DOI: 10.22059/ijaedr.2020.278023.668732

مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران

دوره ۲-۵۱، شماره ۳، ۱۳۹۹ (۵۶۴-۵۵۱)

# Investigation And Analysis Of Trend of Urban Green Space Water Consumption And Municipal Water Scarcity Using System Dynamics Approach (Case study: Zarghan city)

**MOHAMMAD AMIN BOHLOLI[1], MOHAMMAD HASHEM MUSAVEE HAGHIGHI[2]*, SEYED NEMATOLLAH MOSAVI[3]**

**1, Ph.D. Student of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Marvdasht, Iran**

**2, Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Marvdasht, Iran**

**3, Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Marvdasht, Iran**

**(Received: Jun. 1, 2019- Accepted: Jan. 20, 2020)**

## ABSTRACT

The country's water resource depletion is a problem that exerts its effects in various areas such as climate, agriculture, vegetation, wildlife and so on. In this study, using systematic and holistic system dynamics approach, we will analyze and analyze the dynamic relationship between municipal water level and urban green space in Zarghan city. This system model has been simulated and analyzed with Vensim Dss software.

The overall results of the simulations and scenarios are that heat islands and construction are among the most important factors in increasing water consumption in the system. Also, the most important factors affecting the reduction of water use, type and amount of vegetation water use in Zarghan municipality are as follows: Annual survey and model simulation for 1385 for twenty years. Actual data were collected from 1385 to 1395. In this regard, the quantitative results of the model show that by reducing the water consumption by defined methods per square meter by 40%, saving 42 million cubic meters of total water over a 20-year simulation period.

**Keyword:** Urban Water Consumption, System Dynamics and City of Zarghan

**Objective**

The country's water resource depletion is a problem that exerts its effects in various areas such as climate, agriculture, vegetation, wildlife and so on. In this study, using systematic and holistic system dynamics approach, we will analyze and analyze the dynamic relationship between municipal water level and urban green space in Zarghan city. This system model has been simulated and analyzed with Vensim Dss software.

The overall results of the simulations and scenarios are that heat islands and construction are among the most important factors in increasing water consumption in the system. Also, the most important factors affecting the reduction of water use, type and amount of vegetation water use in Zarghan municipality are as follows: Annual survey and model simulation for 1385 for twenty years. Actual data were collected from 1385 to 1395 .

In this regard, the quantitative results of the model show that by reducing the water consumption by defined methods per square meter by 40%, saving 42 million cubic meters of total water over a 20-year simulation period.

**Methods**

* نویسنده مسئول: محمدهاشم موسوی‌حقیقی

E-mail: msavee@yahoo.com

The present research is based on the type of the dominant scientific paradigm of a pro-type type and in terms of research approach, a quantitative approach. Based on the orientation and the result, this research is an applied research. In terms of the horizons of time, this is a one-sectional study, since it is only at a given time point and with the goal of comparing different years with each other. In this research, the urban water consumption trend was studied in Zarghan city of Fars province with the system dynamics approach. The simulation model, which includes a small part of the research, was formulated in the Vensim software. The sensitivity analysis of the model reflects the severe effect of construction rate changes on the rate of water rise. This effect is effective on the rate of water increase in two directions: thermal islands and construction. On the other hand, the effect of changes in the two parameters of water consumption in a low-energy and high-consumption green space is so high that it can even help save up to 40% of total water consumption. A policy that has been considered in the city of Zarqan in recent years, namely, the use of more green space instead of high consumption.

**Results**

According to the model results, this policy can also have a significant effect on water saving. Also, the results of the model indicate the effect of the gradual and partial reduction of thermal islands on the increase in rainfall over the long term. In order to implement this scenario, we can use solutions such as creating green spaces on the roofs of houses.

**Discussion**

In short, the model presented in this study consists of two interconnected sections. Section for the creation and collection of water and the water sector. In the first section, the purpose the purpose of this investigation is to maximize, where more water can be introduced into the system. In the second part, the objective is to increase green space by reducing water consumption. In line with these two sections, different analyzes and scenarios were presented with consideration of experts and experts' views. The sensitivity analysis of the model reflects the severe effect of construction rate changes on the rate of water rise. This effect is effective on the rate of water increase in two directions: thermal islands and construction. On the other hand, the effect of changes in the two parameters of water consumption in a low-energy and high-consumption green space is so high that it can even help save up to 40% of total water consumption. The policy that has been considered in the city of Zarqan in recent years, namely, the use of more green space instead of high consumption, was also examined. According to the model results, this policy can also have a significant effect on water saving. Also, the results of the model indicate the effect of the gradual and partial reduction of thermal islands on the long-term increase in rainfall. In order to implement this scenario, solutions can be used such as creating green space in the roofs of houses. The suggestions of this model in the form of analysis the scenarios and scenarios that can be used to bridge the shortage of water in the short, medium and long term horizons in the city of Zarghan. Also, in the water consumption section, we can examine the mechanisms of domestic wastewater treatment and water entering the municipal water. One of the main constraints of this study is the lack of comprehensive and precise databases, since improving each problem at a level requires a thorough understanding of it, and a thorough understanding of the multilateral and complementary data is taken. Also, because of future changes in the real-world structure that may violate model assumptions, the analyzes and predictions of the proposed model may change and be criticized.

# بررسی و تحلیل روند میزان مصرف آب فضای سبز شهری و کمبود منابع آبی شهرداری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم (مطالعه موردی: شهرستان زرقان)

**محمد امین بهلولی[۱]، محمد هاشم موسوی حقیقی*[۱]، سید نعمت الله موسوی[۱]**
۱، گروه اقتصاد کشاورزی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
۲، استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
۳، دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
(تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۱۱- تاریخ تصویب: ۹۸/۱۰/۳۰)

## چکیده

**کاهش منابع آبی کشور معضلی است که اثر خود را در حوزه‌های مختلف مانند آب و هوا، کشاورزی، پوشش گیاهی، حیات وحش و جنگل نشان می‌دهد و در این تحقیق، با بهره-گیری از رویکرد سیستمی و کل‌نگر پویایی‌شناسی سیستم به بررسی و تحلیل ارتباط پویای میزان آب شهرداری و فضای سبز شهری در شهرستان زرقان پرداخته خواهد شد. این الگوی سیستمی با نرم‌افزار Vensim Dss مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرار گرفته است.**

**نتایج کلی شبیه‌سازی و سناریوها نشات از این دارد که جزایر گرمایی و ساخت و ساز جزء مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش مصرف آب در سیستم می‌باشند. مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر کاهش مصرف آب، نوع و میزان مصرف آب پوشش گیاهی در شهرداری زرقان است. بنابراین، بازه زمانی پژوهش به‌صورت سالانه وشبیه سازی در مدل از سال ۱۳۸۵به مدت بیست سال صورت گرفته است.داده های واقعی از سال ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۵برداشت گردیده است.**

**در این راستا، نتایج کمّی الگو بیان می‌دارد چنانچه بتوان میزان مصرف آب با روش‌های تعریف شده در هر متر مربع را به میزان۴۰ درصد کاهش داد، ۴۲ میلیون مترمکعب در میزان کل آب در بازه ۲۰ ساله شبیه‌سازی صرفه‌جویی می‌شود.**

**واژه‌های کلیدی: مصرف آب ، پویایی شناسی سیستم، فضای سبز شهرداری، شهرستان زرقان**

**مقدمه**

علاقه و تمایل نسبت به بحث توسعه پایدار، به‌ویژه در عرصه کلان شهرها، به دو موضوع مربوط می‌شود که محل تلاقی میان امیال و آرزوهای انسانی و تفوق و برتری طبیعت است. این دو موضوع شامل بوم‌محوری با تاکید بر اکولوژی جهانی و انسان محوری با تاکید بر رفاه بهزیستی انسان‌ها می‌باشند. بر اساس این دو حوزه فکری باید پذیرفت که لازمه پذیرش توسعه پایدار به-عنوان مفهومی جامع و فراگیر، در نظر داشتن مفهوم توسعه زیست‌بوم است که از سال ۱۹۷۰ در برنامه‌ریزی‌های محیطی سازمان‌ها و بسیاری از سازمان‌های مدافع محیط‌طبیعی مورد توجه قرار گرفت (Baher et al., 2014).

در حوزه توسعه پایدار شهری، یکی از اصلی‌ترین فاکتورهای پایداری یک شهر، توجه به مسایل محیط‌زیستی آن است. شهرها در بیشتر مناطق بدون توجه به برنامه‌های آمایش سرزمین و توجه به ملاحظات محیط‌زیستی شکل گرفته‌اند و این موضوع مشکلات عدیده‌ای را سبب می‌شود (Eftekhari et al., 2015; Yousefi, 2003). برای دستیابی به این مهم، باید از تکنیک‌های کارآمد آمایش سرزمین جهت سنجش توان کاربری زمین و ارزیابی اثرات توسعه در ایجاد و گسترش شهرها استفاده کرد. توسعه پایدار شهری به‌عنوان شبه پارادایمی مسلط در راهبردهای توسعه شهر در واکنش به نارضایتی‌های اقتصادی-اجتماعی از منظر بوم شناختی شکل گرفته است. از طرفی، اولین حوزه‌های مورد نظر در توسعه پایدار شهری به سیاست‌های توسعه شهری، حفظ فضای سبز و پاکیزگی آب، جلوگیری از آلودگی هوا، و کاهش تولید زباله در سطح محلی مربوط می‌شود (Sarafi, 2009; Shokohi, 2002; Azizi, 2002).

میان توسعه پایدار و مقوله قدرت ارتباط تنگاتنگی وجود دارد تا جایی که برخی معتقدند عدالت اجتماعی و تعادل محیط‌زیستی لازم و ملزوم یکدیگرند و تحقق یکی بدون دیگری غیرممکن است. در بحث توسعه پایدار شهری، شهرهای مختلف ایران دامنه متفاوتی از فعالیت‌ها را شروع کرده‌اند. نهاد شهرداری نقش مهمی در حفظ، حراست و توسعه محیط‌زیست شهری دارد و خدمات مختلفی را در سطح شهر به‌منظور رفاه هر چه بیشتر شهروندان ارایه می‌دهد. شهرداری، فعالیت‌های مختلف خود را حول چند محور دسته‌بندی نموده است. یکی از این دسته‌بندی‌ها ناحیه محوری است. طرح ناحیه محوری یکی از روش‌هایی است که می‌تواند در آینده هر شهری را تبدیل به یک شهر پایدار و پاک نماید. یکی از مهم‌ترین اهداف و سیاست‌های ناحیه محوری شهرداری توجه به موضوع محیط‌زیست شهر است و در این راستا، مشتمل بر انجام فعالیت‌های گوناگونی مانند (مدیریت پسماند، افزایش سرانه فضای سبز، ساماندهی صنایع و مشاغل آلاینده، جمع‌آوری حیوانات موذی، توسعه سیستم‌های حمل و نقل عمومی، فراهم نمودن زمینه همکاری و مشارکت شهروندان در حفظ محیط‌زیست، ترمیم و بهسازی انهار و...) است تا شهر به‌سوی توسعه پایدار گام بردارد و مدیریت بهتری بر منابع آبی محدود شهر اعمال نماید. در چهار دهه اخیر تکنیک‌های تحلیل سیستم‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع مورد توجه محققان مهندسی منابع آب قرار گرفته است. یکی از انواع الگوهای به‌کار رفته در این گونه مسایل، الگوهای شبیه‌سازی می‌باشد. تحلیل سیستم‌ها جایگاه مهمی در زمینه مدیریت منابع آب دارد و شبیه سازی، یک ابزار ضروری تصمیم‌گیری در فرایند مدیریت آب است (Momeni et al., 2009). در این ارتباط، روش پویایی سیستم یا سیستم داینامیک روشی، هدف‌گرا و بر اساس بازخورد است که در مقایسه با دیگر روش‌های تحلیل سیستم‌ها ساده و مؤثر بوده (Forester, 1968; Barlas, 2002) و می‌تواند به‌صورت یک روش کارآمد در الگوسازی سیستم‌های مدیریت منابع آب به‌کار رود. روش پویایی سیستم، به مدیران در درک بهتر شرایط دنیای واقعی جهت علل کاهش منابع کمک نموده و ابزار قابل فهمی را برای مدیران را ارایه می‌نماید (Jackson, 1991; Marshal, 2009). در قانون برنامه اول توسعه اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران در اجرای تبصره ۱۰ آن، سرانه کاربری فضای سبز در میان سایر کاربری‌های شهری ۵ متر مربع منظور شده است. وزارت مسکن و شهرسازی گروه تدوین ضوابط و معیارهای شهرسازی، سرانه فضای سبز را ۷/۱۲ متر مربع در نظر گرفته است. این سرانه اختصاص به فضای سبز داشته که مشتمل بر فضاهای سبز و مراکز تفریحی می‌باشد. بنابر گزارش طرح هادی سال ۱۳۸۵، سطح موجود کاربری فضای سبز ۲۲۵۷۶۱ متر مربع و سرانه آن ۷/۲۳ بوده است که با توجه به نرخ رشد جمعیت در افق سال ۹۵، سطح کاربری فضای سبز ۹۷۱۸۴۰ و سرانه آن ۲۲/۰۷ متر مربع پیشنهاد شده است. اما سطح موجود در سال ۹۵، ۵۰۹۶۳۵ و سرانه آن ۱۷/۶ متر مربع برآورد شده است.

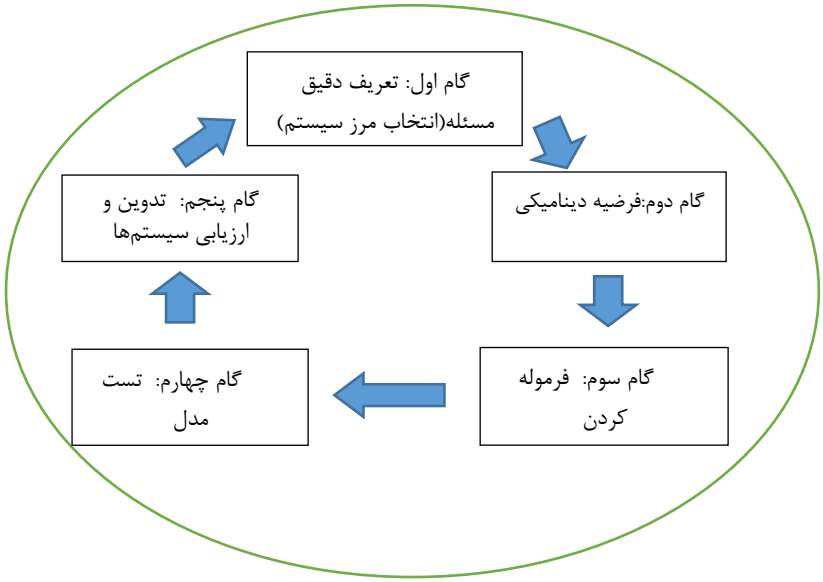
براساس آمار حاصل از شهرداری زرقان از سال۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ مصرف آب فضاهای سبز از ۴ میلیون مترمکعب به ۸ میلیون مترمکعب رسیده است. از طرفی، تعداد حلقه‌های چاه از۷ به ۱۴حلقه افزایش یافته و عمق چاه-ها نیز افزایش یافته است. آمار فوق حاکی از افزایش

تنش آبی در سطح شهر زرقان است. با توجه به مطالبی که در بخش های پیشین بیان گردید، محقق برآنست تا پاسخی برای پرسش کلیدی "آیا کاهش منابع آبی شهرداری زرقان بر محیط زیست شهری این شهر تاثیر گذار است؟" بیان کند. به‌همین دلیل، تحقیق حاضر با عنوان "بررسی و تحلیل روند میزان مصرف آب فضای سبز شهری با رویکرد پویایی سیستم" درصدد آن است که نقش عامل مدیریت ناحیه محوری را در حفظ محیط‌زیست شناسایی کند. این بدان دلیل است که یک شهر پایدار باید شهری هماهنگ با طبیعت و محیط زیست باشد. مناسب ترین الگو اثر جایگزینی فضای سبز کم مصرف آبی با فضای سبز پر مصرف آبی است که در نتیجه بنظر می رسد آب از عوامل اصلی و موثر فعلیت بخشیدن عنصر زنده در محیط است و هدف اصلی این پژوهش بررسی و تحلیل کمبود منابع آبی شهری بر فضای سبز شهری زرقان با استفاده از داده های آماری و رویکرد پویایی شناسی سیستمی است.

## مواد و روش

این پژوهش براساس رویکرد پویایی سیستم انجام گرفت. در رویکرد پویایی سیستم، شهر به‌عنوان یک سیستم پویا در نظر گرفته می‌شود. هر سیستم پویا که در طول زمان دگرگون می‌شود یک ساختار سلسله مراتبی دارد که دارای چهار مرتبه از قرار محدوده بسته، حلقه‌های بازخورد، متغیرهای سطح و متغیرهای نرخ می‌باشد. در نمودار علت و معلول، اجزای یک سیستم که با یکدیگر رابطه متقابل دارند به تصویر کشیده می‌شود و در نمودار جریان، نحوه تعامل بین متغیرهای یک سیستم با یکدیگر نشان داده شده و مبنایی برای توسعه یک مدل کمی می‌باشد. براساس مراحل مدل‌سازی در روش تحلیل رویکرد پویایی سیستم، گام‌های مدلسازی در پژوهش حاضر عبارتند از: ۱-شناسایی و تعریف مسئله، ۲-مفهوم‌سازی (نمودار علی حلقوی)، ۳-صورت بندی مدل(نمودار جریان و معدلات ریاضی)، ۴-اعتبارسنجی و ۵-تحلیل و بهبود سیاست (سناریوپردازی و تحلیل حساسیت). شکل ۱ مراحل کامل روش کار پژوهش را نشان می‌دهد.

تعریف دقیق مسئله و فرضیات پویایی پژوهش از طریق آمار و اطلاعات واقعی شهرداری و مرور مطالعات پیشین به‌دست آمد. این بخش از پژوهش در واقع بخش کمی وکیفی آن را شامل می‌شود. فرموله کردن مدل، شبیه سازی که بخش کمی وکیفی پژوهش را شامل می‌شود در فایل نرم‌افزار Vensim انجام شد. داده‌های واقعی شهرداری از سال ۱۳۸۵الی ۱۳۹۵براساس آمار و اطلاعات شهرداری جمع‌آوری گردیده است و مدل تا سال۱۴۰۵شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت.

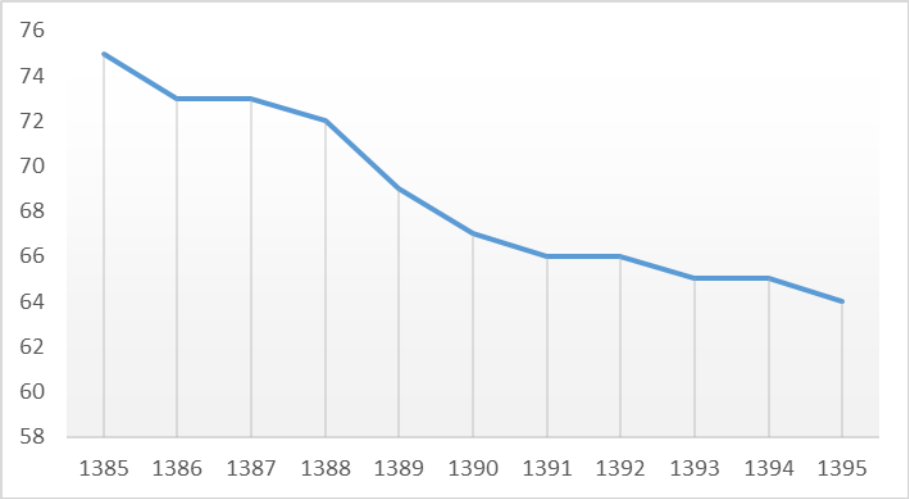



شکل ۱ - مراحل انجام پژوهش

**تعریف مسئله**

مسئله پژوهش بررسی اثرات کاهش منابع آبی شهرداری زرقان و مصرف آب است. بنابراین، بازه زمانی پژوهش به‌صورت سالانه و شبیه‌سازی در مدل از سال ۱۳۸۵ به‌مدت ۲۰ سال صورت گرفته است. شکل ۲ روند کاهشی منابع آبی شهرداری شهر زرقان را نشان می‌دهد.

براساس داده‌های واقعی، تغییرات در بازه زمانی ۱۰ ساله از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ روی داده است. براساس خروجی پژوهش تا سال ۱۳۹۵ روند مصرف آب شهرداری شیراز کاهشی است، این در حالی است که مصرف آب فضای سبز شهری این شهر در سال ۱۳۹۵ براساس گزارش معاونت برنامه‌ریزی شهرداری زرقان ۷ میلیون متر مکعب بوده است.



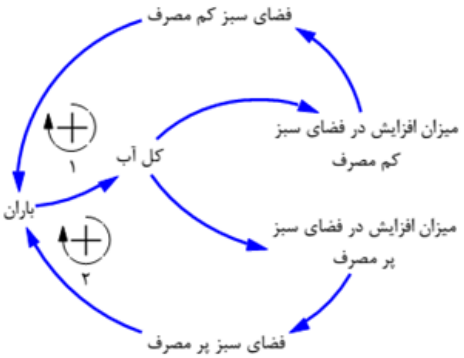

شکل(۲): میزان کاهش کل آب در طول دوره‌ی ۱۰ ساله داده واقعی

**فرضیه دینامیکی پژوهش**

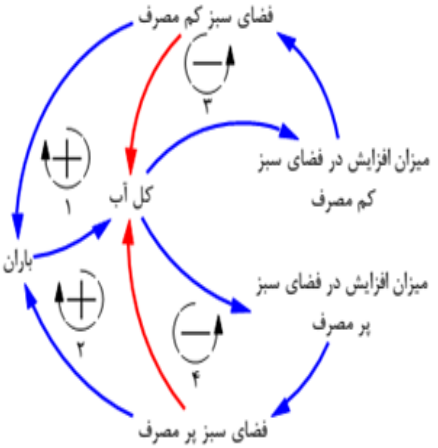
**الف: ورودی منابع آبی شهرداری زرقان نشات گرفته از ورودی نرخ باران**

ب : کاهش ورودئ منابع آب شهرداری زرقان ناشی از کاهش نرخ باران ودر نتیجه حذف فضای سبز پرمصرف و کاهش فضای سبز کم مصرف

در این بخش، بیان ساختاری پژوهش که تبیین کننده مسئله پژوهش (بررسی اثرات کاهش منابع آبی شهرداری و مصرف آب) است به‌صورت گام به گام ارایه شده است. در مدل پژوهش، دو حلقه اصلی مثبت (شکل ۳) و دو حلقه اصلی منفی (شکل ۴) دیده می‌شود.



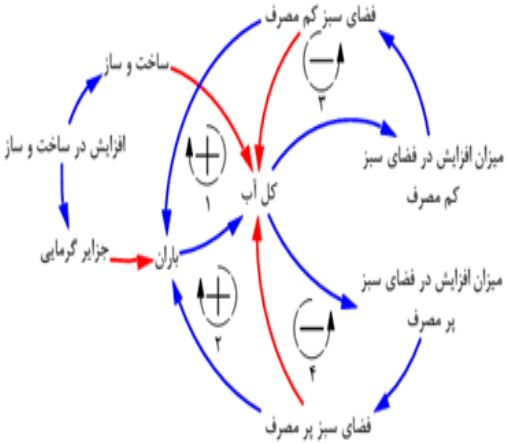

شکل(۳): دو حلقه‌ی مثبت اصلی مدل




شکل(۴): دو حلقه‌ی مثبت و منفی اصلی در مدل

حلقه‌های ۱ و ۲ در شکل ۳ بیانگر این مهم هستند که با افزایش باران، کل آب افزایش یافته و با این اتفاق فضای سبز بیشتری خواهیم داشت. در نهایت، افزایش فضای سبز نیز منجر به افزایش باران خواهد شد.

دو حلقه ۳ و ۴ در شکل ۴ بیانگر مصرف آب در فضای کم مصرف و پرمصرف می‌باشند (لینک‌های با قطبیت منفی با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند). با ملاحظه نمودار علّی کامل شده در شکل ۵ و در نظر گرفتن مسئله مطرح شده در خصوص کاهش کل آب (شکل ۲)، می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که آب حاصل از باران که شکل دهنده کل آب است، در فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به واسطه افزایش جزایر گرمایی و افزایش ساخت و ساز ساختمان‌ها و جاده‌ها، بارش و نفوذ آب حاصل از باران به لایه‌های زیرین کاهش یافته است. در نتیجه، آب بازگشتی به این چرخه به میزان آب مصرف شده نبوده و شاهد کاهش کل آب در طول این سال‌ها هستیم. در نهایت، با افزودن اثرات علّی ساخت و ساز از دو طریق افزایش جزایر گرمایی و کاهش نفوذ آب باران به سطوح زیرین، مدل علّی این مطالعه مطابق با شکل ۶ که در الگوی مدل، حالت و جریان کامل می‌گردد.

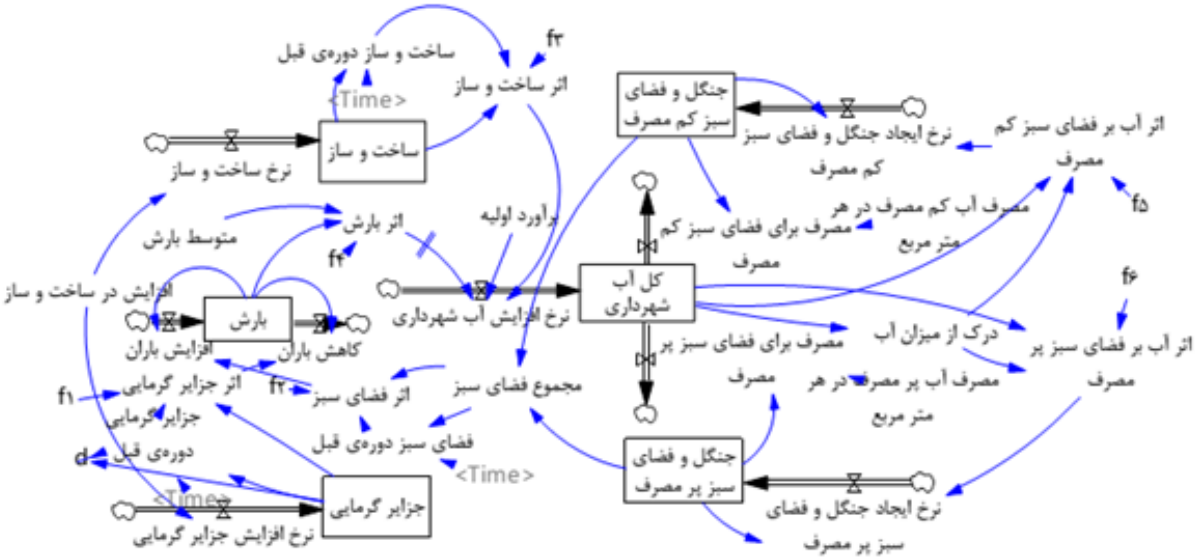



شکل(۵): مدل علی پژوهش

ساخت و ساز در زرقان منجر به افزایش محدوده شهری شده است. این موضوع دو اثر خواهد داشت: ۱) ساخت و ساز منجر به تغییر جنس سطح شهر خواهد شد. بدین معنی، زمینی که سابق بایر بوده تبدیل به ساختمان و جاده شده است. این موضوع منجر به افزایش سطح جزایر گرمایی شده که به‌طور مستقیم بر افزایش دما و کاهش باران مؤثر است. ۲) از سوی دیگر، تبدیل زمین بایر به ساختمان و جاده، نفوذ آب‌های سطحی به سطوح زیرین را کاهش داده و منجر به این خواهد شد که تبخیر آب‌های سطحی افزایش یابد. افزایش در تبخیر نیز تبدیل به باران نخواهد شد؛ زیرا دما به دلیل افزایش جزایر گرمایی برای بارش مساعد نیست. این دو اثر در مدل حالت و جریان، در سمت چپ شکل ۶ با تاثیر بر بارش و نرخ افزایش آب شهرداری قابل مشاهده است. میزان کل بارش سالیانه به‌صورت یک متغیر حالت در نظر گرفته شده است که با افزایش فضای سبز و افزایش رطوبت ناشی از آن افزایش، و با افزایش جزایر گرمایی از مقدار آن کاسته می‌شود.

**الگوی مدل حالت و جریان**

میزان کل بارش سالیانه به‌صورت یک متغیر (حالت) در نظر گرفته شده است که با افزایش فضای سبز و افزایش رطوبت ناشی از آن میزان بارش افزایش، و با افزایش جزایر گرمایی از مقدار آن کاسته می شود. مقدار افزایش در میزان بارش سالیانه که ورودی این تابع، نسبت مجموع فضای سبز در سال جاری به مجموع فضای سبز در سال گذشته می باشد. نرخ افزایش آب شهرداری از اثر باران و اثر ساخت و ساز تاثیر می‌پذیرد.




شکل(۶): مدل حالت و جریان پژوهش

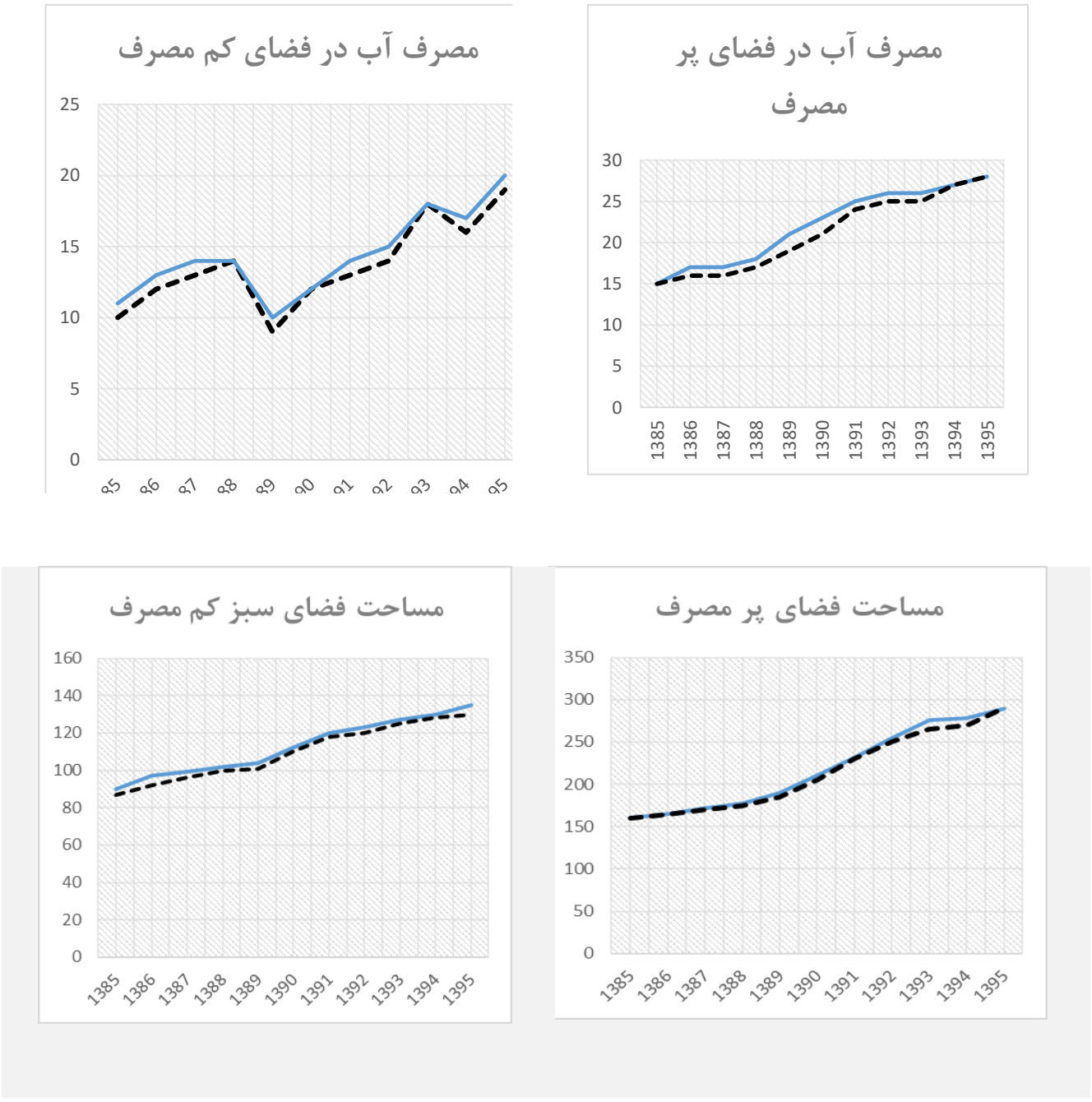
بخش مرکزی مدل، متغیر حالت (کل آب) شهرداری زرقان قرار دارد. نرخ‌های خروجی این متغیر وابسته به مساحت فضای سبز کم مصرف و پر مصرف می‌باشد. بدین معنا که با ضرب مساحت فضای سبز در میزان مصرف آب در هر متر مربع، میزان آب مصرف شده حاصل می‌گردد. میزان مصرف آب در هر متر مربع فضای سبز کم مصرف و پر مصرف از آمار داده‌های سال-های گذشته استخراج شده است. میزان افزایش در مساحت فضای سبز متأثر از میزان کل آب می باشد. بدین معنی که چنانچه میزان کل آب فعلی نسبت به میزان درک شده از آن (ذهنیت قبلی سیاستگزاران از کل آب)، کمتر از یک باشد، مطابق با وضع موجود، اثر آب بر فضای سبز کاهشی خواهد بود. البته این اثر کاهشی برای فضای سبز کمتر از یک باشد، مطابق با وضع موجود، اثر آب بر فضای سبز کاهشی خواهد بود. این اثر کاهشی برای فضای سبز پر مصرف شدیدتر می-باشد. این دو اثر بر فضای سبز، از طریق دو طرف مدل بر دو نرخ ایجاد جنگل و فضای سبز اثرگذار خواهند بود.

**اعتبارسنجی**

به‌منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل از آزمون رفتار مجدد استفاده شد. هدف از این آزمون مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی جهت اطمینان از صحت عملکرد رفتار مدل است. همانطور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود نتایج داده‌های واقعی و نتایج شبیه سازی مدل طی چهارده دوره (از سال ۸۵ تا ۹۵)، نشان-دهنده آن است که رفتار متغیرهای مورد بررسی به میزان قابل قبولی توسط مدل شبیه‌سازی شده است.

**آزمون رفتار مجدد**

با توجه به نتایج آزمون رفتار مجدد، مدل در ایجاد ترکیب داده‌های ۱۰ سال ( واقعی) منطبق بر واقعیت جامعه تا سال ۱۳۹۵ درست عمل کرده است. روند کاهش منابع آب شهرداری زرقان و الگوی مصرف آب در فضای سبز کم مصرف و پر مصرف و در مساحت‌های فضای سبز کم مصرف و پر مصرف با واقعیت منطبق است.




شکل(۷): مقایسه بین مقادیر واقعی و شبیه سازی شده(خطوط نقطه چین)

### آزمون محاسبه عددی میزان خطا

به‌منظور اطمینان از تناسب رفتار مدل با داده‌های واقعی، از آزمون باز تولید رفتار RMSPE[1] استفاده شده است. معادلات این آزمون در ادامه تشریح می‌گردد.

### حداقل خطای مجذورات (RMSPE)

بر اساس این شاخص، هرچه میزان تفاوت بین داده-های واقعی و شبیه‌سازی شده کمتر باشد، به نتایج شبیه‌سازی بیشتر می‌توان اعتماد کرد. میزان خطا در این روش بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود.

1. Root Mean Squers Percentage Error (RMSPE)

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}\left(\frac{y^s_{T+i} - y^a_{T+i}}{y^a_{T+i}}\right)^2} * 100 \qquad (۱)$$

**در این فرمول:**

$Y^s_{T+i}$: نتایج شبیه‌سازی متغیر الگو

$Y^a_{T+i}$: داده‌های واقعی و $\theta$ نشان‌دهنده تعداد مشاهدات است.

بر این اساس، هرچه میزان **RMSPE** به صفر نزدیک‌تر باشد به مفهوم خطای کمتر است و نزدیک بودن به ۱۰۰ درصد نیز نشان‌دهنده خطای بالا است. (استرمن، ۲۰۰۰).

**شناسایی ریشه‌های خطا**

برای محاسبه ریشه‌های خطا از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$U^m = (\bar{Y}^s - \bar{Y}^a)^2 / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(Y^s_{T+i} - Y^a_{T+i})^2] \qquad (۴)$$

$$U^s = (SDS - SDA)^2 / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(Y^s_{T+i} - Y^a_{T+i})^2] \qquad (۵)$$

$$U^c = [2*(1-r)*(SDS*SDA)] / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(Y^s_{T+i} - Y^a_{T+i})^2] \qquad (۶)$$

هدف از آزمون بازتولید رفتار اندازه‌گیری میزان انحراف داده‌های واقعی از داده‌های شبیه‌سازی شده است. به-منظور تعیین منابع انحراف نیز از آزمون‌های ضریب‌های نابرابری تیل استفاده شده است. این آزمون انحراف بین داده‌های واقعی با داده‌های شبیه-سازی شده را به سه دسته تقسیم می‌کند: انحراف‌ها، واریانس-های نابرابر و کوواریانس‌های نابرابر و رابطه بین این سه آزمون، همواره باید برقرار باشد:

برای محاسبه ریشه‌های خطا از فرمول شماره سه استفاده می‌شود:

$$U^m+U^s+U^c=1$$

در این فرمول: نتایج شبیه‌سازی متغیر مدل، داده-های واقعی، $\theta$ نشان دهنده تعداد مشاهدات است. بر این اساس، هرچه میزان RMSPE به صفر نزدیک‌تر باشد به مفهوم خطای کمتر و نزدیک بودن به ۱۰۰ درصد نیز نشان‌دهنده خطای بالا است.

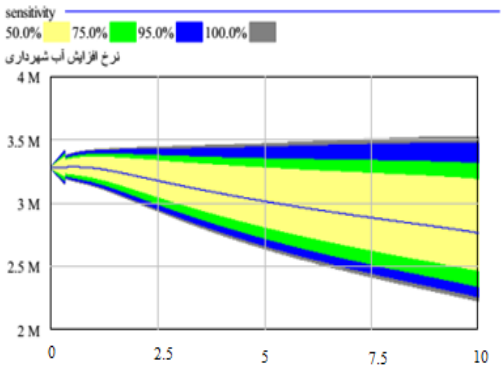
جدول(۴-۲): نتایج آزمون خطاهای الگو برحسب دوره شبیه سازی

| شاخص آزمون خطا متغیرهای کلیدی الگو | حداقل خطای مجذورات (RMSPE) درصد | شاخص نابرابری UT | محاسبه ریشه های خطا | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $U^M$ | $U^S$ | $U^C$ |
| کل آب شهرداری زرقان | ۵ | /۰۰۰۴ | /۷۲ | /۰۶ | /۲۲ |
| مصرف آب فضای سبز کم مصرف | ۳ | /۰۰۱۵ | /۰۱۲ | /۰۱۶ | /۹۷ |
| مصرف آب فضای سبز پر مصرف | ۱ | /۰۰۸ | /۰۰۳ | /۰۰۴ | /۹۹ |
| مساحت فضای سبز کم مصرف | ۲ | /۰۰۱۶ | /۰۲۱ | /۰۲۶ | /۹۶ |
| مساحت فضای سبز پر مصرف | ۳ | /۰۰۱۸ | /۰۱۸ | /۰۱۷ | /۹۸ |

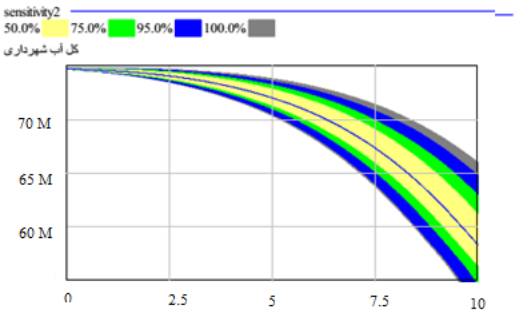
منبع: یافته های پژوهش

**تحلیل حساسیت**

در این بخش، با تغییر برخی از مقادیر ثابت مدل، به تحلیل اثر آنها بر مقادیر متغیرهای دیگر پرداخته شده است. در این راستا، در ابتدا به بررسی اثر تغییر در نرخ ساخت و ساز بر نرخ افزایش آب پرداخته شد. با تغییر در پارامتر افزایش در ساخت و ساز در بازه‌ی ۱۰۰ تا ۴۰۰ با توزیع یکنواخت تصادفی، تغییرات در نرخ افزایش آب مطابق با شکل ۸ خواهد بود. این نمودار نشان از حساسیت شدید این نرخ به این پارامتر دارد. البته این موضوع به لحاظ مفهومی نیز چندان دور از ذهن نمی‌باشد؛ زیرا تغییرات در ساخت و ساز منجر به تغییرات در میزان جزایر گرمایی شده که تاثیر بسزایی در میزان بارش خواهد داشت. میزان بارش نیز به‌طور مستقیم بر نرخ افزایش آب اثر گذار می‌باشد.




شکل(۸): اثر تغییر در نرخ ساخت و ساز بر نرخ افزایش آب



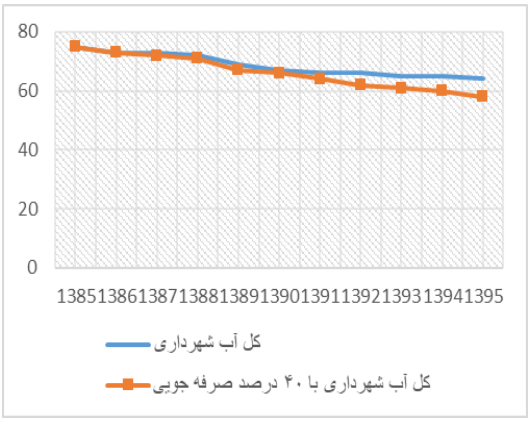

شکل(۹): اثر تغییر ۴۰ درصدی ضرایب مصرف آب بر کل آب

در گام بعدی در تحلیل حساسیت، به بررسی اثر تغییر در دو پارامتر میزان مصرف آب در هر متر مربع فضای سبز کم مصرف و پرمصرف بر کل آب پرداخته می‌شود. در این راستا، ضرایب مصرف آب در هر متر مربع فضای سبز کم مصرف و پر مصرف به میزان ۴۰ درصد تغییر کرده تا اثر آنها بر کل آب مشاهده گردد. مطابق با شکل ۱۰، اثر دو پارامتر فوق بر این متغیر نیز بسیار چشم‌گیر بوده و می‌تواند تاثیر زیادی را در بلند-مدت در جلوگیری از کاهش آب برجای گذارد. در اینجا، نکته قابل توجه این است که می‌توان با بهره‌گیری از شیوه‌های نوین آبیاری، تغییرات در نظرگرفته شده احتمالی را محقق نمود. با توجه به شکل ۸ و ۹، اثر تغییر در پارامترهای مدل بر نرخ افزایش آب و کل آب تعیین کننده و قابل توجه می‌باشد. این موضوع می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای اعمال برخی سیاست‌های اصلاحی قرار گیرد.

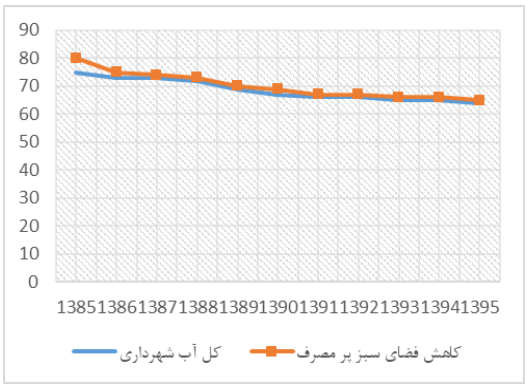
**سناریوهای پیشنهادی**

**سناریوی اول: اثر استفاده از روش‌های آبیاری نوین بر کاهش کل آب مصرفی**

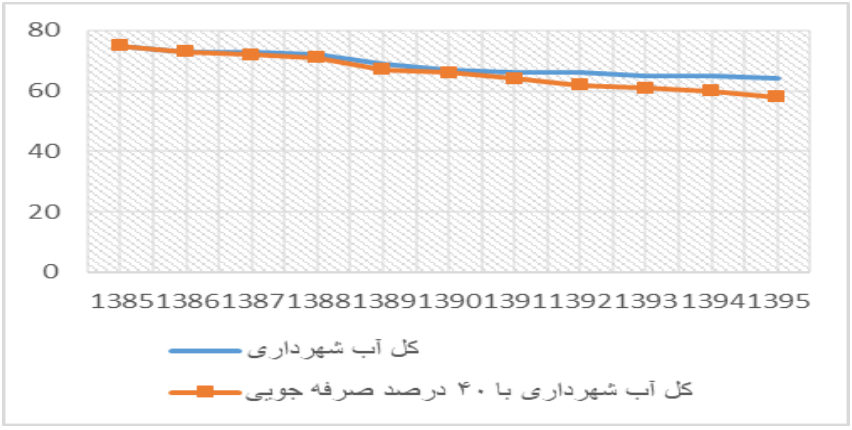
مطابق با نظرات متخصصین آبیاری، با بهره‌گیری از روش‌های نوین آبیاری می‌توان بین ۳۰ تا ۵۰ درصد در میزان مصرف آب صرفه جویی نمود. با توجه به شکل ۱۰، چنانچه ضریب مصرف آب در هر متر مربع فضای سبز، ۴۰ درصد کاهش یابد، از کاهش کل منابع آبی شهرداری به میزان بسیار زیادی جلوگیری خواهد شد.



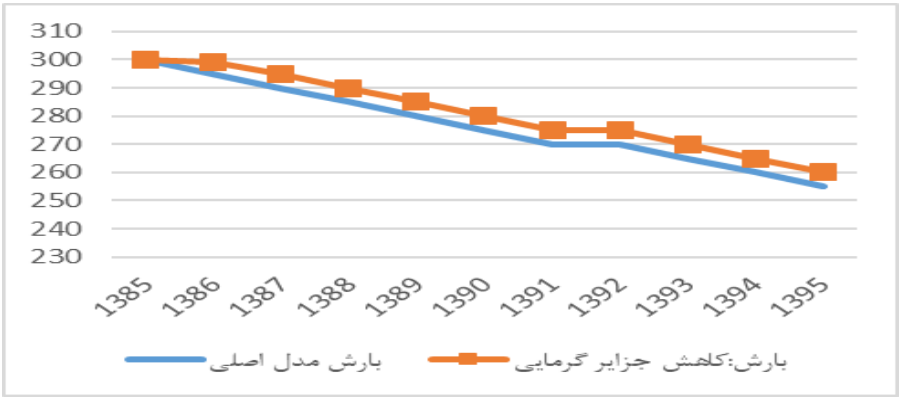

شکل(۱۰): اثر کاهش ۴۰ درصدی ضرایب مصرف آب برکل آب




شکل(۱۱): اثر جایگزینی فضاهای سبز بر کل آب




شکل(۱۲): مقایسه‌ی اثر سناریوی اول و دوم بر کل آب




شکل(۱۳): اثر کاهش جزایر گرمایش بر بارش

**سناریوی دوم: اثر جایگزینی فضای سبز کم مصرف با فضای سبز پر مصرف، ضمن حفظ مساحت فضای سبز کل**

در این سناریو فضای سبز پر مصرف کاهش یافته و فضای سبز کم مصرف به‌میزانی تقریبا مشابه افزایش یافته است(۱). مطابق با شکل فوق، اثر این تغییر به میزان سناریوی اول نبوده اما می‌تواند منجر به صرفه جویی چشمگیری شود. اثر اجرای دو سناریوی اول و دوم در مقایسه با یکدیگر مطابق با شکل ۱۲ است. این شکل بیانگر این است که سناریوی اول می‌تواند صرفه جویی به مراتب بیشتری را در کل آب شهرداری ایجاد نماید که این موضوع اهمیت بهره گیری از سیستم های نوین آبیاری را روشن می نماید.

**سناریوی سوم: اثر کاهش جزایر گرمایی بر افزایش میزان بارش در محدوده شهر**

در این سناریو چنانچه جزایر گرمایی هر ساله به میزان دو درصد کاهش یابد، تغییر در میزان باران مطابق با شکل ۱۳ خواهد بود. این تغییر به لحاظ عملیاتی و اجرایی، مطابق با نظر کارشناسان می‌تواند با اجرا در سقف ایجاد شود و با بهره گیری از سیستم‌های جمع آوری پساب های ساختمانی فضای سبز ایجاد گردد.

**بحث و نتیجه‌گیری**

در این مطالعه سعی بر آن شد تا با بهره‌گیری از رویکرد پویایی سیستم، موضوع فضای سبز شهری و منابع آب شهرداری با نگاهی کل نگر و سیستماتیک مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا، با بررسی ادبیات موضوع و داده‌های موجود و بهره‌گیری از تفکر دور بسته که بیان می‌دارد ساختار مدل باید ایجاد کننده رفتار مورد مطالعه باشد، مدل علّی اولیه ایجاد گردید. این مدل در تعامل با خبرگان و کارشناسان در چندین مرحله مورد بررسی و بازبینی قرار گرفت. پس از آن، به‌منظور بررسی و تحلیل کمی، مدل حالت و جریان مطالعه با داده‌های واقعی توسعه داده شد. صحت این مدل با آزمون رفتار مجدد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج

این آزمون نشان از اعتبار و درستی مدل مطالعه دارد. به‌طور خلاصه، مدل ارایه شده در این مطالعه از دو بخش در هم تنیده تشکیل شده است. بخش ایجاد و جمع‌آوری آب و بخش مصرف آب. در بخش اول هدف تحلیل‌ها به سمت بیشینه سازی است، جایی که بتوان آب بیشتری را وارد سیستم نمود. در بخش دوم، هدف افزایش فضای سبز با کاهش در میزان مصرف آب است. در راستای این دو بخش نیز تحلیل‌ها و سناریوهای مختلف با مد نظر قراردادن دیدگاه‌های کارشناسان و خبرگان ارایه شد. تحلیل حساسیت مدل بیانگر اثر شدید تغییرات نرخ ساخت و ساز بر نرخ افزایش آب است. این اثر از دو جهت بر نرخ افزایش آب مؤثر است: جزایر گرمایی و ساخت و ساز. از سوی دیگر، اثر تغییرات در دو پارامتر مصرف آب در فضای سبز کم مصرف و پر مصرف بر کل آب به قدری زیاد است که حتی می‌تواند تا ۵۰ درصد به صرفه جویی در مصرف کل آب کمک نماید. سیاستی که در چند سال اخیر در شهرداری زرقان مدنظر بوده، یعنی بهره‌گیری بیشتر از فضای سبز کم مصرف به‌جای پر مصرف نیز مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با نتایج مدل، این سیاست نیز می‌تواند اثر بسزایی بر صرفه جویی آب داشته باشد. همچنین، نتایج مدل نشان از اثر کاهش تدریجی و جزیی جزایر گرمایی بر افزایش میزان بارش در بلندمدت دارد که به‌منظور پیاده‌سازی این سناریو می‌توان از راهکارهایی مانند ایجاد فضای سبز در پشت بام خانه‌ها بهره جست. پیشنهادهای این مدل در قالب تحلیل‌ها و سناریوهای ارایه شده می‌تواند در افقی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلند-مدت معضل کم‌آبی را در شهرداری زرقان برطرف نماید. برای مثال، بهره‌گیری از سیستم‌های نوین آبیاری در انواع مختلف فضای سبز با استفاده از دانش‌آموختگان این رشته در هر سه افق مطرح شده اثری چمشگیر خواهد داشت. تحلیل جنس و نوع فضای سبز مورد استفاده در شهرداری نیز به لحاظ مصرف و هزینه نگهداری موضوع دیگری است که می‌تواند در افق میان‌مدت و بلندمدت اثرگذار باشد. همچنین، می‌توان با بررسی تجربیات موفق در دنیا در خصوص کاهش جزایر گرمایی شهری، در افقی میان‌مدت و بلندمدت به افزایش بارش امیدوار بود. مدل پیشنهادی از جهات گوناگونی قابلیت توسعه را دارا است. برای مثال، در بخش ایجاد و جمع‌آوری آب می‌توان با تحلیل عمیق‌تر عوامل مؤثر بر بارش، حلقه‌های علّی بیشتری را توسعه داد. همچنین، در بخش مصرف آب می‌توان مکانیزم‌های تصفیه پساب‌های خانگی و ورود این آب به آب شهرداری را بررسی نمود. از محدودیت‌های اصلی این پژوهش می‌توان به فقدان پایگاه دادهای جامع و دقیق اشاره نمود، زیرا بهبود هر مشکل در سطحی نیازمند درک دقیق آن است و درک دقیق و درست با داده‌های چندجانبه و مکمل صورت می‌گیرد.

باتوجه به نتایج تحقیق، در حال حاضر ۷۵درصد آب مصرفی شهرداری از طریق چاه و قنات تامین می شود، با ادامه وضعیت موجود، کشور ما شهر ما در آینده در مصرف آب در وضعیت مطلوبی قرار نخواهد داشت. بهترین شاخص برای بررسی عملکرد سناریوها ارزش ویژه آب می‌باشد که در سناریوها می‌توان اعمال سیاست‌های بهبود را تا انتهای شبیه‌سازی سال ۱۴۰۵ به میزان ۸۰ درصد افزایش داد.

متغیرهای جانبی تاثیر مهمی تعیین رفتار این مدل خواهد داشت. در بین این متغیرها آموزش شهروندان و کارکنان نقش مهمی در افزایش بهره‌وری آب و فضای سبز خواهد داشت؛ به‌طوری‌که با افزایش ۵ درصد تا ۱۰ درصد هزینه‌های آموزش در هر سال بهره‌برداری و بهره-وری آب در شهرداری شیراز در افق ۱۴۰۵ به میزان ۸۰ درصد افزایش خواهد داشت. مقایسه میزان منابع آبی شهرداری و مصرف آب شهرداری شیراز نشان می‌دهد که در ابتدای دوره شبیه‌سازی ۱۳۸۵ نسبت مصرف آب به منابع آب کل ۵۷ درصد بوده است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، این نسبت با یک شیب افزایشی تا افق ۱۴۰۵ به ۹۸ درصد خواهد رسید.

## REFERENCES

1. Asghari, M. (2010). Agricultural sector development priorities using multi-criteria decision-making models (Case study: *Agricultural sector of Isfahan province*), *Quarterly Journal of Economic Research*, 1(1): 89-121.(In Persian)

2. Azizi, M. (2012). Sustainable urban development, Harmonization and Analysis of Global Perspectives, Safab, *Shahid Beheshti University Journal*, 33(2):91-120. (In Persian).
3. Baher, I. Vazifeheshenas, R. Maddai, A. & Zolfaghari, F. (2014). Surveying and locating green spaces in the neighborhood parks in order to develop environmental sustainability with the principles of gis (Case study: Shahr-Maragheh), International Conference on Civil, *Architectural and Sustainable Urban Development, center west azarbayjan province* .(In Persian).
4. Barlas, Y. (2002). System dynamics: systemic feedback modeling for policy analysis in knowledge for sustainable development—an insight into the encyclopedia of life support systems. *Paris, France, Oxford, UK: UNESCO Publishing—Eolss Publishers*.
5. Dashti, GH. Khaksar Khiyabani, F. & Ghahramanzadeh, M. (2013). Determining Effective Factors on Production and Pisk pf Dill Productoin on Tabriz. *Agriculture Economics and Develoment Research*, Isan, 44(3): 397-389. (In Persian).
6. Eftekhari, A. Nouri, J. & Arjmandi, R. (2015). Investigating the Effect of Axis Management on Environmental Conservation in Tehran (*Case Study of District 1 Municipality Area 13, Human and Environmental Quarterly*), 2(12):39-53. (In Persian).
7. Forester, J. W. (1968). Principles of systems (2 edition). *Portland USA productivity* press.
8. Jackson, M. C. (1991). Systems methodology for the management science. *Plenum Afghanistan* Press.
9. Marshall, S. (2009). Cities design and revolution. *London UK University* press.
10. Momeni, E. Tajrishi, M. & Abrishamchi, A. (2007). *Modeling the operation of a multipurpose tank using a system dynamics method*, Journal of Water and Sewage, 57(3):47-58. (In Persian).
11. Ranamii, M. (2011). Environmental Power of Iran, Knowledge and ability to publish, Tehran University press. (In Persian).
12. Sarafi, M. (2009). Metropolitan Management Overview of Theoretical Perspectives of Metropolitan *Management Emphasizing Institutional Aspects, Urban Management Quarterly*, 5(17):6-17. (In Persian).
13. Sepahvand, E. Niroumand, R. and Nabiyan, S. (2016). Investigating the Impact of Oil Products on Iran's *Agricultural Economy Quarterly Journal of Economic Research*, 43(4):117-132. (In Persian)
14. Shokohi, H. (2002). *New perspectives on urban geography*, Tehran Publication, Tehran University press. (In Persian).
15. Yousefi, A. (2003). Change patterns of unsustainable consumption, *Environmental Quarterly*, 37(4):86-93. (In Persian).