

## Employing Economic Instruments to Increase Water Productivity: A Case Study, Zayandehrood River Basin

S.A. OhabYazdi<sup>1</sup>, A. Ahmadi<sup>2\*</sup> and A. Nikouei<sup>3</sup>

### Abstract

Demand management in water resources planning is a direct way to increase the net benefit generated by water known as the water use productivity. Considering the water scarcity in the recent years and the unbalance between water demand and water resources, demand management, incentive creation, improving public awareness, and establishing laws and regulations are required to decrease the water consumption, which leads to an improved water productivity. Utilizing economic instruments especially water pricing is one of the useful strategies in demand management. In this study, water pricing and incentive strategies including loan and partial grant to farmers were implemented and simulated in Zayandehrood river basin for a ten-year planning horizon (1997-2006). Also the effects of water pricing and incentive strategies on improving the irrigation efficiency, water productivity, and water consumption are investigated. To maximize the net benefit an optimization model was used with the objective function of maximizing the potential maximum net benefit. The results show that application of incentive strategies with decreasing water consumption increases the net benefit in the 10-year planning horizon to 24932 Million Rials which is 1.8 times of historical values. Based on the developed model and by combining of linear programming and budgeting methods the economic water value is estimated. The results show that improving the irrigation productivity lead to an increase in the economic water value from 1350 to 1780 Rials at the end of the planning period. The results show if water pricing and incentive strategies are used for improving irrigation efficiency, it can persuade the consumers for a decrease in water demand.

**Keywords:** Economic Instrument, Water Use Productivity, Economic Water Value, Economic Model, Genetic Algorithm

Received: September 11, 2012

Accepted: October 27, 2013

## به کارگیری ابزارهای اقتصادی در افزایش بهره‌وری آب: مطالعه موردی حوضه آبریز زاینده‌رود

سیدعلی اوهب یزدی<sup>۱</sup>، آزاده احمدی<sup>۲\*</sup> و علیرضا نیکویی<sup>۳</sup>

### چکیده

مدیریت مصرف در بهره‌برداری از منابع آب، یک مسیر مستقیم جهت افزایش ارزش تولید شده توسط آب است که با مفهوم بهره‌وری آب شناخته می‌شود. با توجه به مشکلات کمبود آب در سال‌های اخیر و عدم تعادل در عرضه و تقاضای آب، مدیریت مصرف، ایجاد انگیزه، آگاهی و قرار دادن قوانین محکمی که در کنار هم بتوانند مصرف آب را کاهش داده و بهره‌وری آب را بالا ببرند، الزامی است. از جمله ابزارهای کارآمد در مدیریت تقاضا، ابزار اقتصادی و به طور خاص قیمت‌گذاری آب است. در این تحقیق اثر قیمت‌گذاری آب و اعطای کمک هزینه به مصرف‌کنندگان کشاورزی به عنوان سیاست‌های تشویقی (از زیرمجموعه‌های ابزار اقتصادی) در حوضه زاینده‌رود برای بازه ۱۰ ساله (۱۳۷۶-۱۳۸۵) شبیه‌سازی شده است. همچنین تأثیر افزایش قیمت آب و کمک هزینه در راستای افزایش راندمان آب در افزایش بهره‌وری و مصرف آب بررسی شده است. بدین منظور برای تخمین پتانسیل حداکثر سود خالص کشاورزی، یک مدل بهینه‌سازی با تابع هدف حداکثرسازی سود خالص تدوین شده است. نتایج نشان می‌دهد که با پیاده‌سازی این سیاست‌ها، می‌توان در کنار کاهش مصرف آب، سود خالص را برای یک دوره ۱۰ ساله به ۲۴۹۳۲ میلیون ریال (۱/۸ برابر حالت فعلی) افزایش داد. همچنین با استفاده از این مدل و به کارگیری روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی و بودجه بندی، مقدار ارزش اقتصادی آب تخمین زده شد. مقدار ارزش اقتصادی آب به دلیل افزایش راندمان از ۱۳۵۰ در ابتدای دوره به ۱۷۸۰ ریال در انتهای دوره رسید. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که اگر اعطای کمک هزینه به مصرف‌کنندگان جهت افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی همگام با افزایش قیمت آب صورت پذیرد می‌تواند انگیزه مصرف‌کنندگان را در اصلاح الگوی مصرف افزایش دهد.

**کلمات کلیدی:** ابزار اقتصادی، بهره‌وری آب، ارزش اقتصادی آب، مدل اقتصادی، الگوریتم ژنتیک

تاریخ دریافت مقاله: ۲۱ شهریور ۱۳۹۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۵ آبان ۱۳۹۲

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, aahmadi@cc.iut.ac.ir.

3-Assistant Professor, Isfahan Research Center for Agriculture & Natural Resources, Isfahan, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- عضو هیات علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران.

\*- نویسنده مسئول

عنوان مثال (Karamouz et al. 2008, 2009) و همچنین Georgiou and Papamichail (2008) از مدل‌های بهینه‌سازی بهره‌گرفتند و حداکثر کردن سود حاصل از تولیدات را هدف قرار دادند. روش‌های مورد استفاده آنها برای بهینه‌سازی به ترتیب روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و بازپخت می‌باشند. نتایج این مطالعات تغییر در الگوی کشت و تدوین سیاست‌های تخصیص آب به محصولات بود.

(Nikouei et al. 2012) در مطالعه‌ای در حوضه زایندرود نشان دادند که کاهش تقاضا در بخش کشاورزی می‌تواند به حفاظت از تالاب کمک کند. در این مطالعه دو سناریو (با و بدون کمک مالی برای حفاظت آب) برای تأمین جریان زیست محیطی ارائه شد. نتایج نشان داد که کمک مالی برای حفاظت از آب می‌تواند انگیزه‌ای برای افزایش سطح کشت و همچنین افزایش عملکرد و سود کشاورزی شود.

سلطانی و زیبایی (۱۳۷۵) در دشت فیروزآباد استان فارس به این نتیجه رسیدند که با افزایش یک درصد در قیمت آب کشاورزی، مقدار تقاضا برای آب در کل دوره حدود ۰/۷ درصد کاهش می‌یابد. یافته‌های مطالعه صبحی و همکاران (۱۳۸۵) نیز نشان می‌دهد که در تعیین قیمت آب آبیاری باید دو عامل کارایی مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه و منافع خالص اجتماعی در نظر گرفته شود. با توجه به این که از بعد منافع اجتماعی، در افزایش قیمت آب آبیاری محدودیت وجود دارد.

صبحی و همکاران (۱۳۸۶) به این نتیجه رسیدند که در شرایط وجود سیاست‌های انحرافی (محدودیت‌هایی که به موجب آنها تخصیص آب را در راستای طبیعی خود خارج می‌کند و مسیر آنها را هدفمند یا بی‌هدف تغییر می‌دهند) و نقص بازار (عواملی که اجازه نمی‌دهند بازار آب به صورت رقابتی شکل بگیرد و آب به مصارف با ارزش تولید بالاتر تخصیص یابد)، با افزایش قیمت آب آبیاری منافع اجتماعی افزایش و منافع خصوصی کاهش می‌یابد. به باور توانا و صبحی (۱۳۸۶) با افزایش قیمت آب، نمی‌توان به هدف کاهش مصرف آب از منابع آب زیرزمینی دست یافت و هزینه استحصال آب، تأثیر چندانی بر بازده خالص مزرعه و در نتیجه دسترسی اقتصادی به منابع آب زیرزمینی ندارد. احمدپور و صبحی (۱۳۸۸) نیز، قیمت‌گذاری آب آبیاری را به عنوان ابزاری برای مدیریت تقاضای آب‌های زیرزمینی در منطقه دشتستان معرفی کردند. با توجه به یافته‌های تحقیق احمدپور و صبحی (۱۳۸۸)، سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری، بر کاهش مصرف آن چندان اثر

افزایش روزافزون هزینه‌های فراهم کردن آب، افزایش تقاضا، خشکسالی‌ها، تهدیدهای آینده و ناپایداری‌هایی (عدم تعادل بین عرضه و تقاضا) که به دنبال آنها وجود دارد، دولت‌ها را به فکر واداشته است که به دنبال راهکارهایی برای کاهش مصرف، استفاده کارا و در نتیجه ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا درحوضه‌ها باشند.

قیمت‌گذاری آب یکی از روش‌هایی است که علاوه بر جبران هزینه‌های فراهم آب و بهره‌برداری آن، یک روش مناسب برای ایجاد انگیزه در کاهش مصرف آب یا مصرف درست و بهره‌وری آن می‌باشد. برای اینکه قیمت‌گذاری آب مؤثر باشد، علاوه بر آگاهی از هزینه فراهم آب به عنوان حد پایین قیمت‌گذاری، نیاز است از مقدار ارزش اقتصادی آب به عنوان حد بالای قیمت‌گذاری و کشت تقاضای آب نسبت به افزایش قیمت، آگاهی داشت. ارزش اقتصادی آب در واقع ارزش نهایی است که یک واحد اضافی آب هنگامی که محدود است برای یک واحد تولید در یک فعالیت ایجاد درآمد می‌کند. همچنین کشت تقاضای آب، مقدار کاهش مصرف نسبت به افزایش قیمت می‌باشد و حساسیت مصرف‌کننده را نسبت به تغییر قیمت نشان می‌دهد.

(Rogers et al. 2002) بیان کردند قیمت‌گذاری آب یکی از ساده‌ترین روشها در مفهوم والبنه مشکل‌ترین راه در سیاست‌های اجرایی آن است. در حوضه رودخانه ساپرنارخا<sup>۲</sup> در مصرف کشاورزی ارزش تولیدی حدود ۰/۱۵ برابر هزینه فراهم آب می‌باشد و آب بهای پرداختی ۱٪ ارزش تولید شده در این بخش می‌باشد. (Diner and Mody 2004) در مرور چندین مطالعه موردی نشان دادند که سیاست قیمت‌گذاری آب تأثیر بسزایی در افزایش بهره‌وری، کاهش تقاضا و در نهایت افزایش پایداری خواهد شد.

(Contain et al. 2005) معتقدند استفاده از ابزارهای اقتصادی یا به عبارت دقیق‌تر ابزارهای پایه‌ای بازار<sup>۱</sup> هزینه‌های آلودگی و استفاده از منابع آبی را از دوش اجتماع یا آیندگان بر دوش استفاده‌کنندگان و ذینفعان قرار می‌دهد که با این روش میتوان مشکلات آثار جنبی را حل کرد. (Hussain et al. 2007) یک چارچوب و یک مجموعه‌ای از شاخص‌ها برای ارزش‌گذاری آب معرفی کردند و با جستجوی ابعاد مختلف ارزش آب در اقتصاد خرد و کلان شاخص‌های اصلی را به دست آوردند. مدل‌های بهینه‌سازی برای حداکثر کردن سود خالص و تخصیص بهینه آب توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه اشاره شده است. به

## ۲- روش انجام مطالعه

در این مقاله برای تخمین حداکثر پتانسیل سود خالص در بخش کشاورزی، از یک مدل بهینه‌سازی با تابع هدف حداکثر کردن اختلاف درآمد و هزینه‌ها استفاده شده است. برای بهینه‌سازی مدل مورد نظر به دلیل غیر خطی بودن توابع و قيود و متغیرهای زیاد مدل، از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. برای تخمین ارزش اقتصادی در این تحقیق از ترکیب روش برنامه‌ریزی غیرخطی و بودجه‌بندی استفاده شده است.

روش برنامه‌ریزی خطی<sup>۴</sup> روشی است که برای مدل‌های خطی به راحتی قابل استفاده بوده و با توجه به نتایج مدل بهینه‌سازی، قیمت سایه‌ای یا ارزش اقتصادی (افزایش سود به ازای افزایش یک واحد از منبع محدودکننده) به دست می‌آید. روش بودجه‌بندی<sup>۵</sup> روشی است که در آن دو پروژه در نظر گرفته می‌شود و در یکی طرح با آبیاری و دیگری بدون آبیاری انجام شده و با استفاده از تفاوت ناشی از تولید محصولات در این دو پروژه مقدار ارزش اقتصادی آب تخمین زده می‌شود (نشریه ۳۴۸-الف). در این مطالعه به دلیل وجود توابع و قيود غیرخطی در مدل بهینه‌سازی از ترکیب روش بودجه‌بندی و برنامه‌ریزی غیرخطی<sup>۶</sup> استفاده شده است.

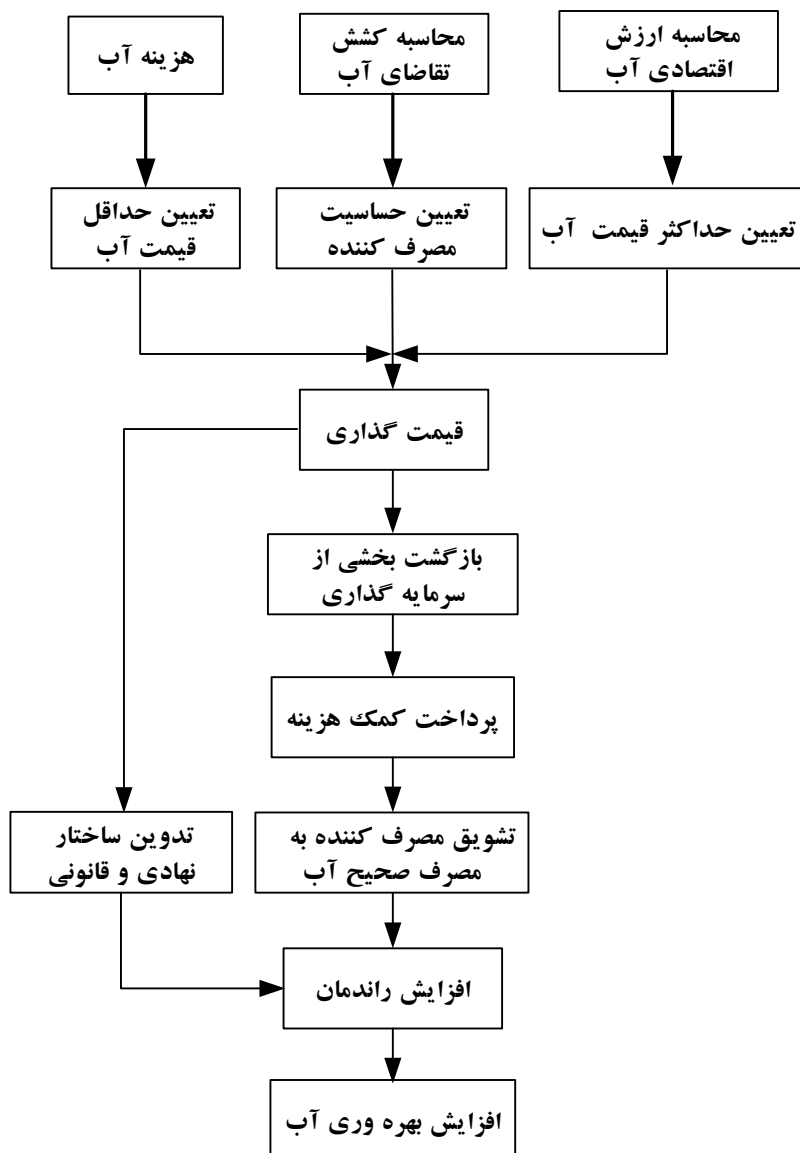
بدین منظور مدل توسعه داده شده دو بار بهینه‌سازی می‌شود. در مرحله اول فرض می‌شود میزان منابع آب به مقدار واقعی باشد اما در مرحله دوم یک درصد به منبع افزوده می‌شود. با توجه به مفهوم قیمت سایه‌ای<sup>۷</sup>، تفاوت ایجاد شده در سود خالص در اثر افزایش یک درصد منبع آب قابل همان ارزش اقتصادی (قیمت سایه‌ای) آب می‌باشد. در این تحقیق همچنین از روش تلفیقی استفاده از قیمت‌گذاری آب و اعطای کمک هزینه (سیاست تشویقی)، برای تشویق مصرف‌کننده به کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری آب استفاده شد. در شکل ۱ نحوه بهینه‌سازی مدل و تخمین ارزش اقتصادی آب نمایش داده شده است.

با توجه به شکل ۱ برای افزایش بهره‌وری آب نیاز به افزایش راندمان و قیمت‌گذاری آب می‌باشد. برای قیمت‌گذاری به شکل صحیح لازم است تا حساسیت مصرف‌کننده نسبت به قیمت و توان پرداخت مصرف‌کننده به ترتیب از طریق محاسبه کشش تقاضا و ارزش اقتصادی آب مشخص شوند. از طرف دیگر برای تشویق مصرف‌کننده باید کمک هزینه در نظر گرفته شود و نیز قانونی تعیین شود که مصرف‌کنندگان ملزم به افزایش راندمان آبیاری شوند. به این ترتیب شرایط مورد نیاز برای افزایش بهره‌وری آب فراهم می‌شود.

بخش نیست. (Esmaeili and Vazirzadeh (2009) بیان کردند که منابع آبی باید طوری تخصیص داده شود که برای همه کاربران و همه موارد استفاده، هزینه نهایی با ارزش نهایی محصول آبی برابر شود. در این مطالعه با استفاده از روش آنالیز نت-بک<sup>۳</sup> به محاسبه ارزش آب پرداختند. فتیحی و زیبایی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای با بهره‌گیری از روش برنامه‌ریزی آرمانی در جهت مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی، میزان انحراف از آرمان‌های کاهش در مصرف آب به اندازه ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و رسیدن به سود ایده آل را ارائه کردند. نتایج نشان داد که اتخاذ استراتژی‌های کم آبیاری و به‌کارگیری سیستم آبیاری بارانی منجر به کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی در مقایسه با شرایط کنونی می‌شود.

حوضه زاینده‌رود یکی از حوضه‌های بزرگ کشور است که سالانه به طور متوسط ۴۰۰۰ میلیون متر مکعب آب در بخش کشاورزی مصرف می‌کند. جهت مقایسه این دوبخش مقدار تولید ناخالص کشاورزی در این سال حدود ۹۲۰۰ میلیارد ریال است. در بخش صنعت مقدار مصرف آب و تولید ناخالص، به ترتیب ۲۰۰ میلیون متر مکعب و ۳۷۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است. ارزش ناخالص تولیدی از یک واحد آب در بخش صنعت حدود ۸۰ برابر بخش کشاورزی می‌باشد. ارزش اقتصادی آب در دو بخش کشاورزی و صنعت به ترتیب حدود ۲۴۹ و ۱۲۴۰۰۰ ریال برآورد شده است (مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع کشور، ۱۳۹۲). تفاوت زیاد تولید ناخالص و ارزش اقتصادی آب در این دو بخش و کمبود آب در این حوضه، راهکارهایی را جهت مدیریت مصرف در بهره‌برداری از منابع آب و حداکثر کردن سود خالص تولیدی با تخصیص حداقل آب می‌طلبد. در مطالعات قبلی از روش‌های مختلف ارزش‌گذاری جهت تخمین ارزش اقتصادی آب استفاده شده است و یا برای حداکثر کردن سود خالص تولید و افزایش بهره‌وری آب از مدل‌های بهینه جهت تخصیص بهینه استفاده شده اما کمتر سیاست‌های تشویقی به کار برده شده است.

در این مقاله برای کاهش مصرف آب، افزایش بهره‌وری آب (سود تولیدی به ازای یک متر مکعب مصرف آب) و تخمین ارزش اقتصادی آب در حوضه زاینده رود، از ترکیب روش‌های بهینه‌سازی، ارزش‌گذاری و سیاست تشویقی استفاده شده است. ویژگی بارز این مطالعه نسبت به مطالعات قبلی ترکیب سیاست تشویقی، ارزش‌گذاری، استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی و تعیین یک چارچوب مشخص در جهت افزایش بهره‌وری آب در یک مطالعه موردی است.



شکل ۱- نحوه اثرگذاری قیمت گذاری آب بر افزایش بهره‌وری آب

$$Max Z = Benefit - Cost$$

(۱)

که در آن  $Z$  مقدار سود خالص (Rials)،  $Benefit$  درآمد (Rials) و  $Cost$  هزینه‌های آب و آماده‌سازی شرایط جهت تولید محصول (Rials) در نظر گرفته شد.

$$Benefit = \sum_{t=1}^y \sum_{p=1}^l (py_{t,p} \times y_{t,p} \times a_p)$$

(۲)

که در آن  $py_{t,p}$  قیمت محصول  $p$  در سال  $t$  (Rials/kg)،  $y_{t,p}$  عملکرد واقعی محصول  $p$  کشاورزی در سال  $t$  (kg/hac)،  $a_p$  سطح کشت برای محصول  $p$  (هکتار)،  $l$  تعداد محصولات منطقه

در قسمتهای بعدی مقاله ابتدا ارزش اقتصادی آب محاسبه شده است، در ادامه کشش تقاضای آب نسبت به افزایش قیمت آب تخمین زده شده است. سپس استفاده از قیمت‌گذاری آب و سیاستهای تشویقی در افزایش بهره‌وری آب نشان داده می‌شود.

## ۲-۱- ساختار مدل بهینه‌سازی پیشنهادی

تابع هدف این مدل بهینه‌سازی، سود حاصل از محصولات کشاورزی را با تخصیص بهینه آب در ماه‌های مختلف و انتخاب الگوی کشت مناسب حداکثر می‌کند. برای تخمین ارزش اقتصادی آب و کشش تقاضای آب نسبت به افزایش قیمت نیز از همین مدل استفاده می‌شود.

مورد مطالعه و  $y$  کل سال‌های افق دوره بهینه‌سازی (در این مطالعه ۱۰ سال است) در نظر گرفته شد.

$$y_{t,p} = Ym_{t,p} \times \prod_{k=1}^m \left(1 - ky_{p,k} \times \left(1 - \frac{\nabla_{t,k}}{D_{t,k}}\right)\right) \quad (3)$$

که در آن  $ym_{t,p}$  ماکزیمم عملکرد محصول  $p$  در سال  $t$  ( $kg/hac$ )،  $ky_{p,k}$  ضریب حساسیت محصول  $p$  نسبت به کم آبی در ماه  $k$ ،  $\nabla_{t,k}$  آب تخصیص یافته در ماه  $k$  و سال  $t$  ( $m^3$ ) و  $D_{t,k}$  نیاز آب در ماه  $k$  و سال  $t$  در نظر گرفته شده است (Dorebbos and Kassam, 1979). در نظر گرفتن بیلان رطوبتی خاک در این معادله تخمین دقیقتری از میزان عملکرد محصول به دست می‌دهد که در این مقاله به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از رطوبت خاک در نظر گرفته نشده است.

$$Cost = \sum_{t=1}^y (wp_t \times \nabla_t + \sum_{p=1}^c FC_{t,p} \times a_p) \quad (4)$$

که در آن  $wp_t$  قیمت آب در سال  $t$  ( $Rials/m^3$ )،  $FC_{t,p}$  هزینه تولید محصول  $p$  در سال  $t$  ( $Rials/ha$ ) می‌باشد. قیود در این مدل بهینه‌سازی شامل محدودیت سطح کشت، معادله پیوستگی مخزن و قید حداقل و حداکثر سطح زیر کشت برای هر محصول با در نظر گرفتن یک رابطه خطی برای افزایش راندمان در طول دوره برنامه‌ریزی می‌باشد.

$$\sum_{p=1}^c a_p \leq A \quad (5)$$

$$S_{t,k+1} = S_{t,k} + I_{t,k} - \nabla_{t,k} \quad (6)$$

$$0.8 \times \bar{a}_p \leq a_p \leq 1.2 \times \bar{a}_p \quad (7)$$

که در آن،  $A$  کل سطح کشاورزی ( $ha$ )،  $S_{t,k+1}$  حجم مخزن سد در سال  $t$  و در ماه  $k+1$  ( $m^3$ )،  $S_{t,k}$  حجم مخزن سد در سال  $t$  و ماه  $k$  ( $m^3$ ) و  $I_{t,k}$  مقدار رواناب ورودی به مخزن در سال  $t$  و در ماه  $k$  ( $m^3$ ) متوسط کشت محصول  $k$  ام در ۱۰ سال گذشته ( $ha$ ) در نظر گرفته شده است.

محصولات زراعی انتخابی شش تا شامل گندم، جو، سیب زمینی، یونجه، برنج و ذرت خوشه‌ای بودند که در مجموع تعداد محصولات در بالا و پایین دست حوضه برابر ده در نظر گرفته شد. متغیرهای تصمیم شامل سطح زیر کشت محصولات و حجم آب تخصیص یافته ماهانه از منبع سطحی و زیر زمینی به محصولات در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه دوره بهینه‌سازی ۱۰ ساله است و تعداد منابع برداشت آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد و از طرفی تعداد ماه

تخصیص آب ۱۲ است، بنابراین برای هر محصول در کل دوره ۲۴۰ متغیر تصمیم وجود دارد. تعداد محصولات حوضه برابر ۱۰ می‌باشد که با اضافه شدن ۱۰ متغیر تصمیم سطح کشت در کل ۱۰ سال تعداد کل متغیرهای تصمیم برابر  $10 \times 12 \times 10 + 10 = 1310$  می‌باشد.

## ۲-۲- روش حل مدل بهینه‌سازی

جهت بهینه نمودن تابع هدف از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد. این مدل با جستجوی هوشمند جواب‌های بهینه، در حل مسائل بسیار بزرگ و پیچیده که روش‌های مرسوم بهینه‌سازی برای حل آنها قابل استفاده نمی‌باشد، به کار می‌رود. برای انتخاب کروموزوم‌های برتر باید با استفاده از عملگر انتخاب مقدار عددی تابع برازش مرتب شده و کروموزوم‌های برتر انتخاب شوند. کروموزوم‌های انتخاب شده نقش والدینی را ایفا می‌کنند که با اعمال عملگر تزیوج بر آنها، کروموزوم‌های جدیدی با ترکیبی از خواص کروموزوم‌های والد تولید می‌شود. عملگر تزیوج امکان ترکیب مشخصات دو کروموزوم را برای تولید نسل جدید فراهم می‌کند. عملگر جهش نیز به طور تصادفی یک یا چند ژن را در کروموزوم تغییر می‌دهد. عملگر جهش به هنگام حرکت از جمعیت حاضر به جمعیت جدید باعث می‌شود که میزان تنوع در جمعیت جدید بالا رود. مقدار احتمال جهش در این مدل برابر ۰/۱۵ در نظر گرفته شده است. تعداد کروموزوم برای تشکیل جمعیت یکبار ۴۰ و بار دیگر ۸۰ در نظر گرفته شد.

## ۳- منطقه مورد مطالعه

موقعیت حوضه زاینده‌رود و محدوده‌های مطالعاتی بالادست و پایین دست حوضه در شکل ۲ نشان داده شده است.

با حرکت از بالادست سد به سمت پایین دست مقدار بارش از ۱۴۵۰ (ایستگاه چهلگرد) به ۱۱۰ میلی‌متر در سال کاهش می‌یابد. متوسط حجم ورودی آب رواناب به رودخانه زاینده‌رود ۱۲۰۰ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. سطح کشت محصولات کشاورزی حدود ۲۷۰۰۰۰ هکتار بوده و محصولات غالب این منطقه گندم، جو، سیب‌زمینی، برنج، یونجه و ذرت می‌باشد. در سال ۱۳۸۵ مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی حدود ۴۰۰۰ میلیون متر مکعب تخمین زده شد. مقدار تولید ناخالص کشاورزی در این سال حدود ۹۲۰۰ میلیارد ریال بدست آمد. در بخش صنعت مقدار مصرف آب و تولید ناخالص، به ترتیب ۲۰۰ میلیون متر مکعب و ۳۷۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شد (مهندسين مشاور زاینده‌آب، ۱۳۸۷).



شکل ۲- موقعیت محدوده در بالادست و پایین دست حوضه زاینده‌رود

علاوه بهینه‌سازی، مدل قابلیت محاسبه ارزش اقتصادی آب را نیز دارد. بنابراین روش محاسبه ارزش اقتصادی آب ترکیبی از دو روش برنامه‌ریزی ریاضی غیر خطی و بودجه‌بندی می‌باشد. نتایج ارزش اقتصادی آب در بخش کشاورزی و صنعت برای حوضه زاینده‌رود در جدول ۱ بیان شده است. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت حدود ۱۴۱ برابر بخش کشاورزی است و این نشان از پتانسیل بالای تولید در بخش صنعت می‌باشد.

#### ۴-۲- کشش تقاضای آب نسبت به قیمت آب

برای محاسبه کشش تقاضای آب نسبت به قیمت، مدل تدوین شده برای قیمت‌های مختلف آب بهینه شده و تغییرات مصرف آب نسبت به تغییرات قیمت به دست آمد (شکل ۳). این شکل گویای کشش‌پذیری آب نسبت به قیمت است. قابل توجه است با گذر قیمت از مرز ۴۰۰ ریال، افزایش قیمت کشش پذیر شده و تا نزدیکی ۸۰۰ ریال تأثیر مطلوبی بر مصرف می‌گذارد.

در ادامه نیز دوباره از کشش‌پذیری قیمت کاسته و در انتها افزایش یافته است. دلیل اصلی این تغییرات به ارزش اقتصادی آب در محصولات مختلف بر می‌گردد.

یک مقایسه ساده بین بخش کشاورزی و صنعت نشان می‌دهد که با وجود اینکه مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی ۲۰ برابر بخش صنعت می‌باشد اما مقدار تولید ناخالص آن تنها ۲۵٪ بخش صنعتی می‌باشد. مقدار هزینه آب برای محصولات مختلف در بخش کشاورزی بین ۰/۱ تا ۹ درصد می‌باشد که این نشان می‌دهد پتانسیل افزایش قیمت آب وجود دارد. محصولات تولیدی به ترتیب سودخالص تولیدی شامل گردو، پیاز و سیب زمینی جز پرسودترین محصولات و گندم و جو جز کم سودترین محصولات می‌باشند. اما بین سود خالص و سطح محصولات کشت شده هیچ رابطه‌ای وجود ندارد و حتی گندم و جو که دارای سود خالص بسیار پایینی هستند بیشترین درصد کشت را در بین محصولات دارند (مهندسین مشاور زاینده‌آب، ۱۳۸۷).

#### ۴-نتایج

##### ۴-۱- ارزش اقتصادی آب در بخش‌های کشاورزی و صنعت

برای محاسبه ارزش اقتصادی آب همانگونه که قبلاً ذکر گردید، برای یک فعالیت خاص (کشاورزی یا صنعت) تحت محدودیت‌های واقعی منبع آب "تابع هدف" بهینه شد و سپس با افزایش یک درصد به منبع تأمین آب، مدل مورد بررسی و بهینه‌سازی مجدد قرار گرفت. این روش یکی از روش‌های محاسبه ارزش اقتصادی آب می‌باشد که

جدول ۱- مقادیر ارزش اقتصادی آب بر اساس نتایج مدل بهینه‌سازی

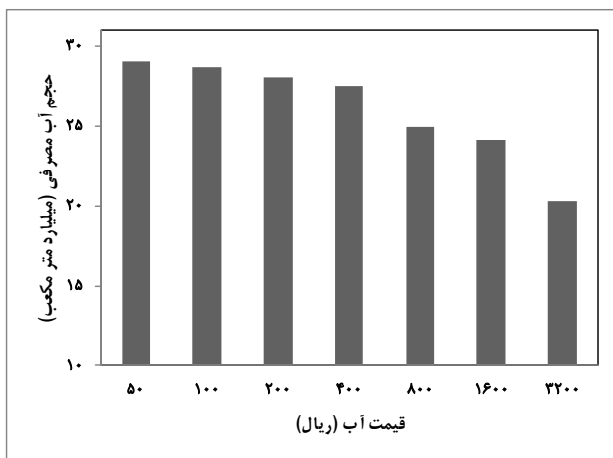
بخش	سناریو	آب مصرف شده (میلیارد مترمکعب)	سودخالص (میلیارد ریال)
صنعت	با محدودیت واقعی	۱/۱۲	۳۴۹۵۱۹
	با افزایش محدودیت	۱/۱۲	۳۵۲۰۱۶
	ارزش اقتصادی آب (ریال)	۲۴۹۲۱۲	
کشاورزی	با محدودیت واقعی	۲۸/۵	۳۲۳۵۷
	با افزایش محدودیت	۲۸/۷	۳۲۷۱۱
	ارزش اقتصادی آب (ریال)	۱۷۵۷	

متر در کل دوره افت داشته‌اند. بررسی‌ها نشان داد در صورتی که شرایط حاکم بر حوضه ادامه روند فعلی را داشته باشد، مقدار هزینه آب به ۱۴۷۲ (افزایش ۲۰٪) میلیون ریال در کل دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۶ خواهد رسید (به دلیل افت بیشتر آبخوان‌ها و افزایش هزینه پمپاژ). همچنین مقدار سود خالص محصولات کشاورزی به ۱۴۰۷۷ میلیون ریال برای کل دوره می‌رسد.

به دلیل افزایش راندمان در طول دوره بهینه‌سازی، عملکرد محصولات افزایش داشته بطوریکه به طوریکه بین ۸۸ تا ۹۴ درصد عملکرد ماکزیمم رسیده است. مقایسه درآمد، هزینه و سود خالص نشان می‌دهد که حتی با افزایش قیمت آب مقدار درآمد و سود خالص نسبت به وضعیت واقعی حوضه افزایش داشته است. یکی از دلایل اصلی افزایش سود خالص و درآمد، افزایش عملکرد محصولات به دلیل افزایش تخصیص صورت گرفته به محصولات و همچنین کاهش هزینه‌های پمپاژ از آبخوان می‌باشد. هزینه آب به دلیل افزایش قیمت آب که ناشی از افزایش راندمان است نسبت به هزینه کل و درآمد در سال‌های مختلف افزایش می‌یابد (جدول ۲).

#### ۴-۴- تغییرات ارزش اقتصادی و قیمت آب در دوره برنامه‌ریزی

در ادامه در شکل ۴ مقدار تغییرات ارزش اقتصادی و قیمت آب نشان داده شده است. با گذشت زمان به دلیل افزایش راندمان و هزینه آن به تدریج به قیمت آب و ارزش اقتصادی آب افزوده می‌شود. با افزایش راندمان و حفظ همین مقدار سطح کشت سطح آبخوان در در انتهای دوره بهینه‌سازی ۱/۵ متر نسبت به ابتدای دوره افزایش پیدا کرده است. همچنین در این سناریو مقدار سود خالص برابر ۲۴۹۳۹ میلیارد ریال برآورد گردید که در مقایسه با وضعیت واقعی (۱۴۰۷۷)، ۱/۸ برابر افزایش یافته است.



شکل ۳- کثش تقاضای بر اساس نتایج مدل بهینه‌سازی

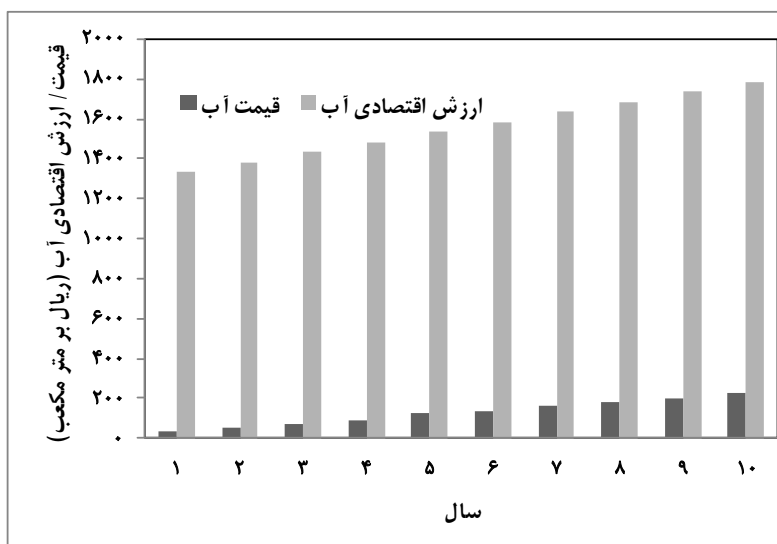
تا زمانی که قیمت کمتر ۳۰۰ ریال است، تقریباً تمام محصولات دارای ارزش اقتصادی آب بالاتری نسبت به قیمت هستند و قیمت‌گذاری تأثیر زیادی ندارد. اما در ادامه بعضی از محصولات حذف می‌شوند یا تنها بخشی از نیاز آنها تأمین می‌شود به طوریکه ارزش اقتصادی تولیدی از عملکرد تابع نسبت به قیمت آب توجیه‌پذیر باشد. هنگامی که قیمت آب بین ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ ریال در متر مکعب می‌شود، قیمت آب (مانند زمانیکه قیمت کمتر ۳۰۰ ریال است) نسبتاً کثش‌پذیری می‌باشد. هنگامی که قیمت از مرز ۱۶۰۰ ریال می‌گذرد، محصولات چندان سودآوری نخواهد داشت و فقط بخشی از نیاز با توجه به تابع عملکرد تأمین خواهد شد.

#### ۴-۳- بررسی اثر ترکیب روش ارزش‌گذاری آب و سیاستهای تشویقی

با بررسی شرایط واقعی حوضه زاینده‌رود در دوره‌های گذشته مشخص شد در سال ۱۳۸۵، مقدار سود خالص حاصل از کشت محصولات برابر ۱۴۳۶/۷ میلیارد ریال به دست آمد. همچنین با بررسی دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۵-۱۳۷۶ آبخوان‌ها به طور متوسط ۴/۵

جدول ۲- درآمد، هزینه و سود در سناریوی مورد بررسی (میلیارد ریال)

سال	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵
درآمد	۴۶۵۰	۴۸۷۹	۴۷۴۶	۴۸۹۵	۴۹۰۲	۴۹۷۰	۵۱۰۰	۵۱۱۲	۵۰۴۸	۵۱۵۸
هزینه‌های کل	۲۲۰۵	۲۲۵۶	۲۳۰۵	۲۳۵۷	۲۴۰۸	۲۴۶۰	۲۵۱۲	۲۵۶۱	۲۶۰۹	۲۶۵۹
سود خالص	۲۴۴۵	۲۶۲۳	۲۲۴۱	۲۵۳۸	۲۴۹۸	۲۵۱۰	۲۵۸۸	۲۵۵۱	۲۴۳۹	۲۴۹۹
هزینه آب	۹۹	۱۴۹	۱۹۹	۲۵۱	۳۰۲	۳۵۴	۴۰۵	۴۵۵	۵۰۳	۵۵۳
نسبت هزینه آب به درآمد (%)	۲	۳	۴	۵/۱	۶	۷/۱	۷/۹	۸/۹	۹/۹	۱۰/۷
نسبت هزینه آب به هزینه کل (%)	۴/۴	۶/۶	۸/۶	۱۰/۶	۱۲/۲	۱۴/۳	۱۶	۱۷/۷	۱۹	۲۰



شکل ۴- تغییرات ارزش اقتصادی آب و قیمت آب در سناریوی مدیریتی

مصرف‌کنندگان فشار اقتصادی چندانی وارد نمی‌گردد، بلکه از مقدار سود بیشتری بهره خواهند برد و همچنین هزینه‌های جنبی ناشی از پمپاژ آب کاهش خواهد یافت. در بخش محاسبه ارزش اقتصادی آب مشاهده شد که با افزایش بهره‌وری آب می‌توان ارزش اقتصادی آب را حدود ۱۴ درصد افزایش داد. همچنین دیده شد که در طول دوره برنامه‌ریزی می‌توان به تدریج فاصله بین ارزش اقتصادی آب و قیمت آب را کاهش و پوشش هزینه عرضه آب را بهبود بخشید. همچنین با افزایش راندمان آبیاری و کاهش برداشت آب از منابع، مقدار اتکاپذیری به آبخوان افزایش خواهد یافت.

در پایان پیشنهاد می‌شود با تخمین توابع هزینه‌های زیست محیطی و هزینه‌های تصفیه پساب کشاورزی مدل جامع‌تری از مقدار درآمد و هزینه‌ها بدست آورد. همچنین مسائلی نظیر سطح فرهنگ و آگاهی مردم منطقه در سیاست‌های پیشنهادی بررسی و اثر آن در اجرایی شدن آن سیاست‌های بررسی گردد.

#### پی‌نوشت‌ها

#### 1. Market-Based Instrument (MBIs)

#### ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله با تدوین یک مدل بهینه‌سازی با تابع هدف اقتصادی، الگوی کشت و میزان تخصیص آب در ماه‌های مختلف تعیین گردید. برای حل مدل بهینه‌سازی پیشنهادی از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد که یکی از روش‌های نوین در بهینه‌سازی می‌باشد. با انجام تحلیل حساسیت بر مدل تدوین شده، ارزش اقتصادی آب محاسبه گردید که به ترتیب در بخش کشاورزی و صنعت ۱۷۵۷ و ۲۴۹۲۱۲ ریال می‌باشد. سپس با استفاده از نمودار کشش قیمتی، مشخص شد که قیمت گذاری آب در بازه ۴۰۰ تا ۸۰۰ ریال بر کاهش مصرف آب تأثیرگذار است. نتایج نشان داد که با انتخاب الگوی مناسب کشاورزی و تخصیص زمانی مناسب و به موقع آب می‌توان سود خالص را تا ۱/۷ برابر افزایش و همچنین مقدار آب تخصیصی به مصارف را با بهینه‌سازی کاهش داد. مقدار سود خالص در حالت بهینه و واقعی به ترتیب ۲۴۲۳۹ و ۱۴۰۷۷ میلیارد ریال برای کل دوره تخمین زده می‌شود. در ادامه با بررسی ابزار اقتصادی (کمک هزینه افزایش راندمان و قیمت‌گذاری آب) مشاهده شد که اگر قیمت‌گذاری آب به نحو صحیحی انجام پذیرد و کمک هزینه‌ها در جهت افزایش بهره‌وری آب باشد، با افزایش قیمت آب نه تنها بر



کشاورزی و مصارف آب در بخش کشاورزی و مطالعات اقتصادی، جلد نهم و چهاردهم.  
نشریه ۳۴۸-الف (۱۳۸۹) راهنمای تعیین ارزش اقتصادی آب برای مصارف کشاورزی.

Contain B, Shrubsole D, Ait-ouyahia M (2005) Using economic instruments for water demand management: introduction. Canadian Water Resource Journal 30(1):1-10.

Dorebbos H, Kassam AH (1979) Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper, FAO 33(193).

Diner A, Mody J (2004) Irrigation water management policies: Allocation and pricing principles and implementation experience. Natural Resource Forum 28: 112-122.

Esmaili A, Vazirzadeh S (2009) Water pricing for agricultural production in the south of Iran. Water Resources Management 23: 957-964.

Georgiou P, Papamichail D (2008) Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. Irrigation Science 26: 487-504.

Hussain I, Turrall H, Molden D, Ahmad M (2007) Measuring and enhancing the value of agricultural water in irrigated river basins. Water Productivity: Science and Practice 22: 263-282.

Karamouz M, Zahraie B, Kerachian R, Eslami A (2008) Crop pattern and conjunctive use management: A case study. Irrigation and Drainage 59(12): 161-173.

Karamouz M, Ahmadi A, Nazif S (2009) Development of management schemes in irrigation planning: Economic and crop pattern consideration. Scientia Iranica, Transaction A: Civil Engineering 16(6): 457-466.

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

Rogers P, Silva R, Bhatia R (2002) Water as an economic good: How to use price to promote equity, productivity and sustainability. Water Policy 4:1-17.

2. Subernarekha
3. Net- back
4. Linear programming method
5. Budgeting method
6. Non-linear programming method
7. Shadow price

## ۵- مراجع

احمدپور م، صبحی صابونی م (۱۳۸۸) قیمت گذاری آب در بخش کشاورزی با استفاده از روش برنامه ریزی ریاضی: مطالعه موردی منطقه دشتستان. اقتصاد کشاورزی (اقتصاد و کشاورزی)، ۳(۳): ۱۲۱-۱۴۱.

توانا ح، صبحی م (۱۳۸۶) بررسی آثار جانبی منفی ناشی از بهره برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی شهرستان لارستان). اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۱(۲): ۶۷-۷۷.

سلطانی غ، م زیبایی (۱۳۷۵) نرخ گذاری آب کشاورزی، فصلنامه آب و توسعه، سال چهارم، شماره ۳: ۲۴-۵.

صبحی م، سلطانی غ، زیبایی م، ترکمانی ج (۱۳۸۵) تعیین راهبردهای مناسب کم آبیاری با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۴(۵۶): ۱۶۷-۲۰۲.

صبحی م، سلطانی غ، زیبایی م (۱۳۸۶) بررسی اثر تغییر قیمت آب آبیاری بر منافع خصوصی و اجتماعی با استفاده از الگوی برنامه ریزی ریاضی مثبت. اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۱(۱): ۵۳-۷۱.

فتحی ف، زیبایی م (۱۳۹۱) تعیین الگوی کشت، استراتژی و روش آبیاری بهینه در جهت پایداری منابع آب با استفاده از رهیافت برنامه ریزی آرمانی. فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، شماره ۱: ۱۰-۱۹.

مهندسین مشاور زاینده آب (۱۳۸۷) مطالعات منابع و مصارف آب حوضه زاینده رود.

مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور با رویکرد مدیریت به هم پیوسته منابع آب در حوضه آبریز گاوخونی (۱۳۹۲) مطالعات