تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹
Volume 16, No. 1, Spring 2020 (IR-WRR)
۳۳۲-۳۴۶

توسعه چارچوب بازار آب بین‌بخشی برای ارتقای بازدهی اقتصادی مصرف آب زیرزمینی

محمدامین ذوالفقاری‌پور[۱]، آزاده احمدی[۲*] و علیرضا نیکویی[۳]

چکیده

در این مقاله یک چارچوب کارآمد برای تخصیص بهینه منابع آب زیرزمینی در محدوده فعالیت بازار آب محلی موجود در دشت اصفهان-برخوار ارائه می‌شود. در مرحله اول برای بهبود وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان، مجوزهای برداشت مزارع فروشنده آب با استفاده از دو رویکرد بالا به پایین و پایین به بالا کاهش داده می‌شود. رویکرد پایین به بالا به‌دلیل لحاظنمودن مطلوبیت‌های مزارع از طریق ایجاد فرآیند چانه‌زنی بین آن‌ها، سیاست‌های قابل پذیرش‌تری را پیشنهاد می‌دهد. مرحله دوم شامل مدل‌سازی فروش مجوزهای آب زیرزمینی از مزارع به صنایع مختلف با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مبادلات آب است. در این مدل، حجم مبادلات به‌گونه‌ای تعیین خواهد شد که سود کلی سامانه از طریق یافتن میزان بهینه تولید محصولات مختلف و حجم مصرف آب، حداکثر شود. نتایج برای سال زراعی ۱۶-۲۰۱۵ نشان می‌دهد که مزارع با کاشت محصولات سودآور و فروش آب مازاد خود باعث افزایش تولید در بخش صنعت می‌شوند. با این حال مزارع هم‌چنان به‌دلیل کاهش مجوزها نسبت به شرایط اولیه خود دچار خسارت خواهند شد. بنابراین در مرحله سوم با استفاده از بازی همکارانه شاپلی سود حاصل از مبادلات بین خریداران و فروشندگان آب به‌صورت عادلانه بازتخصیص می‌شود. به‌طوری که سود مزارع و واحدهای صنعتی به‌ترتیب ۵۵ و ۱۹ درصد نسبت به وضعیت موجود افزایش می‌یابد. بنابراین چارچوب پیشنهادی این قابلیت را دارد که علاوه بر تسهیل در اجرای سیاست کاهش مجوزهای آب زیرزمینی، بازدهی اقتصادی استفاده از این مجوزها را نیز بهبود دهد.

کلمات کلیدی: بازار آب، بهینه‌سازی، چانه‌زنی، دشت اصفهان-برخوار، مدل بازی همکارانه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۹/۱۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۲/۵

۱- کاندیدای دریافت دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۳- استادیار، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Development of Inter-Sectional Water Market Framework for Improving Economic Efficiency of Groundwater Consumption

M.A. Zolfagharipoor[1], A. Ahmadi[2], and A.R. Nikouei[3]*

Abstract

In this paper, an efficient framework is presented for optimal allocation of groundwater resources at the activity area of local water market within the Isfahan-Borkhar plain. In the first step, to improve aquifer's hydrological condition, farms' groundwater permits are reduced using top-down and bottom-up approaches. The bottom-up approach proposes more acceptable strategies due to considering farms' utilities trough creating a bargaining process among them. The second step involves modeling the sales of groundwater permits from farms to different industries using water exchanges integer mathematical programming method. In this model, exchange volume is determined in such a way as to maximize the system's total profit by finding the optimal production amount of different products and the corresponding water consumption volume. The results for the farming year 2015-2016 show that farms increase the production amount in the industrial sector by planting profitable crops and selling their surplus water. However, farms still suffer losses due to reduced permits compared to their current status. Therefore, in the third step, the exchanges' profits are fairly reallocated among water buyers and sellers using Shapley cooperative game. So that compared to the current status, the profits of farms and industry units increase by 55% and 19%, respectively. Therefore, the proposed framework is capable of to improve the economic efficiency of groundwater permits use, in addition to facilitating the implementation of the permits reduction policy.

Keywords: Water Market, Optimization, Bargaining, Isfahan-Borkhar Plain, Cooperative Game Model.

Received: December 2, 2019
Accepted: April 24, 2020

1- Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: ma.zolfagharipoor@cv.iut.ac.ir
2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: aahmadi@cc.iut.ac.ir
3- Assistant Professor, Social and Extension Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran. Email: anikooie@yahoo.com
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

همزمان با کم‌رنگ‌شدن نقش بهبود عرضه آب، نیاز به افزایش بازدهی فیزیکی و اقتصادی مصرف آب بیش از گذشته احساس می‌شود. بازدهی فیزیکی شامل نسبت منافع حاصل از تولید به کل آب مصرف‌شده برای آن است. اما بازدهی اقتصادی مفهوم گسترده‌تری داشته و به‌معنای رسیدن به بالاترین ارزش اقتصادی مصرف آب است (Griffin, 2016). مبادله آب، یکی از رویکردهای پیشنهادی برای افزایش بازدهی اقتصادی است. در این رویکرد براساس یک سازوکار مبتنی بر بازار، امکان انتقال آب از مصارف با بهره‌وری کم‌تر به مصارف با بهره‌وری بیش‌تر فراهم و از این طریق بازدهی اقتصادی بهبود می‌یابد (Nikouei and Najafi, 2011).

مطالعات متنوعی به مدل‌سازی و ارزیابی اثرات بازار آب پرداخته‌اند. در بخش عمده‌ای از این مطالعات با تدوین مدل‌های بهینه‌سازی اقتصادی، الگوی مبادله آب بین بهره‌برداران مختلف به‌گونه‌ای تعیین شده است که ضمن حداکثرسازی سود، متغیرهای تصمیم نظیر الگوی کشت و حجم آب مصرفی بهینه شود. Safari et al. (2016) با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی با تابع هدف ارزش اقتصادی آب و با وجود امکان مبادله حق‌آبه‌ها به مدل‌سازی تخصیص آب بین مناطق مختلف حوضه آبریز بالخلی‌چای در استان اردبیل پرداخته‌اند. با تشکیل بازار آب، سود مناطق مختلف حدوداً ۹ درصد افزایش یافته است. Zeng et al. (2016) یک مدل بهینه‌سازی اقتصادی نوین مبتنی بر عدم‌قطعیت بازه‌ای-احتمالاتی را برای بررسی نقش مبادله آب به‌عنوان یکی از رویکردهای توسعه پایدار توسعه دادند. نتایج نشان داد که مبادله آب باعث تخصیص کارای منابع آب و بینش مؤثر در خصوص تبادل بین مبادله آب و اهداف اقتصادی شده است.

Badie Barzin et al. (2017) با اجرای یک مدل بهینه‌سازی اقتصادی نشان دادند که با برقراری بازارهای آب محلی در منطقه سیستان، تعادل بین عرضه و تقاضای آب آبیاری و مبادله آب بین مناطق مورد مطالعه ایجاد می‌شود. Boghraie and Mahjouri (2019) الگوهای جدیدی را برای قیمت‌گذاری آب آبیاری در حالت وجود یک بازار آب محلی بین کشاورزان ارائه دادند. در الگوی اول، قیمت فروش آب از طرف شرکت آب منطقه‌ای به کشاورزان در قالب یک بازی پیشرو-پیرو تعیین می‌شود. در حالی که در الگوی دوم، مطلوبیت کشاورزان در تعیین قیمت فروش آب با استفاده از تابع ضربی نش در نظر گرفته می‌شود.

هم‌چنین در برخی مطالعات یک مدل بهینه‌سازی اقتصادی با یک مدل تعادل هیدرولوژیکی منابع آب ترکیب شده و سود حاصل از اجرای مبادلات براساس شرایط هیدرولوژیکی حوضه برآورد شده است (Erfani et al., 2014; Levers et al., 2019). این یک‌پارچه‌سازی مدل اقتصادی-هیدرولوژیکی[۲] باعث شده است که اثرات اقتصادی مبادله آب در شرایط واقع‌بینانه‌تری تحلیل شود.

بیش‌تر مطالعات گذشته شامل مدل‌سازی فرآیند مبادله آب بین کشاورزان است و مدل‌سازی اقتصادی مبادله آب بین بخش کشاورزی و صنعت کم‌تر مورد توجه بوده است. نتایج مطالعات گذشته نشان می‌دهد که سازوکار بازار آب باعث افزایش سود کشاورزان توسط اقداماتی نظیر اصلاح الگوی کشت، استفاده بهینه از آب و فروش آب مازاد بر نیاز یا خرید آب مورد نیاز خواهد شد. البته نحوه توزیع سود حاصل از مبادلات آبی می‌تواند در انگیزه و میزان مشارکت فعالان در بازار آب تأثیرگذار باشد. توجه به روش‌های فنی انتقال آب در چارچوب بازار نیز اهمیت دارد. مقایسه روش‌های مختلف تخصیص آب نشان می‌دهد که رویکرد مبادله آب عملکرد اقتصادی بهتری نسبت به سایر روش‌های تخصیص آب دارد. با این حال لازم است علاوه بر ارزیابی اثرات اقتصادی بازار آب، تعادل هیدرولوژیکی نیز مورد توجه قرار گیرد.

برداشت از منابع آب زیرزمینی نتیجه تصمیم‌گیری‌های مستقل افراد و سازمان‌ها است و کنترل متمرکزی برای مدیریت آن وجود ندارد. این رفتار مستقل بهره‌برداران که معمولاً با انگیزه‌های اقتصادی همراه است، منجر به استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی شده است. اضافه برداشت‌ها با اثرات جانبی منفی نظیر افت تراز آب، افزایش شوری و فرونشست زمین همراه است. با فراهم شدن امکان مبادله آب و انگیزه‌های اقتصادی ناشی از آن ممکن است این اثرات جانبی منفی تشدید نیز شود (Liang, 2013). بنابراین برای کاهش این اثرات، سیاست‌های مداخله‌ای و سازوکارهای تنظیمی‌ای نظیر محدود کردن مجوزهای برداشت متناسب با حجم تجدیدپذیر آبخوان پیشنهاد شده است (Richardson et al., 2011).

کاهش مجوزهای آب زیرزمینی در طی یک فرآیند بالا به پایین توسط سازمان مسئول آب[۳] صورت گرفته و به اطلاع بهره‌برداران صاحب مجوز برداشت می‌رسد. با این حال پذیرش و اجرای چنین سیاست‌های دستوری که در آن‌ها مطلوبیت ذی‌نفعان مختلف لحاظ نمی‌شود، معمولاً به‌سختی امکان‌پذیر است و حتی ممکن است با تنش‌های اجتماعی نیز مواجه شود. از طرفی معمولاً بین بهره‌برداران مختلف منابع مشترک آب زیرزمینی بر سر میزان برداشت‌ها، تضاد و رقابت

وجود دارد. به‌طوری که ممکن است آبخوان را در معرض بهره‌برداری بیش از ظرفیت قرار دهد.

یکی از رویکردهای مناسب برای تدوین سیاست‌های مدیریتی سامانه‌های منابع آب مشترک، استفاده از نظریه چانه‌زنی است. چانه‌زنی، ساده‌ترین روش برای توصیف هر موقعیتی است که در آن طرف‌های درگیر قادرند منفعتی را از طریق همکاری با یکدیگر، خلق نمایند. اگر آن‌ها در ایجاد توافق، شکست بخورند، هیچ منفعت بالقوه‌ای به‌وجود نمی‌آید (Firoozjang, 2014). به این ترتیب مدل‌های چانه‌زنی می‌توانند ترتیبات جدیدی را شکل دهند که در آن ضمن در نظر گرفتن مطلوبیت‌ها و محدودیت‌های موجود در سامانه‌های مشترک، از طریق ایجاد فرآیند مذاکره بین ذی‌نفعان، سیاست‌هایی ارائه شود که ذی‌نفعان در مورد آن‌ها تا حد زیادی توافق داشته باشند.

کاربرد مدل‌های چانه‌زنی در تحلیل عملکرد ذی‌نفعان در سامانه‌های منابع آب به‌سرعت در حال گسترش است. Mahjouri and Bizhani-manzar (2013) روشی برای مدیریت کیفی روخانه‌ها با در نظر گرفتن اولویت‌های منابع اصلی تخلیه‌کننده آلودگی به‌صورت جداگانه با استفاده از مفاهیم چانه‌زنی بازگشتی توسعه دادند. Ghodsi et al. (2016) با لحاظ نمودن تعاملات ذی‌نفعان درگیر در مسأله مدیریت کیفی رواناب شهری توسط یک مدل چانه‌زنی غیرهمکارانه، بهترین راه‌کارهای مدیریتی را در شرایط قطعیت و عدم‌قطعیت تعیین کردند. Xu et al. (2019) از رویکردهای چانه‌زنی و گزینش اجتماعی برای استخراج سیاست‌های پایدار بهره‌برداری از سامانه‌های برق‌آبی استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که خروجی روش‌های چانه‌زنی، پایدارتر بوده و منجر به ایجاد تعادل بهتری بین اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی خواهد شد.

در این مقاله یک مدل بهینه مبادله آب زیرزمینی بین بخش کشاورزی و صنعت توسعه یافته است. مدل پیشنهادی به‌دنبال بهبود بازدهی اقتصادی آب از طریق بازتخصیص مبتنی بر بازار است. قبل از اجرای مبادلات آب، مجوزهای مزارع فروشنده آب براساس دو رویکرد بالا به پایین و پایین به بالا کاهش خواهند یافت. در رویکرد دستوری همه مزارع موظف هستند مجوز خود را به‌میزان یکسانی کاهش دهند. مهم‌ترین ضعف این رویکرد، ضمانت اجرایی پایین آن است. چون سازمان مسئول آب نسبت به رضایت مزارع در خصوص سیاست‌های اعمالی توجهی ندارد. در مقابل در رویکرد پایین به بالا سعی خواهد شد ضمن حفظ مطلوبیت سازمان مسئول آب در خصوص تعادل هیدرولوژیکی آبخوان، از طریق ایجاد مذاکره بر سر میزان کاهش مجوزها بین مزارع، به سیاست‌های قابل‌پذیرش دست یافت.

در مسأله برداشت از منبع مشترک آب زیرزمینی، زارعین از یک طرف برای رسیدن به مطلوبیت‌های خود رفتاری غیرهمکارانه را انتخاب می‌کنند و از طرف دیگر نسبت به رفتار همدیگر واکنش نشان می‌دهند. بنابراین در این مقاله از مفهوم نظریه چانه‌زنی برای مدل‌سازی رفتار زارعین در رویکرد پایین به بالا استفاده می‌شود. حداقل مطلوبیت‌های مزارع در طی فرآیند چانه‌زنی یک بار به‌صورت ثابت و یک بار به‌صورت متغیر لحاظ خواهد شد. فرآیند چانه‌زنی تا زمانی ادامه می‌یابد که مزارع بر روی مجموعه‌ای از راه‌بردهای کاهش مجوزها به توافق دست یابند.

سیاست پیشنهادی توسط هر یک از رویکردهای چانه‌زنی و دستوری مقایسه و سیاست برتر انتخاب می‌شود. سپس خروجی‌های مربوط به سیاست برتر به‌عنوان مجوزهای قابل‌مبادله آب زیرزمینی معرفی می‌شوند. در ادامه به‌منظور ارزیابی اثرات مبادلات آب یک مدل بهینه‌سازی توسعه داده می‌شود. در این مدل، حجم مبادله بین‌بخشی آب زیرزمینی به‌گونه‌ای تعیین خواهد شد که سود واحدهای خریدار و فروشنده از طریق یافتن میزان بهینه تولید محصولات مختلف و حجم مصرف آب، حداکثر شود.

نوآوری مقاله حاضر شامل تعیین مجوزهای قابل‌مبادله آب زیرزمینی در طی یک فرآیند تصمیم‌گیری پایین به بالا و با در نظر گرفتن مطلوبیت‌های ذی‌نفعان مختلف است. هم‌چنین ویژگی بارز دیگر این مطالعه، مقایسه دو سازوکار متفاوت (حداقل مطلوبیت‌های ثابت و متغیر) برای نحوه تعاملات بین بازیکنان در یک فرآیند چانه‌زنی است. در نهایت مدل بهینه‌سازی پیشنهادی این توانایی را دارد که حجم مبادلات آب با هر روش فنی و میزان تولید محصولات مختلف صنعتی را به‌عنوان متغیر تصمیم لحاظ کند. کارایی چارچوب پیشنهادی با کاربرد آن در یک مطالعه موردی واقعی که شامل محدوده کوچکی از آبخوان برخوار در استان اصفهان است، ارزیابی خواهد شد.

۲- محدوده مطالعاتی

با توجه به شرایط کم‌آبی و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی جهت تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف، سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های کشور کاهش یافته است (Madani, 2014; Mirnezami and Bagheri, 2017). بنابراین وزارت نیرو در سال ۲۰۱۴ برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی، سیاستی تحت عنوان

"برنامه احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی" را اتخاذ نموده است (Mirnezami and Bagheri, 2017). این سیاست ملی شامل ۱۵ پروژه مختلف است که یکی از آن‌ها پروژه ایجاد و حمایت از بازارهای محلی آب است.

در این پروژه، وزارت نیرو به‌دنبال ایجاد بازارهای محلی آب زیرزمینی جهت تأمین نیازهای آبی و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی است. با توجه به کمبود تجربه در زمینه شکل‌گیری و فعالیت بازار آب زیرزمینی در کشور، وزارت نیرو علاوه بر استفاده از تجارب کشورهای دیگر نظیر استرالیا، چند دشت بحرانی را به‌عنوان پایلوت برای پیاده‌سازی بازارهای محلی آب در نظر گرفته است (Ahmadi et al., 2019). هدف از اجرای این برنامه‌های پایلوت، ارزیابی آثار مبادلات آبی و استفاده از تجارب آن برای تعمیم به سایر مناطق کشور است. یکی از این دشت‌های پایلوت، دشت ممنوعه بحرانی اصفهان–برخوار است.

در این مقاله، محدوده مطالعاتی اصفهان–برخوار به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. این محدوده شامل یک دشت اصلی است که در آن یک آبخوان آبرفتی با مساحت ۱۶۴۲/۸ کیلومترمربع واقع شده است. موقعیت محدوده مطالعاتی در حوضه آبریز گاوخونی و آبخوان برخوار در شکل ۱ ارائه شده است. در این دشت، عمده منابع آب موجود شامل منابع آب زیرزمینی است و حجم منابع آب سطحی بسیار محدود است. وضعیت تغییرات تراز آب زیرزمینی در آبخوان برخوار در طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد که افت دائمی در تراز آب زیرزمینی وجود دارد. به‌طوری که متوسط افت بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ برابر با ۰/۶۲ متر گزارش شده است (Zayandab Consulting Engineering Company, 2016).

به‌دلیل آن‌که در طی سال‌های گذشته شرایط کم‌یابی آب در دشت اصفهان–برخوار برقرار بوده و شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان نتوانسته است پاسخ‌گوی تغییرات سریع تقاضای آب به‌خصوص در بخش صنعت باشد، مبادلات محلی آب به‌صورت غیررسمی و شامل فروش آب از مزارع به صنایع مختلف شکل گرفته است. هر چند که فرآیند مبادلات کاملاً قانونی و با مجوز وزارت نیرو در حال انجام است اما مصرف‌کنندگان خودشان مبادلات را به اجرا درمی‌آورند و هیچ مبادله رسمی‌ای از طریق سامانه حقوقی یا اداری وجود ندارد. به‌منظور آشنایی بیش‌تر با جنبه‌های مختلف این مبادلات بین‌بخشی لطفاً به مرجع (Ahmadi et al., 2019) مراجعه شود.

به این ترتیب با توجه به کمبود منابع آب زیرزمینی در منطقه، حمایت از سیاست‌های مدیریت تقاضای آب نظیر استقرار بازارهای آب زیرزمینی می‌تواند به تغییر تخصیص آب به مصارف با ارزش افزوده بیش‌تر و تأمین نیازهای آبی موجود (به‌ویژه در بخش صنعت) بدون فشار بیش‌تر به آبخوان کمک کند.

۳- روش‌شناسی

در این قسمت، ابتدا نحوه انتخاب محدوده فعالیت بازار آب و در ادامه مراحل مختلف چارچوب پیشنهادی تشریح می‌شود.

۳-۱- انتخاب محدوده فعالیت بازار آب محلی و جمع‌آوری داده‌ها

در این مقاله و در جهت تکمیل یافته‌های مرجع (Ahmadi et al., 2019) در خصوص شناسایی وضعیت و ارزیابی اثرات مبادلات آب زیرزمینی در دشت پایلوت اصفهان–برخوار، از شیوه پیمایشی (Sarmad et al., 2016) استفاده شده است. شیوه پیمایشی صورت‌گرفته شامل مراجعه به منطقه و انجام مصاحبه‌های حضوری با ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان مختلف به‌صورت آزاد و تحلیل نتایج آن می‌باشد. بازه انجام مصاحبه‌ها از سپتامبر تا دسامبر سال ۲۰۱۶ ادامه داشته است.

منظور از ذی‌نفع کسی است که دارای منافع بالقوه در بهره‌برداری از منابع است و البته باید تابع قوانین حاکمیتی باشد. در تحقیق حاضر با ذی‌نفعانی شامل کشاورزان محلی و اعضای نظام صنفی کشاورزی (به تعداد ۱۲۶ نفر) و صاحبان صنایع (به تعداد ۸۳ نفر) مصاحبه انجام شده است. هم‌چنین ذی‌مدخل شامل سازمانی است که هم دارای منافع بالقوه و هم قدرت حاکمیتی و تصمیم‌گیری است. در تحقیق حاضر، با ذی‌مدخلانی شامل کارشناسان و خبرگان اداره‌های منابع آب و جهاد کشاورزی شهرستان‌های اصلی منطقه (به تعداد ۲۱ نفر) مصاحبه انجام شده است.

لازم به‌توضیح است که در مرجع (Ahmadi et al., 2019) ضمن بررسی قوانین آب کشور با محوریت امکان مبادله آب، سعی شده است که چالش‌ها، ملاحظات و الزامات حقوقی برای شکل‌گیری یک بازار آب کارآمد و پایدار براساس یافته‌های دشت پایلوت اصفهان–برخوار و متناسب با پتانسیل‌های خرید و فروش آب ارائه شود. با این حال بررسی مسائل حقوقی بازار آب بدون لحاظ نمودن جنبه‌های اقتصادی آن، ناکارآمد است. بنابراین در این مقاله و در جهت تکمیل یافته‌های مرجع

(Ahmadi et al., 2019) در خصوص اجرای بازار محلی آب زیرزمینی در دشت اصفهان–برخوار استان اصفهان به‌عنوان یکی از پروژه‌های پایلوت طرح تعادل‌بخشی وزارت نیرو، جنبه‌های اقتصادی بازار آب بررسی می‌شود.

مطابق با یافته‌های ارائه‌شده در مرجع (Ahmadi et al., 2019)، عوامل مختلفی بر روی پتانسیل شکل‌گیری مبادلات آبی در سطح منطقه تأثیرگذار هستند. انگیزه‌های اقتصادی نظیر جلوگیری از خشک‌شدن باغ‌ها، توسعه کشت‌های گل‌خانه‌ای، افزایش تولید در بخش صنایع ساختمانی و نیاز به استفاده از آب با کیفیت مناسب (به‌لحاظ شوری) برای صنایع دام و طیور، پتانسیل خرید آب توسط متقاضیان را افزایش داده است (Ahmadi et al., 2019).

از طرفی عوامل اجتماعی مختلفی شامل تغییر ساختار اجتماعی، کاهش نظارت اجتماعی (تعدد چاه‌های غیرمجاز)، کمبود نیروی کشاورز متخصص و امکان تغییر کاربری اراضی کشاورزی با توجه به نزدیکی به مناطق شهری و صنعتی بر پتانسیل فروش آب توسط کشاورزان، تأثیرگذار هستند (Ahmadi et al., 2019). ساختار اجتماعی شامل مجموعه‌ای از روابط و پیوندهایی است که میان افراد، گروه‌ها و طبقات مختلف یک جامعه برقرار می‌باشد و رفتارهای اجتماعی یا فرهنگی در آن جامعه بر پایه این روابط تنظیم می‌شود (Parham, 2013; Hosseini Sirat, 2017). هم‌چنین نظارت اجتماعی به ابزارها و روش‌هایی اطلاق می‌شود که برای وادار کردن فرد به انطباق او با ارزش‌ها و هنجارهای جامعه به‌کار می‌رود (Fazel and Tavasoli, 2019).

مطابق با پیمایش‌های صورت‌گرفته، در برخی مناطق دشت اصفهان–برخوار به‌دلیل مهاجرت افراد محلی از منطقه و جایگزینی افراد غیربومی، وضعیت اجتماعی و فرهنگی دچار تغییر شده است. هم‌چنین در برخی مناطق به‌دلیل کاهش نظارت‌های اجتماعی افراد جامعه نسبت به یکدیگر، استفاده غیرقانونی از منابع آب زیرزمینی از طریق حفر چاه‌های غیرمجاز افزایش یافته است.

خلاصه‌ای از وضعیت پتانسیل‌های موجود در چهار شهرستان اصلی محدوده مطالعاتی اصفهان–برخوار برای تشکیل بازار آب بین‌بخشی در جدول ۱ ارائه شده است. مطابق با پیمایش‌های انجام‌شده، مراکز شهری و صنعتی و نواحی اطراف آن‌ها به‌لحاظ انگیزه‌های اقتصادی و به‌ویژه شرایط اجتماعی تفاوت‌های قابل‌توجهی نسبت به یکدیگر دارند. با این حال معمولاً مراکز شهری و روستایی که در محدوده یک شهرستان واقع هستند، شرایط اقتصادی و اجتماعی نزدیک‌تری نسبت به یکدیگر دارند. بنابراین مقایسه عوامل مؤثر بر پتانسیل‌های مبادله آب زیرزمینی بر پایه مرزهای سیاسی شهرستانی انجام شده است.

در این جدول از روش امتیازدهی و رنگ‌آمیزی برای کمی‌سازی و نشان دادن شدت اثرگذاری یک عامل بر پتانسیل خرید یا فروش آب استفاده شده است. به‌طوری که اعداد ۱ (رنگ قرمز)، ۳ (رنگ زرد) و ۵ (رنگ سبز) به‌ترتیب به شدت اثرگذاری پایین، متوسط و بالای یک عامل اختصاص می‌یابند. در نهایت امتیاز کلی یک شهرستان براساس مجموع امتیازهای اختصاص‌یافته به عامل‌های مختلف تأثیرگذار بر آن شهرستان محاسبه می‌شود. شهرستانی که دارای امتیاز بیش‌تری باشد، پتانسیل بیش‌تری برای استمرار خرید یا فروش آب دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود شهرستان شاهین‌شهر و میمه دارای بیش‌ترین پتانسیل در منطقه برای شکل‌گیری و استمرار مبادلات آبی است.

در ادامه با شناخت مناطق دارای بیش‌ترین پتانسیل و مطابق با شکل ۱، محدوده نسبتاً کوچکی در نزدیکی شهرک صنعتی محمودآباد که میزان مبادلات آب زیرزمینی در آن بیش‌تر است، به‌عنوان محدوده اصلی فعالیت بازار محلی آب جهت اجرای فرآیند مدل‌سازی انتخاب شده است. باید توجه داشت که مطابق با پیمایش‌های صورت‌گرفته در سطح منطقه، مشخص شد که محدوده انتخابی برای فرآیند مدل‌سازی، مستقل از تقسیم‌بندی‌های سیاسی است. با این حال عمده محدوده فعالیت این بازار آب محلی و واحدهای مبادله‌کننده در آن، منطبق با مرز سیاسی شهرستان شاهین‌شهر و میمه به‌عنوان مستعدترین (دارای بیش‌ترین پتانسیل) شهرستان محدوده مورد مطالعه برای استقرار و استمرار بازار آب است.

برای مدل‌سازی بازار آب لازم است واحدهای تولیدی مشابه و نزدیک به‌هم به واحدهای همگن دسته‌بندی شوند. برای مزارع فروشنده آب با مراجعه به منطقه و براساس موقعیت مکانی چاه‌های مجاز دارای کاربری کشاورزی، فرض شده است که چاه‌های نزدیک به‌هم، مشابه با یک واحد هیدرولوژیک عمل می‌کنند. بنابراین هر واحد هیدرولوژیک به‌عنوان یک مزرعه عمده‌مالک شناخته و موقعیت مناسب آن با استفاده از دستگاه GPS تعیین شده است. این دسته‌بندی برای هر نوع واحد تولیدی دیگر نظیر سنگ‌بری‌ها و غیره به‌طور مشابه انجام شده است. نتایج این دسته‌بندی شامل وجود ۲۵ واحد فعال در بازار آب بین‌بخشی است که موقعیت مکانی هریک از آن‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تعداد هشت واحد مزرعه، دو واحد گل‌خانه، سه واحد دام‌داری، سه واحد مرغ‌داری، پنج واحد سنگ‌بری و

چهار واحد آجرپزی در محدوده بازار وجود دارند. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای فرآیند مدل‌سازی مربوط به سال زراعی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ است که از طریق پیمایش‌های صورت‌گرفته در منطقه، مراجعه به سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان و نظرات کارشناسی جمع‌آوری شده‌اند.

۳-۲- مدل‌سازی سازوکار بازار آب

چارچوب پیشنهادی برای مدل‌سازی سازوکار بازار آب دارای سه مرحله توسعه مدل چانه‌زنی، بهینه‌سازی مبادلات آب و بازتخصیص سود است که در ادامه، جزییات مربوط به هر یک از مراحل تشریح می‌شود.

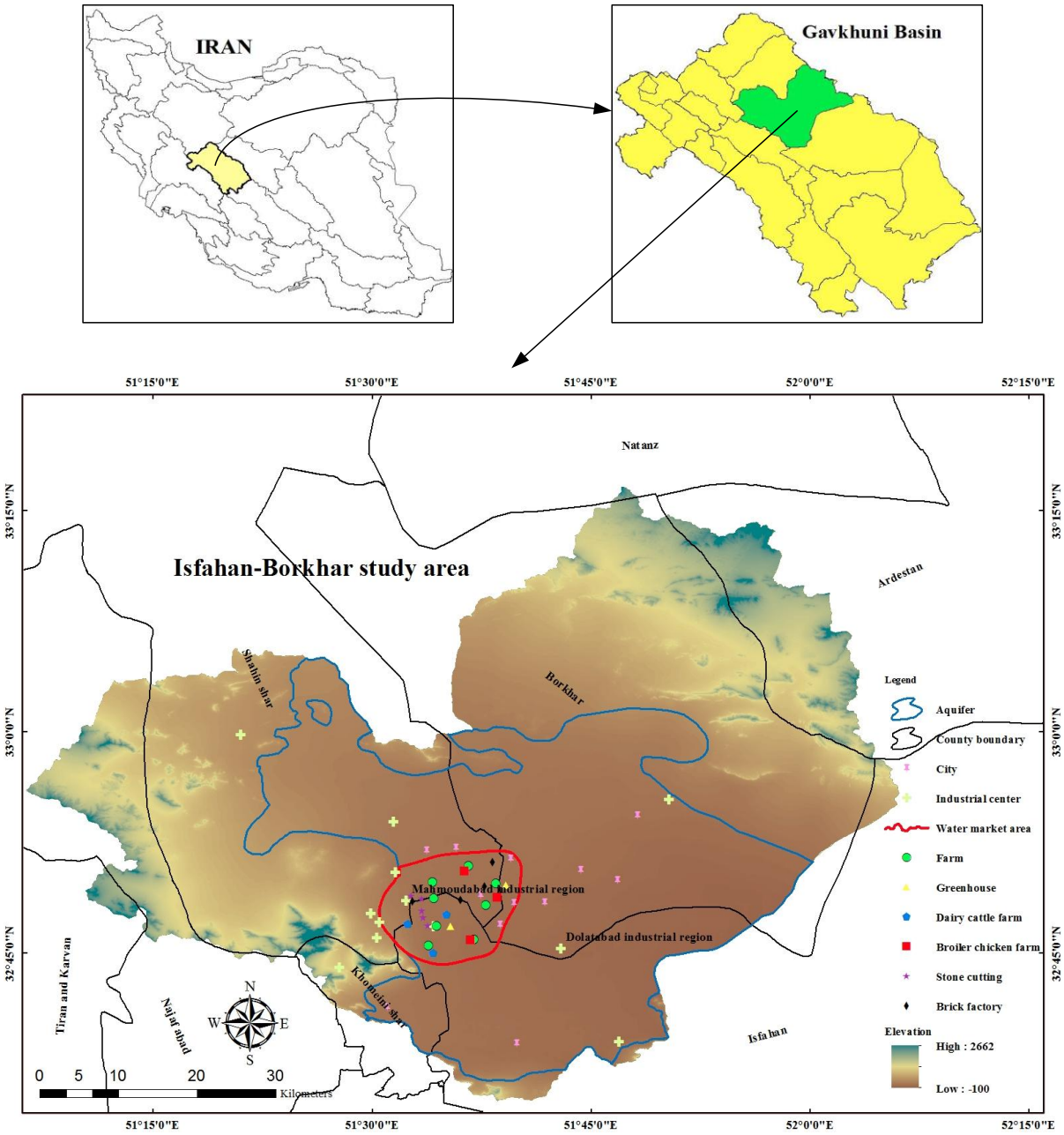

Fig. 1- Location of the local groundwater market within the Isfahan-Borkhar plain

شکل ۱- موقعیت بازار محلی آب زیرزمینی موجود در دشت اصفهان-برخوار

Table 1- Groundwater exchange potentials in the Isfahan-Borkhar plain

جدول ۱- پتانسیل‌های مبادله آب زیرزمینی در دشت اصفهان-برخوار

Category	Factor	County			
		Isfahan	Khomeini shahr	Borkhar	Shahin shahr and meymeh
Water sales potential	Changing social structure	High	Medium	Low	High
	Lack of social control	Medium	High	Low	High
	Close to city and industrial units	High	Medium	High	High
	Shortage of skilled farmers	Medium	Medium	Low	Medium
	Total score	16	14	8	18
Water purchase potential	Prevention of garden drying	Low	Medium	Medium	Medium
	Development of greenhouse crops	Medium	Medium	High	Medium
	Existence of building industrial units	Low	Low	High	High
	Water salinity (especially for dairy cattle and broiler chicken farms)	Medium	Medium	Medium	High
	Total score	8	10	16	16

- **مرحله اول: توسعه مدل چانه‌زنی**

در بهره‌برداری از منبع مشترک آب زیرزمینی سازمان مسئول آب می‌تواند با اعمال سیاست جریمه‌دهی به بهره‌برداران مختلف، میزان برداشت‌ها را کنترل و از آثار زیست‌محیطی نامطلوب جلوگیری کند (Parsapour-Moghaddami et al., 2015). در این شرایط، سیاست برتر هر بهره‌بردار به سیاست‌های برتر سایر بهره‌برداران نیز وابسته است. بنابراین می‌توان با توسعه مدل‌های چانه‌زنی به تحلیل مسأله پرداخت.

در این مقاله دو الگوی چانه‌زنی مختلف برای مدل‌سازی فرآیند مذاکره بین مزارع فروشنده آب با یکدیگر بر سر سیاست‌های کاهش مجوزهای آب زیرزمینی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی فرترن توسعه داده شد. در این الگو، ابتدا سیاست‌های مدیریتی ممکن که شامل ترکیب‌های مختلفی از راه‌بردهای کاهش مجوزها هستند، مشخص می‌شوند. هر مزرعه می‌تواند یکی از راهبردهای موجود را انتخاب کند. اجرای هر سیاست مدیریتی j توسط هر مزرعه i هزینه‌های پمپاژ و جریمه‌هایی متناسب با افت تراز آب زیرزمینی را به‌دنبال دارد (Parsapour-Moghaddami et al., 2015) که مطابق با روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند:

$$Pump_{i,j} = \frac{9.8 \times H_j \times VGW_{i,j} \times PRE}{3600 \times \eta} \quad (۱)$$

$$Penalty_{i,j} = \frac{\psi \times \Delta H_j^2 \times Profit_i}{\sum_i Profit_i} \quad (۲)$$

در این روابط، H، ΔH، VGW، Profit، PRE به‌ترتیب نشان‌دهنده میانگین تراز آبخوان (متر)، تغییرات تراز آبخوان (متر)، حجم برداشت آب زیرزمینی (مترمکعب)، سود حاصل از فروش محصولات کشاورزی (ریال) و قیمت هر کیلووات ساعت برق (معادل با ۲۲۵۰ ریال) می‌باشند. هم‌چنین ضرایب η و ψ به‌ترتیب راندمان پمپ (برابر با ۰/۷) و ضریب تابع جریمه می‌باشند.

مدل چانه‌زنی اول برگرفته از روش چانه‌زنی بازگشتی با بن‌بست ارائه‌شده توسط Brams and Kilgour (2001) است. در این مدل، مزارع سیاست‌های مدیریتی را براساس هزینه‌ای که به آن‌ها تحمیل می‌کنند (مجموع هزینه‌های پمپاژ و جریمه)، به‌صورت صعودی از چپ به راست رتبه‌بندی می‌کنند. نتایج این رتبه‌بندی با یک ماتریس اولویت‌بندی نشان داده می‌شود. در این ماتریس، تعداد سطرها و ستون‌ها به‌ترتیب برابر با تعداد مزارع و سیاست‌های مدیریتی است.

مزارع پس از تشکیل ماتریس اولویت‌بندی و قبل از شروع چانه‌زنی، حداقلی برای مطلوبیت‌های خود مشخص می‌کنند. حداقل مطلوبیت مورد انتظار[۴] هر مزرعه شامل انتخاب سیاستی است که حداکثر هزینه‌ای معادل با میانگین هزینه‌های همه سیاست‌های تحمیلی به آن مزرعه را داشته باشد. این حداقل مطلوبیت در طول چانه‌زنی ثابت باقی می‌ماند. در طی فرآیند چانه‌زنی مزارع برای رسیدن به توافق به‌صورت گام به گام از بهترین سیاست خود (ستون اول ماتریس اولویت‌بندی) به سمت سیاست‌های با مطلوبیت کم‌تر عقب‌نشینی می‌کنند. سیاست برتر، سیاستی است که بتواند ضمن تأمین حداقل مطلوبیت مورد انتظار هر مزرعه، در سطح مطلوبیتی بالاتر مورد توافق همه قرار گیرد. سیاست‌هایی که نتوانند مطلوبیت همه مزارع را تأمین کنند، انتخاب نمی‌شوند.

مدل چانه‌زنی دوم برگرفته از روش ارائه‌شده توسط Carraro and Sgobbi (2008) است. در این مدل، ابتدا هر مزرعه بدون در نظر گرفتن مطلوبیت سایر مزارع، بهترین سیاستی که مطلوبیتش را حداکثر کند (هزینه‌اش را حداقل کند) پیشنهاد می‌دهد.

هر پیشنهادی که ارائه می‌شود برای مزرعه پیشنهاد دهنده و سایر مزارع مطلوبیتی (هزینه‌ای) ایجاد می‌کند. سپس حداقل مطلوبیت مورد انتظار هر مزرعه که به‌عنوان معیاری برای ارائه پیشنهاد در مراحل بعد به‌کار می‌رود، تعیین خواهد شد. حداقل مطلوبیت مورد انتظار هر مزرعه در هر مرحله برابر با میانگین مطلوبیت‌های پیشنهادی به آن مزرعه در مرحله قبلی چانه‌زنی است. بنابراین مطلوبیت هر مزرعه در طول فرآیند چانه‌زنی متغیر خواهد بود.

در هر مرحله از فرآیند چانه‌زنی، هر مزرعه تنها سیاستی را می‌پذیرد که مطلوبیتی بیش‌تر از حداقل مطلوبیت مورد انتظارش که از مرحله قبل به‌دست آمده را برایش فراهم کند و در غیر این صورت آن سیاست رد می‌شود. پس مزارع در حین ارائه پیشنهاد خود به این موضوع توجه می‌کنند که سیاستی ارائه دهند که محدودیت مذکور را لحاظ کند. بنابراین اعمال محدودیت‌هایی در رابطه با مقدار مطلوبیتی که سیاست پیشنهادی برای پاسخ‌دهنده‌ها ایجاد می‌کند، باعث می‌شود پیشنهادهای ارائه شده به‌سمت توافق سوق داده و همگرایی ایجاد شود. به این ترتیب و تا زمانی که شرط همگرایی ارضا شود، چانه‌زنی ادامه پیدا می‌کند.

- **مرحله دوم: توسعه مدل بهینه‌سازی مبادلات آبی**

این مدل به‌دنبال یافتن الگوی بهینه مبادلات آب زیرزمینی و ارزیابی اثرات آن است. تابع هدف مدل شامل حداکثرسازی مجموع سود همه واحدهای خریدار و فروشنده آب است. متغیرهای تصمیم اصلی مدل پیشنهادی شامل میزان تولید محصولات مختلف کشاورزی و صنعتی، حجم برداشت آب زیرزمینی و حجم مبادلات آب با هر روش فنی است.

سود مزارع از تفاضل مجموع درآمدها و هزینه‌ها به‌دست می‌آید. درآمدها مطابق با روابط ۳ و ۴ به‌ترتیب شامل فروش محصولات زراعی و فروش آب است. هم‌چنین هزینه‌ها شامل خرید حجمی آب و انتقال آن با روش‌های فنی مختلف است.

هزینه انتقال آب با تانکر مطابق با پیمایش‌های صورت‌گرفته در منطقه، برابر با ۱۸۰۰ ریال بر مترمکعب بر کیلومتر است. هم‌چنین هزینه انتقال آب با روش آبخوان مشترک متناسب با ارزش افزوده ایجاد شده در استفاده از نهاده آب برای واحدهای مزرعه و گل‌خانه، صنایع دام و طیور و صنایع ساختمانی به‌ترتیب معادل با ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ ریال برمترمکعب فرض شده است.

$$NB1^{F} = \sum_{c}\sum_{i}\left[(SP_{c}^{F} \times Y_{c}^{F} - PC_{c}^{F}) \times CA_{c,i}^{F}\right] \qquad (۳)$$

$$NB2^{F} = (1-0.5\times k)\times MWP \times \left[\begin{array}{l} \sum_{m}\sum_{i}\sum_{j} SWV_{m,j,i} + \sum_{m}\sum_{gh}\sum_{i} SWV_{m,i,gh} \\ + \sum_{m}\sum_{dcf}\sum_{i} SWV_{m,i,dcf} + \sum_{m}\sum_{bcf}\sum_{i} SWV_{m,i,bcf} \\ + \sum_{m}\sum_{sc}\sum_{i} SWV_{m,i,sc} + \sum_{m}\sum_{bf}\sum_{i} SWV_{m,i,bf} \end{array}\right] \qquad (۴)$$

در روابط بالا، متغیرهای تصمیم CA و SWV به‌ترتیب سطح زیر کشت محصول (هکتار) و حجم آب فروخته‌شده (مترمکعب) را نشان می‌دهند. پارامترهای Y، SP، PC، MWP و k به‌ترتیب نشان‌دهنده عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، قیمت فروش محصول (ریال بر کیلوگرم)، هزینه تولید محصول (ریال بر هکتار)، تعرفه حجمی فروش آب براساس واقعیات میدانی منطقه (معادل با ۳۵۰۰۰ ریال بر مترمکعب) و ضریب هزینه مبادله (معادل با ۰/۱) می‌باشند. مطابق با رابطه ۴، نیمی از هزینه مبادله توسط فروشنده و نیمی دیگر توسط خریدار پرداخت می‌شود. هم‌چنین زیرنویس‌های i (j)، gh، dcf، bcf، sc، bf، c و m به‌ترتیب شمارنده مزرعه، گل‌خانه، دام‌داری، مرغ‌داری، سنگ‌بری، آجرپزی، محصولات زراعی و ماه هستند. بالانویس F نیز نماد واحد مزرعه است.

باید توجه داشت که مشابه با رابطه ۳، می‌توان درآمد حاصل از فروش محصولات سایر واحدهای تولیدی را نیز براساس حاصل‌ضرب میزان تولید محصول در قیمت فروش آن محاسبه نمود. مثلاً میزان تولید محصول شیر گاو (گوشت مرغ) در واحدهای دام‌داری (مرغ‌داری) از ضرب متغیر تصمیم تعداد گاوهای شیری (مرغ‌های گوشتی) مورد پرورش در پارامتر عملکرد گاو شیری (مرغ گوشتی) تعیین می‌شود. لازم به‌توضیح است که تعداد گاوهای شیری (مرغ‌های گوشتی) مورد پرورش به‌صورت متغیر عدد صحیح[۴] در مدل لحاظ شده است. هم‌چنین سایر واحدهای تولیدی فقط خریدار آب هستند و درآمد حاصل از فروش آب ندارند.

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های مدل پیشنهادی شامل تأمین آب مورد نیاز برای هر واحد تولیدی است. این محدودیت برای هر واحد مزرعه مطابق با رابطه ۵ ارائه شده است. این رابطه بیان می‌کند که مصرف ماهانه آب زیرزمینی در هر مزرعه باید از مجموع برداشت آب زیرزمینی و آب خریداری‌شده منهای آب فروخته‌شده توسط آن مزرعه بیش‌تر نباشد. مشابه این رابطه را می‌توان برای سایر واحدهای تولیدی توسعه داد.

(۵)

$$\sum_{c}\left(\frac{WD_{c,m}^{F}}{IE^{F}}\right)\times CA_{c,i}^{F}\le WWV_{m,i}^{F}+BWV_{m,i}^{F}-SWV_{m,i}^{F}$$

که متغیرهای تصمیم WWV و BWV به‌ترتیب نشان‌دهنده حجم آب زیرزمینی برداشت‌شده (مترمکعب) و حجم آب خریداری‌شده (مترمکعب) هستند. پارامترهای WD و IE به‌ترتیب نیاز آبی خالص ماهانه محصول زراعی و راندمان آبیاری مزرعه را نشان می‌دهند. مقادیر نیاز آبی خالص ماهانه محصولات از نرم‌افزار NETWAT استخراج شده است.

سایر محدودیت‌های مدل توسعه داده شده شامل تنظیم حجم فروش آب زیرزمینی توسط هر مزرعه متناسب با مجوز برداشت، تعادل ماهانه بین حجم خرید و فروش آب و جلوگیری از دلالی آب (خرید و فروش هم‌زمان آب در یک ماه مشخص) توسط یک مزرعه می‌باشد. هم‌چنین محدودیت‌های حداقلی و حداکثری برای میزان تولید محصولات هر یک از واحدهای تولیدی لحاظ شد.

با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده، الگوریتم‌های لازم برای رسیدن به الگوی بهینه‌سازی در چارچوب برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مبادلات آب[۵]، در بسته نرم‌افزاری GAMS نوشته شد (Brooke et al., 1988). سپس، به روش حل SBB موجود در این بسته نرم‌افزاری اجرا و نتایج مورد نظر به‌دست آمد.

- **مرحله سوم: بازتخصیص سود در قالب مدل بازی همکارانه**

با تعریف مسأله بازار آب در قالب یک بازی همکارانه می‌توان سود مبادله آب را به‌صورت عادلانه بین واحدهای خریدار و فروشنده آب توزیع نمود. در این بازی همکارانه پس از تشکیل ائتلاف‌های مختلف بین بازیکنان، لازم است سود هر بازیکن پس از همکاری از سود اولیه‌اش بیش‌تر باشد. برای تأمین این شرط از روش‌های مختلفی برای بازتوزیع سود نظیر ارزش شاپلی استفاده می‌شود. در روش ارزش شاپلی سود حاصل از همکاری بین بازیکنان براساس سهم نسبی هر بازیکن در افزایش سود حاصل از همکاری تقسیم می‌شود. به این صورت که تابع ارزش شاپلی که با نماد $\varphi_i(v)$ معرفی می‌شود و نشان‌دهنده سود بازیکن i ام است، توسط رابطه ۶ محاسبه می‌شود (Safari et al., 2016):

(۶)

$$\varphi_i(v)=\sum_{S\subseteq N}\frac{(s-1)!(n-s)!}{n!}\left[v(S)-v(S-\{i\})\right]$$

در رابطه بالا، s تعداد اعضای ائتلاف S و n تعداد کل بازیکنان می‌باشد. v(S) و v(S – {i}) به‌ترتیب نشان‌دهنده ارزش هر ائتلاف و ارزش ائتلاف S بدون بازیکن i ام است.

۴- نتایج و بحث

در این قسمت، نتایج حاصل از اجرای چارچوب پیشنهادی در سه بخش شامل معرفی سیاست برتر کاهش مجوزها، ارزیابی اثرات اقتصادی بازار آب و تعیین الگوی بهینه مبادلات آب زیرزمینی بررسی می‌شود. به‌دلیل محدود بودن حجم مقاله از ارائه نتایج به‌صورت ماهانه و جداگانه برای هر واحد تولیدی صرف‌نظر شده است.

۴-۱- سیاست برتر کاهش مجوزها

در این مقاله براساس دستورالعمل نحوه اجرای مواد ۲۷ و ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب (Iran Ministry of Energy, 2019)، راهبرد دستوری کاهش ۲۵ درصدی مجوز برداشت آب زیرزمینی برای مزارع فروشنده آب در نظر گرفته شده است. هم‌چنین متناسب با وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان برخوار و نزدیک به این راهبرد دستوری، دو راهبرد کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی مجوز برداشت نیز به‌منظور ایجاد امکان انتخاب بیش‌تر برای مزارع تعیین شده است. با توجه به این‌که تعداد مزارع فروشنده آب هشت مزرعه است، بنابرایـــن به‌تعداد ۶۵۶۱ (۳ به توان ۸) سیاست مدیریتی وجود دارد.

اجرای هر دو مدل چانه‌زنی به‌ازای مقادیر مختلف ضریب تابع جریمه نشان می‌دهد که از ضریب جریمه‌ای معادل با ۳۰۰۰ میلیون‌ریال بر مترمربع به بعد، مزارع حتی با افزایش جریمه‌ها بر روی سیاست‌های ثابتی، توافق خواهند کرد. بنابراین مقدار بهینه ضریب تابع جریمه برای استفاده در رابطه ۲، برابر با ۳۰۰۰ میلیون‌ریال بر مترمربع انتخاب می‌شود. در ادامه سیاست‌های پیشنهادی توسط روش‌های مختلف برای کاهش مجوزهای آب زیرزمینی، در جدول ۲ مشخص شده‌اند.

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، مدل‌های چانه‌زنی اول و دوم برای مزارع اول، سوم و پنجم راهبردهای مشابهی را پیشنهاد می‌دهند. برای سایر مزارع مدل چانه‌زنی دوم نسبت به مدل اول، درصد کاهش بیش‌تری را پیشنهاد می‌دهد. در روش دستوری نیز مزارع باید مجوز برداشت خود را به‌میزان ۲۵ درصد کاهش دهند. مطابق با جدول ۲، مدل چانه‌زنی دوم در مقایسه با سایر روش‌ها، شرایط اقتصادی بهتری را برای سامانه فراهم می‌کند. این روش در طول یک سال زراعی نسبت به روش دستوری و مدل چانه‌زنی اول، به‌ترتیب حدوداً ۲۱۵ و ۱۸۱ میلیون‌ریال هزینه کم‌تری را به مجموعه هشت مزرعه فروشنده آب تحمیل می‌کند.

نتایج ارائه‌شده در جدول ۱ نشان می‌دهند که سیاست‌های پیشنهادی توسط رویکرد پایین به بالا (روش‌های چانه‌زنی) به‌دلیل لحاظ نمودن مطلوبیت‌های مزارع، نسبت به رویکرد بالا به پایین (دستوری) نتایج بهتری را به‌دنبال دارند. هم‌چنین متغیر لحاظ نمودن حداقل مطلوبیت‌های مزارع در طول فرآیند چانه‌زنی باعث می‌شود که توافق بر روی سیاستی صورت گیرد که دارای مطلوبیت بالاتری برای اکثر مزارع است. بنابراین سیاست پیشنهادی توسط مدل چانه‌زنی دوم به‌عنوان سیاست برتر شناخته می‌شود.

۴-۲- اثرات اقتصادی بازار آب

تغییرات الگوی کشت مزارع در اثر مبادله مجوزهای کاهش‌یافته آب زیرزمینی نسبت به وضعیت پایه (عدم مبادله مجوزهای کاهش‌یافته) به‌گونه‌ای است که سطح زیر کشت دو محصول سودآور ذرت‌علوفه‌ای و خربزه علی‌رغم کاهش آب در دسترس، به‌میزان کمی کاهش می‌یابد.

Table 2- Best groundwater permits reduction strategy in different methods

جدول ۲- سیاست برتر کاهش مجوزهای آب زیرزمینی در روش‌های مختلف

Method	Outcome	Farm number								Sum
		1	2	3	4	5	6	7	8	
First bargaining model	Permit reduction scenario	3	2	3	1	1	1	2	1	-
	Total cost (Million Rial)	767.1	730.3	1,223.3	449.5	349.3	438.1	668.6	495.4	5,121.6
Second bargaining model	Permit reduction scenario	3	3	3	2	1	2	3	2	-
	Total cost (Million Rial)	766.8	681.6	1,222.9	421.4	349.1	410.7	624.0	464.4	4,940.9
Command and control	Permit reduction scenario	2	2	2	2	2	2	2	2	-
	Total cost (Million Rial)	821.8	730.4	1,310.5	421.6	327.5	410.9	668.7	464.6	5,156.0

با این حال سطح زیر کشت گندم از ۴۲۰ هکتار در وضعیت پایه به ۳۴۲ هکتار در وضعیت بازار آب کاهش می‌یابد. هم‌چنین سطح زیر کشت دو محصول جو و یونجه با سودآوری پایین، معادل با حداقل مورد نیاز است. به این ترتیب فروش آب از مزارع باعث خواهد شد که سطح اراضی آیش نسبت به وضعیت پایه ۱۲ درصد افزایش یابد.

هم‌چنین سطح اراضی آیش‌گذاری در وضعیت پایه نسبت به وضعیت موجود حدوداً ۳ برابر افزایش یافته است. این موضوع نشان می‌دهد که با کاهش مجوزها، برای نهاده آب به‌منظور تولید محصولات زراعی محدودیت جدی وجود دارد. در نهایت، نتایج نشان می‌دهد که میزان تولید بخش صنعت با خرید آب، نسبت به وضعیت موجود افزایش یافته است. به‌طوری که واحدهای دام‌داری، مرغ‌داری و صنایع ساختمانی به حداکثر تولید خود می‌رسند. هم‌چنین در گل‌خانه‌ها، سطح زیر کشت محصول خیار ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و دو محصول گوجه‌فرنگی و فلفل‌دلمه‌ای تغییری نخواهند داشت.

شکل ۲ سود واحدهای مبادله‌کننده آب را در وضعیت‌های مختلف نشان می‌دهد. در وضعیت پایه سود مزارع به‌دلیل کاهش میزان تولید محصولات زراعی، نسبت به وضعیت موجود ۱۶۹۰۰ میلیون‌ریال (معادل با ۲۱ درصد) کاهش خواهد یافت. با این حال سود واحدهای خریدار آب به‌دلیل ثابت بودن حجم آب در دسترس و به‌تبع آن میزان تولید محصولات، تغییر نمی‌کند.

با فراهم‌شدن امکان مبادله آب، مجموع سود بخش صنعت افزایش چشم‌گیری به‌میزان ۳۷ درصد نسبت به وضعیت موجود خواهد داشت. هم‌چنین مزارع با تغییر الگوی کشت و فروش آب، بخشی از خسارت ناشی از کاهش مجوزها را جبران خواهند کرد. این نتایج نشان‌دهنده نقش مثبت بازار آب از لحاظ اقتصادی است. با این حال مزارع هنوز سود کم‌تری (معادل با ۱۷ درصد) نسبت به وضعیت موجود به‌دست می‌آورند.

در این شرایط برای رعایت عدالت و فراهم نمودن انگیزه برای مزارع جهت شرکت در فرآیند مبادله آب، واحدهای صنعتی با پرداخت مبالغی خسارت بخش کشاورزی را جبران می‌کنند. این کار با تعریف مسأله مبادله آب در قالب یک بازی همکارانه و تشکیل ائتلاف‌های مختلف بین واحدهای مبادله‌کننده امکان‌پذیر است. بنابراین در این مقاله پس از محاسبه سود همه ائتلاف‌های ممکن، سود کلی حاصل از مبادله آب توسط روش ارزش شاپلی بین مجموعه بازیکنان به‌صورت عادلانه تقسیم می‌شود.

مطابق با شکل ۲، بخش صنعت با پرداخت انگیزشی معادل با ۵۷۳۰۰ میلیون ریال به بخش کشاورزی باعث خواهد شد که سود خودش و سود بخش کشاورزی به‌ترتیب ۱۹ و ۵۵ درصد نسبت به وضعیت موجود افزایش یابد. در صورتی‌که پرداخت انگیزشی به مزارع صورت نگیرد و به‌تبع آن‌ها تمایلی به مشارکت در بازار آب نداشته باشند، مبادله آبی در بازار صورت نمی‌گیرد و در نتیجه سود بخش صنعت در حد وضعیت موجود باقی می‌ماند.

بنابراین افزایش چشم‌گیر سود در بخش کشاورزی ناشی از آن است که در سازوکار بازار آب بین‌بخشی، مزارع به‌عنوان تنها عامل فروشنده آب نقش مهمی در افزایش سود کلی سامانه خواهند داشت. به این ترتیب توزیع عادلانه سود حاصل از مبادلات آب با استفاده از مفهوم بازی همکارانه می‌تواند انگیزه اقتصادی برای مشارکت در بازار آب را فراهم سازد و منجر به تشکیل مبادلاتی پایدار شود.

۴-۳- حجم مبادلات آبی

حجم ماهانه فروش آب توسط مزارع با استفاده از روش‌های فنی مختلف انتقال آب در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد و شهریور که نیاز آبی واحدهای دام‌داری و مرغ‌داری بالاتر است، بیش‌ترین حجم فروش آب به‌میزان ۱۶۲۷۰ مترمکعب اتفاق می‌افتد. حجم فروش آب در طول سال برابر با ۱۷۸۶۰۰ مترمکعب است که نشان می‌دهد مزارع تنها ۱/۲۵ درصد از مجموع مجوزهای کاهش‌یافته آب زیرزمینی خود را به‌فروش می‌رسانند. ۴۳ درصد از حجم فروش آب به‌صورت فیزیکی و با استفاده از تانکر و ۵۷ درصد از روش آبخوان مشترک فروخته می‌شود. روش آبخوان مشترک یک روش غیرفیزیکی برای انتقال آب زیرزمینی است. در این روش خریدار آب معادل با حجم آبی که از فروشنده خریده است، از چاه اختصاصی خود آب زیرزمینی برداشت می‌کند.

شکل ۳ حجم خرید آب توسط واحدهای تولیدی مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مزارع از همدیگر آب نمی‌خرند. با توجه به نیاز آبی و محدودیت‌های تولید محصولات مختلف، حجم خرید آب توسط گل‌خانه‌ها و مرغ‌داری‌ها نسبت به سایر واحدهای تولیدی بسیار کم‌تر است. واحدهای گل‌خانه به‌دلیل فاصله طولانی با مزارع، آب مورد نیاز خود را فقط از روش آبخوان مشترک خریداری می‌کنند. از طرفی با توجه به هزینه انتقال آب، بیش‌تر حجم خرید آب

برای واحدهای دام‌داری و آجرپزی از روش آبخوان مشترک و برای واحدهای مرغداری و سنگ‌بری از روش تانکر صورت می‌گیرد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که در اثر مبادله آب، حجم برداشت آب زیرزمینی توسط مزارع حدوداً ۷۵۰۰۰۰ مترمکعب (معادل با ۶ درصد) کاهش می‌یابد. اما در بخش صنعت به‌دلیل بالا بودن متوسط ارزش اقتصادی نهاده آب، حجم برداشت آب زیرزمینی تغییر نمی‌کند. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده در این مقاله با یافته‌های حاصل از تحقیقات (Nikouei and Najafi, 2011; Erfani et al., 2014; Safari et al., 2016; Zeng et al., 2016; Badie Barzin et al., 2017; Boghraie and Mahjouri, 2019) هم‌سو می‌باشد. آن‌ها در تحقیقات خود اثرات اقتصادی تشکیل بازارهای آب محلی را در مناطق مختلفی در دنیا ارزیابی کردند. تحقیقات فوق نشان‌دهنده وجود اثرات مثبت اقتصادی و افزایش کارایی مصرف آب در زمینه شکل‌گیری بازار آب می‌باشد. نتایج مقاله حاضر نیز کارآمدی رویکرد تخصیص مبتنی بر بازار در شرایط کم‌یابی آب را در دشت اصفهان-برخوار استان اصفهان نشان داد.

دستورالعمل نحوه اجرای مواد ۲۷ و ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب با هدف کلی ارتقای بهره‌وری به‌ازای هر واحد مصرفی آب و با رویکرد توسعه اشتغال و افزایش سهم صنعت و خدمات از منابع آبی کشور در سال ۲۰۱۹ اصلاح شده است (Iran Ministry of Energy, 2019).

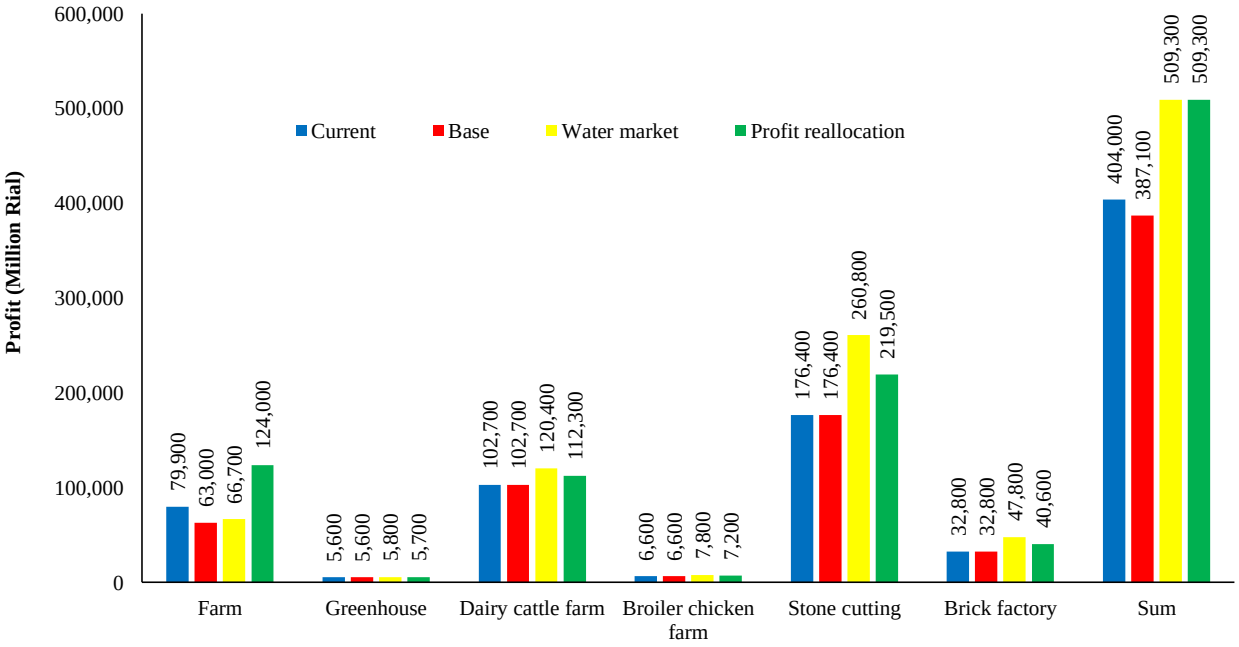

Fig. 2- Players' profit in different status
شکل ۲- سود بازیکنان در وضعیت‌های مختلف

Table 3- Monthly bought groundwater volume (m^3)
جدول ۳- حجم ماهانه فروش آب (مترمکعب)

Technical transfer method	Month											
	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September
Tanker	6,099	6,274	6,274	6,099	6,274	6,274	6,251	6,538	6,538	6,251	6,538	6,538
Shared aquifer	7,028	7,170	7,669	7,527	7,669	7,669	9,498	9,731	9,731	9,498	9,731	9,731
Sum	13,127	13,444	13,943	13,625	13,943	13,943	15,749	16,270	16,270	15,749	16,270	16,270

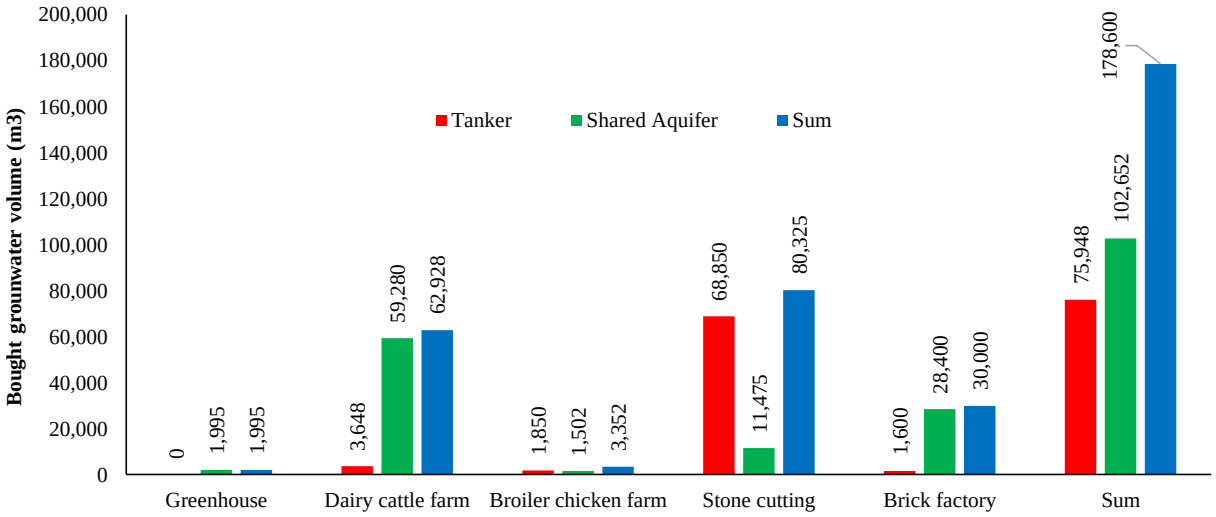

Fig. 3- Bought groundwater volume by industrial units

شکل ۳- حجم آب زیرزمینی خریداری‌شده توسط واحدهای صنعتی

به‌نظر می‌رسد سه اصلاح مهم صورت‌گرفته در این دستورالعمل باعث تسهیل در اجرای مبادلات بین‌بخشی آب زیرزمینی و از جمله سیاست‌های پیشنهادی مقاله حاضر خواهد شد. این اصلاحات شامل: ۱- تعیین شفاف نوع مصارف مجاز به خرید آب و به‌خصوص صنایع وابسته به بخش کشاورزی (بندهای ۲-۱ تا ۲-۴)، ۲- امکان انتقال آب از چاه کشاورزی فروشنده آب و صرف‌نظر از محل اراضی آبخور آن به سایر مصارف (بندهای ۶-۱-۱ و ۶-۲-۱-۲) و ۳- ارائه نسبتاً شفاف ضوابط فروش آب کشاورزی از طریق انتقال آب (بند ۶-۲-۱) و با رعایت شرایط هیدرولوژیکی آبخوان (بند ۶-۲-۱-۲) می‌باشند.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله برای دست‌یافتن به اهداف اقتصادی و هیدرولوژیکی مطلوب‌تر در استفاده از منابع مشترک آب زیرزمینی، دو سیاست کاهش مجوزهای آب زیرزمینی و مبادله این مجوزها به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گرفت. هدف از اجرای سیاست کاهش مجوزها، بهبود وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان است. این سیاست اگر به‌صورت بالا به پایین مورد توجه قرار گیرد ممکن است با مخالفت مزارع مواجه شود. اما اگر در تدوین این سیاست‌ها مطلوبیت‌های مزارع نیز لحاظ شود، می‌توان ضمانت اجرایی را افزایش داد.

به‌عنوان نمونه در دشت ممنوعه بحرانی نیشابور واقع در استان خراسان رضوی، با اجرای سیاست‌های بهبود وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان به‌صورت پایین به بالا، موفقیت‌هایی حاصل شده است. در این دشت به‌منظور مشارکت کشاورزان در اقدامات حفاظتی آبخوان، تشکل آب‌بران آب زیرزمینی به‌عنوان یک نهاد مردمی رسمی که شامل بهره‌برداران چاه‌های عمیق می‌باشد، ایجاد شده است. این تشکل با استفاده از ظرفیت‌های اجتماعی، فرهنگی، دینی و اجرایی موجود در منطقه موفق به نصب کنتورهای هوشمند، کاهش حجم مجوز برداشت چاه‌های کشاورزی و در نتیجه کاهش چشم‌گیر میانگین افت تراز آب زیرزمینی در یک دوره کوتاه‌مدت شش‌ساله شده است (Ali poor et al., 2018; Ghorbanian et al., 2020).

بنابراین در این مقاله برای حفظ حداقل مطلوبیت مزارع و با توجه به رفتار غیرهمکارانه آن‌ها در برداشت از منبع مشترک آب زیرزمینی، از رویکرد چانه‌زنی برای تعیین سیاست‌های کاهش مجوزها استفاده شد. در این رویکرد یک فرآیند مذاکره بین مزارع بر سر سیاست‌های کاهش مجوزها ایجاد می‌شود و مذاکره تا زمانی ادامه می‌یابد که سیاستی انتخاب شود که مورد توافق همه مزارع باشد. مدل چانه‌زنی به دو صورت مختلف توسعه می‌یابد.

در مدل چانه‌زنی اول هر مزرعه به‌صورت خودخواهانه و بدون توجه به واکنش‌های سایر مزارع، حداقل مطلوبیت خود را تعیین می‌کند و در طی فرآیند مذاکره از این حداقل ثابت عقب‌نشینی نمی‌کند. اما مدل چانه‌زنی دوم از سازوکار واقعی‌تری برای در نظر گرفتن حداقل مطلوبیت مورد انتظار مزارع در فرآیند مذاکره استفاده می‌کند. در این روش حداقل مطلوبیت‌ها در هر مرحله از فرآیند چانه‌زنی تغییر کرده و متناسب با نتایج مرحله قبل تعیین می‌شوند. بنابراین مزارع برای

دست‌یافتن به اجماع عمومی ضمن حفظ مطلوبیت خود به مطلوبیت سایر مزارع هم توجه می‌کنند.

نتایج نشان داد که روش‌های چانه‌زنی به‌دلیل لحاظ نمودن مطلوبیت‌های مزارع، خروجی قابل‌پذیرش‌تری نسبت به روش دستوری خواهند داشت. از طرفی متغیر لحاظ نمودن حداقل‌مطلوبیت‌ها در فرآیند مذاکره و تأثیرپذیری مزارع از نتایج مراحل قبلی چانه‌زنی باعث می‌شود که خروجی مدل چانه‌زنی دوم نسبت به مدل چانه‌زنی اول مطلوب‌تر باشد. به‌طوری که خروجی مدل چانه‌زنی دوم نسبت به مدل چانه‌زنی اول با تحمیل هزینه کم‌تر در یک سال زراعی به مجموعه هشت مزرعه فروشنده آب، مطلوبیت بالاتری نیز از نظر اکثر مزارع دارد.

در ادامه برای بهبود بازده اقتصادی استفاده از آب و جبران خسارت مزارع ناشی از کاهش مجوزهای برداشت، امکان فروش آب از بخش کشاورزی به صنعت فراهم شد. نتایج مدل‌سازی اقتصادی نشان داد که حجم مبادلات آب نسبتاً پایین است. مبادله آب بیش‌تر با روش آبخوان مشترک انجام می‌شود. با این حال بیش‌تر واحدهای مرغ‌داری و سنگ‌بری به‌دلیل فاصله نزدیکی که با مزارع فروشنده آب دارند، خرید آب با استفاده از تانکر را ترجیح می‌دهند. این مبادلات باعث می‌شود که ضمن تغییر الگوی کشت بخش کشاورزی به‌سمت کاشت محصولات سودآور، سطح اراضی آیش افزایش و در مقابل میزان تولید محصولات صنعتی به حد ظرفیت برسد. هم‌چنین حجم برداشت آب زیرزمینی توسط مزارع کاهش می‌یابد.

بازار آب زیرزمینی با تخصیص آب به مصارف با ارزش اقتصادی بالاتر باعث می‌شود که سود بخش صنعت افزایش یابد. اما مزارع هم‌چنان نسبت به شرایط اولیه خود دچار خسارت خواهند شد. بنابراین صنایع مختلف با پرداخت‌هایی مالی به مزارع فروشنده آب، اجرای مبادلات بین‌بخشی را امکان‌پذیر می‌کنند. به‌طوری که این تقسیم عادلانه سود حاصل از مبادله آب باعث شد که سود مزارع نسبت به وضعیت موجود به‌طور چشم‌گیری افزایش یابد. به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی، ترکیب دو سیاست کاهش مجوزهای آب زیرزمینی براساس رویکرد پایین به بالا و بازتخصیص عادلانه سود حاصل از مبادله این مجوزها می‌تواند راه‌کاری مؤثر در شرایط کم‌یابی آب باشد.
علاوه بر مزیت‌های چارچوب پیشنهادی بازار آب بین‌بخشی، لازم است اقداماتی شامل سنجش حجمی و جلوگیری از اضافه برداشت‌های آب زیرزمینی از طریق تجهیز چاه‌های مجاز به کنتورهای هوش‌مند انجام شود تا بازاری با هدف ایجاد تعادل بین مقادیر عرضه و تقاضای آب شکل بگیرد. هم‌چنین لازم است ایجاد سازوکارهای فنی و بسترهای نهادی مورد نیاز برای اجرای مبادلات آبی به‌ویژه از طریق روش آبخوان مشترک مورد توجه قرار گیرد.

کل محاسبات تحقیق حاضر بر پایه تعرفه ثابت مبادله آب زیرزمینی است. با این حال ممکن است تعرفه آب در بازار متناسب با حجم عرضه و تقاضا (به‌ویژه در فروش تانکری)، متغیر باشد. بنابراین به‌منظور ادامه تحقیقات پیشنهاد می‌شود با انجام تحلیل حساسیت مدل و بررسی عدم قطعیت‌های مربوط به پارامترهای اقتصادی نظیر تعرفه مبادله آب، هزینه مبادلات و هزینه روش‌های فنی انتقال آب، مدل جامع‌تری از تخصیص مبتنی بر بازار آب زیرزمینی ارائه شود. هم‌چنین با توجه به کاهش حجم آب برگشتی به آبخوان در اثر فروش آب آبیاری به صنعت، لازم است با گسترش مکانی و زمانی محدوده فعالیت بازار آب، تأثیر مبادلات بین‌بخشی آب زیرزمینی بر وضعیت پارامترهای هیدرولوژیکی آبخوان مورد ارزیابی قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

1- Hydro-Economic Model
2- Water Authority
3- Expected Utility
4- Integer Variable
5- Water Exchanges Integer Mathematical Programming (WEIMP)

۶- مراجع

Ahmadi A, Zolfagharipoor MA, and Ebrahimi B (2019) Challenges and considerations of regional water market rights, a case study: Isfahan-Borkhar Plain. Iran-Water Resources Research 14(5):137-148 (In Persian)

Ali poor A, Davari k, Vahdani Mj (2018) A successful pilot project on groundwater participatory management in Neyshabur. 3th Iranian Congress on Soil and Water Engineering and Management, Karaj, Iran (In Persian)

Badie Barzin H, Khamri GH, Ghafari Moghadam Z, Parhizkari A (2017) The effects of regional water markets formation on balancing the supply and demand of irrigation qater in the Sistan region. Iran-Water Resources Research 14(3):253-256 (In Persian)

Boghraie H and Mahjouri N (2019) A methodology for water allocation and pricing based on local water marketing and stakeholders hierarchy. Iran-Water Resources Research 15(1):137-153 (In Persian)

Mahjouri N and Bizhani-Manzar M (2013) Waste load allocation in rivers using fallback bargaining. Water Resources Management 27(7):2125-2136

Mirnezami SJ and Bagheri A (2017) Assessing the water governance system for groundwater conservation in Iran. Iran-Water Resources Research 13(2):32-55 (In Persian)

Nikouei A and Najafi B (2011) Welfare effects of establishing agricultural water market in Iran case of irrigation networks in Isfahan. Agricultural Economics and Development 19(76):51-82 (In Persian)

Parham B (tr) (2013) A dictionary of the social sciences. Julius Gould and William Kolb, Mazyar publication, Tehran, Iran, 968p (In Persian)

Parsapour-Moghaddami P, Abed-Elmdoust A, and Kerachian R (2015) A heuristic evolutionary game theoretic methodology for conjunctive use of surface and groundwater resources. Water Resources Management 29(11):3905 -3918

Richardson S, Evans R, and Harrington G (2011) Connecting science and engagement: setting groundwater extraction limits using a stakeholder led decision-making process. In: Grafton Q, Connell D (eds) Basin futures: water reform in the Murray-Darling basin. Australia National University Press, Canberra, 351p

Safari N, Zarghami M, Behboudi D, and Alami MT (2016) Market-Based welfare effects modeling in regional allocation of water compared to the administrative allocation by developing cooperative game; case study. Iran-Water Resources Research 12(3):22-34 (In Persian)

Sarmad Z, Bazargan-Harandi A, Hejazi A (2016) Research methods in behavioral sciences. Agah publication, Tehran, Iran, 408p (In Persian)

Xu Y, Fu X, and Chu X (2019) Analyzing the impacts of climate change on hydro-environmental conflict-resolution management. Water Resources Management 33(4):1591-1607

Zayandab Consulting Engineering Company (2016) Report of the update of water resources balance for study areas in the Gavkhuni basin. Technical Report (In Persian)

Zeng XT, Li YP, Huang GH, and Liu J (2016) Modeling water trading under uncertainty for supporting water resources management in an arid region. Journal of Water Resources Planning and Management 142(2)

Brams SJ and Kilgour DM (2001) Fallback bargaining. Group Decision and Negotiation 10(4):287-316

Brooke A, Kendrick D, and Meeraus A (1988) GAMS: A Users's Guide. The Scientific Press

Carraro C and Sgobbi A (2008) Modelling negotiated decision making in environmental and natural resource management: a multilateral, multiple issues, non-cooperative bargaining model with uncertainty. Automatica 44(6):1488-1503

Erfani T, Binions O, and Harou JJ (2014) Simulating water markets with transaction costs. Water Resources Research 50(6):4726-4745

Fazel R and Tavasoli G (trs) (2019) Introduction to sociology. Bruce J. Cohen, SAMT publication, Tehran, Iran, 502p (In Persian)

Firoozjang S (2014) Modeling of bargaining process in water resources management issues with the emphasis of uncertainties. M.Sc. Thesis, School of Civil Engineering, University of Tehran (In Persian)

Ghodsi SH, Kerachian R, Estalaki SM, Nikoo MR, and Zahmatkesh Z (2016) Developing a stochastic conflict resolution model for urban runoff quality management: application of info-gap and bargaining theories. Journal of Hydrology 533:200-212

Ghorbanian M, Fasihi Harandi M, Liaghat AM (2020) Social water banking, a reframing of water governance regimes. Iran-Water Resources Research 15(4):425-437 (In Persian)

Griffin RC (2016) Water resource economics: The analysis of scarcity, policies, and projects. MIT press

Hosseini Sirat SM (2017) Investigating the concept of social structure in thoughts of social sciences thinkers. Farhang-e Pazhuohesh 31:179-209 (In Persian)

Iran Ministry of Energy (2019) Instruction on how the implementation of Articles 27 and 28 of the fair water distribution law. (In Persian)

Levers LR, Skaggs TH, and Schwabe KA (2019) Buying water for the environment: A hydro-economic analysis of Salton Sea inflows. Agricultural Water Management 213:554-567

Liang TG (2013) Trading and economic efficiency in selected Victorian water markets in Australia. Ph.D. Thesis, School of Management and Governance, Murdoch University

Madani K (2014) Water management in Iran: what is causing the looming crisis? Journal Of Environmental Studies And Sciences 4:315-328