Journal of Agricultural Economics Research

Fall 2021. Vol 13. Issue 3

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

Research Paper

Effects of Optimal Cropping Pattern on Hydrological and Economic Situation of Zayandeh-Rood Watershed: Application of Hydrological-Economic Model

Hadis Kavand[1], Saman Ziaee[1], Mostafa Mardani Najafabadi[2*]

1. Student and Associate Professor of Agricultural Economics, Univercity of Zabol, respectively.
2. Assistant Professor of Agricultural Economics, Agricultural Engineering and Rural Development, Agriculture Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

Received: 10 November 2019
Accepted: 24 June 2020

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/JAE.2021.23268.2094

Keywords:
Hydrological simulation, gross margin, cropping pattern, new technologies.

Abstract

Introduction: Water resources in the Zayandehrood River basin have decreased sharply in recent decades due to drought and the effects of climate change and have challenged the livelihood of farmers in the basin. Therefore, providing a purposeful cropping pattern to increase the welfare of farmers according to the hydrological parameters of the basin can play an effective role in improving the hydrological and economic situation of the basin.

Materials and Methods: In this study, the hydrological simulation model (WEAP model) is combined with the economic optimization model with the aim of maximizing the farmers' gross margins. Also, MABIA module was used to estimate the net water requarment and yield of the crops under study.

Findings: The results showed that by applying the optimal economic cultivation model compared to the current situation, the gross margin for Najafabad, Mahyar Shomali, Lenjanat, Kuhpayeh-Segzi, Isfahan-Borkhar and Ben-Saman regions are 14, 5, 15, 18, , 15 and 20 million rials per hectare will increase, respectively. Also, using the new irrigation technologies in the optimal model compared to the current model, the hydrological parameters of the basin, including the amount of unmet water demand will be reduced about 14% and the reliability of water demand will be improved about 2%.

Conclusion: The results of this study show that by using an optimal cultivation model, the conflict between the two economic and hydrological objectives can be resolved and it is possible to improve the economic and hydrological conditions of the basin.

Citation: Hadis Kavand, Saman Ziaee, Mostafa Mardani Najafabadi. Effects of Optimal Cropping Pattern on Hydrological and Economic Situation of Zayandeh-Rood Watershed: Application of Hydrological-Economic Model. Journal of Agricultural Economics Research. 2021; 13 (3)178-194

*Corresponding author: Mostafa Mardani Najafabadi

Address: Assistant Professor of Agricultural Economics, Agricultural Engineering and Rural Development, Agriculture Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

Email: m.mardani@asnrukh.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Since in Iran, the agricultural sector has the highest consumption of water resources, attention to water management in this sector is very important. Planning and management of water resources and its allocation in a basin is one of the important discussions of water resources management in the agricultural sector (47). The hydrological tools used in the allocation models, the physical distribution of water and the economic instruments show the net economic value of the water distribution (46). It is very important. Economic-hydrological models should be able to express well the physical behaviors of hydrological systems with a realistic view of the ratio of surface and groundwater resources, including interactions and spatial and short-term changes in resource availability at different times (11).

In this study, the WEAP tool is used to hydrological simulation and then combined with the net profit maximization economic model. Also, the effect of optimal cropping pattern on the hydrological and economic situation of the basin has been investigated. However, in all review studies, such an analysis does not exist and in most studies, due to the connection of hydrological components of surface and groundwater resources, the optimal cropping pattern of extraction and management policies and adaptive strategies have been evaluated.

Materials and Methods

Hydrological simulation should be performed in related software. In this study, water evaluation and planning system (WEAP) and its integration with MABIA tools have been used. In addition, the MABIA tool has been used to estimate the yield and water requirements of crops and the amount of water available in various sub-basins. In the present study, the water resources management system of Zayandehrood basin is modeled based on a hydrological-economic model. In this model, the amount of water available in different sub-basins, the amount of yield and water requirements of the simulated crops using the WEAP model for the horizon 2040 are the inputs of the economic model. This model has a number of hydrological, land and institutional constraints and the objective function is to maximize the total farmers' gross margin. The purpose of the model in the economic sector is to maximize the economic benefits of water consumption in the agricultural sector (agr) subject to hydrological and land restrictions of the basin.

Findings

A tool called PEST was used to evaluate the validation of the simulation in WEAP software. This tool uses observational data of water flow volume in hydrometric stations to evaluate the simulation accuracy and calibration process. In the present study, a comparison of the simulated output water volume from the Ben-Saman sub-basin with the observational data of the incoming water flow volume to Pol-e-Zaman Khan hydrometric station in 2012 and 2011 (the year of available observational hydrological data) shows that the calibration the model is performed with high accuracy because the simulated output current trend from the upstream lands of the hydrometric station almost coincides with the actual observation of the current incoming water flow volume to the Pol-e-Zaman Khan hydrometric station.

In this study, evaluating the effects of water conservation policies on farmers' livelihoods in Zayandehrood basin indicates a reduction in water consumption in the whole basin, but under climate change conditions the situation will worsen in the future. The results of the study showed that climate change will reduce crop yields and available water areas and increase crop water requirements. On the other hand, applying

the policy of changing irrigation technology to modern technologies in combination with the policy of limiting the use of groundwater resources to balance groundwater aquifers can moderate the effects of climate change on the farmers' gross margin and improve their livelihood. High-yield crops with high water consumption have replaced low-yield crops with low water consumption (such as potatoes from 6 to 30 percent, vegetables from 5 to 30 percent and grapes from 4 to 9 percent (in Najafabad), sugar beet 4 to 26 percent (In Mahyar Shomali), rice from 15 to 29% (Lenjanat), rice from 2 to 30 percent (Kuhpayeh-Segzi), sugar beet from 4 to 30% (Isfahan-Borkhar)).

Discussion

Different results for different units in the basin under study show the dynamic and multilevel nature of water resources management, which has been proven in other studies (45, 44, 43). Also, contrary to the belief of some researchers, the adoption of some policies, including the adoption of optimal economic cropping pattern in some units, can increase the farmer's gross margin and improve the hydrological performance of the basin, which has been proven in other studies (47, 46, 17, 12).

Conclusion

The findings of this study showed that the application of optimal economic cultivation model at the basin level that will increase the farmers' gross margin and improve their livelihood. It is thought that such a pattern leads to an increase in water consumption, which the results of the study do not prove such a hypothesis, because in the model of economical optimal cultivation, the share of the use of modern irrigation systems in the production process has increased. Also, the results of hydrological parameters of unmet water demand and the percentage of water demand capability showed that by using the optimal model in addition to improving livelihood, a slight improvement in hydrological performance can be expected. Paying attention to new irrigation technologies and encouraging farmers towards optimal cropping patterns in order to increase the benefit can improve the walfare of farmers in the basin.

فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی

پاییز ۱۴۰۰.دوره ۱۳. شماره ۳

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

مقاله پژوهشی

اثرات الگوی کشت بهینه بر وضعیت هیدرولوژیکی و اقتصادی حوضه آبریز زاینده‌رود: کاربرد مدل هیدرولوژیکی-اقتصادی

حدیث کاوند[۱]، سامان ضیایی [۲]، مصطفی مردانی نجف‌آبادی*[۳]

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.

۳. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۴

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

DOI:
10.30495/JAE.2021.23268.2094

واژه‌های کلیدی:
شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، بازده برنامه‌ای، الگوی کشت، فناوری‌های نوین.

چکیده

مقدمه و هدف: منابع آب در حوضه‌ی آبریز رودخانه زاینده‌رود به دلیل خشکسالی و اثرات تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر به شدت کاهش یافته و معیشت کشاورزان در سطح حوضه را با چالش همراه ساخته است. از این‌رو ارائه یک الگوی کشت هدفمند در جهت افزایش رفاه کشاورزان با توجه به پارامترهای هیدرولوژیکی سطح حوضه می‌تواند نقش موثری در بهبود اوضاع هیدرولوژیکی و اقتصادی سطح حوضه ایفا نماید.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی (مدل WEAP) با مدل بهینه‌یابی اقتصادی با هدف بیشینه‌سازی بازده برنامه‌ای کشاورزان با یکدیگر تلفیق شده‌است. همچنین، جهت برآورد نیاز آبی و عملکرد محصولات تحت بررسی، از ماژول MABIA استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در با بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی نسبت به شرایط کنونی، بازده برنامه‌ای برای مناطق نجف‌آباد، مهیار شمالی، لنجانات، کوهپایه-سگزی، اصفهان-برخوار و بن-سامان به ترتیب ۱۴، ۵، ۱۵، ۱۸، ۱۵ و ۲۰ میلیون ریال در هکتار افزایش خواهد یافت. همچنین، با افزایش سهم بکارگیری فناوری‌های نوین آبیاری در الگوی بهینه نسبت به الگوی کنونی، پارامترهای هیدرولوژیکی سطح حوضه از جمله مقدار تقاضای تأمین نشده آب حدود ۱۴ درصد کاهش و درصد قابلیت اطمینان تأمین تقاضای آب حدود ۲ درصد بهبود خواهد یافت.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که می‌توان با بکارگیری یک الگوی کشت بهینه، تضاد دو هدف اقتصادی و هیدرولوژیکی را مرتفع و بهبود شرایط اقتصادی و هیدرولوژیکی سطح حوضه را ممکن ساخت.

طبقه‌بندی JEL: C61، M11، Q54.

* **نویسنده مسئول:** مصطفی مردانی نجف‌آبادی

نشانی: استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

تلفن: ۰۹۱۰۰۰۰۰۱۰۰

پست الکترونیکی: m.mardani@asnrukh.ac.ir

پیش‌گفتار

از آن‌جا که در کشور ایران، بخش کشاورزی بیش‌ترین مصرف منابع آبی را به خود اختصاص می‌دهد، توجه به مدیریت آب در این بخش از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و تخصیص آن در یک حوضه آبریز از بحث‌های مهم مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی می‌باشد (۱). امروزه با توجه به کمبود منابع آب، سیاست‌گذاران افزون بر مسایل فنی تخصیص برای مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی، نیاز به درک مفاهیم اقتصادی و لحاظ تخصیص بهینه برای دوره جاری و بلندمدت دارند. برای انجام این کار نیاز است که مؤلفه اقتصادی نیز به مدل‌های تخصیص منابع آب افزوده شود. این مؤلفه می‌بایستی توانایی سنجیدن مصرف آب در فعالیت‌های گوناگون و در زمان‌های قابل توجه را داشته باشد. ابزارهای هیدرولوژیکی مورد استفاده در مدل‌های تخصیص، توزیع فیزیکی آب و ابزارهای اقتصادی ارزش اقتصادی خالص توزیع آب را نشان می‌دهند (۲). از این‌رو، برای مدیریت یکپارچه منابع آب در نظر گرفتن اهداف اقتصادی کاربران و لحاظ شرایط هیدرولوژیکی سطح حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است. بسیاری از پژوهشگران به این نتیجه دست یافته‌اند که مدیریت یکپارچه منابع آب با لحاظ اهداف اقتصادی و شرایط هیدرولوژیکی به عنوان نخستین و مهم‌ترین مساله نهادی در دستیابی به مدیریت بهینه منابع آبی بشمار می‌آید (۳-۶).

مدل‌سازی اقتصادی-هیدرولوژیکی برای مدیریت یکپارچه منابع آب در مقیاس حوضه، ابزاری مناسب است. مدل‌های اقتصادی – هیدرولوژیکی با رویکردی یکپارچه، توزیع جغرافیایی منابع آب، زیرساخت‌های انتقال و ذخیره آب، فعالیت‌های اقتصادی مبتنی بر آب و چارچوبی واحد برای اکوسیستم‌های وابسته به آب را در نظر می‌گیرند (۷). مزیت این رویکرد، لحاظ‌کردن ارتباط درونی بین اجزای هیدرولوژیکی، اقتصادی، نهادی و محیط‌زیستی برای ارزیابی جامع تعارض میان سیاست‌های انتخاب شده در زمینه منابع آب است (۸ و ۹). پیدایش مدل‌سازی اقتصادی – هیدرولوژیکی را می‌توان در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ در مناطق خشک مانند جنوب غربی ایالات متحده جستجو کرد. با وجود پیشرفت قابل توجه مدل‌های اقتصادی – هیدرولوژیکی از دهه ۱۹۸۰، هنوز در بین ادبیات موضوع شکاف وجود دارد و ادامه پیشرفت در توسعه و کاربرد مدل‌های اقتصادی-هیدرولوژیکی، مستلزم آگاهی از توان بالا و درک کارایی این مدل‌ها از راه بحث‌های انتقادی در مورد جنبه‌های سیاستی آن‌ها می‌باشد (۱۰).

مدل‌های اقتصادی-هیدرولوژیکی بایستی قادر باشند که به خوبی رفتارهای فیزیکی سامانه‌های هیدرولوژیکی را با نگرشی واقع بینانه نسبت منابع سطحی و زیرزمینی آب، شامل اثرات متقابل و تغییرات مکانی و کوتاه مدت موجودی منابع در زمان‌های گوناگون را بیان کنند (۱۱). مطالعات گوناگونی وجود دارد که از مدل‌های اقتصادی-هیدرولوژیکی به منظور مدیریت منابع آب در سطح حوضه استفاده کرده‌اند (۱۲-۱۷). در داخل کشور، مطالعات سلطانی و صبوحی (۱۸) و اسد فلسفی‌زاده و صبوحی (۱۹) که به مدیریت منابع آب در سطح حوضه پرداخته‌اند، به برنامه‌ریزی با تأکید بر یکی از اجزاء مهم منابع آب شامل اقتصاد و یا هیدرولوژی اشاره کردند. نیکویی (۲۰) و طرازکار (۲۱) نیز به مدیریت منابع آب در سطح حوضه آبریز با رویکرد هیدرولوژیکی-اقتصادی با توجه به حفظ و احیای تالاب پایین دست حوضه آبریز پرداختند.

امروزه برای شبیه‌سازی دقیق شرایط هیدرولوژیکی سطح حوضه با در نظر گرفتن تمامی عوامل اقلیمی، خاک، محصول، نوع آبیاری و ارتباط منابع آب سطحی و زیرزمینی از ابزار WEAP در سطح گسترده‌ای بهره گرفته می‌شود. مدل WEAP توسط مؤسسه محیط‌زیست استکهلم برای استراتژی‌های مدیریت آب مبتنی بر اصل حسابداری تعادل آب همراه با اولویت‌بندی تقاضا و ترجیحات عرضه طراحی شده است (۲۲). این مدل به صورت یکپارچه عمدتاً در برنامه‌ریزی منابع آب در مقیاس منطقه‌ای، محلی یا حوضه‌ای بکار گرفته شده است (۲۳-۲۶). به طور مثال در مطالعه‌ی گایزر و همکاران (۲۷) طیفی گسترده از مدل‌های شبیه‌سازی منابع آب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج نشان دادند که WEAP با ارائه جزئیات دقیق و مدلی جامع برای حوضه آبریز و سیستم رودخانه به مسئولان برنامه‌ریزی برای ارزیابی اثرات بلندمدت جمعیت و توسعه اقتصادی کمک می‌کند. هم‌چنین، برنامه‌های کاربردی دیگر مدل WEAP را به عنوان یک ابزاری برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری (۲۸-۳۰) و ارزیابی خدمات اکوسیستم (۳۱) در نظر می‌گیرند.

آصف و سعد (۳۲) سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری یکپارچه بر اساس مدل‌سازی WEAP و ارزیابی طرح‌های جایگزین برای مدیریت آب‌های سطحی در حوضه بالایی دشت لیتانی لبنان را طراحی کردند. مهتا و همکاران (۳۳) برای تجزیه و تحلیل مدیریت و سیاست‌های حوضه رودخانه منطقه کابی کالیفرنیا ابزار WEAP را مورد استفاده قرار دادند. به گونه‌ای که با استفاده از WEAP، تأثیرات بالقوه گرم شدن اقلیم بر هیدرولوژی و تولید برقابی را شبیه‌سازی کردند. این مطالعه

نشان داد که مدل WEAP می‌تواند یک شرایط پیش‌بینی شده برای سیاست‌گذاری در زمینه انتقال آب و دادن مجوز به تولید برقابی فراهم آورد. کاربرد مدل WEAP برای مدیریت منابع آب در سطح محلی یا حوضه نیز در مطالعات گوناگون یافت شده است (۳۴ و ۳۵). در مطالعات داخلی، یزدانپناه و همکاران (۳۶) با استفاده از مدل WEAP در حوضه ازغند استان خراسان رضوی نشان دادند که با تغییر الگوی کشت یا تغییر سطح زیر کشت اراضی کشاورزی شرایط تعادل آب زیرزمینی محقق خواهد شد. افضلی و همکاران (۳۷) برای برآورد توان انتقال در طرح کوهرنگ ۳ از نرم افزار WEAP استفاده کردند. امینی و همکاران (۳۸) با استفاده از مدل WEAP به ارزیابی مدیریت منابع آب در حوضه گاماسیاب استان کرمانشاه پرداختند.

زین‌الدینی و همکاران (۳۹) به کاربرد مدل شبیه‌سازی–بهینه‌سازی جهت ارزیابی گزینه‌های گوناگون اقلیمی و مدیریتی در سامانه منابع آب در سد ستارخان پرداختند. یانگ و همکاران (۴۰) با استفاده از مدل WEAP به ارزیابی کمبود آب در حوضه آبریز پکن پرداختند.

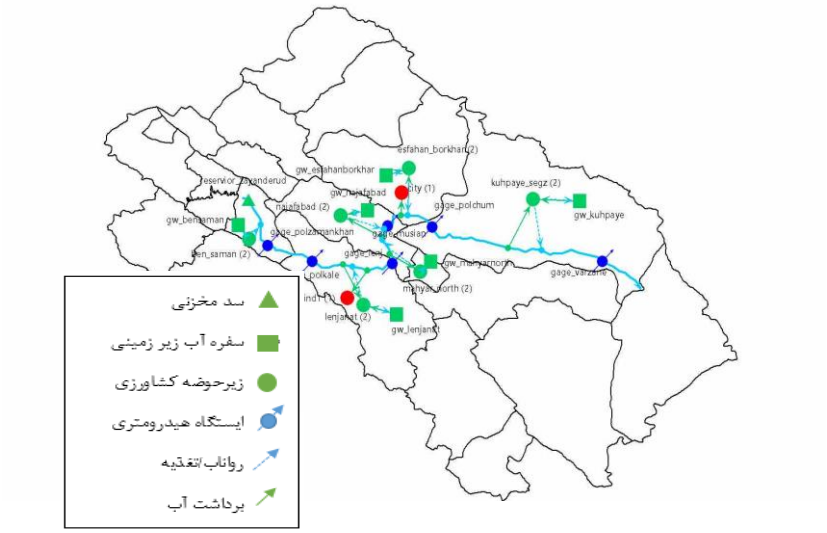
حوضه آبریز زاینده‌رود به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز در فلات مرکزی با مساحتی بیش از ۴۲ هزار کیلومتر مربع واقع شده است. از کل مساحت این حوضه ۵۷ درصد را دشت و مابقی آن را کوهستان‌ها یا دره‌ها تشکیل می‌دهند. متوسط بارندگی حوضه ۱۳۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ماهانه بین ۳ تا ۲۹ درجه سانتیگراد متغیر است. رودخانه زاینده‌رود اصلی‌ترین منبع آب استان اصفهان است که بروز خشکسالی‌های اخیر و در پی آن محدودیت منابع آبی حوضه آبریز زاینده‌رود، رشد بی‌رویه برداشت‌های آب زیرزمینی، تمرکز جمعیت به همراه توسعه صنایع و فعالیت‌های کشاورزی در حاشیه رودخانه زاینده‌رود، منجر به آن شده است که زاینده‌رود نیز از آلودگی آب در امان نماند و تامین آب با کیفیت مناسب به عنوان یک چالش اساسی در این حوضه بشمار رود. لذا، طراحی و اجرای سیاست‌های حفاظت از منابع آب با تأکید بر تأمین اهداف اقتصادی کشاورزان در سطح این حوضه تحت تغییر اقلیم در آینده بسیار الزامی است (۴۱).

در این مطالعه، از ابزار WEAP برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سطح حوضه استفاده و سپس با مدل اقتصادی بیشینه‌سازی منافع خالص تلفیق شده است، اما در این مطالعه برخلاف مطالعات مروری در زمینه مدل‌سازی یکپارچه اقتصادی–هیدرولوژیکی افزون بر در نظر گرفتن پیوند اجزای هیدرولوژیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه به شرایط آب و هوایی، خاک و داده‌های محصولی از جمله تاریخ کاشت، برداشت، طول دوره رشد و ضرایب پاسخ عملکرد محصول نیز توجه شده است. هم‌چنین، در این مطالعه به بررسی اثر الگوی کشت بهینه بر وضعیت هیدرولوژیکی و اقتصادی سطح حوضه پرداخته شده است. حال آن که در تمامی مطالعات مروری چنین تحلیلی وجود ندارد و در بیش‌تر مطالعات با توجه به پیوند اجزای هیدرولوژیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی، الگوی کشت بهینه استخراج و سیاست‌های مدیریتی و استراتژی‌های تطبیقی مورد ارزیابی قرار گرفته است. گفتنی است که منطقه مطالعاتی در این پژوهش حوضه آبریز زاینده‌رود است که شامل هفت زیرحوضه و ۲۰ واحد هیدرولوژیکی می‌باشد که واحدهای هیدرولوژیک بن–سامان، نجف آباد، اصفهان–برخوار، مهیار شمالی و لنجانات، واحدهای مطالعاتی هستند که به گونه مستقیم تحت تأثیر رودخانه زاینده‌رود قرار می‌گیرند و به عنوان منطقه مطالعاتی در این پژوهش درنظر گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی WEAP

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بایستی در نرم افزارهای مرتبط با آن صورت گیرد که در این مطالعه از سیستم برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP) و تلفیق آن با ابزار MABIA بهره گرفته شده است. مدل WEAP، یک ابزار برنامه‌ریزی منابع آب است که بر اصل توازن آب استوار می‌باشد و ارتباط زیرحوضه‌های گوناگون، گره‌های تقاضای آب، زیرساخت‌ها، جریان‌های آب و کانال‌های انتقال آب که همگی با یکدیگر مرتبط هستند را نشان می‌دهد (۲۲). مدل WEAP مولفه‌هایی از چرخه‌ی هیدرولوژیکی را بوسیله‌ی شبیه‌سازی فرایندهای بارش–رواناب در سطح حوضه و با استفاده از سری‌های زمانی داده‌های آب و هوایی محاسبه می‌کند. هر واحد زیر حوضه به کلاس‌های کاربری زمین گوناگون تقسیم‌بندی و توازن آب تحت شرایط آب و هوایی آن زیرحوضه محاسبه می‌شود. پیاده‌سازی شبکه گره‌ها و جریان‌های ورودی و خروجی محدوده مطالعاتی رودخانه زاینده‌رود در نرم افزار WEAP در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- شبکه گره‌ها و جریان‌های ورودی و خروجی محدوده مطالعاتی رودخانه زاینده‌رود در نرم افزار WEAP

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 (۴۲). مزیت اصلی WEAP، رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و سوگیری آن، در راستای سیاست‌هاست. 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 را حل می‌کند. آب برای تأمین نیازهای مصرف‌کنندگان و جریان پایین دست، بر اساس اولویت نیازها، برتری منبع، معادله تعادل جرم و سایر محدودیت‌ها، توزیع می‌شود. تقاضای آبی یک گره نیاز (SD)، به صورت مجموع تقاضاهای شاخه‌های پایه آن (Br) تعریف می‌شود. شاخه پایه، شاخه‌ای است که زیر آن شاخه‌ای وجود ندارد. معادلات ۱ تا ۹ روابط موجود در نرم افزار WEAP برای کاربرد پارامترها و محاسبه متغیرهای مورد نظر در بخش هیدرولوژیکی می‌باشند.

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

در معادله (۱)، AD تقاضای سالانه، TAL تراز فعالیت کل (فعالیت‌های کشاورزی، شهری و ...) و WUR نرخ استفاده آب (قیمت آب به ازای هر واحد فعالیت) است. تقاضای ماهانه، مقدار آب مورد نیاز گره برای استفاده خودش در هر ماه را نشان می‌دهد. در حالی که نیاز منبع، مقدار واقعی نیاز درخواست شده از منابع ذخیره است. نیاز منبع، تقاضا را در نظر گرفته و آن را با مقدار استفاده دوباره در داخل گره، استراتژهای مدیریتی برای کاهش تقاضا و اتلاف‌های داخلی، تنظیم می‌کند.

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

MSR، نیاز ماهیانه منبع، MD تقاضای ماهانه، RR نرخ استفاده مجدد، DSMS، ذخیره ماهانه در گره تقاضا و LR نرخ تلفات است. در این مرحله جریان‌های ورودی به گره‌ها و اتصالات در سیستم و خروجی از آن‌ها برای ماه در نظر گرفته شده، محاسبه می‌شود. رابطه بالا شامل محاسبه آب‌های برداشت شده از منابع ذخیره برای تامین تقاضاها نیز می‌باشد. لذا، بمنظور تامین بیش‌ترین مقدار نیازها با لحاظ محدودیت‌های تعریف شده، از یک برنامه خطی (LP) استفاده می‌شود.

بنابراین، اگر SD گره تقاضا و Scr منبع تغذیه باشد، رابطه زیر برقرار است:

$$I = \sum_{rcS} TLO_{Src.Ds} \qquad (۳)$$

که در آن I ورودی و TLO جریان خروجی خط انتقال هستند. معادلات حاکم بر جریان خط انتقال، به صورت معادلات (۴) تا (۷) تعریف شده‌اند:

$$TBU_{agr} - TCU_{agr} = \left(\sum_{c}\sum_{j}\sum_{k}\left(p_c.y_{c,j,k}\right).X_{c,j,k}\right) - \left(\sum_{c}\sum_{j}\sum_{k}\left(nw_{c,j,k}\right).X_{c,j,k}\right) - \left(\sum_{c}\sum_{j}\sum_{k}tc_{c,j,k}\right) \quad (۱۳)$$

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

$$TLL_{Src,DS} = \left(TLLfs_{Src,DS} + TLLtG_{Src,DS}\right) \times TLI_{Src,DS} \quad (۵)$$

$$TLI_{Src,DS} \le MFV_{Src,DS} \quad (۶)$$

$$TLO_{Src,DS} \le MFP_{Scr,DS} \times SR_{Scr,DS} \quad (۷)$$

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 منابع 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 بدست می‌آید:

$$O_{Rcs} = DO_{Rcs} + \sum_{DS} TLI_{Rcs,DS} \quad (۸)$$

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

$$O_{Rcs} \le SAfR_{Rcs} \quad (۹)$$

هم‌چنین، از ابزار MABIA به منظور برآورد عملکرد و نیاز آبی محصولات و مقدار آب در دسترس زیرحوضه‌های گوناگون بهره گرفته شده است. 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. در این مطالعه از ابزار MABIA و تلفیق آن با مدل WEAP جهت شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در سطح حوضه استفاده شده است.

مدل بهینه‌یابی اقتصادی

در این مطالعه سیستم مدیریت منابع آب حوضه آبریز زاینده‌رود براساس یک الگوی هیدرولوژیکی–اقتصادی مدل‌سازی شده است. در این مدل مقدار آب در دسترس زیرحوضه‌های گوناگون، مقدار عملکرد و نیاز آبی محصولات شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل WEAP برای افق ۲۰۴۰ ورودی‌های مدل اقتصادی می‌باشند. این مدل دارای تعدادی محدودیت‌های هیدرولوژیکی، زمین و نهادی و تابع هدف بیشینه‌سازی مجموع بازده برنامه‌ای کشاورزان می‌باشد.

مجموعه محدودیت‌های هیدرولوژیکی و زمین در سطح حوضه

محدودیت هیدرولوژیکی سطح حوضه نشان می‌دهد که مقدار آب مصرفی محصولات (c) با فناوری‌های آبیاری گوناگون (k) در هر منطقه (j) کم‌تر از حجم مقدار آب در دسترس مناطق گوناگون می‌باشد.

$$\sum_{c,k} nw_{c,j,k}.X_{c,j,k} \le aw_j.Land_j \quad (۱۰)$$

در این رابطه، $nw_{c,j,k}$ نیاز آبی محصولات با فناوری آبیاری متفاوت در مناطق گوناگون، $X_{c,j,k}$ متغیر تصمیم مدل و بیانگر مقدار سطح زیر کشت هر محصول با فناوری آبیاری متفاوت در مناطق گوناگون حوضه، aw_j مقدار آب در دسترس مناطق گوناگون به ازای یک واحد سطح زیر کشت (زمین در دسترس) و $Land_j$ مقدار سطح زیرکشت (زمین در دسترس) مناطق گوناگون است که پارامترهای این رابطه شامل nw (نیاز آبی محصولات) و aw (مقدار آب در دسترس مناطق) از مدل شبیه‌سازی WEAP استخراج شده‌اند.

محدودیت زمین سطح حوضه نشان می‌دهد که مجموع سطح زیر کشت محصولات با فناوری‌های آبیاری گوناگون در هر منطقه کم‌تر از مقدار زمین در دسترس هر منطقه می‌باشد.

$$\sum_{c,k} X_{c,j,k} \le land_j \quad (۱۱)$$

هدف اقتصادی

هدف الگو در بخش اقتصادی، حداکثر سازی منافع اقتصادی مصرف آب در بخش کشاورزی (agr) مشروط به محدودیت‌های هیدرولوژیکی و زمین سطح حوضه است.

$$OBj = \sum_{agr.urb.ind \in u} TBU_{agr} - TCU_{agr} \quad (۱۲)$$

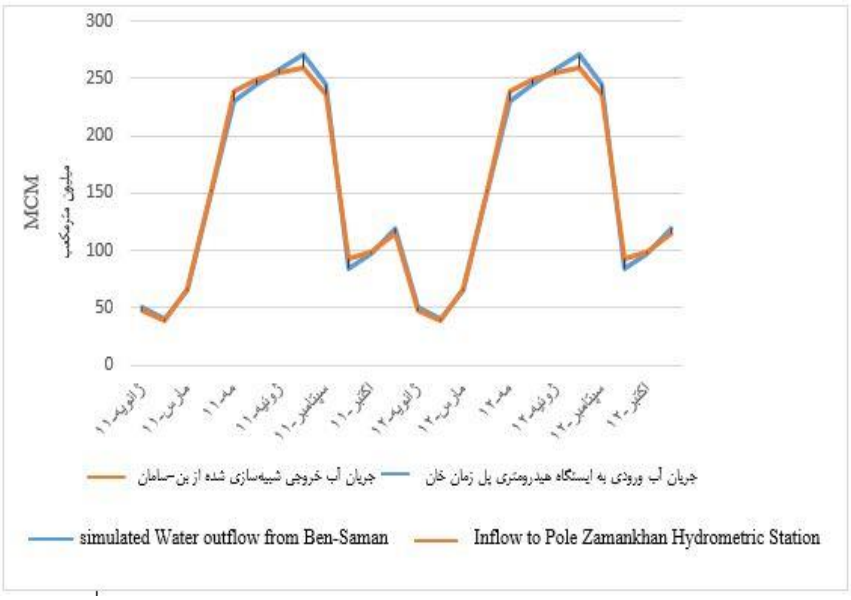
در رابطه (۱۲)، TBU مقدار منافع و TCU مقدار هزینه‌های مصرفی آب در بخش کشاورزی است. در رابطه زیر چگونگی محاسبه منافع این بخش ارائه شده است.

در روابط بالا p_c قیمت واحد محصولات گوناگون، $y_{c,j,k}$ عملکرد هر محصول با فناوری آبیاری متفاوت در مناطق گوناگون که این پارامتر از خروجی مدل WEAP و تلفیق آن با ابزار MABIA استخراج شده است، pc قیمت هر واحد محصول و $tc_{c,j,k}$ هزینه تولید به غیر از هزینه آب مصرفی هر محصول با فناوری آبیاری متفاوت در مناطق گوناگون می‌باشد. در پایان، مدل اقتصادی در این مطالعه با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی حل و الگوی کشت بهینه هر منطقه استخراج شده است. گفتنی است که تمامی محاسبات و تخمین‌های عددی مدل‌های ذکر شده در نرم‌افزار GAMS انجام شده است. هم‌چنین، داده‌های اقتصادی نظیر مقدار سطح زیرکشت محصولات، قیمت محصولات، ارزش آب کشاورزی، عملکرد محصولات، هزینه تولید در واحد سطح، هزینه آب در واحد سطح و داده‌های هیدرولوژیکی شامل جریان‌های ورودی و خروجی آب (جریان‌های ورودی به رودخانه، مقدار برداشت از رودخانه، دبی آب در ایستگاه‌های هیدرومتری، ضرایب جریان آب در واحدهای هیدرولوژیکی)، ذخیره منابع آب (ذخیره آب سد، مقدار آزادسازی سد و تخلیه آب زیرزمینی)، موقعیت جغرافیایی گره‌های گوناگون ورودی و خروجی آب، نیاز آبی محصولات (نیاز خالص آبی و راندمان آبیاری به تفکیک روش آبیاری مورد استفاده) از سازمان جهان کشاورزی استان اصفهان و شرکت آب منطقه‌ای جمع‌آوری شده است. داده‌های شرایط اقلیمی و اطلاعات لازم در زمینه‌ی خاک، نوع آبیاری و رشد گیاه و غیره نیز از اسناد شرکت‌های پژوهشی منابع آب و خاک در سطح حوضه گردآوری شده است.

یافته‌ها

ارزیابی اعتبار سنجی شبیه سازی

برای ارزیابی اعتبار سنجی شبیه‌سازی صورت گرفته در نرم افزار WEAP از ابزاری به نام PEST بهره گرفته شد. PEST به کاربران اجازه می‌دهد به طور خودکار پروسه مقایسه خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی و اصلاح پارامترهای مدل در راستای افزایش دقت کالیبراسیون مدل را انجام دهد. این ابزار از داده‌های مشاهداتی حجم جریان آب در ایستگاههای هیدرومتری بمنظور بررسی دقت شبیه‌سازی و فرایند کالیبراسیون بهره می‌گیرد. در این مطالعه برای ارزیابی اعتبارسنجی شبیه‌سازی و کالیبراسیون مدل از داده‌های مشاهداتی ماهانه حجم جریان آب ورودی به ایستگاه هیدرومتری پل زمان خان طی سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۱ (داده‌های مشاهداتی موجود) و مقایسه آن با خروجی جریان آب شبیه‌سازی شده از بن–سامان (محدوده مطالعاتی–واحد هیدرولوژیک) واقع قبل از ایستگاه هیدرومتری بهره گرفته شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه داده‌های مشاهداتی حجم جریان رودخانه با داده‌های شبیه سازی

مقایسه حجم جریان آب خروجی شبیه سازی شده از زیرحوضه بن–سامان با داده‌های مشاهداتی حجم جریان آب ورودی به ایستگاه هیدرومتری پل زمان خان در سال‌های ۲۰۱۲ و۲۰۱۱ (سال داده‌های هیدرولوژیکی مشاهداتی موجود) نشان می‌دهد که کالیبراسیون مدل با دقت بالایی صورت گرفته است چراکه تقریباً روند جریان خروجی شبیه‌سازی شده از اراضی بالا دست ایستگاه هیدرومتری با روند مشاهدات واقعی جریان ورودی به ایستگاه هیدرومتری پل زمان خان منطبق می‌باشد.

شبیه‌سازی عملکرد و نیاز خالص آبی محصولات و مقدار آب در دسترس مناطق

الگوی کشت در شرایط پایه در نرم افزار WEAP برای مناطق گوناگون اعمال شد و با استفاده از ابزار MABIA، عملکرد و نیاز آبی محصولات الگوی کنونی و مقدار آب در دسترس مناطق در طول دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ برای مناطق گوناگون حوضه شبیه‌سازی شد که نتایج به تفکیک هر منطقه استخراج و سپس در سطح حوضه برآورد شد (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- میانگین عملکرد و نیاز آبی خالص شبیه‌سازی شده محصولات در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ در سطح حوضه

محصول	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	نیاز آبی (مترمکعب)
گندم	۳۱۱۴	۴۲۵۳
جو	۲۱۴۷	۲۱۸۱
یونجه	۸۸۹۱	۸۴۷۲
ذرت علوفه‌ای	۲۱۷۵۵	۳۱۵۵
ذرت دانه‌ای	۵۹۶۱	۵۶۱۷
پنبه	۱۵۳۸	۶۸۷۶
چغندرقند	۱۶۶۰۵	۹۴۷۸
آفتابگردان	۱۹۸۰	۵۲۲۱
لوبیا	۱۲۹۲	۸۱۱۸
سیب‌زمینی	۲۱۶۷۵	۴۳۱۲
برنج	۲۲۳۲	۹۵۳۱
سبزیجات	۴۳۳۵۰	۵۰۰۰
گردو	۱۱۴۲	۷۴۰۷
بادام	۹۹۴	۵۸۱۰
انگور	۲۷۸۹	۵۱۱۴
سایر محصولات زراعی	۳۳۶۹	۴۶۶۱
سایر محصولات باغی	۱۶۱۵	۶۳۵۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲- متوسط آب در دسترس شبیه‌سازی شده مناطق گوناگون حوضه در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱

محدوده مطالعاتی	آب در دسترس (مترمکعب)
نجف‌آباد	۱۶۵۰۸
مهیار شمالی	۱۱۹۴۵
لنجانات	۱۱۷۳۰
کوهپایه-سگزی	۱۳۶۳۰
اصفهان-برخوار	۱۵۳۳۵
بن-سامان	۱۱۸۴۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

الگوی کشت بهینه اقتصادی

پارامترهای عملکرد، نیاز آبی خالص محصولات و مقدار آب در دسترس مناطق که با توجه به شرایط هیدرولوژیکی حوضه برای یک افق زمانی مشخص شبیه‌سازی شده بود، به عنوان ورودی به مدل اقتصادی وارد و این مدل با هدف بیشینه‌سازی بازده برنامه‌ای کشاورزان مناطق گوناگون و با توجه به محدودیت‌های گوناگون حل و الگوی کشت بهینه هر منطقه استخراج شد که نتایج آن به تفکیک مناطق در جدول ۳ ارائه شده است.

همان‌گونه که از نتایج جدول ۳ مشخص است، بازده برنامه‌ای الگوی بهینه اقتصادی تمامی مناطق بیش از بازده برنامه‌ای الگوی کشت کنونی آن‌هاست. این نتیجه ناشی از تغییر الگوی کشت از محصولات

با بازده برنامه‌ای پایین به سمت محصولات با بازده برنامه‌ای بالا می‌باشد. به‌گونه‌ای که سهم محصولات پر بازده مانند یونجه، برنج، سیب زمینی و چغندرقند در بسیاری از مناطق حوضه افزایش یافته است. بنابراین، کشت محصولات پر مصرف آب با توجه به شرایط هیدرولوژیکی در سطح حوضه امکانپذیر است، اما برای چنین نتیجه‌ای باید از فناوری‌های مدرن آبیاری بمنظور جلوگیری از هدر رفت آب و مصرف کم‌تر آن برای تولید محصولات استفاده کرد. این بدین مفهوم است که می‌توان با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و وضعیت منابع آبی حوضه، بهبود بازده برنامه‌ای برای تمامی مناطق را متصور بود، چنانچه اگر آبیاری محصولات از روش سطحی به سمت استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری با راندمان بالا انتقال یابد. افزایش بازده برنامه‌ای در نتیجه بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی نسبت به شرایط کنونی برای مناطق نجف‌آباد، مهیار شمالی، لنجانات، کوهپایه–سگزی، اصفهان–برخوار و بن–سامان به ترتیب ۱۴، ۵، ۱۵، ۱۸، ۱۵ و ۲۰ میلیون ریال در هکتار خواهد بود. و افزایش سهم فناوری‌های آبیاری در الگوی اقتصادی نسبت به الگوی کنونی برای مناطق نجف‌آباد، لنجانات، کوهپایه–سگزی، اصفهان–برخوار و بن–سامان به ترتیب ۴۰، ۵۷، ۳۵، ۴۵ و ۹۱ درصد خواهد بود و تنها برای منطقه مهیار شمالی سهم فناوری‌های نوین آبیاری در الگوی اقتصادی کم‌تر از الگوی کنونی می‌باشد و هم‌چنین، افزایش بازده برنامه‌ای در نتیجه بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی نیز نسبت به سایر مناطق کم‌تر است. این بهبود بازده با توجه به وضعیت هیدرولوژیکی مناطق به شرطی ممکن است که فناوری‌های نوین آبیاری در تولید محصولات به کار روند. از این‌رو لزوم تشویق کشاورزان به استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری و کاشت محصولات پر بازده مانند یونجه در سطح حوضه پیشنهاد می‌شود، اما افزون بر وضعیت اقتصادی باید به پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه و شرایط آن‌ها در آینده نیز توجه نمود که در ادامه نتایج به این مهم پرداخته شده است.

جدول ۳- الگوی کشت کنونی و بهینه اقتصادی (درصد) و بازده برنامه‌ای متناسب با هریک از الگوها

محصولات	نجف‌آباد		مهیار شمالی		لنجانات	
	کنونی	بهینه	کنونی	بهنیه	کنونی	بهینه
گندم	۹		۴۷	۳۷	۲۰	
جو	۷		۱۹		۱۵	۲۷
یونجه	۶	۳۰			۲	۳۰
ذرت علوفه‌ای			۳	۳۷		
ذرت دانه‌ای						
پنبه						
چغندرقند			۴	۲۶		
آفتابگردان			۱۲			
لوبیا					۵	
سیب‌زمینی	۶	۳۰				
برنج	۲۲	۱			۱۵	۲۹
سبزیجات	۵	۳۰				
گردو						
بادام	۵					
انگور	۴	۹			۵	۱۴
سایر محصولات زراعی	۳۶		۱۵		۲۹	
سایر محصولات باغی					۹	
مجموع سطح زیرکشت (هکتار)	۴۶۶۳۴		۷۴۸۶		۳۸۴۴۹	
سهم فناوری‌های نوین آبیاری(درصد)	۲۹	۶۹	۱۵	۰	۱۴	۷۱
بازده برنامه‌ای در هکتار (میلیون در هکتار)	۵۹	۷۳	۱۷	۲۲	۳۴	۴۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مقایسه پارامترهای هیدرولوژیکی الگوی کشت کنونی و الگوی کشت بهینه اقتصادی

تقاضای تأمین نشده آب در مناطق گوناگون حوضه

تقاضای تأمین نشده آب بیانگر شکاف بین آب مورد نیاز و عرضه‌ی آب می‌باشد که هرچه مقدار آب مورد نیاز در گره تقاضا (واحد کشاورزی) بیش‌تر از عرضه آب به آن گره باشد، تقاضای تأمین نشده آب افزایش می‌یابد و برعکس. میانگین مقدار تقاضای تأمین نشده آب به تفکیک واحدهای کشاورزی گوناگون حوضه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۱ زیر الگوی کشت کنونی و الگوی کشت بهینه اقتصادی با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی حوضه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- میانگین مقدار تقاضای تأمین نشده آب تحت بکارگیری الگوهای گوناگون در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱

(میلیون مترمکعب)

محدوده مطالعاتی	الگوی کشت کنونی (هکتار)	الگوی کشت بهینه	درصد تغییرات
نجف آباد	۹۵۷	۲۲۷	-۷۶,۲۸
مهیار شمالی	۲۳۹	۲۵۵	۶,۷۰
لنجانات	۸۳۶	۱۰۱۳	۲۱,۱۷
کوهپایه-سگزی	۱۰۰۶	۱۱۳۶	۱۲,۹۲
اصفهان-برخوار	۱۳۳۸	۱۱۱۶	-۱۶,۵۹
بن-سامان	۳۹	۳۷	-۵,۱۳
مجموع کل حوضه	۴۴۱۵	۳۷۸۴	-۱۴,۲۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج نشان می‌دهند که با بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی، تقاضای تأمین نشده در سطح کل حوضه کاهش خواهد یافت. به گونه‌ای که تقاضای تأمین نشده آب از ۴۴۱۵ میلیون متر مکعب در شرایط بکارگیری الگوی کشت کنونی به ۳۷۸۴ میلیون مترمکعب در شرایط بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی خواهد رسید. بنابراین با وجود محصولات پربازده و با مصرف آب بالا در الگوی کشت بهینه اقتصادی، مقدار تقاضای تأمین نشده آب در سال‌های آینده کاهش می‌یابد که این ناشی از بکارگیری فناوری‌های نوین آبیاری در فرایند تولید محصولات است. نتایج به تفکیک مناطق نشان می‌دهد که برای محدوده‌های مطالعاتی نجف‌آباد، اصفهان-برخوار و بن-سامان، مقدار تقاضای تأمین نشده آب در اثر بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی کاهش خواهد یافت. برای محدوده مطالعاتی نجف آباد بیش‌ترین کاهش تقاضای تأمین نشده آب در اثر بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی اتفاق خواهد افتاد (حدود ۷۳۰ میلیون مترمکعب). این یافته بدین علت است که در الگوی کشت بهینه اقتصادی این محدوده، سطح زیر کشت محصول برنج که تنها از راه فناوری سطحی آبیاری می‌شود، حدود ۲۱ درصد کاهش و دلیل دوم این‌که سهم فناوری‌های نوین آبیاری در فرایند تولید محصولات حدود ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. برای دو محدوده مطالعاتی اصفهان-برخوار و بن-سامان نیز می‌توان استفاده بیش‌تر از فناوری‌های نوین آبیاری نسبت به الگوی کنونی را دلیل اصلی کاهش تقاضای تأمین نشده آب بیان کرد. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که مقدار تقاضای تأمین نشده محدوده‌های مطالعاتی لنجانات، کوهپایه-سگزی و مهیار شمالی در اثر بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی افزایش خواهد یافت. علت افزایش تقاضای تأمین نشده آب برای دو محدوده‌ی لنجانات و کوهپایه-سگزی، افزایش سطح زیرکشت محصول برنج در الگوی بهینه اقتصادی است. این یافته نشان می‌دهد که با وجود افزایش سهم فناوری‌های نوین آبیاری در الگوی کشت بهینه اقتصادی این دو محدوده، امکان بهبود مقدار تقاضای تأمین نشده آب ناشی از افزایش کشت محصول برنج عملی نشده است. اما برای محدوده مطالعاتی مهیار شمالی، افزایش تقاضای تأمین نشده آب می‌تواند ناشی از کاهش سهم فناوری‌های نوین آبیاری در الگوی کشت بهینه اقتصادی باشد.

درصد قابلیت اطمینان تأمین تقاضای آب در مناطق گوناگون حوضه

درصد قابلیت اطمینان تأمین تقاضای آب بیانگر درصد زمانی است که تقاضای آب در یک گره تقاضا به گونه کامل پوشش داده می‌شود. به‌طور مثال، قابلیت اطمینان تأمین تقاضای ۱۰۰ درصد نشان می‌دهد که نیاز آبی در تمامی ماههای مورد بررسی تأمین شده است و با کمبود مواجه نخواهد بود. درصد قابلیت اطمینان تأمین تقاضای آب حوضه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۱ تحت الگوی کشت کنونی و الگوی کشت بهینه اقتصادی با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی حوضه، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- درصد قابلیت اطمینان تأمین تقاضای آب تحت بکارگیری الگوهای گوناگون طی دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۹ (درصد)

محدوده مطالعاتی	الگوی کشت کنونی	الگوی کشت بهینه	تغییرات
نجف آباد	۳۴	۵۰	۱۶
مهیار شمالی	۳۶	۳۵	-۱
لنجانات	۴۴	۴۲	-۲
کوهپایه_سگزی	۵۱	۵۰	-۱
اصفهان-برخوار	۳۴	۳۴	۰
بن-سامان	۴۲	۴۲	۰
مجموع کل حوضه	۴۰	۴۲	۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که تحت الگوی کشت بهینه اقتصادی، حدود ۴۲ درصد زمان‌های مورد بررسی، تقاضای آب در سطح حوضه تأمین خواهد شد. از این‌رو، می‌توان دریافت که بکارگیری الگوی بهینه اقتصادی با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی در سطح حوضه رودخانه زاینده‌رود می‌تواند بهبود معیشت کشاورزان را در پی داشته باشد و همچنین، پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه در آینده را نیز تا حد کمی بهبود دهد. پس به‌طور کلی الگوی ارائه شده در این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک الگوی مناسب در کنار سایر سیاست‌های مدیریت منابع آب هم رفاه مصرف‌کنندگان آب را افزایش و هم مصرف منابع آب در سطح حوضه را کاهش دهد.

از این‌رو، نتایج متفاوت برای واحدهای گوناگون در سطح حوضه، ماهیت پویایی و چند سطحی بودن مدیریت منابع آب را نشان می‌دهد که در سایر مطالعات نیز به اثبات رسیده است (۴۵-۴۳). همچنین، بر خلاف اعتقاد برخی از محققان، اتخاذ برخی سیاست‌ها، از جمله اتخاذ الگوی کشت بهینه اقتصادی در برخی واحدها، می‌تواند ضمن افزایش بازده برنامه‌ای کشاورزان، عملکرد هیدرولوژیکی سطح حوضه را نیز بهبود دهد که این مهم در مطالعات دیگری نیز به اثبات رسیده است (۴۷، ۴۶، ۱۷ و ۱۲).

نتیجه‌گیری

حوضه آبریز زاینده‌رود یکی از حوضه‌های مهم کشور است که با چالش کمبود آب روبرو می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه مدیریت کمی و بررسی اثرات الگوی کشت بهینه بر وضعیت هیدرولوژیکی و اقتصادی حوضه آبریز زاینده‌رود است. لذا بمنظور دست‌یابی به هدف این مطالعه، ابتدا از ابزار WEAP برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سطح حوضه استفاده شد. سپس به مدیریت کمّی منابع آب حوضه مطالعاتی از طریق بررسی اثرات سیاست‌های حفاظت از منابع آب تحت سناریوی تغییر اقلیم بر معیشت کشاورزان و شرایط هیدرولوژیکی حوضه پرداخته شد. در این مطالعه، ارزیابی اثرات سیاست‌های حفاظت از منابع آب بر معیشت کشاورزان در سطح حوضه زاینده‌رود حاکی از کاهش مصرف آب در کل حوضه می‌باشد اما تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده وضعیت بدتر خواهد شد. نتایج مطالعه نشان دادند که تغییر اقلیم عملکرد محصولات و آب در دسترس مناطق را کاهش و نیاز آبی محصولات را افزایش خواهد. از سوی دیگر، اعمال سیاست تغییر فناوری آبیاری به سمت فناوری‌های مدرن در ترکیب با سیاست محدودیت مصرف منابع آب زیرزمینی جهت تعادل‌بخشی به سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند اثرات تغییر اقلیم بر بازده برنامه‌ای کشاورزان را تعدیل و معیشت آن‌ها را بهبود بخشد. همچنین، نتایج ارزیابی سیاست‌های حفاظت از منابع آب به تفکیک محدوده‌های مطالعاتی گوناگون در سطح حوضه زاینده‌رود نشان دادند که می‌توان سیاست مناسب با هر منطقه را شناسایی و بکار بست. نتایج متفاوت برای واحدهای گوناگون، ماهیت پویایی و چند سطحی بودن مدیریت منابع آب را نشان می‌دهد.

از دیگر یافته‌های این مطالعه می‌توان به بکارگیری الگوی کشت بهینه اقتصادی در سطح حوضه که منجر به افزایش بازده برنامه‌ای کشاورزان و بهبود معیشت آن‌ها خواهد شد، اشاره نمود. این در حالی است که در این الگوی کشت بهینه، محصولات پربازده با مصرف بالای آب جایگزین محصولات کم بازده با مصرف پایین آب شده‌اند (نظیر سیب‌زمینی از ۶ به ۳۰ درصد، سبزیجات از ۵ به ۳۰ درصد و انگور از ۴ به ۹ درصد (در محدوده مطالعاتی نجف آباد)، چغندرقند ۴ به ۲۶ درصد (در محدوده مطالعاتی مهیار شمالی)، برنج از ۱۵ به ۲۹ درصد (لنجانات)، برنج از ۲ به ۳۰ درصد(کوهپایه-سگزی)، چغندرقند از ۴ به ۳۰ درصد (اصفهان-برخوار)). بنابراین، تصور بر این است که چنین الگویی افزایش مصرف آب را در پی داشته باشد که نتایج مطالعه چنین فرضیه‌ای را اثبات نمی‌کند چرا که در الگوی کشت بهینه اقتصادی سهم استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری در فرایند تولید افزایش یافته است. همچنین، نتایج پارامترهای هیدرولوژیکی تقاضای تأمین نشده آب و درصد قابلیت تأمین تقاضای آب نشان داد که می‌توان با بکارگیری الگوی بهینه افزون بر بهبود معیشت تا حد کمی بهبود عملکرد هیدرولوژیکی را نیز انتظار داشت. توجه به فناوری‌های نوین آبیاری و تشویق کشاورزان به

سمت الگوهای کشت بهینه در جهت افزایش بازده برنامه‌ای آن‌ها می‌تواند بهبود اقتصاد کشاورزان در سطح حوضه را به ارمغان آورد.

لذا، توصیه می‌شود که در مطالعات آینده برای عملیاتی سازی سیاست‌های لازم در سطح حوضه، راهکارهای انگیزشی دیگری با توجه به تحلیل رفتار کشاورزان در هر منطقه مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین، پیشنهاد می‌شود که از راه اعطای تسهیلات، تبلیغات و غیره گام اساسی در زمینه گسترش استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری برداشته شود.

Reference

Ghafari Moghadam Z, Keikha A, Sabuhi Sabuni MA. Game theory model for optimal allocation of water resources in semi-well reservoirs. Journal of Iran Water Resource Research. 2012; 8(3):12-23. [DOI:10.3390/w10091184]

Varela-Ortega C, Blanco-Gutiérrez I, Swartz CH, Downing TE. Balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties an integrated hydro-economic modeling framework. Global Environmental Change. 2011; 21(2):604-619. [DOI:10.1016/j.gloenvcha.2010.12.001]

Kahil MT, Dinar A, Albiac J. Modelling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions. Journal of Hydrology. 2015; 522:95-109. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2014.12.042]

4Kahil MT, Ward FA, 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. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2016.05.057]

Gohar AA, Amer SA, Ward FA. Irrigation infrastructure and water appropriation rules for food security. Journal of Hydrology. 2015; 520:85-100. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2014.11.036]

Salehi S, Chizari M, Sadighi H, Bijani M. Assessment of agricultural groundwater users in Iran a cultural environmental bias. Hydrogeology Journal. 2017; 26(1):258-295. [DOI:10.1007/s10040-017-1634-9]

Sanz D, Castaño S, Cassiraga E, Sahuquillo A, Gómez J, Peña S, Calera A. Modeling aquifer–river interactions under the influence of groundwater abstractions in the Mancha Oriental System (SE Spain). Hydrogeology Journal. 2011; 19(2):475-487. [DOI:10.1007/s10040-010-0694-x]

Esteban E, Albiac J, The problem of sustainable groundwater management the case of La Mancha aquifers Spain. Hydrogeology Journal 2012; 20 (5):851–863. [DOI:10.1007/s10040-012-0853-3]

Harou JJ, Pulido-Velazquez M, Rosenberg DE, Medellín-Azuara J, Lund JR, Howitt RE. Hydro-economic models: concepts, design, applications, and future prospects. Journal of Hydrology. 2009; 375(3–4):627–643. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2009.06.037]

Booker J, Howitt R, Michelsen A, Young R. Economics and the modeling of water resources and policies. Natural Resource Modeling. 2012; 25 (1):168– 218. [DOI:10.1111/j.1939-7445.2011.00105.x]

Pulido-Velazquez M, andreu J, Sahuquillo A, Pulido-Valazquez D. Hydro-economic river basin modelling the application of a holistic surface-groundwater model to assess opportunity cost of water use in Spain. Ecological Economics. 2008; 66(1):51-65. [DOI:10.1016/j.ecolecon.2007.12.016]

Tanaka SK, Zhu T, Lund JR, Howitt RE, Jenkins MW, Pulido MA, Tauber M, Ritzema RS, Ferreira I.C. Climate warming and water management adaptation for California. Climate Change. 2006; 76, 361-387. [DOI:10.1007/s10584-006-9079-5]

Ward FA. Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. Journal of Hydrology. 2014; 508, 114-127. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2013.10.024]

Nikouei A, Zibaei M, Ward FA. Incentives to adopt irrigation water saving measures for wetlands preservation, an integrated basin scale analysis. Journal of Hydrology. 2012; 464-465, 216-232. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.07.013]

Nikouei A, Ward FA. Pricing irrigation water for drought adaptation in Iran. Journal of Hydrology. 2013; 503:29-46. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2013.08.025]

Kahil MT, Ward FA, Albiac J, Eggleston J, Sanz D. Hydro-economic modeling with aquifer–river interactions to guide sustainable basin management. Journal of Hydrology. 2015; 539:510-524. [DOI:0.1016/j.jhydrol.2016.05.057]

Esteve P, Varela-Ortega C, Blanco-Gutiérrez I, Downing TE. A hydro economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. Ecological Economics, 2015; 120:49–58. [DOI:10.1016/j.ecolecon.2015.09.017]

Soltani GH, Sabuhi M. Optimization of cropping patterns in the catchment area with emphasis on social benefits and pure import of virtual water Case study of Khorasan area. Journal of Hydrology and Soil Science. 2008; 12(43 a):297-313.

Asad Falsafizadeh N, Sabuhi M. Determination of optimal water harvesting from peripheral runoff in the drainage basin of the Khor River, Doroodzan dam. Journal of Agricultural Economics and Development. 2008; 24(4):415-424.

Nikouei A. Modeling economic-hydrological allocation water in Zayandehrud Basin with emphasis on environmental and drought policy assessment. DR. Thesis Agriculture Economic, School of Agriculture, University of Shiraz. 2012.

Tarazkar MH. Integrated water resources management at Doroodzan Dam Basin. DR. Thesis Agriculture Economic, School of Agriculture, University of Shiraz. 2015.

Yates D, Sieber J, Purkey D, Huber-Lee A. WEAP21—a demand, priority, and preference-driven water planning model. Water International. 2005; 30(4):487–500. [DOI:10.1080/02508060508691893]

Huber-Lee A, Purkey DR, Sieber J, Swartz C, Young C. Sustainable water supply planning for three US cities contrasts in climates and stakeholder issues. In Paper Presented at the Stockholm Water Symposium. 2004; 16-20. [DOI: https://doi.org/10.15625/2525-2518/58/3A/14370]

Groves DG, Yates D, Tebaldi C. Developing and applying uncertain global climate change projections for regional water management planning. Water Resource Research .2008; 44: W12413. [DOI:10.1029/2008WR006964]

Purkey DR, Joyce B, Vicuna S, Hanemann MW, Dale LL, Yates D, Dracup JA. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. Climatic Change. 2008; 87(S1):109-122. [DOI:10.1007/s10584-007-9375-8]

Demertzi KA, Papamichail DM, Georgiou PE, Karamouzis DN, Aschonitis VG. Assessment of rural and highly seasonal tourist activity plus drought effects on reservoir operation in a semi-arid region of Greece using the WEAP model. Water International. 2014; 39, (1):23-34. [DOI:10.1080/02508060.2013.848315]

Gaiser TH, Printz A, Schwarz-v.Raumer HG, Götzinger J. Development of a regional model for integrated management of wate resources at the basin scale. Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C. 2008; 33(1-2):175-182. [DOI:10.1016/j.pce.2007.04.018]

Varela-Ortega C, Blanco-Gutiérrez I, Swartz CH, Downing TE. balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties an integrated hydro-economic modeling framework. Global Environmental Change. 2011; 21(2):604-619. [DOI:10.1016/j.gloenvcha.2010.12.001]

Purkey DR, Huber-Lee A, Yates DN, Hanemann M, Herrod-Julius S. Integrating a

climate change assessment tool into stakeholder-driven water management decision-making processes in California. Water Resource Management. 2007; 21(1): 315-329. [DOI:10.1007/s11269-006-9055-x]

Huber-Lee A, Purkey DR, Sieber J, Swartz C, Young, C. Decision Support System for Sustainable Water Supply Planning, Awwa Research Foundation, Denver, 2006; 16-20.

Vigerstol KL, Aukema JE. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. Journal of Environmental Management. 2001; 92(10):2403-2409. [DOI:10.1016/j.jenvman.2011.06.040]

Assaf H, Saadeh M. Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon using an integrated GIS-based decision support system. Environmental Modeling & Software. 2008 23 (10-11):1327-1337. [DOI:10.1016/j.envsoft.2008.03.006]

Mehta VK, Rheinheimer DE, Yates D, Purkey DR, Viers JH, Young CA, Mount JF. Potential impacts on hydrology and hydropower production under climate warming of the Sierra Nevada. Journal Water Climate Change. 2011; 2(1):29-43. [DOI:10.2166/wcc.2011.054]

Hu L, Wang Z, Robin W, Liang Y. Application of improved WEAP model in water resources management. Modern Applied Science. 2009; 40(2):173-179.

Li Y, Li H. A WEAP-based model for the management of water quality and safety in Xitiaoxi watershed. Advances in Water Science. 2010; 21(5): 666-673.

Yazdanpanah T, Davari K, Khodashenas S, Ghahreman B. Increasing of irrigation efficiency and impact on groundwater. Third Conference on Water Resources Management, Tabriz, Iran Water Resources Science and Engineering Society. 2008.

Afzali Borujeni AS, Rahnam M, Goghari KS. Evaluation and simulation of the water transfer scheme between Koohrang 3 basins using the model WEAP. Third National Conference on Integrated Water Resources Management University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari, Sari, Iran. 2012.

Amini A, Javan M, Eghbalzadeh A, Ghasemi MR. Evaluation of water resources management in Gamasiab basin of Kermanshah province using model WEAP. Journal of Water Resources Engineering. 2016; 10:13-18.

Zeinodini S. Anoori S. Zahmatkesh Z. Application of simulate optimization approache to assess the effect of climate and management scenarios on a water resource system. Iran-Wate Resources Research. 2018; 14(5): 295-310.

Yang L, Bai X, Zheng Khanna N, Yi S, Hu Y, Denga J, Gao H, Tuo L, Xianga SH, Zhoub N. Water evaluation and planning (WEAP) model application for exploring the water deficit at catchment level in Beijing. Desalination and Water Treatment. 2018; 118:12–25. [DOI:10.5004/dwt.2018.22332]

Regional Water Company of Isfahan. Comprehensive Reports on Water Resources in the Zayandehrud Watershed. Available online at: 2016. http://www.esrw.ir/.site.

Sieber J, Yates D, Huber Lee A, Purkey D. WEAP a demand, priority, and preference driven water planning model: Part 1, model characteristics, Water International. 2005; 30(4):487–500. [DOI:10.1080/02508060508691893]

Westerhoff L, Smit B. The Rains are disappointing us: Dynamic Vulnerability and Adaptation to Multiple Stressors in the Afram Plains, Ghana. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2008; 14(4):317-337. [DOI:10.1016/S0305750X(98)00136-3]

Reidsma P, Ewert F, Lansil A, Leemans R. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture. The importance of farm level responses. European Journal of Agronomy. 2010; 32: 91-102. [DOI:10.1016/j.eja.2009.06.003]

Kalbali E, Ziaee S, Mardani Najafabadi M, Zakerinia M. Approaches to adapting to impacts of climate change in northern Iran: The application of a Hydrogy-Economics model. Journal of Cleaner Production. 2021; 280: 124067. [DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124067]

Mardani Najafabadi M, Ziaee S, Nikouei A, Ahmadpour Borazjani M. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. Agricultural Systems. 2019; 173: 218-232. [DOI:10.1016/j.agsy.2019.02.006]

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): 356-341.