Shahid Chamran University of Ahvaz

**Irrigation Sciences and Engineering (JISE)**
**Vol. 44, No. 4, Winter 2022, p. 93-108**

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

**Research Paper**

**EXTENDED ABSTRACT**

# Investigation of Irrigation Systems Development, Cropping Pattern Scenarios, and Deficit Irrigation on Water Productivity in Qazvin Irrigation Network by Systems Dynamics

B. Nazari[1*], A. Liaghat[2] and M. Parsinejad[3]

*1*-Corresponding Author, Associate Professor of Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. (b.nazari@eng.ikiu.ac.ir).*
*2- Professor of Irrigation and Reclamation Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.*
*3- Associate Professor of Irrigation and Reclamation Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.*

**ARTICLE INFO**

*Artlcle history:*
Received: 4 April 2019
Revised: 16 October 2020
Accepted: 20 October 2020

*Keywords:*
Water Consumption, Modeling, Stoke and Flow Diagram, Vensim.

**TO CITE THIS ARTICLE:**

Nazari, B., Liaghat, A., Parsinejad, M. (2021). 'Investigation of Irrigation Systems Development, Cropping Pattern Scenarios, and Deficit Irrigation on Water Productivity in Qazvin Irrigation Network by Systems Dynamics', Irrigation Sciences and Engineering, 44(4), pp. 93-108. doi: 10.22055/jise.2020.28076.1819.

## Introduction

One of the most critical challenges of the twenty-first century is to resolve water crisis. This crisis is characterized by scarcity of water, the destruction of natural ecosystems, and food shortages. In spite of extensive efforts made to ensure food security, human societies still have trouble feeding their populace. This problem is most likely due to their inability to access healthy and safe water resources (Kijne, 2003). The solution to the water crisis can be expressed as better development and proper management of water resources systems. Various technical and managerial solutions should be taken such as upgrading and improving irrigation systems, introducing new irrigation methods, deficit irrigation, optimizing the cropping pattern, improving the efficiency of irrigation networks, etc. to improve water productivity in agriculture. The system dynamics methodology is a modeling and simulation technique and is specially designed for long-term, chronic, and dynamic management issues (Vlachos et al., 2007). Crop pattern scenarios, crop production, and agricultural pollution in a region in southern Turkey have been studied by Saysel et al. (2002) with a system dynamics approach. Also, the system dynamics approach was applied in the study of integrated water management at the catchment scale by Soltani and Alizadeh (2017). In this study, the systems dynamics approach, which is a suitable method for studying complex water systems, was applied in water productivity investigation in the Qazvin irrigation network.

## Methodology

The irrigation network of Qazvin Plain with an area of 80,000 acres is gross, has 94 kilometers long, which extends from the area of Ziyaran and leads to the territory of the Takestan. The average of irrigation network area width is about 7.8 km. This network mainly covers the lands of Qazvin, Abyek, as well as part of the lands of the Takestan and Buinzahra counties. For modeling, the Vensim programming environment, a tool for modeling in a dynamic system and object-oriented feedbacks has been used. The stoke and flow diagrams design is one of the elementary steps in the

development of a simulation model based on the theory of system dynamics. In fact, stokes are system aggregations and indicate the status of the system, and the decisions and activities of the system are based on them. The flows also show the rates of change, indicating the processes that fill or vacate the stoke variable. The studied strategies and scenarios in the research were included "modern irrigation systems development scenarios", "Patterns of Cropping Scenarios" and "deficit Irrigation".

**Results and Discussion**

Although, in all agricultural crops, by changing the irrigation system from surface to sprinkler, physical water productivity has increased. However, by changing the irrigation system from surface to sprinkler, a different trend has occurred in the economic water productivity. For instance, in the case of corn, tomato, canola and chickpea, the change in the system (from surface to sprinkler) has led to an increase in the economic water productivity. However, in the anther study, results were the same.

The crop pattern scenarios 4, 7 and 8 (CPS 4, CPS 7 and CPS 8) had the highest physical water productivity, successively. Crop pattern scenarios 8, 4 and 1 (CPS 8, CPS 4 and CPS 1) had the highest economic water productivity, successively. The highest and lowest volumes of annual required water in the network in different combined scenarios were related to CPS3-FI-MIDS15% and CPS 8-DI 60%-MIDS45%, respectively, and equal to 11738 and 2761 cubic meters per hectare.

**Conclusions**

The results of the study showed that the system dynamics approach could be applied to investigation of different irrigation systems, irrigation systems development and crop pattern scenarios on water productivity. Therefore, the replacement of surface irrigation systems with sprinkler systems based on the physical water productivity at the farm level is an effective solution. However, this irrigation system change has different effects on the economic water productivity regarding crop type. In addition, the evaluation of different strategies on physical and economic water productivity showed that the effect of applying the productivity measures at the farm and network-level does not necessarily have the same results. The development of pressurized irrigation at the network level increases the physical water productivity and can led to economic productivity increase or decrease, depending on the crop pattern and deficit irrigation scenarios. The maximum and minimum required water in the network in different combined scenarios were 11738 and 2761 ($m^3$/ha), respectively. The economic water productivity at the irrigation network level in CPS 8 and CPS 4 crop pattern scenarios increased by 51% and 25.2%, successively, compared to the economic water productivity of the CPS1 (current crop pattern). The physical water productivity of the irrigation network in the CPS 4, CPS 7, and CPS8 increased by 35.4%, 35.1%, and 27.3%, respectively, in comparison to current physical water productivity. Regarding, the fact that crop pattern has a significant effect on the economic and physical water productivity at the network level, strength implications should be taken for controlling the pattern of cultivation. These arrangements can be educational, institutional, or regulating approaches.

**Acknowledgement**

The authors gratefully acknowledge the corporation of Qazvin Water Company and Qazvin agriculture organization for preparing of water and agriculture data in irrigation network area.

**References**

1- Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D., 2003. Improving Water Productivity in Agriculture: Editors' Overview in " J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden., Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement". *CAB.*

2- Saysel, AK., Barlas, Y., Yenigün O., 2002. Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach. *Journal of Environmental Management*, 64, pp. 247–260.

3- Vlachos, D., Georgiadis, P., Iakovou. E., 2007. "A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains". *International Journal of Computers and Operations Research*, 34, pp.367-394.

4- Soltani, M., Alizadeh, H.A., 2017. Integrated water resources management at basin scale (IWMsim) using a system dynamics approach. *Journal of Water and Soil Resources Conservation.* year 7, 2. pp. 69-90. (In Persian).

© 2022 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤٤، شماره‌ی٤، زمستان ١٤٠٠، مقاله پژوهشی، ص. ١٠٨-٩٣

# ارزیابی اثر توسعه سیستم‌های آبیاری، سناریوهای الگوی کشت و کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب در شبکه آبیاری قزوین به روش پویایی سیستم‌ها

بیژن نظری[1*]، عبدالمجید لیاقت[2] و مسعود پارسی نژاد[3]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، b.nazari@eng.ikiu.ac.ir
۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.
۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۵ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۹

## چکیده

**یکی از بحرانی‌ترین چالش‌های حال حاضر بشر، رفع بحران آب است. در این پژوهش با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها و نرم افزار Vensim به مطالعه و ارزیابی سناریوهای مختلفی که بر بهره‌وری آب اثر خواهد گذاشت، از جمله اثر توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار، الگوی کشت و کم آبیاری پرداخته شد. نتایج نشان داد توسعه آبیاری تحت فشار در سطح شبکه قزوین، موجب افزایش بهره‌وری فیزیکی آب می شود و بسته به نوع الگوی کشت و سطح کم‌آبیاری می‌تواند موجب افزایش و یا کاهش بهره‌وری اقتصادی شود. بیشترین و کمترین حجم آب مورد نیاز سالانه شبکه آبیاری در سناریوهای ترکیبی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای "CPS 3 FI MIDS 15%" و "CPS 8 DI 60% MIDS 45%" به مقدار ۱۱۷۳۸ و ۲۷۶۱ مترمکعب در هکتار بود. بهره‌وری آب اقتصادی در سطح شبکه در سناریوهای الگوی کشت CPS 8 و CPS 4 در مقایسه با بهره‌وری آب اقتصادی الگوی کشت موجود CPS 1 به‌ترتیب ۵۱ و ۲۵/۲ درصد افزایش داشته است و بهره‌وری آب فیزیکی در سطح شبکه در سناریوهای الگوی کشت CPS 4، CPS 7 و CPS 8 در مقایسه با بهره‌وری آب فیزیکی الگوی کشت موجود به‌ترتیب ۳۵/٤، ۳۵/۱ و ۲۷/۳ در صد افزایش داشته است. از آن‌جای‌که الگوی کشت بر بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب در سطح شبکه اثر قابل ملاحظه‌ای دارد، لذا بایستی تمهیداتی بر کنترل الگوی کشت انجام شود. این تمهیدات می‌تواند ترکیبی از رویکردهای آموزشی، ترویجی و یا تنظیم‌گری باشد.**

**کلید واژه‌ها:** حجم آب مصرفی، مدل‌سازی، نمودار حالت و جریان، Vensim .

## مقدمه

یکی از بحرانی‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم، رفع بحران آب خواهد بود. این بحران با کمبود آب، از بین رفتن اکوسیستم‌های طبیعی و کمبود مواد غذایی تعریف می‌شود. علی‌رغم تلاش‌های گسترده‌ای که در راستای تأمین امنیت غذایی انجام شده است، هنوز هم جوامع بشری در تامین غذای خود دچار مشکل هستند. این مشکل بیشتر به علت عدم توانایی آن‌ها در دسترسی و حفاظت از منابع آبی سالم و مطمئن می‌باشد (Kijne et al., 2003).

به علت رشد روز افزون جمعیت و افزایش تقاضای مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و مصارف شهری، منابع آبی کمتری در آینده وجود خواهد داشت. این مسئله با مشکلات محیطزیستی ناشی از مصارف منابع آبی تشدید می‌گردد. راه حل بحران آب را می‌توان چگونگی توسعه و مدیریت صحیح منابع آبی دانست. بعضی از صاحب‌نظران بر این عقیده می‌باشند که با برنامه‌ریزی صحیح مدیریت منابع آب بیش از ۵۰ در صد مصرف آب موجود صرفه‌جویی خواهد شد(Shangguan et al., 2002).

در سراسر تاریخ بشر دسترسی مطمئن به آب، یک شرط اولیه و اساسی برای توسعه اجتماعی، اقتصادی و پایداری فرهنگ و تمدن بوده است. به گفته آب شناسان، آب دیگر یک کالای فراوان و فاقد ارزش اقتصادی نیست، بلکه یک کالای بدون جایگزین و با ارزش اقتصادی زیاد در همه زمینه های مصرف می باشد (Sadeghi, 2006). در واقع ما باید بهره‌وری منابع آبی موجود را افزایش داده و غذای بیشتری با آب کمتر تولید کنیم و جوابگوی نیاز به آب و غذای بشر باشیم.

ایران جز کشورهایی است که در مرز کمبود فیزیکی آب طبقه‌بندیمی‌شوند و انتظار می‌رود با همین روند تا سال ۲۰۲۵ به فهرست کشورهایی که با کمیابی آب (کمبود فیزیکی) مواجه‌اند قرار گیرد (Chitsaz, 2006). به این معنی که کشور در آستانه وارد شدن به مرحله‌ای است که حتی با سرمایه‌گذاری فنی و اقتصادی در استحصال آب نیز مشکل کمبود آب آن حل نخواهد گردید.

کمبود آب فیزیکی در مقابل کمبود آب اقتصادی تعریف و تبیین می‌شود که حالتی است که به علت نبود سرمایه‌گذاری در آب و یا ناتوانی انسان در برآوردن تقاضای آن، ایجاد می‌شود (Yousefi, 2015). باید توجه دا شت که سرانه آب در ایران به علت اقلیم خ شک و نیمه‌خ شک آن، یک چهارم سرانه آب جهانی ا ست و این م سئله بحرانی بزرگ را در آینده به وجود خواهد آورد. این بحران به‌ویژه به علت نرخ بالای رشد جمعیت در کشور تشدید نیز خواهد شد. به نقل از گزارش وضعیت جمعیت کشورهای مختلف جهان، ایران جز کشورهای با رشد جمعیت بسیار بالاست و تا سال ۲۰۸۰، جمعیت کشور نسبت به سال ۲۰۰۰ حدود دو تا ۲/۹۹ برابر خواهد شد (Anonymous, 2010). این مسئله خاطر نشان می‌سازد که کشاورزی باید بتواند غذای این جمعیت زیاد را با همین منابع آب محدود تولید کند. این ضرورت چاره‌ای جز ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی نخواهد داشت.

بهره‌وری آب یکی از شاخص‌های م صرف منابع آب می‌با شد، که نشان می‌دهد به ازای هر واحد ناخالص داخلی چه مقدار آب مصرف شده است. مقدار این شاخص به تبعیت از شرایط و ساختار اقتصادی کشورها متفاوت است. مقدار این شاخص در کشورهای با درآمد بالا ۲۸/۲ و در کشورهای با درآمد پایین تا ۰/۸ درصد در نوسان است.

ضرورت ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی علاوه بر ا همیت تأ مین غذای مورد نیاز ج معیت رو به رشد، از منظری دیگر نیز قا بل ب حث است. بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی در کشاورزی مصرف می‌شود (Mohammad Jani and Yazdanian, 2014) و این به دلیل اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور است که در بسیاری مناطق تولید بدون آبیاری را غیرممکن و غیراقتصادی ساخته است. از این رو با ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، با اختصاص آب صرفه‌جویی شده در این بخش، می‌توان نیاز سایر بخش‌های مصرف‌کننده آب در کشور، نظیر شرب و صنعت، را به راحتی برآورده ساخت. ایران در بین کشورهایی است که بیش از ۷۵ درصد تولید کشاورزی متکی به اراضی آبی (نیازمند آبیاری) است و بهبود مدیریت آبیاری از مهمترین عوامل موثر بر ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی در کشور است.

برای ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، راه کارهای فنی و مدیریتی مختلفی نظیر ارتقا و بهسازی سامانه‌های آبیاری، روی‌آوری به سامانه‌های آبیاری نوین، کم‌آبیاری، بهینه‌سازی الگوی ک شت، ارتقای راندمان انتقال شبکه‌های آبیاری و غیره باید اتخاذ شود. برنامه‌های توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی از سال‌ها قبل آغاز شده است و هم‌چنان ادامه دارد و سطح زیر پوشش این شبکه‌ها در کشور رو به افزایش است. ارتقای بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌تواند از فشار وارده به منابع آبی محدود کشور کا سته و موجب افزایش درآمد کشاورزان، تأمین امنیت غذایی و افزایش سطح رفاه جامعه گردد.

روش پویایی سیستم‌ها یک تکنیک مدل سازی و شبیه سازی است و مخصوصا برای مسائل مدیریتی طولانی‌مدت، مزمن، و پویا طراحی می‌شود. این روش بر درک چگونگی اندرکنش فرایندهای فیزیکی، جریان اطلاعات و سیاست‌های مدیریتی تمرکز می‌کند که به چه نحو، این عوامل پویایی متغیرهای مورد نظر را ایجاد می‌کنند. مجموعه روابط میان این ترکیبات بیان‌کننده ساختار سیستم می‌باشد (Vlachos et al., 2007).

در مطالعه‌های مختلفی در بخش منابع آب از رویکرد پویایی سیستم‌ها استفاده شده است. Fletcher (1998) از روش پویایی سیستم‌ها به‌عنوان روش تصمیم‌گیری در مدیریت کم‌آبیاری استفاده . Saysel et al. (2002) با استفاده از روش پویایی سیستم، الگوی ک شت، میزان مح صول و آلودگی ک شاورزی را در منطقه‌ای در جنوب ترکیه شبیه‌سازی کردند. Turner et al. (2016) برای مدل سازی سیستم‌های آبیاری از روش پویایی سیستم‌ها بهره برده‌اند. Salvitabar et al. (2006) مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران را مورد ا ستفاده قرار دادند. Molavi et al. (2016) سیا ست‌های الگوی ک شت و مدیریت کم‌آبیاری در حوضه‌ی آبریز ارس را با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم مورد ارز یابی قرار داده‌ا ند. Hosseini و Bagheri (2013) از مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار بهره برده‌اند. Rahimi khob et al. (2015) در تحقیقی به ارزیابی یک‌پارچه آثار تغییر اقلیم بر سامانه‌های منابع آب و کشاورزی دشت هشتگرد با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها پرداختند. Mehrazar et al. (2016) با رویکرد پویایی سیستم‌ها به مدل سازی یکپارچه‌ی سیستم‌های منابع آب، کشاورزی و اقتصادی – اجتماعی دشت هشگرد پرداختند. Pishbahar و Rahimi (2016) با استفاده از الگوی پویایی سیستم تأثیر سناریوهای اقلیمی و مدیریتی بر بخش کشاورزی و تخلیه منابع آبی در ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. Arshadi و Bagher (2014) به تحلیل سیستم منابع آب حوضه کارون از منظر پایداری با رویکرد پویایی سیستم‌ها پرداختند. Soltani و Alizadeh (2017) در تحقیقی از پویایی سیستم‌ها در مدیریت جامع آب ک شاورزی در مقیاس حو ضه آبریز بهره بردند. Alizadeh et al (2014) به ارزیابی سناریوهای تو سعه سیستم‌های آبیاری تحت ف شار بر منابع آب زیرزمینی با ا ستفاده از مدل سازی پویایی سیستم در د شت ورامین پرداختند. Misaghi et al (2016) بررسی تاثیر توسعه سیستم‌های نوین آبیاری بر تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش پویایی سیستم را در حو ضه آبریز نی شابور انجام دادند. Molavi et al. (2017) ارزیابی سیا ست‌های تو سعه و بهبود سامانه‌های آبیاری تحت‌ف شار و سطحی با ا ستفاده از مدل سازی پویایی سیستم در حوضه آبریز ارس را مورد بررسی قرار دادند. Nozari et al. (2019) به شبیه‌سازی اثر تنش آبی و شوری بر عملکرد محصول چغ ندرق ند با است فاده از روش پو یایی سیستم پرداخت ند.

*DOI:* 10.22055/JISE.2020.28076.1819

Kadkhodahosseini et al. (2019) تأثیر انتقال آب در تخصیص منابع آب سد چغاخور با استفاده از رویکرد پویایی سیستم را مورد بررسی قرار دادند.

در این پژوهش با عنایت به پیچیدگی‌هایی که در روابط بین عوامل موثر بر بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری وجود دارد، از روش پویایی سیستم‌ها که روشی مناسب برای مطالعه سیستم‌های آبی است، جهت مدل سازی شبکه آبیاری قزوین به عنوان یکی از مهمترین شبکه‌های آبیاری کشور، استفاده شده است که در منطقه و در سطح ملی اهمیت اقتصادی و اجتماعی زیادی دارد. با توجه به اهمیت روزافزون ارتقای بهره‌وری آب، مطالعه راه‌کارهای ارتقای بهره‌وری آب در این شبکه مدنظر این طرح تحقیقاتی قرار گرفته است و امکان ارزیابی گزینه های مختلف فنی و مدیریتی بر بهره‌وری آب در سطح شبکه آبیاری را فراهم می‌سازد.

## مواد و روش‌ها

اقلیم استان قزوین نیمه‌خشک و متوسط بارش سالانه آن حدود ۳۱۷ میلی‌متر بوده است. میزان مصرف سالانه منابع آب استان ۲۶۰۹ میلیون مترمکعب است که از این مقدار ۶۱۷ میلیون مترمکعب (۲۴ درصد) سهم منابع آب سطحی و ۱۹۹۲ میلیون مترمکعب (۷۶ درصد) سهم منابع زیرزمینی است . در شرایط فعلی از مجموع منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی استحصال‌شده در استان قزوین، ۹۱، پنج و چهار درصد به‌ترتیب در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت و خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد (Nazari et al, 2019). شبکه آبیاری دشت قزوین با وسعتی معادل ۸۰۰۰۰ هکتار ناخالص، به صورت نواری است به طول ۹۴ کیلومتر که از محدوده زیاران شروع شده و به اراضی کهک تاکستان منتهی می‌شود. عرض متوسط این نوار حدود ۸/۷ کیلومتر می‌باشد. این شبکه به‌طور عمده اراضی شهرهای قزوین، آبیک و هم‌چنین بخشی از اراضی شهرستان های تاکستان و بویین‌زهرا را در بر می‌گیرد. اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری قزوین ۶۰۰۰۰ هکتار است که حدود ۷۲ درصد آن را اراضی درجه یک و دو تشکیل می‌دهد. آب این شبکه در حال حاضر از سد مخزنی طالقان و چاه‌های تلفیقی تأمین می‌شود (شکل ۱). طبق طرح با تکمیل سد مخزنی طالقان سهمیه آب تنظیمی استان از سد طالقان شامل شرب، کشاورزی، تغذیه مصنوعی و محیط‌زیست ۲۹۸ میلیون مترمکعب می‌باشد (Orojloo et al., 2018).

برای مدل سازی از محیط برنامه نویسی ونسیم (Vensim) که ابزاری برای مدل‌سازی به زبان پویایی سیستم و به صورت شی‌گرا بر پایه بازخورد می‌باشد، استفاده شده است (این محیط در ایران کاربرد بیشتری داشته است و در نظام‌نامه تخصیص وزارت نیرو نیز استفاده از آن توصیه شده است). این ابزار مدل سازی، امکان ایجاد مدل‌های پیچیده را با سهولت بیشتری نسبت به زبان‌های برنامه نویسی مرسوم به‌وجود می‌آورد. لذا پس از فرموله کردن فرضیه دینامیکی و شناسایی ارتباط بین متغیرهای کلیدی و روابط بین آن‌ها، متغیرهای درونی و برونی سیستم و ارتباط بین آن‌ها تعیین می‌شود تا بتوان ورودی‌های به سیستم و خروجی‌های از آن را محاسبه نمود.

نمودارهای علت و معلولی در مدل نحوه تاثیر علت بر معلول را نمایش می‌دهند و ابزاری مناسب برای ترسیم ساختار بازخوردی سیستم‌ها می‌باشند.

ترسیم نمودار حالت و جریان الهام‌گرفته از نمودارهای علت و معلولی است و از گام‌های اساسی در توسعه مدل شبیه سازی در تحلیل پویایی سیستم می‌باشد. در واقع حالت‌ها انباشتگی‌های سیستم می‌باشند و نشان‌دهنده وضعیت سیستم بوده و تصمیمات و فعالیت‌های سیستم بر پایه آن‌ها صورت می‌گیرد. جریان‌ها نیز نرخ‌های تغییر را نشان می‌دهند، یعنی نشان‌دهنده فرایندهایی هستند که متغیر حالت را پر یا خالی می‌کنند. می‌توان گفت در یک سیستم، بر اساس متغیر، حالت تصمیم‌ها اتخاذ شده و با تغییر متغیرهای جریان آن تصمیمات اعمال می شود. شکل (۲) نمودار حالت و جریان مدل بهره‌وری آب شبکه دشت قزوین را نشان می‌دهد. مدل نهایی بهره‌وری آب شبکه قزوین دارای چهار زیرسیستم اقتصادی، مزرعه، الگوی کشت و منابع آب است که این چهار بخش بر یک‌دیگر اثرات متقابل داشته و بر روی بهره‌وری آب در سطح مزرعه و شبکه اثر دارند. زیر سیستم اقتصادی شامل هزینه آب، هزینه پمپاژ آبیاری، هزینه آب آبیاری، هزینه های سیستم آبیاری، سایر هزینه‌های زراعی، هزینه محصول، قیمت محصول، منفعت محصول و سود خالص محصول است. زیر سیستم مزرعه شامل تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه، تبخیر و تعرق واقعی گیاه، ضریب تنش خشکی، بارندگی موثر، نیاز خالص آبیاری، ضریب کم‌آبیاری، راندمان آبیاری، عمق آبیاری کاربردی در هر دوره، کل آب آبیاری در طی فصل رشد، مقدار آب در دسترس در خاک، عملکرد محصول بود. زیر سیستم الگوی کشت شامل دوره رشد گیاه و سطح کشت گیاه است. زیر سیستم منابع آب شامل آب اختصاص‌یافته از سد مخزنی به کشاورزی، موجودی آبخوان، بارش موثر به آب زیرزمینی، تخلیه آب زیرزمینی با کشاورزی در محدوده شبکه، آب برگشتی آبیاری در محدوده شبکه، سایر جریان‌های ورودی به آخوان، سایر جریان خروجی از آبخوان است

برای اعتبارسنجی مدل، آزمون‌های ارزیابی ساختار (صحت مدل و سازگاری و مطابقت آن با مکانیزم‌های طراحی‌شده برای سیستم واقعی جهت دست‌یابی به اهداف مربوطه در تحقیق)، آزمون صحت ابعادی (هم‌خوانی واحدهای اندازه‌گیری برای متغیرهای مدل) در محیط نرم افزار انجام شد. آزمون رفتار مدل (میزان تطبیق داده‌های شبیه‌سازی مدل با داده‌های تاریخی) نیز در مورد دو متغیر کلیدی عملکرد محصول و تراز آبخوان انجام شد. خطای شبیه‌سازی عملکرد محصول، هفت درصد بوده است. هم‌چنین خطای شبیه‌سازی تراز آبخوان ۱۳ درصد و ضریب تعیین ۹۵/۶ درصد بود. طبق نتایج و توصیه‌های پژوهشگران، این محدوده خطا برای شبیه‌سازی متغیرهای مذکور قابل پذیرش می‌باشد ( Alizadeh

et al., 2014). آزمون شرایط حدی (توانایی مدل در کارا بودن تحت شرایط حدی) نیز در سه حالت الف) موجودی مخزن آب زیرزمینی در شرایط عدم تغذیه، ب) هزینه آب آبیاری در شرایط افزایش ناگهانی تعرفه انرژی و ج) بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط افزایش ناگهانی تعرفه انرژی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از عملکرد منطقی مدل در شرایط حدی بود.

به‌دلیل تأثیر شـــرایط موجود و برای این‌که اعمال راه‌کارها در طولانی‌مدت و نیز طی سال‌های آتی در سیستم مورد نظر مشخص شـــود، مدل برای ســـال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰ اجرا شـــد. در طول سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰ می‌باید مدل مبتنی بر سناریوهای موجود در منطقه به تحلیل آثار ناشـــی از اعمال راه‌کارها و ســـیاســـت‌های مختلف و استخراج نتایج حاصل از شبیه‌سازی آن‌ها برای سیستم مورد نظر بپردازد. راه‌کارها برپایه پارامترهای برون‌زای مدل تبیین می‌گردند. پارامترهای برون‌زا قابلیت تغییر توســـط تصـــمیم‌گیر و یا سیاست‌گذار در منطقه را دارند. اطلاعات بیشتر در خصوص تحلیل سیاست‌ها در منابع Sterman (1994) و (2000) قابل دسترس می‌باشد.

بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری به‌صـــورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$WP_{I+P} = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{I(m^3\,ha^{-1})} \qquad (۱)$$

که در آن $WP_{I+P}$، I، Y به‌ترتیب بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری، مقدار آبیاری و عملکرد محصـــول در طول فصـــل زراعی است.

بهره‌وری اقتصـــادی آب آبیاری به‌صـــورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$WP_E = \frac{Y(\$kg^{-1} \times kg\,ha^{-1})}{I(m^3\,ha^{-1})} \qquad (۲)$$

که در آن $WP_E$ و $ به‌ترتیب بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و ارزش ریالی فروش محصول است. اگر در صورت کسر هزینه‌های تولید در نظر گرفته شـود، سـود خالص به ازای واحد آب مصـرفی به‌دست می‌آید.

راه‌کارها و سناریوهای بررسی شده در مدل عبارتند از «توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار»، «سناریوهای الگوی کشت» و «اعمال کم‌آبیاری»، اعمال راه‌کارها و ســـیاســـت‌ها به کمک پارامترهای برون‌زای مرتبط با آن‌ها در مدل صورت گرفته و اثرات خود را بر مدل وارد می‌نمایند. جدول (۱) و توضیحات آن به معرفی پارامترهای برون‌زای قابل تغییر و ســـطوح اعمال‌شـــده برای متغیر مربوطه جهت سیاست‌گذاری می‌پردازد.

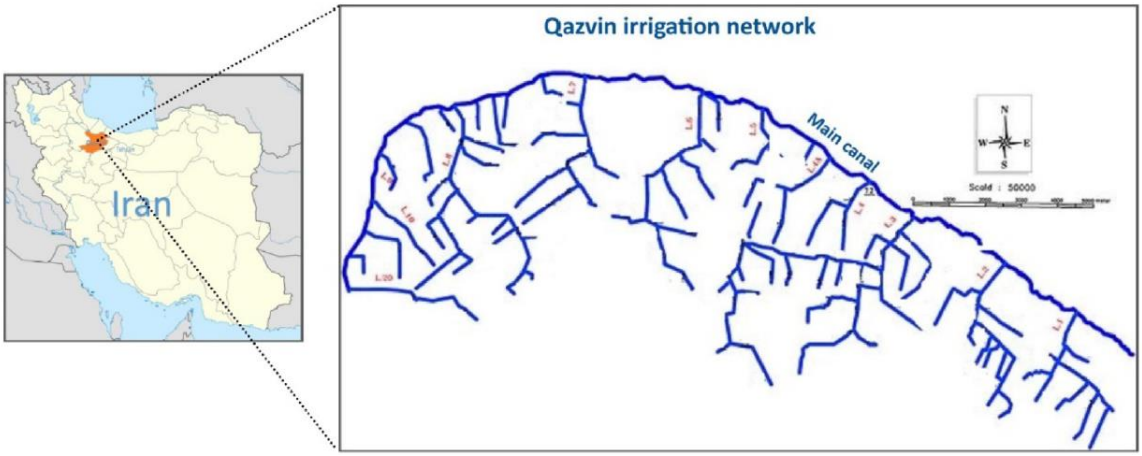



**Fig. 1- Geographical location of Qazvin plain irrigation network (Orojloo et al. 2018)**

**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شبکه آبیاری دشت قزوین**

*DOI:* 10.22055/JISE.2020.28076.1819

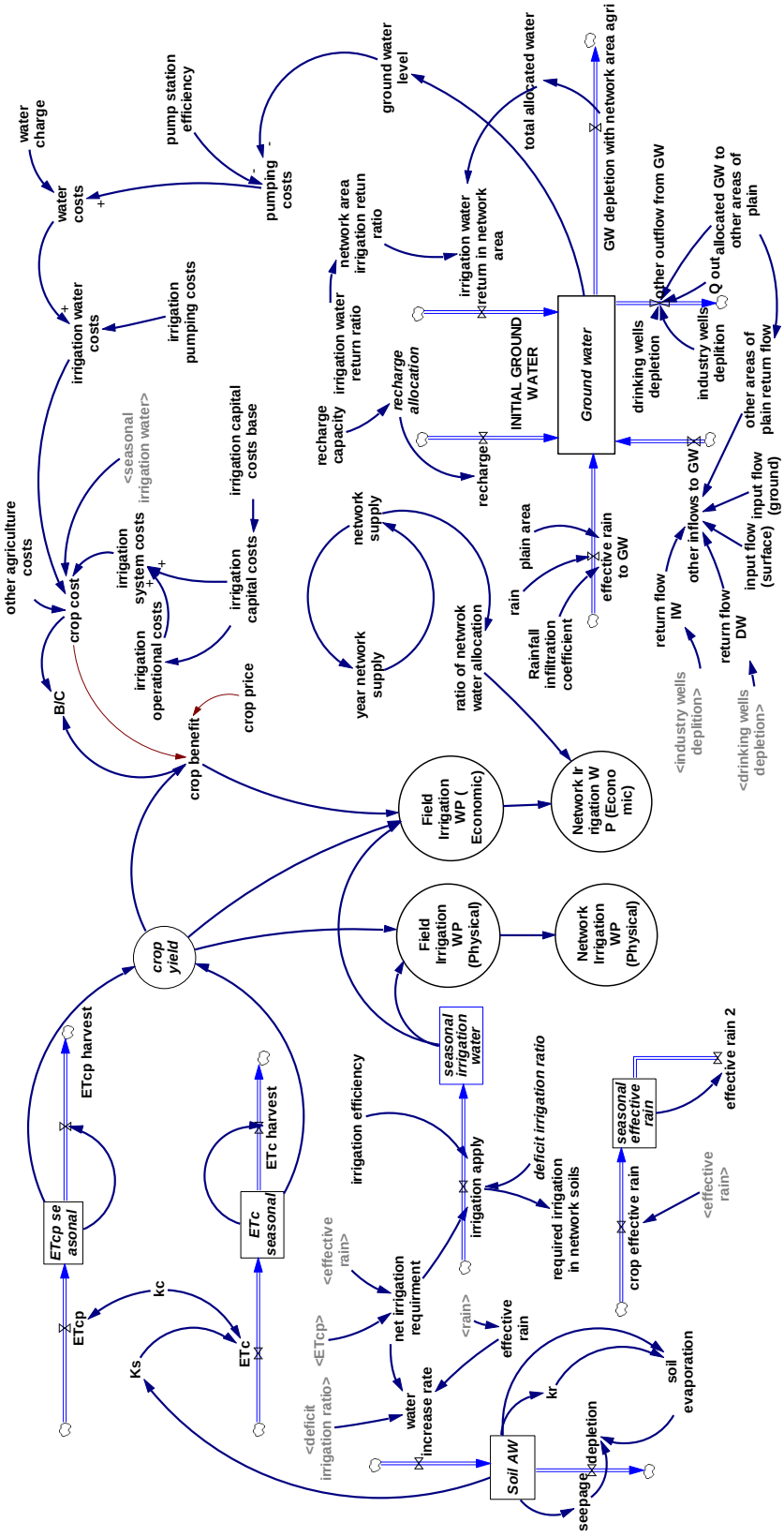



**Fig. 2- Stoke and flow diagram**

**شکل ۲- نمودار حالت و جریان مدل پویا**

**جدول ۱- راه‌کارها، سطوح اعمالی و علامت‌های اختصاری آن‌ها**

**Table 1- Solutions, levels and mark acronyms**

| Row | Solutions | Extraneous parameter | Plans and scenarios | Abbreviations for scenarios* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Apply deficit irrigation | deficit irrigation ratio | Full Irrigation | FI |
| | | | Deficit Irrigation 20% | DI 20% |
| | | | Deficit Irrigation 40% | DI 40% |
| | | | Deficit Irrigation 60% | DI 60% |
| 2 | Modern Irrigation System Development | irrigation system ratio in network | Ratio Modern Irrigation System Development 15 % | MISD 15% |
| | | | Ratio Modern Irrigation System Development 25 % | MISD 25% |
| | | | Ratio Modern Irrigation System Development 35 % | MISD 35% |
| | | | Ratio Modern Irrigation System Development 45 % | MISD 45% |
| 3 | crop pattern scenario | crop pattern | Common crop pattern | CPS 1 |
| | | | Common cropping pattern without fallow | CPS 2 |
| | | | Assign fallow to strategic products (Wheat, corn, and forage) | CPS 3 |
| | | | Assign fallow to valuable products (rapeseed, tomatoes) | CPS 4 |
| | | | Assign fallow to products with less water consumption (wheat, barley, peas, lentils, rapeseed) | CPS 5 |
| | | | Assigning the levels water high consumption products to the minimum and assigning reduced levels to other products (wheat, barley, chickpea, lentils, rapeseed) | CPS 6 |
| | | | Assigning levels for products with lower physical water productivity to products with higher physical water productivity (sugar beet, beans, potatoes, tomatoes, corn and | CPS 7 |
| | | | Assigning levels for products with lower economic water productivity products with higher economic water productivity (rapeseed and tomatoes) | CPS 8 |

* FI: Full Irrigation, DI: Deficit Irrigation, MISD: Modern Irrigation System Development, CPS: Crop Pattern Scenario.

## نتایج و بحث

شکل (۳) بهره‌وری آب فیزیکی شبکه در سناریوهای الگوی کشت را نشان می‌دهد. سناریوهای الگوی کشت شماره چهار، هفت و هشت (CPS 4، CPS 7 و CPS 8) به‌ترتیب بیشترین بهره‌وری فیزیکی را داشته‌اند. بهره‌وری آب فیزیکی در سناریوهای الگوی کشت شماره چهار، هفت و هشت به‌ترتیب ۱/۱۸، ۱/۱۷ و ۱/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. جهت بررسی اثر سناریوهای کم‌آبیاری و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار، سناریوهای ترکیبی (ترکیب سناریوهای کم‌آبیاری و توسعه آبیاری تحت فشار) در شکل (۴) ارایه شده است. جهت جلوگیری از شلوغ شدن تنها دو سناریو چهار و یک ارایه شده است. در تمامی سناریوهای ترکیبی تفاوت قابل توجه بهره‌وری فیزیکی در الگوی کشت رایج (CPS 1) با سناریوی الگوی کشت شماره چهار که اختصاص آیش به محصولات با ارزش (کلزا، گوجه فرنگی)، وجود دارد.

*DOI:* 10.22055/JISE.2020.28076.1819

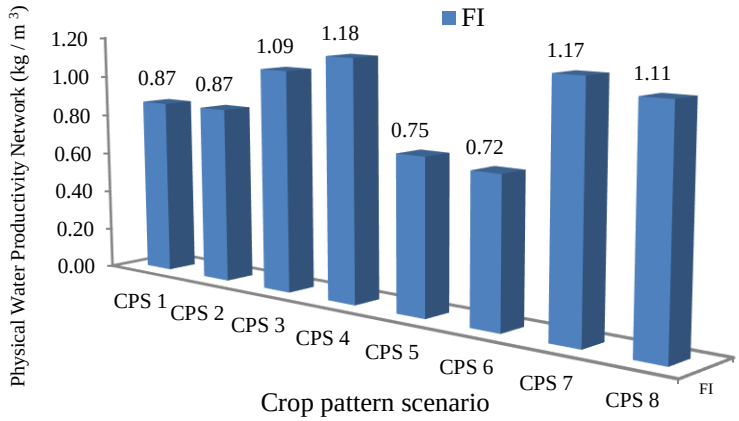



**Fig. 3- Physical network water efficiency in different scenarios of cultivation pattern in full irrigation mode**

**شکل ۳- بهره‌وری آب فیزیکی شبکه در سناریوهای مختلف الگوی کشت در حالت آبیاری کامل**

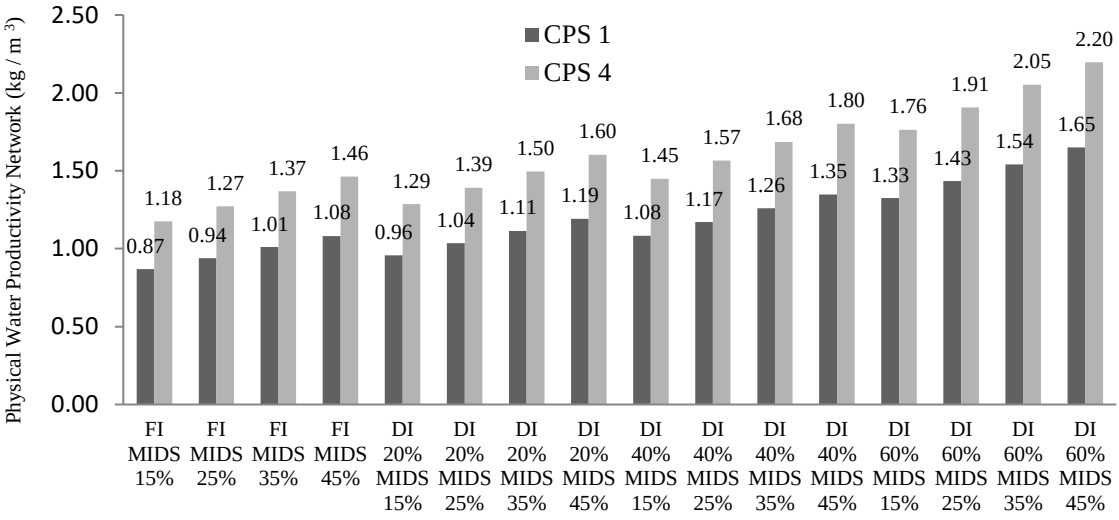



**Fig. 4- Physical water productivity network deficit irrigation scenarios development of irrigation systems**

**شکل ٤- بهره‌وری آب فیزیکی شبکه در سناریوهای ترکیبی کم‌آبیاری و توسعه سامانه‌های آبیاری**

شکل (۵) بهره‌وری آب اقتصادی شبکه را در سناریوهای الگوی کشت در حالت آبیاری کامل را نشان می‌دهد. همچنان‌که مشهود است سناریو الگوی کشت شماره هشت، چهار و یک (CPS 8، CPS 4 و CPS 1) به‌ترتیب بیشترین بهره‌وری اقتصادی را دا شته‌اند. بهره‌وری آب اقتصادی در سناریوهای الگوی کشت شماره هشت، چهار و یک به‌ترتیب ۳۵۱۸، ۲۹۱۶ و ۲۳۳۰ ریال بر مترمکعب بوده است. سناریو شماره یک که همان الگوی کشت رایج است نیز در رتبه سوم بهره‌وری اقتصادی قرار گرفته و نشان از این دارد که کشاورزان به‌طور طبیعی به سمت محصولات با بهره‌وری اقتصادی بالاتر گرایش داشته‌اند.

برای بررسی اثر سناریوهای کم‌آبیاری و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار، سناریوهای ترکیبی (ترکیب سناریوهای کم‌آبیاری و توسعه آبیاری تحت فشار) در شکل (۶) ارایه شده است. به منظور جلوگیری از شلوغ شدن تنها دو سناریو هشت و یک ارایه شده است. در تمامی سناریوهای ترکیبی تفاوت قابل‌توجه بهره‌وری اقتصادی در الگوی کشت رایج (CPS 1) با سناریوی الگوی کشت شماره هشت (اختصاص سطح بیشتر به محصولات با بهره‌وری اقتصادی بالاتر است) وجود دارد و نشان از پتانسیل خوب موجود در شبکه در ارتقای بهره‌وری اقتصادی آب دارد

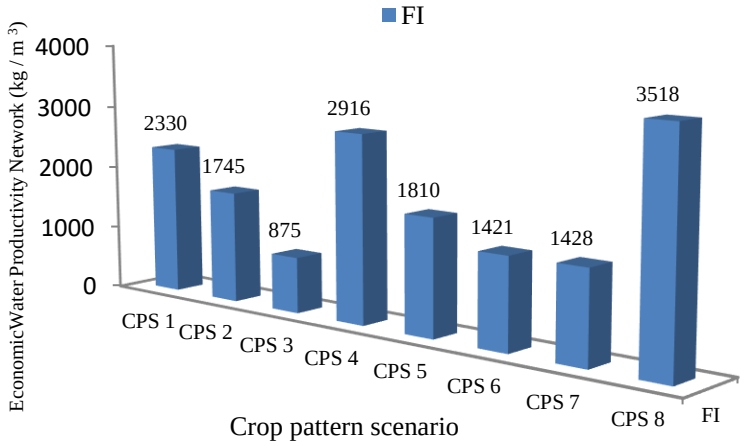



**Fig.5- Economic water productivity of network in scenarios of crop pattern**

**شکل ۵- بهره‌وری آب اقتصادی شبکه در سناریوهای الگوی کشت**

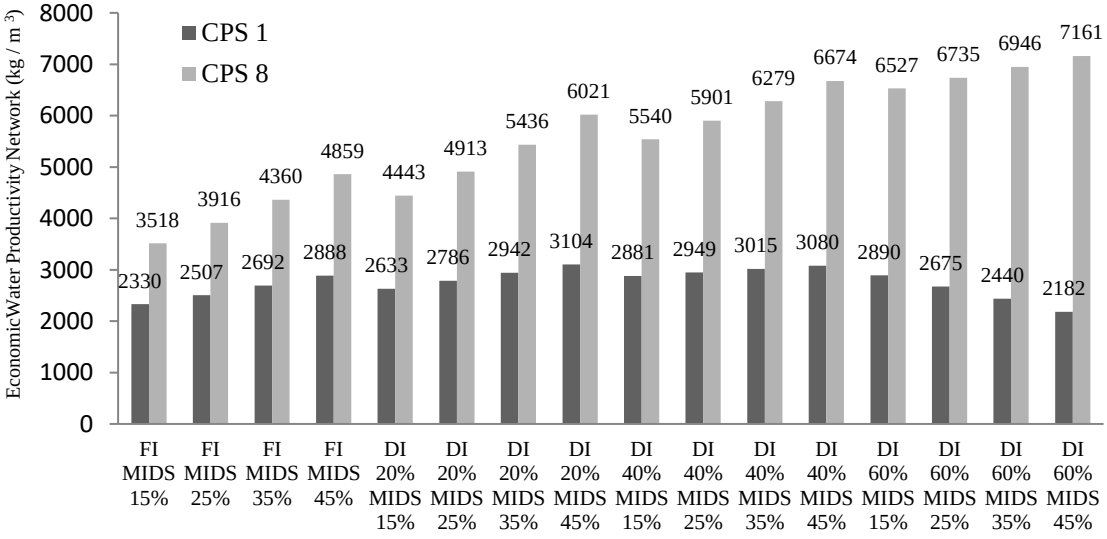



**Fig.6- Economic water productivity network deficit irrigation scenarios development of Modern irrigation systems**

**شکل ٦- بهره‌وری آب اقتصادی شبکه در سناریوهای ترکیبی کم‌آبیاری و توسعه آبیاری نوین**

در سناریوی الگوی کشت شماره هشت با افزایش سطح توسعه آبیاری تحت فشار از ۱۵ درصد (وضعیت فعلی) به ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد سطح شبکه، بهره‌وری اقتصادی شبکه افزایش می‌یابد اما این افزایش بهره‌وری با افزایش شدت کم‌آبیاری شیب کمتری دارد. به بیانی دیگر، هر چه کم‌آبیاری شدیدتر شود، به علت کاهش عملکرد گیاه، توسعه سیستم آبیاری تحت فشار توجیه اقتصادی کمتری دارد (شکل ۷). این مسئله در مورد الگوی کشت رایج (CPS 1) نیز ملاحظه می شود (شکل ۸). جدول (۲) آب مورد نیاز هر هکتار از الگوی کشت در تیمارهای مختلف کم‌آبیاری، توسعه آبیاری تحت فشار و الگوی کشت را به‌صورت سالانه نشان می‌دهد. با افزایش نسبت سامانه‌های آبیاری و کم‌آبیاری در سطح شبکه در هریک از سناریوهای الگوی کشت، حجم آب مورد نیاز (مترمکعب در سال) کاهش یافته است. بیشترین و کمترین حجم آب مورد نیاز سالانه شبکه آبیاری در سناریوهای ترکیبی مختلف به‌ترتیب مربوط به تیمارهای CPS 3 FI MIDS 15% و CPS 8 DI 60% MIDS 45% به مقدار ۱۱۷۳۸ و ۲۷۶۱ مترمکعب در هکتار بوده است.

*DOI:* 10.22055/JISE.2020.28076.1819

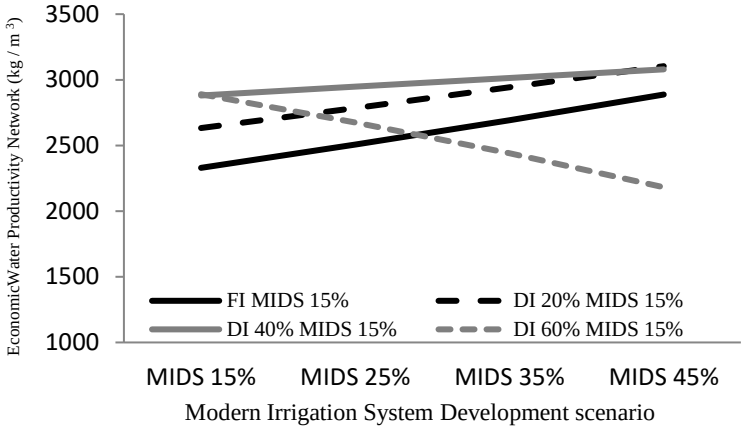



**Fig.7- Changes in economic water productivity in under deficit irrigation scenarios and development of irrigation systems in crop pattern 8**

**شکل ۷- تغییرات بهره‌وری آب اقتصادی در سناریوهای کم‌آبیاری و توسعه آبیاری تحت فشار در الگوی کشت شماره ۸**

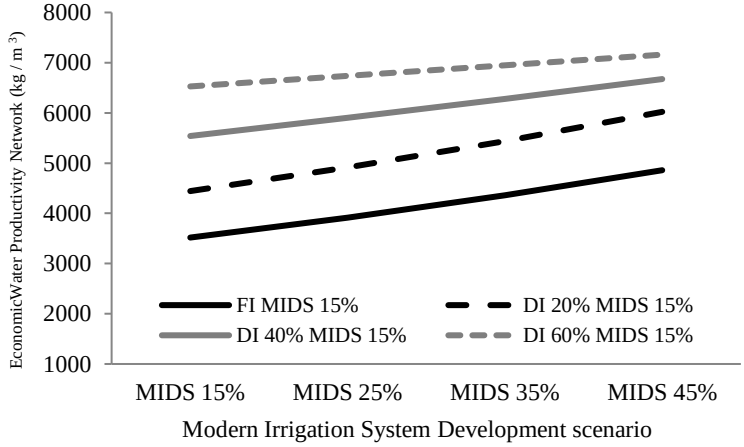



**Fig. 8- Changes in economic water productivity in under deficit irrigation scenarios and development of irrigation systems in crop pattern 1**

**شکل ۸- تغییرات بهره‌وری آب اقتصادی در سناریوهای کم‌آبیاری و توسعه آبیاری تحت فشار در الگوی کشت شماره ۱**

**جدول ۲- آب مورد نیاز هر هکتار از الگوی کشت در تیمارهای مختلف (متر مکعب در سال)**

**Table 2- Required water per hectare of crop pattern in different treatments (cubic meters per year)**

| | Crop pattern scenario | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Compact scenarios deficit irrigation and pressurized irrigation System Development | | CPS 1 | CPS 2 | CPS 3 | CPS 4 | CPS 5 | CPS 6 | CPS 7 | CPS 8 |
| | FI MIDS 15% | 8065 | 10992 | 11738 | 11001 | 10442 | 7945 | 8962 | 8178 |
| | FI MIDS 25% | 7646 | 10420 | 11127 | 10428 | 9898 | 7532 | 8496 | 7752 |
| | FI MIDS 35% | 7226 | 9848 | 10516 | 9856 | 9355 | 7119 | 8030 | 7327 |
| | FI MIDS 45% | 6807 | 9277 | 9906 | 9284 | 8812 | 6705 | 7564 | 6901 |
| | DI 20% MIDS 15% | 6452 | 8794 | 9390 | 8800 | 8353 | 6356 | 7170 | 6542 |
| | DI 20% MIDS 25% | 6117 | 8336 | 8902 | 8343 | 7919 | 6026 | 6797 | 6202 |
| | DI 20% MIDS 35% | 5781 | 7879 | 8413 | 7885 | 7484 | 5695 | 6424 | 5861 |
| | DI 20% MIDS 45% | 5445 | 7421 | 7925 | 7427 | 7050 | 5364 | 6051 | 5521 |
| | DI 40% MIDS 15% | 4839 | 6595 | 7043 | 6600 | 6265 | 4767 | 5377 | 4907 |
| | DI 40% MIDS 25% | 4588 | 6252 | 6676 | 6257 | 5939 | 4519 | 5098 | 4651 |
| | DI 40% MIDS 35% | 4336 | 5909 | 6310 | 5914 | 5613 | 4271 | 4818 | 4396 |
| | DI 40% MIDS 45% | 4084 | 5566 | 5944 | 5570 | 5287 | 4023 | 4538 | 4141 |
| | DI 60% MIDS 15% | 3226 | 4397 | 4695 | 4400 | 4177 | 3178 | 3585 | 3271 |
| | DI 60% MIDS 25% | 3058 | 4168 | 4451 | 4171 | 3959 | 3013 | 3398 | 3101 |
| | DI 60% MIDS 35% | 2891 | 3939 | 4207 | 3942 | 3742 | 2847 | 3212 | 2931 |
| | DI 60% MIDS 45% | 2723 | 3711 | 3962 | 3714 | 3525 | 2682 | 3025 | 2761 |

در شـــکل (۹) نیز آب مورد نیاز هر هکتار از الگوی کشـــت (سـناریوها)، در شـرایط آبیاری کامل و حال حاضـر توسـعه آبیاری تحت فشار (FI MIDS 15%) مقایسه شده‌اند. هم‌چنان‌که مشهود اسـت، سـناریو الگوی کشـت شـماره سـه (اختصـاص آیش به محصـــولات اســـتراتژیک نظیر گندم، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای) بیشـترین و سـناریوی شـماره شـش (کاهش سـطوح محصـولات پرمصرف به حداقل و اختصاص سطح کاهش یافته به گندم، جو، نخود، عدس و کلزا) کمترین آب مورد نیاز را داشـته اسـت. جهت بررسی اثر سناریوهای کم‌آبیاری و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار، سناریوهای ترکیبی (ترکیب سناریوهای کم‌آبیاری و توسعه آبیاری تحت فشار) در شکل (۱۰) ارایه شده است.

به منظور جلوگیری از شلوغ شدن تنها دو سناریو چهار و یک ارایه شده است. در تمامی سناریوهای ترکیبی تفاوت قابل‌توجه آب مورد نیاز در الگوی کشت رایج (CPS 1) با سناریوی الگوی کشت شماره چهار که اختصاص آیش به محصولات با ارزش (کلزا، گوجه فرنگی)، وجود دارد. طبیعتاً در تمامی ســـناریوهای الگوی کشـــت، توسعه آبیاری تحت فشار و کم‌آبیاری موجب کاهش آب مورد نیاز هر هکتار از الگوی کشت شده است.

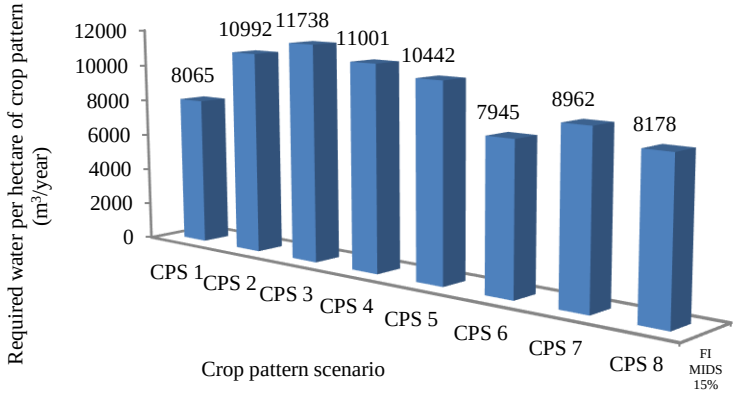



**Fig. 9- Comparison of water required per hectare from crop pattern**

**شکل ۹- مقایسه آب مورد نیاز هر هکتار از الگوی کشت**

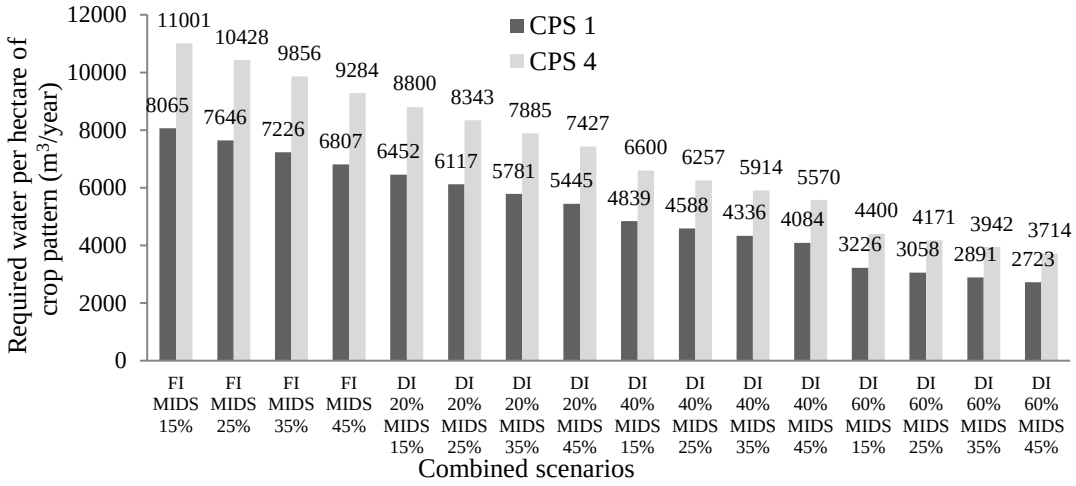



**Fig. 10- Comparison of water required hectare in combination deficit Irrigation scenarios and pressurized irrigation development**

**شکل ۱۰- مقایسه آب مورد نیاز هر هکتار در سناریوهای ترکیبی کم‌آبیاری و توسعه آبیاری تحت فشار**

*DOI:* 10.22055/JISE.2020.28076.1819

## نتیجه‌گیری

نتایج نشـان داد که به روش پویایی سـیسـتم با اجرای مدل می‌توان تأثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری، اثر توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار و الگوی کشت بر بهره‌وری آب را بررسی کرد. ارتقای سـامانه آبیاری سـطحی به بارانی از منظر ارتقای بهره‌وری آب فیزیکی در سطح مزرعه، یک راه‌کار موثر می‌باشد. اما با ارتقای سـیسـتم آبیاری از سـطحی به بارانی، روند متفاوتی در بهره‌وری اقتصـادی آب محصـولات به‌وجود آمده اسـت. ارزیابی راه‌کارهای مختلف بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب نشان داد که اثر اعمال راه‌کارهای ارتقای بهره‌وری در سطح مزرعه و شبکه لزوماً هم‌راستا نیستند. توسعه آبیاری تحت‌فشار در سطح شبکه، موجب افزایش بهره‌وری فیزیکی آب می‌شود و بسته به نوع الگوی کشت و سطح کم‌آبیاری می‌تواند موجب و یا کاهش بهره‌وری اقتصـادی شـود. بیشـترین و کمترین حجم آب مورد نیاز سـالانه شـبکه آبیاری در سـناریوهای ترکیبی مختلف به‌ترتیب مربوط به تیمارهای CPS 3 FI MIDS 15% و CPS 8 DI 60% MIDS 45% به مقدار ۱۱۷۳۸ و ۲۷۶۱ مترمکعب در هکتار بوده اسـت. بهره‌وری آب اقتصادی در سطح شبکه در سناریوهای الگوی کشت CPS 8 و CPS 4 در مقایسه با بهره‌وری آب اقتصادی الگوی کشت موجود CPS 1 به‌ترتیب ۵۱ و ۵۲/۲ درصد افزایش داشته است و بهره‌وری آب فیزیکی در سطح شبکه در سناریوهای الگوی کشت CPS 4 و CPS 7 و CPS 8 در مقایسه با بهره‌وری آب فیزیکی الگوی کشت موجود به‌ترتیب، ۳۵/۴، ۳۵/۱ و ۲۷/۳ در صد افزایش دا شته ا ست. با توجه به این موضوع که الگوی کشت بر روی بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب در سـطح شـبکه اثر قابل ملاحظه‌ای دارد بایسـتی تمهیداتی بر روی کنترل الگوی کشـت انجام شـود. این تمهیدات می‌تواند ترکیبی از رویکردهای آموزشـی، ترویجی و یا تنظیم‌گری باشد.

## تقدیر و تشکر

از شـرکت سـهامی آب منطقه‌ای قزوین و سـازمان جهاد کشـاورزی قزوین که اطلاعات مربوط به تحویل آب و تولیدات کشاورزی شبکه آبیاری را در اختیار دادند، قدردانی می‌شود.

## Refrences

1- Alizadeh, H.A., Liaghat, A.M. and Sohrabi, T., 2014. Assessing pressurized irrigation systems development scenarios on groundwater resources using system dynamics modeling. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 3(4), pp. 1-15. (In Persian).

2- Anonymous., 2010. The United Nations World Water Development, Report 3.Water in A Changing World. *Report.*

3- Arshadi, M. and Bagheri, A., 2014. A system dynamic approach to sustainability analysis in Karun river basin. *Iran-Water Resources Research*, 9(3), pp. 1-13. (In Persian).

4- Chitsaz, M., 2006. Water and International Security. *Sustainable Development Studies Research*. The first number, Tehran. (In Persian).

5- Fletcher, E.J., 1998. The use of system dynamics as a decision support tool for the management of surface water resources. In *First International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering Montreal, CER, Canada*.

6- Hosseini, S.A. and Bagheri, A., 2013. System dynamics modeling of the water resources system in Mashhad plain to analyze strategies for sustainable development. *Journal of Water and Wastewater*. 24 (4). pp. 28-39 (In Persian).

7- Kadkhodahosseini, M., Shamohammdi, SH., Nozari, H. and Mirabbasi Najafabadi, R., 2019. Inveestigating the impacets of water transfer to Choghakhor dam on resource allocation using system dynamics approach. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 9(2), pp. 65-79. (In Persian).

8- Kijne, J.W., Barker, R. and Molden, D., 2003. Improving water productivity in agriculture: editors' overview. *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*, pp.xi-xix.

9- Mehrazar, A., Masahbovani, A.R., Mashal, M. and Rahimi khob, H., 2016. Integrated modeling of water, agriculture, and economic-social water resources systems of Hashtgerd plain with dynamic system approach. *Journal of Water and Irrigation Management*, 6(2), pp. 263-279. (In Persian).

10- Mohammad j, I. and Yazdanian, N., 2014. The analysis of water crisis conjecture in Iran and the exigent measures for its management. *Trend of Economic Research*, 21(65-66), pp. 117-144. (In Persian).

11- Misaghi, A., Ansari, H. and khashei Siuki, A., 2016. The effect of the development of new irrigation systems to watertable changes using system dynamics (Case study: Neyshabour basin), *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 11(2), pp. 141-150. (In Persian).

12- Molavi, H. Liaghat, A.M. and Nazari, B., 2017. Assessment of development and improvement policies of pressurized and surface irrigation systems using system dynamics: Case study Aras Basin. *Journal of irrigation and Water Engineering*, 7(3), pp. 75-92. (In Persian).

13- Molavi, H., Liaghat, A.L. and Nazari, B., 2016 Assessment of policies of changes in cropping pattern and deficit irrigation management using system dynamics modeling (Case study: Aras basin). *Journal of Water and Irrigation Management*. 6(2), pp. 217-236. (In Persian).

14- Nazari, B., Fazeli Sangani, M. and Jenab, M., 2019. Analysis of gross value of irrigated agricultural products in Qazvin province based on GVIAP index. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 8(3), pp. 11-25. (In Persian).

15- Nozari, H., Azadi, S. and Rezaverdinejad, V., 2019. Simulation of the effect of salinity and water stress on sugar beet using the system dynamics approach. *Journal of Hydrology and Soil Science*, 23(1), pp 337-350. (In Persian).

16- Orojloo, M., Hashemy Shahdany, S.M. and Roozbahani, A., 2018. Developing an integrated risk management framework for agricultural water conveyance and distribution systems within fuzzy decision making approaches, *Science of The Total Environment*, 627, pp. 1363-1376.

17- Pishbahar, A. and Rahimi, j., 2016. The impact of climate and management scenarios on agriculture and water discharge in Iran: Application of system dynamics model. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 31(1), pp. 94-73. (In Persian).

18- Rahimi Khob, H., Sotoudehnia, A., Masahbovani, A.R. and Gohari, A.R., 2015. Evaluation of a series of effects of climate change on Hashtgerd plain water resources and agriculture systems using the dynamics of systems approach. *Iranian Journal of Soil and Water Research.* 46(2). pp. 183-193. (In Persian).

19- Sadeghi, Sh., 2006. Hydraulic and water crisis. *Political and Economic Ettela'at.*, 45, pp. 115-116. (In Persian).

20- Salvitabar, A., Zarghami, M. and Abrishamchi, A., 2006. System dynamic model in Tehran urban water management. *Journal of Water and Sewage*, 59, pp. 12-28. (In Persian).

21- Saysel, AK., Barlas, Y. and Yenigün O., 2002. Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach. *Journal of Environmental Management, 64: 247–260.*

22- Shangguan, Z., Shao, M., Horton, R., Lei, T., Qin, L. and Ma, J., 2002. A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its applications. *Agricultural Water Management, 52, pp. 139–154.*

23- Soltani, M. and Alizadeh, H.A., 2017. Integrated water resources management at basin scale (IWMsim) using a system dynamics approach. *Journal of Water and Soil Resources Conservation.* 2, pp. 69-90. (In Persian).

24- Sterman, J.D., 2000. *Business dynamics: systems thinking and modelling for a complex world*. McGraw-Hill, Boston, *MA.*

25- Sterman, J.D., 1994 .Learning in and about complex systems. *System Dynamics Review*, 10(2-3), pp. 291–330.

26- Turner, B.L., Tidwell, V., Fernald, A., Rivera, J.A., Rodriguez, S., Guldan, S., Ochoa, C., Hurd, B., Boykin, K. and Cibils, A., 2016. Modeling acequia irrigation systems using system dynamics: model

*DOI:* 10.22055/JISE.2020.28076.1819

development, evaluation, and sensitivity analyses to investigate effects of socio-economic and biophysical feedbacks. *Sustainability Journal. 8*(10), pp. 10-19.

27- Vlachos, D., Georgiadis, P. and Iakovou. E., 2007. A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. *International Journal of Computers and Operations Research*, 34, pp.367-394.

28- Yousefi, P., 2015. Water crisis. In *The 2nd National Conference on Water Crisis Leadership in Iran and the Middle East. Scientific Conference Center , Shiraz.Iran.* (In Persian).