

Modifying Water Allocation Pattern to Increase Water Productivity in Agricultural Sector in Zayandehrud Basin

S. Asgari, A. Shanehsazzadeh* , and B. Saffari

MSc in Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering and Transportation
University of Isfahan, Isfahan, Iran. Saeida698@gmail.com

Associate Prof., Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
a.shanehsazzadeh@eng.ui.ac.ir

Assistant Prof., Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
b_saffari@ase.ui.ac.ir

Received: June 2024 and Accepted: December 2024

Abstract


Zayandehrud River, the largest river in the central plateau of Iran, has suffered water management crisis due to the continued drought and increased consumption in various sectors, including drinking, agricultural, and industrial sectors. To achieve logical compatibility, and taking into account the multiple economic and social goals, optimum reallocation of water resources of Zayandehrud according to the capacity of the existing resources is inevitable. In this article, the modification plan of Zayandehrud water allocation between seven irrigation networks is presented. To increase the productivity of the agricultural sector, some measures are presented in the form of intervention levels and applied in the allocation plans and the results are compared with each other and with the allocation in the current situation. These measures include changing the distribution of water between the networks under the current cultivation conditions, modifying the cultivation pattern, increasing the irrigation efficiency, and increasing the added value with the export of agricultural products. The results reveal that the current pattern of allocation between irrigation networks is not optimal in terms of economics and employment. Different levels of intervention in ideal conditions (combining all levels together) increase the value of water in the agricultural sector up to 30 times, among which export of the products abroad and modification of the cultivation pattern increase the value of agricultural water by 9 and 3.7 times, respectively.

Keywords: Optimum water allocation, Value of agricultural water, Cropping pattern, Employment

* - Corresponding author's email: a.shanehsazzadeh@eng.ui.ac.ir
<https://doi.org/10.22092/jwra.2025.365867.1043>

اصلاح الگوی تخصیص آب برای افزایش بهره‌وری آب بخش کشاورزی در حوضه

آبریز زاینده‌رود

سعید عسگری، احمد شانه‌ساززاده*  و بابک صفاری

کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران و حمل و نقل دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

Saeida698@gmail.com

دانشیار، گروه عمران، دانشکده عمران و حمل و نقل دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

a.shanehsazzadeh@eng.ui.ac.ir

استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

b_saffari@ase.ui.ac.ir

دریافت: خرداد ۱۴۰۳ و پذیرش: آذر ۱۴۰۳

چکیده

زاینده‌رود بزرگترین و پرآب‌ترین رودخانه فلات مرکزی ایران، به واسطه تداوم خشکسالی و افزایش مصرف در بخش‌های مختلف شرب، کشاورزی و صنعت، از بحران مدیریت آب رنج می‌برد. با در نظر گرفتن اهداف چندگانه اقتصادی و اجتماعی تا رسیدن به یک سازگاری مدیریتی، بازتخصیص بهینه منابع آب زاینده‌رود منطبق با ظرفیت منابع موجود اجتناب‌ناپذیر است. در این مقاله، برنامه اصلاح تخصیص آب زاینده‌رود به شبکه‌های هفت‌گانه آبیاری ارائه شده است. الگوی بهینه تخصیص آب زاینده‌رود بین شبکه‌های آبیاری بر اساس اهداف اقتصادی و اجتماعی (اشتغال) ارائه می‌شود. برای افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی، تمهیداتی به صورت سطوح مداخله شامل اصلاح توزیع آب بین شبکه‌ها در وضعیت موجود کشت، تغییر الگوی کشت، افزایش راندمان آبیاری، و صادرات محصولات کشاورزی ارائه شده و در برنامه‌های تخصیص اعمال گردیده است. نیز، نتایج اعمال سطوح مختلف مداخله با یکدیگر و با وضعیت تخصیص فعلی مقایسه شده است. به طور کلی، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در توزیع آب بین شبکه‌های مختلف، اهداف اقتصادی و اشتغال سازگاری دارند و الگوی تخصیص کنونی بین شبکه‌های آبیاری بهینه نیست. مطابق نتایج به دست آمده، از تلفیق سطوح مختلف مداخله باهم، در شرایط ایده‌آل (تلفیق تمام سطوح با هم) ارزش هر مترمکعب آب سطحی در بخش کشاورزی تا ۳۰ برابر افزایش می‌یابد که از این میان، صادرات محصولات به خارج از کشور و اصلاح الگوی کشت به ترتیب ۹ و ۳/۷ برابر ارزش آب کشاورزی را افزایش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: تخصیص بهینه منابع آب کشاورزی، ارزش آب کشاورزی، الگوی کشت، اشتغال

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: a.shanehsazzadeh@eng.ui.ac.ir

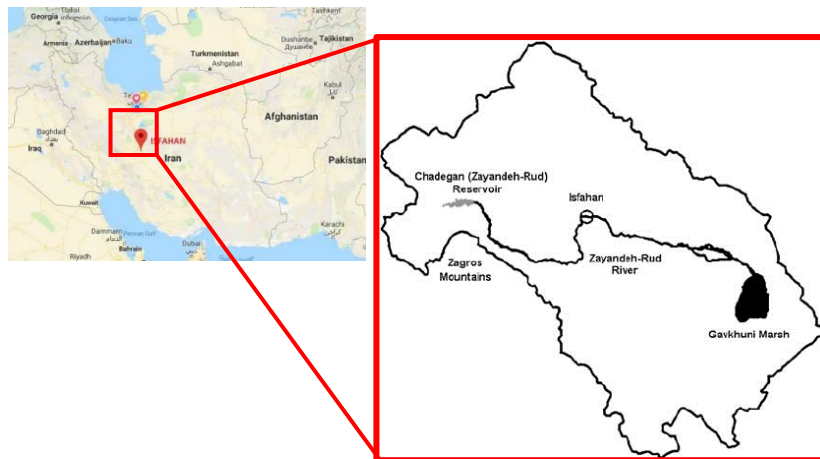


مقدمه

کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند شبه‌جزیره عربستان سعودی، اردن، شمال آفریقا، آفریقای جنوبی، شمال چین، قبرس، اسپانیا و ایران نمود بیشتری دارد (سونگ و همکاران، ۲۰۱۸). حوضه‌های فلات مرکزی ایران از جمله حوضه زاینده‌رود با توجه به دوره طولانی خشک‌سالی و بارگذاری بیش از حد و در نتیجه آن اختلاف نسبتاً زیاد بین تراز مصارف و منابع آب وضعیت حادی دارند.

زاینده‌رود بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه فلات مرکزی ایران است که از کوه‌های زاگرس مرکزی سرچشمه می‌گیرد و در کویر مرکزی ایران به سمت شرق پیش می‌رود و با طی ۳۶۰ کیلومتر طول در نهایت به تالاب گاوخونی در ۱۴۰ کیلومتری شرق اصفهان سرازیر می‌شود (شکل ۱). آورد این رودخانه در مطلوب‌ترین شرایط به ۱۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد. این رودخانه به‌عنوان یک شریان حیاتی در مرکز ایران با پوشش جمعیت حدود پنج میلیون نفر نیاز آبی استان‌های بزرگ مرکزی ایران به آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعت را تأمین می‌نماید. بیش از ۸۰۰۰۰ هکتار از اراضی استان اصفهان از طریق هفت شبکه آبیاری به‌طور مستقیم از طریق رودخانه زاینده‌رود سیراب می‌شوند.

امروزه، حفظ منابع آب و بهره‌برداری بهینه و اقتصادی از آب یک مسئله جهانی است. منابع آب تحت تأثیر شرایط طبیعی، توسعه اقتصادی، تغییرات آب‌وهوایی جهانی و سایر عوامل قرار دارند. بحران آب جدی است و حدود ۴۰٪ از جمعیت جهان در بیش از ۴۰ کشور با کمبود آب روبرو هستند (براد و همکاران، ۲۰۱۵). اگرچه مجموع آب شیرین در دسترس برای تأمین جمعیت حال حاضر جهان با تکیه بر حداقل مصرف مورد تقاضا کافی به نظر می‌رسد، اما عدم توزیع یکنواخت مکانی و زمانی منابع آب و انطباق آن با توزیع جمعیت، شرایط را به‌خصوص برای کشورهای در حال توسعه بسیار بحرانی کرده است؛ به‌طوری‌که اختلافات بین عرضه و تقاضای آب به‌طور فزاینده‌ای زیاد شده و عامل درگیری‌های اجتماعی و سیاسی گردیده است. برای رفع این درگیری‌ها، گزینه‌های توسعه پروژه‌های منابع جدید آب و افزایش راندمان کلی مدیریت آب موجود مطرح شده است. در این راستا، تخصیص بهینه منابع آب یکی از مؤثرترین راه‌ها برای مدیریت افزایش تقاضای آب و تأمین ناکافی آن است (انصاری و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱- نقشه مسیر رودخانه زاینده‌رود

استفاده از منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوضه زاینده-رود به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. بارگذاری

با توجه به افزایش جمعیت و نیاز آب شرب، افزایش اراضی زیر کشت و توسعه صنعتی در منطقه،

هدف کلی تخصیص آب، به حداکثر رساندن مزایای آب برای جامعه است که عموماً شامل مؤلفه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است. در این راستا، همواره اصل کلی، تقسیم عادلانه منابع آب در حوضه‌های رودخانه‌ای، سطوح محلی، ملی و بین‌المللی است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳).

سازمان همکاری‌ها و توسعه اقتصادی (OECD)^۱ گزارشی مبنی بر اشتراک‌گذاری خطرات و فرصت‌ها در تخصیص منابع ارائه داده است که در آن رؤس مسائلی که در تخصیص آب باید مدنظر قرار گیرد، مورد بررسی قرار گرفته است (آب‌ها و راه‌حل‌ها، ۲۰۱۷). بر اساس این گزارش، رژیم‌های تخصیصی باید خصوصیات عمومی و خصوصی منابع آب را در نظر بگیرند؛ زیرا این خصوصیات بر نحوه ارزش‌گذاری منابع در یک محیط خاص و افرادی که از مزایای آن استفاده می‌کنند، تأثیر می‌گذارد. رژیم‌های تخصیصی شامل عناصر مختلف (سیاست‌ها، قوانین، مکانیزم‌ها) است که اگر به‌خوبی طراحی شوند، می‌توانند به اهداف کارآیی اقتصادی، پایداری محیطی و برابری اجتماعی دست یابند. این اهداف مختلف و گاه متضاد یا حتی رقیب باید در تعادل باشند که مستلزم حل و فصل اختلافات بین آن‌هاست.

تا دهه ۱۹۸۰، مدیریت منابع آب در اکثر کشورها بر زیرساخت‌ها یا راه‌حل‌های فنی تأکید می‌کرد تا هدف آن برداشت حداکثر مقدار از منابع آب باشد (عرضه بیشتر). از آن زمان تاکنون این رویکرد با تأکید بیشتر بر مدیریت پایدار منابع با اتکا به راه‌حل‌های اقتصادی، از جمله نقش بیشتر مکانیسم‌های تخصیص مبتنی بر بازار، به سمت مدیریت تقاضا تغییر کرده است (آب‌ها و راه‌حل‌ها، ۲۰۱۷).

اسپید و همکاران (۲۰۱۳) در کتاب خود با عنوان طرح‌ریزی تخصیص آب حوضه بر این نکته تأکید می‌کنند که هیچ الگوی واحدی برای مدیریت منابع آب وجود ندارد. رویکردها و تکنیک‌های مدیریت آب همیشه بر

بیش از حد ظرفیت و به‌عبارت دیگر برداشت بیش از حد آب، به‌خصوص در بالادست و سرشاخه‌ها و به‌طورکلی توسعه بیش از توان سرزمین در حوضه زاینده‌رود، چه در بخش صنعت و چه در بخش کشاورزی، وضعیت شکننده موجود زاینده‌رود را به‌وجود آورده است (صفوی و راست‌قلم، ۱۳۹۵). تداوم خشک‌سالی در حوضه زاینده‌رود در ۴۰ الی ۵۰ سال گذشته باعث مشکلات جدی در زاینده‌رود شده است (سالمی و حیدری، ۱۳۸۵). با وجود کم‌آبی و شرایط بحران آب، راندمان و سوددهی آب در استان اصفهان بسیار کمتر از معیارهای بین‌المللی است. روش‌های تخصیص آب در حوضه زاینده‌رود سازگاری لازم برای شرایط بحران آب فعلی را ندارند و باید تجدید نظر شوند.

در سالیان گذشته، تأمین منابع آب جدید همچون انتقال آب بین حوضه‌ای و انتقال آب دریا به‌عنوان گزینه‌های پیش رو در مدیریت این حوضه پیچیده، همواره مورد نظر تصمیم‌گیران بوده است. این در حالی است که این افزایش در عرضه تقریباً بلافاصله با افزایش تقاضا مواجه شده و تقریباً تطبیق فوری عرضه و تقاضا به‌محض در دسترس قرار گرفتن منابع جدید آب وجود دارد (علیجانیان و همکاران، ۱۳۸۷). بر اساس قوانین مرتبط با منابع آب، رعایت حقایق زیست‌بوم‌ها هم یک اولویت است که باید در مدیریت جامع به آن توجه ویژه شود؛ بنابراین، از یک سو رعایت حقایق الزامی است و از سوی دیگر، توسعه کشاورزی، صنعت و شهرنشینی باید به‌طور برنامه‌ریزی شده پیش برود (امینی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). برای استمرار حیات زاینده‌رود، مدیریت جامع و مبتنی بر اهداف چندگانه و همچنین برنامه‌ریزی‌های درازمدت تخصیص منابع آب به‌منظور مقابله با بحران آب یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (سالمی و حیدری، ۱۳۸۵).

تخصیص آب، ترکیبی از اقداماتی است که مصرف‌کنندگان آب را قادر می‌سازد تا آب را برای اهداف سودمند با توجه به سیستم حقوق و اولویت‌ها دریافت کنند.

اساس بافت محلی، مؤسسات، تاریخ و شرایط شکل می‌گیرد. این بدان معناست که همیشه تفاوت‌های مهمی بین رویکردهای اتخاذ شده در کشورهای مختلف وجود خواهد داشت.

به‌طور معمول، مدیریت منابع آب به جنبه‌های مختلفی چون اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بستگی دارد که احتمالاً با یکدیگر در تضاد هستند؛ حداکثر سود اقتصادی، کاهش تبعات اجتماعی ناشی از بیکاری و مسائل زیست‌محیطی، از جمله انتشار آلاینده‌ها در آب، از جمله این اهداف به‌ظاهر متناقض هستند؛ بنابراین، در دهه‌های اخیر، تحلیل سیستم به‌طور گسترده‌ای در مدیریت تخصیص منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است. تحلیل سیستم، در مدل‌های توسعه‌یافته، برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی از منابع آب استفاده می‌شود. در مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه، اهداف می‌توانند از نوع بهینه‌سازی، کمینه‌سازی و یا ترکیبی از هر دو نوع باشند. همچنین، اهداف مورد استفاده در مسئله ممکن است در مواردی متضاد با یکدیگر عمل نمایند. لذا، در این‌گونه مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، بهینه‌شدن یک تابع هدف لزوماً مترادف با بهینه‌شدن تمامی توابع هدف دیگر مسئله نیست (چن و همکاران، ۲۰۰۷). روش‌های مختلفی برای تحلیل مسائل چندهدفه کاربرد دارند که شامل وزن دادن به اهداف مسئله، اولویت مطلق، معیار جامع و روش برنامه‌ریزی آرمانی هستند (اکبری و مهدی زاهدی، ۱۳۸۷).

در این راستا، مدل‌های ریاضی در بسیاری از جنبه‌های مدیریت تعارض، برای تحقق دستاوردهای مشترک مفید بوده‌اند و توسط مدیران برای تصمیم‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (چن و همکاران، ۲۰۰۷). امروزه، از روش‌های عددی مبتنی بر مدل‌های ریاضی به‌طور گسترده‌ای برای مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه به‌منظور به‌دست‌آوردن طرح‌های تخصیص بهینه آب استفاده می‌شود. در این راستا، مجموعه‌ای از مدل‌های

بهینه‌سازی مانند مدل‌های برنامه‌نویسی تک‌هدفه، چندهدفه، برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای و برنامه‌نویسی چندمرحله‌ای توسعه داده شده‌اند. با پیشرفت تدریجی تحقیقات مرتبط، عدم قطعیت‌های مختلفی مثل فازی و تصادفی در هنگام ایجاد مدل‌های بهینه‌سازی برای استفاده کامل از داده‌های جمع‌آوری شده و توصیف دقیق مشکلات، در نظر گرفته شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۷؛ شاه ولی کوه شوری و همکاران، ۱۳۹۷؛ آقازاده اردبیلی و همکاران، ۱۳۹۷). استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌یابی و روش‌های نرم در تخصیص بهینه آب و بهینه‌کردن بازده برنامه‌های مدیریت آب بسیار شایع و کارآمد هستند (داویدجانی و همکاران، ۲۰۱۶؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ نصیری و معروفی، ۲۰۱۷). در این میان، از مدل برنامه‌نویسی تصادفی چندمرحله‌ای چندهدفه (IMMSP)^۵، برنامه‌نویسی هدف (GP)^۶، برنامه‌نویسی هدف‌گذاری وزن‌دار (WGP)^۷، برنامه‌ریزی چندهدفه غیرخطی با محدودیت اعتبار زمانی فازی (INMP^۶-FIC) و روشی مبتنی بر مدل‌های مرکب از طریق تحلیل الگوی MOA^۷ با استفاده از الگوریتم فراکاوشی موسوم به Tchebycheff استفاده شده است (شوی و خان، ۲۰۰۵؛ گو و همکاران، ۲۰۱۸؛ کای و همکاران، ۲۰۰۴؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

در دهه‌های اخیر، رویکردهای مختلف برنامه‌ریزی و الگوریتم‌های متنوع بهینه‌سازی جهت تحلیل سیستم و اصلاح تخصیص منابع آب زاینده‌رود مورد استفاده قرار گرفته است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۳؛ پورکاظمی و والی، ۱۳۹۳؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۴؛ فهرستی و همکاران، ۱۳۹۶؛ کیانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ مردانی نجف‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). در این پژوهش‌ها، عموماً افزایش ارزش اقتصادی آب مبنای اصلاح الگوی تخصیص بوده است و جنبه‌های اجتماعی و فرهنگی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که در نگاه کلان، حفظ سرمایه‌های اجتماعی و توسعه پایدار نباید مورد

5- Interval Nonlinear Multiobjective Programming
6- Fuzzy Interval Credibility Constraint
7- Multi-objective Analysis

2- Interval Multi-objective Multi-stage Stochastic Programming
3- Goal Programming
4- Weighted Goal Programming

غفلت قرار گیرد. مشکل اساسی در تخصیص بهینه منابع آب زاینده‌رود این است که گروه‌های ذینفع مختلف اهداف متفاوتی را دنبال می‌کنند که با یکدیگر در تضاد هستند. همچنین باید به این نکته توجه داشت که ارزش اقتصادی و اجتماعی آب در قسمت‌های مختلف حوضه یکسان نیست (عسگری و همکاران، ۱۴۰۱).

با توجه به اینکه بخش اعظم آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، افزایش بهره‌وری کشاورزی با هدف افزایش ارزش اقتصادی آب و افزایش ارزش غذایی و تأثیرات اجتماعی و امنیتی بر جامعه محلی و ملی محصولات به صورت انواع مداخلات^۸ همواره مورد توجه قرار گرفته است (علی و تالوکر، ۲۰۰۸؛ مولدن و همکاران، ۲۰۱۰؛ پانندی و همکاران، ۲۰۱۶؛ وسترن و همکاران، ۲۰۱۸؛ جیوردانو و همکاران، ۲۰۲۱). در کشور ایران نیز پژوهش‌های انجام شده بر تأثیر مداخلات مختلف مرتبط بیشتر بر اصلاح الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری متمرکز بوده است (نصیبیان و همکاران، ۱۳۹۳؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ طباطبائی و شهیدی، ۱۳۹۶؛ اسماعیلی موخر فردویی و همکاران، ۱۳۹۷؛ فضل الهی و همکاران، ۱۳۹۸). در این پژوهش، الگوی بهینه تخصیص آب زاینده‌رود بین شبکه‌های آبیاری بر اساس اهداف اقتصادی و اجتماعی ارائه می‌شود. برای افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی تمهیداتی به صورت سطوح مداخله ارائه گردیده و در برنامه‌های تخصیص اعمال می‌گردد و نتایج اعمال سطوح مختلف مداخله با یکدیگر و با وضعیت تخصیص فعلی مقایسه می‌گردد. در این پژوهش، فرض بر این است که در هر شرایطی حجم آب مورد نیاز بخش شرب شهر اصفهان و حومه به میزان ۳۴۰ میلیون مترمکعب، بخش صنعت استان به میزان ۹۰ میلیون مترمکعب و همچنین حقابه زیست‌محیطی تالاب گاوخونی به مقدار ثابت ۱۴۰ میلیون مترمکعب تخصیص داده شده و از میزان حجم آب در دسترس کسر می‌گردد و لذا برنامه تخصیص روی میزان حجم آب مورد نیاز صرفاً بخش کشاورزی وابسته به آب

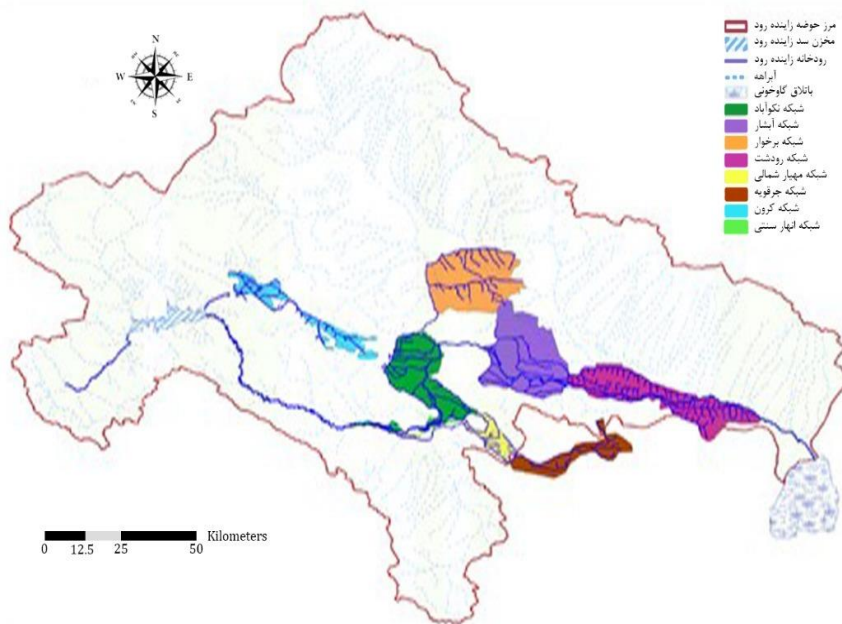
زاینده‌رود اعمال می‌شود. همچنین، از وجود محدودیت حقوقی تغییر حقابه‌ها در باز تخصیص صرف نظر شده است. سال انتخاب شده برای برنامه‌ریزی سال ۱۳۹۵ است زیرا در این سال اطلاعات قابل استناد از بخش کشاورزی و شبکه‌های آبیاری حوضه در دسترس بوده و همچنین این سال به شرایط نرمال آبی نزدیک است.

مواد و روش‌ها

آب سطحی که از رودخانه زاینده‌رود برای بخش کشاورزی در نظر گرفته شده بین هفت شبکه آبیاری و زهکشی حوضه زاینده‌رود شامل شبکه‌های رودشت، آبخار، نکوآباد، سستی، مهیار و جرقویه (تلفیقی)، برخوار، کرون و خمیران (تلفیقی) به مصارف کشاورزی شامل محصولات زراعی و باغی می‌رسد. در شکل ۲، نقشه شبکه‌های اصلی زاینده‌رود نشان داده شده است. همچنین، سالانه بخشی از آب زاینده‌رود به مصرف شرب اصفهان بزرگ، نایین و کاشان و صنایع اصلی استان شامل صنایع فولاد، نیروگاه و پتروشیمی و تولید سیمان اختصاص می‌یابد. در جدول ۱، در ستون‌های دو و سه به ترتیب مساحت زیر کشت هر شبکه و میزان آب تخصیص یافته بین شبکه‌های مختلف در سال مرجع ۱۳۹۵ ارائه شده است. برای محاسبه ارزش پولی و ارزش افزوده آب در هر یک از شبکه‌های آبیاری نیاز به اطلاعات جامع و دقیق شامل نوع کشت محصولات باغی و زراعی و سطح زیر کشت و آب مورد نیاز و ارزش محصول (داخلی و صادراتی) است. اطلاعات موجود از منابع مختلف طی بازه زمانی ۱۳۸۹-۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت و از میان آن اطلاعات سال ۱۳۹۵ هم به دلیل کامل بودن اطلاعات و هم بدلیل اینکه سال ۱۳۹۵ سال نرمال آبی است انتخاب گردید.

نیاز آبیاری شهرستان‌های مرتبط به هر یک از شبکه‌های آبیاری حوضه بر اساس محصولات کشت شده در هر یک از شهرستان‌ها و نیاز آبی آن محصولات به دست می‌آید (علیزاده، ۱۳۹۴). سپس، با استفاده از نیاز آبیاری

شهرستان‌های مرتبط به هر یک از شبکه‌ها و سطح زیر کشت آن شهرستان‌ها، از رابطه متوسط وزنی استفاده کرده و نیاز آبیاری هر یک از شبکه‌ها تعیین می‌گردد.



شکل ۲- جانمایی شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود (وزارت نیرو، ۱۳۸۷)

تعیین می‌گردد. ارزش هر مترمکعب آب در هر شبکه در ستون ۴ جدول ۱ ارائه گردیده است.

ارزش افزوده بخش کشاورزی برای کل شهرستان‌های استان اصفهان توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان اعلام شده است (صفاری، ۱۳۹۶). با استفاده از سطح زیر کشت هر یک از شهرستان‌ها که با آب سطحی رودخانه زاینده‌رود تغذیه می‌شوند، ارزش افزوده شهرستان‌های مرتبط به شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود به‌دست می‌آید. در نهایت با استفاده از حجم آب تخصیص داده‌شده به شبکه‌های آبیاری حوضه، ارزش افزوده هر یک از شبکه‌ها به ازای هر مترمکعب آب تعیین می‌گردد که در ستون ۵ جدول ۱ ارائه گردیده است. تعداد کل کشاورزان شاغل در هر یک از شهرستان‌ها توسط سازمان بودجه و برنامه استان اعلام شده است (صفاری، ۱۳۹۶). ابتدا تعداد کشاورزان هر شهرستان بر کل سطح زیر کشت شهرستان تقسیم می‌گردد تا تعداد کشاورز شاغل در

استان اصفهان دارای تنوع محصولات کشاورزی قابل ملاحظه‌ای است. ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب برای هر یک از محصولات زراعی و باغی بر اساس میزان مصرف آب، قیمت فروش، هزینه تولید و عملکرد محصول از رابطه (۱) تعیین می‌گردد (یانگ، ۲۰۰۵):

$$E = (G - P) / W \quad (1)$$

E^a = ارزش هر مترمکعب آب (ریال بر مترمکعب)

G^{10} = درآمد ناخالص محصول

P^{11} = هزینه تولید محصول

W^{12} = نیاز آبی محصول (با در نظر گرفتن راندمان آبیاری) با استفاده از رابطه متوسط وزنی و بر اساس سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در هر یک از شهرستان‌ها، ارزش هر مترمکعب آب هر یک از شهرستان‌ها به‌دست می‌آید. در نهایت، با استفاده از رابطه متوسط وزنی بین ارزش هر مترمکعب آب شهرستان‌ها و سطح زیر کشت آن‌ها، متوسط وزنی ارزش هر مترمکعب آب برای هر یک از شبکه‌ها

11- Product production cost
12- Water requirement of the product

9- Economic value of every cubic meter of water
10- Gross product revenue

بر هکتار) و سطح زیر کشت هر یک از شبکه‌ها، تعداد کشاورزان شاغل در هر یک از شبکه‌ها تعیین می‌گردد (ستون ۶ جدول ۱). از حاصل تقسیم تعداد کشاورزان شاغل در هر شبکه و حجم آب تخصیص داده شده به هر یک از آن‌ها، راندمان اشتغال برای هر میلیون مترمکعب آب به دست می‌آید که در ستون ۷ جدول ۱ ارائه گردیده است.

هر یک هکتار شهرستان تعیین گردد. سپس با استفاده از رابطه متوسط وزنی بین راندمان اشتغال (نفر بر هکتار) و متوسط وزنی نیاز آبیاری هر یک از شهرستان‌های مرتبط به شبکه‌های آبیاری، متوسط وزنی راندمان اشتغال در یک هکتار برای هر یک از شبکه‌های آبیاری حوضه به دست می‌آید. از حاصل ضرب متوسط وزنی راندمان اشتغال (نفر

جدول ۱- اطلاعات تخصیص آب زاینده‌رود به بخش‌های مختلف کشاورزی بر اساس آمار سال ۱۳۹۵

1	2	3	4	5	6	7
شبکه‌های آبیاری	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب تخصیصی (میلیون مترمکعب)	متوسط وزنی ارزش پولی (ریال بر مترمکعب)	ارزش افزوده (ریال بر مترمکعب)	تعداد کشاورزان شاغل	راندمان اشتغال (نفر بر میلیون مترمکعب)
رودشت	22000	156.65	7042	15376	7356	46.96
آبشار	15000	117	7042	14037	5015	42.87
نکوآباد	27000	224.50	10328	28456	19128	85.20
سنی	4000	30	10954	19331	2327	77.56
مهبیار	5000	35	9192	17677	2322	66.34
برخوار	4000	44.50	9818	22041	2090	46.97
کرون	3000	31.35	13973	18615	1731	55.22
کل	80000	639	9879	20828	39969	62.55

۱) تابع تک هدفه اقتصادی با هدف حداکثر کردن سود اقتصادی ناشی از تخصیص آب بر اساس ارزش پولی آب

۲) تابع تک هدفه اجتماعی با هدف حداکثر کردن اشتغال ناشی از تخصیص آب بر اساس راندمان اشتغال

۳) تلفیق توابع هدف اشتغال و ارزش پولی با روش اولویت مطلق با در نظر گرفتن تابع هدف ارزش پولی به‌عنوان اولویت اول (اکبری و مهدی زاهدی، ۱۳۸۷).

۴) تلفیق توابع هدف اشتغال و ارزش پولی با روش اولویت مطلق با در نظر گرفتن تابع هدف اشتغال به‌عنوان اولویت اول (اکبری و مهدی زاهدی، ۱۳۸۷)

۵) تلفیق توابع هدف اشتغال و ارزش پولی با روش معیار جامع (اکبری و مهدی زاهدی، ۱۳۸۷)

جهت اجرای برنامه‌ریزی تخصیص از نرم‌افزار لینگو^{۱۳} استفاده شده است. نرم‌افزار لینگو یک نرم‌افزار بهینه‌سازی با استفاده از مدل ریاضی است. این نرم‌افزار قدرتمند توانایی حل مدل‌های بسیاری از جمله خطی و غیرخطی را

بر اساس آمارهای موجود، با تخصیص ۶۳۹ میلیون مترمکعب آب سطحی برای بخش کشاورزی استان اصفهان در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵، ارزش هر مترمکعب آب برای شبکه‌های آبیاری به‌طور متوسط حدود ۹۸۷۹ ریال است. ارزش افزوده به ازای هر مترمکعب آب در سال ۹۶-۱۳۹۵ به‌طور متوسط برای شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود حدود ۲۰۶۶۱ ریال است. راندمان اشتغال به‌طور متوسط برای شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود حدود ۶۲ به ازای هر میلیون مترمکعب آب تعیین می‌گردد.

تخصیص بهینه آب زاینده‌رود

جهت برنامه‌ریزی تخصیص آب زاینده‌رود بین شبکه‌های مختلف کشاورزی، پنج برنامه تخصیص با اهداف مختلف و یا تلفیق اهداف به شرح زیر تعیین گردیده است:

روش اولویت مطلق

در این روش، مدیران و برنامه‌ریزان می‌توانند مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه را بر اساس اهمیت و اولویت هر یک از اهداف مسئله حل نمایند. مراحل حل بر اساس این روش به شرح زیر است:

- اهداف مسئله باید به ترتیب از با اولویت‌ترین به کم‌اولویت‌ترین مرتب شود.
- مسئله برنامه‌ریزی را باید تنها با کمک‌گرفتن از با اولویت‌ترین هدف و با توجه به قیود و محدودیت‌های پیش رو حل نمود.
- جواب‌های بهینه به‌دست‌آمده از حل مسئله را در تابع هدف مورد نظر (تابع هدف مورد استفاده در قسمت دوم) قرار داده و از آن به‌عنوان یک قید یا محدودیت در مرحله قبلی استفاده می‌گردد.
- در این مرحله باید دومین اولویت را به‌عنوان تابع هدف در مسئله وارد نموده و مدل را مجدداً (البته با حضور محدودیت جدید به‌دست‌آمده در قسمت قبل در جمع محدودیت‌های مسئله) حل نمود.
- با تکرار این عملیات برای سایر اولویت‌ها و با توجه به محدودیت‌های جدید ایجاد شده می‌توان جواب‌های بهینه نهایی مسئله را محاسبه نمود.

روش معیار جامع

در این روش، حل مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه بر اساس حداقل نمودن تفاوت بین هر تابع هدف و مقدار بهینه آن‌ها صورت می‌پذیرد. مراحل حل این تکنیک به شرح زیر است:

- مسئله برنامه‌ریزی خطی را ابتدا برای تک‌تک اهداف مسئله با توجه به قیود و محدودیت‌های پیش رو حل نموده و مقادیر بهینه هر یک تعیین می‌گردد.
- در مرحله بعد به کمک رابطه زیر مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه حل می‌گردد. در این رابطه Z_K^* معرف مقدار بهینه تابع هدف k ام و Z_K تابع هدف K ام است.

$$MIN Z' = \sum \left[\frac{Z_K^* - Z_K}{Z_K^*} \right] \quad (4)$$

دارد و با تنظیمات گسترده، این امکان را برای کاربر فراهم می‌کند تا بتواند بسیاری از مدل‌های پیچیده را در زمان کوتاه به‌صورت بهینه حل نماید (شریج، ۱۹۹۶).

توابع در نظر گرفته‌شده در نرم‌افزار لینگو برای توابع هدف ارزش پولی و اشتغال به ترتیب در معادلات 2 و 3 ارائه شده است:

$$MAX = (P_1 * Q_1) + (P_2 * Q_2) + (P_3 * Q_3) + (P_4 * Q_4) + (P_5 * Q_5) + (P_6 * Q_6) + (P_7 * Q_7) \quad (2)$$

$$MAX = (R_1 * Q_1) + (R_2 * Q_2) + (R_3 * Q_3) + (R_4 * Q_4) + (R_5 * Q_5) + (R_6 * Q_6) + (R_7 * Q_7) \quad (3)$$

که Q_1 آب تخصیصی به شبکه رودشت، Q_2 آب تخصیصی به شبکه آبشار، Q_3 آب تخصیصی به شبکه نکوآباد، Q_4 آب تخصیصی به شبکه سنتی، Q_5 آب تخصیصی به شبکه مهیار و جرقویه (تلفیقی)، Q_6 آب تخصیصی به شبکه برخوار، Q_7 آب تخصیصی به شبکه کرون و خمیران (تلفیقی) در نظر گرفته شده است. ضریب P در تابع هدف ارزش پولی برابر ارزش پولی آب در هر یک از شبکه‌های آبیاری است که واحد آن ریال است و در تابع هدف اشتغال، ضریب R راندمان اشتغال (نفر بر میلیون مترمکعب) در هر یک از شبکه‌های آبیاری است که حاصل تابع هدف برابر تعداد کشاورزان شاغل بر اساس تخصیص بهینه آب (واحد نفر) است.

قیود و محدودیت‌های به‌کار رفته در فرآیند تحلیل شامل در نظر گرفتن مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از متغیرها بر اساس حداقل ۲۰ درصد آب مورد نیاز و حداکثر ۲۰ درصد مازاد بر آب مورد نیاز برای هر شبکه است. به‌عبارت‌دیگر، به علت رعایت مسائل اجتماعی و حفظ توزیع جمعیت در هر شبکه حداقل ۲۰٪ آب مورد نیاز باید تأمین گردد و از طرف دیگر با توجه به ظرفیت شبکه حداکثر امکان تخصیص ۲۰٪ اضافه وجود خواهد داشت. از دیگر محدودیت‌های برنامه‌ریزی، حاصل جمع کل دسترسی‌های معادل آب در دسترس خواهد بود که بر اساس آمار سال ۱۳۹۵ بیان سد زاینده‌رود در بالادست، مقدار آن ۷۰۴ میلیون مترمکعب است.

اصلاح برنامه تخصیص با اعمال سطوح مداخله

با توجه به اینکه ارزش افزوده بخش کشاورزی در حوضه زاینده‌رود به‌طور محسوسی کم است، جهت اصلاح الگوی تخصیص و افزایش بهره‌وری، سطوح مختلف مداخله به شرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

▪ **وضعیت موجود:** طبق آمار و اطلاعات موجود، آب در دسترس بین شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود مطابق این سطح تخصیص داده شده است. این تخصیص بر اساس آمار و اطلاعات شرکت میرآب استان اصفهان و شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان برای سال نرمال آبی به‌دست آمده است که در بخش ۲-۲ ارائه گردیده است.

▪ **مداخله سطح ۱:** تخصیص بهینه آب: در این سطح با حفظ الگوی کشت موجود، به‌منظور افزایش (یا بهینه نمودن) ارزش پولی و راندمان اشتغال در هر یک از شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود، میزان آب تخصیص داده‌شده به آن‌ها بهینه می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، در توزیع آب کشاورزی بین شبکه‌ها جهت بهینه نمودن تخصیص، با دو رویکرد اقتصادی و اجتماعی بازنگری می‌شود.

▪ **مداخله سطح ۲:** اعمال الگوی بهینه کشت: در این سطح با توجه به محصولاتی که در هر یک از شهرستان‌های مرتبط به شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود کشت می‌شود، می‌توان تغییر الگوی کشت داد، به‌طوری‌که هر شهرستان اجازه کاشت فقط یک محصول باغی و یک محصول زراعی را دارد، آن هم با ارزش‌ترین محصول که دارای حداکثر ارزش پولی باشد و سابقه کشت آن در محدوده مربوطه وجود دارد. لازم به‌ذکر است که در این سطح، بر اساس ظرفیت کشت فعلی منطقه، الگوی کشت اصلاح می‌شود.

▪ **مداخله سطح ۳:** افزایش راندمان آبیاری: بر اساس مطالعات انجام‌شده راندمان مصرف آب کشاورزی با احتساب آب برگشتی حدود ۶۰٪ برآورد می‌شود (معاونت آمار و اطلاعات، ۱۳۹۷). در این سطح از مداخله، راندمان آبیاری برای هر یک از شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود از عدد ۶۰ به عدد ۷۰ افزایش یافته است. سپس حداقل و

حداکثر آب مورد نیاز و ارزش آب برای هر یک از شبکه‌ها نیز تغییر پیدا کرده و در نهایت حجم آب در نظر گرفته شده برای بخش کشاورزی استان بین هر یک از شبکه‌های حوضه به‌طور بهینه تخصیص داده می‌شود.

▪ **مداخله سطح ۴:** صادرات محصولات کشاورزی: در این سطح، با توجه به محصولاتی که در هر یک از شهرستان‌های مرتبط به شبکه‌های آبیاری حوضه کشت می‌شوند، می‌توان محصولات تولید شده را به کشورهای دیگر صادر کرد و با کسب درآمد ارزی تبعاً ارزش افزوده را افزایش داد. بدین منظور، به‌صورت واقع-بینانه، هر شهرستان ۵۰٪ از محصولات باغی خود را به کشورهای دیگر و ۵۰٪ دیگر آن و کل محصولات زراعی خود را در داخل کشور می‌فروشد زیرا مورد اخیر امکان صادرات ندارد. لذا، در این سطح مداخله، بر اساس صادرات محصولات کشاورزی، تابع هدف ارزش پولی و اشتغال به‌دست می‌آید. علاوه بر آن، برای افزایش سود اقتصادی و بهبود راندمان اشتغال در بخش کشاورزی می‌توان سطوح مختلف مداخله را با هم تلفیق کرد. باید توجه داشت که هر گونه تغییر در بخش کشاورزی با عنوان سطوح مداخلات از جمله افزایش راندمان آبیاری، صادرات محصولات کشاورزی نیاز به در نظر گرفتن تمهیدات و سرمایه‌گذاری اولیه دارد. در این پژوهش، ملاک، تغییراتی است که در بلندمدت با اجرای این سطوح مداخلات در بهره‌وری آب ایجاد می‌شود.

نتایج و بحث

تخصیص بهینه آب زاینده‌رود با استفاده از توابع مختلف تخصیص

نتایج حاصل از برنامه‌ریزی اصلاح تخصیص آب در دسترس در سال ۱۳۹۵ مبتنی بر آمار ارائه‌شده در جدول ۱ بر اساس توابع مختلف تخصیص، در جدول ۲ ارائه گردیده است. در این جدول، وضعیت تخصیص بر اساس اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای اصفهان (غیررسمی) ارائه گردیده است. همچنین، میزان تخصیص بهینه به بخش‌های

هستند. بر اساس جدول ۲، شبکه نکوآباد از نظر اشتغال در اولویت تخصیص قرار دارد و پس از آن شبکه‌های سنتی و کرون از نظر اقتصادی است. اختلاف فاحش بین حجم تخصیص در اهداف مختلف در شبکه‌های نکوآباد، سنتی و کرون مشاهده می‌شود که بین اهداف اقتصادی و اجتماعی مابینت معنی‌داری وجود دارد. همچنین، در تمام توابع تخصیص، شبکه‌های رودشت، آبشار، مهیار و برخوار به مقادیر حداقل خود دست پیدا می‌کنند.

مختلف بر اساس برنامه‌های مختلف تخصیص ارائه گردیده است. ابتدا به همه شبکه‌ها مقدار حداقل آن‌ها، یعنی ۲۰ درصد حجم آب مورد نیاز را تخصیص داده و سپس مابقی آب را به باارزش‌ترین شبکه تا رسیدن به مقدار حداکثر آن، یعنی ۲۰ درصد اضافه‌تر از حجم آب مورد نیاز آن، تخصیص می‌دهد. میزان حداقل ۲۰ درصد بر اساس مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی و تغذیه حداقلی آبخوان بر مبنای یک قضاوت اولیه انتخاب شده است. از طرف دیگر کانال‌های موجود ظرفیت افزایش ۲۰٪ حجم آب را دارا

جدول ۲- میزان تخصیص آب زاینده‌رود بین شبکه‌های آبیاری و ارزش پولی و اشتغال کل حاصل‌شده بر اساس توابع مختلف تخصیص

		اصلاح تخصیص					
		وضعیت موجود	تابع تک هدفه اقتصادی	تابع تک هدفه اشتغال	تابع چند هدفه - اولویت مطلق اقتصادی	تابع چند هدفه - اولویت مطلق اشتغال	تابع چند هدفه با روش معیار جامع
میان تخصیص آب (میلیان مترمکعب)	رودشت	156.65	40.97	40.97	40.97	40.97	40.97
	آبشار	117	27.94	27.94	27.94	27.94	27.94
	نکوآباد	224.50	455.16	519.85	455.16	519.85	519.85
	سنتی	30	63.62	31.11	63.62	31.11	31.11
	مهیار	35	9.78	9.78	9.78	9.78	9.78
	برخوار	44.50	7.92	7.92	7.92	7.92	7.92
	کرون	31.35	38.61	6.43	38.61	6.43	6.43
	ارزش پولی کل (میلیارد ریال)	15329	19515	19363	19515	19363	19363
	افزایش ارزش پولی نسبت به وضع موجود (%)	-	27.31	26.32	27.31	26.32	26.32
	ارزش افزوده کل (میلیارد ریال)	90439	122359	123179	122359	123179	123179
	افزایش ارزش افزوده نسبت به وضع موجود (%)	-	35.29	36.20	35.29	36.20	36.20
	اشتغال کل (نفر)	39970	47432	48818	47432	48818	48818
	افزایش اشتغال نسبت به وضع موجود (%)	-	18.67	22.13	18.67	22.13	22.13

۴۷۴۳۲ نفر تعیین می‌گردد که نسبت به وضعیت موجود به ترتیب ۲۷/۳۱ و ۱۸/۶۷ درصد افزایش دارد. در صورتی که اهداف اقتصادی و اجتماعی برای تخصیص آب به یک اندازه مهم باشند، در این صورت مقادیر کل ارزش اقتصادی

بر اساس یافته‌های جدول ۲، کل ارزش اقتصادی و کل اشتغال ایجادشده حاصل از تخصیص آب در صورت در نظر گرفتن ارزش پولی به‌عنوان اولویت برای هدف تخصیص به ترتیب دارای مقادیر ۱۹۵۱۵ میلیارد ریال و

همچنین راندمان اشتغال بیشتر نسبت به سایر شبکه‌ها، حداکثر آب مورد نیاز خود را دریافت کرده است.

نتایج حاصل از اعمال سطوح مختلف مداخله در تخصیص ۴۱۰ میلیون مترمکعب آب در دسترس برای بخش کشاورزی (شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود) بر ارزش پولی و وضعیت اشتغال در جدول ۴ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که در اعمال تمام سطوح مداخلات و همچنین تلفیق آن‌ها از تخصیص بهینه آب بین شبکه‌های آبیاری (سطح مداخله ۱) استفاده شده است. طبق جدول ۴، حداکثر ارزش پولی کل از تلفیق سطوح مداخله دو، مداخله سه و مداخله چهار یعنی صادرات ۵۰٪ محصولات کشاورزی با اصلاح الگوی کشت و افزایش ۱۰٪ راندمان آبیاری ۱۱۲۲۰۱ میلیارد ریال است که در این شرایط ۳۱۰۹۵ نفر اشتغال پیدا می‌کنند. به عبارت دیگر، با ایجاد تمهیدات و مداخلاتی در بخش کشاورزی، می‌توان ارزش پولی کل آب را برای این بخش نسبت به وضعیت موجود تقریباً تا ۳۰ برابر افزایش داد. به علاوه، باید توجه داشت که بخش کشاورزی با دریافت ۴۱۰ میلیون مترمکعب آب، بیشترین سود اقتصادی را به خود اختصاص می‌دهد. طبق جدول، میزان اشتغال در سطوح مختلف مداخله نسبت به وضعیت موجود حدوداً بین ۲۰ الی ۲۵ درصد افزایش پیدا می‌کند. بیشترین عدد برای میزان اشتغال بخش کشاورزی حدود ۳۱۷۶۷ نفر است که برای سطح مداخله افزایش راندمان آبیاری از ۶۰٪ به ۷۰٪ به همراه صادرات ۵۰٪ محصولات کشاورزی است و در این شرایط ارزش پولی کل برای بخش کشاورزی حدود ۳۸۹۷۲ میلیارد ریال است که نسبت به وضعیت موجود حدود ۱۰ برابر افزایش پیدا کرده است. خلاصه نتایج جدول ۳ در نمودارهای شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

آب به مقدار ۱۹۳۶۳ میلیارد ریال و اشتغال حاصل از تخصیص آب به مقدار ۴۸۸۱۸ نفر به ازای هر مترمکعب آب دست پیدا می‌کنند که این مقادیر مشابه تابع هدفی است که اشتغال به‌عنوان اولویت برای هدف تخصیص در نظر گرفته شده است و نسبت به وضعیت موجود تخصیص در سال ۱۳۹۵، ۲۶/۳۲ و ۲۲/۱۳ درصد افزایش دارد. به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که توزیع آب بین شبکه‌های مختلف به‌طور منطقی بین اهداف اقتصادی و اشتغال‌سازگاری دارند و توابع کاملاً به سمت تخصیص شبکه‌های سنتی و کرون به علت مزیت‌های اقتصادی و شبکه‌نکوآباد به علت مزیت‌های اجتماعی آن‌ها جانب‌داری دارند. نتایج نشان می‌دهد که در بعضی از شبکه‌ها بین تخصیص فعلی و وضعیت بهینه تخصیص اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با این وجود، به‌جز در موارد معدودی بین اولویت‌ها و احجام تخصیص بین توابع مختلف تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

اعمال سطوح مداخله

بر اساس بیان آبی سال ۱۳۹۵، میزان آب در دسترس حدود ۹۸۰ میلیون مترمکعب است که با کسر حبابه زیست‌محیطی به میزان ۱۴۰ میلیون مترمکعب و آب شرب به مقدار ۳۴۰ میلیون مترمکعب، صنعت به میزان ۹۰ مترمکعب و حجم آب در دسترس برای بخش کشاورزی ۴۱۰ میلیون مترمکعب است. میزان آب تخصیص داده شده به هر یک از شبکه‌های آبریز حوضه زاینده‌رود پس از اعمال سطح مداخله مختلف برای تابع چند هدفه با روش معیار جامع در جدول ۳ نشان داده شده است. طبق جدول ۳، شبکه‌نکوآباد به دلیل داشتن ارزش پولی بالای آب و

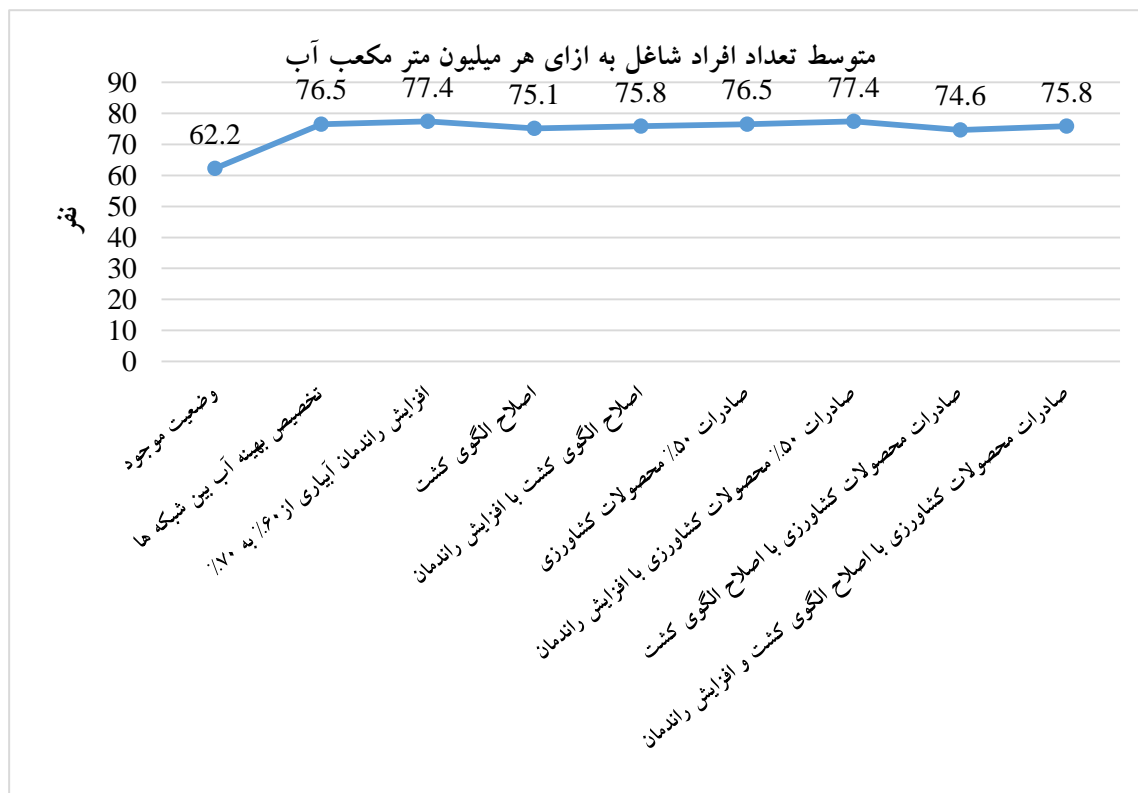
جدول ۳- میزان آب تخصیص داده شده به هریک از شبکه‌های آبریز حوضه زاینده‌رود پس از اعمال سطوح مداخله برای تابع چند هدفه با

روش معیار جامع							
1	2	3	4	5	6	7	8
	رودشت	آبشار	نکوباد	ستنی	مهیار	برخوار	کرون
وضعیت موجود	156.65	117	224.50	30	35	44.50	31.35
مداخله سطح ۱	40.97	27.94	308.48	8.48	9.78	7.92	6.43
مداخله سطح ۲	40.97	27.94	304.51	10.33	11.20	8.64	7.89
مداخله سطح ۳	35.12	23.94	300.77	29.48	8.38	6.79	5.52
مداخله سطح ۴	40.97	27.94	308.48	8.48	9.78	7.92	6.43

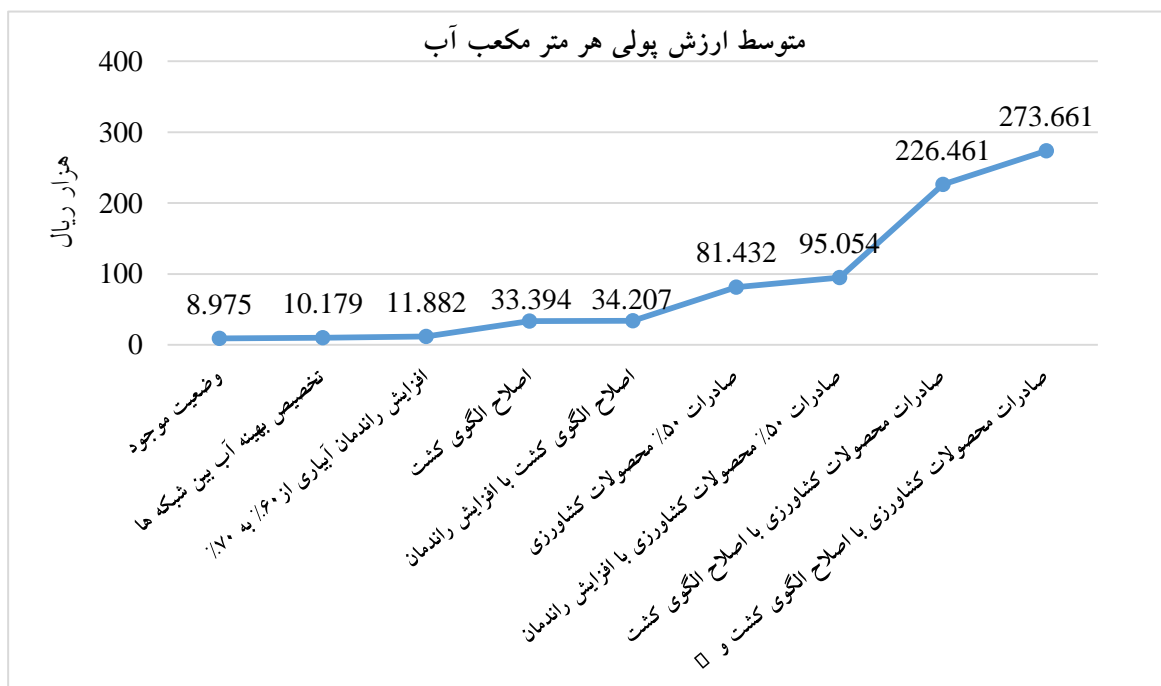
جدول ۴- نتایج حل سطوح مختلف مداخله بر توابع هدف برای کل شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود

سطح مداخله	ارزش پولی کل بخش کشاورزی (میلیارد ریال)	میزان افزایش نسبت به وضعیت موجود (برابر)	میزان اشتغال در بخش کشاورزی (نفر)	درصد افزایش نسبت به وضعیت موجود
وضعیت موجود	3693.31	---	27374	---
تخصیص بهینه آب بین شبکه‌ها (سطح یک)	4173.44	1.13	31368	22.97
اصلاح الگوی کشت (سطح دو)	11606.11	3.15	30601	19.97
افزایش راندمان آبیاری از ۶۰٪ به ۷۰٪ (سطح سه)	4871.47	1.32	31767	24.54
صادرات ۵۰٪ محصولات کشاورزی (سطح چهار)	33387.54	9.07	31368	22.97
اصلاح الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری از ۶۰٪ به ۷۰٪ (سطوح دو و سه)	14025.14	3.81	31095	21.90
افزایش راندمان و صادرات ۵۰٪ محصولات کشاورزی (سطوح سه و چهار)	38971.75	10.59	31767	24.54
اصلاح الگوی کشت و صادرات ۵۰٪ محصولات کشاورزی (سطوح دو و چهار)	92848.91	25.23	30601	19.97
صادرات ۵۰٪ محصولات کشاورزی با اصلاح الگوی کشت و افزایش راندمان (سطوح دو و سه و چهار)	112201.15	30.48	31095	21.90

شکل ۳- نتایج اعمال سطوح مختلف مداخله بر تابع هدف اقتصادی بر اساس تخصیص حجم ۴۱۰ میلیون مترمکعب آب برای بخش کشاورزی



شکل ۴- نتایج اعمال سطوح مختلف مداخله بر تابع هدف اجتماعی (اشتغال) بر اساس تخصیص حجم ۴۱۰ میلیون مترمکعب آب برای بخش کشاورزی



آب قرار دارد. این شرایط، تنش‌های اجتماعی را نیز به همراه داشته است. برای استمرار حیات زاینده‌رود، مدیریت جامع مبتنی بر اهداف چندگانه و همچنین برنامه‌ریزی‌های درازمدت تخصیص منابع آب به‌منظور مقابله با بحران آب یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است.

در این پژوهش، با اولویت دادن به آب شرب و حقبه محیط‌زیست و کسر حجم سالانه این دو از آب در دسترس رودخانه زاینده‌رود، حجم آب باقی‌مانده بر اساس وضعیت آبی سال مرجع ۱۳۹۵ بین شبکه‌های آبیاری هفت‌گانه مرتبط با جریان زاینده‌رود به‌نحوی توزیع شده تا اهداف اقتصادی شامل افزایش ارزش پولی و ارزش افزوده و اجتماعی شامل افزایش اشتغال به‌صورت توأم تأمین شود. توابع هدف اقتصادی و اجتماعی به‌صورت تک‌هدفه و چندهدفه با تلفیق توابع هدف بر اساس روش‌های اولویت مطلق و معیار جامع با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل شده است تا بهترین تخصیص منابع آب بین شبکه‌های مختلف به‌دست آید. نتایج نشان می‌دهد که در حوضه زاینده‌رود، توابع هدف اقتصادی و اجتماعی همسو هستند. به این معنی که با افزایش ارزش پولی، عموماً هدف اشتغال‌زایی نیز محقق می‌گردد. پس از تأمین آب مورد نیاز بخش صنعت، حجم آب باقی‌مانده به‌صورت بهینه بین شبکه‌های آبیاری حوضه تخصیص داده می‌شود که این تخصیص بهینه با تخصیص داده‌شده در سال مبنا متفاوت است. به‌منظور افزایش ارزش آب در بخش کشاورزی، تمهیداتی به‌صورت سطوح مداخله شامل اصلاح توزیع آب بین شبکه‌ها در وضعیت موجود کشت، تغییر الگوی کشت، افزایش راندمان آبیاری، صادرات محصولات کشاورزی و ترکیب سطوح مختلف مداخله بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و حقوقی ارائه گردید. سطوح مداخله اعمال‌شده عبارت‌اند از اصلاح توزیع آب بین شبکه‌ها در وضعیت موجود کشت، اصلاح الگوی کشت، افزایش راندمان آبیاری به میزان ۱۰٪، صادرات ۵۰٪ محصولات کشاورزی. هر یک از سطوح به‌صورت مجزا و به‌صورت تلفیقی در نرم‌افزار لینگو تحلیل‌شده و نتایج تخصیص بهینه در سطوح مختلف

نتایج نشان می‌دهد که صرفاً اصلاح تخصیص آب بین شبکه‌های آبیاری حوضه زاینده‌رود - بدون اعمال هیچ‌گونه مداخله دیگر - باعث رشد ۱۳ درصد ارزش هر مترمکعب آب و ۲۳ درصد اشتغال می‌گردد. با اعمال سطوح مختلف مداخله شامل اصلاح الگوی کشت، افزایش راندمان آبیاری و تسهیل در صادرات محصول، رشد ارزش آب تا ۳۰ برابر افزایش می‌یابد. نتایج بدست آمده با مطالعات حبیبی داویجانی و همکاران که با استفاده از روش بهینه‌سازی چندهدفه تاثیر تخصیص بهینه منابع آب در کویر مرکزی با افزایش ۵۴ درصد سود اقتصادی و ۱۳ درصد اشتغال همراه بوده است، همخوانی دارد. باید توجه داشت در کشور ایران در شرایط موجود افزایش سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی موجب کاهش ارزش افزوده بخش آب می‌شود (درزی نفت چالی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ بنابراین، به‌منظور افزایش سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی، لازم است روش‌های مناسبی در صرفه‌جویی آب و اصلاح الگوهای کشت اعمال شود تا این روند اصلاح شود. ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی مستلزم برنامه‌ریزی دقیق و اجرای صحیح آن است. اگرچه ارزش افزوده بخش کشاورزی با اعمال مداخلات مدیریتی می‌تواند به‌مراتب افزایش یابد، با این وجود، لازم است ارزش افزوده و اشتغال‌پذیری بخش کشاورزی در ازای مصرف واحد آب، با بخش صنایع آب‌بر منطقه نیز مقایسه شود. هم‌اکنون این اختلاف علی‌الخصوص در خصوص صنایع فولاد معنی‌دار است (پورکاظمی و والی، ۱۳۹۳ و عسگری و همکاران، ۱۴۰۱)

نتیجه‌گیری

کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و افزایش تقاضا، مدیریت منابع محدود آب را الزامی نموده است. در مدیریت سامانه‌های منابع آب باید جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست مدنظر قرار گیرند. گروه‌های ذینفع مختلف اهداف متفاوتی که در مواردی با یکدیگر در تضاد هستند را دنبال می‌کنند. حوضه زاینده‌رود یکی از حوضه‌های آبریز مهم کشور، تحت تنش

افزوده بخش کشاورزی با اعمال مداخلات مدیریتی می-تواند به مراتب افزایش یابد. با این وجود، لازم است ارزش افزوده و اشتغال پذیری بخش کشاورزی در ازای مصرف واحد آب، با بخش صنایع آب بر منطقه نیز مقایسه شود که موضوع تحقیق آینده است. با توجه به اینکه افزایش قیمت محصولات کشاورزی مختلف از روند رشد نسبتاً یکسانی پیروی می کند، نتایج مطالعات حاضر در تخصیص بهینه آب بین شبکه ها و افزایش ارزش محصولات در سطوح مداخله برای سال های جاری نیز معتبر است. باید توجه داشت که اعتبار پژوهش های فنی و اقتصادی تخصیص آب به طور مستقیم وابسته به دقت آمارهای در دسترس به عنوان ورودی های مدل های تخصیص است. به روزرسانی و افزایش دقت آمارهای مختلف بر دقت و اعتبار نتایج به دست آمده خواهد افزود.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

مداخله بر راندمان اقتصادی و اشتغال بخش کشاورزی تعیین گردید. نتایج تخصیص بهینه در سطوح مختلف با وضعیت موجود مقایسه گردید.

طبق نتایج به دست آمده، از تلفیق سطوح مختلف مداخله با هم در شرایط ایده آل، تغییر محصولات باغی و زراعی و تبدیل به محصولات با ارزش پولی بیشتر که در منطقه مورد نظر امکان کشت دارند، به همراه افزایش ۱۰٪ راندمان آبیاری و صادرات ۵۰٪ محصولات باغی به خارج از کشور، می تواند ارزش هر مترمکعب آب سطحی را در بخش کشاورزی به بیشترین نرخ حدود ۲۷۳۰۶۶۱ هزار ریال، معادل ۳۰ برابر وضعیت فعلی، به افزایش رساند. با انجام سطوح مختلف مداخله، میزان اشتغال بخش کشاورزی از میزان فعلی ۱۵۱ نفر در بهترین شرایط به ۱۸۹ نفر به ازای هر میلیون مترمکعب آب افزایش می یابد.

اگر چه در این پژوهش جهت مدل سازی تخصیص آب از ساده سازی هایی در محاسبه ارزش پولی بخش کشاورزی و از برنامه ریزی خطی در تخصیص استفاده شده و همچنین از محدودیت ها و الزامات حقوقی مداخلات صرف نظر گردیده است، ولی نتایج به صراحت نشان می دهد که ارزش

فهرست منابع

۱. آقازاده اردبیلی، شیمیا، کانونی، امین، حسن پور کاشانی، مهسا و برمکی، مرتضی، ۱۳۹۷. بهینه سازی تخصیص آب بین محصولات مختلف در شرایط تنش آبی در شبکه آبیاری یامچی، اردبیل. سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست با محوریت آبخیزداری و صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل. <https://civilica.com/doc/827419>
۲. اسماعیلی موخر فردویی، محمد علی، ابراهیمی، کیومرث، عراقی نژاد، شهاب، فضل الهی، هاجر. ۱۳۹۷. تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با رویکرد قیمت گذاری بر اساس نوع محصول در استان مرکزی. مدیریت آب و آبیاری، ۸(۱). صص ۱۶۳-۱۴۹. doi: 10.22059/jwim.2018.254828.602
۳. اکبری، نعمت اله و زاهدی، کیوان، ۱۳۸۷. کاربرد مدل های برنامه ریزی در اقتصاد و مدیریت. فصل پنجم: برنامه ریزی بر اساس چندین هدف. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان، ص ۹۳ و ص ۲۲۸.
۴. اکبری، ندا، نیک سخن، محمد حسین و اردستانی، مجتبی، ۱۳۹۳. تخصیص بهینه آب با استفاده از تئوری بازی های همکارانه مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده رود. <https://civilica.com/doc/1578363>
۵. اکبری، ندا، نیک سخن، محمد حسین و اردستانی، مجتبی، ۱۳۹۴. بهینه سازی تخصیص از مخزن سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تاکید بر تامین جریان زیستی رودخانه (مطالعه موردی: زاینده رود). کنفرانس بین المللی علوم، مهندسی و فناوری های محیط زیست، تهران. <https://civilica.com/doc/407697>

۶. امینی نژاد، سیدرامین، صمدی، محسن و رحمتی، مراسم، ۱۳۹۳. بحران کم آب زاینده رود، پیامدها و راهکارها. همایش ملی آب، انسان و زمین، اصفهان. <https://civilica.com/doc/319026>
۷. انصاری، حسین، بوستانی، آرمین، طباطبایی، علیرضا و فروزش، مجید، ۱۳۹۶. بررسی مدیریت مصرف و برآورد میزان تقاضای آب شرب شهری مشهد در افق ۱۴۲۰ (یادداشت فنی). آب و توسعه پایدار، ۴(۱). صص ۱۲۵-132. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.50409
۸. پورکاظمی، محمد حسین و والی، معصومه، ۱۳۹۳. مدیریت منابع آبی زاینده رود بین بخش های صنعت و کشاورزی استان اصفهان با استفاده از نظریه بازی ها. <https://civilica.com/doc/790364>
۹. درزی نفت چالی، عبدالله، رفیعی راد، ساره، خوش‌روش، مجتبی، عسگری، احمد، بابایی، محمدرضا و زیردست رستمی، حسینعلی، ۱۳۹۸. رابطه ارزش‌افزوده بخش آب با ارزش‌افزوده بخش‌های کشاورزی، صنعت و برق در استان مازندران. علوم آب و خاک، ۲۳(۱): ۵۷-۶۶.
۱۰. سالمی، حمیدرضا و حیدری، نادر، ۱۳۸۵. ارزیابی منابع و مصارف آب در حوزه آبریز زاینده رود، تحقیقات منابع آب ایران، ۲(۱)، ۷۶-۷۲. pp.
۱۱. شاه ولی کوه شوری، سحر، غضنفری مقدم، محمد صادق و خانجانی، محمد جواد، ۱۳۹۷. بهینه سازی مدیریت منابع آب با اعمال سناریوهای مختلف تخصیص (مطالعه موردی: حوضه آبریز دز)، علوم و مهندسی آبیاری، ۴۱(۱)، صص ۴۵-۵۵. doi: 10.22055/jise.2018.13452
۱۲. صفاری، بابک، ۱۳۹۶. طرح تهیه و تدوین اسناد توسعه شهرستان‌های استان اصفهان با الگوی اقتصاد مقاومتی. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان، دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه اصفهان.
۱۳. صفوی، حمیدرضا و راست قلم، مهدی، ۱۳۹۵. راهکار برون رفت از بحران آب در حوضه آبریز زاینده رود: مدیریت توامان تامین و مصرف آب، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۴)، صص ۱۲-۲۲.
۱۴. طباطبائی، سید مصطفی و شهیدی، علی، ۱۳۹۶. بررسی افزایش بهره‌وری اقتصادی آب با تغییر الگوی کشت در روستای مزرعه نو در اردکان-یزد. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۱). صص ۱۱۹-۱۲۸. <https://civilica.com/doc/1477871>.
۱۵. عسگری، سعید، شانه ساززاده، احمد و صفاری، بابک، ۱۴۰۱. برنامه‌ریزی تخصیص بهینه آب زاینده‌رود به بخش‌های کشاورزی و صنعت با استفاده از تحلیل اهداف اقتصادی و اجتماعی، سیزدهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۶. علیجانیان، محمدعلی و صفوی، حمیدرضا و ابریشمچی، احمد، ۱۳۸۷. ارتباط بین مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیر زمینی با استفاده از منطق فازی، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران. <https://civilica.com/doc/37728>
۱۷. علیزاده، امین، ۱۳۹۴. نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران، پروژه بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی ایران.
۱۸. فضل الهی، هاجر و ابراهیمی، کیومرث و فتاحی، روح اله، ۱۳۹۸. تاثیر انتقال آب بین حوضه ای بر ارزش اقتصادی منابع آب کشاورزی (مطالعه موردی: دشت اراک). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۵)، صص 1363-1373.
۱۹. فهیمی، الهه، فتاحی اردکانی، احمد و فهرستی، مسعود، ۱۳۹۷. ارزش گذاری اقتصادی خدمات بوم نظام منابع آب مطالعه موردی: رودخانه زاینده رود. <https://civilica.com/doc/763387>

۲۰. کیانی، غلامحسین، خوش اخلاق، رحمان و کمال، محمد مهدی، ۱۳۹۸. تخصیص بهینه منابع آب زاینده رود بین استان‌های چهارمحال بختیاری، اصفهان و یزد با استفاده از نظریه بازی‌ها، نظریه های کاربردی اقتصاد، ۶(۳)، صص 165-188.
۲۱. محمدی، حمید، بوستانی، فردین و کفیل‌زاده، فرشید، ۱۳۹۱. تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه غیرخطی فازی: مطالعه موردی، مجله آب و فاضلاب، ۲۳(۴)، صص 43-55.
۲۲. محمدی، حمید، سرگزی، علی رضا و دهباشی، وحید و پودینه، محمد، ۱۳۹۴. بهینه سازی الگوی کشت با تاکید بر منافع اجتماعی در بهره برداری منطقی آب در تولید محصولات زراعی: مورد استان فارس، <https://civilica.com/doc/1289193>
۲۳. مردانی نجف آبادی، مصطفی و نیکویی، علیرضا و ضیایی، سامان و احمدپور برازجانی، محمود، ۱۳۹۵. تدوین الگوی منطقه ای کشت محصولات زراعی و باغی در استان اصفهان: رویکرد برنامه‌ریزی ساختاری چند هدفه، اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۰(۳)، صص 188-206. doi: 10.22067/jead2.v30i3.53749
۲۴. معاونت آمار و اطلاعات (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان)، ۱۳۹۷. سالنامه آماری استان اصفهان سال ۱۳۹۶، تهران. سازمان برنامه‌بودجه کشور، مرکز اسناد مدارک و انتشارات.
۲۵. نصیبیان، شهریار و محمدی، حمید و کیخا، علی رضا، ۱۳۹۳. تاثیر اصلاح الگوی کشت بر کاهش کود و آب فعالیت های کشاورزی: مطالعه موردی استان فارس. <https://civilica.com/doc/1288301>
۲۶. وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۷. تعیین منابع و مصارف آب حوضه زاینده رود - ویرایش دوم، تیر ۱۳۸۷، مطالعات مرحله اول - جلد دهم - سنتز مطالعات. اصفهان، مهندسين مشاور زاینده‌آب.
27. Ali, M.H., and Talukder, M.S.U., 2008. Increasing water productivity in crop production-A synthesis. *Agricultural Water Management*, 95(11), 1201-1213.
28. Braude, E., Hauser, S., Sinuany-Stern, Z., and Oron, G., 2015. Water allocation between the agricultural and the municipal sectors under scarcity: A financial approach analysis. *Water Resources Management*, 29(10), 3481-3501.
29. Cai, X., Lasdon, L., and Michelsen, A.M., 2004. Group decision making in water resources planning using multiple objective analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(1), 4-14.
30. Chen, L., McPhee, J., and Yeh, W.W.G., 2007. A diversified multiobjective GA for optimizing reservoir rule curves. *Advances in Water Resources*, 30(5), 1082-1093.
31. Habibi Davijani, M., Banihabib, M.E., Nadjafzadeh Anvar, A. and Hashemi, S.R., 2016. Multi-objective optimization model for the allocation of water resources in arid regions based on the maximization of socioeconomic efficiency. *Water Resources Management*, 30(3), 927-946.
32. Giordano, M., Scheierling, S.M., Tréguer, D.O., Turrall, H. and McCornick, P.G., 2021. Moving beyond 'more crop per drop': Insights from two decades of research on agricultural water productivity. *International Journal of Water Resources Development*, 37(1), 137-161.
33. Guo, S., Wang, J., Zhang, F., Wang, Y., and Guo, P., 2018. An integrated water-saving and quality-guarantee uncertain programming approach for the optimal irrigation scheduling of seed maize in arid regions. *Water*, 10(7), 908.
34. Liu, J., Li, Y., Huang, G. and Chen, L. 2017. A recourse-based type-2 fuzzy programming method for water pollution control under uncertainty. *Symmetry*, 9(11), 265.
35. Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A. and Kijne, J., 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural water management*, 97(4), pp.528-535.

36. Nasiri, G. O., & Marofi, S. 2017. A multi-objective bargaining and Fuzzy programming approaches for optimal water allocation with emphasis on deficit irrigation.
37. Schrage, L. E. 2006. Optimization modeling with LINGO. Lindo System.
38. Pandey, V.L., Dev, S.M. and Jayachandran, U., 2016. Impact of agricultural interventions on the nutritional status in South Asia: A review. *Food policy*, 62, pp.28-40.
39. Song, W., Liu, Y. Q., Arowolo, A., Zhang, Y., and Xu, Q. 2018. Optimal water allocation scheme in integrated water-ecosystem-economy system. *River Basin Management. Springer*, 1-28.
40. Speed, R., Yuanyuan, L., Zhiwei, Z., Le Quesne, T., and Pegram, G. 2013. Basin water allocation planning: Principles, procedures and approaches for basin allocation planning.
41. Young, R.A. 2005 "Determining the Economic Value of Water; Concepts and Methods," Washington DC: Resources for the Future.
42. Wang, L. Z., Fang, L. and Hipel, K. W. 2003. Water resources allocation: a cooperative game theoretic approach. *Journal of Environmental Informatics*, 2(2), 11-22.
43. Waters, D., and Solutions, E. P. 2017. OECD Studies on Water.
44. Westermann, O., Förch, W., Thornton, P., Körner, J., Cramer, L. and Campbell, B., 2018. Scaling up agricultural interventions: Case studies of climate-smart agriculture. *Agricultural Systems*, 165, pp.283-293.
45. Xevi, E., and Khan, S. 2005. A multi-objective optimisation approach to water management. *Journal of environmental management*, 77(4), 269-277.
46. Zhang, F., Guo, P., Engel, B. A., Guo, S., Zhang, C., and Tang, Y. 2019. Planning seasonal irrigation water allocation based on an interval multiobjective multi-stage stochastic programming approach. *Agricultural Water Management*, 223, 105692.