تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
Volume 15, No. 1, Spring 2019 (IR-WRR)
۱۳۷-۱۵۳

تدوین یک الگوی مبتنی بر بازارهای محلی و ساختار سلسله مراتبی گرودارن به منظور تخصیص و قیمت‌گذاری آب کشاورزی

حدیثه بقرایی[۱] و نجمه مهجوری مجد[۲*]

چکیده

در این مقاله، با تمرکز بر بخش کشاورزی که مصرف‌کننده اصلی آب در کشور است و با هدف مدیریت کارآمدتر و سودمندتر منابع آب در این بخش، الگوی جدیدی برای کشت و قیمت‌گذاری کالای مهم و ضروری آب ارائه می‌شود. به منظور رسیدن به این اهداف، دو رویکرد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در رویکرد اول، تعیین الگوی کشت بهینه و قیمت فروش آب با در نظر گرفتن تابع هدف بیشینه‌سازی سود شرکت آب منطقه‌ای (به عنوان تعیین‌کننده قیمت فروش آب به کشاورزان) از فروش آب به بخش کشاورزی و در قالب مفهوم بازی پیشرو- پیرو صورت می‌گیرد. در رویکرد دوم، الگوی کشت بهینه و قیمت فروش آب با هدف بهبود مطلوبیت کشاورزان، در قالب تابع هدف بیشینه‌سازی تابع ضربی نش مطلوبیت آنها تعیین می‌شود. همچنین، در هر دو رویکرد، مسأله در حالت وجود یک بازار محلی برای داد و ستد آب بین کشاورزان و بدون وجود آن حل می‌شود و قیمت فروش آب در بازار محلی در قالب مدل‌های بهینه‌سازی بیان شده تعیین می‌گردد. در این مقاله، رویکردهای توسعه داده شده در یک مطالعه موردی شامل پنج مزرعه مجاور در دشت مهیار شمالی اصفهان به کار گرفته می‌شود. طبق نتایج، در قالب بیشینه‌سازی سود پیشرو با در نظر گرفتن بازار محلی آب در رویکرد اول، قیمت فروش هر متر مکعب آب به مزارع توسط شرکت آب منطقه‌ای ۲۴۹۰ ریال و قیمت آب در بازار محلی، ۵۲۵۰ ریال تعیین می‌شود. در دوره بلندمدت برنامه‌ریزی، متوسط سود سالانه برای شرکت آب منطقه‌ای و بخش‌های کشاورزی، مقدار بهینه را در مقایسه با حالات دیگر دارد. همچنین، در رویکرد دوم با هدف بیشنیه‌سازی سود کشاورزان در قالب بیشینه‌سازی تابع ضربی نش با در نظر گرفتن بازار محلی آب، در حالتی که قیمت فروش آب به مزارع توسط شرکت آب منطقه‌ای ۲۵۰۰ ریال و قیمت آب در بازار محلی ۶۳۰۰ ریال باشد، در دوره بلندمدت برنامه‌ریزی، متوسط سود سالانه برای شرکت آب منطقه‌ای و بخش‌های کشاورزی بیشترین مقدار را در مقایسه با حالات دیگر دارد.

کلمات کلیدی: چانه‌زنی نش، بازار محلی آب، بازی پیشرو- پیرو، قیمت آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۵/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۷/۲۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

A Methodology for Water Allocation and Pricing Based on Local Water Marketing and Stakeholders Hierarchy

*H. Boghraie[1] and N. Mahjouri[2]**

Abstract

In this study, a new framework is developed for determining an optimized crop pattern and water pricing for agricultural use. to do this, two different approaches have been taken. In the first approach, determination of the crop pattern and price of water is carried out using an optimization model with the objective of maximizing the benefit of the regional water company, which is in charge of selling water to agricultural sectors, based on a leader-follower concept. In the second approach, the optimized crop pattern and water price are determined using an optimization model with the objective of maximizing the Nash product of benefits of agricultural sectors. In both approaches, the problems solved considering a local water market between agricultural sectors. The developed approaches are applied to a case study of five neighboring farms in the Mahyar Plain, Isfahan. Based on the results of the first approach considering a local water market, the optimal price of selling one cubic meters of water by the regional water company to the farmers would be 2490 Rials and the price of selling water in the market would be 5250 Rials. The values of average annual benefit of the regional water company and farmers are higher than those gained for the case of not having a local water market. In the second approach, selling one cubic meters of water at 2500 Rials by the regional water company and 6300 Rials in the local market give the highest average annual benefit for both water company and farmers.

Keywords: Nash Bargaining, Local Water Market, Leader-Follower Game, Water Price.

Received: August 12, 2018
Accepted: October 15, 2018

1- Graduate Research Assistant, Faculty of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Email: mahjouri@kntu.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

بخش کشاورزی مصرف‌کننده عمده آب در ایران است که سالانه بیش از نیمی از منابع آب مصرف شده را به خود اختصاص می‌دهد، این در حالی است که یک عدم تعادل میان مصرف آب در مناطقی که سطح زیرکشت بیشتری دارند با میزان بارندگی سالانه در همان منطقه وجود دارد. به این معنا که در ایران عمدتاً نواحی‌ای که بارش کمتری دارند، از نظر کشاورزی فعالیت قابل توجهی دارند، یا اینکه محصولات با مصرف آب زیاد را برای کشت انتخاب می‌کنند و به هدررفت بیشتر آب دامن می‌زنند. به کارگیری شیوه‌های سنتی آبیاری در بیشتر مناطق ایران و عدم توجه مدیران و کشاورزان به تغییر شیوه‌های آبیاری از دیگر مشکلات موجود در بخش کشاورزی در ایران است. مسأله مهم دیگر در این بخش، قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای به کشاورزان است که بسیار کمتر از ارزش واقعی این کالای گرانبها می‌باشد. در صورت واقعی کردن قیمت آب، به کنترل مصرف و همچنین مصرف بهینه آب در این بخش کمک شایانی می‌شود. با توجه به اینکه آب در بازار مبادله نمی‌شود و در بیشتر موارد به خصوص در بخش کشاورزی به بهای بسیار اندکی مبادله می‌شود، ارزش واقعی آب در سیستم حسابداری ملی و چرخه پولی اقتصاد در نظر گرفته نمی‌شود. از مهم‌ترین راهکارهای مقابله با کم‌آبی، تخصیص بهینه بر اساس ایجاد بالاترین ارزش است (Yusefi et al., 2014). در زمینه بازار آب و به کارگیری بازی پیشرو- پیرو[1] و چانه‌زنی نش در تخصیص آب در ایران و دیگر کشورها تحقیقات زیادی انجام شده است. Kronaveter and Shamir (2009) یک مدل چانه‌زنی را ارائه کردند که در آن از مدل‌های تخصیص آب با مبنای اقتصادی و سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری و مفهوم تئوری بازی استفاده شده است. این مدل برای تخصیص و مناقشات بین‌المللی به کار برده شده است. Carraro and Sgobbi (2008) به ارائه دیدگاه‌های جدیدی در مورد برخی از ابعاد فرآیند چانه‌زنی و عدم قطعیت‌ها، به طور خاص در مورد تئوری بازی‌های غیر همکارانه پرداختند. در این مقاله، یک مدل محاسباتی ارائه شده است که فرآیندهای مذاکره را در میان بیش از دو بازیکن که در مورد دریافت سهم بیشتر از یک کالای واحد چانه‌زنی می‌کنند، شبیه‌سازی می‌کند. همچنین تأثیر عدم قطعیت که روی میزان سهم هر بازیکن مؤثر است، در مدل ارزیابی شده است. این مدل برای مدیریت منابع طبیعی در سطح ملی و محلی به کار برده شده است.

Keramatzadeh et al. (2013) به تحلیل تأثیرات اقتصادی و اجتماعی تشکیل بازار آب در بخش کشاورزی در منطقه بجنورد پرداختند. در این مطالعه، از شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی به منظور ارزیابی بازار آب استفاده شده است. این شاخص‌ها عبارت از تغییر سود کشاورزان، رفاه جامعه و در آمد دولت و غیره می‌باشند. Safari et al. (2014) از مدل‌های چانه‌زنی نش و بازی پیشرو- پیرو برای تخصیص آب در حوضه رودخانه زرینه‌رود در ایران استفاده نمودند. در این مقاله، یک مدل پیشرو- پیرو با هدف حداکثرسازی سود شرکت مدیریت منابع آب به عنوان پیشرو و کاربران صنعت، کشاورزی و شرب به عنوان پیروان با در نظر گرفتن محدودیت‌های حاکم بر سیستم ارائه شده است. در ادامه مقاله نیز با هدف مقایسه میان نتایج به‌دست آمده از مدل پیشرو- پیرو، از راه حل چانه‌زنی نش برای حل اختلافات در مسأله مورد نظر استفاده شده است. Bohlulvand et al. (2014) به برآورد تابع تقاضای آب و بررسی نقش بازار در قیمت‌گذاری و تخصیص منابع آب در مجن پرداختند. در این مقاله، در چارچوب علمی به بررسی تابع تقاضای آب مجن، پرداخته شده است. Dinar and Hogarth (2015) در مقاله‌ای به بررسی کاربرد مدل‌های مبتنی بر تئوری بازی‌ها در مدیریت منابع آب در زمینه‌های مختلف در طول ۷۰ سال گذشته پرداختند و بیان کردند که چگونه مدل‌های مبتنی بر تئوری بازی‌ها در جنبه‌های مختلف مدیریت منابع آب از جمله تصمیم‌گیری در مورد سود و هزینه تخصیص در پروژه‌های چندهدفه و دارای چند طرف درگیر، مدیریت تخصیص در پروژه‌های آبیاری، مدیریت آب‌های زیرزمینی، مدیریت آب شهری و حل اختلافات در سطح ملی و بین‌المللی می‌تواند به کار گرفته شود. Podimata et al. (2015) با هدف برجسته کردن نقش تئوری بازی‌ها در آبیاری و کمک به تکامل کاربرد بازی‌ها برای حل اختلاف‌های موجود در بخش آبیاری کشاورزی که بزرگترین مصرف‌کننده آب است، مقاله خود را ارائه دادند. در این مقاله، ماهیت و مشخصات بازی‌های انتخاب شده در مقاله مورد بحث و تحلیل قرار گرفتند. Alarcon et al. (2016) بازار آب را به عنوان ابزار مؤثری برای مدیریت کمبود آب در یک منطقه آبیاری کشاورزی به کار بردند. آنها در این مقاله، نحوه تخصیص آب به مزارع را در یک بازار آب شبیه‌سازی کردند. نتایج این مقاله بیانگر آن است که در صورت زیاد بودن هزینه‌های انتقال آب، همچنان بازار توانسته تخصیص بهینه‌ای را ارائه دهد. Rayl (2016) به بررسی قوانین حاکم بر بازارهای اجرا شده در سراسر دنیا پرداخت. در این تحقیق، سعی شده شکاف‌ها و ضعف‌های موجود در رابطه با بازارهای آب شناسایی و یک ساختار کارآمد اولیه از قوانین لازم که برای اجرای بازار آب سودمند مورد نیاز است ارائه شود. همچنین، تغییرات آب و هوایی مؤثر بر عملکرد بازار آب در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. Ahmadi et al. (2016) به ارزیابی اقتصادی پیاده‌سازی بستر فنی بازار آب کشاورزی در شبکه آبیاری مهیار پرداختند و الگوی کشت جدید و میزان حجم آب تبادلی در هر ماه را تعیین کردند.

Ghodsi et al. (2016) به منظور مدیریت کیفیت رواناب‌های سطحی شهری، روشی جدید بر مبنای مدل چانه‌زنی گروهی با لحاظ طرف‌های مهم درگیر (گرودارن)، با دو رویکرد قطعی و غیر قطعی ارائه دادند. در این مقاله، با هدف لحاظ نمودن تعاملات تمام گروداران در مسأله مدیریت رواناب شهری، یک مدل چانه‌زنی غیرهمکارانه به همراه مدلی با رویکرد غیرقطعی مبتنی بر روش اینفوگپ نیز ارائه شده است.

Koopman et al. (2017) یک مدل تعادل عمومی محاسباتی برای ارزیابی پتانسیل بازارهای آب به منظور تخصیص آب در شرایط تنش آبی به بخش کشاورزی و مصرف عمومی ارائه دادند. در این مقاله چهار سناریو به منظور افزایش دامنه بازارهای آب از صنعت به اقتصاد وسیع ارزیابی شده‌اند. Xianshi (2017) در مقاله‌ای به مدیریت منابع آب بر مبنای تئوری بازی‌ها با هدف حل اختلاف میان دولت‌های محلی با دولت مرکزی در کشور چین پرداخت. در این مقاله، از تعادل نش در حل معمای زندانی استفاده شده است. در این مقاله عنوان شده است که نتایج در عمل چندان با واقعیت حاکم مطابقت ندارد که علت آن عدم دسترسی به اطلاعات کامل و جامع در مقاله بیان شده است.

Wheeler et al. (2017) ضمن اشاره به اینکه بازار آب به طور فزاینده‌ای به عنوان یک استراتژی مدیریت تقاضا برای مقابله با کمبود آب پیشنهاد می‌گردد، بیان کردند که بازار آب دارای شکاف‌هایی از نظر وضع قوانین لازم برای توسعه و پایداری بازار آب می‌باشد. در این مقاله یک چهارچوب اولیه برای ایجاد بازار پیشنهاد شده است که شامل سه گام کلیدی: ۱- ارزیابی نیازهای هیدرولوژیکی و اداری لازم، ۲- ارزیابی بازار شامل مسائل پیاده‌سازی و توسعه بازار، ۳- نظارت، پیگیری و ارزیابی نیازهای آینده بازار می‌باشد.

Zibaie & Malekvarno (2017) به بررسی اثرات ایجاد بازار آب در استان فارس با هدف بهبود درآمد کشاورزان پرداختند. در این مقاله، در ابتدا ساختار مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی ارائه و در بخش بعد، اثرات ایجاد بازار آب و سیاست سهمیه‌بندی مقدار برداشت آب بررسی شده است. سیاست مذکور میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهد. Parhizkari & Badie Barzin (2017) به تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست کاهش منابع آب در دسترس در شهرستان تاکستان پرداختند. آنها برای تحقق اهداف فوق از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی مثبت و توابع تولید منطقه‌ای استفاده کردند. همچنین، Badie Barzin et al. (2017) اثرات تشکیل بازار آب منطقه‌ای در سیستان را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله، با اجرای یک سیستم مدل‌سازی هیدرواقتصادی نشان داده شده است که با برقراری بازارهای آب منطقه‌ای در منطقه سیستان، تعادل بین عرضه و تقاضای آب آبیاری و داد و ستد آب بین مناطق مورد مطالعه برقرار می‌شود. همچنین، با وجود بازارهای آب منطقه‌ای و توسعه الگوی کشت بهبودیافته، مجموع سود ناخالص کشاورزان این منطقه بهبود می‌یابد. در این مقاله، به مهیا کردن زمینه لازم برای برقراری و استفاده بهینه از مکانیسم‌های برقراری بازارهای آب در منطقه سیستان و سایر مناطقی از کشور که دارای منابع آبی مشترک هستند، توصیه شده است.

Vahedizadeh et al. (2017) به دلیل تجربیات ناچیز در زمینه بازار آب و اشکالات مربوط به قوانین حاکم بر تشکیل آن در ایران، به مرور ساختار بازارهای آب در دیگر کشورها از جمله استرالیا، آمریکا، شیلی، اسپانیا و چین و مقایسه عملکرد آنها از جنبه‌های مختلف پرداختند تا بتوان از این تجربه‌ها برای توسعه بازار آب در سراسر ایران استفاده نمود.

Ahmadi et al. (2018) به بررسی چالش‌های مربوط به حقوق بازار آب پرداختند. از نظر نویسندگان مقاله، با فراهم نمودن بسترهای قانونی لازم، می‌توان به یک بازار آب کارا دست یافت. با مطالعه و بررسی قوانین حاکم بر نظام حقوقی آب کشور با هدف شناسایی قوانین مشوق و بازدارنده بازار، چالش‌های موجود در زمینه توسعه بازار آب در ایران ارائه و راه کارهای لازم بیان شده است. Petterini (2018) در مقاله خود به بررسی تاریخچه تشکیل بازار آب در آمریکا پرداخته است که این امر به شناخت فواید بازار آب کمک می‌کند. در این مقاله، همچنین وضعیت‌هایی بررسی شده است که در آن‌ها، اعطای حق مالکیت در مورد حقابه می‌تواند به حل مشکلات آب در برزیل کمک کند. برای این منظور، یک مدل اقتصادی برای مطالعه این که چطور بازار آب به یک موقعیت superior pareto منجر شود، ارائه شده است. آب یکی از کالاهای مطلوب برای سودآوری است که میزان سود حاصل از آن علاوه بر میزان و نحوه تخصیص آن به نیازهای مختلف، به فرآیند داد و ستد بهینه آن نیز بستگی دارد؛ از این‌رو، Loch et al. (2018) معتقدند که مؤسسات خصوصی و دولتی مرتبط با بازار آب به دنبال کاهش هزینه‌های داد و ستد هستند، به گونه‌ای که با کاهش هزینه‌های معاملاتی، مؤسسات مربوط نتایج اقتصادی مثبتی را به دست می‌آورند. در این مقاله اشاره شده که مطالعات انجام شده در مورد بازار آب، بیشتر مربوط به جنبه‌های سیاست‌های اجرایی است و به موضوع تأثیر هزینه‌های معامله در طول زمان بر موفقیت یا شکست سیاست‌های اجرایی کمتر توجه شده است. در این تحقیق، به هزینه‌های معامله‌ای مهم و میزان تغییرات در بازار آب، در کنار پیشرفت‌هایی که با کاهش هزینه‌های معامله در بازارهای آب در رابطه

با انتقال و تخصیص آب در بازار به دست آمده است، اشاره می‌شود. همچنین، بیان می‌شود که سرمایه‌گذاری‌های نهادی در بازار آب باعث بهبود سود بخش خصوصی نیز از تجارت آب می‌شود.

به منظور تعیین قیمت واقعی کالای آب و حل اختلافات میان مزارع مرتبط با هم، می‌توان از راه‌حل چانه‌زنی نش و بازی پیشرو- پیرو استفاده نمود. از دیدگاه تئوری، چانه‌زنی روشی برای حل و فصل تعارض‌ها و مناقشه‌های بین افراد، کشورها و گروه‌های تصمیم‌گیرنده می‌باشد. در چانه‌زنی بر سر یک مسأله، دو طرف یا بیشتر با هم مذاکره می‌کنند تا به یک نتیجه، توافق و راه‌حل برسند و آن‌گاه بر اساس آن رفتار می‌کنند. در مقاله حاضر، تخصیص بهینه آب، تعیین الگوی کشت و تعیین قیمت آب در قالب دو رویکرد کلی انجام می‌شوند. در رویکرد اول از مفهوم بازی پیشرو- پیرو استفاده می‌شود که در آن هدف بیشینه‌سازی متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای، به عنوان پیشرو، از فروش آب به مزارع است و در رویکرد دوم از چانه‌زنی نش استفاده می‌شود و تابع هدف آن بیشینه‌سازی تابع ضربی متوسط سود سالانه مزارع یک منطقه می‌باشد. همچنین به منظور بررسی بازار آب، یک بازار محلی آب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد -که علت نام‌گذاری محلی به دلیل محدود بودن منطقه مورد بررسی به پنج مزرعه کوچک مجاور هم می‌باشد. به عنوان مطالعه موردی از اطلاعات پنج مزرعه مجاور هم واقع در منطقه دشت مهیار شمالی استان اصفهان استفاده می‌شود. مدل ارائه شده برای یک دوره زمانی بلندمدت ۳۹ ساله برای دشت مهیار بررسی می‌شود و تغییرات در میزان بارندگی در سال‌های مختلف و تأثیر آن بر میزان آب تجدیدشونده در دسترس مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان در مورد هر رویکرد، بهترین نتیجه قیمت فروش آب و الگوی کشت جدید بیان می‌گردد.

۲- متدولوژی

در این بخش، ساختار متدولوژی پیشنهادی و گام‌های مختلف آن طبق فلوچارت شکل ۱ ارائه می‌شود. در بخش‌های بعد، گام‌های اصلی متدولوژی پیشنهادی تشریح می‌شوند.

۲-۱- رویکرد اول: بیشینه‌سازی سود پیشرو با استفاده از مفهوم بازی پیشرو- پیرو

در این رویکرد، هدف بیشینه‌سازی متوسط سود سالانه پیشرو (شرکت آب منطقه‌ای) از فروش آب به مزارع در برنامه‌ریزی بلندمدت با استفاده از مفهوم بازی پیشرو- پیرو می‌باشد. تئوری بازی‌ها شامل یک مسأله تصمیم‌گیری با بیش از چند گرودار[۲] یا تصمیم‌گیرنده است که به عنوان بازیکنان، تصمیم هر یک در طول بازی بر تصمیم دیگری می‌تواند تأثیرگذار باشد. نوعی از تئوری بازی وجود دارد که یکی از اعضا به عنوان رهبر یا پیشرو و دیگر اعضا به عنوان پیروان بازی در نظر گرفته می‌شوند. در این نوع بازی پیشرو- پیرو، در ابتدا پیشرو تصمیم می‌گیرد و دیگر بازیکنان به طور پیوسته تابع هدف خود را دنبال می‌کنند. در واقع تصمیم پیروان همزمان با وابستگی به تصمیم دیگر بازیکنان به تصمیم پیشرو نیز مرتبط می‌باشد. در این مقاله، شرکت آب منطقه‌ای به عنوان پیشرو (تعیین‌کننده قیمت فروش آب به بخش‌کشاورزی) و کشاورزان محدوده مطالعاتی به عنوان بازیکنان (پیروان) در نظر گرفته می‌شوند. رویکرد اول با در نظر گرفتن چهار حالت مختلف اجرا می‌شود که در ادامه ارائه می‌گردد.

- ساختار و روابط ریاضی رویکرد اول (بیشینه‌سازی سود در قالب مفهوم بازی پیشرو- پیرو)- حالت اول:

در این حالت از رویکرد اول، یک بازار محلی آب به منظور داد و ستد آب بین بخش‌های کشاورزی وجود دارد که در آن قیمت تبادل آب در بازار محلی در قالب یک مدل بهینه‌سازی تعیین می‌شود. در حالت اول، نحوه تعریف بیشینه حجم آب قابل تخصیص به مزارع (بخش‌های کشاورزی) به مجموع حجم آب مصرف شده توسط محصولاتی که در الگوی کشت جدید توسط مدل برای هر مرزعه پیشنهاد می‌گردد، محدود می‌شود.

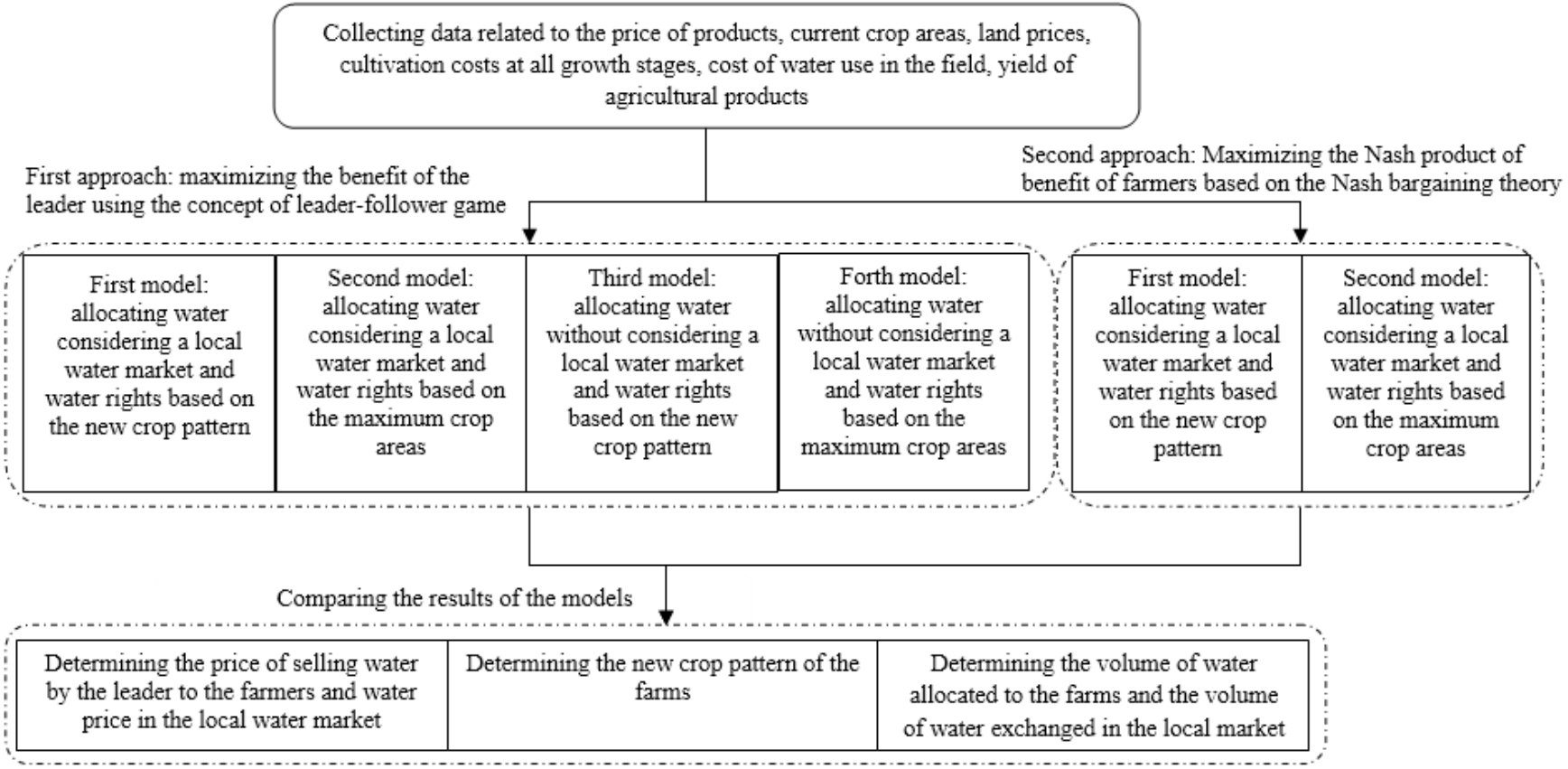
$$Z=PRl^{*}\sum_{yr=1}^{YR}\sum_{f=1}^{F}Vfarm(yr,f) \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، Z متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای از فروش آب به مزارع (ریال)، Vfarm حجم آب (مترمکعب) تخصیص یافته به هریک از مزارع f در هر سال و PRl قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای (ریال) در وضعیت تشکیل بازار محلی آب می‌باشد.

$$\begin{aligned} benefit\ (f) = &\sum_{c=1}^{C} PRc * Yield\ (c) * Areanew\ (c) \\ &+ PRm * Vsell\ (yr,f) \\ &- PRl * Vfarm\ (yr,f) - PRm * Vbuy\ (yr,f) - \\ &\sum_{c=1}^{C} Cwater\ (c) * Areanew\ (c) \\ &- \sum_{c=1}^{C} Ccrop\ (c) * Areanew\ (c) - K * PRm \\ &* Vsell\ (yr,f) \geq \\ benefit\ 1(f) \qquad &(۲) \\ = &+ \sum_{c=1}^{4} PRc * Yield\ (c) * Areabase\ (c) \\ &- \sum_{c=1}^{4} Ccrop\ (c) * Areabase\ (c) \\ &- \sum_{c=1}^{4} Cwater\ (c) * Areabase\ (c) \end{aligned}$$

Fig. 1- The structure of the proposed methodology

شکل ۱- ساختار متدولوژی پیشنهادی



در رابطه ۲، benefit متوسط سود (ریال) مزرعه f در هر سال yr در حالت تشکیل بازار محلی آب است. PRc قیمت (ریال) و Yield تابع عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) و $Areanew_c$ سطح زیر کشت در الگوی جدید (هکتار) و Areabase سطح زیر کشت (هکتار) در وضعیت فعلی برای هر محصول کشاورزی c، Vsell حجم آب فروخته شده (متر مکعب) و Vbuy حجم آب خریداری شده توسط هر مزرعه در بازار محلی آب (مترمکعب) و PRm قیمت آب در بازار محلی (ریال) است. Ccrop معرف سرمایه مورد نیاز برای تمام مراحل کاشت محصول شامل هزینه‌های خرید بذر، سموم و کود شیمیایی، ماشین‌آلات و نیروی کار مورد نیاز محصولات کشاورزی می‌باشد. Cwater هزینه مربوط به کاربرد آب در زمین کشاورزی (ریال بر مترمکعب)، NW نیاز آبی خالص محصول کشاورزی c در مزرعه f (مترمکعب بر هکتار) است. K ضریب هزینه‌ای است که فروشنده به واسطه می‌دهد. benefit1 معرف متوسط سود سالانه هرکشاورز در وضعیت فعلی است که در آن، بازار محلی آب و همچنین خرید آب توسط کشاورزان از پیشرو با قیمت واقعی وجود ندارد.

$$\sum_{c=1}^{C} Areanew_{f,c} \leq Area(f) \qquad (۳)$$

رابطه ۳ بیانگر آن است که مجموع سطح زیرکشت هر مزرعه از تعداد کل محصولات کشاورزی c باید از سطح قابل کشت آن مزرعه کمتر باشد. Area سطح قابل‌کشت در مزرعه f را نشان می‌دهد.

$$\sum_{f=1}^{C} Vbuy(yr,f) = \sum_{f=1}^{C} Vsell(yr,f) \qquad (۴)$$

رابطه ۴ بیانگر تعادل در بازار آب است به صورتی که مجموع حجم آب خریداری شده توسط مزارع باید مساوی مجموع حجم فروخته شده مزارع در همان سال باشد.

$$Vsell(yr,f) \leq Vfarm(yr,f) \qquad (۵)$$

رابطه ۵ مقدار حجم فروخته شده توسط یک مزرعه را نهایتاً به حجم آب تخصیص یافته به همان مزرعه محدود می‌کند.

$$\sum_{c=1}^{C} \left[\left(\frac{NW(c)}{Ef}\right) * Areanew(c)\right] \leq Vfarm(yr,f) - Vsell(yr,f) + Vbuy(yr,f) \qquad (۶)$$

رابطه ۶ مجموع آب مصرفی مزرعه f در سال yr را بررسی می‌کند که باید از حجم آب تخصیص یافته به مزرعه در آن سال به علاوه تفاوت حجم آب خریداری شده توسط مزرعه و حجم آب فروخته شده توسط آن مزرعه، کمتر باشد. در رابطه ۶ EF راندمان مصرف آب (شامل راندمان انتقال، توزیع و مصرف آب) در هر مزرعه می‌باشد.

$$\sum_{f=1}^{F} Vfarm_f \leq renewable(yr) + \left(\sum_{yr=1}^{yr-1}\left[renewable(yr-1) - \sum_{f=1}^{F} Vfarm_f\right]\right) \qquad (۷)$$

مجموع کل حجم آبی که در هر سال به تمام کشاورزان یک منطقه فروخته می‌شود نباید از حداکثر آب تجدیدشونده مطابق بیلان آب آن منطقه بیشتر شود. در رابطه ۷ قید مربوط به عدم تجاوز بیشینه حجم آب فروخته شده به تمام کشاورزان در هر سال در یک منطقه بر اساس تعریف بیلان ارائه شده است. renewable معرف حجم آب تجدید شونده موجود در هر سال می‌باشد.

$$Vfarm(yr,f) \leq \sum_{c=1}^{C}\left[\left(\frac{NW(c)}{Ef}\right) * Areanew(c)\right] \qquad (۸)$$

رابطه ۸ حجم آب تخصیص یافته به هریک از مزارع در هر سال را به مجموع حجم آب مصرف شده توسط محصولاتی که در الگوی کشت جدید توسط مدل پیشنهاد می‌گردد، محدود می‌کند. یک مزرعه نمی‌تواند به طور همزمان هم خریدار و هم فروشنده آب در بازار باشد. هر مزرعه می‌تواند یا خریدار یا فروشنده باشد یا به طور کل در بازار شرکت نکند که در روابط مدل لحاظ شده است.

- ساختار و روابط ریاضی رویکرد اول (بیشینه‌سازی سود در قالب مفهوم بازی پیشرو- پیرو)- حالت دوم:

در این حالت از رویکرد اول، یک بازار محلی آب به منظور داد و ستد آب بین بخش‌های کشاورزی وجود دارد که در آن قیمت تبادل آب در بازار محلی در قالب یک مدل بهینه‌سازی تعیین می‌شود. همه روابط به کار رفته برای حالت اول در حالت دوم نیز به کار گرفته می‌شوند ولی تفاوت این مدل با حالت اول، در نحوه تعریف بیشینه حجم آب قابل تخصیص به مزارع (بخش‌های کشاورزی) می‌باشد. بدین‌گونه که در اینجا، بیشترین حجم آب قابل تخصیص به هر مزرعه باید از حقابه تعریف شده برای آن مزرعه کمتر باشد. رابطه ۹ و ۱۰ بیانگر این قید می‌باشند و جایگزین رابطه ۸ در حالت اول می‌شوند. حقابه بدین صورت تعریف شده است که هر مزرعه حداکثر، به نسبت کل مساحت مجاز زیر کشت خود تقسیم بر مجموع مساحت مجاز سایر بخش‌های کشاورزی در محدوده مورد مطالعه، از حجم آب در دسترس (با توجه به بیلان آب سالانه) در هر سال می‌تواند از شرکت آب منطقه‌ای خریداری کند.

$$Vfarm(yr,f) \leq farm\ factor(f) * renewable(yr) + \left(\sum_{yr=1}^{yr-1}\left[renewable(yr-1) - \sum_{f=1}^{F} Vfarm_f\right]\right) \qquad (۹)$$

$$farm\ factor(f) = \frac{Area(f)}{\sum_{f=1}^{F} Area(f)} \qquad (۱۰)$$

- ساختار و روابط ریاضی رویکرد اول (بیشینه‌سازی سود در قالب مفهوم بازی پیشرو- پیرو)- حالت سوم:

تابع هدف حالت سوم نیز مشابه دو حالت قبل است ولی در این حالت، بازار محلی آب وجود ندارد و بنابراین، محدودیت‌های مربوط به بازار محلی در این حالت وجود ندارند؛ برای پرهیز از تکرار، روابط مشابه با روابط مدل‌های قبل ذکر نشده‌اند که عبارتند از روابط شماره ۳ و ۶ و ۷ و ۸. رابطه مربوط به محاسبه سود کشاورزان در حالت سوم، مؤلفه‌های مربوط به خرید و فروش در بازار محلی آب را ندارد و این موارد از رابطه ۲ حذف می‌شوند. به دلیل پرهیز از تکرار این رابطه نیز ارائه نمی‌گردد.

- ساختار و روابط ریاضی رویکرد اول (بیشینه‌سازی سود در قالب مفهوم بازی پیشرو- پیرو)- حالت چهارم:

در این مدل نیز بازار محلی آب وجود ندارد و تفاوت این مدل با حالت سوم در نحوه تعریف بیشینه حجم آب قابل تخصیص به مزارع است که در حالت چهارم بر اساس تعریف حقابه می‌باشد. روابط به کار رفته در این مدل مشابه حالت سوم است، به جز این که به جای رابطه ۸، روابط ۹ و ۱۰ به کار گرفته می‌شوند.

۲-۲- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی سود کشاورزان مبتنی بر چانه‌زنی نش

در رویکرد دوم، چانه‌زنی میان کشاورزان (بازیکنان)، در قالب یک مسئله بهینه‌سازی با هدف بیشینه‌سازی تابع ضربی سود کشاورزان به منظور برنامه‌ریزی بلندمدت تخصیص آب و تعیین قیمت آن، مدل می‌شود. این مدل شامل دو حالت مختلف است که در ادامه، روابط و ویژگی هر یک بیان می‌شود. قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای به کشاورزان و قیمت تبادل آب در بازار محلی در این رویکرد، به صورت سناریوهای معلوم به مدل وارد می‌شود. توابع هدف در مدل‌های این رویکرد مشابه یکدیگر است.

- ساختار و روابط ریاضی رویکرد دوم (بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان)- حالت اول:

در حالت اول از رویکرد دوم، یک بازار محلی آب بین بخش‌های کشاورزی وجود دارد و محدودیت‌های مدل مشابه محدودیت‌های به کار رفته در مدل حالت اول از رویکرد اول (مبتنی بر مفهوم بازی پیشرو- پیرو) می‌باشد که شامل روابط ۲ تا ۸ می‌شود. نحوه تعریف بیشینه حجم آب قابل تخصیص به مزارع نیز مشابه رابطه ۸، بر اساس مجموع آب مصرفی توسط همه محصولات کشت شده در مزرعه تعریف می‌شود. رابطه ۱۱ بیانگر تابع هدف مدل مذکور می‌باشد. در رابطه ۱۲، $U_1(yr,f)$ نمادی است که برای محاسبه نسبت دو متوسط سود برای هر مزرعه و برای هر سال به کار گرفته می‌شود. سپس باید برای هر مزرعه مجموع $U_1(yr,f)$ به ازای تمام سال‌های مورد بررسی محاسبه شود، که $U_2(f)$ نماد به کار رفته برای هر مزرعه به منظور محاسبه تابع مجموع بیان شده می‌باشد که در رابطه ۱۳ به کار می‌رود. در نهایت، برای رسیدن به فرم استاندارد تابع متوسط سود کشاورزان در وضعیت جدید، باید میانگین نسبت محاسبه شده برای تابع سود کشاورزان در بازه زمانی بلندمدت برنامه‌ریزی شده محاسبه شود. نماد $U_3(f)$ در رابطه ۱۴ به این منظور به کار گرفته می‌شود.

$$Z=\prod_{f=1}^{F} U_3(f) \qquad (۱۱)$$

$$U_1(yr,f)=\frac{\text{benefit }(yr,f)}{\text{benefitmax }(yr,f)} \qquad (۱۲)$$

$$U_2(f)=\sum_{yr=1}^{YR} U_1(yr,f) \qquad (۱۳)$$

$$U_3(f)=\frac{U_2(f)}{\sum_{yr=1}^{YR} yr} \qquad (۱۴)$$

- ساختار و روابط ریاضی رویکرد دوم (بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان)- حالت دوم:

در این حالت از مدل، تابع هدف مشابه حالت اول از رویکرد دوم و روابط تابع هدف مانند روابط ۱۱ تا ۱۴می‌باشند. تفاوت حالت‌های اول و دوم در رویکرد دوم، در عدم وجود بازار محلی آب در حالت دوم است. از این رو، تعریف تابع متوسط سود مزارع و محدودیت‌های به کار گرفته شده در حالت دوم مشابه رابطه ۲ می‌باشد، ولی با این تفاوت که موارد مربوط به خرید و فروش آب در بازار محلی از رابطه ۲ حذف می‌شوند. روابط ۳ و ۷ و ۸ و ۱۳ محدودیت‌های این مدل می‌باشند.

۳- مطالعه موردی

منطقه مورد مطالعه شامل پنج مزرعه همجوار در بخش شمالی دشت مهیار شمالی واقع در استان اصفهان است. دشت مهیار شمالی در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب شهر اصفهان و در مسیر جاده اصفهان- شیراز قرار دارد. محدوده مهیار شمالی دارای مساحت کل ۲۷۹ کیلومتر مربع است. شکل ۲ موقعیت مهیار شمالی را نسبت به استان اصفهان و شهرستان‌های مجاور و شکل ۳ موقعیت محدوده مطالعاتی پنج مزرعه مجاور هم را نسبت به دشت مهیار شمالی نشان می‌دهد. داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ و برگرفته از اطلاعات موجود در مقاله Ahmadi et al. (2016) و دفتر مطالعات پایه منابع آب تهران می‌باشند.

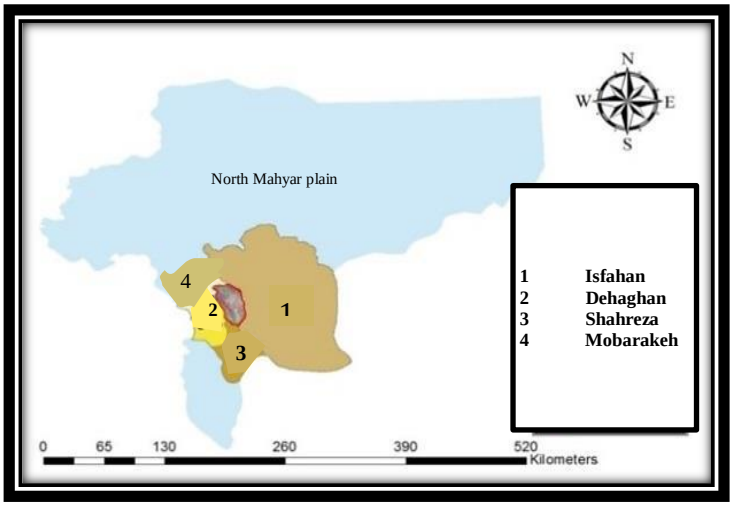


Fig. 2- The location of Mahyar Region in the Isfahan Province (Ahmadi et al., 2016)

شکل ۲- موقعیت منطقه مهیار نسبت به استان اصفهان و شهرستان‌های مجاور (Ahmadi et al., 2016)

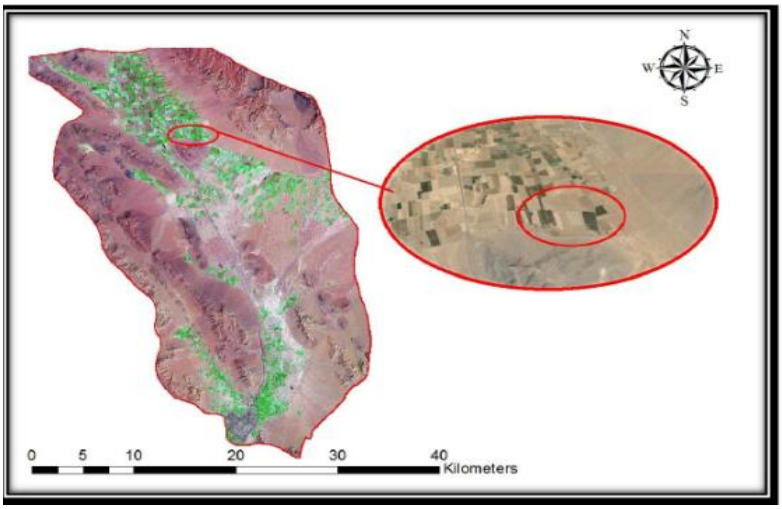


Fig. 3- The location of the study area (Ahmadi et al., 2016)

شکل ۳- موقعیت محدوده مطالعاتی (Ahmadi et al., 2016)

۳-۱- میزان بارندگی سالانه دشت مهیار شمالی در بازه زمانی ۳۹ سال

یکی از مهم‌ترین متغیرهای دارای عدم قطعیت، بارندگی می‌باشد، که می‌تواند در طول زمان دستخوش تغییرات قابل‌توجهی شود. به همین علت در همه مدل‌های ارائه شده در این مقاله، یک سری زمانی ۳۹ ساله برای بارندگی در منطقه دشت مهیار شمالی در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۴ سری زمانی بارندگی برای ۳۹ سال مورد بررسی در دشت مهیار شمالی از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۱ ارائه شده است.

۳-۲- اطلاعات توصیفی مزارع مورد مطالعه دشت مهیار شمالی

اطلاعات مربوط به محصولات کشاورزی کشت شـــده در پنج مزرعه مجاور هم در دشت مهیار شمالی شامل عملکرد و قیمت فروش و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، هزینه مربوط به نهاده‌های کشاورزی (آب، زمین و سرمایه) و محصولات کشاورزی در جدول ۱ نشان داده شده است.

۴- نتایج

در این بخش، به بررسی نتایج حاصل از مدل‌های توسعه داده شده در متدولوژی پیشنهادی در مطالعه موردی بخشی از دشت مهیار شمالی پرداخته می‌شود.

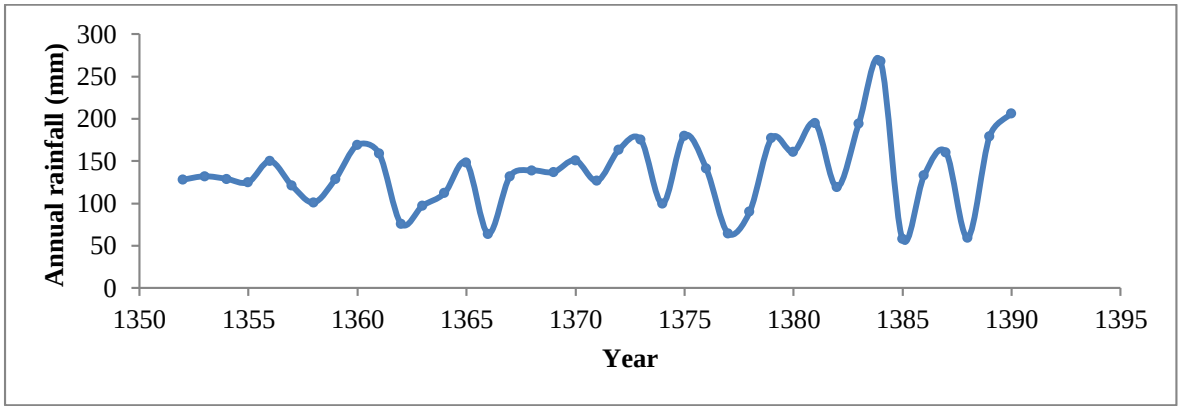


Fig. 4- Rainfall time series in Mahyar plain (1352-1391, Iranian year) (Tehran Regional Water Company)

شکل ۴- سری زمانی بارندگی دشت مهیار شمالی اصفهان- دوره ۳۹ ساله (۱۳۹۱-۱۳۵۲) (شرکت آب منطقه‌ای تهران)

۴-۱- نتایج رویکرد اول: بیشینه‌سازی سود پیشرو با استفاده از مفهوم بازی پیشرو- پیرو

در این بخش، نتایج مربوط به تعیین قیمت جدید فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای به مزارع و قیمت تبادل آب در بازار محلی آب بین بخش‌های کشاورزی، متوسط مجموع سود سالانه پنج مزرعه در ۳۹ سال، الگوی کشت جدید مزارع و متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای در ۳۹ سال از فروش آب به مزارع ارائه می‌شود. همانطور که در شکل ۵ نیز مشخص است، بیشترین متوسط سود به دست آمده برای شرکت آب منطقه‌ای مربوط به مدل غیرحقابه‌ای با وجود بازار محلی آب و کمترین متوسط سود به دست آمده برای شرکت آب منطقه‌ای مربوط به مدل حقابه‌ای بدون بازار محلی آب می‌باشد. طبق نتایج نشان داده شده در شکل ۵، بیشترین متوسط مجموع سود سالانه برای مجموعه مزارع در مدل غیرحقابه‌ای با وجود بازار محلی آب و کمترین متوسط مجموع سود سالانه برای مجموعه مزارع برای حالت حقابه‌ای بدون وجود بازار محلی آب به دست آمده است.

در شکل ۵، متوسط سود سالانه برای هر مزرعه به صورت جداگانه در هر چهار حالت از رویکرد اول ارائه شده است. در شکل ۶، متوسط حجم سالانه آب مبادلاتی در بازار محلی آب در رویکرد اول ارائه شده است. در مدل غیرحقابه‌ای همانطور که در شکل نیز مشخص است، مزارع اول، دوم، چهارم و پنجم فروشندگان آب و مزرعه سوم تنها خریدار در بازار محلی آب می‌باشد. در مدل حقابه‌ای نیز، مزارع دوم و چهارم و پنجم به عنوان فروشنده و مزارع اول و سوم به عنوان خریدار در بازار محلی آب شرکت داشته‌اند. بر اساس نتایج، فروشندگان آب به طور کلی مزارعی می‌باشند که بازدهی کمتری از کشت و زرع با آب دارند و ترجیح می‌دهند سهم آب تخصیص یافته به خود را بفروشند تا سود بیشتری به دست آید. در جدول ۳، در حالات با وجود بازار، مدل الگوی کشت تک‌محصول با سود بیشتر را به جای چهار محصول به مزارع پیشنهاد می‌دهد. در حالات عدم وجود بازار محلی آب نیز، مدل کاشت محصولات ذرت و یونجه را پیشنهاد می‌دهد.

۴-۲- نتایج رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش

۴-۲-۱- نتایج رویکرد دوم در حالت وجود بازار محلی آب

بیشینه متوسط حجم سالانه آب قابل تخصیص به مزارع در مدل‌های بهینه‌سازی رویکرد دوم، برابر با مجموع حجم آب مصرف شده توسط محصولاتی می‌باشد که در الگوی کشت جدید توسط مدل پیشنهاد می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۷ و ۸ مشخص است، با افزایش قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای و در تبادلات بازار محلی آب، شرکت آب منطقه‌ای تنها تا قیمت‌های فروش آب (توسط شرکت آب منطقه‌ای) هر مترمکعب برابر ۴۱۰۰ ریال و قیمت فروش آب در بازار محلی برابر ۷۱۰۰ ریال، به سود دست می‌یابد و بعد از آن با افزایش قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای، مزارع از خرید آب امتناع می‌ورزند و بنابراین، هیچ یک از مزارع و شرکت آب منطقه‌ای سودی نخواهند برد. کشاورزان با افزایش هر دو قیمت فروش آب، کاهش سود خواهند داشت و از قیمت خرید آب بیش از ۴۱۰۰ ریال به سود صفر رسیده، عملاً خرید آب با قیمت‌های بیشتر برای مزارع با زیان همراه خواهد بود. در جدول ۴ نتایج مربوط به الگوی کشت جدید پنج مزرعه دشت مهیار شمالی برای سناریوهای مختلف قیمت فروش آب توسط پیشرو و قیمت فروش آب در بازار محلی آب نشان داده شده است. این الگوها برای سناریوی اول (قیمت ۱۰۰ و ۲۶۰۰ ریال)، سناریوی سیزدهم (۲۵۰۰ و ۶۳۰۰ ریال) و سناریوی هجدهم (۴۱۰۰ و ۷۱۰۰ ریال) با یکدیگر و با الگوی کشت در وضعیت کنونی مزارع مقایسه شده است. هر سه سناریوی قیمت، الگوی تک محصولی را به مزارع پیشنهاد می‌دهند.

Table 1- The information related to crops in five farms in the north Mahyar plain

جدول ۱- اطلاعات محصولات کشاورزی در پنج مزرعه مجاور دشت مهیار شمالی

Farm	Crop	Crop yield (kg/hectare)	Price of the crops (Rials/kg)	Crop area (hectare)	Capital cost and land price (million Rials/hectare)	Irrigation water cost (Rials/cubic meters)	Net water required for irrigation (cubic meters/hectare)
Farm 1	Wheat	5150	5700	7	10.2	25	8427
	Barley	5000	5000	5	450.1	20	7378
	Corn	50000	1600	7	420.3	20	8590
	Alfalfa	15000	7000	3	50.5	28	15082
Farm 2	Wheat	5250	5500	7	230.2	24	8789
	Barley	4800	5100	5	580.1	20	7378
	Corn	48572	1400	7	610.3	25	8590
	Alfalfa	12000	6800	3	90.5	27	15606
Farm 3	Wheat	5350	5400	8	30.3	23	8300
	Barley	5000	4900	6	280.2	20	7378
	Corn	50000	1900	4	230.4	22	8590
	Alfalfa	11000	6700	5	120.6	22	16348
Farm 4	Wheat	5050	5700	7	70.3	22	7993
	Barley	5100	4800	5	210.2	20	7378
	Corn	34286	1700	7	30.4	23	8590
	Alfalfa	11334	6700	3	40.6	23	15769
Farm 5	Wheat	5500	5600	7	550.2	21	7993
	Barley	5000	5200	5	360.2	20	6908
	Corn	30100	1800	7	120.4	24	8590

Table 2- Water sales price in the first approach (maximizing the benefit of the regional water company using a leader-follower game)

جدول ۲- قیمت فروش آب در رویکرد اول (بیشینه‌سازی سود پیشرو با استفاده از مفهوم بازی پیشرو- پیرو)

	The price of selling water to the farmers by the regional water company (Rials/m^3)	The price of water in the local water market
Considering a local water market and water rights based on the new crop pattern[1]	2670	(Rials/m3)
Considering a local water market and considering water rights based on the maximum crop areas [2]	2490	6160
Without a local water market-considering water rights based on the new crop pattern[1]	2560	5250
Without a local water market-considering water rights based on the maximum crop areas[2]	2560	-

[1] The maximum amount of water allocated the farms is limited to the total volume of water consumed according to the new crop pattern proposed by the model.

[2] The maximum amount of water each farm can buy from the regional water company equals a proportion of the total available renewble water. This proportion is calculated based on each farms' total allowed cropping area divided by the total allowed cropping area of all farms.

[۱] بیشترین حجم آب قابل تخصیص به مزارع به مجموع حجم آب مصرف شده توسط محصولاتی که در الگوی کشت جدید توسط مدل برای هر مرزعه پیشنهاد می‌گردد، محدود می‌شود.

[۲] حجم آب تخصیص یافته به هر مزرعه باید از حقابه تعریف شده برای آن مزرعه کمتر باشد. تعریف حقابه: هر مزرعه حداکثر، به نسبت کل مساحت مجاز خود تقسیم بر مجموع مساحت مجاز همه مزارعی که در محدوده مورد مطالعه هستند، از حجم آب در دسترس سالانه می‌تواند از شرکت آب منطقه‌ای آب خریداری کند.

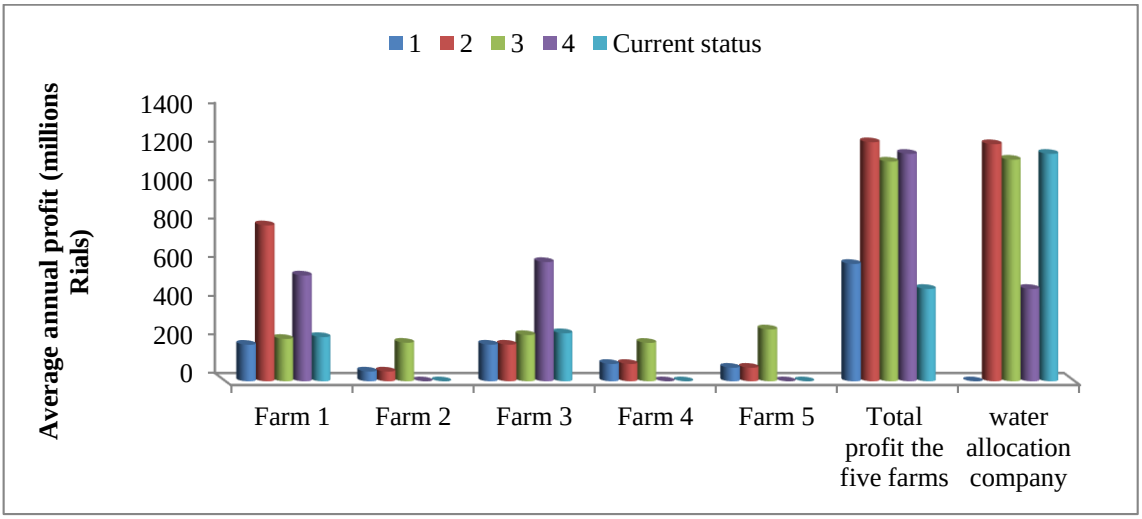


Fig. 5- Average annual profit of the regional water company and the five farms using the first approach

شکل ۵- متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای و مزارع در رویکرد اول (بیشینه‌سازی سود پیشرو با استفاده از مفهوم بازی پیشرو- پیرو)

1 Considering a local water market and water rights based on the new crop pattern
2 Considering a local water market and water rights based on the maximum crop areas
3 Without a local water market and considering water rights based on the new crop pattern
4 Without a local water market and considering water rights based on the maximum crop areas

۱ حالت اول: در نظر گرفتن بازار محلی آب- حقابه: بر اساس یک الگوی جدید کشت
۲ حالت دوم: در نظر گرفتن بازار محلی آب- حقابه: بر اساس بیشینه سطح زیر کشت
۳ حالت سوم: عدم در نظر گرفتن بازار محلی آب- حقابه: بر اساس یک الگوی جدید کشت
۲ حالت چهارم: عدم در نظر گرفتن بازار محلی آب- حقابه: بر اساس بیشینه سطح زیر کشت

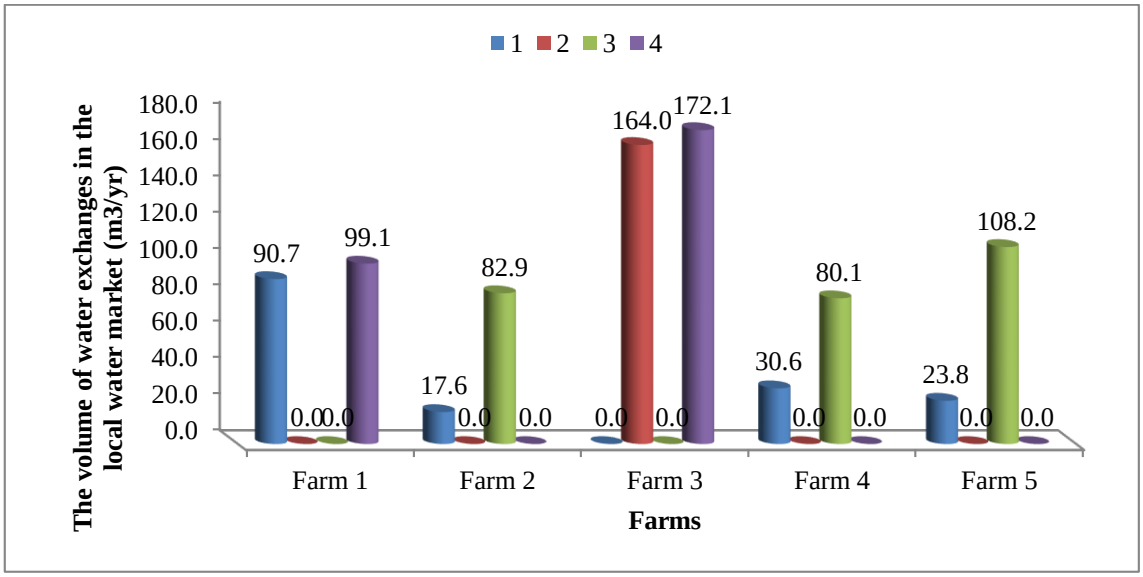


Fig. 6- Average annual volume of water exchanged in the local water market using the first approach

شکل ۶- متوسط حجم سالانه آب مبادلاتی در بازار محلی آب در رویکرد اول (بیشینه‌سازی سود پیشرو با استفاده از مفهوم بازی پیشرو- پیرو)

1 The amount of water sold by a farmer in the local water market considering water rights based on the new crop pattern
2 The amount of water bought by a farmer in the local water market considering water rights based on the new crop pattern
3 The amount of water sold by a farmer in the local water market considering water rights based on the maximum crop areas
4 The amount of water bought by a farmer in the local water market considering water rights based on the maximum crop areas

۱ مقدار آب فروخته شده در بازار محلی آب با در نظر گرفتن حقابه بر اساس حداکثر سطح زیرکشت
۲ مقدار آب خریده شده در بازار محلی آب با در نظر گرفتن حقابه بر اساس حداکثر سطح زیرکشت
۳ مقدار آب فروخته شده در بازار محلی آب با در نظر گرفتن حقابه بر اساس یک الگوی جدید کشت
۴ مقدار آب خریده شده در بازار محلی آب با در نظر گرفتن حقابه بر اساس یک الگوی جدید کشت

در جدول ۴ نیز متوسط حجم سالانه آب مبادله شده در بازار محلی آب تشکیل شده در مدل به ازای سه سناریوی قیمت فروش آب در مدل چانه‌زنی نش با وجود بازار محلی آب و در حالت الگوی ثابت در بلندمدت ارائه شده است. با افزایش قیمت فروش آب، میزان حجم آب مبادله شده در بازار محلی آب کاهش می‌یابد.

۴-۲-۲- نتایج رویکرد دوم در حالت بدون وجود بازار محلی آب

در شکل ۹ متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای در ۳۹ سال بر حسب قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای به کشاورزان ارائه می‌شود. همچنین، در شکل ۱۰ متوسط مجموع سود سالانه پنج مزرعه بر حسب قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای به کشاورزان برای حالت الگوی ثابت مدل چانه‌زنی نش بدون وجود بازار محلی آب ارائه می‌شود. همانطور که از شکل ۹ و ۱۰ مشخص است با افزایش قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای، شرکت آب منطقه‌ای تنها تا قیمت‌های فروش آب برابر ۱۲۵۰ ریال سود می‌برد و بعد از آن با افزایش قیمت خود، مزارع از خرید آب امتناع می‌ورزند و هیچ یک از مزارع و شرکت آب منطقه‌ای سود نمی‌برند. مزارع بر عکس شرکت آب منطقه‌ای، با افزایش قیمت آب کاهش سود دارند. در جدول ۶ متوسط مجموع حجم سالانه آب تخصیص یافته به پنج مزرعه کشاورزی به ازای سناریوهای قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای به مزارع در حالت کمینه و بیشینه نشان داده شده است. همچنین، متوسط مجموع حجم سالانه آب تخصیص یافته به پنج مزرعه کشاورزی به ازای قیمت متوسطی که با در نظر گرفتن آن، میانگین متوسط سود سالانه برای شرکت آب منطقه‌ای و متوسط مجموع سود پنج مزرعه بهینه می‌شود، با استفاده از مدل بهینه‌سازی چانه‌زنی نش بدون بازار محلی آب با الگوی کشت ثابت در طول دوره برنامه‌ریزی نشان داده شده است. در جدول ۷، الگوی کشت ارائه می‌شود و همانطور که مشخص است، ذرت به دلیل بالا بودن راندمان تولید آن، برای کشت در منطقه دشت مهیار شمالی مناسب‌ترین محصول است و در تمام سناریوهای قیمت فروش آب در این مدل، کشت این محصول به طور مشترک پیشنهاد می‌گردد. در حالی که محصول گندم به دلیل مصرف بیشتر آب و سود کمتر از فروش آن، برای کشت در این منطقه مناسب نمی‌باشد. سناریوی دوم در مقایسه با تمام سناریوهای دیگر نتایج مطلوب‌تری دارد.

Table 3- Annual crop pattern of the farms (hectare) using the first approach

جدول ۳- الگوی کشت سالانه هر مزرعه (هکتار) با استفاده از رویکرد اول (بیشینه‌سازی سود پیشرو با استفاده از مفهوم بازی پیشرو- پیرو)

		Farm 1	Farm 2	Farm 3	Farm 4	Farm 5
Considering a local water market and waterrights based on the new crop pattern[1])	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	0	0	0
	Corn	25.23	0	24.27	0	0
	Alfalfa	0	0	2.16	0	0
Considering a local water market and waterrights based on the maximum crop areas [2]	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	1.74	0	0
	Corn	10.56	0	9.97	0	0
	Alfalfa	0	0	0	0	0
Without a local water market- considering waterrights based on the new crop pattern[1]	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	0	0	0
	Corn	25.05	0.55	27.53	0.48	0
	Alfalfa	0	0	0	0	0
Without a local water market- considering waterrights the maximum crop areas [2]	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	0	0	0
	Corn	22.1	0	27.53	0	0
	Alfalfa	0	0	0	0	0
Current status	Wheat	0.06	0	3.24	5.13	5.11
	Barley	4.14	2.04	5.72	4.95	3.65
	Corn	2.45	1.55	3.9	6.13	5.11
	Alfalfa	1.05	0	1.31	2.17	0

1 The maximum amount of water allocated to the farms is limited to the total volume of water consumed according to the new crop pattern proposed by the model.

2 The maximum amount of water each farm can buy from the regional water company equals a proportion of the total available renewble water. This proportion is calculated based on each farms' total allowed cropping area divided by the total allowed cropping area of all farms.

۱ بیشترین حجم آب قابل تخصیص به مزارع به مجموع حجم آب مصرف شده توسط محصولاتی که در الگوی کشت جدید توسط مدل برای هر مزرعه پیشنهاد می‌گردد، محدود می‌شود.

۲ حجم آب تخصیص یافته به هر مزرعه باید از حقابه تعریف شده برای آن مزرعه کمتر باشد. تعریف حقابه: هر مزرعه حداکثر، به نسبت کل مساحت مجاز خود تقسیم بر مجموع مساحت مجاز همه مزارعی که در محدوده مورد مطالعه هستند، از حجم آب در دسترس سالانه می‌تواند از شرکت آب منطقه‌ای خریداری کند.

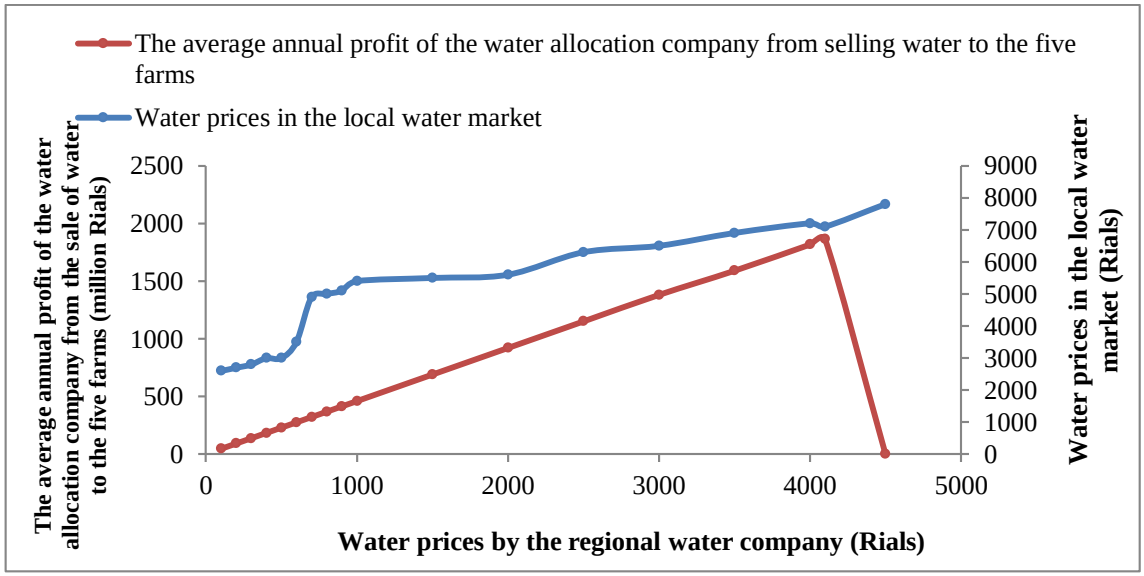


Fig. 7- Average annual profit of regional water company using the second approach: maximizing the Nash product of benefits of the farms

شکل ۷- تغییرات متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای از فروش آب به کشاورزان با تغییر قیمت فروش آب توسط پیشرو و قیمت آب در بازار محلی- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش

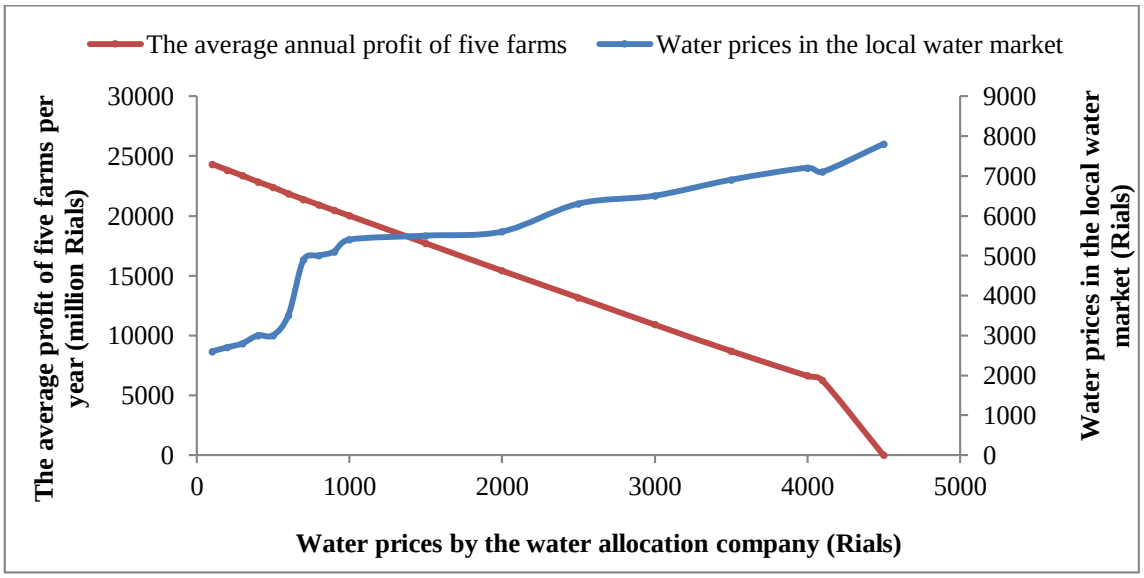


Fig. 8- Average annual profit of farmers using the second approach: maximizing the Nash product of benefits of the farms

شکل ۸- تغییرات متوسط مجموع سود سالانه کشاورزان با تغییر قیمت فروش آب توسط پیشرو و قیمت آب در بازار محلی- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش

Table 4- Average annual volume (million cubic meters) of water exchanged in the local water market using the second approach: maximizing the Nash product of benefits of the farms

جدول ۴- متوسط حجم سالانه (میلیون متر مکعب) تبادلات آب در بازار محلی آب- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش

	Farm 1	Farm 2	Farm 3	Farm 4	Farm 5
First scenario: the selling price of water by the water company to the farmers is 100 Rials and in the market is 2600 Rials	+218[1]	-145.8[2]	+236.5	-154.3	-154.3
Second scenario: the selling price of water by the water company to the farmers is 2500 Rials and in the market is 6300 Rials	+78	-71.3	+139.1	-73	-73
Third scenario: the selling price of water by the water company to the farmers is 4100 Rials and in the market is 7800 Rials	+11.2	-24.2	+76.8	-35.1	-28.6

1 Symbol "+" states that the farm is a water buyer in the local water market.

2 Symbol "-" states that the farm is a water seller in the local water market.

۱ علامت "+" بیانگر این است که مزرعه مذکور در بازار آب، به عنوان خریدار است و تمام یا بخشی از حجم آب مورد نیاز خود را در بازار خریداری می‌کند.

۲ علامت "-" بیانگر این است که مزرعه مذکور در بازار آب، به عنوان فروشنده است و تمام یا بخشی از آب تخصیص‌یافته خود را در بازار می‌فروشد.

Table 5- New crop patterns (hectare/year) using the second approach

جدول ۵- الگوی کشت جدید (هکتار در سال)- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش

		Farm 1	Farm 2	Farm 3	Farm 4	Farm 5
First scenario: the selling price of water by the water company to the farmers is 100 Rials and in the market is 2600 Rials	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	0	0	0
	Corn	25.4	0.7	27.5	0	0
	Alfalfa	0	0	0	0	0
Second scenario: the selling price of water by the water company to the farmers is 2500 Rials and in the market is 6300 Rials	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	1.7	0	0
	Corn	25.4	0.7	27.5	0	0
	Alfalfa	0	0	0	0	0
Third scenario: : the selling price of water by the water company to the farmers is 4100 Rials and in the market is 7800 Rials	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	0	0	0
	Corn	25.4	0	27.5	0	0
	Alfalfa	17	13.3	0	0	0

Table 6- Average annual volume of water (million cubic meters) allocated to the farms using the second approach

جدول ۶- متوسط حجم سالانه آب (میلیون متر مکعب) تخصیص یافته به مزارع- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش- بدون بازار

	Farm 1	Farm 2	Farm 3	Farm 4	Farm 5
First scenario: The sales price of water is 50 Rials	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1
Second scenario: The sales price of water is 800 Rials	91.2	92.2	93.1	92.8	91.2
Third scenario: The sales price of water is 1250 Rials	74.9	81.7	90.2	99.6	114.1
Current status	107.5	66	199	215	149.2

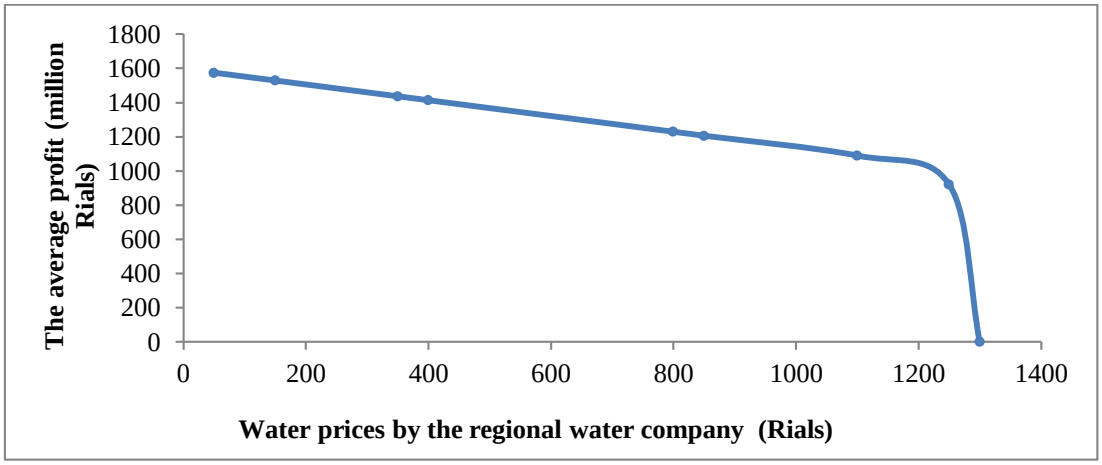


Fig. 9- Average annual profit of the five farms using the second approach

شکل ۹- متوسط مجموع سود سالانه پنج مزرعه- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش

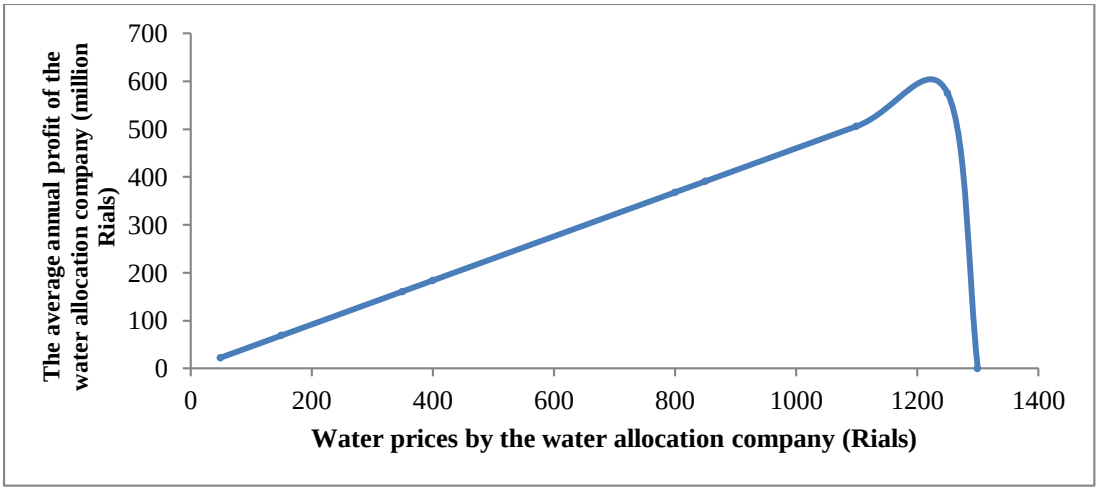


Fig. 10- Average annual profit of the regional water company using the second approach

شکل ۱۰- متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای از فروش آب به کشاورزان- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش- بدون بازار

Table 7- New crop pattern (hectare) using the second approach

جدول ۷- الگوی کشت جدید (هکتار)- رویکرد دوم: بیشینه‌سازی تابع ضربی نش سود کشاورزان بر اساس تئوری چانه‌زنی نش- بدون بازار

		Farm 1	Farm 2	Farm 3	Farm 4	Farm 5
First scenario: The sales price of water is 50 Rials to farmers	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	0	0	0
	Corn	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
	Alfalfa	0	0	0	0	0
Second scenario: The sales price of water is 800 Rials to farmers	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	0	0	0
	Corn	10.6	10.7	10.4	10.8	10.6
	Alfalfa	0	0	0	0	0
Third scenario: The sales price of water is 1250 Rials to farmers	Wheat	0	0	0	0	0
	Barley	0	0	0	0	0
	Corn	8.7	9.3	10.5	11.5	0
	Alfalfa	17	13.3	0	0	0

۵- جمع‌بندی

در این مقاله، دو رویکرد کلی با اهداف ارائه الگوی جدید برای کشت، ارزش گذاری و تعیین قیمت آب کشاورزی و بررسی اثرات ایجاد بازار محلی آب کشاورزی بر الگوی کشت و قیمت آب در یک محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. در رویکرد اول چهار حالت مورد بررسی قرار گرفت که تابع هدف همه حالات، بیشینه‌سازی متوسط سود سالانه پیشرو (شرکت آب منطقه‌ای) در مجموع ۳۹ سال مورد بررسی قرار گرفت. در رویکرد اول چهار حالت مورد بررسی قرار گرفت که تابع هدف همه حالات، بیشینه‌سازی متوسط سود سالانه پیشرو در مجموع ۳۹ سال بود و در مورد دشت مهیار شمالی اصفهان قیمت حدوداً ۲۵۰۰ ریال برای فروش آب به مزارع توسط شرکت آب منطقه‌ای و قیمت حدوداً ۶۱۰۰ ریال برای فروش آب در بازار در حالات با وجود بازار محلی آب به دست آمد و در حالت بدون وجود بازار محلی آب نیز قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای به کشاورزان ۲۵۶۰ ریال به دست آمد؛ حالت بهینه در رویکرد اول مربوط به در نظر گرفتن بازار محلی و بدون در نظر گرفتن حقابه به عنوان حداکثر آب قابل تخصیص به دست آمد که مزارع هریک در هر سال به متوسط سودی بیشتر از سود حاصل در وضعیت فعلی‌شان رسیدند و پیشرو نیز که هم‌اکنون آب را با قیمت بسیار کم می‌فروشد، به متوسط سود سالانه ۱۱۵۰ میلیون ریال دست یافت. مزارع دوم و چهارم و پنجم فروشندگان آب و مزارع اول و سوم خریداران آب در بازار محلی می‌باشند. در رویکرد دوم با هدف بیشینه‌سازی تابع ضربی نش مطلوبیت مزارع، قیمت فروش آب به کشاورزان توسط شرکت آب منطقه‌ای یکی از متغیرهای تصمیم مدل بود که به صورت سناریوهای معلوم برای مدل تعریف گردید. در رویکرد چانه‌زنی نش در حالت با وجود بازار محلی آب و الگوی ثابت در ۳۹ سال مورد بررسی در دشت مهیار شمالی، با افزایش قیمت فروش آب توسط شرکت آب منطقه‌ای و در تبادلات بازار محلی، شرکت آب منطقه‌ای تنها تا قیمت‌های فروش برابر ۴۱۰۰ ریال و قیمت آب در بازار محلی برابر۷۱۰۰ ریال، سود می‌برد و بعد از آن با افزایش قیمت خود، مزارع از خرید آب امتناع می‌ورزند و در نتیجه هر دو گروه پیشرو و پیرو سودی نمی‌برند. مزارع برعکس شرکت آب منطقه‌ای با افزایش قیمت آب در هر دو حالت، کاهش سود دارند و از قیمت ۴۱۰۰ ریال به بالا سود آنها به صفر می‌رسد. مدل چانه زنی نش با الگوی کشت ثابت و در حالت بدون وجود بازار محلی آب نیز در مورد دشت مهیار شمالی اجرا شد. بر اساس نتایج این مدل، شرکت آب منطقه‌ای تنها تا قیمت ۱۲۵۰ ریال سود می‌برد و بعد از آن با افزایش قیمت خود، مزارع از خرید آب امتناع می‌ورزند. الگوی کشت و متوسط سود سالانه مزارع در حالات جدید تعریف شده در همه مدل‌ها و نیز متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای از فروش آب و حجم آب تخصیص یافته به مزارع و حجم آب مبادله شده در بازار محلی آب به طور کامل در بخش ۴ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مربوط ارائه گردید. طبق مقایسه کلی نتایج به‌دست آمده، در رویکرد دوم در حالت با در نظر گرفتن بازار محلی، زمانیکه قیمت فروش آب به کشاورزان برابر ۲۵۰۰ ریال و قیمت آب در بازار محلی برابر ۶۳۰۰ ریال باشد، متوسط سود سالانه شرکت آب منطقه‌ای در ۳۹ سال مورد بررسی حدود یک میلیارد و صد و پنجاه میلیون ریال و متوسط مجموع سود مزارع در یک سال برابر ۱۳۲۰ میلیون ریال به‌دست آمد که در مقایسه با حالات دیگر در این رویکرد، نتیجه مطلوب‌تری بود. طبق نتایج به دست آمده در این حالت مزارع اول و سوم تنها خریداران آب در بازار آب محلی هستند و الگوی کشت بهینه به دست آمده برای آنها کشت تنها ذرت می باشد. مزارع دوم و چهارم و پنجم نیز در این حالت با فروش آب تخصیصی به خود در بازار و صرف نظر از کاشت محصول، به سود بیشتری دست می‌یابند.

پی نوشت‌ها

1- Leader-Follower
2- Stakeholder

۶- مراجع

Ahmadi A, Zolfagharipoor MA, Nikouei AR, Dorreali MY (2016) Economic assessment of technical infrastructure implementation of an agricultural water market, a case study: part of the Mahyar irrigation network. Iran-Water Resources Research 12(3):35-49 (In Persian)

Ahmadi A, Zolfagharipoor M, Ebrahimi B (2018) Challenges and considerations of regional water market rights, a case study: Isfahan-Borkhar Plain. Iran-Water Resources Research 14(4) (In Persian)

Alarcon J, Juana L (2016) The water markets as effective tools of managing water shortages in an irrigation district. Water Resources Management 30:2611-2625

Bohlulvand A, Sadr K, Hashemi A (2014) The role of water market in pricing and water resources allocation. Iran Agricultural Economics and Development Research 45(4):761-773 (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)

Carraro C, Sgobbi A (2008) Modelling negotiated decision making: a multilateral, multiple issues, non-

Podimata V, Yannopoulos C (2015) Evolution of game theory application in irrigation systems. Agriculture and Agricultural Science Procedia 4:271-281

Rayl J (2016) Water markets and climate change adaptation: assessing the water trading experiences of Chile, Australia, and the US with respect to climate pressures on water resources. Thesis, Pomona College, Claremont, California

Safari N, Zarghami M, Szidarovszky F (2014) Nash bargaining and leader–follower models in water allocation: Application to the Zarrinehrud River basin, Iran. Applied Mathematical Modelling 38:1959-1968

Vahedizade S, Forouhar L, Kerachian R (2017) Comparative study of international water markets . Iran-Water Resources Research 14(4):184-197 (In Persian)

Wheeler S, Loch A, Crase L, Young M, Grafton R (2017) Developing a water market readiness assessment framework. Journal of Hydrology 552:807-820

Xianshi L (2017) Research on the water resource management based on game model. Procedia Computer Science 107:262-267

Yusefi A, Hasanzadeh M, Keramatzadeh A (2014) The welfare effect of water market allocation in iranian economy. Iran-Water Resources Research 10(1):15-25 (In Persian)

Zibaie M, Malekvarno M (2017) The potential impacts of water market creation on improving productivity and reducing water conflicts in Fars province. Journal of Water and Sewage 28:126-138 (In Persian)

cooperative bargaining model with uncertainty. Automatica 44:1488-1503

Dinar A, Hogarth M (2015) Game theory and water resources: critical review of its contributions, progress and remaining challenges. Foundations and Trends 11:1-139

Ghodsi H, Kerachian A, Malakpour S, Nikoo M (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

Keramatzade A, Chizari A, Sharzeie GH (2013) Analysis of economic and social impact creation and development of water market in agriculture. Journal of Economic Research 48(3):107-128 (In Persian)

Koopman JFL, Kuik O, Tol RSJ, Brouwer R (2017) The potential of water markets to allocate water between industry, agriculture and public water utilities as an adaptation mechanism to climate change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 22(2):325-347

Loch A, Wheeler S, Settre C (2018) Private transaction costs of water trade in the Murray–Darling Basin. Ecological Economics 146:560-573

Kronaveter L, Shamir U (2009) Negotiation support for cooperative allocation of a shared water resource: methodology, Journal of Water Resources Planning and Management 135(2):60-69

Parhizkari A, Badie Barzin H (2017). Determination of the economic value of water and simulating farmers' behvior in Takestan region in response to reducing the agricultural water resources. Journal of Water Research in Agriculture 31(1):105-118

Petterini F (2018) The possibility of a water market in Brazil. Economia 19:187-200