Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Winter 2024, Vol. 20, No. 4, p. 365-390

Journal homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

doi:10.48301/KSSA.2024.418881.2721

The Effect of Improvement of Rehabilitation on the Improvement of the Network Utility Index with the Constrain of Improvement in the NEXUS Index based on System Dynamic Analysis (Case Study: Qazvin Irrigation Network)

Mostafa Aslani[1], Mohammad Javad Monem[2*], Ali Bagheri[3]

[1]Phd Student, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[2]Professor, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[3]Associate Professor, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article type:
Original Research

Received: 10.10.2023
Revised: 12.04.2023
Accepted: 04.20.2024

Keyword:
Irrigation Network
Rehabilitation
Nexus
System Dynamic

***Corresponding Author:**
Mohammad Javad Monem
Email:
monem_mj@modares.ac.ir

ABSTRACT

The involvement of many factors in a complex model such as the improvement of irrigation networks and their complex interactive relationship on the performance of the water, food and energy system (Nexus) in the long term makes the use of the system dynamics approach inevitable. The aforementioned approach in addition to being holistic, explains the system simulation realistically. The present research modelled the dynamics governing structural and non-structural actions for rehabilitation of irrigation networks to improve the utility of the network, and by supplying the Nexus index, using the strategy of systemic thinking. For this purpose, subsystems of "water productivity improvement", "definition of network utility index" and "description of Nexus in networks" were compiled and conceptualized using system dynamics tools based on the years 2006 to 2016. A quantitative model was developed and validated in 2016-2023 based on the developed conceptual model. According to the results of the research, the use of structural and non-structural solutions had the greatest effectiveness in the Nexus index and the network utility index, compared to the use of each of the solutions separately; thus, for the scenarios of increasing 25, 50 and 75% of structural and non-structural solutions together, the amount of Nexus index improved by 17.37, 23.83 and 26.89%, respectively.

©2024 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The evaluation of irrigation networks shows that due to poor design and operation, lack of sufficient maintenance and poor management, their utility is decreasing from the expected value according to the systemic archetype of "Eroding Goals". The rehabilitation of irrigation networks is usually carried out based on the lack of integration between the effective factors in this project, and therefore it cannot be expected to achieve a comprehensive improvement in the infrastructure of the network through this approach. The involvement of many components in a complex model such as the rehabilitation of irrigation networks and their complex interactive relationship of the performance of the water, food and energy system (Nexus) in the long term makes the use of the system dynamics approach inevitable; and the application of the used approach should realistically explain the simulation of the system in addition to integration. Using the strategy of systemic thinking, this article conceptualizes the dynamics governing major structural and non-structural measures in the direction of rehabilitation of irrigation networks with the aim of improving the utility of the network by providing the nexus index.

Methodology

Due to the necessity of quantifying the conceptual models, the developed model should be changed into a stock-flow model, the stock variables (integral variables) and the flow variables corresponding to the defined stock variables should be defined, and finally auxiliary variables should be added. Then, the relationships equation for each of them should be developed. Considering the importance of monitoring the variables of the Nexus index, network utility index, physical rehabilitation, managerial rehabilitation and rehabilitation development in the presented subsystem, the stock-flow model was developed according to Figure 1. Since the property of integration in monitoring physical rehabilitation measures, managerial rehabilitation and finally the expected utility of the irrigation network was also considered to introduce the development of rehabilitation, the three variables mentioned in the model were also used as the stock variable.

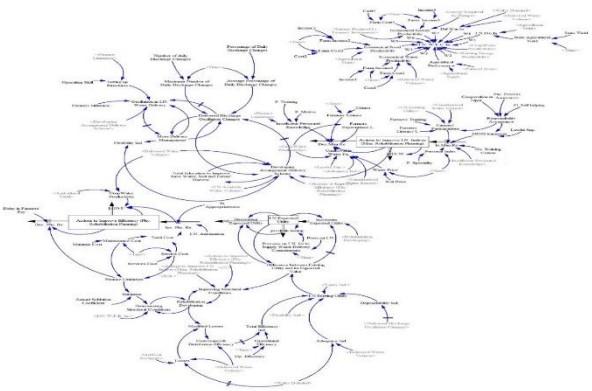


Figure 1. Stock-Flow model of the Rehabilitation-Nexus dynamics system.

Results and Discussion

Development of equation

This mechanism corresponds to the dynamics of the implementation of rehabilitation project and agricultural development plans, and in it, the gap created between the existing utility and the expected utility according to relation 1,2 and 3, will be the motivation for investing in rehabilitation project, the implementation of rehabilitation plans by improving the utility indices including efficiency, adequacy, equity, dependability, and flexibility increase the level of network utility.

$$\mathrm{Re}_{Dev} = \boldsymbol{Improving\ Struc.Cond.} - \boldsymbol{Deteriorat\ Struc.Condi.} \quad (1)$$

where $\mathbf{Re}_{\boldsymbol{Dev}}$ is rehabilitation development, $\boldsymbol{Improving\ Struc.Cond.}$ is improvement of structural conditions in accordance to Equation 3, and $\boldsymbol{Deteriorat\ Struc.Condi.}$ is deterioration of structural conditions accordance to Equation 2.

$$\boldsymbol{Deteriorat\ Struc.Condi.} = \mathbf{Re}_{\boldsymbol{Dev}} * \mathbf{Coe}_{\boldsymbol{.Asub}} * \mathbf{Re}_{\boldsymbol{Fin}} \quad (2)$$

where $\mathbf{Coe}_{\boldsymbol{.sub}}$ is coefficient of the annual sublation of network and $\mathbf{Re}_{\boldsymbol{Fin}}$ is investment for implementation of rehabilitation projects.

$$\boldsymbol{Improving\ Struc.Cond..} = (\boldsymbol{Re_{man}} + \boldsymbol{Re_{Phy}}) * \boldsymbol{Diff(Existing\ Utility.Expected\ Utility)} \quad (3)$$

where $\boldsymbol{Diff(Existing\ Utility.Expected\ Utility}$ is the difference between existing utility and expected utility, $\boldsymbol{Re_{man}}$ is managerial rehabilitation and, $\boldsymbol{Re_{Phy}}$ **is** physical rehabilitation.

Scenarios of 25, 50 and 75% increasing in training (non-structural solution)

By performing a sensitivity analysis on the parameter of education as a managerial (non-structural) solution in repetitions of increasing 25, 50 and 75%, the trend of decreasing indicators was moderated. The effectiveness of increasing 25% in education was 0.04% in the network utility and 4.6% in the Nexus index. The effectiveness of increasing 50% in training was 0.07% in the network utility and 6.9% in the Nexus index, and the effectiveness of increasing 75% in training was 0.12% in the network utility and 7.8% in the Nexus index.

Scenarios of 25, 50 and 75% increasing in the rehabilitation budget (structural solution)

By performing a sensitivity analysis on the parameter of increasing the rehabilitation budget as a structural solution in repetitions of increasing 25, 50 and 75%, the trend of decreasing indicators was moderated. The effectiveness of the increasing 25% in rehabilitation budgets was 0.00% in the network utility and 9.6% in the Nexus index. The effectiveness of increasing 50% in rehabilitation budgets was 0.015% in the network utility

and 13.7% in the Nexus index, and the effectiveness of increasing 75% in the rehabilitation budgets was 0.022% in the network utility and 15.3% in the Nexus index.

Scenarios of 25, 50 and 75% increasing in training and increasing in the rehabilitation budget (structural and non-structural solutions)

By performing a sensitivity analysis on the parameter of training to employees and farmers as a non-structural solution and the parameter of the improvement budget as a structural solution in iterations of increasing 25, 50 and 75 percent, the trend of reducing the indicators was adjusted to the maximum extent. The effectiveness rate of increasing 25% in structural and non-structural solutions was 0.05% in the network utility and 17.37% in the Nexus index; the effectiveness rate of increasing 50% in structural and non-structural solutions was 0.09% in the network utility and 23.83% in the Nexus index and the effectiveness rate of increasing 75% in structural and non-structural solutions was 0.03% in the network utility and 26.89% in the Nexus index.

Conclusion

In previous studies, it was customary to evaluate the performance of irrigation networks as an objective function from the perspective of improving only the water source with existing approaches such as integrated water resources management while the new approach of Nexus, by applying balanced weights to the sustainability factors of water, food and energy resources, attempts to take a comprehensive approach to improvement in the security of the three sources. Based on the results, the downward trend of the Nexus index (as well as the network utility index) was inevitable in the long term and according to the prevailing conditions. However, as it is clear from the trend of changes in both network utility and nexus graphs, the decreasing in the Nexus index better explains the changes in the development of network rehabilitation.

فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

زمستان ۱۴۰۲، دوره ۲۰، شماره ٤، ۳۹۰-۳٦٥

آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/

doi:10.48301/KSSA.2024.418881.2721

تأثیر بهبود بهسازی بر بهبود شاخص مطلوبیت شبکه با قید بهبود شاخص نکسوس بر اساس تحلیل پویایی سیستم
مطالعهٔ موردی: شبکهٔ آبیاری قزوین

مصطفی اصلانی[۱]، محمدجواد منعم[۲*]، علی باقری[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استاد، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸

بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱

کلید واژگان:
شبکه آبیاری
بهسازی
نکسوس
پویایی سیستم

***نویسنده مسئول:** محمدجواد منعم

پست الکترونیکی:
monem_mj@modares.ac.ir

چکیده

دخالت بسیاری از عوامل در یک مدل پیچیده همانند بهسازی شبکه‌های آبیاری و رابطهٔ تعاملی پیچیده آنها بر عملکرد سیستم آب، غذا و انرژی (نکسوس) در بلندمدت، استفاده از رویکرد پویایی سیستم را ناگزیر می‌گرداند و استفاده از رویکرد مورد اشاره می‌بایست علاوه بر جامع‌نگری، شبیه‌سازی سیستم را به‌صورت واقع‌بینانه‌ای تبیین نماید. این مقاله با استفاده از راهبرد تفکر سیستمی، پویایی حاکم بر اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای در راستای بهسازی شبکه‌های آبیاری با هدف بهبود مطلوبیت شبکه و با تأمین شاخص نکسوس را مدل می‌کند. برای این کار زیرسیستم‌های «بهبود بهره‌وری آب»، «تعریف شاخص مطلوبیت شبکه» و « توصیف نکسوس در شبکه‌ها»، با استفاده از ابزار پویایی سیستم‌ها بر اساس سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ تدوین و مفهوم‌سازی شد. مدل مفهومی توسعه‌یافته بر اساس مستندات موجود، مدل کمّی توسعه یافت و در سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۲ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. به عنوان نتیجه تحقیق، به‌کارگیری راه‌کارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای نسبت به استفاده از هر کدام از راه‌کارها به صورت مجزا، بیشترین میزان اثربخشی را در شاخص نکسوس و شاخص مطلوبیت شبکه داشته است؛ به طوری که به ازای سناریوهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصدی در افزایش راه‌کارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای به صورت توامان، میزان شاخص نکسوس به ترتیب ۱۷.۳۷، ۲۳.۸۳ و ۲۶.۸۹ درصد بهبود نشان داده است.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰

شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹٦

©2024 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

بیشتر از ۲۵۰ میلیون هکتار زمین آبی در سراسر جهان توسط سیستم کانال‌های سطحی آبیاری می‌شود [۱]. ارزیابی شبکه‌های آبیاری در ایران نشان می‌دهد که سطح مطلوبیت آنها به دلیل طراحی و بهره‌برداری ضعیف، عدم نگهداری کافی و سوء مدیریت، رضایت‌بخش نیست [۲]. انتظار می‌رود شبکه‌های آبیاری منجر به افزایش راندمان آبیاری شوند. با این حال، در ایران نرخ بهره‌وری آنها بین ۳۰ تا ۳۵ درصد متغیر است که به دلیل بهره‌برداری و نگهداری ناکافی است [۳].

آب یکی از نیازهای مهم در فعالیت‌های کشاورزی به ویژه در زراعت غلات است. اثربخشی و کارایی توزیع آب تا حد زیادی تعیین کنندهٔ موفقیت در فعالیت‌های کشاورزی بوده و به طور غیرمستقیم بر امنیت غذایی یک منطقه تأثیر می‌گذارد [۴]. در بسیاری از مناطق جهان، کمبود آب و تناسب زمین به طور فزاینده‌ای پیشرفت‌ها در بخش کشاورزی آبی را محدود می‌کند. سیاست‌های اصلی مدیریت آب در حال حاضر عمدتاً با برنامه‌های احیاء به جای ساخت زیرساخت‌های آبیاری جدید درگیر هستند. به عنوان مثال، کنترل ضعیف عملیاتی و مدیریت آب مزرعه می‌تواند منجر به آب اضافی در زهکش‌ها، تحریک رشد علف‌های هرز و کمبود ظرفیت کانال در زمان‌های بارندگی شود. بررسی و پیشنهاد روش‌های تعیین نیازهای اولویت مدیریت آب در بهسازی کانال‌های آبیاری از طریق فرآیند هایی قابل دستیابی است [۵].

بهسازی اغلب به عنوان توسل انحصاری به تغییرات فیزیکی و با استفاده از فناوری سطح بالای اتوماسیون اشتباه تلقی می‌شود، در واقع اغلب انتظار می‌رود که بهسازی شبکه‌های آبیاری منجر به بهبود راندمان آبیاری شود. در حالی که نقش یکپارچه بهسازی سخت افزاری و نرم افزاری به درستی در نظر گرفته نمی‌شود. مدیریت آبیاری مدرن اساساً به پاسخگویی به نیازهای کاربران فعلی با بهترین استفاده از منابع و فن‌آوری‌های موجود و همچنین احساس پیش‌بینی نیازهای آینده طرح مربوط می‌شود [۶]. عموماً اعتقاد بر این است که عملکرد ضعیف سیستم‌های آبیاری عمدتاً به دلیل سوء مدیریت است. سپس تمرکز بر تغییرات مدیریتی و فنی در پروژه‌های آبیاری نشان داد که آن دسته از پروژه‌هایی که شامل تغییرات فنی با جنبه‌های مدیریتی و اجتماعی قابل‌توجهی هستند، برای موفقیت‌آمیز بودن به میزان زیادی به مشارکت کشاورزان در مدیریت متکی هستند [۷].

بنابراین، اقدامات سازه‌ای شامل هرگونه عملیات ساخت و ساز فیزیکی برای کاهش یا جلوگیری از اثرات احتمالی فرسودگی یا استفاده از تکنیک‌های مهندسی برای دست‌یابی به عملکرد و انعطاف‌پذیری بهتر در سازه‌ها یا سیستم‌ها است. اقدامات غیرسازه‌ای هر اقدامی است که شامل ساخت و ساز فیزیکی نیست، بلکه از دانش، تجربه یا توافق سهامداران برای کاهش خطرات و اثرات استفاده می‌کند، به ویژه از طریق سیاست‌ها و قوانین، افزایش آگاهی عمومی، آموزش و آموزش (استراتژی بین‌المللی سازمان ملل برای بلایا) [۸]. راه‌حل‌های مهندسی سازه ابزار اولیه برای بهسازی شبکه‌های آبیاری هستند، به عنوان مثال پوشش کانال، لایروبی، اتوماسیون و تنظیم سازه‌ها با روش‌های آبرسانی. رویکردهای مهندسی سازه برای بهبود کاربرد سیستم‌های آبیاری پاسخ کوتاه مدت غالب هستند. مهندسی سازه تنها در ترکیب با راه‌حل‌های غیرسازه‌ای مانند آموزش، مشارکت کشاورزان و تکنیک‌های انتقال مدیریت، کارآمد است [۹-۱۱]. با این حال، اثربخشی اقدامات غیرسازه‌ای نسبت به تغییرات اجتماعی-اقتصادی (به دلیل سازگاری سیستم‌های انسانی) و ترتیبات حاکمیتی حساس است. تجزیه و تحلیل مزایای اقدامات غیرسازه‌ای تاکنون هنگام تخمین تأثیر کمی آنها بر پارامترهای دیگر مانند کارایی دشوار بوده است. پاسخ مدت اقدامات غیرسازه‌ای بر اتخاذ اقدامات سازه‌ای یا غیرسازه‌ای تأثیر می‌گذارد [۱۲].

پیوند زنجیرهٔ آب، غذا و انرژی در سال ۲۰۱۱ توسط مجمع جهانی اقتصاد[1] پیشنهاد شده است [۱۳]. اصل اساسی و وجه تمایز این نظریه با دیگر دیدگاه‌ها تأکید بر امنیت منابع، به جای پایداری[2] است. بدون تأمین امنیت منابع در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی نمی‌توان انتظار توسعهٔ پایدار داشت. رویکرد آب، غذا و انرژی نکسوس (Nexus) به عنوان یک چشم انداز جدید در مناظرات مرتبط با تعادل بخشی چند بخشی امور (منابع) متناقض در سرمایه‌گذاری‌های توسعهٔ مرتبط با امنیت آب، غذا و انرژی مطرح شده است. فرض بر این است که چهارچوب دینامیکی نکسوس که تلاش می‌کند، برای هر یک از اهداف بخش‌ها وزن‌دهی مساوی در نظر بگیرد، الگوی جدیدی در تحقیقات مربوط به امنیت آب، غذا و انرژی ارائه می‌کند [۱۴]. در ایران نیز در سال‌های اخیر محققین مختلفی در این حوزه فعالیت داشته و امنیت و پایداری منابع را در حوضه‌هایی با مقیاس مختلف آبخیز برای بهبود مدیریت در سطح مرزهای انتخابی، تحقیق کرده‌اند. در این خصوص، راور در امور بین بخشی و چندبخشی در حوضهٔ آبخیز زاینده‌رود، مدیریت منابع مختلف و پایداری سیستم تحت قید اقدامات خدماتی اکوسیستم را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۱۷-۱۵]. همچنین محققانی در داخل کشور نسبت به بررسی بهبود مدیریت شبکهٔ آبیاری با استفاده از رویکرد نکسوس تحقیقاتی را انجام داده‌اند که از آن‌جمله [۱۸] اقدام به محاسبهٔ شاخص نکسوس با استفاده از اجرای نرم‌افزار هیدرودینامیکی ICSS و به صورت شاخص‌محور و نهایتاً اجرای شبکهٔ بیزین برای تحلیل سناریوهای تحویل و توزیع نموده است. همچنین [۱۹] به صورت شاخص‌محور اقدام به حل معادلهٔ بیلان آبی توسط مدل WEAP و نهایتاً محاسبهٔ شاخص نکسوس در مدیریت شبکه‌های آبیاری کرده است [۲۰]. نیز برای بهبود مدیریت شبکهٔ آبیاری تحت رویکرد نکسوس، اقدام به توسعهٔ یک مدل مفهومی نموده است.

برای پرداختن به ویژگی‌های چندوجهی توانبخشی در سیستم‌های آبیاری، اتخاذ یک رویکرد یکپارچه و جامع برای توانایی یادگیری در سطوح مختلف ضروری است. مقالهٔ حاضر در نظر دارد با استفاده از فلسفهٔ تفکر سیستمی، مکانیسم‌های پویا و روابط متقابل بین عناصر اصلی یک شبکهٔ آبیاری را که بر مطلوبیت شبکه تأثیر می‌گذارد، درک کند. این مقاله با اتخاذ یک رویکرد مدل‌سازی پویایی سیستم[3]، با استفاده از مفاهیم نکسوس، نشان می‌دهد که چگونه رفتار شبکهٔ آبیاری در طول زمان می‌تواند به تعامل مکانیزم‌های پویا مرتبط باشد و چگونه آن تجربه می‌تواند زیربنای سیاست‌های آینده باشد. در این مقاله با استفاده از رویکرد نکسوس با ابزار پویایی سیستم‌ها، نه تنها شاخص نکسوس بلکه متغیر اساسی مطلوبیت شبکهٔ آبیاری تحت اجرای سیاست‌های بهسازی (در ابعاد سازه‌ای و غیر سازه‌ای) در مدل کمّی توسعه داده شده مورد آزمون قرار گرفته است. لذا بر خلاف مدل‌های پیشین، متغیر بهسازی نه به عنوان یک تابع هدف که به عنوان یکی از متغیرهای اساسی مدل توسعه نکسوس مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

شبکهٔ آبیاری قزوین در مختصات جغرافیایی ^{0}۳۶ تا ^{0}۲۰′, ۳۶ عرض شمالی و ۴۰′, ^{0}۴۹ تا ۳۵′, ^{0}۵۰ طول شرقی قرار دارد. شبکهٔ فوق با ۱۲۰۰ کیلومتر کانال بتنی درجه یک تا چهار از شبکه‌های آبیاری مدرن کشور محسوب می‌شود که با سرمایه‌گذاری اولیه ۷۰ میلیون دلار در سال ۱۳۴۸ به بهره‌برداری رسید. ظرفیت کانال اصلی ۳۰ مترمکعب در ثانیه در ابتدا و ۳ مترمکعب در انتها و ظرفیت کانال‌های درجه ۲ از ۷.۴ تا ۰.۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. مساحت خالص این شبکه ۶۰هزار هکتار است که از سه بخش قزوین با مساحت ۴۰۷۳۹.۶۵ هکتار، تاکستان با مساحت ۵۶۸۹.۲۳ هکتار و بویین‌زهرا با مساحت ۱۳۵۷۱.۱۱ هکتار تشکیل شده است. سطح زیر کشت مطابق برنامهٔ سال ۱۳۹۳ سازمان جهاد

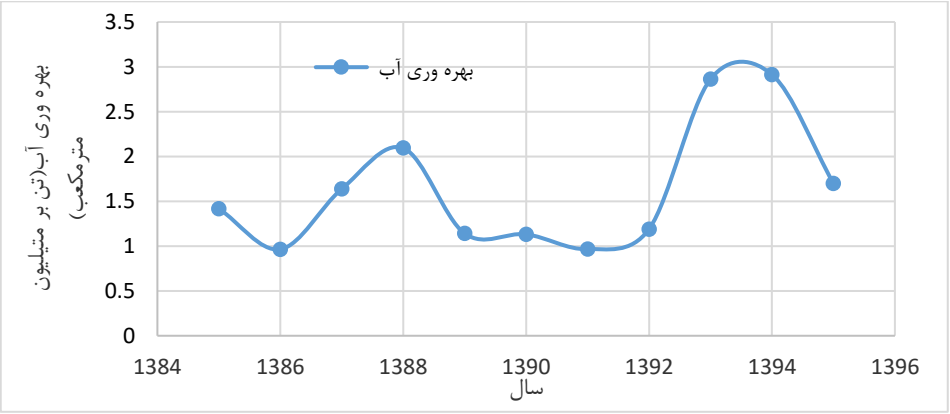
[1] World Economic Forum
[2] Sustainability
[3] System Dynamic

کشاورزی استان قزوین ۴۳۳۰۴ هکتار می‌باشد که شامل ۳۳۰۱۱.۸۳ هکتار در منطقهٔ قزوین، ۲۶۶۲.۶۴ هکتار در منطقهٔ تاکستان و ۷۶۲۹.۵۳ هکتار در منطقهٔ بویین‌زهرا است [۱۱].

توسعهٔ الگوهای رفتاری حاکم بر مسئله مبتنی بر مدل پویا بر اساس نظر کارشناسان و ذی‌نفعان

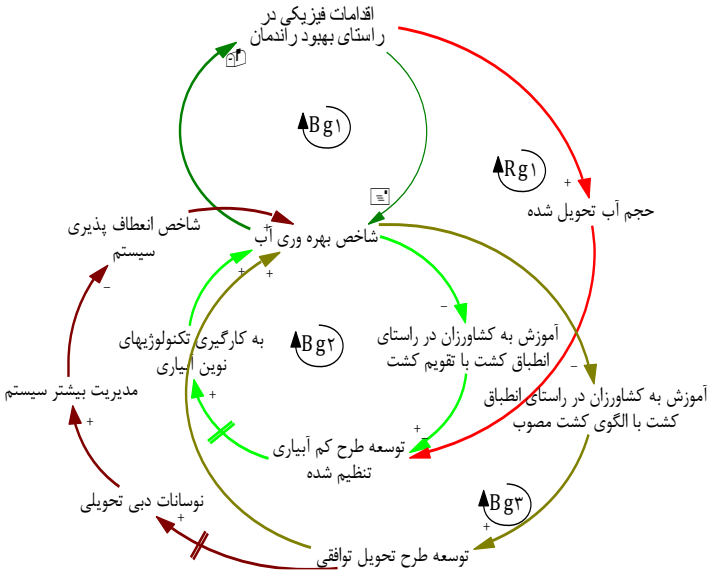
زیرسیستم راهکارهای بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی

زیرسیستم فوق‌الذکر در اشاره به راهکارهای ارائه شده، به واسطهٔ الگوی جابجایی مشکل در توجیه استراتژی‌های مقطعی و اساسی و ترکیب آن با الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست در توجیه تأثیرات بلندمدت تصمیمات موجود، در مواجهه با مشکل بهره‌وری آب کشاورزی توسعه پیدا کرده است که میزان بهره‌وری نامطلوب در شبکه‌های ایزان در ده سال منتهی به اجرای مدل در نمودار شکل ۱ مشخص گردیده است.



شکل ۱. نمودار نوسان میزان بهره‌وری آب در کشاورزی استان قزوین

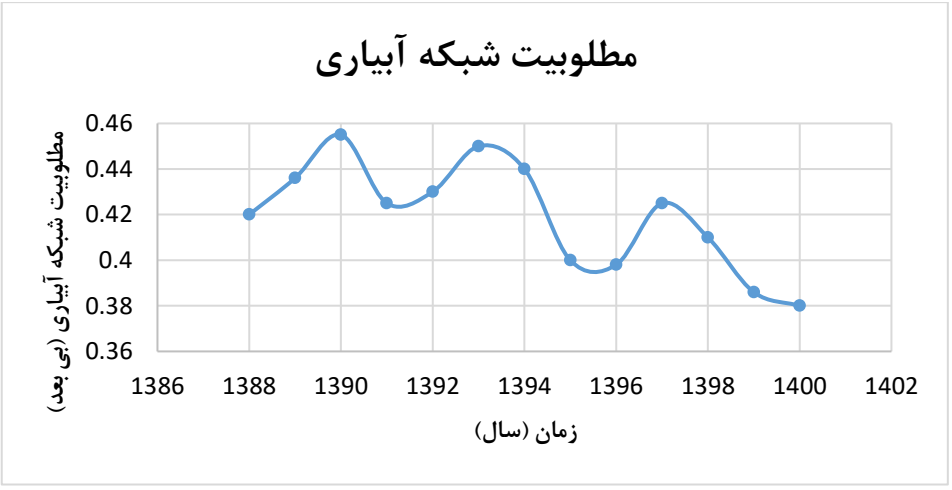
مطابق با پرسش‌نامه اخذ شده از کارشناسان، نخبگان و ذی‌نفعان، در بررسی نظرات کارشناسان، ۶۰ درصد ترمیم کانال‌ها، ۷۰ درصد اصلاح و مرمت تجهیزات و ۵۰ درصد بهسازی را در بهبود عملکرد شبکه مؤثر دانستند. در ۷۰درصد از نظر مصاحبه‌شوندگان، بالاگرفتن میزان راندمان شبکه و کاهش ظرفیت طراحی بدون توجه به نیاز آبی آتی شبکه و ۶۰ درصد عدم همکاری کشاورزان در بهبود عملکرد شبکه بر اثر تخصیص اعتبار برای پروژه‌های کشاورزی بدون انجام توجیه و ایجاد انگیزه در بهره‌برداران منابع را در کیفیت عملکرد شبکه مؤثر دانستند. که به واسطهٔ آن حلقهٔ Bg1 مدل توسعه داده شد. همچنین مطابق نظر ۶۵ درصد از مصاحبه‌شوندگان، توجه به عملکرد سیستم اصلی بدون در نظر گرفتن سیستم‌های فرعی در بلوک‌های زراعی را مؤثر ندانستند و ۶۰ درصد از آنان آموزش به کشاورزان را در به‌کارگیری سیستم‌های نوین آبیاری را در مزرعه راهکار مناسبی عنوان کردند و نهایتاً ۶۰ درصد پیاده‌سازی طرح‌هایی مانند کم‌آبیاری تنظیم شده را مؤثر دانستند. بر این اساس حلقهٔ Bg2 در مقابل راهکار اول ارائه گردیده است. همچنین ۶۵ درصد از مصاحبه‌شوندگان، تحویل حجمی آب را راه‌حل اساسی دانستند. ۶۰ درصد جایگزینی برنامهٔ تحویل آب متناوب با یک برنامهٔ تحویل مناسب را پیشنهاد دادند که بر اساس آن حلقهٔ Bg3 در مدل توصیف گردید. بر این اساس، مدل زیرسیستم تحویل آب تحت عنوان راه‌کارهای بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی مطابق شکل ۲ تدوین گردید.



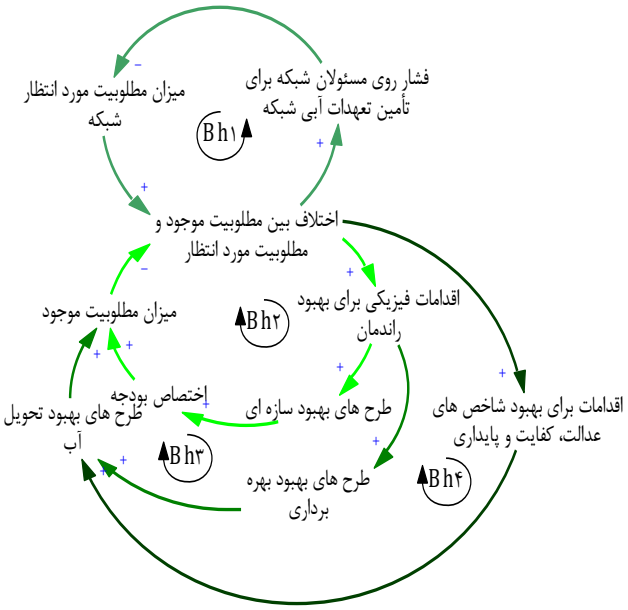
شکل ۲. زیرسیستم راهکارهای بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی.

زیرسیستم مطلوبیت شبکهٔ آبیاری

این زیرسیستم متناظر با مکانیزم فاصله بین مطلوبیت موجود و مطلوبیت مورد انتظار می‌باشد که در آن دو راه برای کاهش این فاصله وجود دارد؛ یک راه ارتقای شاخص‌های مطلوبیت می‌باشد و راه دیگر فشار دست‌اندرکاران در جهت تطبیق مطلوبیت مورد انتظار با مطلوبیت موجود مطابق نمودار شکل ۳ است. این زیرسیستم از الگوی سیستمی تقلیل اهداف مطابق نمودار شکل ۴، بهره گرفته شده است.



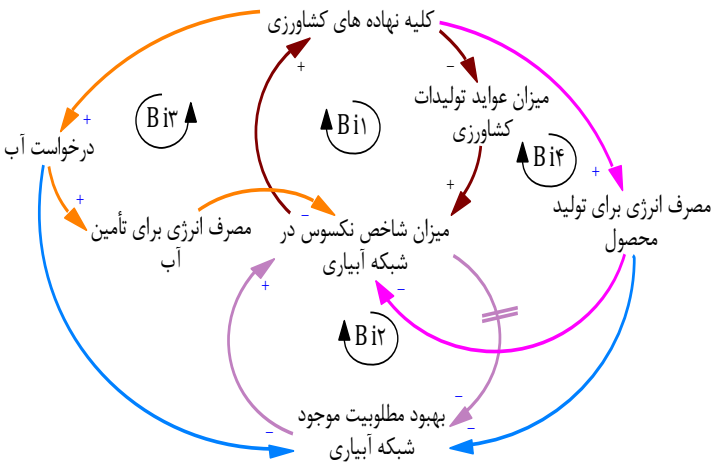
شکل ۳. نمودار تغییرات مطلوبیت شبکهٔ آبیاری قزوین.



شکل۴. زیرسیستم مطلوبیت در شبکه‌های آبیاری ایران.

زیرسیستم توصیف شاخص نکسوس

مطابق با نظرات کارشناسان اجرایی و نخبگان دانشگاهی، نکسوس ترکیبی از شاخص‌های مربوط به تولید و عواید حاصل از اندرکنش صرف هزینه‌ها و تولیدات بخش کشاورزی است که کلیهٔ بهره‌برداران بلوک‌های کشاورزی در پی افزایش این شاخص در محدودهٔ مشاغل خویش به سهل‌الوصول‌ترین راه‌حل یعنی افزایش سطح کشت (حلقهٔ Bi1) هستند. این زیرسیستم مقطعی در نمودار شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل۵. زیرسیستم توصیف شاخص نکسوس.

مدل جریان- حالت زیرسیستم

نظر به لزوم کمّی‌سازی مدل‌های مفهومی، می‌بایست مدل توسعه یافته به صورت مدل جریان[1]- حالت[2] تغییر کرده، متغیرهای حالت (متغیرهای انتگرالی) تعریف شده، متغیرهای جریان، متناسب با متغیرهای حالت تعریف شده و نهایتاً متغیرهای کمکی به آن اضافه شود. و در انتها معادلهٔ روابط برای هرکدام توسعه داده شوند. با توجه به اهمیت پایش متغیرهای شاخص نکسوس، شاخص مطلوبیت شبکه، بهسازی فیزیکی، بهسازی مدیریتی و توسعهٔ بهسازی در زیرسیستم ارائه شده، مدل جریان – حالت توسعه داده شد. از آنجا که خاصیت انتگرالی در پایش اقدامات بهسازی فیزیکی، بهسازی مدیریتی و نهایتاً مطلوبیت مورد انتظار شبکهٔ آبیاری مشهود بود برای معرفی متغیر توسعهٔ بهسازی، متغیرهای سه‌گانه یادشده در مدل نیز از متغیر حالت بهره برده شد.

تعیین معادلات حاکم بر بهسازی شبکه

این مکانیسم متناظر با مکانیزم اجرای طرح‌های بهسازی و توسعهٔ کشاورزی می‌باشد و در آن فاصله ایجاد شده بین مطلوبیت موجود و مطلوبیت مورد انتظار مطابق رابطهٔ ۱، انگیزه اقدام در جهت سرمایه‌گذاری برای طرح‌های بهسازی خواهد شد، اجرای طرح‌های بهسازی با بهبود شاخص‌های مطلوبیت شامل راندمان، کفایت، عدالت، پایداری، و انعطاف‌پذیری سطح مطلوبیت را افزایش می‌دهد.

$$\mathrm{Re}_{Dev} = Improving\ Struc.Cond. - Deteriorat\ Struc.Condi \quad (۱)$$

که در آن:

$\mathbf{Re}_{Dev}$: توسعه بهسازی

$\boldsymbol{Improving\ Struc.Cond.}$: بهبود شرایط بهسازی مطابق رابطهٔ ۳

$\boldsymbol{Deteriorat\ Struc.Condi.}$: وخامت شرایط سازه‌ای مطابق رابطهٔ ۲

$$Deteriorat\ Struc.Condi. = \mathrm{Re}_{Dev} * \mathrm{Coe.}_{Asub} * \mathrm{Re}_{Fin} \quad (۲)$$

که در آن:

$\mathbf{Coe.}_{\boldsymbol{Asub}}$: ضریب فرسودگی سالانه شبکه برابر با ۲ درصد

$\mathbf{Re}_{\boldsymbol{Fin}}$: سرمایه‌گذاری برای اجرای طرح‌های بهسازی

$$Improving\ Struc.Cond.. = (Re_{man} + Re_{Phy}) * Diff(Existing\ Utility.Expected\ Utility) \quad (۳)$$

که در آن:

$\boldsymbol{Diff(Existing\ Utility.Expected\ Utility}$: تفاضل بین مطلوبیت مورد انتظار و مطلوبیت موجود

[1] Flow
[2] Stock

بهسازی مدیریتی

سطح بهسازی مدیریتی که به صورت متغیر حالت در نظر گرفته شده است، برابر است با مجموع بهسازی مدیریتی در سال مبنا و مقدار اختلاف بهبود و کاهش فعالیت‌های بهسازی مدیریتی در هر سال، و از رابطهٔ ۴ به‌دست می‌آید.

$$Re_{man} = Re_{man1} + \sum_{t=1}^{n} (In_{Rmant} - \mathrm{Dec_{Rmant}}) \quad (۴)$$

که در آن:

$\boldsymbol{Re_{man}}$: بهسازی مدیریتی

$\boldsymbol{Re_{man1}}$: بهسازی مدیریتی در سال مبنا

$\boldsymbol{In_{Rmant}}$: بهبود فعالیت‌های بهسازی مدیریتی مطابق رابطهٔ ۸

$\mathbf{Dec_{Rmant}}$: کاهش فعالیت‌های بهسازی مدیریتی مطابق رابطهٔ ۵

$$Dec_{Rman} = Re_{man}\left(\frac{P_{\mathrm{K}} + \mathrm{P_{UW}}}{2}\right) \quad (۵)$$

که در آن:

$\boldsymbol{Dec_{Rman}}$: کاهش فعالیت‌های بهسازی مدیریتی

$\boldsymbol{Re_{man}}$: بهسازی مدیریتی مطابق رابطهٔ ۴

$\boldsymbol{P_{\mathrm{K}}}$: سطح دانش پرسنل مطابق رابطهٔ ۶

$\mathbf{P_{UW}}$: درصد برداشت غیر مجاز آب مطابق رابطهٔ ۷

$$P_K = \frac{(1 - \mathrm{P}_M) + \mathrm{Fin}_{lim} + (1 - \mathrm{T_{CP}})}{3} - (0.75 \times \mathrm{P_e} + 0.25 \times \mathrm{n°_{Co}}) \quad (۶)$$

که در آن:

$\boldsymbol{P_K}$: سطح دانش پرسنل

$\mathbf{T_{CP}}$: نسبت دوره‌های آموزشی کاربردی به کل دوره‌ها مطابق پژوهش ستوده‌نیا برابر ۰.۲۵ [۲۱]

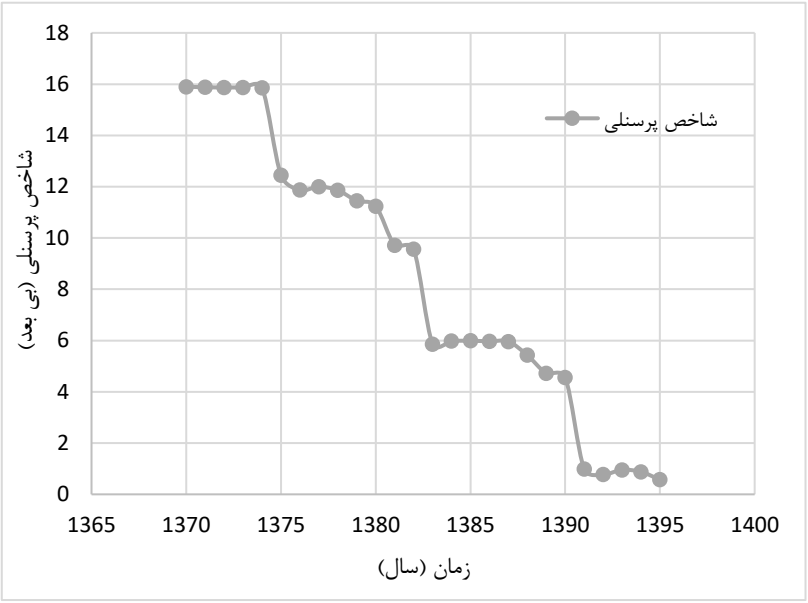
$\mathbf{P_M}$: انگیزه پرسنل مطابق پژوهش ستوده‌نیا برابر ۰.۵

$\mathbf{Fin_{lim}}$: محدودیت مالی ناشی از کمبود بودجه دولتی مطابق آمار ادارهٔ آب منطقه‌ای قزوین

$\mathbf{P_e}$: شاخص پرسنلی مطابق نمودار شکل ۷

$\mathbf{n°_{Co}}$: تعداد دوره‌های آموزشی

شاخص پرسنلی بر اساس اطلاعات به دست آمده از شرکت بهره‌برداری قزوین، به صورت سری زمانی و مطابق شکل ۶ وارد مدل شده است.



شکل ۶. سری زمانی شاخص پرسنلی در شبکهٔ آبیاری قزوین.

$$\mathrm{P_{UW}} = \mathrm{Co}_{Law} \times \mathrm{ade.\,Ind} - 0.2\mathrm{W}_{Pr} + 0.8\mathrm{N_{Uw}} \quad (۷)$$

که در آن:

$\mathbf{P_{UW}}$: درصد برداشت غیر مجاز آب

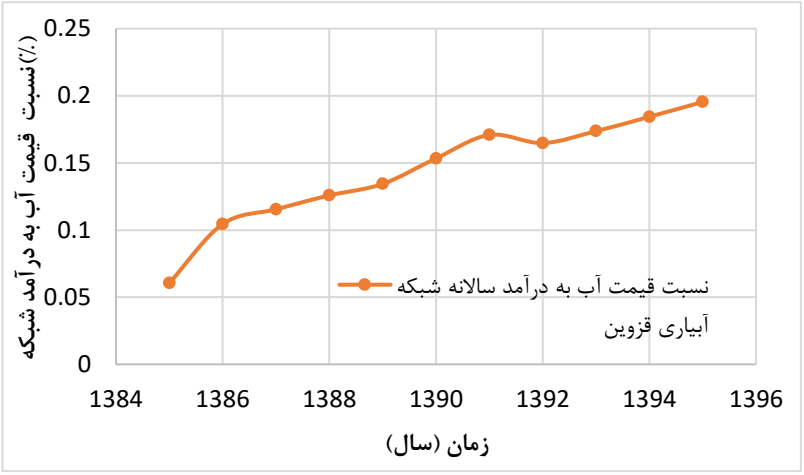
$\mathbf{Co}_{Low}$: ضریب حمایت قانونی (درصد)

$\mathbf{ade.\,Ind}$: شاخص کفایت آب در شبکه مطابق زیرسیستم مطلوبیت

$\mathbf{W}_{Pr}$: نسبت قیمت آب به درآمد سالانه شبکه مطابق نمودار شکل ۷

$\mathbf{N_{Uw}}$: تعداد چاه‌های غیرمجاز آب

قیمت آب با استفاده از شاخص قیمت بر مبنای سال پایه محاسبه شده و به صورت درصدی از درآمد سالانه شبکه و به صورت سری زمانی وارد مدل شد که مطابق شکل ۸ می‌باشد.



شکل ۷. سری زمانی نسبت قیمت آب به درآمد سالانه شبکهٔ آبیاری قزوین.

$$In_{Rman} = \frac{P_{\mathrm{K}} + \mathrm{F}_{Pa} + \mathrm{M}_{\mathrm{Tr}}}{3} \quad (۸)$$

که در آن:

$\boldsymbol{In_{Rman}}$: بهبود فعالیت‌های بهسازی مدیریتی

$\boldsymbol{P_{\mathrm{K}}}$: سطح دانش پرسنل مطابق رابطهٔ ۶

$\mathbf{F}_{\boldsymbol{Pa}}$: سطح مشارکت کشاورزان مطابق رابطهٔ ۹

$\mathbf{M}_{\mathbf{Tr}}$: انتقال مدیریت بهره‌برداری و نگهداری به کشاورزان مطابق رابطهٔ ۱۱

$$\mathrm{F}_{Pa} = 0.2 \times \mathrm{R}_{Ac} + 0.2 \times Fa_L + 0.3 \times Fa_{Tr} + 0.3 \times U_{Exist} - \frac{\mathrm{P}_{\mathrm{UW}} + \mathrm{C}_P + Fa_{exp}}{3} \quad (۹)$$

که در آن:

$\mathbf{F}_{\boldsymbol{Pa}}$: سطح مشارکت کشاورزان

$\mathbf{R}_{\boldsymbol{Ac}}$: پذیرش مسئولیت توسط کشاورزان مطابق رابطهٔ ۱۰

$\boldsymbol{Fa_L}$: سطح سواد کشاورزان مطابق پژوهش ستوده‌نیا برابر ۰.۱۴

$\boldsymbol{Fa_{Tr}}$: سطح آموزش به کشاورزان مطابق پژوهش ستوده‌نیا برابر ۰.۱۲۵

$\boldsymbol{U_{Exist}}$: مطلوبیت موجود شبکه مطابق مطابق زیرسیستم مطلوبیت

$\mathbf{P}_{\mathbf{UW}}$: درصد برداشت غیرمجاز آب مطابق رابطهٔ ۷

$\mathbf{C}_{\boldsymbol{P}}$: نسبت هزینه‌های تخلفات و جرایم به متوسط هزینه سالانه شبکه مطابق نمودار شکل ۹

$\boldsymbol{Fa_{exp}}$: سطح انتظارات کشاورزان از دولت در جهت برنامه‌ریزی، اقدامات اصلاحی و تخصیص اعتبار مطابق پژوهش ستوده‌نیا برابر ۰.۷۲

$$R_{Ac} = \frac{Fa_{SH} + F_{Co} + Fa_{Aw}}{3} \quad (۱۰)$$

که در آن:

$\mathbf{R_{Ac}}$: پذیرش مسئولیت توسط کشاورزان

$\mathbf{Fa_{SH}}$: خودیاری مالی مطابق پژوهش ستوده‌نیا برابر ۰.۴

$\mathbf{F_{Co}}$: همکاری در بهره‌برداری مطابق پژوهش ستوده‌نیا برابر ۰.۹

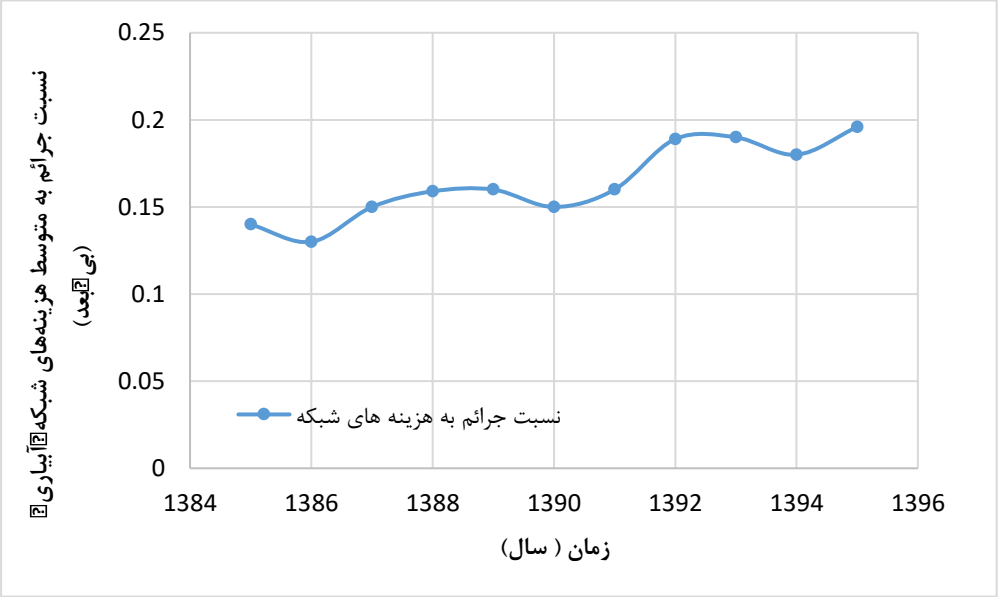
$\mathbf{Fa_{Aw}}$: آگاهی از فرآیند مشارکت مطابق پژوهش ستوده‌نیا برابر ۰.۱۶۷

$$M_{Tr} = (0.2 \times R_{Ac} + 0.2 \times Fa_L + 0.3 \times Fa_{Tr} + 0.3 \times U_{Exist}) \times Co_{Law} \quad (۱۱)$$

که در آن:

$\boldsymbol{M_{Tr}}$: انتقال مدیریت بهره‌برداری و نگهداری به کشاورزان

میزان هزینه‌های تخلفات و جرایم با استفاده از شاخص قیمت در سال‌های مختلف بر مبنای سال پایه (سال ۱۳۸۵) محاسبه شده و به صورت درصدی از هزینهٔ متوسط سالانه شبکه و به صورت سری زمانی وارد مدل شده است که مطابق شکل ۸ می‌باشد.



شکل ۸. سری زمانی هزینه‌های تخلفات و جرایم (درصد) به متوسط هزینهٔ سالانهٔ شبکهٔ آبیاری قزوین.

بهسازی فیزیکی

سطح بهسازی فیزیکی سیستم از رابطهٔ ۱۲ قابل محاسبه خواهد بود.

$$Re_{phy} = R_{Phy1} + \sum_{t=1}^{n} (In_{Rphy} - Dec_{Rphy}) \quad (۱۲)$$

که در آن:

$\boldsymbol{Re_{\mathrm{phy}}}$: بهسازی فیزیکی

$\boldsymbol{R_{Phy1}}$: بهسازی فیزیکی در سال مبنا

$\boldsymbol{In_{Rphy}}$: بهبود فعالیت‌های بهسازی فیزیکی مطابق رابطهٔ ۱۳

$\boldsymbol{Dec_{Rphy}}$: کاهش فعالیت‌های بهسازی فیزیکی مطابق رابطهٔ ۱۵

بهسازی فیزیکی شبکهٔ تابعی از فعالیت‌های نگهداری، تعمیرات و لایروبی شبکهٔ آبیاری می‌باشد، به‌طوری‌که هرچه این فعالیت‌ها بیشتر باشد موجب بهبود سیستم می‌گردد. از طرفی عامل دیگری که بر بهسازی فیزیکی تأثیرگذار است، تناسب سازه‌ها با روش تحویل آب، اتوماسیون، محدودیت در تخصیص بودجه دولتی و تأخیر در پرداخت آب‌بهاست.

$$In_{Rphy} = Fin \times \frac{(Au + St_{Ap})}{2} \qquad (۱۳)$$

$$Fin = (C_M + C_{\mathrm{D}}) \qquad (۱۴)$$

که در آنها:

$\boldsymbol{In_{Rphy}}$: بهبود فعالیت‌های بهسازی فیزیکی

$\boldsymbol{Au}$: اتوماسیون شبکه برابر ۰.۴۵

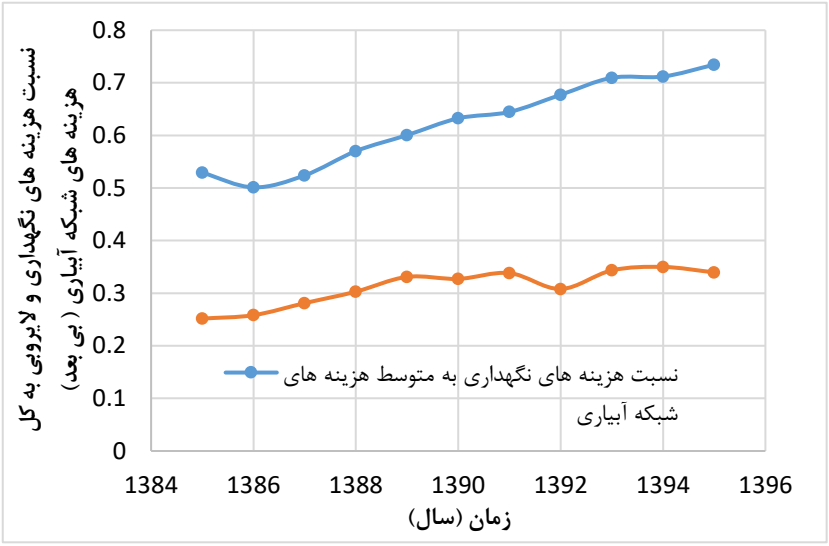
$\boldsymbol{St_{Ap}}$: تناسب سازه‌ها با روش تحویل آب برابر ۱

$\boldsymbol{Fin}$: بودجهٔ تخصیص یافته برای فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و لایروبی مطابق نمودار شکل ۸

$\boldsymbol{C_M}$: نسبت هزینهٔ نگهداری و تعمیرات به متوسط هزینهٔ سالانهٔ شبکه مطابق نمودار شکل ۹

$\boldsymbol{C_{\mathrm{D}}}$: نسبت هزینهٔ لایروبی به متوسط هزینهٔ سالانهٔ شبکهٔ

هزینه‌های تعمیرات، نگهداری و لایروبی به صورت سری زمانی وارد متغیر نرخ بهبود فعالیت‌های بهسازی فیزیکی می‌شوند. شکل ۹ به ترتیب سری زمانی درصد هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و لایروبی را نشان می‌دهند. این هزینه‌ها با استفاده از شاخص قیمت در سال‌های مختلف بر مبنای سال پایه (سال ۱۳۸۵) محاسبه شده‌اند.



شکل ۹. سری زمانی نسبت هزینه‌های نگهداری و لایروبی به متوسط هزینهٔ سالانهٔ شبکهٔ آبیاری قزوین.

$$Dec_{Rphy} = Re_{\text{phy}}(0.2\text{Pay}_{Dl} + 0.8\text{F}in_{\text{lim}}) \quad (۱۵)$$

که در آن:

$\boldsymbol{Dec_{Rphy}}$: کاهش فعالیت‌های بهسازی فیزیکی

$\boldsymbol{Re_{\text{phy}}}$: بهسازی فیزیکی مطابق رابطهٔ ۱۲

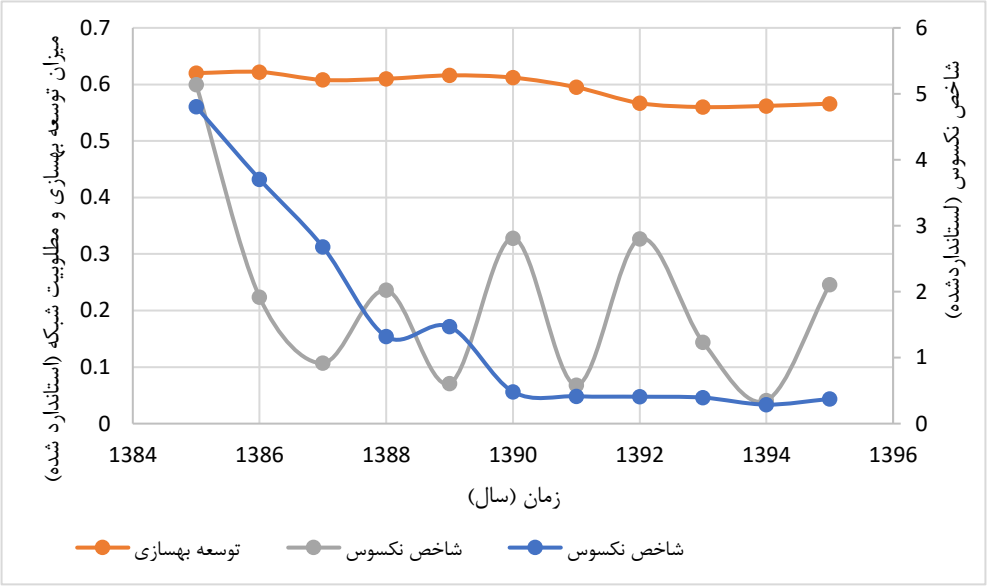
$\boldsymbol{\text{Pay}_{Dl}}$: تأخیر در پرداخت آب‌بها برابر ۰.۳۵

$\boldsymbol{Fin_{\text{lim}}}$: محدودیت مالی ناشی از کمبود بودجهٔ دولتی

نتایج و بحث

- **الف: نتایج اجرای مدل برای سال‌های مدل‌سازی (صحت‌سنجی)**

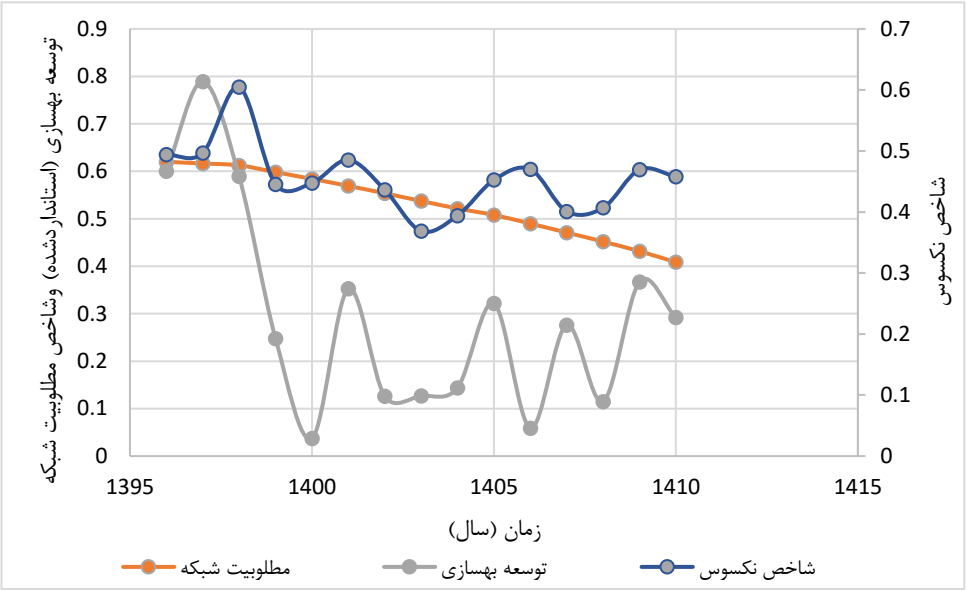
مدل برای سال‌های مدل‌سازی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵، اجرا و نتایج مربوط به توسعهٔ بهسازی (در مفهوم فیزیکی و مدیریتی) در نمودار شکل ۱۰ نشان داده شده است. توسعهٔ بهسازی علی‌رغم کلیهٔ اقدامات صورت‌گرفته در ابعاد فیزیکی و مدیریتی، کاهش داشته است و این کاهش در میزان مطلوبیت تأثیرگذار است. این کاهش توسط شاخص نکسوس به صورت بهتر تصویر شده است. این بدان معنا است که میزان تأثیرات کاهش توسعهٔ بهسازی در شاخص زنجیرهٔ منابع مؤثرتر است.



شکل ۱۰. سری زمانی شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت شبکه و متغیر توسعهٔ بهسازی در سال‌های مدل‌سازی.

– ب: نتایج پیش‌بینی مدل تا سال ۱۴۱۰

با توجه به آزمون‌های صحت‌سنجی و اعتبارسنجی در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲، مدل برای سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۱۰، اجرا و نتایج آن به شرح نمودار شکل ۱۱ بیان شده است. متغیر توسعه بهسازی علی‌رغم افزایش بودجه با توجه به عوامل مؤثر در آن کاهش شدید را تجربه خواهد کرد و این بدان معنا است که میزان کاهش مطلوبیت شبکه تا سال ۱۴۱۰، بیشتر از سال‌های مدل‌سازی است. شاخص نکسوس که شامل شاخص‌های مختلف از منابع مختلف است، علی‌رغم افزایش نسبت به بازهٔ مدل‌سازی، روند کاهش بیشتری را تجربه خواهد کرد و در این میان تأثیر عوامل متأثر از منابع آب، من‌جمله توسعهٔ بهسازی در این کاهش، چشمگیر خواهد بود.

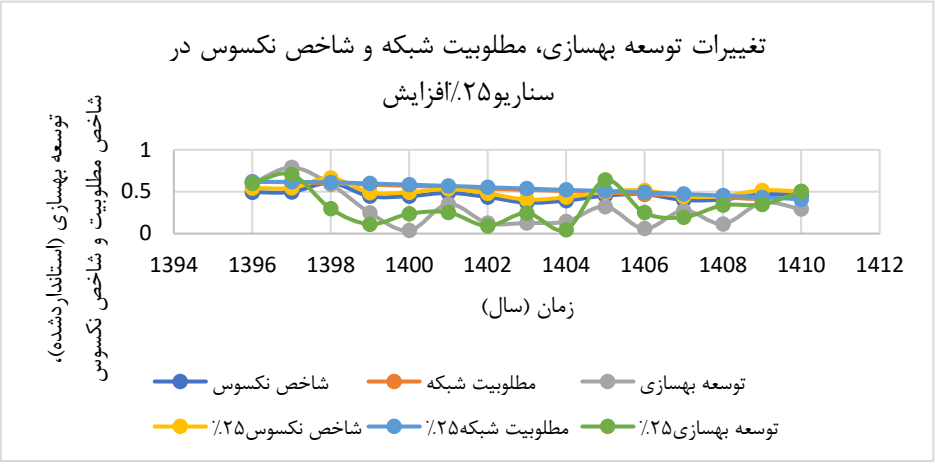


شکل ۱۱. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت شبکه و توسعهٔ بهسازی در سال‌های پیش‌بینی.

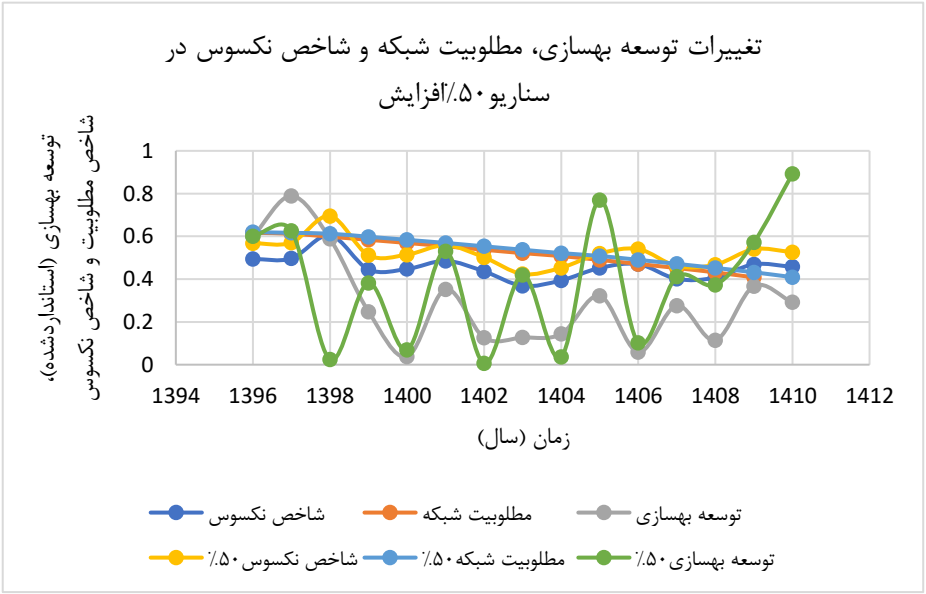
– ج: اجرای سیاست‌های مرتبط با بهسازی

۱- سناریوهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد افزایش در آموزش (راه‌کارهای غیرسازه‌ای)

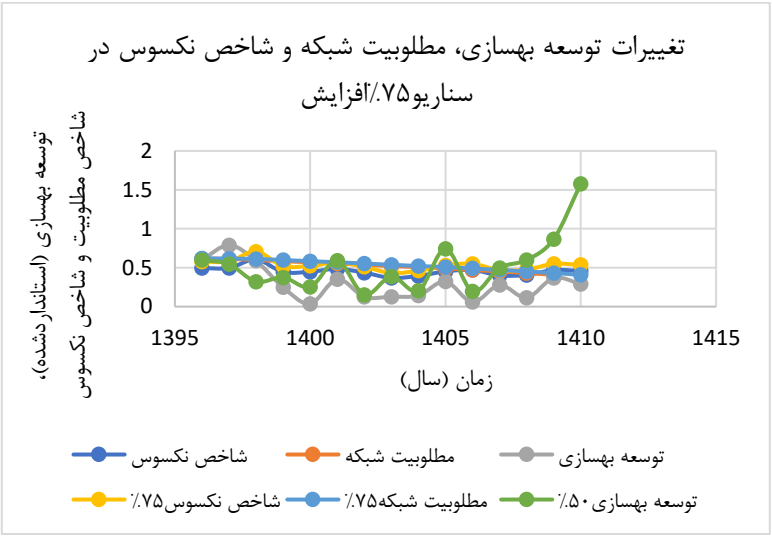
با انجام تحلیل حساسیت در پارامتر آموزش به کارکنان و کشاورزان به عنوان راه‌کار مدیریتی (غیرسازه‌ای) در تکرارهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد افزایش، پرواضح است روند کاهش شاخص‌ها تعدیل خواهد شد. مطابق نمودارهای ۱۲، ۱۳ و ۱۴، میزان اثربخشی افزایش ۲۵ درصدی آموزش، در مطلوبیت شبکهٔ ۰.۰۴ درصد و در شاخص نکسوس ۴.۶ درصد بوده است. میزان اثربخشی افزایش ۵۰ درصدی آموزش، در مطلوبیت شبکهٔ ۰.۰۷ درصد و در شاخص نکسوس ۶.۹ درصد بوده است و میزان اثربخشی افزایش ۷۵ درصدی آموزش، در مطلوبیت شبکه ۰.۱۲ درصد و در شاخص نکسوس ۷.۸ درصد بوده است.



شکل ۱۲. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو اول راه‌کار غیرسازه‌ای.



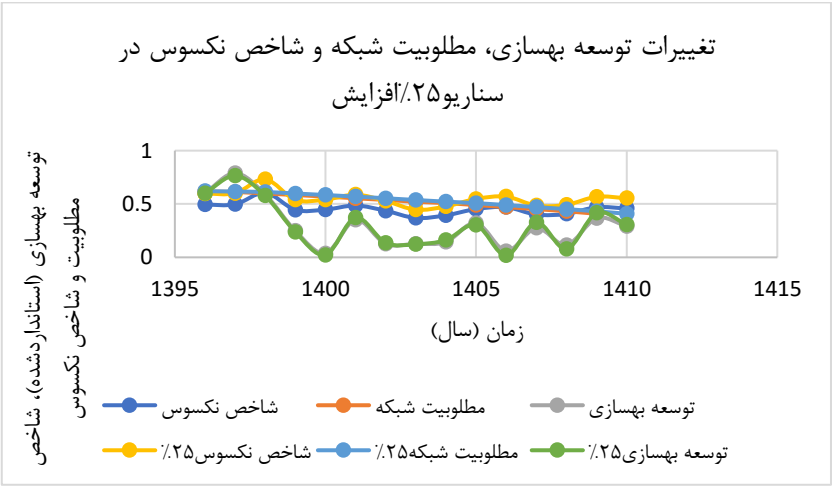
شکل ۱۳. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو دوم راه‌کار غیرسازه‌ای.



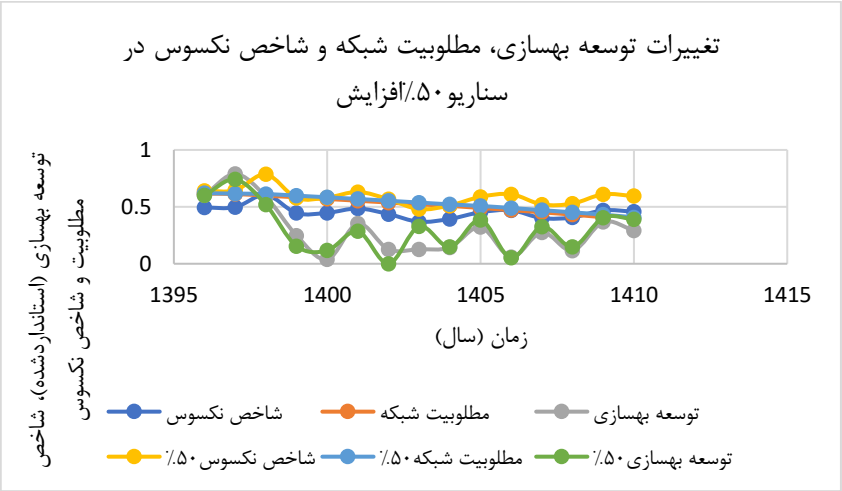
شکل ۱۴. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو سوم راه‌کار غیرسازه‌ای.

۲- سناریوهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد افزایش بودجهٔ نگهداری و لایروبی (راه‌کارهای سازه‌ای)

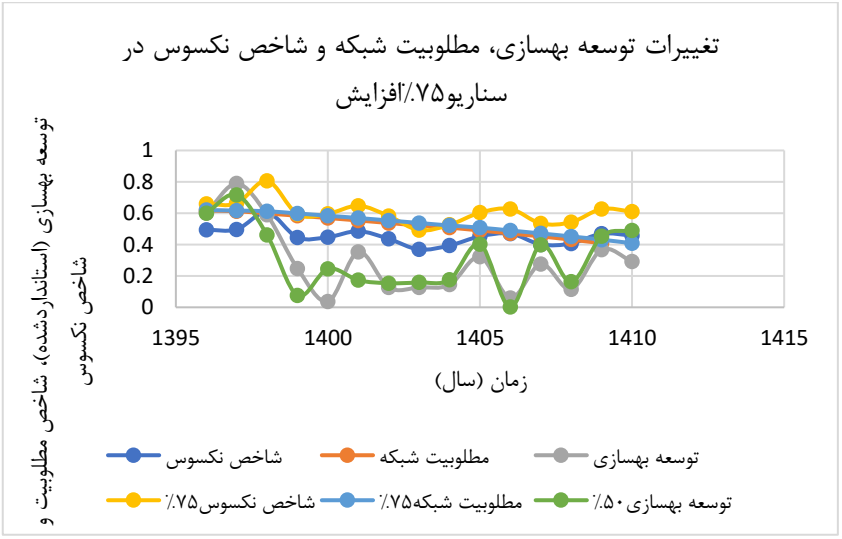
با انجام تحلیل حساسیت در پارامتر افزایش بودجهٔ بهسازی به عنوان راه‌کار سازه‌ای در تکرارهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد افزایش، پرواضح است روند کاهش شاخص‌ها تعدیل خواهد شد. مطابق نمودارهای ۱۵، ۱۶ و ۱۷، میزان اثربخشی افزایش ۲۵ درصدی بودجه‌های بهسازی، در مطلوبیت شبکهٔ ۰.۰۰ درصد و در شاخص نکسوس ۹.۶درصد بوده است. میزان اثربخشی افزایش ۵۰ درصدی بودجه‌های بهسازی، در مطلوبیت شبکهٔ ۰.۰۱۵ درصد و در شاخص نکسوس ۱۳.۷ درصد بوده است و میزان اثربخشی افزایش ۷۵ درصدی بودجه‌های بهسازی، در مطلوبیت شبکه ۰.۰۲۲ درصد و در شاخص نکسوس ۱۵.۳ درصد بوده است.



شکل ۱۵. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو اول راه‌کار سازه‌ای.



شکل ۱۶. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو دوم راه‌کار سازه‌ای.

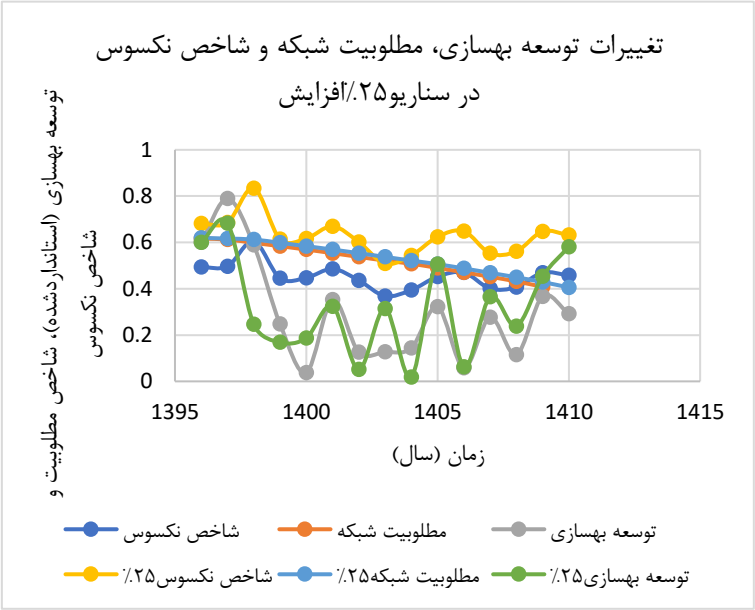


شکل ۱۷. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو سوم راه‌کار سازه‌ای.

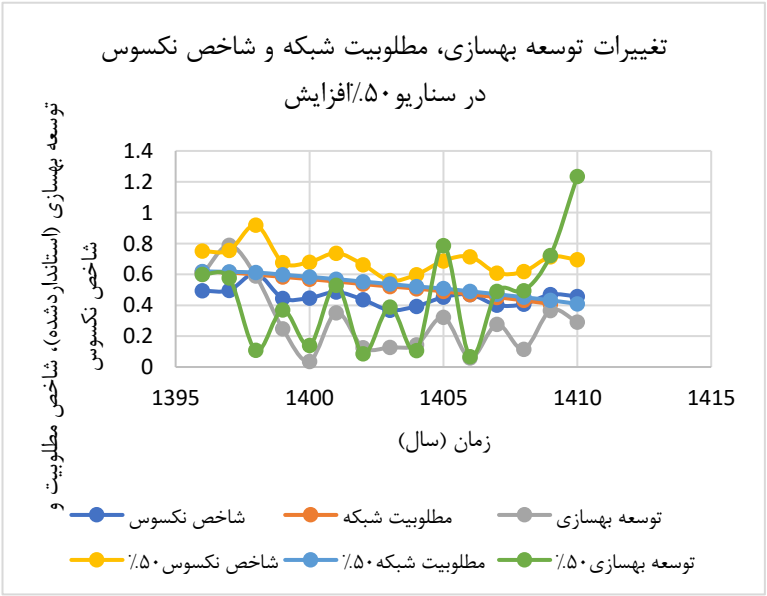
۳- سناریوهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد افزایش در آموزش و افزایش بودجهٔ بهسازی (راه‌کارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای)

با انجام تحلیل حساسیت در پارامتر آموزش به کارکنان و کشاورزان به عنوان راه‌کار غیرسازه‌ای و پارامتر بودجهٔ بهسازی به عنوان راه‌کار سازه‌ای در تکرارهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد افزایش، روند کاهش شاخص‌ها به بیشترین میزان تعدیل خواهد رسید. مطابق نمودارهای ۱۸، ۱۹ و ۲۰، میزان اثربخشی افزایش ۲۵ درصدی در راه‌کارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، در مطلوبیت شبکهٔ ۰.۰۵ درصد و در شاخص نکسوس ۱۷.۳۷ درصد بوده است. میزان اثربخشی افزایش ۵۰ درصدی در راه‌کارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، در مطلوبیت شبکهٔ ۰.۰۹ درصد و در شاخص نکسوس ۲۳.۸۳ درصد

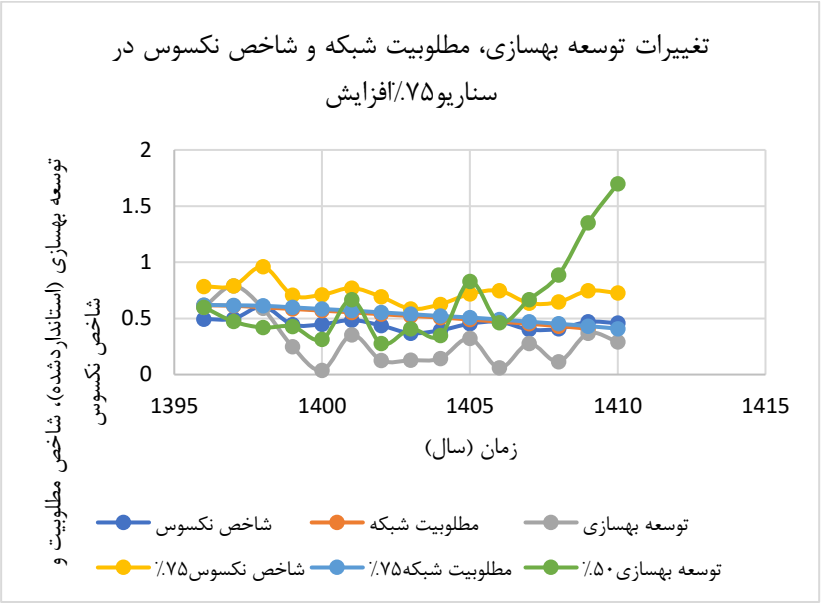
بوده است و میزان اثربخشی افزایش ۷۵ درصدی در راه‌کارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، در مطلوبیت شبکهٔ ۰.۳ درصد و در شاخص نکسوس ۲۶.۸۹ درصد بوده است.



شکل ۱۸. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو اول راه‌کار ترکیبی.



شکل ۱۹. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو دوم راه‌کار ترکیبی.



شکل ۲۰. شاخص‌های نکسوس، مطلوبیت و توسعهٔ بهسازی در سناریو سوم راه‌کار ترکیبی.

نتیجه‌گیری

با عنایت به نتایج اجرای مدل در سال‌های مدل‌سازی و سال‌های پیش‌بینی مدل، در بهترین حالت، اجرای سیاست‌های مربوط به بهبود شرایط مدیریتی ۰.۱۲ درصد در مطلوبیت شبکه و ۷.۸ درصد در شاخص نکسوس بهبود ایجاد خواهد کرد. این در حالی است که در بهترین حالت، اجرای سیاست‌های مربوط به بهبود شرایط فیزیکی ۰.۰۲۲ درصد در مطلوبیت شبکه و ۱۵.۳ درصد در شاخص نکسوس بهبود ایجاد خواهد کرد و نهایتاً در بهترین حالت، اجرای سیاست‌های مربوط به بهبود شرایط مدیریتی و بهبود شرایط فیزیکی ابنیه شبکه، ۰.۳ درصد در مطلوبیت شبکه و ۲۶.۸۹ درصد در شاخص نکسوس بهبود ایجاد خواهد کرد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اجرای هم‌زمان سیاست‌های بهبود شرایط فیزیکی و مدیریتی، نه تنها تنافری با یکدیگر ندارند بلکه برای بهبود حداکثری راندمان انتقال و توزیع آب، این دو سیاست لازم و ملزوم یکدیگر می‌باشند.

برای افزایش شاخص مطلوبیت شبکه‌های آبیاری، بهبود راندمان انتقال و توزیع آب (حداکثرسازی انتقال آب) به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مطلوبیت شبکهٔ آبیاری مورد تحقیق بسیاری از محققین بوده است. از منظر رویکردهای مرسوم مانند مدیریت جامع منابع آب[1]روش‌شناسی موجود تحقیقات، به کارگیری بهبود راندمان انتقال و توزیع از منظر راه‌کارهای سازه‌ای (بهسازی فیزیکی) و با صرف هزینه‌های اجرایی کانال‌ها و ابنیه، مورد نظر کارشناسان و محققین امر بوده است.

این در حالی است که راه‌کارهای موجود سازه‌ای و غیر سازه‌ای (بهسازی مدیریتی) مورد نظر در این تحقیق و به‌کارگیری هم‌زمان آنها، تنافری با یکدیگر نداشته است. رویکرد جدید نکسوس، با اعمال وزن‌های متوازن به عوامل امنیت منابع آب، غذا و انرژی سعی در بهبود جامع‌نگری در سه منبع ذیل یک سیستم واحد دارد. نتایج حاصل از تحقیق، میزان اثربخشی به‌کارگیری هم‌زمان راه‌کارهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای را تأیید می‌نماید.

[1] Integrated Water Resource Management(IWRM)

همان‌گونه که از نتایج تحقیق برمی‌آید؛ روند نزول شاخص نکسوس (همین‌طور شاخص مطلوبیت شبکه)، در بلندمدت و با توجه به شرایط حاکم، ناگزیر می‌باشد. با این حال همان‌طور که از روند تغییرات هر دو نمودار مطلوبیت شبکه و نکسوس مشخص است؛ میزان کاهش در شاخص نکسوس روند تغییرات در میزان توسعهٔ بهسازی شبکه را به طور قطع بهتر تبیین می‌نماید. این بدان معنا است که از بین دو شاخص مطلوبیت و نکسوس، تغییرات توسعهٔ بهسازی فرایند نزولی مشابهی را در شاخص نکسوس اعمال می‌کند و بنابراین این شاخص، نحوهٔ پیش‌بینی نزول توسعه در بهسازی شبکهٔ آبیاری قزوین را شبیه‌تر ارزیابی می‌نماید.

مطابق با نظر عام ذی‌نفعان در حوزهٔ یک شبکهٔ آبیاری، تخصیص بودجه در راستای بهبود شرایط فیزیکی کانال‌های انتقال آب به‌ویژه اختصاص بودجه در راستای بهسازی فیزیکی (نگهداری و تعمیرات از یک سو و لایروبی و بهبود شرایط فیزیکی کانال‌ها از سوی دیگر) راه‌حل مؤثر در بهبود مطلوبیت شبکه است؛ این در حالی است که مطابق نظر کارشناسان، پرداختن به هر دو حوزه بهبود شرایط مدیریتی به موازات شرایط فیزیکی (اعم از افزایش سطح دانش و آگاهی کشاورزان و کارکنان شبکه از یک سو و انتقال مدیریت به تعاونی‌های کشاورزان با در نظر گرفتن سطح مسئولیت‌پذیری کشاورزان از سوی دیگر و نهایتاً افزایش شاخص پرسنلی)، باعث افزایش مطلوبیت شبکه شده و این دو موضوع به عنوان دو رکن اساسی بهسازی شبکه‌های آبیاری مطرح می‌شود.

References

[1] Renault, D., Facon, T., & Wahaj, R. (2007, October 3-6). *Mapping system and services for canal operation techniques: the MASSCOTE approach.* Fourth International Conference on Irrigation and Drainage, Sacramento, California. https://hdl.handle.net/10217/208275

[2] Monem, M., Gaheri, A., Badzahr, A. A., & Garavi, H. (2000, November 15). *Performance assessment of Qazvin irrigation networks using PSIAC model.* Proceedings of The 10th Congress of Iranian National Committee of Irrigation and Drainage, Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/10052/

[3] Siahi, M. (2007, April). *Rehabilitation of Qazvin irrigation networ*. Technical Workshop on Rehabilitation, Modernization and Performance Improvement of Irrigation Networks.

[4] Wulandari, L. K. (2021). Rehabilitation and Development of Irrigation System in Lokoliku Village, West Nusa Tenggara. *dimensions*, *5*(11), 93-97. https://paper.researchbib.com/view/paper/342629

[5] ElGamal, T., ElFetyany, M., & ElKassar, G. (2019). Effect of irrigation network rehabilitation on water management-case study: Tanta Navigation canal – Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, *58*(4), 1215-1227. https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.10.005

[6] Vaez Tehrani, M., Monem, M. J., & Bagheri, A. (2013). A system dynamics approach to model rehabilitation of irrigation networks case study: qazvin irrigation network, Iran. *Irrigation and Drainage*, *62*(2), 193-207. https://doi.org/10.1002/ird.1729

[7] Plusquellec, H. (2002). *How design, management and policy affect the performance of irrigation projects*. Food and Agriculture Organization. https://www.fao.org/3/ac799e/ac799e00.htm

[8] Ihlen, Ø., Toledano, M., & Just, S. N. (2021). Using rhetorical situations to examine and improve vaccination communication. *Frontiers in Communication*, *6*, 697383. https://doi.org/10.3389/fcomm.2021.697383

[9] Penning-Rowsell, E., Johnson, C., & Tunstall, S. (2006). 'Signals' from pre-crisis discourse: Lessons from UK flooding for global environmental policy change? *Global Environmental Change*, *16*(4), 323-339. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.01.006

[10] Purseglove, J. (1988). *Taming the flood: a history and natural history of rivers and wetlands*. Oxford University Press. https://books.google.com/books/about/Taming_the_Flood.html?id=P3zwAAAAMAAJ&source=kp_book_description

[11] Tehrani, M. V., Bagheri, A., Monem, M. J., & Khan, S. (2012). Analysing Structural And Non-Structural Options To Improve Utility Of Irrigation Areas Using A System Dynamics Approach. *Irrigation and Drainage*, *61*(5), 604-621. https://doi.org/10.1002/ird.1697

[12] Wheater, H., & Evans, E. (2009). Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy*, *26*(3), S251-S264. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.019

[13] Waughray, D. (Ed.). (2011). *Water security, the water-food-energy-climate nexus: the World Economic Forum Water Initiative*. World Economic Forum. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-026-2

[14] Smajgl, A., Ward, J., & Pluschke, L. (2016). The water–food–energy Nexus – Realising a new paradigm. *Journal of Hydrology*, *533*, 533-540. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.033

[15] Gozini, H., Zahraie, B., & Ravar, Z. (2021). System Dynamics Modeling of Water–Energy Nexus for Resource-Saving Policy Assessment. *International Journal of Environmental Research*, *15*(2), 349-367. https://doi.org/10.1007/s41742-021-00321-5

[16] Ravar, Z., Zahraie, B., Sharifinejad, A., Gozini, H., & Jafari, S. (2020). System dynamics modeling for assessment of water–food–energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. *Ecological Indicators*, *108*, 105682. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105682

[17] Sharifinejad, A., Zahraie, B., Majed, V., Ravar, Z., & Hassani, Y. (2020). Economic analysis of Water-Food-Energy Nexus in Gavkhuni basin in Iran. *Journal of Hydro-environment Research*, *31*, 14-25. https://doi.org/10.1016/j.jher.2020.03.001

[18] Bayat, F., Roozbahani, A., & Hashemy Shahdany, M. (2022). Improving the Performance of Agricultural Water Distribution Systems in Irrigation Networks Using Water-Food-Energy Nexus. *Water and Irrigation Management*, *11*(4), 949-965. https://doi.org/10.22059/jwim.2022.333328.938

[19] Monem, M. J., Delavar, M., & Hoseini, S. M. (2020). Application and Evaluation of Water, Food and Energy (NEXUS) in Irrigation Networks Management Case Study of Zayandehrud Irrigation Network. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(1), 275-285. https://idj.iaid.ir/article_107678.html?lang=en

[20] Ghorbani, E., Monem, M. J., & Vaez Tehrani, M. (2020). Development of Water, Energy and Food Nexus Model in Irrigation Networks Based on Water Adequacy and Stability Indicators (Qazvin Irrigation Network Case Study). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *21*(80), 61-80. https://doi.org/10.22092/idser.2020.343189.1432

[21] Naeini, M. S., Nazari, B., & Sotoodehnia, A. (2022). Strategic Analysis of Water Productivity and Providing Water Supply and Demand Management Solutions in the Irrigation Network with the Method of Drawing Strategic Map. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *16*(4), 697-711. https://idj.iaid.ir/article_155365_en.html