

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

M. Asaadi-Mehrabani<sup>1</sup>, M.E. Banihabib<sup>2\*</sup>  
and A. Roozbahany<sup>3</sup>

### 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

## مدل برنامه‌ریزی خطی فازی برای بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه‌ی زیرینه‌رود

مژگان اسعدی مهربانی<sup>۱</sup>، محمد ابراهیم بنی‌حبیب<sup>۲\*</sup>  
و عباس روزبهانی<sup>۳</sup>

### چکیده

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب بوده و عدم قطعیت از جمله مسائل اجتناب‌ناپذیر در مدیریت آب در این بخش است. لذا در مطالعه‌ی حاضر، به منظور بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه زیرینه‌رود با هدف حداکثرسازی سود خالص کشاورزی و با در نظرگیری عدم قطعیت‌های موجود، از برنامه‌ریزی خطی تماماً فازی و با دو روش حل متفاوت، استفاده شده است. عدم قطعیت‌های موجود در تدوین بهترین الگوی کشت، با استفاده از روش فازی لحاظ گردیده است. همچنین به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از محدودیت مقدار آب در دسترس، سه وضعیت هیدرولوژیکی حداقل، متوسط و حداکثر مقادیر در بهینه‌سازی فازی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از اجرای بهینه‌سازی تماماً فازی، حاکی از افزایش سود خالص به میزان ۲/۵۳ درصد نسبت به بهینه‌سازی قطعی و افزایشی معادل ۳۶/۳۴ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی از طریق کاهش سطوح زیرکشت محصولات با سود خالص کم و افزایش سطح زیرکشت محصولات با درآمد بالا می‌باشد. همچنین استفاده از برنامه‌ریزی خطی تماماً فازی منجر به صرفه‌جویی بیش‌تری در مصرف آب به میزان ۸۸/۲۲ درصد می‌گردد. در نظرگیری باندهای عدم قطعیت ۱۰ و ۲۰ درصدی در خصوص برخی از پارامترهای مدل بهینه‌سازی، به ترتیب 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 در نظرگیری عدم قطعیت‌های حاکم، به کمک روش فازی امکان برنامه‌ریزی بهینه‌تر آب کشاورزی را فراهم می‌سازد.

**کلمات کلیدی:** الگوی بهینه‌ی کشت، برنامه‌ریزی خطی فازی، زیرینه‌رود، عدم قطعیت.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۴/۶

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

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.

بهینه‌ترین حالت و استفاده از روش کم‌آبیاری، می‌توان سود اقتصادی بخش کشاورزی 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 آب درون‌بخشی برای نواحی خشک ارائه کردند. مدل مذکور، آب بازتخصیص شده را بین بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و خدمات، بر اساس مقدار آب در دسترس و موجود و آب تخصیص یافته به هر بخش، بهینه می‌سازد. نتایج نشان داد با حفظ همان مقدار آب مصرف شده، اگر استراتژی تخصیص بهینه به‌کارگرفته شود، سود خالص به میزان 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. بدین ترتیب 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 مازندران در هند پرداختند. بهینه‌سازی قطعی الگوی کشت با هدف حداکثرسازی سود حاصل از کشاورزی به کمک روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در مطالعات محققین دیگری نیز از جمله Habibi davijani et al. (2016 a, b), Huang et al. (2010), Gomez et al. (2004) یافت می‌شود.

در تعیین الگوی کشت به‌عنوان یک مسأله‌ی تصمیم‌گیری، مدل برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی قطعی، برای تصمیم‌گیری در چنین محیط غیرقطعی مناسب نبوده و استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی به‌جای تئوری مجموعه‌های کلاسیک می‌تواند کارا تر باشد. در این زمینه تحقیق‌های مختلفی صورت گرفته است که در هر کدام تلاش شده تا عدم قطعیت‌های موجود به روش‌های مختلفی لحاظ گردد. از میان مطالعات انجام شده در داخل کشور می‌توان به این موارد اشاره نمود: Sakhdari et al. (2011) در شهرستان نیشابور به تعیین الگوی بهینه‌ی کشت، اثر قیمت آب بر تخصیص 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 در دسترس در مدل برنامه‌ریزی ریاضی به‌کارگرفته شده

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 در نظر گرفت. چرا که توابع استفاده شده به‌صورت دقیق و قطعی تعریف نشده‌اند و یا طبیعت مسأله‌ی تصمیم‌گیری فقط با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های حاکم بر هر پدیده قابل بررسی است. هم‌چنین، عدم قطعیت 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 به‌عنوان 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 محصولات 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 محصولات 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

که گزارشی مبنی بر تعیین الگوی بهینه‌ی کشت، در حالی که تمامی ضرایب معادله‌ی بهینه‌سازی خطی و تک هدفه، در سه وضعیت هیدرولوژیکی متفاوت (نرمال، ترسالی و خشک‌سالی)، اعدادی فازی در نظر گرفته 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 هیدرولوژیکی متفاوت (نرمال، ترسالی و خشک‌سالی) را موجب می‌گردد.

در پژوهش حاضر، به منظور تدوین الگوی بهینه‌ی کشت و تخصیص بهینه‌ی منابع، مدل برنامه‌ریزی خطی تک هدفه و با هدف حداکثرسازی سود خالص کشاورزی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در این تحقیق، برای بهبود مدل برنامه‌ریزی خطی تک هدفه از برنامه‌ریزی غیرقطعی در تدوین بهینه‌ترین الگوی کشت استفاده شده و با برنامه‌ریزی قطعی مقایسه گردیده است. از آنجایی که عدم قطعیت موجود در تدوین الگوی بهینه‌ی کشت در این تحقیق، در خصوص ضرایب تابع هدف و قیود (منابع موجود ضرایب سمت راست) و ضرایب فنی (ضرایب سمت چپ)) عمدتاً از نوع ابهام می‌باشند، منطق فازی به منظور راهکاری برای در نظرگیری این عدم قطعیت‌ها در قالب یک مسأله‌ی برنامه‌ریزی تماماً فازی در تدوین بهینه‌ترین الگوی کشت، به کاررفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

#### ۲-۱-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه (شکل ۱)، حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود با گستره‌ای بالغ بر ۱۱۵۷۸ کیلومتر مربع 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 کشاورزی ایران و بزرگ‌ترین زیرحوضه‌ی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد. دریاچه‌ی ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه‌ی داخلی کشور و دومین دریاچه‌ی آب شور جهان، در سال‌های اخیر به علت تغییرات اقلیمی، بهره‌برداری‌های بیش از حد استان‌های ذی‌نفع حوضه از رودخانه‌های

به صورت فازی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد بهینه‌سازی الگوهای کشت و تخصیص آب آبیاری با لحاظ عدم قطعیت‌ها، به پایداری منابع آب در بخش کشاورزی کمک قابل توجهی می‌کند. همچنین این محققین پیشنهاد در نظرگیری ریسک در سودهای ناخالص را نیز مطرح کردند. (Mohammadi et al. (2011) با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی 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. به منظور در نظرگیری عدم قطعیت‌های موجود در این زمینه، منطق فازی مورد استفاده قرار گرفت و تابع هدف در مدل بهینه‌سازی، به صورت فازی در نظر گرفته شد. (Ahmadpoor and Sobuhi (2009) به منظور قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی، روش برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای را در شهرستان دشتستان به کار گرفتند، ضرایب متغیرهای تصمیم در تابع هدف، ضرایب فنی و سمت راست محدودیت‌ها به گونه‌ای به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شد که در یک بازه در نوسان هستند. آن‌ها با در نظرگیری 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 Regulwar and Gurav (2012) در ایالت ماهاراشترا، هند، می‌باشد. (Morankar et al. (2013) با تدوین یک مدل برنامه‌ریزی با سه هدف حداکثرسازی سود خالص، تولید محصول و اشتغال‌زایی و با در نظرگیری سه شکل متفاوت غیرخطی، نمایی و هذلولی برای تابع عضویت، به بهینه‌سازی الگوی کشت پرداختند. ضرایب تابع هدف به صورت اعداد فازی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد الگوی کشت بهینه‌ی ارائه شده توسط توابع هدف با اشکال نمایی و هذلولی مناسب‌تر بوده و در کل، در نظرگیری عدم قطعیت‌ها به صورت فازی، نسبت به حالت قطعی، الگوی کشت بهینه را بهبود بخشید. (Regulwar and Gurav (2012) نیز با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی فازی با اهداف بهینه‌سازی سود خالص، عملکرد محصول و اشتغال‌زایی، به تعیین الگوی کشت بهینه تحت شرایط عدم قطعیت با در نظرگیری چند حالت مختلف فازی در مسأله‌ی بهینه‌سازی پرداختند و مقایسه‌های انجام شده بین حالت‌های مختلف در نظرگیری تابع هدف، ضرایب فنی و مقادیر سمت راست قیود به شکل فازی، مناسب‌تر بودن نتایج حاصل از در نظرگیری عدم قطعیت به شکل فازی را نشان داد. دیگر پژوهش‌های موجود در این زمینه شامل مطالعات انجام شده توسط Rani and Moreira, Tan et al. (2013)، Deep et al. (2009)، Kagade and Bajaj (2009)، Lu et al. (2009) می‌باشد. بررسی مطالعات پیشین، حاکی از آن است

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 زیر کشت 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 منابع نیروی کار، سرمایه، انرژی، سموم و آفت‌کش‌ها، کود، بذرها و ماشین‌آلات در تولید محصولات کشاورزی، محدودکننده نبوده و تنها دو محدودیت سطح زیر کشت و منبع آب در دسترس، بهینه‌سازی الگوی کشت مدنظر در این تحقیق را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

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

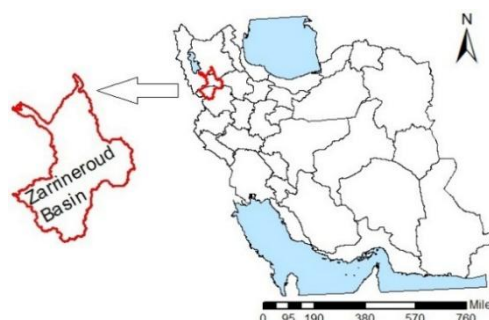


Fig. 1- The Location of the study area

### شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

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

Table 1- Cropping areas, net benefit and water consumption in 2015\*

جدول ۱- سطح زیر کشت 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 مه‌هاب قدس، شرکت مدیریت منابع آب ایران و یافته‌های تحقیق (۱۳۹۴)

تئوری مجموعه‌های فازی به این دلیل که از مهم‌ترین و کارآمدترین روش‌ها برای مدل‌سازی ابهام و عدم قطعیت‌های ذاتی موجود در اولویت‌ها، اهداف و محدودیت‌های موجود در تدوین الگوی بهینه‌ی کشت می‌باشد، به کار گرفته شد. مدل برنامه‌ریزی ریاضی تماماً فازی مورد استفاده در این تحقیق به شرح رابطه‌ی (۱) می‌باشد:

$$\text{MAX : NB} = \sum_{i=1}^n (B_i - P_i) A_i$$

$$\text{st : } \begin{cases} \frac{100}{\bar{E}_{Ag}} \left( \sum_{i=1}^n \tilde{W}_i \tilde{A}_i \right) + \frac{100}{\bar{E}_{Or}} \left( \sum_{i=1}^n \tilde{W}_i \tilde{A}_i \right) \leq \tilde{W}_{Total} \\ \sum_{i=1}^n \tilde{A}_i \leq \tilde{A}_{Total} \\ 0.5 \tilde{A}_i^{present} \leq \tilde{A}_i \leq 1.5 \tilde{A}_i^{present} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن: NB سود خالص فازی (میلیون ریال)؛  $\tilde{A}_i$  متغیر تصمیم فازی یا سطح زیرکشت بهینه‌ی فازی محصول  $i$ ام (هکتار)؛  $B_i$  سود فروش فازی (میلیون ریال در هکتار)؛  $P_i$  هزینه‌های تولید فازی محصول  $i$ ام (میلیون ریال در هکتار)؛  $\bar{E}_{Ag}$  راندمان به‌ازای محصولات زراعی و به‌صورت فازی؛  $\bar{E}_{Or}$  راندمان به‌ازای محصولات باغی و به‌صورت فازی؛  $\tilde{W}_i$  نیاز خالص آب آبیاری فازی محصول  $i$ ام (میلی‌متر)؛  $\tilde{W}_{Total}$  کل آب سطحی و زیرزمینی تخصیص داده 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 زیرکشت فعلی محصول  $i$ ام و به‌صورت فازی (هکتار)، می‌باشند. به‌ازای تمامی محصولات، دومین قید تابع بهینه‌سازی نیز مبنی بر تعیین متغیر تصمیم بین دو مقدار  $0.5$  و  $1.5$  برابر سطح زیرکشت فعلی می‌باشد. در نظرگیری این قید به این دلیل است که نرم‌افزار به سمت محصولات پر فروش 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 (Banahabib et al., 2015 b). شایان ذکر است، مدل بهینه‌سازی قطعی، مشابه با مدل بهینه‌سازی تماماً فازی بوده و با این تفاوت که در مدل بهینه‌سازی قطعی تمامی ضرایب تابع هدف و قیود، اعدادی غیرفازی بوده و تنها یک مقدار را شامل می‌شوند، بدین ترتیب، خروجی این مدل قطعی نیز، عددی غیرفازی و تنها با یک مقدار می‌باشد.

به‌منظور فازی‌سازی ضرایب موجود در تابع هدف و قیود، در خصوص پارامترهایی که اطلاعات مکفی از آنها در اختیار بوده است، حدود بالا و پایین برای تشکیل اعداد فازی مربوطه بر اساس همان آمار و ارقام

واقعی انتخاب شده‌اند (از جمله منبع آب در دسترس و راندمان‌های زراعی و باغی). در خصوص دیگر پارامترهای موجود در مدل بهینه‌سازی، که اطلاعاتی محدود و جزئی از آن‌ها در اختیار بوده است (مقادیر سود خالص، هزینه‌های تولید، نیاز خالص آب آبیاری، کل سطح زیر کشت موجود و سطوح زیرکشت فعلی محصولات) دامنه‌های تغییراتی ۱۰ درصد و ۲۰ درصد در نظر گرفته شد. در نظرگیری باندهای عدم قطعیت ۱۰ و ۲۰ درصدی به‌گونه‌ای بوده است که نوسانات ایجاد شده در این پارامترها را طی یک فصل آبیاری، پوشش بدهند. داده‌های اقتصادی شامل هزینه‌های تولید و قیمت فروش، سطوح زیرکشت 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 به میزان ۲۰ درصد، به‌صورت فازی درآمدند. حدود بالا و پایین برای عدد فازی مقدار آب در دسترس شامل مقدار ترسالی و خشک‌سالی و حد وسط بیان‌گر شرایط نرمال می‌باشد. در این خصوص، بر اساس سری زمانی ۵۰ ساله‌ی آبدهی حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود، میانگین متحرک سه ساله رسم گردید و براساس میانگین درازمدت سه ساله، ضرایب مربوط به ترسالی و خشک‌سالی بدست آمده و حدود بالا و پایین برای عدد فازی مقدار آب در دسترس در سه شرایط متوسط، حداقل و حداکثر دبی به‌دست آمد، حد وسط این عدد فازی که بیان‌گر شرایط نرمال می‌باشد نیز همان متوسط درازمدت ۵۰ ساله است. در خصوص راندمان‌های زراعی و باغی نیز از بین مقادیر ارائه شده گزارش انجام شده توسط شرکت مه‌باب قدس در خصوص حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود، بیش‌ترین و کمترین اعداد گزارش شده، به‌ترتیب حد بالا و حد پایین و میانگین اعداد گزارش شده، حد وسط عدد فازی مربوط به راندمان را تشکیل می‌دهند. در این خصوص خروجی‌های یک مدل بهینه‌سازی تماماً فازی با اعداد فازی مثلی نامتقارن (سطوح زیرکشت به‌ازای ۲۱ محصول منتخب، سود خالص 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 ضرب متغیرهای تصمیم در نیازهای ناخالص آبیاری بوده و آب صرفه‌جویی شده از تفاضل منبع آب در دسترس از مقدار آب مصرفی حاصل می‌گردد. برای غیرفازی‌سازی خروجی‌ها و فراهم نمودن امکان مقایسه بین حالات مختلف سطوح کشت، از مرسوم‌ترین روش غیرفازی‌سازی اعداد فازی، مرکز سطح و به‌کمک نرم‌افزار متلب، استفاده شده است. شایان ذکر است، در روش مرکز سطح، مساحت 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.

می‌گردد:

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

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

در این روش فرض بر آن است که

$$(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \times (x_j, y_j, z_j) = (m_{ij}, n_{ij}, o_{ij})$$

$$(p_j, q_j, r_j) \times (x_j, y_j, z_j) = (s_{ij}, t_{ij}, u_{ij})$$

به‌دست آمده از مرحله‌ی قبل را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

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

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

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

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

$$\text{st: } \begin{cases} \sum_{j=1}^n (m_{ij}) \leq (b_i), \forall i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n (n_{ij}) \leq (g_i), \forall i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n (o_{ij}) \leq (h_i), \forall i = 1, 2, \dots, m \\ x_j \geq 0, y_j - x_j \geq 0, z_j - y_j \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (5)$$

جواب بهینه‌ی  $(x_j, y_j, z_j)$  با حل مسئله‌ی 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 فازی تابع هدف نیز که در این مطالعه

بیان‌گر سود خالص می‌باشد، با قراردادی  $x_j$  در  $\sum_{j=1}^n \tilde{c}_j \times \tilde{x}_j$  به‌دست

آورده می‌شود.

### ۲-۲-۳- روش حل جاییالاکشمی و همکاران (۲۰۱۲)

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

$$\text{COA} = \frac{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x) \cdot x \cdot dx}{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x) \cdot dx} \quad (2)$$

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

با توجه به اینکه تابع بهینه‌سازی 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 بهینه‌سازی تماماً فازی و در حالتی که تمام ضرایب تابع هدف، قیود و نیز متغیرهای تصمیم فازی هستند، کاربرد داشته و نیز نوع عدد فازی به‌کارگرفته‌شده در آن‌ها مطابق با نوع عدد فازی انتخاب شده در این مقاله و به‌صورت اعداد فازی مثلثی نامتقارن می‌باشد، می‌تواند کارایی و عملکرد بهتری داشته باشند، بدین ترتیب برای حل مدل بهینه‌سازی الگوی کشت در این تحقیق، انتخاب شدند. انتخاب اعداد فازی مثلثی بر اساس داده‌های در دسترس و اطلاعات موجود بوده و نوع نامتقارن آن نیز به‌منظور بالاتر بردن دقت و بهبود کارایی مدل انتخاب گشته است. بدین ترتیب، مدل تماماً فازی الگوی بهینه‌ی کشت، بر اساس دو روش حل نام‌برده به مدل بهینه‌سازی 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:

$$\begin{cases} \tilde{A} = (a, b, c); \tilde{B} = (d, e, f) \\ \tilde{A} + \tilde{B} = (a+d, b+e, c+f) \\ \tilde{A} \times \tilde{B} = (ad, be, cf) \text{ (if } a, d \geq 0) \end{cases} \quad (3)$$

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

$$R(\tilde{A}) = 0.25(a + 2b + c) \quad (4)$$

در صورتی که همه پارامترهای  $b_i, x_j, \tilde{c}_j$  و  $\tilde{a}_{ij}$  به‌صورت اعداد فازی

مثلثی و به‌ترتیب به‌شکل  $(b_i, g_i, h_i), (x_j, y_j, z_j), (p_j, q_j, r_j)$

و  $(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  باشند، بنابراین رابطه‌ی (۱) به‌صورت زیر حاصل

$$\text{Max} \begin{cases} Z_1 = \sum_{j=1}^n (p_j) \times (x_j) \\ Z_2 = \sum_{j=1}^n (q_j) \times (y_j) \\ Z_3 = \sum_{j=1}^n (r_j) \times (z_j) \end{cases} \quad (6)$$

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

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

قیود، به شکل اعداد فازی مثلثی نامتقارن و به صورت رابطه‌ی (۳) می‌باشند. در صورتی که همه پارامترهای  $b_i, x_j, \tilde{c}_j, \tilde{a}_{ij}$  و  $Z$  به صورت اعداد فازی مثلثی و به ترتیب به شکل  $(b_i, g_i, h_i), (p_j, q_j, r_j), (x_j, y_j, z_j)$  باشند، بنابراین رابطه‌ی (۲) به صورت زیر حاصل می‌گردد:

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

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

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

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

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

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

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

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 مقدار کاهش سطح زیرکشت را در روش (Jayalakshmi et al. (2012) به مقدار ۱۷/۹۹ درصد (در حالت ۱۰ درصد) و کم‌ترین مقدار کاهش سطح زیرکشت را در روش (Kumar et al. (2010) به مقدار ۳/۲۵ درصد (در حالت ۲۰ درصد) داشته است.

### ۳- نتایج و بحث

درصد سطوح زیرکشت در حالت بهینه‌سازی قطعی و درصد سطوح زیرکشت به صورت غیرفازی شده در حالت بهینه‌سازی کاملاً فازی در جدول ۲، با 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 به ترتیب با ۵۰ درصد افزایش، ۴۴/۳۶ درصد کاهش و ۵۰ درصد افزایش نسبت به وضع موجود، دارای

**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	21.01	21.63
2	Alfalfa	53.52	50.47	54.20	51.58
3	Barely	3.28	3.69	3.43	3.23
4	Pea	2.41	2.71	2.52	2.38
5	Onion	3.70	4.17	3.89	4.17
6	Grape	1.07	1.20	1.11	1.04
7	Tomato	2.78	2.50	2.39	2.41
8	Watermelon	1.99	2.25	2.09	2.26
9	Walnut	1.72	1.94	1.80	1.95
10	Cucumbers	1.45	1.63	1.52	1.64
11	Maize	1.39	1.57	1.46	1.58
12	Potato	1.21	1.36	1.27	1.37
13	Apple	0.85	0.76	0.73	0.74
14	Rapeseed	0.71	0.61	0.67	0.62
15	Apricot	0.54	0.60	0.56	0.61
16	Squash	0.53	0.60	0.55	0.59
17	Almonds	0.43	0.39	0.37	0.37
18	Peach	0.34	0.38	0.36	0.38
19	Corn	0.28	0.25	0.24	0.24
20	Cherry	0.17	0.15	0.15	0.15
21	Sunflower	0.11	0.10	0.10	0.09

اجرای بهینه‌سازی 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 بهینه‌سازی فازی، با کاهش حدوداً ۵۰ درصدی سطح زیر کشت مواجه می‌گردند. در این خصوص، سطوح زیر کشت مابقی محصولات نیز افزایش ۱۹ تا ۶۰ درصدی نسبت به وضع کنونی 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. در این خصوص، سطوح زیرکشت دیگر محصولات الگوی کشت بدون تغییر مانده یا با افزایشی حداکثر تا ۰/۰۷ درصد، نسبت به بهینه‌سازی قطعی، مواجه بوده‌اند. روش Jayalakshmi et al. (2012) نیز در این خصوص نتایجی مشابه ارائه داد، با این تفاوت که محصولات جو، نخود و انگور، با کاهش معادل حدوداً چهار درصد در حالت ۱۰ درصدی روش حل بهینه‌سازی فازی و حدوداً هفت درصد،

بیشترین مقدار کاهش سطح زیرکشت محصول گندم (دومین محصول الگوی کشت از نظر درصد سطح زیرکشت)، به مقدار ۶/۷۵ درصد در روش Kumar et al. (2010) در حالت ۲۰ درصد بوده و کمترین مقدار کاهش 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 محصول پرتراکم الگوی کشت)، در هر دو روش حل فازی و در هر دو حالت ۱۰ و ۲۰ درصد با افزایش همراه بوده است. بیشترین میزان این افزایش به مقدار ۶/۶۲ درصد در روش Jayalakshmi et al. (2012) و در حالت ۲۰ درصد بوده و کمترین میزان آن، به مقدار ۳/۲۹ درصد در روش Jayalakshmi et al. (2012) و در حالت ۱۰ درصد به دست آمده است. بدین ترتیب، 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 بیش‌تر محصول پیاز و سودخالص کمتر محصولات یونجه و گندم می‌باشد.



مقدار سود خالص در روش Kumar et al. (2010) و در حالات ۱۰ و ۲۰ درصد، به ترتیب با افزایش ۲۵/۹۰ و ۳۳/۹۶ درصدی و در روش Jayalakshmi et al. (2012) و در حالات ۱۰ و ۲۰ درصد، به ترتیب با افزایش ۲۷/۳۴ و ۳۶/۳۴ درصدی نسبت به وضع موجود، همراه بوده است. در خصوص 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، بهینه‌سازی قطعی و فازی منجر به افزایش سود خالص نسبت به وضعیت فعلی می‌گردند، در این خصوص، سود خالص به دست آمده از روش‌های بهینه‌سازی فازی نسبت به بهینه‌سازی قطعی، در حالت ۱۰٪ مقداری کمتر و در حالت ۲۰٪ مقداری بیش‌تر می‌باشد و این بدین معنی است که دامنه‌ی تغییرات ۲۰ درصدی یا به بیانی دیگر، در نظرگیری عدم قطعیت برای ضرایب و متغیرهای مدل بهینه‌سازی با باندی به مقدار ۲۰ درصد، منجر به ارائه‌ی سود بیش‌تری نسبت به بهینه‌سازی 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) به ترتیب 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. همان‌طور که در شکل ۳ نیز مشاهده می‌گردد، میزان آب صرفه‌جویی شده در حالت بهینه‌سازی تماماً فازی نسبت به بهینه‌سازی قطعی مقدار بیش‌تری دارد، یعنی در حالت ۱۰ درصد، این مقدار آب صرفه‌جویی شده در روش Kumar et al. (2010) و روش Jayalakshmi et al. (2012) به ترتیب 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 افزایش صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به بهینه‌سازی غیرفازی بوده است، این مقدار افزایش در روش‌های Kumar et al. (2010) و Jayalakshmi et al. (2012) به ترتیب 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

در حالت ۲۰ درصدی روش حل بهینه‌سازی فازی، مواجه شدند. سطح زیرکشت محصولات گردو، ذرت علوفه‌ای، زردآلو و قیسی، پیاز و هلو، به عنوان محصولاتی با بالاترین میزان سود خالص، در مدل بهینه‌سازی 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. بدین ترتیب، رویکرد موجود در خصوص بهینه‌سازی تماماً فازی، کاهش سطوح زیرکشت محصولات با سود خالص کم و افزایش سطح زیرکشت محصولات با درآمد بالا می‌باشد و همان‌طور که مشاهده شد، این امر در بهینه‌سازی تماماً فازی نسبت به بهینه‌سازی قطعی، نمود بیش‌تری دارد.

شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب سود خالص، آب مصرفی و آب صرفه‌جویی شده را در وضعیت فعلی، بهینه‌سازی قطعی و حالات مختلف بهینه‌سازی فازی، نمایش می‌دهند. مقدار سود خالص در حالت بهینه‌سازی قطعی نسبت به وضع فعلی، افزایشی معادل ۳۲/۹۸ درصد و مقدار آب مصرفی کاهش معادل ۱۲/۸۸ درصد داشته است. بدین ترتیب، 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 پایین 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) به دست آمد. در این میان، روش Jayalakshmi et al. (2012)، مقدار بیش‌تری را برای سود خالص ارائه داده است.

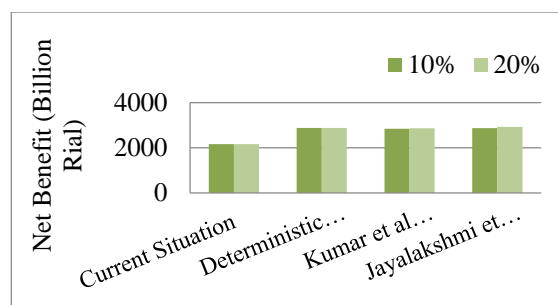


Fig. 2- Net benefit in current and optimized conditions

شکل ۲- سود خالص در وضعیت فعلی و حالات بهینه‌سازی

متوسط، حداقل و حداکثر برای میزان آب در دسترس، منجر به در نظرگیری عدم قطعیت بیش تری در حل مدل بهینه سازی گشته و نتایجی دقیق تر ارائه می گردد.

همانطور که پیش تر اشاره شد، بهینه سازی فازی الگوی کشت در این تحقیق، به قصد حصول سود اقتصادی بالا در کنار ایجاد صرفه جویی در مصرف آب بوده است. در این خصوص، مسأله کمی آبیاری مطرح می گردد که این امر به نوعی در محاسبات انجام شده در خصوص تدوین بهینه ترین الگوی کشت لحاظ گردیده است. حدود پایین به دست آمده برای متغیرهای تصمیم فازی، شامل مقادیر پایین نیازهای آبی (به معنی کم آبیاری) و مقدار منبع آب در دسترس در حالت خشک سالی (دوره ی خشک) است و این مسأله در مقدار غیر فازی شده ی نهایی متغیرهای تصمیم نیز دیده می شود.

رویکرد فازی ارائه شده در این تحقیق، می تواند راهکاری مؤثر برای در نظرگیری عدم قطعیت های موجود در خصوص بهینه سازی الگوی کشت بوده و برای استخراج تابع تقاضای فازی آب کشاورزی و تحلیل کمی سیاست های مختلف کاهش مصرف آب و افزایش بهره وری این منبع کمیاب، مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که به کارگیری این رویکرد در مطالعات انجام شده توسط محققین دیگری از جمله Zeng et al. (2010)، Mohammadi et al. (2011)، Morankar et al. (2013) و Tan et al. (2013) منجر به بهبود نتایج، حصول سود خالص اقتصادی بیشتر و ایجاد صرفه جویی بیش تری در مصرف آب گردید. بدین ترتیب، با راهکار پیشنهادی این تحقیق، می توان آب قابل توجهی را در بخش کشاورزی صرفه جویی نموده و نیز مدل پیشنهادی را برای موارد مشابه جهت مدیریت تقاضای آب کشاورزی استفاده کرد.

Kumar et al. (2010) و روش Jayalakshmi et al. (2012) به ترتیب به مقدار ۱۹/۱۲ و ۱۹/۶۲ درصد، نسبت به وضع کنونی و به مقدار ۷/۱۶ و ۷/۷۳ درصد، نسبت به بهینه سازی قطعی، کاهش یافته است. در حالت ۲۰ درصد، مقدار به دست 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 می باشد. بدین ترتیب، در نظرگیری باند عدم قطعیت ۱۰ درصدی در خصوص داده های اقتصادی، نیازهای آبی و سطوح زیر کشت محصولات و راندمان های زراعی و باغی برای مدل بهینه سازی و نیز لحاظ شدن عدم قطعیت موجود در منبع آب در دسترس به صورت متوسط، حداقل و حداکثر، منجر به مصرف کمتر آب شده و مقدار بیشتری در مصرف آب صرفه جویی می گردد.

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از اجرای مدل بهینه سازی قطعی، افزایشی معادل ۳۲/۹۸ درصد در میزان سود خالص و کاهش برابر با ۱۲/۸۸ درصد در مصرف آب موجود را نشان داد. همچنین نتایج نشان داد، به کارگیری بهینه سازی تماماً فازی منجر به ایجاد کاهش بیش تری در سطح زیر کشت محصولات با درآمد پایین تر، نسبت به بهینه سازی قطعی می گردد. همچنین، اجرای مدل سازی تماماً فازی با در نظرگیری باند عدم قطعیت ۲۰ درصدی در خصوص پارامترهای مدل، منجر به ایجاد سود خالص بیش تر و لحاظ نمودن باند عدم قطعیت ۱۰ درصدی، منجر به صرفه جویی بیش تری در منبع آب در دسترس، نسبت به بهینه سازی در حالت قطعی می گردد. بدین ترتیب، در نظرگیری دو حالت ۱۰ و ۲۰ درصد برای پارامترهای یاد شده در مدل بهینه سازی و سه شرایط

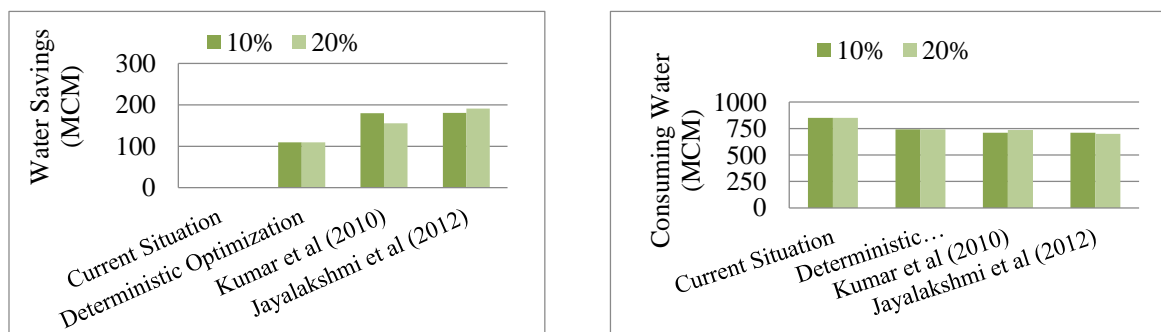


Fig. 3- Comparing the water savings and water consumption

شکل ۳- مقایسه مقادیر آب صرفه جویی شده و آب مصرفی

- 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  $\alpha$ -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
- 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

- 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