



Economic Assessment of Technical Infrastructure Implementation of an Agricultural Water Market, A Case Study: Part of the Mahyar Irrigation Network

A. Ahmadi^{1*}, M.A. Zolfagharipoor², A.R. Nikouei³
and M.Y. Dorreali⁴

Abstract

One of the most efficient approaches for water demand management is to consider the economic aspects such as water markets. Once the social and legal frameworks of a water market is established, it is essential to provide an appropriate technical infrastructure for entering applicants into the market. Accordingly, this paper aims to implement technical infrastructure for organizing water market in five neighboring farms located in the Mahyar irrigation network in the Zayanderoud river basin. In this study, using an optimization model, a new cultivation pattern and monthly water exchange volume among farms have been determined. The objective function was to maximize the farmers' profit and the constraints consisted of water, farm, and stock constraint. For evaluating different technical methods of groundwater transmission the associated costs of two transmission approaches, i.e. surface pumping and shared aquifer, were considered as input to the model. The model is implemented and executed at drought condition. In this condition, surface water is subtracted from the legal water rights of farmers. Results showed that by establishing water market, farmer returns were increased by 28 percent comparing to the base plan. Also exchanged volume of water in the market is 47 percent of the consumption water which shows the high cooperation of farmers in the market in order to achieve a more optimal water allocation.

Keywords: Water Market, Shared Aquifer, Surface Pumping, Economic Aspects, Technical Costs.

Received: May 9, 2016

Accepted: July 27, 2016

ارزیابی اقتصادی پیاده‌سازی بستر فنی بازار آب کشاورزی، مطالعه موردی: بخشی از شبکه آبیاری مهیار

آزاده احمدی^{۱*}، محمدمین ذوالفقاری پور^۲، علیرضا نیکویی^۳
و محمدیاسر درعلی^۴

چکیده

یکی از کارآمدترین و مؤثرترین راهکارهای موجود برای مدیریت تقاضای آب توجه به جنبه‌های اقتصادی از جمله بازارهای آب است. پس از برقراری ساختارهای اجتماعی و قانونی، برای ورود متقاضیان به بازار آب، فراهم شدن بسترهای فنی مناسب نیز ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل در این مقاله، به پیاده‌سازی بسترهای فنی در راستای تشکیل بازار آب در پنج مزرعه هم‌جوار شبکه آبیاری مهیار واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود پرداخته می‌شود. به این ترتیب که با تدوین یک مدل بهینه‌سازی، الگوی کشت جدید و میزان حجم تبدیلی بین مزارع از روش‌های فنی مختلف در هر ماه تعیین گردید. تابع هدف شامل حداکثرسازی سود کشاورزان و محدودیت‌ها شامل محدودیت آب، زمین و سرمایه می‌باشد. جهت بررسی روش‌های مختلف فنی انتقال آب زیرزمینی، هزینه‌های مرتبط با دو روش انتقال با پمپاژ سطحی و استخراج از آبخوان مشترک در مدل وارد شد. مدل مذکور در شرایط خشکسالی پیاده‌سازی و اجرا شد. در این شرایط آب سطحی از حبابه قانونی کشاورزان کسر می‌شود. نتایج مطالعه نشان دادند که بازده برنامه‌ای کشاورزان پس از ایجاد بازار به میزان ۲۸ درصد نسبت به حالت پایه افزایش می‌یابد. همچنین حجم آب مبادله شده در بازار ۴۷ درصد از حجم آب مصرفی است که نشان‌دهنده مشارکت بالای کشاورزان در بازار، جهت تخصیص بهینه‌تر آب است.

کلمات کلیدی: بازار آب، آبخوان مشترک، پمپاژ سطحی، جنبه‌های اقتصادی، هزینه‌های فنی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۵/۶

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

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

3- Assistance Professor, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Isfahan, Iran.

4- M.Sc., Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*- Corresponding Author

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

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

۳- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران.

۴- کارشناس ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*- نویسنده مسئول

با توجه به این که ایران کشوری خشک و نیمه خشک است، مسأله بحران آب و تخصیص بهینه آن همواره اهمیت زیادی دارد. در سال‌های اخیر با وقوع تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی در کشور، بحران حاکم بر منابع آب جدی‌تر شده است. بنابراین، لزوم برقراری ابزارهای سیاستی در جهت تخصیص بهینه منابع آب بین مصرف‌کنندگان مختلف و کاهش آثار کمبود آن محسوس می‌باشد.

بر اساس اقتصاد کشاورزی در صورت وجود یک سیستم حقوق مالکیت خصوصی با قابلیت انتقال منابع آبی، ایجاد و توسعه بازار آب سبب افزایش ضریب اطمینان در دسترسی به آب و کاهش ریسک کشاورزان گردیده و به‌نحو مطلوبی مدیریت و تخصیص بهینه آب را منعکس می‌کند (Johansson, 2000). بازارهای آب در بخش کشاورزی یک راه‌حل امیدبخش جهت افزایش کارایی اقتصادی^۱ آب می‌باشند که کشاورزان با فرصت‌های ایجاد شده در آن از طریق بهبود شیوه‌های مدیریت تأمین آب، برای اجاره و فروش آب اقدام نموده و در جهت تبدیل جریان‌های سطحی و نفوذ عمیق آن در راستای تأمین آب قابل فروش در بازار تلاش خواهند نمود که منجر به کاهش فشار کشاورزان به منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود (Wichelns, 1999). بنابراین ویژگی اصلی که موجب معرفی بازار آب می‌شود، توانایی آن در تخصیص مجدد آب بین مصارف گوناگون است، به‌نحوی که آب به مصارفی تخصیص خواهد گرفت که ارزش‌های بالقوه بالاتری از آب ایجاد می‌کنند و بالطبع، مطلوبیت منطقی بیش‌تری از منابع آب در مصارف خود به‌دست می‌آورند. به‌این ترتیب، این ابزار اقتصادی امکان دست‌یابی به کارایی بیش‌تر در تخصیص آب و حداکثر شدن رفاه اجتماعی^۲ را فراهم می‌کند.

محققان زیادی در مورد بازار آب و اثرات رفاهی آن، تأثیر اقتصادی تبادل آب بر الگوی کشت، بازده برنامه‌های کشاورزان و تأثیر هزینه‌های فنی تبادل آب در بازار آب مطالعاتی را انجام داده‌اند. Hearne and Easter (1997) به بررسی منافع اقتصادی و مالی حاصل از مبادلات انجام شده در بازار آب پرداخته‌اند. تحلیل اقتصادی برای بررسی میزان بازده خالص کشاورزان و تحلیل مالی جهت بررسی انگیزه مشارکت در بازار انجام شده است.

Tisdell (2001) به بررسی اثرات زیست محیطی بازار آب پرداخته و بیان می‌کند که ایجاد بازار آب ممکن است برخی از منافع زیست محیطی را تحت تأثیر قرار دهد که باید با تدوین قوانین لازم از اثرات

منفی جلوگیری شود. Zekri and Eeaster (2005) با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی^۳ به شبیه‌سازی بازار آب و ارزیابی منافع اقتصادی حاصل از ایجاد بازار آب بین کشاورزان و هم‌چنین بین کشاورزان و شرکت‌های تأمین‌کننده آب شهری پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که حجم مبادلات بین کشاورزان محدود بوده و تأثیر ناچیزی بر درآمد آن‌ها دارد ولی حجم انتقال آب از کشاورزان به شرکت‌های تأمین‌کننده آب شهری بالا بوده و سود کشاورزان را افزایش می‌دهد. Gomez-Limon and Martinez (2006) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره^۴ به شبیه‌سازی بازار آب جهت تحلیل اثرات اقتصادی و اجتماعی ناشی از ایجاد بازار آب پرداخته‌اند.

Zaman et al. (2009) یکپارچه‌سازی یک مدل دادوستد اقتصادی و یک مدل تخصیص آب هیدرولوژیکی را مورد بررسی قرار دادند که این مدل یکپارچه اثرات دادوستد موقتی آب و نقل‌وانتقال فیزیکی آب را برآورد می‌کند. Gallego-Ayala et al. (2011) به تجزیه و تحلیل عواقب احتمالی استفاده از ابزارهای مختلف قیمت‌گذاری آب آبیاری و مطالعه تأثیر آن‌ها بر پایداری مناطق آبی پرداخته‌اند. آن‌ها از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای شبیه‌سازی رفتار کشاورزان در پاسخ به ابزارهای مختلف قیمت‌گذاری استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که قیمت‌گذاری آب، تأثیر منفی بر پایداری داشته است؛ زیرا پایداری از نظر اقتصادی (سودآوری) و اجتماعی (اشتغال نسل‌ها) کاهش خواهد یافت. این در صورتی است که بهبود جزئی در پایداری محیط‌زیست به‌دست می‌آید. Nikouei and Najafi (2011) شبیه‌سازی یک بازار آب برای تحلیل جنبه‌های اقتصادی و رفاهی متأثر از آن پرداختند. آثار رفاهی حاصل از تشکیل بازار با استفاده از برآورد توابع عرضه و تقاضای آب در حالت‌های مبادله و عدم مبادله آب بررسی شد. نتایج نشان داد که پس از برقراری بازار آب، کشاورزان به افزایش بازده برنامه‌ای خود با تغییر تخصیص زمین بین محصولات مختلف، اختصاص بهینه آب و فروش آب مازاد بر نیاز یا خرید آب مورد نیاز خود اقدام خواهند کرد.

Howitt et al. (2012) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت نقش بازارهای انتقال آب را در کالیفرنیا مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور، آن‌ها در مدل خود از تابع هزینه‌نمایی استفاده کرده‌اند. Britz et al. (2013) مدل‌های اقتصادی آب حوضه رودخانه‌ای را بر اساس برنامه‌ریزی ریاضی به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی با یک تابع تک هدفی فرمول‌بندی کرده‌اند. در این مسأله تصمیم‌گیری در مورد تخصیص آب از طریق برنامه‌ریزی مرکزی و یا بازارهای

عملکرد مانند به حداکثر رساندن رفاه اجتماعی صورت می‌گیرد. (2013) Parhizkari et al. به شبیه‌سازی بازار آب به منظور تعیین نقش آن در ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب و بررسی اثرات سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری بر الگوی کشت تحت شرایط کم‌آبی پرداختند. (2014) Yousefi et al. با رویکردی سیستمی با استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر تحت سناریوهای مختلف، به بررسی آثار رفاهی انتقال بین بخشی آب بر اساس مکانیزم بازار پرداختند. نتایج ایجاد بازار آب در شرایط کم‌آبی نشان می‌دهد که رفاه خانوارهای شهری و روستایی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. (2016) Alarcón and Juana به بررسی کارایی بازار آب در یک منطقه آبیاری پرداخته‌اند. این کارایی مرتبط با زیان‌های اقتصادی ناشی از کمبود آب است؛ به طوری که تخصیصی کارآمد و یا بهینه خواهد بود که یا زیان‌ها را به حداقل برساند و یا سود حداکثر را فراهم سازد. در این مقاله تخصیص آب بر اساس قوانین سهمیه یکسان، کاهش نسبی و همچنین مکانیزم بازار انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که بازار آب تخصیص نیمه‌بهینه ارائه شده توسط قوانین سهمیه یکسان و کاهش نسبی را بهبود می‌بخشد؛ حتی اگر هزینه‌های تبادل^۵ آب بالا باشد. (2016) Zeng et al. با استفاده از روش ابتکاری برنامه‌ریزی مشترک چندمرحله‌ای بازه‌ای-احتمالاتی^۶ به بررسی تجارت آب به عنوان یکی از رویکردهای توسعه پایدار در شرایط عدم قطعیت پرداختند. در این مقاله برای برآورد توزیع احتمالاتی ضرایب نسبت-تجارت آب^۷ از روش شبیه‌سازی مونت-کارلو استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مکانیزم بازار باعث تخصیص کارایی منابع آب و بینش مؤثر در خصوص تبادل بین تجارت آب و اهداف اقتصادی شده است.

در قسمت بالا، مطالعاتی در مورد تحلیل و مدل‌سازی اقتصادی بازار آب واقعی ارائه گردید که عمدتاً مرتبط با شبیه‌سازی بازار آب در یک منطقه و بررسی اثرات آن پس از تشکیل هستند. در عمده این مطالعات در مورد زمینه‌های اقتصادی-اجتماعی، قانونی و... بازار آب مطالبی بیان شده است اما در زمینه تحلیل و مدل‌سازی جنبه‌های فنی-اقتصادی بازار آب مطالعات کم‌تری صورت گرفته است. یکی از عوامل تأثیرگذار در پیاده‌سازی بازار آب به منظور تبادل آب بین کشاورزان، نحوه انتقال آب می‌باشد. به عبارت دیگر کشاورزان برای انتقال آب از چه روش‌هایی استفاده می‌کنند. تبادل آب بین مزارع از روش‌های متفاوتی میسر می‌باشد که هر روش هزینه‌هایی برای کشاورزان در پی دارد؛ بنابراین باید به دنبال راه‌کاری بود که کم‌ترین هزینه‌های انتقال (هزینه‌های فنی) متوجه کشاورزان شود. در این راستا در این مقاله به بررسی بازار آب از دیدگاه فنی در بخشی از

منطقه مهیار شمالی استان اصفهان پرداخته می‌شود. به این ترتیب که به تدوین یک مدل بهینه‌سازی پرداخته شده است تا بهترین روش برای انتقال آب بین مزارع که حداکثرکننده رفاه اقتصادی بهره‌برداران باشد، تعیین گردد.

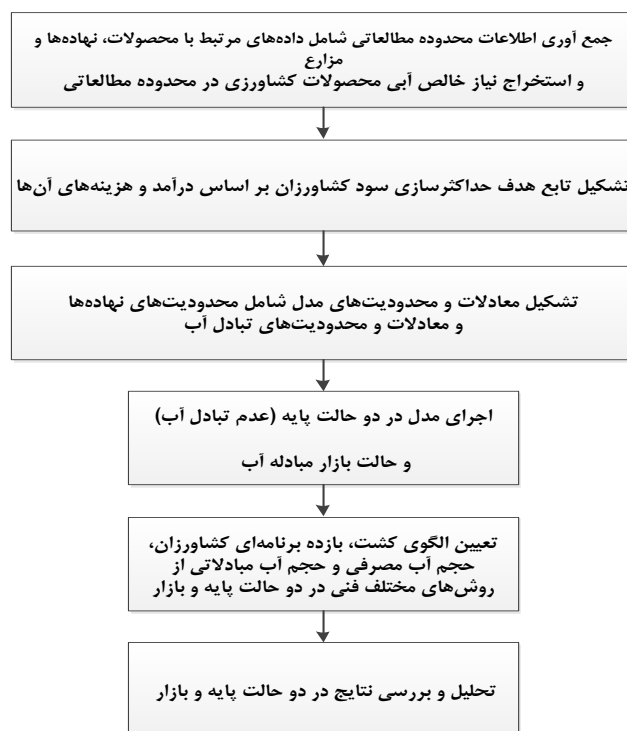
۲- روش انجام مطالعه

فلوچارت ارائه شده در شکل ۱، ساختار مدل پیشنهادی برای توسعه بازار آب را نشان می‌دهد. در این ساختار ابتدا اطلاعاتی شامل عملکرد جاری محصولات، سطح زیر کشت جاری، قیمت محصولات مختلف، حقایق کشاورزان از منابع آب زیرزمینی در هر ماه، فاصله بین مزارع، راندمان آبیاری در هر مزرعه و... جمع‌آوری شده است. همچنین در کنار این اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار NETWAT مقدار نیاز خالص آبی محصولات کشاورزی در محدوده‌های مختلف تخمین زده شده است. در مرحله بعد مدل بهینه‌سازی با هدف حداکثرسازی سود تدوین و با استفاده از بسته نرم‌افزاری GAMS حل شده است. لازم به ذکر است که مدل پیشنهادی با استفاده از اطلاعات زراعی سال ۹۱-۱۳۹۰ حل شده است.

تابع هدف بر اساس حداکثرسازی سود کشاورزان می‌باشد که در آن درآمد کشاورزان شامل سود حاصل از کشت و فروش آب و هزینه‌های آن‌ها شامل هزینه نهاده‌های مصرفی و هزینه خرید آب است. محدودیت‌های مدل شامل محدودیت نهاده‌های آب، سرمایه و زمین و محدودیت‌های مرتبط با مبادلات آب بین مزارع می‌باشد. همچنین متغیرهای تصمیم مسئله شامل سطح زیر کشت هر محصول و حجم آب مبادلاتی می‌باشد. مدل تدوین شده در شرایط خشک‌سالی اجرا می‌گردد. به این ترتیب که کشاورزان از حقایق آب سطحی برخوردار نیستند و برای تأمین نیاز آبی محصولات از حقایق آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. در این شرایط دو حالت پایه و بازار وجود دارد. در حالت پایه حجم آب انتقالی بین مزارع صفر است و عملاً معادلات و محدودیت‌های مبادله آب کارکردی ندارند. در حالت بازار مبادله آب بین کشاورزان صورت می‌گیرد. پس از اجرای مدل نتایج حاصل از الگوی کشت، حجم آب مبادله شده بین کشاورزان و بازه برنامه‌ای کشاورزان، در دو حالت پایه و بازار مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲-۱- مدل پیشنهادی

ساختار مدل پیشنهادی به صورت زیر می‌باشد که به طور کلی تابع



شکل ۱- مراحل مختلف تحقیق

هزینه‌های کشاورزان شامل روابط (۳) تا (۴)، (۵)، (۶) و (۷) می‌باشد:

$$Cost1 = \sum_{c=1}^C \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n C_{k,i}^{IN} \times X_{c,k,i} \times L_{c,i}^* \quad (3)$$

که $Cost1$ هزینه‌های ناشی از مصرف نهاده‌ها (به جز آب) در مزارع است. همچنین $C_{k,i}^{IN}$ هزینه هر واحد نهاده k ام در مزرعه i ام (ریال) بر تن بر هکتار) و $X_{c,k,i}$ نیاز محصول k ام به نهاده k ام در مزرعه i ام می‌باشد.

$$Cost2 = \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^{12} \sum_{i=1}^n C_{c,i}^W \times \left(\frac{NW_{c,m,i}}{EF_i} \right) \times L_{c,i}^* \quad (4)$$

$Cost2$ هزینه‌هایی است که باید بابت استفاده از آب در مزارع پرداخت شود. در این رابطه $C_{c,i}^W$ هزینه حجمی آب مرتبط با محصول کشاورزی c ام در مزرعه i ام (ریال بر مترمکعب بر هکتار) $NW_{c,m,i}$ نیاز خالص آبی محصول کشاورزی c ام در مزرعه i ام در ماه m (مترمکعب) و EF_i راندمان مصرف آب (شامل راندمان انتقال، توزیع و مصرف آب) در مزرعه i ام می‌باشد. راندمان آبیاری در منطقه مورد مطالعه برابر ۵۵/۳ درصد در نظر گرفته شده است (Iran Ministry of Energy, 2012).

$$Cost3 = \sum_{m=1}^{12} \sum_{i=1}^n PR_m^{GW} \times (V_{m,i}^{BG}) \quad (5)$$

هدف بیشینه‌سازی شامل دو قسمت درآمد و هزینه می‌باشد. درآمد کشاورزان شامل دو رابطه (۱) و (۲) است:

$$Benefit1 = \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^n PR_{c,i}^{CR} \times Y_{c,i}^* \times L_{c,i}^* \quad (1)$$

که $Benefit1$ درآمد حاصل از فروش محصولات کشاورزی می‌باشد. در این رابطه $PR_{c,i}^{CR}$ قیمت محصول کشاورزی c ام در مزرعه i ام (ریال)، $Y_{c,i}^*$ تابع عملکرد محصول کشاورزی c ام در مزرعه i ام، و $L_{c,i}^*$ سطح زیر کشت محصول کشاورزی c ام در مزرعه i ام (هکتار) در وضعیت جدید می‌باشد. در این مقاله تابع عملکرد هر محصول به صورت یک تابع غیرخطی در نظر گرفته شده است که برای آشنایی با این تابع و نحوه استخراج آن به مرجع (Medellín-Azuar et al., 2012) مراجعه شود.

$$Benefit2 = \sum_{m=1}^{12} \sum_{i=1}^n PR_m^{GW} \times (V_{m,i}^{SG}) \quad (2)$$

که $Benefit2$ درآمد حاصل از فروش آب می‌باشد. در این رابطه PR_m^{GW} قیمت حجمی آب زیرزمینی در ماه m در بازار آب (ریال بر مترمکعب) و $V_{m,i}^{SG}$ حجم آب زیرزمینی فروخته شده توسط مزرعه i ام در ماه m (مترمکعب) را نشان می‌دهند.

$Cost3$ ، هزینه‌ای است که کشاورز خریدار آب باید بابت خرید حقاچه پرداخت کند. $V_{m,i}^{BG}$ نیز حجم آب زیرزمینی خرید شده توسط مزرعه نام در ماه m (مترمکعب) را نشان می‌دهد.

$$Cost4 = \sum_{m=1}^{12} \sum_{i=1}^n K \times \left[PR_m^{GW} \times \left(V_{m,i}^{SG} \right) \right] \quad (6)$$

$Cost4$ هزینه‌ی انجام مبادلات است که معادل با هزینه پرداخت شده توسط کشاورز فروشنده آب به واسطه بابت فروش حقاچه است. K در رابطه فوق ضریب هزینه‌ای است که فروشنده به واسطه می‌دهد. این ضریب با توجه به تحلیل حساسیت صورت گرفته بر نتایج مدل، معادل 0.5 برآورد شده است.

$$Cost5 = \sum_{m=1}^{12} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{wm=1}^{WM} \gamma_{m,j,i,wm} \times V_{m,j,i,wm}^G \quad (7)$$

در رابطه فوق $Cost5$ هزینه‌های فنی ناشی از نقل و انتقال آب بین کشاورزان را نشان می‌دهد. در این رابطه $V_{m,j,i,wm}^G$ حجم آب زیرزمینی انتقالی از مزرعه j به i از روش فنی wm (مترمکعب) می‌باشد و $\gamma_{m,j,i,wm}$ هزینه انتقال به ازای هر واحد حجم آب زیرزمینی می‌باشد که در ادامه تعریف می‌گردد. در نهایت تابع هدف به صورت رابطه (۸) است:

$$Z = \left[\sum_{m=1}^2 Benefit(m) - \sum_{n=1}^5 Cost(n) \right] \quad (8)$$

۲-۲- محدودیت‌ها

در ادامه محدودیت‌های مورد استفاده در مدل بیان شده است. رابطه (۹) نشان می‌دهد که بازده برنامه‌ای جدید هر کشاورز نباید از بازده برنامه‌ای وضعیت جاری آن کم‌تر شود. به عبارت دیگر بازده برنامه‌ای هر بهره‌بردار باید حداقل در سطح بازده جاری حفظ شود.

در این رابطه Z_i بازده برنامه‌ای جدید مزرعه i (ریال) است که به ترتیب از چپ به راست شامل درآمد حاصل از فروش محصولات کشاورزی، درآمد حاصل از فروش آب، هزینه‌های مصرف نهاده‌ها (به جز آب)، هزینه‌های استفاده از آب، هزینه خرید حقاچه، هزینه پرداختی کشاورز فروشنده آب به واسطه و هزینه‌های فنی ناشی از نقل و انتقال آب بین کشاورزان می‌باشد. ZO_i (ریال) نیز بازده برنامه‌ای جاری مزرعه i است که به ترتیب شامل درآمد فروش محصولات کشاورزی، هزینه‌های مصرف نهاده‌ها و آب می‌باشد. همچنین $L_{c,i}$ سطح زیر کشت محصول کشاورزی c ام در مزرعه نام در وضعیت جاری (هکتار) و $Y_{c,i}$ عملکرد محصول کشاورزی c ام در مزرعه نام در وضعیت جاری را نشان می‌دهد.

رابطه (۱۰) مربوط به قید سطح زیر کشت یک مزرعه می‌باشد. L_i نیز سطح قابل کشت در مزرعه نام (هکتار) را نشان می‌دهد.

$$\sum_{c=1}^C L_{c,i}^* \leq L_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

رابطه (۱۱) نشان می‌دهد که مجموع آب مصرفی در هر مزرعه و در هر ماه باید از حقاچه مزرعه منهای آب فروخته شده به اضافه آب خریداری شده بیشتر نباشد. در این رابطه $TV_{m,i}$ حقاچه مزرعه نام در ماه m (مترمکعب) است.

$$\sum_{c=1}^C \left(\frac{NW_{c,m,i}}{EF_i} \right) \times L_{c,i}^* \leq TV_{m,i} + \left(V_{m,i}^{SG} \right) - \left(V_{m,i}^{BG} \right) \quad (11)$$

$m = 1, 2, \dots, 12 \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n$

رابطه (۱۲) نشان می‌دهد مقدار آبی که هر مزرعه در هر ماه به مزارع دیگر می‌فروشد با مجموع آب خرید شده توسط آن مزارع در آن ماه از مزرعه ذکر شده برابر است. در این رابطه $V_{m,i,j}^G$ نشان‌دهنده حجم آب زیرزمینی انتقالی از مزرعه i به j در ماه m (مترمکعب) است.

$$\begin{aligned} Z_i = & \sum_{c=1}^C PR_{c,i}^{CR} \times Y_{c,i}^* \times L_{c,i}^* + \sum_{m=1}^{12} PR_m^{GW} \times \left(V_{m,i}^{SG} \right) - \sum_{c=1}^C \sum_{k=1}^K C_{k,i}^{IN} \times X_{c,i,k} \times L_{c,i}^* \\ & - \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^{12} C_{c,i}^W \times \left(\frac{NW_{c,m,i}}{EF_i} \right) \times L_{c,i}^* - \sum_{m=1}^{12} PR_m^{GW} \times \left(V_{m,i}^{BG} \right) - \sum_{m=1}^{12} K \times \left[PR_m^{GW} \times \left(V_{m,i}^{SG} \right) \right] \\ & - \sum_{j=1}^n \sum_{wm=1}^{WM} \gamma_{m,j,i,wm} \times V_{m,j,i,wm}^G \geq Z_0_i = \sum_{c=1}^C PR_{c,i}^{CR} \times Y_{c,i} \times L_{c,i} \\ & - \sum_{c=1}^C \sum_{k=1}^K C_{k,i}^{IN} \times X_{c,i,k} \times L_{c,i} - \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^{12} C_{c,i}^W \times \left(\frac{NW_{c,m,i}}{EF_i} \right) \times L_{c,i} \end{aligned} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\gamma_{m,j,i,wm} = \frac{9.8 \times \left[(h_i - h_j) + h_l \times d_{j,i} \right] \times PR^E}{3600 \times \eta} \quad (16)$$

در این رابطه h_i و h_j ارتفاع چاه در مزارع i و j (متر)، h_l افت کلی به ازای هر متر طول لوله، d_{ij} طول لوله انتقال آب زیرزمینی پمپاژ شده از مزرعه j به مزرعه i (متر)، PR^E قیمت هر کیلووات ساعت برق (ریال) و η راندمان پمپ می‌باشد (Karamouz et al., 2009).

۳- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش شمالی دشت مهبیار شمالی اصفهان قرار دارد. این منطقه در حدود ۲۵ کیلومتری جنوب شرق شهر اصفهان قرار دارد که وسعت آن بالغ بر ۲۷۹ کیلومتر مربع می‌باشد. در این مطالعه، به صورت موردی امکان نقل و انتقال آب بین پنج مزرعه کشاورزی منطقه با توجه به همجواری بودن آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل ۲ موقعیت مهبیار شمالی نسبت به استان اصفهان و شهرستان‌های مجاور را نشان می‌دهد. داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ می‌باشد که از طریق مراجعه حضوری به مزارع منتخب و تکمیل پرسشنامه‌های هزینه تولید و شناسنامه بهره‌برداری و همچنین تعیین حدود بهره‌برداری‌ها از طریق تصاویر ماهواره‌ای و برداشت نقشه زمینی، اخذ شده‌اند. همچنین اطلاعات مربوط به منطقه از مجموعه گزارش‌های سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان و وزارت نیرو (۱۳۹۱) در خصوص مطالعات به‌هنگام‌سازی طرح جامع آب کشور در حوضه آبریز گاوخونی اقتباس شده است (Iran Ministry of Energy, 2012).

$$\sum_{j=1}^n V_{m,i,j}^G = V_{m,i}^{SG} \quad m = 1, 2, \dots, 12, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

رابطه (۱۳) نشان می‌دهد مقدار آبی که هر مزرعه در هر ماه از مزارع دیگر می‌خرد با مجموع آب فروخته شده توسط آن مزارع در آن ماه به آن مزرعه برابر است.

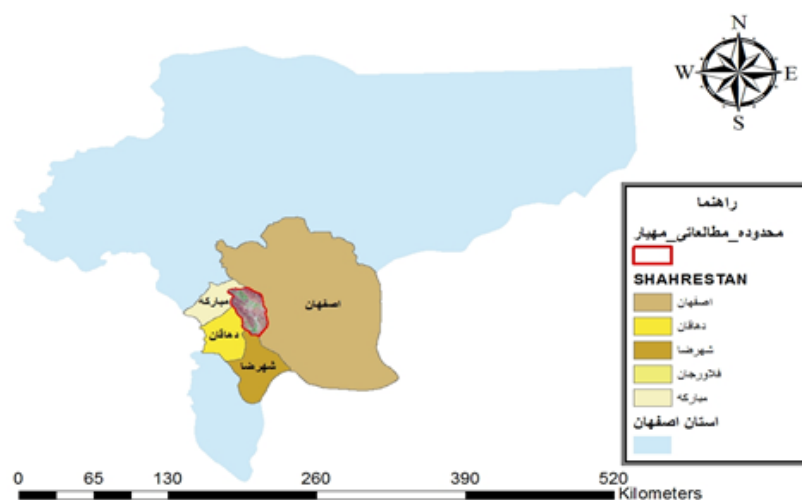
$$\sum_{j=1}^n V_{m,j,i}^G = V_{m,i}^{BG} \quad m = 1, 2, \dots, 12, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

رابطه (۱۴) معادله تعادل آب در یک ماه می‌باشد. به عبارت دیگر در هر ماه مجموع میزان آب فروخته شده مزارع با مجموع میزان آب خریده شده توسط مزارع دیگر برابر است.

$$\sum_{i=1}^n V_{m,i}^{SG} = \sum_{i=1}^n V_{m,i}^{BG} \quad m = 1, 2, \dots, 12$$

رابطه (۱۵) مقدار حجم خروجی از یک مزرعه را به مقدار حبابه مزرعه محدود می‌کند. $TV_{m,i}^G$ کل آب زیرزمینی در دسترس مزرعه m در ماه m (مترمکعب) است. این رابطه از دلایلی آب بین کشاورزان جلوگیری می‌کند. در نهایت فرمول $\gamma_{m,j,i,wm}$ که هزینه انتقال به ازای هر واحد حجم آب زیرزمینی (ریال بر مترمکعب) می‌باشد برای پمپ به صورت رابطه (۱۶) است:

$$V_{m,i}^{SG} \leq TV_{m,i}^G \quad m = 1, 2, \dots, 12, \quad i = 1, 2, \dots, n$$



شکل ۲- موقعیت منطقه مهبیار شمالی نسبت به استان اصفهان و شهرستان‌های مجاور

۳-۱- اطلاعات توصیفی و هزینه‌های نهاده‌های مورد نیاز محصولات کشاورزی مزارع

سموم و کود شیمیایی، ماشین‌آلات و نیروی کار مورد نیاز محصولات کشاورزی است.

اطلاعات توصیفی محصولات کشاورزی مزارع مورد مطالعه شامل سطح زیرکشت، عملکرد و قیمت آن‌ها و همچنین اطلاعات هزینه‌های استفاده از نهاده‌های مورد نیاز محصولات در جدول ۱ نشان داده شده است. هزینه کاربرد آب شامل هزینه‌هایی است که هر کشاورز برای هر متر مکعب آب صرف می‌کند تا آب را از ورودی مزرعه به محصول مورد نظر برساند. ستون آخر جدول میزان سرمایه مورد نیاز (به جز هزینه کاربرد آب و اجاره زمین) برای هر محصول از زمان کاشت تا برداشت است. این سرمایه شامل هزینه‌های خرید بذر،

۳-۲- هزینه‌های انتقال از روش‌های مختلف

روش‌های متفاوت انتقال آب بین کشاورزان یکی از عوامل تأثیرگذار در پیاده‌سازی بازار آب است. در شرایط فعلی در منطقه مورد مطالعه انتقال رسمی بین مزارع صورت نمی‌گیرد، اما امکان این انتقال به صورت غیررسمی و با استفاده از تانکر با توجه به کمبود منابع آب وجود دارد.

جدول ۱- اطلاعات توصیفی و هزینه‌های نهاده‌های مورد نیاز محصولات کشاورزی مزارع

نام محصول	سطح زیرکشت (هکتار)	عملکرد (کیلوگرم به هکتار)	قیمت (ریال به کیلوگرم)	کاربرد آب (ریال به مترمکعب)	اجاره زمین (ریال به هکتار)	سرمایه (ریال به هکتار)
۱	گندم	۷/۰۰	۵۱۵۰	۵۷۰۰	۲۵۰	۲۳۰۸۰۱۵۷
	جو	۵/۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۲۸۲	۱۸۵۰۷۹۰۵
	ذرت	۷/۰۰	۵۰۰۰	۱۶۰۰	۲۰۰	۴۰۶۹۸۳۹۳
	یونجه	۳/۰۰	۱۵۰۰۰	۷۰۰۰	۲۸۰	۶۲۴۱۹۵۸۳
	آیش	۳/۳۸	-	-	-	-
۲	گندم	۷/۰۰	۵۲۵۰	۵۵۰۰	۲۴۰	۲۳۱۲۸۸۸۹
	جو	۵/۰۰	۴۸۰۰	۵۱۰۰	۲۷۲	۱۸۵۴۲۹۲۴
	ذرت	۷/۰۰	۴۸۵۷۲	۱۴۰۰	۲۵۰	۳۹۹۸۵۰۰۷
	یونجه	۳/۰۰	۱۲۰۰۰	۶۸۰۰	۲۷۰	۶۲۵۰۵۳۹۹
	آیش	۱/۱۷	-	-	-	-
۳	گندم	۸/۰۰	۵۳۵۰	۵۴۰۰	۲۳۰	۲۳۱۷۹۷۴۰
	جو	۶/۰۰	۵۰۰۰	۴۹۰۰	۲۶۲	۱۸۵۷۹۴۶۵
	ذرت	۴/۰۰	۵۰۰۰	۱۹۰۰	۲۲۰	۴۰۳۱۷۱۲۵
	یونجه	۵/۰۰	۱۱۰۰۰	۶۷۰۰	۲۲۰	۶۳۴۳۶۶۸۵
	آیش	۴/۵۳	-	-	-	-
۴	گندم	۷/۰۰	۵۰۵۰	۵۷۰۰	۲۲۰	۲۳۴۶۶۵۴۰
	جو	۵/۰۰	۵۱۰۰	۴۸۰۰	۲۵۲	۱۸۸۴۱۰۷۰
	ذرت	۷/۰۰	۳۴۲۸۶	۱۷۰۰	۲۳۰	۴۰۴۳۰۱۶۰
	یونجه	۳/۰۰	۱۱۳۳۴	۶۷۰۰	۲۳۰	۶۳۶۱۳۴۵۰
	آیش	۰/۴۱	-	-	-	-
۵	گندم	۷/۰۰	۵۵۰۰	۵۶۰۰	۲۱۰	۲۳۵۲۱۱۶۹
	جو	۵/۰۰	۵۰۰۰	۵۲۰۰	۲۷۲	۱۸۶۳۷۱۷۳
	ذرت	۷/۰۰	۳۰۱۰۰	۱۸۰۰	۲۴۰	۴۰۲۴۵۷۲۳
	یونجه	۳/۰۰	۱۱۳۳۴	۶۷۰۰	۲۳۰	۶۳۶۱۳۴۵۰
	آیش	۱۱/۲۹	-	-	-	-

سال‌های گذشته حوزه آبریز زاینده‌رود با خشکسالی‌های پی‌درپی مواجه بوده است. این شرایط اقلیمی منجر به عدم اختصاص منابع آب سطحی شده است به طوری که کانال‌های آب در منطقه کاملاً خشک شده‌اند. بنابراین در این مطالعه فرض شده است که کشاورزان از حقایق آب سطحی برخوردار نیستند و برای تأمین نیاز آبی محصولات از حقایق آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. هر کشاورز دارای حقایق مشخصی از منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه می‌باشد که به صورت ماهانه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- هزینه انتقال آب بین دو مزرعه از روش پمپ و لوله (هزار ریال به مترمکعب)

مزرعه مقصد	مزرعه				
	مبدأ	۱	۲	۳	۴
۱	۰/۰۰	۲۱/۹۳	۲۴/۷۳	۱۸/۶۷	۱۵/۴۰
۲	۲۸/۴۷	۰/۰۰	۱۶/۸۰	۲۴/۷۳	۶/۵۳
۳	۳۵/۰۰	۲۰/۵۳	۰/۰۰	۳۰/۳۳	۶/۵۳
۴	۳۷/۳۳	۳۶/۸۷	۳۸/۷۳	۰/۰۰	۲۵/۶۷
۵	۳۸/۷۳	۲۳/۳۳	۱۹/۶۰	۳۰/۳۳	۰/۰۰

بنابراین مطالعه حاضر سعی دارد که با ارائه روش‌های مختلف نظیر انتقال آب زیرزمینی با روش پمپ و لوله و یا استفاده از آبخوان مشترک تبادل رسمی آب را بین مزارع مدل‌سازی کند. با فرض وجود زیرساخت‌های قانونی از جمله سند قانونی آب امکان مبادله آب بین تمام مزارع با هر دو روش فنی به صورت هم‌زمان وجود دارد. هر یک از این روش‌ها هزینه‌هایی برای کشاورزان در پی دارد. نتایج حاصل از هزینه‌های نقل و انتقال از روش پمپ و لوله در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین هزینه انتقال برای هر واحد حجم آب زیرزمینی در روش آبخوان مشترک که توسط تانکر انجام می‌شود، حدود ۳۰ هزار ریال بر مترمکعب است.

۳-۳- حقایق آب زیرزمینی

در شرایط اقلیمی نرمال هر کشاورز دارای حقایق مشخصی از منابع موجود در منطقه می‌باشد که مقدار، نوع و زمان آن در پروانه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و قرارداد حق اشتراک کانال آب‌رسانی مهیار تعریف شده است. منابع آب منطقه شامل آب سطحی و زیرزمینی است. برای استفاده از منابع آب سطحی از شبکه آبیاری مهیار (کانال‌های موجود در منطقه) و برای بهره‌گیری از منابع آب زیرزمینی از چاه‌های پمپاژ استفاده می‌شود. با این حال در

جدول ۳- حقایق آب زیرزمینی هر مزرعه در هر ماه (مترمکعب)

ماه	مزارع				
	۱	۲	۳	۴	۵
فروردین	۱۲۵۷۸	۶۲۴۰	۲۹۷۳۲	۲۸۹۸۰	۲۱۹۹۰
اردیبهشت	۱۴۸۹۰	۷۳۸۶	۳۵۸۲۷	۳۴۳۰۶	۲۴۴۷۸
خرداد	۶۲۷۸	۳۱۱۴	۱۵۷۰۸	۱۴۴۶۵	۵۶۳۲
تیر	۱۲۱۹۹	۶۰۵۱	۲۰۹۸۱	۲۸۱۰۶	۱۷۴۱۶
مرداد	۱۵۰۳۶	۷۴۵۸	۲۳۷۰۸	۳۴۶۴۲	۲۳۵۷۰
شهریور	۱۱۶۷۴	۵۷۹۱	۱۸۶۷۱	۲۶۸۹۷	۱۸۰۴۲
مهر	۸۹۸۰	۹۱۷۱	۱۱۲۸۳	۸۶۲۰	۳۷۱۵
آبان	۲۲۲۴	۱۱۰۳	۵۹۸۳	۵۱۲۴	۲۳۱۰
آذر	۱۳۶۴	۶۷۶	۳۰۳۴	۳۱۴۲	۲۷۸۶
دی	۴۱۸۸	۴۲۷۷	۵۰۸۷	۴۰۲۰	۴۱۰۳
بهمن	۱۱۰۴۲	۱۱۲۷۷	۱۳۴۳۵	۱۰۶۰۰	۱۰۸۱۷
اسفند	۷۰۰۰	۳۴۷۲	۱۵۵۸۳	۱۶۱۲۸	۱۴۳۰۲
مجموع	۱۰۷۴۵۳	۶۶۰۱۶	۱۹۹۰۳۲	۲۱۵۰۳۰	۱۴۹۱۶۱

۴- نتایج و بحث

در این مقاله، چهار سناریوی قیمتی مختلف برای حالت بازار در نظر گرفته شده است. این سناریوهای قیمتی در جدول ۴ نشان داده شده است. به منظور بررسی و مقایسه نتایج حالت بازار با نتایج حالت پایه یک سناریوی قیمتی انتخاب می‌شود. برای انتخاب این سناریو مدل پیشنهادی در هر سناریوی قیمتی اجرا گردید و سناریوی دوم که بازده برنامه‌های آن بیشترین مقدار را داشت به عنوان سناریوی منتخب جهت مقایسه و بررسی نتایج برگزیده شده است.

جدول ۴- سناریوهای قیمتی مختلف در حالت بازار (مبادله آب)

سناریوهای قیمتی	قیمت آب زیرزمینی (ریال)
۱	۵۰
۲	۱۰۰
۳	۲۰۰
۴	۵۰۰

۱-۱- نتایج الگوی کشت

نتایج حاصل از تغییرات الگوی کشت در شرایط خشکسالی در جدول ۵ نشان داده شده است. براساس جدول در حالت مبادله آب از سطح زیر کشت مزارع ۳ و ۴ کاسته شده و بر سطح زیر کشت مزارع ۱ و ۵ افزوده می‌شود. سطح زیر کشت مزرعه ۲ نیز تغییر محسوسی ندارد. در اثر تبادل آب بین مزارع، سطح زیر کشت همه محصولات در مزرعه ۱ افزایش می‌یابد. هم‌چنین در دو مزرعه ۳ و ۴ همه محصولات سطح زیر کشت خود را کاهش می‌دهند.

شکل ۳ الگوی کشت محدوده مطالعاتی در حالت پایه و بازار را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود سطح اراضی آیش ۷/۷۱ هکتار است که حدود نیمی از کل سطح قابل کشت محدوده مطالعاتی را تشکیل می‌دهد. این مسأله کمبود نهاده آب در منطقه را نشان می‌دهد. طبق این نمودار سطح زیر کشت دو محصول گندم و ذرت به میزان ۱۵/۵۵ و ۰/۹۴ هکتار افزایش و سطح زیر کشت دو محصول جو و یونجه به ترتیب ۱۵/۷۴ و ۱/۴۳ هکتار کاهش می‌یابد.

۴-۲- حجم آب مبادله شده بین کشاورزان

همان‌طور که در قسمت مطالعه موردی اشاره شد، در شرایط خشکسالی کشاورزان منطقه از حقایق آب سطحی بی‌بهره‌اند و تنها منبع آب در دسترس آب زیرزمینی می‌باشد. در ادامه مقدار آب

زیرزمینی مبادله شده بین مزارع از روشهای مختلف در ماه‌های متفاوت به همراه شرح جزئیات آمده است. حجم آب زیرزمینی مبادله شده از روش پمپ و لوله و روش آبخوان مشترک در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است.

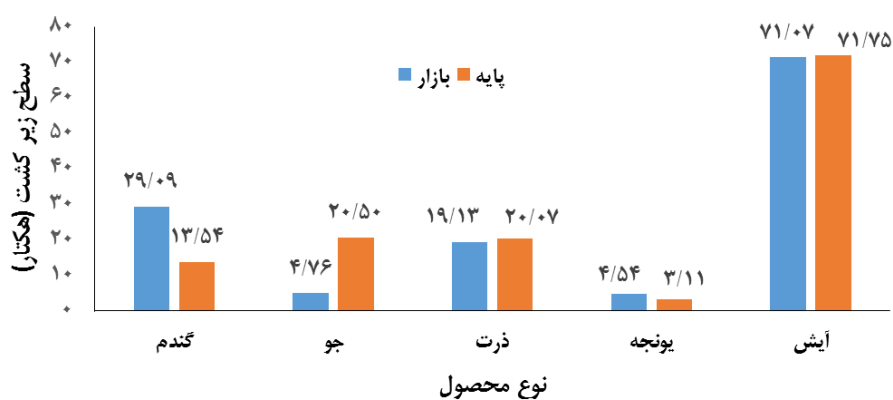
نتایج حاصل از حجم آب خریداری شده توسط بهره‌برداران کشاورزی از روش‌های فنی متفاوت در شکل ۴ مشاهده می‌شود. طبق این نمودار به جز دو بهره‌بردار مزرعه ۳ و ۴ سایر بهره‌برداران خریدار آب می‌باشند. بالاترین حجم خرید آب متعلق به بهره‌بردار مزرعه ۵ به میزان ۱۶۸۴۶۴ مترمکعب و پایین‌ترین حجم خرید آب نیز متعلق به بهره‌بردار مزرعه ۲ به میزان ۲۵۷۹۲ مترمکعب می‌باشد. نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد که بهره‌بردار مزرعه ۱ برای انتقال آب زیرزمینی خریداری شده از روش آبخوان مشترک استفاده می‌کند. علت این مسأله با توجه به جدول ۲، هزینه پایین‌تر انتقال آب از روش آبخوان مشترک نسبت به روش پمپ و لوله از سایر مزارع به مزرعه ۱ می‌باشد. هم‌چنین مزارع ۲ و ۵ از روش پمپ و لوله به علت پایین‌تر بودن هزینه انتقال آب ناشی از آن نسبت به روش آبخوان مشترک استفاده می‌کنند، هر چند که مزرعه ۲ از روش آبخوان مشترک نیز استفاده می‌کند.

حجم آب فروخته شده توسط بهره‌برداران کشاورزی نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بهره‌بردار مزرعه ۱ تنها بهره‌بردار است که اقدام به فروش آب نمی‌کند. از بین بهره‌برداران فروشنده آب بالاترین حجم فروش آب متعلق به مزرعه ۴ به میزان ۱۳۹۱۸۸ مترمکعب و پایین‌ترین حجم فروش متعلق به مزرعه ۵ به میزان ۹۴۴۹ مترمکعب است.

علت نتایج فوق را باید در هیدرومدول مزارع که از تقسیم آب در دسترس بر سطح قابل کشت به دست می‌آید، جست‌وجو کرد. مقدار هیدرومدول هر مزرعه در جدول ۸ ارائه شده است. مطابق این جدول، مزرعه ۱ هیدرومدول پایینی دارد و بنابراین بهره‌بردار این مزرعه به دلیل محدودیت شدید آبی نمی‌تواند حقایق خود را به سایر مزارع بفروشد و جزء خریداران آب می‌باشد. هم‌چنین هیدرومدول مزارع ۳ و ۴ نسبت به سایر مزارع تفاوت محسوسی دارد و از آن‌ها بیش‌تر است. به عبارت دیگر دو مزرعه مذکور نسبت به سایر مزارع با محدودیت کم‌تر آبی روبرو هستند. بنابراین جزء فروشندگان آب محسوب می‌شوند.

جدول ۵- الگوی کشت بهره‌برداران کشاورزی در حالت عدم مبادله آب و مبادله آب (هکتار)

مزارع	نام محصول	پایه	بازار	اختلاف
۱	گندم	۰/۰۶	۳/۲۱	۳/۱۵
	جو	۴/۱۴	۴/۴۳	-۰/۲۸
	ذرت	۲/۴۵	۴/۵۶	۲/۱۱
	یونجه	۱/۰۵	۲/۲۷	۱/۲۲
	آیش	۱۷/۶۸	۱۰/۹۱	-۶/۷۷
۲	مجموع	۲۵/۳۸	۲۵/۳۸	-۰/۰۰
	گندم	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۰
	جو	۲/۰۴	۰/۰۰	-۲/۰۴
	ذرت	۱/۵۵	۳/۰۵	۱/۵۰
	یونجه	۰/۰۰	۰/۱۷	-۰/۱۷
۳	آیش	۱۹/۵۸	۱۹/۹۵	-۰/۳۷
	مجموع	۲۳/۱۷	۲۳/۱۷	-۰/۰۰
	گندم	۳/۲۴	۰/۰۰	-۳/۲۴
	جو	۵/۷۲	۰/۰۰	-۵/۷۲
	ذرت	۳/۹۰	۳/۱۸	-۰/۷۱
۴	یونجه	۱/۳۱	۰/۰۰	-۱/۳۱
	آیش	۱۳/۳۶	۲۴/۳۵	۱۰/۹۹
	مجموع	۲۷/۵۳	۲۷/۵۳	-۰/۰۰
	گندم	۵/۱۳	۰/۰۰	-۵/۱۳
	جو	۴/۹۵	۰/۳۳	-۴/۶۲
۵	ذرت	۶/۱۳	۴/۸۷	-۱/۲۵
	یونجه	۲/۱۷	۰/۶۷	-۱/۵۰
	آیش	۴/۰۳	۱۶/۵۴	۱۲/۵۱
	مجموع	۲۲/۴۱	۲۲/۴۱	-۰/۰۰
	گندم	۵/۱۱	۲۵/۸۸	۲۰/۷۷
۵	جو	۳/۶۵	۰/۰۰	-۳/۶۵
	ذرت	۵/۱۱	۴/۴۱	-۰/۷۰
	آیش	۱۶/۴۲	۰/۰۰	-۱۶/۴۲
	مجموع	۳۰/۲۹	۳۰/۲۹	-۰/۰۰



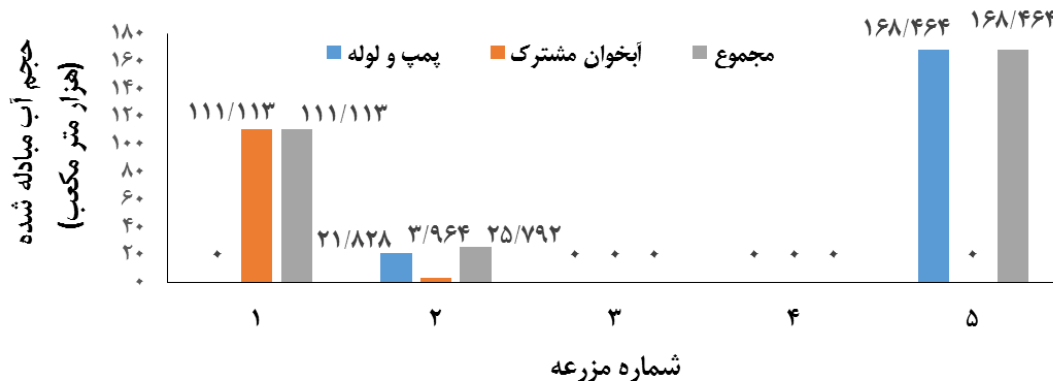
شکل ۳- الگوی کشت محدوده مطالعاتی در حالت عدم مبادله آب (پایه) و مبادله آب (بازار)

جدول ۶- حجم آب مبادله شده بین بهره‌برداران کشاورزی از روش پمپ و لوله در ماه‌های مختلف سال (متر مکعب)

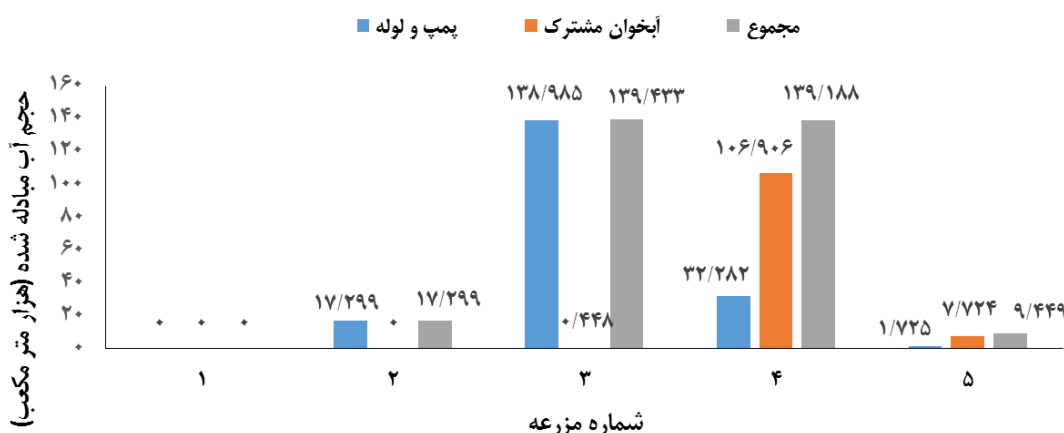
ماه	مزارع				
	۱	۲	۳	۴	۵
فروردین	۰	-۵۹۳۵	-۲۹۷۳۲	-۷۳۰۴	۴۲۹۷۱
اردیبهشت	۰	-۶۸۹۹	-۳۵۸۲۷	-۱۴۱۳۱	۵۶۸۵۶
خرداد	۰	۰	-۱۱۰۵۸	۰	۱۱۰۵۸
تیر	۰	۶۷۷۸	-۶۴۲۷	۰	-۳۵۱
مرداد	۰	۷۷۷۷	-۷۷۷۷	۰	۰
شهریور	۰	۵۸۹۹	-۵۸۹۹	۰	۰
مهر	۰	۱۳۷۴	۰	۰	-۱۳۷۴
آبان	۰	۰	-۵۶۱۲	۰	۵۶۱۲
آذر	۰	-۶۷۶	-۳۰۳۴	-۱۹۵۴	۵۶۶۴
دی	۰	-۳۱۷	-۵۰۸۷	۰	۵۴۰۴
بهمن	۰	۰	-۱۲۹۴۹	۰	۱۲۹۴۹
اسفند	۰	-۳۴۷۲	-۱۵۵۸۳	-۸۱۹۴	۲۷۹۴۹
مجموع	۰	-۴۵۲۹	-۱۳۸۹۸۵	-۳۲۲۸۲	۱۶۶۷۳۹

جدول ۷- حجم آب مبادله شده بین بهره‌برداران کشاورزی از روش آبخوان مشترک در ماه‌های مختلف سال (متر مکعب)

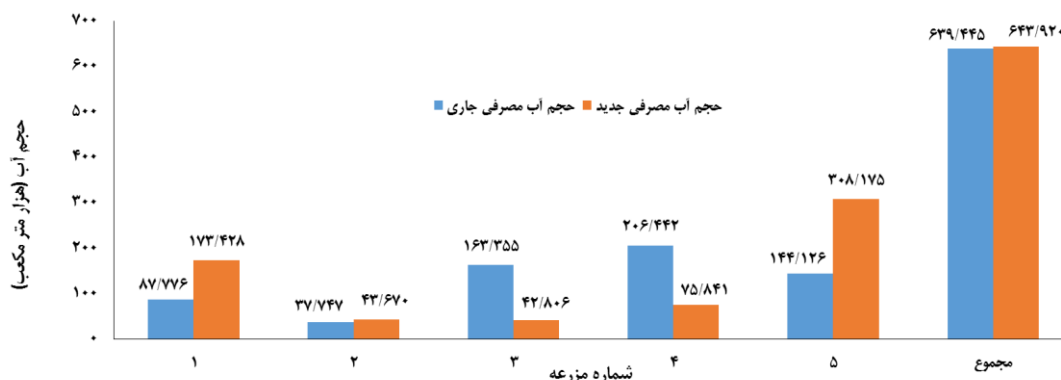
ماه	مزارع				
	۱	۲	۳	۴	۵
فروردین	۱۹۷۶۶	۰	۰	-۱۹۷۶۶	۰
اردیبهشت	۱۷۶۶۲	۰	۰	-۱۷۶۶۲	۰
خرداد	۵۷۱۹	۳۹۶۴	۰	-۹۶۸۳	۰
تیر	۱۱۶۲۳	۰	۰	-۹۵۹۱	-۲۰۳۲
مرداد	۱۴۰۱۲	۰	-۳۰۳	-۱۰۴۸۵	-۳۲۲۴
شهریور	۱۰۹۱۷	۰	-۱۴۵	-۸۳۰۵	-۲۴۶۸
مهر	۴۹۷۸	۰	۰	-۴۹۷۸	۰
آبان	۴۳۹۱	۰	۰	-۴۳۹۱	۰
آذر	۱۰۹۰	۰	۰	-۱۰۹۰	۰
دی	۳۹۲۲	۰	۰	-۳۹۲۲	۰
بهمن	۱۰۳۲۰	۰	۰	-۱۰۳۲۰	۰
اسفند	۶۷۱۳	۰	۰	-۶۷۱۳	۰
مجموع	۱۱۱۱۱۳	۳۹۶۴	-۴۴۸	-۱۰۶۹۰۶	-۷۷۲۴



شکل ۴- حجم آب خریداری شده توسط بهره‌برداران کشاورزی از روش‌های فنی مختلف



شکل ۵- حجم آب فروخته شده توسط بهره‌برداران کشاورزی از روش‌های فنی مختلف



شکل ۶- حجم آب مصرفی در هر مزرعه در حالت جاری و جدید

مصرفی، افزایش سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی بالاتر است. مطابق با شکل ۳، در شرایط مبادله آب محصول گندم با نیاز آبی بالاتر جایگزین بخشی از سطح زیر کشت محصول جو با نیاز آبی پایین‌تر می‌شود. هم‌چنین سطح زیر کشت سایر محصولات تغییرات اندکی خواهد داشت.

۳-۴- حجم آب مصرفی

شکل ۶ حجم آب مصرفی در حالت عدم مبادله آب (جاری) و پس از مبادله آب (جدید) در هر مزرعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالتی که امکان مبادله آب فراهم گردد، حجم آب مصرفی در حالت بازار افزایش می‌یابد. علت افزایش حجم آب

جدول ۸- سطح قابل کشت، آب در دسترس و هیدرومدول هر

مزرعه	مزرعه	
	سطح قابل کشت (هکتار)	آب در دسترس (متر مکعب)
۱	۲۵/۳۸	۱۰۷۴۵۳
۲	۲۳/۱۷	۶۶۰۱۶
۳	۲۷/۵۳	۱۹۹۰۳۲
۴	۲۲/۴۱	۲۱۵۰۳۰
۵	۳۰/۲۹	۱۴۹۱۶۱

در این حالت افزایش حجم آب مصرفی از طریق انجام مبادلات آب در بازار تأمین می‌شود. به این صورت که مطابق با رابطه ۱۱ هر مزرعه در هر ماه می‌تواند در صورت وجود کمبود منابع آب برای کاشت محصولات مورد نیاز از مزارعی که منابع اضافی در اختیار دارند، آب خریداری کند. به این ترتیب شرایطی فراهم خواهد شد که بهره‌بردار مزرعه به جای برداشت اضافی از منابع آب زیرزمینی اقدام به خرید آب کند.

هم‌چنین درصد کاهش یا افزایش میزان آب مصرفی هر مزرعه پس از مبادله آب در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دو بهره‌بردار مزرعه ۳ و ۴ به ترتیب ۷۳/۸۰ و ۶۳/۲۶ درصد از حجم آب مصرفی خود را کاهش می‌دهند. بالاترین افزایش نیز متعلق به بهره‌بردار مزرعه ۵ است که میزان حجم آب مصرفی خود را به به بیش از دو برابر رسانده است.

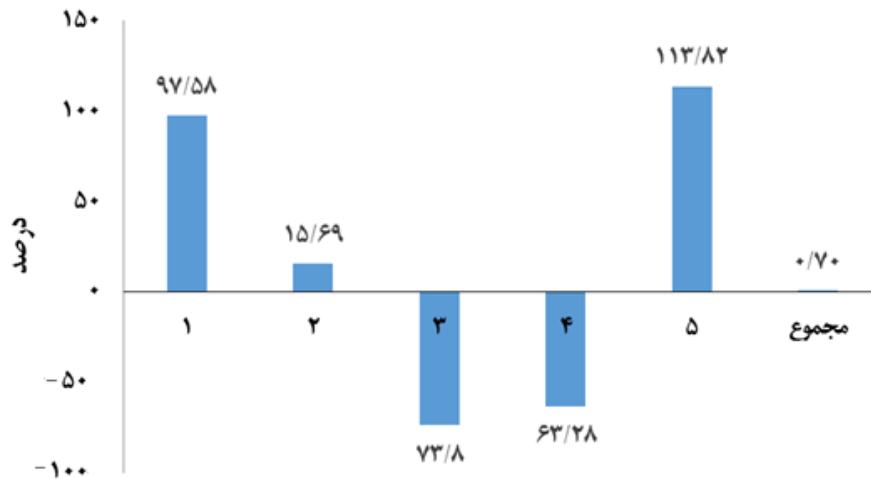
۴-۴- بازده برنامه‌ای کشاورزان

شکل ۸ بازده برنامه‌ای کشاورزان در دو حالت پایه و بازار را نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، بازده برنامه‌ای بهره‌برداران مزارع ۳ و ۴ که مطابق شکل ۵ بزرگ‌ترین فروشندگان آب می‌باشند هیچ‌گونه تغییری نمی‌کند. این موضوع نشان می‌دهد تفاوتی بین سود حاصل از کشت محصولات یا فروش نیاز آبی آن‌ها وجود ندارد. ولی با توجه به اینکه بهره‌برداران مزارع دیگر سود بالاتری از خرید آب دارند یا به عبارت دیگر ارزش بالاتری از آب ایجاد می‌کنند، آب را از این دو بهره‌بردار خریداری کرده و در نتیجه سود مزرعه خود و به دنبال آن سود کل را افزایش می‌دهند. هم‌چنین درصد تغییرات بازده برنامه‌ای کشاورزان در حالت بازار نسبت به حالت پایه در شکل ۹ نشان داده شده است. مطابق این نمودار، پس از برقراری بازار آب، بازده

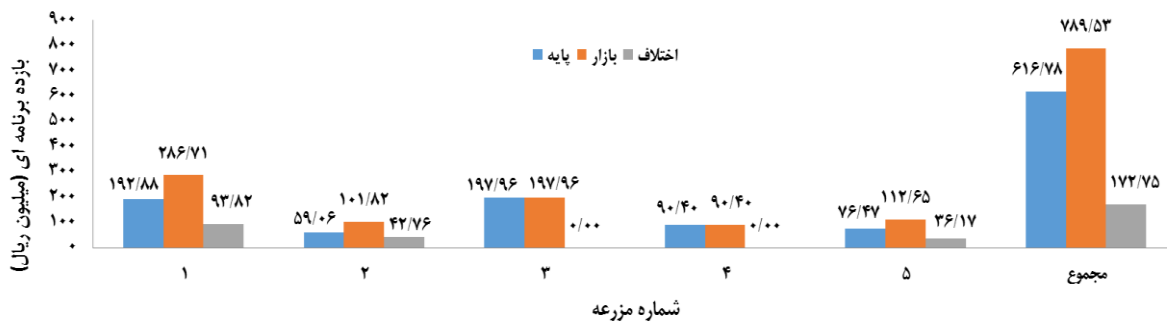
برنامه‌ای از صفر درصد در مزرعه ۳ و ۴ تا ۷۲/۳۹ درصد افزایش می‌یابد به طوری که مجموع بازده برنامه‌ای سه گروه پس از برقراری بازار آب حدود ۲۸ درصد ارتقا می‌یابد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

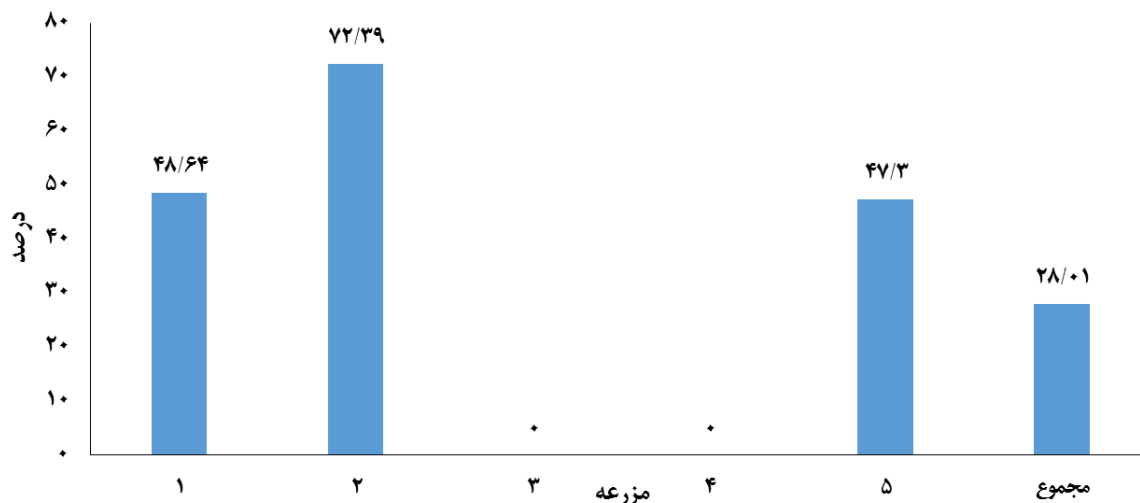
در این مقاله، جزئیات مدل پیشنهادی برای بررسی فنی انتقال آب بین مزارع در بازار آب ارائه گردید. نتایج این تحقیق، نشان‌دهنده کارایی مناسب بازار آب برای تخصیص بهینه منابع موجود است. ساختار مدل بهینه‌سازی پیشنهادی بر اساس حداکثرسازی سود کشاورزان تدوین گردید. در این مدل درآمد کشاورزان شامل سود حاصل از فروش محصولات و آب است. هم‌چنین هزینه‌ها شامل هزینه نهاده‌ها، خرید آب و هزینه‌های فنی است. محدودیت‌های مدل دربرگیرنده محدودیت نهاده‌ها و حفظ بازده برنامه‌ای و محدودیت و معادلات نقل و انتقال آب می‌باشد. این مدل علاوه بر بهینه‌سازی درآمد کشاورزان در اثر کشت محصولات متنوع به کمینه‌کردن هزینه‌های فنی می‌پردازد و بهترین روش فنی برای انتقال آب بین هر دو مزرعه را مشخص می‌کند. در این راستا دو روش انتقال از طریق آبخوان مشترک و پمپ و لوله مورد بررسی قرار گرفت و هزینه‌های مرتبط با هر روش وارد مدل گردید. نتایج الگوی کشت افزایش سطح زیر کشت گندم و ذرت و کاهش جو و یونجه در حالت بازار را نشان می‌دهد. سطح اراضی آیش نیز تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند. پس از ایجاد بازار آب و امکان مبادله آب، حجم آب مبادله شده در بازار ۴۷ درصد از حجم آب مصرفی است که نشان‌دهنده مشارکت بالای کشاورزان در بازار جهت مبادله آب و افزایش بازده برنامه‌ای خود است. حجم آب انتقالی از روش پمپ و لوله و آبخوان مشترک نیز به ترتیب ۶۲ و ۳۸ درصد است. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که بازده برنامه‌ای کشاورزان به میزان ۲۸ درصد نسبت به حالت پایه افزایش می‌یابد. به منظور ادامه تحقیقات در آینده پیشنهاد می‌گردد زمینه‌های فنی نقل و انتقال بین کشاورزان و صنعت مورد بررسی قرار گیرد. در این حالت می‌توان با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی دو هدفه بخش صنعت و کشاورزی را توأمأ مورد بهینه‌سازی قرار داد. هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد با در نظر گرفتن قیمت آب به صورت تابعی از منحنی‌های عرضه و تقاضا، این امکان را ایجاد کرد که قیمت آب به صورت پویا برآورد شده و فرآیند بازار خود قیمت واقعی مبادله آب را تعیین کند.



شکل ۷- درصد تغییرات حجم آب مصرفی در هر مزرعه



شکل ۸- بازده برنامه ای کشاورزان در حالت پایه و بازار



شکل ۹- درصد تغییرات سود در حالت بازار نسبت به حالت پایه

- Karamouz M, Ahmadi A, Nazif S (2009) Development of management schemes in irrigation planning: economic and crop pattern consideration. *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering* 16(6):457-466
- Medellín-Azuara J, Howitt RE, Harou JJ (2012) Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Agricultural Water Management* 108:73-82
- Nikouei A, Najafi B (2011) Welfare effects of establishing agricultural water market in Iran case of irrigation networks in Isfahan. *Agricultural Economics and Development* 19(76):51-82 (In Persian)
- Parhizkari A, Sabuhi M, Ziaei S (2013) Water market simulation and analysis of irrigation water sharing policy effects on crop pattern under water scarcity. *Journal of Agricultural Economics and Development* 27(3):242-252 (In Persian)
- Tisdell JG (2001) The environmental impact of water markets: an Australian case study. *Journal of Environmental Management* 62(1):113-120
- Wichelns D (1999) An economic model of water logging and saliniation in arid regions. *Ecological Economics* 30(3):475-491
- Yousefi A, Hassan-Zade M, Keramat-Zade A (2014) The welfare effect of water market allocation in Iranian economy. *Iran-Water Resources Research* 10(1):15-25 (In Persian)
- Zaman AM, Malano HM, Davidson B (2009) An integrated water trading-allocation model, applied to a water market in Australia. *Agricultural Water Management* 96(1):149-159
- Zekri S, Easter E (2005) Estimating the potential gains from water markets: a case study from Tunisia. *Agricultural Water Management* 72(3):161-175
- Zeng XT, Li YP, Huang GH, Liu J (2016) Modeling water trading under uncertainty for supporting water resources management in an arid region. *Journal of Water Resources Planning and Management* 142(2)

- 1- Economic Efficiency
- 2- Social Welfare
- 3- Mathematical Programming
- 4- Multi Criteria Decision Making (MCDM)
- 5- Transaction Costs
- 6- Joint-Probabilistic Interval Multistage Programming (JIMP)
- 7- Water-Trading Ratio

۶- مراجع

- Alarcón J, Juana L (2016) The water markets as effective tools of managing water shortages in an irrigation district. *Water Resources Management* 30(8):2611-2625
- Britz W, Ferris M, Kuhn A (2013) Modeling water allocating institutions based on multiple optimization problems with equilibrium constraints. *Environmental Modelling and Software* 46:196-207
- Gallego-Ayala J, Gomez-Limon JA, Arriaza M (2011) Irrigation water pricing instruments: a sustainability assessment. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4):981-999
- Gomez-Limon JA, Martinez Y (2006) Multi-criteria modeling of irrigation watermarket at basin level: a Spanish case study. *European Journal of Operational Research* 173(1):313-336
- Hearne RR, Easter WK (1997) The economic and financial gains from water markets in Chile. *Agricultural Economics* 15:187-99
- Howitt RE, Medellin-Azuara J, MacEwan D, Lund R (2012) Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Environmental Modeling and Software* 38:244-258
- Iran Ministry of Energy (2012) Updated studies of comprehensive plan of water country in Gavkhoni catchment, Technical Report (In Persian)
- Johansson R (2000) Pricing irrigation water: a literature survey. *The World Bank Working Paper*, Washington, D.C, 80p