



The Role of Water Market in Improving the Economic Value of Agricultural Water Resources

Mohammad Navid Fadaeifard¹ | Kumars Ebrahimi² | Mahdi Behzadpour³

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Navid_Fadaei@ut.ac
2. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences and Technologies, Faculty of Renewable Energies and Sustainable Resources Engineering, University of Tehran, Faculties of Interdisciplinary Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: EbrahimiK@ut.ac.ir
3. Department of Environmental Sciences and Technologies, Faculty of Renewable Energies and Sustainable Resources Engineering, University of Tehran, Faculties of Interdisciplinary Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: Behzadpour.mahdi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 15 June 2024
Received in revised form
25 December 2024
Accepted 25 January 2025
Published online 17 May 2025

Keywords:

Agricultural Water Pricing
Economic Value
Eshtehard Plain
Optimal Allocation
Shadow Price
Water Market

ABSTRACT

The main purpose of this article was to estimate the economic value of agricultural water resources by considering the role of the water market, which has been done in international articles and researches to investigate the role of the water market in the optimal allocation of water resources, the feasibility of setting up and investigating the efficiency of the water market, and investigating the economic dimensions of the market. Water and its effect on the interests of farmers have also been investigated as four main parts of this research. For this purpose, based on the information of the crop year 2018-2019 and the descriptive data obtained from interviews with farmers and experts on the cultivation pattern of agricultural products in the region, the amount of available water resources, the amounts used for production inputs and the water input demand function were obtained. Then, based on the positive mathematical programming model and the maximum entropy approach, an optimization model was coded with the aim of maximizing the profit of the farmers in the region in the presence of the water market in the closed GAMS Software environment. After forming a Linear Programming Model with the aim of maximizing the regional production efficiency of farmers and solving the optimization problem, the shadow price of water input in Eshtehard plain, Iran, was obtained as 18760 Rials per cubic meter. Then, by adding the possibility of water exchange to the model, the area under cultivation of crops was calculated in the presence of a water market. The results showed that the existing difference between the shadow price of water input and the selling price of agricultural water has caused a decrease in the productivity of agricultural water. The absolute values of the price elasticity of demand for water input for wheat, barley and alfalfa products were obtained as 1.42, 1.36 and 1.35 respectively. According to the negative values of demand elasticity in the production of crops in Eshtehard plain, it can be concluded that agriculture in the region has high elasticity with respect to water Input. Therefore, the use of price policies such as the water market by affecting the amount of demand for this input by the farmers of the region will save water consumption and plant crops with less water requirement and increase the economic value of agricultural water and the total profit of farmers to the amount of 4.35%. The existence of a gap between the supply capacity and the intensity of water demand due to the limited resources and the increasing growth of water demand along with the growth of the urban population indicates the importance that this increase in water demand has created a crisis and is considered one of the biggest challenges for humanity in the current century and can be the beginning of many positive and negative developments in the future of the world.

Cite this article: Fadaeifard, M. N., Ebrahimi, K., & Behzadpour, M. (2025). The Role of Water Market in Improving the Economic Value of Agricultural Water Resources. *Journal of Water and Irrigation Management*, 15 (1), 55-73.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.378080.1167>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.378080.1167>

Publisher: University of Tehran Press.



نقش بازار آب در ارتقای ارزش اقتصادی منابع آب کشاورزی

محمد نوید فدایی فرد^۱ | کیومرث ابراهیمی^۲ | مهدی بهزادپور^۳

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Navid_Fadaei@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه آموزشی علوم و فناوری‌های محیطی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: EbrahimiK@ut.ac.ir
۳. گروه آموزشی علوم و فناوری محیطی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Behzadpour.mahdi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷

هدف مقاله حاضر برآورد ارزش اقتصادی منابع آب کشاورزی با در نظر گرفتن نقش بازار آب است. نقش بازار آب در تخصیص بهینه منابع آب، امکان‌سنجی راه‌اندازی آن، بررسی کارایی و بررسی ابعاد اقتصادی و تأثیر آن بر منافع کشاورزان به عنوان چهار بخش اصلی این پژوهش، مورد بررسی قرار گرفته است. براساس اطلاعات سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و داده‌های توصیفی حاصل از مصاحبه با کشاورزان و کارشناسان، الگوی کشت محصولات کشاورزی منطقه اشتهارد، میزان منابع آب در دسترس، مقادیر مورد استفاده نهاده‌های تولید و تابع تقاضای نهاده آب به دست آمد. سپس براساس الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت و رهیافت بیشینه آنتروپی یک مدل بهینه‌سازی با هدف بیشینه‌سازی سود کشاورزان منطقه در حالت وجود بازار آب در محیط بسته نرم‌افزاری GAMS کدنویسی شد. پس از تشکیل مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف حداکثرسازی بازده تولید منطقه‌ای کشاورزان و حل مسئله بهینه‌سازی، قیمت سایه‌ای نهاده آب در دشت اشتهارد به ازای هر مترمکعب برابر با ۱۸۷۶۰ ریال به دست آمد. نتایج نشان داد که اختلاف موجود میان قیمت سایه‌ای نهاده آب و قیمت فروش آب کشاورزی سبب کاهش بهره‌وری آب کشاورزی شده است. مقادیر قدرمطلق کشش خود قیمتی تقاضا برای نهاده آب به ازای محصولات گندم، جو و یونجه به ترتیب برابر ۱/۴۲ و ۱/۳۶ و ۱/۳۵ به دست آمد. با توجه به مقادیر کشش تقاضا در تولید محصولات زراعی دشت اشتهارد می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزی در منطقه نسبت به نهاده آب کشش پذیری بالایی دارد. با برقراری بازار آب در منطقه، سطح زیر کشت محصول یونجه بیش از ۷۰ درصد کاهش و در مقابل سطح زیر کشت گندم ۸ و جو ۲۰ درصد افزایش نشان داد. نتایج به دست آمده نشان داد که در صورت فراهم شدن زیرساخت‌های نهادی و قانونی برای برقراری بازار آب کشاورزی توسط نهاده‌ها و سازمان‌های ذی‌ربط دشت اشتهارد، کشاورزان به سمت کاشت محصولات با نیاز آبی کمتر و ارزش اقتصادی بیش‌تر خواهند رفت. بنابراین برقراری بازار آب در منطقه دشت اشتهارد علاوه بر این که می‌تواند موجب افزایش ارزش اقتصادی آب کشاورزی در این منطقه شود، با افزایش انگیزه‌های صرفه‌جویی کشاورزان در مصرف منابع آبی، باعث استفاده بهینه و صحیح از این نهاده ارزشمند شود.

کلیدواژه‌ها:

ارزش اقتصادی بازار آب

تخصیص بهینه

دشت اشتهارد

قیمت‌گذاری آب کشاورزی

قیمت سایه‌ای

استناد: فدایی فرد، محمد نوید؛ ابراهیمی، کیومرث و بهزادپور، مهدی (۱۴۰۴). نقش بازار آب در ارتقای ارزش اقتصادی منابع آب کشاورزی. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۵ (۱)، ۵۵-۷۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.378080.1167>



۱. مقدمه

آب به عنوان ارزشمندترین منبع طبیعی و گنجینه‌ای حیاتی برای تمام انسان‌ها محسوب شده و در بخش‌های گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم‌چنین آب به عنوان نهاده اصلی تولید محصولات کشاورزی تأثیر به‌سزایی در توسعه پایدار بخش کشاورزی و توسعه اقتصادی سایر بخش‌ها دارد (Chizari et al., 2005). با وجود سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی که در سال‌های اخیر در بخش منابع آب کشور انجام شده است، به دلایلی مانند افزایش هزینه‌های استحصال منابع آبی جدید، برداشت بی‌رویه از منابع آب در دسترس، عدم تغذیه مناسب سفره‌های آب سطحی و زیرزمینی، عدم رعایت اصول مربوط به نگهداری و حفظ منابع آب، توسعه بی‌رویه صنعت و شهرنشینی و رخداد پدیده خشکسالی، آلودگی و تضعیف منابع آب کشور همچنان ادامه دارد. از طرف دیگر مدیریت ناصحیح در نظام عرضه و تقاضا، آب را به کالایی رقابتی برای مصارف مختلف تبدیل کرده است، به نحوی که عرضه منابع آبی در برخی مناطق نتوانسته است پاسخگوی تقاضای آن باشد. این محدودیت‌ها در بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب کشور، بیش‌تر جلوه می‌کند. به همین علت در سال‌های اخیر توجه مدیران، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان منابع آب، علاوه بر مدیریت عرضه منابع آب به سوی مدیریت تقاضا و صیانت از منابع آب نیز معطوف شده است (Azizi, 2001).

وجود خلأ در تأمین تقاضای فزاینده آب و محدودیت منابع موجود و از طرف دیگر رشد جمعیت شهرنشینی بیانگر این مهم است که این افزایش تقاضا بحران آفرین بوده و یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر محسوب می‌شود و می‌تواند سرآغاز بسیاری از تحولات مثبت و منفی در آینده جهان باشد. بنابراین، با توجه به تنگنای موجود در راستای بهره‌برداری، تخصیص، استفاده بهینه و جلوگیری از اتلاف این منبع ارزشمند و مبارزه با مشکل کم‌آبی به‌ویژه در بخش کشاورزی، اتخاذ سیاست‌ها و راهبردهای بلندمدت که از ابزارهای مدیریت کارآمد منابع آب می‌باشد، ضروری بوده تا با تأمین آب با کیفیت مطمئن در زمان و مکان معین و تخصیص آن بین بخش‌ها و مصارفی که دارای بالاترین بازده نهایی تولید هستند، موجب بهبود مدیریت آب کشاورزی شده است و بین عرضه و تقاضای آن تعادل برقرار شود (Keramatzadeh, 2005).

یکی از نیازهای اساسی مدیریت و بهره‌برداری منابع آب کشور علاوه بر مدیریت عرضه و تأمین آب موردنیاز بخش‌های مختلف، مدیریت تقاضای آب به عنوان رویکردی نوین می‌باشد. بازارهای آب و تعیین قیمت و ارزش اقتصادی نهاده آب در بخش کشاورزی به عنوان مهم‌ترین ابزارها در جهت اجرای سیاست‌های مدیریت تقاضای آب مطرح می‌باشد که منجر به تخصیص بهینه آب بین متقاضیان و مصارف مختلف و هم‌چنین ایجاد انگیزه برای صرفه‌جویی در مصرف و جلوگیری از اتلاف آن می‌شود (Easter et al., 1999).

اقتصاددانان کشاورزی معتقدند که در صورت وجود یک سامانه حقوقی مالکیت خصوصی با قابلیت انتقال منابع آبی، ایجاد و توسعه بازار آب می‌تواند سبب افزایش ضریب اطمینان در دسترسی به آب و کاهش ریسک کشاورزان شده و به‌نحو مطلوبی مدیریت و تخصیص بهینه آب را منعکس کند (Johansson, 2002; Garrido, 1998). بازارهای آب در بخش کشاورزی یک راه‌حل امید بخش جهت افزایش کارایی اقتصادی آب می‌باشند که کشاورزان با فرصت‌های ایجادشده در آن از طریق بهبود شیوه‌های مدیریت تأمین آب، برای اجاره و فروش آب اقدام نموده و در جهت تبدیل جریان‌های سطحی و نفوذهای عمقی آن در راستای تأمین آب قابل‌فروش در بازار تلاش خواهد نمود که از نتایج آن کاهش فشار کشاورزان به منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Wichelns, 1999). بازار آب یک نهاد مبادله‌ای است که با تعیین قیمت و انتقال اطلاعات مربوط به عرضه و تقاضا به تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان نقش مؤثری جهت تعیین انتخاب‌های بهینه ایفا می‌کند (Momeni et al., 2019). بازار آب با ایجاد بستری که در آن تخصیص آب براساس مبادله حق‌آبه جهت مصارف با ارزش افزوده بالاتر صورت می‌گیرد منجر به تخصیص بهینه آن می‌شود (Pujol et al., 2005).

سازوکار بازار برخلاف نقش و سابقه طولانی که در مدیریت و تخصیص منابع و کالاها داشته است، در مدیریت و تخصیص منابع آب کمتر مورد توجه سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان این حوزه قرار داشت تا این که در سال‌های اخیر و با تشدید بحران کم‌آبی در بیش‌تر مناطق دنیا استفاده از این ابزار بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است (Bohloolvand & Sadr, 2007).

با توجه به این که بخش کشاورزی یک بخش زیربنایی و تکیه‌گاه اساسی در تأمین نیازهای اقتصادی کشور می‌باشد و نهاده آب نیز عامل اصلی محدودکننده توسعه در این بخش محسوب می‌شود، لذا توجه به ارزش اقتصادی نهاده آب در جایگاه یک کالای اقتصادی در بخش کشاورزی، بسیار دارای اهمیت است. توجه به ارزش اقتصادی آب در قیمت‌گذاری این نهاده سبب تخصیص بهینه آب متناسب با سودمندی یا ارزش تولید نهایی متقاضیان می‌شود و انگیزه لازم را برای صرفه‌جویی مصرف‌کنندگان آب و جلوگیری از اتلاف آن ایجاد می‌کند. زیرا ارزان و یا رایگان بودن آب ممکن است باعث زیاده‌روی در مصرف آب شده و انگیزه را برای حفاظت و استفاده اقتصادی از آن تضعیف کند. از طرف دیگر، اگر قیمت آب بیش از ارزش تولید نهایی آن باشد، کشاورزان میل به استفاده از آن نخواهند داشت و چنین قیمتی برای آب مغایر با اهداف رشد کشاورزی و افزایش درآمد کشاورزان است. به همین جهت اگر قیمت آب با توجه به ارزش اقتصادی آن و با روش مناسب و دقیق تعیین شود در کنار جلوگیری از اتلاف آن باعث افزایش درآمد کشاورزان نیز خواهد شد.

بازار آب به‌عنوان ابزاری در توسعه تمرکززدایی، تخصیص بهینه منابع آب بین مصرف‌کنندگان و کاهش آثار کمبود آب معرفی می‌شود. ویژگی اصلی بازار آب توانایی آن در تخصیص دوباره آب بین مصارف گوناگون است، به‌نحوی که این تخصیص متوجه متقاضیانی خواهد بود که ارزش‌های بالقوه بالاتری از آب را ایجاد کرده و در نتیجه مطلوبیت نهایی بیش‌تری از منابع آب در مصارف و تولید محصولات خود به‌دست می‌آورند (Gomez-Limon & Martinez, 2006).

Keramatzadeh *et al.* (2010)، برای تعیین الگوی کشت بهینه و معادله تقاضای آب در اراضی پایین‌دست سد شیرین‌دره بجنورد از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت^۱ استفاده کردند. ایشان پس از تدوین الگوی کشت بهینه میزان پرداخت موردانتظار کشاورزان برای نهاده آب را در هر منطقه برآورد کرده و میزان عرضه آب را در سناریوهای ترسالی، نرمال و خشکسالی از مجموع منابع مختلف آب محاسبه نمودند. در مطالعه مذکور، قیمت تعادلی نهاده آب از تلاقی عرضه و معادله تقاضای کل آب، نوع مشارکت کشاورزان در بازار آب فرضی و حجم و ارزش موردانتظار مبادلات در قیمت تعادلی بازار آب نیز محاسبه شد.

Bohloolvand *et al.* (2014)، در پژوهشی به بررسی نقش بازارهای آب کشاورزی در قیمت‌گذاری و تخصیص منابع آب در بازار آب منطقه مجن پرداختند. بازار آب مجن به‌عنوان یک نمونه موفق و کارآمد از بازار رقابتی با پیشنهادی بیش از ۴۰ سال زمینه انواع مبادلات آب را فراهم کرده است. ایشان وجود حق‌آبه‌های قابل‌مبادله و تفکیک مالکیت آب و زمین، شبکه‌های انتقال آب به‌عنوان یک زیرساخت مناسب، وجود تشکلهای آب‌بران و مقررات مناسب در برداشت آب را از مهم‌ترین ملزومات تشکیل بازارهای آب دانسته‌اند. از مهم‌ترین نتایج این پژوهش می‌توان به ایجاد اولویت در تخصیص و اصلاح الگوی کشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کارکردهای بازار آب و وجود رابطه منفی و معنی‌دار بین مقدار تقاضا و قیمت آب اشاره کرد.

Mahmoodi & Parhizkari (2016)، در مطالعه‌ای به بررسی آثار شکل‌گیری بازارهای آب محلی و منطقه‌ای در استان تهران و پتانسیل انتقال آب در شرایط کم‌آبی در این استان پرداختند. ایشان با استفاده از یک سامانه مدل‌سازی اقتصادی شامل مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت و توابع تولید منطقه‌ای نتیجه گرفتند که برقراری بازارهای آب محلی و منطقه‌ای در استان تهران علاوه بر ایجاد تعادل میان عرضه و تقاضای آب آبیاری و تعادل در خرید و فروش آب در منطقه مورد مطالعه، سبب افزایش سطح زیرکشت در اراضی آبی و همچنین افزایش مجموع سود ناخالص کشاورزان می‌شود.

Howit et al. (2012)، در مطالعه‌ای به بررسی نقش بازارهای انتقال آب در کالیفرنیا تحت شرایط خشکسالی پرداختند. ایشان به منظور واسنجی مدل‌های اقتصادی در زمینه مدیریت منابع آب در کالیفرنیا، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت با تابع هزینه نمایی^۲ (ECF) و تابع تولید با کشش جانشینی ثابت^۳ (CES) استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که تخصیص آب با استفاده از سازوکار بازار آب می‌تواند زیان‌های انعطاف بیش‌تر بازار آب و زیان‌های درآمدی حاصل از خشکسالی را تا ۳۰ درصد کاهش دهد.

Medellin-Azuara et al. (2010)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی تأثیر جمع‌سازی مناطق بر ارزش‌گذاری آب آبیاری در کشور مکزیک را مورد بررسی قرار دادند. ایشان در این مطالعه ابتدا داده‌ها را در سطح مزرعه و سپس براساس منطقه در یک مدل لحاظ کرده و سپس تأثیر سناریوهای تکنولوژیکی، تغییر اقلیم، تغییر در قیمت آب و تغییرات قیمت محصول را مورد بررسی قرار دادند. برای واسنجی مدل نیز از تابع تولید با کشش جانشینی ثابت استفاده شد.

Esmaili Moakhar Fordoei & Ebrahimi (2018)، در مطالعه‌ای با استفاده از یک مدل ریاضی بومی توسعه یافته به تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی براساس نوع محصول و راندمان مالی کشاورزان در هفت شهرستان از استان مرکزی پرداختند. ایشان پس از محاسبه راندمان مالی کشاورزان در سه حالت آب رایگان، دریافت ۱۰ درصد از قیمت محاسبه شده و دریافت کامل قیمت آب از کشاورزان به این نتیجه رسیدند که حساسیت راندمان مالی کشاورزان به تغییرات درآمدها بیش‌تر از تغییر در مقدار هزینه‌ها است. علاوه بر این راندمان آبیاری با راندمان مالی لزوماً در همه موارد هم‌راستا نیست.

Omidi & Ebrahimi (2020)، در مطالعه‌ای با توسعه مدل ریاضی AWP ارزش اقتصادی آب را تعیین نمودند، در این پژوهش قیمت‌گذاری با استفاده از چهار روش براساس مساحت واقعی تحت کشت، حجم کل ناخالص آب مصرفی، درصدی از درآمدهای خالص و نوع محصول با استفاده از نرم‌افزار توسعه داده شده انجام شد. براساس نتایج مشخص شد که قیمت به دست آمده برای آب از روش‌هایی که براساس نوع محصول و با در نظر گرفتن مساحت و حجم آب مصرفی به صورت وزنی قیمت آب را تخمین می‌زنند، نسبت به روش‌هایی که نوع محصولات را در تعیین قیمت لحاظ نمی‌کنند، بیش‌تر است.

همان‌طور که در مرور پژوهش‌های صورت گرفته بالا اشاره شد، مطالعات انجام شده در ارتباط با موضوع این پژوهش در عرصه‌های داخلی و بین‌المللی را می‌توان به چهار بخش بررسی نقش بازار آب در تخصیص بهینه منابع آب، امکان سنجی راه‌اندازی و بررسی کارایی بازار آب، بررسی ابعاد اقتصادی بازار آب و تأثیر آن بر منافع کشاورزان و در نهایت مطالعات کتابخانه‌ای مانند بررسی تجارب کشورهای پیشرو در بازار آب دسته‌بندی نمود. با توجه به این که دسترسی به بازارهای آب واقعی به سختی ممکن است و همچنین دستیابی به اطلاعات دقیق، منسجم و کاربردی در این زمینه با محدودیت مواجه است؛ لذا در بیش‌تر پژوهش‌های صورت گرفته پژوهش‌گران بازارهای آب فرضی را با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مورد مطالعه قرار داده‌اند. مقاله حاضر نتیجه مطالعه ای است که با بررسی اثر بازار آب در افزایش ارزش اقتصادی منابع آب برای اولین بار در دشت اشتهارد و به عنوان یک مطالعه موردی از استان البرز بر مبنای داده‌های میدانی قابل استناد و با دید آسیب‌شناسی کاربرد منابع آب در محصولات با بهره‌وری پایین انجام شد. نتایج مقاله حاضر می‌تواند راهکارهای کاملاً جدید و کاربردی را برای کاربست صحیح بازار آب در مناطق مختلف کشور ارائه دهد. همچنین مدل PMP در تحلیل سیاست‌ها در شرایط موجود بسیار کارا می‌باشد. از مدل PMP در کشاورزی معمولاً برای ارزیابی تأثیر تغییرات احتمالی در شرایط بازار و سیاست‌های کشاورزی بر الگوی کشت کشاورزان، مصرف آب و پیامدهای اقتصادی آن استفاده می‌شود. در این مدل فرض می‌شود که کشاورزان در شرایط موجود و با توجه به قیمت

محصولات و نهاده‌ها به صورت بهینه عمل کنند، چرا که در شرایط واقعی محدودیت‌های بسیاری کشاورزان و تصمیم‌گیران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مقاله حاضر جهت تقریب مدل برنامه‌ریزی ریاضی با شرایط واقعی برای برآورد تابع تقاضای آب از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) استفاده شده و با محاسبه میزان عرضه آب، ارزش اقتصادی آب از طریق ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب و فراهم کردن امکان خرید و فروش آب در یک بازار آب فرضی در مدل برآورد شد. (Zeraati Neyshabouri & Khozaymehnezhad, 2022) بازار آب باید قوانین و قواعد کافی، روشن، اجرایی، قابل فهم و در عین حال حمایت‌کننده از روح بازار که همان اصل اختیار است، احاطه شوند. به عبارت دیگر، باید یک تعادل در سیاست‌های عمومی بین میزان مداخلات سیاستی در بازار و هزینه مبادلات برقرار باشد. روح حاکم بر ساختار حقوقی آب کشور، مشوق و حمایت‌کننده تشکیل بازار آب است (Ghobadi & Moridi, 2022). بیان کردند که استقرار بازار آب نقش مهمی در افزایش کارایی تخصیص آب در بخش‌های مصرفی آب خواهد داشت. در قوانین برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور، توجه به ارزش اقتصادی آب و تشکیل بازار آب مورد تأکید قرار گرفته است. مطالعات انجام‌شده نیز نشان می‌دهد اگرچه تشکیل بازار آب علاوه بر ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب کشاورزی سبب افزایش بازده برنامه‌های کشاورزان شده و از هدررفت آب تا حدی ممانعت می‌کند، اما پیش شرط‌هایی نیز باید برای ایجاد سازوکارهای مدیریتی فراهم شود که از آن جمله می‌توان به زیربنای نهادی، کارایی اقتصادی، تساوی حقوق و پایداری محیطی اشاره کرد (Doe & Smith, 2017) در پژوهشی به تحلیل بازار آب در ایالات متحده و تعیین ارزش اقتصادی آب پرداختند. ایشان به تحلیل تجربیات مختلف پرداخته و نتیجه گرفتند که بازار آب می‌تواند به تخصیص بهینه منابع آبی کمک کند. Brown & Johnson (2016) در مقاله‌ای به بررسی بازارهای آب در استرالیا پرداختند و اثرات اقتصادی آن‌ها را بر بهره‌وری و تخصیص بهینه منابع آب تحلیل می‌کند. نتایج نشان داد که بازار آب می‌تواند کارایی اقتصادی را افزایش داده و بهبود دهد. اما چالش‌هایی نظیر مسائل قانونی و نهادی نیز وجود دارند. Johnson & Turner (2023) در مقاله‌ای به بررسی اثرات تغییرات آب‌وهوایی بر بازار آب در کالیفرنیا پرداخته و راه کارهای مدیریتی برای تطبیق با شرایط جدید را پیشنهاد دادند. تحلیل‌های ایشان نشان داد که بازار آب می‌تواند به بهبود تخصیص منابع و کاهش اثرات منفی تغییرات آب‌وهوایی کمک کند. Colins & Brown (2024) به تحلیل اقتصادی و محیط زیستی تجارت آب در استرالیا پرداختند و تجربیات موفق و چالش‌های پیش رو در این کشور را بررسی کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که تجارت آب می‌تواند به بهبود بهره‌وری و حفاظت از منابع طبیعی کمک کند.

همان‌طور که در بالا تشریح، در پژوهش‌های پیشین تنها به بررسی اثر و نقش بازار آب پرداخته شده است و نقش بازار آب در بهبود بهره‌وری و تخصیص بهینه منابع آب نادیده گرفته شده است. در صورتی که در پژوهش حاضر به طور جامع این موضوع بررسی شده است همچنین مطالعه و بررسی موارد فوق‌الذکر برای اولین بار طی پژوهش حاضر در دشت اشتهارد انجام شد. بنابراین، هدف مقاله حاضر بررسی جایگاه بازار آب در تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی در دشت اشتهارد می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام‌گرفته، در مطالعه حاضر سعی شد تا تحلیل چندوجهی از اثرات ایجاد بازار آب در منطقه اشتهارد و همچنین مقایسه با پژوهش‌های مشابه در سطح جهانی مورد بررسی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر دشت اشتهارد واقع در استان البرز در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی، در جنوب ارتفاعات البرز مرکزی به عنوان

منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. استان البرز ۱/۱ درصد از کل محصولات زراعی کشور را تولید می‌کند. براساس آخرین سرشماری سراسری بخش کشاورزی، تعداد کل فعالان کشاورزی استان البرز ۳۰۲۸۱ نفر می‌باشند که در بخش‌های مختلف کشاورزی این استان مشغول به فعالیت می‌باشند که مجموع ۵۷۸۰ نفر از این تعداد فعالیت زراعی دارند. مجموع اراضی قابل کشت استان البرز ۶۵۰۸۶ هکتار برآورد شده است که ۳۹۹۲۰ هکتار آن که بیش از ۶۰ درصد است به اراضی زراعی اختصاص یافته است (سازمان جهاد کشاورزی استان البرز، ۱۳۹۹).

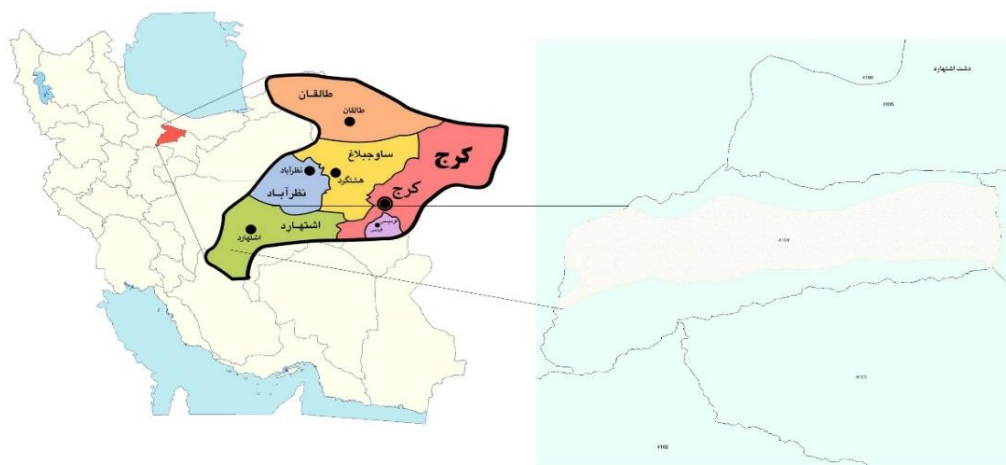


Figure 1. Geographical location of the study area in IRAN and Alborz Province

۲. ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

با توجه به اهداف پژوهش حاضر، با صرف نظر از ارتفاعات به دلیل عدم وجود فعالیت چشم‌گیر کشاورزی، ناحیه دشت در منطقه اشتهارد به عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شد. مساحت محدوده مطالعاتی دشت اشتهارد ۴۴۵/۷ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۵۵ درصد از وسعت کل محدوده را در بر گرفته است. متوسط دمای سالیانه ۱۴/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه در دشت ۲۱۴/۸ میلی‌متر ثبت شده است (مطالعات به‌هنگام‌سازی بیلان منابع آب حوضه آبریز دریاچه نمک، ۱۳۹۵). براساس نتایج حاصل از آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهرستان اشتهارد ۳۷۸۷۶ نفر می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).

۳. مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)

مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت^۴ یک تکنیک مدل‌سازی است که برای تحلیل رفتار اقتصادی در شرایط مختلف و برآورد دقیق‌تر تصمیم‌های اقتصادی استفاده می‌شود. از مزایای این مدل می‌توان به دقت در برآوردها، انعطاف‌پذیری بالا، سهولت واسنجی مدل و محاسبه هزینه‌های سایه‌ای اشاره کرد. این مدل می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا بهترین استفاده از منابع در دسترس مانند منابع آب و خاک را داشته باشند. لازم به یادآوری است که گاهی استفاده از مدل PMP تقریباً پیچیده و زمان‌بر است و پیاده‌سازی این مدل می‌تواند هزینه‌بر باشد. مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت با نرم‌افزارهایی مانند Microsoft Project، Trello، Assana، Basecamp و Jira قابل اجرا می‌باشد.

برنامه‌ریزی ریاضی یکی از ابزارهای مهم و کاربردی مورد استفاده در تحلیل‌های اقتصادی و روش غالب مورد استفاده برای

تخصیص بهینه منابع محدود در تحقیقات اقتصاد کشاورزی است (Howitt, 2006). تصمیم‌گیرندگان بخش کشاورزی با هدف پیش‌بینی آثار اعمال سیاست‌های خود و نتایج تغییر در آن‌ها نیاز به مقایسه بین سیاست‌های موجود با سیاست‌های جایگزین دارند. لذا از الگویی که توانایی باز تولید شرایط پایه در کنار مجموعه‌ای از محدودیت‌ها را داشته باشد، استفاده می‌شود (Heckelei, 2002). مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با توجه به نوع مسئله و روش بهینه‌سازی مدل به سه گروه مدل‌های برنامه‌ریزی دستوری (هنجاری)^۵ مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (اثباتی) و مدل‌های اقتصادسنجی تقسیم می‌شوند (Buysse et al., 2007). در مدل‌های دستوری مدل‌ساز برای بهینه‌سازی تابع هدفی که ماهیت آن توسط تصمیم‌گیرنده مشخص شده است، با تأکید بر محدودیت‌های سطوح متغیرهای مختلف را تعیین می‌کند (Hazell & Norton, 1986).

برای تشکیل یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دستوری، دسترسی به اطلاعات پایه‌ای سیستم کافی است پس با توجه به این که آماره‌های تابع هدف و محدودیت‌ها با داده‌های گذشته واسنجی نمی‌شوند این مدل‌ها الزاماً داده‌های مشاهده‌ای را بازتولید نمی‌کنند و تضمینی برای رسیدن به شرایط موجود وجود ندارد. اما در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مثبت فرض بر آن است که در شرایط موجود کشاورزان با در نظر گرفتن قیمت محصول و نهاده‌ها به صورت بهینه رفتار کنند. به طور کلی مدل‌های دستوری برای حالتی که یک پیشنهاد یا عملیات مدنظر باشد بهتر عمل می‌کنند، اما مدل‌های اثباتی برای تحلیل سیاست‌ها در شرایط موجود مفیدتر هستند (Keramatzadeh et al., 2010). در کشاورزی از مدل‌های PMP معمولاً برای بررسی آثار تغییرات احتمالی در شرایط بازار و تأثیر سیاست‌های کشاورزی بر روی الگوی کشت کشاورزان، میزان مصرف آب و پیامدهای اقتصادی ناشی از این تغییرات استفاده می‌شود.

با توجه به آنچه که در بالا ذکر شد در مطالعه حاضر از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت استفاده شد. استفاده از این روش مزایای دیگری همچون ایجاد شرایط غیرخطی در ساختار مدل به منظور در نظر گرفتن محدودیت‌های مشاهده‌نشده، سازگاری بیش‌تر این مدل‌ها با شرایط واقعی و کاهش بسیاری از محدودیت‌ها و مشکلات در مقایسه با برنامه‌ریزی ریاضی دستوری را دارا می‌باشد (Arfini et al., 2003). براساس پژوهش‌های (Howitt (1995a) و Paris & Howitt (1998)، مدل‌سازی آثار اعمال سیاست‌ها با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) طی سه مرحله اصلی انجام می‌شود.

اولین گام در این روش از حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی^۶ (LP) که در آن با استفاده از یک تابع حداکثرسازی سود ناخالص کشاورزان منطقه به همراه محدودیت‌های واسنجی و محدودیت‌های منابع، مقادیر دوگان این محدودیت‌ها محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، با حل این مسئله برنامه‌ریزی خطی برآورد قیمت سایه‌ای^۷ سطح زیر کشت محصولات کشاورزی تحقق می‌یابد.

$$\max Z = P'x - C'x$$

s. t:

$$Ax \leq b \quad [\lambda]$$

$$x \leq x_0 + \varepsilon \quad [\rho]$$

$$x \geq 0$$

رابطه ۱)

که در آن، Z ارزش تابع هدف، P ماتریس $(n \times 1)$ قیمت‌های محصولات، x ماتریس $(n \times 1)$ سطوح واقعی فعالیت‌های تولید، C ماتریس $(n \times 1)$ هزینه هر واحد از فعالیت تولیدی، A ماتریس $(m \times n)$ ضرایب فنی در محدودیت‌های منابع، b ماتریس $(m \times 1)$ مقادیر منابع در دسترس، X_0 ماتریس $(n \times 1)$ سطوح مشاهده‌شده فعالیت تولیدی، ε شامل اعداد مثبت بسیار کوچک جهت جلوگیری از وابستگی خطی میان محدودیت‌های ساختاری و محدودیت‌های واسنجی و اجتناب از ایجاد مقدار صفر در قیمت‌های سایه‌ای، λ ماتریس $(m \times 1)$ از متغیرهای دوگان^۸ (قیمت سایه‌ای) مرتبط با محدودیت‌های منابع، ρ ماتریس $(n \times 1)$ از متغیرهای دوگان (قیمت سایه‌ای) مرتبط با محدودیت‌های واسنجی که می‌توان آن را به عنوان اثر حاشیه‌ای آماره خطا در رابطه با سطح واقعی فعالیت تولیدی بر درآمد خالص واقعی تفسیر کرد.

در گام دوم، از مقادیر دوگان به دست آمده در مرحله پیشین برای واسنجی یک تابع هدف غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به گونه‌ای که سطوح فعالیت مشاهده شده در دوره پایه توسط الگوی غیرخطی مذکور و بدون استفاده از محدودیت‌های واسنجی بازتولید شود. تابع هدف غیرخطی در مرحله دوم از طریق قراردادن یک تابع عملکرد غیرخطی و یا یک تابع هزینه غیرخطی در تابع هدف مدل در مرحله اول به دست می‌آید. البته باید اشاره کرد که بسته به نوع توابع در هر یک از حالت‌ها، تفسیر متغیر دوگان مربوط به محدودیت‌های واسنجی متفاوت است. ضرایب تابع هزینه غیرخطی و یا تابع عملکرد غیرخطی که ممکن است به صورت شکل تابعی لئونتیف تعمیم یافته، تابع تولید با کشش جانشینی ثابت، تابع تولید درجه دوم، ترانسندنتال و ترانسلوگ باشد، در گام دوم به دست می‌آیند.

۴.۲. واسنجی مدل PMP با استفاده از رهیافت حداکثر آنتروپی

روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به عنوان یک روش تحلیل تجربی شامل یک ساختار کلی با مراحل مشخص می‌باشد. تفاوت اصلی موجود در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، نوع تابع تولید و تابع هزینه برای نهاده ثابت و راهبرد تخمین ضرایب این توابع می‌باشد. براساس آخرین مطالعات معتبر در این زمینه، کامل‌ترین روش حال حاضر تخمین ضرایب توابع تولید و هزینه غیرخطی جهت واسنجی مدل براساس روش حداکثر آنتروپی^۹ استوار است (Howitt, 2005; Caplo & Paris, 2008). این روش برای اولین بار توسط Golan et al. (1996) ارائه شد و به حداقل مربعات معمولی^{۱۰} و دیگر تکنیک‌های برآوردی اقتصادسنجی توسعه داده شد. ساختار این روش بر مبنای در نظر گرفتن ضرایب رگرسیون به عنوان متغیرهای تصادفی مجزا در یک بازه حمایتی و احتمال ممکن برای تحقق هر یک از مقادیر موجود در این بازه، استوار است. این بازه با محدودیت و بسته بودن مجموعه آن از به دست آمدن ضرایب رگرسیون کاذب جلوگیری می‌کند. براساس این روش، حداکثر احتمال ممکن برای این بازه محاسبه می‌شود (Caplo & Paris, 2008).

چالش اصلی که در مرحله تخمین پارامترهای توابع غیرخطی وجود دارد آن است که تعداد پارامترهای نامعلوم از تعداد معادلات در یک دستگاه معادلات بیش‌تر است (Howitt & Paris, 1998; Golan et al., 1996). این گونه مسائل در اقتصاد کشاورزی را مسائل بد طرح^{۱۱} یا بد رفتار می‌نامند. به بیان دیگر، این مسائل درجه آزادی منفی دارند و تعداد پارامترهایی که باید تخمین زده شوند بیش‌تر از تعداد داده‌های مشاهداتی است. این مشکل در مرحله تخمین پارامترهای توابع غیرخطی نیز رخ می‌دهد، به طوری که تعداد پارامترهای نامعلوم از تعداد معادلات موجود در یک دستگاه معادلاتی بیش‌تر باشد. به عبارت دیگر، اگر تعداد آماره‌های ناشناخته از تعداد مشاهدات بیش‌تر باشد اصطلاحاً مسئله از نوع بد رفتار است چرا که مقدار اطلاعات نمونه برای برآورد متداول ساختار مدل کافی نمی‌باشد.

مطالعات اقتصادسنجی روش‌های مختلفی برای حل این مسئله ارائه داده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. روش‌هایی همچون اعمال محدودیت‌های کافی بر پارامترهای الگو تا زمانی که امکان تخمین آماره‌های باقیمانده فراهم شود و یا استفاده از الگوهای رگرسیون فازی به عنوان راه حل دوم مطرح است.

در برخی از مطالعات پژوهش‌گران، راه حل این مسأله آن است که عناصر غیر قطری ماتریس $(n \times n)$ را برابر با صفر قرار داد (Britz et al., 2003). این روش‌ها با وجود این که جواب‌های سال پایه را واسنجی می‌کنند، اما پاسخ‌های رفتاری حاصل از این مدل‌ها اختیاری و به طور بالقوه غیررضایت‌بخش است. چرا که پاسخ رفتاری مدل واسنجی شده، بیش از حد به مشتقات درجه دوم تابع هدف وابسته است، که به عقیده ایشان در این روش‌ها توجه لازم به این موضوع نشده است (Hizzel & Norton, 1986). خوشبختانه یک روش جایگزین وجود دارد که می‌تواند پارامترها را در مسائل بد رفتار استفاده از نظریه اطلاعات و اصل حداکثر آنتروپی، تخمین بزند. این پژوهش‌گران رویکردی براساس رهیافت حداکثر آنتروپی را

برای رسیدگی به این مشکل مفید دانسته‌اند. از طرف دیگر، استفاده از توابع هزینه غیرخطی برای واسنجی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت مشروط بر آن است که توابع تولید نسبت به مقیاس بازده کاهشی داشته باشند، به عبارت دیگر، ایجاد تغییرات در نهاده‌ها موجب تغییر در تابع تولید نشود (Howitt, 1995). در نظر گرفتن این مهم باعث رخداد ناسازگاری تئوریک در بنیان مسئله و پیدایش الگوهای ساختگی می‌شود که در آن تصریح‌های هزینه و تولید ناسازگار هستند (Bakhshi, 2009). براساس آنچه گفته شد و با فرض تعریف توابع عملکرد محصولات به صورت تابعی از نهاده‌های تولید، واسنجی الگو براساس رویکرد تابع تولید پیشنهاد شده است (Howitt, 2005). بنابراین، در این مطالعه به منظور تصریح و برآورد ضرایب تابع تولید از رهیافت حداکثر آنتروپی استفاده شده است.

با فرض این که رابطه (۲) معرف تابع تولید غیرخطی درجه دوم برای محصول j با نهاده i باشد، باید به این نکته توجه داشت که در این رابطه متغیر x_{ij} مقادیر نهاده i برای محصول j را نشان می‌دهد که به عنوان مقدار کل نهاده مورد نظر در مقیاس هر واحد الگوسازی در حد مزرعه و یا منطقه‌ای تعریف شده است و نهاده‌ها برحسب میزان هر یک از آن‌ها در واحد هکتار اندازه‌گیری نشده‌اند، چون در رویکرد تابع تولید برای یک محصول خاص زمین به عنوان یک نهاده ورودی که دارای شرایط مرزی است در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب در این الگو، عملکرد محصول در واحد هکتار یک متغیر درون‌زا می‌باشد که مقدار آن توسط خود مدل تخمین زده می‌شود که این با مدل اولیه PMP که در آن عملکرد یک پارامتر ثابت بود، در تناقض است. با تعریف زیرنویس k به عنوان جایگزین نهاده i تابع تولید غیرخطی درجه دوم برای محصول j به صورت زیر می‌باشد (Bakhshi, 2009):

$$Y_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}x_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n q_{ijk}x_{ij}x_{kj} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن، Y_j عملکرد محصول j ، a_{ij} ضرایب جزء ثابت تابع تولید، q_{ijk} ضرایب جزء درجه دوم تابع تولید و x_{kj} مصرف نهاده k که به عنوان جایگزین نهاده i در تولید محصول j استفاده شده است. رابطه (۳) الگوی بهینه‌سازی مبتنی بر تابع تولید محصول j با استفاده از نهاده‌های i را نشان می‌دهد (Howitt & Msangi, 2019):

$$\begin{aligned} \text{Max } \pi &= \sum_{j=1}^m \left(p_j \left[\sum_{i=1}^n a_{ij}x_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n q_{ijk}x_{ij}x_{kj} \right] - \sum_{i=1}^n w_{ij}x_{ij} \right) \\ \text{S.t:} \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} &\leq b_j \\ x_{ij} &\geq 0 \end{aligned} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن، π بازده برنامه‌ای تابع هدف، p_j قیمت محصول j ، w_i قیمت هر واحد از نهاده‌های تولیدی که در این پژوهش نهاده آب می‌باشد و b_j مقدار منابع در دسترس برای تولید محصول j و q و a به عنوان ضرایب جزء ثابت و جزء درجه دوم تابع تولید غیرخطی می‌باشند که در این مطالعه با استفاده از رهیافت حداکثر آنتروپی برآورد شد. به همین منظور جهت تخمین این ضرایب در ابتدا نیاز به تعریف نقاط پشتیبان است. تعیین نقاط پشتیبان در رهیافت حداکثر آنتروپی تا حدودی اختیاری است، اما در تعیین این نقاط توجه به دو نکته اساسی از اهمیت بالایی برخوردار است، نکته اول این که نقاط پشتیبان باید با توجه به محدودیت‌های الگو انتخاب شوند تا امکان ورود این نقاط به درون الگو فراهم شود و نکته دوم این که نقاط پشتیبان در برآورد خنثی باشند به غیر از حالتی که مدل‌ساز تصمیم داشته باشد اطلاعات خاصی را به این وسیله وارد الگوی مدل‌سازی کند. برای تعیین نقاط پشتیبان با توجه به دو شرط یادشده، از شرایط مشتق‌گیری مرتبه اول تابع هدف استفاده می‌شود (Howitt, 2005).

شرط مرتبه اول الگوی حاصل از جایگذاری تابع تولید غیرخطی در تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی با برابر صفر قراردادن مشتق آن نسبت به x_{ij} به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود (Howitt & Msangi, 2019):

$$\frac{\partial \pi}{\partial x_{ij}} = p_j \left[a_{ij} - \sum_{k=1}^n q_{ijk} x_{kj} \right] - w_i - \lambda_i = 0 \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن، λ_i نمایان‌گر قیمت سایه‌ای محدودیت‌های منابع است در مدل برنامه‌ریزی خطی در گام اول از می‌باشد. شرط مرتبه اول برای الگوی تابع تولید نهایی حاصل از هر نهاده را برآورد می‌کند به‌طوری‌که تساوی تولید نهایی فیزیکی هر نهاده در هر محصول با نسبت هزینه نهایی کل هر واحد از نهاده (مجموع قیمت نهاده و هزینه فرصت)^{۱۲} به قیمت محصول شرح داده شود که رابطه ریاضی آن به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{w_i + \lambda_i}{p_j} = a_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n q_{ijk} x_{kj} \quad \text{رابطه (۵)}$$

روابط (۴) و (۵) شرایطی را برآورد می‌کنند که نشان می‌دهد ارزش تولید نهایی هر نهاده که در تولید محصولات از آن استفاده شده است با هزینه نهایی آن برابر است. فرض بر آن است که زارعین اطلاعات مربوط به عملکرد محصول را به‌عنوان یک منبع اطلاعاتی، به‌درستی اعلام نمایند. براساس پیشنهاد ارائه‌شده در پژوهش‌های هویت^{۱۳} (۲۰۰۵)، استفاده از این اطلاعات می‌تواند منجر به واسنجی دقیق‌تر تابع تولید الگو شود. بنابراین بازسازی الگوی تابع تولید با استفاده از رهیافت حداکثر آنتروپی، توسط میزان تولید کل و تولید نهایی محدود می‌شود و به این ترتیب محدودیت تابع تولید (قید تولید کل) به شکل رابطه (۶) است:

$$y_i \times x_{j,land} = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n q_{ijk} x_{ij} x_{kj} \quad \text{رابطه (۶)}$$

علاوه بر برقراری شرایط مرتبه اول به‌منظور حصول اطمینان از برآورد صحیح جواب بهینه یکتا توسط الگوی بهینه‌سازی حاصل، لازم است تا محدودیت‌های تقارن، مثبت و نیمه‌معین بودن به ماتریس تابع تولید درجه دوم غیرخطی تحمیل شود. در این راستا استفاده از رهیافت تجزیه چولسکی^{۱۴} پیشنهاد می‌شود که در آن، ماتریس Q در تابع تولید درجه دوم به حاصلضرب یک ماتریس پایین مثلثی (L) و ماتریس تراننهاده آن (L') تبدیل می‌شود و به شکل رابطه (۲۷) بیان می‌شود (Howitt & Msangi, 2019; Howitt, 2005):

$$Q = L \times L' \quad \text{رابطه (۷)}$$

با فرض این‌که از t نقطه پشتیبان جهت برآورد تابع تولید با رهیافت حداکثر آنتروپی در نظر گرفته شود و احتمال وقوع نقاط پشتیبان za_{ij} با pa_{ij} و احتمال وقوع نقاط پشتیبان zl_{ij} با pl_{ij} آنگاه ارزش تخمینی عناصر بردار a و q ماتریس توسط روابط (۸) و (۹) به‌دست می‌آیند (Howitt & Msangi, 2019; Howitt, 2005):

$$a_{ij} = \sum_{p=1}^t za_{pij} pa_{pij} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$q_{ikj} = \left(\sum_{p=1}^t zl_{pikj} pa_{pikj} \right) \times \left(\sum_{p=1}^t zl_{pkij} pl_{pkij} \right) \quad \text{رابطه (۹)}$$

در ادامه و در جهت تکمیل مدل‌سازی با رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، بردار a_{ij} و ماتریس q_{ikj} در تابع تولید غیرخطی مسئله جایگذاری می‌شود و الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی با استفاده از این تابع به‌همراه قید مربوط به محدودیت‌های منابع به‌صورت رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید:

$$\max \sum_{j=1}^m \left[p_j \left(\sum_{i=1}^n \left[a_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n q_{ijk} x_{ij} x_{kj} \right] x_{ij} \right) - \sum_{i=1}^n w_i x_{ij} \right] \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq b_i$$

$$x_{ij} \geq 0$$

به عنوان مرحله سوم رهیافت برنامه ریزی ریاضی مثبت (PMP)، یک الگوی برنامه ریزی غیرخطی با استفاده از تابع تولید غیرخطی به همراه محدودیت های منابع و بدون نیاز به محدودیت های واسنجی به شکل رابطه (۱۱) تشکیل می شود. این تابع تولید غیرخطی، مقدار نهاده ها، ستانده ها، عملکرد و ارزش سایه ای زمین و نهاده های ثابت دیگر را واسنجی می کند (Bakhshi, 2009; Howitt, 2005).

نحوه انتخاب ترکیب بهینه کشت محصولات در یک منطقه یا مزرعه به تابع هدف و قیدهایی وابسته است که از محدودیت های مختلفی همچون محدودیت های سرمایه، محدودیت های بازار و یا محدودیت های قانونی ناشی می شود. در این مطالعه، با توجه به بازدیدهای میدانی و اطلاعات به دست آمده از مصاحبه حضوری با کشاورزان و کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان اشتهارد، مهم ترین محدودیت های تأثیرگذار بر فعالیت تولیدی برای ورود آن ها به مدل تحت عنوان قیدهای مسئله بهینه سازی شناسایی شد. در ادامه، تابع هدف الگوی برنامه ریزی خطی به همراه قیدهای مربوط به آن شامل محدودیت در منابع آبی، سطح زیر کشت محصولات، نیروی کار، ماشین آلات کشاورزی و محدودیت سرمایه (شامل بذر، کود و سموم مصرفی) می باشد که در روابط زیر به ترتیب نشان داده شده است.

$$\max Z = \sum_{j=1}^n x_j (P_j Y_j - C w_j - C_i) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

رابطه (۱۱) تابع هدف الگوی برنامه ریزی خطی را ارائه می دهد و هدف بیشینه سازی سود کشاورزان منطقه مورد مطالعه را دنبال می کند در آن Z درآمد ناخالص سالیانه یا سود کشاورزان با کسر هزینه ها، x_j سطح زیر کشت محصولات غالب زراعی برحسب هکتار، P_j قیمت محصول j ، Y_j عملکرد محصول j برحسب کیلوگرم در هکتار، $C w_j$ هزینه آب مورد استفاده برای تولید محصول j در هر یک هکتار زمین زراعی که شامل هزینه آب استحصال شده در میزان آب مصرفی برای تولید محصول می باشد و C_i کل هزینه های مربوط به نهاده های تولید به غیر از هزینه آب مصرف شده را نشان می دهند. این رابطه بیانگر ساختار کلی تابع هدف می باشد که هر یک از متغیرهای این تابع دارای جزئیات مهمی است که با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند.

$$\sum_{j=1}^n W_j x_j \leq S w + G w \quad \text{رابطه ۱۲}$$

رابطه (۱۲) نشان دهنده محدودیت منابع آب در دسترس می باشد که میزان آب مورد نیاز برای کل محصولات را به کل آب قابل دسترس اعم از آب های سطحی و زیرزمینی محدود می کند. با توجه به این که در محدوده دشت اشتهارد میزان آب تأمین شده از منابع سطحی توسط کشاورزان برای کاشت محصولات زراعی بسیار ناچیز است، لذا در عمل این قید فقط محدود به مجموع آب های زیرزمینی موجود در منطقه شامل چاه، قنات و چشمه خواهد بود. در این رابطه $W_j x_j$ کل آب مصرفی برای تولید محصول j ، $S w$ مقدار منابع آب سطحی موجود و $G w$ مقدار منابع آب زیرزمین موجود در منطقه را نشان می دهند.

رابطه (۱۳) قید سطح زیر کشت را نشان می دهد و بیانگر این است که مجموع کل زمین های زیر کشت محصولات زراعی در منطقه (x_j) باید کوچک تر یا برابر با کل زمین های قابل کشت یا آبیاری ($Land_{Total}$) در آن منطقه باشد که یک مسئله بدیهی می باشد.

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq Land_{Total} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

رابطه (۱۴) نیز محدودیت نیروی کار مورد نیاز جهت تولید محصولات در منطقه را نشان می‌دهد که در آن مقدار نیروی کار لازم برای تولید محصول z می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^n L_j x_j \leq Labor_{Total} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

رابطه (۱۵) ظرفیت منطقه مورد مطالعه از لحاظ میزان ماشین‌آلات کشاورزی موجود در منطقه را ($Machin_{Total}$) که در مراحل کاشت، داشت و برداشت محصولات زراعی به آن‌ها نیاز است به میزان ماشین‌آلات لازم جهت انجام فعالیت تولید محدود می‌کند. در این رابطه، M_j بیانگر میزان ماشین‌آلات لازم همچون تراکتور و کمباین براساس ساعت جهت تولید محصول z می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^n M_j x_j \leq Machin_{Total} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

رابطه (۱۶) بیانگر محدودیت عامل سرمایه می‌باشد که بیانگر که شامل مجموع هزینه یا سرمایه تخصیصی بذور، کودها و سموم شیمیایی می‌باشد. که در آن، C_j نشان‌دهنده کل هزینه‌های سرمایه‌ای همچون هزینه تأمین بذور، کودها، سموم شیمیایی و دیگر هزینه‌های ثابت و متغیر است. معیار اندازه‌گیری که معمولاً برای قید سرمایه‌گذاری مورد استفاده قرار می‌گیرد براساس معیاری ریالی-وزنی می‌باشد. $Invest_{Total}$ در سمت راست رابطه نیز بیانگر مجموع کل سرمایه در دسترس جهت انجام فعالیت زراعی در منطقه مورد مطالعه است.

$$\sum_{j=1}^n C_j x_j \leq Invest_{Total} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

۳. نتایج و یافته‌های پژوهش

براساس اطلاعات مستند دریافت‌شده از سازمان جهاد کشاورزی استان البرز و نتایج بررسی‌های میدانی وضعیت کشاورزی دشت اشتهارد مشخص و در جدول (۱) به‌صورت خلاصه ارائه شده است.

Table 1. Summary of Agricultural Status of Eshtehard County (Agricultural Jihad Organization of Alborz Province, 1398)

Land Type	Area (Hectares)	Percentage of Total	Total Production (Tons)
Total Land Area	79,000	-	-
Total Cultivated Land	2,840	100%	27,900
Cultivated Agricultural Land	2,260	80%	23,050
Cultivated Orchard Land	580	20%	4,850

شهرستان اشتهارد با در اختیار داشتن ۶/۳ درصد از مجموع اراضی زیر کشت استان البرز، حدود ۲/۵ درصد از کل تولیدات کشاورزی استان را داراست. در این پژوهش محصولات زراعی غالب دشت اشتهارد شامل جو، گندم و یونجه مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مربوط به محصولات زراعی غالب منطقه که به‌روش پیمایش میدانی از کشاورزان و کارشناسان جهاد کشاورزی منطقه به‌دست آمد، در جدول (۲) ارائه شده است. بیش از ۹۰ درصد اراضی کشاورزی دشت اشتهارد تحت کشت آبی است. لذا در این پژوهش فعالیت‌های تولیدی کشاورزی بیش‌تر در ارتباط با محصولات زراعی آبی مورد نظر می‌باشد.

Table 2. Descriptive Information of Agricultural Crops in Eshtehard Plain

Crop Name	Yield(kg per hectare)	Net Irrigation(m ³ per hectare)
Wheat	4,098.3	3,460
Barley	3,189.6	2,930
Alfafa	10,451.8	9,190

همچنین جدول (۳) سطح زیر کشت و مقدار تولید محصولات زراعی اصلی دشت اشتهارد را در سال پایه نشان می‌دهد.

Table 3. Cultivated Area of Main Crops in Eshtehard Plain

Crop Name	Cultivated Area (Hectares)	Production (Tons)
Wheat	722	2,595
Barley	815	3,113
Alfalfa	425	4,442
Corn(silage)	110	5,250
Cotton	105	226
Canola	46	58
Total	2,223	15,684

(Source: Agricultural Jihad Organization of Alborz Province, 1398)

در جدول (۴) نرخ خرید تضمینی و نرخ بازاری محصولات کشاورزی در سال مطالعه ارائه شده است. توضیح آن‌که، میانگین نرخ بازار محصولات در ماه‌های سال زراعی ۹۸-۹۹ به‌عنوان قیمت بازار محصولات در نظر گرفته شده و در محاسبات استفاده شد. در این پژوهش هزینه‌های خالص تولید یک هکتار از محصولات زراعی با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده به شرح جدول (۵) نتیجه و استفاده شد.

Table 4. Guaranteed Purchase Price and Market Price of Agricultural Products (Crop Year 1399-1398)

Product	Price	Market price (Rial)	Guaranted purchase price (Rial)
Wheat		24,301	24,000
Barley		20,960	16,300
Alfalfa		23,785	-

Table 5. Production Costs of Agricultural Crops in Ashtard Plain per Hectare

Product	Total price	Total cost (Rial per hectare)	Net cost (Rial per hectare)
Wheat		101,306,418	84,422,000
Barley		91,183,320	75,986,100
Alfalfa		84,902,400	70,752,000

براساس اعلام‌های منطقه‌ای قیمت فروش آب کشاورزی به‌طور متوسط ۲۰۰۰ ریال به‌ازای هر مترمکعب در نظر گرفته شد و با استفاده از اطلاعات موجود در آمارنامه زراعی محصولات کشاورزی سال ۱۳۹۹ و داده‌های میدانی گردآوری‌شده از منطقه مورد مطالعه، خالص هزینه‌های تولید سه محصول گندم، جو و یونجه محاسبه شد. با اضافه کردن ۲۰ درصد هزینه‌های تولید به‌عنوان سود تولیدکننده مقادیر کل هزینه تمام‌شده تولید محصول به‌ازای یک هکتار برای هر محصول محاسبه شد و سپس بازده تولید کشاورزان دشت اشتهارد در شرایط عدم وجود بازار آب به‌دست آمد. مجموع سود کشاورزان منطقه برای کاشت سه محصول گندم، جو و یونجه به‌ازای هر هکتار و با توجه به تفاضل هزینه‌های تولید و درآمد حاصل از فروش محصول به شرح جدول (۶) محاسبه شد. تابع هدف مدل تجربی با هدف حداکثرسازی درآمد کشاورزان منطقه که حاصل از فعالیت‌های زراعی می‌باشد نیز به شرح رابطه (۱۷) در نظر گرفته شد.

$$\max \Pi = \sum_{i=1}^3 A_i(p_i * Y_i - c_{wi} - C_k) \quad \text{رابطه ۱۷}$$

که در آن، II نشان دهنده بازده ناخالص سالانه یا درآمد سالانه کشاورزان منطقه از کاشت محصولات گندم، جو و یونجه به عنوان الگوی کشت غالب منطقه می باشد.

Table 6. Farmers' Profit from Agricultural Activities in the Current Region Conditions

Product	Farmers' Profit	Current region conditions (Thousand rial)
Wheat		12,190,549
Barley		12,385,734
Alfalfa		6,013,920
Total		30,590,203

با توجه به این که الگوی کشت به دست آمده از مدل برنامه ریزی ریاضی مثبت نسبت به الگوی کشت موجود منطقه تفاوت چندانی را نشان نداد و از طرفی در الگوی کشت پیشنهادی مدل مجموع سود کشاورزان منطقه به میزان ۳/۵۴ درصد افزایش یافت و با توجه به این که الگوی برنامه ریزی یاد شده با شرایط موجود منطقه منطبق است، بنابراین می توان از این الگو جهت تحلیل و بررسی اثرات اعمال سیاست ها، برآورد تقاضای آب کشاورزی منطقه و تأثیر بازار آب و قیمت تعادلی این نهاده در درآمد زارعین منطقه دشت اشتهارد استفاده کرد.

۳.۱. برآورد نیاز آبی خالص محصولات زراعی

برای محاسبه نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی دشت اشتهارد جهت برآورد تقاضای آب کشاورزی منطقه از نسخه ۸ نرم افزار CROPWAT استفاده شد. این نرم افزار توسط سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد (فائو)^{۱۵} برای محاسبه نیاز آبی گیاهان براساس روش فائو-پنمن-مونتیس که در شرایط آب و هوایی خشک و هم چنین مرطوب کاربرد دارد، تهیه شده است. به عنوان داده های ورودی این نرم افزار علاوه بر اطلاعات موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از مقادیری همچون حداکثر و حداقل دما، میانگین رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین و ساعات آفتابی نیز استفاده می شود. به این ترتیب نیاز خالص آبیاری محاسبه شد که مقادیر تبخیر-تعرق، باران مؤثر و نیاز خالص آبیاری در دوره رشد برای سه محصول گندم، جو و یونجه در دشت اشتهارد محاسبه و در جدول ۷ ارائه شده است.

Table 7. Net Irrigation Requirement of Agricultural Crops in Eshtehard Plain

Crop Type	Planting and Growing Period	Net Irrigation Requirement (mm during growth period)
Wheat	Planting early autumn / Harvest early spring (241 days)	420.9
Barley	Planting early autumn / Harvest early spring (240 days)	368
Barley	Three cuts, planting in spring and summer (365 days)	910.6

۳.۲. تقاضای آب کشاورزی دشت اشتهارد

با توجه به سطح زیر کشت محصولات در الگوی کشت فعلی منطقه و نیاز آبی برآورد شده محصولات کشاورزی مورد بررسی، حجم آب مصرفی جهت کاشت هر یک از محصولات زراعی و در نهایت مجموع تقاضای آب کشاورزی در منطقه و در شرایط عدم وجود بازار آب به شرح زیر محاسبه شد.

Table 8. Water Consumption Volume of Main Agricultural Crops in Eshtehard Plain

Crop	Water Consumption Volume (Cubic Meters)
Wheat	2,768,510
Barley	2,694,390
Alfalfa	3,887,900
Total	9,350,800

۳.۳. قیمت گذاری آب کشاورزی و نظام ارزش گذاری

در کشورهای توسعه یافته از سیاست قیمت گذاری آب به عنوان یک ابزار جهت مدیریت اقتصادی عرضه و تقاضا و تخصیص بهینه منابع آب در میان مصارف مختلف با هدف پیشینه سازی کارایی و جلوگیری از اتلاف منابع آب استفاده می شود. زمانی که کالایی در بستر یک بازار رقابت کامل مبادله می شود، مبلغی که مصرف کننده برای آخرین واحد کالا پرداخت کرده است را قیمت بازاری می گویند. قیمت بازار از تعادل بین عرضه و تقاضا به دست می آید و این قیمت در سطحی که تمایل به پرداخت مصرف کننده برای آخرین واحد تولید شده برابر هزینه تولید آن واحد است قرار دارد (نظری، ۱۳۹۷). در یک فعالیت تولیدی کشاورزی، کشاورز به عنوان بنگاه اقتصادی بهره وری منابع آب کشاورزی را وابسته به هزینه آب به عنوان مهم ترین عامل محدودیت و ارزش نهایی محصول تولید شده می داند.

۳.۴. قیمت، هزینه تمام شده و ارزش اقتصادی آب کشاورزی

مفهوم قیمت تعادلی یا قیمت بازار برای یک کالا یا نهاده قیمتی است که بیانگر نقطه تعادل عرضه و تقاضا برای آن کالا است. راه کار عملی برای ایجاد تعادل میان عرضه و تقاضا در مدیریت منابع آب نیز استفاده از سیاست قیمت گذاری آب است. درک صحیح از نظام قیمت گذاری منابع آب نیازمند توجه به دو مفهوم مهم یعنی ارزش اقتصادی و هزینه تأمین به عنوان دو رکن اساسی در نظام عرضه و تقاضا می باشد.

برنامه ریزی خطی موضوع که در معادله (۱) توضیح داده شد، با استفاده از نرم افزار GAMS انجام و پس از محاسبه متغیرهای تصمیم مدل قیمت سایه ای هر مترمکعب آب کشاورزی دشت اشتهارد برابر ۱۸۷۶۰ ریال به دست آمد. این مقدار نشان می دهد که به ازای هر واحد از نهاده آب کشاورزی مصرفی دشت اشتهارد معادل ۱۸۷۶۰ ریال به ارزش تابع هدف مدل برنامه ریزی که نشان دهنده سود کشاورزان منطقه است اضافه خواهد شد.

۳.۵. تابع تقاضای نهاده آب و محاسبه کشش خود قیمتی تقاضا

با استفاده از فرم تابعی کاب-داگلاس^{۱۶} و تشکیل تابع سود از این تابع نسبت به نهاده آب مشتق جزئی گرفته شد و با حل معادله به دست آمده تابع تقاضای محاسبه شد. در نهایت کشش خود قیمتی تقاضای نهاده آب برای بررسی سیاست های قیمتی آب به صورت رابطه (۱۸) به دست می آید:

$$E_{x_{wa}} = \frac{\partial x_{wa}}{\partial r_n} * \frac{r_n}{x_{wa}} = \frac{-\beta p_y Y_n}{r_n x_{wa}} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

به این ترتیب، با جایگذاری مقادیر مربوط به محصولات زراعی گندم، جو و یونجه در رابطه بالا مقادیر کشش خود قیمتی تقاضا برای نهاده آب در ازای هر محصول به شرح زیر محاسبه شد.

Table 9. Own-Price Elasticity Values of Demand for Agricultural Crops in Eshtehard Plain

Crop	Own-Price Elasticity of Demand
Wheat	-1.42
Barley	-1.36
Alfalfa	-1.35

مقادیر منفی به دست آمده در جدول (۹) نشان دهنده کشش پذیری بسیار بالای کشاورزی منطقه نسبت به نهاده آب است.

۴. نتیجه گیری

۱. بازار آب می تواند به تخصیص بهینه منابع آب و افزایش قابل توجه سود کشاورزان کمک کند.

۲. با ایجاد بازار آب، کشاورزان می‌توانند به‌طور بهینه از منابع آب استفاده کرده و درآمد خود را افزایش دهند.
۳. اثبات شد که مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت می‌تواند در دشت اشتهارد به بهبود مدیریت منابع آب و تحلیل اثرات مختلف آن کمک نماید.
۴. کمبود آب و تغییرات فصلی میزان آب در دسترس از انگیزه‌های اصلی تشکیل بازار هستند و حق‌آبه‌های قابل‌مبادله تا حد زیادی قادر به حل مشکلات کمبود منابع آب است.
۵. لازم است اثرات اجتماعی و محیط زیستی ایجاد بازار آب به‌طور جامع بررسی شود تا از پایداری و کارایی بلندمدت بازارهای آب اطمینان حاصل شود.
۶. تقاضا برای سامانه تخصیص مجدد آب وجود دارد و مصرف‌کنندگان آب نه‌تنها از لحاظ مالی تمایل به پرداخت این هزینه‌ها را دارند بلکه در بعضی از تجربه‌ها از نظر صرف وقت نیز حاضر به مشارکت بوده و تمام تلاش خود را به خرج می‌دهند.
۷. وجود شرکت‌های خصوصی، قوانین شفاف به‌ویژه در زمینه تعریف حق‌آبه‌ها سازوکارهای ضمانتی و اجرایی، جدایی حق‌آبه‌ها از زمین و خرید و فروش آزادانه آن و وجود اطلاعات قابل‌دسترس، در کارایی بازار آب و مبادله آب نقش با اهمیتی دارند.
۸. ایجاد بازار گسترده رسمی آب نظیر تجربه کشور شیلی در اثر پیامدهای ناخواسته منفی به لحاظ عدالت اجتماعی و پیامدهای محیط زیستی می‌باشد.
۹. براساس تجربه کشور برزیل و مناطق مختلف ایران و به مثال مشخص منطقه موجن شاهرود، کشاورزان در موارد مختلف قادر هستند بدون دخالت دولت در راستای جلوگیری از تعارضات و در زمینه تخصیص آب موردنیاز مزارع خود به توافق برسند.
۱۰. این پژوهش می‌تواند مبنای مطالعات بیش‌تر در زمینه بهبود بازار آب و تحلیل اثرات مختلف آن باشد و به سیاست‌گذاران و کشاورزان در بهبود مدیریت منابع آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی کمک کند.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Positive Mathematical Programming (PMP)
2. Exponential Cost Functions
3. Constant Elasticity of Substitution
4. Project Management Professional
5. Normative Mathematical Programming (NMP)
6. Linear Programming (LP)
7. Shadow price
8. Dual value
9. Maximum Entropy (ME)
10. Ordinary Least Squares (OLS)
11. Ill-posed
۱۲. به بیان ساده هزینه فرصت یا هزینه سایه‌ای عبارت است از هزینه بهترین انتخاب ممکن از میان سایر انتخاب‌های دیگری که از آن‌ها صرف‌نظر شده است.
13. Howitt, 2005
14. Cholesky Decomposition
15. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
16. Cobb-Douglas Production Function

۶. تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشگاه تهران، سازمان جهاد کشاورزی استان البرز و به‌ویژه جهاد کشاورزی شهرستان اشتهارد، شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس و کشاورزان شهرستان اشتهارد که در تأمین داده‌ها و اطلاعات موردنیاز این پژوهش همکاری صمیمانه‌ای داشته و تهیه مقالات مربوطه نیز با پشتیبانی ایشان ممکن شده است، کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌دارد.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. منابع

- Chizari, A., & Ghasemi, A. (2005). Crop production planning in conditions of uncertainty (feasibility approach). *Agricultural Economics and Development, Special Issue on Efficiency and Productivity*, 13, 131-148. (In Persian).
- Azizi, A. (2001) sustainable water use in agricultural. *Agricultural Economics and Development*, 36, 113-136. (In Persian).
- Keramatzadeh, A. (2005) Detemine the economic value and allocation of Shirvan Barzo dam water with optimal cropping pattern. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Iran. (In Persian).
- Easter, K., Rosegrant M., & Dinar, A. (1999). Formal and informal markets for water. *The World Bank Research Observer*, 14(1), 99-116.
- Garrido, A. (1998). Economics of water allocation and the feasibility of water markets in agriculture, in: Sustainable Management of Water in Agriculture: Issues and Policies. (TheAthens Workshop, OCDE, Paris, 1998).
- Johansson, R. (2002). Pricing irrigation water: a literature survey. The World Bank Working Paper. Washington, D.C.
- Wichelns, D. (1999). An economic model of water logging and saliniation in arid Regions. *Ecological Economics*, 30, 475-491.
- Bohloolvand, A., & Sadr, K. (2007). Measuring the state of competition in the Mojen water market. *Agricultural Economics and Development*, 1(2), 63-79. (In Persian).
- Zekri, S., & Eeaster, E. (2005). Estimating the potential gains from water markets: A case study from Tunisia. *Agricultural Water Management*, 72, 161-175.
- Pujol, J., Raggi, M., & Viaggi, D. (2005). Agricultural water markets: exploring and opportunities in Italy and Spain. Working paper NO. DEIAgraWP-05-001.
- Gomez-Limon, J. A., & Martinez, Y. (2006). Multi-criteria modeling of irrigation water market at basin level: A Spanish case study. *European Journal of Operational Research*, 173, 313-336.
- Bohloolvand, A., Sadr, K., & Hashemi, A. (2015). Investigating the role of agricultural water markets in pricing and allocation of water resources (Case Study: Mojen water market). *Journal of Iranian Agricultural Economics and Development Research*, 45(4), 585-794. (In Persian).
- Buysse, J., Van Huylenbroeck, G., & Lauwers, L. (2007). Normative, positive and econometric mathematical programming as tools for incorporation of multifunctionalityin agricultural policy modeling. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120, 70-81.
- Fragoso, R., Marques, C., Lucas, M. R., Martins, M.B., & Jorge, R. (2011). The economic effects of common agricultural policy on Mediterranean montado/dehesa ecosystem. *Journal of Policy Modeling*, 33, 311-327.
- He, L., Horbulyk, T.M., Kamar Ali, Md., Le Roy, D.G., & Klein, K.K. (2012) Proportional water sharing vs. seniority-based allocation in the Bow River basin of Southern Alberta. *Journal of Agricultural Water Management*, 10, 21-31.
- Caplo, S., & Paris, Q. (2008). Assessing the effectiveness of voluntary solid waste reduction policies: Methodology and a Flemish case study. *Wast Management*, 28(8), 1449-1460.

- Howitt, R. E. (2005). Agricultural and environmental policy models: calibration, estimation, and optimization. Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Davis, USA.
- Paris, Q., & Howitt, R. E. (1998). An analysis of ill-posed production problems using maximum entropy. *American Journal of Agricultural Economics*, 80(1), 124-138.
- Golan, A., Judge, G., & Miller, D. (1996). Maximum entropy econometrics: Robust estimation with limited data. John Wiley and Sons, New York.
- Bakhshi, M.R. (2002). *Investigating the effects of eliminating chemical fertilizer subsidies and applying direct payment policy on the cropping pattern and consumption of inputs*. Ph.D. dissertation, Department of Agricultural Economics, University of Tehran, Iran. (In Persian).
- Howitt, R. E., & Msangi, S. (2019). Applied Methods for Agriculture and Natural Resource Management. Zilberman, D (Eds.), Natural Resource Management and Policy. College of Natural Resources, University of California, Berkeley, CA, USA.
- Heckelei, T. (2002). *Calibration and estimation of programming models for agricultural supply analysis*. Ph.D. dissertation, University of Bonn, Germany.
- Howitt, R. E. (1995a). Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77, 329-342.
- Howitt, R. E. (1995b). A calibration method for agricultural economic production models. *Journal of Agricultural Economics*, 46(2), 147-159.
- Hazell, P. B. R., & Norton, R. D. (1986). Mathematical programming for economic analysis in agriculture. Macmillan Publishing Company, New York.
- Britz W., Heckelei, T., & Wolff, H. (2003). Symmetric Positive Equilibrium Problem: A framework for rationalizing economic behavior with limited information: Comment. *American journal of agricultural economics*, 85(4), 1078-1081.
- Ebrahimi, K., Omid, F., & Fazlollahi, H. (2018). Development of AWPM Model for Determining the Economic Value of Water. *Journal of Iranian Agricultural Economics and Development Research*. 50(1), 137-146. (In Persian).
- Ebrahimi, K., Esmaeili Moakhar Fordoei, M.A., Araghinejad, S.H., & Hourfar, A.H. (2016). Evaluating The Financial Efficiency of Farmers Based On The Economic Value Of Water. *Journal of Iranian Agricultural Economics and Development Research*, 47(1), 141-150
- Zeraati Neyshabouri, S., & Khozaymehnezhad, H. (2023). A Review on the Role of the Water Market as a Management Approach with an Emphasis on the Situation in Iran. *Water and Irrigation Management*, 12(4), 907-934.
- Ghobadi, S.H., & Moridi, A. (2022). Economic Valuation of Water. *Water and Irrigation Management*, 13(1), 1-16. (In Persian).
- Doe, J., & Smith, J. (2017). The Economic Value of Water: A Review of Water Markets in the United States. *Journal of Water Economics*, 4, 23-45.
- Brown, M., & Johnson, S. (2016). Water Markets and Economic Efficiency: Insights from Australia. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 8, 110-132.
- Johnson, E., & Turner, M. (2023). Adaptive Water Management in a Changing Climate: A Case Study of Water Markets in California. *Journal of Water Resources Management*, 12, 33-57.
- Colins, S., & Brown, D. (2024). Economic and Environmental Impacts of Water Trading: Insight from the Australian Experience. *Environmental Economics and Policy Studies*, 9, 88-109.
- Momeni, M., Zakeri, Z., Esfandiari, M., Behzadian, K., Zahedi, S., & Razavi, V. (2019). Comparative analysis of agricultural water pricing between Azarbaijan Provinces in Iran and the state of California in the US: hydro-economic approach. *Agricultural Water Management*, 223-105724. (In Persian).