Arshive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷
Volume 14, No. 1, Spring 2018 (IR-WRR)
۱۳-۲۴

مدل برنامه‌ریزی خطی فازی برای بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه‌ی زرینه‌رود

مژگان اسعدی مهربانی[۱]، محمد ابراهیم بنی‌حبیب[۲*] و عباس روزبهانی[۳]

چکیده

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب بوده و عدم‌قطعیت از جمله مسائل اجتناب‌ناپذیر در مدیریت آب در این بخش است. لذا در مطالعه‌ی حاضر، به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه زرینه‌رود با هدف حداکثرسازیِ سود خالص کشاورزی و با درنظرگیریِ عدم‌قطعیت‌های موجود، از برنامه‌ریزیِ خطیِ تماماً فازی و با دو روشِ حل متفاوت، استفاده شده است. عدم‌قطعیت‌های موجود در تدوین بهترین الگوی کشت، با استفاده از روش فازی لحاظ گردیده است. همچنین به‌منظور در نظرگرفتن عدم‌قطعیت‌های ناشی از محدودیتِ مقدار آب دردسترس، سه وضعیت هیدرولوژیکی حداقل، متوسط و حداکثر مقادیر در بهینه‌سازی فازی در نظر گرفته شد. نتایجِ حاصل از اجرای بهینه‌سازیِ تماماً فازی، حاکی از افزایشِ سود خالص به میزان ۲/۵۳ درصد نسبت به بهینه‌سازیِ قطعی و افزایشی معادل ۳۶/۳۴ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی از طریق کاهش سطوح زیرکشت محصولاتِ با سود خالص کم و افزایش سطح زیرکشت محصولاتِ با درآمد بالا می‌باشد. همچنین استفاده از برنامه‌ریزیِ خطیِ تماماً فازی منجر به صرفه‌جویی بیش‌تری در مصرف آب به میزان ۸۸/۲۲ درصد می‌گردد. درنظرگیری باندهای عدم‌قطعیت ۱۰ و ۲۰ درصدی درخصوص برخی از پارامترهای مدل بهینه‌سازی، به‌ترتیب منجر به ایجاد صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب و حصول سود خالص بیش‌تر از کشت محصولات الگوی کشت می‌گردند. بدین ترتیب، بهینه‌سازی الگوی کشت با درنظرگیری عدم‌قطعیت‌های حاکم، به‌کمک روش فازی امکان برنامه‌ریزی بهینه‌تر آب کشاورزی را فراهم می‌سازد.

کلمات کلیدی: الگوی بهینه‌ی کشت، برنامه‌ریزی خطی فازی، زرینه‌رود، عدم‌قطعیت.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۴/۶

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری زهکشی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان.
۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری زهکشی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Fuzzy Linear Programming Model for the Optimization of Cropping Pattern in Zarrinehroud Basin

M. Asaadi-Mehrabani [1], M.E. Banihabib [2] and A. Roozbahany[3]*

Abstract

Agricultural sector is the largest water consumer and uncertainty is an inevitable aspect of water management in this sector. In this study, fully fuzzy linear programming using two different solutions were applied for multi-objective optimizing of cropping pattern and net benefit in the uncertain conditions for the Zarrinehroud Basin. The uncertainties within the optimized cropping pattern were considered using a fuzzy method. Moreover, in order to consider the uncertainties in the available water limitation, three different hydrological conditions were applied to determine maximum, average, and minimum of fuzzy bond. The results showed an increase of %2.53 in net benefit comparing to the crisp optimization and an increase of %36.34 comparing to the present cropping pattern through decreasing low income crops substituted by high income crops. It is also shown that applying fully fuzzy linear programming instead of crisp linear programming leads to a greater saving in water consumption with the amount of %88.22. Considering %10 and %20 uncertainty bands for optimization parameters caused more water saving and net benefits from optimal cropping pattern. Therefore, optimization of cropping pattern through considering uncertainties based on fuzzy method leads to a more optimal planning for agricultural water.

Keywords: Fuzzy Linear Programming, Optimized Cropping Pattern, Uncertainty, Zarrinehroud.

Received: March 4, 2017
Accepted: June 27, 2017

1- MSc Student in Water Resources Engineering, Abouraihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Abouraihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: banihabib@ut.ac.ir
3- Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Abouraihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Arshive of SID

۱- مقدمه

امروزه یکی از راهکارهای اساسی جهت مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی، انتخاب الگوی کشت مناسب و تعیین استراتژی‌های تخصیص بهینه‌ی آب کشاورزی می‌باشد که در شرایط محدود بودن منابع آب و فراوانی اراضی قابل کشت، هدف می‌بایست افزایش کارایی مصرف آب، استفاده‌ی بهینه از منابع آب محدود و حصول بیش‌ترین سود اقتصادی باشد (Sepaskhah and Ghahreman, 2004). در شرایط واقعی و در بسیاری از مسائل عملی، به‌خاطر طبیعت سیستم مورد بررسی، عملاً نمی‌توان ضرایب و متغیرهای تابع هدف و قیود مدل‌های بهینه‌سازی را به‌صورت ارقام قطعی درنظرگرفت. چرا که توابع استفاده شده به‌صورت دقیق و قطعی تعریف نشده‌اند و یا طبیعت مسأله‌ی تصمیم‌گیری فقط با در نظرگرفتن عدم‌قطعیت‌های حاکم بر هر پدیده قابل بررسی است. هم‌چنین، عدم‌قطعیت موجود در پدیده‌های جهان و محدودیت دانش بشری، منجر شده تا بسیاری از پارامترها مانند کمیت‌های آب‌های سطحی، میزان محصول گیاه، قیمت‌ها، حجم آبیاری و دیگر موارد قطعی و مشخص نباشند (Zeng et al., 2010).

بهینه‌سازی قطعی الگوی کشت و میزان تقاضا به عنوان راهکاری برای مدیریت منابع آبی و تخصیص بهینه‌ی منابع، مبنای مطالعات محققین زیادی بوده است (Mirzaei and Ahmadpour-Borazjan, 2016; Fathi and Zibaei, 2012; Banihabib et al., 2017). به منظور برقراری تراز بین برداشت و تغذیه، راهکارهای عمده مشتمل بر تقویت مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی، بکارگیری سیاست‌های مدیریت تقاضا نظیر الگوی کشت بهینه، بهبود راندمان آبیاری و افزایش عرضه آب می‌باشد (Fathi and Zibaei, 2012). همچنین، در تحقیقی در مناطق کشت آبی شهرستان آمل، نتایج حاصل از بهینه‌سازی الگوی کشت منجر به افزایش سطح زیرکشت محصولاتِ با صرفه اقتصادی بالا مانند برنج و نیاز آبی پایین مانند ذرت علوفه‌ای گردید (Mirzaei and Ahmadpour-Borazjan, 2016). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که مهمترین راهبرد برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک کشور، راهبرد تغییر الگوی کشت بوده و استفاده از مدل بهینه‌سازی تخصیص آب-زمین و شیوه کم‌آبیاری، موجب افزایش سطح زیرکشت محصولاتی با راندمان اقتصادی بالاتر خواهد شد (Banihabib et al., 2017).

Banihabib et al. (2015 a) با تدوین یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی و انجام بهینه‌سازی با دو زیرمدل، به تخصیص بهینه‌ی آب و تعیین الگوی بهینه‌ی کشت در شرایط کم‌آبیاری در استان‌های تهران و البرز پرداختند. نتایج نشان داد که با تبدیل سطح زیرکشت به بهینه‌ترین حالت و استفاده از روش کم‌آبیاری، می‌توان سود اقتصادی بخش کشاورزیِ استان‌های یاد شده را نسبت به وضع موجود، بهبود بخشید. Ouhabyazdi et al. (2014) در حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود به بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف حداکثرسازی سود کشاورزی با استفاده از روش‌های الگوریتم ژنتیک و روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با انتخاب الگوی مناسب کشاورزی و تخصیص زمانی مناسب و به‌موقع آب، می‌توان سود خالص را تا ۱/۷ برابر افزایش و هم‌چنین مقدار آب تخصیصی به مصارف را با بهینه‌سازی کاهش داد. Banihabib et al. (2015 b) یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی را به منظور بهینه‌سازی بازتخصیص آبِ درون‌بخشی برای نواحی خشک ارائه کردند. مدل مذکور، آب بازتخصیص شده را بین بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و خدمات، بر اساس مقدار آب دردسترس و موجود و آب تخصیص‌یافته به هر بخش، بهینه می‌سازد. نتایج نشان داد با حفظ همان مقدار آبِ مصرف شده، اگر استراتژی تخصیص بهینه به‌کارگرفته شود، سود خالص به‌میزان ۲/۸۳ برابر بیش‌تر شده و آب مصرف شده در بخش کشاورزی به میزان ۲۹ درصد کاهش یافته و آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی از مقدار ۹۳/۴۹ درصد به مقدار ۷۱/۶۹ درصد کاهش می‌یابد. بدین‌ترتیب از این مقدار آب آزاد شده می‌توان در سایر بخش‌ها استفاده نمود. Regulvwar and Gurav (2011) به تعیین الگوی بهینه کشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی در ایالت ماهارشترا در هند پرداختند. بهینه‌سازی قطعی الگوی کشت با هدف حداکثرسازی سود حاصل از کشاورزی به‌کمک روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در مطالعات محققین دیگری نیز از جمله Habibi davijani et al. (2016 a, b)، Huang et al. (2010)، Speelman et al. (2009) و Gomez et al. (2004) یافت می‌شود.

در تعیین الگوی کشت به‌عنوان یک مسأله‌ی تصمیم‌گیری، مدل برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی قطعی، برای تصمیم‌گیری در چنین محیطِ غیرقطعی مناسب نبوده و استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی به‌جای تئوری مجموعه‌های کلاسیک می‌تواند کاراتر باشد. در این زمینه تحقیق‌های مختلفی صورت گرفته است که در هر کدام تلاش شده تا عدم‌قطعیت‌های موجود به روش‌های مختلفی لحاظ گردد. از میان مطالعات انجام شده در داخل کشور می‌توان به این موارد اشاره نمود: Sakhdari et al. (2011) درشهرستان نیشابور به تعیین الگوی بهینه‌ی کشت، اثر قیمت آب برتخصیص آب آبیاری و برآورد تابع تقاضای آب کشاورزی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و با هدف حداکثرسازی سود ناخالص و حداقل‌سازی ریسک به کمک روش حداقل ریسک (Mootad) پرداختند. سود ناخالص، راندمان زراعی و منبع آب دردسترس در مدل برنامه‌ریزیِ ریاضیِ به‌کارگرفته شده

www.SID.ir

Arshive of SID

به‌صورت فازی درنظرگرفته شدند. نتایج نشان داد بهینه‌سازی الگوهای کشت و تخصیص آب آبیاری با لحاظ عدم‌قطعیت‌ها، به پایداری منابع آب در بخش کشاورزی کمک قابل توجهی می‌کند. همچنین این محققین پیشنهاد درنظرگیری ریسک در سودهای ناخالص را نیز مطرح کردند. Mohammadi et al. (2011) با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازیِ چندهدفه‌ی غیرخطی فازی به تعیین الگوی کشت بهینه در استان فارس پرداختند. هدف از پژوهش انجام شده، افزایش بازده برنامه‌ای کشاورزان در کنار کاهش مصرف آب، کاهش مصرف کود شیمیایی، حداقل ریسک و افزایش اشتغال، از طریق اصلاح الگوی کشت محصولات زراعی بوده است. به‌منظور درنظرگیریِ عدم‌قطعیت‌های موجود در این زمینه، منطق فازی مورد استفاده قرار گرفت و تابع هدف در مدل بهینه‌سازی، به‌صورت فازی درنظرگرفته شد. Ahmadpoor and Sobuhi (2009) به‌منظور قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی، روش برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای را در شهرستان دشتستان به‌کارگرفتند، ضرایب متغیرهای تصمیم در تابع هدف، ضرایب فنی و سمت راست محدودیت‌ها به‌گونه‌ای به‌صورت غیرقطعی درنظرگرفته شد که در یک بازه در نوسان هستند. آن‌ها با درنظرگیری تنها دو حد بالا و پایین، مدل اصلی را به دو زیرمدل بازنویسی کرده و به حل مسأله‌های برنامه‌ریزی خطی ساده‌ی ایجاد شده پرداختند. مطالعات انجام شده در خارج از کشور شامل پژوهش‌های Morankar et al. (2013) و Regulvwar and Gurav (2012) در ایالت ماهارشترا، هند، می‌باشد. Morankar et al. (2013) با تدوین یک مدل برنامه‌ریزی با سه هدفِ حداکثرسازیِ سود خالص، تولید محصول و اشتغال‌زایی و با درنظرگیریِ سه شکل متفاوتِ غیرخطی، نمایی و هذلولی برای تابع عضویت، به بهینه‌سازیِ الگوی کشت پرداختند. ضرایب تابع هدف به‌صورت اعداد فازی درنظرگرفته شدند. نتایج نشان داد الگوی کشتِ بهینه‌ی ارائه شده توسط توابع هدف با اشکال نمایی و هذلولی مناسب‌تر بوده و در کل، درنظرگیری عدم‌قطعیت‌ها به‌صورت فازی، نسبت به حالت قطعی، الگوی کشت بهینه را بهبود بخشید. Regulvwar and Gurav (2012) نیز با استفاده از برنامه‌ریزیِ چندهدفه‌ی فازی با اهداف بهینه‌سازیِ سود خالص، عملکرد محصول و اشتغال‌زایی، به تعیین الگوی کشت بهینه تحت شرایط عدم‌قطعیت با درنظرگیری چند حالتِ مختلف فازی در مسأله‌ی بهینه‌سازی پرداختند و مقایسه‌های انجام شده بین حالت‌های مختلفِ درنظرگیریِ تابع هدف، ضرایب فنی و مقادیر سمت راست قیود به شکل فازی، مناسب‌تر بودن نتایجِ حاصل از درنظرگیری عدم‌قطعیت به شکل فازی را نشان داد. دیگر پژوهش‌های موجود در این زمینه شامل مطالعات انجام شده توسط Tan et al. (2013)، Rani and Moreira (2010)، Deep et al. (2009)، Kagade and Bajaj (2009) و Lu et al. (2009) می‌باشد. بررسی مطالعات پیشین، حاکی از آن است که گزارشی مبنی بر تعیین الگوی بهینه‌ی کشت، در حالتی که تمامی ضرایب معادله‌ی بهینه‌سازیِ خطی و تک هدفه، در سه وضعیت هیدرولوژیکیِ متفاوت (نرمال، ترسالی و خشک‌سالی)، اعدادی فازی درنظرگرفته شده باشند، تهیه نشده است. این در حالی است که یکی از مهم‌ترین عدم قطعیت‌های موجود در کشاورزی از تغییرات بارش و دما ناشی شده و وضعیت‌های هیدرولوژیکیِ متفاوت (نرمال، ترسالی و خشک‌سالی) را موجب می‌گردد.

در پژوهش حاضر، به‌منظور تدوین الگوی بهینه‌ی کشت و تخصیص بهینه‌ی منابع، مدل برنامه‌ریزی خطیِ تک هدفه و با هدف حداکثرسازیِ سود خالص کشاورزی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در این تحقیق، برای بهبود مدل برنامه‌ریزی خطیِ تک هدفه از برنامه‌ریزیِ غیرقطعی در تدوین بهینه‌ترین الگوی کشت استفاده شده و با برنامه‌ریزیِ قطعی مقایسه گردیده است. از آنجایی که عدم‌قطعیت موجود در تدوین الگوی بهینه‌ی کشت در این تحقیق، درخصوص ضرایب تابع هدف و قیود (منابع موجود (ضرایب سمت راست) و ضرایب فنی (ضرایب سمت چپ)) عمدتاً از نوع ابهام می‌باشند، منطق فازی به‌منظور راهکاری برای درنظرگیری این عدم‌قطعیت‌ها در قالب یک مسأله‌ی برنامه‌ریزیِ تماماً فازی در تدوین بهینه‌ترین الگوی کشت، به‌کاررفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

۲-۱-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه (شکل۱)، حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود با گستره‌ای بالغ بر ۱۱۵۷۸ کیلومترمربع بوده و در شمال غربی ایران واقع شده است. از نظر تقسیمات کشوری، این زیرحوضه در محدوده استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان و زنجان قرار گرفته، ولی بیش‌ترین سهم این زیرحوضه متعلق به استان آذربایجان غربی است. رودخانه‌ی زرینه‌رود از کوه‌های چهل چشمه‌ی کردستان سرچشمه می‌گیرد و از گوشه‌ی جنوب شرقی به دریاچه‌ی ارومیه می‌ریزد. طول رودخانه ۲۴۰ کیلومتر و میانگین آبدهی این رودخانه ماهانه ۱۳۹/۵ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود (Ministry of Energy, 2010).

حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود، یکی از قطب‌های کشاورزیِ ایران و بزرگ‌ترین زیرحوضه‌ی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد. دریاچه‌ی ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه‌ی داخلی کشور و دومین دریاچه‌ی آب شور جهان، در سال‌های اخیر به‌علت تغییرات اقلیمی، بهره‌برداری‌های بیش از حد استان‌های ذی‌نفع حوضه از رودخانه‌های

www.SID.ir

Arshive of SID

جاری به دریاچه و پایین بودن بازده کشاورزی، با شرایط بحرانی روبه‌رو شده است (Zarghami and Saffari, 2013).

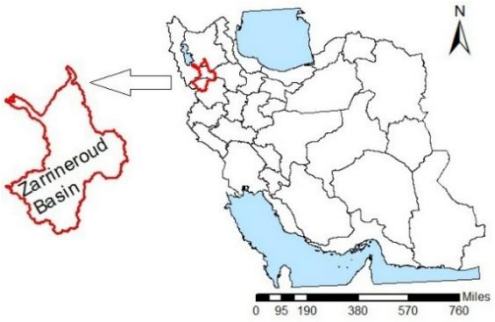

Fig. 1- The Location of the study area
شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

شایان‌ذکر است ۲۱ محصولِ انتخاب شده به‌عنوان الگوی کشت، دارای بیش‌ترین سطوح کشت بوده و حدوداً ۹۸ درصد از سطح زیر کشت موجود در منطقه را پوشش می‌دهند (جدول۱). سود خالصِ ارائه شده در جدول ۱، حاصلِ ضربِ مقادیرِ سود خالص به‌دست آمده از تفاضل قیمت‌های فروش و هزینه‌های تولید محصولات مختلف کشاورزی (میلیون ریال در هکتار) در مقادیر سطوح زیرکشت محصولات (هکتار)، می‌باشد (سال‌نامه‌ی آماری وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴).

همانطور که مشاهده می‌گردد، در الگوی کشت فعلی، محصولات گندم، یونجه و جو، به‌ترتیب، دارای بیش‌ترین سطوح زیر کشت و محصولات ذرت دانه‌ای، گیلاس و آفتاب‌گردان روغنی، به‌ترتیب دارای کمترین سطوح زیرکشت می‌باشند. براساس یافته‌های این تحقیق، سود خالص حاصل از الگوی کشت فعلی (۱۳۹۴) ۲۱۶۵۱۹۸ میلیون ریال و مقدار آب مصرف شده در این الگوی کشت، ۸۵۱۲۸۸ هزار متر مکعب است.

۲-۲- روش تحقیق

۲-۲-۱- مدل بهینه‌سازی الگوی کشت

در این پژوهش، به‌منظور تدوین الگوی بهینه‌ی کشت، از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده گردیده، که در آن حداکثرسازی سودخالص کل تولید در نواحی آبیاری شده و تحت وضعیت هیدرولوژیکی نرمال، ترسالی و خشک‌سالی مدنظر قرار گرفته است. در تدوین بهینه‌ترین الگوی کشت در این تحقیق، فرض بر آن است که منابع مهمی از جمله منابعِ نیروی کار، سرمایه، انرژی، سموم و آفت‌کش‌ها، کود، بذر و ماشین‌آلات در تولید محصولات کشاورزی، محدودکننده نبوده و تنها دو محدودیت سطح زیرکشت و منبع آب دردسترس، بهینه‌سازیِ الگویِ کشتِ مدنظر در این تحقیق را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

Table 1- Cropping areas, net benefit and water consumption in 2015*
جدول ۱- سطح زیرکشت محصولات، سود خالص، میزان آب مصرفی در ۱۳۹۴*

Crop	Cropping area (%)	Gross irrigation water (mm)	Net benefit (Rials per Kilogram)	Crop	Percent of cropped area	Gross irrigation water (mm)	Net benefit (Rials per Kilogram)
Wheat	38.69	958.91	7709.14	Potato	0.81	2038.33	3649.49
Alfalfa	35.68	1165.41	4995.39	Apple	0.56	1513.32	6732.72
Barely	6.55	1775.96	5754.41	Rapeseed	0.47	1852.37	15072.83
Pea	4.81	1590.35	1001.52	Apricot	0.36	1253.43	28867.83
Onion	2.47	2305.88	6243.30	Squash	0.35	1430.03	8409.18
Grape	2.13	606.79	2003.65	Almonds	0.29	1620.73	43510.88
Tomato	1.85	2245.45	3408.90	Peach	0.23	1253.43	20671.79
Watermelon	1.33	1719.07	3017.27	Corn	0.19	1852.37	7784.20
Walnut	1.15	1513.32	155006.15	Cherry	0.11	1513.32	31147.09
Cucumbers	0.97	1430.03	8311.74	Sunflower	0.07	1875.94	19501.24
Maize	0.92	1852.37	9173.95				
Net benefit (Million rials)			2165198	Water consumption (Thousand cubic meters)			851288

*References: Statistical yearbook of the Ministry of Agriculture, Statistical Center of Iran Mahab-Ghodss Company, Iran Water Resources Management Company, and research findings (2015)

*منبع: سال‌نامه‌ی آماری وزارت جهاد کشاورزی، مرکز آمار، شرکت مهاب قدس، شرکت مدیریت منابع آب ایران و یافته‌های تحقیق (۱۳۹۴)

www.SID.ir

Arshive of SID

تئوری مجموعه‌های فازی به این دلیل که از مهم‌ترین و کارآمدترین روش‌ها برای مدل‌سازیِ ابهام و عدم‌قطعیت‌های ذاتی موجود در اولویت‌ها، اهداف و محدودیت‌های موجود در تدوین الگوی بهینه‌ی کشت می‌باشد، به‌کارگرفته شد.

مدل برنامه‌ریزیِ ریاضیِ تماماً فازیِ مورد استفاده در این تحقیق به‌شرح رابطه‌ی (۱) می‌باشد:

$$\begin{aligned} &MAX: NB = \sum_{i=1}^{n} (B_i - P_i) A_i \\ &st: \begin{cases} \dfrac{100}{\tilde{E}_{Ag}} \left(\sum_{i=1}^{n} \tilde{W}_i \tilde{A}_i \right) + \dfrac{100}{\tilde{E}_{Or}} \left(\sum_{i=1}^{n} \tilde{W}_i \tilde{A}_i \right) \le \tilde{W}_{Total} \\ \sum_{i=1}^{n} \tilde{A}_i \le \tilde{A}_{Total} \\ 0.5\tilde{A}_i^{present} \le \tilde{A}_i \le 1.5\tilde{A}_i^{present} \end{cases} \end{aligned} \quad (۱)$$

که در آن: NB سود خالصِ فازی (میلیون ریال)؛ $\tilde{A}_i$ متغیر تصمیم فازی یا سطح زیرکشتِ بهینه‌ی فازیِ محصول iام (هکتار)؛ B_i سود فروش فازی (میلیون ریال در هکتار)؛ P_i هزینه‌های تولیدِ فازیِ محصول iام (میلیون ریال در هکتار)؛ $\tilde{E}_{Ag}$ راندمان به‌ازای محصولات زراعی و به‌صورت فازی؛ $\tilde{E}_{Or}$ راندمان به‌ازای محصولات باغی و به‌صورت فازی؛ $\tilde{W}_i$ نیاز خالص آب آبیاریِ فازیِ محصول iام (میلی‌متر)؛ $\tilde{W}_{Total}$ کل آب سطحی و زیرزمینیِ تخصیص‌داده شده به بخش کشاورزی تحت سه شرایط متوسط، حداقل و حداکثر (مترمکعب)؛ $\tilde{A}_{Total}$ کل سطح زیرکشت به‌صورت فازی و $\tilde{A}_i^{present}$ سطح زیرکشتِ فعلیِ محصول iام و به‌صورت فازی (هکتار)، می‌باشند. به‌ازای تمامی محصولات، دومین قید تابع بهینه‌سازی نیز مبنی بر تعیین متغیر تصمیم بین دو مقدار ۰/۵ و ۱/۵ برابرِ سطح زیرکشتِ فعلی می‌باشد. درنظرگیریِ این قید به این دلیل است که نرم‌افزار به سمت محصولات پرفروش نرفته و مابقی محصولات با سود فروش کم را حذف نکند، چون این مسأله مغایر با مسائل اجتماعی و اقتصادی در حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد (Banihabib et al., 2015 b). شایان ذکر است، مدل بهینه‌سازیِ قطعی، مشابه با مدل بهینه‌سازیِ تماماً فازی بوده و با این تفاوت که در مدل بهینه‌سازیِ قطعی تمامی ضرایب تابع هدف و قیود، اعدادی غیرفازی بوده و تنها یک مقدار را شامل می‌شوند، بدین‌ترتیب، خروجیِ این مدلِ قطعی نیز، عددی غیرفازی و تنها با یک مقدار می‌باشد.

به‌منظور فازی‌سازیِ ضرایبِ موجود در تابع هدف و قیود، درخصوص پارامترهایی که اطلاعات مکفی از آنها در اختیار بوده است، حدود بالا و پایین برای تشکیل اعداد فازیِ مربوطه بر اساس همان آمار و ارقام واقعی انتخاب شده‌اند (از جمله منبع آب دردسترس و راندمان‌های زراعی و باغی). درخصوص دیگر پارامترهای موجود در مدل بهینه‌سازی، که اطلاعاتی محدود و جزیی از آن‌ها در اختیار بوده است (مقادیر سود خالص، هزینه‌های تولید، نیاز خالص آب آبیاری، کل سطح زیر کشت موجود و سطوح زیرکشت فعلیِ محصولات) دامنه‌های تغییراتیِ ۱۰ درصد و ۲۰ درصد درنظرگرفته‌شد. درنظرگیری باندهای عدم‌قطعیت ۱۰ و ۲۰ درصدی به‌گونه‌ای بوده است که نوساناتِ ایجاد شده در این پارامترها را طی یک فصل آبیاری، پوشش بدهند. داده‌های اقتصادی شامل هزینه‌های تولید و قیمت فروش، سطوح زیرکشتِ فعلی محصولات و کل سطح زیرکشت، نیازهای آبی و راندمان‌های زراعی و باغی، یک‌بار با فرض افزایش و کاهش به میزان ۱۰ درصد و یک‌بار هم با فرض تغییرات به‌میزان ۲۰ درصد، به‌صورت فازی درآمدند. حدود بالا و پایین برای عدد فازیِ مقدار آب دردسترس شامل مقدار ترسالی و خشک‌سالی و حد وسط بیان‌گر شرایط نرمال می‌باشد. در این خصوص، بر اساس سریِ زمانیِ ۵۰ ساله‌ی آبدهی حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود، میانگین متحرک سه ساله رسم گردید و براساس میانگین درازمدت سه ساله، ضرائبِ مربوط به ترسالی و خشکسالی بدست آمده و حدود بالا و پایین برای عدد فازیِ مقدار آب دردسترس در سه شرایط متوسط، حداقل و حداکثر دبی به‌دست آمد، حد وسط این عدد فازی که بیان‌گر شرایط نرمال می‌باشد نیز همان متوسط درازمدتِ ۵۰ ساله است. درخصوص راندمان‌های زراعی و باغی نیز از بین مقادیر ارائه شده گزارش انجام شده توسط شرکت مهاب قدس درخصوص حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود، بیش‌ترین و کمترین اعداد گزارش شده، به‌ترتیب حد بالا و حد پایین و میانگین اعداد گزارش شده، حد وسط عدد فازیِ مربوط به راندمان را تشکیل می‌دهند. در این خصوص خروجی‌های یک مدل بهینه‌سازی تماماً فازی با اعداد فازیِ مثلثی نامتقارن (سطوح زیرکشت به‌ازای ۲۱ محصول منتخب، سود خالصِ حاصل شده، میزان آب مصرفی و مقدار آب صرفه‌جویی شده بوده) نیز به‌صورت اعدادی فازی و به همان شکل می‌باشد. میزان آب مصرف شده حاصل ضربِ متغیرهای تصمیم در نیازهای ناخالص آبیاری بوده و آب صرفه‌جویی شده از تفاضل منبع آب دردسترس از مقدار آب مصرفی حاصل می‌گردد. برای غیرفازی‌سازیِ خروجی‌ها و فراهم نمودن امکانِ مقایسه بین حالات مختلف سطوح کشت، از مرسوم‌ترین روش غیرفازی‌سازیِ اعداد فازی، مرکز سطح و به‌کمک نرم‌افزار متلب، استفاده شده است. شایان ذکر است، در روش مرکز سطح، مساحتِ تحت توابع عضویت و بین محدوده‌ی متغیر خروجی (x_{min} و x_{max}) محاسبه شده و بر اساس رابطه‌ی (۲)، مرکز هندسی سطح حاصل می‌گردد.

www.SID.ir

Arshive of SID

$$COA=\frac{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x).xdx}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x)dx} \qquad (۲)$$

که در آن COA مقدار غیرفازی شده‌ی عدد فازیِ مربوطه و به‌کمک روش مرکز سطح، x_{max} باند بالا، x_{min} باند پایین و $f(x)$ تابع عضویت عدد فازیِ مدنظرمی‌باشد (Koorehpazan Dezfuli, 2016).

با توجه به اینکه تابع بهینه‌سازیِ مورد استفاده در این تحقیق از نوع تماماً فازی می‌باشد، در میان روش‌های حل موجود، روش حل Kumar et al. (2010) و نیز Jayalakshmi et al. (2012) که در ادامه توضیح داده می‌شوند، از این جهت که برای حل مسائل بهینه‌سازیِ تماماً فازی و در حالتی که تمام ضرایب تابع هدف، قیود و نیز متغیرهای تصمیم فازی هستند، کاربرد داشته و نیز نوع عدد فازیِ به‌کارگرفته‌شده در آن‌ها مطابق با نوع عدد فازیِ انتخاب شده در این مقاله و به‌صورت اعداد فازیِ مثلثیِ نامتقارن می‌باشد، می‌تواند کارایی و عملکرد بهتری داشته باشند، بدین ترتیب برای حل مدل بهینه‌سازیِ الگوی کشت در این تحقیق، انتخاب شدند. انتخاب اعداد فازیِ مثلثی بر اساس داده‌های دردسترس و اطلاعات موجود بوده و نوع نامتقارنِ آن نیز به‌منظور بالاتر بردن دقت و بهبود کارایی مدل انتخاب گشته است. بدین‌ترتیب، مدل تماماً فازیِ الگوی بهینه‌ی کشت، بر اساس دو روشِ حل نام‌برده به مدل بهینه‌سازیِ قطعی تبدیل و به‌کمک نرم‌افزار بهینه‌یاب لینگو حل می‌گردد.

۲-۲-۲- روش حل کومار و همکاران (۲۰۱۰)

در روش Kumar et al. (2010)، اعداد فازی از نوع مثلثی و با ویژگی‌های زیر هستند. اگر A و B دو عدد فازی مثلثی و به‌صورت زیر باشند، داریم:

$$\begin{cases} \tilde{A}=(a,b,c);\tilde{B}=(d,e,f) \\ \tilde{A}+\tilde{B}=(a+d,b+e,c+f) \\ \tilde{A}\times\tilde{B}=(ad,be,cf)(\text{if } a,d\ge 0) \end{cases} \qquad (۳)$$

شایان ذکر است به‌طور مثال در عدد فازی A، مقادیر a، b و c به‌ترتیب بیان‌گر حدود پایین، وسط و بالا می‌باشند. تابعِ رتبه‌بندیِ ارائه شده در این مطالعه توسط محققین، برای عدد فازی مثلثیِ A بر اساس رابطه (۴) می‌باشد:

$$R(\tilde{A})=0.25(a+2b+c) \qquad (۴)$$

درصورتی که همه پارامترهای b_i ،x_j ،$\tilde{c}_j$ و $\tilde{a}_{ij}$ به‌صورت اعداد فازی مثلثی و به‌ترتیب به‌شکل (p_j,q_j,r_j)، (x_j,y_j,z_j)، (b_i,g_i,h_i) و (a_{ij},b_{ij},c_{ij}) باشند، بنابراین رابطه‌ی (۱) به‌صورت زیر حاصل می‌گردد:

$$\text{Max}\quad z=\sum_{j=1}^{n}(p_j,q_j,r_j)\times(x_j,y_j,z_j)$$

$$\text{st}:\begin{cases}\sum_{j=1}^{n}(a_{ij},b_{ij},c_{ij})\times(x_j,y_j,z_j)\le(b_i,g_i,h_i),\forall i=1,2,\ldots,m \\ x_j\ge 0,y_j-x_j\ge 0,z_j-y_j\ge 0,\forall i=1,2,\ldots,m\end{cases}$$

در این روش فرض بر آن است که $(a_{ij},b_{ij},c_{ij})\times(x_j,y_j,z_j)=(m_{ij},n_{ij},o_{ij})$ و $(p_j,q_j,r_j)\times(x_j,y_j,z_j)=(s_{ij},t_{ij},u_{ij})$ باشد، بنابراین مسأله‌ی به‌دست آمده از مرحله‌ی قبل را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\text{Max}\quad z=R\left(\sum_{j=1}^{n}(p_j,q_j,r_j)\times(x_j,y_j,z_j)\right)$$

$$\text{st}:\begin{cases}\sum_{j=1}^{n}(m_{ij},n_{ij},o_{ij})\le(b_i,g_i,h_i),\forall i=1,2,\ldots,m \\ x_j\ge 0,y_j-x_j\ge 0,z_j-y_j\ge 0,\forall i=1,2,\ldots,m\end{cases}$$

با استفاده از عملگرهای ریاضی می‌توان مسأله را به‌صورت مسأله‌ی برنامه‌ریزی خطی قطعی به‌صورت رابطه‌ی (۵) نمایش داد:

$$\text{Max}\ z=\sum_{j=1}^{n}0.25(s_{ij}+2t_{ij}+u_{ij})$$

$$\text{st}:\begin{cases}\sum_{j=1}^{n}(m_{ij})\le(b_i),\forall i=1,2,\ldots,m \\ \sum_{j=1}^{n}(n_{ij})\le(g_i),\forall i=1,2,\ldots,m \\ \sum_{j=1}^{n}(o_{ij})\le(h_i),\forall i=1,2,\ldots,m \\ x_j\ge 0,y_j-x_j\ge 0,z_j-y_j\ge 0,\forall i=1,2,\ldots,m\end{cases} \qquad (۵)$$

جواب بهینه‌ی (x_j,y_j,z_j) با حل مسأله‌ی برنامه‌ریزی خطی مرحله قبل به‌کمک بسته‌ی نرم‌افزاری لینگو به‌دست خواهد آمد. جواب بهینه‌ی فازی نیز با قرار دادن (x_j,y_j,z_j) در $x_j=(x_j,y_j,z_j)$ به‌دست می‌آید. مقدار بهینه‌ی فازیِ تابع هدف نیز که در این مطالعه بیان‌گر سود خالص می‌باشد، با قراردهیِ x_j در $\sum_{j=1}^{n}\tilde{c}_j\times\tilde{x}_j$ به‌دست آورده می‌شود.

۲-۲-۳- روش حل جایالاکشمی و همکاران (۲۰۱۲)

در روش Jayalakshmi et al. (2012)، تمامی ضرایب تابع هدف و

www.SID.ir

Arshive of SID

قیود، به‌شکل اعداد فازیِ مثلثی نامتقارن و به‌صورت رابطه‌ی (۳) می‌باشند. درصورتی که همه پارامترهای b_i، x_j، $\tilde{c}_j$، $\tilde{a}_{ij}$ و Z به‌صورت اعداد فازی مثلثی و به‌ترتیب به‌شکل (b_i, g_i, h_i)، (x_j, y_j, z_j)، (p_j, q_j, r_j)، (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) و (Z_1, Z_2, Z_3) باشند، بنابراین رابطه‌ی (۲) به‌صورت زیر حاصل می‌گردد:

$$\text{Max} \quad (Z_1, Z_2, Z_3) = \sum_{j=1}^{n} (p_j, q_j, r_j) \times (x_j, y_j, z_j)$$

$$\text{st}: \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \times (x_j, y_j, z_j) \le (b_i, g_i, h_i), \forall i = 1,2,\ldots,m \\ x_j \ge 0, y_j - x_j \ge 0, z_j - y_j \ge 0, \forall i = 1,2,\ldots,m \end{cases}$$

فـــرض مـی‌کنیم، $(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \times (x_j, y_j, z_j) = (m_{ij}, n_{ij}, o_{ij})$ بنابراین مسأله‌ی به‌دست آمده را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\text{Max} \quad (Z_1, Z_2, Z_3) = \sum_{j=1}^{n} (p_j, q_j, r_j) \times (x_j, y_j, z_j)$$

$$\text{st}: \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} (m_{ij}, n_{ij}, o_{ij}) \le (b_i, g_i, h_i), \forall i = 1,2,\ldots,m \\ x_j \ge 0, y_j - x_j \ge 0, z_j - y_j \ge 0, \forall i = 1,2,\ldots,m \end{cases}$$

با استفاده از عملگرهای ریاضی می‌توان مسأله را به‌صورت مسأله‌ی برنامه‌ریزی خطی قطعی به‌صورت رابطه‌ی (۶) نمایش داد:

$$\text{Max} \begin{cases} Z_1 = \sum_{j=1}^{n} (p_j) \times (x_j) \\ Z_2 = \sum_{j=1}^{n} (q_j) \times (y_j) \\ Z_3 = \sum_{j=1}^{n} (r_j) \times (z_j) \end{cases} \qquad (۶)$$

$$\text{st}: \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} (m_{ij}) \le (b_i), \forall i = 1,2,\ldots,m \\ \sum_{j=1}^{n} (n_{ij}) \le (g_i), \forall i = 1,2,\ldots,m \\ \sum_{j=1}^{n} (o_{ij}) \le (h_i), \forall i = 1,2,\ldots,m \\ x_j \ge 0, y_j - x_j \ge 0, z_j - y_j \ge 0, \forall i = 1,2,\ldots,m \end{cases}$$

این روش، محدودیتی مانند الزام استفاده از تابع رتبه‌بندی برای تابع هدف نداشته و با تجزیه‌ی تابع اصلی به سه سطحِ بالایی، میانی و پایینی و به‌دست‌آوریِ متغیرهای تصمیم و مقدار هدف در هر سطح توسط بسته‌ی نرم‌افزاریِ لینگو حل می‌گردد. بدین‌ترتیب با حل سه بهینه‌سازیِ قطعی، سطوح بالایی، میانی و پایینی برای سطوح زیرکشت و سود خالص به صورت زیر حاصل می‌گردد:

سطح پایینی	سطح بالایی	سطح میانی
$\text{Max } Z_3 = \sum_{j=1}^{n} (r_j) \times (z_j)$	$\text{Max } Z_1 = \sum_{j=1}^{n} (p_j) \times (x_j)$	$\text{Max } Z_2 = \sum_{j=1}^{n} (q_j) \times (y_j)$
$\text{st}: \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} (m_{ij}) \le (b_i), \forall i = 1,2,\ldots,m \\ Z_3 \le Z_2 \\ x_j \ge 0, x_j \le y_j, \forall i = 1,2,\ldots,m \end{cases}$	$\text{st}: \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} (m_{ij}) \le (b_i), \forall i = 1,\ldots,m \\ Z_1 \ge Z_2 \\ z_j \ge 0, z_j \ge y_j, \forall i = 1,2,\ldots,m \end{cases}$	$\text{st}: \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} (n_{ij}) \le (g_i), \forall i = 1,\ldots,m \\ y_j \ge 0, \forall i = 1,2,\ldots,m \end{cases}$

۳- نتایج و بحث

درصد سطوح زیرکشت در حالت بهینه‌سازی قطعی و درصد سطوح زیرکشت به‌صورت غیرفازی شده در حالت بهینه‌سازی کاملاً فازی در جدول ۲، بـــا دو روش حل Kumar et al. (2010) و Jayalakshmi et al. (2012) و در دو سطح ۱۰ و ۲۰ درصد ارائه شده است.

بر اساس اطلاعات مندرج در جدول ۲، مشاهده می‌شود در حالت بهینه‌سازی قطعی، یونجه، گندم و پیاز به‌ترتیب با ۵۰ درصد افزایش، ۴۴/۳۶ درصد کاهش و ۵۰ درصد افزایش نسبت به وضع موجود، دارای بالاترین سطوح زیرکشت می‌باشند. محصولات ذرت دانه‌ای، گیلاس و آفتاب‌گردان روغنی با افزایشی حدوداً ۵۰ درصدی نسبت به وضع موجود، دارای کمترین سطوح زیر کشت می‌باشند. مقایسه‌ی نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل بهینه‌سازی تماماً فازی نسبت به نتایج مدل بهینه‌سازی قطعی، نشان می‌دهد، محصول یونجه (دارنده‌ی بیش‌ترین درصد از سطح کل زیرکشت)، بیش‌ترین مقدارِ کاهشِ سطح زیرکشت را در روش Jayalakshmi et al. (2012) به‌مقدار ۱۷/۹۹ درصد (در حالت ۱۰ درصد) و کم‌ترین مقدارِ کاهشِ سطح زیرکشت را در روش Kumar et al. (2010) به مقدار ۳/۲۵ درصد (در حالت ۲۰ درصد) داشته است.

www.SID.ir

Arshive of SID

Table 2- Cropping area in deterministic and fully fuzzy optimization models (percent)
جدول ۲- سطوح زیرکشت در مدل‌های بهینه‌سازی قطعی و تماماً فازی (درصد)

Fuzzy domain			10%		20%	
	Crop	Cropping area in deterministic optimization	Kumar et al. (2010)	Jayalakshmi et al. (2012)	Kumar et al. (2010)	Jayalakshmi et al. (2012)
1	Wheat	21.52	22.68	22.87	21.01	21.63
2	Alfalfa	53.52	50.47	49.18	54.20	51.58
3	Barely	3.28	3.69	3.59	3.43	3.23
4	Pea	2.41	2.71	2.64	2.52	2.38
5	Onion	3.70	4.17	4.34	3.89	4.17
6	Grape	1.07	1.20	1.16	1.11	1.04
7	Tomato	2.78	2.50	2.52	2.39	2.41
8	Watermelon	1.99	2.25	2.35	2.09	2.26
9	Walnut	1.72	1.94	2.02	1.80	1.95
10	Cucumbers	1.45	1.63	1.70	1.52	1.64
11	Maize	1.39	1.57	1.64	1.46	1.58
12	Potato	1.21	1.36	1.42	1.27	1.37
13	Apple	0.85	0.76	0.77	0.73	0.74
14	Rapeseed	0.71	0.61	0.62	0.67	0.62
15	Apricot	0.54	0.60	0.63	0.56	0.61
16	Squash	0.53	0.60	0.62	0.55	0.59
17	Almonds	0.43	0.39	0.39	0.37	0.37
18	Peach	0.34	0.38	0.40	0.36	0.38
19	Corn	0.28	0.25	0.25	0.24	0.24
20	Cherry	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15
21	Sunflower	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09

بیش‌ترین مقدارِ کاهشِ سطح زیرکشتِ محصول گندم (دومین محصولِ الگوی کشت از نظر درصدِ سطح زیرکشت)، به‌مقدار ۶/۷۵ درصد در روش Kumar et al. (2010) در حالت ۲۰ درصد بوده و کم‌ترین مقدارِ کاهشِ سطح زیرکشت این محصول، به مقدار ۰/۶۱ درصد در روش Jayalakshmi et al. (2012) در حالت ۲۰ درصد بوده است. سطح زیرکشت محصول پیاز (سومین محصولِ پرتراکمِ الگوی کشت)، در هر دو روش حل فازی و در هر دو حالت ۱۰ و ۲۰ درصد با افزایش همراه بوده است. بیش‌ترین میزانِ این افزایش به مقدار ۶/۶۲ درصد در روش Jayalakshmi et al. (2012) و در حالت ۲۰ درصد بوده و کمترین میزانِ آن، به مقدار ۳/۲۹ درصد در روش Jayalakshmi et al. (2012) و در حالت ۱۰ درصد به دست آمده است. بدین‌ترتیب، مدل بهینه‌سازی تماماً فازی، منجر به کاهش سطح زیرکشت محصول گندم و یونجه و افزایش سطح زیرکشت محصول پیاز، نسبت به بهینه‌سازی در حالت قطعی شده است و این امر به دلیل سودخالص بیش‌ترِ محصول پیاز و سودخالصِ کمتر محصولات یونجه و گندم می‌باشد.

اجرای بهینه‌سازیِ فازی با روش‌های مذکور، منجر به کاهش سطوح زیرکشت محصولاتی مانند گندم، جو، نخود، انگور و کلزا نسبت به سطح زیرکشت فعلی می‌گردد. محصولات یاد شده دارای کمترین میزان سود خالص بوده و با اجرای مدل‌های بهینه‌سازیِ فازی، با کاهش حدوداً ۵۰ درصدیِ سطح زیر کشت مواجه می‌گردند. در این خصوص، سطوح زیر کشت مابقی محصولات نیز افزایشِ ۱۹ تا ۶۰ درصدی نسبت به وضع کنونیِ کشت داشته‌اند. هم‌چنین، مقایسه‌ی مقادیر غیرفازی شده‌ی سطوح زیرکشت بهینه‌ی فازی با سطوح زیرکشت بهینه‌ی قطعی و با روش Kumar et al. (2010) و در حالات ۱۰ و ۲۰ درصد، حاکی از کاهش سطوح زیرکشت محصولات گندم، یونجه، گوجه، هندوانه، سیب، کلزا، کدو، بادام، ذرت دانه‌ای، گیلاس و آفتاب‌گردان روغنی از مقدار ۰/۰۳ تا ۲۲/۸۷ درصد بوده است. دراین‌خصوص، سطوح زیرکشت دیگر محصولات الگوی کشت بدون تغییر مانده یا با افزایشی حداکثر تا ۰/۰۷ درصد، نسبت به بهینه‌سازیِ قطعی، مواجه بوده‌اند. روش Jayalakshmi et al. (2012) نیز در این‌خصوص نتایجی مشابه ارائه داد، با این تفاوت که محصولات جو، نخود و انگور، با کاهشی معادل حدوداً چهار درصد در حالت ۱۰ درصدیِ روش حلِ بهینه‌سازیِ فازی و حدوداً هفت درصد،

www.SID.ir

Arshive of SID

در حالت ۲۰ درصدی روش حل بهینه‌سازیِ فازی، مواجه شدند. سطح زیرکشت محصولات گردو، ذرت علوفه‌ای، زردآلو و قیسی، پیاز و هلو، به‌عنوان محصولاتی با بالاترین میزان سود خالص، در مدل بهینه‌سازیِ قطعی افزایشی حداکثر تا ۶۰ درصد نسبت به وضع موجود و در مدل‌های بهینه‌سازی فازی، افزایشی حداکثر تا هفت درصد نسبت به مدل بهینه‌سازی قطعی داشته‌اند. بدین‌ترتیب، رویکرد موجود درخصوص بهینه‌سازیِ تماماً فازی، کاهش سطوح زیرکشت محصولاتِ با سود خالص کم و افزایش سطح زیرکشت محصولاتِ با درآمد بالا می‌باشد و همانطور که مشاهده شد، این امر در بهینه‌سازیِ تماماً فازی نسبت به بهینه‌سازیِ قطعی، نمود بیش‌تری دارد.

شکل‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب سود خالص، آب مصرفی و آب صرفه‌جویی شده را در وضعیت فعلی، بهینه‌سازی قطعی و حالات مختلف بهینه‌سازیِ فازی، نمایش می‌دهند. مقدار سود خالص در حالت بهینه‌سازیِ قطعی نسبت به وضع فعلی، افزایشی معادل ۳۲/۹۸ درصد و مقدار آب مصرفی کاهشی معادل ۱۲/۸۸ درصد داشته است. بدین‌ترتیب، در مدل بهینه‌سازی قطعی، مقداری معادل ۱۰۹۶۸۷۵۸۳/۱۰ مترمکعب در مصرف آب صرفه‌جویی شده است. در شرایط بهینه‌سازی تماماً فازی و در سطح ۱۰ درصد، روش Kumar et al. (2010)، مقدار سود خالص را بین دو مقدار ۱۷۷۹۹۱۲ و ۳۵۱۸۲۸۳ میلیون ریال و روش Jayalakshmi et al. (2012) این مقدار را در باندی با حد پایینِ ۱۸۷۶۱۸۵ و حد بالا ۳۵۱۵۶۷۰ میلیون ریال، ارائه دادند. در حالت ۲۰ درصد، سود خالص بین دو مقدار ۱۶۴۹۵۰۹ و ۴۱۷۷۳۴۷ میلیون ریال بر اساس روش Kumar et al. (2010) و ۱۸۲۰۶۳۵ و ۴۱۵۶۴۰۶ میلیون ریال بر اساس روش Jayalakshmi et al. (2012) به‌دست آمد. در این میان، روش Jayalakshmi et al. (2012)، مقدار بیش‌تری را برای سود خالص ارائه داده است.

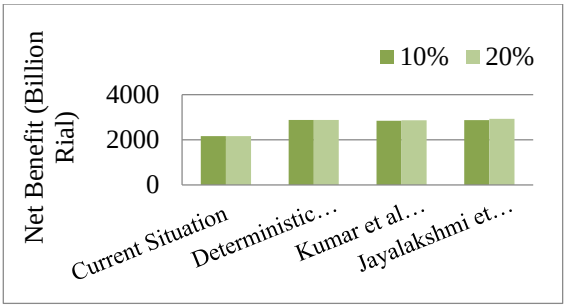

Fig. 2- Net benefit in current and optimized conditions

شکل ۲- سود خالص در وضعیت فعلی و حالات بهینه‌سازی

مقدار سود خالص در روش Kumar et al. (2010) و در حالات ۱۰ و ۲۰ درصد، به‌ترتیب با افزایش ۲۵/۹۰ و ۳۳/۹۶ درصدی و در روش Jayalakshmi et al. (2012) و در حالات ۱۰ و ۲۰ درصد، به‌ترتیب با افزایش ۲۷/۳۴ و ۳۶/۳۴ درصدی نسبت به وضع موجود، همراه بوده است. درخصوص بهینه‌سازی در حالت قطعی، در حالت ۲۰ درصد، سود خالص در روش Kumar et al. (2010) به مقدار ۰/۷۳ درصد و در روش Jayalakshmi et al. (2012) به مقدار ۲/۵۳ افزایش یافته است.

با توجه به شکل ۲، بهینه‌سازیِ قطعی و فازی منجر به افزایش سود خالص نسبت به وضعیت فعلی می‌گردند، دراین‌خصوص، سود خالصِ به‌دست آمده از روش‌های بهینه‌سازیِ فازی نسبت به بهینه‌سازیِ قطعی، در حالت ۱۰٪ مقداری کمتر و در حالت ۲۰٪ مقداری بیش‌تر می‌باشد و این بدین‌معنی است که دامنه‌ی تغییرات ۲۰ درصدی یا به بیانی دیگر، درنظرگیری عدم‌قطعیت برای ضرایب و متغیرهای مدل بهینه‌سازی با باندی به مقدار ۲۰ درصد، منجر به ارائه‌ی سود بیش‌تری نسبت به بهینه‌سازیِ قطعی و با ضرایبی قطعی و غیرفازی می‌گردد.

مقدار آب صرفه‌جویی شده در حالت ۱۰ درصد و با روش بهینه‌سازی Kumar et al. (2010) بین دو مقدار ۸۰۵۳۰۶۲۱/۰۲ و ۴۱۶۴۶۸۵۴۰/۴۲ مترمکعب و بر اساس روش Jayalakshmi et al. (2012) بین مقادیر ۸۷۰۳۷۷۱۴/۰۴ و ۴۲۲۶۴۳۷۶۴/۷۸ متر مکعب قرار می‌گیرد. در حالت ۲۰ درصد نیز روش Kumar et al. (2010) و روش Jayalakshmi et al. (2012) به‌ترتیب مقادیر ۶۳۶۲۹۱۸۱/۹۹ و ۷۵۱۹۷۴۴۹/۶۶ متر مکعب را برای حد پایین و مقادیر ۲۶۶۲۵۸۰۲۴/۰۶ و ۲۷۲۰۹۱۷۴۶/۰۴ متر مکعب را برای حد بالا، ارائه دادند. همان‌طورکه در شکل ۳ نیز مشاهده می‌گردد، میزان آب صرفه‌جویی شده در حالت بهینه‌سازیِ تماماً فازی نسبت به بهینه‌سازی قطعی مقدار بیش‌تری دارد، یعنی در حالت ۱۰ درصد، این مقدار آبِ صرفه‌جویی شده در روش Kumar et al. (2010) و روش Jayalakshmi et al. (2012) به‌ترتیب افزایشی به مقدار ۸۴/۳۷ و ۸۸/۲۲ درصد نسبت به حالت بهینه‌سازی در حالت قطعی داشته است. در حالت ۲۰ درصد، مقدار کمتری در مصرف آب نسبت به حالت ۱۰ درصد صرفه‌جویی می‌گردد، اما نتایج نشان داد، حالت ۲۰ درصد نیز شامل افزایشِ صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به بهینه‌سازیِ غیرفازی بوده است، این مقدار افزایش در روش‌های Kumar et al. (2010) و Jayalakshmi et al. (2012)، به‌ترتیب معادل ۳۴/۹۸ و ۳۸/۸۷ درصد می‌باشد. شایان ذکر است، روش Jayalakshmi et al. (2012)، مقادیر بهتری برای آب صرفه‌جویی شده ارائه داده است. میزان آب مصرفی در حالت ۱۰ درصد در

www.SID.ir

Arshive of SID

Kumar et al. (2010) و روش Jayalakshmi et al. (2012) به‌ترتیب به مقدار ۱۹/۱۲ و ۱۹/۶۲ درصد، نسبت به وضع کنونی و به‌مقدار ۷/۱۶ و ۷/۷۳ درصد، نسبت به بهینه‌سازیِ قطعی، کاهش یافته است. در حالت ۲۰ درصد، مقدار به‌دست آمده برای آب مصرف شده توسط روش Kumar et al. (2010) نسبت به وضعیت فعلی ۱۲/۷۵ درصد کاهش یافته و همین مقدار برای روش Jayalakshmi et al. (2012) ۱۳/۲۶ درصد می‌باشد. بدین‌ترتیب، درنظرگیریِ باند عدم‌قطعیت ۱۰ درصدی درخصوص داده‌های اقتصادی، نیازهای آبی و سطوح زیرکشت محصولات و راندمان‌های زراعی و باغی برای مدل بهینه‌سازی و نیز لحاظ شدن عدم‌قطعیت موجود در منبع آب دردسترس به صورت متوسط، حداقل و حداکثر، منجر به مصرفِ کمترِ آب شده و مقدار بیشتری در مصرف آب صرفه‌جویی می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اجرای مدل بهینه‌سازی قطعی، افزایشی معادل ۳۲/۹۸ درصد در میزان سود خالص و کاهشی برابر با ۱۲/۸۸ درصد در مصرف آبِ موجود را نشان داد. هم‌چنین نتایج نشان داد، به‌کارگیریِ بهینه‌سازیِ تماماً فازی منجر به ایجاد کاهش بیش‌تری در سطح زیرکشت محصولاتِ با درآمد پایین‌تر، نسبت به بهینه‌سازی قطعی می‌گردد. هم‌چنین، اجرای مدل‌سازیِ تماماً فازی با درنظرگیری باند عدم‌قطعیت ۲۰ درصدی درخصوص پارامترهای مدل، منجر به ایجاد سود خالص بیش‌تر و لحاظ نمودن باند عدم‌قطعیت ۱۰ درصدی، منجر به صرفه‌جویی بیش‌تری در منبع آب دردسترس، نسبت به بهینه‌سازی درحالت قطعی می‌گردد. بدین‌ترتیب، درنظرگیریِ دو حالت ۱۰ و ۲۰ درصد برای پارامترهای یاد شده در مدل بهینه‌سازی و سه شرایط متوسط، حداقل و حداکثر برای میزان آب دردسترس، منجر به درنظرگیریِ عدم‌قطعیت بیش‌تری در حل مدل بهینه‌سازی گشته و نتایجی دقیق‌تر ارائه می‌گردد.

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، بهینه‌سازی فازی الگوی کشت در این تحقیق، به‌قصد حصول سود اقتصادی بالا در کنار ایجاد صرفه‌جویی در مصرف آب بوده است. دراین‌خصوص، مسأله‌ی کم‌آبیاری مطرح می‌گردد که این امر به‌نوعی در محاسباتِ انجام شده در خصوص تدوین بهینه‌ترین الگوی کشت لحاظ گردیده است. حدود پایینِ به‌دست آمده برای متغیرهای تصمیم فازی، شامل مقادیرِ پایین نیازهای آبی (به‌معنی کم آبیاری) و مقدار منبع آب دردسترس در حالت خشک‌سالی (دوره‌ی خشک) است و این مسأله در مقدار غیرفازی شده‌ی نهاییِ متغیرهای تصمیم نیز دیده می‌شود.

رویکرد فازیِ ارائه شده در این تحقیق، می‌تواند راهکاری مؤثر برای درنظرگیریِ عدم‌قطعیت‌های موجود درخصوص بهینه‌سازیِ الگوی کشت بوده و برای استخراج تابع تقاضای فازیِ آب کشاورزی و تحلیل کمّی سیاست‌های مختلف کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وریِ این منبع کمیاب، مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که به‌کارگیریِ این رویکرد در مطالعات انجام شده توسط محققین دیگری از جمله Mohammadi et al. (2011)، Zeng et al. (2010)، Morankar et al. (2013) و Tan et al. (2013) منجر به بهبود نتایج، حصول سود خالص اقتصادیِ بیش‌تر و ایجاد صرفه‌جوییِ بیش‌تری در مصرف آب گردید. بدین‌ترتیب، با راهکار پیشنهادیِ این تحقیق، می‌توان آب قابل توجهی را در بخش کشاورزی صرفه‌جویی نموده و نیز مدل پیشنهادی را برای موارد مشابه جهت مدیریت تقاضای آب کشاورزی استفاده کرد.

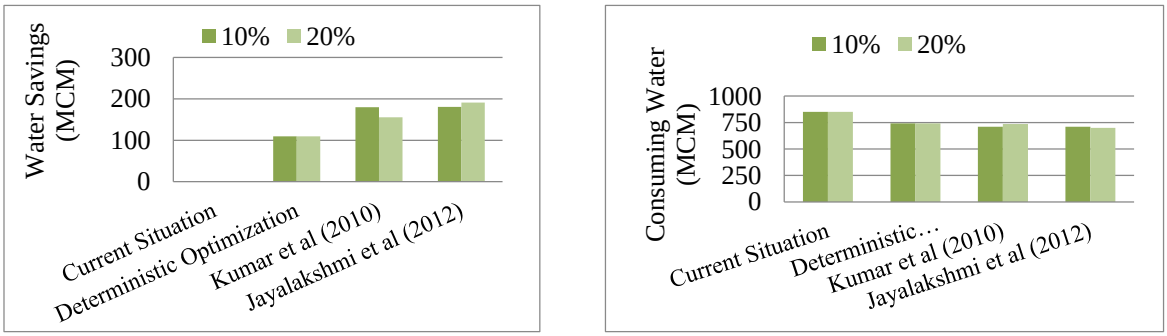

Fig. 3- Comparing the water savings and water consumption

شکل ۳- مقایسه مقادیر آب صرفه‌جویی شده و آب مصرفی

www.SID.ir

Arshive of SID

۵- مراجع

Ahmadpour M, Sobouhi M (2009) Water pricing in agricultural section with interval mathematical programming, Case study: Dashdestan Region. Journal of Agricultural Economy 3(3):121-141 (In Persian)

Anonymous (2010) Report of updating comprehensive plan of water in Mazandaran and Urmia basins. Ministry of Energy (In Persian)

Banihabib ME, Hosseinzadeh M, Olad Gharehgoz M (2015 a) Determination of nonlinear programming model for the allocation of water and crop pattern in deficit irrigation (case study: Tehran and Alborz provinces). Journal of Iran- Water Research 9(4):159-163 (In Persian)

Banihabib ME, Hosseinzadeh M, Peralta R (2015 b) Optimization of inter-sectorial water reallocation for arid-zone megacity-dominated area. Journal of Urban Water 13(8):852-860

Banihabib ME, Shabestari MH, Hosseinzadeh M (2017) Hybrid Model for Strategic Management of Agricultural Water Demand in Arid Regions. Journal of Iran-Water Resources Research 12(4):60-69

Deep K, Singh KP, Kansal ML, Mohan C (2009) Management of multipurpose multi reservoir using fuzzy interactive method. Journal of Water Resources Management 23:2987–3003

Fathi F, and Zibaei M (2012) Water Resources Sustainability using Goal Programming Approach in optimizing Crop Pattern, Strategy and Irrigation Method. Journal of Iran-Water Resources Research 8(1):10-19

Gomez-Limon J, Laura R (2004) Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. Journal of Agricultural Economics 31:47-66

Habibi-Davijani M, Banihabib ME, Nadjafzadeh Anvar A, Hashemi SR (2016 a) Multi-objective optimization model for the allocation of water resources in arid regions based on the maximization of socioeconomic efficiency. Journal of Water Resources Management 30:927–946

Habibi-Davijani M, Banihabib ME, Nadjafzadeh Anvar A, Hashemi S.R (2016 b) Optimization model for the allocation of water resources based on the maximization of employment in the agriculture and industry sectors. Journal of Hydrology 533:430–438

Huang Q, Rozelle S, Howitt R (2010) Irrigation water demand and implications for water pricing policy in rural China. Journal of Environment and Development Economics 15:293-315

Jayalakshmi M, Pandian P (2012) A new method for finding an optimal fuzzy solution for fully fuzzy linear programming problems. International Journal of Engineering Research and Applications 2:247-254

Kagade KL, Bajaj VH (2009) Fuzzy approach with linear and some non-linear membership functions for solving multi-objective assignment problems. Journal of Advances in Computational Research 1(2):14-17

Koorehpazan Dezfuli A (2016) Principles of fuzzy set theory and its applications in the modeling of water engineering problems. Amirkabir University of Technology Branch, 200p (In Persian)

Kumar K, Kaur J (2011) A new method for solving fuzzy linear programs with trapezoidal fuzzy numbers. Journal of Fuzzy Set Valued Analysis 3:1-12

Kumar K, Kaur J, Singh P (2010) Fuzzy optimal solution of fully fuzzy linear programming problems with inequality constraints. International Journal of Mathematical and Computer Sciences 6:37-41

Lu HW, Huang GH, Lin YP, He L (2009) A two-step infinite α-cuts fuzzy linear programming method in determination of optimal allocation strategies in agricultural irrigation systems. Journal of Water Resources Management 23:2249–2269

Mirzaei K, Ahmadpour-Borazjani M (2016) Effects of irrigation water quotation on cropping pattern and farmers' gross margin in Amol region. Journal of Iran-Water Resources Research 12(3):166-179 (In Persian)

Mohammadi H, Boostani F, Kafilzadeh F (2011) Optimal cropping pattern using a multi-objectives fuzzy on-linear optimization algorithm: a case study. Journal of Water and Sewage 4:43-55 (In Persian)

Morankar DV, Srinivasa Raju K, Nagesh Kumar D (2013) Integrated sustainable irrigation planning with multiobjective fuzzy optimization approach. Journal of Water Resources Management 27:3981–4004

Ouhabyazdi A, Ahmadi A, Nikooyi A R (2014) Employing economic instruments to increase water productivity: a case study, Zayandehrood river basin. Journal of Iran-Water Resources Research 10(1):63-71 (In Persian)

Rani D, Moreira MM (2010) Simulation–optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation. Water Resources Management 24:1107–1138

Regulvwar D, Gurav J (2011) Irrigation planning under uncertainty- a multi-objective fuzzy programming

www.SID.ir

Arshive of SID

Province, South Africa. Journal of Agricultural Water Management 96:1560-1566

Tan Q, Huang GH, Cai YP (2013) Multi-source multi-sector sustainable water supply under multiple uncertainties: an inexact fuzzy-stochastic quadratic programming approach. Journal of Water Resources Management 27:451–473

Zarghami M, Saffari N (2013) Optimal allocation of water to agricultural sector in Zarrinehroud basin with asymmetric Nash .Journal of Agricultural Economy 7(2):107-125 (In Persian)

Zeng X, Kang S, Li F, Zhang L, Guo P (2010) Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. Agricul. Journal of Water Manage 98:134-142

Zadeh LA (1965) Fuzzy Sets. Journal of Information and Control 8:338-353

approach. Journal of Water Resources Management 25:1387–1416

RegulVwar D, Gurav J (2012) Sustainable irrigation planning with imprecise parameters under fuzzy environment. Journal of Water Resources Management 26:3871–3892

Sakhdari H, Sobouhi M, Bakhshi A (2011) Effect of water price in water allocation, case study: Neyshabour town. In: Second National Conference on Applied Research in Iran Water Resources, 27-28 May, Zanjan, Iran (In Persian)

Sepaskhah, AR, Ghahraman B (2004) The effects of irrigation efficiency and uniformity coefficient on relative yield and profit for deficit irrigation. Journal of Biosys. Engineer 7:495-507

Speelman S (2009) Estimating the impacts of water pricing on smallholder irrigators in North West

www.SID.ir