Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 14, No.28, Winter 2023 p: 14-36

"Research Paper"

Development of the Conceptual Model for Water, Food and Energy Chain (Nexus) in Water Management in Irrigation Networks Using Systems Dynamics Approach

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

1- Ph.D. Student, Department of Water engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- professor, Department of Water engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, (Corresponding author: monem_mj@modares.ac.ir)

3- Associate professor, Department of Water engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 10 April, 2023 Accepted: 10 June, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: The main purpose of this paper is to present a conceptual model for integrated management of irrigation network based on water, food and energy linkage (Nexus). This requires identifying the main concerns related to irrigation networks, introducing and reflecting important decision variables and interactions between them, which explains the dynamics of water, food and energy chains within the boundaries a unit (irrigation network) of a catchment. This approach has received less attention in the management of irrigation networks, which is expected to solve some of the problems of irrigation network management. The method used in this research is based on a review of the Nexus chain management literature, the concepts of sustainability and security of water, food and energy resources in irrigation networks, and a practical approach to system dynamics. The major part of the research relied on field activities, including inspection to irrigation networks and interviews with provincial experts, specialists and technicians, Agricultural water users. Important variables affecting the integrated management of irrigation networks, which have been used in designing the framework, analyzing and determining behavioral patterns, were identified.

Material and Methods: The eight main concerns of irrigation networks as important mechanisms of system dynamics for both levels (network management and field management) were identified as follows:

- Subsystem of water resource limitation in the domain of an irrigation network that affects the growth of the most important economic loop in the region (Limit to growth Archetype).
- The combined subsystem in the face of the weakness of the equity index in the network (the success to the successful archetype in obtaining more water resources, the shifting the burden archetype in providing the water needs of the downstream farmers and the escalation archetype in the increase in the amount of water needed as a result of changes in the cultivation pattern in general Agriculture of the region).
- The set of personal and managerial actions in the face of the shortage of water volume available in the network resulting from the adoption of decisions without long-term consequences (combined archetypes of fixes that backfire in meeting water needs from groundwater resources, allocation of more water resources to meet network obligations and changes in the cultivation pattern to obtain more yields).
- The set of individual decisions of farmers and the symptomatic solutions of managers in the face of unsupplied water demand in the agricultural sector (a combination archetypes of fixes that backfire for unauthorized access to groundwater resources and the archetype of shifting the burden in the face of network managers with the problem of illegal harvesting activities by providing a solution for choking wells).
- Product performance subsystem (problem of using agricultural inputs) (combined archetypes of fixes that backfire in farmers' use of agricultural inputs and the its consequences on land salinity, as well as increasing the farmed area to achieve more yield).
- The subsystem of facing the most important problem of the agricultural sector (water productivity in agriculture), (the archetype of shifting the burden in dealing network officials with improving water productivity through improving network efficiency versus the fundamental solution of improving water productivity at the agricultural block level and archetype of fixes that backfire of the development of the arrangement delivery plan with the tools of educating to farmers in front of the long-term side effects of more management of water delivered to farmers).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]

[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

- The subsystem of noticeable decrease in the utility of the network (the archetype of eroding goals in accordance with the pressures on the network managers and ultimately the downgrading of the initial goals of the irrigation network plan, which requires a review of the structural infrastructure and managerial empowerment in the irrigation network).
- The explanation subsystem of the Nexus index as the main combined index from the point of view of water, food and energy (providing a fundamental solution to improve the utility versus increasing the farmed area as an ineffective symptomatic solution in this field).
Results: According to the main concerns, behavioral patterns were explained and identified based on the decision mechanisms of water users and network managers, in the short and long term, and their side effects. Six system archetypes were identified that represent the dynamics of the irrigation network and predict the future utility of the network based on the water, food and energy chain (Nexus). These archetypes include: "Limit to Growth", "Fixes that Backfire", "Success to the Successful", "Escalation", "Eroding goals" and "Shifting the Burden".
Conclusion: Three strategies for controlling the above mechanisms as regional Solution (local strategies) are proposed as follows: a- Water Distribution Improvement Schemes, b- Determining the Crop pattern and Irrigation density in proportion to the network capacity and c- Groundwater Extraction Control. As a result of this research, a conceptual model has been developed whose main achievement is to recommend the modification of the existing process of distribution schemes along with the modification of the crop pattern in accordance with the primary design and the water need of farmers.

Keywords: Conceptual Model, Interlinkages (Nexus), Integrated Management, Irrigation Network, System Dynamics, Water-Food-Energy

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]

[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

توسعه مدل مفهومی پیوند آب، غذا و انرژی (Nexus) در مدیریت آب در شبکه‌های آبیاری با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها

مصطفی اصلانی[۱]، محمدجواد منعم[۲] و 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، (نویسنده مسوول: monem_mj@modares.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۰
صفحه: ۱۴ تا ۳۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: هدف اصلی این مقاله ارائه یک مدل مفهومی برای مدیریت یکپارچه شبکه آبیاری بر اساس پیوند آب، غذا و انرژی (Nexus) است. این امر مستلزم شناسایی دغدغه‌های اصلی مرتبط در شبکه‌های آبیاری، معرفی و انعکاس متغیرهای مهم تصمیم‌گیری و تعاملات بین آنها است که پویایی زنجیره‌های آب، غذا و انرژی را در مرزهای یک واحد (شبکه آبیاری) از یک حوضه آبریز توضیح می‌دهد. این رویکرد در مورد مدیریت شبکه‌های آبیاری کمتر مورد توجه قرار گرفته، که انتظار می‌رود با کاربرد آن، بخشی از مشکلات مدیریت شبکه‌های آبیاری مرتفع گردد. روش مورد استفاده در این تحقیق بر اساس بررسی ادبیات مدیریت زنجیره Nexus، مفاهیم پایداری و امنیت منابع آب، غذا و انرژی در شبکه‌های آبیاری، و رویکرد عملی پویایی سیستم است. بخش عمده تحقیق متکی بر فعالیت‌های میدانی شامل بازدید از شبکه‌های آبیاری و مصاحبه با خبرگان، متخصصان و تکنسین‌های استانی، کاربران آب و کشاورزان، بوده است. متغیرهای مهم مؤثر بر مدیریت یکپارچه شبکه‌های آبیاری شناسایی شدند، که در طراحی چارچوب، تجزیه و تحلیل، و تعیین الگوهای رفتاری بکار رفته‌اند.

مواد و روش‌ها: هشت دغدغه اصلی شبکه‌های آبیاری به‌عنوان مکانیزم‌های مهم پویایی سیستم برای هر دو سطح (مدیریت شبکه و مدیریت مزرعه) به شرح زیر شناسایی شد:

- زیرسیستم محدودیت منابع آب در حوزه یک شبکه آبیاری که رشد مهمترین حلقه اقتصادی منطقه را متأثر می‌کند (الگوی محدودیت رشد).
- زیرسیستم ترکیبی در مواجهه با ضعف شاخص عدالت در شبکه آبیاری (الگوی موفقیت در پی موفق در کسب منابع آب بیشتر، الگوی جابجایی مشکل در تأمین نیاز آبی کشاورزان پایین‌دست و الگوی تهدید و تشدید در افزایش میزان نیاز آبی حاصل از تغییرات الگوی کشت در کل کشاورزی منطقه).
- زیرسیستم مجموعه اقدامات شخصی و مدیریتی در مواجهه با کسری حجم آب موجود در دسترس شبکه حاصل از اتخاذ تصمیمات بدون پشتوانه بلندمدت (الگوهای ترکیبی راه‌حل‌های منجر به شکست در تأمین نیاز آبی از منابع زیرزمینی، تخصیص منابع بیشتر آبی جهت تأمین تعهدات شبکه و تغییرات در الگوی کشت جهت تحصیل محصول بیشتر).
- زیرسیستم مجموعه تصمیمات فردی کشاورزان و راه‌کارهای مقطعی مدیران در مواجهه با نیاز آبی تأمین نشده در بخش کشاورزی (الگوی ترکیبی از راه‌حل‌های منجر به شکست جهت دسترسی غیرمجاز به منابع زیرزمینی و الگوی جابجایی مشکل در مواجهه مدیران شبکه با مشکل برداشت‌های غیرمجاز با ارائه راه‌حل انسداد چاه‌ها).
- زیرسیستم میزان عملکرد محصول (معضل استفاده از نهاده‌های کشاورزی) (الگوی ترکیبی راه‌حل‌های منجر به شکست در استفاده کشاورزان از نهاده‌های کشاورزی و عواقب شوری اراضی و همچنین افزایش سطح زیر کشت در رسیدن به محصول بیشتر).
- زیرسیستم مواجهه با مهمترین معضل بخش کشاورزی (بهره‌وری آب در کشاورزی)، (الگوی جابجایی مشکل در برخورد مسئولان شبکه در بهبود میزان بهره‌وری آب از طریق بهبود راندمان شبکه در مقابل راه‌حل بهبود بهره‌وری آب در سطح بلوک‌های زراعی و الگوی راه‌حل منجر به شکست توسعه طرح تحویل توافقی با ابزار آموزش به کشاورزان در مقابل تأثیرات بلندمدت مدیریت بیشتر آب تحویلی به کشاورزان).
- زیرسیستم کاهش محسوس مطلوبیت شبکه (الگوی تقلیل اهداف مطابق با فشارهای وارد به مسئولان شبکه و نهایتاً تنزل اهداف اولیه طرح شبکه آبیاری که نیازمند بازنگری در زیرساخت‌های سازه‌ای و توانمندسازی مدیریتی در شبکه آبیاری است).
- زیرسیستم تبیین شاخص نکسوس به‌عنوان اصلی‌ترین شاخص ترکیبی از منظر آب، غذا و انرژی (ارائه راهکار بهبود مطلوبیت در مقابل افزایش سطح زیر کشت به‌عنوان راه‌حل بی‌اثر در این زمینه).

یافته‌ها: با توجه به دغدغه‌های اصلی، الگوهای رفتاری، بر اساس سازوکارهای تصمیمات آب‌بران و مدیران شبکه، در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت، و عوارض جانبی آنها تبیین و شناسایی شدند. شش الگوی سیستمیک که ابزار پویایی‌شناسی شبکه آبیاری و پیش‌بینی آینده مطلوبیت شبکه بر اساس زنجیره آب، غذا و انرژی (Nexus) است تشخیص داده شد. این الگوها عبارتند از: محدودیت رشد، تهدید و تشدید، راه‌حل‌های منجر به شکست، موفقیت برای موفق، تقلیل اهداف و انتقال بار مسئولیت.

نتیجه‌گیری: به‌عنوان یک نتیجه از این تحقیق، یک مدل مفهومی توسعه داده شده است که رهیافت اصلی آن توصیه جهت اصلاح فرآیند موجود طرح‌های توزیع به‌همراه اصلاح در شیوه الگوی کشت و سطح مطلوب کشاورزی منطبق با طرح اولیه و نیاز کشاورزان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پویایی سیستم‌ها، پیوند آب- غذا- انرژی، شبکه‌های آبیاری، مدیریت یکپارچه، نکسوس

مقدمه

دسترسی به آب به دو عامل خشکسالی و پتانسیل فنی برای استفاده از آن بستگی دارد. بخش عمده‌ای از سرمایه‌گذاری در بخش آب شامل غلبه بر محدودیت‌ها با در نظر گرفتن نیاز آب پروژه‌های آینده مرتبط به آن است. وجود محدودیت در بخش آب می‌تواند بر پتانسیل تولید و مصرف غذا و انرژی و همچنین استفاده از فن‌آوری‌های مورد نیاز این بخش‌ها تأثیر بگذارد (Gleick, 1994; Mielke, Anadon, & Narayanamurti, 2010; Mitigation, 2011). انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۳۵، انرژی مورد نیاز جهان ۴۰-۳۵٪ و مصرف برق تا ۷۰٪ افزایش یابد (Conti et al., 2011; Madani & Khatami, 2015). هزینه‌های مربوط به مصرف آب نیز تا سال ۲۰۵۰ حداقل ۵۵٪ افزایش خواهد یافت (Allan,et al., 2015).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

مطابق با تئوری (Hoff, Iceland, Kuylenstierna, & Te Velde, 2012)، نیاز به آب شیرین، انرژی و مواد غذایی، تحت فشارهای افزایش جمعیت و مهاجرت، توسعه اقتصادی، تجارت جهانی، فناوری و فرهنگ و تغییرات آب و هوایی به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. با توجه به مصرف بیش از ۷۰٪ آب در بخش کشاورزی و تولید غذا (FAO, 2014a)، این بخش حدود ۳۰٪ انرژی را مصرف می‌کند (FAO, 2014b).

ارتباطات داخلی و مداوم بین سیستم‌های آب، غذا و انرژی توسط چندین محقق شناسایی و معرفی شدند (Keairns, Darton, & Irabien, 2016; Rasul, 2014; Rasul & Sharma, 2015, 2016; Ringler, Bhaduri, & Lawford, 2013). ارتباطات متقابل آب، غذا و انرژی نه فقط در جوامع علمی که در جوامع سیاست‌گذاری نیز مورد بحث است. کنفرانس Nexus بن ۲۰۱۱ آغازکننده بحث‌های جهانی در این زمینه بوده است. درحالیکه شناخت تعامل بین سیستم‌های آب، غذا و انرژی به‌عنوان زنجیره Nexus، گام مهمی در سیاست‌گذاری سیستمی معرفی شده است؛ مهمترین چالش پیش رو نحوه تعریف و تبیین این تعاملات سیستمی در زنجیره Nexus است.

بیشتر ادبیات مورد استفاده در این سیستم‌ها روی روشی متمرکز است که بتواند داده‌های ورودی مورد نیاز آب، انرژی یا غذا یا ترکیبی از آنها را برای توضیح هریک از سیستم‌ها کمّی کند (Siddiqi & Fletcher, 2015). اگرچه مدل کمّی و کمّی‌سازی روابط، چشم‌اندازهای ارزشمند و مبانی محکمی برای هر تحلیل سیستمی فراهم می‌کند؛ اما باید توجه داشت که نمی‌توان ارتباطات متقابل در سیستم‌های آب، غذا و انرژی را به روابط خطی تقلیل داد، بلکه در واقع، چندین معادله غیرخطی درون سیستم‌های فرعی و بین آنها وجود دارد. ارتباط قوی متقابل در سیستم آب، غذا و انرژی، ضرورت یک دیدگاه جامع و سیستمی را برجسته می‌کند زیرا در غیر این صورت احتمال بروز پیامدهای پیش‌بینی نشده وجود دارد. به‌عنوان مثال، (Bazilian et al., 2011) پس از ارزیابی یکپارچه منابع و مدل‌سازی سیستم آب، غذا و انرژی نتیجه گرفتند که در استفاده از ابزارهای تحلیلی که برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری استفاده می‌شود؛ به‌طور کلی تمرکز فقط بر بخشی است که امکان لغو ارتباط آن بخش با سایر منابع را فراهم می‌کند. همچنین، این واقعیت در مورد استفاده از پویایی سیستم که برای تجزیه و تحلیل هر بخش به‌طور جداگانه استفاده شده است؛ درست است.

نمونه‌های بارز این تحقیقات را می‌توان در مقالات زیر مشاهده کرد:

سیستم آب: (Cheng, 2010; Sahin, Stewart, & Porter, 2015; Winz, Brierley, & Trowsdale, 2009; Xi & Poh, 2013; Zarghami & Akbariyeh, 2012).

سیستم غذا: (Li, Dong, & Li, 2012; Rozman et al., 2008; Shi & Gill, 2005).

سیستم انرژی: (Aslani, Helo, & Naaranoja, 2014; Qudrat-Ullah, 2015; Robalino-López, Mena-Nieto, & García-Ramos, 2014). هر سیستم چندین مولفه دارد. در سیستم‌های خطی، مولفه‌ها بر روی سلسله مراتب تأثیر می‌گذارند و هیچ بازخوردی بین مولفه‌ها وجود ندارد. در رویکرد پویایی سیستم‌ها، بازخوردها در الگوهای رفتاری اعمال می‌شوند (Sušnik, Vamvakeridou-Lyroudia, Savić, & Kapelan, 2012). پویایی سیستم (SD)، به‌طور مکرر در تحقیقات منابع آب اعمال شده است که نمونه‌های آن عبارتند از: (Atanasova, Todorovski, Džeroski, & Kompare, 2006; Balali, Khalilian, Viaggi, Bartolini, & Ahmadian, 2011; Guan, Gao, Su, Li, & Hokao, 2011; Khan, Yufeng, & Ahmad, 2009; Vaez Tehrani, Monem, & Bagheri, 2013).

اولین و مهمترین گام در توسعه یک مدل SD، توسعه یک مدل مفهومی است که نمودار حلقه‌های علّی بین مولفه‌ها را توضیح می‌دهد. سپس یک مدل کمّی بر اساس مدل مفهومی توسعه داده می‌شود و در نهایت، با توجه به نیاز به تجزیه و تحلیل دقیق‌تر، مدل کیفی نیز توصیف می‌شود (Baker, 2006).

با توجه به کمبود منابع آب و افزایش رقابت توسط سایر بخش‌ها مانند صنعت، مصارف شهری و محیط زیست، مدیریت مؤثر منابع آب در شبکه‌های آبیاری به‌عنوان بزرگترین مصرف کننده منابع آب بسیار مهم است. از آنجا که ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و از نظر دما و بارندگی توزیع غیریکنواختی دارد؛ این موضوع حادتر است. شبکه‌های آبیاری در ایران بیش از ۸۰٪ از منابع آب را مصرف می‌کنند در حالی‌که عملکرد آنها بسیار کمتر از حد انتظار است (Hosseinzadeh, et al., 2017). تحقیقات انجام شده در زمینه شبکه‌های آبیاری در ایران عموما تنها در مدیریت بهینه آب تمرکز داشته‌اند، که در صورت موفقیت، الزامی برای عملکرد مطلوب تولید غذا ایجاد نمی‌کند. بنابراین، تحقیق در مورد هر یک از منابع آب، غذا و انرژی و تعامل و هماهنگی هریک از سیستم‌ها با دیگری ضروری است و لازم است که این مجموعه تحت یک سیستم در نظر گرفته شود. تعامل بین اجزای شبکه‌های آبیاری و سایر سیستم‌ها، به‌ویژه بخش تولید مواد غذایی (بخش کشاورزی) به‌صورت یک مجموعه پویا و سیستمیک تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است.

برخی تحقیقات در زمینه احیا و به‌سازی شبکه‌های آبیاری و همچنین سیستم‌های کنترل خودکار آبیاری در زمینه این شبکه‌ها با استفاده از پویایی سیستم‌ها انجام شده است. (Vaez Hatam, Monem & Bagheri, 2013)؛ (Tehrani et al., 2013) و (Sha'bani, Monem & Bagheri, 2014) با استفاده از چارچوب System Dynamics شاخص‌های شبکه‌های آبیاری را در زمینه به‌سازی این شبکه‌ها ارزیابی کردند. (Hosseinzadeh et al., 2017) با در نظر گرفتن سیستم‌های کنترل اتوماسیون و اجزای شبکه‌های آبیاری مانند شاخص‌های کیفی شبکه، به بهبود مدیریت شبکه‌های آبیاری با چارچوب پویایی سیستم پرداختند.

اما تاکنون، مدل مفهومی در ارتباط با ابعاد فنی، اجتماعی و مدیریتی بر اساس رویکرد پیوند آب، غذا و انرژی در شبکه‌های آبیاری توسعه نیافته است. در این مقاله رفتار شاخص‌های فنی شبکه آبیاری با یک مدل مفهومی در رابطه با تولید غذا و همچنین مصرف انرژی در مرزهای شبکه ارزیابی شده است و از پویایی سیستم به‌عنوان ابزار تحقیق برای

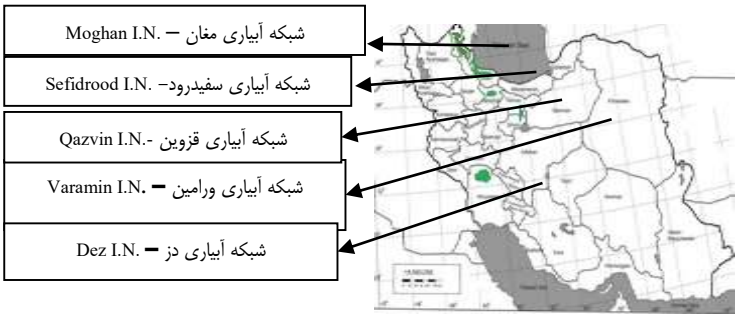
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

دستیابی به این هدف استفاده شده است. هدف اصلی این مقاله بررسی متغیرهای مؤثر بین اجزای شبکه و فرآیندهای دینامیکی روابط اجزای شبکه توزیع آب و مجموعه‌های تولید مواد غذایی و تعامل آنها در طولانی‌مدت است. این تلاش در نهایت منجر به ارائه یک مدل مفهومی برای مدیریت یکپارچه شبکه آبیاری بر اساس پیوند آب، غذا و انرژی (Nexus) خواهد شد. تصمیم‌گیران می‌توانند با کمک مدل توسعه یافته و تولید مدل کمی آن در آینده، سناریوهای مختلف را برای اجرای سیاست‌های مدیریت در سطح شبکه آبیاری ارزیابی کنند.

مواد و روش‌ها

معضلات مهم شبکه‌های آبیاری انتخاب شده ایران

بر اساس موقعیت جغرافیایی، تنوع الگوی محصولات، مناطق زراعی، مشارکت ذی‌نفعان، نوع منابع آبی مورد استفاده و نوع مدیریت شبکه‌های آبیاری و همچنین انواع مشکلات حاد مشاهده شده در شبکه‌های آبیاری ایران در حوزه‌های آبخیز متفاوت در ایران، پنج شبکه آبیاری مورد بازدید قرار گرفتند، بررسی شدند و با کارشناسان شاغل در مهندسین مشاور، بهره‌بردار و کارشناسان اداره آب و جهاد کشاورزی در آن مناطق مصاحبه انجام شد که شامل: شبکه آبیاری قزوین و شبکه آبیاری ورامین از حوضه آبریز فلات مرکزی ایران، شبکه آبیاری سفیدرود و شبکه آبیاری مغان از حوضه آبریز دریای مازندران و شبکه آبیاری دز از حوضه آبریز خلیج فارس که موقعیت آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایی از شبکه‌های آبیاری منتخب
Figure 1. View of selected irrigation networks

بر اساس مشاهدات و بررسی‌های به‌عمل آمده عمده معضلاتی که در شبکه‌های آبیاری ایران مورد اشاره قرار گرفتند عبارتند از:

طراحی شبکه بدون توجه به منابع محدود، نیازهای آینده و واقعیت تلفات شبکه‌ها و به‌وجود آمدن اختلاف بین تقاضا و آب تخصیص‌یافته.

عدم انتقال و توزیع آب به‌سمت بلوک‌های زراعی به‌صورت موثر و کارآمد.

شکاف قانونی در دریافت صحیح پول آب مصرفی کشاورزان و در نتیجه بی‌عدالتی در توزیع آب.

عدم اجرای نظارت بر الگوی کشت به‌خصوص در مناطقی که آب کافی در اختیار دارند.

مشارکت ندادن کشاورزان در تصمیم‌گیری‌ها، بهره‌برداری و نگهداری از شبکه ناشی از کمبود انگیزه و دانش مدیریتی مدیران.

سطح پایین آموزش، آگاهی و فرهنگ کشاورزان.

نبود تعامل کافی بین وزارت نیرو و وزارت کشاورزی در تخصیص و تحویل آب.

عدم احساس مالکیت کشاورزان نسبت به اموال و سازه‌ها و در نتیجه، تخریب آنها، سرقت وسایل و همچنین برداشت غیرمجاز آب.

توسعه اراضی تحت کشت، افزایش جمعیت و خردشدن اراضی.

رسوب‌گذاری در کانال‌ها به‌دلیل کاهش ذخیره مفید مخزن سد و نبود ملاحظات به‌سازی شبکه‌ها.

توسعه مدل مفهومی

با اطلاعات به‌دست آمده از مشاهدات و پاسخنامه‌ها، یک مدل مفهومی برای اصلاح سیستم مدیریت ایجاد شد. مدل توسعه یافته شامل برنامه مدیریت موجود با اصلاح ساختار با استفاده از رویکرد تفکر سیستمی است.

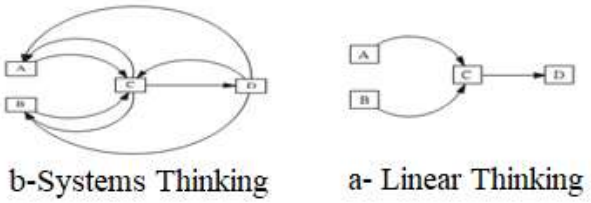
بنابراین در توسعه مدل نیز دو مرحله روش شناختی را باید در نظر گرفت: الف) مفهوم‌سازی دینامیکی فرضیات: این مرحله شامل تعریف مشکلات یک شبکه آبیاری از منظر زنجیره نکسوس بوده است. ب) تبیین مشکلات از منظر پویایی سیستم‌ها: در این مرحله متغیرها در زیرسیستم‌هایی در ساختار حلقه‌های علی به هم مرتبط و نهایتاً بیان شدند که هرکدام بخشی از مسائل شبکه آب و بلوک‌های کشاورزی را در مدل پیشنهادی مدیریت جامع تشکیل می‌دهد.

برای بیان این حلقه‌های علی، از روش الگوهای رفتاری نمونه که توسط (Senge, 2005) ارائه شده، در تبیین فرضیه دینامیکی و سناریوها استفاده شده است که عبارتند از: ۱) رشد و سرمایه‌گذاری کم؛ ۲) محدودیت‌های رشد؛ ۳) انتقال بار مسئولیت؛ ۴) فرسایش اهداف؛ ۵) تهدید و تشدید؛ ۶) موفقیت در پی موفق؛ ۷) راه‌حل‌های منجر به شکست (Stuardo-Ruiz, Peña-Cortes, & Ther-Rios, 2014). این الگوهای رفتاری سیستمی نشان‌دهنده سناریوهای موجود و راه‌حل‌های ممکن در مدیریت آینده شبکه است. اهمیت استفاده از این الگوهای سیستمی در امکان تجزیه و تحلیلی است که بین فرایند نمایش نگرش‌ها ارائه شده است.

رویکرد پویایی سیستم‌ها

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

پویایی سیستم‌ها شاخه‌ای از تفکر سیستمی است که ابزار شبیه‌سازی را برای مدل‌سازی روابط بازخورد در سیستم فراهم می‌کند. در این رویکرد، سیستم‌ها با بازخورد از خروجی‌ها به ورودی‌ها و مراقبت از تعاملات بین عناصر (Bagheri, 2006) برخلاف سیستم‌های باز که در شکل ۲-الف نشان داده شده است به‌عنوان حلقه‌های بسته در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۲-ب). چنین سیستم‌هایی از حلقه‌های منفی و مثبت تشکیل شده‌اند که توسط روابط بازخوردی بین عناصر سیستم پشتیبانی می‌شوند. از نظر رویکرد پویایی سیستم‌ها، حلقه‌های تعادل بحرانی یا بازخورد منفی نیاز به اصلاح خود سیستم با تنظیم حلقه‌های تقویت‌کننده یا بازخورد مثبت دارند (Hjorth & Bagheri, 2006). هدف معمول یک مطالعه پویایی سیستم، درک چگونگی و چرایی ایجاد پویایی پدیده و سپس جستجوی سیاست‌هایی برای بهبود بیشتر عملکرد سیستم است (Vlachos, et al., 2007). این یک ابزار مفید برای مطالعه روند تغییرات و علل آنها، درک فرآیندهای فیزیکی و نتیجه اطلاعات و طراحی و شبیه‌سازی پیامدهای سیاست‌ها در یک سیستم است. فعل و انفعالات عناصر سیستم، "ساختار" آن را ایجاد می‌کند که مسئول رفتار سیستم است (Sterman, 2000). مراحل مدل‌سازی در پویایی سیستم به شرح زیر است (Stave, 2003): تعریف مشکل؛ شرح سیستم؛ توسعه مدل؛ راستی آزمایی مدل طراحی و شبیه‌سازی سیاست‌ها.



شکل ۲- الف- سیستم باز تحت الگوی تفکر خطی ب- سیستم بسته تحت الگوی تفکر سیستمی
Figure 2. a. Open system under the linear thinking model b. closed system under the systemic thinking model

نقشه نمودارهای ساختار بازخورد یک سیستم، یک نقطه شروع برای تجزیه و تحلیل آنچه باعث ایجاد یک الگوی خاص رفتار می‌شود؛ است. الگوهای رفتاری برای به‌دست آوردن بینش در مورد "ماهیت" مسئله اساسی و ارائه ساختار یا بنیادی اساسی که می‌توان بر اساس آن مدلی بیشتر توسعه داده شود، مفید هستند. الگوهای رفتاری به‌ندرت به‌تنهایی برای مدل‌سازی کافی هستند. آنها ماهیتی عمومی دارند و به‌طور کلی قادر به آشکار کردن متغیرهای مهمی نیستند که بخشی از یک سیستم واقعی هستند (Hosseinzadeh et al., 2017). بدون آگاهی صریح از این متغیرهای واقعی، برای مدیران دشوار است که نقاط خاص اهرم را مشخص کنند که در آن تغییرات در ساختار می‌توانند به تغییرات پایدار در رفتار سیستم منجر شود (Brzezina et al., 2017).

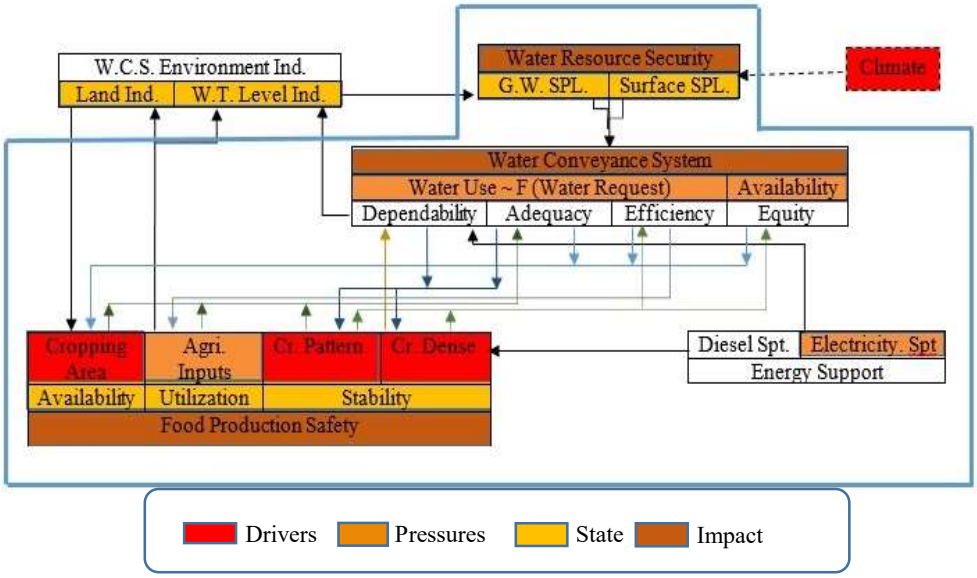
نتایج و بحث

تبیین چارچوب مفهومی و مفهوم‌سازی مسئله (فرضیه دینامیکی)

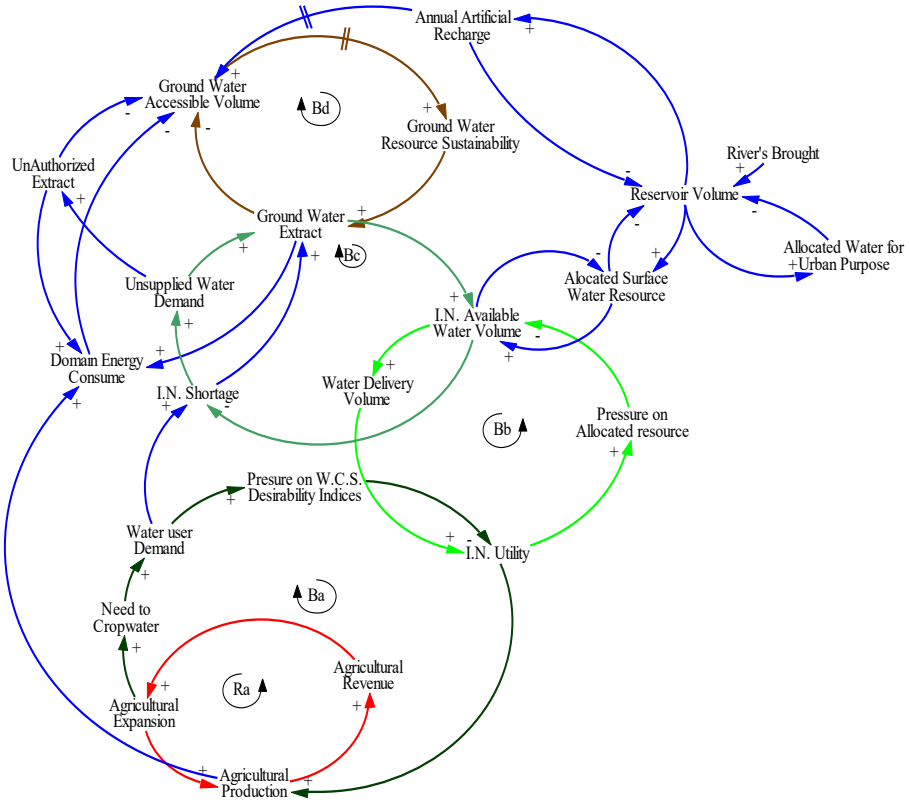
برای انجام تحقیق در حوزه شبکه می‌بایست پایداری منابع آب همسو و توام با ایمنی تولیدات کشاورزی منظور گردد؛ لذا مرزهای مطالعات نکسوس در شبکه‌های آبیاری ایران مطابق شکل ۳ در نظر گرفته شد. مطابق این نمودار جعبه‌ای، ارتباطات شاخص‌های امنیت منابع منظور شد و با توجه به ارتباطات درون سیستمی آنها و نوع تأثیر آنها بر دیگر شاخص‌ها مبتنی بر چهارچوب DPSIR فرضیه دینامیکی تدوین گردید.

مدل مفهومی بیان مسئله (فاز مفهوم‌سازی) مطابق شکل ۴ رابطه بین علل تقویت‌کننده و متعادل‌کننده وضعیت موجود منطقه را نشان می‌دهد. در واقع این روابط، بازخوردها بین ساختارهای تولید و مصرف را در مناطق مورد مطالعه بازگو می‌کند. این روابط مجموعه‌ای از حلقه‌های تشدیدکننده (در راستای تخریب منابع موجود) و متعادل‌کننده (در راستای رسیدن به نقطه تعادل سیستمی) را بین متغیرها و مخصوصاً شاخص‌های تعریف شده در بخش‌های آب (منبع تامین‌کننده)، انرژی (منبع پشتیبانی‌کننده) و غذا (منبع تولیدکننده) شکل می‌دهند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]



شکل ۳- چهارچوب مفهومی رویکرد نکسوس در شبکه‌های آبیاری
Figure 3. Conceptual framework of the nexus approach in irrigation networks



شکل ۴- مدل مفهومی رویکرد نکسوس در شبکه‌های آبیاری
Figure 4. Conceptual model of the nexus approach in irrigation networks

بیان فوق در ماهیت خود از ساختار الگوی "رشد و سرمایه گذاری کم" بهره می‌گیرد که مطابق با آن فعالیت مکانیسم‌های متعادل‌کننده در کنترل مکانیسم تقویت‌کننده را نشان می‌دهد. به دلیل سهم عوامل مؤثر در تخریب منابع آب، همبستگی تقویت‌کننده مثبت است و روابط متعادل‌کننده، بازخورد بین عوامل کمک‌کننده به تداوم مسئله تا رسیدن به یک نقطه تعادل در تراز پایین‌تر از نقطه هدف سیستم را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

علل عدم هماهنگی در مدیریت حوزه شبکه آبیاری و مدیریت حوزه سازمان کشاورزی در حلقه‌های تشکیل‌شده توسط متغیرهای تخلیه منابع تجدیدپذیر و تغییر الگو و مساحت تحت کشت برای اهداف کشاورزی تقویت می‌شود. این حلقه‌ها همچنین با تشدید همبستگی منفی بر روی یکدیگر و به منظور رقابت در منابع بیشتر، مشکل را مستقیماً ایجاد می‌کنند.

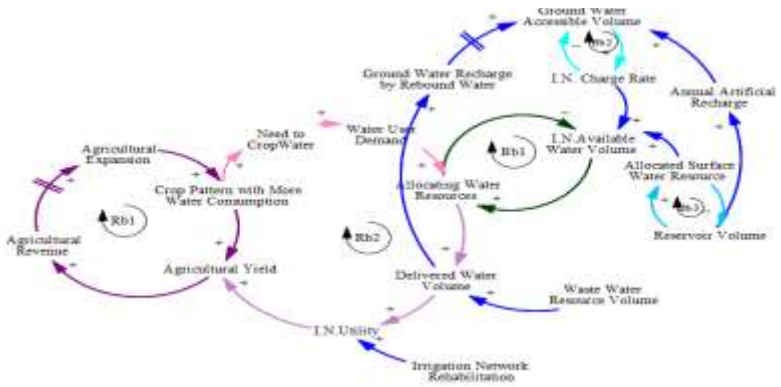
بیان فوق همچنین نشان می‌دهد که فعالیت‌های شبکه‌های آبیاری و بخش‌های کشاورزی در از بین بردن زیست‌محیط شبکه (منابع خاک و آب) هم‌افزایی دارند. این بدان معناست که مجموعه فعالیت‌ها تأثیر منفی در مدیریت منطقه داشته‌اند که عمدتا به این دلیل که همه فعالیت‌ها در مورد مشارکت‌های سیاست‌گذاری عمومی و مدیریتی واقعیتی ایجاد می‌کنند که تأثیر منفی در منطقه و نوعی سردرگمی ایجاد می‌کنند.

فرضیات دینامیکی و الگوهای رفتاری سیستم

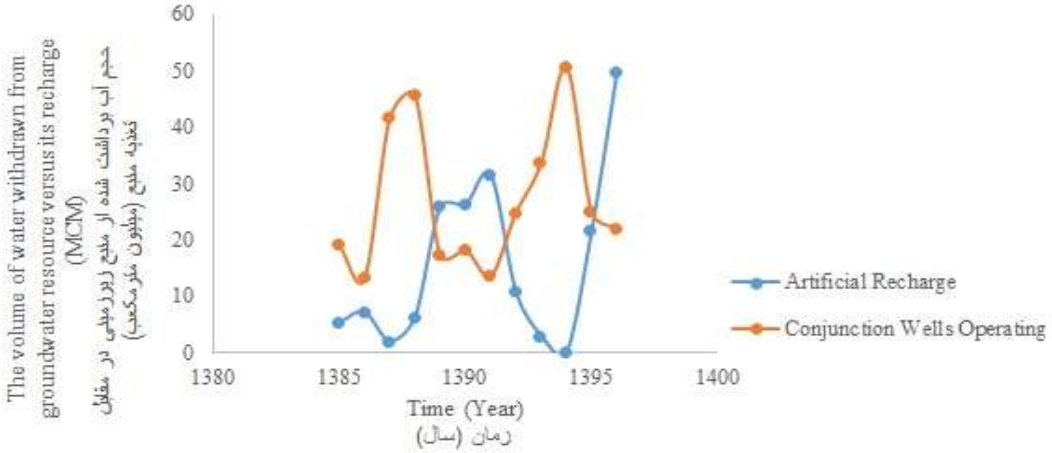
بر اساس مدل مفهومی؛ روابط را می‌توان با جزئیات بیشتر به‌صورت زیرسیستم‌های موجود، نمایش داد.

زیرسیستم محدودیت رشد

مطابق شکل ۵، حلقه Rb1 تمایل کشاورزان به توسعه کشاورزی چه در بخش توسعه اراضی و چه در بخش تغییر الگوی کشت مصوب را توصیف می‌کند. این حلقه، حلقه Rb2 را تقویت کرده و ماحصل آن برنامه‌ریزی برای اختصاص و تحویل آب می‌باشد. حلقه اخیر با عنایت به نظر ۷۵ درصدی کارشناسان در برخورد با حلقه متعادل‌کننده Bb1 با در نظر داشتن محدودیت آب در دسترس کشاورزان که خود حاصل دو حلقه Bb2 حاصل از کاهش ذخیره منابع زیرزمینی مطابق شکل۶ و Bb3 حاصل از خشکسالی‌های اخیر در آورد رودخانه‌ها که مطابق شکل۷ می‌باشد؛ رشد و توسعه مناطق تحت کشاورزی را متوقف می‌نماید.

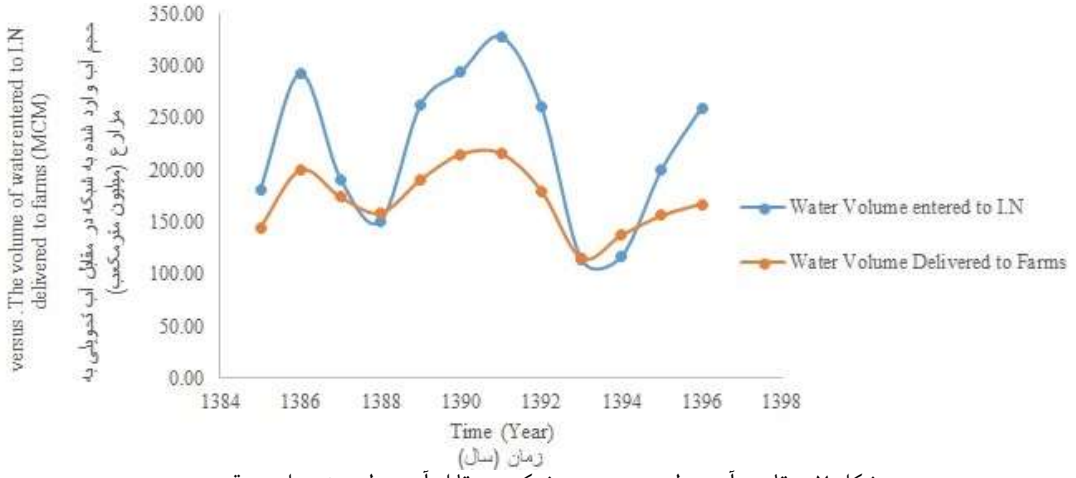


شکل ۵- زیرسیستم محدودیت رشد حلقه توسعه کشاورزی تحت محدودیت منابع آب
Figure 5. Limit to Growth subsystem of agricultural expansion loop under water resource limitation



شکل ۶- مقایسه کارکرد چاه‌های تلفیقی در برابر تغذیه چاه‌ها در قزوین
Figure 6. Comparison of the operation of integrated wells against artificial recharge wells in Qazvin network.

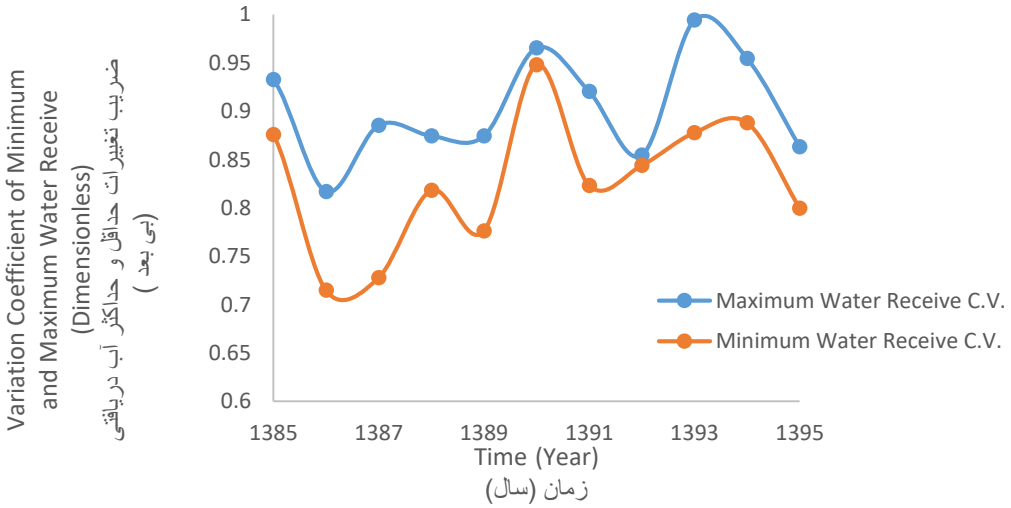
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]



شکل ۷- مقایسه آب سطحی ورودی به شبکه در مقابل آب سطحی تحویلی در قزوین
Figure 7. Comparison of surface water entering the network versus surface water delivered in Qazvin network.

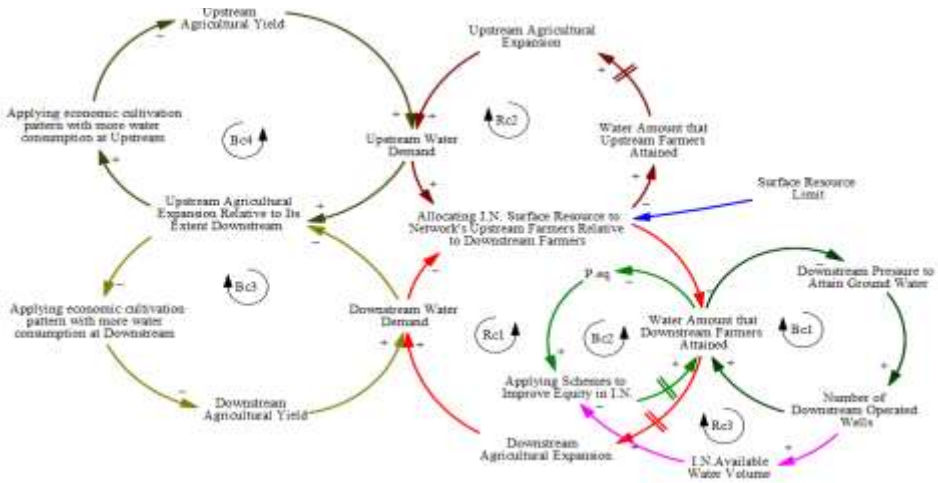
زیرسیستم عدالت در توزیع آب

مطابق نظر کارشناسان در پرسشنامه و مصاحبه، ۶۰ درصد میزان دریافت آب را در کشاورزان بانفوذ و ۷۰ درصد میزان دریافت انرژی را در این دسته از کشاورزان متفاوت از دیگر کشاورزان می‌دانند که این موضوع در نمودار شکل ۸، نمودار ضریب تغییرات آب تحویلی به آب درخواست‌شده در مزارع کشاورزان بالادست و پایین‌دست مورد تحقیق قرار گرفت. لذا مطابق با این الگو و مطابق شکل ۹، حلقه Rc2 میزان توسعه کشاورزی در بالادست به صورت تشدیدشونده توصیف شده است و مطابق حلقه Rc1 این فرآیند برای کشاورزان پایین‌دست به‌صورت کاهنده در الگوی موفقیت برای موفق ترسیم شده است. این الگو به‌جهت ساختار علّی و معلولی، خود معلول مکانیسم الگوی تهدید و تشدید (حلقه‌های Bc3 و Bc4) می‌باشد. از آنجاکه مطابق نظر ۶۰ درصدی کارشناسان مطابق پرسشنامه در خصوص تهدید در دسترسی به منابع آب، ۶۰ درصدی تهدید در توسعه کشاورزی و همینطور نظر ۵۵ درصد کارشناسان در خصوص استفاده از منابع آب الگوی کشت درآمدزا، این رقابت در خصوص ارائه نیاز آبی به مدیران شبکه از سوی کشاورزان مطرح بوده است. استراتژی کشاورزان پایین‌دست برای دسترسی به منابع در صورت وجود تبعیض، مطابق نظر ۶۰ درصدی کارشناسان استفاده از منابع غیرمجاز بوده است و استراتژی مدیران با نظر ۷۵ درصدی کارشناسان، بهره‌گیری بیشتر از منابع زیرزمینی بیشتر به‌عنوان راهکار مقطعی بوده است (Bc1). حال آنکه می‌دانیم مطابق نظر ۹۰ درصدی کارشناسان، توزیع عادلانه آب با استفاده از طرح‌های توزیع شناخته شده مانند طرح توزیع توافقی، همچنین با نظر ۸۰ درصدی کارشناسان در به‌روز رسانی الگوی کشت و کنترل آن و نظر ۸۰ درصدی آنان در خصوص تعیین کاربری و محدوده اراضی و همچنین تشویق زارعین به رعایت قوانین مصرف آب همزمان با آموزش آنان از راهکارهای اساسی در مواجهه با این مسئله می‌باشد (Bc2).



شکل ۸- نمودار ضریب تغییرات شاخص آب تحویلی به آب درخواست شده در شبکه قزوین
Figure 8. The graph of the variation coefficient of the delivered water index to the requested water in the Qazvin network

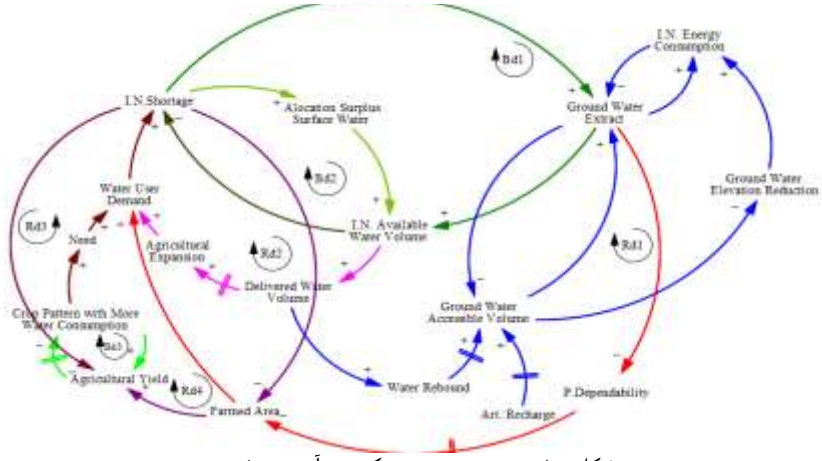
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]



شکل ۹- زیرسیستم تهدید، رقابت و استراتژی در بهره‌گیری از منابع آب
Figure 9. Subsystem of threat, competition and strategy in the use of water resources

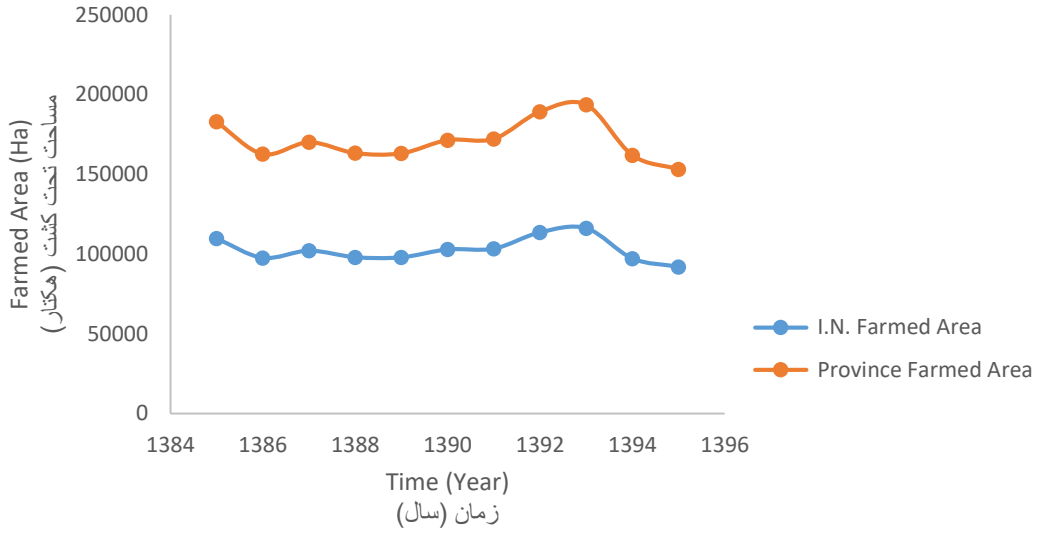
زیرسیستم شکاف کسری آب مخزن

یکی از الگوهای سیستمی که در تبیین عواقب اتخاذ تصمیمات چه در سطح فردی و چه در سطح مدیریتی به‌کار می‌رود؛ الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست است که الگوی شکل ۱۰ به‌صورت ترکیبی از تصمیمات متخذه در داخل یک شبکه آبیاری آن‌را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱۱ و ۱۲ میزان آب مورد نیاز بخش کشاورزی با توجه به تغییرات در الگوی کشت و سطح زیر کشت با میزان آب تحویلی تفاوت فاحشی داشته است که مطابق ۷۵ درصد نظر مصاحبه شوندگان راهکار برداشت بیشتر از منابع زیرزمینی را راهکار مقطعی می‌دانند که عملاً در حال اتفاق افتادن است (Bd3 و Bd1) و این موضوع با عنایت به افزایش شاخص پایداری در شبکه، مشوق کشاورزان در افزایش سطح زیر کشت و افزایش تغییرات در الگوی کشت و نهایتاً تشدید کسری مخزن (Rd1 و Rd3) مؤثر است. همچنین مطابق شکل ۱۳ و ۹۰ درصد نظر مصاحبه‌شوندگان در تأیید مقطعی بودن اضافه برداشت از مخزن و ۶۵ درصد آنان در مقطعی بودن راهکار برداشت غیرمجاز و نظر ۷۰ درصدی ایشان در عدم بهبود کسری مخزن با شرایط یاد شده، ۶۵ درصد توجه به راندمان آب در مزرعه را به جای توجه به سیستم کلی شبکه مؤثر دانستند که این موضوع در حلقه‌های (Bd2 و Rd2) توصیف شده‌اند.

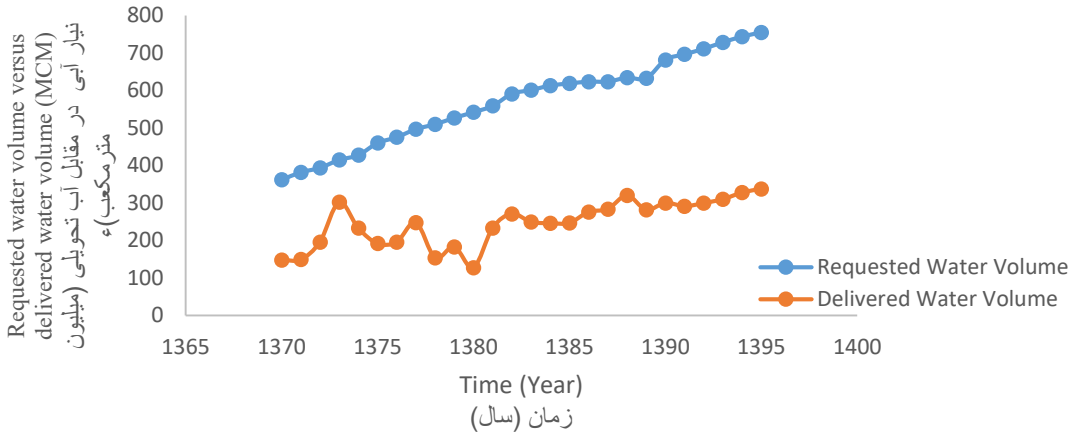


شکل ۱۰- زیرسیستم تشدید کسری آب در مخزن
Figure 10. Water shortage intensification subsystem in the reservoir

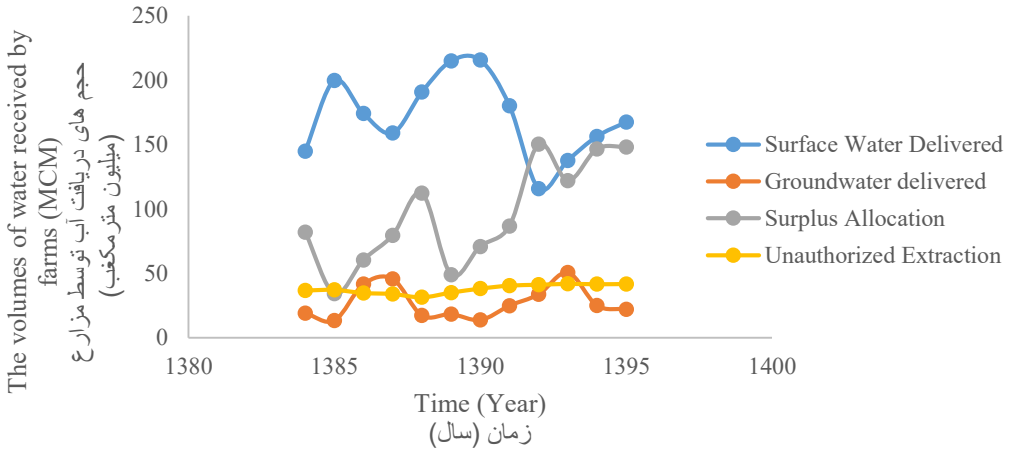
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]



شکل ۱۱- نمودار سطح زیر کشت شبکه قزوین نسبت به کل استان
Figure 11. Diagram of the cultivated area of Qazvin network in relation to the province



شکل ۱۲- نمودار آب تحویلی در مقایسه با آب مورد درخواست
Figure 12. Diagram of delivered water compared to requested water



شکل ۱۳- نمودار مقایسه آب سطحی تحویل شده، آب زیرزمینی تحویل شده، اضافه تحویل شبکه و میزان برداشت‌های غیرمجاز در شبکه
Figure 13. Comparison chart of delivered surface water, delivered groundwater, extra delivery of the network and the amount of unauthorized harvest in the Qazvin network

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

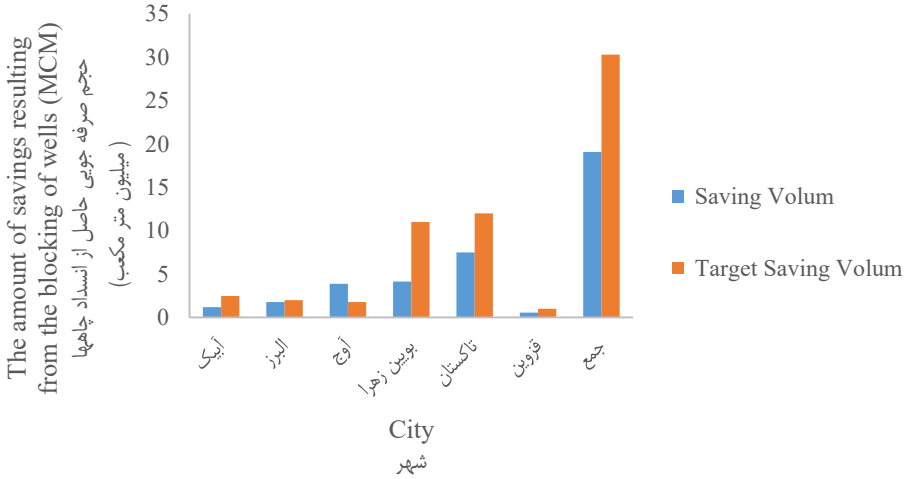
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]

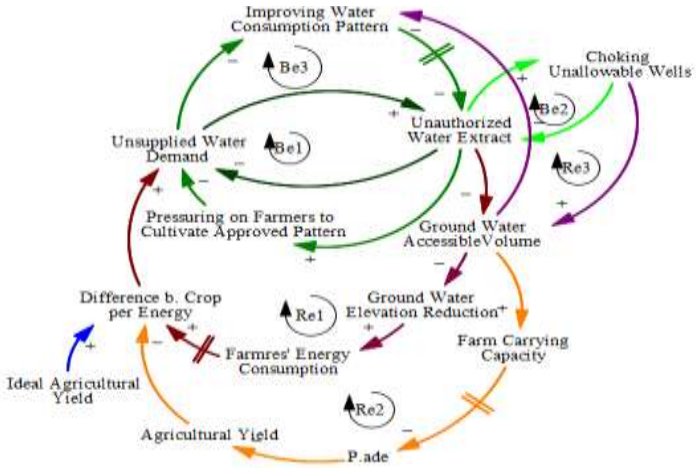
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

زیرسیستم مواجهه با نیاز تأمین‌نشده آب

۵۵ درصد از مصاحبه‌شوندگان، برداشت غیرمجاز آب و تخریب اموال را اقدام مقطعی بدون پیش‌بینی اثرات جانبی دانستند که از سوی برخی کشاورزان در حال اقدام است. ۶۵ درصد از مصاحبه‌شوندگان، این اقدام را در اثر نبود حس مالکیت نسبت به منابع و تجهیزات شبکه عنوان کردند و ۷۵ درصد، پایش از منابع را اقدام اساسی در حفظ منابع دانستند و ۶۵ درصد تشویق زارعین به رعایت قوانین را راهکار مطلوب دانستند و ۹۰ درصد از آنان، آموزش به کشاورزان در راستای حفظ منابع و همچنین ۸۵ درصد از آنان آموزش به کشاورزان در راستای بهبود الگوی مصرف و عدم تغییر الگوی کشت را راهکار اساسی دانستند. لذا با توجه به مدل شکل ۱۵ و با در نظر گرفتن وجود برداشت‌های غیرمجاز حلقه Be1 در مدل این موضوع را توصیف کرده که حاصل آن حلقه‌های Re1 و Re2 در بلندمدت باعث ایجاد اولاً کاهش سطح آب زیرزمینی و افزایش هزینه‌های پمپاژ (Re1) و ثانیاً با کاهش ظرفیت زراعی مزرعه میزان تولید محصول را کاهش می‌دهد (Re2). در این راستا، اقدام انسداد چاه‌های غیرمجاز مطابق نمودار ارائه شده در سال ۱۴۰۰ توسط آب منطقه‌ای قزوین (شکل ۱۴) به‌عنوان راهکار مقطعی (حلقه Be2) در مقابل بهبود الگوی مصرف (حلقه Be3) معرفی شدند. لازم به ذکر است نمودار نسبت آموزش‌های مربوط به حفاظت آب، خاک و منابع طبیعی در ۱۰ سال اجرای مدل تقریباً صفر بوده است که نشان از مغفول ماندن این راهکار دارد.



شکل ۱۴- نمودار انسداد چاه‌های غیر مجاز در سال ۱۴۰۰ در استان قزوین منتشره از اداره آب منطقه‌ای
Figure 14. Diagram of the choking of unauthorized wells in Qazvin province in 1400, published by the Water resource management company

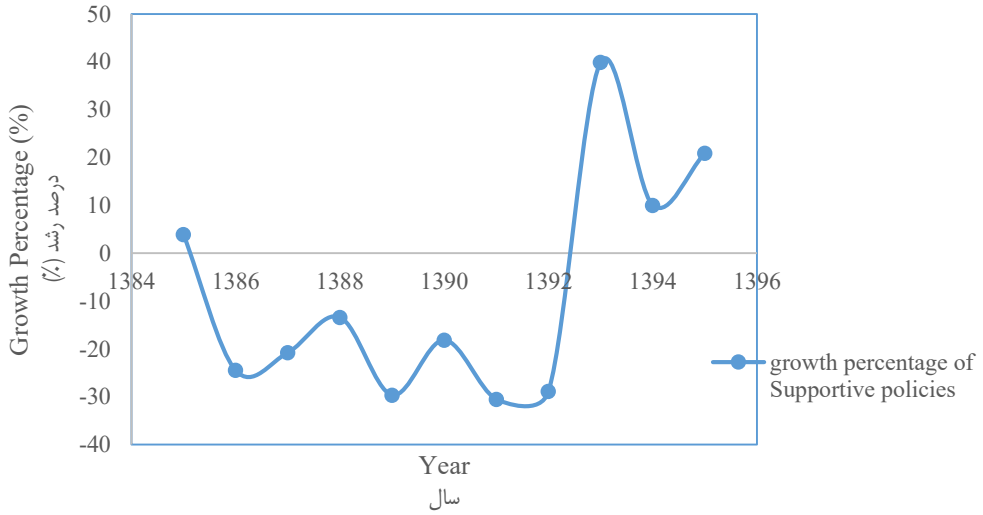


شکل ۱۵- زیرسیستم مواجهه با نیاز آبی تأمین نشده
Figure 15. The subsystem of facing unsupplied water request

زیرسیستم کاهش عملکرد محصول

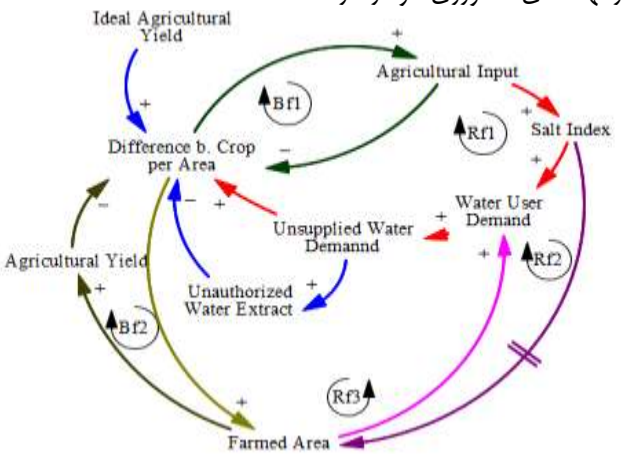
شرایط آب، خاک و اقلیم حاکم بر کشور، کشاورزان را ناگزیر از استفاده از کودهای شیمیایی به‌عنوان مکمل نیاز غذایی محصولات کشاورزی می‌نماید. در حالی‌که میزان مصرف کود در کشور حدود ۳ میلیون تن برآورد شده است، ولی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر میزان عملکردهای استحصالی محصولات تولیدی دیده نشده است. عوامل متعددی در بروز این معضل می‌توانند دخالت داشته باشند ازجمله: توزیع

غیرمنطقی کود، استفاده از کودهای تک عنصری و محدود که با گذشت زمان منجر به ایجاد ناهنجاری‌های تغذیه‌ای و عدم تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه شده است و استفاده بی‌رویه آن بدون توجه به نیاز واقعی گیاه (که بر اساس روش‌های علمی به‌ویژه آزمون خاک امکان‌پذیر است) باعث ایجاد ناهنجاری‌هایی مانند شوری خاک می‌گردد. استان قزوین دارای ۱۹۳۶۰۰ هکتار کشت پاییزه، ۱۰۳۱۸۶ هکتار کشت بهاره و ۶۵۰۰۰ هکتار باغ میوه بوده که در مجموع میزان کود تخصیصی ۸۸۹۰۶ تن کود نیتروژنه، ۳۶۵۳۵ تن کود فسفاته و ۲۶۶۱۱ تن کود پتاسه است که ارتباط چندانی با برآورد نیاز محصولات تولیدی در استان ندارد (ShahabiFar & Norrinia, 2010). نمودار شکل ۱۶ رشد سیاست‌های حمایتی را در ده سال اجرای مدل در قزوین نمایش می‌دهد.



شکل ۱۶- نمودار درصد رشد نهاده‌های توزیعی در استان قزوین
Figure 16. Diagram of growth percentage of distributed inputs in Qazvin province

مطابق نظر بیش از ۵۰ درصد مصاحبه شوندگان، افزایش نیاز آبی تأمین نشده حاصل از افزایش نیاز آبشویی، در اثر اعمال کنترل‌نشده مصرف نهاده‌های کشاورزی بر کاهش عملکرد مؤثر دانسته و راهکار آن‌را آموزش‌های زراعت و باغبانی دانسته‌اند. لذا با توجه به مکانیسم مورد اتفاق از الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست در تبیین این پدیده استفاده شده است. حلقه Bf1 در راستای تعادل این نیاز و حلقه تقویت کننده Rf1 عواقب بلندمدت آن‌را در شبکه‌های ایران نمایش می‌دهد به‌طوری‌که ماحصل استفاده از نهاده‌های کشاورزی خود را در تشدید نیاز آبی و نهایتاً در افزایش نیاز آبی تأمین نشده نشان می‌دهد. به طریق اولی این راهکار مقطعی، با توجه به شوری و باتلاقی شدن اراضی، میزان سطح مورد کشت مؤثر را کاهش داده و نهایتاً میزان عملکرد در واحد سطح کاهش می‌یابد (Rf2). همچنین ۶۰ درصد از مصاحبه‌شوندگان تمایل به افزایش سطح در اثر کاهش عملکرد محصول (Bf2) و نهایتاً افزایش نیازهای آبی تأمین نشده حاصل از آن را ناگزیر می‌دانند (Rf3) که نمودار علی و معلولی آن در شکل ۱۷ ارائه شده است.

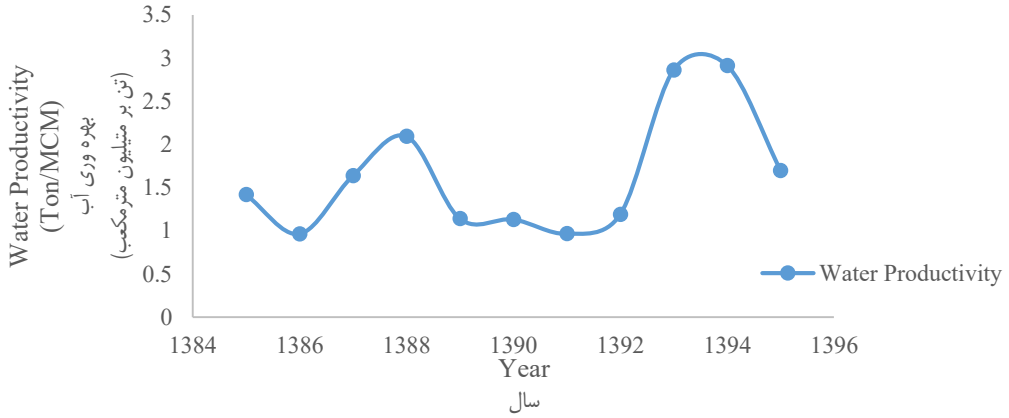


شکل ۱۷- زیرسیستم کاهش عملکرد محصول
Figure 17. Subsystem of product performance reduction

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

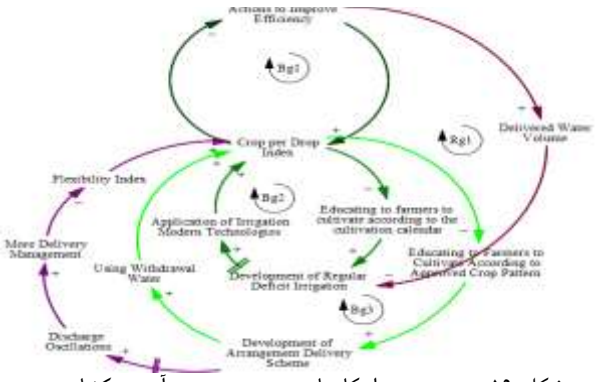
زیرسیستم راهکارهای بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی

زیرسیستم فوق‌الذکر در اشاره به راهکارهای ارائه شده به‌واسطه 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 ایران در ده سال منتهی به اجرای مدل در نمودار شکل ۱۸ مشخص گردیده است.



شکل ۱۸- نمودار نوسان میزان بهره‌وری آب در کشاورزی استان قزوین
Figure 18. Fluctuation diagram of water productivity in Qazvin province

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 ۷۰ درصد 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 به‌واسطه آن حلقه 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 در مزرعه را راهکار مناسبی عنوان کردند و نهایتاً ۶۰ درصد پیاده‌سازی طرح‌هایی مانند کم آبیاری تنظیم شده را مؤثر دانستند. بر این اساس حلقه Bg2 در مقابل راهکار اول ارائه گردیده است. همچنین ۶۵ درصد از مصاحبه‌شوندگان، تحویل حجمی آب را راه‌حل اساسی دانستند. ۶۰ درصد جایگزینی برنامه تحویل آب متناوب با یک برنامه تحویل مناسب را پیشنهاد دادند که بر اساس آن حلقه Bg3 در مدل توصیف گردید. در مقابل راه‌کارهای ارائه شده در بلندمدت مکانیسم دیگری در شبکه به‌کار می‌افتد که اثرات جانبی این راه‌حل‌ها بوده و مطابق نظر ۵۵ درصدی مصاحبه‌شوندگان افزایش نوسان تغییرات دبی و کاهش پایداری سیستم امری گریزناپذیر بوده که نیازمند مدیریت بیشتر در سیستم در ازای افزایش انعطاف‌پذیری بیشتر سیستم می‌باشد (حلقه Rg2). بر این اساس، مدل زیرسیستم تحویل آب تحت عنوان راه‌کارهای بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی مطابق شکل ۱۹ تدوین گردید.

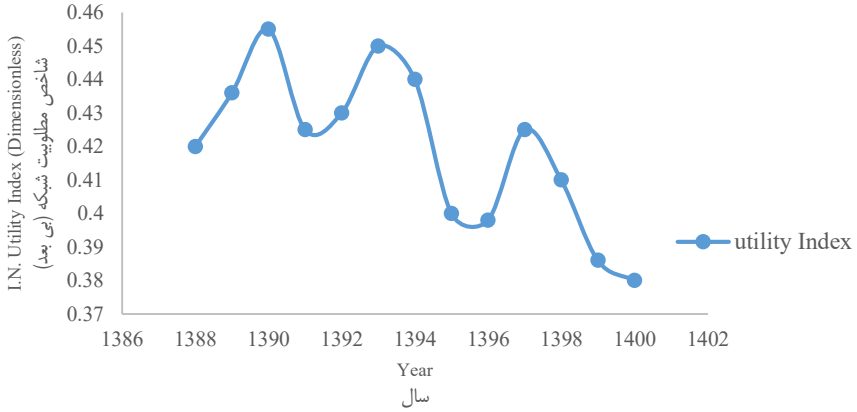


شکل ۱۹- زیرسیستم راهکارهای بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی
Figure 19. subsystem of solutions for improving water productivity

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

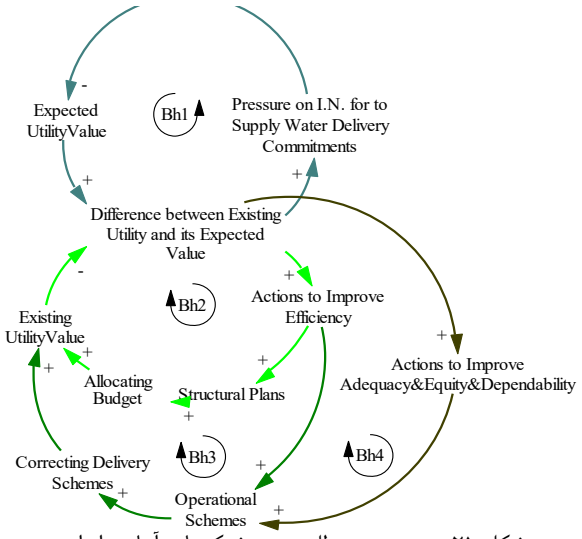
زیرسیستم مطلوبیت شبکه آبیاری

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 (راندمان، کفایت، عدالت، پایداری و انعطاف‌پذیری) می‌باشد و راه دیگر فشار دست‌اندرکاران در جهت تطبیق مطلوبیت مورد انتظار با مطلوبیت موجود مطابق نمودار شکل ۲۰ است. بنابراین با توجه به ماهیت موضوع برای مدل کردن این زیرسیستم از الگوی سیستمی تقلیل اهداف بهره گرفته شده است.



شکل ۲۰- نمودار تغییرات مطلوبیت شبکه آبیاری قزوین
Figure 20. Diagram of variations in the utility of Qazvin irrigation network

مطابق نظر مصاحبه‌شوندگان، ۶۰ درصد اعتقاد دارند؛ عملیات ترمیم کانال‌ها که برای بهبود راندمان انجام شده است؛ به‌دلیل نامناسب بودن عملیات اجرایی با هدف حفظ وضع موجود جایگزین شده است. ۶۰ درصد از آنها معتقدند؛ اتوماسیون سازه‌ها را که برای بهبود انعطاف‌پذیری بوده است با هدف تحویل فقط آب موردنیاز جایگزین شده است و همچنین ۶۵ درصد از آنها تحویل حجمی آب را که با هدف بهبود کفایت، پایداری و انعطاف‌پذیری صورت گرفته است معتقدند به‌دلیل ناکارآمدی سازه‌های تحویل و اندازه‌گیری، با هدف تحویل هکتاری جایگزین شده است. لذا بر این اساس حلقه Bh1 توصیف شد. از طرفی ۷۰ درصد از مصاحبه شوندگان، به‌سازی را فقط در بعد فیزیکی یک اقدام مقطعی می‌دانند با اینکه ۶۵ درصد از آنها اصلاح و مرمت سازه‌ها و تجهیزات موجود در کانال‌های اصلی و فرعی را اقدام اساسی می‌دانند. ۸۵ درصد از آنان تهیه دستورالعمل کاربردی در بحث بهره‌برداری و مدیریت را در ابعاد فیزیکی و مدیریتی کارا و اقدام اساسی می‌دانند. همچنین ۶۵ درصد از مصاحبه شوندگان، تخصیص اعتبارات بیشتر را برای پروژه‌های مربوط به بخش کشاورزی و توزیع آب را اقدام اساسی می‌دانند. لذا بر این اساس، حلقه‌های Bh2، Bh3 و Bh4 در مدل توسعه داده شدند که در نمودار شکل ۲۱ نمایش داده شده است.

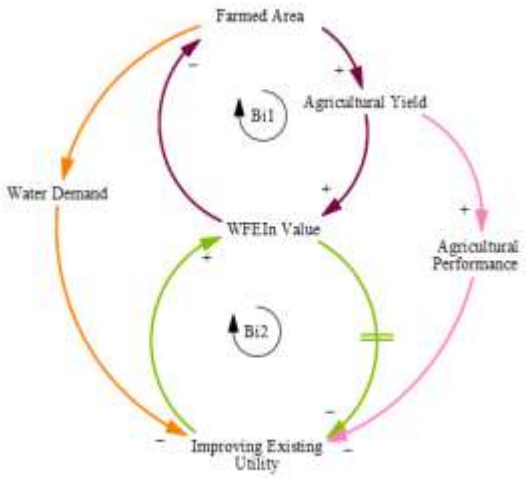


شکل ۲۱- زیرسیستم مطلوبیت در شبکه‌های آبیاری ایران
Figure 21. Utility subsystem in Iranian irrigation networks

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

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 کلیه بهره‌برداران بلوک‌های کشاورزی و بهره‌برداران شبکه‌های آبیاری در پی افزایش این شاخص در محدوده مشاغل خویش هستند. از این‌رو گروه اول با توجه به دسترسی به سهل‌الوصول‌ترین راه‌حل یعنی افزایش سطح کشت (حلقه Bi1) در پی افزایش شاخص‌های تولیدی خود می‌باشند. در حالی‌که با عنایت به هدف این تحقیق، از منظر زنجیره آب، غذا و انرژی با محوریت آب، رسیدن به این هدف متعالی در گرو افزایش سطح مطلوبیت شبکه به‌صورت ترکیبی از شاخص‌های کیفی است؛ می‌باشد (حلقه Bi2). تدوین این زیرسیستم با عنایت به خنثی بودن راه‌حل‌های مقطعی ارائه شده با استفاده از الگوی سیستمی جابجایی مشکل بوده است که در نمودار شکل ۲۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲۲- زیرسیستم توصیف شاخص نکسوس
Figure 22. Nexus description subsystem

مدل مفهومی

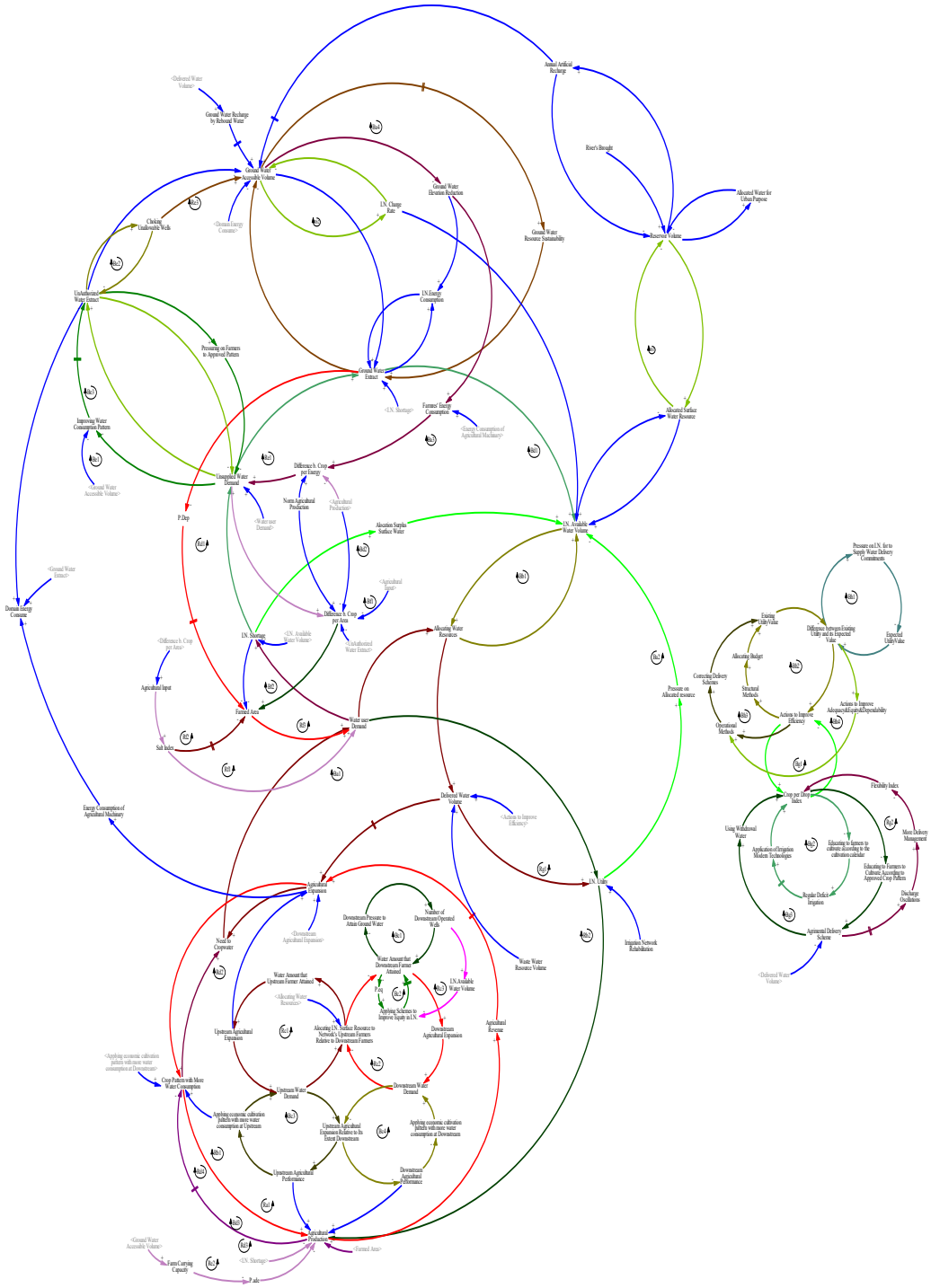
ساختار تفصیلی مدل مفهومی براساس الگوهای رفتاری که به‌عنوان سناریوهای فرضیات پویا و بازنمایی متغیرهای حیاتی ارائه شده توسط کار میدانی و مصاحبه با افراد درگیر با شبکه توسعه داده شده است. مدل مفهومی برای مدیریت یکپارچه شبکه‌های آبیاری در ایران و سناریوی فعلی توسعه را نشان می‌دهد و می‌توان در طولانی‌مدت سناریوهای مطلوب آینده را پیش‌بینی کرد و یا به آن سمت سوق داد.

تعامل بین این متغیرها، قدرت شبکه را به گسترش بحث در مورد مدیریت پایدار به زیرسیستم‌های منطقه متصل می‌کند که به تقویت مثبت متغیرهای محرک در چشم‌انداز شبکه به‌عنوان یک زنجیره Nexus کمک می‌کند. این مدل، تعامل دائمی بین متغیرهایی را که به‌عنوان علت و معلول مشخص شده‌اند، به‌وجود می‌آورد تا در هنگام برنامه‌ریزی مدیریت یکپارچه شبکه، سیستم مدل‌سازی به‌عنوان یک گزینه جامع قرار گیرد. این مدل همچنین شامل ترکیب استراتژی‌های ممکن‌الوصول است که امکان انعطاف‌پذیری بیشتر را برای کل سیستم شبکه فراهم می‌کند و آن‌را قادر می‌سازد تأثیر تعارضات را از طریق تعاملات متغیرهایی که آگاهانه سازمان یافته‌اند؛ برای کاهش مشکل بهره‌وری در شبکه و بلوک‌های کشاورزی آن جذب کند.

با این‌حال، در مدل توسعه یافته، فرض بر این است که متغیرهای مسئول این مسئله، دائماً بر مدیران و مصرف‌کنندگان آب که مسئولیت تصمیم‌گیری را برعهده دارند، فشار وارد می‌کنند. بنابراین آنها تمایل به جستجوی راه‌حل‌های سریع برای این مسئله دارند.

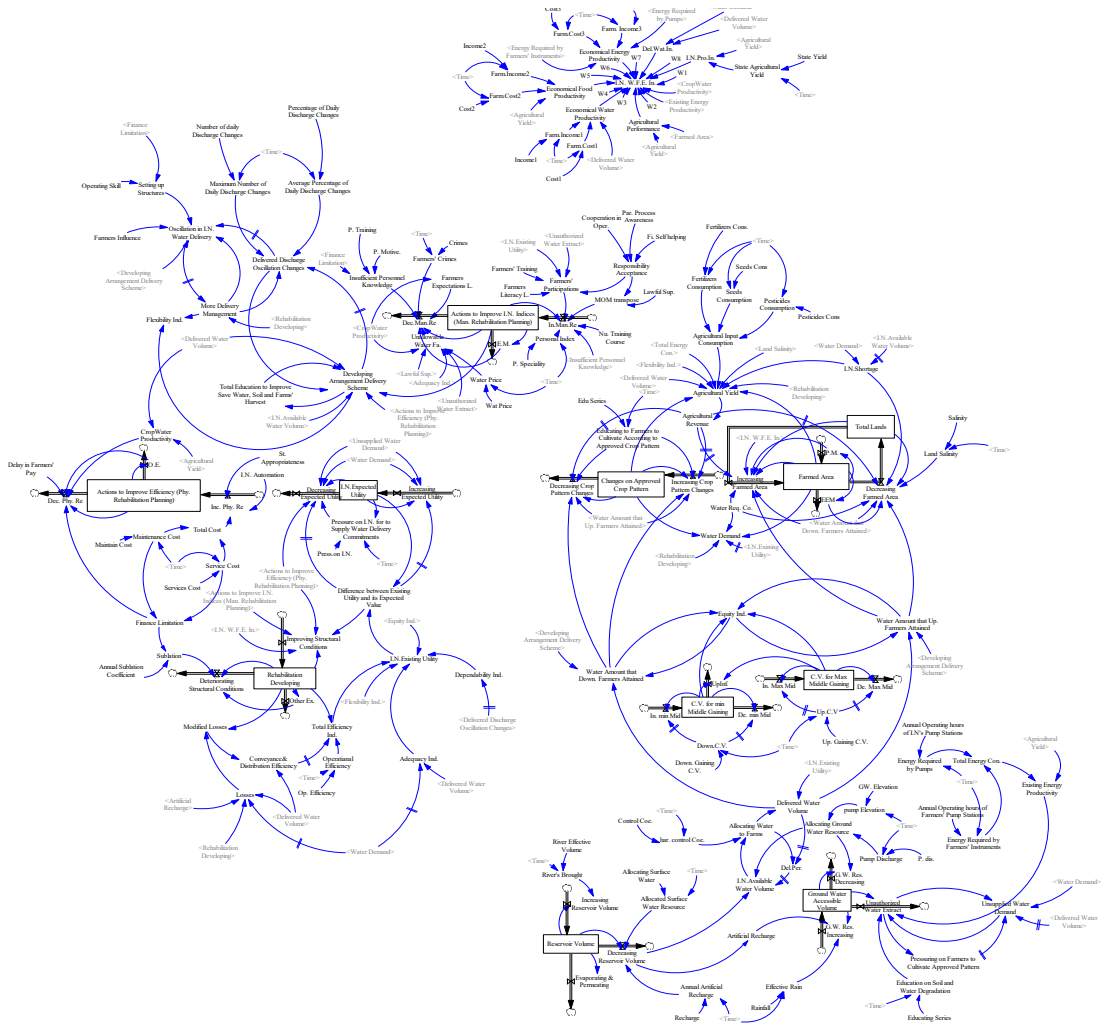
این فشار مداوم نیاز به نظارت دائمی بر سیستم دارد زیرا رفع سریع و خودسرانه فقط در کوتاه‌مدت مطابق با روش سودآور و اشتباه کار می‌کند و سیستم را در طولانی‌مدت در موقعیت ناپایداری قرار می‌دهد که در پایان نمی‌تواند سیستم را حفظ کند. در وضع موجود در نهایت، تعاملاتی که در بالا توضیح داده شد با حرکت خود به‌سمت ترکیب متغیرهای جدید یا ترکیب استراتژی‌های بلندمدت مطابق با شکل ۲۳، وضعیت دینامیکی سیستم را مشخص می‌کند. با عنایت به لزوم بهره‌گیری از مدل در راستای کمّی‌سازی مدل، با استفاده از محیط ونسیم، مدل جریان- حالت مطابق نمودار شکل ۲۴ تدوین و توسعه یافت.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]



شکل ۲۳- مدل مفهومی زنجیره آب، غذا و انرژی در شبکه‌های آبیاری ایران
Figure 23. Conceptual model of water, food and energy chain in Iranian irrigation networks

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]



شکل ۲۴- مدل جریان حالت توسعه یافته از مدل مفهومی زنجیره آب، غذا و انرژی در شبکه‌های آبیاری
Figure 24. Stock-flow model developed from the conceptual model of water, food and energy chain in Iranian irrigation networks

الگوهای رفتاری مدل مفهومی Nexus در شبکه آبیاری، مبتنی بر محوریت آب توسعه یافته‌اند و با در نظر گرفتن اجزای تشکیل دهنده آب، غذا و انرژی با یک توالی زمانی موثر در مدل دخیل شدند و مدل ارائه شده شامل بیشترین مشکلات شبکه‌های آبیاری ایران از دیدگاه مدیران مخصوصاً در شبکه آبیاری قزوین است.

در مدل پیشنهادی دو دسته الگوی رفتاری تدارک دیده شده اند. در حقیقت، فرآیندهای کوتاه‌مدت و بلندمدت که در شبکه اتفاق می‌افتند؛ منشاء تولید این مدل بوده‌اند. در این مدل سعی شده است که سازوکارهایی که محققان دیگر در کار خود به آنها پرداخته‌اند با استفاده از ابزار System Dynamics مدل‌سازی شوند.

برای این‌منظور، مشکلات در بخش‌های آب، غذا و انرژی در قالب هشت زیر سیستم مورد بررسی قرار گرفتند که عبارتند از:

- محدودیت مدیران شبکه در دسترسی به منابع آب؛
- عدم اجرای عادلانه توزیع آب و خدمات، که منجر به رقابت بین ذینفعان بخش کشاورزی شده است؛
- کسری شدید شبکه مبتنی بر عدم انطباق طرح‌های آبرسانی با واقعیت شبکه‌های آبیاری؛
- عدم فرهنگ‌سازی عمومی در استفاده از منابع آبی، که در تصمیمات کشاورزان پدید آمده و با سیاستگذاری مقطعی مدیران مواجه شده است؛
- عدم آموزش به کشاورزان برای مقابله با عملکرد ضعیف و عدم استفاده علمی از نهاده‌های کشاورزی؛
- ضعف بهره‌وری آب در کشاورزی و راه‌حل مقطعی رایج و استراتژی‌های اساسی در شبکه‌های آبیاری؛
- تأخیر در تخصیص و اجرای پروژه‌های زیربنایی در شبکه‌های آبیاری؛
- عدم توجیه و آگاه‌سازی مدیران نسبت به رویکردهای نوین در تعیین برازش سیستم کلی منابع طبیعی.

بر این اساس، زیرسیستم محدودیت منابع آب در شبکه‌های آبیاری مانند سایر زیرسیستم‌های منابع آب بر اساس الگوی محدودیت رشد توسعه یافته است. در واقع، ذینفعان بخش کشاورزی، در صورت عدم وجود محدودیت، تمایل دارند

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

کشاورزی خود را توسعه دهند تا منافع بیشتری کسب کنند. بین پاسخ مصاحبه‌شوندگان و با توجه به شواهد موجود در مورد میزان آب موجود در شبکه، محدودیت غالب منابع آب بود که به‌عنوان یک عامل تعادل در توسعه کشاورزی معرفی شد.

زیرسیستم رقابت در توسعه کشاورزی، از توزیع ناعادلانه آب و خدمات در سطح شبکه شروع می‌شود؛ به‌طوریکه کشاورزان با نفوذ کمتر و با فاصله بیشتر از کانال‌های انتقال آب، در دریافت آب سطحی ناموفق بوده و این سناریو با الگوی موفقیت در پی موفق مدل شد. با توجه به تقاضای آب در این بخش و محدودیت آب سطحی، مدیران شبکه اقدام به استخراج آب زیرزمینی از چاه‌های بخش‌های پایین‌دست شبکه می‌کنند. اما این راه‌حل مقطعی بوده و استراتژی اصلی، استفاده از طرح‌های توزیع مبتنی بر افزایش شاخص عدالت در شبکه می‌باشد. بنابراین این بخش از زیرسیستم بر اساس الگوی انتقال بار مسئولیت مدل‌سازی شد. بر اساس نوع و میزان آب دریافت شده، چه در بخش‌هایی که آب سطحی را به‌آسانی به‌دست می‌آورند و چه بخش‌های دیگر، توسعه کشاورزی به‌معنای تقاضای بیشتر آب و نهایتاً دریافت آب بیشتر است. بنابراین توسعه کشاورزی هرکدام از این بخش‌ها، از نظر گروه دیگر تهدید محسوب شده و خود را با توجه به محدودیت‌های موجود در توسعه کشاورزی محق می‌دانند. لذا این بخش از زیرسیستم بر اساس الگوی تهدید و تشدید مدل‌سازی شد.

در زیرسیستم کسری آب شبکه آبیاری، در واقع چهار الگوی رفتاری در بلندمدت، کسری آب مخزن را فاجعه‌بارتر می‌کنند که هرکدام از این الگوهای رفتاری بر اساس تصمیمات مدیریتی و یا فردی کشاورزان اتفاق می‌افتد و همه آنها با الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست مدل شده‌اند. کسری آب سیستم، تابعی از تقاضای آب است بنابراین هر تصمیمی که منجر به افزایش تقاضا در بلندمدت گردد؛ کسری را بیشتر خواهد کرد. افزایش حجم آب در دسترس شبکه خواه از طریق استخراج آب زیرزمینی و خواه از طریق دریافت آب سطحی از مخرن سد، در بلندمدت باعث توسعه کشاورزی و افزایش سطح زیر کشت خواهد شد و این موضوع تقاضای آب را بیشتر خواهد کرد. از طرفی دیگر و به روشی مشابه، کشاورزان در مواجهه با کسری مخزن و کاهش عملکرد کشاورزی، جهت افزایش عواید خود، تصمیم به کشت الگوهایی اقتصادی با مصرف آب بیشتر می‌کنند. لذا مجموعه این عوامل کسری مخزن را در بلندمدت تشدید می‌نماید.

در زیرسیستم تخریب منابع آب در واقع موضوع برداشت‌های غیرمجاز از منابع زیرزمینی، تصمیمات متخذه و راه‌حل‌های اجرا شده مورد بحث قرار گرفته‌اند. برداشت‌های غیرمجاز از منابع زیرزمینی تمام محاسبات مدیران در خصوص میزان استخراج آب زیرزمینی را برهم می‌زند. دلیل اصلی موضوع برداشت‌های غیرمجاز از منابع زیرزمینی افزایش نیاز آبی تامین نشده کشاورزان است اما این رویه در بلندمدت با کاهش منابع زیرزمینی هم به‌واسطه افزایش میزان انرژی مورد نیاز و هم به‌واسطه کاهش ظرفیت حمل مزرعه و نهایتاً کاهش عملکرد باعث کاهش شاخص میزان عملکرد محصول در واحد انرژی مصرفی می‌شود. لذا هر دو سناریو با الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست مدل شدند. از طرفی راه‌حل ارائه شده از سوی مدیران، انسداد چاه‌های غیرمجاز بوده است که یک راه‌حل مقطعی و کم‌اثر می‌باشد و باید الگوی مصرف آب در شبکه‌های آبیاری اصلاح گردند.

در زیرسیستم تخریب اراضی (منابع خاک)، در حقیقت استفاده غیرعلمی از نهاده‌های کشاورزی جهت بهبود شاخص عملکرد محصول در واحد سطح از سوی کشاورزان است که با افزایش نیاز آب‌شویی، افزایش میزان تقاضا و نهایتاً افزایش تقاضای تامین نشده در بلندمدت میزان عملکرد را کاهش می‌دهد و شاخص نامبرده، ضعیف‌تر می‌شود. از طرف دیگر با کاهش این شاخص، تمایل افزایش سطح زیرکشت جهت افزایش درآمد، باعث تشدید میزان تقاضا می‌شود و این دو سناریو در تشدید بحران کمک می‌کنند. هر دو سناریو با استفاده از الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست مدل شدند.

در زیرسیستم ضعف بهره‌وری آب، راه‌حل مقطعی بهبود راندمان شبکه با راه‌حل اساسی القاء کم‌آبیاری تنظیم شده در اراضی باغی و طرح تحویل توافقی در اراضی زراعی مقایسه شدند. در واقع، افزایش راندمان به افزایش تحویل آب کمک می‌کند بدون آنکه میزان اثرگذاری آب تحویلی در نظر گرفته شود. درحالی‌که میزان کارایی آب تحویلی می‌بایست با میزان نیاز اصلی کشاورزان هماهنگ شود و کشاورزان باید برای استفاده حداکثری از آب دریافتی آموزش داده شوند. این الگو، با استفاده از الگوی انتقال بار مسئولیت مدل شد. از طرفی طرح تحویل توافقی، به‌عنوان یک اثر جانبی، میزان نوسانات دبی را افزایش داده و مدیران برای کاهش این نوسانات اقدام به کاهش انعطاف‌پذیری طرح تحویل خواهند کرد. این مکانیسم نیز با الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست مدل شد.

در زیرسیستم مطلوبیت شبکه آبیاری، علل کاهش مقادیر شاخص‌های کیفی شبکه مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های کیفی شبکه آبیاری با توجه به تعاریف (Molden & Gates, 1990) میزان آب تحویلی به شبکه را در نرم‌های مختلف بررسی می‌کنند. بدیهی است عوامل مدیریتی و سازه‌ای مسئول کاهش این شاخص‌ها بوده و در بلندمدت به‌دلیل تحلیل رفتن شرایط سازه‌ای و اشتباهات بهره‌برداری و عدم نگهداری سازه‌های انتقال و توزیع آب، به‌مرور زمان شاهد کاهش مطلوبیت شبکه بوده‌ایم. به‌طوریکه این ضعف در شبکه آبیاری را با استفاده از الگوی تقلیل اهداف مدل‌سازی کرده‌ایم.

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی پویا به‌عنوان ابزاری مفید برای تشخیص و برنامه‌ریزی، تعیین محدودیت مسئله در قلمرو، نمایانگر اصلی‌ترین متغیرهای مهم و فعل و انفعالات آن در سیستم است. همچنین امکان شناسایی نیازهای هم‌افزایی سیستم برای پیش‌بینی فعل و انفعالات مثبت سیستم را تقویت می‌کند و آن را به تعادل پویا می‌رساند. این ابزار این امتیاز را دارد که سناریوهای آینده را با سهولت بیشتری طرح کند. با توجه به این نتیجه‌گیری‌ها، داشتن یک معیار تلفیقی برای مدیریت یکپارچه و هماهنگ حوزه شبکه ضروری است. این مدل همچنین جامعیت و هماهنگی بین متغیرهای محصول این تحقیق را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

ساختار تحلیلی ارائه شده برای مدل مفهومی برای مدیریت شبکه براساس پایداری به‌عنوان محور اصلی توسعه آن است. مدل پیشنهادی بیانگر یک چشم‌انداز پیش‌بینی شده است که در آن، زمان بین فازها به‌عنوان امتیاز مفهوم‌سازی تلقی می‌شود که نحوه ایجاد تصمیمات گرفته شده برای ایجاد سناریوها را توصیف می‌کند (Medina Vásquez & Ortegón, 2006) ساختار مدل مدیریت پایدار برای شبکه آبیاری و بلوک‌های کشاورزی آن، نتیجه گفتگو و بازخورد متغیرهای اجتماعی، فنی، سیاسی و اقتصادی است که در الگوهای آگاهانه مدیریت برای منطقه تجسم می‌یابد.

مدل سیستم‌های پویا در مکانی بین نظریه و عمل قرار گرفته است که به تحلیل‌گر مدل اجازه می‌دهد هنگام تحلیل، خود را در مشکلات حوزه مشاهده کند؛ به این ترتیب، مدل به یک رویکرد جامع پاسخ می‌دهد که مدیریت را به واقعیت محلی در مورد مشکلات شبکه و اصل آن مدیریت یکپارچه و پایدار حوزه شبکه مرتبط می‌کند.

نزدیک شدن به منازعه به شکلی پراکنده (هر زیرسیستم جداگانه) به شما اجازه نمی‌دهد روابطی که از خود منازعه ناشی می‌شود را ببیند. این امر توانایی افراد در تصمیم‌گیری برای شناسایی راه‌حل‌های هم‌افزایی شده برای مشکلات موجود در مدیریت شبکه آبیاری را ضعیف می‌کند. به‌علاوه، عدم توانایی در مدیریت مشترک همه بخش‌ها، وابستگی آنها به سیاست‌های حمایتی از طرف دولت را که وضعیت موجود رابطه آب–غذا–انرژی را حفظ می‌کند، افزایش می‌دهد. به‌همین دلیل است که مهم است که مدیریت مستقل از منابع کاهش یابد تا منابع آنها را از نابودی حفظ نماید.

از طرف دیگر، تکه‌تکه شدن هویت سیستم شبکه و بلوک‌های کشاورزی آن، مدیریت بخش‌های آب، غذا و انرژی را در یک سناریوی پیچیده قرار می‌دهد که تشخیص معادلات حاکم بر عملکرد تابع هدف هنگام بررسی و مدیریت نقاط ضعف زیرسیستم‌ها دشوار می‌شود.

در امور سیاست‌گذاری، شبکه‌های آبیاری و بلوک‌های کشاورزی آنها به‌عنوان محصول رشد جمعیت در حوضه شبکه، به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. علاوه بر این، باید مجموعه‌ای از قوانین و مقررات مربوط به منطقه‌بندی وجود داشته باشد که برای شکل‌دهی به مسیر توسعه پایداری شبکه‌ها وضع شود.

در آخر، لازم است که بر اهمیت ایجاد ابزاری که کل حوضه شبکه را در سطح ملی سازماندهی و هماهنگ می‌کند، تأکید کنیم. با این‌وجود، داشتن تمایل سیاسی برای تعریف سایر معیارهای این پیشرفت ضروری است. در عین‌حال، این مدل چشم‌انداز احتمالی پیش‌بینی منطقی و مطلوب شبکه در آینده را نشان می‌دهد. از این لحاظ، مدل پیشنهادی فضایی را در زمان با عناصری از گذشته و حال ایجاد می‌کند که حالات پیش‌بینی شده برای مدیریت کارآمدتر این حوزه را در زمینه اکتشاف متغیرهای دیگر و آینده‌نگری شفاف‌تر ارائه می‌دهد.

نکسوس یکی از ابزارها و راهکارهای مدیریتی در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار است. نکسوس باید به‌عنوان هویتی واحد در پایداری زیست‌محیطی واحدهای بهره‌برداری کشاورزی موردتوجه قرار گیرد (Sarkodie & Owusu, 2020; Sohofi, Melkonyan, Karl, & Krumme, 2016). در واحدهای بهره‌برداری هریک از منابع آب، انرژی و غذا و به‌طورکلی سازوکارها به‌طور قابل‌توجهی به یکدیگر وابسته‌اند و با هم تشکیل سیستمی پویا را می‌دهند و تغییرات یک بخش، تأثیرخود را بر بخش‌های دیگر می‌گذارد و همچنین علاوه بر تأثیرپذیری از پیوندهای درونی، از عوامل متعدد اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فناوری و محیطی در خارج پیوند نیز تأثیر می‌گیرند (Kolahzari Moghaddam & Ketabchi, 2020). نگاه به پیوند ناگسستنی این سه منبع امکان هماهنگی فعالیت‌های بین بخشی در این حوزه‌ها را فراهم می‌سازد (Rasul, 2016). فقدان نگاه سیستمیک به نکسوس در بسیاری از کشورهای در حال توسعه موجب شده تا در مدیریت این سه منبع مهم حیات و توسعه ناکارآمد باشند (Khacheba, Cherfaoui, Hartani, & Drouiche, 2018). البته تمرکز نکسوس باید فراتر از شاخص‌های صرفا" کارآیی و کمیابی منابع باشد تا بتواند در فقرزدایی و رفع نابرابری تاثیرگذار باشد (Jobbins, Kalpakian, Chriyaa, Legrouri, & El Mzouri, 2015). هرچه پیوند اجزای نکسوس قوی‌تر و هم‌افزایی بین آن‌ها وجود داشته باشد، نظام‌های تولیدغذا در مقابل تغییر اقلیم و شوک‌های محیطی سازگارتر می‌شوند (Senge, 1990, 2005, 2006). رویکرد نکسوس توان سازگاری کشاورزان با تغییر اقلیم را افزایش می‌دهد (Nhamo et al., 2018). گسترش رویکرد نکسوس در واحدهای بهره‌برداری مستلزم توجه به آن در سطح مدیریت مزرعه است (Karamian, et al., 2021). در ضمن این رویکرد نباید صرفا" از بعد فنی موردتوجه قرار گیرد، بلکه ابعاد نهادی و سیاستی آن نیز بسیار مهم و تاثیرگذار است (Terrapon-Pfaff et al., 2020) و عملکرد آن وابسته به میزان تلفیق با نظام‌های اجتماعی است (Molajou, Pouladi, & Afshar, 2021) یک مطالعه نشان داد تضعیف نکسوس به‌دنبال خود تخریب بیشتر منابع طبیعی، کاهش کارآیی فناوری‌های جدید و تهدید امنیت غذایی را به‌دنبال داشته است (Adebiyi, Olabisi, Liu, & Jordan, 2021).

منابع

Adebiyi, J. A., Olabisi, L. S., Liu, L., & Jordan, D. (2021). Water–food–energy–climate nexus and technology productivity: A Nigerian case study of organic leafy vegetable production. *Environment, Development and Sustainability, 23*, 6128-6147.

Allan, T., Keulertz, M., & Woertz, E. (2015). The water–food–energy nexus: an introduction to nexus concepts and some conceptual and operational problems. *Taylor & Francis,* 31, 301-311.

Aslani, A., Helo, P., & Naaranoja, M. (2014). Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach. *Applied energy, 113*, 758-765.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

Atanasova, N., Todorovski, L., Džeroski, S., & Kompare, B. (2006). Constructing a library of domain knowledge for automated modelling of aquatic ecosystems. *Ecological Modelling, 194*(1-3), 14-36.

Bagheri, A. (2006). Sustainable Development: Implementation in Urban Water Systems, Doctoral dissertation, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Baker, J. (2006). Systems thinking and counterinsurgencies. *The US Army War College Quarterly: Parameters, 36*(4), 1.

Balali, H., Khalilian, S., Viaggi, D., Bartolini, F., & Ahmadian, M. (2011). Groundwater balance and conservation under different water pricing and agricultural policy scenarios: A case study of the Hamadan-Bahar plain. *Ecological economics, 70*(5), 863-872.

Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., . . . Tol, R. S. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy policy, 39*(12), 7896-7906.

Brzezina, N., Biely, K., Helfgott, A., Kopainsky, B., Vervoort, J., & Mathijs, E. (2017). Development of organic farming in Europe at the crossroads: Looking for the way forward through system archetypes lenses. *Sustainability, 9*(5), 821.

Cheng, L. (2010). System dynamics model of Suzhou water resources carrying capacity and its application. *Water Science and Engineering, 3*(2), 144-155.

Conti, J., Holtberg, P., Doman, L., Smith, K., Sullivan, J., Vincent, K., . . . Kearney, D. (2011). *International energy outlook 2011. US Energy Information Administration*. Retrieved from

Gleick, P. H. (1994). Water and energy. *Annual Review of Energy and the environment, 19*(1), 267-299.

Guan, D., Gao, W., Su, W., Li, H., & Hokao, K. (2011). Modeling and dynamic assessment of urban economy–resource–environment system with a coupled system dynamics–geographic information system model. *Ecological Indicators, 11*(5), 1333-1344.

Hatam, A., Monem, M.J. & Bagheri A. (2013). System dynamic model development for irrigation network rehabilitation, cosidering farmers participation personnel promotion. *Journal of Agricultural Engineering Research, 13*(4), 1-24 (In Persian).

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

Hoff, H., Iceland, C., Kuylenstierna, J., & Te Velde, D. W. (2012). Managing the water-land-energy nexus for sustainable development. *UN Chronicle, 49*(1-2), 4.

Hosseinzadeh, Z., Monem, M. J., Nahavandi, N., & Tehrani, M. V. (2017). Development of a conceptual model for application of hydro-mechanical gates in irrigation networks by a system dynamic approach. *Irrigation and Drainage, 66*(5), 808-819.

Jobbins, G., Kalpakian, J., Chriyaa, A., Legrouri, A., & El Mzouri, E. H. (2015). To what end? Drip irrigation and the water–energy–food nexus in Morocco. *International Journal of Water Resources Development, 31*(3), 393-406.

Karamian, F., Mirakzadeh, A. A., & Azari, A. (2021). The water-energy-food nexus in farming: Managerial insights for a more efficient consumption of agricultural inputs. *Sustainable Production and Consumption, 27*, 1357-1371.

Keairns, D., Darton, R., & Irabien, A. (2016). The energy-water-food nexus. *Annual review of chemical and biomolecular engineering, 7*, 239-262.

Khacheba, R., Cherfaoui, M., Hartani, T., & Drouiche, N. (2018). The nexus approach to water-energy-food security: an option for adaptation to climate change in Algeria. *Desalination and Water Treatment, 131*, 30-33.

Khan, S., Yufeng, L., & Ahmad, A. (2009). Analysing complex behaviour of hydrological systems through a system dynamics approach. *Environmental Modelling & Software, 24*(12), 1363-1372.

Kolahzari Moghadam, F. & Ketabchi, H. (2020). Feasibility of applying a simulation-optimization model for assessment of decisions based on water-energy-food nexus considering the environmental damages. *Iranian Journal of Eco Hydrology. 7*(2), 313-329 (In Persian).

Li, F. J., Dong, S. C., & Li, F. (2012). A system dynamics model for analyzing the eco-agriculture system with policy recommendations. *Ecological Modelling, 227*, 34-45.

Madani, K., & Khatami, S. (2015). Water for energy: Inconsistent assessment standards and inability to judge properly. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 2*, 10-16.

Medina Vásquez, J. E., & Ortegón, E. (2006). Manual for strategic planning and decision-making: theoretical bases and instruments for Latin America and the Caribbean. *repositorio.cepal.org.* United Nations.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

Mielke, E., Anadon, L. D., & Narayanamurti, V. (2010). Water consumption of energy resource extraction, processing, and conversion. Energy Technology Innovation Policy Discussion Paper No. 2010-15, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, Harvard University, October 2010: 13-22

Mitigation, C. C. (2011). IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. *Renewable Energy, 20*(11).

Molajou, A., Pouladi, P., & Afshar, A. (2021). Incorporating social system into water-food-energy nexus. *Water resources management, 35*, 4561-4580.

Molden, D. J., & Gates, T. K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *Journal of irrigation and drainage engineering, 116*(6), 804-823.

Nhamo, L., Ndlela, B., Nhemachena, C., Mabhaudhi, T., Mpandeli, S., & Matchaya, G. (2018). The water-energy-food nexus: Climate risks and opportunities in southern Africa. *Water, 10*(5), 567.

Qudrat-Ullah, H. (2015). Modelling and simulation in service of energy policy. *Energy Procedia, 75*, 2819-2825.

Rasul, G. (2014). Food, water, and energy security in South Asia: A nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region☆. *Environmental Science & Policy, 39*, 35-48.

Rasul, G. (2016). Managing the food, water, and energy nexus for achieving the Sustainable Development Goals in South Asia. *Environmental Development, 18*, 14-25.

Rasul, G., & Sharma, B. (2015). Water, Food, and energy nexus in South Asia: Implications for adaption to climate change. *Handbook of climate change adaptation*, 1329-1350.

Rasul, G., & Sharma, B. (2016). The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. *Climate Policy, 16*(6), 682-702.

Ringler, C., Bhaduri, A., & Lawford, R. (2013). The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? *Current Opinion in Environmental Sustainability, 5*(6), 617-624.

Robalino-López, A., Mena-Nieto, A., & García-Ramos, J. E. (2014). System dynamics modeling for renewable energy and CO2 emissions: A case study of Ecuador. *Energy for Sustainable Development, 20*, 11-20.

Rozman, Č., Škraba, A., Kljajić, M., Pažek, K., Bavec, M., & Bavec, F. (2008). *The system dynamics model for development of organic agriculture.* Paper presented at the AIP Conference Proceedings.

Sahin, O., Stewart, R. A., & Porter, M. G. (2015). Water security through scarcity pricing and reverse osmosis: a system dynamics approach. *Journal of cleaner production, 88*, 160-171.

Sarkodie, S. A., & Owusu, P. A. (2020). Bibliometric analysis of water–energy–food nexus: Sustainability assessment of renewable energy. *Current Opinion in Environmental Science & Health, 13*, 29-34.

Senge, P. M. (1990). The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization, Journal of Human Resource Management, 26(3), 343-348. https://doi.org/10.1002/hrm.3930290308.

Senge, P. M. (2005). The Fifth Discipline in Practice: Granica Editions SA. books.google.com, 608 pp, Argentina.

Senge, P. M. (2006). The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. Broadway Business. pocketbook4you. Avalable at: https://www.pocketbook4you.com/en/read/the-fifth-discipline, Scientific Research, An Academic Publisher. New York.

Shabani, S., Monem, M.J., & Bagheri A. (2014). Dynamic model of Fumanat irrigation network improvement system from the perspective of adequacy and equability indices. Journal of Iran's Irrigation and Drainage. Tehran. Iran (In Persian).

Shahabi Far, J. & Nourinia, H. (2010). Studying fertilizer challenges in Qazvin province*, The first congress of fertilizer challenges in Iran.* Tehran, Iran, (In Persian).

Shi, T., & Gill, R. (2005). Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in China: the case study of Jinshan County with a systems dynamics model. *Ecological economics, 53*(2), 223-246.

Siddiqi, A., & Fletcher, S. (2015). Energy intensity of water end-uses. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 2*, 25-31.

Sohofi, S., Melkonyan, A., Karl, C., & Krumme, K. (2016). *System archetypes in the conceptualization phase* of water–energy–food nexus modeling. *Paper presented at the Proceedings of the 34th International Conference of the System Dynamics Society*.

Stave, K. A. (2003). A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. *Journal of Environmental Management, 67*(4), 303-313.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]

Sterman, J. (2000). Business dynamics systems thinking and modeling for a complex world. published by Irwin McGraw-Hill. In: USA.

Stuardo-Ruiz, G., Peña-Cortes, F., & Ther-Rios, F. (2014). The perception of public actors respecting the processes and imbalances in the management of the Maullín river estuary, Los Lagos Region, Chile: a conceptual model for the political and technical decision making processes. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, 14*(1), 27-40.

Sušnik, J., Vamvakeridou-Lyroudia, L. S., Savić, D. A., & Kapelan, Z. (2012). Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. *Science of the total environment, 440*, 290-306.

Terrapon-Pfaff, J., Ersoy, S. R., Fink, T., Amroune, S., Jamea, E. M., Zgou, H., & Viebahn, P. (2020). Localizing the water-energy nexus: the relationship between solar thermal power plants and future developments in local water demand. *Sustainability, 13*(1), 108.

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.

Vlachos, D., Georgiadis, P., & Iakovou, E. (2007). A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. *Computers & operations research, 34*(2), 367-394.

Winz, I., Brierley, G., & Trowsdale, S. (2009). The use of system dynamics simulation in water resources management. *Water resources management, 23*, 1301-1323.

Xi, X., & Poh, K. L. (2013). Using system dynamics for sustainable water resources management in Singapore. *Procedia Computer Science, 16*, 157-166.

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-10]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.2.1]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.16]