی اینکه هر چه تقاضای آب در شهرها بیشتر شده تأمین آب نیز بیشتر شده است، در حالی که در بحث مدیریت تقاضا و کاهش مصرف اقدامات اساسی صورت نگرفته این امر باعث گردیده است که میزان آب مورد نیاز کلانشهرها روز به روز بیشتر شده و کشور در تأمین آب مورد نیاز آنها به ویژه در زمان‌های وقوع خشکسالی و فصل‌های گرم سال با مشکلات اساسی مواجه، و در مواقعی نیز با بحران روبه‌رو شود. راه حل اساسی برای تأمین دراز مدت آب شرب در شهرها، توجه به رویکرد مدیریت عرضه و تقاضای آب، مدیریت بهینه‌ی مصرف، و حرکت به سمت استفاده پایدار از منابع آبی در شهرها است. دستیابی به مدیریت پایدار آب در نواحی شهری نیازمند سرمایه گذاری، حکمرانی بهتر، اراده‌ی سیاسی و ارزش نهادن به مواهب زیست محیطی است (گزارش سازمان ملل ۲۰۱۲). در برنامه‌ریزی به منظور تأمین آب شهرها باید جمعیت و رشد آن، و مصرف سرانه مورد توجه قرار گیرد. میزان تقاضای آب در شهرها علاوه بر مصارف خانگی شامل مصارف بخش عمومی، مصارف صنعتی در محدوده‌ی شهرها به تراکم جمعیت، فضای سبز، آب و هوا و اقلیم شهر، و بالاخره میزان گستردگی سامانه فاضلاب وابسته است. بنابراین، مدیریت آب شهری باید به دنبال تعیین و پیش بینی نیازهای ذکر شده با توجه به رشد فزاینده شهرها، افزایش سطح رفاه و توسعه امکانات باشد. از این رو، با توجه به محدود بودن منابع برای تأمین آب شهرها، بحث مدیریت منابع آب بسیار مهم و حیاتی خواهد بود. بر این اساس تحقیقات متعددی درباره‌ی سامانه‌های منابع و مصارف آب شهری به منظور تأمین نیازهای مختلف و رسیدن به توسعه پایدار صورت گرفته است. اصطلاح مدیریت آب شهری اول بار در مقاله‌ای به وسیله‌ی لارسن و گوجر (۱۹۹۷) ارائه شد. آنها با استفاده از مفهوم توسعه‌ی پایدار مدیریت تأمین آب و تصفیه‌ی فاضلاب شهری را به عنوان مدیریت آب شهری معرفی کردند. آنها شش راهکار برای توسعه پایدار مدیریت آب شهری در آینده نیز ارائه دادند. در روش-های سنتی مدیریت منابع آب شهری تنها به بررسی یکی از مؤلفه‌های مؤثر در تأمین آب شهرها بدون در نظر گرفتن سایر عوامل پرداخته شده است. در تعداد زیادی از تحقیقات، تنها به بحث پیش بینی تقاضای آب به منظور مدیریت منابع آب پرداخته شده است.

برای نمونه روشنگر و همکاران (۱۳۹۴) از ترکیب روش برنامه‌ریزی بیان ژن با تحلیل تبدیل موجک برای پیش بینی تقاضای روزانه آب در شهر همدان استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان دادند که استفاده از ترکیب روش‌های ذکر شده باعث بهبود نتایج پیش بینی تا ۱۰درصد می‌شود. تابش و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی مصرف یک روزه‌ی آب شهر تهران را براساس فراسنج‌های اقلیمی و داده‌های تاریخی پیش بینی کردند. روش آنها میزان تقاضای روزانه آب در شهر تهران را با ضریب همبستگی ۸۰درصد و خطای متوسط ۲درصد پیش بینی می‌کرد. ایشان، همچنین رابطه‌ای را برای پیش بینی تقاضای روزانه‌ی آب

تهران با خطای مطلق ۳درصد ارائه دادند. تابش و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیق دیگری از شبیه‌های مختلف فازی و نروفازی برای پیش بینی تقاضای آب در شهر تهران استفاده کردند. مقایسه‌ی نتایج حاصل از این روش با نتایج استفاده از شبکه‌های عصبی نشان از دقت یکسان این دو داشت.

مشکل اساسی این روش‌ها در نظر گرفتن تعداد معدودی از عوامل مؤثر است. در واقع سامانه آب شهری متشکل از عوامل زیادی است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم برهم اثر گذارند، و در نظر نگرفتن هریک از این عوامل می‌تواند بر نتایج حاصله تأثیر مستقیم داشته باشد. به همین خاطر، اکثر این روش‌ها در بهترین حالت قادر به پیش بینی یک روزه‌ی تقاضا هستند و پیش بینی‌های بلند مدت با خطای بسیار زیادی همراه است. با توجه به این موضوع، بحث مدیریت آب شهری با در نظر گرفتن عوامل مؤثر در آن مورد توجه محققین و مدیران آب شهری قرار گرفته است. با گسترش یارانه‌ها و معرفی دید نظام‌مند در علوم مختلف، محققین حوزه آب نیز از این روش استقبال کردند و تحقیقات منابع آب از حالت جزئی نگری به کلی نگری و دید سامانه‌ی تغییر یافت. تحقیقات زیادی در ادبیات فنی در مورد مدیریت آب شهری با استفاده از دید سامانه‌ای صورت گرفته‌اند. فاگان و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی در شهر ملبورن، یک چارچوب شبیه‌سازی مبتنی بر پویایی سامانه‌ها را با استفاده از ابزار سیمولینک متلب ارائه دادند. آنها شش زیر شبیه شامل منابع آب، مصرف کننده‌های آب شهری، مصرف کننده‌های آب صنعتی، مصرف کننده‌های آب کشاورزی، سیلاب شهری و در نهایت فاضلاب شهری و تصفیه آن را در شبیه‌سازی خود بررسی کردند. نتایج آنها کارایی بالای دید سامانه‌ای را در شبیه‌سازی آب شهری نشان داد. ژانگ و همکاران(۲۰۰۸) شبیه‌ای براساس پویایی سامانه‌ها به منظور برنامه‌ریزی منابع آب در شهر تیانجین چین ارائه دادند. در شبیه آنها تمرکز اصلی بر مسائل مدیریت زیستی قرار گرفته بود. آنها ۹۶ متغیر مختلف را طی یک دوره آماری ۱۲ ساله شبیه‌سازی کردند. نتایج این تحقیق کارا بودن روش پویایی سامانه‌ها را در مدیریت زیست محیطی شهری، و تأثیر برنامه‌ریزی شهری در مدیریت منابع آب نشان می‌دهد. ضرغامی و اکبریه (۲۰۱۲) شبیه پایه‌ی آب شهر تبریز را مبتنی بر روش پویایی سامانه‌ها ارائه نمودند. آنها در این شبیه نمایشنامه‌هایی را مانند افزایش بهای آب، استفاده از وسایل کاهنده‌ی مصرف، و انتقال آب از مناطق دیگر را بر سامانه منابع شهر تبریز بررسی کرده و برای افق ۱۴۱۰ راهکارهایی را به منظور برون رفت از بحران کمبود آب ارائه دادند. رهان و همکاران (۲۰۱۳) شبیه‌ی به منظور مدیریت پایدار اقتصادی در شبکه آب شهری ارائه دادند. شبیه ارائه شده به وسیله ی آنها شامل سه زیر شبیه شبکه توزیع آب، مصرف کنندگان و زیر شبیه اقتصادی بود. این شبیه به علت در نظر گرفتن شاخص‌های اقتصادی در مدیریت آب شهری بر سایر شبیه‌های ارائه شده برتری داشت. حسن‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) از پویایی سامانه‌ها به منظور تحلیل نمایشنامه‌ها در بخش ساسکاتچوان کانادا استفاده کردند. آنها دو بخش آبیاری کشاورزی و اقتصاد را مد نظر قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان دادند که افزایش اختصاص منابع رواناب سطحی به بخش آبیاری، باعث کاهش تولید انرژی برق آبی خواهد شد، اما سود اقتصادی به مراتب بیشتری را در پی خواهد داشت. همچنین، این تحقیق حساسیت بالای سامانه را به بخش تبخیر- تعرق و محاسبه‌ی دقیق آن، نشان داده است. صلوی تبار و همکاران (۱۳۸۵) به کمک سامانه پویا شبیه مدیریت آب شهری تهران را تهیه کرده و رفتار متغیر آب زیر زمینی را تا سال ۱۴۰۰ شبیه سازی کردند. حسینی و باقری (۱۳۹۲) با استفاده از شبیه‌سازی پویا به بحث پایداری دشت مشهد پرداختند. ایشان سه راهبرد رشد اقتصادی را با رویکرد محدودیت منابع آب، تخصیص منابع آب با رویکرد ارزش افزوده و تغییر الگوی کشت مدنظر قرار داده و سیاست‌هایی را برای نیل به این اهداف طراحی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان دادند که تغییر الگوی کشت بیشترین تأثیر را بر پایداری سامانه دارد. تحقیقات بالا تعداد معدودی از مطالعات گسترده‌ی انجام شده در بحث مدیریت آب شهری با استفاده از دید سامانه‌ی است. اما حلقه‌ی مفقوده در این مطالعات بحث فضای سبز شهری و تأمین آب این بخش مهم است. مشخصاً، توسعه‌ی شهرنشینی و افزایش آلودگی شهرها، نیاز به فضای سبز را بیش از پیش در برنامه ریزی و مدیریت شهری به چالشی مهم تبدیل کرده است. بدون شک یکی از مسائل مهم در توسعه‌ی فضای سبز شهری داشتن منابع آب به منظور

گسترش و نگهداری آنها است. با توجه به افزایش گروه جمعیت و وقوع خشکسالی‌های دو دهه‌ی اخیر، بحث مدیریت منابع آب به یکی از چالش برانگیزترین مسائل در برنامه ریزی شهری تبدیل شده است. این امر باعث شده است که پژوهش‌هایی در زمینه‌ی فضای سبز شهری و منابع تأمین آب آنها صورت گیرد. به طور مثال استیو (۲۰۰۳) از پویایی سامانه‌ها به منظور تبیین راهکارهای استراتژیک کاهش مصرف آب شهر لاس‌وگاس در ایالت نوادای آمریکا استفاده کرد. هدف اصلی در شبیه نامبرده، بررسی نقش آگاهی رسانی به مردم به منظور صرفه جویی در مصرف آب بود. نمایشنامه‌های ارائه شده شامل کاهش آب مصرفی هتل‌ها و قمارخانه‌ها، کاهش مصرف آب خانگی، کاهش مصرف آب فضای سبز شهری، کاهش روند رشد جمعیت و ترکیب روش‌های فوق بود. نتایج این تحقیق نشان دادند که کاهش مصرف آب فضای سبز شهری کارآترین روش برای جلوگیری از بحران کمبود آب است. اُندر (۲۰۱۰)، در مقاله‌ای درباره‌ی تأثیر آب در فضاهای شهری به این نتیجه رسید که ۵۰ تا ۷۰ درصد مصرف آب در شهرها مربوط به بخش فضای سبز است. وی ۷ اصل را برای صرفه‌جویی در مصرف آب در فضای سبز پیشنهاد کرد: طراحی و برنامه‌ریزی، بهبود خاک، بازده آبیاری، مکان گیاهان، کود دادن، جایگزینی چمن با گیاهان مقاوم‌تر و محافظت صحیح. بررسی ادبیات تحقیق در زمینه مدیریت منابع آب شهری نشان می‌دهد که بحث فضای سبز تاکنون مورد غفلت قرار گرفته است، در حالی که این بخش قسمت عمده‌ای از مصارف آب شهرها را به خود اختصاص داده است، بنابراین، در این تحقیق سعی شده است که این موضوع مدنظر قرار گیرد. همچنین، از آنجا که مدیریت منابع آب شهری به شدت به الگوهای سامانه‌ای و بررسی دقیق و نحوه رشد آنها وابسته است، لذا در این تحقیق رویکرد پویایی سامانه‌ها به منظور مدیریت منابع و مصارف آب شهری مورد توجه قرار گرفته است. در مدیریت آب شهری سه قسمت اصلی به ترتیب مصرف خانگی، عمومی و صنعت بوده و در بخش عمومی، مصرف فضای سبز مهمترین و بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهد. در واقع، با توجه به مصرف آب بخش عمده‌ای از منابع آب شهری در فضای سبز، نیاز به برنامه‌ریزی در این مبحث بسیار احساس می‌شود. هدف از این مقاله، ارائه‌ی راهکارهایی به منظور حرکت به سمت توسعه پایدار شهری و کاهش یا رفع مشکل کمبود آب با استفاده از ابزار شبیه‌سازی است. همچنین، این پژوهش بحث فضای سبز شهری و منابع تأمین آب آن را نیز به عنوان یکی از عوامل کلیدی در شبیه‌سازی و تصمیم گیری‌ها در نظر گرفته است. بدین منظور، ابتدا شبیهی در نرم افزار VENSIM ساخته شد. سپس، با توجه به کمبودهای موجود، راهکارهایی برای جبران ارائه شده است. در این تحقیق شبیه ساخته شده برای کلان شهر شیراز بسط داده شده‌اند. شبیه ارائه شده از قابلیت تطبیق با سایر شهرهای کشور نیز برخوردار است و می‌توان با اعمال شرایط هر شهر، نتایج را استخراج و تجزیه و تحلیل کرد.

مواد و روشها

معرفی منطقه‌ی مطالعه شده

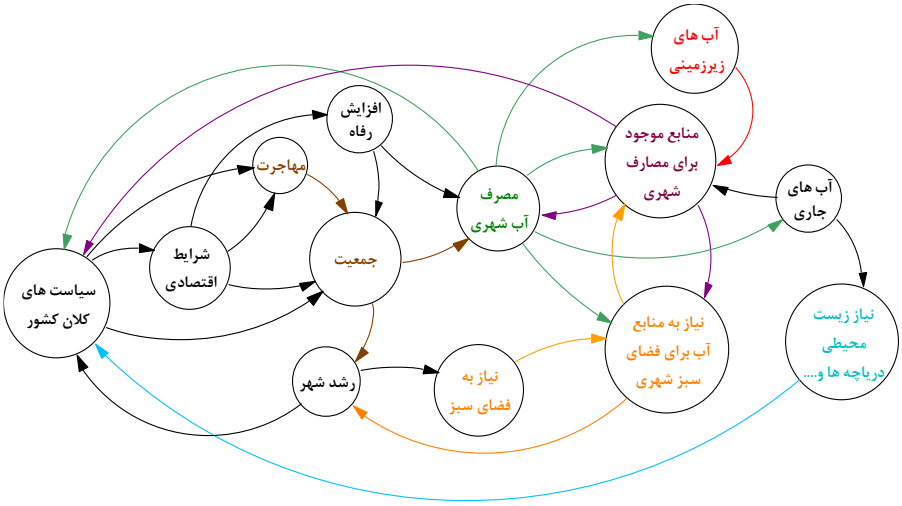
شیراز یکی از پنج شهر بزرگ ایران و مرکز استان فارس است. جمعیت شیراز ۱۷۰۶۵۹ نفر در سال ۱۳۳۵ و ۱۷۸۸۹۰۱ نفر در سال ۱۳۹۰ بوده است. این به معنای افزایش بیش از ۸ برابری جمعیت در محدوده‌ی زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ است (پایگاه آمار ایران) و این حالی است که جمعیت کشور ایران در همین دوره حدود ۴ برابر رشد داشته است. این نتایج حاکی از نرخ مهاجرت بسیار بالا به شهر شیراز و رشد بسیار گروهع شهرنشینی است. بالا بودن نرخ رشد جمعیت شهر شیراز تا سال ۱۳۶۵ ماحصل رشد طبیعی جمعیت و مهاجرت بسیار به شهر است. جنگ، خشکسالی و تصویب و اجرای قانون زمین شهری از دلایل مهاجرت به شیراز هستند، اما پس از سال ۱۳۶۵، نرخ رشد اندکی کاهش یافت (نظریان و همکاران، ۱۳۸۸). بررسی عکس‌های هوایی و طرح تفصیلی شیراز نشان می‌دهد که بر خلاف رشد ۸ برابری جمعیت شیراز طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰، مساحت منطقه‌ی شهری شیراز رشد بسیار بالای ۲۱ درصدی را داشته است. بر طبق جدول (۱) مساحت منطقه‌ی شهری در سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ به ترتیب ۸۹۴ و ۱۹۰۷۴ هکتار بوده است (برزگر، ۱۳۹۱).

با توجه به دغدغه‌ی اصلی مقاله، که مدیریت آب شهری با در نظر گرفتن فضای سبز شهری است، شبیه مفهومی

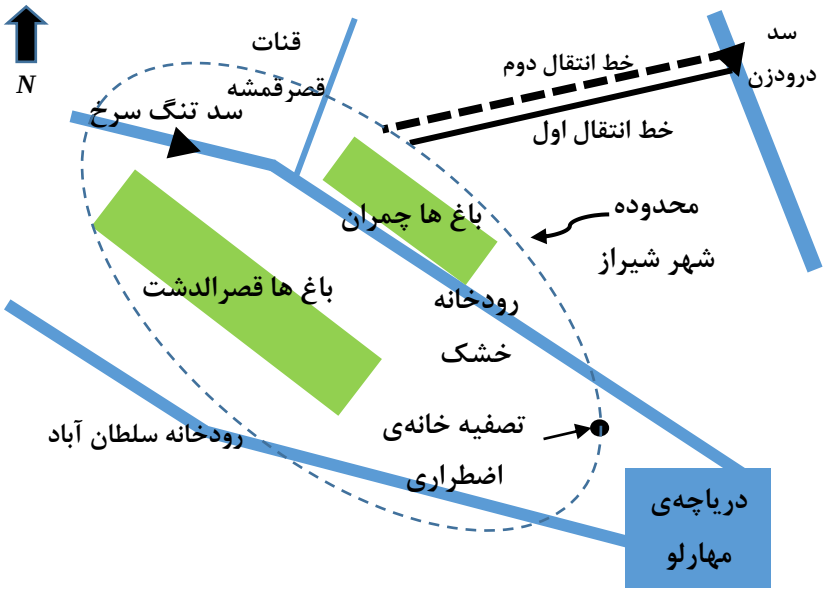
جدول (۱): تغییرات اراضی دشت شیراز بر حسب هکتار (برزگر، ۱۳۹۱)

سال	۱۳۳۵	۱۳۴۵	۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰
منطقه‌ی شهری	۸۹۴	۱۶۰۹	۳۵۴۰	۹۰۹۸	۱۳۸۸۰	۱۶۵۷۴	۱۹۰۷۴	۲۲۰۱۱
زمین‌های باغی	۱۵۶۵	۳۵۴۷	۵۰۴۲	۵۹۶۲	۵۰۲۳	۴۵۳۰	۲۹۷۵	۲۱۴۵
زمین‌های کشاورزی، زراعی حاصلخیز و مراتع	۳۵۷۱۴	۳۳۴۲۰	۳۰۶۰۳	۲۲۳۶۶	۲۱۴۶۳	۱۹۰۲۳	۱۷۷۲۶	۱۵۳۳۶

حاکم بر سامانه منابع و مصارف آب شهر شیراز به صورت شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به دغدغه‌ی ذکر شده، و براساس شبیه مفهومی ارائه شده، نقشه‌ی طرح واره شهر شیراز و مرزهای در نظر گرفته به منظور شبیه‌سازی در شکل (۲) ارائه شده‌اند. بر این اساس، مرزهای شبیه باید به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شد که کلیه‌ی سودبران (نیازهای خانگی، عمومی، صنعت و زیست محیطی) و منابع تأمین نیازهای آنها (منابع زیرزمینی و منابع سطحی) را در بر می‌گرفت. همچنین، با توجه به در نظر گرفتن آب تصفیه شده به عنوان یک منبع غنی به منظور تأمین آب فضای سبز، تصفیه خانه‌ی شیراز نیز در مرزهای شبیه قرار گرفته است. (شکل ۲).



شکل (۱): شبیه مفهومی ارائه شده برای مدیریت آب شهری



شکل (۲): نقشه‌ی طرح واره شهر شیراز و منابع آبی آن در قلمرو شبیه بررسی شده در این تحقیق

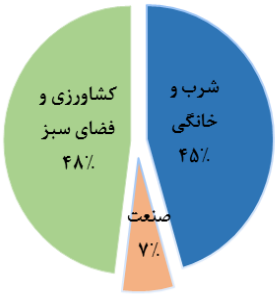
منابع آب شهر شیراز و فضای سبز شهری

آبهای زیرزمینی منبع با ارزش و حیاتی از ذخایر آب در مناطق گرم و خشک است. آبهای زیرزمینی دشت شیراز در دو آبخوان کارست و آبرفتی واقع هستند. آبخوان آبرفتی در منطقه‌ی رسوبی دشت شیراز و آبخوان کارستی در کوه‌های آهکی شمال، شمال شرق، جنوب و جنوب غرب دشت شیراز قرار گرفته‌اند. آب شرب شهر شیراز به طور عمده از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. در سال‌های اخیر، با توجه به رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت، میزان مصرف آب شهر شیراز نیز افزایش یافته است. جدول (۲) میزان مصرف آب آشامیدنی، بهداشتی و آبیاری زمین‌های زراعی و باغ‌ها حومه را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد (پایگاه شرکت آبفا فارس).

جدول (۲): حجم آب مصرفی شهر شیراز برحسب هزار متر مکعب (پایگاه شرکت آبفا فارس)

سال	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲
مصرف	۷۹۲۰۸	۸۲۹۲۲	۸۵۶۷۳	۸۷۳۲۹	۸۹۵۹۳	۹۱۰۳۷	۸۸۱۲۶	۹۳۹۸۴	۹۵۹۳۶

میزان مصارف آب شهر شیراز به تفکیک هر بخش در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل(۳): سهم مصارف مختلف شهر شیراز (اصلاح شده از گزارش شرکت مشاور لار، ۲۰۰۴)

سرانه‌ی فضای سبز شیراز در شرایط کنونی (۲۱ مترمربع برای هر نفر) تقریباً با معیارهای جهانی (۲۰تا ۲۵ مترمربع برای هر نفر) مطابقت داشته و انتظار می‌رود که در آینده، با افزایش جمعیت شهر و تلاش مدیریت شهری در جهت افزایش سرانه‌ی فضای سبز، سطح فضاهای سبز شهر شیراز به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. با در نظر گرفتن این نکته که نیاز فضاهای سبز ۵۰ تا ۶۰ درصد نیاز آبی شهرها را در بر گرفته، و در شرایطی که خشکسالی و افزایش رقابت بر سر این منابع محدود تأمین نیاز آبی فضای سبز کنونی شهر را هم دچار مشکل کرده است، در آینده توسعه‌ی فضای سبز و تأمین آب مورد نیاز آن، یکی از چالش‌های جدی مدیریت شهری خواهد بود (معیارهای فضای سبز شهری، اداره برنامه ریزی شهری و مطالعات اجتماعی، ۱۹۹۰ و اطلاعات آمارنامه سال شیراز در پایگاه شهرداری).

شبیه پویای منابع و مصارف شهر شیراز

شیراز جلگه‌ای فروافتاده طولی و دارای امتداد شمال غربی و جنوب شرقی بوده و به دریاچه‌ی مهارلو ختم می‌گردد. مسیر جریان آبهای سطحی و زیرزمینی این دشت نیز در راستای شمال غربی به جنوب شرقی است. وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت شیراز در حال حاضر در وضعیت بحرانی قرار داشته و بین ۱۵ تا ۵۰ متر افت داشته است. در شکل (۳) نشان داده شده است که سطح سفره آزاد آب زیرزمینی دشت شیراز به علت برداشت‌های بی‌رویه با افت محسوسی مواجه شده است. همچنین با توجه به خشکسالی‌های اخیر روند نزول باران نیز روند کاهشی داشته است.

مرزهای شبیه

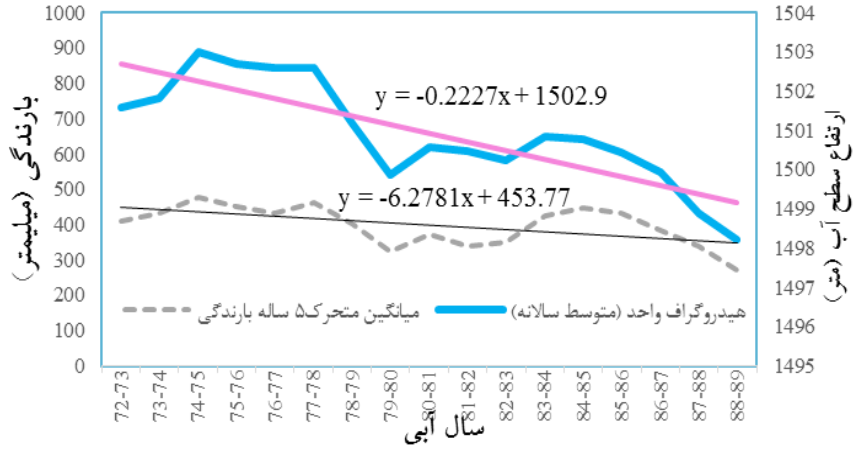
مرزهای شبیه ساخته شده از لحاظ مکانی به شهر شیراز و از لحاظ زمانی برای افق ۲۰ساله، در نظر گرفته شده‌اند. داده‌های ورودی به شبیه از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ بوده‌اند. در شبیه ساخته شده سعی شده است که کلیه سودبران منابع آب شامل مصرف کنندگان خانگی، فضای سبز، صنعتی، کشاورزی و زیست محیطی در نظر گرفته شده و اثرات، برای هر کدام قابل برداشت و ارائه باشد.

معرفی زیر شبیه‌های سامانه

براساس شبیه مفهومی ارائه شده شش زیر شبیه شامل مخزن آب زیرزمینی، جمعیت، نیاز آبی، تراز آب، تصفیه آب و فضای سبز شهری در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه به اختصار درباره هر کدام از این زیر شبیه‌ها توضیح‌هائی ارائه می‌شوند.

زیر شبیه آب زیرزمینی

با استفاده از گزارش وضعیت آب شهر شیراز (گزارش وزارت نیرو، شرکت مشاور لار ۲۰۰۴)، و همچنین اطلاعات سالنامه‌ی آماری اداره‌ی آب و فاضلاب شیراز (تارنمای شرکت آبفا شیراز)، ورودی‌های سفره‌ی آب زیرزمینی شیراز شامل نفوذ بارندگی (۱۰درصد)، نفوذ ناشی از تلفات شبکه‌های لوله کشی شهری (۲۰درصد)، نفوذ ناشی از آبیاری فضای سبز و زمین‌های کشاورزی و باغ ها (۲۳درصد) و نفوذ از رواناب سطحی (۴درصد) در نظر گرفته شده است. برداشت‌های سفره نیز شامل زهکش از قسمت‌های جنوبی شیراز به علت بالا بودن تراز آب (۳/۵ MCM/Month)، تبخیر از سفره آب زیرزمینی (۰/۱۳ MCM/Month) و جریان خروجی به دریاچه مهارلو (۴/۱۶ MCM/Year) منظور شده است (گزارش وزارت نیرو، شرکت مشاور لار ۲۰۰۴).



شکل(۳): تغییرات روند بارندگی و تراز سطح آب زیرزمینی دشت شیراز (گزارش آمارنامه‌ی شهرداری شیراز)

همچنین با توجه به تأمین ۸۰ درصدی نیازهای آب شهری و تقریباً ۱۰۰درصدی نیاز فضای سبز از سفره آب زیرزمینی، این متغیرها نیز در زیر شبیه آب زیرزمینی اعمال شده‌اند.

جمعیت

جمعیت، فراسنج اصلی تأثیرگذار در مصارف است که تابعی از متغیرهای نرخ تولد، مهاجرت و نرخ فوت است. نرخ تولد براساس نتایج سرشماری برای سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ برابر با ۲/۷ درصد ، سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰، ۱/۶ درصد و سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ برابر با ۱/۲۴ درصد در نظر گرفته شده است (درگاه آمار ایران). بدین صورت رابطه‌ی زیر برای جمعیت استخراج شده است:

$$Population(t)= Population(t-1)((Migration(t-1)*Migration\ Rate)- (Death\ (t-1)*\ Death\ Rate)+(Birth(t-1)*\ Birth\ Rate) \quad (۱)$$

که در رابطه بالا فراسنجها به صورت زیر می‌باشند:

Population (t): جمعیت در زمان t،

Population (t-1): جمعیت در زمان t-1

Migration (t): مهاجرت در زمان t،

Migration Rate (t): نرخ مهاجرت در زمان t

Death (t): تعداد فوت شدگان در زمان t،

Death Rate (t): نرخ مرگ و میر در زمان t

Birth (t): تعداد تولد در زمان t،

Birth Rate (t): نرخ زاد و ولد در زمان t

مصارف آب

مصارف شهر شیراز به خانگی، فضای سبز، اداری، تجاری، صنعت و عمومی تفکیک شده‌اند. برای نیازهای بخش خانگی و فضای سبز متغیرها به صورت درونزا در شبیه در نظر گرفته شده‌اند که آثار جمعیت و کمبود آب برای آنها مؤثر بوده‌اند. برای سایر نیازها، با توجه به مصارف در سال‌های قبل، میانگین مصرف هر واحد به دست آمد، سپس رابطه‌ای بین افزایش تعداد مصرف کنندگان برحسب زمان برازش داده شد، و آن‌گاه با ضرب

این رابطه در میانگین مصرف، اندازه آن برای هر بخش مشخص شده است.

تصفیه‌ی فاضلاب شهری

برای شهر شیراز چهار تصفیه خانه در نظر گرفته شده‌اند. تصفیه خانه‌ی اضطراری شیراز با ظرفیت اسمی ۸۱۰۰۰ m^3/Day از سال ۸۴ در مدار قرار دارد و آب جمع آوری شده قسمت‌های جنوب و جنوب شرق شیراز را تصفیه می‌کند. تصفیه خانه‌ی اصلی شیراز با ظرفیت اسمی ۱۰۰۰۰۰ m^3/Day با پیشرفت ۳۰ درصد، و دو تصفیه خانه‌ی کوچک در قسمت‌های شمالی شهر با پیشرفت فیزیکی ۱۰ درصد نیز برای شیراز در دست احداث هستند. در شبیه‌سازی تصفیه‌خانه‌ی اضطراری لحاظ شده است، اما تصفیه خانه‌ی اصلی از سال ۱۳۹۵ در شبیه‌سازی وارد شده است (تارنمای شرکت آب و فاضلاب شیراز).

تراز آب

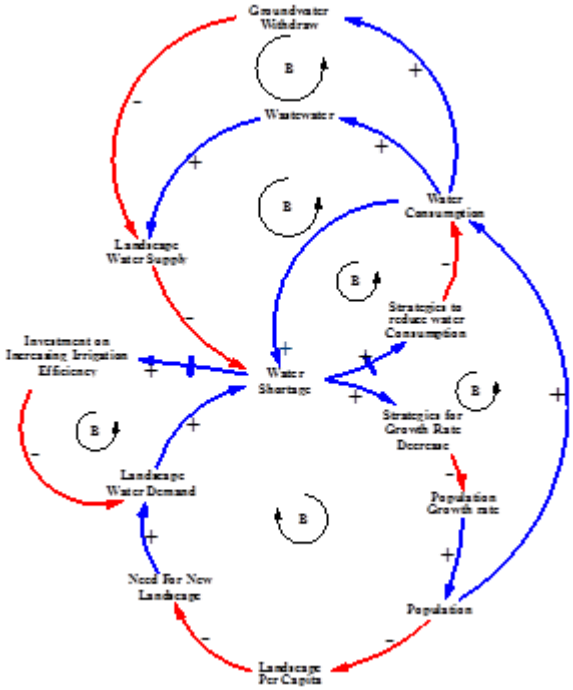
در این زیر شبیه تقاضای کلی آب شیراز و کلیه منابع تأمین کننده‌ی آن اعمال، و در صورت کمتر بودن آب تولیدی از مصرف، فراسنج کمبود تعریف می‌شود.

مصرف آب فضای سبز

با توجه به سهم مصرف بالای فضای سبز، یک زیر شبیه برای فضای سبز تعریف شده است. براساس این فراسنجها و روابط موجود بین آنها نمودار علت و معلولی به صورت شکل (۴) حاصل شده است.

شبیه منابع و مصارف شهر شیراز در VENSIM

با استفاده از نمودار علی معلولی، شبیهی در نرم افزار VENSIM به صورت شکل (۶) ساخته شده است.



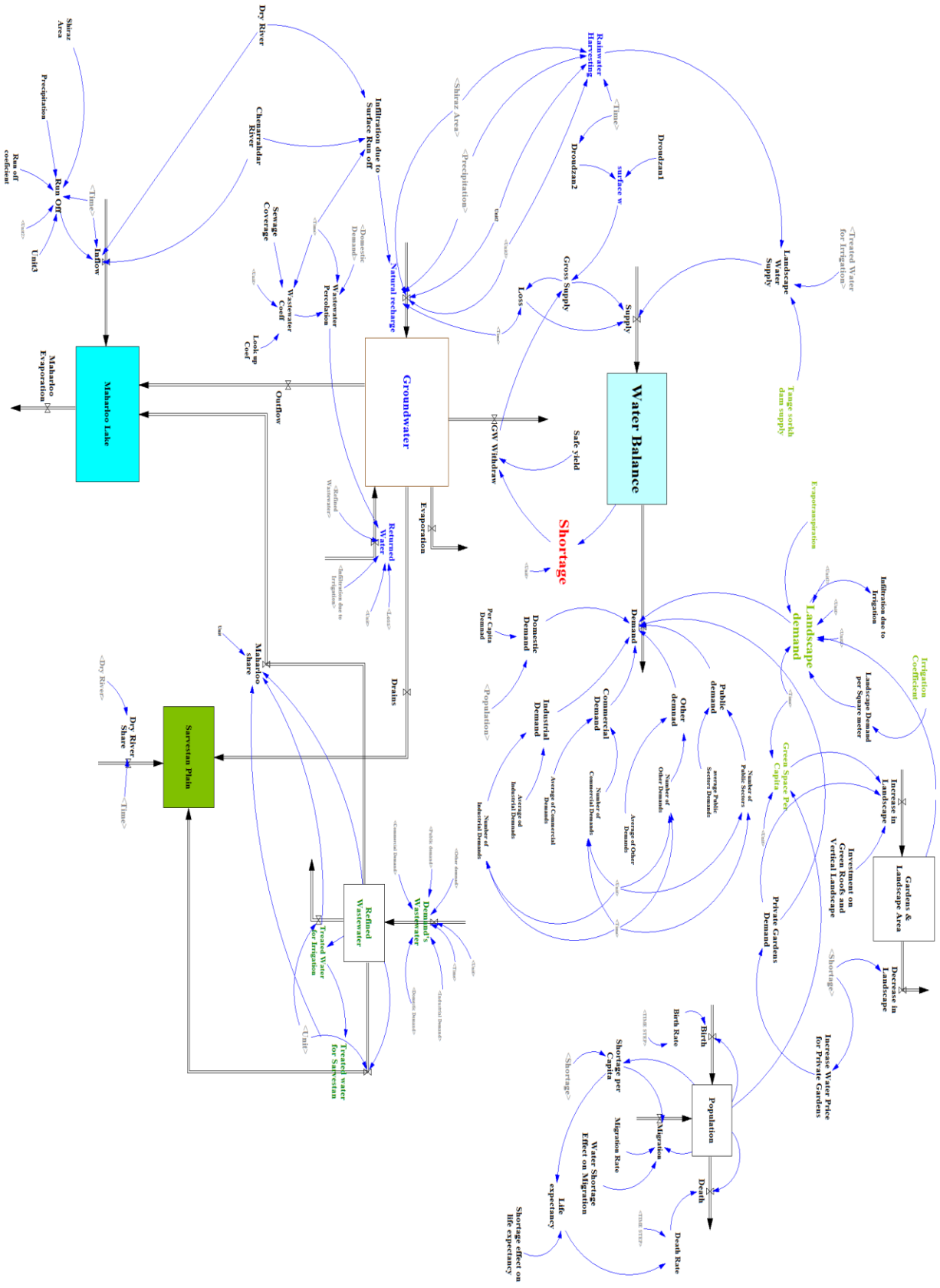
شکل(۴): نمودار علی معلولی برای مسأله‌ی تأمین آب فضای سبز شهر شیراز منتج از شکل (۱)

صحت سنجی شبیه

به منظور صحت سنجی از آزمون تکرار رفتار استفاده شده است. این آزمون به بررسی خروجی‌های شبیه توجه دارد. بدین صورت که داده‌های تولیدی به وسیله‌ی شبیه می‌باید با داده‌های تاریخی مقایسه گردد تا معلوم شود روند داده‌های تولید شده به وسیله ی شبیه با داده‌های تاریخی چقدر مطابقت دارد. برای مقایسه از متغیرهای حجم آب زیرزمینی، نیاز آبی شهر شیراز، نیاز آبی فضای سبز شیراز، کمبود منابع موجود و نیازهای بهره برندگان استفاده شده است و ابزارهای آماری ضریب تبیین و میانگین درصد مطلق خطا به منظور بررسی رفتار شبیه به کار گرفته شده‌اند. (جدول (۳)).

جدول(۳): نتایج آزمون‌های آماری متغیرهای حالت(MCM)

متغیر حالت	R^2	MAPE(%)
حجم آب زیرزمینی	**۰/۹۷**	**۱/۲۶**
نیاز آبی شهر شیراز	۰/۹۲	**۸/۸۶**
مساحت فضای سبز شهر شیراز	۰/۸۵	۴/۶۹
کمبود آب	۰/۹۱	۲/۲۳



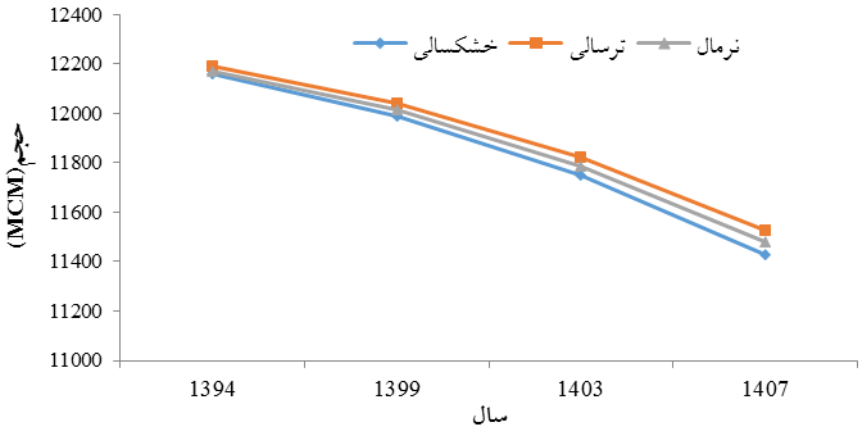
شکل(۶): شبیه ذخیره جریان سامانه منابع آب شهر شیراز در محیط نرم افزار VENSIM

نتایج شبیه‌سازی

با توجه به مطالب ذکر شده نمایشنامه‌هایی به منظور بررسی عوامل مؤثر بر سامانه منابع آب و به طور خاص فضای سبز شهر شیراز اعمال و برای افق سال ۱۴۱۰ شبیه‌سازی می‌شوند.

نمایشنامه‌های تغییرات آب و هوایی

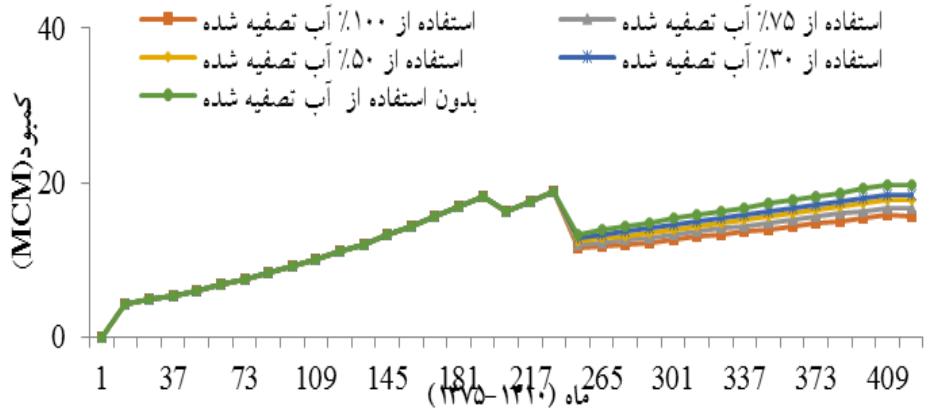
بررسی گروه بلند مدت بارش شهر شیراز نشان می‌دهد که دوره‌های مختلف ترسالی و خشکسالی به تناوب تکرار شده‌اند. بدین منظور سه دوره ترسالی، عادی و خشکسالی از گروه داده‌های بلندمدت استخراج شده و هرکدام به تناوب تا سال افق طرح تکرار خواهند شد. نتایج هرکدام از این نمایشنامه‌ها بر حجم سفره آب زیرزمینی شیراز در شکل (۵) ارائه شده‌اند. همان طور که از نمودار مشخص است، حتی در خوش بینانه‌ترین حالت نیز افت سفره آب زیرزمینی کاملاً مشهود است. بنابراین، لزوم برنامه‌ریزی به منظور متوقف کردن یا کم کردن تراز منفی سفره آب زیرزمین دشت مشخص است.



شکل(۵): حجم سفره آب زیرزمینی دشت شیراز برای افق طرح

استفاده از آب تصفیه شده به منظور آبیاری مصارف فضای سبز:

با احداث کامل تصفیه خانه‌های شیراز، و اتصال کامل تمام مصرف کنندگان به سامانه جمع آوری فاضلاب، می‌توان بخشی از آب تصفیه شده را به منظور آبیاری فضای سبز استفاده کرد. نتایج شبیه‌سازی حاصل از استفاده ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۵٪، ۱۰۰٪ و بدون استفاده از آب تصفیه شده به منظور آبیاری فضای سبز شهری بر میزان کمبود آب سامانه در شکل (۷) نشان داده شده‌اند.



شکل(۷): میزان حجم کمبود آب شهر شیراز با اختصاص مقادیر مختلف آب تصفیه شده به بخش فضای سبز

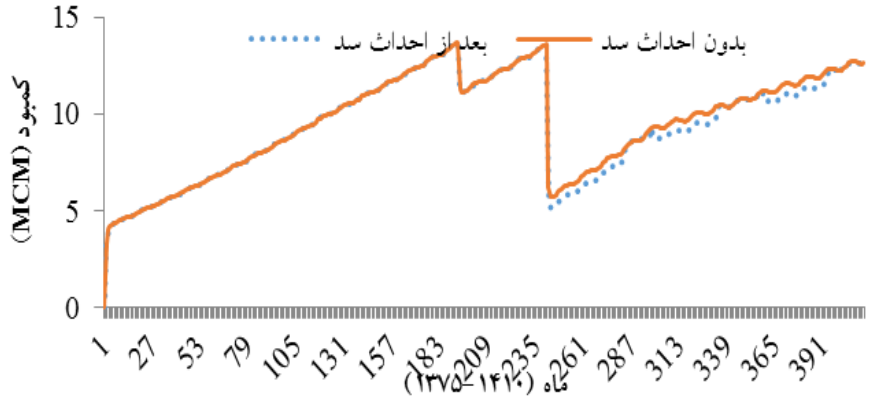
همان طور که از شکل (۷) مشخص است استفاده از آب تصفیه شده به منظور آبیاری فضای سبز بر میزان کمبود منابع و مصارف شهر شیراز تأثیر چندانی نداشته است و با توجه به مصرف بالای فضای سبز، تنها می‌توان از این راهکار به عنوان یک منبع کمکی استفاده کرد. شکستگی‌های نمودار به علت اجرایی شدن خط دوم انتقال آب از سد درودزن به شهر شیراز از سال ۱۳۹۵ و در خط قرار گرفتن تصفیه خانه اصلی شیراز در سال ۱۴۰۵ است. در جدول (۴) میزان کاهش کمبود با اعمال درصدهای مختلف آب تصفیه شده ارائه شده است.

جدول(۴): میزان کاهش کمبود آب شهر شیراز با اعمال نمایشنامه‌های مختلف استفاده از آب تصفیه شده

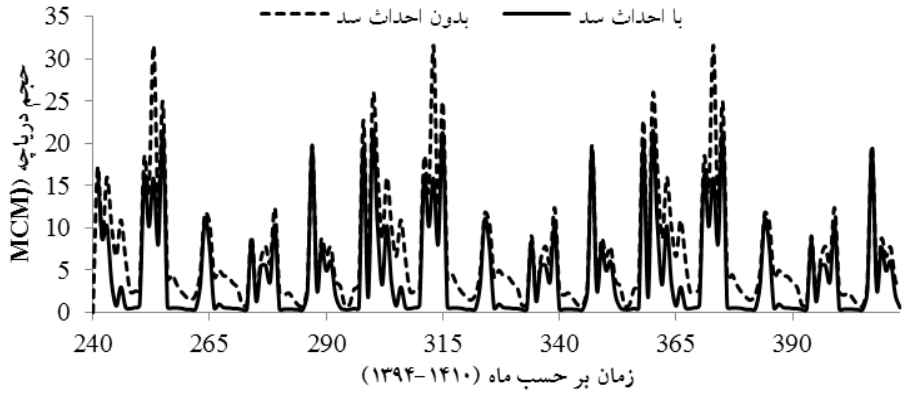
حجم کمبود (*MCM*)	درصد استفاده از آب تصفیه شده	درصد کاهش کمبود
۵۳۷۱/۳۳۱	۳۰	٪۳
۵۲۶۹/۳۴۴	۵۰	٪۵
۵۱۴۱/۸۶	۷۵	٪۷
۵۰۱۴/۳۷۶	۱۰۰	٪۹

تأثیر احداث سد تنگ سرخ

عملیات اجرای سد تنگ سرخ در شمال غربی شیراز پس از سیلاب سال ۱۳۸۰ مورد توجه قرار گرفت. احداث این سد با ظرفیت مخزن ۲۹ میلیون مترمکعب به منظور تأمین آب فضای سبز باغ‌های قصرالدشت و فضای سبز قسمت‌های شمال غرب شیراز پیش بینی شده است (تارنمای شهرداری شیراز). البته احداث این سد از نظر منتقدان باعث خشک شدن دریاچه‌ی مهارلو در جنوب شرقی شیراز خواهد شد. با توجه به مطالب ذکر شده اثر احداث این سد بر میزان کمبود آب فضای سبز شهری (شکل (۸)) و دریاچه مهارلو (شکل (۹)) نشان داده شده است.



شکل(۸): تأثیر احداث سد تنگ سرخ بر میزان کمبودآب شهر شیراز



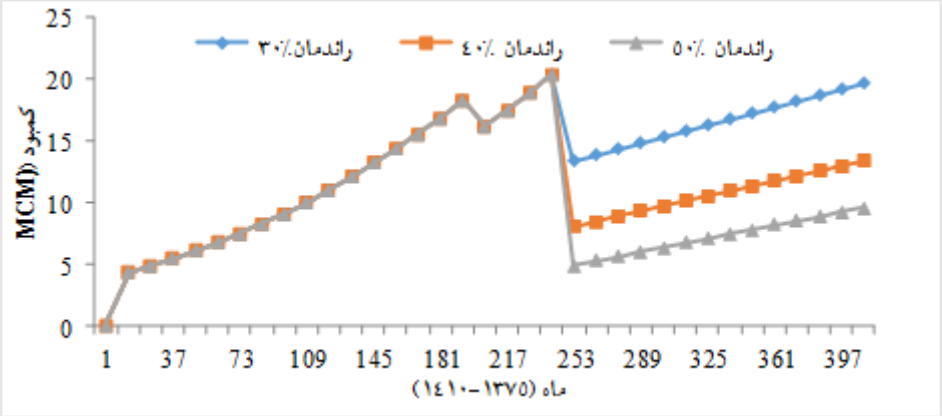
شکل(۹): تأثیر احداث سد تنگ سرخ بر حجم آب دریاچه‌ی مهارلو

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که احداث سد تنگ سرخ، با توجه به آورد کم رودخانه‌ی خشک، تأثیر چندانی بر کاهش کمبود نداشته و تنها باعث بهبود ۲ درصدی می‌شود. البته با توجه به هزینه افزون بر ۱۲۰۰ میلیارد ریالی برای ساختن این سد، و تأثیر نه چندان زیاد آن در تأمین مصارف، تنها با هدف توسعه‌ی گردشگری، ساخت سد مزبور توجیه‌پذیر خواهد بود. ذکر این نکته لازم است که حقابه‌ی دریاچه‌ی مهارلو در شبیه ۱۶ میلیون مترمکعب در سال در نظر گرفته شده و سهم سالانه‌ی فضای سبز ۶ میلیون متر مکعب فرض شده است. با توجه به حجم کم بده رودخانه و هدف تبدیل رودخانه از فصلی به دایمی نتایج نشان می‌دهند که تأثیر سد بر دریاچه مهارلو چندان تأثیرگذار نبوده و دریاچه تهدید جدی نخواهد شد.

افزایش بازده آبیاری در بخش فضای سبز

بازده آبیاری در ایران بنا به گزارش اداره‌ی جهاد کشاورزی حدود ۳۰ درصد است. با مکانیزه کردن آبیاری فضای سبز و آموزش کارکنان در آبیاری در ساعات مناسب می‌توان در مصرف آب به مقدار قابل ملاحظه‌ای صرفه جویی کرد. بدین منظور افزایش ۱۰ و ۲۰ درصدی بازده آبیاری بر میزان کمبود منابع آب، شبیه‌سازی و در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

نتایج افزایش بازده برای دوره‌ی ۲۰ساله آینده نشان می‌دهد که با افزایش بازده آبیاری به ۴۰ درصد می‌توان به میزان ۱۴درصد از کمبودها کاست. در صورت افزایش بازده به ۵۰ درصد، ۳۹ درصد از میزان کمبود آب کاسته می‌شود. نتایج هر سه نمایشنامه در جدول (۵) ارائه شده‌اند.



شکل(۱۰): تأثیر افزایش بازده آبیاری بر کمبود منابع آب شهر شیراز

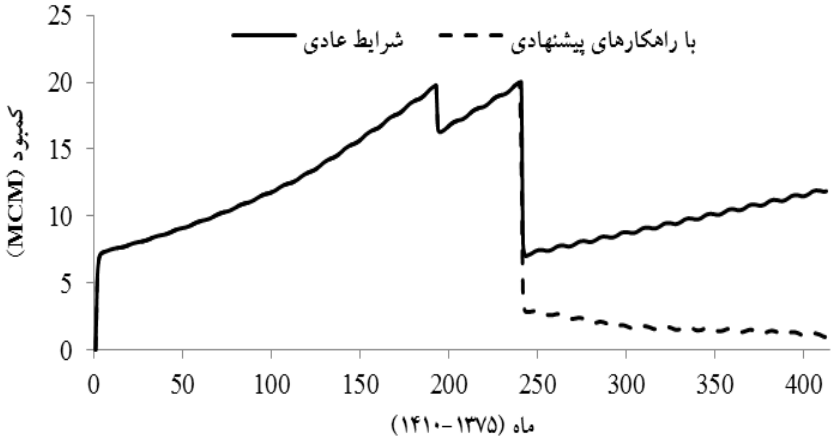
جدول(۵): مقایسه تأثیر نمایشنامه‌های مختلف اعمال شده در شبیه آب شیراز در افق طرح

نمایشنامه		درصد بهبود	هزینه (میلیارد ریال)
ساخت سد تنگ سرخ		۲	۱۰۰۰
استفاده از آب تصفیه شده	استفاده ۳۰ درصدی	۳	۱۱۰۰
	استفاده ۵۰ درصدی	۵	
	استفاده ۷۵ درصدی	۷	
	استفاده ۱۰۰ درصدی	۹	
افزایش بازده آبیاری	۱۰ درصد	۱۴	نامشخص
	۲۰درصد	۳۹	

با توجه به نتایج شبیه‌سازی و مقادیر جدول (۵) بهترین طرح به منظور تأمین نیاز فضای سبز شهری، افزایش بازده آبیاری است. همچنین با توسعه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب نیز می‌توان از این منبع به منظور جبران کمبود آب فضای سبز شهر شیراز استفاده کرد.

سیاست مناسب برای پایداری سامانه

به منظور ارائه راهکارهایی برای پایداری سامانه بدون نیاز به راه حل‌های مقطعی و خارج از سامانه، در این بخش ترکیبی از راه حل‌ها ارائه و بررسی شده‌اند. این راه حل‌ها شامل کاهش نرخ رشد جمعیت شیراز در مدت ۲۰ساله‌ی افق طرح و رساندن آن به ۱ درصد، کاهش سرانه‌ی مصرف خانگی از ۱۳۶ لیتر در روز به ۱۰۰ لیتر به طور تدریجی با راهکارهای آموزشی و افزایش قیمت آب، و در نهایت کاهش مصرف فضای سبز به عنوان بزرگترین مصرف کننده‌ی آب شهر شیراز از ۱ تا ۲ متر مکعب در سال به ۰/۷ به ازای هر متر مربع فضای سبز با کاشت گیاهان کم مصرف‌تر و مقاوم‌تر. لازم به ذکر است که با مشورت‌های انجام شده بازده آبیاری تا سال ۱۳۹۰ برابر با ۳۰ درصد، و از آن به بعد به تدریج به ۵۰ درصد افزایش یافته است، و همچنین، تا افق طرح فرض شده است که حداقل ۴۵ درصد آب تصفیه شده به مصارف فضای سبز اختصاص یابد. نتایج اعمال این نمایشنامه‌ها در کمبود آب در شکل (۱۱) نشان داده شده‌اند. همان طور که در این شکل مشخص است، در صورت اعمال این سیاست‌ها کمبود آب برطرف شده و سامانه به سمت پایداری حرکت خواهد کرد.



شکل(۱۱): تأثیر اعمال سیاست‌های مدیریتی به منظور پایداری سامانه منابع آب شهر شیراز

نتیجه گیری

در مقاله‌ی حاضر، با استفاده از روش شبیه‌سازی پویا، شبیه منابع و مصارف آب شهر شیراز ایجاد شده است. بر این اساس سه نمایشنامه شامل افزایش بازده آبیاری فضای سبز، تکمیل تصفیه خانه‌های شیراز و اختصاص آب تصفیه شده به بخش فضای سبز شهری و احداث سد تنگ سرخ مد نظر قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که احداث سد تنگ سرخ تنها باعث کاهش ۵ درصدی در میزان کمبود منابع شده در حالی که استفاده ۳۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصدی از آب تصفیه شده برای فضای سبز به ترتیب باعث کاهش ۳، ۵ ، ۷ و ۹ درصدی خواهد شد. همچنین افزایش ۱۰ و ۲۰ درصدی بازده آبیاری به ترتیب موجب کاهش ۱۶ و ۴۱ درصدی کمبود می‌شود. بنابراین، مشخص است که سرمایه گذاری در بخش افزایش بازده تا ۱۰ برابر مفیدتر از استفاده از آب تصفیه شده و حدود ۱۵تا ۲۰ برابر از احداث سد کارایی دارد. با توجه به هزینه‌های بالای احداث سد و تصفیه خانه در مقابل مکانیزه کردن سامانه آبیاری، مشخص است که افزایش بازده آبیاری توجیه پذیری به مراتب بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها دارد. همچنین، به منظور پایداری سامانه در افق طرح، ترکیبی از نمایشنامه‌ها شامل کاهش نرخ رشد جمعیت، کاهش سرانه مصرف آب فضای سبز و خانگی، افزایش بازده آبیاری و استفاده از آب تصفیه شده برای فضای سبز باید اعمال شود تا سامانه به پایداری برسد.

منابع :

۱) برزگر، ز. ۱۳۹۱. شهرنشینی و تأثیرات آن بر امنیت غذا، آب و انرژی در ایران، نمونه موردی: شهر شیراز. فصلنامه علمی- تخصصی برنامه ریزی منطقه‌ای. ۲(۵): ۶۴-۵۳.

۲) تابش، م.، گوشه، س.، و یزدان پناه، م. ۱۳۸۶. پیش بینی تقاضای کوتاه مدت آب شهر تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. نشریه دانشکده فنی. ۴۱(۱): ۲۴-۱۱.

۳) حسینی، س. ا.، و باقری، ع. ۱۳۹۲. مدلسازی پویایی سیستم منابع آب مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار. مجله آب و فاضلاب. ۲۴(۴): ۳۹-۲۸.

۴) صلوی تبار، ع.، ضرغامی، م.، و ابریشم‌چی، ا. ۱۳۸۵. مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران. مجله آب و فاضلاب. ۵۹(۳): ۲۸-۱۲.

۵) روشنگر، ک.، ضرغامی م.، طرلانی آذر، م. ۱۳۹۴. پیش بینی مصرف آب شهری با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های تکاملی و تحلیل تبدیل موجک (مطالعه موردی شهر همدان). مجله آب و فاضلاب. ۲۶(۴): ۱۲۰-۱۱۰.

۶) نظریان، ا.، کریمی، ب.، و روشنی، ا. ۱۳۸۸. ارزیابی توسعه فیزیکی شهر شیراز با تأکید بر عوامل طبیعی. فصلنامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس. ۱(۱): ۱۸-۵.

7) Fagan, J.E., Reutera, M.A. and Langford, K.J.. 2010. Dynamic performance metrics to assess sustainability and cost effectiveness of integrated urban water systems. Resources, Conservation and Recycling. 54: 719–736.

8) Group Studies and Urban Planning Department of the Interior .1990. Urban green spaces, standards and types. Tehran.

9) Hassanzadeh, E., Alshorbaghy, A., Wheater, H., and Gober, P. 2016. Managing water in complex systems: An integrated water resources model for Saskatchewan, Canada. Environmental Modeling and Software, 58: 12-26.

10) Hjorth, P., and Bagheri, A. 2006. Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. Futures, 38(1): 74-92.

11) http://abfa-shiraz.ir/page/

12) http://www.amar.org.ir/

13) http://www.eshiraz.ir

14) Larsen, T.A., and Gujer, M. 1997. The Concept of sustainable urban water management. Wat Sci Tech, 35(9): 3-10.

15) Ministry of Energy, National Water and Wastewater Engineering Company. 2004. Shiraz water supply and wastewater project report. LAR Consulting Engineers in collaboration with Iran AB Consulting Engineers Volume 1 and 2.

16) Onder, S. 2010. Water saving opportunities urban green space applications. International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM, Bulgaria, Vol. 2: 859-864.

17) Rehan, R., Knight, M.A., Unger AJA and Haas, C.T. 2013. Development of system dynamics model for financially sustainable management of municipal water main networks. Water Research Journal. 47(20): 7184- 7205.

18) Stave, K.A. 2003. A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. J. of Environmental Management, 67: 303-313.

19) Tabesh, M. and Dini, M. 2009. Fuzzy and neuro-fuzzy models for short-term water demand forecasting in Tehran. Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B, Engineering, 33(B1): 61-77.

20) United Nations. 2014. World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.ISBN 978-92-1-151517-6.

21) United Nations Report. 2012. World Water Development. 2.

22) Zarghami, M. and Akbariyeh, S. 2012. System dynamics modeling for complex urban water systems; Application to the City of Tabriz, Iran. Resources, Conservation and Recycling, 60: 99-106.

23) Zhang, X.H., Zhang, H.W., Chen, B., Chen, G.Q. and Zhao, X.H. 2008. Water resources planning based on complex system dynamics: A case study of Tianjin City. Communication in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 13: 2328-2336.