

بهینه‌سازی پایدار الگوی کشت با استفاده از تئوری بازی با پرداخت جانبی (مطالعه موردی: دشت ارومیه-حوضه آبریز دریاچه ارومیه)

جاوید رحیمی قولنجی^۱، مجید منتصری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۴

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.montaseri@urmia.ac.ir; montaseri@hotmail.com

چکیده

در این مطالعه عملکرد بازی رقابتی، مشارکتی و مشارکتی با پرداخت جانبی در تحلیل تضاد منافع محیط زیست و بهره‌برداران منابع آبی مورد ارزیابی قرار گرفت. در بازی رقابتی، بازیکنان با هدف به حداکثر رساندن پی‌آمد انفرادی خود و در رقابت با یکدیگر تصمیم‌گیری می‌نمایند. اما در بازی مشارکتی، هدف بازیکنان به حداکثر رساندن مجموع مطلوبیت هر دو بازیکن است که این مطلوبیت، بیشینه درآمد واحد سطح برای کشاورزان و کمینه نیاز آبی واحد سطح برای محیط زیست می‌باشد. اما کشاورزان به منافع انفرادی خود اهمیت بیشتری قائل بوده و تمایل بیشتری به بازی رقابتی دارند. پرداخت جانبی به‌عنوان یک تکنیک موثر، با انتقال مقداری از منافع بین بازیکنان، میزان منفعت انفرادی بازیکنان را در دو شرایط مشارکتی و رقابتی برابر می‌نماید. در چنین شرایطی، امکان جلب موافقت بهره‌بردار آب کشاورزی برای اجرای الگوی کشت مطلوب محیط زیست فراهم می‌گردد. در این مطالعه، شرایط تقابل بین منافع اقتصادی بخش کشاورزی و ملاحظات زیست محیطی اکوسیستم دریاچه ارومیه در دشت ارومیه با استفاده از تئوری بازی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس نتایج، مقدار نیاز آبی الگوی کشت بهینه و مقدار درآمد واحد سطح (هکتار) به ترتیب، در بازی رقابتی برابر ۴۷۸۸ مترمکعب و ۲۱/۲۴ میلیون تومان و در بازی مشارکتی معادل ۳۴۹۲ مترمکعب و ۱۹/۹۷ میلیون تومان شد. لذا با پرداخت جانبی برابر ۱/۳۷ میلیون تومان در هکتار، ترغیب کشاورز به اجرای الگوی بهینه مشارکتی و صرفه‌جویی ۲۴/۶۹ درصدی آب نسبت به وضع موجود فراهم گردید.

واژه‌های کلیدی: تئوری بازی، بازی رقابتی، بازی مشارکتی، تعادل نش، بهینه پارتو، پرداخت جانبی

Sustainable Optimization of Crop Pattern using Game Theory with Side-Payment (Case Study: Urmia Plane, Urmia Lake Basin)

Javid Rahimi Ghoulenji¹, Majid Montaseri^{2*}

Received: 2019/12/11 Accepted: 2020/09/14

¹Ph.D. Student of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran

² Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran

Corresponding Author, Email: m.montaseri@urmia.ac.ir , montaseri@hotmail.com

Abstract

In this study, the performance of the competitive and cooperative game and side-payment technique in the analysis of the conflict of interest of environment and water resources users were evaluated. In a competitive game, the players decide to compete with each other in order to maximize their individual payoff. But in a cooperative game, the goal of the players is to maximize the total utility of both players that, this desirability is the maximum income per unit area for farmers and the minimum water demand per unit area for the environment. But farmers care more about their individual benefits and are more interested in competitive game. As an effective technique, side-payment, by transferring some of the benefits between the players, equalizes the individual benefits of the players in both cooperative and competitive conditions. In such circumstances, it is possible to obtain the consent of the agricultural water consumers to implement the desired environmental cropping pattern. In this study, the conditions of conflict between the economic interests of the agricultural sector and the environmental considerations of the Urmia Lake ecosystem in the Urmia plain with the independence of game theory evaluated. Based on the results, the amount of water demand of the optimal cultivation pattern and the amount of income per unit area (hectare) in the competitive game were found to be equal to 4788 cubic meters and 21.24 million Tomans. This was equal to 3492 cubic meters and 19.97 million Tomans, respectively in cooperative game. Therefore, by a side-payment of 1.37 million Tomans per hectare, the farmer was encouraged to implement the optimal cooperative model and save 24.69% of water compared to the current situation.

Keywords: Competitive game, Cooperative game, Game theory, Nash equilibria, Pareto optimum, Side-Payment

مقدمه

زیست، اجتماع، اقتصاد و توسعه پایدار، تخصیص بهینه آب امری پیچیده بوده و لذا تعیین سهم و نحوه تخصیص آب بین متقاضیان، هسته مرکزی مدیریت منابع آب را تشکیل می‌دهد (وانگ و همکاران ۲۰۰۸). همچنین عدم همخوانی توزیع مکانی و زمانی دسترسی به آب و ویژگی‌های کمی و کیفی تقاضای آبی و ترکیبات صنفی مصرف کنندگان، منجر به بالا گرفتن اختلاف و تضاد منافع مصرف کنندگان می‌گردد (کوچوک محمت‌اوغلو ۲۰۱۲، پودیماتا و یانوپولوس ۲۰۱۵). اغلب مسائل بهینه‌سازی در عالم واقعی از جمله پروژه‌های آبی دارای چندین هدف محتملاً متضاد می‌باشند (مدنی ۲۰۱۰). به‌گونه‌ای که اغلب مسائل

افزایش سریع جمعیت، توسعه صنعتی، رشد اقتصادی، جنگل زدایی، تغییر اقلیم و محدودیت کمیت و کیفیت منابع آب در دسترس، پیام‌های هشدار دهنده‌ای برای وقوع احتمالی بحران‌های آبی می‌باشند. به‌نحوی که جستجوی منابع پایدار و مطمئن آب در حال تبدیل شدن به یکی از چالش‌های اساسی قرن بیست‌ویکم می‌باشد (کوچوک محمت‌اوغلو ۲۰۱۲، پودیماتا و یانوپولوس ۲۰۱۵). همچنین، به‌دلیل توزیع غیریکنواخت آب شیرین، اهمیت حیاتی آن در جوامع بشری و ارتباط پیچیده بین اقلیم، هیدرولوژی، محیط

اساس تئوری بازی‌ها توسط جان وان نیومن^۱ در سال ۱۹۲۸ در قالب قواعد مینیماکس بیان گردید. تئوری بازی‌ها به شکل کنونی خود در سال ۱۹۴۴ توسط جان وان نیومن و اسکار مورگنسترن^۲ پایه گذاری گردید و آن‌ها نحوه فرمول‌بندی کلی آن را بیان نمودند (مدنی ۲۰۱۰). نتایج مطالعات و تحقیقات این دو محقق در قالب کتاب "تئوری بازی‌ها و رفتار اجتماعی" منتشر شده است (مدنی ۲۰۱۰). جان نش در سال ۱۹۵۱ نقطه تعادل نش^۳ را معرفی نمود (کیوکیم ۲۰۱۴). نقطه تعادل نش ترکیب بهینه‌ای از راهبردهای بازیکن‌ها در یک بازی بوده که هیچکدام از آن‌ها انگیزه‌ای برای تغییر آن ندارند و آن ترکیب، به عنوان نقطه بهینه بازی تعریف می‌شود (کوب ۲۰۱۴). در نقطه تعادل نش، عملکرد بازیکن‌ها مقدار بهینه نمی‌باشد اما با توجه به تاثیرات متقابل راهبرد بازیکن‌ها با عملکرد رقبا، کوچکترین تغییر در راهبرد اتخاذی در نقطه تعادل نش منجر به کاهش مطلوبیت عملکرد بازیکن‌ها خواهد گردید، لذا هیچکدام از طرفین تمایلی به تغییر راهبرد تعادل نش نخواهند داشت (رائو ۱۹۸۷). بنابراین، این ترکیب راهبرد، تحت عنوان نقطه بهینه بازی رقابتی تعریف می‌شود (کوب ۲۰۱۴).

انواع بازی براساس ویژگی‌های رفتاری، به دسته‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌گردد. نوع بازی‌ها با نوع و تعداد بازیکنان و نوع تصمیماتی که بازیکن‌ها اتخاذ می‌نمایند مشخص می‌گردد (بوند و همکاران ۲۰۱۶). براساس مطالعه نامبرده، دسته‌بندی جامعی از انواع بازی ارائه شده است که از جمله مهم‌ترین شاخص‌های دسته‌بندی، شاخص ساختار عملکردی می‌باشد که براساس آن انواع بازی با توجه به اولویت عملکرد انفرادی هر بازیکن و یا عملکرد جمعی آن در قالب بازی مشارکتی و غیر مشارکتی دسته‌بندی می‌-

تصمیم‌گیری در مورد بهینه‌سازی منابع آب صریح نبوده، بلکه شامل اهداف متناقضی نظیر بیشینه‌سازی عملکرد اقتصادی و کمینه‌سازی عوارض زیست محیطی و ... می‌باشد که افزایش مطلوبیت یک هدف، مقدار مطلوبیت دیگر اهداف را محدودتر می‌کند (بیگی و همکاران ۲۰۱۴، سالازار و همکاران ۲۰۰۷).

در چنین شرایطی تئوری بازی‌ها به عنوان یک ابزار قدرتمند، به طور وسیعی در بهینه سازی مسائل چند هدفه متفاوت مطرح و مورد استفاده قرار می‌گیرد (لنگ و ژنو ۲۰۰۹، بوند و همکاران ۲۰۱۶). این نظریه شرایط تضاد منافع در یک مساله تصمیم‌گیری چند عنصری یا چند عضوی را به خوبی توصیف نموده و راه حل مطلوب‌تری را براساس شرایط واقعی حاکم بر مساله (از جمله اقتصادی، فیزیکی، فنی، اجتماعی، سیاسی، زیست محیطی و اکوسیستم) ارائه می‌کند (بیمونته ۲۰۰۸، پودیماتا و یانوپولوس ۲۰۱۵). در دهه‌های اخیر، تئوری بازی‌ها به عنوان روش بسیار مناسب در تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند عنصری با اهداف متفاوت یا متناقض، در مسائل مختلف علمی (از جمله مدیریت و برنامه ریزی منابع آب) به طرز قابل فهمی فرمول‌بندی شده است. این تئوری یک درک و زاویه دید جدید و واقعی‌تری برای فهم و تحلیل تضاد و تضاد در مسائل یا طرح‌های منابع آب ارائه می‌کند (مدنی ۲۰۱۰). امروزه، در زمینه مسائل و طرح‌های منابع آب، عمدتاً تضاد بین منافع اقتصادی، توسعه بهره‌برداری و اهداف پایدار مهم زیست محیطی و اکولوژیکی مورد توجه محققین بوده است (شنگ لی ۲۰۱۲). به طوری که در سال‌های اخیر، تئوری بازی‌ها به عنوان ابزاری مهم و قدرتمند در حل مسائل زیست محیطی، مدیریت کمی و کیفی آب، تخصیص آب، تعیین سهم حقاچه، دیپلماسی آب و در تحقیقات مختلف به کار گرفته شده است (پودیماتا و یانوپولوس ۲۰۱۵).

¹ John Von Neumann

² Oskar Morgenstern

³ Nash equilibria point

رسیدن سود طرفین تعیین می‌گردد (لنگ و ژئو ۲۰۰۹). پرداخت جانبی غالباً برای شرایط نامتقارن که در آن مقدار عملکرد یک بازیکن در حالت همکارانه بیش از حالت رقابتی است، به‌کار برده می‌شود (دینار ۲۰۰۶، فونگ و سورتی ۲۰۰۹، کیمبرو و شرماتا ۲۰۱۲). پرداخت جانبی ابزاری خارج از چارچوب بازی می‌باشد که با جابجایی میزان منفعت، توافق بین بازیکنان را برای همکاری حاصل می‌کند. در بازی رقابتی به‌علت فقدان این مکانیزم خارجی، تصمیمات بازیکنان بیشتر تحت تاثیر منافع شخصی خود قرار می‌گیرد (دیم ۲۰۱۵).

در دهه‌های اخیر، تحقیقات متعددی در تحلیل مسائل بهره‌برداری و تخصیص منابع آب در نقاط مختلف دنیا با استفاده از تئوری بازی‌ها در منابع معتبر انتشار یافته است (مدنی ۲۰۱۰). اکثریت چنین مطالعاتی براساس روش بازی رقابتی و مشارکتی انجام یافته و بیشتر متمرکز بر تخصیص بهینه یا مطلوب منابع آب مابین ذینفعان یا کاربران مختلف بوده است (لنگ و ژئو ۲۰۰۹، مدنی ۲۰۱۰). در سال‌های اخیر نیز روش بازی مشارکتی با پرداخت جانبی که به‌عنوان یک ایده جدید در زمینه مسائل اقتصادی، تجاری و مسائل اجتماعی مطرح بوده، در تحلیل مسائل بهره‌برداری و تخصیص منابع آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت به‌کار گرفته شده است (شنگالی ۲۰۱۲، مدنی و دینار ۲۰۱۲). این در حالی است که نیاز زیست محیطی و اکوسیستم (به‌عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار مسائل منابع آب) به‌دلیل عدم امکان ارزش‌گذاری صریح مالی کمتر مورد توجه بوده است (بل و همکاران ۲۰۱۶، دریچر ۲۰۱۷). در صورتی‌که توسعه ناپایدار منابع آب و نادیده گرفتن نیاز زیست محیطی، بحران‌های بسیار جدی در نقاط مختلف دنیا و ایران (از جمله حوضه آبریز دریاچه ارومیه که یکی از دشت‌های مهم آن یعنی دشت ارومیه به‌عنوان مطالعه موردی این تحقیق در نظر

گردد. در بازی رقابتی یا غیرمشارکتی، تضاد منافع بین بازیکنان وجود دارد و بازیکنان مستقل از هم تصمیم‌گیری و رقابت می‌کنند. در حالیکه، در بازی همکارانه یا مشارکتی، تصمیم‌گیری‌های دسته‌جمعی بازیکنان به‌صورت هماهنگ بوده و مقدار عملکرد مطلوب کل مجموعه، در صورت همکاری بازیکنان حاصل می‌گردد (مدنی ۲۰۱۰).

در یک بازی، مقدار مطلوبیت مجموعه در صورت همکاری بازیکنان باهم، بیشتر از حالت بازی غیرمشارکتی می‌باشد (مالپزی ۱۹۹۸). لذا در حالت ایده‌آل بازی مشارکتی، مقدار مطلوبیت مجموعه بایستی بیشتر باشد. اما اهمیت پی‌آمد انفرادی بازیکنان با عملکرد انفرادی بیشتر، آن‌ها را به یک بازی رقابتی بیشتر ترغیب می‌کند. این پدیده توسط هاردین (۱۹۹۴) تحت عنوان "تراژدی مشاعات" مطرح گردیده است. بنابراین، جلب تمایل بازیکنان برای مشارکت بدون لحاظ مشوق‌ها و بدون تحمل هزینه، امکان‌پذیر نمی‌باشد (بیمونته ۲۰۰۸، مدنی و دینار ۲۰۱۲). در یک بازی بین دو بازیکن، ترجیح همکاری و مشارکت، مستلزم حصول شرایطی است که هم عملکرد هر دو بازیکن نسبت به حالت رقابتی بیشتر گردیده و هم این که برای هر دو بازیکن شرایطی بهتر از آن میسر نباشد (حمیدی و همکاران ۲۰۱۶). حصول چنین شرایطی، به معنی قرار گرفتن تعادل نش در مرز بهینه پارتو می‌باشد (رائو ۱۹۸۷، بال و خیائوگوانگ ۱۹۹۳). بهینه پارتو، حالتی از مرز بهینه می‌باشد که در آن امکان افزایش مطلوبیت یک معیار، بدون کاهش مطلوبیت سایر معیارها امکان‌پذیر نباشد (آلوا و مانتجونات ۲۰۱۹، اینگائو و سیگلار ۲۰۱۹). چنین شرایطی در صورتی ممکن است که مقداری از منفعت انفرادی بین دو بازیکن جابجا گردد. این انتقال منفعت انفرادی بین بازیکنان در حقیقت همان پرداخت جانبی است که برای به تعادل

در این مطالعه ۱۶ نوع محصول (۶ نوع محصول باغی، ۲ نوع محصول باغی با کشت زیردرختی یونجه، ۷ نوع محصول زراعی و آیش) که به طور مشترک در تمامی دشت‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه کشت می‌شوند به عنوان محصولات کشاورزی غالب منطقه مطالعاتی دشت ارومیه انتخاب شده است (بی‌نام ۱۳۹۷). داده‌های مورد نیاز مطالعه نیز برای هر محصول شامل: سطح زیر کشت، نیازآبی، مقدار و قیمت می‌باشد که از سالنامه آماری ۱۳۹۶ استان آذربایجان غربی و سند ملی آب کشور به شرح جدول ۱ استخراج و محاسبه گردیده است (بی‌نام ۱۳۹۷، ذبیحی‌افروز و همکاران ۱۳۹۶).

طرح مساله و راهبرد اتخاذی بازیکنان

در طرح این مساله، کشاورز به عنوان یک بازیکن با انتخاب راهبرد بهینه از بین راهبردهای مختلف خود (بند بعد "راهبردهای فرض شده کشاورز") سعی در افزایش عملکرد اقتصادی خود را دارد. اما برای انتخاب الگوی کشت با عملکرد اقتصادی بالا، با محدودیت دسترسی به میزان آب مورد نیاز و تقابل با منافع محیط زیست مواجه می‌باشد. از طرفی، ملاحظات زیست محیطی نیز در راستای کاهش مقدار تقاضای آبی بوده که این دو هدف کشاورز و محیط زیست باهم در تقابل است. در بازی مذکور برخی قیده‌های محلی در روابط مسئله موثر بوده که تغییرات آن به دلیل تبعات اجتماعی و آسیب‌های اقتصادی و غیره فاقد توجیه منطقی می‌باشد، مانند تغییر کشت باغی به باغی دیگر یا کشت باغی به زراعی (وبرعکس) و وابستگی سایر مشاغل (مانند دامپروری، صنایع تولید آبمیوه و کارخانه قند) به کشت.

گرفته شده است) ایجاد نموده است. در این مطالعه، حل مسئله تضاد منافع محیط زیست و بهره برداران (کشاورز) منابع آب تجدیدپذیر در دشت ارومیه با استفاده از سه روش بازی‌های رقابتی، مشارکتی و مشارکتی با پرداخت جانبی با دو هدف همزمان کمینه‌سازی نیاز آبی و بیشینه‌سازی درآمد از واحد سطح مورد ارزیابی قرار گرفته است. این تحقیق در راستای احیای دریاچه ارومیه جهت ترغیب کشاورزان برای کاهش آب مصرفی با پرداخت جانبی بوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

دریاچه ارومیه با مساحت حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع واقع در شمال غربی ایران یکی از مهمترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان می‌باشد. دریاچه ارومیه در سال ۱۳۵۴ به عنوان سایت رامسر و در سال ۱۳۵۶ به عنوان ذخیره‌گاه زیست کره یونسکو تعیین شده است (منتصری و همکاران ۲۰۱۸). در حال حاضر دریاچه ارومیه به دلیل برداشت اضافی آب از منابع آب تغذیه کننده خود (سطحی و زیرزمینی)، حبابه زیست محیطی خود را دریافت نکرده و در شرایط بحران کاهش حجم آب ذخیره و خطر خشک شدن قرار گرفته و منطقه را با مخاطرات جدی اکوسیستمی روبرو کرده است (منتصری و همکاران ۲۰۱۸). در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با جمعیت حدود ۶ میلیون نفر، فعالیت‌های کشاورزی بخش عمده‌ای از اشتغال و درآمد ساکنین منطقه را شامل می‌گردد (آقاچوک و همکاران ۲۰۱۵). لذا کاربران آب کشاورزی در منطقه، از جمله دشت وسیع ارومیه (به عنوان منطقه مطالعاتی) در تقابل جدی با زیست بوم دریاچه ارومیه برای تخصیص بیشتر از منابع آب (سطحی و زیرزمینی) مشترک است.

جدول ۱- نوع و مشخصات محصولات الگوی کشت محدوده مطالعاتی.

ردیف	نوع کشت	بهای واحد محصول (تومان بر کیلوگرم)	عملکرد واحد سطح محصول (تن در هکتار)	الگوی کشت (درصد)	نیاز آبی (مترمکعب در هکتار)	عملکرد مالی واحد سطح (میلیون تومان در هکتار)
۱	سیب	۱۶۰۰	۱۶/۹۷	۸/۲۲	۶۰۰۹	۲۷/۱۵
۲	هسته دار	۲۰۰۰	۱۱/۲۴	۲/۰۱	۶۳۶۰	۲۲/۴۸
۳	انگور	۱۸۰۰	۲۱/۰۰	۱۴/۵۱	۳۶۰۰	۳۷/۸۰
۴	پسته	۴۲۰۰۰	۰/۸۸	۰/۰۱	۳۹۹۹	۳۶/۹۶
۵	بادام	۳۷۰۰۰	۱/۲۰	۰/۶۸	۵۳۰۰	۴۴/۴۰
۶	گردو	۱۸۰۰۰	۱/۹۸	۱/۰۶	۶۹۷۰	۳۵/۶۴
۷	گندم	۱۶۰۰	۵/۹۰	۱۶/۳۶	۲۶۰۰	۹/۴۴
۸	جو	۱۰۰۰	۱/۶	۵/۰۷	۱۷۸۰	۱/۱۶
۹	آیش	-	۰/۰۰	۱/۰۶	۰	۰/۰۰
۱۰	سبزیجات	۱۰۰۰	۲۳/۱۷	۶/۵۶	۴۶۰۰	۲۳/۱۷
۱۱	چغندر قند	۸۰۰	۴۱/۳۳	۲/۸۸	۶۷۰۴	۳۳/۰۶
۱۲	جالیزی	۱۰۰۰	۲۵/۷۳	۳/۴۰	۳۳۹۰	۲۵/۷۳
۱۳	یونجه	۷۰۰	۶/۹۹	۰/۲۹	۶۵۲۸	۴/۸۹
۱۴	آفتابگردان	۱۲۰۰۰	۱/۷۳	۱۱/۱۶	۴۶۰۰	۲۰/۷۶
۱۵	سیب با کشت یونجه	-	-	۱۹/۱۹	۶۶۰۰	۲۹/۶۰
۱۶	هسته دار با کشت یونجه	-	-	۷/۰۰	۶۵۴۵	۲۴/۹۳

متوسط نیاز آبی واحد سطح الگوی کشت ۴۶۳۷ مترمکعب در هکتار
متوسط درآمد واحد سطح الگوی کشت ۲۳/۵۶ میلیون تومان در هکتار

در این مطالعه، هدف کشاورز بیشینه‌سازی درآمد سالانه به‌ازای تامین تقاضای آب وضع موجود (۴۶۳۷ مترمکعب در هکتار) در نظر گرفته شده است. مدل بهینه‌سازی کشاورز یعنی حداکثرسازی عملکرد اقتصادی واحد سطح به‌شرح معادله (۱) است.

$$\text{maximize } \sum x_i \times b_i \quad [1]$$

$$\sum x_i \times d_i \leq k_j d_0 \quad \text{قید نیاز آبی}$$

$$\sum x_i \leq 1 \quad \text{قید مساحت}$$

که در آن، x_i : درصد سطح زیر کشت محصول i ام؛ b_i :

عملکرد اقتصادی سالانه واحد سطح محصول i ام (میلیون تومان بر هکتار در سال)؛ d_i : تقاضای آبی

سالانه واحد سطح محصول i ام (مترمکعب در هکتار)؛ d_0 : متوسط تقاضای آبی سالانه واحد سطح در وضع موجود (مترمکعب در هکتار)؛ k_j : سقف تقاضای آبی قابل تامین در راهبرد j ام کشاورز (مترمکعب در هکتار) که مقدار آن توسط راهبردهای کشاورز تعیین می‌شود.

راهبردهای فرض شده کشاورز

الف: بیشینه‌سازی درآمد واحد سطح با کاهش آستانه تامین نیاز آبی واحد سطح به‌میزان ۱۰٪ وضع موجود.

ب: بیشینه‌سازی درآمد واحد سطح با افزایش آستانه تامین نیاز آبی واحد سطح به‌میزان ۱۰٪ نسبت به وضع موجود.

در این مطالعه، هدف محیط زیست حداکثر سازی تخصیص نیاز زیست محیطی دریاچه ارومیه با اتخاذ راهبرد اخذ عوارض حقایق محیط زیست برای محصول با مصرف آب بیشتر و پرداخت یارانه برای محصول با مصرف آب کمتر در نظر گرفته شده است. لذا تابع هدف مدل کمینه سازی نیاز آبی واحد سطح با لحاظ قید اصلی حفظ حداقل درآمد آبی کشاورز برابر درآمد فعلی مطابق رابطه (۲) است.

$$[۲] \quad \text{Minimize } \sum x_i \times d_i \quad \text{تابع هدف}$$

$$\sum x_i \times b_i \geq b_0 \quad \text{قید درآمد واحد سطح}$$

$$\sum x_i \leq 1 \quad \text{قید مساحت}$$

که در آن b_0 متوسط درآمد قبلی کشاورز در واحد سطح (میلیون تومان بر هکتار در سال) بوده و x_i ، b_i و d_i قبلاً معرفی شده اند.

در این مطالعه، برای تعیین شاخص حداقل نیاز آبی مطلوب محیط زیست، روش بهینه سازی غیر راهبردی خطی با هدف حداقل سازی نیاز آبی با قید حفظ درآمد سالیانه کشاورزان در سطح فعلی (۲۳/۵۶ میلیون تومان در هکتار) انجام و حداقل نیاز آبی بر اساس رابطه $d_{\min} = \sum x_i \times d_i$ (که در آن d_i و x_i به ترتیب نیاز آبی و درصد سطح کشت محصول i از الگوی کشت مطلوب محیط زیست (جدول ۲)) برابر ۳۷۲۰ مترمکعب در هکتار برآورد گردید. ضمناً براساس مقادیر مذکور، مقدار ارزش معادل واحد حجم آب در این الگوی کشت برابر ۶۳۳۳ (تومان در مترمکعب) است. جدول ۲ الگوی کشت مطلوب محیط زیست را نشان می دهد.

ضمناً قیودات دیگری در مدل سازی مطرح بوده که تابع شرایط خاص اقتصادی و اجتماعی منطقه است از جمله، محدودیت تغییر الگوی کشت باغات، وجود صنایع تولیدی تبدیلی متعدد آمیوه، قند و ... که به قرار زیر در نظر گرفته شد.

الف) قید سطح کشت باغات

$$70\%A_G \leq X_G \leq A_G \quad \text{که در آن } A_G \text{ درصد سطح کشت باغات فعلی و } X_G \text{ درصد سطح کشت باغات بهینه است.}$$

ب) قید سطح باغات گردو، بادام و پسته

$$5\% \leq X_N \leq 30\% \quad \text{که در آن } X_N \text{ مجموع درصد سطح زیرکشت باغات بهینه بادام، گردو و پسته می باشد.}$$

ج) قید تامین علوفه دامی

$$X_0 \leq X_{G1} + X_{G2} + X_A \quad \text{که در آن } X_{G1} \text{ درصد سطح زیرکشت باغات هسته دار بهینه با کشت پرکننده علوفه، } X_{G2} \text{ درصد سطح زیرکشت باغات سیب بهینه با کشت پرکننده علوفه، } X_A \text{ درصد سطح زیر کشت یونجه بهینه و } X_0 \text{ مجموع درصد سطوح زیرکشت وضع موجود برای تامین علوفه دامی می باشد.}$$

د) قید سطح کشت غلات

$$X_{C0} \leq X_C \quad \text{که در آن مقدار } X_C \text{ درصد سطح زیرکشت غلات در الگوی بهینه و } X_{C0} \text{ درصد سطح زیرکشت غلات در وضع موجود می باشد.}$$

ه) قید سطح کشت چغندر قند

$$2\% \leq X_S \quad \text{که } X_S \text{ درصد سطح زیرکشت چغندر قند در الگوی کشت بهینه می باشد.}$$

جدول ۲- الگوی کشت بهینه محیط زیست (درصد).

شماره محصول	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	
نام محصول	سیب	هسته دار	انگور	پسته	بادام	گردو	گردو	گندم	ذرت	پنبه	سبزیجات	چغندر قند	جالبزی	پونجه	آفتابگردان	سیب با کشت پونجه	هسته دار با کشت پونجه
درصد سطح زیرکشت	۰	۰	۲۵	۵	۰	۰	۲۱	۰	۱۳	۰	۲	۱۱	۰	۰	۲۳	۰	

مقدار نیاز آبی الگوی کشت بهینه با هدف حداقل سازی نیاز آبی، از ۶۳۷ به ۳۷۲۰ (مترمکعب در سال) تقلیل یافته که این حاکی از کاهش ۱۹/۷۸ درصدی نیاز آبی نسبت به وضع موجود می باشد.

از جمله راهبردهای محیط زیست تخصیص یارانه به محصولات کم آبر و اخذ عوارض از محصولات پرتوقع آبی می باشد. سطح مینا مورد نظر برای آستانه دریافت عوارض یا پرداخت یارانه معادل ۸۰٪ نیاز آبی حداقل در نظر گرفته شد. این میزان معادل $3000 \approx 2989$ (مترمکعب در هکتار) می باشد. بنابراین، دو راهبرد محیط زیست در بازی طرح شده به شرح ذیل در نظر گرفته شد.

الف: پرداخت یارانه و دریافت عوارض به میزان ۵۰٪ ارزش واحد حجم آب در شرایط بهینه زیست محیطی به ترتیب، برای هر مترمکعب نیاز آبی کمتر و مازاد بر ۳۰۰۰ (مترمکعب در هکتار).

ب: پرداخت یارانه و دریافت عوارض به میزان ۱۰۰٪ ارزش واحد حجم آب شرایط بهینه زیست محیطی به ترتیب، برای هر مترمکعب نیاز آبی کمتر و مازاد بر ۳۰۰۰ (مترمکعب در هکتار).

با توجه به مقادیر یارانه و عوارض تخصیص یافته در راهبردهای محیط زیست، میزان عملکرد مالی محصولات مختلف تحت راهبردهای مختلف محیط زیست تغییر می یابد. این تغییرات به شرح جدول ۳ است. در این شرایط برای محصولاتی که مقدار عملکرد مالی آنها با کسر عوارض مذکور منفی شده، صفر لحاظ شده است.

در این مطالعه، مساله تخصیص بهینه آب کشاورزی و محیط زیست در دشت ارومیه در شرایط تضاد منافع با استفاده از تئوری بازی ها در سه حالت رقابتی، مشارکتی و مشارکتی با پرداخت جانبی مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفته است. در حالت اول یک بازی رقابتی بین محیط زیست و کشاورز با هدف حداکثرسازی عملکرد انفرادی شکل گرفته و نقطه تعادل نش محاسبه و تفسیر شده است. در حالت دوم یک بازی مشارکتی با پرداخت جانبی بین محیط زیست و کشاورز با هدف حداکثرسازی عملکرد کل مجموعه شکل گرفته و نقطه بهینه مشارکتی و مرز بهینه پارتو محاسبه و تفسیر شده است. شایان ذکر است که در این مطالعه کلیه محاسبات بهینه سازی الگوی کشت با استفاده از برنامه ریزی خطی با استفاده از نرم افزار LINGO 5 و با روش سیمپلکس محاسبه گردیده است.

جدول ۳- عملکرد مالی اصلاح شده محصولات تحت راهبردهای محیط زیست (میلیون تومان بر هکتار).

ردیف	نام محصول	عملکرد اقتصادی فعلی (میلیون تومان در هکتار)	عملکرد اقتصادی در راهبرد اول محیط زیست (میلیون تومان در هکتار)	عملکرد اقتصادی در راهبرد دوم محیط زیست (میلیون تومان در هکتار)
۱	سیب	۲۷/۱۵	۱۷/۶۲	۸/۱۰
۲	هسته دار	۲۲/۴۸	۱۱/۸۴	۱/۲۱
۳	انگور	۳۷/۸۰	۳۵/۹۰	۳۴/۰۰
۴	پسته	۳۶/۹۶	۳۳/۸۳	۳۰/۶۹
۵	بادام	۴۴/۴۰	۳۷/۱۲	۲۹/۸۴
۶	گردو	۳۵/۶۴	۲۳/۰۷	۱۰/۵۰
۷	گندم	۹/۴۴	۱۰/۷۱	۱۱/۹۷
۸	جو	۱/۱۶	۵/۰۲	۸/۸۸
۹	آیش	۰/۰۰	۹/۵۰	۱۸/۹۹
۱۰	سبزیجات	۲۳/۱۷	۱۸/۱۰	۱۳/۰۴
۱۱	چغندر قند	۳۳/۰۶	۲۱/۳۳	۹/۶۱
۱۲	جالیزی	۲۵/۷۳	۲۲/۲۸	۱۸/۸۳
۱۳	یونجه (نیاتات علوفه ای)	۴/۸۹	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۴	آفتابگردان	۲۰/۷۶	۱۵/۶۹	۱۰/۶۳
۱۵	سیب با کشت یونجه	۲۹/۶۰	۱۸/۲۰	۶/۸۱
۱۶	هسته دار با کشت یونجه	۲۴/۹۳	۱۳/۷۱	۲/۴۸

نتایج و بحث

بهینه سازی کلاسیک

نتایج این مطالعه در پنج بخش به شرح زیر ارائه می‌گردد. در بخش نخست، نتایج مربوط به الگوی کشت بهینه براساس ترکیب راهبرد بازیکن‌ها (چهار حالت) ارائه می‌شود. بخش دوم، به نتایج بازی رقابتی بین کشاورز و محیط‌زیست براساس مقادیر محاسبه شده درآمد و نیاز آبی بهینه و تعیین نقطه تعادل نش می‌پردازد. در بخش بعد، شرایط مشارکت و همکاری بین محیط زیست و کشاورز در راستای ارتقای مجموع مطلوبیت هر دو بازیکن بحث می‌شود. نتایج اعمال پرداخت جانبی در بازی مشارکتی برای ترغیب بازیکنان به ادامه مشارکت و همکاری در بخش چهارم و در بخش پنجم نیز مقایسه نتایج بخش‌های سه گانه مذکور ارائه می‌گردد.

در این بخش، نتایج الگوی کشت بهینه برای چهار ترکیب راهبرد کشاورز و محیط زیست برمبنای معیار الگوی کشت حداقل سازی نیاز آبی (جدول ۲) یعنی معیار نیاز آبی ۳۷۲۰ (مترمکعب در سال) جهت اخذ عوارض و پرداخت یارانه ارائه شده است. جدول ۴ درصد الگوی کشت بهینه را برای راهبردهای مختلف ارائه می‌کند. همچنین پی‌آمد کاهش تقاضای آب و افزایش درآمد در واحد سطح چهار ترکیب راهبرد کشاورز و محیط زیست (نسبت به وضع موجود) در جدول ۵ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل، الگوی کشت بهینه به‌ازای هر دو راهبرد کشاورز با کاهش درآمد در واحد سطح همراه بوده و بالاترین کاهش درآمد برای ترکیب راهبرد دوم برای کشاورز

(افزایش ۱۰٪ مصرف آب) و راهبرد دوم محیط زیست (پرداخت یارانه با دریافت عوارضی معادل ۱۰۰٪ ارزش واحد حجم آب) حاصل شده است. این امر علیرغم افزایش ۱۰ درصدی نیاز آبی، ناشی از اخذ عوارض ۱۰۰ درصدی از محصولات پرتوقع (راهبرد دوم محیط زیست) بوده است. از طرف دیگر، بالاترین کاهش تقاضای آب در واحد سطح مربوط به راهبرد نخست کشاورز و راهبرد دوم محیط زیست برابر با ۲۴/۶۹ درصد ($0/2469 = 1 - (3492 \div 4637)$) همراه با کاهش

۱۵/۲۲ درصدی ($0/1522 = 1 - (1997 \div 2356)$) درآمد نسبت به شرایط موجود است. همچنین نتایج نشان داد که اتخاذ راهبردهای تخصیص یارانه و عوارض برحسب میزان نیاز آبی توسط محیط زیست باعث شده که راهکار افزایش آستانه تامین نیاز آبی توسط کشاورز همواره منجر به افزایش درآمد نگردد. لذا تصمیم‌گیری بهینه توسط طرفین باید با لحاظ تاثیرات متقابل اقدامات رقیب اتخاذ گردد که این امر خود نوعی تصمیم‌گیری راهبرد می‌باشد.

جدول ۴- الگوی کشت بهینه (برحسب درصد) به‌ازای ترکیب راهبردهای کشاورز و محیط زیست.

ردیف	نام محصول	راهبرد اول کشاورز		راهبرد دوم کشاورز	
		راهبرد اول محیط زیست	راهبرد دوم محیط زیست	راهبرد اول محیط زیست	راهبرد دوم محیط زیست
۱	سیب	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۲	هسته دار	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۳	انگور	۲۳/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۴/۴۶
۴	پسته	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۰۴
۵	بادام	۵/۰۰	۴۶/۰۰	۲۷/۰۰	۰/۰۰
۶	گردو	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۷	گندم	۲۱/۰۰	۲۱/۰۰	۲۱/۰۰	۲۱/۰۰
۸	جو	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۹	آیش	۵/۴۱	۵/۰۰	۰/۰۰	۱۸/۰۰
۱۰	سبزیجات	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۱	چغندر قند	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰
۱۲	جالیزی	۱۸/۵۹	۰/۰۰	۲۴/۰۰	۰/۰۰
۱۳	یونجه (نباتات علوفه ای)	۰/۰۰	۴/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۴	آفتابگردان	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۵	سیب با کشت یونجه	۲۴/۶۵	۲۲/۰۰	۲۶/۰۰	۲۱/۵۰
۱۶	هسته دار با کشت یونجه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
درآمد واحد سطح (میلیون تومان در هکتار)		۲۲/۰۶	۱۹/۹۷	۲۲/۷۷	۱۸/۸۸
نیاز آبی واحد سطح (مترمکعب بر هکتار)		۴۱۷۳	۳۴۹۲	۴۸۰۹	۴۸۳۱

جدول ۵- مقادیر درصد تغییر نسبی پی‌آمد مورد نظر بازیکن‌ها نسبت به مقدار الگوی بهینه کمینه نیاز آبی.

راهبرد اول محیط زیست		راهبرد دوم محیط زیست		
رشد مالی	صرفه جوئی آب	رشد مالی	صرفه جوئی آب	
-۶/۳۸	۱۰/۰۱	-۱۵/۲۲	۲۴/۶۹	راهبرد اول کشاورز
-۳/۳۲	-۳/۷۰	-۱۹/۸۷	-۴/۱۹	راهبرد دوم کشاورز

بازی رقابتی

در این بخش نتایج بازی راهبردی بین محیط زیست و کشاورز برای شرایطی که این دو بازیکن رقابت با یکدیگر را انتخاب نمایند، مورد ارزیابی قرار گرفته و نقطه تعادل نش بازی و مقدار پی‌آمد هرکدام از بازیکن‌ها مطابق روابط (۳) الی (۵) برآورد می‌گردد. لازم به ذکر است که رویکرد تعادل نش در این بازی بی‌تفاوت نمودن رقیب نسبت به راهبرد اتخاذی بازیکن است. بدین منظور، ضرایب اختلاط راهبرد نقطه تعادل نش هر بازیکن، مستقل از تصمیمات رقیب محاسبه گردید.

$$10.01 \times P_1 + (-3.70) \times P_2 = 24.69 \times P_1 + (-4.19) P_2 \quad [۳]$$

$$-6.38 \times Q_1 + (-15.22) \times Q_2 = -3.32 \times Q_1 + (-19.87) \times Q_2 \quad [۴]$$

$$P_1 + P_2 = Q_1 + Q_2 = 1 \quad [۵]$$

که در آن، P و Q به ترتیب نشان دهنده ضرایب اختلاط راهبردهای کشاورز و محیط زیست در بازی رقابتی می‌باشد. ضمناً اندیس‌های ۱ و ۲ به ترتیب متعلق به راهبردهای اول و دوم هر بازیکن می‌باشد. ضرایب اختلاط راهبردهای تعادل نش در بازی رقابتی کشاورز و محیط زیست به ترتیب، برابر $P_1=0.0320$ و $P_2=0.9680$ برای راهبردهای کشاورز و $Q_1=0.6032$ و $Q_2=0.3968$ برای راهبردهای محیط زیست برآورد شد. براساس نتایج مذکور، در نقطه تعادل نش بازی، میزان ۳/۲۶

درصد افزایش در نیاز آبی به همراه ۹/۸۶ درصد افت درآمد نسبت به وضع موجود حاصل شده است (نیاز آبی معادل ۴۷۸۸ مترمکعب در هکتار و درآمد واحد سطح معادل ۲۱/۲۴ میلیون تومان در هکتار). بنابراین، در تعادل نش ضمن افزایش نیاز آبی، درآمد کشاورز کاهش یافته است.

بازی مشارکتی

در شرایط بازی مشارکتی، هدف بازیکن‌ها رسیدن به مقدار بهینه مجموع پی‌آمدها بود. مقادیر محاسبه شده پی‌آمد جمعی بازیکنان در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که راهبرد بهینه بازی مشارکتی، راهبرد اول کشاورز به‌زای راهبرد دوم محیط زیست بوده و بیشترین مجموع پی‌آمد را دارد. در پی‌آمد حداکثر مذکور، میزان مطلوبیت محیط زیست نسبت به بازی رقابتی بسیار بیشتر بوده و ۲۴/۶۹ درصد کاهش تقاضای آب حاصل شده است، ولی کشاورز با کاهش درآمد ۱۵/۲۲ درصدی در واحد سطح مواجه شده است. لذا بنظر می‌رسد که کشاورز برای شرایط پایدار مشارکتی رغبت لازم را نداشته باشد و در چنین شرایطی، مشارکت با پرداخت جانبی، به‌عنوان یکی از گزینه‌های کارا و عملی مطرح می‌گردد.

جدول ۶- مقادیر مجموع تغییر نسبی مجموع پی‌آمد دو بازیکن نسبت به مقدار وضع موجود آن (درصد).

	راهبرد اول	راهبرد دوم
محیط زیست	۳/۶۳	۹/۴۷
محیط زیست	-۷/۰۳	-۲۴/۰۶

کشاورز پرداخت نماید، برابر اختلاف پی‌آمد انفرادی کشاورز در حالت رقابتی و مشارکتی یعنی ۵/۳۶٪ (۱۵/۲۲-۹/۸۶=-۵/۳۶) درآمد وضع موجود است. بنابراین، با پرداخت جانبی $۱/۲۶۳ = ۲۳/۵۸ \times ۰/۰۵۳۶$ میلیون تومان بر هکتار از طرف محیط زیست به کشاورز، امکان صرفه‌جویی ۲۴/۶۹٪ نیاز آبی نسبت به وضع موجود آن (۴۶۳۷ مترمکعب بر هکتار) حاصل می‌گردد.

پرداخت جانبی

شکل ۱ نتایج حل مسئله تضاد کشاورز و محیط زیست برای استحصال منابع آب تجدیدپذیر در دشت ارومیه را با استفاده از سه روش (شامل بازی‌های رقابتی، مشارکتی و مشارکتی با پرداخت جانبی) نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مذکور، شرایط تعادل نش بازی رقابتی، به‌عنوان شرایط بهینه پایدار، منجر به افزایش نیاز آبی الگوی بهینه نسبت به وضع موجود توأم با کاهش درآمد کشاورز بوده و هیچگونه مطلوبیتی از جنبه صرفه‌جویی آب برای محیط زیست ندارد. در حالی‌که شرایط بهینه مشارکتی با صرفه‌جویی حدود ۲۵ درصد تقاضای آب مطلوبیت بسیار بالایی برای محیط زیست دارد، اما در این شرایط، میزان کاهش درآمد کشاورز بیشتر از بازی رقابتی است. بنابراین احتمالاً کشاورز تمایلی برای قبول مشارکت نداشته و شرایط بهینه مشارکتی ناپایدار خواهد بود. پرداخت کسری درآمد حالت مشارکتی و رقابتی توسط محیط زیست (در قالب پرداخت جانبی) می‌تواند شرایط بهینه مشارکتی مذکور را به شرایط مشارکتی پایدار تبدیل کند. به‌طوری‌که در شرایط بازی مشارکتی، نیاز آبی بهینه (۲۴۹۲ مترمکعب در هکتار) از میزان بهینه آن با هدف کمینه‌سازی نیاز آبی (۳۷۲۰ مترمکعب در هکتار) نیز کمتر بوده است. با عنایت به‌اینکه حصول این مقدار بهینه نیاز آبی با رضایت بازیکنان حاصل می‌گردد، لذا کاملاً کاربردی بوده و این مسئله قابلیت بالای تحلیل راهبرد مسائل بهینه‌سازی در

بر اساس نتایج راهبرد بهینه (یا مطلوب) بازی رقابتی و مشارکتی، مقادیر پی‌آمد جمعی بهینه مشارکتی و تعادل نش، به‌ترتیب به‌شرح زیر است:

$$J_T(x_1^*, x_2^*) = 24.69\% + (-15.22\%) = 9.47\% \quad [6]$$

$$J_T(x_1^N, x_2^N) = (-3.26\%) + (-9.86\%) = -13.12\% \quad [7]$$

که در آن $J_T(x_1^*, x_2^*)$: پی‌آمد مجموع دو بازیکن در نقطه بهینه مشارکتی (راهبرد اول کشاورز در مقابل راهبرد دوم محیط زیست) و $J_T(x_1^N, x_2^N)$: پی‌آمد مجموع دو بازیکن در نقطه تعادل نش برای بازی رقابتی است. از طرف دیگر دو خصوصیت اصلی یک پرداخت جانبی بهینه به‌شرح ذیل بیان می‌شود (لنگ و ژئو ۲۰۰۹).

۱- اگر پرداخت جانبی به‌طور مناسبی برآورد گردد، باید جواب بهینه معادل با پرداخت جانبی، با بهینه جامع (بهینه حالت مشارکتی) یکسان باشد.

۲- به‌منظور علاقه‌مندی طرفین بازی به تداوم همکاری، عملکرد هر بازیکن در حالت مشارکتی با پرداخت جانبی، باید بزرگتر و یا حداقل مساوی حالت رقابتی باشد.

براساس خصوصیات مذکور، مقدار پرداخت جانبی که محیط زیست برای حفظ مشارکت باید به

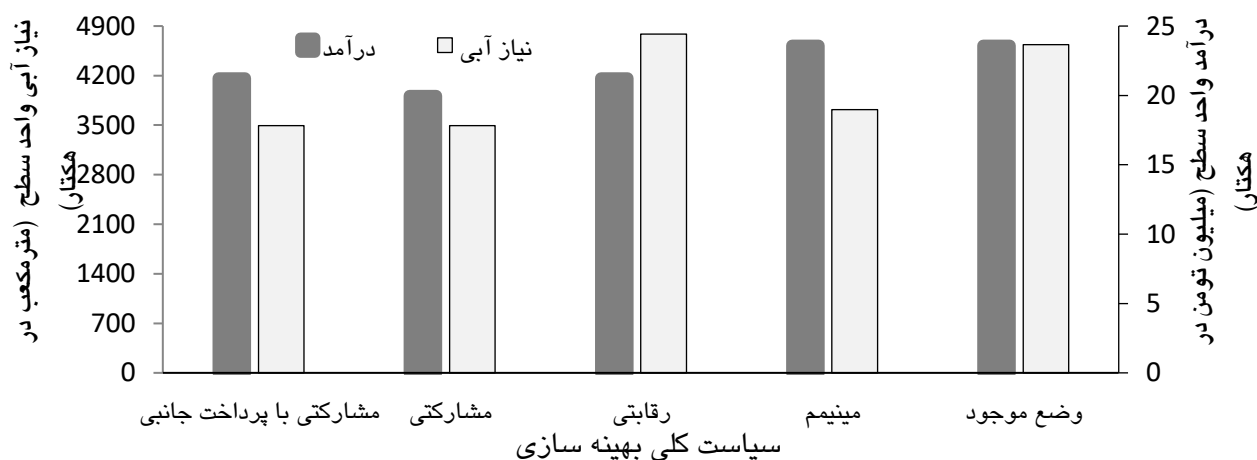
بازی رقابتی، مشارکتی و مشارکتی با پرداخت جانبی استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار نیاز آبی الگوی کشت بهینه و مقدار درآمد واحد سطح (هکتار) به ترتیب، در بازی رقابتی و مشارکتی برابر ۴۷۸۸ مترمکعب و ۲۱/۲۴ میلیون تومان و ۳۴۹۲ مترمکعب و ۱۹/۹۷ میلیون تومان است. از آنجاییکه نقطه بهینه مطلوب محیط زیست (بازی مشارکتی)، به علت کاهش منافع کشاورز نسبت به شرایط رقابتی برای کشاورز مطلوبیت نداشته، لذا با پرداخت جانبی برابر ۱/۳۷ میلیون تومان در هکتار، کشاورز به اجرای الگوی بهینه مشارکتی و صرفه جویی ۲۴/۶۹ درصدی آب نسبت به وضع موجود ترغیب می‌گردد.

در نهایت باید توجه داشت که بدون کاهش مصرف آب کشاورزی در حوضه ارومیه، تعادل آبی دریاچه ارومیه مقدور نیست. ضمن اینکه با فشار بیشتر بر منابع آب زیرزمینی، امکان نشست خاک دشت‌های حوضه وجود دارد. همانگونه که در دشت‌های شرق حوضه، توسط دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شده است. این پدیده غیرقابل برگشت بوده و موجب نابودی آبخوان می‌گردد.

زمینه مدیریت بهینه منابع آب کشاورزی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

تئوری بازی‌ها به عنوان یک ابزار قدرتمند، تضاد منافع در یک مساله تصمیم‌گیری چند عنصری مانند منافع بهره‌برداران منابع آب را به خوبی توصیف نموده و فرمول‌بندی یک راه حل بهینه را تحت شرایط واقعی حاکم بر مساله فراهم می‌کند. در سال‌های اخیر استفاده از تئوری بازی در حل مسئله تضاد منافع بهره‌برداران آب مورد توجه محققین جهان قرار گرفته است. در چنین تحقیقاتی حل مسئله تضاد بهره‌برداران مانند کشاورز و محیط زیست به دلیل عدم امکان ارزش‌گذاری صریح مالی نیاز آبی زیست محیطی و اکوسیستم کمتر مورد توجه بوده است. لذا در این مطالعه در راستای احیا دریاچه ارومیه، بهینه سازی پایدار الگوی کشت دشت ارومیه با استفاده از تئوری بازی با پرداخت جانبی جهت حل مسئله تضاد بهره‌بردار عمده (کشاورز) منابع آب‌های تجدیدپذیر و محیط زیست انجام پذیرفت. بدین منظور، سه روش



شکل ۱- نمودار مقایسه‌ای تغییرات نیاز آبی و درآمد واحد سطح در شرایط راهبرد و کلاسیک.

منابع مورد استفاده

- Anonymous, 2018. Statistical Yearbook. Management and Planning Organization of West Azerbaijan, Urmia. (In Persian with English abstract)
- Aghakouchak A, Norouzi H, Madani K, Mirchi A, Azarderakhsh M, Nazemi A and Hasanzadeh E, 2015. Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. *Journal of Great Lakes Research* 41(1): 307-311.
- Alva S and Manjunath V, 2019. Strategy-proof Pareto-improvement. *Journal of Economic Theory* 181: 121-142.
- Ball MA and Xiaoguang L, 1993. n-Person cooperative games with transferable utility: II. Side-payment distribution and equilibrium coalition trees for indissoluble coalitions. *European Journal of Operational Research* 64: 449-456.
- Bell A, Parkhurst G, Droppelmann K and Benton, TG, 2016. Scaling up pro-environmental agricultural practice using agglomeration payments: Proof of concept from an agent-based model. *Ecological Economics* 126: 32-41.
- Beygi S, Bozorg Haddad O, Fallah Mehdipour E and Mariano MA, 2014. Bargaining models for optimal design of water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management* 140: 92-97.
- Bimonte S, 2008. The "tragedy of tourism resources" as the outcome of a strategic game A new analytical framework. *Ecological Economics* 67: 457-464.
- Bond A, Pope J, Sunders AM and Retief F, 2016. A game theory perspective on environmental assessment what games are played and what dose this tell us about decision making rationality and legitimacy? *Environmental Impact Assessment Review* 57: 187-194.
- Cobb B, 2014. Finding mixed strategy Nash equilibria with decision trees. *International Review of Economics Education* 15: 43-50.
- Damme EV, 2015. Game theory: Noncooperative Games. Pp. 582-591. In: Wright JD (ed). *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2nd edition, Elsevier- Orlando.
- Dinar S, 2006. Assessing side-payment and cost-sharing patterns in international water agreements: The geographic and economic connection. *Political Geography* 25: 412-437.
- Dinpashoh V, Sahanbakhsh-Asl S, Rsouli AA, Froughi M and Singh VP, 2019. Impact of climate change on evapotranspiration (Cass Study: West and NW of Iran). *Theoretical and Applied Climatology* 136: 185-201.
- Drechsler M, 2017. The impact of fairness on side payments and cost-effectiveness in agglomeration payments for biodiversity conservation. *Ecological Economics* 141: 127-135.
- Engau A and Siglar D, 2020. Pareto solutions in multicriteria optimization under uncertainty. *European Journal of Operational Research* 281: 357-368.
- Fong YF and Surti J, 2009. The optimal degree of cooperation in the repeated prisoners' Dillema with side payments. *Games and Economic Behavior* 67: 277-291.
- Hamidi M, Liao H and Szidarovsky F, 2016. Non-cooperative and cooperative game- Theoretic models for usage- based lease contracts. *European Journal of Operational Research* 255(1): 163-174.
- Hardin G, 1994. The tragedy of unmanaged commons. *Trends in Ecology and Evolution* 9(5): 199-201.
- Kimbrough EO and Shremeta RM, 2013. Side-payment and the cost of conflict. *International Journal of Industrial Organization* 31: 278-286.
- Kucukmehmetoglu M, 2012. An integrative case study approach between game theory and Pareto frontier concepts for transboundary wter resources allocations. *Journal of Hydrology* 450: 308-319.
- Kyu Kim W, 2014. Existance of mixed equilibrium for a compact generalized strategic game. *Journal of Mathematical Analysis and Application* 420: 942-953.
- Leng M and Zhu A, 2009. Side-payment contracts in two-person nonzero-sum supply chain games: Review, discussion and applications. *European Journal of Operational Research* 196: 600-618.
- Madani K, 2010. Game theory and water resources. *Journal of Hydrology* 381: 225-238.
- Madani K and Dinar A, 2012. Non-cooperative institutions for sustainable common pool resource management: Application to groundwater. *Ecological Economics* 74: 34-45.

- Malpezzi S, 1998. Welfare analysis of rent control with side payments: a natural experiment in Cairo, Egypt. *Regional Science and Urban Economics* 28(6): 773-795.
- Montaseri M, Amirataee B and Rezaie H, 2018. New approach in bivariate drought duration and severity analysis. *Journal of Hydrology* 559: 166-181.
- Nash J, 1951. Non-cooperative games. *Annals of Mathematics* 54: 286-295.
- Podimata MV and Yannopoulos PC, 2015. Evolution of game theory application in irrigation. *Agriculture and Agricultural Procedia* 4: 271-281.
- Rao SS, 1987. Game theory approach for multi objective structural optimization. *Computers and Structures* 25(1): 119-127.
- Salazar R, Szidarovszky F, Coppola E and Rojano A, 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. *Journal of Environmental Management* 84: 560-571.
- Sheng Lee C, 2012. Multi objective game- theory models for conflict analysis in reservoir watershed management. *Chemosphere* 87: 608-613.
- Wang LZ, Fang L and Hipel KW, 2008. Basin-wide cooperative water resources allocation. *European Journal of Operational Research* 190(3): 798-817.
- Zabih Afrooz R, Emami J, Hoseini Sabet S and Joafshan Vishkani S, 2017. National Water Document. Agricultural Planning and Economics Research Institute, Tehran. (In Persian with English abstract).