Journal of Agricultural Economics Research

Autumn 2024. Vol 16. Issue 3

ISSN (Print): 2008-6407 - ISSN (Online): 2423-7248

Research Paper

Evaluation Of Hydrological And Economic Effects Of Development Of New Irrigation Technologies In Drought Conditions: Integration Of WEAP And PMP Models

Ali Ghasemi[1], Seyed Nematollah Mosavi[2*], Bahaedin Najafi

1. Ph.D. student of Agricultural Economics, Islamic Azad University, Marvdasht Branch
2. Associate Professor, Islamic Azad University, Marvdasht Branch
3. Professor, Islamic Azad University, Marvdasht Branch

Received: 2022/09/11
Accepted: 2023/05/23
PP:21-39

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/jae.2024.30955.2355

Keywords:
Hydrological-Economic Modeling, Drought, New Irrigation Technologies, Water Consumption Efficiency.

Abstract

Introduction: Policy makers are faced with complex and multidimensional conditions to choose and implement water resources management policies in order to adapt to drought. On the one hand, due to the multidimensional and multiscale nature of water resources and drought management, there is a need to integrate tools for impact analysis and adaptation. On the other hand, the development of new irrigation technologies at farm level is one of the solutions and policies that are always discussed by experts and policy makers in the field of water resources management. Therefore, in the present study, a hydrological-economic model was used in order to evaluate the potential effects of drought and to develop new irrigation technologies as a solution to adapt to drought in the Kowsar dam watershed.

Materials and Methods: In this framework, a hydrological water planning and evaluation model (WEAP) and a positive mathematical programming model (PMP) were combined with the ability to evaluate socio-economic, agricultural and hydrological systems in a spatial and explicit manner. The necessary data and information are also taken from documentary studies at the basin level.

Findings: The results of the study showed that by increasing the efficiency of water consumption in the agricultural sector, the reduction of water consumption occurs without reducing the economic efficiency and quality of life. In such a way that by improving the efficiency of water consumption by 30% under drought conditions, the economic efficiency of water consumption in the entire basin will increase by about 7% compared to the basic conditions.

Conclusion: In other words, the development of new irrigation technologies leads to the saving of farmers' water and encouraging them to cultivate high-yield crops with high water consumption, which will improve the farmers' economic situation. Therefore, by implementing policies to improve the efficiency of water consumption without applying punitive policies in the field of preventing the planting of crops with high water consumption such as rice, it is possible to reduce water consumption without economic damage to farmers.regarding the economic growth of neighbouring countries.

Citation: Ghasemi A., Mosavi S.N., Najafi B. (2024). Evaluation of hydrological and economic effects of development of new irrigation technologies in drought conditions: integration of WEAP and PMP models. Journal of Agricultural Economics Research.16(3):21-39

*Corresponding author: Seyed Nematollah Mosavi
Address: Department of Agricultural Economics, Islamic Azad University, Marvdasht Branch
Tell:09171129500
Email: Seyed_1976mo@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Iran is located in one of the driest regions of the world and often experiences severe droughts. Water consumption in Iran's agricultural sector has increased from 44 billion cubic meters in 1340 to 80 billion cubic meters in 1380 and to about 86.5 billion cubic meters in 1390. Policymakers in Iran face complex and multidimensional conditions to select and implement appropriate water resources management policies to adapt to drought. On the one hand, due to the multidimensional and multiscale nature of water resources and drought management, it is necessary to integrate tools for impact analysis and adaptation. On the other hand, the development of new irrigation technologies at the farm level is one of the strategies and policies that are always discussed by experts and policy makers in the field of water resources management. Therefor, the aim of current study is evaluation of hydrological and economic effects of development of new irrigation technologies under drought conditions. To achieve this aim, the Kowsar Dam basin was selected as the study area.

Materials and Methods

In the current study, the combination of economic model with hydrological simulation model of the basin level have been used to evaluate the economic and hydrological effects of drought and to investigate the development of new irrigation technologies in Kowsar Dam basin. In this framework, at first, the effects of drought were simulated by using a hydrological simulation model in the form of WEAP software. Also, in order to evaluate the effects of drought scenario on crops net water requirement and yield, MABIA tool was used in WEAP software. In the second stage, the positive mathematical planning model (PMP) with the economic purpose of farmers was solved according to the information obtained from the hydrological simulation model and a suitable crop cultivation pattern under drought conditions was extracted with and without the development of new irrigation technologies strategy. The present hydrological-economic model can explicitly address socio-economic, agronomic and hydrological systems that includes all dimensions and scales related to drought. The WEAP model is a water resources planning and evaluation tool based on the principle of water balance that indicates interactions of different sub-basins, water demand nodes, infrastructure, water flows and water transmission channels. In PMP models, unlike normative models, some model parameters have been modified that can accurately simulate the base condition. These models reconstruct the current data, it is called the positive (real) method.

Findings

The results show that in the basic conditions, the economic productivity of water in Basht region is more than 980 Tomans per cubic meter, which is more than other studied areas. The average water economic productivity of the entire basin is a little more than 900 tomans per cubic meter in basic conditions. By applying the drought scenario, the water economic productivity in all areas of the basin will decrease, which is more for Choram region than other areas. With the development of modern irrigation technologies at the farm level, the negative effect of drought on the water economic productivity in all areas of the basin is moderated. For the all area of the basin, with the improvement of irrigation systems technology, the negative effects of drought will gradually decrease and the water economic productivity will increase by more than 7% compared to the baseline scenario. Also, the results show that the use of modern irrigation systems will improve the area under rice cultivation in the basin and consequently, the farmers gross margin.

Discussion and Conclusion

According to the results, increasing farms covered by new irrigation technologies from %30 to about 75% in the Kowsar Dam basin can improve the water economic productivity by 30% and completely moderate the negative effects of drought on farmers' livelihoods. The results of the crops cultivation patterns show that development of infrastructure for new irrigation technologies in the farms will lead to the storage of water, and this will enable farmers to cultivate crops with high water consumption, such as rice under drought conditions and improve their economic conditions. Therefore, by increasing water use efficiency in the agricultural sector, water consumption in this sector can be reduced, without reducing economic efficiency or quality of life. In this regard, covering the streams, using a suitable water distribution system at the farms level and changing the surface irrigation technology to modern irrigation systems are suggested.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All subjects full fill the informed consent.

Funding

This work was supported by the Ferdowsi University of Mashhad, Iran [No. 40900].

Authors' contributions

Design and conceptualization: Mohammad Ghorbani and Samira Shayanmehr; Methodology and data analysis: Mohammad Ghorbani and Samira Shayanmehr; Supervision: Mohammad Ghorbani and final writing: Samira Shayanmehr

شاپا چاپی: ۶۴۰۷ -۲۰۰۸ – شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۲۴۸

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی و اقتصادی توسعه تکنولوژی های نوین آبیاری تحت شرایط خشکسالی: تلفیق مدل های WEAP و PMP

علی قاسمی[۱]، سید نعمت الله موسوی[۲]*، بهاءالدین نجفی[۳]

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت.
۲. دانشیارگروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت.
۳. استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲
شماره صفحات: ۳۹-۲۱

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/jae.2024.30955.2355

واژه‌های کلیدی:
مدلسازی هیدرولوژیکی–اقتصادی، خشکسالی فناوری‌های نوین آبیاری، کارایی مصرف آب

چکیده

مقدمه و هدف: سیاست‌گذاران برای انتخاب و اجرای سیاست‌های مدیریت منابع آب در جهت سازگاری با خشکسالی با شرایط پیچیده و چندبعدی مواجه هستند. از یک طرف، به دلیل ماهیت چندبعدی و چند مقیاسی مدیریت منابع آب و خشکسالی، به ادغام ابزارهایی برای تحلیل اثرات و سازگاری نیاز است. از طرف دیگر، توسعه فناوری‌های نوین آبیاری در سطح مزارع یکی از راهکارها و سیاست–هایی است که همواره مورد بحث متخصصین و سیاست‌گذاران در زمینه مدیریت منابع آب می‌باشد. بنابراین، در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی اثرات بالقوه خشکسالی و توسعه فناوری‌های نوین آبیاری به‌عنوان راهکاری جهت سازگاری با خشکسالی در حوضه آبریز سدکوثر از یک الگوی هیدرولوژیکی–اقتصادی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: در این چارچوب، یک الگوی هیدرولوژیکی برنامه‌ریزی و ارزیابی آب (WEAP) و الگوی برنامه ریزی ریاضی مثبت (PMP) با قابلیت ارزیابی سیستم‌های اجتماعی–اقتصادی، زراعی و هیدرولوژیکی به شیوه‌ای فضایی و صریح با لحاظ تمامی ابعاد و مقیاس‌های مربوط به خشکسالی، تلفیق شد. داده‌ها و اطلاعات لازم نیز برگرفته از مطالعات اسنادی در سطح حوضه می‌باشد.

یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان داد که با افزایش کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی، کاهش مصرف آب بدون کاهش کارایی اقتصادی و کیفیت زندگی اتفاق می‌افتد. به گونه‌ای که با بهبود کارایی ۳۰ درصدی مصرف آب تحت شرایط خشکسالی، بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در کل حوضه نسبت به شرایط پایه حدود ۷ درصد افزایش خواهد یافت.

بحث و نتیجه‌گیری: به عبارتی، توسعه فناوری‌های نوین آبیاری منجر به ذخیره آب کشاورزان و ترغیب آن‌ها به کشت محصولات پربازده و با مصرف آب بالا می‌شود که این امر سبب بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزان خواهد شد. بنابراین، می‌توان با اعمال سیاست‌هایی در جهت بهبود کارایی مصرف آب بدون اعمال سیاست‌های تنبیهی در زمینه جلوگیری از کاشت محصولات با مصرف آب بالا مانند برنج، کاهش مصرف آب بدون آسیب اقتصادی به کشاورزان را تحقق بخشید.

* **نویسنده مسوول:** سید نعمت الله موسوی
نشانی: گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت
تلفن: ۰۹۱۷۱۱۲۹۵۰۰
پست الکترونیکی: Seyed_1976mo@yahoo.com

مقدمه

افزایش رقابت برای مصرف منابع محدود آب و انرژی همراه با پدیده تغییر اقلیم و خشکسالی، کمبود بیشتر غذا و آب در سرتاسر جهان را نتیجه می‌دهد (۱،۲). نتایج مطالعات مختلف نشان می-دهد که تغییر اقلیم و خشکسالی اثرات معنی‌داری بر عملکرد، تولید و الگوی کشت محصولات کشاورزی دارد (۳). بنابراین، مدیریت منابع در سطح منطقه‌ای به دلیل چالش ایجاد شده بین بخش‌های عرضه و تقاضای محصولات کشاورزی و مواد غذایی، وظیفه اصلی برنامه‌ریزان و مدیران محسوب می‌شود (۴).

در سال‌های اخیر به دلیل گستردگی فعالیت‌های کشاورزی، تقاضا برای منابع آب سطحی و زیرزمینی به میزان قابل توجهی افزایش یافته و کمبود منابع آبی را تشدید کرده است (۵). با توجه به کمبود منابع آبی برای تولیدات کشاورزی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، مدیریت پایدار منابع آب ضروری است (۴،۶). تصمیم‌گیران در زمینه‌ی مدیریت پایدار منابع آب با چالش‌های فراوانی روبرو هستند و باید برای تخصیص عرضه‌ی آب کمیاب تصمیم‌گیری کنند، به‌گونه‌ای که اهداف اقتصادی فعالیت کشاورزی همراه با پایداری زیست محیطی محقق گردد (۷).

به منظور مدیریت پایدار منابع آب، تصمیم‌سازی در زمینه گسترش اتخاذ سیاست‌های تطبیقی با تغییرات اقلیمی و شرایط خشکسالی توسط کشاورزان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۸). تصمیم‌سازان برای تدوین سیاست‌های تطبیق با تغییرات اقلیمی، کمبود آب و خشکسالی با مشکلات متعددی روبرو هستند (۹،۱۰،۱۱). بنابراین، لزوم توجه به تدوین و طراحی سیاست‌های تطبیقی مورد پذیرش و متناسب با شرایط هیدرولوژیکی و اقلیمی مناطق به منظور افزایش کارایی اقتصادی مصرف آب ضروری است (۸،۱۲).

ایران در یکی از کم آب ترین مناطق جهان قرار دارد و اغلب، خشکسالی‌های شدیدی را تجربه می‌کند. متوسط نزولات آسمانی ایران حدود ۲۵۰ میلیمتر در سال است که این میزان بارندگی کمتر از یک سوم حد متوسط بارندگی سالانه کره زمین می‌باشد (۱۳). از طرف دیگر، وضعیت منابع آبی در ایران بسیار بحرانی است. بطور مثال، سرانه آب تجدید پذیر سالانه کشور در سال ۱۳۰۰، حدود ۱۳۰۰۰ مترمکعب بوده که در سال ۱۳۸۵ به حدود ۱۹۰۰ متر مکعب و در سال ۱۳۹۱ به حدود ۱۳۰۰ مترمکعب تقلیل یافته است (۱۴). همچنین، پیش‌بینی می‌شود این مقدار در سال ۱۴۳۰ به کمتر از ۱۰۰۰ متر مکعب برسد (۱۴). علاوه بر این، روند افزایشی مصرف آب در بخش‌های مختلف به خصوص بخش کشاورزی، باعث ایجاد شکاف میان عرضه و تقاضای آب و در نتیجه موجب کمبود منابع آبی شده است (۱۵). به شکلی که مصرف آب در بخش کشاورزی ایران از ۴۴ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۴۰ به ۸۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۰ و به حدود ۸۶/۵ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۹۰ رسیده است (۱۶). اعمال سیاست‌های مختلف نیز بر تشدید بحران آب در ایران تأثیر گذار بوده است. بطور مثال، تأکید بر تولید بیشتر به منظور قطع وابستگی و تکیه بر خودکفایی در دهه‌های گذشته از طریق اعمال سیاست‌های خرید و قیمت تضمینی، موجب افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی و به دنبال آن، فشار بیشتر بر منابع آبی شده است (۱۷). این در حالی است که خودکفایی در تولید محصولات کشاورزی و بویژه محصولاتی که نیاز آبی بالایی دارند، با هدف ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی مبتنی بر مزیت نسبی، در تضاد است. از سوی دیگر سیاست‌های پرداخت یارانه به نهاده‌های بخش کشاورزی از جمله یارانه‌های پرداختی به کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات و علف‌کش در جهت افزایش تولید، نه تنها در جهت افزایش مصرف و تقاضای آب بوده، بلکه افزایش آلودگی محیط زیست را نیز به‌دنبال داشته است (۱۸). سیاست و الگوی تجارت خارجی محصولات کشاورزی در ایران نیز کمتر در جهت تولید و صادرات محصولاتی قرار داشته است که بازتاب کمبود نسبی منابع آبی در کشور باشد و مبادله آب مجازی در ایران طی دو دهه گذشته، تقریباً ناآگاهانه صورت گرفته و به استثنای سال‌های کم آبی و تولید کم، روند کل واردات آب مجازی[1] همه محصولات در کشور کاهشی بوده است (۱۹). سیاست تشویق زارعین نیز تنها بر عملکرد محصول تولیدی تأکید دارد و ناشی از عدم توجه به مسئله بحران آب در کشور می‌باشد. در این میان الگوهای زراعی نیز در بیشتر مناطق کشاورزی، با ظرفیت‌های موجود منابع آبی منطبق نبوده و این الگوها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که مناسب مناطق دارای آب فراوان و ارزان می‌باشند (۲۰). در پایان، عدم توجه به تعیین حق‌آبه‌ها متناسب با شرایط آب و هوایی در هر سال، عدم نظارت صحیح به برداشت منابع آب و حمایت‌های ناکافی در زمینه گسترش فناوری‌های نوین آبیاری، احداث شبکه‌های آبیاری و گلخانه‌های مجهز و ...نیز از نقاط ضعف مدیریتی و سیاست‌گذاری در ایران است. مطالعات متعددی در ایران نشان می دهد که با توجه به رشد جمعیت، شهرنشینی، صنعتی شدن، گسترش کشاورزی، تغییرات اقلیم و مدیریت نامناسب منابع آب در دهه‌های گذشته، کشور در حال حاضر با بحران جدی آب مواجه است (۲۱،۲۲،۲۳).

1 Virtual Water

بنابراین، تدوین و پیاده سازی سیاست‌های مدیریتی و استراتژی-های سازگار و مناسب با توجه به شرایط کمبود شدید آب در ایران ضروری به نظر می‌رسد.

برخی مطالعات صورت گرفته در زمینه مدیریت منابع آب در ایران، به تأثیر ابزار قیمت بر افزایش کارایی مصرف منابع آب در بخش کشاورزی پرداختند که نتایج آنها مبین این است که گروه‌های مختلف کشاورزان در مقابل افزایش بهای آب، عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به کاهش مصرف آب در هکتار نشان می‌دهند (۲۴). به این معنی که کشاورزان تا قبل از یک قیمت آستانه‌ای نسبت به افزایش تعرفه‌های آب حساس نیستند. در خارج از کشور نیز برخی مطالعات به نقش افزایش قیمت در کاهش مقدار تقاضای و مدیریت منابع آب پرداخته‌اند (۲۵،۲۶). از راهکارهای دیگر برای مدیریت منابع آب تغییر الگوی کشت به حساب می‌آید. تخصیص بهینه آب به محصولات زراعی مختلف از طریق تغییر الگوی کشت، از اهداف بسیاری از مطالعات است (۲۷،۲۸). مطالعات داخلی Sabouhi and Soltani (2008) و Asad Falsafizadeh and Sabouhi (2010) نیز نشان دادند که تغییر الگوی کشت در مناطق کشاورزی ایران، از جمله راهکارهای افزایش کارایی اقتصادی استفاده از آب است (۲۰،۲۹). توسعه سامانه‌های آبیاری آب اندوز به عنوان یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در مدیریت منابع آب جهت بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب مطرح شده است (۳۰،۳۱). اما نتایج مطالعه Zibaei *et al.* (2005) موفقیت چنین سامانه‌هایی را بسته به نسبت زمین قابل کشت و موجودی منابع آب می‌دانند (۲۴). در تمامی مطالعات اشاره شده، از مدل‌های بهینه‌یابی اقتصادی و اقتصادی–زیست محیطی جهت بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب تحت سیاست-های مدیریتی و استراتژی‌های تطبیقی با تغییر اقلیم و سازگار با خشکسالی استفاده شده است. در این گونه مدل‌ها، تابع هدف بصورت حداکثرسازی منافع اقتصادی در قالب مدل‌های تک هدفه و یا حداکثرسازی منافع اقتصادی و زیست محیطی در قالب مدل‌های چندهدفه با و بدون در نظر گرفتن استراتژی‌های تطبیقی و با توجه به مجموعه‌ای از محدودیت‌ها بویژه محدودیت-های هیدرولوژیکی با استفاده از برنامه‌ریزی دستوری و اثباتیفرموله شده است. یکی از مشکلات این مدل‌ها، عدم توجه به تأثیر متغیرهای اقلیمی (شامل بارش، دما و غیره)، متغیرهای مربوط به زمانبندی کشت و پروفایل خاک منطقه بر وضعیت هیدرولوژیکی منطقه است. به عبارتی، در این مدل‌ها، شبیه‌سازی دقیقی از وضعیت هیدرولوژیکی منطقه برای زمان‌های آینده ارائه نمی‌شود (۱۰،۱۱). در راستای رفع این مشکلات، مدلسازی یکپارچه هیدرولوژیکی–اقتصادی می‌تواند منافع اقتصادی را با توجه به شرایط الگوی کشت، اقلیم و وضعیت خاک در سطح حوضه، حداکثرسازی نماید (۷،۸،۱۰،۱۱،۳۲).

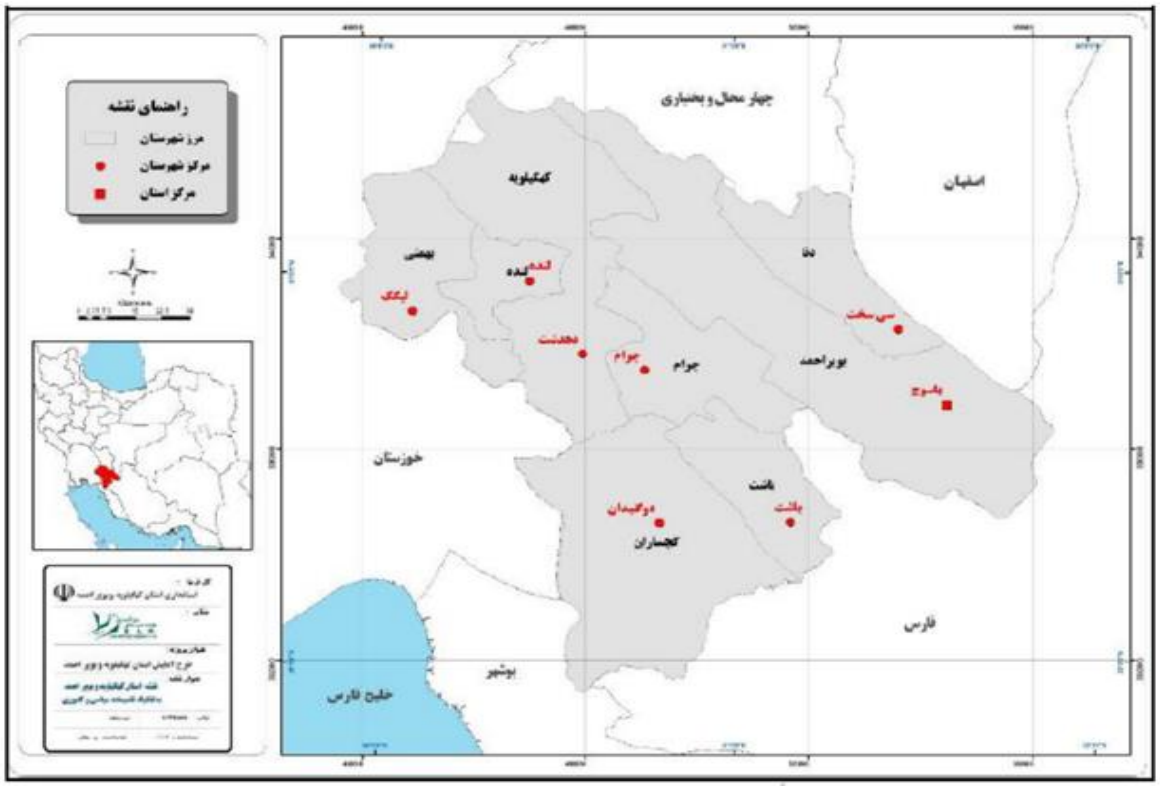
بطور کلی، بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی مدیریت پایدار منابع آب نشان داد که دو هدف اصلی بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب و پایداری زیستی با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی در رأس مدیریت یکپارچه منابع آب قرار دارد. در مطالعات مختلف سعی بر این بوده است که به تحقق این اهداف بپردازند. در این راستا، مطالعات مرور شده به سه دسته تقسیم-بندی شده است. دسته‌ی اول، شامل مطالعاتی است که بدون توجه به پیوند اجزای هیدرولوژیکی و تأثیرات متغیرهای اقلیمی بر شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در سطح حوضه و از طریق مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مختلف به تحقق بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب پرداخته‌اند (۲۴،۲۶،۲۷،۲۸،۲۹). در دسته‌ی دوم، مطالعاتی قرار دارند که از طریق مدل‌های مختلف برنامه‌ریزی ریاضی و با توجه به محدودیتهای پیوند اجزای هیدرولوژیکی در سطح حوضه به تحقق بهبود کارایی اقتصادی پرداخته‌اند. در اینگونه مطالعات، پیوند اجزای هیدرولوژیکی از طریق مدل‌های برنامه ریزی ریاضی صورت گرفته است (۹،۳۱،۳۳،۳۴) و دسته‌ی سوم، مطالعاتی را در بر می‌گیرد که با شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سطح حوضه به تحقق بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب پرداخته‌اند. در این گونه مطالعات شبیه‌سازی بصورت جداگانه و از طریق مدل‌های مختلف از جمله WEAP صورت گرفته و تأثیر متغیرهای اقلیمی بر این شبیه سازی بطور دقیق ارائه و تصویر شده است و سپس با تلفیق خروجی حاصل از این مدل با مدل-های برنامه ریزی مختلف به تحقق بهبود کارایی اقتصادی مصرف آب پرداخته شده است
(۷،۸،۱۰،۱۱،۳۲،۳۵،۳۶،۳۷،۳۸،۳۹،۴۰،۴۱).

بنابراین، مطالعات بررسی شده در دسته‌ی سوم، مدیریت منابع آب و ارزیابی سیاست‌های مدیریتی و استراتژی‌های تطبیقی با تغییر اقلیم و خشکسالی را به طور جامعی مورد تحلیل قرار داده‌اند. در مطالعه‌ی حاضر نیز این رویکرد به منظور ارزیابی اثرات اقتصادی و هیدرولوژیکی توسعه فناوری های نوین آبیاری تحت شرایط خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته است. برای این منظور، زیر حوضه آبریز سد کوثر بعنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. از مطالعاتی که به بحث امنیت آب در حوضه آبریز سد کوثر پرداخته‌اند می‌توان به مطالعه Layani and Bakhshoodeh (2019) اشاره کرد که در آن مطالعه، اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر امنیت آب با استفاده از روش سیستم دینامیک ارزیابی شد (۴۲). با توجه به جمع‌بندی مطالعات مروری می‌توان از منظر بررسی

اثرات سناریوهای خشکسالی مختلف و همچنین سناریوهای بهبود کارایی مصرف آب از طریق مدلسازی هیدرولوژیکی-اقتصادی، مطالعه حاضر را دارای نوآوری دانست. از طرف دیگر تاکنون برای منطقه مورد مطالعه چنین تحلیلی صورت نگرفته است.

منطقه مورد مطالعه

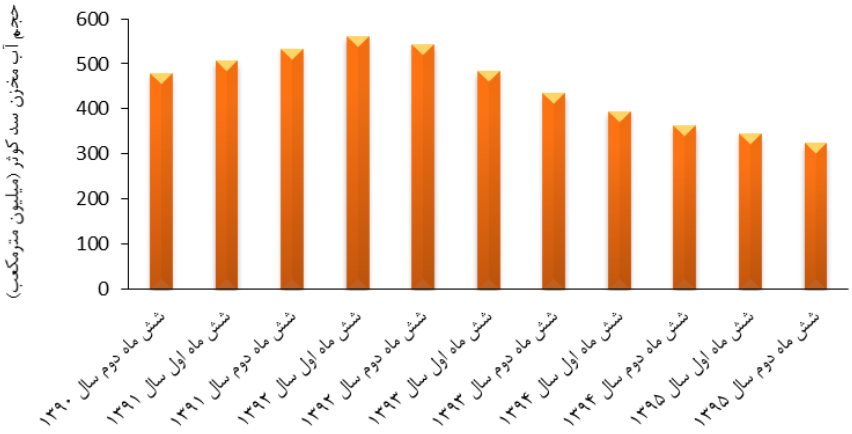
منطقه مورد مطالعه، زیر حوضه سد کوثر در استان کهگیلویه و بویراحمد و شامل ۴۷۱۰، ۳۰۱۸ و ۳۳۷۶ هکتار از اراضی شهرستان‌های باشت، گچساران و چرام است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت قرارگیری سد کوثر و شهرستان‌های باشت، گچساران و چرام در استان کهگیلویه و بویراحمد

مصارف آب زیر حوضه سد کوثر در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی از دو منبع آب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. بیش‌تر آب سطحی منطقه مورد مطالعه به وسیله سد مخزنی کوثر و آب تأمین‌شده به وسیله سفره‌های زیرزمینی اغلب از راه چاهها برداشت می‌شود. سد کوثر یکی از سدهای واقع‌شده در حوضه آبریز زهره است. این سد روی رودخانه خیرآباد و در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال غرب شهر دوگنبدان واقع‌شده است. ارتفاع آن ۱۴۴ متر از نوع بتنی وزنی و حجم مخزن ۵۸۰ میلیون مترمکعب است که سالیانه ۴۲۶ میلیون مترمکعب آب را برای مصارف شهری، کشاورزی و زیست‌محیطی تنظیم می‌کند. بررسی آمار و ارقام مربوط در این حوضه نشان می‌دهد که میانگین بارش از ۶۰۰ میلی‌متر در سال ۱۳۴۸-۱۳۴۷ به ۴۳۸/۴ میلی‌متر در سال ۹۵-۹۴ رسیده است و مقدار رواناب از ۴۱۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۴۸-۱۳۴۷ به ۱۲۵ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. بیش‌ترین رواناب در کل این دوره معادل ۴۱۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۴۸-۱۳۴۷ بوده و میانگین رواناب سالانه در ۵ ساله اخیر به ۱۰۰ میلیون مترمکعب تقلیل یافته است. وقوع خشک‌سالی‌های پیاپی در سال‌های اخیر، کاهش مقدار بارندگی، نداشتن الگوی مناسب مصرف و سرانه بالای مصرف آب سبب تشدید تنش آبی و به‌تبع آن کمبود آب شده است (۴۳). کاهش منابع آب در تغییرات حجم آب ذخیره شده در سد کوثر به خوبی قابل درک است (شکل ۲). کاهش جریان‌های ورودی و افزایش برداشت آب به منظور پاسخگویی به تقاضای فزاینده، حجم ذخیره شده آب سد کوثر به عنوان یکی از سدهای مهم در حوضه آبریز زهره را تحت تأثیر قرار داده است. به گونه‌ای که در سال‌های اخیر حجم آب ذخیره شده در سد کوثر روند کاهشی داشته است. بنابراین، سناریو کاهش منابع آب در دسترس چالشی بسیار جدی پیش روی این زیرحوضه است و این مسئله خود تأکیدی بر لزوم مدیریت پایدار این منبع حیاتی دارد.

از سوی دیگر، بررسی روند تغییرات راندمان آبیاری در زیرحوضه سد کوثر طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد که راندمان آبیاری در دو دهه ۱۳۸۰-۱۳۷۱ و ۱۳۹۰-۱۳۸۱ و نیم دهه ۱۳۹۴-۱۳۹۱



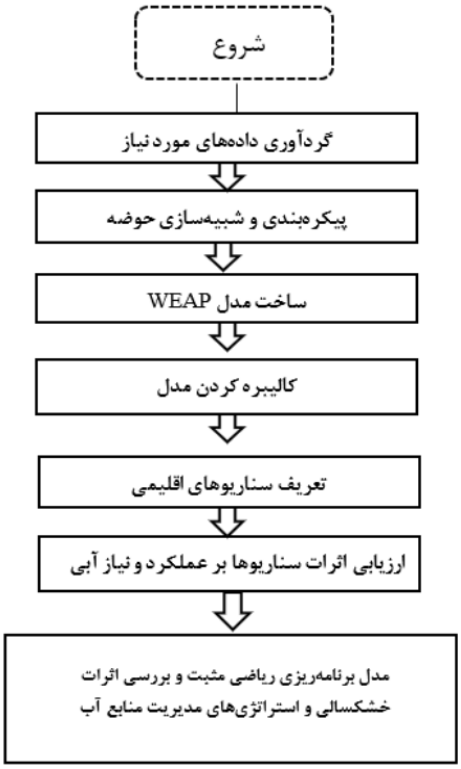
شکل ۲- روند تغییرات حجم آب ذخیره شده در سد کوثر در سال‌های گوناگون

به ترتیب ۵۲، ۵۸/۴ و ۵۸/۸ درصد است. هم‌چنین، راندمان انتقال و توزیع (به معنی تلفات آب در کانال‌های انتقال و توزیع) نیز در دهه‌های یاد شده به ترتیب ۵۷/۱، ۶۱/۷ و ۷۴/۶ درصد می‌باشد. بنابراین، راندمان کل در دهه‌های یاد شده به ترتیب ۲۹/۷، ۳۶/۱ و ۴۳/۸ درصد برآورد شده است. نتایج ارزیابی راندمان آبیاری در استان‌های گوناگون نیز حاکی از آن است که راندمان کل آبیاری از ۱۲ درصد تا ۵۷ درصد در ایران متغیر است. در استان کهگیلویه و بویراحمد نیز راندمان کل آبیاری در حدود ۴۵ درصد گزارش شده است (۴۴). راندمان آبیاری کشور نسبت به میانگین راندمان آبیاری در دیگر کشورها که بین ۵۰ تا ۹۰ درصد بسته به نوع فناوری آبیاری متغیر است، پایین می‌باشد. برخی از صاحب‌نظران نخستین گام در راه جلوگیری از بحران آب را افزایش راندمان آبیاری می‌دانند. با افزایش راندمان می‌توان مصرف آب در بخش کشاورزی را کاهش داد، بی‌آنکه راندمان اقتصادی یا کیفیت زندگی کاهش یابد. داده‌ها و اطلاعات لازم جهت مدل‌سازی هیدرولوژیکی–اقتصادی زیرحوضه سد کوثر برگرفته از مطالعات اسنادی می‌باشد. منابع اصلی اطلاعات در این زمینه، سازمان جهاد کشاورزی استان کهگیلویه و بویراحمد و شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد بودند. به طور کلی، داده‌های مورد استفاده در این بخش به دو دسته داده‌های اقتصادی و هیدرولوژیکی تقسیم‌بندی شده است.

روش تحقیق

چارچوب مدل‌سازی هیدرولوژیکی- اقتصادی

شکل (۳) ارتباط بین مدل اقتصادی و مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جهت تحلیل اثرات خشکسالی و استراتژی‌های تطبیقی با شرایط خشکسالی مطالعه‌ی حاضر را نشان می‌دهد. مدل اقتصادی–هیدرولوژیکی با شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در قالب نرم افزار WEAP و بدون استراتژی‌های مدیریتی منابع آب شروع و اثرات خشکسالی شبیه‌سازی شده است. سپس مدل برنامه-ریزی ریاضی مثبت (PMP) با هدف اقتصادی کشاورزان با توجه به اطلاعات بدست آمده از مدل هیدرولوژیکی حل و الگوی کشت متناسب با شرایط فعلی و خشکسالی با و بدون استراتژی‌های مدیریتی در زمینه منابع آب استخراج شد. لازم به ذکر است که به منظور ارزیابی اثرات سناریوی خشکسالی بر نیاز آبی و عملکرد محصولات از ابزار MABIA در نرم افزار WEAP بهره گرفته شده است.



شکل ۳- چارچوب مدلسازی هیدرولوژیکی–اقتصادی

مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی WEAP

مدل WEAP یک ابزار برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب است که بر اصل توازن آب استوار می‌باشد و زیرحوضه‌های مختلف، گره-های تقاضای آب، زیرساخت‌ها، جریان‌های آب و کانال‌های انتقال آب که همگی با یکدیگر مرتبط هستند را نشان می‌دهد (۴۵). مدل WEAP مولفه‌هایی از چرخه‌ی هیدرولوژیکی را بوسیله‌ی شبیه‌سازی فرایندهای بارش–رواناب[1] در سطح حوضه و با استفاده از سری‌های زمانی داده‌های آب‌وهوایی محاسبه می-کند. هر واحد زیر حوضه به کلاس‌های کاربری زمین مختلف تقسیم‌بندی و توازن آب تحت شرایط آب‌وهوایی آن زیر حوضه محاسبه می‌شود. در این مدل برای هر واحد کشاورزی توابع تجربی جهت توصیف و شبیه‌سازی تبخیر و تعرق، رواناب و جریان‌های سطحی، تغییر در رطوبت خاک، روند جریان پایه به رودخانه و نفوذ عمقی به آب زیرزمینی بکار گرفته می‌شود (۴۶) که روش MABIA موجود در نرم‌افزار WEAP ابزاری مناسب جهت شبیه‌سازی این‌گونه متغیرها می‌باشد. این روش نیازهای آبی و عملکرد محصولات را شبیه‌سازی و به کاربران اجازه می-دهد که اثرات تغییرات آب‌وهوایی و آب در دسترس بر رشد محصول را در نظر بگیرند. اگرچه این روش، اثرات آلودگی CO2 بر محصولات را نمی‌تواند ارزیابی کند (۸).

WEAP به صورت یک ابزار پیش‌بینی، نیاز آبی، جریان‌ها و مقدار ذخیره و آبدهی را شبیه‌سازی می‌کند. این نرم‌افزار قادر به شبیه-سازی طیف وسیعی از مؤلفه‌های طبیعی و ساخته شده این سیستم‌ها از قبیل رواناب، دبی پایه، تغذیه طبیعی آب‌های زیرزمینی، تحلیل نیازها، ذخیره آب، حقابه‌ها و اولویت‌های تخصیص، بهره‌برداری از مخزن، تولید برقابی و ارزیابی آسیب-پذیری و نیازهای اکوسیستم است. همچنین با داشتن زیر برنامه تحلیل اقتصادی به کاربر اجازه می‌دهد که برخی تحلیل‌های کلی اقتصادی نیز به انجام رساند. این نرم‌افزار قابلیت‌های مختلفی از جمله تحلیل مؤلفه‌های بیلان منابع آب سطحی و زیرزمینی در مقیاس محدوده‌های مطالعاتی و کل حوضه آبریز، ارزیابی تغییرات کمی و کیفی منابع آب با توجه به برداشت‌های آب در نقاط مختلف حوضه آبریز، تعیین سهم مناطق مختلف از منابع آب حوضه آبریز، ارتباط با نرم‌افزارهای سنجش از راه دور نظیر GIS، امکان کالیبره شدن با شرایط موجود حوضه آبریز، امکان نمایش گرافیکی نتایج اعمال سیاست‌های مختلف در حوضه‌های آبریز روی متغیرهای حساس و مختلف و انعطاف‌پذیری مدل جهت تغییر اجزا آن با توجه به شرایط حوضه آبریز را دارا می‌باشد (WEAP User Guide, 2003).

مزیت اصلی WEAP در رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم-های آبی و جهت‌گیری آن، در راستای سیاست‌ها است. WEAP در معادلات خود، مسائل مربوط به نیاز (الگوهای مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد، هزینه‌ها و تخصیص) را همگام با مسائل مربوط به منابع (جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب) لحاظ کرده است. WEAP یک معادله تعادل جرم آب، برای هر گره و اتصال در سیستم در گام‌های زمانی، حل می‌کند. آب برای تأمین نیازهای مصرف‌کنندگان و میزان جریان پایین دست، بر اساس اولویت نیازها، برتری منبع، معادله تعادل جرم و سایر محدودیت‌ها، پخش می‌شود.

تقاضا آبی یک گره نیاز (DS)، به صورت مجموع تقاضاهای شاخه‌های پایه آن (Br) تعریف می‌شود. شاخه پایه، شاخه‌ای است که زیر آن شاخه‌ای وجود ندارد.

$$AD_{DS} = \sum_{Br}(TAL_{Br} \times WUR_{Br}) \qquad (۱)$$

در معادله (۱)، AD تقاضای سالانه، TAL تراز فعالیت کل و WUR نرخ استفاده آب است. تقاضای سالانه، مقدار آب مورد نیاز گره برای استفاده خودش در هر سال را نشان می‌دهد. درحالی‌که نیاز منبع مقدار واقعی نیاز درخواست شده از منابع ذخیره است. نیاز منبع، تقاضا را در نظر گرفته و آن را با میزان استفاده مجدد در داخل گره، استراتژی‌های مدیریتی برای کاهش تقاضا و اتلاف‌های داخلی، تنظیم می‌کند. بنابراین طبق معادله زیر داریم:

$$MSR_{DS,m} = \frac{MSR_{DS,m} \times (1 - RR_{DS}) \times (1 - DSMS_{DS})}{1 - LR_{DS}} \qquad (۲)$$

MSR، نیاز سالانه منبع، MD تقاضای سالانه، RR نرخ استفاده مجدد، DSMS، ذخیره سالانه در گره تقاضا و LR نرخ تلفات است. در این مرحله جریان‌های ورودی به گره‌ها و اتصالات در سیستم و خروجی از آن‌ها برای هر سال در نظر گرفته شده، محاسبه می‌شود که شامل محاسبه آب‌های برداشت شده از منابع ذخیره برای تأمین تقاضاها نیز هست. برای آنکه با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعریف شده، حداکثر مقدار نیازها تأمین شود، از یک برنامه خطی (LP) استفاده می‌شود. اگر DS گره تقاضا و Scr منبع تغذیه باشد، خواهیم داشت:

$$I = \sum_{rcs} TLO_{Src,DS} \qquad (۳)$$

که در آن I ورودی و TLO جریان خروجی خط انتقال هستند. معادلات حاکم بر جریان خط انتقال، به صورت معادلات (۴) تعریف شده است:

$$TLO_{Src,DS} = TLI_{Src,DS} - TLL_{Src,DS} \qquad (۴)$$

1 Rainfall-Runoff

$$TLL_{Src,DS} = (TLLfs_{Src,DS} + TLLtG_{Src,DS}) \times TLI_{Src,DS}$$
$$TLI_{Src,DS} \le MFV_{Src,DS}$$
$$TLO_{Src,DS} \le MFP_{Scr,DS} \times SR_{Scr,DS}$$

در این معادلات، اندیس DS و Src، نشانگر جریان از منبع به گره تقاضا است. TLO خروجی از خط انتقال، TLI ورودی خط انتقال، TLL اتلاف آب در خط انتقال، TLLfs اتلاف آب خط انتقال از سیستم، TLLtG اتلاف آب خط انتقال که به آب زیرزمینی می‌رود، MFV حداکثر حجم جریان، MFP حداکثر درصد جریان و SR نیاز منبع هستند. مقدار آب خروجی از مخزن نیز توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$O_{Src} = DO_{Src} + \sum_{DS} TLI_{Src,DS} \quad (۵)$$

در این رابطه، O جریان خروجی، DO جریان خروجی به پایین دست و TLI جریان خط انتقال از گره تقاضا از DS است. این معادله با محدودیت زیر حل می‌شود که در آن SAfR ذخیره موجود برای خروج از مخزن است.

$$O_{Src} \le SAfR_{Src} \quad (۶)$$

علاوه بر این، روش MABIA یک شبیه‌سازی روزانه از تعرق، تبخیر، نیازمندی‌های آبیاری و برنامه‌ریزی، رشد محصول و بازده آن و همچنین شامل واحدهایی برای تخمین تبخیر و تعرق و ظرفیت آب خاک است. این مدل با نرم‌افزار MABIA در INAT برآورد شده است.

مدل اقتصادی در قالب برنامه‌ریزی ریاضی مثبت PMP

مدل بهینه‌یابی مطالعه‌ی حاضر یک مدل اقتصادی در قالب روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت با هدف حداکثرسازی بازده برنامه‌ای کشاورزان می‌باشد. تابع هدف به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\max Z_1 = \sum_g \sum_i p_i . y_{i,g} . X_{gi,land} - \sum_g \sum_i tc_{i,g} . X_{gi,land} - \sum_g \sum_i wp . (nw_{i,g}/ef) . X_{gi,land} \quad (۷)$$

رابطه (۷)، تابع بازده برنامه‌ای را نشان می‌دهد. جایی که پارامترهای مدل شامل p_i قیمت هر واحد محصول (i)، $y_{i,g}$ عملکرد محصول تولیدی (i) در منطقه (g) در واحد سطح، $tc_{i,g}$ هزینه تولید محصول بدون هزینه آب (i) در منطقه (g) در واحد سطح، wp قیمت هر واحد مصرف آب، $nw_{i,g}$ مصرف آب خالص محصول (i) در در منطقه (g) در واحد سطح، ef کارایی فناوری آبیاری منطقه و متغیرهای مدل شامل $X_{gi,land}$ متغیر تصمیم سطح زیر کشت محصول (i) در منطقه (g) و Z_1 متغیر بازده برنامه‌ای حوضه می‌باشد. تابع هدف با توجه به محدودیت‌های منابع و کالیبراسیون حداکثر سازی می‌شود.

$$St: \sum_i a_{gij}\ x_{gi,land} \le b_{gj} \quad \forall g,j \quad [\lambda^1] \quad (۸)$$

$$St: \sum_i TEW_{ig}\ x_{gi,land} \le TWU_g \quad \forall g \quad [\lambda^1] \quad (۹)$$

$$x_{gi,land} \le \tilde{x}_{gi,land} + \varepsilon \quad \forall g,i \quad [\lambda^2] \quad (۱۰)$$

$$b^-_{gi,land} \le x_{gi,land} \le b^+_{gi,land} \quad \forall g,i \quad (۱۱)$$

$$x_{gi,land} \ge 0 \quad \forall g,i \quad (۱۲)$$

روابط (۸) و (۹) به ترتیب بیانگر محدودیت‌های سیستمی مربوط به محدودیت سایر عوامل تولید و محدودیت عامل تولید آب می‌باشند. a_{gij} ضرایب فنی عوامل تولیدی به جز آب (j) برای محصولات (i) در منطقه (g)، b_{gi} موجودی منابع نهاده‌ها به جز آب، TWU_g میزان آب در دسترس مناطق است. روابط (۱۰) و (۱۱) نیز محدودیت‌های کالیبراسیون مدل است. $\tilde{x}_{gi,land}$ بیانگر سطح زیر کشت محصولات در سال پایه و $b^-_{gi,land}$ و $b^+_{gi,land}$ به ترتیب بیانگر حداکثر و حداقل زمین در دسترس در هر منطقه در سال پایه است.

هاویت (۱۹۹۵) و هکلی (۲۰۰۲)، بردار مقادیر دوگان λ^2 مرتبط با محدودیت‌های کالیبراسیون را به‌عنوان نماینده‌ای از هر نوع خطای تصریح مدل، خطای داده‌ها، خطای هم‌جمعی‌سازی، رفتار ریسکی و انتظارات قیمتی تفسیر کرده‌اند. در کالیبراسیون یک تابع هزینه غیرخطی صعودی، بردار دوگان λ^2 به‌عنوان بردار هزینه نهایی تفاضلی تفسیر شده که همراه با بردار هزینه (c)، هزینه نهایی و واقعی تولید فعالیت مشاهده‌شده i ام را معلوم می‌کند. در مرحله دوم، مقادیر دوگان به‌دست‌آمده از مرحله اول برای تخمین پارامترهای تابع هدف غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌عبارت‌دیگر در این مرحله مقادیر دوگان برای کالیبره کردن پارامترهای تابع هدف غیرخطی به کار می‌روند. در این حالت سطوح فعالیت مشاهده‌شده در دوره پایه توسط مدل غیرخطی مذکور و بدون محدودیت‌های کالیبراسیون باز تولید می‌شود (۴۷). در این مرحله هر نوع تابع غیرخطی که شرایط موردنظر را داشته باشد می‌تواند برای کالیبراسیون به کار رود (۴۸). در این مطالعه، تابع هزینه درجه دوم، برای کالیبره کردن مدل استفاده می‌شود که در ادامه چگونگی انجام کار توضیح داده شده است. تابع هزینه متغیر مورد استفاده در این مطالعه دارای شکل تابعی درجه دوم به‌صورت ذیل است:

$$C^v{}_i = \sum_g (TEW_{ig} . Pw) + \sum_g \sum_j c_{gij} = d'x + \frac{1}{2} x'Qx \quad (۱۳)$$

که در این تابع، d بردار (n×1) از پارامترهای جزء خطی تابع هزینه و Q ماتریس مثبت نیمه معین و متقارن با ابعاد (n×n) از پارامترهای جزء درجه دوم تابع هزینه است. Howitt (1995) نشان داد که بردار هزینه نهایی متغیر (MC) مربوط به تابع هزینه

فوق، برابر است با مجموع بردار هزینه حسابداری (c) و بردار هزینه نهایی تفاضلی (λ^2).

$$MC_i = \frac{\partial c^v{}_i(x)}{\partial x} = d + Qx = c + \lambda^2 \quad (۱۴)$$

برای برآورد پارامترهای تابع هزینه بیان‌شده، از رهیافت پیشنهادی هکلی و بریتز (۲۰۰۰)، استفاده شد. در این روش فرض می‌شود که بردار مشاهده‌شده هزینه حسابداری هر فعالیت (C)، برابر با هزینه متوسط مربوط به تابع هزینه متغیر درجه دوم برای هر محصول است. درنتیجه مقادیر پارامترهای بردار d و عناصر قطری ماتریس Q با استفاده از روابط ذیل به‌دست می‌آیند.

$$q_{ii} = \frac{2\lambda^2{}_i}{x_i} \quad , \quad d_i = c_i - \lambda^2{}_i \quad (۱۵)$$

که در آن d جزء خطی تابع هزینه و q_{ii} عناصر قطری تابع هزینه است.

در مرحله‌ی سوم روش PMP، توابعی که در مرحله قبل برآورد شده، در تابع هدف مسئله مورد بررسی قرار داده می‌شود و یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسئله اولیه به استثنای محدودیت‌های کالیبراسیون ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع هدف غیر خطی در این مرحله به صورت رابطه (۱۶) است.

$$Maximize\ Z = \sum_g \sum_i (v_i\ yld_{gi}) * x_{gi,land} - \sum_g \sum_i (d_i + (\sum_g \sum_{ii} (q_{i,ii} * x_{gi,land})) * x_{gi,land}) \quad (۱۶)$$

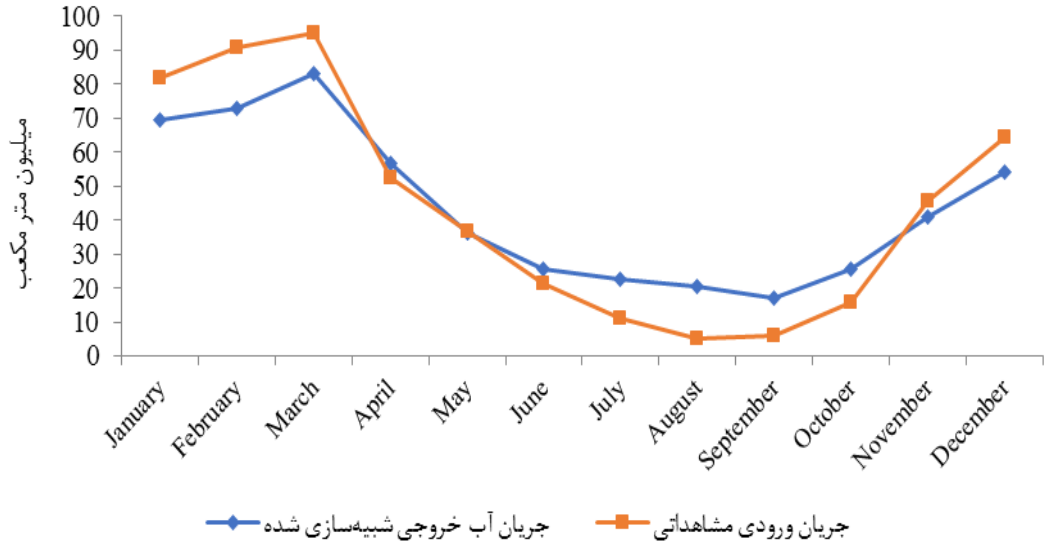
در پایان، سناریوی خشکسالی از طریق تغییر در داده‌های عملکرد و نیاز خالص آبی محصولات که از مدل WEAP بدست آمده است و سناریوی افزایش کارایی مصرف آب در مناطق به شبیه‌سازی اثرات سناریوها پرداخته می‌شود

نتایج و بحث

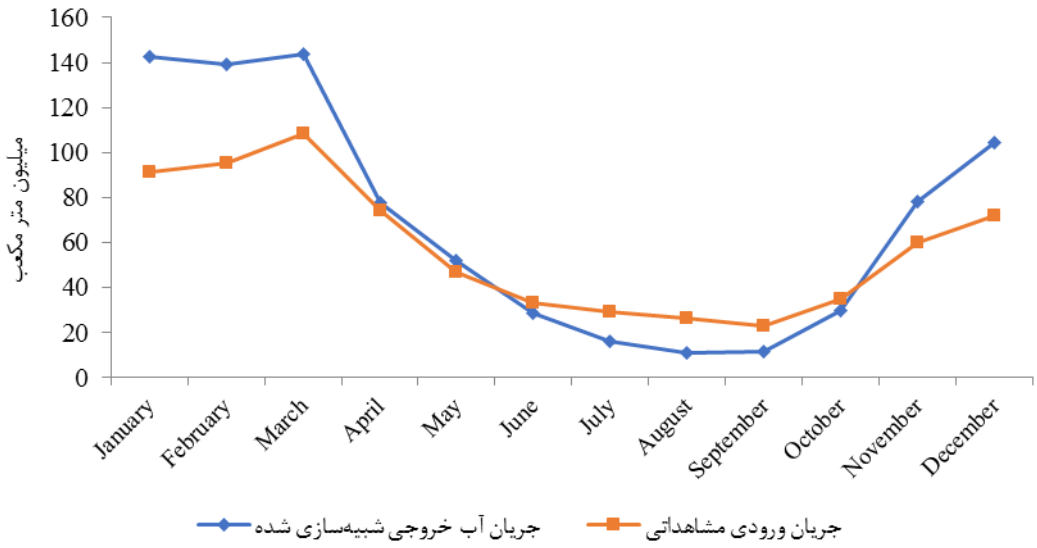
در قسمت نتایج، ابتدا به شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سطح حوضه و بررسی اثرات خشکسالی بر عملکرد و نیاز خالص آب آبیاری محصولات در سطح حوضه سد کوثر با ادامه روند سیاست‌های کنونی پرداخته شد. سپس اثرات خشکسالی و اتخاذ استراتژی‌های تطبیقی بهبود فناوری آبیاری، در قالب ترکیب مدل‌سازی هیدرولوژیکی –اقتصادی بر متغیرهای بازده برنامه‌ای، سطح زیر کشت و کارایی اقتصادی آب تحلیل شده است.

اعتبارسنجی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی

جهت اعتبارسنجی مدل مورد استفاده در نرم افزار WEAP، از ابزاری به نام PEST بهره گرفته شد. این ابزار به کاربران اجازه می‌دهد به طور خودکار، فرایند مقایسه خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی و اصلاح پارامترهای مدل در جهت افزایش دقت کالیبراسیون مدل را انجام دهد. در این ابزار از داده‌های مشاهداتی حجم جریان آب در ایستگاه‌های هیدرومتری به منظور بررسی دقت شبیه‌سازی و فرایند کالیبراسیون استفاده گردید. بر این اساس، برای ارزیابی اعتبارسنجی شبیه‌سازی و کالیبراسیون مدل از داده‌های مشاهداتی ماهانه حجم جریان آب ورودی به ایستگاه-های هیدرومتری خیرآباد و پل فلور در سال ۲۰۱۱ (داده‌های مشاهداتی موجود) و مقایسه آن با خروجی جریان آب شبیه‌سازی شده از مناطق بالادست به این ایستگاه‌ها بهره گرفته شد که نتایج این مقایسه در شکل‌های (۴) و (۵) آمده است.



شکل ٤- مقایسه داده‌های مشاهداتی حجم جریان رودخانه با داده‌های شبیه‌سازی در ایستگاه هیدرومتری خیرآباد



شکل ۵- مقایسه داده‌های مشاهداتی حجم جریان رودخانه با داده‌های شبیه‌سازی در ایستگاه هیدرومتری پل فلور

مقایسه حجم جریان آب خروجی شبیه سازی شده از ایستگاه‌های هیدرومتری خیرآباد و پل فلور در زیرحوضه سد کوثر با داده‌های مشاهداتی حجم جریان آب ورودی به این ایستگاه‌های هیدرومتری در سال ۲۰۱۱ نشان می‌دهد که کالیبراسیون مدل با دقت بالایی صورت گرفته است، چراکه تقریباً روند جریان خروجی شبیه‌سازی شده از اراضی بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری با روند مشاهدات واقعی جریان ورودی به ایستگاه‌های هیدرومتری منطبق می‌باشد (میزان میانگین مربعات خطای پیش بینی (MSE) برای دو ایستگاه خیرآباد و پل فلور به ترتیب برابر است با ۱۱۳/۵۰ و ۶۵۲/۹۱).

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سطح حوضه با و بدون سناریوهای خشکسالی

دو متغیر عملکرد و میزان آب خالص آبیاری مورد نیاز محصولات مختلف در نرم افزار WEAP و با استفاده از ابزار MABIA در شرایط پایه و سناریوهای خشکسالی برای طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ شبیه‌سازی و متوسط این متغیرها در طی دوره زمانی مورد بررسی به تفکیک مناطق مختلف زیرحوضه سد کوثر در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شد. برای دستیابی به این هدف، دو سناریوی متفاوت برای خشکسالی تعریف شد. در سناریوی اول، خشکسالی از طریق کاهش میزان بارش با توجه به داده‌های اقلیمی سطح حوضه و در سناریوی دوم، خشکسالی از طریق کاهش بارش و منابع آبی دردسترس سطح حوضه شبیه‌سازی و اثرات آن بر عملکرد و نیاز خالص آبی محصولات مختلف در الگو سنجیده شد.

نتایج جدول (۱) نشان داد که متوسط عملکرد تمامی محصولات مناطق باشت، گچساران و چرام بر اثر سناریوی خشکسالی اول (سناریوی کاهش بارش)، کاهش خواهد یافت. برای منطقه باشت، بیشترین میزان کاهش عملکرد در اثر سناریوی خشکسالی اول به محصول گندم و کمترین میزان کاهش عملکرد به محصولات گوجه فرنگی و برنج اختصاص دارد. متوسط عملکرد تمامی محصولات منطقه گچساران بر اثر سناریو خشکسالی اول بین ۰/۶ تا بیش از ۴ درصد کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان کاهش عملکرد تحت سناریوی خشکسالی اول در محصولات ذرت و گندم و کمترین میزان کاهش عملکرد در محصولات خیارسبز و لوبیا مشاهده شده است. در منطقه چرام، بیشترین میزان کاهش عملکرد در اثر اعمال سناریوی خشکسالی اول مربوط به محصولات گندم و جو است و کمترین میزان کاهش عملکرد به محصولات گوجه فرنگی و نخود اختصاص دارد. همچنین درصد کاهش عملکرد محصولات در اثر سناریوی خشکسالی اول در این منطقه نسبت به سایر مناطق در حد بسیار کمی، بیشتر است. در واقع، تعداد محصولاتی که میزان کاهش عملکرد آن‌ها در اثر اعمال سناریوی خشکسالی اول بیش از ۲ درصد باشد، در این منطقه افزایش یافته است. بطور کلی، نتایج تمامی مناطق نشان می‌دهد که میزان کاهش عملکرد در اثر اعمال سناریوی خشکسالی اول در اکثر محصولات زیرحوضه سد کوثر بسیار ناچیز است. این یافته نشان می‌دهد که خشکسالی از طریق کاهش بارش بعنوان یک عامل اثرگذار در عملکرد و فرایند تولید محصولات این زیرحوضه به حساب نمی‌آید. همچنین می‌توان گندم را محصولی حساس‌تر به کاهش بارش در مقایسه با سایر محصولات تولیدی در این زیر حوضه قلمداد کرد.

نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که برای تمامی مناطق زیرحوضه سد کوثر، بیشترین میزان کاهش عملکرد در اثر سناریوی خشکسالی دوم (کاهش میزان بارش و منابع آبی در دسترس) به محصولات برنج، گوجه‌فرنگی و هندوانه اختصاص دارد. البته نرخ کاهش عملکرد تمامی محصولات نسبت به شرایط پایه بیش از

۵ درصد است. بنابراین، تأثیر منفی سناریوی خشکسالی دوم بر عملکرد محصولات بیش از سناریوی خشکسالی اول خواهد بود. مقایسه اثرات دو سناریوی خشکسالی بر عملکرد محصولات مختلف نشان می‌دهد که کاهش عملکرد محصولات برنج، گوجه‌فرنگی و هندوانه در اثر کاهش منابع آبی در دسترس بیش از سایر محصولات است. این یافته به این علت است که تولید این محصولات برخلاف محصولاتی مانند جو و گندم به آب آبیاری بیشتری نیاز دارد و لذا کاهش منابع آبی در دسترس بر عملکرد این محصولات تأثیر به مراتب بیشتری خواهد داشت. کاهش عملکرد بیشتر محصولات گندم و جو نسبت به سایر محصولات تحت سناریوی خشکسالی از طریق کاهش بارش، به این علت است که کشت این محصولات برخلاف محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی، هندوانه و برنج وابستگی بیشتری به بارش دارد و لذا شبیه‌سازی خشکسالی از طریق کاهش بارش، عملکرد این محصولات را بیش از سایر محصولات تحت تأثیر قرار داده است.

جدول ۱. اثرات سناریوهای خشکسالی بر متوسط عملکرد محصولات مناطق مختلف طی دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (واحد: کیلوگرم در هکتار)

مناطق	محصولات	متوسط عملکرد بدون سناریوی خشکسالی	متوسط عملکرد با سناریوی خشکسالی اول (درصد تغییرات)	متوسط عملکرد با سناریوی خشکسالی دوم (درصد تغییرات)
باشت	ذرت	۱۱۲۳۳	۱۰۹۳۰ (-۲/۷)	۱۰۲۵۰ (-۸/۸)
	جو	۱۸۹۵	۱۸۶۹ (-۱/۴)	۱۷۹۲ (-۵/۴)
	لوبیا	۲۰۳۷	۲۰۰۸ (-۱/۴)	۱۸۴۷ (-۶/۴)
	خیارسبز	۲۳۲۳۴	۲۲۹۲۱ (-۱/۳)	۲۱۰۶۴ (-۹/۳)
	نخود	۳۱۰۰	۳۰۵۵ (-۱/۴)	۲۹۳۱ (-۵/۴)
	برنج	۶۶۴۵	۶۵۶۸ (-۱/۱)	۵۵۷۱ (-۱۶/۲)
	گوجه فرنگی	۳۷۰۹۳	۳۶۶۷۱ (-۱/۱)	۳۲۵۹۴ (-۱۲/۱)
	هندوانه	۴۶۸۳۲	۴۵۸۲۱ (-۲/۲)	۴۱۱۴۲ (-۱۲/۱)
	گندم	۶۹۹۲	۶۵۶۵ (-۶/۱)	۶۴۲۸ (-۸/۱)
گچساران	ذرت	۹۶۳۷	۹۱۹۵ (-۴/۶)	۸۷۷۹ (-۸/۹)
	جو	۳۱۰۰	۳۰۱۴ (-۲/۸)	۲۹۹۵ (-۳/۴)
	لوبیا	۱۷۹۱	۱۷۷۵ (-۰/۹)	۱۶۹۹ (-۵/۱)
	خیارسبز	۲۰۹۴۱	۲۰۷۹۸ (-۰/۷)	۱۹۱۴۴ (-۸/۶)
	نخود	۱۳۶۴	۱۳۴۹ (-۱/۱)	۱۲۹۴ (-۵/۱)
	برنج	۴۲۲۴	۴۱۵۵ (-۱/۶)	۳۶۹۹ (-۱۲/۴)
	گوجه فرنگی	۲۷۲۶۳	۲۶۹۷۵ (-۱/۱)	۲۴۱۹۶ (-۱۱/۲)
	هندوانه	۳۷۴۶۳	۳۶۸۱۴ (-۱/۷)	۳۳۳۱۲ (-۱۱/۱)
	گندم	۵۵۸۷	۵۳۳۶ (-۴/۵)	۵۱۶۵ (-۷/۶)
چرام	جو	۴۷۷۵	۴۵۴۸ (-۴/۸)	۴۴۹۵ (-۵/۹)
	لوبیا	۱۰۶۹	۱۰۳۹ (-۲/۸)	۹۷۶ (-۸/۷)
	خیارسبز	۱۹۶۸۹	۱۸۹۵۵ (-۳/۷)	۱۷۹۵۴ (-۸/۸)
	نخود	۱۷۳۰	۱۷۰۶ (-۱/۴)	۱۶۲۶ (-۶/۰)
	برنج	۷۷۹۰	۷۵۱۳ (-۳/۶)	۶۴۵۶ (-۱۷/۱)
	گوجه فرنگی	۲۲۴۲۳	۲۲۱۴۲ (-۱/۳)	۱۹۳۶۴ (-۱۳/۶)
	هندوانه	۲۱۱۵۵	۲۰۷۰۳ (-۲/۱)	۱۸۵۹۵ (-۱۲/۱)
	گندم	۳۹۸۰	۳۷۰۲ (-۷/۰)	۳۶۴۶ (-۸/۴)

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که محصولات گندم و نخود در سه منطقه زیرحوضه سد کوثر به دلیل افزایش نیاز خالص آب آبیاری بیشتر در مقایسه با سایر محصولات در اثر اعمال سناریوی خشکسالی اول، محصولات حساس‌تری نسبت به کاهش میزان بارش می‌باشند. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش بارش، نیاز خالص آب آبیاری محصولات سطح حوضه را افزایش خواهد داد. نتایج بیانگر آن است که در اثر کاهش میزان بارش در سطح زیر حوضه سد کوثر، بیشترین کاهش عملکرد و افزایش نیاز خالص آب آبیاری مربوط به محصول گندم است که این موضوع نشان از وابستگی بیشتر محصول گندم در مقایسه با سایر

محصولات به میزان بارش دارد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی اثرات سناریوی خشکسالی اول و دوم می‌توان فهمید که اختلاف بین درصد تغییرات نیاز خالص آب آبیاری دو سناریوی خشکسالی برای محصولات تولیدی به جز محصول برنج چندان زیاد نیست. بنابراین، کاهش منابع آبی در دسترس تأثیر منفی معنی‌داری بر نیاز خالص آب آبیاری محصولات تولیدی به جز محصول برنج نخواهد داشت. از این‌رو، به‌طور کلی نتیجه گرفته می‌شود که کاهش میزان منابع آبی در دسترس در مقایسه با کاهش میزان بارش، تأثیر منفی بیشتری بر عملکرد محصولات خواهد داشت. اما، اثر بر نیاز خالص آب آبیاری متفاوت است و کاهش میزان بارش در مقایسه با کاهش میزان منابع آبی در دسترس، تأثیر منفی بیشتری بر نیاز خالص آب آبیاری محصولات در سطح حوضه خواهد داشت.

جدول۲- اثرات سناریوهای خشکسالی بر نیاز خالص آب آبیاری محصولات مناطق مختلف طی دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (واحد: مترمکعب در هکتار)

مناطق	محصولات	متوسط نیاز خالص آبی بدون سناریوی خشکسالی	متوسط نیاز خالص آبی با سناریوی خشکسالی اول (درصد تغییرات)	متوسط نیاز خالص آبی با سناریوی خشکسالی دوم (درصد تغییرات)
باشت	ذرت	۱۱۰۸۲	۱۱۵۳۰ (+۴/۰)	۱۱۵۷۷ (+۴/۵)
	جو	۴۳۴۴	۴۴۵۲ (+۲/۵)	۴۴۵۵ (+۲/۶)
	لوبیا	۷۷۹۳	۸۱۹۲ (+۵/۱)	۸۲۰۷ (+۵/۳)
	خیارسبز	۷۵۸۲	۷۹۴۶ (+۴/۸)	۸۰۱۵ (+۵/۷)
	نخود	۴۲۷۸	۴۵۹۱ (+۷/۳)	۴۶۱۸ (+۷/۹)
	برنج	۱۱۰۲۲	۱۱۶۶۹ (+۵/۹)	۱۱۹۷۲ (+۸/۶)
	گوجه فرنگی	۱۰۵۵۵	۱۰۸۹۶ (+۳/۲)	۱۱۳۵۰ (+۷/۵)
	هندوانه	۹۵۵۱	۹۸۶۶ (+۳/۳)	۱۰۰۶۲ (+۵/۴)
	گندم	۴۸۴۹	۵۱۹۸ (+۷/۹)	۵۲۰۹ (+۷/۴)
گچساران	ذرت	۱۰۹۱۵	۱۱۳۳۸ (+۳/۹)	۱۱۴۰۰ (+۴/۴)
	جو	۳۲۹۲	۳۳۵۹ (+۲/۰)	۳۳۶۱ (+۲/۱)
	لوبیا	۷۳۱۶	۷۵۸۰ (+۳/۶)	۷۵۹۰ (+۳/۷)
	خیارسبز	۷۴۵۷	۷۷۹۶ (+۴/۵)	۷۸۶۵ (+۵/۵)
	نخود	۴۱۶۸	۴۴۶۰ (+۷/۰)	۴۴۷۳ (+۷/۳)
	برنج	۱۰۷۳۸	۱۱۴۲۵ (+۶/۴)	۱۱۹۴۰ (+۱۱/۲)
	گوجه فرنگی	۱۰۴۳۷	۱۰۷۵۶ (+۳/۰)	۱۱۱۱۶ (+۶/۵)
	هندوانه	۹۳۹۲	۹۷۹۵ (+۴/۳)	۱۰۰۸۷ (+۷/۴)
	گندم	۴۶۸۶	۵۰۲۸ (+۷/۳)	۵۰۴۴ (+۷/۶)
چرام	ذرت	۹۷۶۸	۱۰۳۱۰ (+۵/۵)	۱۰۳۳۶ (+۵/۸)
	جو	۳۱۲۷	۳۳۰۵ (+۵/۷)	۳۳۰۶ (+۵/۷)
	لوبیا	۷۵۴۴	۸۰۷۷ (+۷/۰)	۸۱۱۲ (+۷/۵)
	خیارسبز	۸۳۵۶	۸۹۵۲ (+۷/۱)	۹۰۷۰ (+۸/۵)
	نخود	۴۰۴۹	۴۳۱۰ (+۶/۵)	۴۳۲۴ (+۶/۸)
	برنج	۱۱۰۳۷	۱۱۵۵۷ (+۴/۷)	۱۱۷۲۷ (+۶/۳)
	گوجه فرنگی	۱۰۳۱۰	۱۰۶۰۱ (+۲/۸)	۱۰۶۸۴ (+۳/۶)
	هندوانه	۹۲۲۹	۹۶۰۴ (+۴/۰)	۹۶۶۷ (+۴/۷)
	گندم	۴۵۵۹	۴۹۰۴ (+۷/۵)	۴۹۱۵ (+۷/۸)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

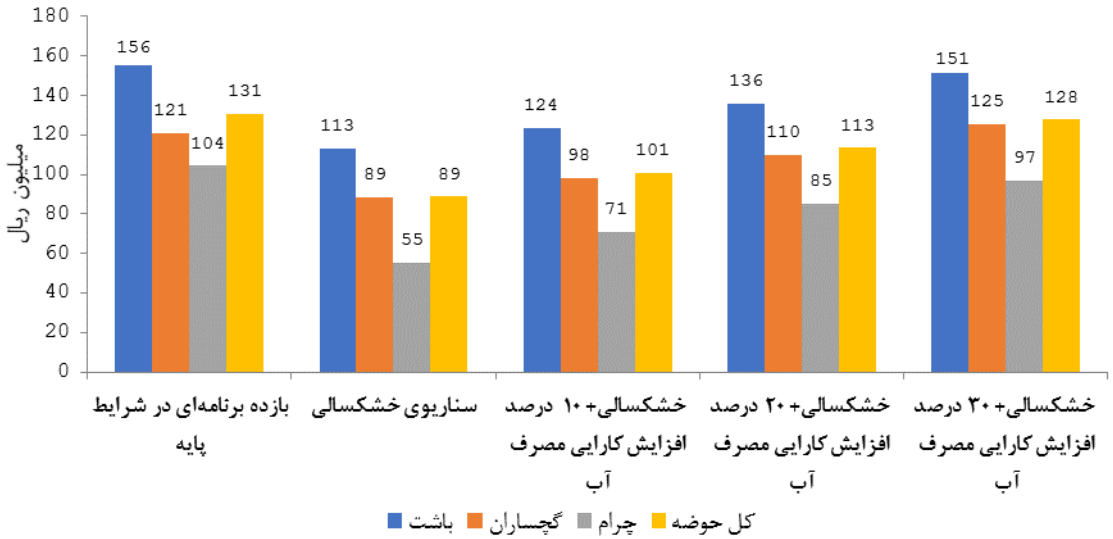
اثرات اقتصادی خشکسالی و توسعه فناوری‌های آبیاری تحت این شرایط

خروجی حاصل از شبیه‌سازی عملکرد محصولات، نیاز خالص آبی محصولات و وضعیت هیدرولوژیکی با و بدون سناریوهای خشکسالی زیر حوضه سد کوثر به‌عنوان ورودی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت شناخته می‌شوند. سپس مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت با و بدون اعمال سناریوهای خشکسالی و سیاست‌های توسعه فناوری آبیاری برای مزارع نماینده در هر سه منطقه حل و نتایج آن ارائه شد (شکل ۶).

لازم به توضیح است که مزرعه نماینده برای هر سه منطقه یک مزرعه فرضی است که به عبارتی حد متوسط مزارع آن منطقه از لحاظ سطح زیرکشت، الگوی کشت، کیفیت خاک، عملکرد محصولات و درصد برخورداری از منابع آبی و فناوری‌های نوین آبیاری است. همچنین برای بررسی اثرات اقتصادی خشکسالی

تنها اثرات سناریوی دوم خشکسالی یعنی کاهش همزمان میزان بارش و منابع آبی دردسترس ارائه شده است. متوسط کارایی مصرف آب برای زیرحوضه سد کوثر بطور متوسط حدود ۴۵ درصد و زمین‌های تحت پوشش آبیاری سطحی حدود ۷۰ درصد است. از این‌رو، چنانچه بتوان اراضی تحت پوشش آبیاری سطحی را به فناوری‌های نوین آبیاری مجهز ساخت می‌توان کارایی مصرف آب در سطح حوضه را محقق ساخت. با توجه به اینکه کارایی روش‌های آبیاری از جمله سطحی، قطره‌ای و بارانی به ترتیب حدود ۳۵، ۹۰ و ۶۰ درصد گزارش شده است، می‌توان انتظار داشت که اگر از ۷۰ درصد اراضی تحت پوشش آبیاری سطحی به ترتیب حدود ۱۵، ۳۵ و ۴۵ درصد را به فناوری‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی مجهز ساخت، کارایی مصرف آب در زیر حوضه سد کوثر به ترتیب حدود ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد تحقق می‌یابد. بنابراین، سیاست‌های توسعه فناوری‌های نوین آبیاری بصورت افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کارایی مصرف آب در مدل وارد شده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد که بازده برنامه‌ای مزارع نماینده تمامی مناطق زیر حوضه سد کوثر در اثر خشکسالی کاهش می‌یابد و در بین مناطق مورد مطالعه، بیشترین کاهش بازده برنامه‌ای مربوط به منطقه چرام است. به‌گونه‌ای که بازده برنامه‌ای مزرع نماینده در این منطقه از ۱۰۴ به ۵۵ میلیون ریال در هکتار (حدود ۴۷ درصد) کاهش خواهد یافت. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان کرد که با افزایش هرچه بیشتر کارایی مصرف آب از طریق توسعه فناوری‌های نوین آبیاری در سطح مزارع، میزان کاهش بازده برنامه‌ای نسبت به شرایط خشکسالی به میزان قابل توجهی تعدیل خواهد شد. بنابراین، توسعه هرچه بیشتر فناوری‌های نوین آبیاری از طریق افزایش راندمان آبیاری می‌تواند اثرات مخرب اقتصادی ناشی از خشکسالی را کاهش دهد. به‌طور مثال، در اثر اعمال سناریوی خشکسالی و همزمان بهبود ۱۰ درصد کارایی مصرف آب، میزان کاهش بازده برنامه‌ای مزرعه نماینده منطقه باشت نسبت به سناریوی پایه حدود ۲۰ درصد است؛ اما با افزایش ۳۰ درصدی کارایی، این میزان کاهش تنها ۲/۷ درصد خواهد بود. از طرفی، برای منطقه گچساران، میزان بازده برنامه‌ای مزرعه نماینده این منطقه در اثر افزایش ۳۰ درصدی کارایی مصرف آب، در سطح بالاتری از سناریوی پایه قرار می‌گیرد. اعمال سیاست توسعه فناوری‌های نوین آبیاری و به دنبال آن افزایش ۳۰ درصدی کارایی مصرف آب می‌تواند بازده برنامه‌ای مزرعه نماینده در منطقه گچساران را به حدود ۱۲۵ میلیون ریال در هکتار رساند که از بازده برنامه‌ای در شرایط پایه (۱۲۱ میلیون ریال) بیشتر است. در بین مناطق مورد بررسی، اثر توسعه فناوری‌های نوین آبیاری بر بهبود وضعیت اقتصادی مزرعه نماینده منطقه چرام بیشتر از مزارع نماینده دو منطقه دیگر است. به‌گونه‌ای که بهبود کارایی ۳۰ درصدی مصرف آب در این منطقه می‌تواند بازده برنامه‌ای مزرع نماینده را از ۵۵ میلیون ریال در شرایط خشکسالی به ۹۷ میلیون ریال افزایش دهد. در سطح کل حوضه نیز مشاهده می‌شود که خشکسالی افت بیش از ۳۲ درصدی بازده برنامه‌ای کشاورزان زیرحوضه سد کوثر را به دنبال خواهد داشت که با بهبود فناوری آبیاری، بازده برنامه‌ای و در نتیجه وضعیت معیشتی کشاورزان در سطح حوضه بهبود پیدا می‌کند.



شکل ٦- اثرات سناریوهای خشکسالی و بهبود فناوری آبیاری بر بازده برنامه‌ای مزارع نماینده واحدهای کشاورزی حوضه سد کوثر (میلیون ریال در هکتار)

برای درک بهتر نتایج اقتصادی اثرات خشکسالی، الگوی کشت متناسب با سناریوها برای کل زیرحوضه سد کوثر در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با اعمال سناریوهای ذکر شده، به جز دو محصول برنج و گندم، تغییرات میزان سطح زیر کشت سایر محصولات نزدیک صفر است. بر این اساس، اعمال سناریوی خشکسالی باعث خواهد شد تا میزان سطح زیر کشت برنج نسبت به سناریوی پایه به میزان ۲۱ درصد کاهش یابد. با توسعه فناوری نوین آبیاری، اثرات منفی خشکسالی بر سطح زیر کشت این محصول در سطح حوضه تعدیل شده و با افزایش هرچه بیشتر درصد کارایی مصرف آب، مقدار سطح زیر کشت برنج به میزان بیشتری افزایش می‌یابد. به‌گونه‌ای که با افزایش ۳۰ درصدی کارایی مصرف آب در سطح حوضه، میزان سطح زیر کشت برنج نسبت به سناریوی پایه ۳ درصد افزایش خواهد یافت. بنابراین، استفاده از سامانه‌های مدرن آبیاری، میزان سطح زیر کشت برنج در سطح حوضه و به‌دنبال آن میزان بازده برنامه‌ای زارع را بهبود خواهد بخشید. حال سوال این است که چگونه توسعه فناوری‌های نوین آبیاری در سطح منطقه، کشت محصول برنجی را افزایش می‌دهد که در مدل به جز روش آبیاری سطحی روش دیگری برای آن محصول در نظر گرفته نشده است. پاسخ این است که با بهبود کارایی مصرف آب از طریق استفاده از فناوری های مدرن آبیاری می‌توان آبی که صرف کشت سایر محصولات می‌شود را کاهش و آب ذخیره شده را به کشت بیشتر محصول برنج اختصاص داد. بنابراین، بهبود کارایی مصرف آب کشاورزان از طریق استفاده از سامانه‌های مدرن آبیاری می‌تواند آب مورد استفاده در تولید محصولات پر مصرف را تعدیل کند و این مهم باعث می‌شود که محصولات پر مصرف آب علی‌رغم وجود هدف کاهش مصرف آب، در الگوی کشت قرار گیرند.

برای محصول گندم نیز با اعمال شرایط خشکسالی سطح زیر کشت این محصول نزدیک به ۴۰ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین، اثر خشکسالی بر کاهش سطح زیر کشت محصول گندم معنی‌دار است. افزایش کارایی مصرف آب از طریق توسعه فناوری‌های نوین آبیاری، توانایی کمتری در کاهش اثرات منفی خشکسالی بر سطح زیر کشت محصول گندم در مقایسه با محصول برنج دارد. به‌طور مثال، با اعمال سیاست افزایش ۳۰ درصدی کارایی مصرف آب در سطح حوضه، میزان سطح زیر کشت برنج نسبت به سناریوی خشکسالی بدون اعمال این سیاست، حدود ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. اما، این میزان تغییر برای محصول گندم حدود ۱۲ درصد است. علت این یافته بازده برنامه-ای بالاتر محصول برنج در مقایسه با محصول گندم است که زارع آب ذخیره شده ناشی از افزایش کارایی مصرف آب را صرف کشت محصولات پربازده مانند برنج در الگو خواهد کرد.

جدول ۳- اثرات سناریوهای خشکسالی و بهبود فناوری آبیاری بر الگوی کشت زیرحوضه سد کوثر

محصولات	پایه	خشکسالی	خشکسالی+۱۰ درصد افزایش کارایی مصرف آب	خشکسالی+۲۰ درصد افزایش کارایی مصرف آب	خشکسالی+۳۰ درصد افزایش کارایی مصرف آب
ذرت	۱۴۸۵	۱۴۸۵ (۰٪)	۱۴۸۵ (۰٪)	۱۴۸۵ (۰٪)	۱۴۸۵ (۰٪)
جو	۵۰۰	۵۰۰ (۰٪)	۵۰۰ (۰٪)	۵۰۰ (۰٪)	۵۰۰ (۰٪)
لوبیا	۸۸	۸۸ (۰٪)	۸۸ (۰٪)	۸۸ (۰٪)	۸۸ (۰٪)
خیارسبز	۶۰	۶۰ (۰٪)	۶۰ (۰٪)	۶۰ (۰٪)	۶۰ (۰٪)
نخود	۹۷	۹۷ (۰٪)	۹۷ (۰٪)	۹۷ (۰٪)	۹۷ (۰٪)
برنج	۱۲۹۶	۱۰۲۳ (-۲۱٪)	۱۱۲۷ (-۱۳٪)	۱۲۵۴ (-۳٪)	۱۳۳۵ (+۳٪)
گوجه فرنگی	۴۱	۴۱ (۰٪)	۴۱ (۰٪)	۴۱ (۰٪)	۴۱ (۰٪)
هندوانه	۶۵۷	۶۵۷ (۰٪)	۶۵۷ (۰٪)	۶۵۷ (۰٪)	۶۵۷ (۰٪)
گندم	۶۸۸۰	۵۴۴۹ (-۳۹٪)	۵۴۴۹ (-۳۹٪)	۵۴۹۷ (-۱۷٪)	۶۱۰۷ (-۱۱٪)
کل حوضه	۱۱۱۰۴	۹۴۰۰ (-۱۵٪)	۹۵۰۴ (-۱۴٪)	۹۶۷۹ (-۱۳٪)	۱۰۳۷۰ (-۷٪)

ماخذ: یافته‌های تحقیق.

اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد تغییرات نسبت به شرایط پایه است.

نتایج اثرات سناریوهای خشکسالی و سیاست‌های توسعه فناوری-های نوین آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در جدول (۴) ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که در شرایط پایه، بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه باشت بیش از ۹۸۰ تومان برای هر متر مکعب است که از سایر مناطق مورد مطالعه بیشتر است. متوسط بهره‌وری اقتصادی مصرف آب کل سطح حوضه نیز در شرایط پایه کمی بیشتر از ۹۰۰ تومان به ازای هر متر مکعب است. با اعمال سناریوی خشکسالی، میزان بهره‌وری اقتصادی آب در تمامی مناطق حوضه کاهش می‌یابد که این کاهش برای منطقه چرام نسبت به سایر مناطق بیشتر است. با توسعه فناوری‌های مدرن آبیاری در سطح مزارع، اثر منفی خشکسالی بر بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در همه مناطق حوضه تعدیل می‌شود. به‌طور مثال، با افزایش ۱۰ درصدی در کارایی مصرف آب، بهره‌وری اقتصادی آب در منطقه باشت از ۷۶۷۵ ریال در شرایط خشکسالی به ۸۳۹۹ ریال برای هر متر مکعب افزایش می‌یابد. در سناریوی ۳۰ درصد افزایش کارایی مصرف آب، کارایی اقتصادی آب در هر

سه منطقه در سطح بالاتری از سناریوی پایه قرار می‌گیرد. برای کل سطح حوضه نیز با بهبود فناوری سیستم‌های آبیاری به تدریج اثرات منفی خشکسالی کاهش یافته و بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به سناریوی پایه بیش از ۷ درصد افزایش خواهد یافت. نتایج نشان می‌دهد که میزان تأثیرگذاری بهبود فناوری مصرف آب بر افزایش بهره‌وری اقتصادی آب برای منطقه چرام بیشتر از سایر مناطق است. اثرات بهبود کارایی مصرف آب بر بازده برنامه-ای کشاورزان نیز نشان داد که این سیاست تأثیر مثبتی بر افزایش سود و بهبود وضعیت درآمدی کشاورزان این منطقه دارد.

جدول ٤- اثرات سناریوهای خشکسالی و بهبود فناوری آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی مصرف آب (ریال بر مترمکعب)

محصولات	پایه	خشکسالی	خشکسالی+۱۰ درصد افزایش بهره‌وری مصرف	خشکسالی+۲۰ درصد افزایش بهره‌وری مصرف	خشکسالی+۳۰ درصد افزایش بهره‌وری مصرف
باشت	۹۸۰۹	۷۶۷۵ (٪-۲۱)	۸۳۹۹ (٪-۱۴)	۹۲۲۴ (٪-۶)	۱۰۲۷۱ (٪+۵)
گچساران	۸۱۷۷	۶۲۱۵ (٪-۲۳)	۶۹۲۶ (٪-۱۵)	۷۷۲۶ (٪-۵)	۸۷۹۷ (٪+۸)
چرام	۸۵۷۶	۵۴۱۴ (٪-۳۶)	۶۹۶۶ (٪-۱۸)	۸۳۶۶ (٪-۲)	۹۵۰۹ (٪+۱۱)
کل حوضه	۹۰۳۹	۶۷۱۷ (٪-۲۵)	۷۶۳۱ (٪-۱۵)	۸۵۸۴ (٪-۵)	۹۶۶۰ (٪+۷)

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سیاست‌گذاران در حوضه‌های آبریز خشک و نیمه خشک برای انتخاب و اجرای سیاست‌های مناسب مدیریت منابع آب در جهت تطبیق با شرایط خشکسالی با شرایط سختی مواجه هستند. اثرات سیاست‌ها بر سود کشاورزان نقش مؤثری در پذیرش این سیاست‌ها از سوی کشاورزان و عملیاتی سازی آن‌ها در سطح حوضه دارد. منابع آب در حوضه‌ی آبریز سد کوثر به دلیل خشکسالی دهه‌های اخیر به شدت با کمبود مواجه شده است. بر این اساس، در مطالعه حاضر اثرات سناریوهای خشکسالی و استراتژی‌های توسعه فناوری‌های نوین آبیاری بر وضعیت هیدرلوژیکی و اقتصادی حوضه آبریز سد کوثر با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی شبیه‌سازی شده است. مدل ترکیبی هیدرولوژیکی- اقتصادی به ترتیب شامل مدل‌های برنامه‌ریزی و ارزیابی آب (WEAP) و برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) می‌باشد. نتایج نشان داد که خشکسالی یک عامل مهم در فرایند تولید محصولات در سطح حوضه‌ی سد کوثر می‌باشد که کاهش عملکرد و افزایش نیاز خالص آب آبیاری محصولات زراعی را به‌دنبال دارد که این کاهش عملکرد محصولات، کاهش بازده برنامه‌ای (سود) کشاورزان را به دنبال خواهد داشت. برای تعدیل اثرات خشکسالی بر معیشت کشاورزان و بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در آینده و مدیریت منابع آب تحت این شرایط، استراتژی‌های تطبیقی استفاده از سامانه‌های مدرن آبیاری به منظور افزایش کارایی مصرف آب به‌عنوان راهکاری موثر شناخته می‌شود. نتایج نشان داد که می‌توان با توسعه فناوری‌های نوین آبیاری در زیر حوضه سد کوثر، اثرات مخرب خشکسالی بر معیشت کشاورزان و بهره‌وری اقتصادی مصرف آب را تعدیل کرد. با توجه به نتایج حاصله، افزایش مزارع تحت پوشش فناوری‌های نوین آبیاری از ۳۰ به حدود ۷۵ درصد در حوضه آبریز سد کوثر می‌تواند بهبود کارایی ۳۰ درصدی مصرف آب و به‌دنبال آن تعدیل کامل اثرات منفی خشکسالی بر معیشت کشاورزان و بهره-وری اقتصادی مصرف آب را در پی داشته باشد. نتایج الگوی کشت با توجه به سناریوهای اعمال شده، این حقیقت را آشکار کرد که توسعه زیرساخت‌های فناوری‌های نوین آبیاری در مزارع منجر به ذخیره آب مصرفی خواهد شد و این امر کشاورزان را قادر خواهد ساخت که کشت محصولات با مصرف آب بالا مانند برنج را تحت شرایط خشکسالی ادامه و شرایط اقتصادی خود را بهبود بخشند. از این‌رو، اثرات قابل ملاحظه بهبود راندمان آبیاری بر تعدیل اثرات منفی خشکسالی ضرورت پیش‌بینی منابع مالی و سیاست‌های حمایتی برای کاربرد فناوری‌های نوین آبیاری در سطح مزرعه را بیش از پیش مشخص می‌کند. در این راستا، پوشش انهار، استفاده از سیستم توزیع آب مناسب در سطح مزرعه و تغییر فناوری آبیاری سطحی به سامانه‌های مدرن آبیاری می-تواند راهگشا باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت‌نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

این مقاله فاقد هرگونه حمایت مالی بوده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان به یک میزان در تهیه مقاله مشارکت و همکاری داشته‌اند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., Vries, W. D., Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M. Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. Science, 2015; 347 (6223), 1259855.

2. Abdelkader, A., & Elshorbagy, A. ACPAR: A framework for linking national water and food security management with global conditions. Advances in Water Resources, 2021; 147 ,103809.

3. Jahangard, H., Salami, H., & Shahnoushi, N. Economic evaluation and analysis of the effects of climate change on alfalfa yield in Iran (With drought mitigation approach). Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 2021; 52 (2), 201-213. (In Farsi).

4. Sadeghi, S. H., Moghadam, E. S., Delavar, M., & Zarghami, M. Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. Agricultural Water Management, 2020; 233, 106071.

5. Mishra, A. K., Kumar, B., & Dutta, J. Prediction of hydraulic conductivity of soil bentonite mixture using Hybrid-ANN approach. Journal of Environmental Informatics, 2016; 27 (2), 98e105.

6. D'Odorico, P., Carr, J., Dalin, C., Dell'Angelo, J., Konar, M., Laio, F., & Tuninetti, M. Global virtual water trade and the hydrological cycle: patterns, drivers, and socio-environmental impacts. Environmental Research Letter, 2019; 14 (5), 053001.

7. Forni L.G., Medellin-Azuara J., Tansey M., Young Ch., Purkey D., & Howitt, R. Integrating complex economic and hydrologic planning models: An application for drought under climate change analysis. Water Resources and Economics, 2016; 16, 15-27.

8. Esteve P., Varela-Ortega C., Gutierrez I., & Downing T. E. A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. Ecological Economics, 2015, 120, 49-58.

9. Kahil M.T., Ward F., Albiac J., Eggleston J., & Sanz, D. Hydro-economic modeling with aquifer–river interactions to guide sustainable basin management. Journal of Hydrology, 2016; 539, 510-524.

10. Mirzaei, A., & Zibaei, M. Water conflict management between agriculture and wetland under climate change: Application of Economic-Hydrological-Behavioral modelling. Water Resources Management, 2021a; 35 (1), 1-21.

11. Mirzaei, A., & Zibaei, M. Investigation of adaptation strategies for agricultural water resources management under climate change in Halil-rud river basin. Journal of Agricultural Economics and Development, 2021b; 34 (4), 397-419. (In Farsi).

12. Hoseini, S. S., Nazari, M., & Araghinejad, S. Investigating the impacts of climate on agricultural sector with emphasis on the role of adaptation strategies in this sector. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research (IJAEDR), 2013; 44 (1), 1-16. (In Farsi).

13. Daneshvar, M., & Zibaei, M. Effects of sprinkler irrigation systems in response to drought in Fars province. Agricultural Economics, 2012; 6 (4), 115-132. (In Farsi).

14. Babran, S., & Honarbakhsh, N. Water crisis in Iran and the world. Journal of Strategy, 2008; 16 (48), 193-212. (In Farsi).

15. Yazdanpanah, T., Khodashenas, S. R., Davari, K., & Ghahraman, B. Basin water resources management using WEAP model (Case study of Azgand basin). Journal of Water and Soil, 2008; 22 (1), 213-222. (In Farsi).

16. Gholami, M., Mazloumi, M., & Ghaderpour, L. The importance of water productivity in agriculture (Case study: Marvdasht-Ramjard plain). National Conference on Water Crisis Management, Islamic Azad University, Marvdasht. 2009; (In Farsi).

17. Sabouhi, M., & Soltani, Gh. Optimization of cropping patterns at basin level by considering social profit and net virtual water import: A case study of Khorasan district. Journal of Water and Soil Science, 2008; 12 (43), 297-313.

18. Shooshtarian, A. Analysis of economic, agricultural and environmental policies in Mashhad Bilo basin: An approach to agricultural sustainability. PhD thesis in agricultural economics, Faculty of agriculture, Shiraz university. 2010.

19. Roohani, N., Yang, H., Amin Sichani, S., Afyouni, M., Mousavi, S. F., & Kamgar Haghighi, A. A. Evaluation of food exchange and virtual water according to water resources in Iran. Journal of Water and Soil Science, 2008; 12 (46), 417-432. (In Farsi).

20. Asad Falsafizadeh, N., & Sabouhi, M. Determination of optimal environmental flow acquisition in Kor-river basin, Doroudzan dam. Journal of Agricultural Economics and Development, 2010; 24 (4), 415-424. (In Farsi).

21. Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. Iranian studies, 2016; 49 (6), 997-1016.

22. Boazar, M., Yazdanpanah, M., & Abdeshahi, A. Response to water crisis: How do Iranian farmers think about and intent in relation to switching from rice to less water-dependent crops. Journal of hydrology, 2019; 570, 523-530.

23. Zamani, O., Grundmann, P., Libra, J. A., & Nikouei, A. Limiting and timing water supply for agricultural production–The case of the Zayandeh-Rud River Basin, Iran. Agricultural Water Management, 2019; 222, 322-335.

24. Zibaei, M., Soltani, Gh., & Bakhshoodeh, M. Management of agricultural water demand at the farm level, Case study: Firouzabad plain. The Fifth Agricultural economics conference, Sistan and Balouchestan. (In Farsi) 2005.

25. Griffin, R. C. Effective water pricing. Journal of the American Water Resources Association, 2001; 37 (5), 1335-1347.

26. Yang, H., & Zhang, X. Water scarcity, pricing mechanism and institutional reform in northern China irrigated agriculture. Agricultural Water Management, 2003; 61 (2), 143-161.

27. Bartolini, F., Bazzani, G. M., Gallerani, V., Raggi, M., & Viaggi, D. The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. Agricultural System, 2007, 93, 90-114.

28. Bender, M. J., & Simonovic, S. P. A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty. Fuzzy Sets and Systems, 2000; 115, 35-44.

29. Sabouhi, M., Soltani, Gh., Zibaei, M., & Torkamani, J. Determination of suitable deficit irrigations strategies by maximizing social profit. Agricultural Economics and Development, 2006; 14 (56), 167-202. (In Farsi).

30. Brinegar, H. R., & Ward, F. A. Basin impacts of irrigation water conservation policy. Ecological Economics, 2009; 69 (2), 414–426.

31. Ward, F. A. Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. Journal of Hydrology, 2014; 508, 114-127.

32. Kavand, H., Ziaee, S., & Mardani Najafabadi, M. Assessing the consequences of internalization of the side effects of water pollution on the quantitative and qualitative management of Zayandehroud basin. Journal of Agricultural Economics and Development, 2020; 34 (3), 341-356.

33. Nikouei, A., Zibaei, M., & Ward, F. A. Incentives to adopt irrigation water saving measures for wetlands preservation: An integrated basin scale analysis. Journal of Hydrology, 2012; 464-465, 216-232.

34. Salman, D., Amer, S. A., & Ward, F. Protecting food security when facing uncertain climate: Opportunities for Afghan communities. Journal of Hydrology, 2017; 554, 200-215.

35. Brown, D. G., Polsky, C., Bolstad, P., Brody, S. D., Hulse, D., Kroh, R., Loveland, T. R., & Thomson, A. Chapter 13: Land use and land cover change. climate change impacts in the United States: the third national climate assessment, 2014; 318-332.

36. D'Agostino, D. R., Scardigno, A., Lamaddalena, N., & ElChami, D. Sensitivity analysis of coupled hydro-economic models: Quantifying climate change uncertainty for decision-making. Water Resource Management, 2014; 28 (12), 4303-4318.

37. Draper, D. Assessment and propagation of model uncertainty. E Scholarship. 2011.

38. Gottschalk, P., Luttger, A., Huang, Sh., Leppelt, Th., & Wechsung, F. Evaluation of crop yield simulations of an eco-hydrological model at different scales for Germany. Field Crops Research, 2018; 228, 48-59.

39. Harou, J. J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D. E., Medellin-Azuara, J., Lund, J. R., & Howitt, R. E. Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. Journal of Hydrology, 2009; 375 (3-4), 627-643.

40. Jahangirpour, D., & Zibaei, M. Cropping Pattern Optimization in the Context of Climate-Smart Agriculture: A Case Study for Doroodzan Irrigation Network-Iran. Journal of Agricultural Economics and Development, 2022; 35 (4), 407-422.

41. Nikmehr, S., & Zibaei, M. Assessing the effects of climate change on hydrological and economic conditions of South Karkheh sub-basin. Agricultural Economics & Development, 2020; 34 (1), 63-79. (In Farsi).

42. Layani, Gh., & Bakhshoodeh, M. Water security in Kowsar dam basin under climate variability: Application of system dynamics approach. Agricultural Economics, 2019; 13 (1), 47-72.

43. Regional Water Company of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad. Comprehensive reports of water resources of Kowsar basin. 2018. (In Farsi).

44. Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N. Evaluation of the Efficiency of Irrigation Water in Iran. Engineering Research of Irrigation and Drainage

Structures, 2015; 17 (67), 113-120. do: 10.22092 / aridse.2017.109617 (In Farsi).

45. Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. WEAP21 - a demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 1: model characteristics. Water International, 2005; 30 (4), 487-500.

46. Sieber, J., & Purkey, D. WEAP, water evaluation and planning system. User Guide, Stockholm Environment Institute, U.S. Center, Somerville, USA. 2011.

47. Howitt, R. Positive Mathematical Programing. American Journal of Agricultural Economics, 1995; 77, 329-342.

48. Heckelei T. Calibration and Estimation of Programming Models for Agricultural Supply Analysis. Ph.D. Thesis, University of Bonn, Germany. 2002.