

## Examining the Impacts of Water Market Establishment on Groundwater Resources and Economy in the Absence of Sufficient Management Rules and Monitoring: A Case Study of Hashtgerd Plain

R. Dashti Zadeh<sup>1</sup>, A. Liaghat<sup>2\*</sup>, T. Sohrabi<sup>3</sup>,  
H. Noory<sup>4</sup>, R. Kerachian<sup>5</sup>, and J. Bazrafshan<sup>6</sup>

### Abstract

This research investigates the significance of accurate water sales programs and the role of executive and supervisory bodies in the success of water markets in achieving their objectives. With the aim of evaluating the effects of establishing a water market in the Hashtgerd plain, under conditions of non-conformity between water exchange programs and regional circumstances, coupled with weaknesses in program updates and inadequate management and supervision 20 years after its launch, a Multi Objective Decision Making model (MODM) (focusing on reducing groundwater extraction and increasing economic profit) was developed in GAMS software and solved using the Augmented epsilon-constraint (AEC) method. The results indicated that in the absence of sufficient supervision and management, the water market leads to the development of certain industrial and agricultural activities (greenhouses and orchards) with higher profitability and lower water consumption. This, in turn, disrupts the balance of production in the region. Despite a significant increase in the region's economic profitability (from 53.8 billion to 3,777 billion annually), the annual water withdrawal from groundwater resources increases from 227 to 288 million cubic meters. This is because market participants, motivated by greater profit, are disinclined to reduce their water usage. This study emphasizes the critical importance of active supervision and management in water markets. Failure to update water sales programs in line with upstream policies and the absence of necessary restrictions can lead to irreparable damage to water resources and exacerbate social conflicts. To ensure the success of the water market and the sustainability of water resources, recommendations are proposed, including the development of regional planning models, modernization of control equipment, continuous monitoring of market impacts, and the revision of regulations pertaining to existing villa-orchards in the region.

**Keywords:** Water Resources Management, Water Market, Water Exchange Rules, Hashtgerd Plain, Dual-Objective Optimization Model, Augmented Epsilon Constraint Method.

Received: May 11, 2025

Accepted: August 30, 2025

## بررسی اثرات تشکیل بازار آب بر منابع آب زیرزمینی و اقتصاد در شرایط عدم کفایت قوانین مدیریتی محدود کننده و نظارت بر مبادلات (مورد مطالعه: دشت هشتگرد)

رویا دشتی‌زاده<sup>۱</sup>، عبدالمجید لیاقت<sup>۲\*</sup>، تیمور سهرابی<sup>۳</sup>،  
حمیده نوری<sup>۴</sup>، رضا کراچیان<sup>۵</sup> و جواد بذرافشان<sup>۶</sup>

### چکیده

این تحقیق به بررسی اهمیت برنامه‌های دقیق فروش آب و نقش نهادهای اجرایی و نظارتی بر موفقیت بازار آب در دستیابی به اهداف آن، می‌پردازد. با هدف ارزیابی اثرات راه‌اندازی بازار آب در دشت هشتگرد، در شرایط عدم تطابق برنامه‌های مبادله آب با شرایط منطقه، ضعف در به‌روزرسانی برنامه‌ها و عدم کفایت مدیریت و نظارت پس از گذشت ۲۰ سال از راه‌اندازی آن، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه<sup>۱</sup> (MODM) (کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی و افزایش سود اقتصادی) در نرم‌افزار GAMS توسعه یافت و با روش محدودیت اِپسیلون تقویت‌شده<sup>۲</sup> (AEC) حل شد. نتایج نشان دادند که در غیاب نظارت و مدیریت کافی، بازار آب منجر به توسعه برخی فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی (گلخانه‌ها و باغات) که دارای سودآوری بالاتر و مصرف آب کمتر هستند، می‌شود که این امر سبب برهم‌خوردن توازن تولیدات در منطقه می‌شود. علی‌رغم افزایش چشمگیر سودآوری اقتصادی منطقه (از ۵۳/۸ به ۳۶۷۷ میلیارد دلار در سال)، برداشت سالانه آب از منابع زیرزمینی از ۲۲۷ به ۲۸۸ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد؛ چرا که مشارکت‌کنندگان بازار، با انگیزه کسب سود بیشتر، تمایلی به کاهش برداشت ندارند. این پژوهش بر اهمیت حیاتی نظارت و مدیریت فعال در بازارهای آب تأکید می‌کند. عدم به‌روزرسانی برنامه‌های فروش آب با سیاست‌های بالادستی و عدم اعمال محدودیت‌های لازم می‌تواند منجر به خسارات جبران‌ناپذیر بر منابع آبی و تشدید مناقشات اجتماعی شود. برای تضمین موفقیت بازار آب و پایداری منابع آبی، پیشنهادهای نظیر توسعه مدل‌های برنامه‌ریزی منطقه‌ای، نوسازی تجهیزات کنترلی، پایش مستمر اثرات بازار و اصلاح قوانین مربوط به باغ‌ویلاهای موجود در منطقه ارائه می‌شود.

**کلمات کلیدی:** مدیریت منابع آب، بازار آب، قوانین تبادل آبی، دشت هشتگرد، مدل بهینه‌سازی چندهدفه، روش محدودیت اِپسیلون تقویت شده.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۲/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۶/۸

1- Ph.D. Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: r.dashtizadeh@gmail.com

2- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: aliaghat@ut.ac.ir

3- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: myousef@ut.ac.ir

4- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

5- Professor, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

6- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

\*- Corresponding Author

Doi: [10.22034/iwrr.2025.522566.2881](https://doi.org/10.22034/iwrr.2025.522566.2881)

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۵- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۶- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پاییز ۱۴۰۴ امکان‌پذیر است.

می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف آب، بهره‌وری آب را نیز ارتقاء دهد.

Sanayei et al. (2021) به واکاوی عوامل مؤثر بر رفتار مصرف‌کننده و طراحی مدل مدیریت سرمایه اجتماعی در راستای تسهیل پیاده‌سازی و توسعه بازار آب پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که از مجموعه متغیرهای شناسایی شده، عوامل مربوط به نهاد نظارتی، عوامل فرهنگی-موقعیتی و سبک زندگی و عوامل مربوط به تبلیغ و آگاهی‌رسانی عمومی بیشترین اهمیت را در طراحی برنامه‌های تسهیل پیاده‌سازی و توسعه بازار آب به خود اختصاص داده‌اند.

Wight et al. (2024) با بررسی فعالیت‌های متنوع بازار آب در تگزاس، نشان دادند که نیاز به نهادهای حاکمیتی که به خوبی با شرایط محلی منطبق است، برای اجرایی شدن و موفقیت بازارهای آب امری ضروری است.

موفقیت بازار آب به عنوان یک سیستم انطباقی پیچیده (سیستم-هایی که بین عناصر مختلف در آن ارتباط مداوم وجود دارد)، تنها در شرایطی امکان‌پذیر است که نهادهای اجرایی و نظارتی بدرستی عمل نمایند. در طراحی یک بازار آب، ساز و کارهای مبادلات آب منطبق با مسائل فرهنگی و اجتماعی شرکت‌کنندگان در بازار و برنامه‌های فروش آب براساس شرایط منابع آبی و سیاست‌های بالادستی درخصوص کاهش برداشت از منابع آب (از جمله برنامه-های سازگاری با کم آبی) و تأمین امنیت غذایی، تعریف می‌شود. این ساز و کارها باید بصورت سالانه و براساس وضع موجود منابع آب، تغییرات اقلیمی، تغییرات احتمالی شرکت‌کنندگان در بازار و سیاست‌ها و اسناد بالادستی بروزرسانی شوند. در واقع نهاد اجرایی بازار آب باید پویایی و توانایی لازم برای تطبیق برنامه‌های مبادلات آبی با شرایط منطقه و شرکت‌کنندگان و مدیریت و نظارت مناسب جهت اجرایی نمودن برنامه‌ها را برخوردار باشد.

مطالعات پیشین عمدتاً به بررسی تأثیرات بازار آب در شرایط کفایت قوانین مدیریتی محدودکننده و نظارت دقیق بر اجرای برنامه‌های فروش آب پرداخته‌اند. با بررسی تحقیقات پیشین این سؤال مطرح می‌شود که در صورت عدم کفایت قوانین مدیریتی، عدم نظارت دقیق و مستمر بر اجرای برنامه‌های فروش آب و عدم بروز رسانی سالانه برنامه‌ها بر اساس تغییرات اقلیمی، منابع آب، شرکت‌کنندگان در بازار و سیاست‌های بالادستی، آیا بازار آب می‌تواند به اهداف از پیش تعیین شده دست یابد؟ در این صورت باید انتظار چه تبعاتی را در منطقه داشته باشیم؟ در این تحقیق به منظور تبیین اهمیت مدیریت و نظارت بر اجرای دقیق برنامه‌های فروش آب بر میزان موفقیت بازار آب و دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده، به بررسی اثرات راه‌اندازی بازار آب بر منابع آب زیرزمینی و اقتصاد در

مدیریت آب به عنوان یک منبع طبیعی کم‌یاب، با چالش‌های متعددی مواجه است. این چالش‌ها ناشی از عوامل مختلفی مانند توزیع نابرابر آب، افزایش تقاضا به دلیل رشد جمعیت و نوسانات عرضه در آینده به دلیل تغییرات آب و هوایی هستند (Zhao and Ancev, 2025). زمانی که تقاضای آب از عرضه آن پیشی می‌گیرد، دو دیدگاه اصلی برجسته می‌شود: الف) سیاست‌های افزایش عرضه (مانند ساخت سد و نمک‌زدایی)، ب) برنامه‌های مدیریت تقاضا (مانند تجارت مجوزهای آب و طرح‌های حفاظت از آب) (Wheeler et al., 2017; Montilla- López et al., 2018).

یکی از سیاست‌های مؤثر و کاربردی مدیریت تقاضا، تخصیص آب از طریق سازوکارهای بازار است که می‌تواند منجر به استفاده پایدار از آب و افزایش رفاه اقتصادی مصرف‌کنندگان شود (Du et al., 2021). در واقع، بازار آب به‌عنوان یکی از راهکارهای تخصیص مجدد آب بین متقاضیان مطرح شده است که به عنوان یک راهبرد مدیریتی برای کاهش تضادهای بالقوه بین ذینفعان و تخصیص مجدد آب جهت دستیابی به دستاوردهای اجتماعی مهم‌تر، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (Ruth, 2014; Wheeler et al., 2017).

از تجربیات موجود بازار آب در دنیا، می‌توان به بازار آب استرالیا اشاره نمود. یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این بازار به‌عنوان شناخته‌شده‌ترین بازار آب دنیا، افزایش بهره‌وری اقتصادی از آب به‌خصوص در شرایط خشکسالی است، به‌گونه‌ای که بازار آب در این منطقه امکان مصرف آب در بخش‌های با سودآوری بیشتر را فراهم کرده است (Connor and Kaczan, 2013). همچنین، در بازار آب منطقه شمالی کلرادو آمریکا، به‌عنوان یکی از پیشگامان بازار آب در دنیا، بدلیل رشد ۱۰ درصدی جمعیت شهری نسبت به قبل از خشکسالی سال ۲۰۰۰، معاملات آب با هدف تغییر کاربری به بخش شهری صورت گرفته است که این امر سبب رونق اقتصادی بیشتر منطقه شده است (Howe, 2015).

Zarei Ghorkhodi and Shahnazari (2024) در مطالعه‌ای اثرات تشکیل بازارهای آب بر ارتقای بهره‌وری آب در حوضه آبریز تجن را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که تشکیل بازار آب موجب افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌شود، اما به تنهایی منجر به دستیابی به کشاورزی پایدار و کاهش مصرف آب در سطح حوضه آبریز نمی‌شود. اجرای سیاست‌های مدیریتی دیگر نظیر کنترل برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی، تحویل حجمی آب براساس الگوی کشت بهینه و تخصیص آب به محصولات با ارزش اقتصادی بالاتر همراه با رویکرد بازار آب

شرایط عدم کفایت در اجرا و بروز رسانی قوانین مدیریتی محدود کننده و نظارت بر برنامه‌های مبادلات آبی در دشت هشتگرد پرداخته شده است. به عبارتی این مقاله به تبیین اهمیت حیاتی نهاد اجرایی بازار آب بر موفقیت و عدم موفقیت بازار آب می‌پردازد.

## ۲- مورد مطالعه

در این تحقیق، بخشی از دشت هشتگرد (بخش ساوجبلاغ و نظرآباد) به‌عنوان یکی از دشتهای پایلوت وزارت نیرو در راهاندازی بازار آب، برای مطالعه انتخاب شده است. در شکل ۱ محدوده نظرآباد و ساوجبلاغ در استان البرز مشخص شده است.

بهره‌برداری بی‌رویه و مدیریت نشده از منابع آب زیرزمینی در دشت هشتگرد موجب بروز وضعیت بحرانی افت تراز آب زیرزمینی در این دشت شده است. براین اساس و به‌منظور مرتفع نمودن معضل برداشت‌های بی‌رویه و کمک به تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی دشت هشتگرد، وزارت نیرو این دشت را به‌عنوان یکی از پایلوت‌های راهاندازی بازار آب در نظر گرفته است. بر این اساس مطالعه‌ای تحت عنوان راهاندازی بازار آب در دشت هشتگرد به کارفرمایی شرکت مدیریت منابع آب ایران انجام شده است. قابل ذکر است که بازار آب در محدوده مورد مطالعه راهاندازی نشده است و توسط شرکت آب منطقه‌ای استان البرز در حال انجام مقدمات راهاندازی است.

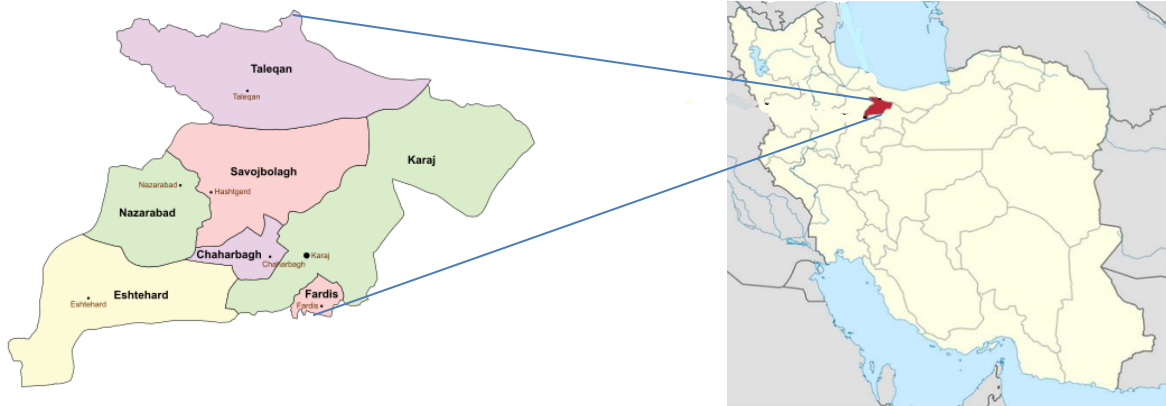


Fig. 1- Location of Nazarabad and Savjbolagh counties in Alborz province

### شکل ۱- موقعیت شهرستان‌های نظرآباد و ساوجبلاغ در استان البرز

آب در هر فصل که با شرایط موجود منطقه، وضعیت منابع آبی در دسترس و سیاست‌ها و اسناد بالادستی انطباق داشته باشد، مهمترین رکن موفقیت بازار آب به‌شمار می‌رود.

طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی استان البرز، در سال ۱۴۰۰، به‌عنوان سال پایه مطالعه در این تحقیق، سطح کلی اراضی کشاورزی در شهرستان‌های نظرآباد و ساوجبلاغ به‌ترتیب ۲۱۲۰۳ و ۱۳۸۱۳/۷ هکتار است. نوع محصولات کشاورزی و سطح تحت پوشش هر کدام از محصولات در محدوده مورد مطالعه، در جداول شماره ۱ الی ۳ ارائه شده است. همچنین، با توجه به اطلاعات دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای استان البرز، میزان کل مصرف آب از منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰، در بخش کشاورزی ۲۲۱،۹۹۹،۳۰۵ متر مکعب در سال و در بخش صنعت ۵،۲۹۲،۷۰۸ متر مکعب در سال است.

یکی از چالش‌های اصلی مصرف آب در بخش کشاورزی در محدوده مورد مطالعه، تغییر غیرمجاز کاربری برخی اراضی کشاورزی به باغ‌ویلا است. با گسترش باغ‌ویلاها و عدم امکان نظارت دقیق بر

در مطالعه مذکور، به لزوم وجود یک نهاد اجرایی به منظور تعریف، تثبیت، اجرا و تضمین حقایق، سازماندهی و نظارت بر مبادلات حقایق، تأیید یا ابطال آنها و همچنین تنظیم و ثبت اطلاعات مربوط به مبادله حقایق و انتشار آنها اشاره شده است. همچنین، وجود نهاد ناظر متشکل از مقامات محلی، صاحبان حقوق آب در حوضه آبریز و دولت به‌عنوان یکی از الزامات استمرار بازار آب فعال و بدون تنش، مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس ساز و کار نهاد اجرایی و نظارتی از جمله نحوه تأسیس، اعضاء تشکیل‌دهنده، نحوه ثبت تقاضا و مبادلات آبی انجام شده توسط مشارکت‌کنندگان و نحوه اطلاع‌رسانی، تعریف شده است. اما در این مطالعه برنامه‌ای به‌منظور اعمال محدودیت‌های مبادلات فصلی و سالانه جهت تعیین حجم آب فصلی قابل مبادله، گروه‌های مجاز به خرید و فروش آب در هر فصل، حجم آب غیر قابل برداشت، تخصیص حجم آب مورد نیاز محیط زیست در هر فصل و اعمال اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی و آب مورد نیاز محصولات کشاورزی، ارائه نشده است. در صورتیکه دسترسی نهاد اجرایی و نظارتی به برنامه فروش

مصرف آب کشاورزی در آنها، عملاً امکان مدیریت بر برداشت‌های باغ‌ویلاها از حقایقه‌های کشاورزی بسیار اندک است. در سال‌های اخیر جهاد کشاورزی استان اقدام به تخریب برخی از این باغ‌ویلاها نموده است. اما تجربه در این سال‌ها نشان داده است که این رویکرد در برطرف نمودن معضل به‌وجود آمده، کارساز نیست.

از میان صنایع موجود در محدوده مورد مطالعه، دو شهرک صنعتی نظراًباد و سپهر با مساحت به‌ترتیب ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتار، به‌عنوان نمایندگان صنایع این محدوده در نظر گرفته شده‌اند. مساحت کارخانه‌های فعال در شرایط کنونی در این دو شهرک صنعتی، ۱۷۲/۵ هکتار، مساحت کارخانه‌های غیرفعال ۱۰۷/۹ هکتار و

حداکثر سطح اراضی موجود جهت توسعه صنایع در دو شهرک صنعتی نظراًباد و سپهر، ۴۷۰ هکتار است.

طبق اطلاعات دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی استان البرز و دفاتر بهره‌برداری جهاد کشاورزی در شهرستان‌های نظراًباد و ساوجبلاغ، میزان سودآوری در بخش کشاورزی در سال ۱۴۰۰ حدود ۲۶۰ میلیون دلار بوده است. همچنین طبق اطلاعات دریافتی از سازمان صنعت، معدن و تجارت استان البرز و دفاتر بهره‌برداری شهرک‌های صنعتی نظراًباد و سپهر و اطلاعات میدانی با مراجعه به کارخانه‌ها، میزان سودآوری شهرک‌های صنعتی نظراًباد و سپهر در سال ۱۴۰۰ حدود ۵۳/۵ میلیارد دلار بوده است.

**Table 1- Land covered by crops in the study area in 1400**  
**جدول ۱- سطح اراضی تحت پوشش محصولات زراعی در محدوده مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰**

Row	Product name	Area (ha)	Row	Product name	Area (ha)
1	Potatoes	5	19	Carrot	9
2	Onions	90	20	Cabbage	1152.9
3	Tomatoes	98.5	21	Lettuce	1626.5
4	wheat	6240.8	22	Pepper	83.2
5	Barley	5290.3	23	Chive	9.7
6	Forage sorghum	1.1	24	Alfalfa	915.7
7	Beans	27.2	25	Grass sorghum	6750.4
8	Peas	141.8	26	Grain sorghum	63.5
9	Cotton	8	27	Fodder beet	3
10	Sunflower	6	28	Rapeseed	320
11	Melon	1.5	29	Celery	244.6
12	Watermelon	6	30	Cress	6.1
13	Cucumber	3.5	31	Basil	7.4
14	Pumpkin	22.8	32	parsley	6.6
15	Garden pea	732	33	Mint	13.8
16	Eggplant	10.8	34	Spinach	43.9
17	Garlic	6	35	Sainfoin	9
18	Green bean	647.5			

که برخی بصورت اعداد صحیح و برخی دیگر بصورت اعداد غیرصحیح بیان می‌شوند، مدل قطعی بهینه‌سازی چندهدفه خطی ترکیبی و یا بطور اختصار بهینه‌سازی<sup>۵</sup> MO-MILP توسعه داده خواهد شد. سپس برای حل مدل توسعه داده شده از نرم‌افزار مدل‌سازی جبر عمومی<sup>۶</sup> (GAMS) استفاده شد. اهداف توسعه مدل مذکور به شرح زیر قابل بیان است:

### ۳- روش انجام تحقیق

در این مطالعه به‌منظور بررسی میزان تحقق اهداف تشکیل بازار آب در شرایط عدم کفایت قوانین مدیریتی محدود کننده در مبادلات و عدم نظارت مستمر، ابتدا با توجه به اهداف اصلی راه‌اندازی بازارهای آب ( کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و افزایش سود کلی محلی حاصل از آب) یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه توسعه داده خواهد شد. از آنجاکه در این تحقیق نیاز است میان دو هدف متناقض<sup>۴</sup> موازنه برقرار شود و باتوجه به ماهیت متغیرهای مسئله

محدودیت‌های مربوط به توسعه و یا کاهش برخی فعالیت‌ها در بخش کشاورزی و صنعت، حفظ و تأمین حبابه محیط زیستی و همچنین سیاست‌های بالادستی در خصوص تأمین امنیت غذایی، حفظ ذخایر آبی، اشتغال‌زایی و افزایش رفاه اقتصادی در منطقه

۱- فراهم نمودن امکان بررسی میزان تحقق اهداف تشکیل بازار آب در محدوده مورد مطالعه در شرایط مختلف مدیریتی و رفتار شرکت‌کنندگان در بازار آب؛

۲- امکان ارائه برنامه فروش سالانه و فصلی آب باتوجه به محدودیت‌های منابع آبی در مبادلات فصلی و سالانه،

**Table 2- Land covered by horticultural crops in the study area in 1400**  
**جدول ۲- سطح اراضی تحت پوشش محصولات باغی در محدوده مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰**

Row	Product name	Abbreviation symbol	Row	Product name	Abbreviation symbol
1	Apple	1067	12	Golden plum	375
2	Pear	425	13	Grape	932
3	Quince	15	14	Mulberry	126
4	Sour cherry	234	15	Pistachio	46
5	Cherry	903	16	Almond	274
6	Greengage	100	17	Walnut	572
7	Plum	892	18	Russian olive	14
8	Peach	2218	19	Berberis	7
9	Apricot	290	20	Sumac	5
10	Nectarine	1734	21	Medlar	3
11	Rough peach	2			

**Table 3- Land covered by greenhouse crops in the study area in 1400**  
**جدول ۳- سطح اراضی تحت پوشش محصولات گلخانه‌ای در محدوده مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰**

Row	Product name	Abbreviation symbol	Row	Product name	Abbreviation symbol
1	Cucumber	11	6	Strawberries	75.3
2	Tomato	17.6	7	Medicinal Plants	1.2
3	Types of peppers	6.6	8	Tissue Cultured Seedlings	1.3
4	Eggplant	0.7	9	Mechanized Transplanting	19.6
5	Leafy greens	16.3	10	Flowers and Ornamental Plants	28

لازم به ذکر است که باتوجه به تنوع بالای واحدهای صنعتی در محدوده مورد مطالعه، نسبت به گروه‌بندی این واحدها براساس نوع فعالیت آنها اقدام شد. این گروه‌بندی براساس کد بین‌المللی<sup>۷</sup> ISIC صورت پذیرفت. ISIC یک طبقه‌بندی بر مبنای نوع فعالیت اقتصادی بوده که از سوی شورای اجتماعی اقتصادی سازمان ملل، به عنوان اصلی‌ترین ملاک طبقه‌بندی صنایع در سطح بین‌الملل در نظر گرفته شده است. به‌منظور ساده‌سازی مدل، محصولات کشاورزی با مساحت زیر یک هکتار در محدوده مورد مطالعه و صنایعی که تنها یک کارخانه با تولید محدود از آن در محدوده مورد مطالعه وجود داشته‌اند، در نظر گرفته نشده‌اند.

براساس روش‌های جمع‌آوری اطلاعات، این تحقیق به دو روش اسنادی و پیمایشی انجام گرفته است. در روش اسنادی، اطلاعات و مدارک مورد نیاز از طریق سازمان جهاد کشاورزی استان البرز، شرکت آب منطقه‌ای استان البرز، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان البرز و دفاتر بهره‌برداری شهرک‌های صنعتی نظرآباد و سپهر جمع‌آوری شده است. در روش پیمایشی، با مراجعه به منطقه و انجام مصاحبه‌های حضوری متعدد و تکمیل پرسشنامه‌ها توسط کشاورزان و صاحبان صنایع، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شد. در این تحقیق سال ۱۴۰۰ بعنوان سال پایه در جمع‌آوری اطلاعات در نظر گرفته شده است.

#### ۴- توسعه مدل بهینه‌سازی دو هدفه

ماهیت چندبعدی مسائل تخصیص بهینه آب، لحاظ نمودن اهداف متناقض چندگانه در مدل‌های بهینه‌سازی را اجتناب‌ناپذیر نموده است. در این تحقیق باتوجه به اهداف راه‌اندازی بازار آب، دو تابع هدف به‌منظور کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و افزایش سود محلی حاصل از آب توسعه داده شد. علائم اختصاری مربوط به مجموعه‌ها، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل، در جداول شماره ۴ الی ۸ شرح داده شده است.

#### ۴-۱- حداقل‌سازی برداشت آب از آبخوان دشت

##### هشتگرد در محدوده مورد مطالعه

اولین تابع هدف به‌منظور کاهش افت سطح آبخوان محدوده مورد مطالعه در دشت هشتگرد و دستیابی به پایداری آبخوان تحت افق زمانی مبتنی بر اسناد بالادستی، به‌حداقل رساندن برداشت آب از آبخوان دشت هشتگرد است. از آنجاکه شرکت کنندگان اصلی در بازار آب بخش‌های کشاورزی و صنعت هستند، بنابراین این تابع هدف بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\min f_1 = [\text{آب مصرفی در بخش صنعت}] + [\text{آب مصرفی در بخش کشاورزی}]$$

$$\begin{aligned} \min f_1 = & \left[ \sum_{c \in C} AT_c \cdot \overline{WCT}_c + \sum_{c \in C} AP_c \cdot \overline{WCP}_c + \sum_{h \in H} AT'_h \cdot \overline{WHT}_h + \sum_{h \in H} AP'_h \cdot \overline{WHP}_h + \sum_{g \in G} A_g \cdot \overline{WG}_g + \sum_{c \in C} AMT_c \cdot \overline{WCT}_c \right. \\ & \left. + \sum_{g \in G} AM_g \cdot \overline{WG}_g + \sum_{c \in C} AMP_c \cdot \overline{WCP}_c + \sum_{h \in H} AMT'_h \cdot \overline{WHT}_h + \sum_{h \in H} AMP'_h \cdot \overline{WHP}_h \right] \\ & + \left[ \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} PC_{iu} \cdot WI_{iu} \cdot L_{iu} + \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} PC_{iu} \cdot WI_{iu} \cdot L'_{iu} + \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} PC_{iu} \cdot WI_{iu} \cdot LD_{iu} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

#### ۴-۲- بیشینه‌سازی سود کلی محلی حاصل از آب

به‌منظور حفظ پایداری و بقاء بازار آب به عنوان یک ابزار اقتصادی که می‌تواند نقش قابل توجهی در بهبود سطح رفاه ذینفعان و جلوگیری از مهاجرت به شهرها داشته باشد، توجه به سودآوری بازار برای مشارکت‌کنندگان در آن، امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، تابع هدف دوم به‌منظور بیشینه‌سازی سود کلی محلی با حضور بازار آب در نظر گرفته شد.

رابطه (۱) به‌عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل حداقل نمودن برداشت آب از منابع آب زیرزمینی است که از مجموع میزان برداشت آب در اراضی زراعی، باغی، گلخانه‌ها و صنایع تشکیل شده است. همانطور که در این رابطه قابل ملاحظه است، بعد از راه‌اندازی بازار آب در محدوده مورد مطالعه، بخشی از آب مصرفی در کشاورزی و صنعت از طریق حقایبه موجود و بخشی دیگر از طریق خرید آب از بازار تأمین خواهد شد. مجموعه‌ها و اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای به کار رفته در معادله ۱ در جدول‌های ۴ تا ۸ تعریف شده‌اند.

$$\max f_2 = [\text{سود حاصل از آب در بخش صنعت}] + [\text{سود حاصل از آب در بخش کشاورزی}]$$

$$\begin{aligned} \max f_2 = & \left[ \sum_{c \in C} AT_c \cdot \overline{WCT}_c \cdot EPCT_c + \sum_{c \in C} AP_c \cdot \overline{WCP}_c \cdot EPCP_c + \sum_{h \in H} AT'_h \cdot \overline{WHT}_h \cdot EPHT_h + \sum_{h \in H} AP'_h \cdot \overline{WHP}_h \cdot EPHP_h \right. \\ & + \sum_{g \in G} A_g \cdot \overline{WG}_g \cdot EPG_g + \sum_{c \in C} AMT_c \cdot \overline{WCT}_c \cdot EPMT_c + \sum_{c \in C} AMP_c \cdot \overline{WCP}_c \cdot EPMP_c + \sum_{h \in H} AMT'_h \cdot \overline{WHT}_h \cdot EPMT'_h \\ & \left. + \sum_{h \in H} AMP'_h \cdot \overline{WHP}_h \cdot EPMP'_h + \sum_{g \in G} AM_g \cdot \overline{WG}_g \cdot EPM_g \right] + \left( \sum_{c \in C} AMT_c \cdot \overline{WCT}_c \cdot PRW_a + \sum_{c \in C} AMP_c \cdot \overline{WCP}_c \cdot PRW_a \right. \\ & + \sum_{h \in H} AMT'_h \cdot \overline{WHT}_h \cdot PRW_a + \sum_{h \in H} AMP'_h \cdot \overline{WHP}_h \cdot PRW_a + \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} PC_{iu} \cdot WI_{iu} \cdot L'_{iu} \cdot PRW_I + \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} PC_{iu} \cdot WI_{iu} \cdot LD_{iu} \cdot PRW_I \left. \right) \\ & + \left[ \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} PC_{iu} \cdot WI_{iu} \cdot L_{iu} \cdot EPI_{iu} + \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} PC_{iu} \cdot WI_{iu} \cdot L'_{iu} \cdot EPIM_{iu} + \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} PC_{iu} \cdot WI_{iu} \cdot LD_{iu} \cdot EPIMD_{iu} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

### ۳-۴- بهره‌وری اقتصادی از هر واحد آب

پس از اجرایی شدن بازار آب در محدوده مورد مطالعه، هر واحد صنعتی و یا کشاورزی با خرید آب از بازار، اقدام به تولید محصول بیشتر می‌نماید و این افزایش تولید منتج به کسب سود بیشتر برای خریدار خواهد شد. به‌منظور برآورد میزان سود حاصل از مبادلات آبی در بازار، بهره‌وری اقتصادی از هر واحد آب در بخش‌های مختلف به صورت زیر تعریف می‌شود:

سود حاصل از فروش یک واحد محصول تقسیم بر حجم آب مصرفی در تولید هر واحد از آن محصول. سود حاصل از تولید هر محصول از تفریق قیمت فروش محصول و هزینه تولید آن بدست می‌آید. بنابراین، واحد این پارامتر، دلار بر مترمکعب است. نحوه محاسبه بهره‌وری اقتصادی از هر واحد آب برای محصولات و حالات متفاوت در بازار، به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$EPCT_c = \frac{(PRC_c.PPT_c) - INC_c}{WCT_c} \quad (۳)$$

$$EPHT_h = \frac{(PRH_h.PPH_h) - INH_h}{WHT_h} \quad (۴)$$

$$EPCP_c = \frac{(PRC_c.PPP_c) - INC_c}{WCP_c} \quad (۵)$$

$$EPHP_h = \frac{(PRH_h.PPH_h) - INH_h}{WPH_h} \quad (۶)$$

$$EPG_g = \frac{(PR_g.PPG_g) - ING_g - \left(\frac{COG_g}{5}\right)}{WG_g} \quad (۷)$$

$$EPI_{iu} = \sum_{u \in U} \frac{(PRI_{iu}.PC_{iu}) - (INI_{iu}.PC_{iu})}{WI_{iu} \times PC_{iu}} \quad (۸)$$

$$EPM_g = \frac{(PRG_g.PPG_g) - ING_g - \left(\frac{COG_g}{5}\right) - (WG_g.PRW_a)}{WG_g} \quad (۹)$$

$$EPMT_c = \frac{(PRC_c.PPT_c) - INC_c - (WCT_c.PRW_a)}{WCT_c} \quad (۱۰)$$

$$EPMT'_h = \frac{(PRH_h.PPH_h) - INH_h - (WHT_h.PRW_a)}{WHT_h} \quad (۱۱)$$

$$EPMP_c = \frac{(PRC_c.PPP_c) - INC_c - (WCP_c.PRW_a)}{WCP_c} \quad (۱۲)$$

$$EPMP'_h = \frac{(PRH_h.PPH_h) - INH_h - (WHP_h.PRW_a)}{WHP_h} \quad (۱۳)$$

$$EPIM_{iu} = \sum_{u \in U} \frac{(PRI_{iu}.PC_{iu}) - (INI_{iu}.PC_{iu}) - (WI_{iu}.PC_{iu}.PRW_1)}{WI_{iu} \times PC_{iu}} \quad (۱۴)$$

$$EPIMD_{iu} = \sum_{u \in U} \frac{(PRI_{iu}.PC_{iu}) - (INI_{iu}.PC_{iu}) - (WI_{iu}.PC_{iu}.PRW_1) - \left(\frac{COI_1}{10}\right)}{WI_{iu}.PC_{iu}} \quad (۱۵)$$

رابطه (۲) به‌عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل پیشینه‌سازی سود محلی حاصل از آب با حضور بازار آب است که از مجموع سود حاصل از آب در بخش‌های کشاورزی و صنعت بدست می‌آید. مجموعه‌ها و اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای به کار رفته در معادله ۲ در جدول‌های ۴ تا ۸ تعریف شده‌اند.

سود حاصل از آب در بخش کشاورزی شامل مجموع سود حاصل از آب در اراضی زراعی تحت پوشش آبیاری سنتی و آبیاری تحت فشار، سود حاصل از آب در اراضی باغی تحت پوشش آبیاری سنتی و آبیاری تحت فشار، سود حاصل از آب در کشت‌های گلخانه‌ای، سود حاصل از فروش آب مازاد بخش کشاورزی در بازار آب، سود حاصل از آب خریداری شده از بازار در اراضی زراعی تحت پوشش آبیاری سنتی و آبیاری تحت فشار، سود حاصل از آب خریداری شده از بازار در اراضی باغی تحت پوشش آبیاری سنتی و آبیاری تحت فشار و سود حاصل از آب خریداری شده از بازار در کشت‌های گلخانه‌ای است.

سود حاصل از آب در بخش صنعت از مجموع سود حاصل از آب در دسترس بصورت حقیقه در صنایع موجود، سود حاصل از آب خریداری شده از بازار در صنایع موجود و سود حاصل از آب خریداری شده از بازار در صنایع توسعه‌یافته بدست می‌آید. قابل ذکر است که حجم آب مصرفی و میزان سودآوری در مدل، بصورت سالانه مورد بررسی قرار گرفته است.

استفاده از روش آبیاری تحت فشار برای آبیاری این محصول را بیان می‌کند. پارامترهای معادله به شرح زیر است:

مجموعه‌ها و اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای به کار رفته در معادلات ۳ تا ۱۵ در جدول‌های ۴ تا ۸ تعریف شده‌اند. برای درک بهتر پارامتر بهره‌وری اقتصادی از هر واحد آب، به تشریح معادله شماره ۱۲ می‌پردازیم:

این معادله نحوه محاسبه بهره‌وری اقتصادی از هر واحد آب خریداری شده از بازار آب برای محصول زراعی نوع C و در صورت

$EPMP_c = ((C$  تحت پوشش سیستم های آبیاری تحت فشار در هر هکتار \* قیمت فروش هر کیلوگرم محصول  $C))$

– هزینه نهاده های مصرفی برای هر هکتار تولید محصول زراعی C –

– حجم آب مورد استفاده برای تولید هر هکتار محصول زراعی C با روش آبیاری تحت فشار) –

((قیمت هر مترمکعب آب معامله شده در بازار برای تولید محصولات کشاورزی \* (حجم آب مورد استفاده برای هر هکتار تولید محصول زراعی C با روش آبیاری تحت فشار) /

**Table 4- Sets and indices, parameters and variables of the optimization model**

**جدول ۴- مجموعه‌ها و اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل بهینه‌سازی**

Collection and Index	
$C=\{1,2,\dots, C \}$	Indicates crops $c \in C$ (for example, the number 1 indicates potatoes)
$G=\{1,2,\dots, G \}$	Indicates greenhouse products $g \in G$ (for example, the number 1 indicates greenhouse cucumbers)
$I=\{1,2,\dots, I \}$	Indicates the industrial product group $i \in I$ (for example, the number 1 indicates dairy product group)
$H=\{1,2,\dots, H \}$	Indicates horticultural products $h \in H$ (for example, the number 1 indicates apples)
$U=\{1,2,3\}$	Indicates the type of industrial production in each group $u \in U$ (the number 1 indicates production in tons, 2 indicates production in numbers, and 3 indicates production in square meters)
Parameters/ Data	
$PRW_a$	The price of water traded in the market for agricultural production (crops, horticultural and greenhouse) ( $\$/m^3$ )
$PRW_I$	The price of water traded on the market for the production of industrial products ( $\$/m^3$ )
$COI_i$	The cost of developing one square meter of production area for each industrial product group $i$ ( $\$/m^3$ )
$COG_g$	Cost of building a greenhouse for greenhouse crop $g$ ( $\$/m^3$ )
$PRS_i$	The price of purchased treated sewage for the industrial production group $i$ ( $\$/m^3$ )
$EPG_g$	Economic productivity per unit of water for greenhouse crop production $g$ ( $\$/m^3$ )
$EPI_{iu}$	Economic productivity of each unit of water supplied from industrial rights (from groundwater resources) in industrial production group $i$ for product type $u$ (in the existing production area) ( $\$/m^3$ )
$EPCC_c$	Economic productivity per unit of water when using pressurized irrigation in crop production $c$ ( $\$/m^3$ )
$EPHP_h$	Economic productivity of each unit of water when using pressurized irrigation in horticultural crops $h$ ( $\$/m^3$ )
$EPCT_c$	Economic productivity of each unit of water when using traditional irrigation methods in crop production $c$ ( $\$/m^3$ )
$EPHT_h$	Economic productivity of each unit of water when using traditional irrigation methods in horticultural crops $h$ ( $\$/m^3$ )
$EPIM_{iu}$	Economic productivity of each unit of water purchased from the water market in industrial product group $i$ for product type $u$ (in the existing production area) ( $\$/m^3$ )
$EPM_g$	Economic productivity of each unit of water purchased from the water market in greenhouse crop cultivation $g$ ( $\$/m^3$ )

**Table 4 (continued)- Sets and indices, parameters and variables of the optimization model**

جدول ۴ (ادامه) - مجموعه‌ها و اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل بهینه‌سازی

Parameters/ Data	
EPMP <sub>c</sub>	Economic productivity of each unit of water purchased from the water market when using pressurized irrigation method in crop c (\$/m <sup>3</sup> )
EPMP' <sub>h</sub>	Economic productivity of each unit of water purchased from the water market when using pressurized irrigation method in horticultural crops h (\$/m <sup>3</sup> )
EPMT <sub>c</sub>	Economic productivity of each unit of water purchased from the water market when using traditional irrigation methods in crop production c (\$/m <sup>3</sup> )
EPMT' <sub>h</sub>	Economic productivity of each unit of water purchased from the water market when using traditional irrigation methods in horticultural crops h (\$/m <sup>3</sup> )
EPIMD <sub>iu</sub>	Economic productivity of each unit of water purchased from the water market in industrial production group i for product type u in developed industries (no production area in the current situation) (\$/m <sup>3</sup> )
ING <sub>g</sub>	Cost of inputs used in greenhouse crop production g in greenhouse crops (\$/ha)
INI <sub>iu</sub>	Cost of inputs used in the production of industrial product group i for product type u (\$/unit)
INC <sub>c</sub>	Cost of inputs used in crop production c (\$/ha)
INH <sub>h</sub>	Cost of inputs used in horticultural crop production h (\$/ha)
PRC <sub>c</sub>	Unit price of crop c (\$/unit)
PRH <sub>h</sub>	Unit price of horticultural product h (\$/unit)
PRG <sub>g</sub>	Unit price of greenhouse product g (\$/unit)
PRI <sub>iu</sub>	Unit price of representative product in industrial production group i (\$/unit)
PPG <sub>g</sub>	Product performance of g crop in greenhouse cultivation (kg/ha)
PPP <sub>c</sub>	C crop product performance under pressurized irrigation systems (kg/ha)
PPH <sub>h</sub>	H horticultural crop product performance under pressurized and traditional irrigation systems (kg/ha)
PPT <sub>c</sub>	C crop product performance under traditional irrigation methods (kg/ha)
PC <sub>iu</sub>	Production capacity of industrial product group i for product type u per square meter of production area (unit/m <sup>2</sup> )
WG <sub>g</sub>	Volume of water used for greenhouse crop g (m <sup>3</sup> /ha)
WCP <sub>c</sub>	Volume of water used for crop c with pressurized irrigation systems (m <sup>3</sup> /ha)
WHP <sub>h</sub>	Volume of water used for horticultural crop h with pressurized irrigation method (m <sup>3</sup> /ha)
WCT <sub>c</sub>	Volume of water used for crop c with traditional irrigation method (m <sup>3</sup> /ha)
WHT <sub>h</sub>	Volume of water used for horticultural crop h with traditional irrigation method (m <sup>3</sup> /ha)
WI <sub>iu</sub>	Volume of water used in the production of a representative product in the industrial product group i (m <sup>3</sup> /unit)
Variables/ Outputs	
A <sub>g</sub>	Area covered by greenhouse crops g (ha)
AP <sub>c</sub>	Area covered by area crop c with pressurized irrigation (ha)
AP' <sub>h</sub>	Area covered by area horticultural crop h with pressurized irrigation (ha)
AT <sub>c</sub>	Area covered by area crop c with traditional irrigation (ha)
AT' <sub>h</sub>	Area covered by area horticultural crop h with traditional irrigation (ha)
AM <sub>g</sub>	Area covered by greenhouse crops g, irrigated with water purchased from the water market (ha)
AMP <sub>c</sub>	Area covered by crop c with pressurized irrigation, irrigated with water purchased from the water market (ha)
AMP' <sub>h</sub>	Area covered by horticultural crop h with pressurized irrigation, irrigated with water purchased from the water market (ha)
AMT <sub>c</sub>	Area covered by crop c with traditional irrigation, irrigated with water purchased from the water market (ha)
AMT' <sub>h</sub>	Area covered by horticultural crop h with traditional irrigation, irrigated with water purchased from the water market (ha)
L <sub>iu</sub>	Production area of industrial production group i that operates with industrial rights from groundwater (existing production area) (m <sup>2</sup> )
L' <sub>iu</sub>	Production area of industrial production group i that operates with water purchased from the water market (existing production area) (m <sup>2</sup> )
LD <sub>iu</sub>	Expanded production area of industrial production group i that operates with water purchased from the water market (no production area in the current situation) (m <sup>2</sup> )

**Table 5- Crop indices**  
جدول ۵- اندیس‌های محصولات زراعی

Row	Product name	Abbreviation symbol	Row	Product name	Abbreviation symbol
1	Potatoes	C1	19	Carrot	C19
2	Onions	C2	20	Cabbage	C20
3	Tomatoes	C3	21	Lettuce	C21
4	wheat	C4	22	Pepper	C22
5	Barley	C5	23	Chive	C23
6	Forage sorghum	C6	24	Alfalfa	C24
7	Beans	C7	25	Grass sorghum	C25
8	Peas	C8	26	Grain sorghum	C26
9	Cotton	C9	27	Fodder beet	C27
10	Sunflower	C10	28	Rapeseed	C28
11	Melon	C11	29	Celery	C29
12	Watermelon	C12	30	Cress	C30
13	Cucumber	C13	31	Basil	C31
14	Pumpkin	C14	32	parsley	C32
15	Garden pea	C15	33	Mint	C33
16	Eggplant	C16	34	Spinach	C34
17	Garlic	C17	35	Sainfoin	C35
18	Green bean	C18			

**Table 6- Horticultural product indices**  
جدول ۶- اندیس‌های محصولات باغی

Row	Product name	Abbreviation symbol	Row	Product name	Abbreviation symbol
1	Apple	H1	12	Golden plum	H12
2	Pear	H2	13	Grape	H13
3	Quince	H3	14	Mulberry	H14
4	Sour cherrty	H4	15	Pistachio	H15
5	Cherry	H5	16	Almond	H16
6	Greengage	H6	17	Walnut	H17
7	Plum	H7	18	Russian olive	H18
8	Peach	H8	19	Berberis	H19
9	Apricot	H9	20	Sumac	H20
10	Nectarine	H10	21	Medlar	H21
11	Rough peach	H11			

Table 7- Greenhouse crop indices  
جدول ۷- اندیس های محصولات گلخانه ای

Row	Product name	Abbreviation symbol	Row	Product name	Abbreviation symbol
1	Cucumber	G1	6	Strawberries	G6
2	Tomato	G2	7	Medicinal Plants	G7
3	Types of peppers	G3	8	Tissue Cultured Seedlings	G8
4	Eggplant	G4	9	Mechanized Transplanting	G9
5	Leafy greens	G5	10	Flowers and Ornamental Plants	G10

### ۵- حل مدل

همانطور که اشاره شد، مدل پیشنهادی این تحقیق یک مدل بهینه سازی دوهدفه است. در حالت کلی، برای حل مسائل بهینه سازی دو/چندهدفه (MODM<sup>1</sup>) رویکردهای مختلفی ارائه شده اند که از جمله آنها می توان به روش مجموع وزن دار<sup>۲</sup> (WSM)، محدودیت اپسیلون<sup>۳</sup> (EC)، محدودیت تقویت شده<sup>۴</sup> (AEC)، لکسیکوگرافیک<sup>۵</sup> (Lex) و الگوریتم های بهینه سازی تکاملی<sup>۶</sup> (EO) و غیره اشاره کرد (Deb, 2014; Gunantara, 2018; Tian et al., 2021). در میان روش های مذکور، دو روش EC و AEC قابلیت ارائه جبهه پارتو را دارند. جبهه پارتو یک مجموعه جواب های نامغلوب هستند، به عبارتی هیچ کدام از جواب ها نسبت به هم برتری ندارند. در این تحقیق، برای بدست آوردن یک جبهه پارتو سراسری، روش AEC برای موازنه توابع هدف مورد استفاده قرار می گیرد.

در حالت کلی، یک مسئله MODM با دو هدف کمینه سازی (که همانند مدل تحقیق یک تابع هدف می تواند با هدف بیشینه کردن هم باشد) به صورت زیر قابل بیان است:

$$\min_{x \in X} \{O_1(x), O_2(x)\} \quad (16)$$

که در آن  $x \in X$  بیان کننده قیود است. فرض کنید هدف اول به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته می شود و هدف دوم به کران بالای اپسیلون محدود می شود و در قیود مسئله اعمال می شوند. در این صورت، روش EC مطرح می شود که بر اساس آن مدل بهینه سازی تک هدفه زیر حاصل می شود:

$$\begin{cases} \min O_1(x) \\ O_2(x) \leq e \\ x \in X \end{cases} \quad (17)$$

که در آن هدف اول به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده است و هدف دوم به حداکثر مقدار  $e$  محدود می شود.

در روش EC، با تغییر مقادیر  $e$  جواب های مختلفی بدست می آید که ممکن است کارا<sup>۷</sup> نباشند (کارای ضعیف<sup>۸</sup> هستند). با اصلاح/تکمیل جزئی مدل EC می توان مشکل مذکور را رفع کرد

که به روش AEC معروف است (Mavrotas, 2009). در روش AEC ابتدا باید بازه مناسب تغییرات  $e$  مشخص شود و سپس به ازای مقادیر مختلف  $e$  در بازه بدست آمده، جبهه پارتو را بدست آورده می شود (Razavi Al-e-hashem et al., 2022). به منظور یافتن بازه مناسب برای  $e$ ، ابتدا مدل برای هر یک از اهداف به صورت جداگانه حل می شود:

$$\text{PayOff}_{11} = \min_{x \in X} O_1(x) \quad (18)$$

$$\text{PayOff}_{22} = \max_{x \in X} O_2(x) \quad (19)$$

حال، مقدار یک هدف در حالت بهینه قرار می گیرد و هدف دیگر مشروط به بهینگی آن تا حد امکان کمینه (بیشینه) می شود. برای این منظور داریم:

$$\text{PayOff}_{12} = \min_{x \in X} O_1(x) \text{ s.t. } O_2(x) = \text{PayOff}_{22} \quad (20)$$

$$\text{PayOff}_{21} = \min_{x \in X} O_2(x) \text{ s.t. } O_1(x) = \text{PayOff}_{11} \quad (21)$$

که نتیجه آن دستیابی به ماتریس بازده (ماتریس PayOff) است. قطر اصلی ماتریس PayOff مقدار بهینه هر یک از توابع است. ماتریس PayOff برای بررسی تضاد اهداف در مدل های بهینه سازی چند هدفه نیز بکار برده می شود. پس از بدست آوردن ماتریس PayOff، که در اینجا یک ماتریس  $2 \times 2$  است، بهترین مقدار، بدترین مقدار و دامنه تغییرات<sup>۹</sup> هر هدف به صورت زیر بدست آورده می شود:

$$\text{PayOff} = \begin{bmatrix} \underline{O}_1 & \overline{O}_1 \\ \underline{O}_2 & \overline{O}_2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\underline{O}_1 = \text{minimum of } O_1(x) \quad (23)$$

$$\overline{O}_1 = \text{worst case of } O_1(x) \quad (24)$$

$$\underline{O}_2 = \text{minimum of } O_2(x) \quad (25)$$

$$\overline{O}_2 = \text{worst case of } O_2(x) \quad (26)$$

$$R_1^* = \overline{O}_1 - \underline{O}_1 \quad (27)$$

$$R_2^* = \overline{O}_2 - \underline{O}_2 \quad (28)$$

**Table 8- Industrial activity group indices**  
جدول ۸- اندیس‌های گروه‌های فعالیت‌های صنعتی

Row	Group name	Abbreviation symbol
1	Dairy products	I1
2	Production of edible animal and vegetable oils	I2
3	Production of candy, chocolate, cocoa and chewing gum	I3
4	Production of other food products not elsewhere classified	I4
5	Animal feed production	I5
6	Processing and preservation of meat, meat products, fish products and other marine animals	I6
7	Production of bakery products	I7
8	Processing and protection from spoilage of fruits and vegetables, soft drinks and mineral water	I8
9	Preparing and grinding grains and legumes	I9
10	Leather tanning and finishing	I10
11	Production of boxes, cartons, and other packaging materials and paper and cardboard goods	I11
12	Manufacture of other chemical products not elsewhere classified	I12
13	Production of drugs and chemicals used in medicine and herbal medicinal products	I13
14	Production of basic chemicals, except fertilizers and nitrogen compounds	I14
15	Production of various types of paints, varnishes, similar coatings and putty	I15
16	Production of plastic materials in primary form and manufacture of synthetic rubber	I16
17	Production of soaps, detergents, hygiene and cleaning supplies, perfumes and cosmetics	I17
18	Manufacture of plastic and rubber products, except footwear	I18
19	Production of products made of concrete, cement and plaster	I19
20	Production of construction metal products	I20
21	Production of cutting tools and hand tools, general fittings and general mechanical engineering activities	I21
22	Manufacture of other fabricated metal products not elsewhere classified	I22
23	Hammering, pressing, molding and roller hammering of metals	I23
24	Production of agricultural and military machinery	I24
25	Production of other general-purpose machinery	I25
26	Production of lifting and moving equipment	I26
27	Machine tool production	I27
28	Production of pumps, compressors, valves and taps	I28
29	Production of mining, extraction and construction machinery	I29
30	Production of electrical power distribution and control devices	I30
31	Production of electric motors, generators and transformers	I31
32	Manufacture of other electrical equipment not elsewhere classified	I32
33	Production of insulated wires and cables	I33
34	Production of medical and surgical equipment and orthopedic devices	I34
35	Production of parts and accessories for motor vehicles and their engines	I35
36	Packaging activities	I36
37	Preparation and spinning of textile fibers and production of made-up textile goods, except apparel	I37

$$\begin{cases} \min \frac{O_1(x)}{R_1^*} - \phi \frac{s}{R_2^*} \\ O_2(x) + s = e \\ x \in X \end{cases} \quad (29)$$

که در آن  $s \geq 0$  یک متغیر کمکی است و  $\phi > 0$  یک ضریب کنترلی است که معمولاً  $\phi = 10^{-6}$  در نظر گرفته می‌شود (Razavi Al-e-  
(.hashem et al., 2022

با تعریف فوق‌الذکر، بازه مناسب برای  $e$  به صورت  $e \in [O_2, \overline{O_2}]$  تعیین می‌شود. همچنین، برای هم مقیاس شدن مقادیر تابع هدف، هر دو بر مقدار دامنه تغییرات تقسیم می‌شوند. نهایتاً، مدل روش AEC به صورت زیر بیان می‌شود:

## ۶- نتایج و بحث

برای اعتبارسنجی مدل، ابتدا مدل براساس سطح موجود اراضی کشاورزی و صنایع در سال ۱۴۰۰ (سال پایه) و بدون انجام مبادلات آبی، توسعه داده شد. میزان کل مصرف آب از منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در سال پایه، در بخش کشاورزی و صنعت حدود ۲۲۷ میلیون متر مکعب در سال و میزان سودآوری در بخش کشاورزی محدوده مورد مطالعه و شهرک‌های صنعتی نظرآباد و سپهر در سال پایه، حدود ۵۳/۸ میلیارد دلار در سال بدست آمد. اعداد خروجی مدل در خصوص حجم آب مصرفی و میزان سودآوری حاصل در این سال، منطبق با اطلاعات دریافتی از سازمان‌های زیربط است.

یکی از محدودیت‌های موجود در انجام این تحقیق عدم امکان دسترسی به اطلاعات اقتصادی، حجم آب مصرفی، هزینه نهاده‌های مصرفی در تولید و میزان تولید واقعی تمامی صنایع موجود در محدوده مورد مطالعه بوده است. بر این اساس دو شهرک صنعتی نظرآباد و سپهر، بدلیل دارا بودن دفاتر بهره‌برداری فعال و وجود آرشیبو برخی اطلاعات مورد نیاز صنایع در این دفاتر و همچنین وجود همکاری مؤثر صاحبان صنایع در این دو شهرک صنعتی برای دسترسی به اطلاعات مورد نیاز، به‌عنوان نمایندگان صنایع در محدوده مورد مطالعه انتخاب شد.

به‌منظور ساده‌سازی مدل، محصولات کشاورزی با مساحت زیر یک هکتار در محدوده مورد مطالعه و صناعی که تنها یک کارخانه با تولید محدود از آن در محدوده مورد مطالعه وجود داشته‌اند، در توسعه مدل بهینه‌سازی حذف شدند. همچنین، در این تحقیق فرض بر آن است که یارانه دولت جهت توسعه صنایع، گلخانه‌ها و احداث سیستم‌های آبیاری تحت فشار در اراضی کشاورزی، برای متقاضیان قابل تأمین باشد.

پیشنهاد می‌شود تحقیقات تکمیلی در آینده براساس موارد زیر انجام گیرد:

- در این تحقیق منابع آب زیرزمینی، به‌عنوان منبع آب قابل مبادله در بازار آب در نظر گرفته شده است. دلیل این امر استقرار کل محدوده مورد مطالعه در یک سفره آب زیرزمینی بوده است که بر این اساس جهت انتقال آب از فروشنده به خریدار نیاز به تأسیسات انتقال آب نیست. پیشنهاد می‌شود که مطالعات تکمیلی بر روی بازار آب این محدوده با لحاظ هر دو منبع آب سطحی و زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه انجام شود.
- نتایج حاصل در این مطالعه با رویکرد کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و افزایش سود محلی بدست آمده

است. پیشنهاد می‌شود اثرات بازار آب در محدوده مورد مطالعه، با در نظر گرفتن همزمان این دو رویکرد و سایر عوامل، همچون تأثیر مسائل اجتماعی و فرهنگی، تأثیر میزان تقاضا برای تولیدات در بازارهای محلی و بازارهای کشور و همچنین امکان صادرات محصولات تولیدی، انجام گیرد.

برای بررسی تأثیرات مختلف راه‌اندازی بازار آب در محدوده مورد مطالعه در شرایط عدم کفایت قوانین محدودکننده و نظارت دقیق بر معاملات آب، مدل بدون در نظر گرفتن قیود و محدودیت‌های بازدارنده در معاملات، برای یک دوره ۲۰ ساله (۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰) توسعه داده می‌شود. این محدودیت‌ها عبارتند از: محدودیت مربوط به جلوگیری از نابودی کشاورزی، محدودیت مربوط به میزان گسترش سطح تحت پوشش گلخانه، محدودیت مربوط به حداقل سطح زیر کشت برخی محصولات کشاورزی براساس سیاست‌های امنیت غذایی، محدودیت مربوط به گسترش برخی صنایع باتوجه به قوانین مربوط به شهرک‌های صنعتی استان، اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی در دسترس و آب مورد نیاز محصولات کشاورزی، حقایق محیط زیستی. همچنین، در این مرحله طبق شرایط کنونی محدوده مورد مطالعه، پساب قابل استفاده در بخش صنعت در نظر گرفته نشده است. قابل ذکر است که اعمال این محدودیت‌ها در یک بازار آب تنها از طریق مدیریت و نظارت دقیق و بروز رسانی مستمر برنامه فروش آب براساس محدودیت‌ها و سیاست‌های هر سال، امکان‌پذیر است. حذف محدودیت‌های مذکور از مدل، در واقع تبعات راه‌اندازی بازار آبی را نشان می‌دهد که پس از مدتی مدیریت و نظارت بر معاملات در آن کم‌رنگ شده و برنامه فروش متناسب با محدودیت‌های سالانه بروز رسانی نشود. در این حالت مبادلات آبی بدون هیچ قید و الزامی اتفاق خواهد افتاد که تبعات آن در خروجی مدل ارائه شده در این تحقیق، قابل ملاحظه است.

در نمودارهای شماره ۲ الی ۵، نتایج حاصل از اجرای مدل بهینه‌سازی ارائه شده است. در صورتیکه مدل بدون در نظر گرفتن قیود و محدودیت‌های بازدارنده توسعه داده شود، تمرکز اصلی شرکت‌کنندگان تنها بر روی افزایش بهره‌وری اقتصادی از آب خواهد بود، به‌طوری‌که در این حالت میزان سودآوری از زمان راه‌اندازی بازار آب در سال ۱۴۰۰، بصورت سالانه افزایش یافته و در سال ۱۴۲۰ به حدود ۳۶۷۷ میلیارد دلار در سال خواهد رسید. این میزان سود شامل مجموع سودآوری در بخش کشاورزی و صنعت در شرایط انجام مبادلات در بازار آب خواهد بود. در این حالت، با توجه به بهره‌وری اقتصادی بالا از هر واحد آب در فعالیت‌های صنعتی نسبت به فعالیت‌های کشاورزی، واحدهای صنعتی که با حقایق موجود در بخش صنعت در شرایط کنونی در حال فعالیت

هستند، همچنان به فعالیت خود ادامه خواهند داد. همچنین، تمامی کارخانه‌های موجود غیر فعال در دو شهرک صنعتی، با ایجاد امکان خرید آب از بازار، به‌مرور فعال می‌شوند، به‌گونه‌ای که تا سال ۱۴۲۰ کل صنایع غیر فعال در دو شهرک صنعتی به مساحت ۱۰۷/۹ هکتار، فعال می‌شوند. علاوه بر این، در دوره ۲۰ ساله ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰، به‌مرور به هر میزان که امکان توسعه برای صنایع وجود داشته باشد (با در نظر گرفتن سطح اراضی موجود جهت توسعه صنایع در دو شهرک صنعتی محدود مورد مطالعه، تأمین مالی و کمک‌های دولت از طریق وام‌های توسعه صنایع) فعالیت‌های صنعتی گسترش می‌یابند. با توجه به نتایج حاصل از بهینه‌سازی مدل توسعه داده شده، مساحت کل توسعه صنایع در این دو شهرک صنعتی تا سال ۱۴۲۰، ۴۷۰ هکتار برآورد شده است که براساس حداکثر میزان سودآوری و حداقل آب مصرفی در تولید، گسترش صنایع مربوط به گروه‌های فعالیتی تولید محصولات پلاستیکی و لاستیکی بجز کفش (گروه فعالیتی شماره ۱۸) به مساحت ۱۰۰ هکتار، تولید سایر تجهیزات الکتریکی طبقه‌بندی نشده در جای دیگر (گروه فعالیتی شماره ۳۲) به مساحت ۱۰۰ هکتار، تولید تجهیزات پزشکی و جراحی و وسایل اورتوپدی (گروه فعالیتی شماره ۳۴) به مساحت ۱۰۰ هکتار، تولید قطعات و ملحقات و وسائل نقلیه موتوری و موتور آنها (گروه فعالیتی شماره ۳۵) به مساحت ۱۰۰ هکتار و فعالیت‌های بسته‌بندی (گروه فعالیتی شماره ۳۶) به مساحت ۷۰ هکتار، در محدوده پیش‌بینی می‌شود.

پس از توسعه صنایع تا حد امکان (براساس محدودیت سطح اراضی موجود جهت توسعه در دو شهرک صنعتی نظرآباد و سپهر)، تمرکز بر روی بخش گلخانه‌ای پیش‌بینی می‌شود، به‌گونه‌ای که باتوجه به میزان بالاتر بهره‌وری اقتصادی از هر واحد آب در بخش گلخانه‌ای نسبت به محصولات زراعی و باغی، سطح گلخانه‌های موجود حفظ شده و توسعه در این بخش تا حد امکان (بر اساس میزان آب در دسترس، حداکثر مساحت قابل توسعه گلخانه در محدوده مورد مطالعه و یارانه دولتی) قابل پیش‌بینی است. به‌گونه‌ای که سطح گلخانه‌ها از سال ۱۴۰۰ تا سال ۱۴۲۰، از ۱۷۸ هکتار (وضع موجود در این سال) به ۱۸۲۰ هکتار خواهد رسید. همچنین، پیش‌بینی می‌شود که براساس میزان سودآوری اقتصادی بالاتر و آب مصرفی کمتر، تمایل به کشت محصولات گلخانه‌ای براساس اولویت شامل انواع لفل، نهال کشت بافتی، نشاء مکانیزه و گوجه فرنگی خواهد بود.

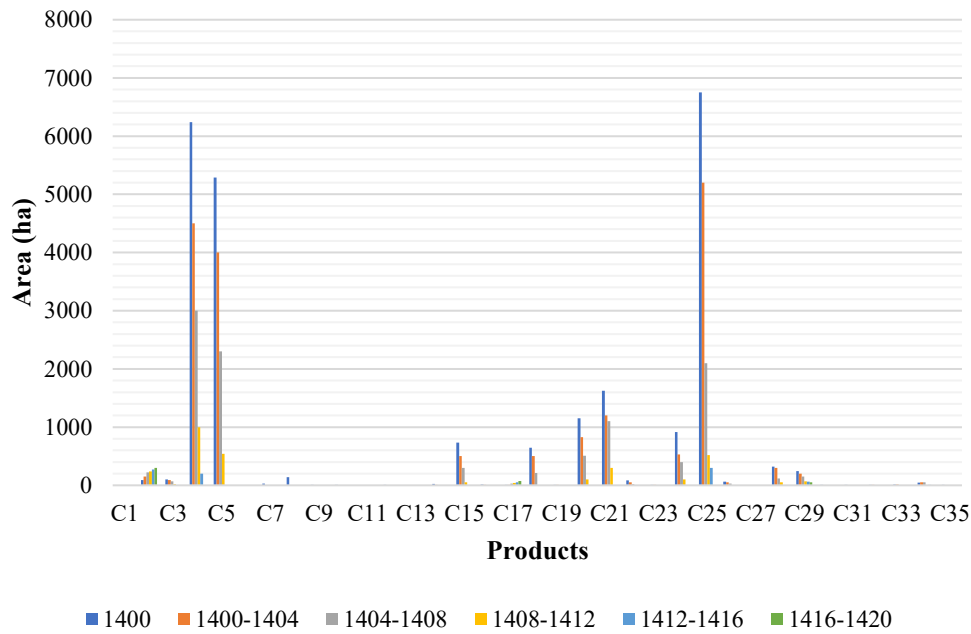
علاوه بر این، پس از توسعه صنایع و گلخانه‌ها در حد امکان در محدوده مورد مطالعه، بر اساس حجم آب باقیمانده از میزان برداشت کنونی، باتوجه به سودآوری اقتصادی بالاتر محصولات باغی نسبت به محصولات زراعی، توسعه سطح تحت پوشش باغات در این

محدوده قابل پیش‌بینی است. به‌گونه‌ای که همزمان با توسعه اراضی تحت پوشش باغات، به‌مرور محصولاتی که دارای سودآوری پایینی هستند حذف شده و جای خود را به محصولات با سودآوری اقتصادی بالاتر و در عین حال آب مورد نیاز کمتر می‌دهند. بر این اساس از سال ۱۴۰۰ تا سال ۱۴۲۰، سطح باغات در محدوده مورد مطالعه از ۱۰۲۳۵ هکتار به ۳۴۵۰۰ هکتار توسعه داده می‌شود. همچنین، پیش‌بینی می‌شود که تمایل کشاورزان به توسعه باغات براساس اولویت شامل محصولات گلایی، به، هلو، شلیل، سیب و آلو قطره طلا باشد.

در نهایت پیش‌بینی می‌شود که در بخش زراعت بدلیل سودآوری اقتصادی پایین نسبت به سایر بخش‌های فعال در بازار آب (صنایع، گلخانه‌ها و باغات) شاهد کاهش سطح تحت پوشش محصولات زراعی باشیم. به‌گونه‌ای که سطح تحت پوشش محصولات زراعی از سال ۱۴۰۰ تا سال ۱۴۲۰، به‌مرور کاهش یافته و از ۲۴۶۰۴ هکتار در وضع موجود به ۴۲۵ هکتار تقلیل یابد. به‌عبارتی با گذشت زمان، محصولات باغی جایگزین محصولات زراعی خواهند شد. براساس میزان سودآوری اقتصادی بالاتر و آب مصرفی کمتر، پیش‌بینی می‌شود که تمایل به کشت محصولات زراعی در اراضی زراعی باقیمانده، براساس اولویت شامل پیاز، سیر خشک و کرفس باشد. علاوه بر این، با راه‌اندازی بازار آب انگیزه کشاورزان جهت صرفه‌جویی در مصرف آب و ارتقاء بهره‌وری آب افزایش می‌یابد. براین اساس پیش‌بینی می‌شود که در این گروه از ذینفعان شاهد افزایش تمایل به جایگزینی روش‌های آبیاری تحت فشار با روش‌های سنتی آبیاری باشیم.

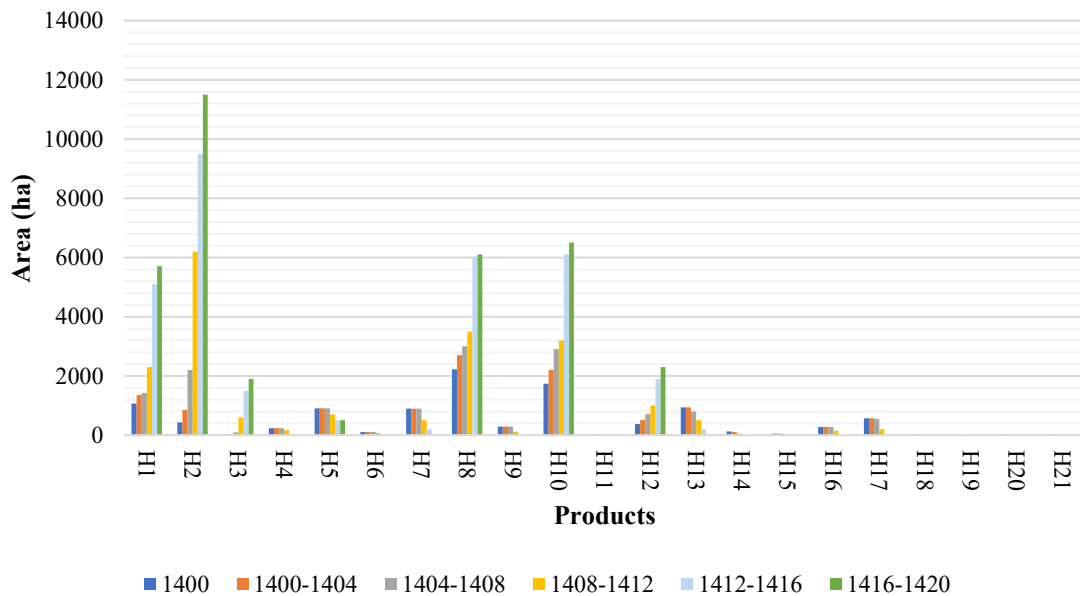
باتوجه به تغییرات پیش‌بینی شده در فعالیت‌های بخش‌های کشاورزی و صنعت پس از راه‌اندازی بازار آب، حجم آب مصرفی در محدوده مورد مطالعه تا سال ۱۴۲۰ به حدود ۲۸۸ میلیون متر مکعب در سال خواهد رسید که این میزان آب مصرفی سالانه نسبت به حجم آب مصرفی در سال ۱۴۰۰ (۲۲۷ میلیون مترمکعب در سال) افزایش یافته‌است. اعداد حاصل نشان‌دهنده این مطلب است که در صورت عدم مدیریت صحیح و عدم اعمال محدودیت‌ها، نه‌تنها حجم برداشت سالانه از منابع آب زیرزمینی کاهش نمی‌یابد بلکه باید انتظار اضافه برداشت از چاه‌های مجاز و حتی حفر بیشتر چاه‌های غیر مجاز را داشته باشیم. از حجم کل آب مصرفی، حدود ۲ میلیون متر مکعب در بخش صنعت (سطح موجود و سطح توسعه داده شده)، ۲۰ میلیون متر مکعب در گلخانه (سطح موجود و سطح توسعه داده شده) و حدود ۲۶۶ میلیون متر مکعب در باغات و اراضی زراعی (سطح موجود و سطح توسعه داده شده) مصرف می‌شود. میزان سودآوری از سطح پیش‌بینی شده برای محصولات کشاورزی در این شرایط، حدود ۸ میلیارد دلار و برای صنایع حدود ۳۶۶۹

میلیارد دلار خواهد بود. این اعداد مؤید تفاوت فاحش بهره‌وری اقتصادی از هر واحد آب در تولیدات صنایع نسبت به محصولات کشاورزی است.



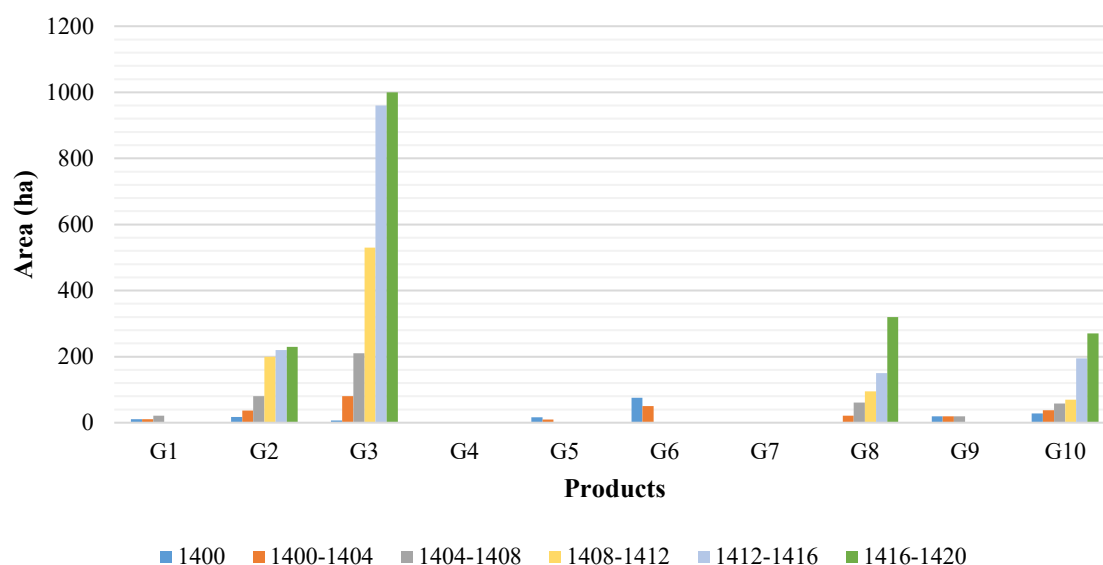
**Fig. 2- Changes in the area under cultivation of crops in the study area until 1420, based on the results of the optimization model**

شکل ۲- تغییرات سطح زیر کشت محصولات زراعی در محدوده مورد مطالعه تا سال ۱۴۲۰، براساس نتایج مدل بهینه‌سازی

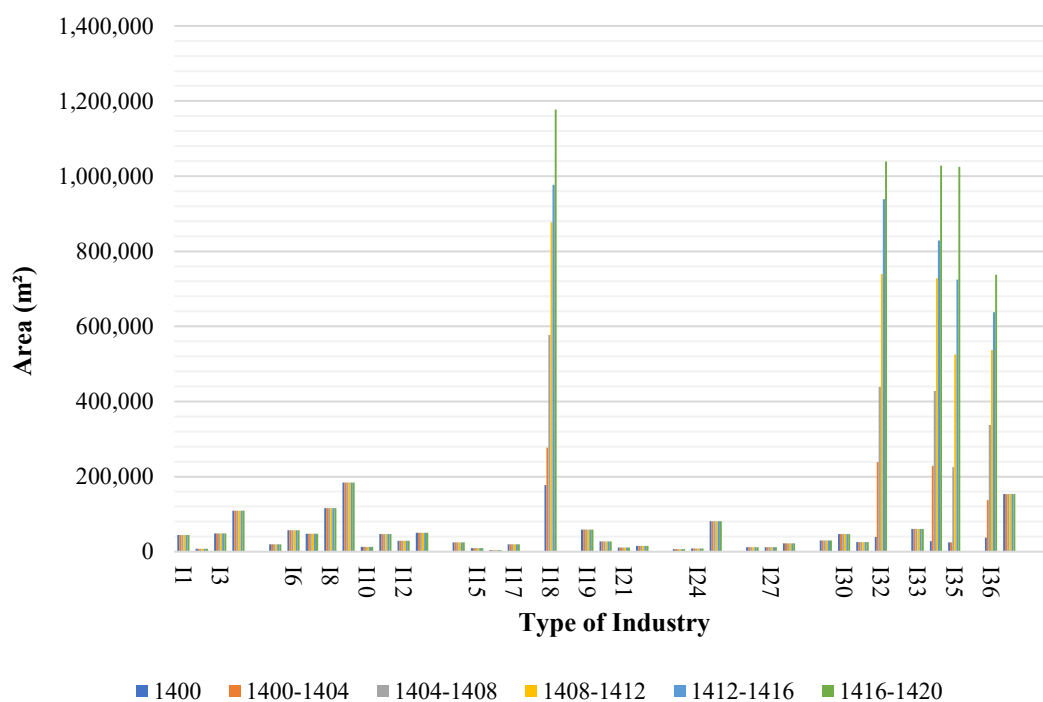


**Fig. 3- Changes in the area under cultivation of horticultural crops in the study area until 1420, based on the results of the optimization model**

شکل ۳- تغییرات سطح زیر کشت محصولات باغی در محدوده مورد مطالعه تا سال ۱۴۲۰، براساس نتایج مدل بهینه‌سازی



**Fig. 4- Changes in the area under cultivation of greenhouse crops in the study area until 1420, based on the results of the optimization model**  
 شکل ۴- تغییرات سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای در محدوده مورد مطالعه تا سال ۱۴۲۰، براساس نتایج مدل بهینه‌سازی



**Fig. 5- Changes in the area of industries based on their development in the study area until 1420, based on the results of the optimization model**

شکل ۵- تغییرات سطح صنایع براساس توسعه آنها در محدوده مورد مطالعه تا سال ۱۴۲۰، براساس نتایج مدل بهینه‌سازی

حفظ امنیت غذایی، کشت محصولات استراتژیک، ظرفیت‌های منطقه‌ای برای تولید، ظرفیت‌های بازار عرضه و تقاضا، قانون هوای پاک و غیره)، عدم بروزرسانی برنامه فروش سالانه آب و عدم

#### ۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج بدست آمده مشخص می‌شود که راه‌اندازی بازار آب بدون کفایت قوانین مدیریتی محدودکننده در تبادلات آبی (سیاست

نظارت‌های دقیق و مستمر بر تبادلات آبی، منجر به سوق منابع آبی به سمت فعالیت‌های صنعتی و محدود شدن فعالیت‌های کشاورزی می‌شود. در این مطالعه دو شهرک صنعتی نظرآباد و سپهر به‌عنوان نمایندگان صنایع محدوده مورد مطالعه در بازار آب مشارکت داده شدند. پیش‌بینی می‌شود که در صورت راه‌اندازی بازار آب و مشارکت تمامی صنایع موجود در این محدوده و فراهم شدن امکان فروش حجم بیشتری از آب موجود در بخش کشاورزی به بخش صنعت، با گذشت زمان کشت محصولات زراعی و باغی نابود شده و کشت محصولات گلخانه‌ای بصورت محدود، به‌عنوان تنها گزینه برای حفظ بخش کشاورزی در محدوده مورد مطالعه مطرح شود و به‌دلیل وجود محدودیت‌های کشت در فضای گلخانه، به‌مرور نوع محصولات کشاورزی در محدوده مورد مطالعه، محدود خواهد شد. به‌دنبال محدود شدن نوع محصولات کشاورزی در منطقه، اختلال در توازن عرضه و تقاضا و به تبع آن قیمت‌گذاری‌های خارج از عرف محصولات کشاورزی در این منطقه قابل پیش‌بینی خواهد بود. همچنین، توسعه فعالیت‌های صنعتی تنها بر اساس معیار سودآوری بالاتر و بدون توجه به ظرفیت‌ها، پتانسیل‌ها و نیازهای منطقه، صورت خواهد گرفت. آنچه که مسلم است، بر هم خوردن توازن در عرضه و تقاضای نیازهای اساسی در هر جامعه‌ای، سبب افزایش مناقشات و آسیب‌های اجتماعی در آن جامعه خواهد شد. نتایج بدست آمده از مدل نشان می‌دهد که مشارکت‌کنندگان در بازار، با انگیزه کسب سود بیشتر، تمایلی به کاهش برداشت از منابع آب نخواهند داشت و به هر میزان که امکان استحصال آب وجود داشته باشد، استفاده از این منابع ادامه پیدا خواهد کرد. با نگاه به تجارب بازارهای آب موفق در دنیا، اهمیت توجه به مسائل مدیریتی و نظارتی در موفقیت بازار بیش از پیش مشخص می‌شود. یکی از نمونه‌های موفق بازار آب دنیا، حوضه موری- دارلینگ جنوبی در استرالیا است. این بازار از سال ۱۹۸۰ رشد چشمگیری داشته است و در طی سه دهه گذشته اصلاحاتی در آن صورت گرفته است. یکی از اصلاحات اساسی این بازار، توسعه بخش مدیریت و نظارت بر معاملات است (Weeler et al., 2014). از جمله فعالیت‌های مهم در بخش مدیریت بازار آب استرالیا می‌توان به صدور مجوز استفاده از آب برای هر بخش در هر فصل، توجه به مسائل محیط زیستی، شفاف‌سازی معاملات و تعیین میزان ذخیره آب در هر فصل براساس وضعیت حوضه آبریز اشاره کرد. از جمله مشکلات موجود در بازار آب استرالیا قبل از ارتقاء سطح مدیریت و نظارت بر این بازار، مسائل محیط زیستی بوده است که در اواخر دهه ۶۰ میلادی و با گسترش معاملات در بازار آب استرالیا، این مشکل بصورت جدی نمود پیدا کرد. پس از ارتقاء مدیریت در بازار آب استرالیا و تخصیص بر مبنای اولویت مصرف و با در نظر گرفتن

نیازهای محیط زیستی، این مشکل تا حد زیادی برطرف شد (Vahedi Zade et al., 2019).

ایالات غربی آمریکا نیز همانند استرالیا، از پیشگامان اصلی بازار آب در دنیا محسوب می‌شوند. در بازار آب کلرادو (به‌عنوان فعال‌ترین بازار آب در آمریکا) دستگاه مدیریت با حفظ بهره‌وری کشاورزی و تولیدات منطقه در بلند مدت، مدیریت فضای سبز شهری، کنترل کیفیت منابع آب و مدیریت حداقل جریان محیط زیستی، تأثیر به‌سزایی در بهبود شرایط محیط زیستی و توسعه پایدار بازار داشته است (Vahedi Zade et al., 2019).

آن چیزی که در راه‌اندازی بازار آب بسیار حائز اهمیت است، تطبیق و برورسانی برنامه‌های خرید و فروش آب با سیاست‌های بالادستی در خصوص مدیریت سفره‌های آب زیرزمینی، مسائل محیط زیستی و محدودیت‌های بخش‌های کشاورزی و صنعت و همچنین نظارت دقیق و مستمر بر اجرای آن است. بدون در نظر داشتن این مهم، راه‌اندازی بازار آب منجر به خسارات جبران‌ناپذیری به منابع آبی شده و تعادل در تأمین نیازهای اساسی در محدوده تحت پوشش بازار از بین خواهد رفت و به تبع آن مناقشات و آسیب‌های اجتماعی افزایش خواهد یافت. به‌عبارتی بازار آب تنها در صورت استقرار مجموعه مدیریتی قوی در اجرا و نظارت بر مبادلات آبی، می‌تواند یکی از راهکارهای مدیریت مصرف منابع آبی باشد و در غیر این‌صورت بدلیل افزایش برداشت‌های غیر مجاز می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به منابع آبی تجدیدنپذیر وارد نماید.

همانگونه که در این تحقیق اشاره شد، تغییر کاربری برخی اراضی کشاورزی به باغ‌ویلاها یکی از چالش‌های موجود در کنترل مصرف آب در بخش کشاورزی محدوده مورد مطالعه است که سیاست تخریب باغ‌ویلاها توسط جهاد کشاورزی استان، تاکنون باعث حل این معضل نشده است. پیشنهاد می‌شود که همزمان با راه‌اندازی بازار آب، جهاد کشاورزی با هدف سلب اختیار برداشت از چاه‌های کشاورزی موجود در محدوده باغ‌ویلاها و امکان مدیریت برداشت از آنها، سیاست ترقیب صاحبان باغ‌ویلاهای موجود به معرفی چاه‌های این محدوده و تفویض اختیار آنها به جهاد کشاورزی در قبال صدور مجوز برای آنها را درپیش گیرد. با اعمال این سیاست، باغ‌ویلاها به‌عنوان یکی از مشارکت‌کنندگان در بازار آب، می‌توانند آب مورد نیاز خود را با قیمت تعیین شده از بازار تأمین نمایند و برداشت بی‌رویه از چاه‌های کشاورزی توسط باغ‌ویلاها در این محدوده، پایان یابد. به‌منظور تأمین اهداف راه‌اندازی بازار آب و جلوگیری از خسارات مذکور پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- توسعه مدل برنامه فروش آب باتوجه به شرایط منطقه، بگونه‌ای که با اعمال سیاست‌ها و محدودیت‌های سالانه

تأمین آب مورد نیاز باغ‌ویلاها از طریق بازار آب با مشارکت آنها در بازار

#### پی‌نوشت‌ها

1. Multi Objective Decision Making
2. Augmented Epsilon Constraint
3. Contingent Valuation Method
4. Conflicting Objectives
5. Multi Objective-Mixed Integer linear Programming
6. General Algebraic Modeling System
7. International Standard Industrial Classification
8. Weighted Sum Method
9. Epsilon Constraint
10. Lexicographic
11. Evolutionary Optimization
12. Efficient
13. Weakly Efficient
14. Range

و یا فصلی محدوده تحت پوشش بازار آب، امکان دسترسی به برنامه فروش آب برای هر سال و یا هر فصل فراهم شود؛

- تشکیل گروه مدیریتی بازار شامل نمایندگان سازمان آب منطقه‌ای استان، سازمان جهاد کشاورزی استان، اداره محیط زیست استان و نمایندگان ذینفعان در بازار (صنایع، کشاورزان و سایر ذینفعان)؛
- نصب تجهیزات کنترلی و اجرای تأسیسات انتقال آب؛
- تشکیل تیم نظارتی قوی و منسجم در محدوده تحت پوشش بازار آب؛
- پایش مستمر اثرات راه‌اندازی بازار آب در منطقه و اعمال تغییرات مقتضی در هر یک از بخش‌های مدیریتی، اجرایی و نظارتی براساس نتایج حاصل از پایش‌ها؛
- اعمال سیاست‌های ترقیبی در باغ‌ویلاهای موجود به‌منظور جلوگیری از مصرف آب کشاورزی در آنها و

## ۸- مراجع

- Bajaj A, Singh S P, and Nayak D (2023) Are farmers willing to pay for groundwater irrigation? Insights from informal groundwater markets in Western Uttar Pradesh, India. *Journal of Agricultural Water Management* 288:108458
- Deb K (2014) Multi-objective optimization in Search methodologies. Springer, 403-449p
- Gunantara N (2018) A review of multi-objective optimization: Methods and its applications. *Journal of Cogent Engineering* 5(1):1502242
- Du E, Cai X, Wu F, Foster T, and Zheng Ch (2021) Exploring the impacts of the inequality of water permit allocation and farmers' behaviors on the performance of an agricultural water market. *Journal of Hydrology* 599:126303
- Ghaffari Moghadam Z, Moradi E, Hashemi Tabar M, and Sardar Shahraki A (2022) Optimal allocation of water resources in the agricultural sector by using the Stackelberg-Nash-Cournot Model and emphasis on water market (Case Study: Sistan Plain Pipe Water Transfer Project). *Iranian Journal of Eco Hydrology* 9(1):273-289 (In Persian)
- Mavrotas G (2009) Effective implementation of the  $\epsilon$ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Journal of Applied mathematics and computation* 213(2):455-465
- Montilla López N M, Gómez-Limón J A, and Gutiérrez-Martín C (2018) Simulating farmers' decision-making with a Cobb-Dougllass MAUF: An application for an Ex-Ante policy analysis of water pricing. *Multicriteria Analysis in Agriculture*, 199-221p
- Nourani L, Mousavi N, and Shirvanian A (2022) Economic impact assessment of agricultural water market formation in irrigation network of Ramjerd Plain in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development* 29(4):177-204 (In Persian)
- Parhizkari A, Yavari G, Mahmoodi A, and Bakhshi khaniki G (2024) Establishment of a structural institution of the local water market in the irrigation network of Tehran Province with statewide agricultural production model approach. *Iranian Journal of Agricultural Economics Research* 15(4):28-51 (In Persian)
- Rabbanimehr M, Sanayie A, and Kazemi A (2021) Investigating the factors that affect consumer behavior in social capital management and facilitates the implementation of water local markets. *Iranian Journal of Busines Administration Researches* 31(25):111-131 (In Persian)
- Razavi Al-e-hashem S A, Papi A, Pishvae M S, and Rasouli M (2022) Robust maintenance planning and scheduling for multi-factory production networks considering disruption cost: A bi-objective optimization model and a metaheuristic solution method. *Journal of Operational Research* 22(5):4999-5034
- Ruth M D (2014) Property rights and sustainable irrigation: A developing country perspective. *Journal of Agricultural Water Management* 145:23-31
- Samareh Hashemi Kh, Keikha A, Boshraabadi H M, Mardani Najafabadi M, and Ziaee S (2021) Evaluation of water market performance and its comparison with different allocation rules of water in drought conditions. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development* 29(2):29-53 (In Persian)
- Shabani rouchi Z, Yazdani S, and Moghaddasi R (2024) Estimating the amount of saving in water consumption under the condition of forming a water market and examining its welfare effects: A Case study of Hashtgerd Plain in Alborz Province of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development* 31(4):73-101 (In Persian)
- Sheng J, Cheng Q, and Yang H (2024) Water markets and water inequality: China's water rights trading pilot. *Journal of Socio-Economic Planning Sciences* 94:101929
- Tian Y, Si L, Zhang X, and Cheng R (2021) Evolutionary large-scale multi-objective optimization: A survey. *Journal of ACM Computing Surveys (CSUR)* 54(8):1-34
- Vahedi Zade S, Forouhar L, and Kerachian R (2019) Comparative study of international water markets. *Iran-Water Resources Research* 14(4):194-205 (In Persian)
- Wheeler S A, Loch A, Crase L, Young M, and Grafton R Q (2017) Developing a water market readiness assessment framework. *Journal of Hydrology* 552:807-820
- Wight C, Garmany K, Arima E, and Garrick D (2024) Texas water markets: Understanding their trends, drivers, and future potential. *Journal of Ecological Economics* 224:108259
- Zarei ghorkhodi A and Shahnazar A (2024) Evaluating the impact of creating a water market on improving productivity using a mathematical programming model (Case study: Tajen Watershed). *Iranian Journal of Water and Irrigation Management* 14(1):207-221 (In Persian)
- Zhao J, Cai X, and Wang Z (2013) Comparing administered and market-based water allocation systems through a consistent agent-based modeling framework. *Journal of Environmental Management* 123:120-130
- Zhoa M and Ancev T (2025) Water governance and water markets. *Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics (Second Edition)* 2:269-277