

تدوین یک مدل فازی بهینه‌سازی الگوی کشت و تخصیص آب بر مبنای تئوری بازی‌های همکارانه، مطالعه موردی: کانال اردبیهشت شبکه آبیاری درودزن فارس

محسن امیدوار^۱، تورج هنر^۱، محمدرضا نیکو^{۲*} و علیرضا سپاس‌خواه^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۳)

چکیده

در حوضه‌های آبریز رودخانه‌ای استراتژی‌های مختلفی را در سطح حوضه و یا در قسمت‌های مختلف آن در راستای مدیریت منابع آب می‌توان به کار گرفت. یکی از این استراتژی‌ها، تخصیص بهینه آب و تعیین الگوی کشت بهینه است. در این مطالعه، یک مدل بهینه‌سازی تخصیص آب و الگوی کشت بر مبنای تئوری بازی‌های همکارانه ارائه شده است. به منظور سنجش کارایی مدل، اراضی تحت پوشش یکی از کانال‌های شبکه آبیاری سد درودزن فارس مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا با استفاده از یک مدل فازی و در نظر گرفتن مقادیر فازی ضرایب و محدودیت‌ها در تابع هدف، الگوی کشت بهینه و مقادیر آب تخصیص داده شده به آنها تعیین شده است. سپس با تدوین یک مدل بازی همکارانه (مدل بازی کوچک‌ترین هسته)، براساس ساختار شبکه توزیع آب و تعیین حقایق هر بخش، به تعیین سود حاصل از تشکیل ائتلاف تصمیم‌گیرندگان و ذینفعان، بازتوزیع منافع و انتخاب بهترین استراتژی در صورت برقراری همکاری پرداخته شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با تخصیص آب بیشتر به بخش‌های با پتانسیل تولید بیشتر، سود و بهره‌وری اقتصادی آب افزایش می‌یابد. به عنوان مثال مقدار مجموع سودخالص حاصل از شکل‌گیری ائتلاف اصلی بین بازیکنان ۹/۷۲۴ میلیارد تومان است که این مقدار در صورت عدم شکل‌گیری ائتلاف ۸/۹۰۶ میلیارد تومان خواهد بود که با توجه به مقدار آب ثابت تخصیص یافته به منطقه در هر دو حالت، افزایش بهره‌وری اقتصادی آب در صورت برقراری ائتلاف را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی الگوی کشت، تخصیص بهینه آب، مدل فازی، بازی همکارانه

۱. گروه آبیاری و زهکشی بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: nikoo@shirazu.ac.ir

مقدمه

امروزه یکی از راهکارهای اساسی جهت مدیریت و تخصیص منابع آب آبیاری، انتخاب الگوی کشت مناسب و تعیین استراتژی‌های تخصیص بهینه آب آبیاری می‌باشد که در شرایط محدود بودن منابع آب و فراوانی اراضی قابل کشت، هدف می‌بایست افزایش کارایی مصرف آب و استفاده بهینه از منابع آب محدود باشد (۲۱).

در شرایط دنیای واقعی و در بسیاری از مسائل عملی، به خاطر طبیعت سیستم مورد بررسی، عملاً نمی‌توان ضرایب و متغیرهای تابع هدف مدل‌های بهینه‌سازی را به صورت اعداد صحیح، قطعی و دقیق در نظر گرفت. چرا که اولاً توابع استفاده شده به صورت دقیق و صریح تعریف نشده‌اند و یا طبیعت مساله تصمیم‌گیری فقط با روش فازی قابل تشریح است، به عنوان مثال عبارت‌هایی نظیر ((تقریباً مساوی با)) یا ((نسبتاً رضایت بخش)) برای تصمیم‌گیری پذیرفتنی‌تر و راحت‌تر می‌باشد و در این حالت اهداف فازی و محدودیت‌های فازی مناسب‌تر خواهند بود. ثانیاً عدم قطعیت و غیرصریح بودن پدیده‌های موجود در جهان و محدودیت دانش بشری، بسیاری از پارامترها مانند کمیت آب‌های سطحی، میزان محصول گیاه، قیمت‌ها و حجم آبیاری، قطعی و مشخص نیستند (۲۷).

در تعیین الگوی کشت به عنوان یک مسأله تصمیم‌گیری، استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی به جای تئوری مجموعه‌های کلاسیک کارا تر است و مدل برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی قطعی، برای تصمیم‌گیری در چنین محیط غیرقطعی مناسب نمی‌باشد. در این زمینه پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است که در هر کدام به طریقی کوشیده شده است که تمام یا برخی از عدم قطعیت‌های موجود را با استفاده از روش‌های مختلف اعمال کنند (۱، ۲ و ۲۷). دانشور کاخکی از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی فازی چند هدفه کسری برای پیداکردن الگوی بهینه کشت در شهرستان تایباد استفاده کردند. در این مطالعه اهداف حداکثرسازی بازده هر

مترمکعب آب و هر کیلوگرم کود لحاظ گردیده است. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بازده خالص مصرف نهاده و نسبت نهاده در سطوح زیر کشت در مدل برنامه‌ریزی فازی کسری چندهدفه بالاتر می‌باشد. همچنین نشان دادند که برنامه‌ریزی کسری فازی چند هدفه به خصوص در ارتباط با اهداف اقتصادی و محیط زیستی، ابزار مناسبی برای تعیین الگوی بهینه کشت می‌باشد (۸).

ژنگ و همکاران مدل برنامه‌ریزی خطی فازی چند هدفه با اعداد مثلثی فازی و فرمت بدیل شده آن و مساله برنامه‌ریزی آرمانی متناظر آنرا برای تعیین الگوی بهینه کشت منطقه لینگ ژائو در استان گانسو واقع در شمال غربی چین ارائه دادند (۲۷). در این مطالعه تعیین الگو تحت سطوح مختلف صرفه جویی در آب و درجات رضایت‌مندی تصمیم‌گیران از در دسترس بودن آب صورت گرفته است. نتایج آنان نشان می‌دهد که اگر سطح صرفه‌جویی در آب افزایش یابد سود خالص افزایش می‌یابد. در پژوهش ایشان، روش بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی الگوی کشت برای تعیین سطح زیرکشت گیاهان مختلف الگوی کشت به خوبی به کار گرفته شده است و عدم قطعیت‌های مختلف را در قسمت‌های مختلف مدل‌ها لحاظ نموده‌اند. دایولی (۷) مدلی برای تخصیص چندمرحله‌ای آب آبیاری، با هدف مدیریت آب کشاورزی و برنامه‌ریزی الگوی کشت توسعه دادند. این مدل با ترکیب پارامترهای فاصله‌ای و برنامه‌ریزی غیرقطعی تدوین شده است که آب بهینه و الگوی کشت مناسب با سود بالا را با در نظر گرفتن پایداری منابع آب تعیین می‌کند.

در پژوهش حاضر در راستای مطالعات پیشین به تدوین مدل‌های مختلف برای تعیین الگوی کشت و تخصیص آب بهینه با لحاظ نمودن عدم قطعیت‌های مختلف با استفاده از روش‌های فازی و بازه‌ای با توجه به شرایط و مشخصات فیزیکی و هیدرولوژیکی جهت دستیابی به نتایج نزدیک به واقعیت و کاربردی پرداخته شده است. عمق بارش موثر، ضرایب سود و هزینه، میزان عملکرد هر محصول و عمق آبیاری از جمله پارامترهایی که عدم قطعیت آنها در مدل‌ها وارد گردیده است.

تئوری بازی‌ها و استفاده از آب برای بخش کشاورزی و تعیین الگوی کشت بهینه صورت گرفته است. زربا و همکاران در پژوهشی با استفاده از تئوری بازی‌ها و الگوریتم ژنتیک به بهینه‌کردن تعداد کشاورزانی که سودشان افزایش می‌یابد پرداخته‌اند (۲۸). در پژوهش ایشان فرض شده است که برداشت از آب زیرزمینی از الگوی بازی معمای زندانی پیروی می‌کند. آدلند و کولپین براساس قوانین توزیع سود و اصول تئوری بازی‌ها، تصمیم‌گیری در تخصیص آب را به‌عنوان یک بازی همکارانه در اراضی آبی حوضه رود کات در جنوب آفریقا بررسی کرده‌اند (۵).

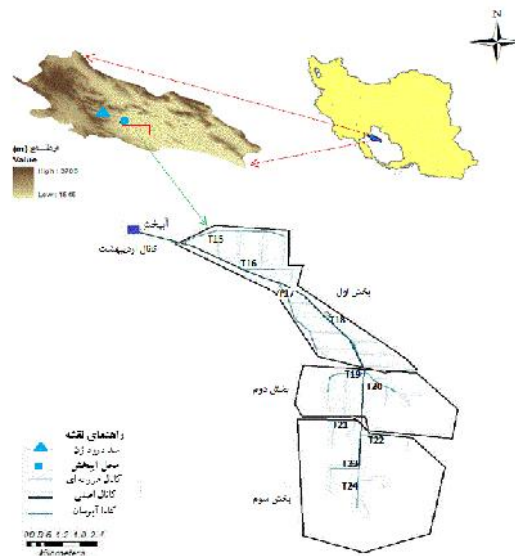
در پژوهش حاضر برای نخستین بار در زمینه تعیین الگوی کشت و تخصیص آب، به کمک تئوری بازی‌ها با استفاده از روش بازی همکارانه به بازتوزیع سود حاصل از شکل‌گیری ائتلاف و همکاری در منطقه مورد مطالعه بین گروهی از کشاورزان در راستای کاهش رقابت برای آب و کاهش اختلافات استفاده شده است. ابتدا مقادیر سود فازی مربوط به هر قسمت با توجه به شرایط و وضعیت الگوی کشت رایج و حقایق، تعیین و در مرحله دوم ائتلاف‌های ممکن بین مالکین و زارعین شکل و مقدار بهینه سود تعیین می‌گردد و در مرحله سوم باز توزیع سود به کمک بازی همکارانه کوچک‌ترین هسته متغیر صورت و بهترین رویکرد تخصیص سود، آب و الگوی بهینه کشت تعیین می‌شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور سنجش کارایی مدل پیشنهادی، اراضی تحت پوشش یکی از کانال‌های درجه یک شبکه آبیاری سد درودزن در شهرستان مرودشت استان فارس، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. شبکه آبیاری و زهکشی درودزن از یک کانال اصلی و سه کانال درجه یک، شامل کانال سمت چپ اولیه، کانال سمت راست اولیه (اردیبهشت) و کانال سمت چپ ثانویه (هامون) تشکیل شده است. این کانال‌ها آب را جهت آبیاری به مزارع پایین‌دست می‌رسانند. مازاد آب

در تخصیص منابع آب و الگوی کشت، ذینفعان مختلفی سهیم هستند و تخصیص آب به هر یک از آنها در منافع دیگری تأثیر دارد، لذا تئوری بازی‌ها می‌تواند در مدل‌سازی تخصیص آب استفاده شود. تئوری بازی‌ها چهارچوبی برای مطالعه رفتار استراتژیک بنگاه‌های انحصاری در مسائل منابع آب با هدف توسعه راهکارهای مناسب است (۶ و ۱۶). بازی‌ها به دو دسته همکارانه و غیرهمکارانه تقسیم می‌شوند. در بازی‌های غیرهمکارانه بازیکنان مستقل تصمیم می‌گیرند. بازی همکارانه است که بازیکنان در آن ائتلاف تشکیل می‌دهند و بازیکنان به‌جای اینکه انحصاری عمل کنند در قالب ائتلاف‌ها بازی را پیش می‌برند. مطالعات زیادی در کاربرد تئوری بازی‌ها در مدیریت منابع آب صورت گرفته است.

مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است (۶، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۴ و ۲۶). مدنی در پژوهشی در مرور کلی کاربرد تئوری بازی در مدیریت منابع آب، کاربرد این تئوری را در چهار گروه طبقه‌بندی کرده است: مدل‌های تخصیص آب و سود، مدیریت آب زیرزمینی، تخصیص منابع مشترک بین مرزهای کشورها و مدیریت کیفیت منابع آب (۱۲). پژوهش اخیر نیز مرتبط با تخصیص آب و سود در سطح اراضی آبخور سد است. در پژوهش‌های مختلف در این زمینه، روش‌های حل اختلاف با استفاده از تئوری بازی‌ها متفاوت بوده است (۱۷). در پژوهشی سالازار و همکاران حل همکارانه ارائه داده‌اند که سود اقتصادی حاصل از تولیدات کشاورزی را با در نظر گرفتن تأثیرات مخرب زیست محیطی متعادل ساخته‌اند (۲۰). آنها یک روش حل اختلاف در منطقه تحت آبیاری در آلتوری ولرما در مکزیک را با توجه به الگوی کشت مختلف بررسی کردند. افزایش تقاضاها برای استحصال بیشتر آب کشاورزی و نیاز به تولید بیشتر، به‌ویژه در شهرهای پرجمعیت و توسعه یافته‌تر، سبب افزایش رقابت و اختلافات بین کشاورزان و آب‌بران شده است. این موضوع سبب شده است که محققین زیادی به بحث در این زمینه و ارائه راه‌حل‌های کاربردی و پایدار پردازند. تاکنون پژوهش‌هایی در ترکیب



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و جزییات کانال اردیبهشت و کانال‌های پایین‌دست آن در هر بخش

جدول ۱. مشخصات هر بخش تحت پوشش کانال اردیبهشت

بخش	کانال‌های تأمین آب	مساحت اراضی زیرکشت (ha)	محصولات عمده کشت شده در الگوی کشت رایج در هر بخش
۱	۱۸T, ۱۷T, ۱۶T, ۱۵T	۲۰۲۳/۵	گندم، جو، چقندر، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و برنج
۲	۲۰T, ۱۹T	۱۷۷۹/۵	گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و برنج
۳	۲۴T, ۲۳T, ۲۲T, ۲۱T	۲۱۰۰	گندم، جو، چقندر، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای

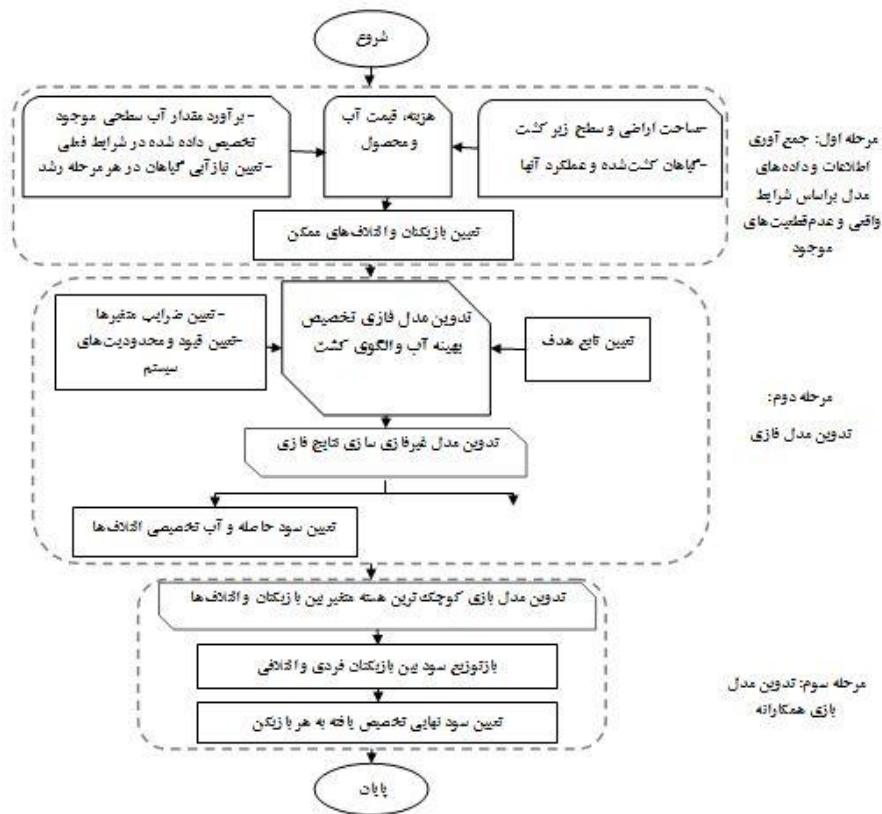
مرحله در شکل (۲) ارائه شده است.

مدل برنامه‌ریزی خطی فازی بهینه‌سازی الگوی کشت

در مسائل تصمیم‌گیری معمولی، جواب بهینه‌ای از مسئله با توجه به تابع هدف و محدودیت‌های موجود در نیازها و منابع تعیین می‌شود. مسائل برنامه‌ریزی خطی مسائلی هستند که تابع هدف آنها خطی است و با مجموعه‌ای از محدودیت‌های خطی بهینه‌سازی می‌شوند. با توجه به عدم قطعیت و عدم صراحت در دنیای واقعی و تصمیم‌گیری‌ها، ضرایب توابع و محدودیت‌ها با اعداد فازی نشان داده می‌شوند. علاوه بر این می‌توان محدودیت‌ها را با روابط عدم تساوی فازی نشان داد (۲۷). این روابط به صورت زیر است:

$$\text{Min } \tilde{f}(x) = \tilde{C}x \quad [1]$$

آبیاری و بارندگی به وسیله سیستم زهکشی دوباره به رودخانه کر باز می‌گردد. کانال اردیبهشت در ۲۲ کیلومتری از سد درودزن از آب‌پخش منشعب می‌شود و ده کانال درجه سه را آبرسانی می‌کند. موقعیت منطقه مورد مطالعه، کانال اردیبهشت و کانال‌های درجه سه و چهار پایین‌دست آن در شکل (۱) نشان داده شده است. مجموعه این کانال‌ها اراضی فاریاب به وسعت حدود ۷۰۰۰ هکتار را در بر می‌گیرند (۴). در این پژوهش میزان حقابه هر یک از بخش‌های مختلف براساس معیار عدالت تعیین شده است. مساحت بخش‌های مختلف و کانال‌های درجه دو موجود در آنها و همچنین وضعیت الگوی کشت فعلی هر بخش براساس شرایط و ویژگی‌های خاص هر بخش در جدول (۱) آورده شده است. مراحل مختلف پژوهش و ساختار مدل پیشنهادی در هر



شکل ۲. ساختار مدل پیشنهادی و مراحل مختلف آن

توسط محققین مختلف ارائه گردیده است. تانکا و اسای برنامه‌ریزی خطی فازی را با استفاده از اعداد مثلثی فازی و ترکیب مینیمم-ماکزیمم به برنامه‌ریزی غیرخطی تبدیل کردند (۲۳). لوهاندجولا با استفاده از اصول امکان بالقوه و تأثیر بالقوه و استفاده از تابع عضویت حل برنامه‌ریزی خطی معمولی کمکی در برنامه‌ریزی فازی به‌دست آورد (۱۰). لی و هوانگ توابع عضویت غیردقیق و مبهم را با اعداد مثلثی فازی از روش حداکثر کردن بیشترین مقدار ممکن سود و حداقل کردن ریسک کمترین مقدار ممکن سود حل کردند و آنها با استفاده از اصول رتبه‌بندی فازی، محدودیت‌های غیردقیق و غیرصریح را در حل این مسائل به‌کار بردند (۹). وو و همکاران الگوریتم تقریبی برای حل مسائل خطی فازی با پارامترهای فازی با هر گونه شکل تابع عضویت در توابع هدف و محدودیت‌ها، پیشنهاد کردند (۲۵). روش لی و هوانگ در مدل‌های برنامه‌ریزی خطی

توسط محققین مختلف ارائه گردیده است. تانکا و اسای برنامه‌ریزی خطی فازی را با استفاده از اعداد مثلثی فازی و ترکیب مینیمم-ماکزیمم به برنامه‌ریزی غیرخطی تبدیل کردند (۲۳). لوهاندجولا با استفاده از اصول امکان بالقوه و تأثیر بالقوه و استفاده از تابع عضویت حل برنامه‌ریزی خطی معمولی کمکی در برنامه‌ریزی فازی به‌دست آورد (۱۰). لی و هوانگ توابع عضویت غیردقیق و مبهم را با اعداد مثلثی فازی از روش حداکثر کردن بیشترین مقدار ممکن سود و حداقل کردن ریسک کمترین مقدار ممکن سود حل کردند و آنها با استفاده از اصول رتبه‌بندی فازی، محدودیت‌های غیردقیق و غیرصریح را در حل این مسائل به‌کار بردند (۹). وو و همکاران الگوریتم تقریبی برای حل مسائل خطی فازی با پارامترهای فازی با هر گونه شکل تابع عضویت در توابع هدف و محدودیت‌ها، پیشنهاد کردند (۲۵). روش لی و هوانگ در مدل‌های برنامه‌ریزی خطی

$$s.t. x \in X_d, X_d = \{x \mid \tilde{A}x \leq \tilde{b}, x \geq 0\} \quad [2]$$

به‌طوری که در معادلات بالا، \tilde{A} و \tilde{C} و \tilde{b} ماتریسی از اعداد فازی است. $\tilde{a} = (a_m, \underline{a}, \bar{a})$ در این مطالعه اعداد فازی، اعداد فازی مثلثی با تابع عضویت خطی نامتقارن (Triangular fuzzy numbers) است. این عدد فازی شامل سه عدد حقیقی و تابع عضویت آن به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} \max \left\{ 0, 1 - \frac{a_m - x}{\underline{a}} \right\}, & x \leq a_m \\ \max \left\{ 0, 1 - \frac{x - a_m}{\bar{a}} \right\}, & x > a_m \end{cases} \quad [3]$$

در این معادله a_m عدد اصلی \bar{a} و \underline{a} حد چپ و راست آن است.

معمولاً برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی، ابتدا آنها را به مسائل خطی یا غیرخطی کلاسیک تبدیل می‌کنند (۲۲). الگوریتم‌های زیادی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی

در این روابط، $IR_{(i,t)m}$ عمق آبیاری برحسب سانتی متر، Ea راندمان کاربرد آب، $Root_{(i,t)}$ عمق ریشه گیاه در هر دهه از دوره رشد بر حسب سانتی متر، $SM(t)$ مقدار رطوبت وزنی خاک در پایان هر دوره و قبل از شروع آبیاری، $SM(t_0)$ مقدار رطوبت وزنی اولیه لایه های خاک زیر عمق ریشه، $ET_{a(i,t)}$ تبخیر و تعرق گیاه i در دهه t ام برحسب سانتی متر است. اعداد فازی برای مقادیر بارندگی لحاظ شده است که به تناسب آن مقادیر عمق آبیاری نیز فازی خواهد بود. در معادلات ۸ تا ۱۰، $Rain(t)_m$ عدد اصلی، $\overline{Rain(t)}$ حد راست و $\underline{Rain(t)}$ حد چپ عدد فازی بارش است.

مدل فازی تابع هدف و محدودیت ها در تعیین الگوی کشت بهینه به صورت زیر بیان می شود:

$$\text{Max } \tilde{Z} = \sum_{i=1}^{nc} \left[\left(\tilde{Y}_{a(i)} \times \tilde{P}_{c(i)} - \tilde{C}_i - \tilde{IR}_i \times P_w \right) A_i \right] \quad [11]$$

$$\sum_{i=1}^{nc} (A_i)_s \leq A \quad [12]$$

$$\sum_{i=1}^{nc} IR_i A_i \leq (TAW) \quad [13]$$

$$A_i \leq A_{\max(i)} \quad [14]$$

$$A_i \geq A_{\min(i)} \quad [15]$$

$$A_i \geq 0 \quad [16]$$

در معادلات بالا، $\tilde{Y}_{a(i)}$ مقدار عملکرد واقعی در هکتار، $\tilde{P}_{c(i)}$ قیمت محصول، \tilde{C}_i مقدار هزینه در هکتار و \tilde{IR}_i حجم آب آبیاری در هر هکتار برای گیاه i ، P_w قیمت آب آبیاری و A_i سطح زیر کشت هر گیاه و متغیر تصمیم مدل، TAW کل آب در دسترس، A کل سطح قابل کشت $A_{\max(i)}$ و $A_{\min(i)}$ به ترتیب حداکثر و حداقل سطح زیر کشت است.

نتایج به دست آمده از هر بهینه سازی حد بالا و پایین و مقدار اصلی توابع بالا با استفاده از روش زیر به عنوان یک عدد قطعی حاصل از مدل فازی تبدیل می شود:

$$\text{Max} Z_{\downarrow} = \sum_{i=1}^{nc} \left[\left(Y_{a(i)}^R \times P_{c(i)}^R - C_i^R - IR_i^R \times P_w \right) A_i \right] \quad [17]$$

$$\text{Max} Z_{\uparrow} = \sum_{i=1}^{nc} \left[\left(Y_{a(i)}^L \times P_{c(i)}^L - C_i^L - IR_i^L \times P_w \right) A_i \right] \quad [18]$$

با اعداد مثلثی فازی کارایی بهتری دارند که در ادامه با به کاربردن آن رابطه به رابطه برنامه ریزی خطی معمولی تغییر داده خواهد شد:

$$\text{Min } Z = \begin{pmatrix} C_x^L \\ C_x^R \\ C_m^x \end{pmatrix} \quad [4]$$

$$\text{s.t. } x \in X_d = \begin{cases} A_{\beta}^L x \leq b_{\beta}^L, \\ A_{\beta}^R x \leq b_{\beta}^R, \\ A_m^x x \leq b_m^0, \\ x \geq 0 \end{cases} \quad [5]$$

که در معادلات بالا C_x^L ، C_x^R و C_m^x به ترتیب ماتریس های کران بالا و پایین و عدد اصلی اعداد فازی تابع هدف و به همین ترتیب A_{β}^L ، A_{β}^R ، b_{β}^L ، b_{β}^R ، A_m^x و b_m^0 مربوط به اعداد فازی محدودیت ها هستند. β بیان کننده حداقل درجه امکان وقوع پذیرفته شده وقتی که مقدار ضریب برابر m باشد. به طور مثال $\beta = 0$ بدین معناست که تمام مقادیر ضرایب ممکن، محدودیت ها را قانع می کند. بدون این که عمومیت مسأله تغییر کند در این مطالعه $\beta = 0$ فرض شده است. که مسأله به صورت زیر تغییر می کند:

$$\text{Min } Z = \begin{pmatrix} C_x^L \\ C_x^R \\ C_m^x \end{pmatrix} \quad [6]$$

$$\text{s.t. } x \in X_d = \begin{cases} A_x^L x \leq b_x^L, \\ A_x^R x \leq b_x^R, \\ A_x^0 x \leq b_x^0, \\ x \geq 0 \end{cases} \quad [7]$$

در مدل بهینه سازی تخصیص آب و الگوی کشت، مقدار بارش سالانه با استفاده از پیش بینی تخمین زده می شود و یا مدل سازی برای یک سال خاص که داده های بارش موجود است اجرا می گردد. عدم قطعیت موجود در مقادیر بارش را می توان با استفاده از اعداد فازی در تعیین مقدار بهینه اعماق آبیاری با استفاده از معادله های زیر در نظر گرفت:

$$IR_{(i,t)m} \times Ea = SM(t_1) \times Root_{(i,t+1)} - SM(t_0) \times Root_{(i,t)} - Rain(t)_m + ET_{a(i,t)} \quad [8]$$

$$(IR_{(i,t)m} + \overline{IR}_{(i,t)}) \times Ea = SM(t_1) \times Root_{(i,t+1)} - SM(t_0) \times Root_{(i,t)} - (Rain(t)_m + \overline{Rain(t)}) + ET_{a(i,t)} \quad [9]$$

$$(IR_{(i,t)m} - \underline{IR}_{(i,t)}) \times Ea = SM(t_1) \times Root_{(i,t+1)} - SM(t_0) \times Root_{(i,t)} - (Rain(t)_m - \underline{Rain(t)}) + ET_{a(i,t)} \quad [10]$$

جدول ۲. مقادیر ضرایب و پارامترهای مختلف مدل بهینه‌سازی فازی الگوی کشت و تخصیص آب

گیاه	راندمان کاربرد (%)	آب آبیاری مورد نیاز (هزار مترمکعب در هر فصل رشد)	تبخیر و تعرق در طی فصل رشد (میلی متر)	عملکرد (تن در هکتار)	هزینه (هزار تومان در هکتار)	قیمت (تومان بر کیلوگرم)
گندم	۶۵	(۱۱/۲ و ۱/۵ و ۱/۲)	۷۳۶/۵	(۰/۵ و ۱ و ۷)	(۱۱۲۸ و ۱۰۰ و ۲۵۰)	۳۹۵
جو	۶۵	(۰/۸ و ۰/۵ و ۹/۳)	۶۶۱/۷	(۰/۵ و ۰/۷ و ۵)	(۲۲۰ و ۳۱۰ و ۱۰۳۲)	(۳۴۰ و ۲۰ و ۰)
چقندر قند	۶۵	(۲/۲ و ۱/۷ و ۱۵/۵)	۹۳۲/۹	(۳/۵ و ۳/۵ و ۳۲)	(۲۸۰۰ و ۸۰۰ و ۵۰۰)	(۱۰۵ و ۱۵ و ۵)
ذرت دانه‌ای	۶۵	(۱/۳ و ۱/۱ و ۱۳/۲)	۷۶۰	(۱/۵ و ۲ و ۹)	(۱۳۰ و ۸۵ و ۹۶۰)	(۳۵۰ و ۵۰ و ۵۰)
ذرت علوفه‌ای	۶۵	(۰/۹ و ۱/۲ و ۱۱/۹)	۶۹۲	(۵ و ۵ و ۵)	(۳۵۰ و ۳۵۰ و ۱۳۵۰)	(۸۵ و ۱۵ و ۱۰)
برنج	۳۵	(۳/۵ و ۳/۷ و ۲۳/۴)	۹۰۱	(۱ و ۱ و ۵)	(۱۲۰۰ و ۸۵۰ و ۴۴۸۰)	(۳۰۰ و ۵۰۰ و ۱۵۰۰)

استفاده شده است. بازی به کار گرفته شده در این پژوهش، بازی همکارانه کوچک‌ترین هسته متغیر (Variable Least Core Game) است که بازتوزیع سود در یک بازی دوطرفه صورت می‌گیرد. همچنین طرفین و بازیکنان در ائتلاف عقلایی هستند و مجموع سودهای تخصیص داده شده به بازیکنان برابر با کل سود حاصل از ائتلاف است. ساختار بازی دوطرفه به صورت زیر است:

$$\text{Min } \varepsilon \quad [21]$$

s.t

$$\varphi_1 - \varepsilon \geq v_1 \quad [22]$$

$$\varphi_2 - \varepsilon \geq v_2 \quad [23]$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 \equiv v_{12} \quad [24]$$

در معادلات بالا، v میزان بی‌عدالتی، v_1 و v_2 سود بازیکنان ۱ و ۲ در صورتی که به صورت مستقل عمل کنند، v_{12} سود حاصل از ائتلاف بازیکنان ۱ و ۲، φ_1 و φ_2 سود نهایی

$$\text{Max} Z_r = \sum_{i=1}^{nc} \left[\left(Y_{a(i)m} \times P_{c(i)m} - C_{im} - IR_{im} \times P_w \right) A_i \right] \quad [19]$$

محدودیت‌های مدل‌های بهینه‌سازی ارائه شده در معادلات ۱۷ تا ۱۹، همان محدودیت‌های ۱۲ تا ۱۶ است.

اهمیت نسبی یا وزن هر یک از اهداف فازی با استفاده از روش خطی وزنی با ω_i که $\left(\sum_{i=1}^r \omega_i = 1 \right)$ است، در نظر گرفته می‌شود و خواهیم داشت:

$$[20]$$

$$\text{Max} f = \omega_1 \sum_{i=1}^{nc} \left[\left(Y_{a(i)}^R \times P_{c(i)}^R - C_i^R - IR_i^R \times P_w \right) A_i \right] + \omega_2 \sum_{i=1}^{nc} \left[\left(Y_{a(i)}^L \times P_{c(i)}^L - C_i^L - IR_i^L \times P_w \right) A_i \right] + \omega_3 \sum_{i=1}^{nc} \left[\left(Y_{a(i)m} \times P_{c(i)m} - C_{im} - IR_{im} \times P_w \right) A_i \right]$$

محدودیت‌های مدل بهینه‌سازی ارائه شده در معادله ۲۰، همان محدودیت‌های ۱۲ تا ۱۶ است.

مدل بازی همکارانه

در این پژوهش برای اولین بار تخصیص سود و آب در تعیین الگوی کشت با استفاده از اصول تئوری بازی‌های همکارانه

فازی در مدل بازی پیشنهادی در پژوهش استفاده گردیده است. در اولین مرحله براساس روش پیشنهادی مقادیر الگوی کشت بهینه هر منطقه و مقادیر حداکثر سود با در نظر گرفتن حقایق هر بخش (بازیکنان) به هر دو روش فازی و قطعی تعیین گردیده است. حل مدل قطعی براساس مقادیر اصلی پارامترها و بدون در نظر گرفتن ضرایب فازی مشابه پژوهش‌های پیشین در این زمینه در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است (۳) و (۴). همان‌طور که انتظار می‌رفت نتایج مدل قطعی در تعیین الگوی کشت و حداکثر کردن سود حاصل متفاوت خواهد بود. ولی نتایج این مدل‌ها قابل اعتماد و انعطاف‌پذیر نیست در حالی که در مدل فازی ضرایب و پارامترها (جدول (۲)) در بازه‌ای از تغییرات لحاظ شده‌اند که جهت برنامه‌ریزی و استفاده از منابع در شرایط عدم قطعیت‌های موجود جدایی‌ناپذیری از سیستم منابع آب، مناسب‌تر هستند. به‌عنوان بخشی از نتایج این قسمت مقادیر سود در انواع ائتلاف‌های ممکن در جدول (۳) آورده شده است که نشان می‌دهد در تمام موارد، نتایج مقادیر حداکثر سود کمتر از مقادیر مشابه در مدل قطعی است. این تفاوت به‌علت وجود عدم قطعیت‌ها در ضرایب تابع هدف و محدودیت‌ها بوده است. در این پژوهش در مقایسه با روش پژوهش ژنگ و همکاران در زمینه تعیین الگوی کشت با روش فازی علاوه بر فازی کردن ضرایب و پارامترها، از رویکرد تئوری بازی‌ها نیز استفاده شده است.

در قسمت بعدی مقادیر به‌دست آمده حداکثر سود در حالت ائتلاف‌های مختلف و مدل فازی به‌عنوان ورودی مدل بازی و پیامد بازیکنان در این مدل در نظر گرفته شده است. در این بازی اگر بازیکنی با شرکت در ائتلاف اصلی سود بیشتری دریافت کند به ائتلاف می‌پیوندد، در غیر این صورت به‌صورت فردی عمل خواهد کرد. هر بازیکن، تمام یا قسمتی از حقایق خود را در شرکت در ائتلاف به‌کار می‌گیرد و سپس با استفاده اصول گفته شده در قسمت‌های پیشین، سود ائتلاف اصلی بین بازیکنان توزیع مجدد گردیده و پیامد

تخصیص داده شده به هر بازیکن است. در این مرحله از حل مدل بهینه‌سازی خطی مقدار حداکثر ϵ تعیین می‌گردد. اگر تعداد بازیکنان از دو بازیکن بیشتر باشد بایستی بازی چندطرفه را به بازی‌های دوطرفه تقسیم کرد و طی چند مرحله بازی دوطرفه به حل بازی چندطرفه رسید. در این صورت اگر n بازیکن وجود داشته باشد، $n-1$ بازی دوطرفه انجام خواهد شد که الگوریتم آن به صورت زیر است:

۱. در این الگوریتم دو نوع بازیکن وجود دارد که اگر یک بازیکن به‌تنهایی وارد بازی شود بازیکن فردی (i) و اگر تعدادی از بازیکنان ائتلاف تشکیل دهند و در بازی شرکت کنند به‌عنوان یک بازیکن ائتلافی (s) شناخته می‌شوند. ابتدا در هر مرحله یک بازیکن فردی با بازیکن ائتلافی حاصل از سایر بازیکنان بازی می‌کند و در انتهای این مرحله بازیکن فردی سود خود را دریافت می‌کند.

۲. در شروع مرحله بعد بازیکن ائتلافی مرحله قبل به دو بازیکن که یک بازیکن فردی و یک بازیکن ائتلافی جدید حاصل از بقیه بازیکنان است، تقسیم می‌شوند. در هر مرحله بازیکنی که از سایر بازیکنان فردی سود بیشتری دارد به‌عنوان بازیکن فردی انتخاب می‌شود.

۳. سود کل که در هر مرحله بین بازیکن فردی و ائتلافی توزیع می‌شود برابر است با سود تخصیص داده شده به بازیکن ائتلافی در مرحله قبل.

۴. نهایتاً، در آخرین مرحله دو بازیکن فردی با هم بازی می‌کنند و سود نهایی آنها تعیین می‌گردد.

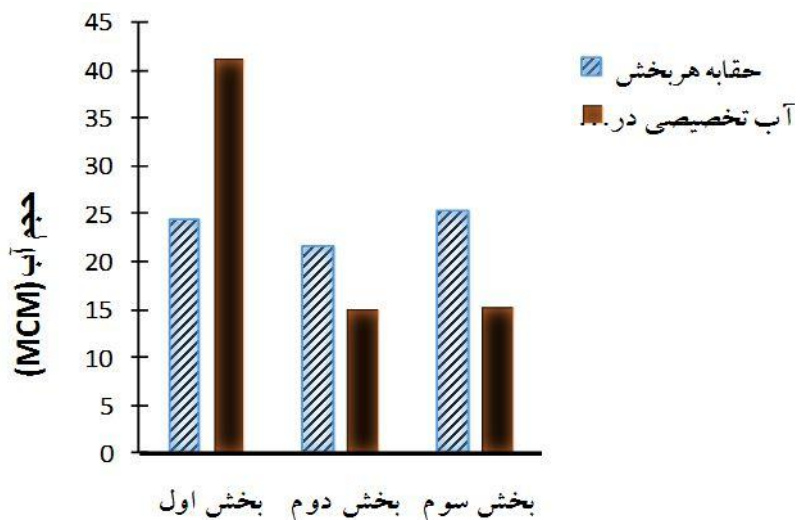
جزئیات بیشتر در مورد این بازی در پژوهش صادق و کراچیان (۱۹) و پژوهش جعفرزادگان و همکاران (۱۱) شرح داده شده است.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج مدل ارائه شده فازی نشان داده شده است و این مقادیر با مقادیر به‌دست آمده از مدل کلاسیک در تعیین الگوی کشت بهینه مقایسه شده است. سپس نتایج مدل

جدول ۳. سود تمام بازیکنان و ائتلاف‌های ممکن در مدل قطعی و فازی

سود بازیکنان در ائتلاف اصلی (میلیارد تومان در سال)		سود بازیکنان در صورت عدم شرکت در ائتلاف (میلیارد تومان در سال)			سود بازیکنان در صورت ائتلاف با دو بازیکن (میلیارد تومان در سال)		
{۳و۲}		۳	۲	۱	{۳و۱}	{۲و۱}	
مدل قطعی	۱۳/۸۲۵	۳/۵۷	۳/۴۱۵	۵/۳۰۴	۹/۲۱۰	۸/۳۲۵	۷/۲۰۵
مدل فازی	۹/۷۲۴	۲/۸۶۵	۲/۴۶۵	۳/۵۷۶	۶/۶۹۷	۶/۳۵۶	۵/۷۵۶



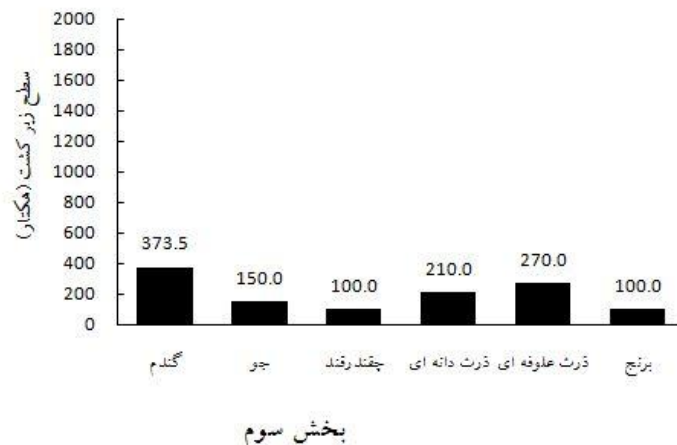
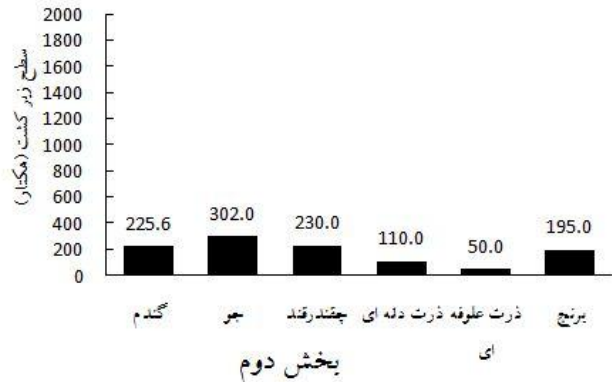
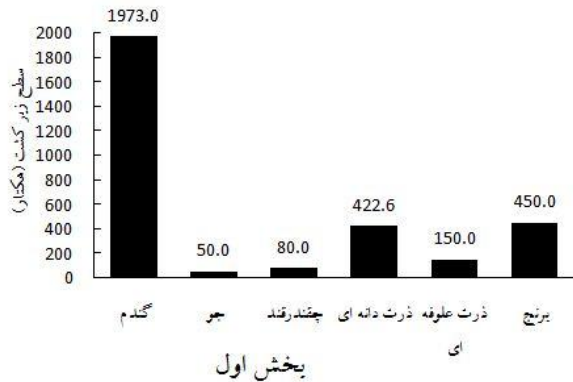
شکل ۳. مقایسه مقادیر حقابه و آب تخصیص داده شده به هر بخش در ائتلاف اصلی

پارامترهای هر بخش در جدول (۲) تعیین شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در بخش اول، با توجه محدودیت‌ها و مقدار سود حاصل از کشت محصولات مختلف، سطح زیر کشت گیاهان گندم، ذرت دانه‌ای و برنج افزایش می‌یابد. بر این اساس هر کدام از بازیکنان در صورت شرکت در ائتلاف اصلی مقادیر سود بیشتری را در مقایسه با حالتی که به صورت فردی عمل کنند، به دست می‌آورند. به عنوان مثال سود بازیکن ۱ (بخش اول) در صورتی که به صورت انفرادی عمل کند، ۳/۵۷۶ میلیارد تومان در سال است (جدول ۳) و در صورت شرکت در ائتلاف به ۳/۷۷۲ میلیارد تومان در سال خواهد بود (جدول ۴). به همین ترتیب سایر بازیکنان نیز افزایش سود داشته‌اند. در جدول ۴ مقادیر سود تخصیص داده شده به هر بازیکن (پس از بازتوزیع) با استفاده از بازی به کار گرفته شده تعیین شده است که همان‌طور که گفته شد مقادیر سود تخصیص داده شده به هر

نهایی هر بازیکن (سود نهایی تخصیص داده شده به هر بخش) تعیین شده است (جدول ۴). شکل (۳) و (۴) نتایج حاصل از شکل‌گیری ائتلاف اصلی را نشان می‌دهد. در شکل ۳ مقادیر آب تخصیصی و حقابه هر بازیکن قبل و بعد از بازی با هم مقایسه گردیده است. همان‌طور که انتظار می‌رود مقادیر آب تخصیصی بازیکن ۲ و ۳ کاهش می‌یابد و به مقدار آب تخصیصی بازیکن ۱ که ظرفیت سودآوری بیشتری را دارد، افزوده شده است. الگوی بهینه کشت پس از شکل‌گیری ائتلاف اصلی، (با توجه به خصوصیات و شرایط هر بخش) در شکل ۴ نشان داده شده است. به‌طور کلی همان‌طور که در قسمت‌های پیشین به آن اشاره گردید مدل بازی همکارانه آب بیشتری به بخشی که بازده و پتانسیل تولید بیشتر دارد تخصیص می‌دهد. تفاوت‌های بخش‌های مختلف براساس میزان دسترسی به منابع آب، نیروی انسانی و نهاده‌ها، کیفیت و کمیت تولید و سایر

جدول ۴. سود نهایی تخصیص داده شده به هر بخش (بازیکن)

Φ_1 (میلیارد تومان در سال)	Φ_2 (میلیارد تومان در سال)	Φ_3 (میلیارد تومان در سال)
۳/۷۷۲	۲/۷۷۶	۳/۱۶۷



شکل ۴. سطح زیر کشت گیاهان مختلف در الگوی کشت در ائتلاف اصلی (ha)

استراتژیهای دینفعان و ذی‌مدخلان می‌پردازد. در تحقیقات پیشین از این اصول در مدیریت آبیاری جهت تحلیل‌های مختلف بهره‌برداری از منابع آب استفاده گردیده است (۱۷). در این پژوهش نیز با تحلیل مقادیر حبابه‌های بخش‌های مختلف و تفاوت‌های موجود در ساختار کشاورزی هر بخش از اصول این نظریه در تخصیص و بازتوزیع سود استفاده گردید که نتایج نشان داد که استفاده از این اصول به افزایش سود خالص تمام بخش‌ها خواهد انجامید. به‌طور کلی روش پیشنهادی در این

بخش پس از تشکیل ائتلاف افزایش می‌یابد. سودخالص به‌صورت عادلانه و عقلایی بین بازیکنان از روش بازی حداقل هسته متغیر با استفاده از الگوریتمی که در قسمت‌های قبل به آن اشاره شده است باز توزیع گردیده است. بنابراین با توجه به این نتایج می‌توان گفت که مقدار بهره‌وری آب در مقایسه با حالتی که ائتلافی شکل نگیرد افزایش یافته است و مقدار سود خالص حاصل از کشت محصولات مختلف نیز افزایش خواهد یافت. اصول نظری بازی‌ها ساختاری است که به پیش‌بینی

شرکت‌کننده در ائتلاف، بهینه‌سازی در هر ائتلاف با هدف دستیابی به حداکثر سود صورت گرفته است. در مرحله بعد، سود کل در روشی عقلایی و عادلانه با استفاده از مدل بازی همکارانه کوچک‌ترین هسته متغیر، سود بازتوزیع شده است. نتایج نشان می‌دهد که در صورتی که بازیکنان در ائتلاف شرکت کنند سود بیشتری دریافت خواهند کرد و مصرف بهینه آب افزایش پیدا می‌کند. این قبیل پژوهش‌ها در مدیریت آبیاری به تصمیم‌گیران و ذینفعان استفاده از روش‌های خلاقانه در استفاده از آب را پیشنهاد می‌کند. در پژوهش‌های آینده، می‌توان از مدل‌های پویا و غیرخطی فازی و سایر اصول نظری بازی با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در ضرایب، محدودیت‌ها و ائتلاف‌ها استفاده کرد. همچنین می‌توان سایر مدل‌های فازی را جهت تخمین مقادیر اهداف مختلف، تعیین ارزش و قیمت واقعی آب و میزان رضایت کشاورزان به کار گرفت. روش‌های مختلف به کار گرفته شده در این پژوهش قابل تعمیم به سایر مسائل تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی است و می‌توان سایر مدل‌های مرتبط در این زمینه را به این مدل‌ها ارتباط داد.

مقاله در مقایسه با تحقیقات مرتبط در این زمینه، دیدگاه جدیدی در تخصیص آب به بخش‌های مختلف کشاورزی و تعیین الگوی بهینه کشت در منطقه مورد بررسی قرار داده است که نتایج در مقایسه با نتایج مدل‌های پیشین قابلیت اعمال مسائل اجتماعی، رقابت و همکاری‌های سازنده را داشته و تفاوت‌های ساختاری با تحقیقات گذشته دارد.

نتیجه‌گیری

یکی از موضوعات مهم در زمینه مدیریت منابع آب تخصیص بهینه آب آبیاری بین آب‌بران و کشت‌های مختلف است. در این پژوهش مدل‌های جدیدی براساس اصول نظری مجموعه‌های فازی و اصول نظری بازی‌های همکارانه ارائه گردیده است و نتایج این روش‌ها و مقایسه آنها با روش‌های قطعی و پیشین در مطالعه‌ای موردی در شبکه آبیاری درودزن فارس مطالعه و بررسی شده است. در روش پیشنهادی، مدل بهینه‌سازی تأمین حداکثر سود اولیه، تخصیص آب و الگوی بهینه کشت تدوین شده و سپس در ائتلاف‌های مختلف با توجه به بازیکنان

منابع مورد استفاده

۱. اکبری، ن.، و م. زاهدی کیوان. ۱۳۸۷. تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی و کاربرد آن در تعیین الگوی بهینه کشت در مزارع. مجله اقتصاد کشاورزی ۴(۲): ۳۶-۲۱.
۲. راعی جدیدی، م.، و م. صبحی صابونی. ۱۳۸۹. برنامه‌ریزی زراعی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه فازی. مجله دانش کشاورزی پایدار ۲۰(۱): ۲۲-۱۱.
۳. ربیعی، ز. ۱۳۸۹. تعیین الگوی بهینه کشت در شرایط کمبود منابع آب با استفاده از بیان کامل آب در خاک در کانال اردیبهشت سد درودزن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۴. شعبانی، م. ک. ۱۳۸۵. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
5. Aadland, A. and V. Kolpin. 2004. Erratum to Environmental determinants of cost sharing. *J. Econo. Behav. & Org.* 55: 105-121.
6. Ambec, S. and L. Ehlers. 2007. Sharing a river among satiable countries. Working Paper, GAEL and Université deMontréal.
7. Dai, Z. Y. and Y. P. Li. 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. *J. Agri. Water Manage.* 129: 69-79.
8. Daneshvar Kakhki, M. 2009. The determination of optimal crop pattern with aim of reduction in hazards of environmental. *J. Agri. and Bio. Sci.* 4. 4(4): 305-310.
9. Lai, Y. J. and C. L. Hwang. 1992. A new approach to some possibilistic linear programming problems. *J. Fuzzy Sets*

- and Systems. 49: 121-133.
10. Luhandjula, M. K. 1987. Multiple objective programming problems with possibilistic coefficients. *J. Fuzzy Sets and Systems*. 21: 135-145.
 11. Jafarzadegan, K., A. Abed-Elmdoust and R. Kerachian. 2013. A fuzzy variable least core game for inter-basin water resources allocation under uncertainty. *J. Water Resour. Manage.* 27: 3247-3260.
 12. Madani, K. 2010. Game theory and water resources. *J. Hydrology*. 381(3-4): 225-238.
 13. Mckinney, D. C. and R. L. Teasley. 2007. Cooperative game theory for transboundary river basins: the Syra Daryabasin. *Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress, May, Florida*.
 14. Mahjouri, N. and M. Ardestani. 2011. Application of cooperative and non-cooperative games in large-scale water quantity and quality management: a case study. *J. Environ. Monit Assess.* 172(1-4): 157-169.
 15. Nikoo, M. R., R. Kerachian and H. Poorsepahy-Samian. 2012. An interval parameter model for cooperative inter-basin water resources allocation considering the water quality issues. *J. Water Resour. Manag.* 26(11): 3329-3343.
 16. Niksokhan, M. H., R. Kerachian and M. Karamouz. 2009. A game theoretic approach for trading discharge Permits in Rivers. *J. Water Sci. Tech.* 60(3): 793-804.
 17. Podimata, M. and P. Yannopoulos. 2015. Evolution of game theory application in irrigation systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 4: 271-281.
 18. Poorsepahy-Samian, H., R. Kerachian and M. R. Nikoo. 2012. Water and pollution discharge permit allocation to agricultural zones: application of game theory and min-max regret analysis. *J. Water Resour. Manag.* 26: 4241-4257.
 19. Sadegh, M. and R Kerachian. 2011. Water resources allocation using solution concepts of fuzzy cooperative games: fuzzy least core and fuzzy weak least core. *J. Water Resour. Manag.* 25(10): 2543-2573.
 20. Salazar, R., F. Szidarovszky Jr. E. Coppola and A. Rojano. 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. *J. Environ. Manage.* 84(4): 560-571.
 21. Sepaskhah, A. R. and B. Ghahraman 2004. The effects of irrigation efficiency and uniformity coefficient on relative yeild and profit for deficit irrigation. *J. Biosys. Engineer.* 87: 495-507.
 22. Tanaka, H., T. Okuda and K. Asai. 1974. On fuzzy mathematical programming. *J. Cybernetics*. 3: 37-46.
 23. Tanaka, H. and K. Asai. 1984. Fuzzy linear programming problems with fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*. 13: 1-10.
 24. Wang, L., L. Fang and K. W. Hipel. 2008. Basin-wide cooperative resources allocation. *Eur. J. Oper. Res.* 190(3): 798-817.
 25. Wu, F., J. Lu and G. Zhang. 2006. A new approximate algorithm for solving multiple objective linear programming problems with fuzzy parameters. *J. Applied Mathematic Comput.* 174: 524-544.
 26. Xuesen, L., W. Bende, R. Mehrotra, A. Sharma and W. Guoli. 2009. Consideration of trends in evaluating inter-basin water transfer alternatives within a fuzzy decision making framework. *Water Resour. Manag.* 23: 3207-3322.
 27. Zeng, X., S. Kang, F. Li, L. Zhang and P. Guo. 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricul. Water Manage.* 98: 134-142.
 28. Zorba, A. S., P. K. Tolikas and D. K. Tolikas. 2001. Application of game theory to the exploitation of an aquifer with pumping wells. *Tech. Chronicle Sci. J. Tech. Champer of Greece*. 1(2): 43-52 (in Greek).

Developing a Fuzzy Crop Pattern and Water Allocation Optimization Model Based on Cooperative Game Theory: A Case Study, Ordibehesht Canal at the Doroodzan Irrigation Network, Northwest of Fars Province in Iran

M. Omidvar¹, T. Honar¹, M. R. Nikoo^{2*} and A. R. Sepaskhah²

(Received: Feb. 22-2015 ; Accepted : July 25-2015)

Abstract

At the river catchments, different strategies at the whole or different parts of the basin can be applied for water resources management. One of these strategies is optimal water allocation and crop pattern. In this study, an optimization model for water allocation and cropping pattern is presented based on the cooperative game theory. To measure the performance of the developed model, the cultivated area of Ordibehesht Canal in the Doroodzan irrigation network has been studied. First, using a fuzzy model and considering the fuzzy coefficients values in the objective function and constraints, the optimal crop pattern and allocated water has been determined for each crop. Second, benefits of stakeholder's coalitions have been determined by developing a cooperative game model and based on the structure and properties of the irrigation water distribution network and water rights of each part. Then, the total net benefit has been reallocated to the different stakeholder in a rational and equitable way using Least Core games. The results show that by allocating more water to the sectors with more potential production, more profits are generated and water productivity increases. For example when players cooperate together and form the grand coalition, the net benefit increases from 8.906 billion Tomans to 9.724 billion Tomans that show an increase in the economic productivity of water.

Keywords: Optimal cropping pattern, Optimal water allocation, Fuzzy model, Cooperative game.

1. Dept. of Water Eng., Faculty of Agriculture, Shiraz Univ., Shiraz, Iran.

2. Dept. of Civil and Environ. Eng., Faculty of Eng., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.

* Corresponding Author, Email: nikoo@shirazu.ac.ir