Environmental Sciences ***(Environ. Sci.)*** **2024, 22(1):1-20** **ISSN: 2588-6177**

Original Article

Investigating of Water, Energy, and Food Nexus with the Systems Dynamics Approach; a Case Study of Varamin Plain

Received: 2023.03.10
Accepted: 2023.07.16

Alireza Shahmohammadi,[1] Korous Khoshbakht,[1*] Hadi Veisi,[1] Mohammad Reza Nazari[2]

[1] Department of Agroecology, Shahid Beheshti University, Environmental Sciences Research institute, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran, Iran

[2] Environment and Natural Resources Economics Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Climate and ecosystem changes in coordination with other factors have challenged many basic paradigms of natural resource management. The purpose of this research was to know the correlation between water, energy, and food in Varamin Plain by the method of the mental model and the dynamics of water, energy, and food correlation under political scenarios.

Material and Methods: Data and relationships related to the mental model were collected through interviews with the farmers and managers of the region using the Mental Modeler software. Data related to the correlation dynamics model was also collected through organizations, regional stakeholders and authoritative articles. The WEF nexus model developed for the study area consists of interconnected relationships for modeling water, agriculture and energy subsystems and their interactions. The simulation model was built using Vensim software, and the simulation period was considered a 20-year period. The equations in each subsystem were created based on the basic equations of the system dynamics approach and the causal loop diagrams of each subsystem using relationships and positive and negative feedbacks.

Results and Discussion: The results of system dynamic modeling showed that the state of surface water resources and water security of the plain will be 158 million cubic meters and -162 million cubic meters, respectively, during the period of 20 years, which shows the reduction of resources compared to the original situation. The results of the model without applying the scenario showed that the volume of the Varamin Plain aquifer will decrease from 4000 million cubic meters to 2700 million cubic meters during the 20-year period. This shows that the policies of providing water resources, including the excessive use of wells, the development of urbanization and the creation of industries, as well as the lack of increase in the productivity of agricultural water through modern irrigation methods, are the reasons for such a problem. The application of scenarios for the allocation of the environmental needs of the Bandalikhan wetland showed that the plain will not have the ecological capacity to allocate water to the wetland, so that in the next 20 years, the water security of the plain will decrease to 180 million cubic meters. Also, applying the scenario of increasing irrigation efficiency without increasing the cultivated area from 58% to 70% was effective in improving the reduction of agricultural water demand and increasing the cultivated area. The increase in cultivated area up to 41,600 hectares had a positive effect on agricultural water demand, but more than this amount caused the pressure on water resources to increase. Based on the limitations of water resources and the reduction of water security in the Varamin Plain, the production of the plain's products will also face a decrease. Due to its proximity to the city of Tehran, the Varamin Plain plays an important role in meeting the needs of the people of Tehran and the surrounding cities.

Conclusion: Examining the results and comparing the data showed that during the 20-year period, Varamin Plain will have an unfavorable situation regarding water resources and food production. The management of the resources of Varamin Plain requires a change in organizational, agricultural and developmental approaches. The development of solar systems in order to meet the energy needs, the establishment of the wastewater treatment plant in Varamin and the development of the treatment plant south of Tehran, as well as moving towards sustainable compression is effective in creating the stability of the plains resources in order to properly exploit the resources. On the other hand, increasing the irrigation efficiency without increasing the cultivation area can help in balancing the current situation so that with the implementation of the policies of the sixth development plan, the demand for agricultural water will be reduced to some extent and the pressure on the underground water resources will be reduced.

Keywords: Mental model, Sustainable intensification, Systems dynamics, Underground water resources, Water security

How to cite this article:
Shahmohammadi, A., Khoshbakht, K., Veisi, H. and Nazari, M.R., 2024. Investigating of Water, Energy, and Food Nexus with the Systems Dynamics Approach; a Case Study of Varamin Plain. Environ. Sci. 22(1): 1-20

* **Corresponding Author Email Address:** k_khoshbakht@sbu.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2023.1229

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم محیطی، ۲۰-۱ : (۱) ۲۲، ۱۴۰۳ شاپا: ۶۱۷۷-۲۵۸۸

مقاله پژوهشی

بررسی همبست آب، انرژی و غذا با رویکرد پویایی سیستم‌ها؛ مطالعه موردی دشت ورامین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

علیرضا شاه‌محمدی[۱]، کورس خوشبخت[۱]*، هادی ویسی[۱]، محمدرضا نظری[۲]

[۱] گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] گروه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: تغییرات اقلیمی و اکوسیستمی در هماهنگی با عواملی چون رشد جمعیت و مدیریت نادرست منابع، بسیاری از الگوهای مدیریت منابع طبیعی را به چالش کشیده است. هدف از این تحقیق شناخت روابط همبست آب، انرژی و غذا در دشت ورامین به روش مدل ذهنی و پویایی همبست آب، انرژی و غذا تحت سناریوهای سیاستی بود.

مواد و روش‌ها: داده‌ها و روابط مربوط به مدل ذهنی از طریق گفتگو و مشارکت با کشاورزان و مدیران منطقه به‌وسیله نرم‌افزار Mental Modeler جمع‌آوری گردید. داده‌های مربوط به مدل پویایی همبست نیز از طریق سازمان‌ها، ذینفعان منطقه و مقالات معتبر جمع‌آوری شد. مدل همبست WEF که برای منطقه مورد مطالعه توسعه داده شده است از روابط به‌هم‌پیوسته برای مدل‌سازی زیرسیستم‌های آب، کشاورزی و انرژی و تعاملات آن‌ها تشکیل شده است. مدل شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Vensim ساخته شد و دوره شبیه‌سازی یک دوره ۲۰ ساله در نظر گرفته شد. معادلات حاکم در هر زیرسیستم بر اساس معادلات پایه رویکرد پویایی سیستم‌ها و نمودارهای حلقه علی هر زیرسیستم با استفاده از روابط و بازخوردهای مثبت و منفی ایجاد شد.

نتایج و بحث: نتایج مدل‌سازی پویایی همبست نشان داد وضعیت منابع آب سطحی و امنیت آبی دشت طی دوره ۲۰ سال به ترتیب برابر با ۱۵۸ میلیون مترمکعب و ۱۶۲- میلیون مترمکعب خواهد بود؛ که نشان از کاهش منابع در مقایسه با وضعیت پایه دارد. نتایج مدل بدون اعمال سناریو نشان داد طی دوره ۲۰ ساله حجم آبخوان دشت ورامین از مقدار ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب به ۲۷۰۰ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت. این موضوع نشان می‌دهد سیاست‌های تأمین منابع آب ازجمله استفاده بی‌رویه از چاه‌ها، توسعه شهرنشینی و ایجاد صنایع و همچنین عدم افزایش بهره‌وری آب کشاورزی از طریق روش‌های نوین آبیاری دلیل بروز چنین مسئله‌ای است. اعمال سناریوهای تخصیص نیاز محیط‌زیستی تالاب بندعلیخان نشان داد دشت توان اکولوژیکی برای تخصیص آب به تالاب نخواهد داشت به‌طوری‌که در ۲۰ سال آینده امنیت آبی دشت به ۱۸۰- میلیون مترمکعب می‌رسد. همچنین اعمال سناریو افزایش راندمان آبیاری بدون افزایش سطح زیر کشت از ۵۸ درصد به ۷۰ درصد در بهبود کاهش تقاضای آب کشاورزی و افزایش سطح کشت مؤثر بود. افزایش سطح زیر کشت نیز تا مقدار ۴۱۶۰۰ هکتار اثر مثبت بر تقاضای آب کشاورزی داشت اما بیش از این مقدار سبب افزایش فشار منابع آبی گردید. بر اساس محدودیت‌های منابع آبی و کاهش امنیت آب در دشت ورامین، تولید محصول دشت نیز با کاهش روبه‌رو خواهد شد. دشت ورامین به دلیل هم‌جواری با شهرستان تهران نقش مهمی در تأمین نیاز مردم تهران و شهرستان‌های اطراف دارد.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج و روند مقایسه داده‌ها نشان داد طی دوره ۲۰ ساله، دشت ورامین وضعیت نامطلوبی در زمینه منابع آب و تولید غذا خواهد داشت. مدیریت منابع دشت ورامین نیازمند تغییر در باورها و ارزش‌های سازمانی، کشاورزی و توسعه‌ای دارد. توسعه سیستم‌های خورشیدی به‌منظور تأمین نیاز انرژی، راه‌اندازی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان ورامین و توسعه تصفیه‌خانه جنوب تهران، حرکت به سمت فشرده‌سازی پایدار در ایجاد پایداری منابع دشت به‌منظور بهره‌برداری صحیح منابع مؤثر است. از سویی دیگر افزایش راندمان آبیاری بدون افزایش سطح کشت می‌تواند در متعادل کردن وضعیت فعلی کمک‌کننده باشد به‌طوری‌که با اجرای سیاست‌های برنامه ششم توسعه تقاضای آب کشاورزی تا حدودی کاهش می‌یابد و فشار بر منابع آب زیرزمینی کاسته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: امنیت آب، پویایی سیستم‌ها، فشرده‌سازی پایدار، مدل ذهنی، منابع آب زیرزمینی

استناد به این مقاله: *شاه‌محمدی، ع.، ک. خوشبخت، ه. ویسی و م.ر. نظری. ۱۴۰۳. بررسی همبست آب، انرژی و غذا با رویکرد پویایی سیستم‌ها؛ مطالعه موردی دشت ورامین. فصلنامه علوم محیطی. ۲۲(۱): ۱-۲۰*

* **Corresponding Author Email Address:** k_khoshbakht@sbu.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2023.1229

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

امروزه جهان با سیستم‌های پیچیده، عوامل خارجی نامعلوم و مخاطرات بالا در معرض آسیب‌های جدی قرارگرفته است؛ که نیازمند درک و شناخت بهتر روابط متقابل سیستم‌های منبع و کنار هم قرار دادن روابط پیچیده در فرآیند تصمیم-گیری جهت تخصیص منابع است. سیستم‌های کشاورزی به‌منظور تولید غذا و رفع مسئله امنیت غذایی وابسته به منابع انرژی و آب هستند. درنتیجه این وابستگی متقابل باعث شکل‌گیری همبست آب، انرژی و غذا (WEF) شده است. از زمان انقلاب صنعتی گرایش‌ها به بهره‌برداری از منابع طبیعی از ظرفیت‌های محیط‌زیستی فراتر رفته است؛ و منجر به ایجاد تغییر در پویایی منابع جهانی و ملی تا نقطه نزدیک شدن یا حتی پیشی گرفتن از مرزهای سیاره‌ای شده است (Erb *et al.,* 2012). تحقیقات نشان می‌دهد ۲۰ درصد کاهش در منابع آبی تا سال ۲۰۷۰ رخ می‌دهد و میزان زمین‌های سطحی تحت تنش آبی از ۱۹ درصد به ۳۵ درصد افزایش می‌یابد (Pakmehr *et al.,* 2020). علاوه بر این، اختلالات در چرخه هیدرولوژیکی به‌طور قابل‌توجهی بر کیفیت آب و در دسترس بودن یا کمبود آب تأثیر می‌گذارد (Denicola *et al.,* 2015). طبق برآوردهای سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد[1]، بخش کشاورزی برای تأمین نیاز بشر تا سال ۲۰۵۰ باید تولیدات خود را تا ۵۶ درصد افزایش دهد (FAO, 2021). این در صورتی است که انتشار جهانی CO_2 ناشی از احتراق انرژی و فرآیندهای صنعتی در سال ۲۰۲۱ به بالاترین سطح سالانه خود رسیده است؛ به‌طوری‌که انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش شش درصدی نسبت به سال ۲۰۲۰ داشته است (Newell *et al.,* 2021). همچنین بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی مقدار مصرف انرژی تا سال ۲۰۳۵ حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (FAO, 2014). بر اساس پیش‌بینی‌های سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱۰ درصد مصرف آب آبیاری نیز افزایش خواهد داشت. طبق آمار تعداد افراد دارای سوءتغذیه در ایران نزدیک به شش درصد جمعیت کل کشور است (FAO, 2019). بیلان منفی آب در ۴۰۰ دشت ایران، کاهش بارندگی‌ها و افزایش دما، ناترازی در بخش انرژی و تأمین امنیت غذایی بخش از مشکلات پیش روی جامعه ایران است. این مسائل به معنی مدیریت نادرست و عدم توازن در بخش عرضه و تقاضای منابع است؛ بنابراین تضمین فراهمی منابع WEF در راستای نیل به اهداف پایداری و امنیت غذایی باید با یک دیدگاه یکپارچه و با کمترین آسیب به محیط‌زیست مدیریت شود؛ به‌طوری‌که در تخصیص منابع مدیریت یکپارچه به‌جای بخشی نگری جایگزین شود (Dehghani *et al,.* 2020; Rule, 2022) در ارزیابی سناریوهای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل مدیریت یکپارچه منابع آب[2] نشان داد درصورتی‌که دشت ورامین در صورت ادامه وضعیت فعلی در ۲۰ سال آینده قادر به تأمین ۱۶/۲ و ۲۷/۴ درصد از نیازهای آبی بخش‌های کشاورزی و صنعت نیست. همبست WEF در ابداع راهکارهای پایدار و درک دانش مدیریت محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ازجمله ایران مؤثر است. درک و شناخت منابع باید مبتنی بر رفتارهای اجتماع و مشارکت تمام ذینفعان مرتبط با سه منبع WEF باشد. یکپارچه‌سازی منابع و مدیریت منابع محیطی در راستای کمک به هم‌افزایی و کاهش تضادها و ناهماهنگی‌های میان آن‌ها است (Benson *et al.,* 2015; Gain *et al.,* 2015). تغییرات اقلیمی و اکوسیستمی در هماهنگی با عواملی چون رشد جمعیت و مدیریت نادرست منابع، بسیاری از الگوهای مدیریت منابع طبیعی را به چالش کشیده است. تغییرات گسترده منجر به دگرگونی‌های محیط‌زیستی شده است که مدیران را ملزم به ارزیابی مدیریت و اقدامات خود می‌کند (Schuurman *et al.,* 2020). دگرگونی‌های اکولوژیکی نوع شدیدی از تغییرات برگشت‌ناپذیر هستند که ترکیب جامعه و عملکرد اکوسیستم را به‌صورت تدریجی و پیوسته تحت تأثیر قرار

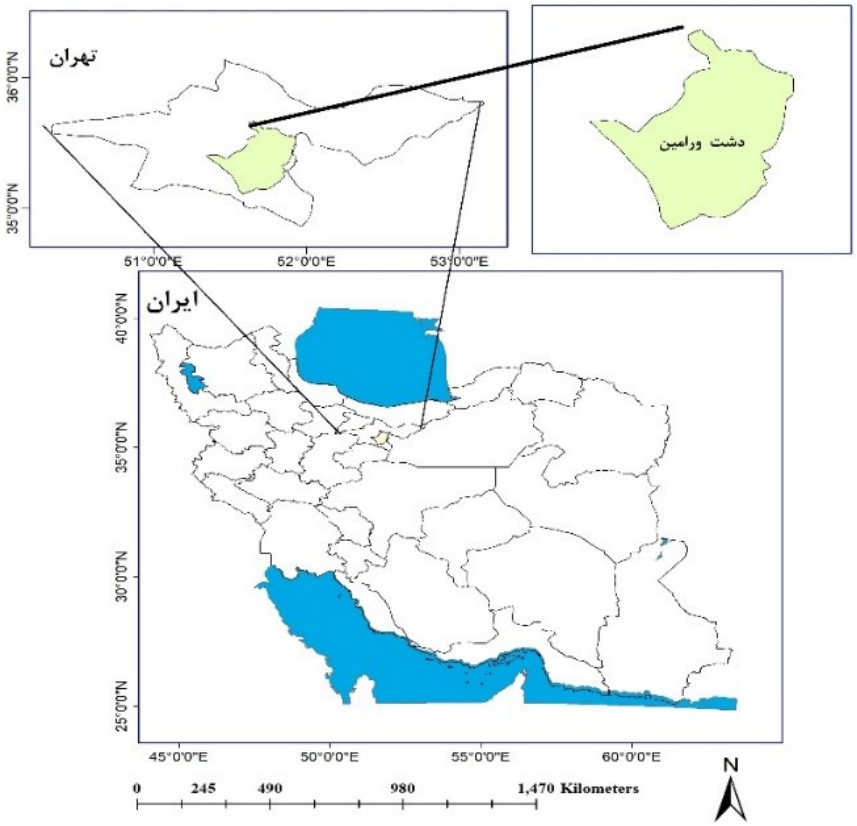
می‌دهند. (Williams *et al.*, 2020; Schuurman *et al.*, 2021). مدل‌های ذهنی سازه‌های ذهنی شکل‌گرفته‌ای هستند که افراد برای حل مشکلاتی که با آن‌ها مواجه می‌شوند از آن‌ها استفاده می‌کنند (Jones *et al.*, 2011). درک فردی از اکوسیستم‌ها، منابع و روابط انسان و محیط برای فهم و برخورد با مسائل موردپذیرش بسیاری از محققان قرارگرفته است (Hajjar and Kozack, 2015; Santo *et al.*, 2017). بنابراین وجود یا عدم وجود مشکل در یک اکوسیستم قضاوت ذهنی است که تحت تأثیر ارزش‌ها، ادراکات و اهداف مختلف قرار دارد (Hobbs, 2016; Nyam *et al.*, 2022). در تحقیقی با عنوان شناسایی الگوهای رفتاری سیستم‌های دوگانه آب - کشاورزی با استفاده از الگوهای بدوی سیستم و بررسی مدل ذهنی[3] ذینفعان نشان دادند؛ چهار اصل محدودیت‌های رشد، رفع شکست، تغییر مسئولیت و اصل جذابیت پیامدهایی برای سیاست‌های فعلی آب و توسعه کشاورزی در آفریقای جنوبی به همراه داشت. ساخت و تحلیل مدل به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا متغیرهای مفهومی در سیستم‌های محیط‌زیستی درک شود؛ و عدم اطمینان کاهش یابد. از مدل‌های ذهنی می‌توان به‌منظور ایجاد رابطه بین عناصر یک تصور ذهنی و محاسبه قدرت تأثیر عناصر یک سیستم، درک پویایی سیستم استفاده کرد (Henly *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2023) یک مدل پویایی سیستم برای شبیه‌سازی و توسعه سیستم همبست WEF و سیستم اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در استان هونان چین نشان دادند استان هونان مازاد تولید غلات خواهد داشت و در وضعیت خودکفایی در منابع آبی قرار خواهد گرفت اما از منظر امنیت انرژی وضعیت مناسبی نخواهد داشت. درک تعاملات پویا و مکانیسم‌های بازخورد در میان عوامل هیدرولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی برای برنامه‌ریزی راهبردی و مدیریت منابع آب بسیار مهم است (Sun and Yang, 2019). مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده شده است (Karimlou *et al.*, 2020). مدل پویایی سیستم‌ها می‌تواند اجزای هیدرولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی و همچنین اقدامات مدیریتی تحت سناریوهای اقلیمی و غیر اقلیمی را در یک مدل جامع برای درک رفتار پویایی سیستم‌های پیچیده و پاسخ آن‌ها به مداخلات در طول زمان ترکیب و تجزیه‌وتحلیل کند (Phan *et al.*, 2018). هدف این تحقیق بررسی روابط بین منابع آب، غذا و انرژی در دشت ورامین و اثر سناریو افزایش راندمان آبیاری و نیاز محیط‌زیستی بر روابط موجود در دشت ورامین بود؛ بنابراین شناخت از همبست آب، انرژی و غذا توانایی ما در ابداع استراتژی‌های درازمدت و پایدار را افزایش می‌دهد و به هم‌افزایی و کاهش تضادها و ناهماهنگی‌های در مدیریت یکپارچه منابع کمک می‌کند (Benson *et al.*, 2015).

مواد و روش ها

منطقه موردمطالعه

دشت ورامین در ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران و در حاشیه شمال غربی کویر مرکزی و بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). طبق آمار اراضی دشت ورامین در حدود ۳۴ هزار هکتار است؛ که تقریباً ۵۰ درصد مساحت دشت زیر کشت دو محصول گندم و جو است. کل تولیدات زراعی و باغی دشت ورامین حدود ۵۰۰ هزار تن در سال است که نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی ایران به‌ویژه استان تهران دارد (Ministry of Agricultural Jihad, 2020). میانگین بارندگی سالانه دشت ورامین معادل ۱۷۲ میلی‌متر و تبخیر آن معادل ۲۴۳۹ میلی‌متر در سال است (Valivand and Katibeh, 2022). وجود ۳ هزار چاه عمیق و نیمه عمیق در دشت ورامین این دشت را با کسری مخزن ۷۹- میلیون مترمکعب روبه‌رو کرده است (Ahmadi *et al.*, 2021). طبق گزارش‌های معاونت

فنی سازمان محیط‌زیست ایران، دشت ورامین سالانه ۳۶ سانتی‌متر نشست می‌کند. روند خشک‌سالی دشت ورامین بر حادتر شدن شرایط حاکم بر منطقه با پیش‌بینی افزایش ۱/۳ درجه‌ای دما، تغییر در الگوی بارش و تغییرات میزان شاخص خشکی گزارش شده است (Azizi *et al.*, 2021). بنابراین مطالعه همبست در دشت ورامین با توجه به تأمین امنیت غذایی ایران به‌ویژه استان تهران و همچنین وجود مشکلات عدیده در زمینه آب، توسعه پایدار و بخشی نگری در مدیریت منابع آب، انرژی و غذا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



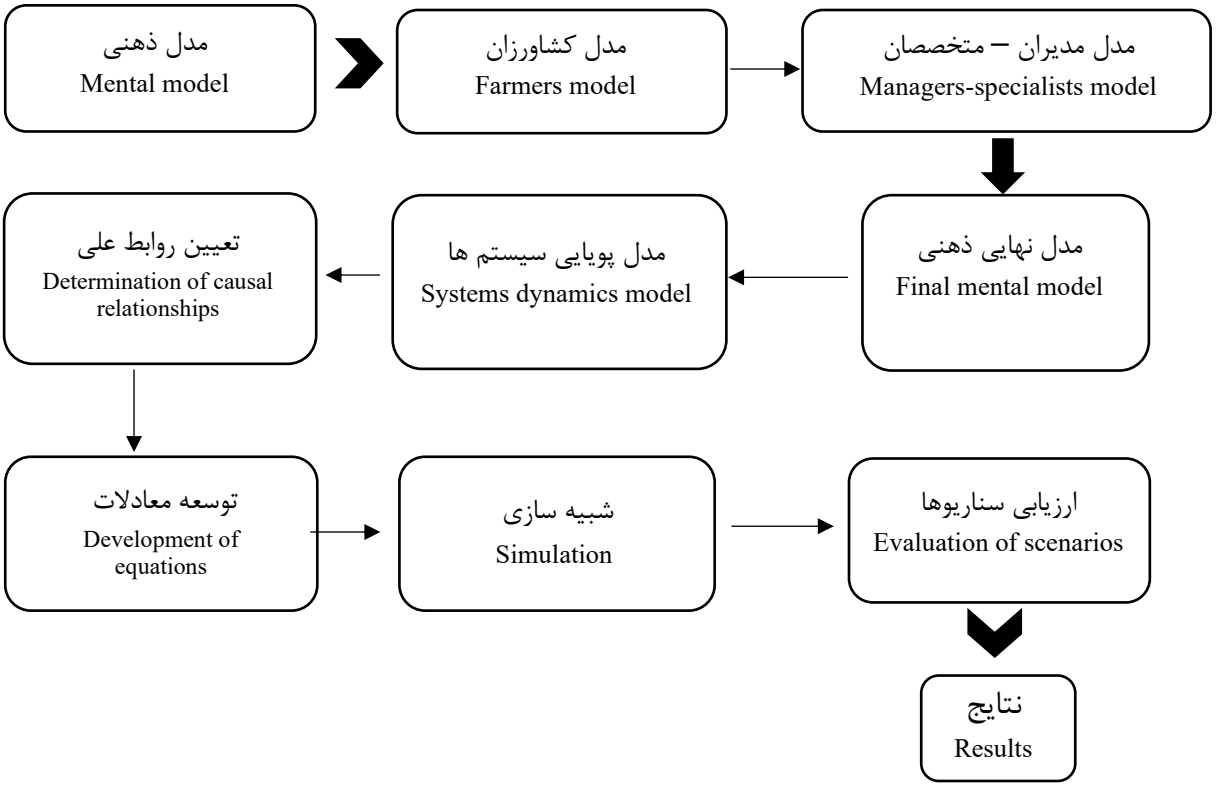
شکل ۱- منطقه موردمطالعه

Fig. 1- Area of study

مدل‌سازی پویایی همبست WEF

اولین تعریف مدل ذهنی توسط Craik (1943) انجام گرفت به‌گونه‌ای که افراد درک خود را از دنیای اطراف به هنگام سفر از طریق زمان و فضا تغییر دادند (Treur and Ments, 2022). مدل‌های ذهنی سازه‌های مهمی برای درک تفسیر انسان از دنیای خارجی هستند که بر تصمیمات و رفتارها تأثیر می‌گذارند. نقشه‌برداری شناختی منطق فازی[۴] یک فرم پیچیده از جمع‌آوری داده‌ها است که مکانیک تحلیلی آن مبتنی بر بررسی ساختار و عملکرد نقشه‌های مفهومی است (Gray *et al.*, 2014). در این تحقیق از روش نقشه‌برداری شناختی منطق فازی با استفاده از بازنمایی باورهای ذینفعان استفاده شد. نقشه‌برداری شناختی منطق فازی نسخه‌های ساختاری و پارامتری از نقشه‌های مفهومی هستند که علیت مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهند؛ این نقشه‌ها ترکیبی از جنبه‌های منطق فازی، شبکه‌های عصبی، شبکه‌های معنایی و سیستم‌های دینامیکی غیرخطی است (Glykas, 2010). این نشان‌دهنده سهم و جریان روابط بر اساس باورهای فردی یا گروهی است (Gray *et al.*, 2014). مشارکت در یک سلسله‌مراتب از سطح مدل‌های ذهنی فردی شروع می‌شود و به سطح سیستم‌ها بسط پیدا می‌کند (Jones *et al.*, 2009). در این تحقیق با استفاده از

فرآیندهای مشارکتی گروه‌هایی به‌عنوان ذینفع انتخاب شدند. دو گروه مشارکت‌کننده به‌عنوان کشاورزان و مدیران- متخصصان انتخاب شدند. دو جلسه گفتگو محور با گروه کشاورزان و مدیران- متخصصان برگزار شد. تعداد افراد شرکت‌کننده گروه کشاورزان و مدیران - متخصصان به ترتیب ۳۰ و ۲۰ نفر بود که موضوع اصلی تحقیق و فرآیند مشارکت کشاورزان و اهداف تحقیق شرح داده شد. استفاده از کشاورزان به‌منظور شناخت دانش آنان از همبست WEF و بیان جریانات مرتبط با همبست و همچنین مشارکت مدیران - متخصصان به‌منظور آگاهی دادن و افزایش بینش کشاورزان نسبت به رویکردها و کارکردهای کشاورزی دشت ورامین و بازنگری مدل اولیه بود. برای تسهیل یادگیری اجتماعی و برنامه‌ریزی مشارکتی، از نرم‌افزار مبتنی بر نقشه‌کشی شناختی به نام مدل‌سازی ذهنی استفاده شد؛ بنابراین به‌طور منسجم درک جمعی در سراسر فرآیند، اصلاح و بازبینی شد. در مرحله دوم مدل ذهنی گروه کشاورزان در اختیار گروه مدیران - متخصصان قرار گرفت تا با استفاده از دانش شناختی تکمیل گردد. ادغام دو مدل در یک مدل واحد به‌منظور ایجاد نمایشی از پویایی سیستم انجام شد؛ که شامل باورها و روابط هر دو گروه است (Gray *et al.*, 2014). درنتیجه مدل نهایی نقشه‌کشی شناختی منطق فازی به نرم‌افزار Vensim به‌منظور تعیین روابط کمی پویایی سیستمی وارد شد. تفکر پویایی سیستم‌ها یک روش مدل‌سازی مبتنی بر تفکر سیستمی با تأکید بر قیدها و بازخوردها است؛ که برای تجزیه‌وتحلیل و شبیه‌سازی مسائل پیچیده و ارزیابی پیامد سیاست‌گذاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش در سال ۱۹۵۰ در دانشگاه MIT آمریکا و توسط Forrester ایجاد شد (Phan *et al.*, 2018). اگرچه درک سیستم‌ها ثابت نبوده است و بین درک بوم‌شناختی و پاسخ‌های مدیریتی تأخیر وجود دارد اما مشاهدات و پیش‌بینی‌های کنونی ضرورت تغییر ژرف در نحوه درک و رویکرد ذینفعان و مدیران را به‌منظور تخصیص صحیح منابع فراهم کرده است (Rosenbaum, 2022). پویایی سیستم‌ها با الگوبرداری از جنبه‌های مختلف یک مسئله، روشی مؤثر برای تجزیه‌وتحلیل یک سیستم است (Ahmadvand *et al.*, 2014). این رویکرد می‌تواند نتایج نامشخص یا غیرمنتظره یک تصمیم را روشن و به ما در درک سیستم‌های پیچیده کمک کند (Khoshneshin and Bastan, 2014). همچنین ممکن است برای آزمایش سناریوهای مختلف با دیدگاه سیستمی از مشکل استفاده شود (Ravar *et al.*, 2020). مدل مفهومی توسعه‌یافته برای شبیه‌سازی همبست WEF در منطقه موردمطالعه ارائه شده است (شکل ۲). مدل همبست WEF که برای منطقه موردمطالعه توسعه داده شده است از روابط به‌هم‌پیوسته برای مدل‌سازی زیرسیستم‌های آب، کشاورزی و انرژی و تعاملات آن‌ها تشکیل شده است. مدل شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Vensim ساخته شد و دوره شبیه‌سازی یک دوره ۲۰ ساله در نظر گرفته شد. معادلات حاکم در هر زیرسیستم بر اساس معادلات پایه رویکرد پویایی سیستم‌ها و نمودارهای حلقه علی هر زیرسیستم با استفاده از روابط و بازخوردهای مثبت و منفی ایجاد شد (شکل ۳). گذار به پایداری نیازمند اقدامات یکپارچه برای تغییر مؤثر است. چنین اقداماتی شامل نقشه‌برداری از مشکلات، با هدف کاهش ناکارآمدی‌ها در سیستم و سازمان‌دهی مجدد زنجیره‌های تولید در بخش‌های دیگر است (Soares Dal Poz *et al.*, 2022). در سیستم‌های تولید مواد غذایی، گذار به پایداری شامل راهکارهایی است که باید از برخی ساختارها یا اصول تشکیل شوند. چنین راهکارهایی به درک و مدیریت سیستم‌های بسیار پیچیده نیاز دارند و برای این کار معمولاً از ابزارهای غیر سنتی استفاده می‌کنند. نمونه‌ای از ابزار غیر سنتی در کشاورزی، مدل‌سازی پویایی سیستم است که به‌طور گسترده در مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده برای درک روابط متقابل بین اجزا استفاده می‌شود (Bala *et al.*, 2017).



شکل ۲- فلوچارت مراحل انجام پژوهش
Fig. 2- Flowchart of research steps

زیرسیستم آب

کشاورزی دشت ورامین وابسته به عرضه آب سطحی و زیرزمینی است درنتیجه منابع آب سطحی دشت از طریق رودخانه شور از شمال غرب، رودخانه جاجرود از شمال شرق از طریق سد ماملو در دسترس قرار می‌گیرد (جدول ۱). از طرفی دیگر پساب حاصل از تصفیه‌خانه جنوب تهران به‌عنوان یک منبع آب سطحی نیز وارد دشت ورامین می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2021). بارش دشت نیز با تأمین نیاز آبی گیاه و همچنین ایجاد رواناب در تأمین آب مؤثر است. بر اساس گزارش وزارت نیرو کل مقدار مجموعه ورودی آب‌های سطحی معادل ۳۶۰ تا ۳۸۵ میلیون مترمکعب است. مصرف آب زیرزمینی در دشت ورامین معادل ۴۶۰ میلیون مترمکعب است که از این میزان تخلیه، ۶۵ / ۴۵۰ میلیون مترمکعب مرتبط با ۲۰۰۱ چاه عمیق و ۱۰۴۹ چاه نیمه عمیق است (Azizi and Nejatian, 2019). تأمین آب زیرزمینی دشت ورامین از طریق نفوذ آب‌های سطحی، آب برگشتی و جریان ورودی از مرز آبخوان تأمین می‌شود و حجم استاتیک آبخوان دشت ورامین معادل ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب است (Azizi and Nejatian, 2019). از مجموع آب‌های زیرزمینی، ۶۸ میلیون مترمکعب در بخش شرب، ۱۶ میلیون مترمکعب در بخش صنعت و ۷۵۹ میلیون مترمکعب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Ministry of Energy, 2021).

در این بخش از سیستم، کل منابع آب سطحی از معادله انتگرال (۱) به دست آمد.

$$SWS = (R + SHr + SRW + DWf + Ef) - (P + EV + WSW) \quad (۱)$$

در این معادله منابع آب سطحی (SWS)، رواناب (R)، رودخانه شور (SHr)، آب برگشتی سطحی (SRW)، جریان آب سد ماملو (DWf)، پساب (Ef)، نفوذ به آب زیرزمینی (P)، تبخیر (EV) و برداشت از منابع آب

سطحی (WSW) است. میزان انتقال آب از سد ماملو به دشت ورامین سالانه به میزانِ ۵۰ میلیون مترمکعب در سال است که در سال‌های اخیر به دلیل کاهش ذخیره سد و همچنین اختصاص به آب شرب شرق و جنوب شرقی استان تهران با کاهش مواجه شده است. از سویی دیگر میزان انتقال پساب از طریق کانال روباز به سمت دشت ورامین معادل ۱۲۰ میلیون مترمکعب گزارش‌شده است.

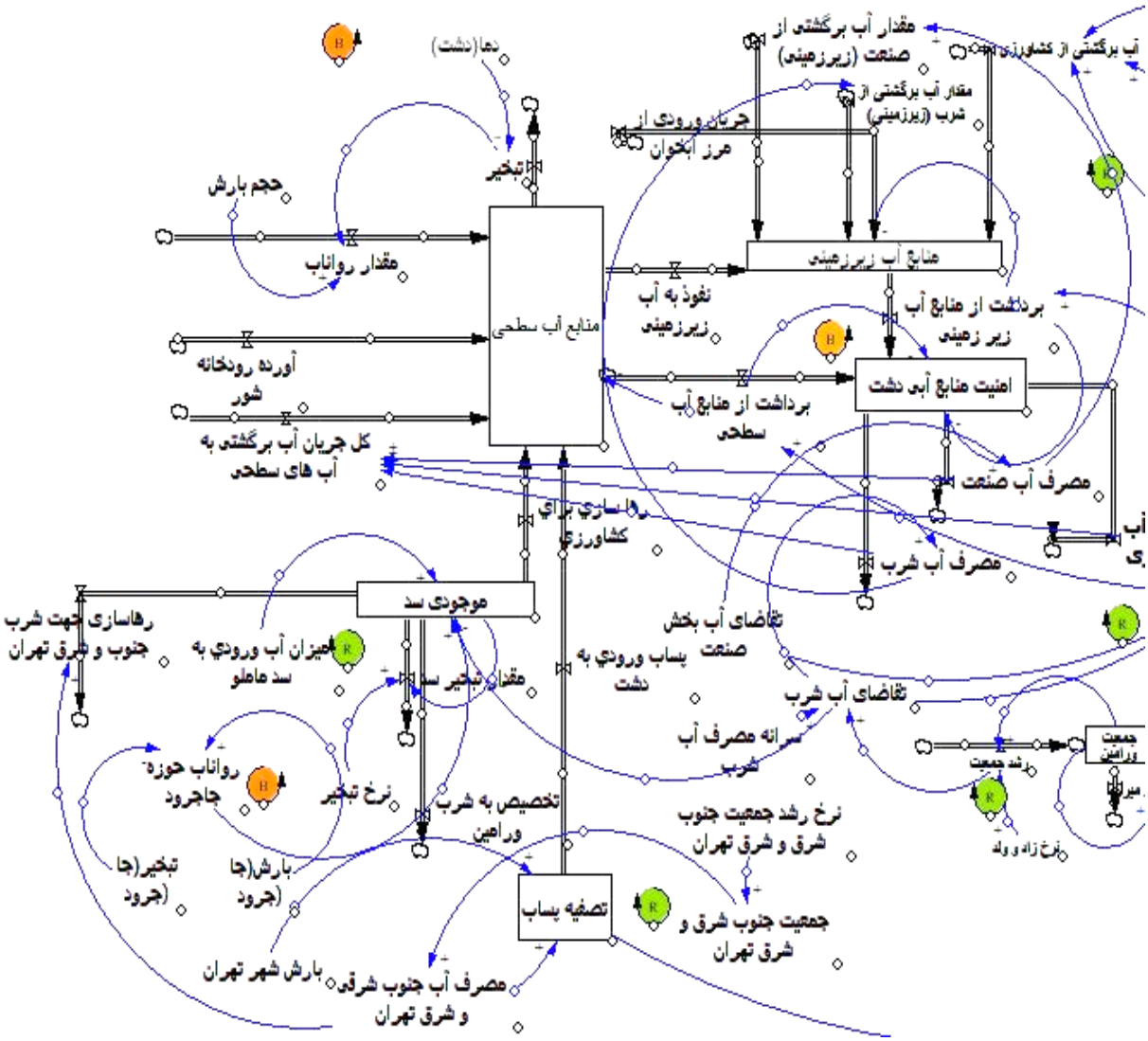
مقدار آب وردی به منابع آب زیرزمینی نیز از معادله انتگرال (۲) به دست آمد.

$$GWS = (P + AQB + RGW) - (WGW) \quad (۲)$$

GWS= (P+AQB+RGW)-(WGW)

در این معادله منابع آب زیرزمینی (GWS)، نفوذ به آب‌های زیرزمینی (P)، جریان مرز آبخوان (AQB)، آب برگشتی زیرزمینی (GRW)، برداشت از منابع زیرزمینی (WGW) است. همچنین امنیت آب (WSe) از اختلاف بین عرضه آب (WS) و تقاضای آب (WD) یا همان مصرف آب در بخش‌های مختلف طبق معادله (۳) به دست آمد.

$$WSe = WS - WD \quad (۳)$$



شکل ۳- نمودار علی زیرسیستم هیدرولوژی

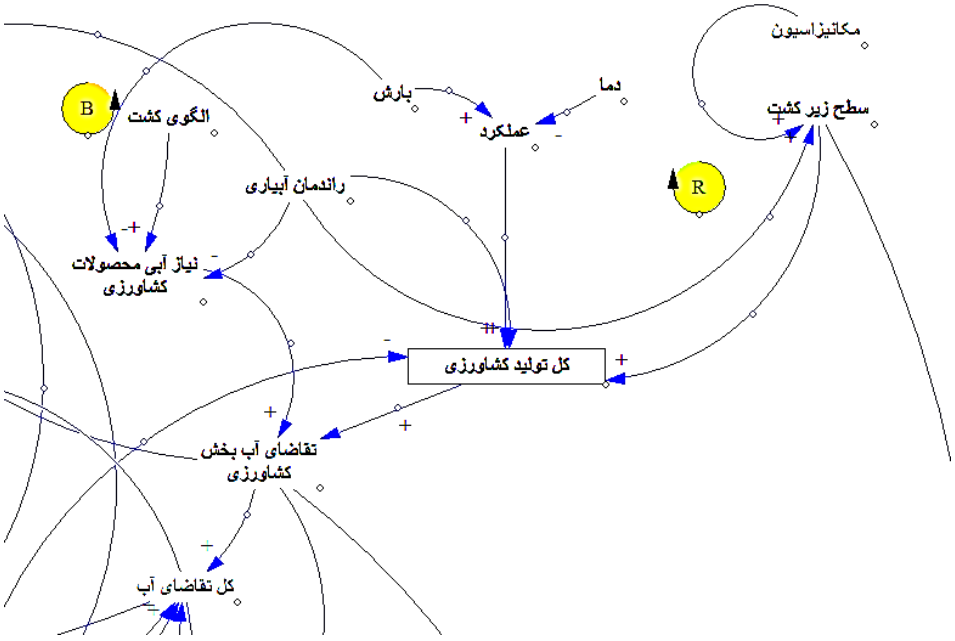
Fig. 3- Causal diagram of the hydrology subsystem

جدول ۱- ورودی‌ها و خروجی‌های زیرسیستم‌های هیدرولوژی، کشاورزی و انرژی در مدل پویایی سیستم
Table 1. Inputs and outputs of hydrology, agriculture and energy subsystems in the system dynamics model

منابع Sources	متغیرها Variables	کمیت Quantity	منابع Reference
Surface water sources **منابع آب سطحی**	Runoff رواناب	30 MCM/Year	Ministry of Energy (2021), Azizi *et al*. 2021, Ahmadi *et al*. 2021
	Shur River رودخانه شور	130 MCM/Year	
	Mamlo Dam سد ماملو	50 MCM/Year	
	Return water flow جریان آب برگشتی	40 MCM/Year	
Groundwater sources **منابع آب زیرزمینی**	Penetration into groundwater نفوذ به منابع آب زیرزمینی	12 MCM/Year	Ministry of Energy (2021), Azizi *et al*. 2021, Ahmadi *et al*. 2021 Tehran Province Water and Wastewater Regional Water Company of Tehran
	Return water flow جریان آب برگشتی	240 MCM/Year	
	Infiltration from the aquifer boundary نفوذ از مرز آبخوان	116 MCM/Year	
DAM **سد**	Allocation to agriculture اختصاص به کشاورزی	50 MCM/Year	Tehran Province Water and Wastewater Regional Water Company of Tehran
	Allocation to the Varamin drinking اختصاص به شرب ورامین	15 MCM/Year	
	Allocation to the Tehran drinking اختصاص به شرب تهران	120 MCM/Year	
Total production **تولید کشاورزی**	Agricultural and horticultural productions تولید زراعی و باغی	530,000 T/Year	Agricultural Administration Statistics (2021)
Effluent **پساب**	South Tehran sewage treatment plant تصفیه‌خانه جنوب تهران	100 MCM/Year	Regional water company of Tehran
Energy **انرژی**	Electricity consumption مصرف برق	805370 MWH	Tavanir, 2020 Questionnaire and Interview
	Fossil Fuels مصرف سوخت فسیلی	80 L/ha	

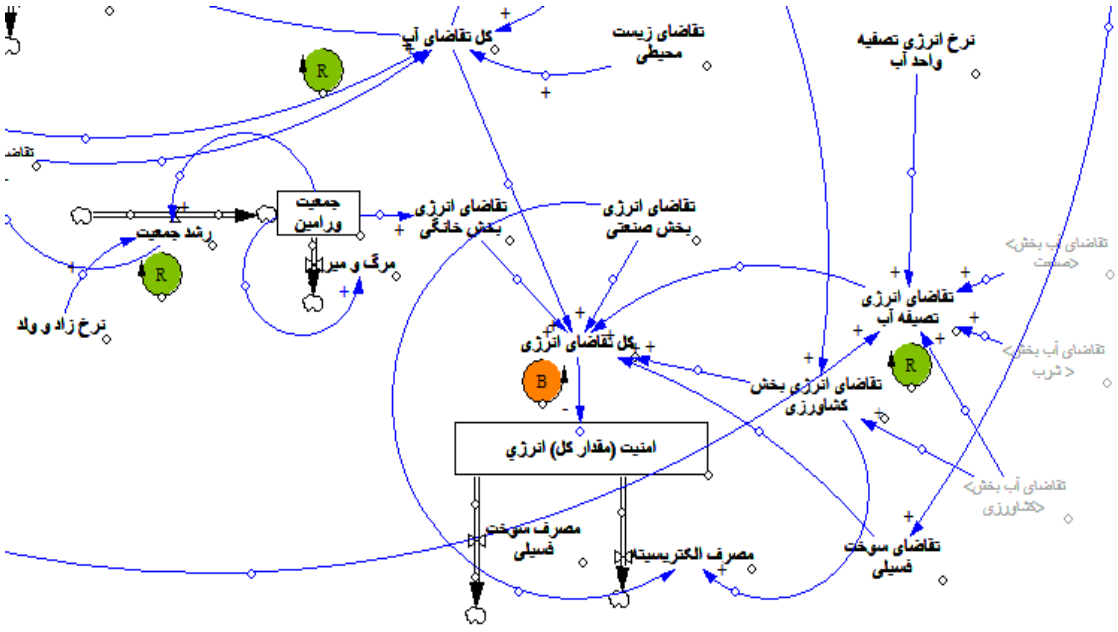
زیرسیستم کشاورزی و انرژی

تولید بیش از ۵۰۰ هزار تن محصول زراعی و باغی، دشت ورامین را به یکی از مهم‌ترین دشت‌های ایران تبدیل کرده است (Maj, 2020). تأمین نیاز آب گیاهان در منطقه خشک و نیمه‌خشک دشت ورامین متکی بر مصارف آب زیرزمینی و سطحی است. کارایی سیستم‌های آبیاری نیز از طریق افزایش بهره‌وری مصرف آب در ایجاد توازن در مصرف منابع آبی مؤثر است. گندم و جو نیز به‌عنوان الگوی کشت غالب منطقه بر مصرف آب و سطح زیر کشت محصولات اثرگذار است (شکل ۴). نیروی الکتریسیته و سوخت‌های فسیلی در سیستم‌های آبیاری و ماشین‌آلات مورد استفاده است. همچنین انرژی الکتریسیته در بخش خانگی و صنعتی در بخش تقاضای انرژی مؤثر است (شکل ۵).



شکل ۴- نمودار علی زیرسیستم تولید غذا

Fig. 4- Causal diagram of the food production subsystem



شکل ۶- نمودار علی زیرسیستم انرژی

Fig. 5- Causal diagram of the energy subsystem

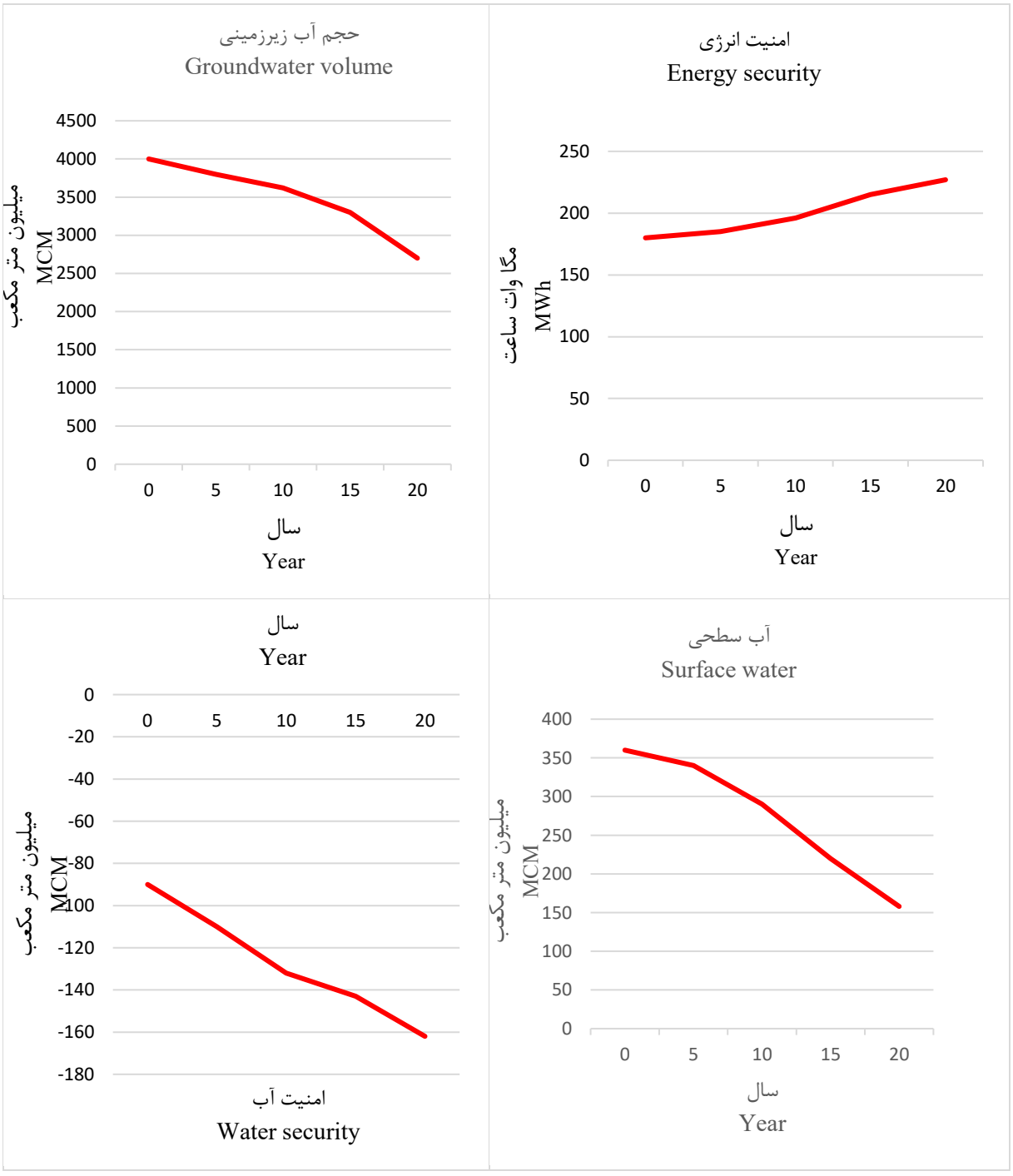
توسعه سناریوها

در رویکرد همبست مداخله نهادهای تصمیم‌گیرنده و دیگر ذینفعان در فرآیند رسیدگی به یک معضل محیط‌زیستی اهمیت ویژه‌ای دارد. با اعمال رویکرد همبست جهت تعیین شرایط و معیارهایی که به حل مشکل کمک می‌کنند، امکان شناخت هم‌افزایی منابع، بهره‌برداری از منابع و فرآیندهای حاکمیتی و ارائه خدمات رفاهی میسر می‌شود. در این روند، می‌توان با اعمال سناریوهای مدیریتی و سیاستی راه‌های به حداقل رساندن تبادلات، اثرات سوء عوامل خارجی و خطرات

مرتبط را شناسایی کرد (Meyer and Kurian, 2017; Mohanty and Patnaik 2017) بیان کردند سیاست توسعه سیستم خورشیدی پمپاژ آب در ایالت راجستان هندوستان سبب افزایش زمین‌های زیر کشت شد و تعداد کشت محصولات به دو محصول در سال افزایش پیدا کرد؛ بنابراین در این تحقیق سناریو شرایط پایه به‌عنوان بیانگر ادامه شرایط کنونی بدون تغییر اساسی در سیاست‌های مدیریتی اعمال گردید. در این سناریو داده‌های مربوط به سال ۱۴۰۰ به‌عنوان داده‌های مرجع برای شرایط پایه و نیازها به‌صورت ثابت در نظر گرفته شد. سناریو افزایش راندمان آبیاری اعمال ضریبی نسبت به حالت پایه ۲۰ درصد افزایش اعمال شد. همچنین نیاز محیط‌زیستی به‌عنوان یک عامل افزایش تقاضای آب معادل ۵۰ میلیون مترمکعب در سال به سیستم اعمال شد.

نتایج و بحث

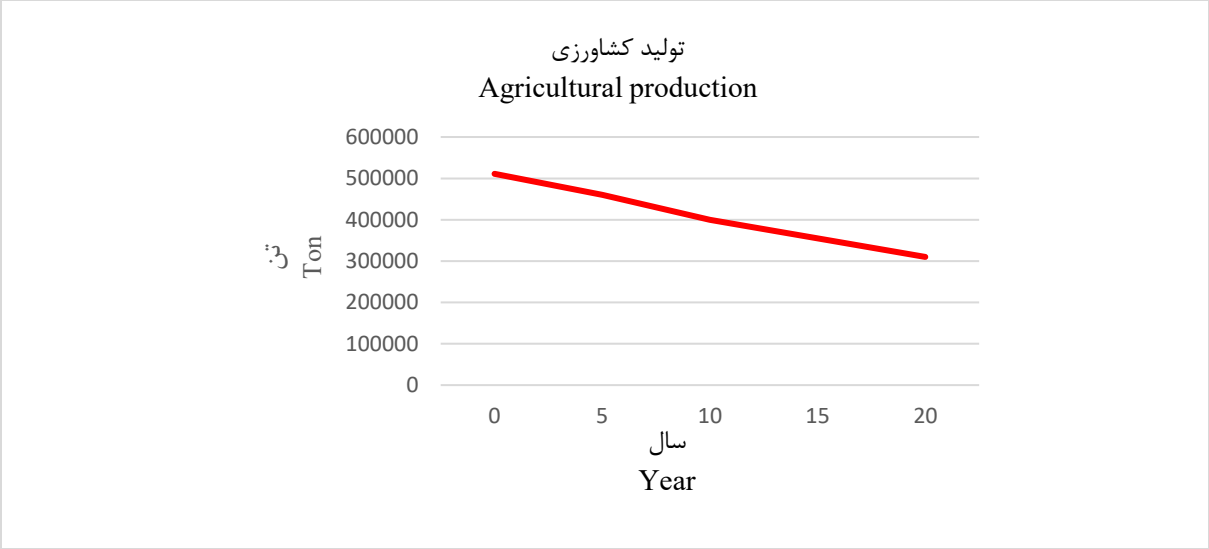
نتایج مدل پویایی همبست WEF در دشت ورامین نشان داد که با ادامه روند کنونی بهره‌برداری از منابع دشت، منابع آب سطحی دشت به‌تدریج طی ۲۰ سال آینده به ۱۵۸ میلیون مترمکعب در سال کاهش خواهد یافت. این کاهش به دلیل کاهش ورودی منابع آب سطحی شامل رودخانه شور، افزایش تخصیص آب سد ماملو به شرب تهران ورامین و همچنین افزایش تبخیر و کاهش بارندگی است. با توجه به سهم بیشتر منابع زیرزمینی و عدم تغذیه مجدد آبخوان، روند تخلیه در این بخش بیشتر است. نتایج مدل بدون اعمال سناریو نشان داد طی دوره ۲۰ ساله حجم آبخوان دشت ورامین از مقدار ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب به ۲۷۰۰ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت (شکل ۷). این موضوع نشان می‌دهد سیاست‌های تأمین منابع آب ازجمله استفاده بی‌رویه از چاه‌ها، توسعه شهرنشینی و ایجاد صنایع و همچنین عدم افزایش بهره‌وری آب کشاورزی از طریق روش‌های نوین آبیاری دلیل بروز چنین مسئله‌ای است. از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴، ۱۳۶۰۵۵۴ هکتار زیرسامانه‌های آبیاری تحت‌فشار قرارگرفته است که معادل ۱۸ درصد کل زمین‌های آبی کشور است (Ministry of Agricultural Jihad, 2020). همچنین نتایج نشان داد امنیت منابع آبی طی دوره ۲۰ ساله به میزان ۱۶۲ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. بر اساس تحقیق Ahmadi *et al.* (2021) تغییر سالانه حجم مخزن آبرفتی دشت ورامین معادل ۷۹ - میلیون مترمکعب در سال است. Azizi *et al.* (2021) در تحقیقی با محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت ورامین نشان دادند که کسری مخزن آب زیرزمینی دشت ورامین در بین سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۵ معادل ۳۹/۵۹- میلیون مترمکعب بوده است؛ بنابراین با کاهش در بخش منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ورامین، امنیت منابع آبی نیز با کاهش روبه‌رو خواهد بود. Garg *et al.* (2022) در تحقیقی با عنوان شناسایی مناطق بالقوه برای برداشت آب باران بر اساس رویکرد فشرده‌سازی پایدار در مناطق استوایی نیمه‌خشک نشان داد برداشت غیرمتمرکز آب باران یک رویکرد امیدوارکننده برای کاهش خشک‌سالی در زمین‌های خشک است. برداشت آب باران از نظر افزایش دسترسی به آب زیرزمینی (۶/۹-۲/۶ متر)، افزایش محصول (۴۰-۱۰۰ درصد) و درآمد کشاورزان (۵۰-۲۰۰ درصد) در حوضه‌های آبخیز مؤثر بود. Monem *et al.* (2020) با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی منابع آب در شبکه آبیاری زاینده‌رود نشان داد که استفاده از رویکرد همبست و مدیریت یکپارچه در مقایسه با بخشی نگری، بهبود عملکرد شبکه و سناریوهای توسعه‌ای را در برداشت. مصرف انرژی و میزان عرضه انرژی در دشت ورامین معادل ۸۰۵ و ۹۹۰ هزار مگاوات در ساعت است (Tavanir, 2020). بخش امنیت انرژی دشت ورامین با تأمین انرژی روبه‌رو است؛ این تأمین انرژی به دلیل وجود منابع کافی انرژی در ایران و تأمین انرژی خارج از مرزهای دشت است.



شکل ۷- تغییرات آب سطحی، حجم آب زیرزمینی، امنیت آبی و امنیت انرژی دشت ورامین از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰

Fig. 7- Change in surface water resources, groundwater volume, water security and energy security of Varamin plain from 2022 to 2042

بر اساس محدودیت‌های منابع آبی و کاهش امنیت آب در دشت ورامین، تولید محصول دشت نیز با کاهش روبه‌رو خواهد شد. دشت ورامین به دلیل هم‌جواری با شهرستان تهران نقش مهمی در تأمین نیاز مردم تهران و شهرستان‌های اطراف دارد. نتایج مدل پویایی همبست WEF در دشت ورامین نشان داد تولید کشاورزی دشت ورامین به ۳۱۰ هزار تن محصول در سال کاهش می‌یابد (شکل ۸). این کاهش تولید، امنیت غذایی منطقه و حوزه مصرف محصولات دشت را به مخاطره می‌اندازد؛ که به علت کمبود منابع آبی و کاهش سطح زیر کشت به مقدار ۲۵۴۰۰ هکتار است (شکل ۸).

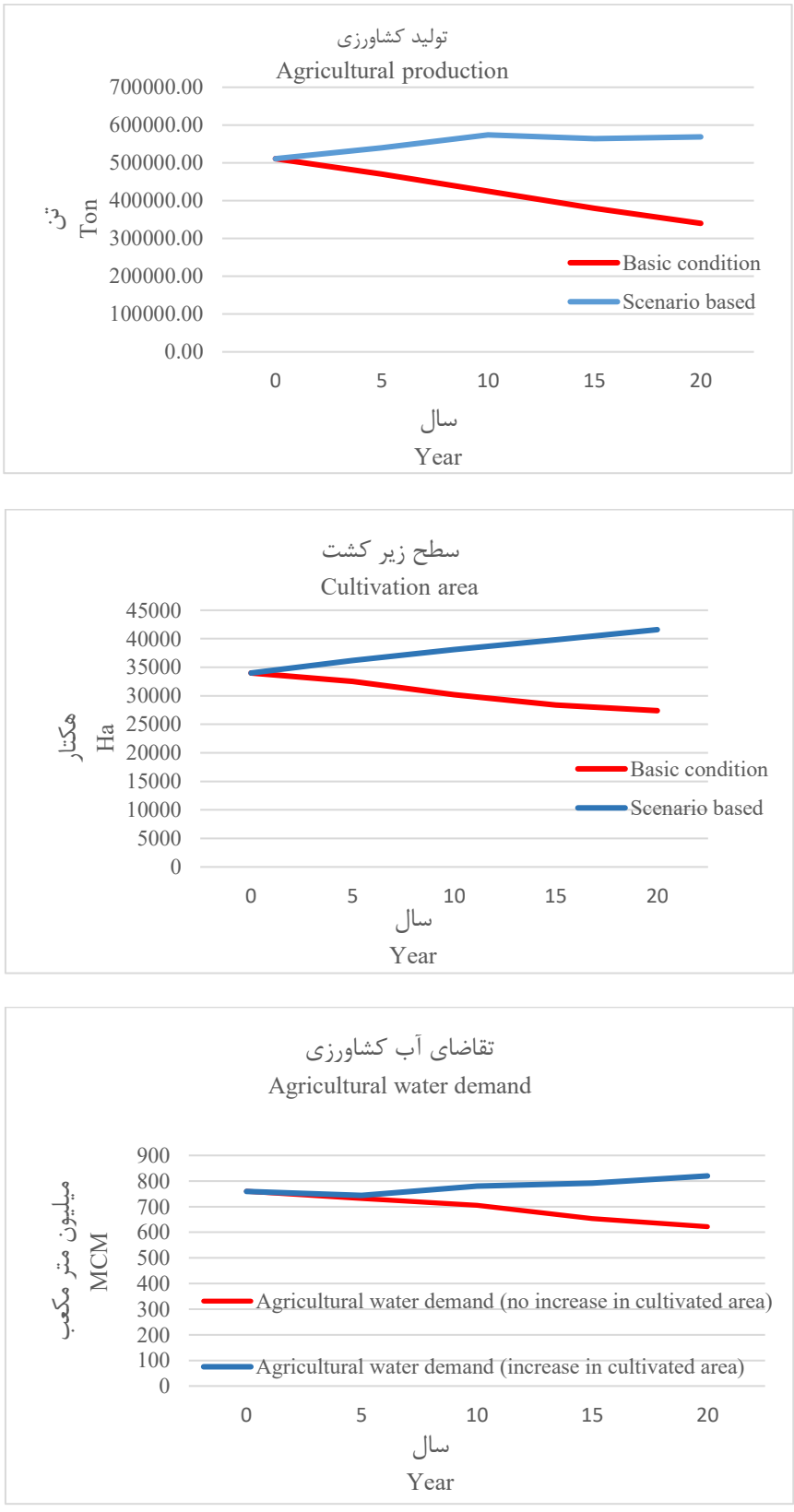


شکل ۸- تغییرات تولید کشاورزی دشت ورامین از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰

Fig. 8- Change in agricultural production in the Varamin Plain from 2022 to 2042

سناریو افزایش راندمان آبیاری

با توجه به محدودیت منابع آب قابل‌عرضه در کشورهایی مانند ایران که با محدودیت فیزیکی آب مواجه هستند، سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در بخش عرضه آب‌های قادر به پاسخگویی به افزایش تقاضای آب نیست؛ بنابراین راه‌حل بحران آب را می‌توان در چگونگی توسعه و مدیریت صحیح منابع آبی جستجو نمود. به‌عبارت‌دیگر مدیریت تقاضا مهم‌ترین راه مقابله با بحران آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Alizadeh *et al.*, 2014). بررسی روند تغییرات راندمان آب آبیاری طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد که راندمان آبیاری از سال ۹۰-۹۵ برابر با ۵۸ درصد بوده است (Abbasi *et al.*, 2015). با اعمال سناریو افزایش راندمان آبیاری از ۵۸ درصد به ۷۰ درصد بدون افزایش سطح زیر کشت، تولید کشاورزی دشت ورامین به نسبت مدل پایه افزایش نشان داد (شکل ۹). افزایش تولید محصولات کشاورزی دشت ورامین از ۵۰۰ هزار تن به ۵۶۹ هزار تن مربوط به افزایش کارایی مصرف آب و همچنین افزایش ۷۶۰۰ هکتاری در دشت ورامین بود؛ بنابراین به استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین و افزایش بهره‌وری آب تقاضای آب کشاورزی کاهش یافت (شکل ۹). همچنین در صورت عدم افزایش راندمان آبیاری سطح زیر کشت به ۲۵ هزار هکتار می‌رسد. از سویی دیگر نتایج افزایش راندمان آبیاری همراه با افزایش دو برابری سطح زیر کشت فعلی نشان داد دشت ورامین توان اکولوژیکی به‌منظور افزایش سطوح کشت تا دو برابر مساحت فعلی خود را ندارد. در همین رابطه تقاضای آب کشاورزی در سناریو افزایش راندمان آبیاری با افزایش سطح زیر کشت به مقدار ۱۰ درصد افزایش نشان داد. با نگاهی به گذشته دشت ورامین طی ۵۰ سال گذشته مساحت زمین‌های قابل‌کشت دشت ورامین از ۸۰ هزار هکتار به ۳۴ هزار هکتار کاهش‌یافته است. این مقدار زمین با استفاده از آورد رودخانه جاجرود (سد ماملو)، کن و شور زیر کشت بودند اما اکنون به دلیل تقاضای آب شرب و توسعه صنعتی، توسعه سطوح کشت امکان‌پذیر نیست. Alizadeh *et al.* (2014) نیز در تحقیقی با عنوان ارزیابی سناریوهای توسعه سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم نشان دادند در صورت توسعه ۱۰ درصدی سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار در اراضی‌ای که از آب زیرزمینی استفاده می‌کنند در هر دو شرایط بدون افزایش سطح کشت و با افزایش ۲۰ درصدی سطح کشت وضعیت کمی آب زیرزمینی بهبود خواهد یافت (Arnold *et al.*, 2011).

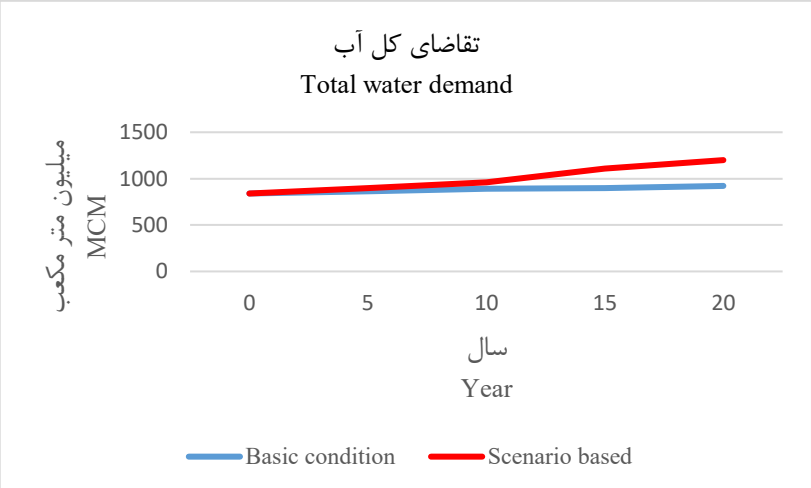


شکل ۹- تغییرات تولید کشاورزی، سطح زیرکشت و تقاضای آب کشاورزی تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰

Fig. 9- Change in agricultural production and agricultural water demand under the scenario of increasing irrigation efficiency without increasing the cultivation area from 2022 to 2042

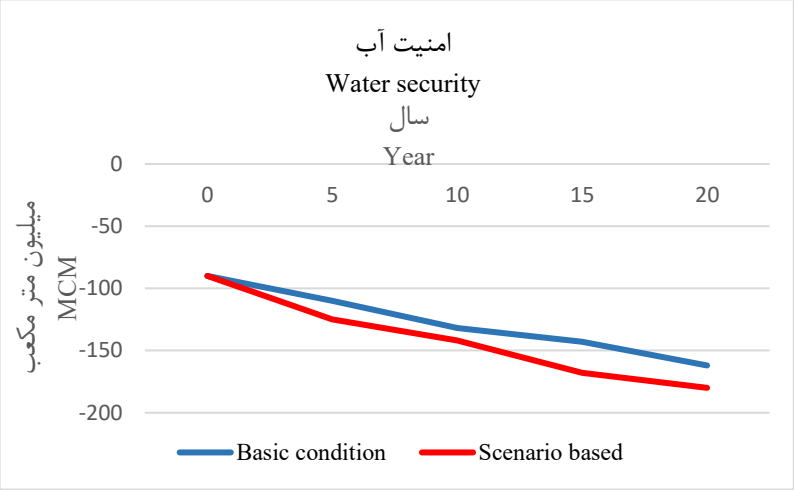
سناریو تقاضای محیط‌زیستی

تالاب به‌عنوان یک منطقه انتقالی بین یک اکوسیستم زمینی و یک اکوسیستم آبی، یک مجموعه طبیعی با ویژگی‌های هیدرولوژیکی منحصربه‌فرد و ارزش خدمات اکولوژیکی است (Mo *et al.*, 2023). تالاب بندعلیخان، تالابی فصلی و دارای آب شیرین است که در جنوب شهرستان ورامین و در منطقه حفاظت‌شده کویر مرکزی واقع‌شده است. تالاب‌ها علاوه بر داشتن تنوع زیستی غنی، در حفظ عملکردهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی مؤثر هستند (Yousefi *et al.*, 2023). تالاب‌ها شش درصد از سطح زمین جهان را پوشش می‌دهند و حدود ۱۲ درصد از استخر کربن جهانی را در برمی‌گیرند و نقش مهمی در چرخه جهانی کربن ایفا می‌کنند (Ferrati *et al.*, 2005). تالاب بندعلیخان ۲۳ هزار هکتار وسعت دارد که در سال‌های پرآبی ۵ هزار هکتار آن کاملاً پرآب می‌شود اما در حال حاضر ۱۰۰ هکتار به‌صورت مقطعی آبگیری می‌شود (معاونت فنی محیط‌زیست). نیاز محیط‌زیستی تالاب بندعلیخان بر اساس مصاحبه با کارشناسان و مدیران محیط‌زیست استان تهران معادل ۵۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با اختصاص ۵۰ میلیون مترمکعب آب در سال، امنیت آبی دشت ورامین متزلزل‌تر می‌شود. از سویی دیگر با اختصاص این حجم از آب تقاضای کل آب در دشت ورامین به مقدار ۱۸ درصد از شرایط پایه رشد نشان داد (شکل ۱۰). امنیت آبی دشت طی یک دوره ۲۰ ساله معادل ۱۶۲- میلیون مترمکعب برآورد شد که در صورت اعمال نیاز محیط‌زیستی تالاب بندعلیخان به عدد ۱۸۰ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد امکان تخصیص آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ورامین به تالاب امکان‌پذیر نیست. درنتیجه حفاظت از تالاب بندعلیخان نیازمند اتخاذ یک رویکرد یکپارچه و اعمال مجموعه‌ای از سیاست‌های مشارکتی است؛ بنابراین توسعه زیرساختی شبکه فاضلاب شهرستان ورامین و جمع‌آوری رواناب‌های سطحی حوزه آبریز تالاب اهمیت ویژه‌ای دارد. ایالت نیویورک با رویکرد سه‌گانه قوانین فدرال، ایالتی و منطقه‌ای، ازجمله قانون آب پاک، قانون تالاب‌های آب شیرین مجموعه‌ای کامل از قوانین حفاظتی را پیاده‌سازی کرده است (Larson *et al.*, 2016). علاوه بر این تشکیل پایگاه داده تالاب سیستم مدیریت سلسله مراتبی تالاب را به همراه سیاست جبرانی سخت‌گیرانه برای اطمینان از حفاظت تالاب‌ها اتخاذ کرده است (Sonti *et al.*, 2020; Newaz and Rahman, 2019) بیان کردند مدیریت پایدار تالاب Tanguar Haor در منطقه شمال شرقی بنگلادش، از طریق رویکرد مدیریت مشارکتی جامعه محلی و ترتیبات حاکمیتی امکان‌پذیر است.



شکل ۱۰- تغییرات تولید کشاورزی و تقاضای آب دشت ورامین تحت سناریو تخصیص نیاز زیست‌محیطی از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰

Fig. 10- Change in agricultural production and water demand of Varamin Plain under the scenario of allocation of environmental needs from 2022 to 2042



ادامه شکل ۱۰- تغییرات تولید کشاورزی و تقاضای آب دشت ورامین تحت سناریو تخصیص نیاز زیست‌محیطی از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰

Fig. 10- Change in agricultural production and water demand of Varamin Plain under the scenario of allocation of environmental needs from 2022 to 2042

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از نقشه‌کشی شناختی منطق فازی برای شناخت و درک همبست WEF در دشت ورامین به‌منظور افزایش ظرفیت انطباقی مورد انتظار ذینفعان، استفاده شد. نقشه‌کشی شناختی منطق فازی همبست WEF در دشت ورامین به‌عنوان مبنایی برای مدل پویایی سیستم و پویایی‌های اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی استفاده شد. استفاده از طوفان اندیشه و گفتگو بین کشاورزان و مدیران - متخصصان و ترسیم مدل اولیه ذهنی مشارکت‌کنندگان نشان داد افراد بر باورهای خود نسبت به سیستم جامعه تأمل می‌کنند در مباحث مشارکتی از یکدیگر یاد می‌گیرند؛ بنابراین توسعه شناختی و اشتراک دانش منجر به درک متقابل‌تری از سیستم می‌شود. نتایج اجرای مدل کمی پویایی سیستم همبست WEF در دشت ورامین نشان داد منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ورامین در وضعیت فعلی بسیار شکننده است و طی دوره ۲۰ ساله میزان منابع آب در دسترس سطحی به مقدار ۱۵۸ میلیون مترمکعب خواهد رسید. این مقدار معادل ۴۳ درصد کاهش در منابع آب سطحی دشت ورامین است. در مقابل حجم آبخوان دشت ورامین به مقداری معادل ۲۷۰۰ میلیون مترمکعب خواهد رسید که معادل با ۳۲/۵ درصد کاهش است. بر همین اساس امنیت آب دشت ورامین با تنش‌های جدی مواجه خواهد شد. افزایش راندمان آبیاری بدون افزایش سطح کشت می‌تواند در متعادل کردن وضعیت فعلی کمک‌کننده باشد به‌طوری‌که با اجرای سیاست‌های برنامه ششم توسعه تقاضای آب کشاورزی تا حدودی کاهش می‌یابد و فشار بر منابع آب زیرزمینی کاسته می‌شود. اگر این افزایش راندمان همراه با افزایش سطح کشت به میزان دو برابر مقدار فعلی باشد فشار بر منابع آبی افزوده می‌شود. هرگونه اعمال سیاست‌های محیط‌زیستی از قبیل احیای تالاب بندعلیخان و اختصاص ۵۰ میلیون مترمکعب آب به تالاب با توجه به کاهش امنیت منابع آبی باید از طریق تأمین حقابه تالاب و از طریق تخصیص پساب صورت پذیرد.

پی‌نوشت‌ها

[1] FAO
[2] Water Evaluation And Planning System
[3] Mental Model
[4] Fuzzy-Logic Cognitive Mappin

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مشارکت کشاورزان، کارشناسان و سازمان‌ها در تعیین روابط و ارائه داده‌های مرتبط با بخش‌های آب، انرژی و کشاورزی دشت ورامین اعلام می‌دارند.

References

Abbasi, F., Sarrab, F. and Abbasi, N., 2015. Evaluation of the efficiency of irrigation water in Iran. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research Journal. 17(67), 113-128. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/aridse.2017.109617.

Ahmadi, A., Malek Mohammadi, B. and Mozaal, L., 2021. Use of modeling in the development of scenarios of water resources and uses; Case study: study area of Varamin Plain. Journal of water and sustainable development. 8(3), 1-10. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JWSD.V8I3.2021.1030.

Ahmadvand, A., Varandinaderi, A., Bastan, M. and Yahyaei, M., 2014. Analysis of Tehran construction and demolition waste management with system dynamics approach. Asian Journal of Research in Business Economics and Management. 4(8), 234-242.

Alizadeh, H., Liaghat, A. and Sohrabi, T., 2014. Assessing pressurized irrigation systems development scenarios on groundwater resources using system dynamics modeling. Journal of Water and Soil Resources Conservation. 3(4), 1-15. (In Persian with English abstract). SID. https://sid.ir/paper/232321/en.

Arnold, L.R., 2011. Estimates of Deep-Percolation Return Flow beneath a Flood- and a Sprinkler-Irrigated Site in Weld County, Colorado, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011–5001, US Geological Survey: Reston, VA, USA, 225p.

Azizi, H.R., Nejatian, N., Athari, M.A., Hashemi, S.S., 2021. The effects of climate change on the drought trend of Varamin plain using De-Martonne index. Newar. 45(112-113), 67-76. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.30467/NIVAR.2021.266357.1177

Azizi, H.R., Nejatian, N., 2019. Calculation of underground water balance of Varamin Plain. Geography and Human Relationships. 3(3), 189-204. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/GAHR.2021.263228.1487.

Bala, B.K., Arshad, F.M., Noh, K.M., 2017. Systems thinking: system dynamics. In System Dynamics. Springer, Singapore. 15-35. https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-2045-2.

Benson, D., Gain, A.K. and Rouillard, J.J., 2015. Water governance in a comparative perspective: From IWRM to a "nexus" approach? Water Alternatives. 8 (1), 756–773.

Soares Dal Poz, M.E., de Arruda Ignácio, P.S., Azevedo, A., Francisco, E.C., Piolli, A.L., Gheorghiu da Silva, G., Pereira Ribeiro, T., 2022. Food, Energy and Water Nexus: An Urban Living Laboratory Development for Sustainable Systems Transition. Sustainability. 14(12), 7163. https://doi.org/10.3390/su14127163.

Denicola, E., Aburizaiza, O.S., Siddique, A., Khwaja, H., 2015. Climate Change and Water Scarcity: The Case of Saudi Arabia. Annals of Global Health. 81(3), 342–353. https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005.

Erb, K.H., Haberl, H., DeFries, R., Ellis, E., Krausmann, F., Verburg, P.H., 2012. Pushing the Planetary Boundaries. Science. 14, 1419-1420. https://doi.org/10.1126/science.338.6113.1419-d.

FAO, 2014. Walking the Nexus Talk. Assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. Retrieved from http://www.fao.org.

FAO, 2019. Macronutrients and micronutrients. Available online at http://www.fao.org/elearning/Course/NFSLBC/en/story_content/external_files/Essential_Nutrients.pdf

FAO, 2021. World Food Situation. FAO: Rome, Italy.

Ferrati, R., Canziani, G.A., Moreno D.R., 2005. Estero del Ibera: hydrometeorological and hydrological characterization. Ecological Model. 186, 3–15. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.021.

Garg, K.K., Akuraju, V., Anantha, K.H., Singh, R., Whitbread, A.M., Dixit, S., 2022. Identifying potential zones for rainwater harvesting interventions for sustainable intensification in the semi-arid tropics. Scientific Reports. 12(1), 1-18. https://www.nature.com/articles/s41598-022-07847-4.

Glykas, M., 2010. Fuzzy cognitive maps: Advances in theory, methodologies, tools and applications (Vol. 247). Springer Science & Business Media. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-03220-2.

Gray, S.R.J., Gagnon, A.S., Gray, S.A., O'Mahony, C., Muir, D., Falaleeva, M., 2014. Are local coastal managers detecting the problem? Assessing stakeholder perception of climate vulnerability using Fuzzy Cognitive Mapping. Ocean and Coastal Management. 94, 74-89. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.11.008.

Hajjar R., Kozak R.A., 2015. Exploring public perceptions of forest adaptation strategies in Western Canada: Implications for policy-makers. Forest Policy and Economics. 61, 59–69. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.08.004.

منابع

Henly-Shepard, S., Gray, S., Cox, L., 2015. The use of participatory modeling to promote social learning and facilitate community disaster planning. Environmental Science & Policy. 45, 109-122. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.00.

Hobbs, R.J., 2016. Degraded or just different? Perceptions and value judgments in restoration decisions. Restoration Ecology. 24, 153–158. https://doi.org/10.1111/rec.12336.

Jones, N. A., Perez, P., Measham, T. G., Kelly, G. J., d'Aquino, P., Daniell, K. A., Ferrand, N., 2009. Evaluating participatory modeling: developing a framework for cross-case analysis. Environmental management. 44(6), 1180. https://doi.org/10.1007/s00267-009-9391-8.

Jones, N.A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P. and Leitch, A., 2011. Mental Models: An Interdisciplinary Synthesis of Theory and Methods. Ecology and Society. 16(1), 46. https://www.jstor.org/stable/26268859.

Karimlou, N., Hassani, A., Rashidi Mehrabadi, A., Nazari, M.R., 2020. Developing a model for decision-makers in dynamic modeling of urban water system management. Water Resource Management. 34 (2), 481-499. https://doi.org/10.1007/s11269-019-02428-z.

Khoshneshin, F. and Bastan, M., 2014. Analysis of dynamics of crisis management in the earthquake and performance Improvement using system dynamics methodology. 10th International Conference on Industrial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Larson, M.A., Heintzman, R.L., Titus, J.E., Zhu, W., 2016. Urban wetland characterization in south-central New York State. Wetlands. 36, 821-829. https://doi.org/10.1007/s13157-016-0789-9.

Meyer, K., Kurian, M., 2017. The Role of International Cooperation in Operationalizing the Nexus in Developing Countries: Emerging Lessons of the Nexus Observatory. In: Abdul Salam, P., Shrestha, S., Pandey, V.P., Anal, A.K. (Eds.), Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices. Wiley. pp 89-102.

Ministry of Agricultural Jihad, 2020. Agricultural statistics, second volume of 2022. Planning and economic deputy, information and communication technology center. 93 pages. Available online at: https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amar99-1400.pdf

Ministry of Energy, 2015. Iran Water Resources Management Company. Water balance report of Varamin plain study area.

Mo, L., Chen, J., Xie, Y., 2023. Wetlands conservation in Beijing of China: Present status and development strategies. Watershed Ecology and the Environment. 5, 73-79. https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.01.002.

Mohanty, P., Patnaik, S., 2017. Energy-Centric Operationalizing of the Nexus in Rural Areas: Cases from South Asia. In: Abdul Salam, P., Shrestha, S., Pandey, V.P., Anal, A.K. (Eds.), Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices. Wiley. pp117-126.

Monem, M.J., Delavar, M., Hosseini, M., 2020. Application and Evaluation of Water, Food and Energy (NEXUS) in Irrigation Networks Management: Case Study of Zayandehrud Irrigation Network, Iranian Jour. of Irrigation & Drainage. 14, 276-285. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.20087942.1399.14.1.24.7.

Newaz, M.W., Rahman, S., 2019. Wetland resource governance in Bangladesh: An analysis of community-based co-management approach. Environmental Development. 32, 100446. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.06.001.

Newell, R., Raimi, D., Villanueva, S. and Prest, B., (2021). Global energy outlook 2021: pathways from Paris. June, https://media.rff.org/documents/RFF_GEO_2021_Report_1.pdf

Nyam, Y.S., Kotir, J.H., Jordaan, A., Ogundeji, A.A., 2022. Identifying behavioural patterns of coupled water-agriculture systems using system archetypes. Systems Research and Behavioral Science. 39(2), 305-323. https://doi.org/10.1002/sres.2753.

Pakmehr, S., Yazdanpanah, M., Baradaran, M., 2021. Explaining farmers' response to climate change-induced water stress through cognitive theory of stress: An Iranian perspective. Environment, Development and Sustainability. 23, 5776–5793. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00846-3.

Phan, J.C.R., Smart, O., Sahin, S.J., Capon, W.L., 2018. Hadwen Assessment of the vulnerability of a coastal freshwater system to climatic and non-climatic changes: a system dynamics approach. Journal of Clean Production. 183, 940-955. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.169.

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.

Rosenbaum, E., 2022. Mental models and institutional inertia. Journal of Institutional Economics. 18(3), 361-378. https://doi.org/10.1017/S174413742100059X.

Rule, T.A., 2022. Positive-Sum Water-Energy-Food Nexus Governance. NYU Environmental Law Journal. 31. https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/nyuev31&div=

7&id=&page=

Santo, A.R., Guillozet, K., Sorice M.G, Baird T.D, Gray S., Donlan C.J, Anderson C.B., 2017. Examining private landowners' knowledge systems for an invasive species. Human Ecology. 45, 449–462. https://doi.org/10.1007/s10745-017-9920-7.

Schuurman, G.W., Hoffman, C.H., Cole, D.N., Lawrence, D.J., Morton, J.M., Magness, D.R., Fisichelli, N.A., 2020. Resist-accept-direct (RAD)-a framework for the 21st-century natural resource manager. National Park Service. No. 2020/2213. https://doi.org/10.36967/nrr-2283597.

Sonti, N.F., Campbell, L.K., Svendsen, E.S., Johnson, M.L., Auyeung, D.N., 2020. Fear and fascination: Use and perceptions of New York City's forests, wetlands, and landscaped park areas. Urban Forestry & Urban Greening. 49, 126601. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126601.

Sun, B., Yang, X., 2019. Simulation of water resources carrying capacity in Xiong'an New Area based on system dynamics model. Water. 11(5), 1085. https://doi.org/10.3390/w11051085.

Tavanir, 2020. Statistics of tavanir. Available online at: https://amar.tavanir.org.ir

Treur, J. and Van Ments, L., 2022. Mental models and their dynamics, adaptation, and control: a self-modeling network modeling approach. Springer Nature. Volume 394.

Valivand, F., Katibeh, H., 2022. Evaluation of Quantitative and Qualitative Management Plans in Varamin Plain Aquifer. Journal of Water and Wastewater. Journal of Water and Wastewater. 33(4), 36-50. https://doi.org/10.22093/wwj.2022.315051.3197.

Wang, X., Dong, Z., Sušnik, J., 2023. System dynamics modelling to simulate regional water-energy-food nexus combined with the society-economy-environment system in Hunan Province, China. Science of the Total Environment. 863, 160993. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160993.

Williams, J.W., Ordonez, A., Svenning, J.C., 2020. A unifying framework for studying and managing climate-driven rates of ecological change. Nature Ecology and Evolution. 5, 17-26. https://doi.org/10.1038/s41559-020-01344-5.

Yousefi, E., Sayadi, M.H., Chamanehpour, E., Ghasami, F., Amini, Z., 2023. Using the new approach of ecosystem management to develop the ecological management plan of Kaji Namakzar Wetland of Nehbandan. Journal of Environmental Science Studies. 8(1), 6191-6209. . https://doi.org/10.22034/JESS.2022.366919.1896

This page is intentionally right blank.